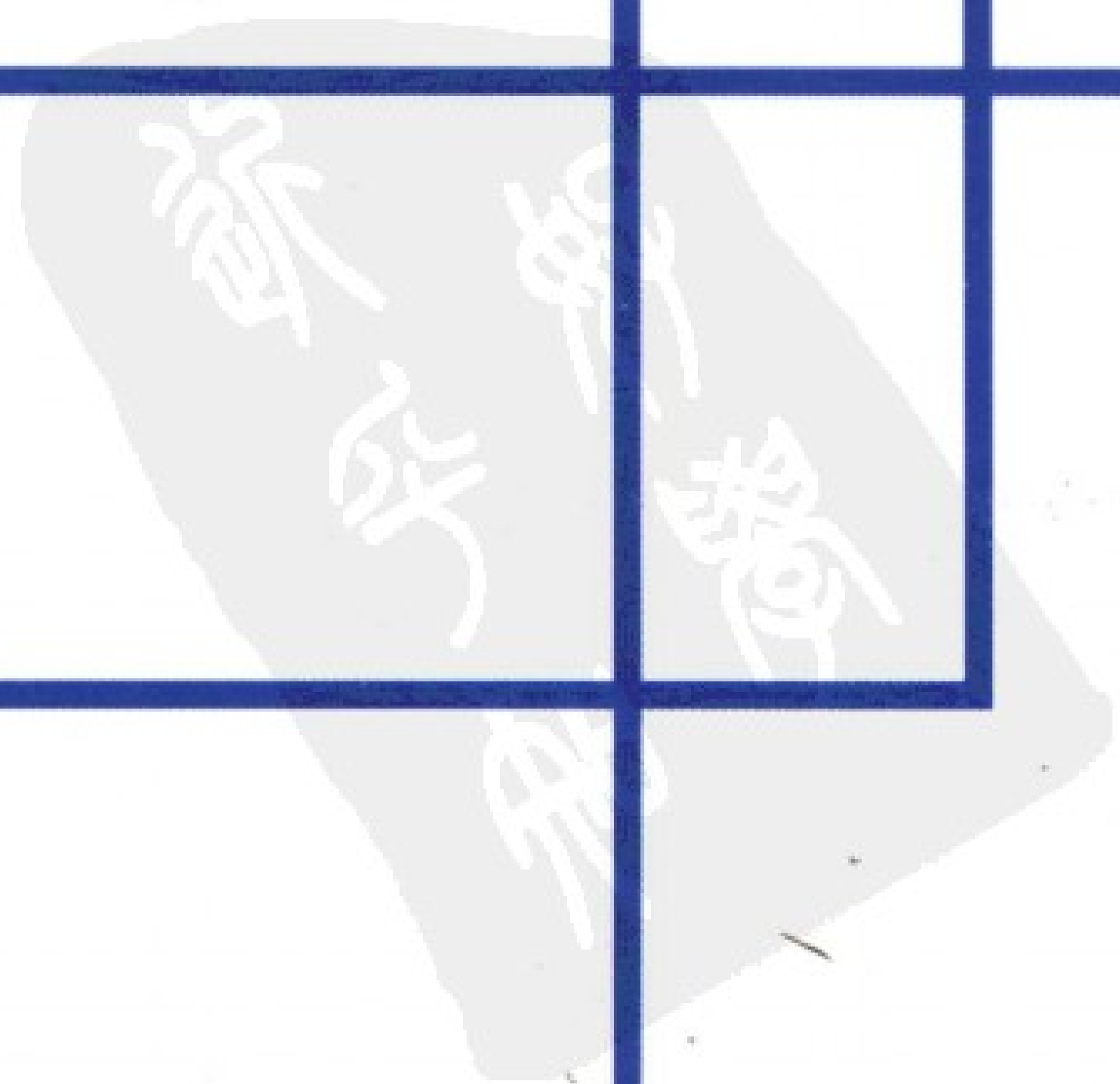


中低压配电设备选型 与使用 200 例

周武仲 胡静 编



中国电力出版社
www.cepp.com.cn

实用电气技术200例系列

实用电气二次回路200例

电力工程电气设计200例

电力设备交接和预防性试验200例

电气、线路典型操作票及工作票200例

中低压配电设备选型与使用200例

低压电控设备选型与使用200例

电能计量装置接线分析200例

继电保护与自动装置检验调试200例

电工安全作业禁忌200例

ISBN 7-5083-4444-8



9 787508 344447 >

定价：28.00 元

销售分类建议：电力工程 / 输配电

中低压配电设备选型 与使用 200 例

● 周武仲 胡 静 编



中国电力出版社
www.cepp.com.cn

内 容 提 要

本书用举例的方式阐述了有关中低压配电设备的设计、选型与使用。

本书共6章，分别为中低压配电设备应用状况、中低压配电系统基础知识、低压配电设备的选型与使用、中压配电设备的选型与使用、配电自动化装置的选型与使用、中低压配电系统的设计实例。

本书可供从事电力设计、技术管理、工程建设、检修、制造、施工等工程技术人员和大中院校有关专业的师生参考。

图书在版编目 (CIP) 数据

中低压配电设备选型与使用 200 例/周武仲, 胡静编.
北京: 中国电力出版社, 2006

ISBN 7-5083-4444-8

I. 中... II. ①周... ②胡... III. 配电装置-基本知识 IV. TM642

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2006) 第 058414 号

中国电力出版社出版、发行

(北京三里河路6号 100044 <http://www.cepp.com.cn>)

汇鑫印务有限公司印刷

各地新华书店经售

*

2006年8月第一版 2006年8月北京第一次印刷

787毫米×1092毫米 16开本 17.5印张 422千字

印数 0001—3000册 定价 28.00元

版 权 专 有 翻 印 必 究

(本书如有印装质量问题, 我社发行部负责退换)

前 言

随着我国国民经济的飞速发展，对电力的需求也越来越迫切。电力系统规模的不断扩大，要求电力供应更安全可靠及电力运营管理水平更科学化、规范化、自动化。特别是电力系统与用户直接关联的供配电系统也显得尤为重要。作为供配电系统的主要组成部分和发电厂电气系统的组成部分，电气设备的质量及其性能的先进性是决定电力系统安全可靠运行的前提条件之一。本书用举例的方式来阐述有关中低压配电设备的设计、选型和使用，并列举出国内外的中低压配电设备的技术参数以作参考和比较。便于读者更好地理解和应用，从而达到实用性和先进性的目的。同时，本书将 110kV 及以下的电压等级的电气设备和自动化方面的内容作为阐述范围，并增加了有关的基础知识的章节。

本书由周武仲主编，第三章低压配电设备和第六章的 6-7、6-8 由胡静编写，周武仲审校，全书由周武仲统稿。

本书可供从事电力设计、技术管理、工程建设、检修、制造、施工等工程技术人员和大中院校有关专业的师生参考。

由于水平有限，书中难免会出现缺点、错误、恳请广大读者和专业同仁批评指正。

编者

2006.2

目 录

前言

第一章 中低压配电设备应用状况	1
1-1 我国中低压配电设备应用状况如何?	1
1-2 我国的配电设备自动化状况如何?	1
1-3 我国中低压配电设备的发展方向和展望是什么?	2
第二章 中低压配电系统基础知识	3
第一节 电力系统基本知识	3
2-1 电力系统运行特点和基本要求是什么?	3
2-2 电能质量的各项指标是什么?	3
2-3 我国规定的用电设备、发电机、变压器等元件的额定电压是什么?	5
2-4 电力网中性点运行方式及对应的电压等级有哪些?	6
第二节 电气主接线	7
2-5 电气主接线的主要形式及对电气主接线的基本要求是什么?	7
2-6 各种主接线中主要电气设备的配置原则是什么?	9
2-7 供配电系统中有哪些限制短路电流的方法?	11
第三节 短路电流计算	12
2-8 短路电流计算有哪些项目?	12
2-9 短路电流计算的近似条件是什么?	12
2-10 计算短路电流的目的是什么? 什么是无限大容量电源供电和有限容量电源供电系统?	12
2-11 短路电流的物理量的定义和关系是什么?	13
2-12 无限大容量电源供电的高(中)压电网的三相短路电流是如何计算的?	14
2-13 有限容量电源供电的高(中)压电网的三相短路电流是如何计算的?	17
2-14 多个电源供电的三相短路电流是如何计算的?	18
2-15 什么是网络变换, 有哪些变换方法?	19
2-16 电动机对短路电流有什么影响?	19
2-17 什么是短路电流的效应?	20
2-18 低压电网的短路电流是如何计算的?	22
2-19 不对称短路电流是如何计算的?	29
2-20 短路电流计算实例 1 (供电系统)。	33
2-21 短路电流计算实例 2 (带发电机)。	35

2-22	短路电流计算实例 3 (用计算机计算)。	36
2-23	短路电流计算实例 4 (带电动机)。	39
2-24	短路电流计算实例 5 (低压电网)。	40
2-25	短路电流计算实例 6 (不对称短路)。	42
第四节	过电压保护和接地	43
2-26	电力系统过电压的种类有哪些? 采取什么保护措施?	43
2-27	雷电过电压的特性是什么?	44
2-28	接地, 接地电阻, 接触电压和跨步电压的基本概念是什么?	45
2-29	避雷针、避雷线保护范围是如何确定的?	46
2-30	3~110kV 电压的发电厂和变电所对雷电侵入波采取什么过电压保护?	47
2-31	电源中性点直接接地低压配电系统有哪些保护接地形式?	49

第三章 低压配电设备的选型和使用 52

第一节	低压配电设备的选择的一般条件	52
3-1	什么是低压配电设备及低压配电整体方案?	52
3-2	低压配电设备的选择有哪些条件?	53
3-3	低压配电线路中几种保护型式的动作要求和特点?	54
3-4	整定的基本要求及计算方法是什么?	57
3-5	什么是限流型断路器的级联技术, 如何选择级联产品?	63
第二节	低压熔断器的选型	64
3-6	低压熔断器的功能和原理是什么, 都有哪些分类?	64
3-7	低压熔断器都有哪些主要技术参数?	64
3-8	国内常见的低压熔断器都有哪些?	65
3-9	低压熔断器的选用原则是什么?	67
3-10	熔断器选型使用实例。	67
第三节	低压接触器的选型与实例	68
3-11	什么是接触器, 接触器有哪些用途, 如何分类?	68
3-12	低压接触器都有哪些主要技术参数?	69
3-13	常见的低压交流接触器都有哪些?	69
3-14	低压接触器的选用原则是什么?	74
3-15	低压交流接触器的选型使用实例。	76
第四节	低压断路器的选型与实例	77
3-16	低压断路器都有哪些功能、用途及其结构和分类?	77
3-17	低压断路器都有哪些主要技术参数?	79
3-18	低压断路器都有哪些选用原则?	80
3-19	常见的低压断路器有哪些?	82
3-20	框架式断路器选型使用实例。	86
3-21	塑壳式断路器选型使用实例。	87

3-22	微型断路器选型使用实例。	87
第五节	低压起动器的选型与使用	87
3-23	低压起动器都有哪些用途和分类?	87
3-24	低压起动器都有哪些选用原则?	90
3-25	电机起动器的选型使用实例。	93
第六节	低压开关、隔离器、隔离开关及熔断器组合电器的选型与使用	93
3-26	低压开关、隔离器、隔离开关、熔断器组合电器都有哪些分类和用途?	93
3-27	隔离开关有哪些选用原则?	95
3-28	负荷开关有哪些选用原则?	95
3-29	组合电器有哪些选用原则?	95
3-30	常见的隔离开关和刀熔开关有哪些?	95
3-31	隔离刀开关选型使用实例。	96
3-32	熔断器刀开关(刀熔开关)选型使用实例。	96
第七节	低压电线、电缆的选型与使用	97
3-33	低压电线、电缆有哪些用途、分类与型号?	97
3-34	低压电线、电缆有哪些选用原则?	98
3-35	低压电线、电缆的选型与使用实例。	105
第八节	低压成套配电装置的选型与使用	105
3-36	低压成套配电装置有哪些用途、分类与型号?	105
3-37	低压成套配电装置有哪些主要技术指标?	106
3-38	低压成套配电装置有哪些选用原则?	107
3-39	都有哪些常见的低压成套配电设备?	108
第九节	低压电涌保护器的选型与使用	110
3-40	低压电涌保护器的用途、分类与动作原理是什么?	110
3-41	低压电涌保护器有哪些主要技术指标?	111
3-42	低压电涌保护器有哪些选用和配合原则?	112
3-43	常见的电涌保护器有哪些?	116
3-44	电涌保护器的选型和使用实例。	119

第四章 中压配电设备的选型与使用 120

第一节	中压配电设备的一般条件	120
4-1	中压配电设备的正常使用条件是什么?	120
4-2	中压配电设备主要参数如何选择?	121
第二节	变压器选型与使用	124
4-3	电力变压器是怎么分类的?	124
4-4	电力变压器有哪些参数和特性?	124
4-5	如何选择电力变压器的台数和容量?	128
4-6	配电变压器选型使用实例 1。	129

4-7	配电变压器选型使用实例 2。·····	129
第三节	三相异步电动机的选型和使用 ·····	129
4-8	三相异步电动机三种运行状态如何判断? ·····	129
4-9	试说明异步电动机的工作特性。·····	131
4-10	试说明异步电动机的起动方法。·····	131
4-11	试说明异步电动机常用的调速方法。·····	132
4-12	异步电动机的选型原则及实例说明。·····	133
4-13	异步电动机的主要参数有哪些? ·····	135
第四节	中压断路器的选型和使用 ·····	137
4-14	中压断路器是如何分类的? ·····	137
4-15	中压断路器的主要参数有哪些? ·····	138
4-16	如何对中压断路器选型及实例说明。·····	145
第五节	中压熔断器的选型和使用 ·····	146
4-17	中压熔断器的分类和用途是什么? ·····	146
4-18	中压熔断器的主要参数和特性有哪些? ·····	147
4-19	中压熔断器是如何选择的? ·····	150
4-20	举例说明中压熔断器的选型。·····	151
第六节	隔离开关的选型和使用 ·····	152
4-21	中压隔离开关用途是什么? 如何分类? ·····	152
4-22	如何选择中压隔离开关? ·····	152
4-23	中压隔离开关的主要参数有哪些? ·····	152
4-24	试举例说明中压隔离开关的选型。·····	153
第七节	中压负荷开关的选型和使用 ·····	153
4-25	中压负荷开关的用途是什么? 如何分类? ·····	153
4-26	如何选择中压负荷开关? ·····	154
4-27	中压负荷开关有哪些技术参数? ·····	154
4-28	中压负荷开关如何和熔断器配合? ·····	156
4-29	中压负荷开关+熔断器组合电器的选型实例。·····	157
第八节	互感器的选型和使用 ·····	157
4-30	电压互感器有什么用途? 如何分类? ·····	157
4-31	电压互感器的主要参数有哪些? ·····	158
4-32	电压互感器有哪些接线方式, 各自用途是什么? ·····	160
4-33	如何选择电压互感器? ·····	160
4-34	使用电压互感器应注意什么? ·····	162
4-35	电压互感器的选型实例。·····	162
4-36	电流互感器有什么用途? 如何分类? ·····	163
4-37	电流互感器的主要参数有哪些? ·····	164
4-38	电流互感器的接线方式有哪些? 各自用途是什么? ·····	168
4-39	使用电流互感器的注意事项有哪些? ·····	169

4-40	如何选择电流互感器?	169
4-41	电流互感器的选型实例。	171
第九节	避雷器的选型与使用	171
4-42	避雷器的用途是什么? 如何分类?	171
4-43	避雷器的主要参数有哪些?	172
4-44	如何选择避雷器?	177
4-45	避雷器的选型实例。	179
第十节	并联电容器的选型与使用	180
4-46	并联电容器有什么用途? 如何分类?	180
4-47	并联电容器是如何补偿无功的?	180
4-48	试述并联电容器的接法。	180
4-49	并联电容器的主要参数有哪些?	181
4-50	并联电容器组的选择实例。	182
第十一节	电线、电缆的选型和使用	182
4-51	电线有什么用途? 如何分类?	182
4-52	电线是如何选择的?	183
4-53	架空导线截面的选择实例。	190
4-54	绝缘电线的选择实例。	190
4-55	电缆有什么用途? 如何分类?	191
4-56	如何选择电力电缆?	191
4-57	电力电缆的选型实例。	198
第十二节	高(中)压成套配电装置的选型与使用	198
4-58	高(中)压成套配电装置有什么用途? 如何分类?	198
4-59	如何选择高压开关柜?	208
4-60	高压成套配电装置的选型实例。	209
第十三节	电源设备的选型和使用	209
4-61	电源设备有什么用途? 如何分类?	209
4-62	如何选择电源设备?	209
4-63	电源设备的选型实例。	213

第五章 配电自动化装置的选型和使用 215

5-1	试述配电自动化及其装置的基本组成。	215
5-2	试述自动重合器的分类及特点。	215
5-3	自动重合器的主要参数有哪些?	215
5-4	如何选择自动重合器?	218
5-5	自动重合器如何和其他设备相配合?	219
5-6	自动分段器如何分类? 特点是什么?	221
5-7	自动分段器的主要参数有哪些?	221

5-8	如何选择自动分段器?	224
5-9	试说明电子分段器和重合器的配合。	224
5-10	什么是自动配电开关?	225
5-11	自动配电开关的主要参数有哪些?	225
5-12	试说明自动配电开关与重合器的配合使用。	228
5-13	中压系统对继电保护有哪些规定?	229
5-14	继电保护装置如何进行选用?	234
5-15	如何选用自动重合闸装置?	243
5-16	如何选用低周波减载装置?	248
5-17	如何选用备用电源自投装置?	250
5-18	配电网自动化设备的运行管理的内容是什么?	251

第六章 中低压配电系统设计实例 253

6-1	中压配电系统的设计原则是什么?	253
6-2	中压供配电系统设计的基础技术资料有哪些?	253
6-3	中压配电系统的设计实例 1 (变电所的设计)。	253
6-4	中压配电系统的设计实例 2 (居民住宅小区配电系统)。	255
6-5	火力发电厂电气系统的设计实例 3 (中压电气系统)。	256
6-6	低压配电系统的设计原则是什么?	257
6-7	低压配电系统的设计实例 1 (钢厂的低压系统)。	259
6-8	低压配电系统的设计实例 2 (电站的低压系统)。	262
6-9	配电系统自动化的设计原则是什么?	265
6-10	配电所自动化设计实例 1 (农村变电所)。	265
6-11	变电所自动化设计实例 2 (110kV/35kV/10kV 变电站)。	266

第一章

中低压配电设备应用状况



1-1 我国中低压配电设备应用状况如何?

在电力系统中,中低压配电网是其主要组成部分,而中低压配电设备又是中低压配电网中的关键设备。随着经济的发展和科技的进步,中低压配电设备也在不断地改进和完善,其自动化程度也日益提高,从而不断地提高供电的安全可靠性。

“十五”计划以来,我国电力工业取得了快速的发展,“西电东送”,城乡电网改造等工作取得了显著成效,发电装机容量、发电量不断持续增长,现已列居世界第二位。至2003年底,发电装机容量已达到3.91亿kW,发电量达到19052亿kWh,预计到2010年全国用电量将达到27000亿kWh,装机容量达到6亿kW左右,到2020年,全国用电量将达到42000亿kWh左右,装机容量达到9亿kW左右,在“十一五”计划期间国家电网将进入一个大发展的时期。

根据上述我国电力发展的情况和发、供电同步发展的规律,中低压配电设备也将有极大的需求,随着电网规模的不断扩大,满足各类用户的供电要求是电网运营的主要任务之一,因此电网的建设与改造必须依靠科技进步来不断提高供电的质量和安全性。

目前,我国的中低压配电设备方面还存在不少问题,归纳起来有以下几方面:

- (1) 配电网设备技术性能差,自动化水平低。
- (2) 科研投入少,电力市场缺乏有力的技术支持。
- (3) 国内的市场机制不够健全。
- (4) 电力产品结构不能满足市场的需要。
- (5) 自动化程度不能满足电网建设的要求,质量和性能的技术问题仍然是个突出的问题。
- (6) 早期的产品高能耗设备较多。
- (7) 供电事故较多,停电难度大。

针对上述问题,在新建和改造配电网时,应加以充分重视,尽量采用新技术、新设备以提高供电的质量和安全性。

1-2 我国的配电设备自动化状况如何?

我国的配电网自动化的研究、开发和应用开始于20世纪80年代中、后期,90年代逐渐形成高潮,目前已发展成一个相对独立的技术领域,但和发达国家相比,其普及率和先进性还有一定的差距,而配电自动化是必然的发展趋势,其必要性是:

- (1) 实现自动化是提高人民生活质量和发展国民经济的需要。
- (2) 实现自动化是电力企业自身发展的需要。它可以提高电力系统的经济效益,减轻维护人员的劳动强度,增强电力系统的免维护性,提高设备的安全和健康水平,提高电网的管

理水平。

(3) 配电网自动化是我国配电网的薄弱环节, 缺乏统一的规划和原则, 为此, 我国在电力行业标准《县级城市配电网自动化实施技术导则》(DL/T—20) 中对实施配电网自动化工程作了较详细的技术原则规定:

(1) 配电网自动化工程应本着安全可靠、技术先进、经济适用、维护方便的原则。

(2) 配电网自动化工程应以提高供电安全可靠为原则, 提高供电系统的运行综合管理水平为目的。选择的设备应自动化程度高, 并符合环保要求。

(3) 自动化程度的确定应根据本地区电网的特点, 实际运行状况、经济条件等综合要求来进行。可根据自动化水平的不同层次进行, 可以分步实施, 也可以一步到位。

(4) 自动化设计应符合《城市中低压配电网改造技术原则》(DL/T 599—1996) 的要求。

1-3 我国中低压配电设备的发展方向 and 展望是什么?

我国是一个发展中的国家, 虽然发电量已创居世界第二位, 但配电设备的先进性和可靠性和发达国家相比还有一定的差距。因此, 我们应借鉴发达国家的经验, 结合我国国情积极发展配电设备的制造、改造及配电工程的自动化。

(1) 开关设备类型应多元化, 设备的开断故障电流的能力要强, 应能经受住系统大电流的冲击。以发展真空和 SF₆ 断路器为方向, 配电设备向无油化方向发展。户内开关设备以小型化、绝缘型、全封闭结构为主以适应城市电网占地少、免维护、安全好、适应自动化装置等要求。户外开关设备运行环境要求较高, 应有较好的适应能力, 设备不锈蚀, 可靠性高。

(2) 采用新绝缘材料。积极发展户外环氧树脂绝缘材料。

(3) 不断提高开关设备操作机构的可靠性。根据断路器故障统计和实际运行经验, 操作机构故障占的比例是很大的。因此, 提高开关设备操作机构的可靠性是一个关键技术。

(4) 智能型、多功能自动化装置的采用。随着微机技术的发展和采用, 此类自动化装置将替代传统的保护、控制、计量、监控和通信的模式。

(5) 大力应用节能型产品。如低能耗变压器、电力补偿装置、低压节能型永磁结构启动器等等。

总之, 随着我国电力事业的不断发展, 在中低压配电网和配电装置方面必须和电力系统的规模相适应, 以先进的技术装备来满足电力运营的安全、可靠性和电力管理的科学、先进性, 从而满足我国人民生活的不断提高的要求和国民经济的可持续发展的需要。

第二章

中低压配电系统基础知识



第一节 电力系统基本知识

2-1 电力系统运行特点和基本要求是什么？

(1) 电力系统运行特点：

1) 电力系统发电和用电之间的动态平衡。由于电能不能大容量储存，为避免造成系统运行的不稳定，必须保持电能的生产、输运、分配和使用处于一种动态平衡的状态。

2) 电力系统的暂态过程极快。在电力系统中开关的切换、电网的短路等暂态过程通常以 $10^{-6} \sim 10^{-3}$ s 计。在设计时应充分考虑自动装置的灵敏性。

3) 电力系统所需能源多样化。用于发电的能源有煤、天然气、油、核能、水力等各种能源，应根据本地区特点，尽量减少运输量，降低电能成本。

4) 电力系统的影响面广。电能对国民经济和人民生活有极大的影响、供电中断或不足都会造成重大损失。

(2) 基本要求：

1) 安全。在电能的生产、输送、分配和使用中，应确保不发生人身和设备事故。

2) 可靠。在电力系统运行中，应满足用户对供电可靠性的要求。保持供电的连续性。

3) 优质。满足用户对电压、频率等电能质量的要求。

4) 经济。应降低投资和运行费用，进行合理的规划和经济调度，减少电能损耗、实现电力系统的经济运行。

2-2 电能质量的各项指标是什么？

电能质量主要包括：频率、电压偏差、电压波动、高次谐波和三相不平衡（三相系统）等五个方面。此外，还包括供电可靠性、操作容易，维护费用低和能源使用合理等。

(1) 频率偏差。我国电力系统的额定频率为 50Hz，频率的允许偏差规定为：电网装机容量在 300 万 kW 以上的，为 ± 0.2 Hz；电网装机容量在 300 万 kW 以下的，为 ± 0.5 Hz。

(2) 电压偏差。在《电能质量供电电压允许偏差》(GB 2325—1990) 中规定，最大允许电压偏差应不超过以下标准：

1) 35kV 及以上供电电压：电压正、负偏差绝对值之和为 10%。

2) 10kV 及以下三相供电电压： $\pm 7\%$ 。

3) 220V 单相供电电压： $+7\%$ ， -10% 。

(3) 电压波动和闪变。电压波动是指电压在系统电网中作快速短时的变化。其值以用户公共供电点的相邻最大与最小电压方均根值 U_{\max} 与 U_{\min} 之差对电网额定电压 U_N 的百分值表示，即

$$\delta_U \% = \frac{U_{\max} - U_{\min}}{U_N} \times 100$$

δ_U % 的变化速度应不低于每秒 0.2 %。

电压闪变是指人眼对灯闪的主观感觉。引起灯光（照度）闪变的波动电压，称为闪变电压。

在表 2-1 和表 2-2 中列出了电压波动允许值和闪变电压允许值。

表 2-1 电压波动允许值（依据 GB 12326—2000）

r/h^{-1}	$d/\%$		r/h^{-1}	$d/\%$	
	LV. MV	HV		LV. MV	HV
$r \leq 1$	4*	3	$10 < r \leq 100$	2*	1.5*
$1 < r \leq 10$	3	2.5	$100 < r \leq 1000$	1.25	~1

- 注 1. 对很少的变动频率 r （每日少于 1 次），电压变动值 d 还可以放宽。
 2. 对于随机性不规则的电压波动，依 95% 概率大致衡量，表中标有“*”的值为其限值。
 3. 系统标称电压 U_N 等级按以下划分：低压（LV）： $U_N \leq 1\text{kV}$ 中压（MV）： $1\text{kV} \leq U_N \leq 35\text{kV}$ 高压（HV）： $35\text{kV} \leq U_N \leq 220\text{kV}$ 。

电力系统公共供电点由冲击性负荷产生的闪变电压允许值，见表 2-2。

表 2-2 闪变电压允许值（据 GB 12326—2000）

系统电压等级	LV	MV	HV
P_{st}	1.0	0.9 (1.0)	0.8
P_{lt}	0.8	0.7 (0.8)	0.6

- 注 1. 短时间闪变值 P_{st} 和长时间内变值 P_{lt} 每次测量周期分别取为 10min 和 2h。
 2. 括号中的值仅适用于公共连接点 PCC 连接的所有用户为电压级的用户场合。

(4) 高次谐波。供电系统中高次谐波的严重程度用单次谐波含有率和总谐波畸变率表示。第 h 次谐波电压含有量 HRU_h 和第 h 次谐波电流含有率 HRI_h 按下式计算

$$URU_h = U_h / U_1 \times 100\%$$

$$HRI_h = I_h / I_1 \times 100\%$$

式中 U_h ——第 h 次谐波电压（方均根值）；

U_1 ——基波电压（方均根值）；

I_h ——第 h 次谐波电流（方均根值）；

I_1 ——基波电流（方均根值）。

总谐波畸变率按下式计算：

$$\text{电压总谐波畸变率 } THD_u = U_H / U_1 \times 100\%$$

$$\text{电流总谐波畸变率 } THD_i = I_H / I_1 \times 100\%$$

式中 U_H ——谐波电压总含量 ($= \sqrt{\sum_{h=2}^{\infty} U_h^2}$)；

I_H ——谐波电流总含量 ($= \sqrt{\sum_{h=2}^{\infty} I_h^2}$)。

相电压正弦波畸变率极限值及用户注入电网的谐波电流允许值见表 2-3 和表 2-4。

表 2-3 相电压正弦波畸变率极限值

对用户供电电压 (kV)	总电压正弦波形 畸变率极限值 (%)	各奇、偶次谐波电压正弦波形畸变率极限值 (%)	
		奇次波	偶次波
0.38	5	4	3
6~10	4	3	1.75
35	3	2	1
110	1.5	1	0.5

表 2-4 用户注入电网的谐波电流允许值 (有效值)

对用户供电电压 (kV)	谐波次数及谐波电流允许值 (A)																	
	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19
0.38	53	33	27	61	13	43	9.5	8.4	7.6	21	6.3	18	5.4	4.1	7.1	6.7	4.2	3
6~10	14	10	7.2	12	8.8	8.2	3.6	3.2	4.3	7.9	2.4	6.7	2.1	2.9	2.7	2.5	1.6	1.5
35~63	5.4	3.6	2.7	4.3	2.1	3.1	1.6	1.2	1.1	2.9	1.1	2.5	1.5	0.7	0.7	1.2	4.6	0.6
110 及以上	4.9	3.9	8	4	2	2.8	1.2	1.1	1	2.1	1	3	1.4	1.3	1.2	1.2	1.1	1

(5) 三相不平衡。供电系统的三相不平衡主要由三相负荷不对称所引起的，有短时的，也有持续的。

三相不平衡程度用不平衡系数表示，即

$$\partial U\% = |U_2| / |U_1| \times 100$$

$$\partial I\% = |I_2| / |I_1| \times 100$$

式中， U_2 、 I_2 表示负荷电压及电流。

按 IEC 规定： $\partial U\% \leq 3$ ， $\partial I\% \leq 5$ 。

按 GB/T 15543—1995 规定：电力系统公共连接点的正常不平衡度允许值为 2%，短时不得超过 4%；接于公共连接点的每个用户，引起该点电压不平衡允许值一般为 1.3%。

2-3 我国规定的用电设备、发电机、变压器等元件的额定电压是什么？

根据 GB 156—1993，我国公布的标准额定电压见表 2-5。

表 2-5 我国三相交流电网和电力设备的额定电压 (据 GB 156—1993)

分 类	电力网和用电 设备额定电压	发电机额定电压	电力变压器额定电压	
			一次绕组	二次绕组
低压 (V)	380	400	380	400
	660	690	660	690
高压 (kV)	3	3.15	3 及 3.15	3.15 及 3.3
	6	6.3	6 及 6.3	0.3 及 6.6
	10	10.5	10 及 10.5	10.5 及 11
	—	13.8, 15.75, 18,	13.8, 15.75, 18	—
	—	20, 22, 24, 26	20, 22, 24, 26	—
	35	—	35	38.5
	66	—	66	72.6
	110	—	110	121
	220	—	220	242
	330	—	330	363
500	—	500	550	

以同级电网的额定电压 U_N 为基准, 可以确定系统中各元件的额定电压。

(1) 发电机的额定电压。由于发电机处于电力线路的首端, 所以发电机的额定电压比同级电网的额定电压高 5%, 如表 2-5 中电力网和用电设备额定电压为 10kV, 则发电机额定电压应为 10.5kV。

(2) 电力变压器的额定电压。

1) 电力变压器一次绕组的额定电压: 当变压器与发电机引出端直接相连时, 其一次绕组的额定电压应与发电机的额定电压相同。

当变压器与电网直接相连时, 其一次绕组的额定电压与同级电网的额定电压相同。

2) 电力变压器二次绕组的额定电压: 当变压器二次侧的供电线路距离较短时, 其二次绕组的额定电压比同级电网的额定电压高 5%。

当变压器二次侧的供电线路距离较长时, 其二次绕组的额定电压比同级电网的额定电压应高 10%。

如表 2-5 中, 对 10kV 电网, 变压器一次绕组额定电压可以有 10kV 和 10.5kV 两种, 而二次绕组额定电压可以有 10.5kV 和 11kV 两种。

2-4 电力网中性点运行方式及对应的电压等级有哪些?

电力网中性点运行方式是一个综合性的技术问题, 它和电网的供电可靠性、人身安全、过电压保护、继电保护、通信干扰及接地装置等有关。

在我国分为中性点非有效接地方式和有效接地方式两种。

非有效接地系统包括中性点不接地、经消弧线圈或其他高值阻抗接地的系统。高电阻接地的系统设计应符合 $R_0 \leq X_{c0}$ 的准则, 以限制由于电弧接地故障产生的瞬态过电压。一般采用接地故障电流小于 10A (R_0 是系统的等值零序电阻, X_{c0} 是系统每相的对地分布容抗)。

有效接地系统包括中性点直接接地 (即 500A 以上大接地短路电流系统) 和经低值阻抗接地的系统。低电阻接地的系统为获得快速选择性继电保护所需的足够电流, 一般采用接地故障电流为 100~1000A。对于一般系统, 限制瞬态过电压的准则是 $R_0/X_0 \geq 2$ (其中 X_0 是系统等值零序感抗)。

对应的电压等级是:

(1) 110~500kV 系统应采用有效接地方式, 即系统在各种条件下应使零序与正序电抗之比 (X_0/X_1) 为正值且不大于 3。其零序电阻与正序电抗之比 (R_0/X_1) 为正值且不大于 1。

110kV 及 220kV 系统中变压器中性点直接或经低阻抗接地、部分变压器中性点也可不接地。

330kV 及 500kV 系统中不允许变压器中性点不接地运行。

(2) 3~10kV 不直接连接发电机的系统和 35、66kV 系统当单相接地故障电容电流不超过下列数值时, 应采用不接地方式; 当超过下列数值又需在接地故障条件下运行时, 应采用消弧线圈接地方式:

1) 3~10kV 钢筋混凝土或金属杆塔的架空线路构成的系统和所有 35、66kV 系统, 10A。

2) 3~10kV 非钢筋混凝土或非金属杆塔的架空线路构成的系统、当电压为:

- a) 3kV 和 6kV 时, 30A。
 b) 10kV 时, 20A。
 c) 3~10kV 电缆线路构成的系统, 30A。

(3) 3~20kV 具有发电机的系统, 发电机内部发生单相接地故障不要求瞬时切机时, 如单相接地故障电容电流不大于表 2-6 所示允许值时, 应采用不接地方式, 大于该允许值时, 应采用消弧线圈接地方式, 且故障点残余电流也不得大于该允许值。消弧线圈可装在厂用变压器中性点上, 也可装在发电机中性点上。

表 2-6 发电机接地故障电流允许值

发电机额定电压 (kV)	发电机额定容量 (MW)	电流允许值 (A)	发电机额定电压 (kV)	发电机额定容量 (MW)	电流允许值 (A)
6.3	≤50	4	13.8~15.75	125~200	2
10.5	50~100	3	18~20	≥300	1

注 对额定电压为 13.8~15.75kV 的氢冷发电机为 2.5A。

发电机内部发生单相接地故障要求瞬时切机时, 宜采用高电阻接地方式, 电阻器一般接在发电机中性点变压器的二次绕组上。

(4) 6~35kV 主要由电缆线路构成的送、配电系统, 单相接地故障电容电流较大时, 可采用低电阻接地方式, 但应考虑供电可靠性要求、故障时瞬态过电压、瞬态电流对电气设备的影响, 对通信的影响和继电保护技术要求, 以及本地的运行经验等。

(5) 6kV 和 10kV 配电系统及发电厂厂用电系统, 单相接地故障电容电流较小时, 为防止谐振, 间歇性电弧接地过电压等对设备的损害, 可采用高电阻接地方式。

(6) 220/380V 低压配电系统广泛采用中性点直接接地运行方式, 而且引出有中性线(代号 N) 保护线(代号 PE) 或保护中性线(代号 PEN), 它们的作用是:

1) 中性线: ①用于接用额定电压为相电压的单相用电设备; ②用于传导三相系统的不平衡电流和单相电流; ③减小负荷中性点的电位偏移。

2) 保护线: 是保障人身安全, 防止发生触电事故用的接地线。系统中所有设备的外露可导电部分通过保护线接地, 在设备发生接地故障时减小触电危险。

3) 保护中性线兼有中性线和保护线功能, 通称为零线或地线。

低压配电系统按保护型式可分为 TN、TT 和 IT 系统。



第二节 电气主接线

2-5 电气主接线的主要形式及对电气主接线的基本要求是什么?

(1) 电气主接线的主要形式。电气主接线的主要形式可分为两大类。一类是有母线的主接线; 另一类是无母线的主接线。

1) 有母线的主接线。有母线的主接线可分为单母线、单母线分段和双母线接线三种。单母线接线的优点是简单、清晰、设备少、运行操作方便, 有利于扩建, 但可靠性与灵活性不高。若母线故障或检修, 会造成全部出线停电。它适合于出线回路少的小型变电所, 一般

供三级负荷；而两路电源进线（一用一备，断路器实行操作联锁）可供二级负荷。在图 2-1 (a) 和图 2-1 (b) 中分别表示了此种接线。当出线回路数增多且有两路电源进线时，可用断路器将母线分段，成为单母线分段接线，它可提高供电的可靠性和灵活性。图 2-1 (c) 表示了此种接线。正常时，分段断路器可合也可开断运行，两路电源进线一用一备时，分段断路器接通，此时，任一段母线故障，分段与故障段断路器都会在继电保护作用下自动断开。故障段母线切除后，非故障段可以继续工作。当两路电源同时工作互为备用时，分段断路器则断开，若任一电源故障，电源进线断路器自动断开，分段断路器自动投入，保证继续供电。

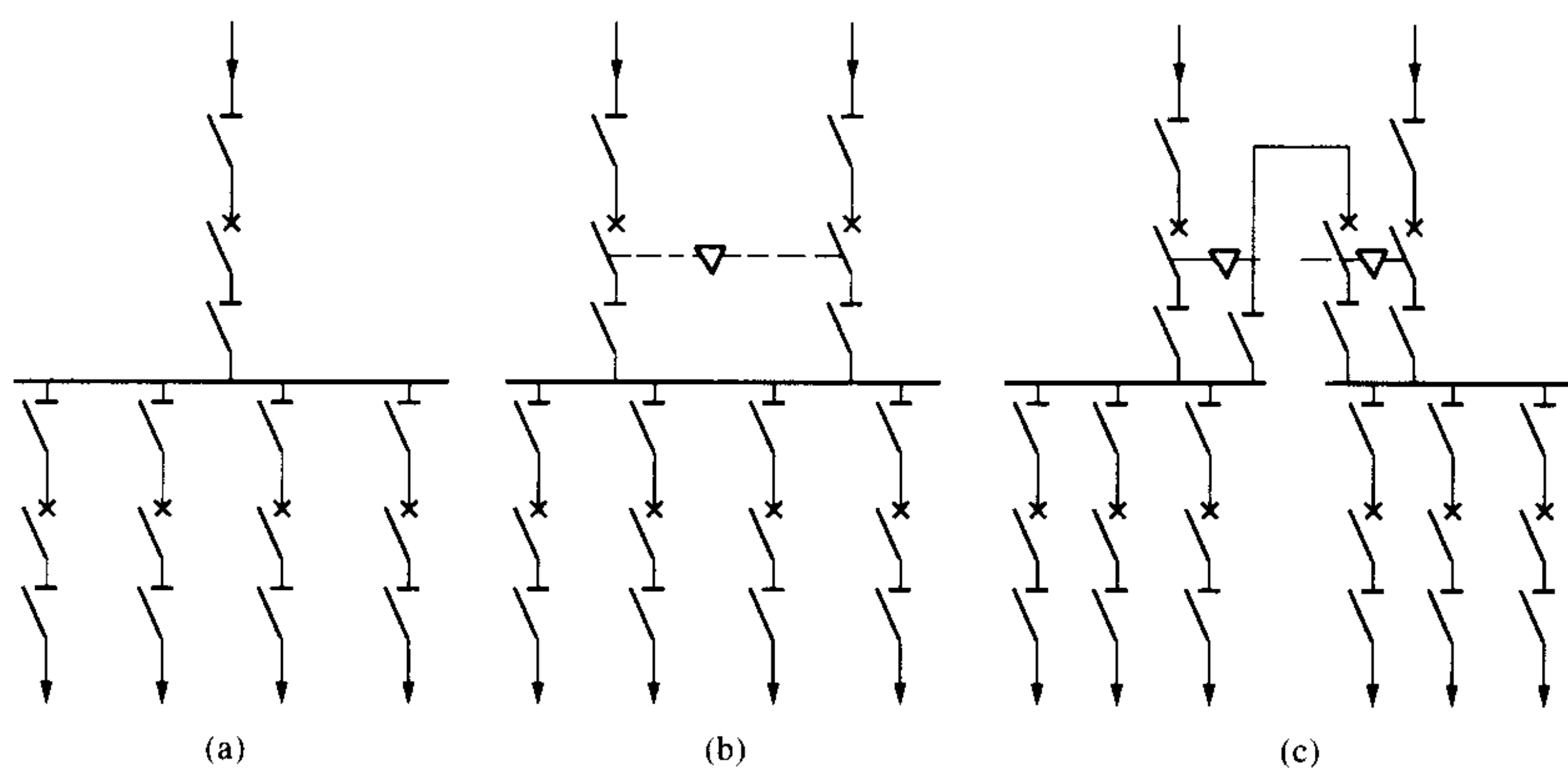


图 2-1 单母线及单母线分段接线

(a) 单母线一路进线；(b) 单母线两路进线；(c) 单母线分段两路进线

在图 2-2 中表示了双母线的情况，它是针对单母线分段接线在母线检修时会造成该段母线的出线停电的缺点而提出的。这种接线每一回路都通过一台断路器和两组隔离开关连到两组母线。两组母线间通过母线联络断路器（简称母联）连接起来。其优点是：

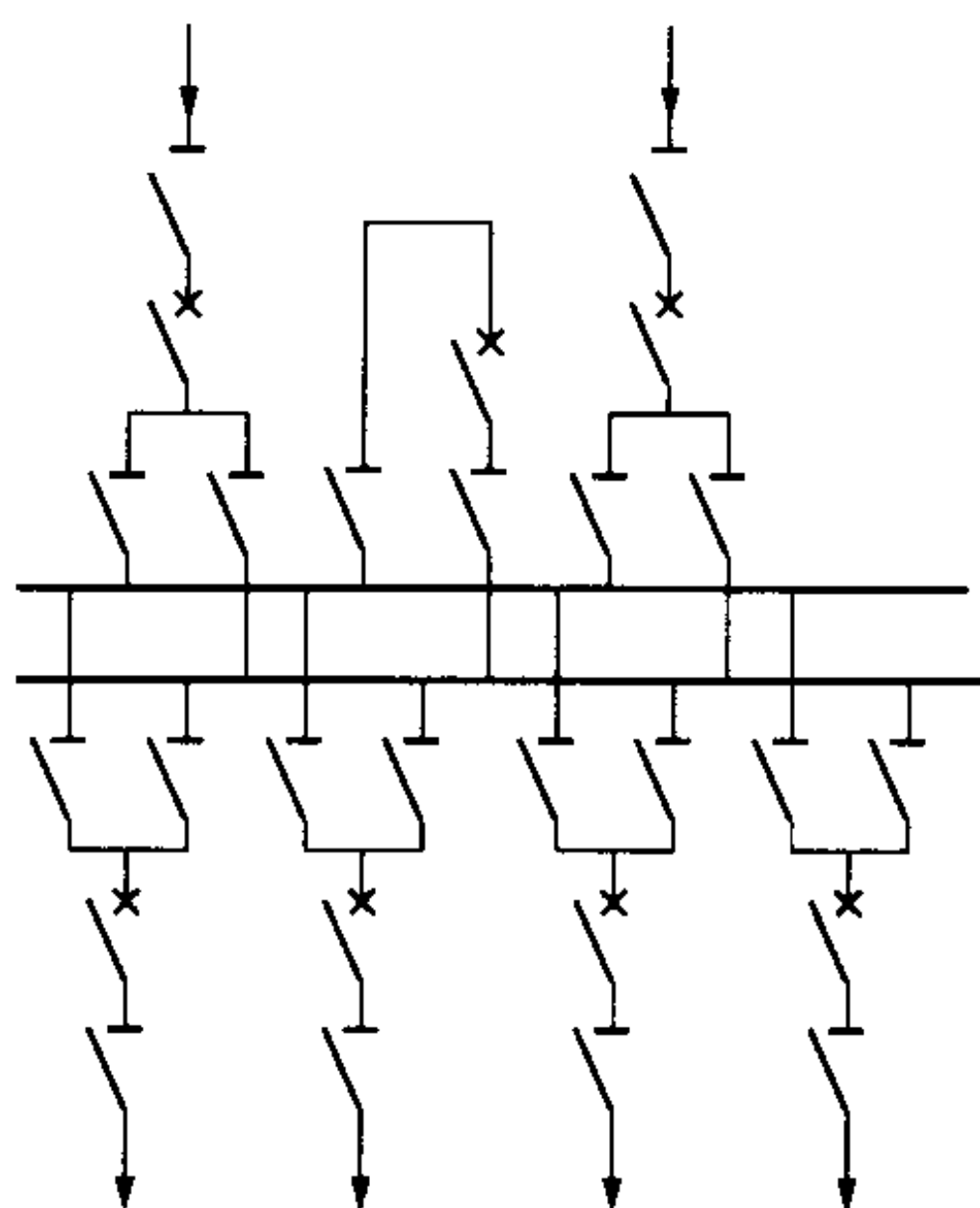


图 2-2 双母线接线

a) 可以轮流检修母线而不会中断供电，可用倒闸操作来实现切换。

b) 调度灵活、各电源和各负荷回路可任意分到某一母线上。

c) 有利于扩建和便于试验。

在图 2-3 中，还表示了带旁路母线的接线。在单母线和分段单母线或双母线的 35~110kV 主接线中，当不允许停电检修断路器时，可设置旁路母线。

2) 无母线的主接线。无母线的主接线有线路—变压器组单元接线和桥式接线两种。

在图 2-4 中表示了线路—变压器组单元接线的几种形式。

它适于一路电源进线且只有一台主变压器的小型变电所，其可靠性不高，只可供三级负荷。采用环网供电时，可供少量二级负荷；当有双路电源进线和两台主变压器时，可采用双回路—变压器单元接线，再加二次侧的单母线分段，其可靠性就提

高了,可供一、二级负荷,见图 2-4 (e)。

在图 2-5 中表示了桥式接线,有内、外桥两种,其接线简单,设备少,造价低,有一定的可靠性,广泛用于 35~110kV 的变电所中,但由于操作不便,不适合于 10kV 以下的变电所。

内桥式和外桥式接线的区别是:内桥式适用于电源线路较长,变压器不需要经常切换操作的情况;而外桥式则适用于电源线路较短,变压器需经常切换操作的情况。这主要是与其投入和切除时的操作的简便与否有关。

(2) 对电气主接线的基本要求。

1) 可靠性。根据《火力发电厂设计规程》(DL 5000—2000)和《35~110kV 变电所设计规程》(GB 50059—1992)及《10kV 及以下变电所设计规程》(GB 50053—1994)的规定。变(配)电所的主接线方式应按其在电力系统中的地位、负荷重要性、出线回路数、设备特点、配电装置形式等条件来确定。

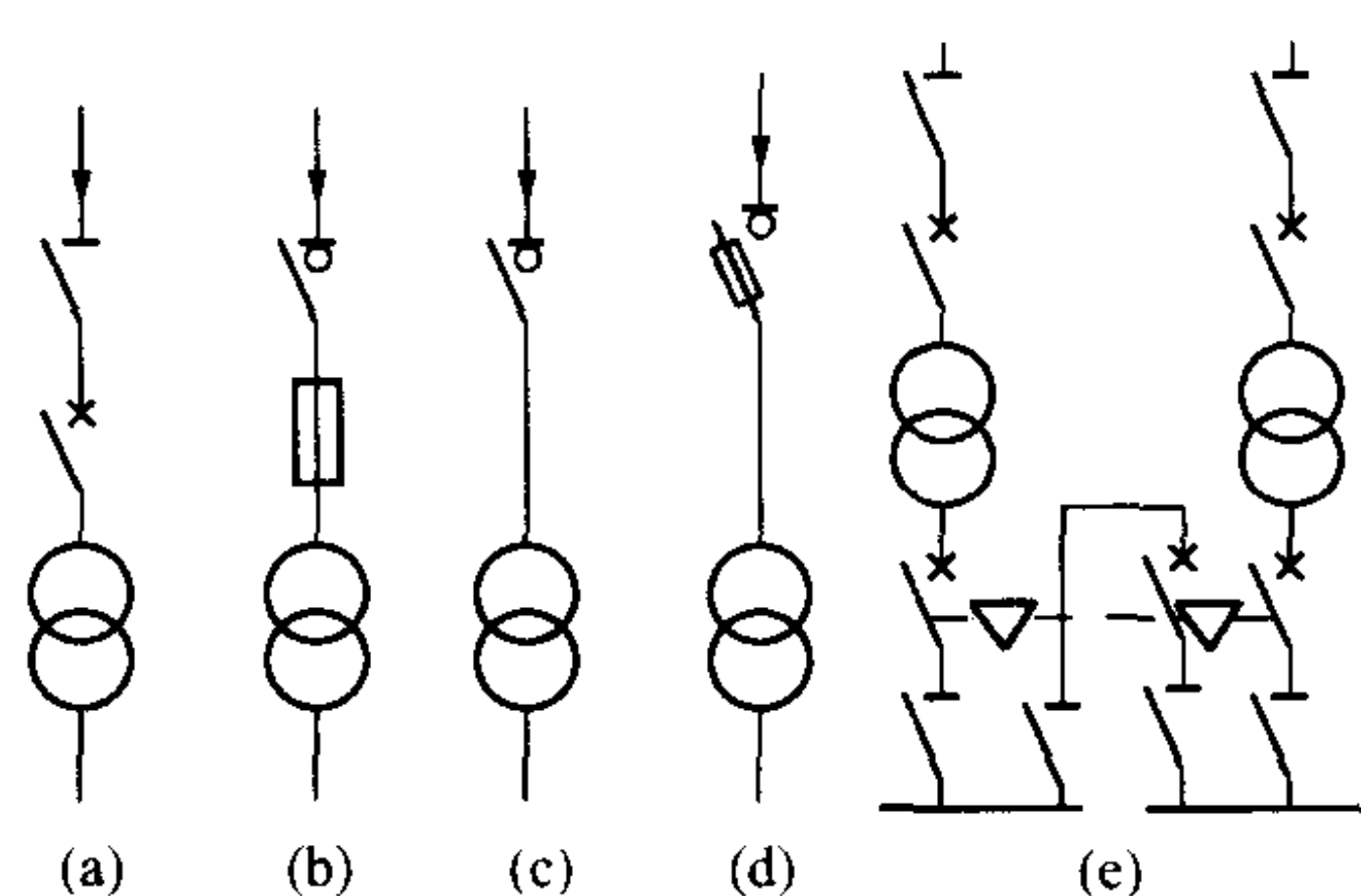


图 2-4 线路—变压器组单元接线

- (a) 变压器高压侧设断路器和隔离开关;
 (b) 负荷开关与熔断器组合代替断路器;
 (c) 负荷开关无保护装置;(d) 户外跌落式熔断器;(e) 双回线路—变压器组单元接线

2) 灵活性。投切变压器、断路器的操作要可靠方便调度灵活,同时考虑初期接线到最终接线的过渡。

3) 经济性。通过技术经济方案比较,做到投资少,占地面积小,电能损耗少。

2-6 各种主接线中主要电气设备的配置原则是什么?

在变(配)电所中的主要电气设备包括主变压器、断路器、隔离开关、负荷开关、熔断器、避雷器、电流和电压互感器等,有关主变压器的配置原则将在第四章中阐述,有关其他主要设备的配置也将有关章节中阐述,这里主要是阐述和电气主接线相关的配电设备配置原则。

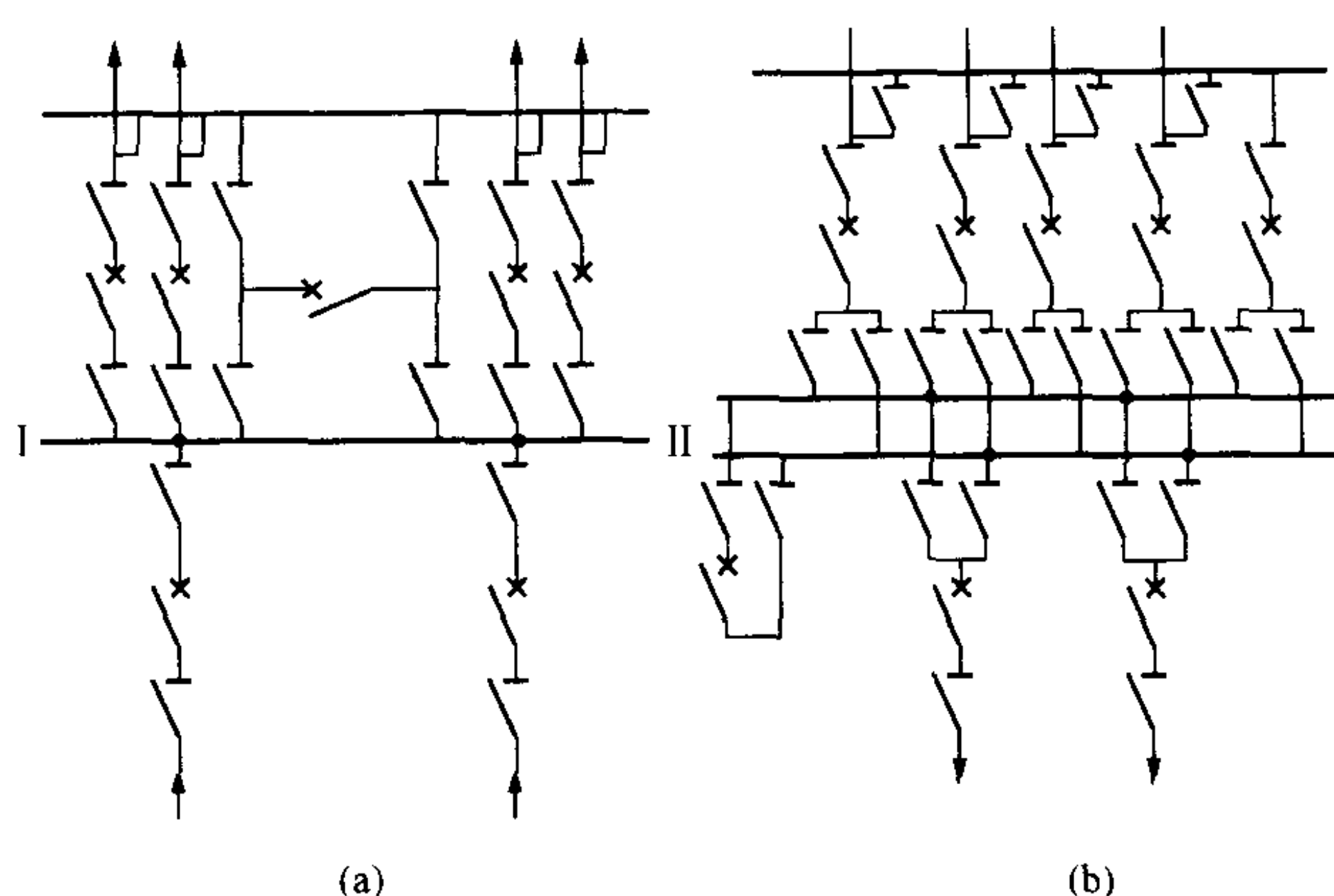


图 2-3 旁路母线接线

- (a) 分段兼旁路断路器;(b) 专用旁路断路器

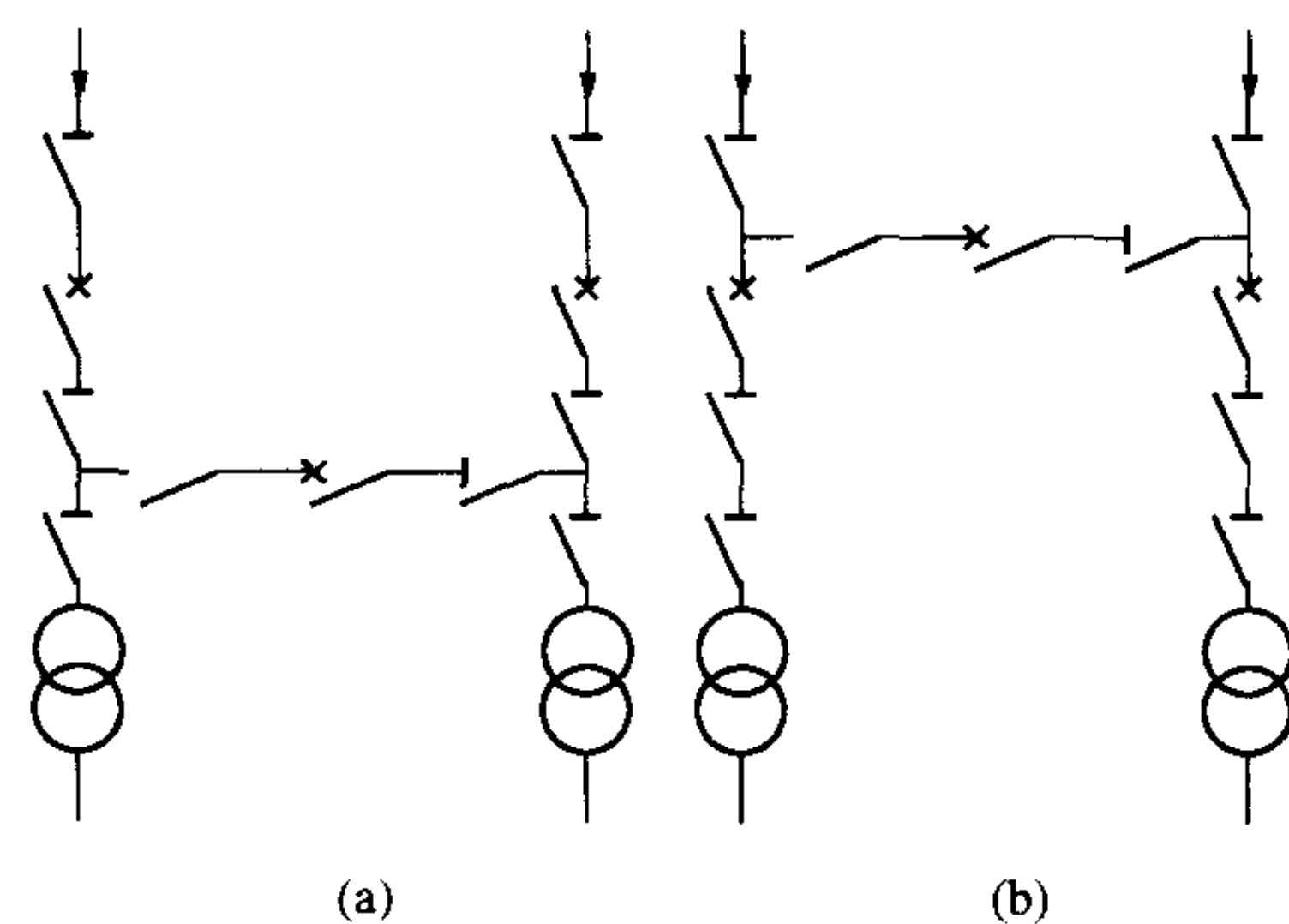


图 2-5 桥式接线

- (a) 内桥式;(b) 外桥式

配置原则的根据是有关国标规范。

(1) 35~110kV 变电所中主要电气设备配置原则。

1) 当能满足运行要求时, 变电所高压侧宜采用断路器较少或不用断路器的接线。

2) 35~110kV 线路为两回及以下时, 宜采用桥形、线路变压器组或线路分支接线。超过两回时, 宜采用扩大桥形、单母线或分段单母线接线。35~63kV 线路为 8 回及以上时, 亦可采用双母线接线。110kV 线路为 6 回及以上时, 宜采用双母线接线。

3) 在采用单母线、分段单母线或双母线的 35~110kV 主接线中, 当不允许停电检修断路器时, 可设置旁路设施。

4) 当有旁路母线时, 首先宜采用分段断路器或母联断路器兼作旁路断路器的接线。110kV 线路为 6 回及以上, 35~63kV 线路为 8 回及以上时, 可设专用旁路断路器。主变压器 35~110kV 回路中的断路器, 有条件时亦可接入旁路母线。采用 SF₆ 断路器的主接线不宜设旁路设施。

5) 当变电所装有两台主变压器时, 6~10kV 侧宜采用分段单母线。线路为 12 回及以上时, 亦可采用双母线。当不允许停电检修断路器时, 可设旁路设施。

6) 当 6~35kV 配电装置采用手车式高压开关柜时, 不宜设旁路设施。

7) 配、变电所中的高、低压母线, 一般采用单母线或单母线分段。车间变电所的变压器, 一般均分列运行。

8) 接在母线上的避雷器和电压互感器, 可合用一组隔离开关。对接在变压器引出线上的避雷器或架空进出线上的避雷器不宜装设隔离开关。

(2) 10kV 及以下变电所中主要电气设备配置原则。

1) 配、变电所高低压母线宜采用单母线或分段单母线接线。当供电连续性要求很高时, 高压母线可采用分段单母线带旁路母线或双母线接线。

2) 配电所专用电源线的进线开关宜采用断路器或带熔断器的负荷开关。当无继电保护和自动装置要求, 且出线回路少无需带负荷操作时, 可采用隔离开关或隔离触头。

3) 从总配电所以放射式向分配电所供电时, 该分配电所电源进线开关宜采用隔离开关或隔离触头。当分配电所需要带负荷操作或继电保护, 自动装置有要求时, 应采用断路器。

4) 配电所的 10kV 或 6kV 非专用电源线的进线侧, 应装带保护的开关设备。

5) 10kV 或 6kV 母线的分段处宜装断路器, 当不需带负荷操作且无继电保护和自动装置要求时, 可装隔离开关。

6) 两配电所间的联络线, 应在供电侧的配电所装断路器, 另侧装隔离或负荷开关; 当两侧供电可能性相同时, 应在两侧均装断路器。

7) 配电所引出线宜装断路器, 当满足继电保护和操作要求时, 可装带熔断器的负荷开关。

8) 向频繁操作的高压用电设备供电的出线开关兼做操作开关时, 应采用具有频繁操作性能的断路器。

9) 10kV 或 6kV 固定式配电装置出线侧, 在架空出线回路或有反馈可能的电缆出线回路中, 应装线路隔离开关。

10) 采用 10kV 或 6kV 熔断器负荷开关固定式配电装置时, 应在电源侧装隔离开关。

11) 接在母线上的避雷器和电压互感器, 宜合用一组隔离开关。变、配电所架空进出线的避雷器, 可不装隔离开关。

12) 由地区电网供电的配电所电源进线处, 宜装计费用的专用电压互感器、电流互感器。

13) 变压器一次侧开关。以树干式供电时, 应装带保护的开关设备或跌落式熔断器; 以放射式供电时, 宜装隔离开关或负荷开关。变压器在本配电所内时, 可不装开关。

14) 变压器二次侧为 6kV 或 3kV 的总开关, 可采用隔离开关, 当出线回路多, 有并列运行要求, 有继电保护和自动装置要求之一者应装断路器。

15) 变压侧低压侧为 0.4kV 的总开关, 宜采用低压断路器或隔离开关。有继电保护自动切换电源要求时, 总开关和母线分段开关均用低压断路器。

16) 低压母线为双电源, 变压器低压侧总开关和母线分段开关采用低压断路器时, 在总开关出线侧及母线分段开关两侧, 宜装刀开关或隔离触头。

2-7 供配电系统中有哪些限制短路电流的方法?

短路电流的大小主要和等效短路阻抗有关, 短路阻抗越大, 短路电流就越小, 反之, 就越大。为此, 我们主要从短路阻抗的增大着手来限制短路电流。另外, 短路电流计算用的基准电流和基准电压成反比, 因此, 也可从提高电压等级着手来限制短路电流。

限制短路电流的方法有下列几种:

(1) 对于电力系统:

- 1) 提高电力系统的电压等级。
- 2) 实行解环运行, 分割系统, 分割母线, 改变电网结构。
- 3) 增大零序阻抗, 限制单相短路电阻。

(2) 对于变电所:

- 1) 变压器分列运行。
- 2) 在变压器回路中装电抗器。
- 3) 用低压侧为分裂绕组的变压器。
- 4) 采用高阻抗变压器。
- 5) 主接线采用母线分段的方式。
- 6) 出线上装电抗器。

这里, 我们主要说明下列问题:

(1) 加限流电抗器。

1) 普通的限流电抗器。这种电抗器装在引出线(串联)或母线分段联络线(串联)处, 也可装在变压器和低压母线间。一般, 线路用电抗器的电抗为 3%~6%, 母线用电抗器电抗为 8%~10%, 母线用电抗器可以限制从本段母线流向短路母线的电流, 亦提高剩余电压。

2) 分裂电抗器。这种电抗器和普通电抗器相比, 在短路时其限流作用和普通电抗器一样, 而在正常时其电压损失只有普通电抗器的 1/2, 且可以多供一路出线, 减少电抗器数量。其基本原理是: 正常时 $X_2 = X_L - X_m = (1 - m) X_L$ (式中, X_2 为分裂电抗器电抗, X_L 为分支自感抗, X_m 为互感抗, m 为耦合系数, 一般为 0.5), 则 $X_2 = 0.5 X_L$, 而短路时(例如分支、短路), 其短路电抗为 X_L 。

(2) 用分裂低压绕组变压器。这种变压器和一般的三绕组变压器是不同的。它的低压绕

组是两个分裂绕组，高压绕组由两部分并联的不分裂的绕组组成，两个分裂的低压绕组各和高压的并联绕组对立的磁耦合，其容量相等，没有电的联系。根据耦合方式，我们定义 X_c 为穿越阻抗， $X_c = X_1 + \frac{X_2}{2}$ ； X_b 为半穿越阻抗， $X_b = X_1 + X_2$ ； X_f 为分裂阻抗， $X_f = 2X_2$ ； K_f 为分裂系数， $K_f = X_f / X_c$ 。因此， $X_2 = \frac{X_f}{2} = K_f X_c / 2$ ， $X_1 = X_c - \frac{X_2}{2} = \left(1 - \frac{K_f}{4}\right) X_c$ 。 K_f 越大，限流能力就越强，一般 $K_f = 3.5$ ，当 X_c 和同容量双绕组变压器的电抗 X_d 相等时，（即 $X_c = X_d$ ），其分裂阻抗 $X_f = 3.5X_d$ ，半穿越阻抗 $X_b = \left(1 + \frac{K_f}{4}\right) X_d$ ，从而取得短路电抗大而正常电抗小的效果。

第三節 短 路 电 流 计 算

2-8 短路电流计算有哪些项目？

短路电流计算包括下列项目：

- (1) 根据电气一次接线，对各元件的阻抗进行计算，并绘制出阻抗图。
- (2) 对阻抗图进行网络变换。
- (3) 计算三相短路电流周期分量。
- (4) 计算三相短路电流非周期分量。
- (5) 计算冲击电流和全电流。
- (6) 计算不对称短路电流。
- (7) 计算短路热效应。
- (8) 计算电动机的反馈电流。

2-9 短路电流计算的近似条件是什么？

短路电流计算的近似条件是：

- (1) 所有电源的电动势相位角相同，电流的频率相同，短路前，电力系统的电动势和电流是对称的。
- (2) 认为变压器是理想变压器，变压器的铁是处于不饱和状态，电抗值不随电流变化而变化。
- (3) 输电线路的分布电容略去不计。
- (4) 每个电压级采用平均额定电压，但对电抗器应采用其端点的实际额定电压。
- (5) 高压电网计算短路电流时，一般只计算元件电抗。（采用标么制计算），而低压电网计算短路电流时，一般应考虑电路电阻（采用欧姆制计算）。

2-10 计算短路电流的目的是什么？什么是无限大容量电源供电和有限容量电源供电系统？

计算短路电流的目的是正确选择和校验电气设备和保护装置。三相短路电流是其基本依据，在检验继电保护的灵敏度时，还应计算不对称短路电流，在校验电气设备和导体的动、热稳定时，还应计算短路冲击电流、稳态短路电流等。

所谓无限大容量电源供电系统是指电源容量为无限大的电力系统,此时,当某处发生短路时,电源母线上的电压维持不变。即短路电流周期分量在整个短路过程中不衰减,当用户的负荷量远小于供电容量或电力系统阻抗不大于短路回路阻抗的5%~10%时,或以供电电源总容量为基准的短路电流总阻抗标么值大于等于3时,则按无限大容量系统考虑。反之,则按有限容量来考虑。而有限容量电源系统的电源母线电压在短路时的过渡过程不能恒定,短路周期分量将变化,它与发电机的自动调压装置有关。

2-11 短路电流的物理量的定义和关系是什么?

(1) 短路电流周期分量(交流分量) i_p

$$i_p = I_{k.m} \sin(\omega t - \phi_k)$$

由于 $X_\Sigma \gg R_\Sigma$, $\phi_k = \arctan(X_\Sigma/R_\Sigma) \approx 90^\circ$

当 $t=0$ 时, $i_{p(0)} = -I_{k.m} = -\sqrt{2}I''$

I'' 为短路次暂态(超瞬变)电流有效值,它是短路后第一个周期的短路电流周期分量 i_p 的有效值。

在无限大容量系统中,由于系统母线电压不变,故周期分量有效值 I_k ,在全过程中保持不变,即 $I'' = I_\infty = I_k$ 。

(2) 短路电流周期分量在短路后 0.2s 的有效值以 $I_{k0.2}$ 表示。

(3) 短路全电流最大有效值(即第一周期短路全电流有效值) $I_{k(t)}$

$$i_k = i_p + i_{np}$$

式中 i_p ——短路电流周期分量;

i_{np} ——短路电流非周期分量 ($i_{np} = I_{k.m} e^{-t/\tau} = \sqrt{2}I'' e^{-t/\tau}$)。

τ 为短路电路的时间常数,和电路电阻有关 ($\tau = X_\Sigma/314R_\Sigma$)。

$$I_{k(t)} = \sqrt{I_{p(t)}^2 + i_{np(t)}^2}$$

(4) 短路冲击电流(即短路电流的最大瞬时值) i_{sh} 。 i_k 在半周期(0.01s)时达到最大值

$$i_{sh} = i_{p(0.01)} + i_{np(0.01)} \doteq \sqrt{2}I''(1 + e^{-0.01/\tau}) = k_{sh} \sqrt{2}I''$$

k_{sh} 为短路电流冲击系数, $k_{sh} = 1 + e^{-0.01/\tau} = 1 + e^{-\pi R_\Sigma/X_\Sigma}$

用有效值表示 $I_{sh} = \sqrt{I_{p(0.01)}^2 + I_{np(0.01)}^2} \doteq I'' \sqrt{1 + 2(k_{sh} - 1)^2}$

其中 $1 \leq k_{sh} \leq 2$ 。

在供电工程设计中,对高压电网发生

三相短路(一般 $R_\Sigma \leq \frac{1}{3} X_\Sigma$)可取 $k_{sh} =$

1.8, $i_{sh} = 2.55I''$, $I_{sh} = 1.51I''$;对低压电

网发生三相短路(一般 $R_\Sigma > \frac{1}{3} X_\Sigma$)可取

$k_{sh} = 1.3$, $i_{sh} = 1.84I''$, $I_{sh} = 1.09I''$ 。

在图 2-6 中表示了冲击系数 k_{sh} 与此值 X_Σ/R_Σ 的关系曲线。

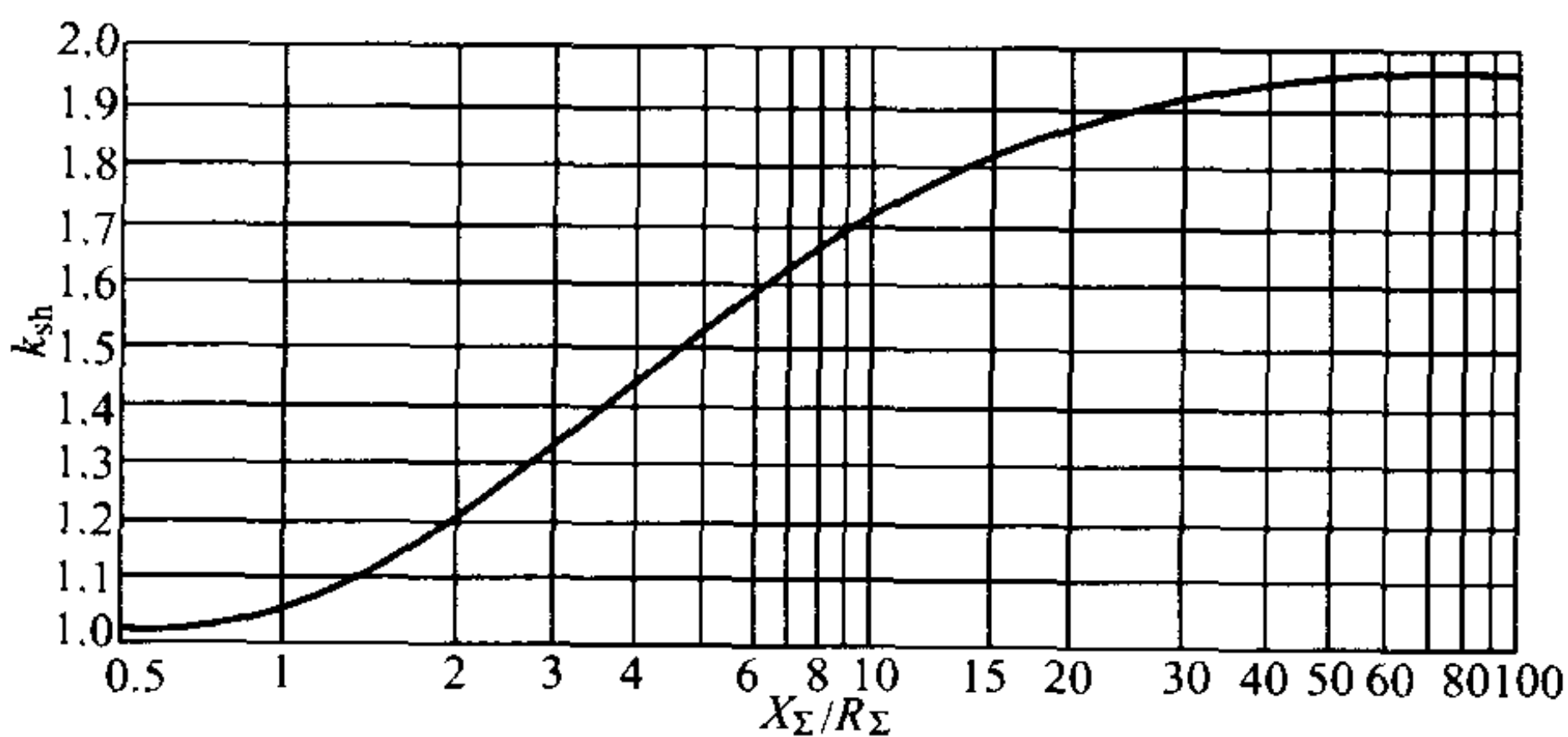


图 2-6 冲击系数 k_{sh} 与比值 X_Σ/R_Σ 的关系曲线

2-12 无限大容量电源供电的高（中）压电网的三相短路电流是如何计算的？

由于在发生三相短路时，对无限大容量电源供电系统而言，母线电压不变，故短路电流的周期分量的幅值及有效值也是不变的。即

$$I_k^{(3)} = U_c / \sqrt{3} |Z_\Sigma| = U_c / \sqrt{3} \sqrt{R_\Sigma^2 + X_\Sigma^2}$$

式中， $U_c = 1.05U_N$ (U_N 为额定电压)，因 $X_\Sigma \gg R_\Sigma$ ，故 $I_k^{(3)} = U_c / \sqrt{3} X_\Sigma$ 。

由此可见计算短路电流就是计算 X_Σ ，计算 X_Σ 对高（中）压电网一般采用标么制法。在使用标么制法计算时，应选定基准容量 ($S_j = 100\text{MVA}$) 和基准电压 ($U_j = U_c = 1.05U_N$, kV) 由此可得基准电流 I_j 和基准电抗 X_j

$$I_j = S_j / \sqrt{3} U_j$$

$$X_j = U_j / \sqrt{3} I_j = U_c^2 / S_j$$

然后对各元件参数换算到选定的基准值下的标么值，即

$$U^* = U / U_j$$

$$S^* = S / S_j$$

$$I^* = I / I_j = I \sqrt{3} U_j / S_j$$

$$X^* = X / X_j = X S_j / U_j^2$$

各元件电抗标么值如下。

1) 电力系统电抗标么值。电力系统的电抗，可由电力系统变电所高压馈电线出口处的短路容量 S_k 来计算

$$X_s^* = X_s / X_j = \frac{U_c^2 / S_k}{U_c^2 / S_j} = S_j / S_k$$

S_k 一般由电力系统有关部门提供，当 S_k 未知时，也可由其出口处断路器的断流容量 S_{oc} 代替。

2) 电力线路电抗标么值。

$$X_{wL}^* = X_{wL} / X_j = x_0 L S_j / U_c^2$$

式中 L ——线路长度，km；

x_0 ——线路单位长度电抗（见表 2-7）， Ω/km 。

表 2-7 用于计算不要求十分精确的情况，如要求精确可查阅设计手册。

表 2-7 高（中）压线路每千米电抗近似值

线路种类	额定电压 U_N (kV)	电抗 X (Ω/km)	$S_j = 100\text{MVA}$ 时的 X^*
电缆线路	6	0.07	0.176
	10	0.08	0.073
架空线路	6	0.35	0.882
	10	0.35	0.317
	35	0.4	0.029
	110	0.4	0.003

注 计算 X^* 时采用 U_j 分别为 6.3、10.5、3.7、115kV。

3) 电力变压器的电抗标幺值。其标幺值 X_T^* 可由变压器的阻抗电压 $U_k\%$ 近似计算得到

$$X_T^* = X_T/X_j = U_k\% \times S_j/100S_{NT}$$

S_{NT} 为变压器的额定容量 (kVA)。

例如：某电力变压器额定容量 $S_{NT}=1000\text{kVA}$ $S_j=100\text{MVA}$ ，其 $U_k\%=5$

则 $X_T^* = U_k\% S_j/100S_{NT} = 5 \times 100 \times 10^3 \text{kVA}/100 \times 1000 \text{kVA} = 5$

以上公式为三相双线圈变压器的计算公式，在表 2-8 中列出了某些三相双线圈电力变压器的电抗标幺值。

表 2-8 三相双线圈电力变压器电抗标幺值

变压器容量 (kVA)	阻抗电压 (%)	$S_j=100\text{MVA}$ 时 电抗标幺值	变压器容量 (kVA)	阻抗电压 (%)	$S_j=100\text{MVA}$ 时 电抗标幺值
10/0.4kV			35/10.5kV		
125~500	4.0	32~8	1000~2500	6.5	6.5~2.6
630	4.0~5.0	6.35~7.94	3150~5000	7.0	2.22~1.40
800	4.5~6.0	5.62~7.5	5000~10000	7.5	1.50~0.75
1000	4.5~6.0	4.5~6.0	16000	8.0	0.5
1250	4.5~6.0	3.6~4.8	20000	8.0	0.4
1600~2500	6.0	3.75~2.4			

对于三相三线圈的电力变压器可用下式计算

$$X_1\% = \frac{1}{2}(U_{k12}\% + U_{k13}\% - U_{k23}\%)$$

$$X_2\% = \frac{1}{2}(U_{k12}\% + U_{k23}\% - U_{k13}\%)$$

$$X_3\% = \frac{1}{2}(U_{k13}\% + U_{k23}\% - U_{k12}\%)$$

$$X_{T1}^* = \frac{X_1}{100} \frac{S_j}{S_{NT}}$$

$$X_{T2}^* = \frac{X_2}{100} \frac{S_j}{S_{NT}}$$

$$X_{T3}^* = \frac{X_3}{100} \frac{S_j}{S_{NT}}$$

例如：某三相三线圈电力变压器，额定容量为 20MVA，阻抗电压百分比为： $U_{k12}=17\%$ ； $U_{k13}=10.5\%$ ； $U_{k23}=6\%$ （升压型）求 X_{T1}^* 、 X_{T2}^* 、 X_{T3}^*

$$X_1 = \frac{1}{2}(U_{k12} + U_{k13} - U_{k23}) = \frac{1}{2}(17 + 10.5 - 6) = 10.75\%$$

$$X_2 = \frac{1}{2}(U_{k12} + U_{k23} - U_{k13}) = \frac{1}{2}(17 + 6 - 10.5) = 6.25\%$$

$$X_3 = \frac{1}{2}(U_{k13} + U_{k23} - U_{k12}) = \frac{1}{2}(10.5 + 6 - 17) = -0.25\%$$

则得

$$X_{T1}^* = \frac{10.75}{100} \times \frac{100\text{MVA}}{20\text{MVA}} = -0.538$$

$$X_{T2}^* = \frac{6.25}{100} \times \frac{100\text{MVA}}{20\text{MVA}} = 0.312$$

$$X_{T3}^* = -\frac{0.25}{100} \times \frac{100\text{MVA}}{20\text{MVA}} = -0.0125 \approx 0$$

4) 电抗器的电抗标么值。有限流和分裂电抗器两种，下面仅列常用的限流电抗器的计算式。

$$X_L = X_c \% U_{NL} / 100 \sqrt{3} I_{NL}$$

$$X_L^* = X_c \% U_{NL} S_j / 100 \sqrt{3} I_{NL} U_j^2$$

式中 U_{NL} , I_{NL} ——电抗器的额定电压和电流。

例如：限流电抗器的额定电压和电流为 10kV 和 500A 百分电抗为 10%，求电抗标么值。

$$X_L = X_c \% U_{NL} / 100 \sqrt{3} I_{NL} = 10 \times 10\text{kV} / 100 \sqrt{3} \times 500\text{A} = 1.1547$$

$$X_L^* = \frac{X_L}{X_j} = X_L \frac{S_j}{U_j^2} = 1.1547 \times \frac{100 \times 10^6 \text{VA}}{110.25 \times 10^6 \text{V}^2} = 1.047$$

5) 异步电动机的电抗标么值

$$X_d'' = 1/K_{qd}$$

$$X_d^* = X_d'' \times \frac{S_j}{S_{ed}}$$

式中 K_{qd} ——起动电流倍数；

U_p ——电动机电压 $\times 1.05\text{kV}$ ；

S_{ed} ——电动机容量，MVA。

例如：某异步电动机的起动电流倍数为 6.41，额定电压为 6kV，额定容量为 556kVA，求该电动机的电抗标么值 ($S_j = 100\text{MVA}$)。

$$X_d'' = 1/6.41 = 0.156$$

$$X_d^* = 0.156 \times \frac{100}{0.556} = 28.06$$

6) 发电机的电抗标么值。发电机的阻抗参数由制造厂提供，即超瞬变电抗值（以%表示），在近似计算中，可采用下列平均值

汽轮发电机 0.125

水轮发电机（有阻尼绕组） 0.20

水轮发电机（无阻尼绕组） 0.27

其标么值为

$$X_f^* = \frac{X_f \%}{100} \times \frac{S_j}{S_f}$$

式中 S_f ——发电机额定容量，MVA。

例如：某汽轮发电机额定容量为 15MVA，额定电压为 10kV，其次暂态电抗为 12.21%，求其电抗标么值。

$$X_f^* = \frac{12.21}{100} \times \frac{100}{15} = 0.814$$

在上述计算电抗的基础上，可画出等值电抗电路，然后进行网络变换，最后求出电抗标么值 X_{Σ}^* ，则由下式求得三相短路电流： $I'' = I_{0.2} = I_{\infty} = I_j / X_{\Sigma}^*$ (I_j 为基准电流， $I_j = S_j / \sqrt{3} U_j$)。

2-13 有限容量电源供电的高(中)压电网的三相短路电流是如何计算的?

由于在有限容量电源供电系统中发生短路时,电源母线上的电压在短路发生后整个过渡不能维持恒定,短路电流的周期分量随着变化。电源的内阻抗不能忽略不计。而短路电流的变化与发电机参数及自动电压调整器特性有关。在工程上采用查计算曲线的办法来求得次暂态短路电流。而查曲线的应注意横坐标为计算电抗,即为发电机支路的等值电抗换算到以发电机容量为基准的计算电抗。

在用运算曲线时应注意:

- 1) 横坐标 $X_{*js} = X''_{*d} + X_{*w}$ 是以发电机额定容量 S_{eZ} 为基准容量的计算电抗。
- 2) 纵坐标 I_{*z} 是短路电流周期分量的有效值的标么值。其基准值是发电机的额定总电流。
- 3) 汽轮发电机曲线是以励磁线圈时间常数 T 为 7s 绘制的;水轮发电机的曲线是以 5s 绘制的,如果实际的 T 不是上述数值时,则应进行修正,即 $t' = t \frac{T_1}{T}$ (其中 T_1 为标准型曲线的, T' 为实际的发电机时间常数)。

在图 2-7 (a)、(b) 中表示了具有自动电压调整器的标准型发电机的计算曲线。当 $X_{*js} \geq 3$ 时,则按无限容量系统计算。

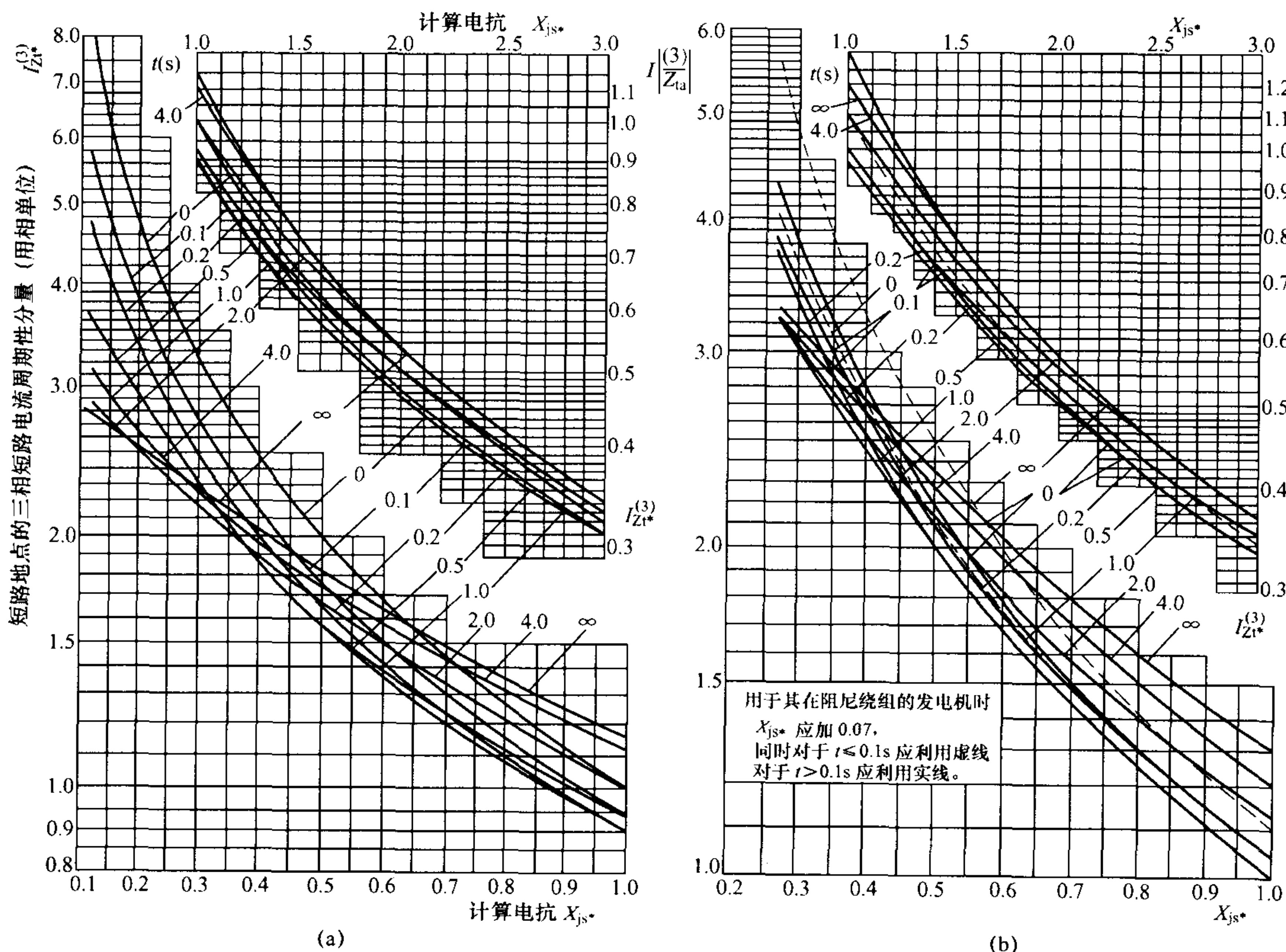


图 2-7 发电机运算曲线
(a) 汽轮发电机; (b) 水轮发电机

2-14 多个电源供电的三相短路电流是如何计算的?

在计算参数不相等的多个电源供电的短路电流时,应将参数相近的电源合并,分成几个等效电源组,然后分别算出各等效电源组所提供的短路电流,最后将其相加即为总的短路电流。

为了使读者便于理解,下面举例说明采用分布系数法计算多电源供电的短路电流的计算方法。

在图 2-8 中,电源 1 和 2, 3 和 4 参数相近,为有限容量电源;电源 5 为无限容量电源。

(1) 先将 X''_d 和外电抗 X_w 归算到 $S_j = 100\text{MVA}$ 的标么值,并合并为一个等效电抗 X_* 。

(2) 将电源 1 和 2 合并为 $S_{\Sigma 1}$, 3 和 4 合并为 $S_{\Sigma 2}$, 电抗 X_{*1} 和 X_{*2} 合并为 X_{*11} ; X_{*3} 和 X_{*4} 合并为 X_{*21} 。

(3) 消去公共支路电抗 X_{*6} , 求出各电源至短路点 d 的等值电抗。消去的方法是采用分布系数,即 $X_{*12} = X_{*\Sigma} / C_1$, $X_{*22} = X_{*\Sigma} / C_2$, $X_{*52} = X_{*\Sigma} / C_3$ 。

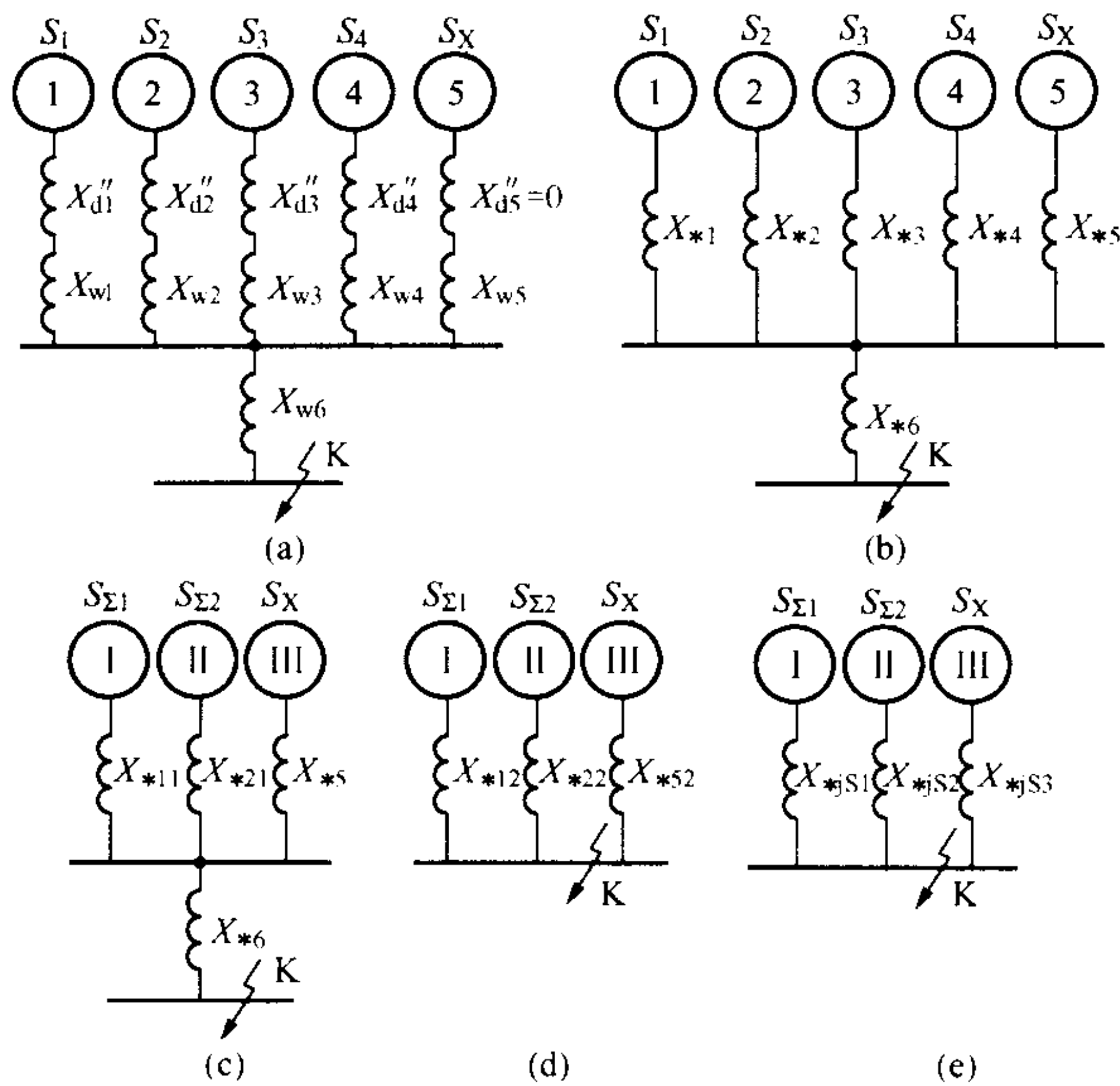


图 2-8 多电源供电系统

(a) 原电抗网络; (b) 按同一基准容量归算后的电抗网络;
(c) 按参数条件分组合并后的电抗网络; (d) 消去公共支路电抗后的等值网络; (e) 按各支路电源总容量归算后的等值电抗网络

其中, $X_{*\Sigma}$ 为短路电路总电抗, $X_{*\Sigma} = \frac{X_{*11} \cdot X_{*21} \cdot X_{*5}}{X_{*11} X_{*21} + X_{*21} X_{*5} + X_{*5} X_{*11}} + X_{*6}$

C_1 、 C_2 、 C_3 为分布系数

$$C_1 = \frac{X_{*21} X_{*5}}{X_{*11} X_{*21} + X_{*21} X_{*5} + X_{*5} X_{*11}}$$

$$C_2 = \frac{X_{*11} \cdot X_{*5}}{X_{*11} \cdot X_{*21} + X_{*21} \cdot X_{*5} + X_{*5} X_{*11}}$$

$$C_3 = \frac{X_{*11} X_{*21}}{X_{*11} X_{*21} + X_{*21} X_{*5} + X_{*5} X_{*11}}$$

$$(C_1 + C_2 + C_3 + \dots + C_n = 1)$$

(4) 将 $X_{*12} X_{*22}$ 归算到以 $S_{\Sigma 1}$, $S_{\Sigma 2}$ 为基准容量的标么值和 $X_{*js1} X_{*js2}$, 而 X_{*52} 为无限容量电源, 可不换算而取 $X_{*js3} = X_{*52}$

(5) 从相应的运算曲线查出短路周期分量 I_{*z1} 和 I_{*z2} , 而 $I_{*z3} = 1/X_{*js3}$ 。

(6) 求出各电源的短路电流周期分量, 此三路电流之和即为总的短路电流。

$$I_{Z\Sigma} = I_{Z1} + I_{Z2} + I_{Z3} \quad (\text{kA})$$

$$I_{Z1} = I_{*z1} S_{\Sigma 1} / \sqrt{3} U_P$$

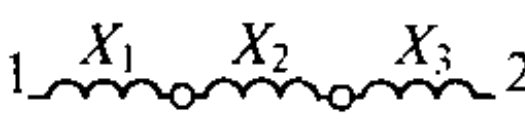
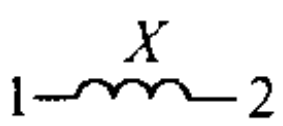
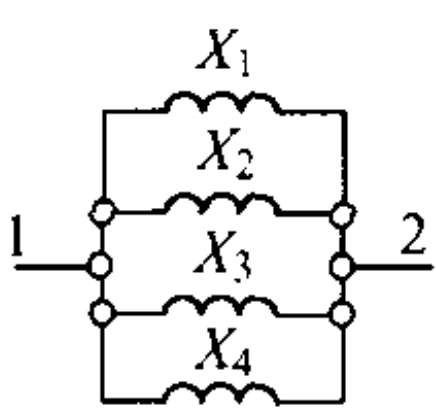
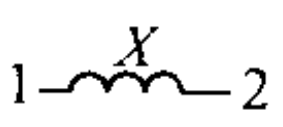
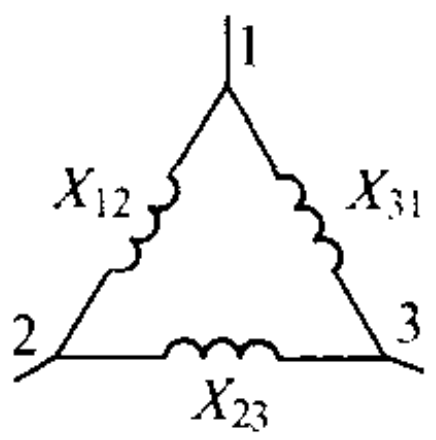
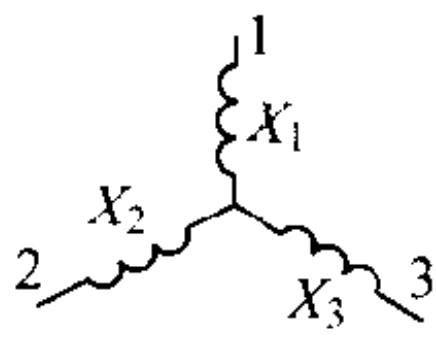
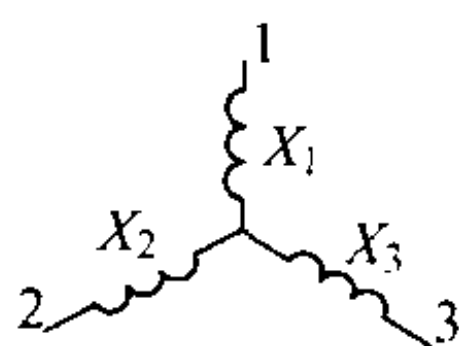
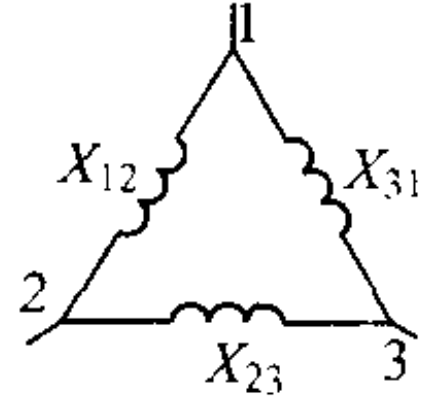
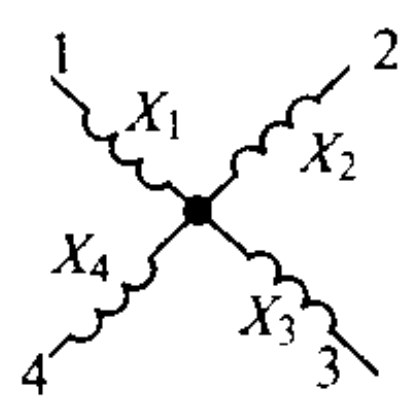
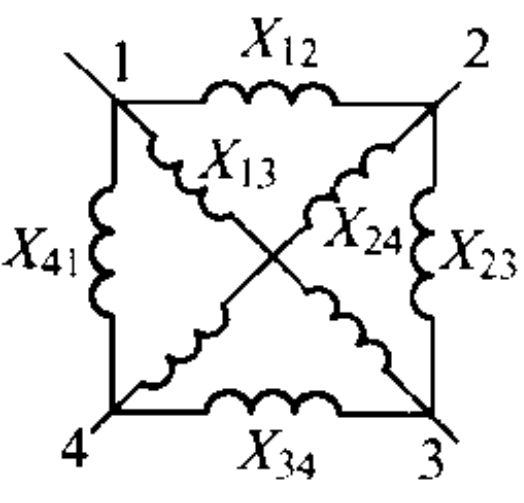
$$I_{Z2} = I_{*z2} S_{\Sigma 2} / \sqrt{3} U_P$$

$$I_{Z3} = I_{*z3} S_{\Sigma j} / \sqrt{3} U_P = S_j / \sqrt{3} U_P X_{*js3}$$

2-15 什么是网络变换, 有哪些变换方法?

在实际的电力系统中, 其网络是多种多样的。因此, 为了计算短路电流, 就必须简化短路电路, 以求得电源至短路点间的等值总阻抗。在表 2-9 中列出了常用的网络变换公式。

表 2-9 常用电抗网络变换公式

原网络	变换后的网络	换算公式
		$X = X_1 + X_2 + \dots + X_n$
		$X = \frac{1}{\frac{1}{X_1} + \frac{1}{X_2} + \dots + \frac{1}{X_n}}$ 当具有两个支路时, $X = \frac{X_1 X_2}{X_1 + X_2}$
		$X_1 = \frac{X_{12} X_{31}}{X_{12} + X_{23} + X_{31}}$ $X_2 = \frac{X_{12} X_{23}}{X_{12} + X_{23} + X_{31}}$ $X_3 = \frac{X_{21} X_{31}}{X_{12} + X_{23} + X_{31}}$
		$X_{12} = X_1 + X_2 + \frac{X_1 X_2}{X_3}$ $X_{23} = X_2 + X_3 + \frac{X_2 X_3}{X_1}$ $X_{31} = X_3 + X_1 + \frac{X_3 X_1}{X_2}$
		$X_{12} = X_1 X_2 \Sigma Y$ $X_{23} = X_2 X_3 \Sigma Y$ $X_{24} = X_2 X_4 \Sigma Y$ ⋮ 式中 $\Sigma Y = \frac{1}{X_1} + \frac{1}{X_2} + \frac{1}{X_3} + \frac{1}{X_4}$

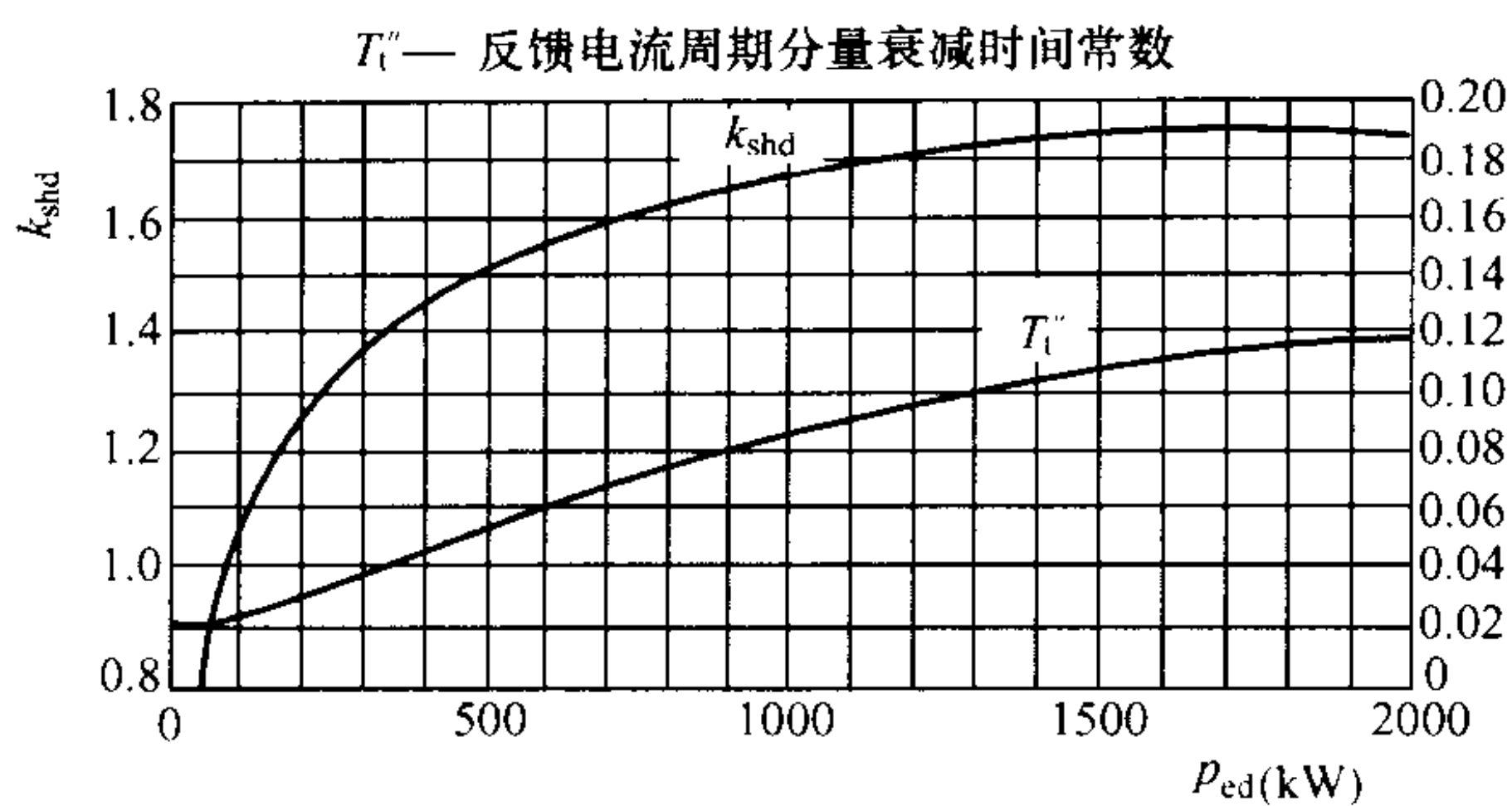
2-16 电动机对短路电流有什么影响?

由于短路时电动机的端电压骤降, 致使电动机因定子电动势反高于外施电压, 而向短路点反馈电流, 从而使短路计算点的短路冲击电流增大。

(1) 高压同步电动机的影响按有限容量电源考虑, 其短路电流周期分量标么值可用有阻尼绕组, 带自动电压调整器的水轮发电机的计算曲线来算得, 应注意对励磁时间常数的修正。

(2) 异步电动机的影响。在下列情况下可不计异步电动机对短路冲击电流的影响。

1) 异步电动机与短路点间相隔一变压器。

图 2-9 p_{ed} 和 k_{shd} 的关系曲线

~1.7。如果有多台电动机，则

$$K'_{qd} = \frac{\sum (k_{qd} p_{ed})}{\sum p_{ed}}$$

式中 p_{ed} ——异步电动机额定功率；

I_{ed} ——异步电动机的额定电流。

短路点总的短路电流冲击值为

$$i_{sh} = i_{shx} + i_{shd} \quad (\text{kA})$$

$$\text{其有效值为 } I_{sh} = \sqrt{(I''_X + I''_d)^2 + 2 [(k_{shx} - 1) I''_X + (k_{shd} - 1) I''_d]^2}$$

式中 k_{shx} ——由系统馈送的短路电流冲击系数；

I''_X ——由系统送到短路点去的次暂态短路电流；

I''_d ——由异步电动机送到短路点去的次暂态短路电流，kA。

$$I''_d = 0.9 k_{qd} I_{ed}$$

如为多台电动机 $I''_d = 0.9 k'_{qd} \sum I_{ed}$

2-17 什么是短路电流的效应？

由于短路电流很大，当通过电器和导体时，将产生很大的电动力，这称为短路电流的电动力效应，它可能使电器和导体受到破坏或产生永久性变形。短路电流产生的热，造成电器和导体温度升高，这称为短路电流的热效应，它可能使电器和导体的绝缘强度降低，加速老化甚至损坏。因此在选择电器和导体时必须校验其动稳定和热稳定。

(1) 短路电流的电动力计算及动稳定校验。

1) 电动力计算。两根平行导体在通电流后其相互间作用力为

$$F = 2i_1 i_2 K_f \frac{L}{a} \times 10^{-7}$$

式中 $i_1 i_2$ ——导体中电流瞬时值，A；

L ——平行导体长度，m；

a ——平行导体中心线距，m；

K_f ——导体形状系数（见图 2-10）。

三相系统中，当三相导体在同一平面平行布置时，受力最大的是中间相。在三相短路故障时，短路冲击电流在中间相产生的电动力为 $F_{\max} = \sqrt{3} K_f i_{sh}^2 L / a \times 10^{-7}$ (N)。

2) 动稳定校验。对一般电器设备，由于 L 、 a 和 K_f 均为定值，故 F_{\max} 只和电流有关，

2) 计算不对称短路时。

3) 总容量为 800kW 以下的高压电动机或低压电动机的单位容量小于 20kW。

异步电动机提供的冲击电流为

$$i_{shd} = 0.9 \sqrt{2} k_{sh \cdot d} k_{qd} I_{ed}$$

其中， k_{qd} 为异步电动机的起动电流倍数，可由产品样本查得。

k_{shd} 为异步电动机馈送短路电流的冲击系数，可见图 2-9 的曲线，一般取 1.4

故其动稳定性通常用极限通过电流表示，即额定峰值耐受电流。

满足动稳定的条件是 $i_{\max} \geq i_{sh}^{(3)}$ ， i_{\max} 为电器的额定峰值耐受电流（或动稳定电流）。

(2) 短路电流的热效应和热稳定校验。由于短路时间很短，一般不超过 2~3s，故认为其热量全部用于升高导体温度，即

$$Q = I_{\infty}^2 r_p t_{ima}$$

式中 r_p ——导体每相平均电阻， Ω ；

t_{ima} ——短路发热假想时间；

I_{∞} ——三相短路稳态电流。

$$t_{ima} = t_k + 0.05 \left(\frac{I''}{I_{\infty}} \right)^2$$

$$t_k = t_{op} + t_{oc}$$

式中 t_{op} ——继电保护动作时间；

t_{oc} ——断路器全分断时间（即固有分闸时间加灭弧时间）。

对于一般电气设备，因导体材料及截面均为定值，故其热稳定性可按下式校验

$$I_t^2 t \geq I_{\infty}^2 t_{ima}$$

式中 I_t ——电器在 t 时间内的额定短时耐受电流有效值，可由产品样本查得，kA。

t ——电器热稳定电流所对应的时间，由产品样本查得，s。

对导体，应满足下列热稳定条件

$$A \geq A_{\min} = \frac{I_{\infty} \times 10^3}{C} \sqrt{t_{ima}}$$

式中 I_{∞} ——线路三相稳态短路电流，kA；

A ——导体截面积， mm^2 ；

A_{\min} ——满足热稳定的最少允许截面积， mm^2 ；

C ——导体的热稳定系数（见表 2-10）。

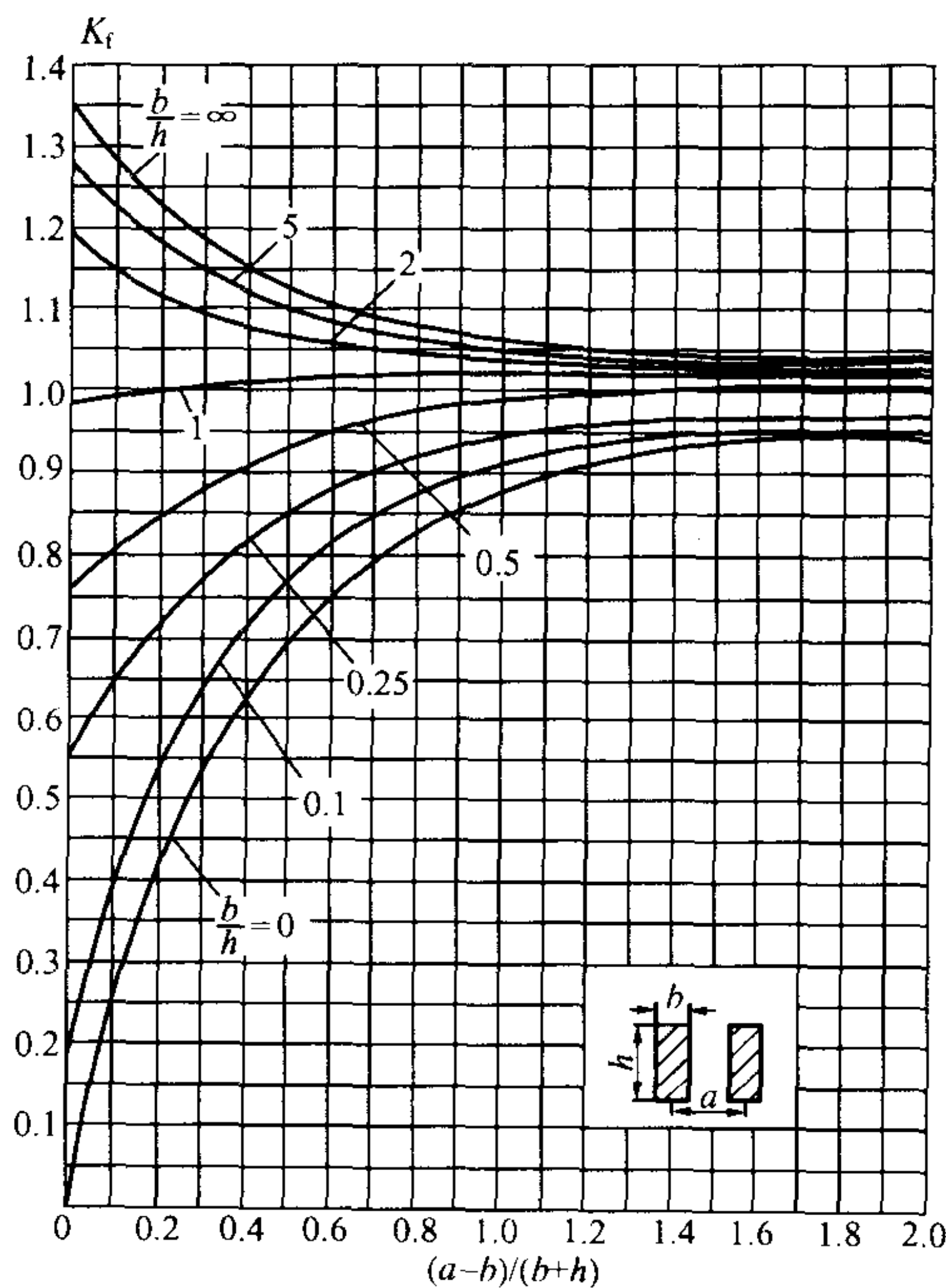


图 2-10 矩形截面母线形状系数曲线

表 2-10 导体在正常和短路时的最高允许温度及热稳定系数

导体种类和材料		最高允许温度 (°C)		热稳定系数 C (A·s/mm ²)
		额定负荷时	短路时	
母线或绞线	铜	70	300	171
	铝	70	200	87
500V 橡皮绝缘导线和电力电缆	铜芯	65	150	131
	铝芯	65	150	87
500V 聚氯乙烯绝缘导线和 1—6kV 电力电缆	铜芯	70	160	115
	铝芯	70	160	76

续表

导体种类和材料		最高允许温度 (°C)		热稳定系数 C (A·s/mm ²)	
		额定负荷时	短路时		
1—10kV 交联聚乙烯绝缘 电力电缆、乙丙橡胶电力电 缆	铜芯	90 (80)	250	137	
	铝芯	90 (80)	200	77	
含有锡焊中接头电缆	铜芯		160		
	铝芯		160		
油浸纸绝缘电缆	铜 芯	1~3kV	80	250	148
		6kV	65 (80)	250	
		10kV	60 (65)	250	
		35kV	50 (65)	175	
	铝 芯	1~3kV	80	200	84
		6kV	65 (80)	200	8
		10kV	60 (65)	200	8
		35kV	50 (65)	175	8

2-18 低压电网的短路电流是如何计算的?

除了高压电网的短路电流计算条件外, 低压电网的短路电流计算还有如下特点:

1) 短路电路各元件的有效电阻 (包括开关和电器触头的接触电阻) 不能忽略不计。但短路点的电弧电阻和导体连接点的接触电阻可忽略不计。

2) 多匝电流互感器一次线圈阻抗, 仅当三相都装时才以考虑。

3) 由于配电变压器容量远小于系统容量, 故可按无限容量系统来计算。

4) 一般可不考虑非周期分量 (电阻较大), 仅在离配电变压器低压侧很近处才予以考虑。

5) 计算采用有名单位制, 电压用伏, 电流用千安, 容量用千伏安, 阻抗用毫欧。

(1) 低压电网各元件阻抗。

1) 高压侧系统阻抗。(归算到低压侧)

$$Z_S = U_c^2 / S_K \times 10^{-3}$$

式中 U_c ——电源电压 (取 400V, 即 0.4kV);

S_x ——变压器高压侧短路容量, MVA。

$$X_S = 0.995 Z_S$$

$$R_S = 0.1 X_S$$

2) 变压器阻抗。

电阻

$$R_T = \frac{\Delta \dot{p}_k}{3 I_{2NT}^2} = \frac{\Delta p_k U_c^2}{S_{NT}^2}$$

阻抗

$$Z_T = U_k \% U_c^2 / 100 S_{NT}$$

电抗

$$X_T = \sqrt{Z_T^2 - R_T^2}$$

式中 Δp_k ——变压器短路损耗；
 I_{2NT} ——变压器二次额定电流，kA；
 U_{2NT} ——变压器二次额定电压，V；
 S_{NT} ——变压器额定容量，kVA；
 $U_k\%$ ——变压器短路电压百分数。

为便于计算，现将某些变压器的电阻，电抗列于表 2-11 中

3) 母线的阻抗。一般可查表 2-12，表中给出的是 65℃ 下的单位长度的电阻和电抗值。

4) 线路阻抗。一般可查表 2-13~表 2-18。

5) 电流互感器和开关的阻抗。一般可查表 2-19~表 2-21。

表 2-11 三相 10/0.4kV 配电变压器技术数据

类型	额定容量 (kVA)	额定电压 (kV)		额定电流 (A)		损耗 (W)		阻抗电压 (%)			绕组阻抗 (mΩ/相)				时间常数 (s)
		一次	二次	一次	二次	空载	短路	U_d	U_R	U_X	电阻		电抗		
											正序	零序	正序	零序*	
SL7 系列 铝 绕 组 变 压 器 ($\times 10^3$)	30	10	0.4	1.76	43.35	150	800	4	2.66	2.98	142.22	71.11	158.93	1.52	0.0035
	50	10	0.4	2.94	72.25	190	1150	4	2.30	3.27	73.60	36.80	104.64	0.91	0.0045
	63	10	0.4	3.70	91.04	220	1400	4	2.22	3.32	56.43	28.21	84.31	0.72	0.0047
	80	10	0.4	4.70	115.60	270	1650	4	2.06	3.42	41.25	20.62	68.40	0.57	0.0052
	100	10	0.4	5.88	144.50	320	2000	4	2.00	3.46	32.00	16.00	55.36	0.45	0.0054
	125	10	0.4	7.35	180.63	370	2450	4	1.96	3.48	25.08	12.54	44.54	0.36	0.0056
	160	10	0.4	9.41	231.21	460	2850	4	1.78	3.58	17.81	8.90	35.80	0.28	0.0065
	200	10	0.4	11.76	289.01	540	3400	4	1.70	3.62	13.60	6.80	28.96	0.22	0.0067
	250	10	0.4	14.70	361.27	640	4000	4	1.60	3.66	10.24	5.12	23.42	0.18	0.0073
	315	10	0.4	18.52	455.20	760	4800	4	1.52	3.69	7.73	3.86	18.74	0.14	0.0077
	400	10	0.4	23.52	578.03	920	5800	4	1.45	3.72	5.80	2.90	14.88	0.11	0.0081
	500	10	0.4	29.41	722.54	1080	6900	4	1.38	3.75	4.41	2.20	12.00	0.09	0.0086
	630	10	0.4	37.05	910.40	1300	8100	4.5	1.28	4.31	3.26	1.63	10.94	0.07	0.0106
	800	10	0.4	47.05	1156.06	1540	9900	4.5	1.23	4.32	2.47	1.23	8.64	0.05	0.0111
1000	10	0.4	58.82	1445.08	1800	11600	4.5	1.16	4.34	1.85	0.92	6.94	0.04	0.0119	
1250	10	0.4	73.52	1806.35	2200	13800	4.5	1.10	4.36	1.41	0.70	5.58	0.03	0.0126	
1600	10	0.4	94.11	2312.13	2650	16500	4.5	1.03	4.38	1.03	0.51	4.38	0.02	0.0135	
S7 系列 铜 绕 组 变 压 器	30	10	0.4	1.73	43.3	150	800	4	2.66	2.98	142.22	71.11	158.93	1.52	0.0035
	50	10	0.4	2.89	72.2	190	1150	4	2.30	3.27	73.60	36.80	104.64	0.91	0.0045
	80	10	0.4	4.62	115.5	270	1650	4	2.06	3.42	41.25	20.62	68.40	0.57	0.0052
	63	10	0.4	3.64	91.04	220	1400	4	2.22	3.32	56.43	28.21	84.31	0.72	0.0047
	100	10	0.4	5.78	144.51	320	2000	4	2.00	3.46	32.00	16.00	55.36	0.45	0.0055
	125	10	0.4	7.23	180.63	370	2450	4	1.90	3.51	25.00	12.50	44.92	0.36	0.0057
	160	10	0.4	9.24	231.21	460	2850	4	1.80	3.57	17.80	8.90	35.70	0.28	0.0063
	200	10	0.4	11.56	289.02	540	3400	4	1.70	3.62	13.60	6.80	28.96	0.22	0.0067

续表

类型	额定容量 (kVA)	额定电压 (kV)		额定电流 (A)		损耗 (W)		阻抗电压 (%)			绕组阻抗 (mΩ/相)				时间常数 (s)
		一次	二次	一次	二次	空载	短路	U_d	U_R	U_X	电阻		电抗		
											正序	零序	正序	零序*	
S7系列铜绕组变压器 (×10 ³)	250	10	0.4	14.45	361.27	640	4000	4	1.60	3.66	10.24	5.12	23.42	0.18	0.0072
	315	10	0.4	18.20	455.20	760	4800	4	1.50	3.70	7.73	3.86	18.79	0.14	0.0077
	400	10	0.4	23.12	578.03	920	5800	4	1.40	3.74	5.80	2.90	14.96	0.11	0.0082
	500	10	0.4	28.90	722.54	1080	6900	4	1.30	3.78	4.42	2.21	12.09	0.09	0.0087
	630	10	0.4	36.42	910.40	1300	8100	4.5	1.20	4.33	3.26	1.63	10.99	0.07	0.0107
	800	10	0.4	46.24	1156.06	1540	9900	4.5	1.20	4.33	2.47	1.23	8.66	0.05	0.0111
	1000	10	0.4	57.80	1445.09	1800	11600	4.5	1.10	4.36	1.85	0.925	6.97	0.04	0.0119
	1250	10	0.4	72.25	1806.35	2200	13800	4.5	1.11	4.36	1.41	0.70	5.58	0.03	0.0126
	1600	10	0.4	92.48	2312.13	2650	16500	4.5	1.00	4.38	1.03	0.51	4.38	0.02	0.0135
	2000	10	0.4	115.60	2890.17	3000	19800	4.5	0.90	4.4	0.79	0.39	3.52	0.02	0.0141
S9系列铜绕组变压器	100	10	0.4	5.78	144.51	290	1500	4	1.50	3.70	24.00	12.00	59.20	0.45	0.0078
	125	10	0.4	7.23	180.63	350	1750	4	1.40	3.74	17.92	8.96	47.87	0.36	0.0085
	160	10	0.4	9.24	231.21	420	2100	4	1.30	3.78	13.12	6.56	37.80	0.28	0.0091
	200	10	0.4	11.56	289.02	500	2500	4	1.25	3.79	10.00	5.00	30.32	0.22	0.0096
	250	10	0.4	14.45	361.27	590	2950	4	1.20	3.81	7.55	1.88	24.38	0.18	0.0102
	315	10	0.4	18.20	455.20	700	3500	4	1.10	3.84	5.64	2.82	19.50	0.14	0.0110
	400	10	0.4	23.12	578.03	840	4200	4	1.00	3.87	4.20	2.10	15.48	0.11	0.0117
	500	10	0.4	28.90	722.54	1000	5000	4	1.00	3.87	3.20	1.60	12.38	0.09	0.0123
	630	10	0.4	36.42	910.40	1230	6000	4.5	0.90	4.40	2.42	1.21	11.17	0.07	0.0146
	800	10	0.4	46.24	1156.06	1450	7200	4.5	0.90	4.40	1.80	0.90	8.80	0.05	0.0155
	1000	10	0.4	57.80	1445.09	1720	10000	4.5	1.00	4.38	1.60	0.80	7.00	0.04	0.0139
	1250	10	0.4	72.25	1806.35	2000	11800	4.5	0.90	4.40	1.20	0.60	5.63	0.03	0.0149
	1600	10	0.4	92.48	2312.13	2450	11400	4.5	0.70	4.44	0.71	0.35	4.44	0.0285	0.0199
SZL7系列铝绕组有载调压变压器	200	10	0.4	11.56	289.02	540	3400	4	1.70	3.62	13.60	6.80	28.96	0.22	0.0067
	250	10	0.4	14.45	361.27	640	4000	4	1.60	3.66	10.24	5.12	23.42	0.18	0.0072
	315	10	0.4	18.20	455.20	760	4800	4	1.52	3.69	7.73	3.86	18.74	0.14	0.0077
	400	10	0.4	23.12	578.03	920	5800	4	1.45	3.72	5.80	2.90	14.88	0.11	0.0081
	500	10	0.4	28.90	722.54	1080	6900	4	1.38	3.75	4.41	2.20	12.00	0.09	0.0086
	630	10	0.4	36.42	910.40	1400	8500	4.5	1.34	4.29	3.42	1.71	10.89	0.07	0.0101
	800	10	0.4	46.24	1156.06	1660	10400	4.5	1.30	4.30	2.60	1.30	8.60	0.05	0.0105
	1000	10	0.4	57.80	1445.09	1930	12100	4.5	1.21	4.33	1.93	0.96	6.92	0.04	0.0114
	1250	10	0.4	72.25	1806.35	2350	14490	4.5	1.15	4.35	1.48	0.74	5.56	0.03	0.0119
	1600	10	0.4	92.48	2312.13	3000	17300	4.5	1.08	4.36	1.08	0.54	4.36	0.02	0.0128

续表

类型	额定容量 (kVA)	额定电压 (kV)		额定电流 (A)		损耗 (W)		阻抗电压 (%)			绕组阻抗 (mΩ/相)				时间常数 (s)
		一次	二次	一次	二次	空载	短路	U_d	U_R	U_X	电阻		电抗		
											正序	零序	正序	零序*	
SZ7 系列 铜绕组 有载调压 变压器 ($\times 10^3$)	200	10	0.4	11.56	289.02	540	3400	4	1.70	3.62	13.60	6.80	28.96	0.22	0.0067
	250	10	0.4	14.45	361.27	640	4000	4	1.60	3.66	10.24	5.12	23.42	0.18	0.0072
	315	10	0.4	18.20	455.20	760	4800	4	1.52	3.69	7.73	3.86	18.74	0.14	0.0077
	400	10	0.4	23.12	578.03	920	5800	4	1.45	3.72	5.80	2.90	14.88	0.11	0.0081
	500	10	0.4	28.90	722.54	1080	6900	4	1.38	3.75	4.41	2.20	12.00	0.09	0.0086
	630	10	0.4	36.42	910.40	1400	8500	4.5	1.34	4.29	3.42	1.71	10.89	0.07	0.0101
	800	10	0.4	46.24	1156.06	1660	10400	4.5	1.30	4.30	2.60	1.30	8.60	0.05	0.0105
	1000	10	0.4	57.80	1445.09	1930	12180	4.5	1.21	4.33	1.94	0.96	6.92	0.04	0.0114
	1250	10	0.4	72.25	1806.35	2350	14490	4.5	1.15	4.35	1.48	0.74	5.56	0.03	0.0119
1600	10	0.4	92.48	2312.13	3000	17300	4.5	1.08	4.36	1.08	0.54	4.36	0.02	0.0128	
SCL1 系列 环氧树 脂浇注 干式变 压器	100	10	0.4	5.78	144.50	530	1450	4	1.45	3.72	23.2	11.60	59.52	0.45	0.0081
	160	10	0.4	9.24	231.21	740	1950	4	1.21	3.81	12.18	6.09	38.10	0.28	0.0100
	200	10	0.4	11.56	289.01	830	2350	4	1.17	3.82	9.40	4.70	30.56	0.22	0.0101
	250	10	0.4	14.45	361.27	980	2750	4	1.10	3.84	7.04	3.52	24.57	0.18	0.0109
	315	10	0.4	18.20	455.20	1150	3250	4	1.03	3.86	5.24	2.62	19.60	0.14	0.0119
	400	10	0.4	23.12	578.03	1400	3900	4	0.97	3.88	3.90	1.95	15.52	0.11	0.0126
	500	10	0.4	28.90	722.54	1600	4850	4	0.97	3.88	3.10	1.55	12.41	0.09	0.0127
630	10	0.4	36.41	910.40	1800	5650	4	0.89	3.89	2.27	1.13	9.87	0.07	0.0138	

* 表中数据应乘 10^3 。

表 2-12

母线的阻抗

母线尺寸 (mm)	65℃时电阻 (mΩ/m)		在下列几何均距 (mm) 时的电抗 (mΩ/m)			
	铜母线	铝母线	100	150	200	300
25×3	0.268	0.475	0.179	0.200	0.225	0.244
30×3	0.223	0.394	0.163	0.189	0.206	0.235
30×4	0.167	0.296	0.163	0.189	0.206	0.235
40×4	0.125	0.222	0.145	0.170	0.189	0.214
40×5	0.100	0.177	0.145	0.170	0.189	0.214
50×5	0.080	0.142	0.137	0.156	0.180	0.200
50×6	0.067	0.118	0.137	0.156	0.180	0.200
60×6	0.056	0.099	0.110	0.145	0.163	0.189
60×8	0.042	0.074	0.119	0.145	0.163	0.189
80×8	0.031	0.055	0.102	0.126	0.145	0.170
80×10	0.025	0.044	0.102	0.126	0.145	0.170
100×10	0.020	0.035	0.090	0.113	0.133	0.157
2 (60×8)	0.021	0.037	0.120	0.145	0.163	0.189
2 (80×8)	0.016	0.028	—	0.126	0.145	0.170
2 (80×10)	0.013	0.022	—	0.126	0.145	0.170
2 (100×10)	0.010	0.018	—	—	0.133	0.157

表 2-13 500V 聚氯乙烯绝缘和橡皮绝缘四芯电力电缆每米阻抗值 (mΩ/m)

线芯标称截面 (mm ²)	$t=65^{\circ}\text{C}$ 时线芯电阻 $R_1, R_2, R_{0x}, R, R_{01}$				铅皮 电阻 R_{01}	橡皮绝缘电缆			聚氯乙烯绝缘电缆		
	铝		铜			正、负序 电抗 X_1 、 X_2, X	零序电抗		正、负序 电抗 X_1 、 X_2, X	零序电抗	
	相线 R	零线 R_{01}	相线 R	零线 R_{01}			相线 X_{0x}	零线 X_{01}		相线 X_{0x}	零线 X_{01}
3×4+1×2.5	9.237	14.778	5.482	0.772	6.38	0.106	0.116	0.135	0.100	0.114	0.129
3×6+1×4	6.158	9.237	3.665	5.482	5.83	0.100	0.115	0.127	0.099	0.115	0.127
3×10+1×6	3.695	6.158	2.193	3.665	4.10	0.097	0.109	0.127	0.094	0.108	0.125
3×16+1×6	2.309	6.158	1.371	3.655	3.28	0.090	0.105	0.134	0.087	0.104	0.134
3×25+1×10	1.057	3.695	0.895	2.193	2.51	0.085	0.105	0.131	0.082	0.101	0.137
3×35+1×10	1.077	3.695	0.639	2.193	2.02	0.083	0.101	0.136	0.080	0.100	0.138
3×50+1×16	0.754	2.309	0.447	1.371	1.75	0.082	0.095	0.131	0.079	0.101	0.135
3×70+1×25	0.538	1.507	0.319	0.895	1.29	0.079	0.091	0.123	0.078	0.079	0.127
3×95+1×35	0.397	1.077	0.235	0.639	1.06	0.080	0.094	0.126	0.079	0.097	0.125
3×120+1×35	0.314	1.077	0.188	0.639	0.98	0.078	0.092	0.130	0.076	0.095	0.130
3×150+1×50	0.251	0.754	0.151	0.447	0.89	0.077	0.092	0.126	0.076	0.093	0.120
3×185+1×50	0.203	0.754	0.123	0.447	0.81	0.077	0.091	0.131	0.076	0.094	0.128

注 1. 铅皮电抗忽略不计。

2. 铅包电缆的 R_{01} 应用零线和铅皮两部分交流电阻的并联值。

表 2-14 1000V 油浸纸绝缘四芯电力电缆每米阻抗值 (mΩ/m)

线芯标称截面 (mm ²)	$t=80^{\circ}\text{C}$ 时线芯电阻 $R_1, R_2, R_{0x}, R, R_{01}$				铅皮电阻 R_{01}	正、负序 电抗 X_1, X_2	线芯零序电抗	
	铝		铜				相线 X_{0x}	零线 X_{01}
	相线 R	零线 R_{01}	相线 R	零线 R_{01}				
3×4+1×2.5	9.71	15.53	5.76	9.22	6.40	0.098	0.11	0.12
3×6+1×4	6.47	9.71	3.84	5.76	5.54	0.093	0.11	0.12
3×10+1×6	3.88	6.47	2.30	3.84	4.98	0.088	0.11	0.12
3×16+1×6	2.43	6.47	1.44	3.84	4.00	0.082	0.10	0.13
3×25+1×10	1.58	3.88	0.94	2.30	3.14	0.073	0.10	0.13
3×35+1×10	1.13	3.88	0.67	2.30	2.94	0.073	0.09	0.13
3×50+1×16	0.79	2.43	0.47	1.44	2.41	0.070	0.09	0.13
3×70+1×25	0.57	1.58	0.34	0.94	1.95	0.069	0.08	0.11
3×95+1×35	0.42	1.13	0.25	0.67	1.72	0.069	0.08	0.11
3×120+1×35	0.33	1.13	0.20	0.67	1.47	0.070	0.08	0.12
3×150+1×50	0.26	0.79	0.16	0.47	1.26	0.068	0.09	0.11
3×185+1×50	0.21	0.79	0.13	0.47	1.06	0.068	0.09	0.12

注 1. 铅皮电抗忽略不计。

2. 铅皮电缆的 R_{01} 应是零线和铅皮两部分交流电阻的并联值。

表 2-15

导线及电缆在额定负荷时的阻抗


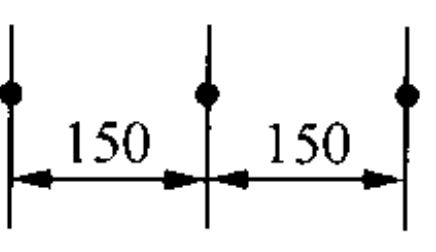
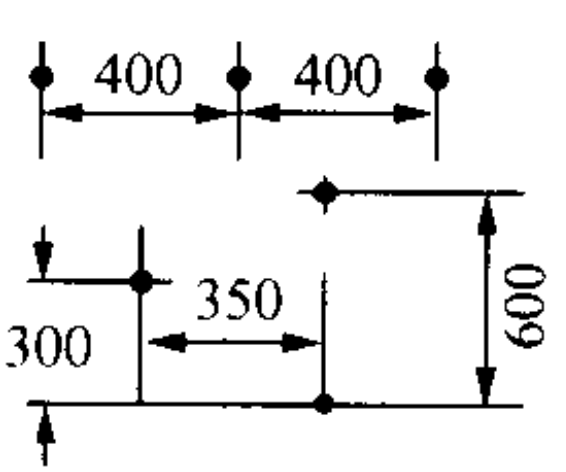
电缆或 导线截面 (mm ²)	电阻 (Ω/km)		电抗 (Ω/km)			
	铝芯	铜芯	三芯纸 绝缘电缆 (1000V 以下)	管内穿线	明设导线	架空线
						
1.0		20.0	0.12	0.133	—	—
1.5	22.2	13.35	0.113	0.126	0.374	—
2.5	13.3	8.0	0.109	0.116	0.358	—
4	8.35	5.0	0.095	0.107	0.343	—
6	5.55	3.33	0.090	0.0997	0.330	—
10	3.33	2.0	0.073	0.099	0.307	—
16	2.08	1.25	0.0675	0.0947	0.293	0.354
25	1.33	0.80	0.0662	0.0912	0.278	0.339
35	0.95	0.57	0.0625	0.0877	0.268	0.33
50	0.67	0.4	0.0612	0.0854	0.256	0.317
70	0.48	0.29	0.0602	0.0819	0.295	0.307
95	0.35	0.21	0.0602	0.0807	0.236	0.297
120	0.28	0.17	0.0596	0.0862	0.229	0.293
150	0.22	0.13	0.0596	0.0793	0.222	0.283
185	0.18	0.11		0.0784	0.215	—

表 2-16

6kV 和 10kV 油浸纸绝缘和滴流纸绝缘三芯电力电缆每公里阻抗

标称 截面 (mm ²)	6kV						10kV					
	T=65℃时 线芯交流电阻 R (Ω/km)		电抗 X (Ω/km)	U _j =6.3kV S _j =100MVA 时 电阻和电抗标么值			T=60℃时 线芯交流电 阻 R (Ω/km)		电抗 X (Ω/km)	V _j =10.5kV S _j =100MVA 时 电阻和电抗标么值		
				R*		X*				铝		X*
	铝	铜		铝	铜		铝	铜				
10	3.695	2.193	0.107	9.310	5.525	0.269						
16	2.309	1.371	0.099	5.818	3.454	0.250	2.270	1.347	0.110	2.059	1.222	0.100
25	1.507	0.895	0.088	3.797	2.255	0.221	1.482	0.878	0.098	1.344	0.797	0.089
35	1.077	0.639	0.083	2.714	1.610	0.210	1.058	0.628	0.092	0.960	0.570	0.084
50	0.754	0.447	0.079	1.900	1.126	0.200	0.741	0.440	0.087	0.672	0.399	0.079
70	0.538	0.319	0.076	1.356	0.804	0.191	0.529	0.314	0.083	0.485	0.285	0.075
95	0.397	0.235	0.074	1.000	0.592	0.185	0.390	0.231	0.080	0.354	0.210	0.073
120	0.314	0.188	0.072	0.791	0.474	0.182	0.309	0.185	0.078	0.280	0.168	0.071
150	0.251	0.151	0.072	0.632	0.380	0.180	0.247	0.148	0.077	0.224	0.134	0.070
185	0.203	0.123	0.070	0.511	0.310	0.176	0.200	0.121	0.075	0.181	0.110	0.068
240	0.159	0.097	0.069	0.401	0.299	0.174	0.156	0.095	0.073	0.141	0.086	0.067

表 2-17 6kV 聚氯乙烯绝缘和油浸纸滴干绝缘三芯电力电缆每公里阻抗

标称 截面 (mm ²)	T=65℃时线芯交 流电阻 R (Ω/km)		U _j =6.3kV S _j =100MVA 时电阻和电抗 标么值 R*		聚氯乙烯绝缘			油浸纸滴 干绝缘
					电抗 X (Ω/km)	U ₁ =6.3kV S ₁ =100MVA 时电抗标么值 X*		电抗 X (Ω/km)
	铝	铜	铝	铜				
10	3.695	2.193	9.310	5.525	0.127	0.319		
16	2.309	1.371	5.818	3.454	0.117	0.296	0.276	0.110
25	1.507	0.895	3.797	2.255	0.105	0.265	0.246	0.098
35	1.077	0.639	2.714	1.610	0.099	0.250	0.232	0.092
50	0.754	0.447	1.900	1.126	0.094	0.236	0.220	0.087
70	0.538	0.319	1.356	0.804	0.089	0.229	0.209	0.083
95	0.397	0.235	1.000	0.592	0.085	0.214	0.201	0.080
120	0.314	0.188	0.791	0.474	0.083	0.209	0.197	0.078
150	0.251	0.151	0.632	0.380	0.081	0.204	0.193	0.077
185	0.203	0.123	0.511	0.310	0.079	0.199	0.189	0.075
240	0.159	0.097	0.400	0.299	0.077	0.194	0.185	0.073

表 2-18 6kV 和 10kV 交联聚乙烯绝缘三芯电力电缆每公里阻抗

标称 截面 (mm ²)	6kV						10kV			
	T=90℃时线 芯交流电阻 R (Ω/km)		电抗 X (Ω/km)	U _j =6.3kV S _j =100MVA 时 电阻和电抗标么值			电抗 X (Ω/km)	U _j =10.5kV S _j =100MVA 时 电阻和电抗标么值		
				R*		X*		R*		X*
	铝	铜		铝	铜			铝	铜	
16	2.505	1.487	0.124	6.311	3.747	0.312	0.133	2.272	1.399	0.121
25	1.635	0.970	0.111	4.119	2.444	0.280	0.120	1.483	0.880	0.109
35	1.168	0.693	0.106	2.948	1.746	0.264	0.113	1.059	0.629	0.103
50	0.817	0.405	0.099	2.058	1.222	0.249	0.107	0.741	0.440	0.097
70	0.584	0.347	0.093	1.471	0.874	0.236	0.101	0.530	0.308	0.091
95	0.430	0.255	0.089	1.083	0.642	0.225	0.096	0.390	0.231	0.089
120	0.341	0.204	0.087	0.859	0.514	0.219	0.095	0.309	0.185	0.087
150	0.273	0.163	0.085	0.688	0.411	0.214	0.093	0.248	0.148	0.084
185	0.221	0.134	0.082	0.557	0.338	0.208	0.090	0.200	0.122	0.082
240	0.172	0.105	0.080	0.438	0.265	0.202	0.087	0.156	0.095	0.079

表 2-19 低压线圈式电流互感器一次绕组阻抗 (mΩ)

规格		20/5	30/5	40/5	50/5	75/5	100/5	150/5	200/5	400/5	600/5	750/5
LQG-0.5	电抗	300	133	75	48	21.3	12	5.32	3	1.03	0.3	0.3
0.5级	电阻	37.5	16.6	9.4	6	2.66	1.5	0.67	0.58	0.13	0.04	0.04
LQC-3	电抗	67	30	17	11	4.8	2.7	1.2	0.67	0.17	0.07	
1级	电阻	42	20	11	7	3	1.7	0.75	0.42	0.11	0.05	
LQC-3	电抗	17	8	4.2	2.8	1.2	0.7	0.3	0.17	0.04	0.02	
3级	电阻	19	8.2	4.8	3	1.3	0.75	0.33	0.19	0.05	0.02	

表 2-20 自动开关过电流绕组阻抗 (mΩ)

绕组额定电流 (A)	50	100	200	400	600
电抗	2.7	0.86	0.28	0.10	0.09
电阻	5.5	1.3	0.36	0.15	0.12

表 2-21 开关触头接触电阻 (mΩ)

开关类型	额定电流 (A)							
	50	100	200	400	600	1000	2000	3000
自动开关	1.3	0.75		0.4	0.25			
刀开关		0.5	0.4	0.2	0.15	0.08		
隔离开关				0.2	0.15	0.08	0.03	0.02

(2) 低压电网短路电流。对三相短路电流

$$I_K^{(3)} = I'' = U_c / \sqrt{3} \sqrt{R_\Sigma^2 + X_\Sigma^2}$$

式中 U_c ——电源电压，取 400V；

R_Σ , X_Σ ——电源主短路点的总电阻，总电抗。

冲击电流 $I_{sh} = \sqrt{1+2} (k_{sh}-1)$

$$i_{sh} = k_{sh} \sqrt{2} I''$$

k_{sh} 为冲击系数，一般取 1.3

一般情况，两相短路电流和三相短路电流关系为

$$I_K^{(2)} = 0.866 I_K^{(3)}$$

2-19 不对称短路电流是如何计算的？

对于不对称短路电流有两种计算方法，一是在要求准确度不高时，采用实用计算（或估算）方法；这种方法只要在求出三相短路电流后，再乘上一个系数，便能求得两相短路电流，单相接地电流可查表或用公式计算；另一种方法是要求准确度较高时，采用对称分量法，将一组三相不对称量分解为三组对称量之和，这三组对称量称为正序、负序和零序分量。

下面我们对上述两种方法分别加以讨论。

(1) 实用计算（或估算）法（认为 $X_2 = X_1$ ）。

1) 两相短路电流的计算。

a) 远离发电机的无限大容量电源供电系统。 $(X_* > 3)$

在这样的系统中发生两相短路时, 其短路电流可由下式求得 $I_K^{(2)} = U_c / 2 | Z_\Sigma |$, 只计电抗时 $I_K^{(2)} = U_c / 2 | X_\Sigma |$, 而三相短路时, $I_K^{(3)} = U_c / \sqrt{3} X_\Sigma$, 故 $I_K^{(2)} / I_K^{(3)} = \frac{\sqrt{3}}{2}$, $I_K^{(2)} = \frac{\sqrt{3}}{2} I_K^{(3)} = 0.866 I_K^{(3)}$ 。

b) 在发电机出口短路时 $I_K^{(2)} = 1.5 I_K^{(3)}$ 。

2) 单相短路电流计算。单相接地电容电流由线路和设备两部分组成, 但设备的电容电流比线路的电容电流小得多, 可忽略不计。

a) 电缆线路的单相接地电容电流

$$6\text{kV 电缆线路 } I_c = \frac{95 + 2.84S}{2200 + 6S} U_e l \quad \text{A}$$

$$10\text{kV 电缆线路 } I_c = \frac{95 + 1.44S}{2200 + 0.23S} U_e l \quad \text{A}$$

$$\text{或 } I_c = 0.1 U_e l \quad (\text{估算})$$

b) 架空线路的单相接地电容电流

$$\text{无架空地线单回路 } I_c = 2.7 U_e l \times 10^{-3} \quad \text{A}$$

$$\text{有架空地线单回路 } I_c = 3.3 U_e l \times 10^{-3} \quad \text{A}$$

$$\text{或 } I_c = U_e l / 350 \quad \text{A} \quad (\text{估算})$$

式中 S ——电缆芯线的标称截面, mm^2 ;

U_e ——线路额定电压, kV ;

l ——线路长度, km 。

在表 2-22 中列出了架空和电缆线路每千米单相接地电容电流的平均值。

表 2-22

架空线路和电缆线路每公里单相接地电容电流平均值

A/km

电压 (kV)	电缆线路 (芯线截面, mm^2)											架空线路	
	10	16	25	35	50	70	95	120	150	185	240	单回路	双回路
6	0.33	0.37	0.46	0.52	0.59	0.71	0.82	0.89	1.1	1.2	1.3	0.013	0.017
10	0.46	0.52	0.62	0.69	0.77	0.90	1.0	1.1	1.3	1.4	1.6	0.0256	0.035
35						3.7	4.1	4.4	4.8	5.2	—	0.078 (0.091)	0.102 (0.110)

注 () 内数字用于有架空地线的架空线路。

对低压电网

$$I_K^{(2)} = 0.866 I_K^{(3)}$$

$$I_K^{(1)} = \frac{U_p \sqrt{3}}{\sqrt{R_{X1\Sigma}^2 + X_{X1\Sigma}^2}} \quad \text{kA}$$

式中 U_p ——低压电网的平均额定线电压, V ;

$R_{X1\Sigma}$ ——短路电路各元件相零总电阻, $\text{m}\Omega$;

$X_{X1\Sigma}$ ——短路电路各元件相零总电抗, $\text{m}\Omega$ 。

(2) 对称分量法。

1) 序网的组成, 按对称分量法可将不对称分量分为三种序网, 即正序, 负序和零序。

a) 正序网络, 与三相短路的网络相同。

b) 负序网络, 与正序的相同, 但以 X_2 (负序阻抗) 代替 X_1 (正序阻抗)

对于静止元件 (如变压器、电抗器线路等)

$$X_2 = X_1$$

对于旋转电机, 一般由制造厂提供, 在表 2-23 中给了某些旋转电抗的 X_2 。

c) 零序网络, 设备的零序阻抗由制造厂提供, 在表 2-23 中给出了零序阻抗的一些数据。

2) 不对称短路电流计算。

a) 短路电流绝对值计算公式见表 2-24, 从表 2-24 可见只要求出短路处正序电流 I_{d1} , 供设备选择用的短路处全电流 I_d 即可求出。

b) 在表 2-25 中列出了不对称短路各相电流, 电压计算公式, 只要求出短路处正序电流 (序号 1), 短路对其他各量 (序号 2~12) 即可求出。

表 2-23 各类元件的电抗平均值

序号	元件名称		电抗平均值			备注
			X'_d 或 X_1 (%)	X_2 (%)	X_0 (%)	
1	中容量汽轮发电机		12.5	16	6	
2	有阻尼绕组水轮发电机		20	25	7	
3	无阻尼绕组水轮发电机		27	45	7	
4	同步调相机		16	24	8	
5	大型同步电动机		20	24	8	
6	异步电动机		20	—	—	
7	1kV 三芯电缆		$X_1 = X_2 = 0.06\Omega/\text{km}$		0.7 Ω/km	
8	1kV 四芯电缆		$X_1 = X_2 = 0.066\Omega/\text{km}$		0.17 Ω/km	
9	6~10kV 三芯电缆		$X_1 = X_2 = 0.08\Omega/\text{km}$		$X_0 = 3.5X_1 = 0.28\Omega/\text{km}$	
10	20kV 三芯电缆		$X_1 = X_2 = 0.11\Omega/\text{km}$		$X_0 = 3.5X_1 = 0.38\Omega/\text{km}$	
11	35kV 三芯电缆		$X_1 = X_2 = 0.12\Omega/\text{km}$		$X_0 = 3.5X_1 = 0.42\Omega/\text{km}$	
12	天避雷线架	单回路	$X_1 = X_2 = 0.4\Omega/\text{km}$		$X_0 = 3.5X_1 = 1.4\Omega/\text{km}$	每回路值
13	空线路	双回路			$X_0 = 5.5X_1 = 2.2\Omega/\text{km}$	
14	有钢质避雷	单回路			$X_0 = 3X_1 = 1.2\Omega/\text{km}$	每回路值
15	线架空线路	双回路			$X_0 = 5X_1 = 2.0\Omega/\text{km}$	
16	有良导体避雷	单回路			$X_0 = 2X_1 = 0.8\Omega/\text{km}$	每回路值
17	线架空线路	双回路	$X_0 = 3X_1 = 1.2\Omega/\text{km}$			

注 架空线路电抗计算用公式

$$X_1 = X_2 = 0.145 \lg D / 0.789r$$

$$D = \sqrt[3]{d_{ab} \cdot d_{ac} \cdot d_{cb}}$$

式中 r —— 导线半径, cm;

D —— 导线相间几何均距, cm;

d —— 相间距离, cm。

c) 正序电流的计算：从表 2-24 和表 2-25 可见：不对称短路的正序电流，与在短路点加入额外电抗 $X_{\Delta}^{(n)}$ 的三相对称短路电流相等。 $X_{\Delta}^{(n)}$ 与正序网络中的参数无关，并保持恒定。故不对称短路正序电流计算可以化为相当的对称短路电流的计算。即采用实用的运算曲线法，其步骤如下：

- 1) 求出短路点：对称短路的计算电抗 $X_{js}^{(3)}$
- 2) 求出和短路点不对称短路相当的对称短路的计算电抗

$$X_{js}^{(n)} = \left(1 + \frac{X_{\Delta}^{(n)}}{X_{1\Sigma}}\right) X_{js}^{(3)}$$

$$X_{1\Sigma} = X_{\Sigma} \text{ (三相短路组合电流)}$$

$X_{\Delta}^{(n)}$ 见表 2-24 (n 分别对应表中符号)。

- 3) 按 $X_{js}^{(n)}$ 查运算曲线得不对称短路的正序电流标么值 $I_{d1(t)}^{(n)*}$ ，实际值为 $I_{d1(t)}^{(n)} = I_{d1(t)}^{(n)*} I_e$ 。若 $X_{js}^{(n)} > 3$ 时，则可按无限容量计算

$$I_{d1}^{(n)} = 1 / X_{1\Sigma} + X_{\Delta}^{(n)}$$

表 2-24

序网组合表

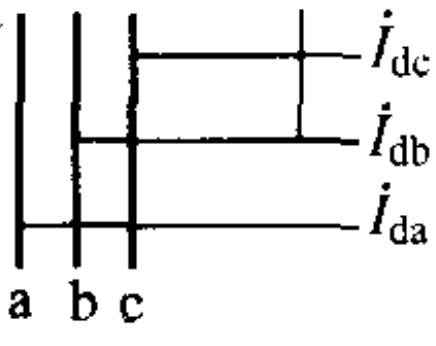
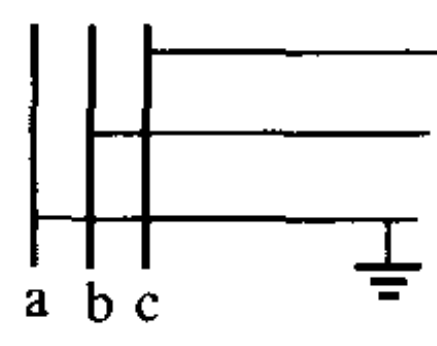
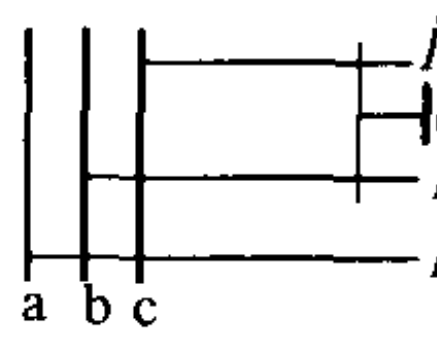
短路种类	符号	序网组合	$I_{d1} = \frac{E}{X_{\sqrt{2}} + X_{\Delta}}$ 中的 X_{Δ}	$I_d = m I_{d1}$ 中的 m
三相短路	(3)		0	1
二相短路	(2)		$X_{2\Sigma}$	$\sqrt{3}$
单相短路	(1)		$X_{2\Sigma} + X_{0\Sigma}$	3
二相接地短路	(1.1)		$\frac{X_{2\Sigma} X_{0\Sigma}}{X_{2\Sigma} + X_{0\Sigma}}$	$\sqrt{3} \sqrt{1 - \frac{X_{2\Sigma} X_{0\Sigma}}{(X_{2\Sigma} + X_{0\Sigma})^2}}$

表 2-25

不对称短路各相电流电压计算公式

序号	短路处的待求量	短路种类		
		二相短路	单相短路	二相接地短路
1	a 相正序电流 \dot{I}_{a1}	$\frac{\dot{E}_{a\Sigma}}{j(X_{1\Sigma} + X_{0\Sigma})}$	$\frac{\dot{E}_{a\Sigma}}{j(X_{1\Sigma} + X_{2\Sigma} + X_{0\Sigma})}$	$\frac{\dot{E}_{a\Sigma}}{j\left(X_{1\Sigma} + \frac{X_{2\Sigma} X_{0\Sigma}}{X_{2\Sigma} + X_{0\Sigma}}\right)}$

续表

序号	短路处的待求量	短路种类		
		二相短路	单相短路	二相接地短路
				
2	a相负序电流 \dot{I}_{a2}	$-\dot{I}_{a1}$	\dot{I}_{a1}	$-\dot{I}_{a1} \frac{X_{0\Sigma}}{X_{2\Sigma} + X_{0\Sigma}}$
3	零序电流 \dot{I}_0	0	\dot{I}_{a1}	$-\dot{I}_{a1} \frac{X_{2\Sigma}}{X_{2\Sigma} + X_{0\Sigma}}$
4	a相电流 \dot{I}_a	0	$3\dot{I}_{a1}$	0
5	b相电流 \dot{I}_b	$-j\sqrt{3}\dot{I}_{a1}$	0	$(a^2 - \frac{X_{2\Sigma} + aX_{0\Sigma}}{X_{2\Sigma} + X_{0\Sigma}})\dot{I}_{a1}$
6	c相电流 \dot{I}_c	$j\sqrt{3}\dot{I}_{a1}$	0	$(a - \frac{X_{2\Sigma} + a^2X_{0\Sigma}}{X_{2\Sigma} + X_{0\Sigma}})\dot{I}_{a1}$
7	a相正序电压 \dot{U}_{a1}	$jX_{2\Sigma}\dot{I}_{a1}$	$j(X_{2\Sigma} + X_{0\Sigma})\dot{I}_{a1}$	$j(\frac{X_{2\Sigma}X_{0\Sigma}}{X_{2\Sigma} + X_{0\Sigma}})\dot{I}_{a1}$
8	a相负序电压 \dot{U}_{a2}	$jX_{2\Sigma}\dot{I}_{a1}$	$-jX_{2\Sigma}\dot{I}_{a1}$	$j(\frac{X_{2\Sigma}X_{0\Sigma}}{X_{2\Sigma} + X_{0\Sigma}})\dot{I}_{a1}$
9	零序电压 \dot{U}_0	0	$-jX_{0\Sigma}\dot{I}_{a1}$	$j(\frac{X_{2\Sigma}X_{0\Sigma}}{X_{2\Sigma} + X_{0\Sigma}})\dot{I}_{a1}$
10	a相电压 \dot{U}_a	$2jX_{2\Sigma}\dot{I}_{a1}$	0	$3j(\frac{X_{2\Sigma}X_{0\Sigma}}{X_{2\Sigma} + X_{0\Sigma}})\dot{I}_{a1}$
11	b相电压 \dot{U}_b	$-jX_{2\Sigma}\dot{I}_{a1}$	$j[(a^2 - a)X_{2\Sigma} + (a^2 - 1)X_{0\Sigma}]\dot{I}_{a1}$	0
12	c相电压 \dot{U}_c	$-jX_{2\Sigma}\dot{I}_{a1}$	$j[(a - a^2)X_{2\Sigma} + (a - 1)X_{0\Sigma}]\dot{I}_{a1}$	0

注 $a = e^{j120^\circ} = -\frac{1}{2} + j\frac{\sqrt{3}}{2}$; $a^2 = e^{j240^\circ} = -\frac{1}{2} - j\frac{\sqrt{3}}{2}$; $a^2 - a = \sqrt{3}e^{-j90^\circ} = -j\sqrt{3}$;

$a - a^2 = \sqrt{3}e^{j90^\circ} = j\sqrt{3}$; $1 - a = \sqrt{3}e^{j-30^\circ} = \sqrt{3}(\frac{\sqrt{3}}{2} - j\frac{1}{2})$; $1 - a^2 = \sqrt{3}e^{j30^\circ} = \sqrt{3}(\frac{\sqrt{3}}{2} + j\frac{1}{2})$ 。

4) 计算不对称短路的冲击电流时, 异步电动机的反馈电流可以忽略不计。

2-20 短路电流计算实例 1 (供电系统)。

本例主要是说明如何用标么值法来计算高压电网的短路电流。

在图 2-11 中表示了由无限大电源供电系统。在最大运行方式时, 两台变压器并联运行; 最小运行方式时, 两台变压器分列运行。分别求在这两种运行方式下, k1 和 k2 点三相短路

时的短路电流。

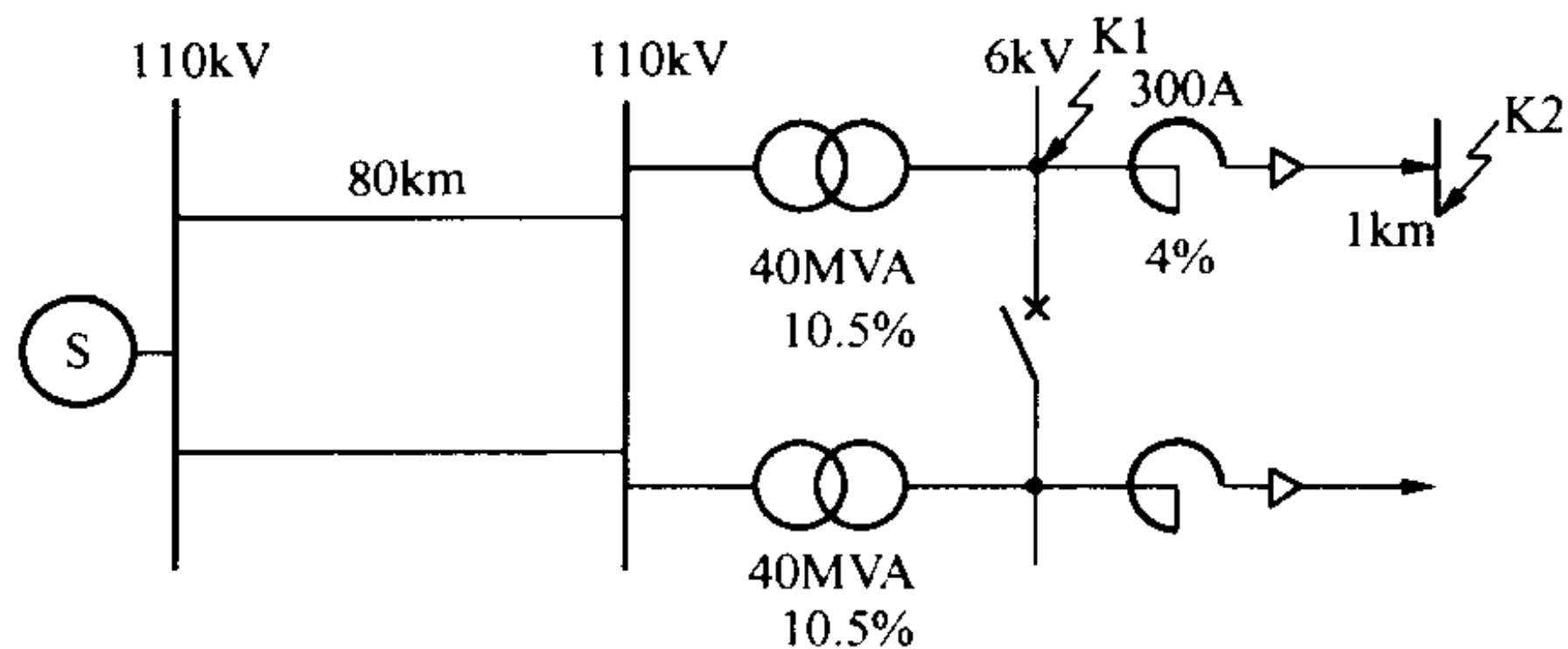


图 2-11 实例 1 供电系统短路计算电路

(1) 确定基准值。取 $S_i = 100\text{MVA}$,

$$U_{j1} = 115\text{kV}; U_{j2} = 6.3\text{kV} \text{ 则 } I_{j2} = 100/\sqrt{3} \times 6.3 = 9.16\text{kA}.$$

(2) 求各元件电抗标么值。

$$110\text{kV 架空线路 } x_{1*} = x_{01} \frac{S_i}{U_j^2} = 0.4 \times$$

$$80 \times \frac{100}{115^2} \times \frac{1}{2} = 0.12$$

$$\text{变压器 } X_{1*} = X_{2*} = U_k \% S_j / 100 S_{NT} =$$

$$\frac{10.5}{100} \times \frac{100}{40} = 0.262$$

$$\text{电抗器 } X_{3*} \approx \frac{X_K \% I_{j2}}{100 I_N} = \frac{4}{100} \times \frac{9.16}{0.3} = 1.22$$

$$6.3\text{kV 电缆线路 } X_{4*} = X_{01} \frac{S_j}{U_j^2} = 0.08 \times 1 \times \frac{100}{6.3^2} = 0.2$$

(3) 画出等值电路 (见图 2-12)。

(4) 求各点短路电流。

1) 两台变压器并联运行。

a) K_1 点短路:

$$\text{总电抗标么值 } X_{\Sigma 1*} = 0.12 + \frac{0.262}{2} = 0.251$$

$$\text{电流标么值 } I_{K1*}^{(3)} = \frac{1}{0.251} = 4$$

$$\text{电流有名值 } I_{K1}^{(3)} = 4 \times 9.16\text{kA} = 36.64\text{kA}$$

其他三相短路电流

$$I''_{K1}^{(3)} = I_{\infty K1}^{(3)} = I_{K1}^{(3)} = 36.64\text{kA}$$

$$i_{sh}^{(3)} = 2.55 \times 36.64\text{kA} = 82.44\text{kA}$$

$$I_{sh}^{(3)} = 1.51 \times 36.64\text{kA} = 55.32\text{kA}$$

b) K_2 点短路:

$$\text{总电抗标么值 } X_{\Sigma 2*} = 0.12 + \frac{0.262}{2} + 1.22 + 0.2 = 1.67$$

$$\text{电流标么值 } I_{K2*} = \frac{1}{1.67} = 0.6$$

$$\text{电流有名值 } I_{K2} = 0.6 \times 9.16 = 5.49\text{kA}$$

c) 其他三相短路电流

$$I''_{K1}^{(3)} = I_{\infty K1}^{(3)} = I_{K1}^{(3)} = 5.49\text{kA}$$

$$i_{sh}^{(3)} = 2.55 \times 5.49\text{kA} = 14\text{kA}$$

$$I_{sh}^{(3)} = 1.51 \times 5.49\text{kA} = 8.3\text{kA}$$

2) 两台变压器分列运行。

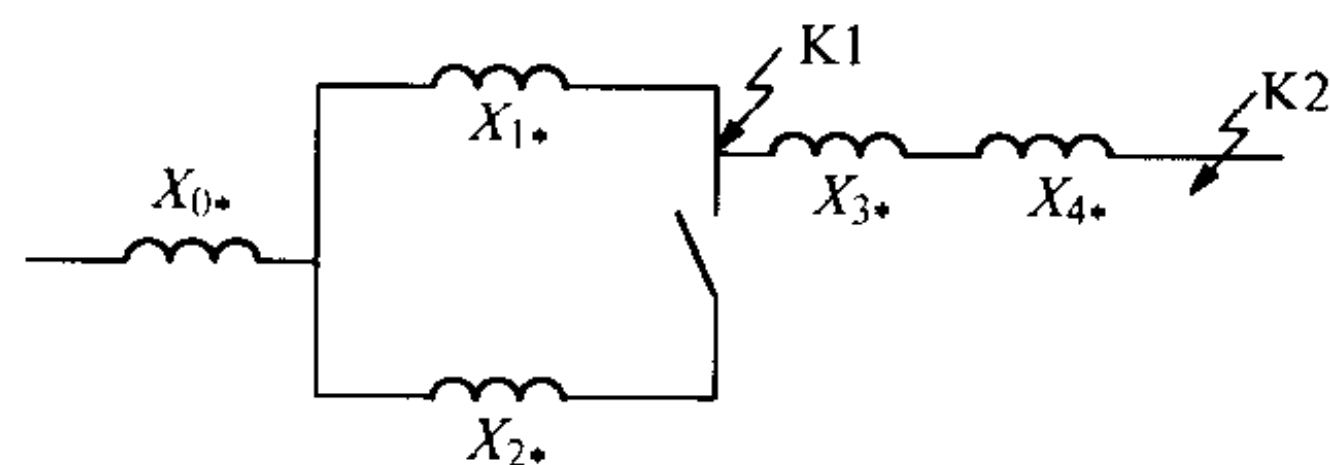


图 2-12 实例 1 等值电路

a) K_1 点短路:

总电抗标幺值 $X_{\Sigma 1*} = 0.12 + 0.262 = 0.382$

电流标幺值 $I_{K1*} = \frac{1}{0.382} = 2.62$

电流有名值 $I_{K1} = 2.62 \times 9.16 \text{kA} = 24 \text{kA}$

其他短路电流

$$\begin{aligned} I''_{K1}^{(3)} &= I_{\infty K1}^{(3)} = I_{K1}^{(3)} = 24 \text{kA} \\ i_{sh}^{(3)} &= 2.55 \times 24 \text{kA} = 61.2 \text{kA} \\ I_{sh}^{(3)} &= 1.51 \times 24 \text{kA} = 36.24 \text{kA} \end{aligned}$$

b) K_2 点短路:

总电抗标幺值 $X_{\Sigma 2*} = 0.12 + 0.262 + 1.22 + 0.2 = 1.802$

电流标幺值 $I_{K2*} = \frac{1}{1.802} = 0.55$

电流有名值 $I_{K2} = 0.55 \times 9.16 \text{kA} = 5.04 \text{kA}$

其他短路电流

$$\begin{aligned} I''_{K2}^{(3)} &= I_{\infty K2}^{(3)} = I_{K2}^{(3)} = 5.04 \text{kA} \\ i_{sh}^{(3)} &= 2.55 \times 5.04 \text{kA} = 12.85 \text{kA} \\ I_{sh}^{(3)} &= 1.51 \times 5.04 \text{kA} = 7.61 \text{kA} \end{aligned}$$

从上例可见, 采用变压器分列运行方式可以大大减少短路电流。

2-21 短路电流计算实例 2 (带发电机)。

本例主要说明如何用运算曲线来计算短路电流。

在图 2-13 中表示了某系统各元件的参数。由于有两台汽轮发电机, 故就要用运算曲线来进行计算。

(1) 基准值。取 $S_j = 100 \text{MVA}$, K 点短路时, 选取 $U_j = 6.3 \text{kV}$, $I_j = 9.16 \text{kA}$

(2) 计算各元件电抗标幺值。

电源电抗标幺值 $X = S_j / S_d = 100 / 150 = 0.667$

变压器电抗标幺值 $X_1 = X_2 = U_K \% S_j / 100 S_T = 10.5 \times 100 / 100 \times 20 = 0.525$

发电机电抗标幺值 (由铭牌可查得)

$$X''_{3d} = 12.21\%, \quad X''_{4d} = 12.22\%$$

换算到基准值

$$X_3 = \frac{X''_{3d}}{100} \times \frac{S_j}{S_{G3}} = \frac{12.21}{100} \times \frac{100}{15} = 0.814$$

$$X_4 = \frac{X''_{4d}}{100} \times \frac{S_j}{S_{G4}} = \frac{12.22}{100} \times \frac{100}{31.5} = 0.30$$

(3) 绘制等效电路 (见图 2-14)。

(4) 计算 K 点短路时各支路的短路参数。

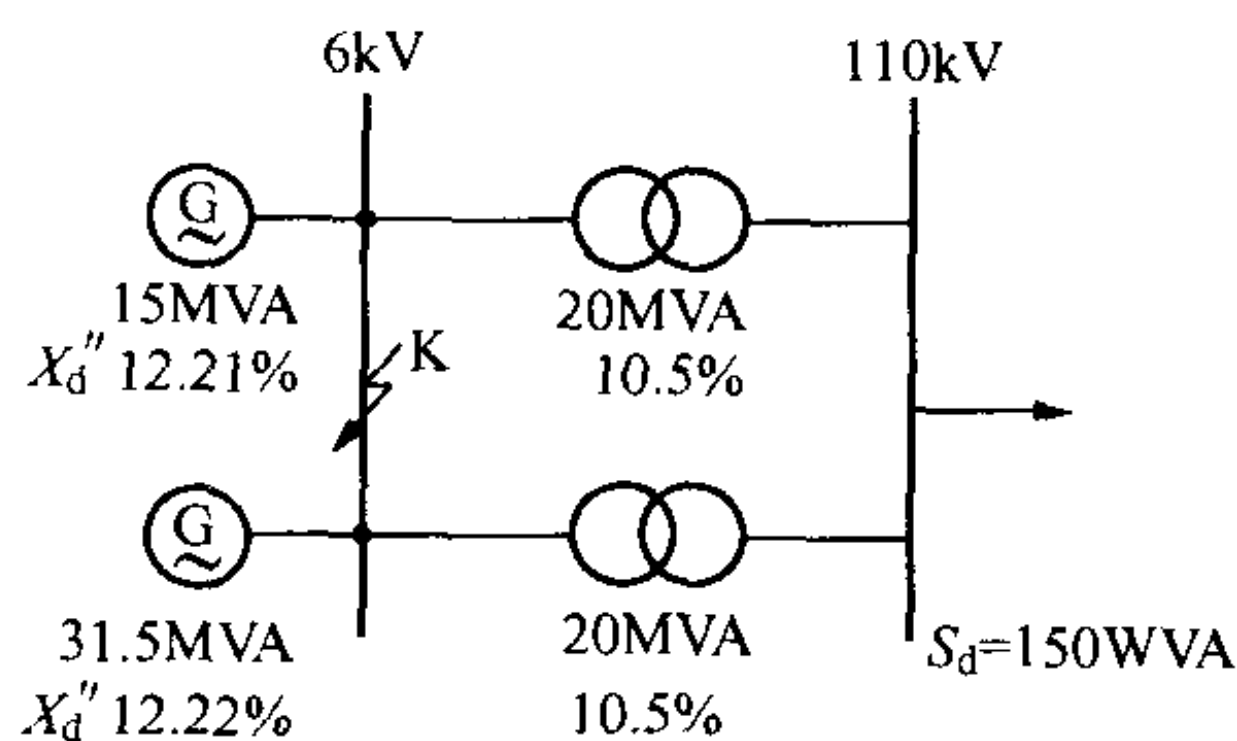


图 2-13 实例 2 系统接线图

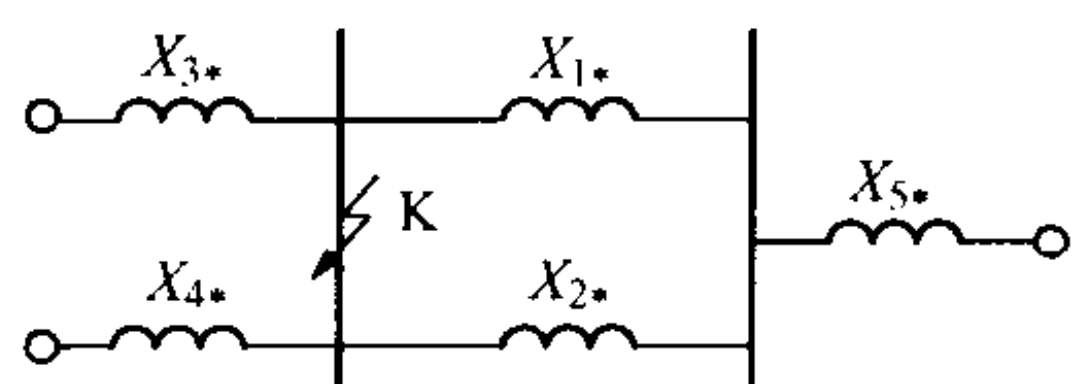


图 2-14 实例 2 等值电路

1) 电源支路 (按无限容量计算)

$$I_{K1}^* = \frac{1}{X_{\Sigma 1}} = 1/0.93 = 1.075 \quad (X_{\Sigma 1} = X_S + X_1/X_2 = 0.93)$$

$$I_{K1} = I_{K1}^* I_j = 1.075 \times 9.16 = 9.847 \text{kA}$$

2) G1 支路 (12MW, $\cos\varphi=0.8$)

$$I_{NG} = S_{G1} / \sqrt{3} U_j = 15 \text{MVA} / \sqrt{3} \times 6.3 \text{kV} = 1.38 \text{kA}$$

查运算曲线, 按 $X_3=0.814$ 得 $I^* = 1.25 I_{0.2}^* = 1.12 I_{\infty}^* = 1.35$

$$I''_{K1} = 1.25 \times 1.38 = 1.73 \text{kA}$$

$$I_{Kj0.2} = 1.12 \times 1.38 = 1.55 \text{kA}$$

$$I_{K1\infty} = 1.35 \times 1.38 = 1.863 \text{kA}$$

3) G2 支路 (25MW $\cos\varphi=0.8$)

$$I_{NG} = S_{G2} / \sqrt{3} U_j = 31.5 / \sqrt{3} \times 6.3 = 2.89 \text{kA}$$

查运算曲线 (按 $X_4=0.39$) 得

$$I^* = 2.5 \quad I_{0.2}^* = 1.9 \quad I_{\infty}^* = 2.05$$

$$I''_{K2} = 2.5 \times 2.89 = 7.23 \text{kA}$$

$$I_{K20.2} = 1.9 \times 2.89 = 5.49 \text{kA}$$

$$I_{K2\infty} = 2.05 \times 2.89 = 5.92 \text{kA}$$

4) K 点:

$$I_K = 9.847 + 1.863 + 5.92 = 17.63 \text{kA}$$

2-22 短路电流计算实例 3 (用计算机计算)。

本例主要说明在计算机上对短路电流的计算。

某发电厂的计算接线图如图 2-15 所示, 根据接线图可以用标么值法分别计算出各元件的电抗, 画成等值电路, 如图 2-16 所示。

用 SVDL8 程序在 NAX 机上进行计算结果见表 2-26。

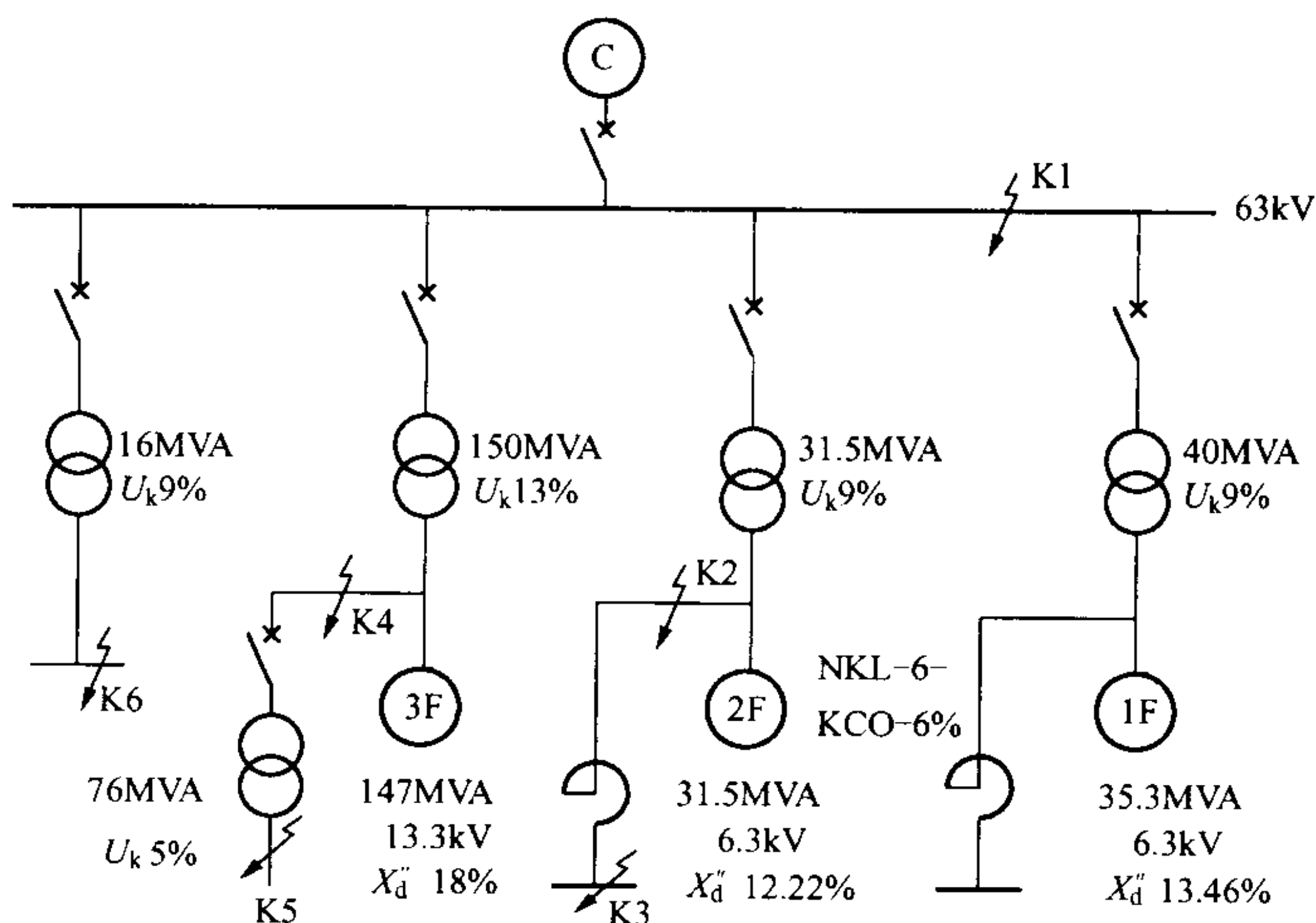


图 2-15 实例 3 系统接线图

表 2-26 短路电流计算表 (实例 3) ($S_j = 100\text{MVA}$)

短路点编号	短路点位置	短路点基本电压 U_j kV	支路电源名称	支路额定容量 S_e MVA	支路计算电抗 X_{js} 标么值	支路额定电流 I_e kA	0 秒短路电流周期分量		0.1 秒短路电流周期分量		0.2 秒短路电流周期分量		0 秒短路电流非周期分量		0.1 秒短路电流非周期分量		0.2 秒短路电流非周期分量		短路冲击电流峰值 i_{ch} kA	0 秒短路容量 S'' MVA	
							I''^* 标么值	I'' kA	$I_{0.1}^*$ 标么值	$I_{0.1}$ kA	$I_{0.2}^*$ 标么值	$I_{0.2}$ kA	I_0^* 标么值	I_0 kA	$I_{0.1}^*$ 标么值	$I_{0.1}$ kA	$I_{0.2}^*$ 标么值	$I_{0.2}$ kA			
K1	63kV 母线	63	2F	31.25	0.211	0.286	5.144	1.473	4.113	1.178	3.579	1.025	2.275	2.083	1.946	0.557	0.521	1.149	3.854	160.75	
			1F	35.3	0.214	0.323	5.088	1.646	4.079	1.320	3.554	1.150	7.195	2.328	1.917	0.620	0.511	0.165	4.306	179.6	
			3F	147	0.307	1.347	3.520	4.742	3.02	4.069	2.736	3.686	4.978	6.706	1.163	1.567	0.272	0.366	12.406	517.42	
			C	100	0.042	0.916	24.04	22.03	24.04	22.03	24.04	22.03	24.04	22.03	33.996	31.155	10.62	3.318	3.04	57.64	2403.85
			合计					29.89		28.6		27.89		42.271		12.477		3.720		78.20	3261.61
K2	2号发 电机 出口	6.3	2F	31.25	0.122	2.864	8.84	25.317	6.352	18.19	5.194	14.876	12.50	35.8	6.69	19.15	3.577	10.24	68.0	276.257	
			1F	35.3	2.075	3.235	0.494	1.597	0.474	1.535	0.468	1.515	0.698	2.26	0.147	0.475	0.031	0.1	4.179	17.428	
			3F	147.0	2.981	13.47	0.340	4.582	0.331	4.46	0.329	4.432	0.481	6.48	1.274	1.274	0.079	0.25	11.989	50.0	
			C	100	0.404	9.164	2.474	22.67	2.474	22.67	2.474	22.67	2.474	3.126	34.14	0.857	7.85	0.197	1.81	59.3	247.357
			合计				54.17		46.85		43.49		78.687		28.75		12.4		143.50	591.05	
K3	厂用 电抗 器出 口	6.3	2F	31.25	0.486	2.864	2.174	6.227	1.977	5.662	1.859	5.323	3.075	8.807	0.69	1.977	0.155	0.443	16.29	67.953	
			1F	35.3	8.275	3.235	0.121	0.391	0.121	0.391	0.121	0.391	0.171	0.553	0.034	0.109	0.007	0.02	1.02	4.266	
			3F	147.0	11.89	13.47	0.084	1.133	0.084	1.133	0.084	1.133	0.119	1.603	0.023	3.316	0.005	0.621	2.965	12.366	
			C	100	1.61	9.164	0.62	5.685	0.62	5.685	0.62	5.685	0.901	8.258	0.187	1.716	0.0389	0.357	14.87	62.037	
			合计				18.34		13.85		12.73		26.16		5.50		1.16		48.13	200.17	

续表

短路点编号	短路点位置	短路点基本电压 U_j kV	支路电源名称	支路额定容量 S_e MVA	支路计算电抗 X_{js} 标么值	支路额定电流 I_e kA	0秒短路电流周期分量		0.1秒短路电流周期分量		0.2秒短路电流周期分量		0秒短路电流非周期分量 I_{f0} kA	0.1秒短路电流非周期分量		0.2秒短路电流非周期分量		短路冲击电流峰值 i_{ch} kA	0秒短路容量 MVA	
							I''^* 标么值	I'' kA	$I_{0.1}^*$ 标么值	$I_{0.1}$ kA	$I_{0.2}^*$ 标么值	$I_{0.2}$ kA		I_{f0}^* 标么值	I_{f0} kA	$I_{f0.1}^*$ 标么值	$I_{f0.1}$ kA			$I_{f0.2}^*$ 标么值
K4	3号机出口	13.8	2F	31.25	0.709	1.307	1.473	1.926	1.376	1.799	1.32	1.726	2.083	2.723	0.454	0.593	0.099	0.13	5.038	46.02
			1F	35.3	0.717	1.477	1.456	2.151	1.361	2.01	1.31	1.931	2.06	3.04	0.45	0.662	0.098	0.14	5.687	51.40
			3F	147.0	0.179	6.15	6.042	37.157	4.71	28.97	4.025	24.76	6.544	52.55	4.10	25.25	1.97	12.13	99.84	888.14
			C	100	0.140	4.184	7.163	29.97	7.163	29.97	7.163	29.97	10.95	45.8	3.14	13.137	0.9	3.77	78.41	716.35
	合计					71.20		62.75			58.38	104.11		39.64		16.17	188.92	1701.92		
K5	3号厂用高压变低压侧	6.3	2F	31.25	6.484	2.864	0.154	0.442	0.154	0.442	0.154	0.442	0.218	0.625	0.043	0.123	0.008	0.024	1.156	4.819
			1F	35.3	6.555	3.235	0.153	0.494	0.153	0.494	0.153	0.494	0.216	0.698	0.045	0.137	0.008	0.027	1.29	5.385
			3F	147.0	1.64	13.47	0.62	0.433	0.60	8.08	0.59	7.94	0.885	11.93	0.184	2.477	0.038	0.155	22.06	92.02
			C	100	1.277	9.16	0.78	7.177	0.78	7.18	0.78	7.17	1.142	10.47	0.24	2.218	0.051	0.47	18.78	78.317
	电动机反馈					7.852		24.40				11.10	2.213		2.213	6.44		20.76	85.68	
	合计					24.40		17.76			16.37	34.82		7.169		1.48	64.05	266.22		
K6	高压备用变低压侧	6.3	2F	31.25	3.756	2.864	0.27	0.76	0.266	0.762	0.27	0.76	0.377	1.078	0.074	0.212	0.015	0.042	1.995	8.320
			1F	35.3	3.797	3.235	0.26	0.85	0.263	0.852	0.26	0.85	0.372	1.205	0.073	0.237	0.014	0.047	2.229	9.296
			3F	147	5.455	13.47	0.18	2.47	0.18	2.47	0.18	2.47	0.259	3.49	0.05	0.688	0.01	0.135	6.461	26.949
			C	100	0.74	9.16	1.35	12.39	1.35	12.39	1.35	12.39	1.994	18.27	0.437	3.96	0.094	0.86	32.41	136.195
	电动机反馈					7.85		24.33			0.312	11.1		2.21		0.44	20.76	85.68		
	合计					24.33		18.04			16.79	35.15		7.31		1.525	63.87	265.44		

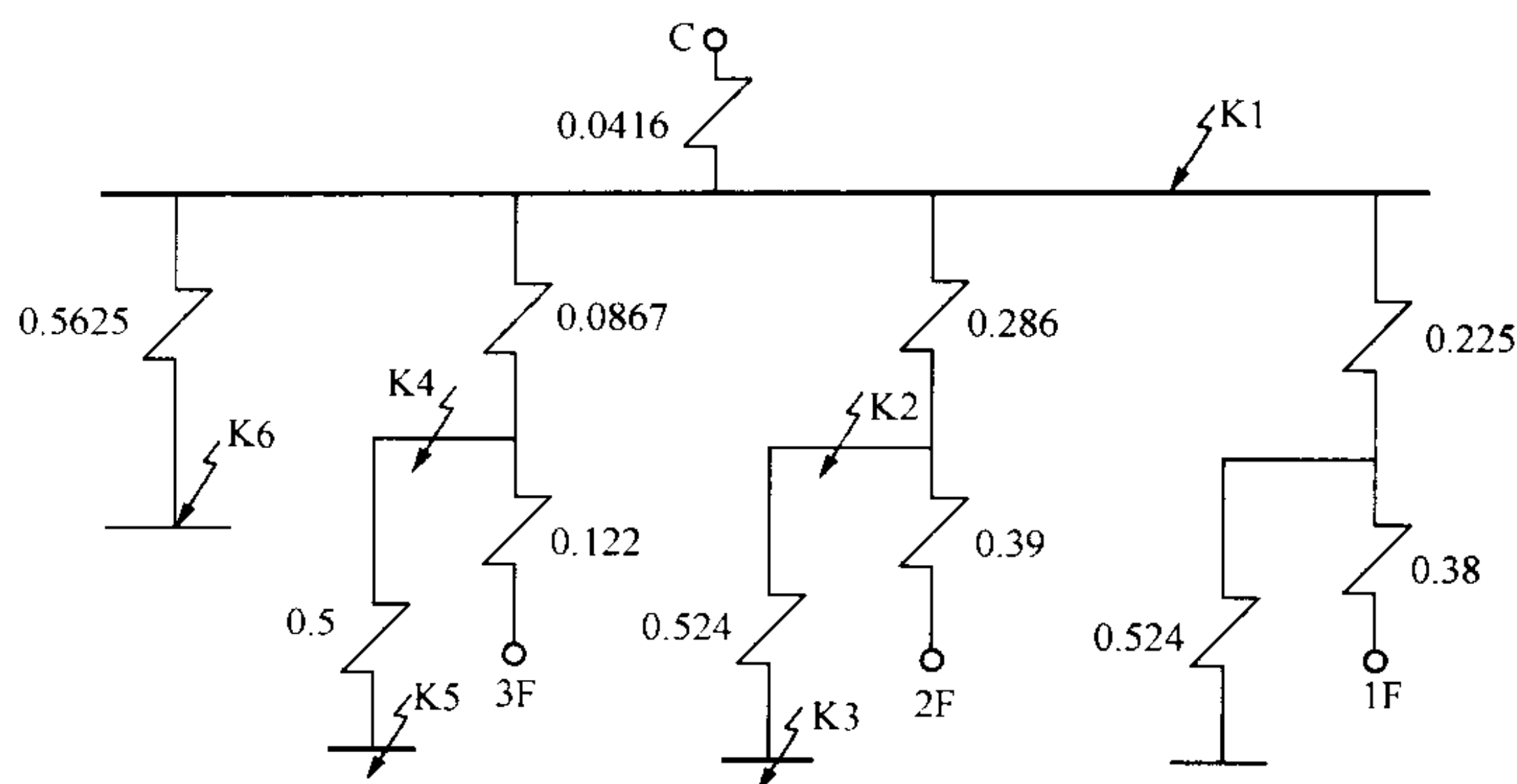


图 2-16 实例 3 等值电路

2-23 短路电流计算实例 4 (带电动机)。

本例主要说明如何考虑电动机的反馈电流影响某供电系统如图 2-17 所示。

主变压器容量各为 7500kVA, $U_k\% = 7.5$, 其中四台异步电动机容量各为 800kW, $\cos\varphi = 0.8$, $X''_d = 0.17$, 求在 K 点短路时的短路电流。

(1) 各元件的基准值

选取基准容量 $S_j = 100\text{MVA}$, 基准电压 6.3kV, 则基准电流 $I_j = S_j / \sqrt{3}U_j = 100 / \sqrt{3} \times 6.3 = 9.16 \text{ (kA)}$ 。

(2) 各元件电抗标幺值

电力系统 $X_1 = 100 / 600 = 0.167$

变压器 $X_2 = X_3 = U_k\% S_j / 100 \times S_{NT} = 7.5 \times 100 / 100 \times 7.5 = 1$

异步电动机 $X_4 = X_5 = X_6 = X_7 = X''_d \times \frac{S_j}{S_{Nd}} = 0.17 \times \frac{100}{1} = 17$

(3) 等值电路 (由于电缆电抗标幺值很小, 可忽略不计) 等值电路如图 2-18 所示。

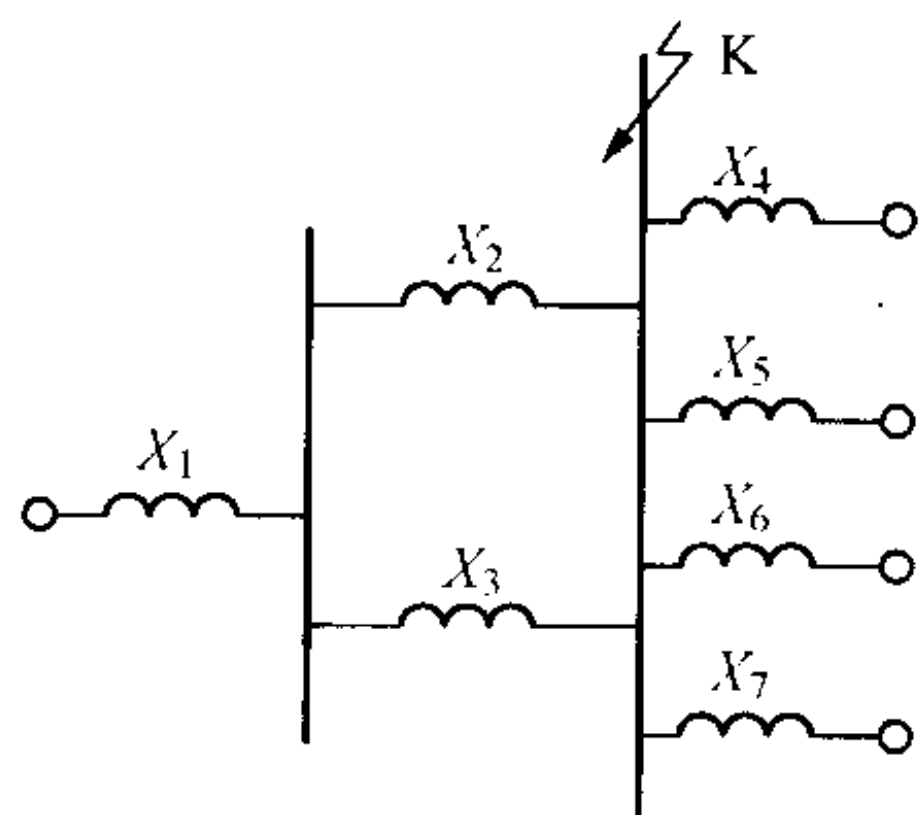


图 2-18 等值电路 (实例 4)

由等值电路可见

$$X'_1 = X_1 + X_2 / X_3 = 0.167 + 0.5 = 0.667$$

$$X'_2 = X_4 / X_5 = 17 / 2 = 8.5$$

$$X'_3 = X_6 / X_7 = 17 / 2 = 8.5$$

(4) 计算由电网供给 K 点的短路电流 (取 $K_{ch} = 1.8$)

$$I''_x = I_\infty = I_j / X'_1 = 9.16 / 0.667 = 13.73 \text{ (kA)}$$

$$i_{ch_x} = \sqrt{2} K_{ch} I''_x = \sqrt{2} \times 1.8 \times 13.73 = 34.85 \text{ (kA)}$$

(5) 计算由异步电动机反馈电流 (取 $K_{chd} = 1.75$)

$$I''_d = 9.16 / \frac{8.5}{2} = 2.16 \text{ kA}$$

$$i_{ch \cdot d} = 0.9 \times K_{chd} \cdot K'_{qd} \cdot \sqrt{2} \cdot I_{ed} = 0.9 \times 1.75 \times 6 \times \sqrt{2} \times (96 \times 4) = 5.131 \text{ (kA)}$$

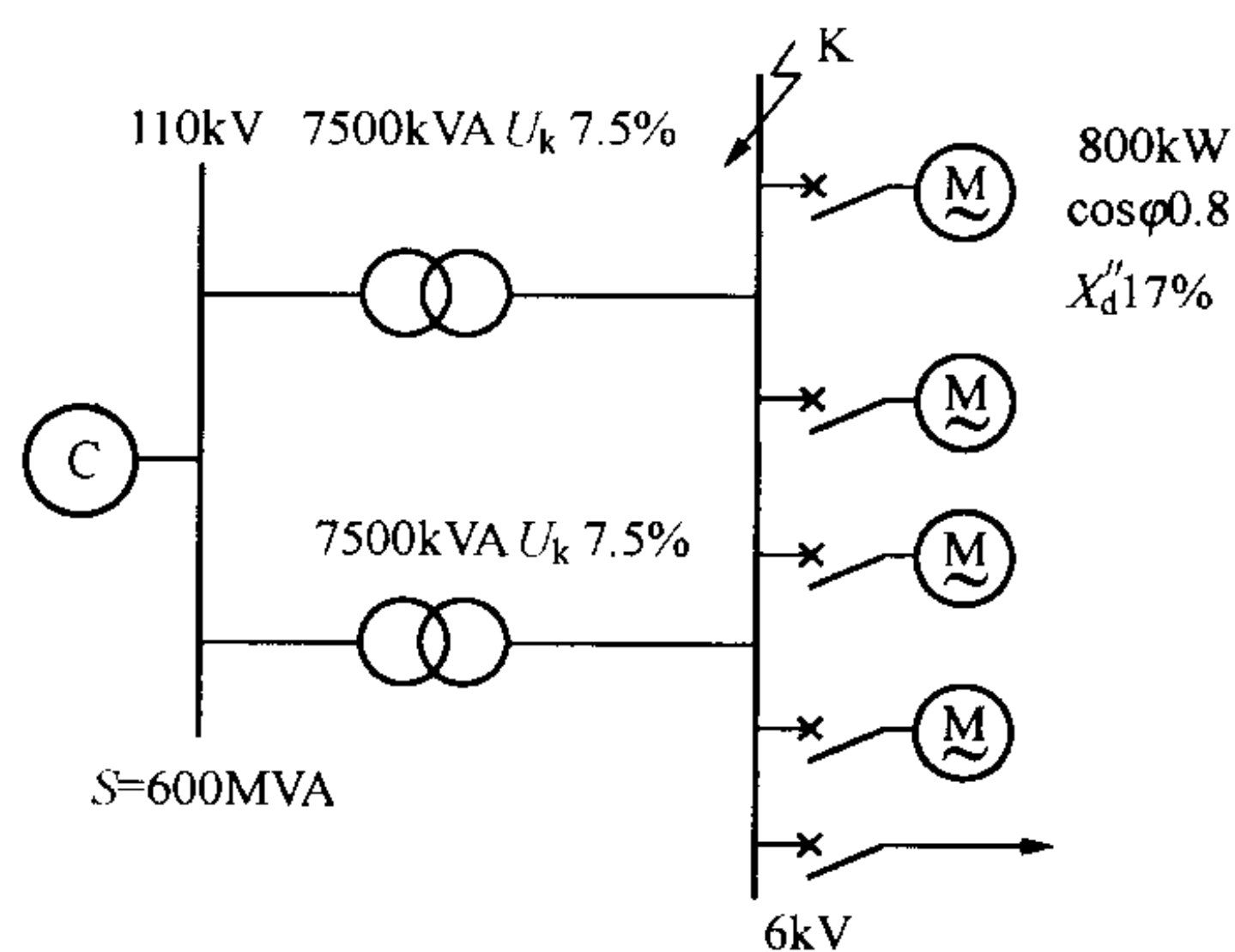


图 2-17 某供电系统接线

(6) 总短路电流

$$I'' = I''_x + I''_d = 13.73 + 2.16 = 15.89 \text{ (kA)}$$

$$i_{ch} = i_{chx} + i_{chd} = 34.85 + 5.13 = 39.98 \text{ (kA)}$$

$$\begin{aligned} I_{ch} &= \sqrt{(I''_x + I''_d)^2 + 2 [(k_{chx} - 1) I''_x + (k_{chd} - 1) I''_d]^2} \\ &= \sqrt{(13.73 + 2.16)^2 + 2 [(1.8 - 1) \times 13.73 + (1.75 - 1) \times 2.61]^2} \\ &= 23.87 \text{ (kA)} \end{aligned}$$

2-24 短路电流计算实例 5 (低压电网)。

本例主要说明低压电网的短路电流计算。某配电所的配电系统如图 2-19。

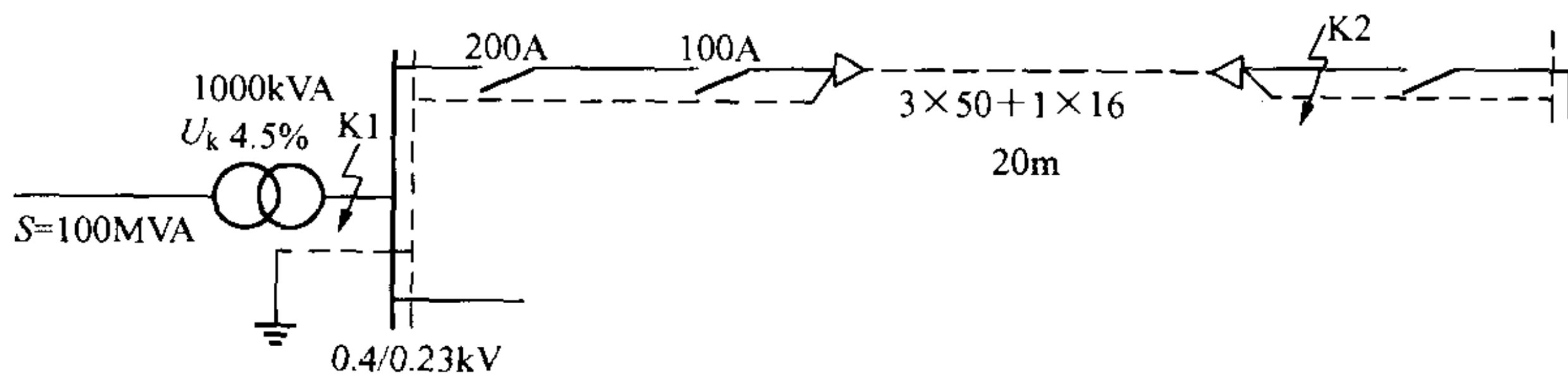


图 2-19 实例 5 供电系统接线

已知变压器高压侧短路容量 S_d 为 100MVA, 求 K1 处的三相短路电流, K2 处的三相和单相短路电流。

(1) 计算 K1、K2 处三相短路电流。

1) 计算各元件阻抗 ($m\Omega$)。

a) 根据公式可算得:

$$\text{高压系统电抗 } X_1 = U_c^2 / S_d = 400^2 / 100 \times 10^3 = 1.6$$

$$\text{变压器阻抗 } Z_2 = U_k \% U_L^2 / 100 S_N = 4.5 \times 400^2 / 100 \times 1000 = 7.2$$

$$\text{变压器电阻 } R_2 = \Delta P_K U_c^2 / S_N^2 = 11.6 \times 400^2 / 1000^2 = 1.856$$

$$\text{变压器电抗 } X_2 = \sqrt{Z_2^2 - R_2^2} = \sqrt{7.2^2 - 1.856^2} = 6.95$$

b) 数据表 2-21 可查得:

$$\text{刀开关接触电阻 } R_3 = 0.4$$

$$\text{自动开关接触电阻 } R_4 = 0.75$$

$$\text{自动开关线圈电阻 } R'_4 = 1.3$$

$$\text{自动开关线圈电抗 } X'_4 = 0.86$$

c) 根据表 2-13 可查得:

$$\text{电缆相线电阻 } R_5 = 0.754 m\Omega / m \times 20m = 15.08 \text{ (m}\Omega\text{)}$$

$$\text{电缆相线电抗 } X_5 = 0.079 m\Omega / m \times 20m = 1.58 \text{ (m}\Omega\text{)}$$

2) 计算短路电流总阻抗

K1 点

$$R_{\Sigma 1} = R_1 + R_2 = 0 + 1.856 = 1.856$$

$$X_{\Sigma 1} = X_1 + X_2 = 1.6 + 6.95 = 8.55$$

$$Z_{\Sigma 1} = \sqrt{R_{\Sigma 1}^2 + X_{\Sigma 1}^2} = \sqrt{1.856^2 + 8.55^2} = 8.74$$

K2 点

$$R_{\Sigma 2} = R_1 + R_2 + R_3 + R_4 + R'_4 + R_5$$

$$=0+1.856+0.4+0.75+1.3+15.08=19.39$$

$$\begin{aligned} X_{\Sigma 2} &= X_1 + X_2 + X_3 + X_4 + X'_4 + X_5 \\ &= 1.6 + 6.95 + 0 + 0 + 0.86 + 1.58 = 10.99 \end{aligned}$$

$$Z_{\Sigma 2} = \sqrt{R_{\Sigma 2}^2 + X_{\Sigma 2}^2} = \sqrt{19.39^2 + 10.99^2} = 22.29$$

3) 计算短路电流 (按无限电源系统考虑)

a) K1 点的三相短路电流

$$I_{K1}^{(3)} = U_c / \sqrt{3} Z_{\Sigma 1} = 400 / \sqrt{3} \times 8.74 = 26.45 \text{ (kA)}$$

$$i_{ch}^{(3)} = \sqrt{2} k_{ch} I^{(3)} = \sqrt{2} \times 1.51 \times 26.45 = 56.1 \text{ (kA)}$$

(由于 $X_{\Sigma} / R_{\Sigma} = 8.55 / 1.856 = 4.6$, 则 $k_{sh} = 1.51$, 如图 2-6 所示)

$$I_{ch} = I^{(3)} \sqrt{1 + 2(k_{ch} - 1)} = 26.45 \times \sqrt{1 + 1.02} = 37.6 \text{ (kA)}$$

b) K2 点三相短路电流

$$I_{K_2}^{(3)} = U_c / \sqrt{3} Z_{\Sigma 2} = 400 / \sqrt{3} \times 22.29 = 10.37 \text{ (kA)}$$

$$i_{ch} = \sqrt{2} k_{ch} \times I^{(3)} = \sqrt{2} \times 1.0 \times 10.37 = 14.66 \text{ (kA)}$$

(由于 $X_{\Sigma 2} / R_{\Sigma 2} = 10.99 / 19.39 = 0.57$, 故 $k_{ch} = 1$, 见图 2-6)

$$I_{ch} = I_{K_2}^{(3)} = 10.37 \text{ (kA)}$$

(2) 计算 K2 点的单相短路电流

各元件的正序阻抗等于负序阻抗等于相阻抗。

$$X_1 = 1.6, X_2 = 6.95, X_3 = X_4 = 0, X'_4 = 0.86, X_5 = 1.58 \text{ (m}\Omega\text{)}$$

$$R_1 = 0, R_2 = 1.856, R_3 = 0.4, R_4 = 0.75, R'_4 = 1.3, R_5 = 15.08 \text{ (m}\Omega\text{)}$$

各元件的零序电抗 X_0 和零序电阻 R_0 (mΩ) 如下:

高压系统无零序电流, 故不计零序阻抗

变压器 (可查表 2-11) $X_{02} = 40 \text{ (m}\Omega\text{)}, R_{02} = 0.92 \text{ (m}\Omega\text{)}$

刀开关触头 (查表 2-21) $R_{03} = R_3 = 0.4$

自动开关触头 (查表 2-21) $R_{04} = R_4 = 0.75$

自动开关线圈 (查表 2-20) $X'_{04} = X'_4 = 0.86, R'_{04} = R'_4 = 1.3$

电缆线路 (查表 2-13 和按下式计算)

相线 $X_{0X} = 0.101 \times 20 = 2.02 \text{ (m}\Omega\text{)}, R_{0X} = R_X = 0.754 \times 20 = 15.08 \text{ (m}\Omega\text{)}$

零线 $X_{0l} = 0.135 \times 20 = 2.7 \text{ (m}\Omega\text{)}, R_{0l} = 2.309 \times 20 = 46.18 \text{ (m}\Omega\text{)}$

线路零序电抗 $X_{05} = X_{0X} + 3X_{0l} = 2.02 + 3 \times 2.7 = 10.12 \text{ (m}\Omega\text{)}$

线路零序电阻 $R_{05} = R_{0X} + 3R_{0l} = 15.08 + 3 \times 46.18 = 153.63 \text{ (m}\Omega\text{)}$

K2 点单相短路时相零回路电抗 $X_{x1\Sigma}$ 为:

$$\begin{aligned} X_{x1\Sigma} &= \frac{1}{3} (X_{1\Sigma} + X_{2\Sigma} + X_{0\Sigma}) \\ &= \frac{1}{3} [(1.6 + 6.95 + 0 + 0 + 0.86 + 1.58) + (1.6 + 6.95 + 0 + 0 + 0.86 + 1.58) \\ &\quad + (40 + 0.86 + 10.12)] \\ &= 24.32 \text{ (m}\Omega\text{)} \end{aligned}$$

$$R_{x1\Sigma} = \frac{1}{3} (R_{1\Sigma} + R_{2\Sigma} + R_{0\Sigma})$$

$$\begin{aligned}
 &= \frac{1}{3} [(1.856 + 0.4 + 0.75 + 1.3 + 15.08) \\
 &\quad + (1.856 + 0.4 + 0.75 + 1.3 + 15.08) + (0.92 + 0.4 + 0.75 + 1.3 + 153.63)] \\
 &= 65.25 \text{ (m}\Omega\text{)}
 \end{aligned}$$

K2 点单相短路时相零回路阻抗 $Z_{X1\Sigma} = \sqrt{24.32^2 + 65.25^2} = 69.63$

K2 点单相短路电流为

$$I_K^{(1)} = U_c / \sqrt{3} Z_{X1\Sigma} = 400 / \sqrt{3} \times 69.63 = 3.32 \text{ (kA)}$$

2-25 短路电流计算实例 6 (不对称短路)。

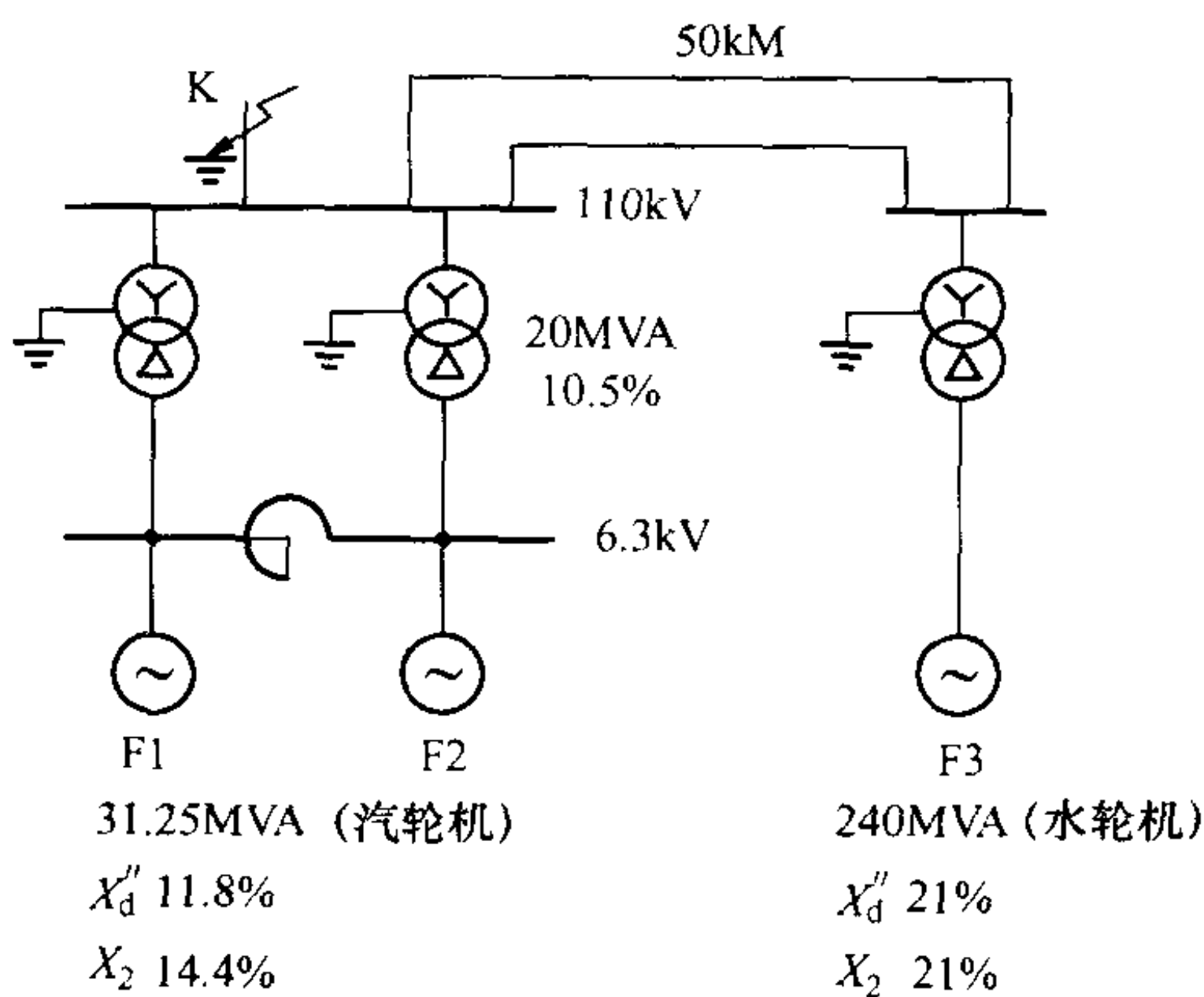


图 2-20 110kV 系统接线

本例主要说明不对称短路电流的计算。图 2-20 表示发电厂 110kV 系统及其接线。各元件参数在图中已给出。求 110kV 母线单相短路电流。

图 2-21 表示取 $S_j = 100\text{MVA}$ 的正、负、零序网络。

当 $S_j = 100\text{MVA}$ 时, 可简化为图 2-21 网络, 求出各序阻抗

$$X_{1\Sigma} = 0.142$$

$$X_{2\Sigma} = 0.146$$

$$X_{0\Sigma} = 0.142$$

求 110kV 母线单相短路电流 (用对称分量法)

$$\begin{aligned}
 X_{js}^{(1)} &= \left(1 + \frac{X_0}{X_{1\Sigma}}\right) \cdot X_{js}^{(3)} = \left(1 + \frac{X_{2\Sigma} + X_{0\Sigma}}{X_{1\Sigma}}\right) \cdot X_{1\Sigma} \cdot \frac{S_e}{S_j} \\
 &= \left(1 + \frac{0.146 + 0.142}{0.142}\right) \times 0.142 \times \frac{302.5}{100} = 1.34
 \end{aligned}$$

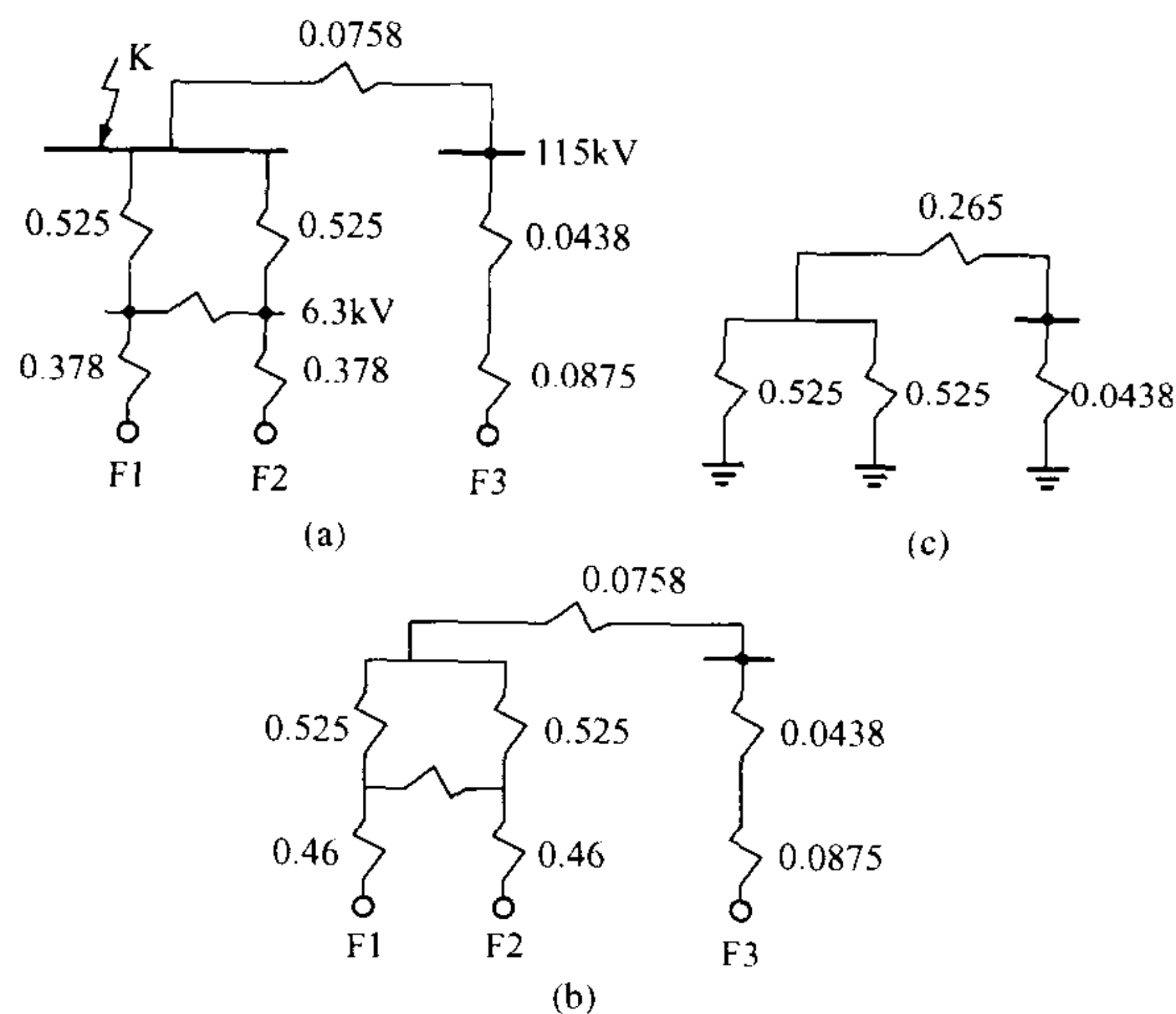


图 2-21 序网图

(a) 正序; (b) 负序; (c) 零序

查平均运算曲线得

$$I''_* = 0.77$$

$$X_{*\infty} = 0.91$$

$$I_e = S_e / \sqrt{3} U_p = 302.5 / \sqrt{3} \times 115 = 1.52 \text{ kA}$$

$$I_{al} = 0.77 \times 1.52 = 1.17 \text{ kA}$$

$$I_a = 3I_{al} = 1.17 \times 3 = 3.51 \text{ kA}$$

$$I_\infty = 3 \times 0.91 \times 1.52 = 4.15 \text{ kA}$$



第四节 过电压保护和接地

2-26 电力系统过电压的种类有哪些？采取什么保护措施？

电力系统过电压分为内过电压和外过电压两类，而内过电压包括暂时性过电压（工频过电压，谐振过电压）和操作过电压；外过电压又称为雷电过电压或大气过电压，包括直击雷和感应雷过电压。

(1) 暂时性过电压。这种过电压除增大绝缘承受电压外，还对选择过电压保护装置有重要影响。工频过电压一般由线路空载、接地故障和甩负荷而引起。一般主要采用在线路上安装并联电抗器加以限制，而架设线路避雷线宜通过技术经济比较来确定。

系统的工频过电压水平对 3~10kV 和 35~66kV 系统，一般分别不超过 $1.1\sqrt{3}p.u$ 和 $\sqrt{3}p.u$ ($p.u$ 为标么值，其基准值为 $1.0p.u = U_m \sqrt{3}$ ， U_m 为系统最高电压)；对 110~220kV 系统，一般不超过 $1.3p.u$ 。

系统的谐振过电压包括线性谐振和非线性谐振（铁磁谐振）过电压。一般因操作或故障引起系统元件参数出现不利组合而产生。应采取措施避免出现此种过电压的条件，或用保护装置限制其幅值和持续时间。

在 DL/T 620—1997《交流电气装置的过电压保护和绝缘配合》规程中规定：

1) 对 3~66kV 不接地系统或消弧线圈接地系统偶然脱离消弧线圈的部分，当连接有中性点接地的电磁式电压互感器的空载母线，因合闸充电或在运行时接地故障消除等原因的激发，使电压互感器过饱和则可能产生铁磁谐振过电压。应采取措施防止（如选用励磁特性饱和点较高的电磁式电压互感器，减少同一系统电压互感器中性点接地的数量，在开口三角形绕组装 $R_\Delta \leq 0.4 \times x_m / k_{13}^2$ 的电阻； k_{13} 为一次和开口三角形绕组的变比， x_m 为在线电压作用下电压互感器单相绕组的励磁电抗等）。

2) 在 3~66kV 不接地及经消弧线圈接地系统，应采用性能良好的设备并提高运行维护水平，避免因配电变压器高压绕组对地短路或送电线路一相断线且一端接地或不接地而产生的铁磁谐振过电压。

3) 有消弧线圈的较低电压系统，应适当选择消弧线圈的脱谐度（采用过补偿）；无消弧线圈的较低电压系统，应安装电容器增大其对地电容，防止高幅值的转移过电压。

(2) 操作过电压。这种过电压是由于在操作过程中而引起的内过电压，如切空载变压器，切合空载线路；单相重合闸和成功、非成功的三相重合闸，开断高压感应电动机等。

1) 切空载变压器过电压。运行经验证明，断路器灭弧能力越强，在切断变压器的空载

电流时,有可能发生强制熄弧(截流)而产生过电压($u=L\frac{di}{dt}\rightarrow-\infty$),故应采取防止(如采用冷轧硅钢片制造变压器,在断路器的非电源侧装设避雷器等)。

2) 切断高压感应电动机时,特别是用真空断路器在真空断路器时也会出现过电压,应在真空断路器和电动机间装氧化锌避雷器或 R-C 阻容吸收装置。

3) 线路合闸和重合闸过电压。这是线路 L-C 的振荡所致,对 $36\text{kV}\leq U_m\leq 252\text{kV}$ 的过电压一般不超过 3.0p. u., 通常无需采取限制措施(谐振和操作过电压的 $1.0\text{p. u.}=\sqrt{2}U_m/\sqrt{3}$)。

4) 空载线路分闸过电压。空载线路开断时,如断路器发生重击穿将产生过电压。对 66kV 及以下系统中,此种过电压不超过 3.5p. u., 开断前已有单相接地故障,使用一般断路器时过电压可能超过 4.0p. u., 故断路器应以 4.0p. u. 为限。

5) 3~66kV 系统开断并联电容器,如断路器发生单相重击穿时,电容器高压端对地过电压可能超过 4.0p. u.。发生两相重击穿极间过电压可能超过 $2.5\sqrt{2}U_{n.c}$ 。应采用不重击穿的断路器,对操作频繁的宜装并联电容器用金属氧化物避雷器。

(3) 雷电过电压。发电厂和变电所内的雷电过电压来自雷电对配电装置的直接雷击,反击和架空进线上出现的雷电侵入波。故应采取防止。采用避雷针或避雷线进行直击雷保护,适当配置避雷器以减少雷电侵入波过电压的危害。

1) 对不接地、经消弧线圈接地和高电阻接地中的变压器中性点,一般不装保护装置。但多雷区单进线变电所,且变压器中性点引出时宜装氧化锌避雷器(MOA)。

2) 3~10kV 系统中配电变压器应装阀式避雷器或 MOA 保护,应尽量靠近变压器装设。

3) 3~10kV 的 Yyn 和 Yy 接线的配电变压器,宜在低压侧装一组阀式避雷器(或击穿保险器)以防止反变换波和低压侧雷电侵入波击穿高压侧绝缘,但厂区内可根据运行经验而定。低压侧中性点不接地的变压器应在中性点装击穿保险器。

4) 35~0.4kV 的配电变压器,高压侧均装阀式避雷器(或 MOA)。

5) 3~10kV 柱上断路器,负荷开关和隔离开关应在带电侧装阀式避雷器(或 MOA),其接地线应与断路器等金属外壳连接,且接地电阻应小于 10Ω 。装在架空线路上的电容器宜装阀式避雷器(或 MOA)。

2-27 雷电过电压的特性是什么?

雷电过电压分为直击雷和感应雷。直击雷是指直接击中电气设备、线路或建筑物的雷电波;感应雷是指雷电对电气设备、线路或其他物体的静电感应或电磁感应引起的雷电过电压。而雷电过电压还可以沿架空线路或金属管道侵入变配电所或其他建筑物,称为雷电波侵入。

在制造厂对电气设备作试验时,采用标准雷电冲击波,其波形如图 2-22 所示。

在图 2-22 中, T_1 为波前时间等于 $1.2\mu\text{s}$, T_2 为半峰值 $U_m/2$ 时间,等于 $50\mu\text{s}$,称为 1.2/50 冲击波。

雷电冲击波具有下列特性:

(1) 波的传导特性。雷电波在输电线中传播,其传播速度为 $U=\frac{dx}{dt}=\frac{1}{\sqrt{L_0C_0}}$ [x 为线路

长度 (m), t 为传播时间 (s) L_0 , C_0 为导线单位长度的电感和对地电容], 沿架空线的传播速度为 3×10^8 m/s; 在电缆中的传播约为上值的 $1/2 \sim 1/3$ 。

(2) 波的折射和反射。雷电冲击波到达不同分布参数的电路连接点时, 将形成反射波和折射波。反射波是在连接点处沿入射液反方向返回; 而折射液则是沿入射液方向进入另一分布参数的线路继续前进。当入射波全部变为反射波

时称为全反射, 发生全反射时 (如线路末端开路) 其开路末端电压将为雷电行波电压的 2 倍, 故必须设置避雷器保护; 而在变电所的入口处, 由于波阻抗的改变 (有变压器) 将发生折射波进入变压器, 为保护变压器的绝缘, 为此, 应采取措施加以保护, 如采用架设避雷线, 加装避雷器及采用进线电缆等。

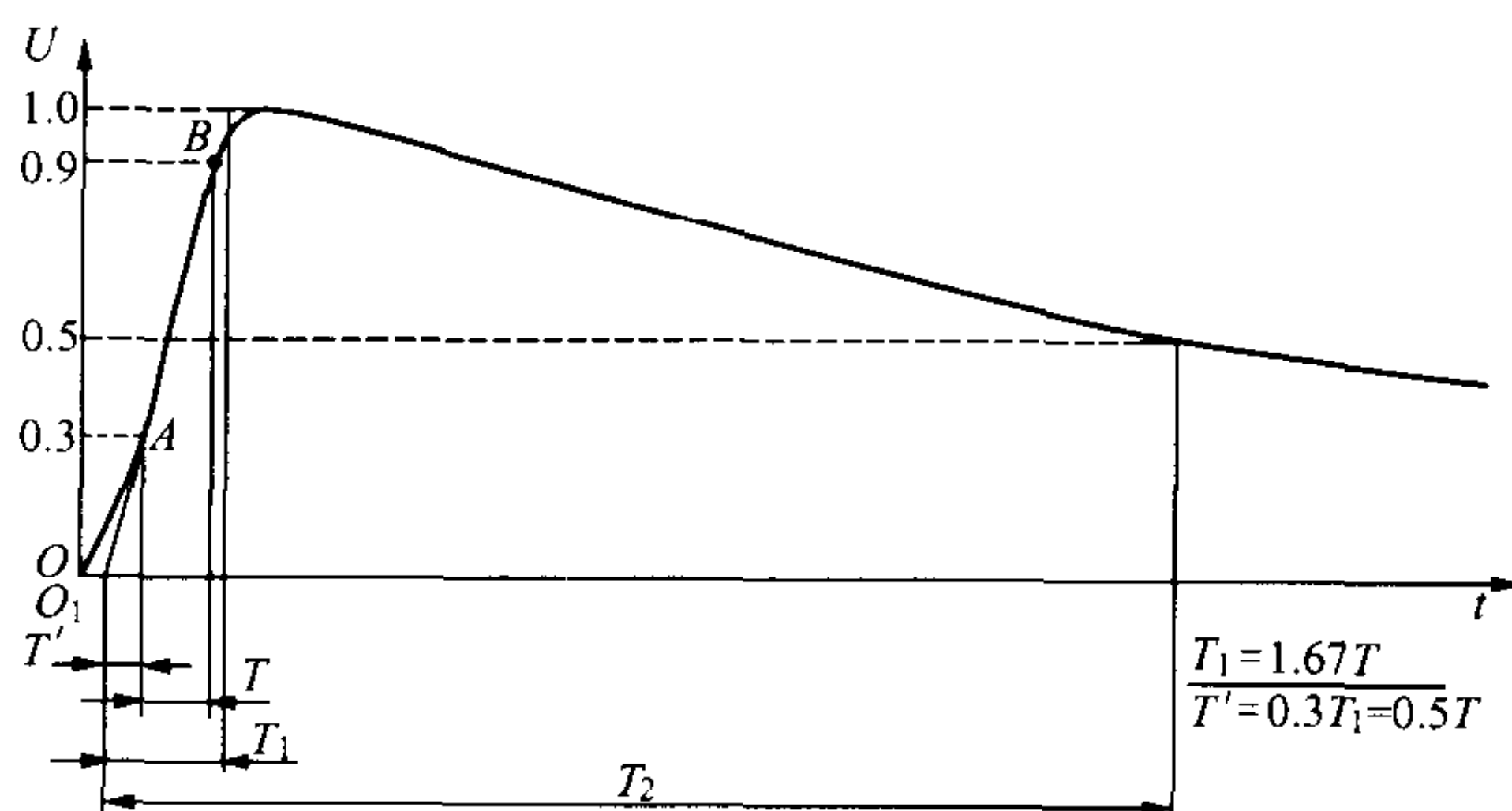


图 2-22 标准雷电冲击波形

2-28 接地, 接地电阻, 接触电压和跨步电压的基本概念是什么?

接地是指电气设备为达到安全和功能需要的目的, 将其某一部分与大地之间作良好的电气连接。可分为功能性接地 (如中性点接地或经消弧线圈等接地), 又称为工作接地; 保护性接地 (包括安全保护接地, 过电压保护接地, 防静电接地); 功能和保护性合一接地 (如屏蔽接地)。

接地电阻是指接地体的流散电阻和接地线, 接地体电阻的总和。主要是接地体的流散电阻, 它和土壤的电阻类有关。而接地电阻又分为工频接地电阻 (工频电流流过时的接地电阻) 和冲击接地电阻 (雷电流流过时的接地电阻)。

在表 2-27 和表 2-28 中列出了工频和冲击接地电阻允许值。

表 2-27

工频接地电阻允许值

类型	接地装置使用条件	允许的工频接地电阻值 (Ω)	备注
1kV 及以上的设备	大接地短路电流系统	一般应符合 $R \leq 2000I$	高土壤电阻率区, 接地电阻允许提高, 但不超过 5Ω
		当 $I > 4000A$, 可取 $R \leq 0.5$	
1kV 及以上的设备	小接地短路电流系统, 高低压设备共用接地, 仅用于高压设备的接地	$R \leq 120I$ $R \leq 250I$ } 但一般应不大于 10	高土壤电阻率区、 R 允许提高, 但不超过: 发电厂变电所 15Ω , 其余 30Ω
电力设备的接地	中性点直接接地与非直接接地时: 并联运行电气设备的总容量为 $100kVA$ 以上时 并联运行电气设备的总容量不超过 $100kVA$ 时	一般不应大于 4 可不大于 10	高土壤电阻率区、 R 允许提高, 但不应超过 30Ω

表 2-28 冲击接地电阻允许值

名称	接地装置特性	接地电阻 (Ω)	
独立避雷针	一般电阻率区	$R_{sh} \leq 10$	
	高电阻率地区	接地装置不与主接地网连接	不作规定, 但应满足 $\delta_e \geq 0.3R_{sh} + 0.1h$, $\delta_e \geq 0.3R_{sh}$
		接地装置与主接地网连接	R_{sh} 不作规定, 但主 35kV 及以下设备接地点的接地体长度不得小于 15m
配电装置构架上的避雷器	符合《电力设备过电压保护设计技术规程》第 71 条要求	R_{sh} 不作规定, 但与主接地网连接处应埋设集中接地装置, 主变压器接地点的接地体长度不得小于 15m	
避雷器		R_{sh} 不作规定, 但与主接地网连接处应埋设架中接地装置	

接触电压。人站在发生接地故障的电气设备旁边, 手触及设备的外露可导电部分, 则人所接触的两点 (如手与脚) 之间所呈现的电位差, 称为接触电压。

跨步电压。人在接地故障点周围行走, 两脚之间所呈现的电位差, 称为跨步电压。

在图 2-23 中表示这两种电压的发生地点及示意图。

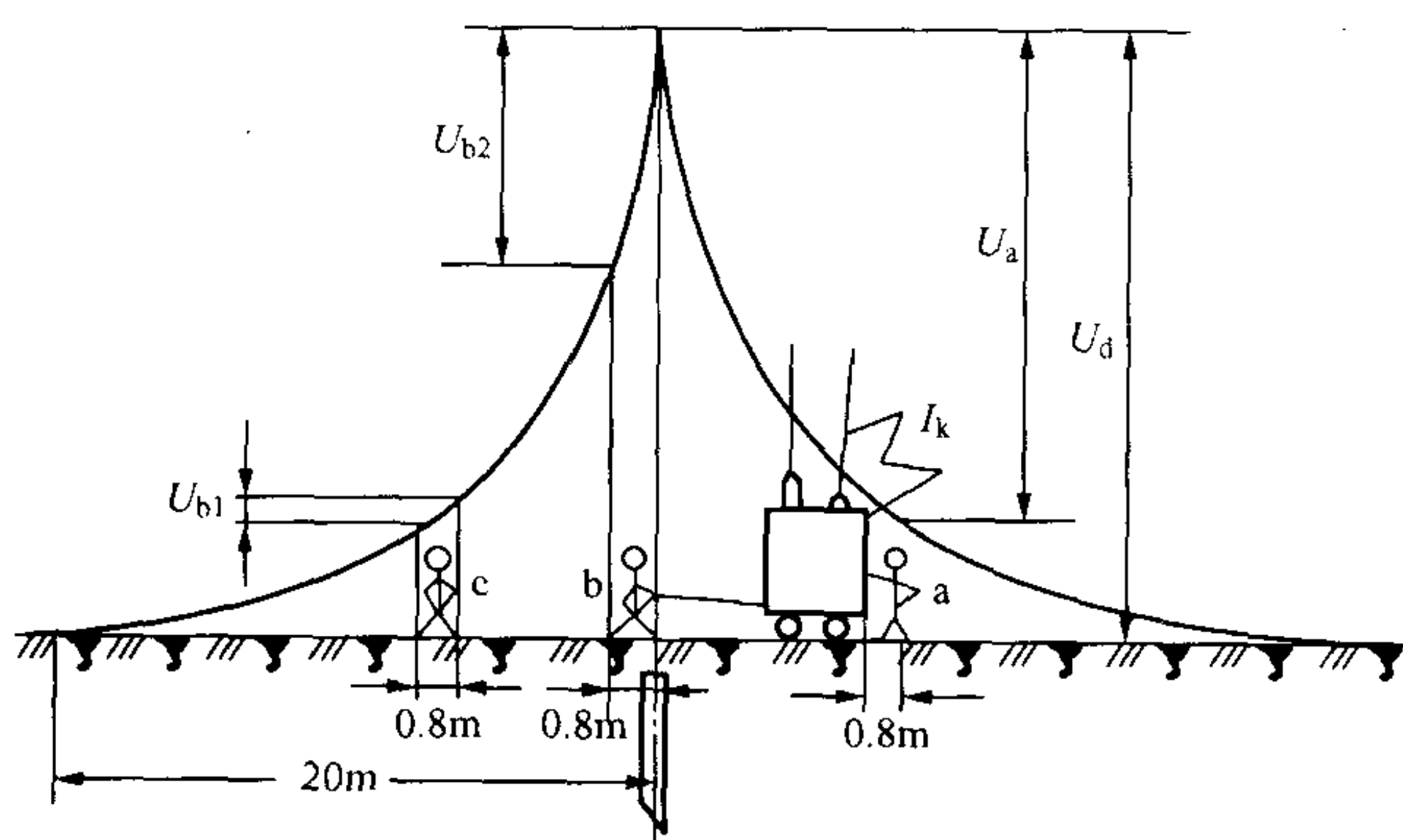


图 2-23 接触电压和跨步电压示意

U_{b1} 、 U_{b2} —跨步电压; U_c —接触电压; U_d —故障设备对地电压

2-29 避雷针、避雷线保护范围是如何确定的?

(1) 单支避雷针的保护范围 (见图 2-24)。

1) 避雷针在地面上的保护半径

$$r = 1.5hP$$

式中 r ——保护半径, m;

h ——避雷针高度, m;

P ——高度影响系数, $h \leq 30m$, $P = 1$; $30m < h \leq$

$120m$, $P = 5.5/\sqrt{h}$; $h > 120m$ 。

2) 被保护物高度 h_x 水平面上的保护半径

a) $h_x \geq 0.5h$ 时 $r_x = (h - h_x)P = h_a P$

式中 r_x ——避雷针在 h_x 水平面上的保护半径, m;

h_x ——被保护物高度, m;

h_a ——避雷针的有效高度, m。

b) $h_x < 0.5h$ 时 $r_x = (1.5h - 2h_x)P$

(2) 两支等高避雷针的保护范围 (见图 2-25)。

1) 两针外侧的保护范围按单支避雷针的计算方法确定。

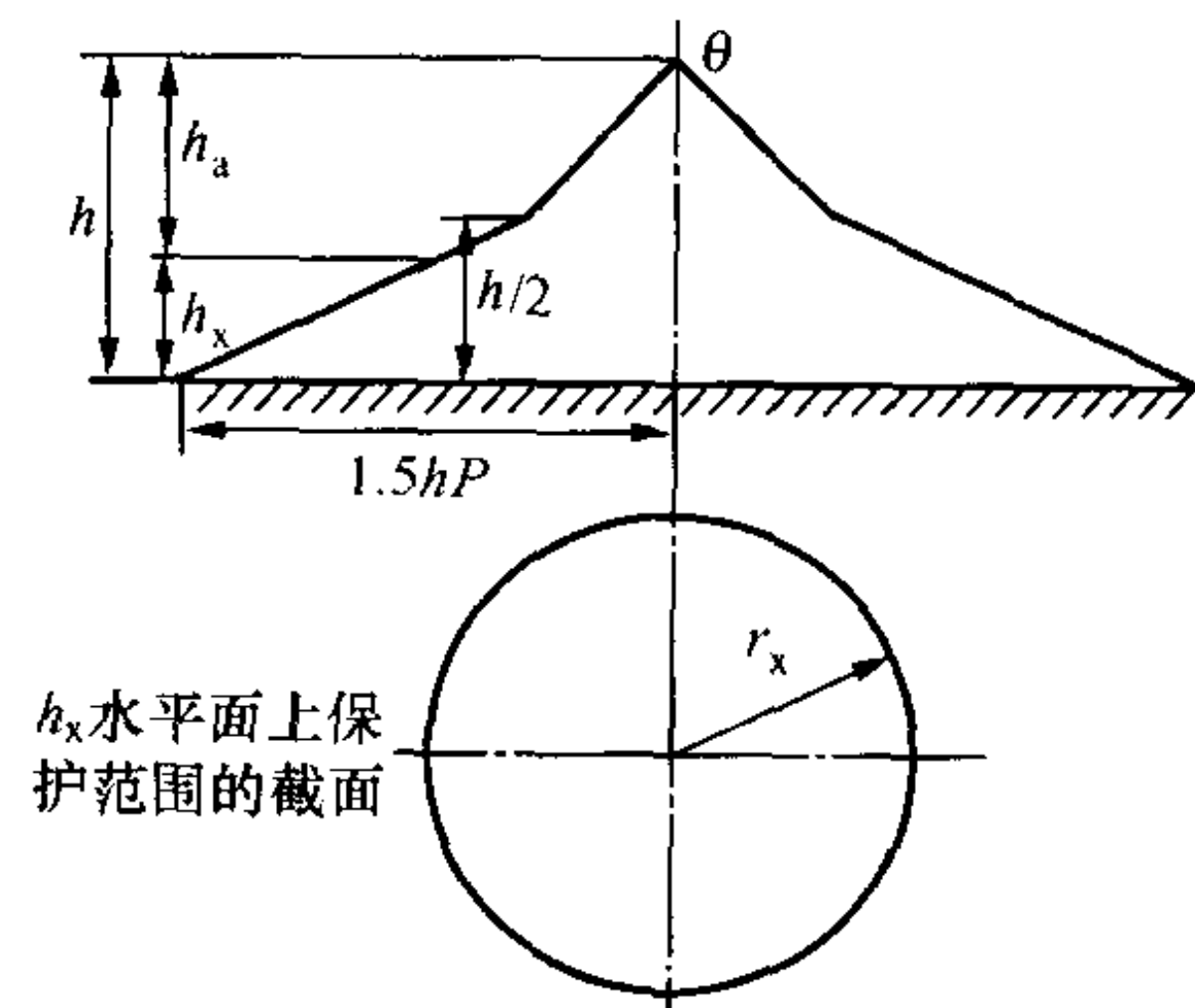


图 2-24 单支避雷针保护范围

2) 两针间的保护范围应按通过两针顶点及保护范围上部边缘最低点 O 的圆弧确定, 圆弧半径为 R'_0 , O 点为假想避雷针的顶点, 其高度为 $h_0 = h - \frac{D}{7p}$ [h_0 为两针间保护范围上部边缘最低点高度 (m), D 为两避雷针间距离, (m)]。

h_x 水平面上保护范围最小宽度按图 2-25 确定, $b_x > r_x$ 时取 $b_x = r_x$ 。两针间距离与针高之比 D/h 不宜大于 5。

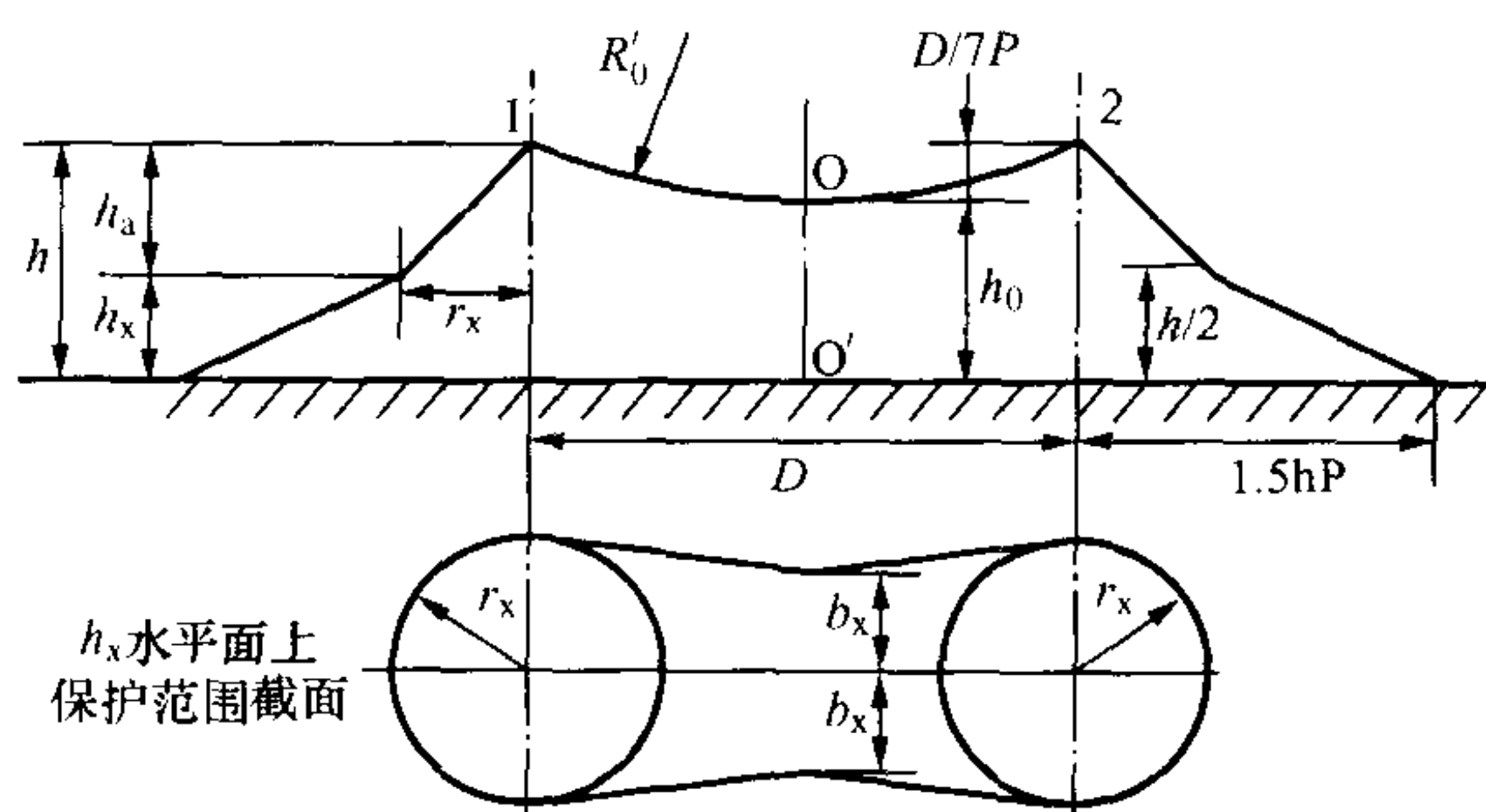


图 2-25 两支等高避雷针保护范围

(3) 多支等高避雷针的保护范围 (见图 2-26)。

1) 三支等高避雷针形成的三角形的外侧保护范围应分别按两支等高避雷针的计算方法确定。如在三角形内被保护物最大高度 b_x 水平面上, 各相邻避雷针间保护范围一侧最小宽度 $b_x \geq 0$ 时, 则全部面积受到保护。

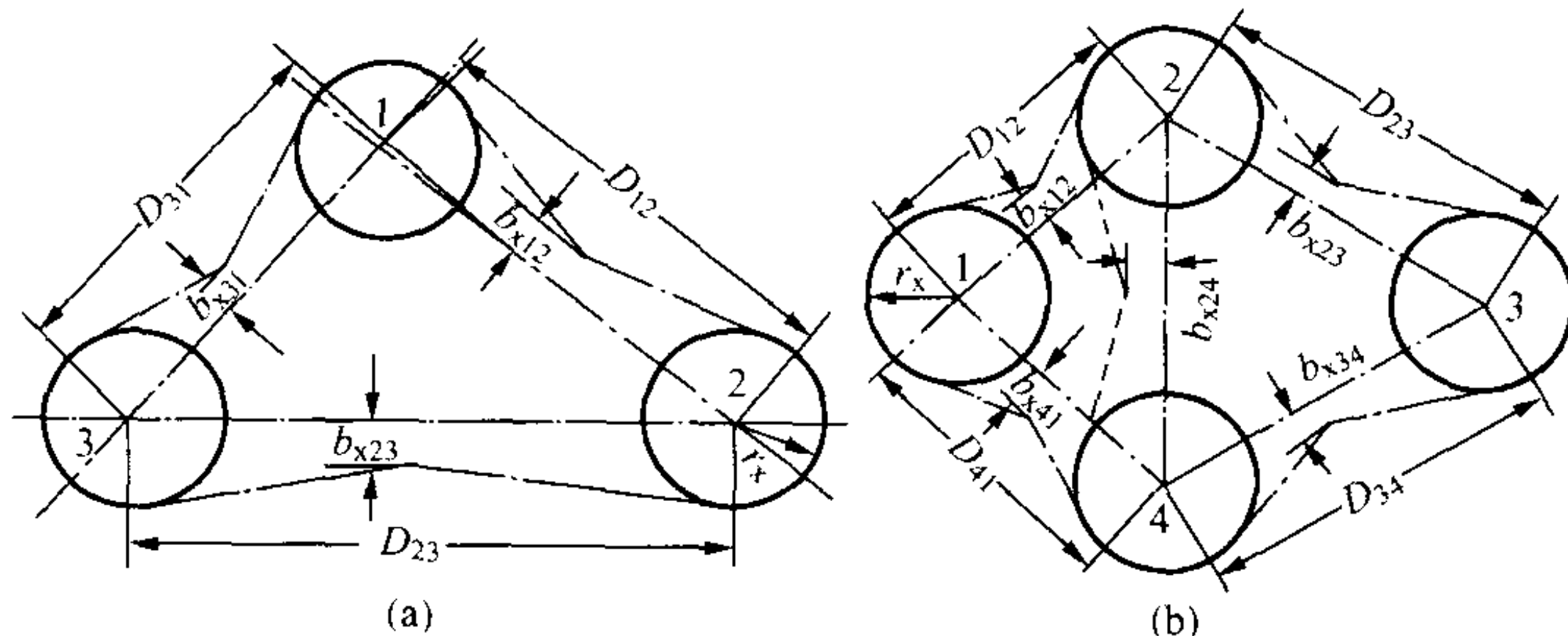


图 2-26 多支等高避雷针保护范围

2) 四支及以上等高避雷针所形成的四角形或多角形可先将其分成两个或数个三角形, 按三支等高避雷针计算, 如 $b_x \geq 0$, 则全部面积受到保护。

(4) 两支不等高避雷针的保护范围 (见图 2-27)。

1) 分别按单支的方法确定。

2) 先确定较高针 1 的保护范围, 然后由较低针 2 的顶点作水平线与针 1 的保护范围交于点 3, 取点 3 为等效避雷针顶点, 再按两支等高避雷针方法确定针 2 和 3 间的保护范围。通过针 2、3 顶点及保护范围上部边缘最低点的圆弧, 其弓高为 $f = \frac{D'}{7p}$ 。

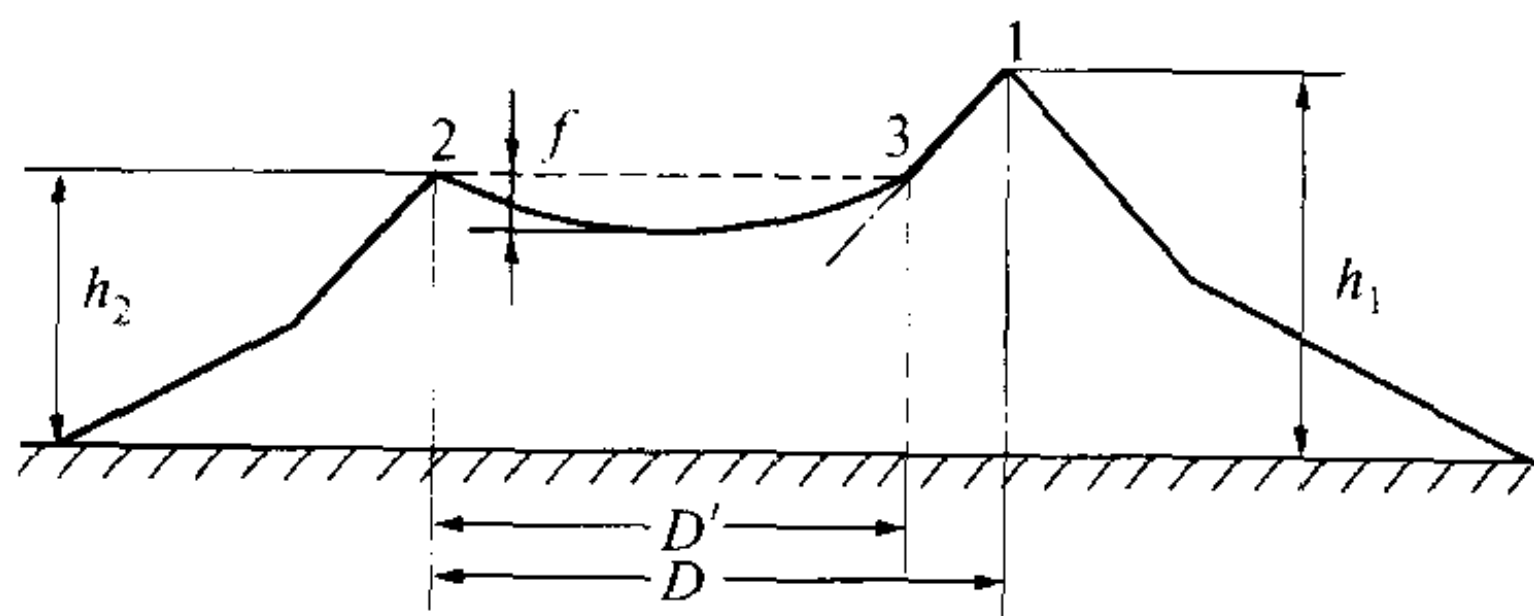


图 2-27 两支不等高避雷针保护范围

(5) 多支不等高避雷针的保护范围。各相邻两针的外侧保护范围按两支不等高针的方法确定; 对三支不等高针, 如在 h_x 水平面上的 $b_x \geq 0$, 则全部面积受保护; 四支及以上的, 其内侧保护范围可仿照等高针的方法确定。

2-30 3~110kV 电压的发电厂和变电所以对雷电侵入波采取什么过电压保护?

雷电侵入波是造成变电所雷害事故的主要原因。因此, 必须采取措施来保护变电所内的

电气设备。

(1) 未沿全线架设避雷线的 35~110kV 架空送电线路，应在变电所 1~2km 进线段架设避雷线。避雷线保护面不宜超过 20°，最大为 30°。同时应按图 2-28 装设阀式避雷器， F_1 的作用是防止在开关断开时发生全反射使电压升高一倍，造成开关对地闪络。 F_2 是保护变压器免受雷电侵入波损害。

(2) 沿全线架设避雷线的 35~110kV 变电所，也宜采用上述接线方式。

(3) 发电厂，变电所的 35~110kV 电缆进线段，电缆与架空线连接处应装阀式避雷器，接地端应与电缆金属外皮相连，如图 2-29 所示，对 3~10kV 配电装置（含变压器）应在每组母线和架空进线上装阀式避雷器，如图 2-30 所示。母线上的阀式避雷器与主变压器的电气距离应按表 2-29 设计。如超过表 2-22 时，可在主变压器附近增设一组阀式避雷器。

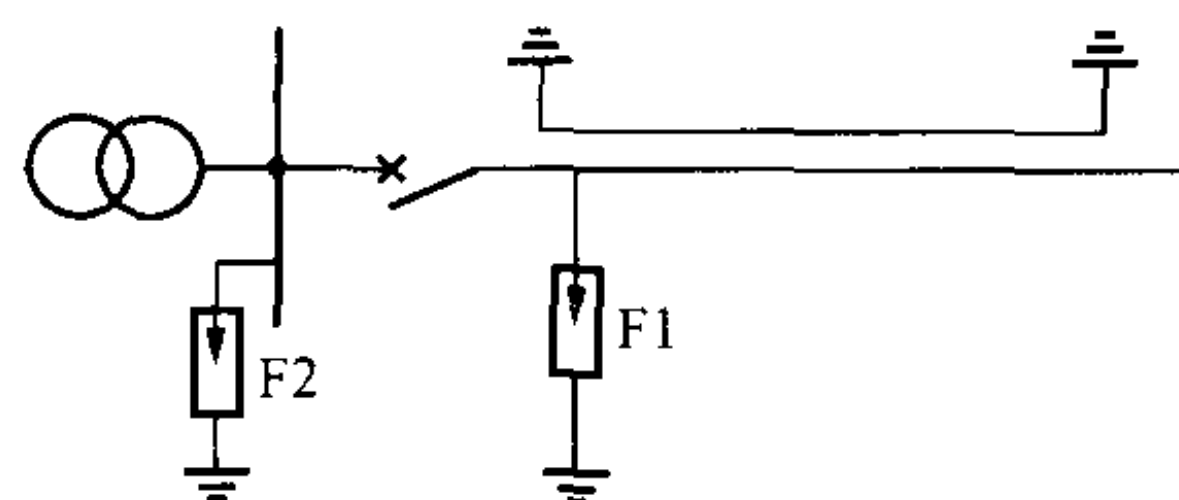


图 2-28 35~10kV 变电所进线保护

表 2-29 阀式避雷器至 3~10kV 主变压器最大电气距离

雷季经常运行的进线路数	1	2	3	≥4
最大电气距离 (m)	15	20	25	30

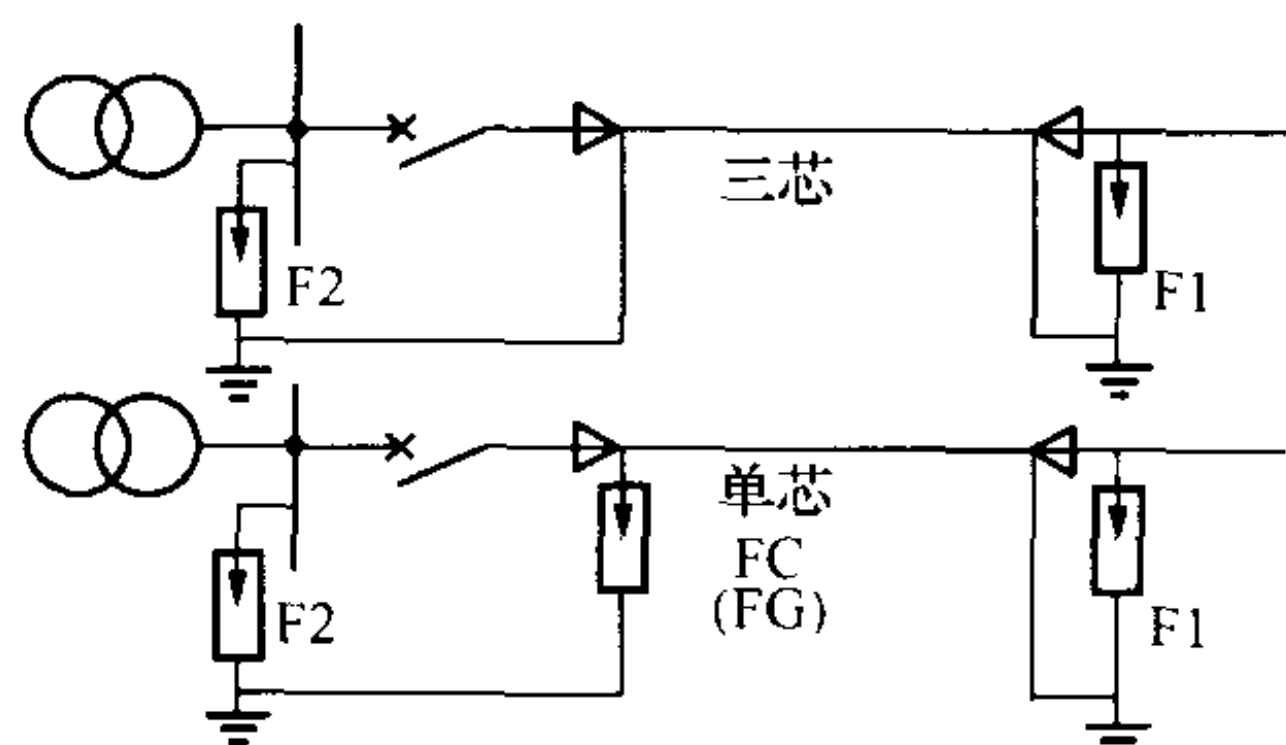


图 2-29 35kV 及以上电缆进线保护
FC—MOA 电缆护层保护器；FG—保护间隙

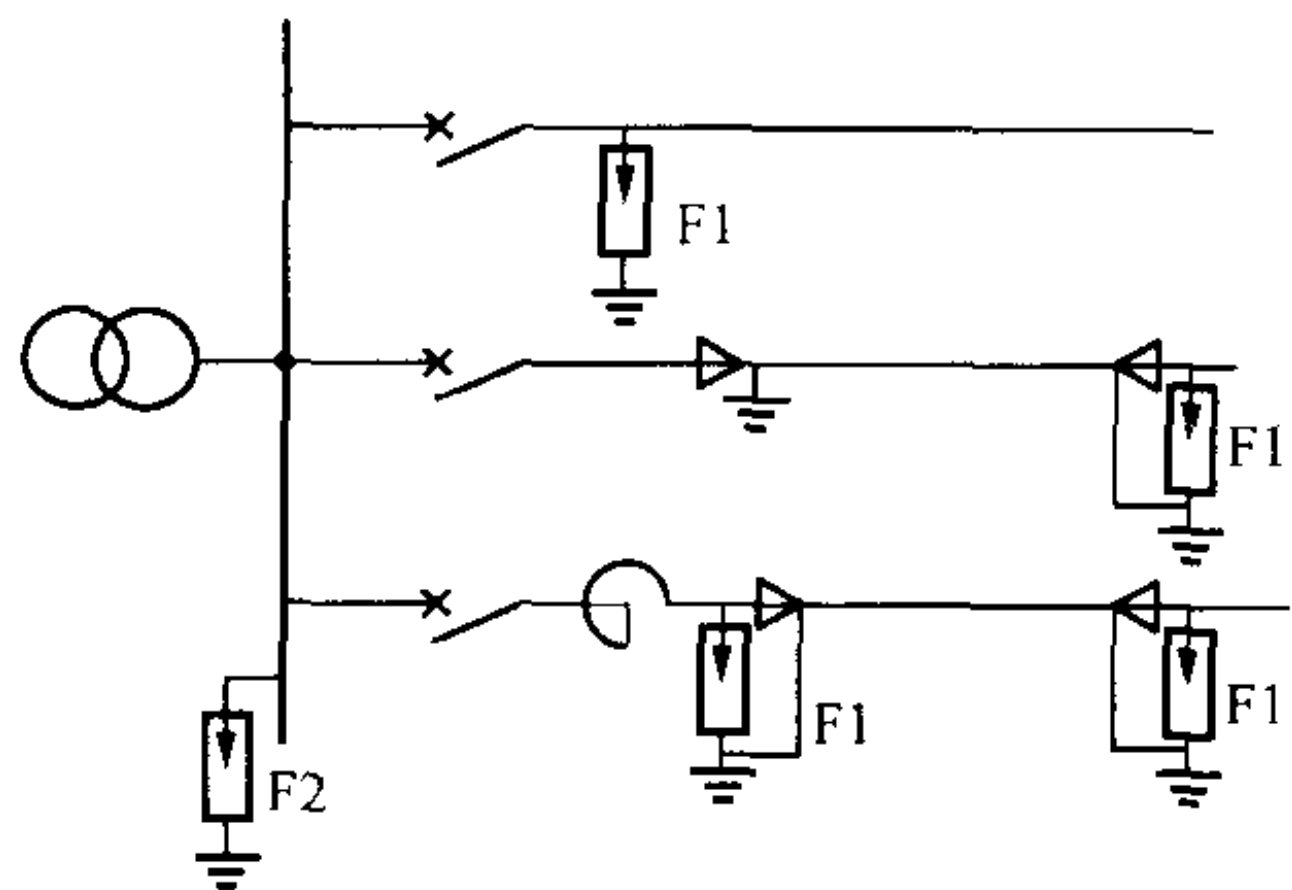


图 2-30 3~10kV 配电装置保护

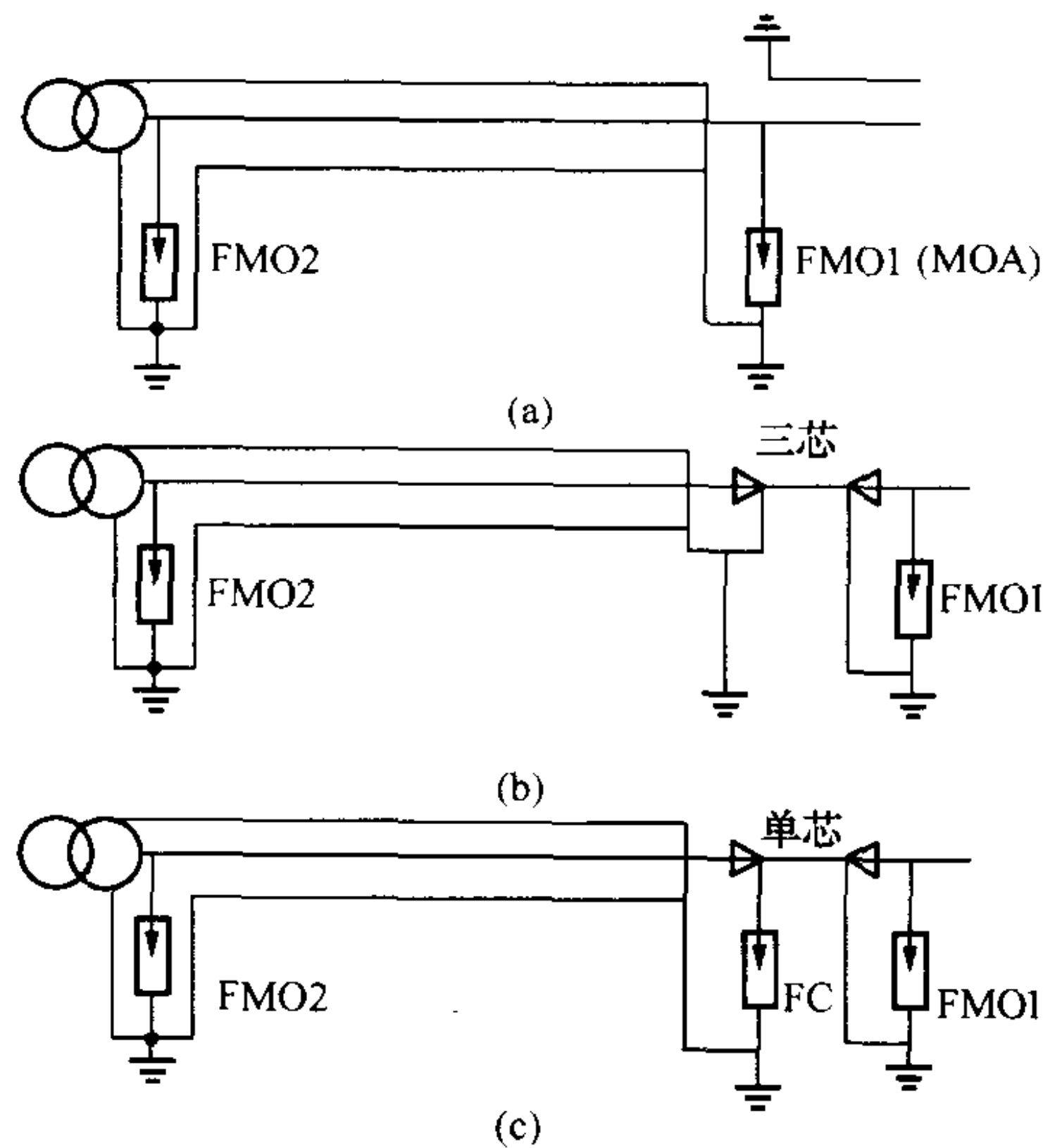


图 2-31 GIS 变电所保护
(a) 无电缆进线；(b) 三芯电缆段进线；
(c) 单芯电缆段进线

(4) GIS（气体绝缘全封闭组合电器）变电所，在 GIS 管道与架空线路连接处，应装设金属氧化物避雷器（MOA），其接地端应与管道金属外壳相连。如图 2-31 (a) 所示，对有电缆进线段的应按图 2-31 (b) 进行配置。进线全长为电缆时，如电缆另一端有雷电过电压波侵入的可能，一般应装设 MOA。

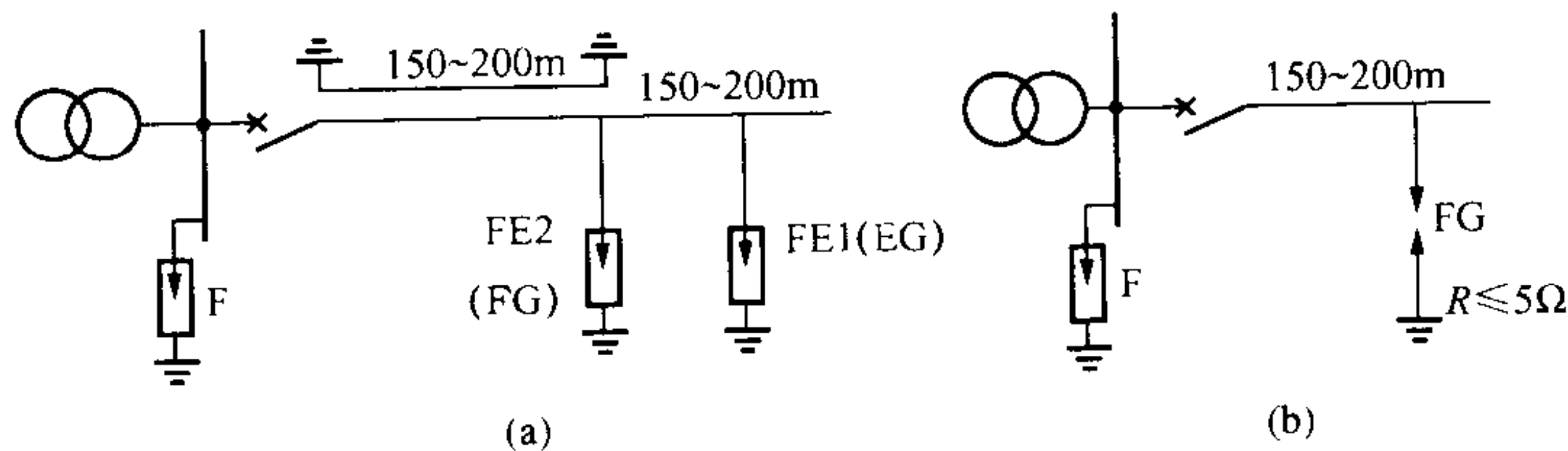


图 2-32 小于 3150kVA 变电所简易保护

(a) 有避雷线；(b) 无避雷线

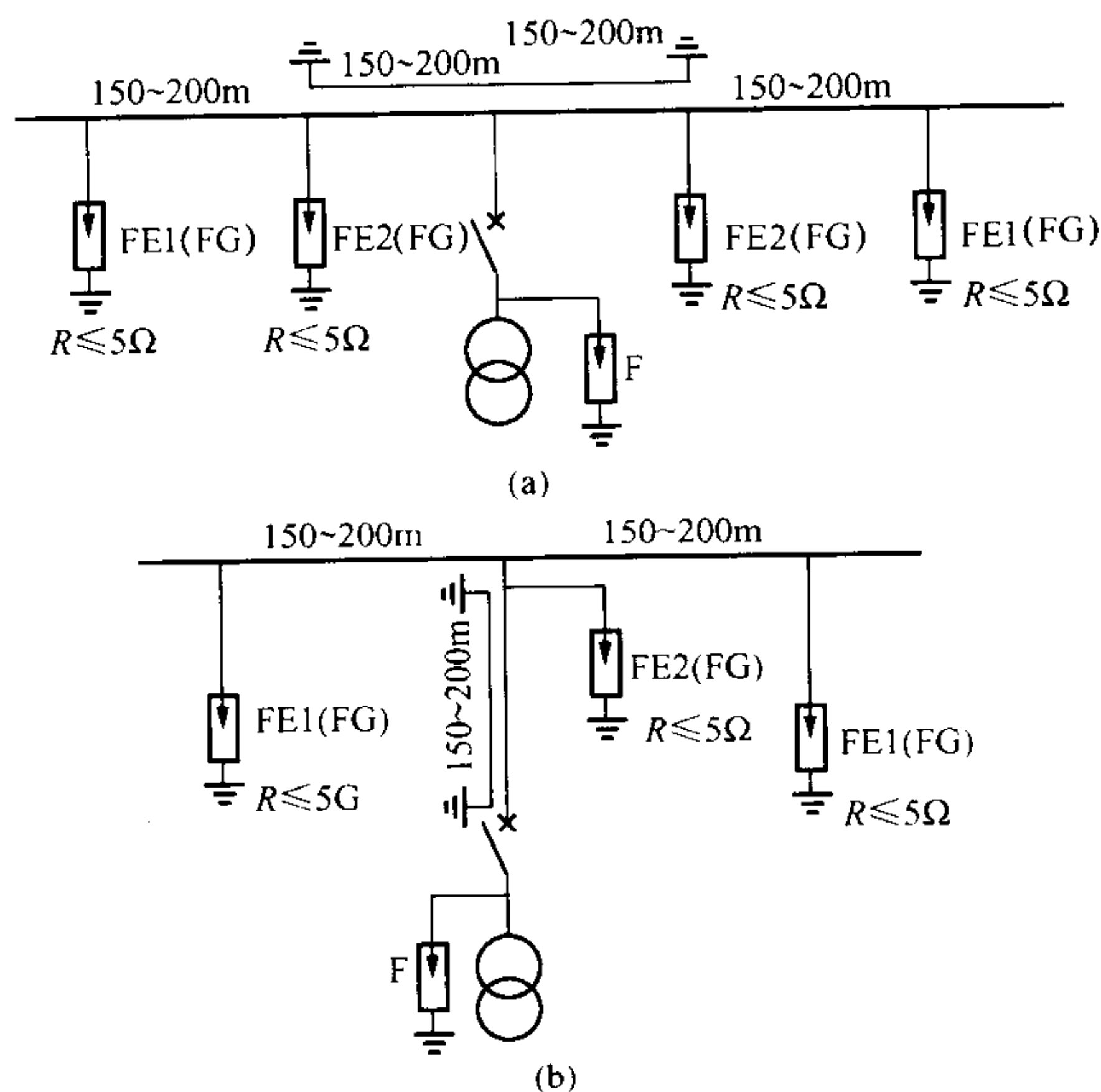


图 2-33 小于 3150kVA 分支变电所简易保护

(a) 分支线较短的；(b) 分支线较长的

FE—排气式避雷器

(5) 小容量变电所的过电压保护。

1) 3150 ~ 5000kVA 变电所的 35kV 侧，可根据负荷重要性及雷电活动强弱等条件适当简化接线，进线段避雷线长度可减少到 500 ~ 600m，但仍应按图 2-29 装阀式避雷器。

2) 小于 3150kVA 供非重要负荷的变电所 35kV 侧，可采用图 2-32 (a) 接线，1000kVA 及以下变电所，可采用图 2-32 (b) 接线。35kV 分支变电所可采用图 2-33 接线。

0.4 ~ 3.5kV 配电变压器，其高低压侧均应装阀式避雷器保护；3 ~ 10kV 柱上断路器和负荷开关应装阀式避雷器保护；低压侧中性点不接地的配电变压器，应在中性点装设击穿保险器。

(6) 单机容量为 1500 ~ 6000kW 的直配电机可采用图 2-34 的接线，如直配电机

中性点能引出且未直接接地，应在中性点上装旋转电机中性点式阀式避雷器。

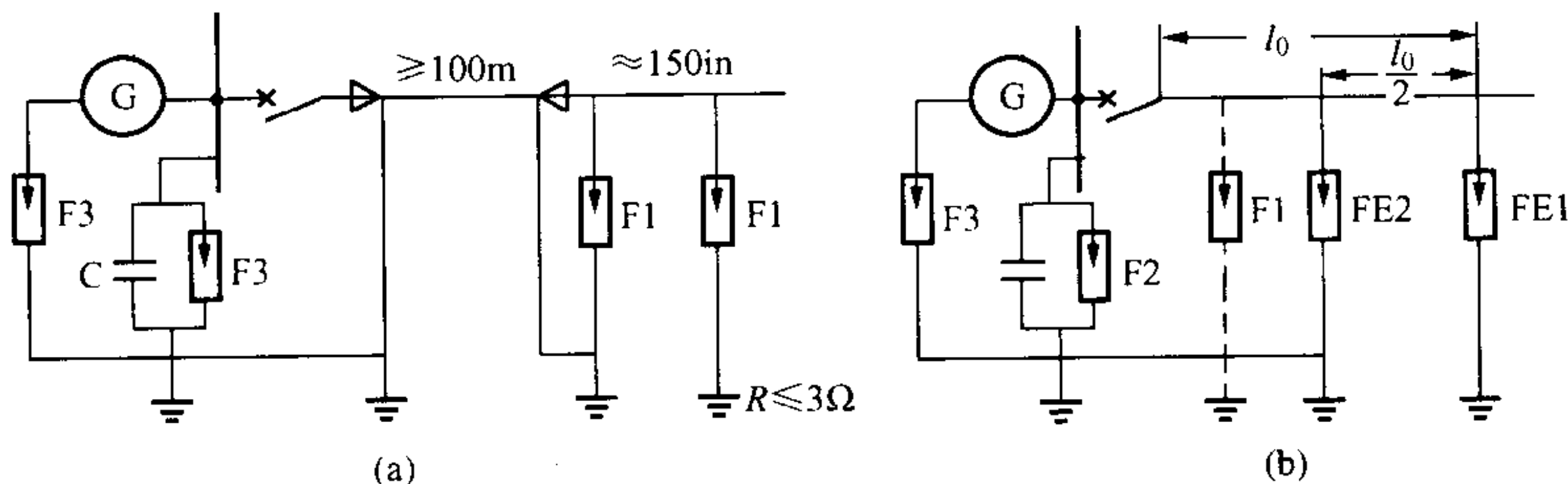


图 2-34 1500 ~ 6000kW (不含 6000kW) 直配电机保护

2-31 电源中性点直接接地低压配电系统有哪些保护接地形式？

在电源中性点直接接地的三相四线制的低压配电系统按用电设备保护接地形式可分为

TN 和 TT 系统。

(1) TN 系统是指在电源中性点直接接地运行方式下, 电气设备外露可导电部分用公共保护线 (PE 线) 或保护中性线 (PEN 线) 与系统中性点相连接的三相低压配电系统。它又分为三种形式:

1) TN-C 系统, 在系统中, 引出中性线 (N 线) 与 PE 线是同一条线 (简称 PEN 线), 如图 2-35 (a) 所示。但 PEN 线中可能有不平衡电流流过, 因此通过 PEN 线可对有些设备产生电磁干扰。且该系统不能采用灵敏度高的剩余电流保护来防止人员遭受电击。因此, TN-C 系统不适用于对抗电磁干扰和安全要求较高的场所。

2) TN-S。在系统中 PE 线和 N 线分开, 如图 2-35 (b) 所示。正常情况下 PE 线中无电流通过, 对连接 PE 线的设备不会有电磁干扰。且可采用剩余电流保护, 安全性较高。该系统已广泛用于对安全要求及抗电磁干扰要求较高的场所, 如重要办公楼, 居民住宅楼等。

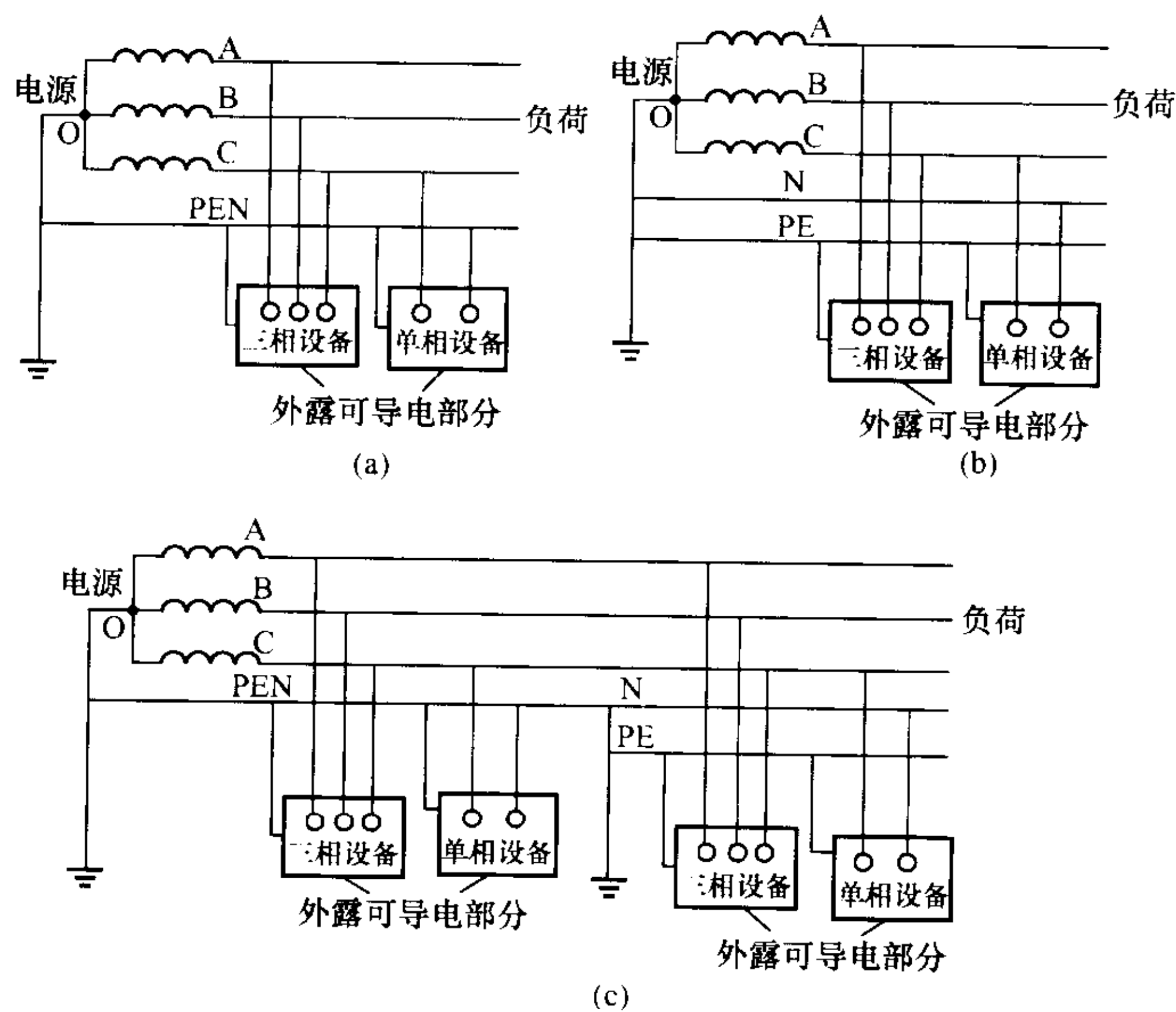


图 2-35 低压配电 TN 系统

(a) TN-C 系统; (b) TN-S 系统; (c) TN-C-S 系统

3) TN-C-S 系统。一部分为 TN-C 系统, 另一部分为 TN-S 系统, 如图 2-35 (c) 所示。此系统比较灵活, 对安全要求和抗电磁干扰要求较高者采用 TN-S 系统, 其他场所采用较经济的 TN-C 系统。

在 TN 系统中, 由于电气设备外露可导电部分与 PE 或 PEN 线相连。当电气设备一相绝缘击穿而使外露可导电部分带电时, 则该相电源经 PE 线形成单相短路回路, 导致大接地电流通过, 从而引起过流保护动作而切断电源。

(2) TT 系统。该系统是使电气设备外露可导电部分与电源引出线无关的各自独立接地体连接而直接接地的三相四线制低压配电系统, 见图 2-36 所示。各设备的 PE 线之间无电气联系, 故相互间无电磁干扰。它适用于安全要求和抗电磁干扰要求较高的场所, 我国已推广应用。

在上述系统中, 当电气设备一相绝缘击穿使外露可导电部分带电时, 该相电源经大地形

成短路回路，故电流不大，一般可装设高灵敏度的接地保护装置。

此外，还有一种 IT 系统，该系统的电源中性点不接地或经 1000Ω 阻抗接地，其所有电气设备外露可导电部分各自经 PE 线单独接地。它主要用于对供电连续性要求高及易燃易爆场所。如医院手术室、矿井下等（见图 2-37）。

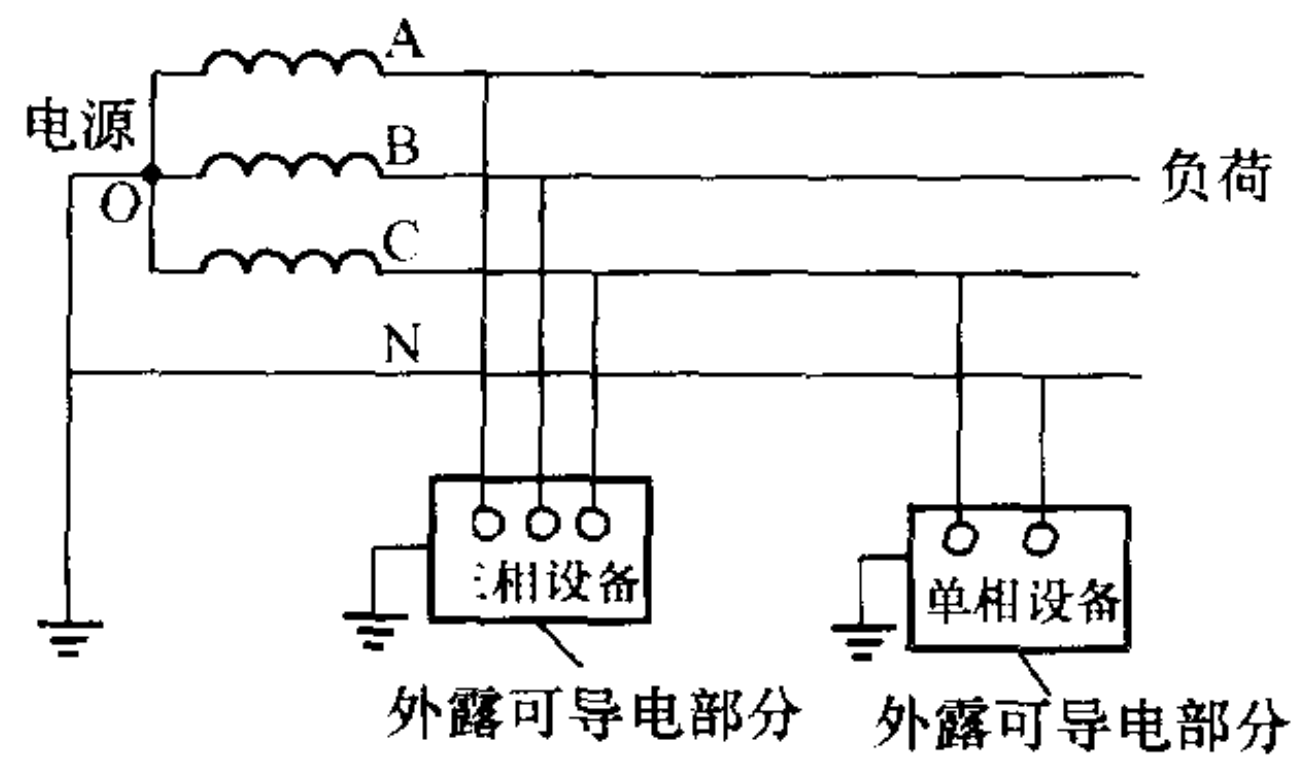


图 2-36 低压配电 TT 系统

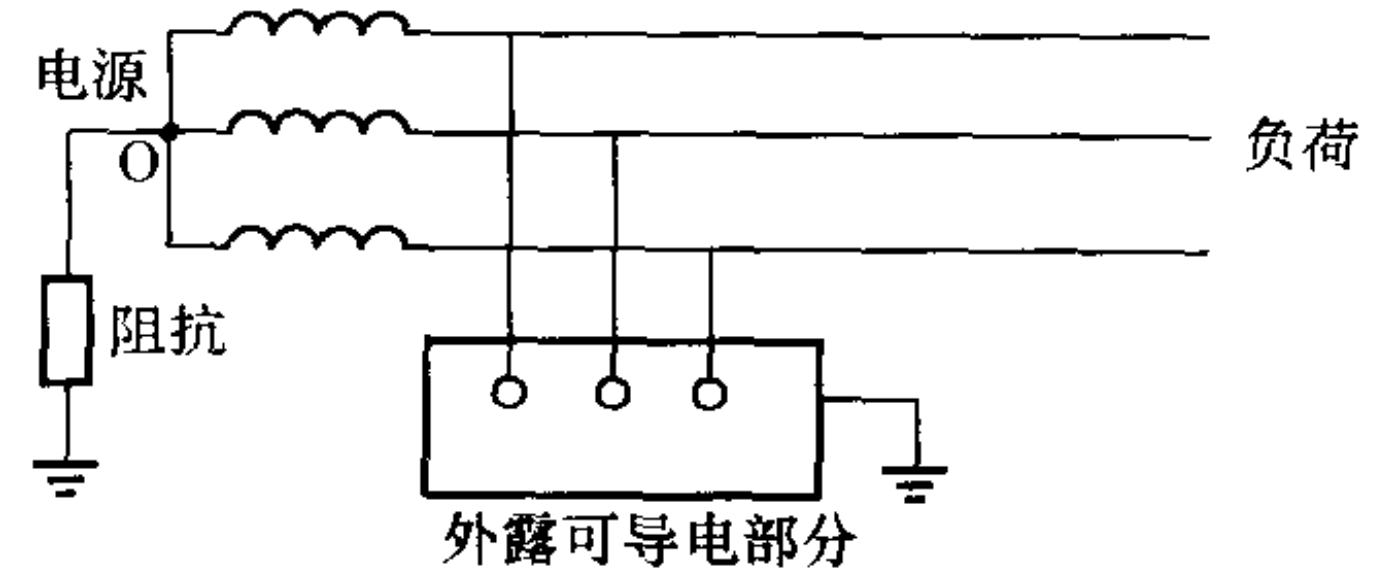


图 2-37 低压配电 IT 系统

第三章

低压配电设备的选型和使用



第一节 低压配电设备的选择的一般条件

3-1 什么是低压配电设备及低压配电整体方案？

工作在交流电压为 1000V 或直流 1500V 以下的电路中的电器设备称为低压电器。低压电器的种类很多，配电网中常用的低压电器称为低压配电设备，它们包括有：断路器、熔断器、隔离开关（刀开关）、转换开关、接触器、起动器、主令电器、电阻器、变阻器、电磁铁。这些电气设备基本上可以分为用电设备、开关及隔离设备、控制设备、保护设备、连接设备等。开关及隔离设备、控制设备、保护设备主要是指隔离器、隔离开关、接触器、起动器、断路器、熔断器、过电压保护装置等。连接设备主要包括电缆、电线、母线或连接导体，其中电缆是比较常见的需要选择的电气设备。在实际应用中通常用到成套开关设备，成

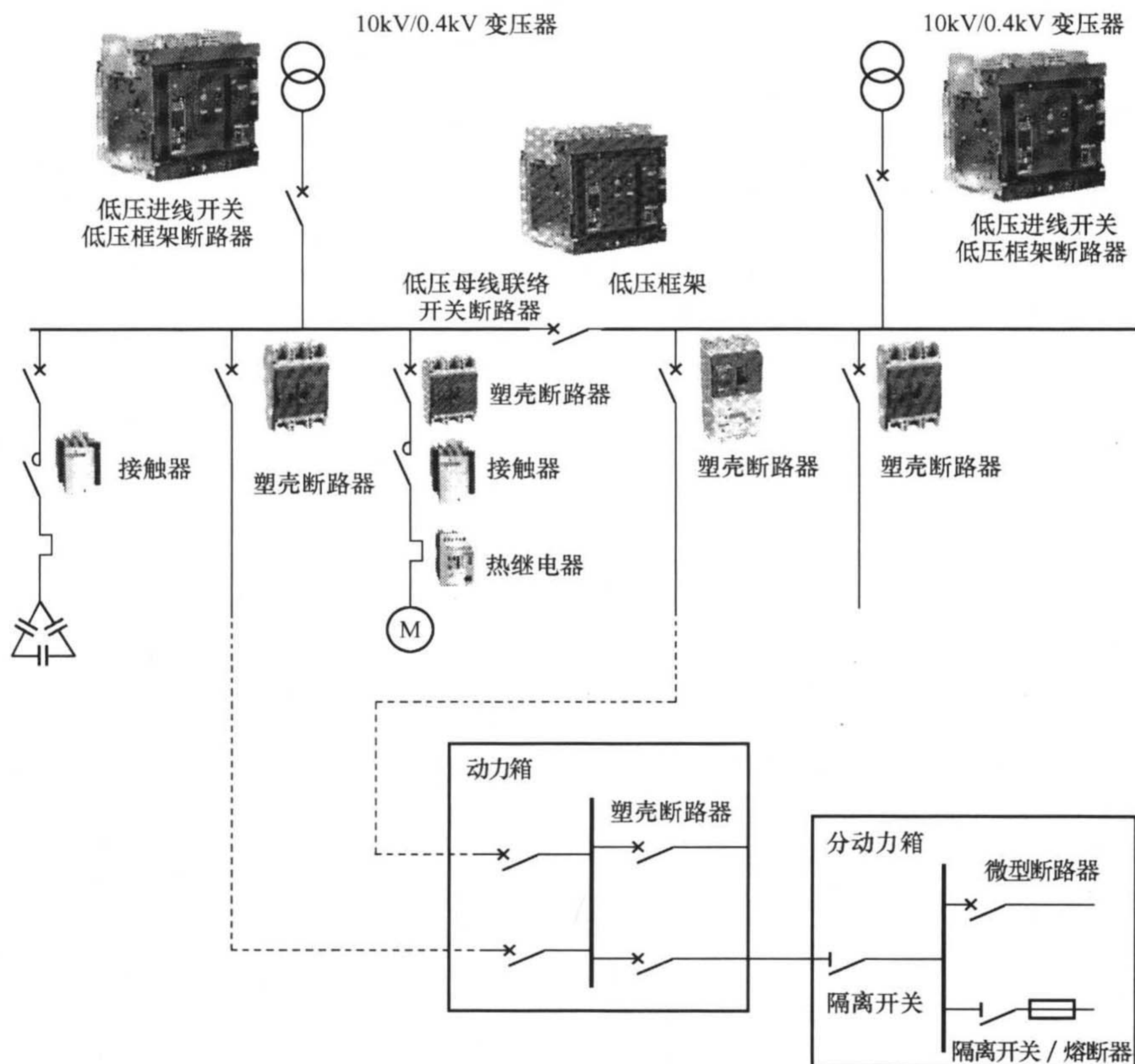


图 3-1 低压系统图

套开关设备由一个或多个低压开关设备和相应的控制、测量、信号、保护、调节等电气元件或设备，以及所有内部的电气机械的相互连接和结构部件组装成的一种组合体，称为低压成套开关设备。

首先应进行低压配电系统各个环节的用电设备类型和整体方案的选择和设计。如图 3-1 所示。

一般而言，从变压器的低压端首先应通过铜排或电缆连接至低压主进断路器。通常会由一台或几台变压器连接至低压系统，在比较大的低压配电系统通常需要两台或多台变压器的连接，这样可以保证在一台变压器或上一级回路上出现故障的情况下，会有另外一台或几台变压器作为备用来满足整个低压配电系统供电。同时，要求低压主进断路器的容量和变压器的容量应考虑到备用时的要求，至少应考虑到其中一台变压器或低压主进断路器故障情况下的供电容量和要求，在供电可靠性比较高的情况下还有可能考虑到两台或几台变压器或低压主进断路器故障情况下的供电容量和要求。低压主进断路器由于其比较高的参数要求通常使用低压框架断路器来保证其安全和可靠，同时也会考虑到电源瞬间的恢复和其他联锁、联动要求，在进线和母线联络断路器之间加装备用电源自投（ATS）和联锁等功能单元。在主进断路器的下一级就是由母线、断路器、熔断器、隔离开关、起动器、接触器等电气元件组成的配电系统，系统的这个部分通常应使用框架断路器或塑壳断路器作为开关设备。在最接近用户的输电线路末端，用来控制、保护普通照明等小容量用电设备或控制、保护主电路之外的辅助线路时的开关设备，通常是微型断路器。如低压系统图 3-1 所示，在这些配电设备之间使用符合要求的电缆或导体连接，来构成相应的配电系统。在整体配电系统设计的基础上正确的选用电器设备时，首先要先知道这些电器设备的用途、功能和分类，然后详细了解它们各种特性参数的意义，再根据实际需要选择相应参数的电器设备。

3-2 低压配电设备的选择有哪些条件？

(1) 低压配电设计所选用的低压配电设备，应符合国家现行的有关标准，并应符合下列要求：

1) 电器的额定电压应与所在回路标称电压相适应。

2) 电器的额定电流不应小于所在回路的计算电流。

3) 电器的额定频率应与所在回路的频率相适应。

4) 电器应适应所在场所的环境条件。

5) 电器应满足短路条件下的动稳定与热稳定的要求。用于断开短路电流的电器，应满足短路条件下的通断能力。

6) 验算电器在短路条件下的通断能力，应采用预期短路电流周期分量有效值，电动机电流超过短路电流 1% 时计入电动机反馈电流影响。

(2) 低压电力配电系统中，保护的作用主要有以下几个方面：

1) 短路保护。短路保护要求，在短路电流产生巨大的热效应和电动力对导体和连接件产生危害之前切断故障回路，即要求开关设备短延时或瞬时跳闸。

2) 过载保护。过载保护是指发生过载故障时，应在过载电流引起导体温升对导体绝缘、接头、端子及周围物质造成损害前能切断过载电流，但对突然切断电路会造成更大损失时，应只发出报警而不切断电路。过载有个热量积累的过程，保护动作不需要过于迅速，对于短

时过电流，保护不应该动作。另外要注意在负荷变化后及时调整保护的整定值，防止整定值过小频繁跳闸影响供电质量，或整定值过大使线路和设备得不到有效保护。

3) 接地故障保护。为防止人身间接电击及线路损坏，甚至引起电气火灾等事故，最重要的措施是设置接地故障保护。漏电保护电器有热磁式和电子式两种，相比而言电子式漏电保护器具有体积小、精度高、灵敏度高的优点，但其抗干扰能力较差。目前市场中电子式漏电保护器占据主流，当漏电电流达到整定值时，执行电路接收零序电流互感器二次侧的感应电压信号，驱动转换触点输出漏电保护信号，使脱扣器动作切断电源。一般终端开关的整定漏电脱扣电流为 30mA，用于保护人身安全；上一级支路开关的整定值为 300mA，用于保护设备的安全。因为漏电电流值远小于正常工作电流值，短路保护或过载保护功能无法检测到故障电流，故无法切断故障回路，而漏电保护电器可以可靠的断开接地故障，防止人身触电和相地短路故障的发生。

由于存在多个配电的层级，所以存在着不同供电层级之间保护的配合，在符合条件的情况下还应该考虑级联技术的应用。低压配电系统的保护及其配合是低压配电系统中非常重要的一个环节，是保证电力系统稳定可靠运行非常重要的一个因素。

3-3 低压配电线路中几种保护型式的动作要求和特点？

现行《低压配电设计规范》(GB50054—1995) 是 1995 年 12 月发布、1996 年 6 月实施的国家标准。其中低压配电线路的保护是最重要的内容之一，因为它涉及保障人身安全、用电可靠，防止电路故障造成重大损害，如，导致电气火灾所需要的防护措施等方面。

配电线路保护是要防止两方面的事故：一是防止因间接接触（区别于直接接触带电体）而导致电击，危及人身安全；二是因电路故障导致过热造成损坏，甚至引起火灾，危及财产安全。为全面保障人身和财产安全，配电线路应装设短路保护、过载保护和接地故障保护。

(1) 低压配电系统的短路保护。要求在短路电流对导体和连接件的热作用造成危害之前切断短路故障电路，当短路持续时间不大于 5s 时，绝缘导体的热稳定应按下式校验

$$S \geq \frac{I}{K} \sqrt{t} \quad (3-1)$$

式中 S ——绝缘导体的线芯截面， mm^2 ；

I ——预期短路电流有效值，A；

t ——在已达到允许工作温度的导体内短路电流持续作用的时间，s；

K ——计算系数，按导体不同线芯材料和绝缘材料决定，其值见表 3-1。

表 3-1 计 算 系 数

线芯 \ 绝缘	聚氯乙烯	丁基橡胶	乙丙橡胶	油浸纸
铜	115	131	143	107
铝	76	87	94	71

式 (3-1) 只适用于短路持续时间不大于 5s 的情况，因为该式未考虑其散热；当大于 5s 时应计及散热的影响。另外，式 (3-1) 也不适用于短路持续时间小于 0.1s 的情况，当小于 0.1s 时，应计入短路电流初始非周期分量的影响。短路电流不应小于低压断路器瞬时或短延时过电流脱扣器整定电流的 1.3 倍。

(2) 低压配电系统的过负载保护。配电线路过负载保护，应在过载电流引起导体温升对导体绝缘、接头、端子及周围物质造成损害前能切断过载电流，但对突然切断电路会导致更大损失时，应发出报警而不切断电路。

过负载保护的电器的整定电流和动作特性应符合下式的要求

$$\left. \begin{aligned} I_B &\leq I_n \leq I_z \\ I_2 &\leq 1.45 I_z \end{aligned} \right\} \quad (3-2)$$

式中 I_B ——线路计算电流，A；

I_n ——熔断器熔体额定电流或断路器额定电流或长延时脱扣器整定电流，A；

I_z ——导体允许持续载流量，A；

I_2 ——保证保护电器可靠动作的电流，对断路器， I_2 为约定时间的约定动作电流；对熔断器， I_2 为约定时间的约定熔断电流。

使用断路器时，按标准《低压开关设备和控制设备 低压断路器》(GB14048.2—2001) 规定，约定动作电流为 $1.3I_n$ ，只要满足 $I_n \leq I_z$ ，即符合式 (3-3) 要求。

I_n 就是断路器长延时整定电流 I_{zd1} ，也就是要求

$$I_{zd1} \leq I_z \text{ 或 } I_{zd1}/I_z \leq 1 \quad (3-3)$$

(3) 低压配电系统的接地故障保护。为防止人身间接触电以及线路损坏，甚至引起电气火灾等事故，在没有采取加强绝缘或其他安全防护措施时，设置接地故障保护就成为重要保护措施。

以下阐述的接地故障保护只适用于 I 类电气设备，所在场所为正常环境，人身电击安全电压限值 (U_L) 不超过 50V。

采用接地故障保护的同时，建筑物内各种导电体应作等电位连接。

接地故障保护对配电系统的不同接地形式作了规定。

1) 低压配电系统的 TN 系统的接地故障保护。

a) TN 系统配电线路接地故障保护的的动作特性应符合下列要求

$$Z_s I_a \leq U_0 \quad (3-4)$$

式中 Z_s ——接地故障回路的阻抗， Ω ；

I_a ——保证保护电器在规定时间内切断故障回路的电流，A；

U_0 ——相线对地标称电压，V。

$U_0=220V$ 的配电线路，其切断故障回路的时间规定如下：① 配电干线和供固定用电设备的末端回路，不大于 5s；② 供手握式或移动式用电设备的末端回路，以及插座回路，不大于 0.4s。

b) 当采用熔断器兼作接地故障保护时，为了执行方便，规定了接地故障电流 (I_d) 与熔断体额定电流 (I_r) 之比不小于表 3-2 或表 3-3 值，即认为符合式 (3-4) 的规定。

表 3-2 切断时间不大于 5s I_d/I_r 的最小比值

熔体额定电流 (A)	4~10	12~63	80~200	250~500
I_d/I_r	4.5	5	6	7

表 3-3

切断时间不大于 $0.4s I_d/I_r$ 的最小比值

熔体额定电流 (A)	4~10	12~23	40~63	80~200
I_d/I_r	8	9	10	11

(c) 当采用断路器作接地故障保护时, 接地故障电流 (I_d) 不应小于断路器的瞬时或短延时过电流脱扣器整定电流的 1.3 倍。

2) 低压配电系统的 TT 系统的接地故障保护

TT 系统配电线路接地故障保护的動作特性应符合下列要求

$$R_A I_a \leq 50V \quad (3-5)$$

式中 R_A ——外露可导电部分的接地电阻与 PE 线电阻和, Ω ;

I_a ——保证保护电器切断故障回路的動作电流, A。

当采用反时限特性过流保护电器时, I_a 为 5s 内切断的电流; 采用瞬时動作特性的过流保护电路时, I_a 为瞬时整定电流; 当采用漏电保护器时, I_a 为其额定動作电流 $I_{\Delta n}$ 。

3) 低压配电系统的 IT 系统的接地故障保护

当 IT 系统配电线路发生第一次接地故障时, 应由绝缘监视电器发出报警信号, 其動作电流应符合下式要求

$$R_A I_d \leq 50V \quad (3-6)$$

式中 R_A ——外露可导电部分的接地极电阻, Ω ;

I_d ——第一次接地故障电流, A。

当 IT 系统的配电线路发生第二次异相接地故障时, 应切断故障电路, 并符合下列要求:

a) 当 IT 系统不引出 N 线, 应在 0.4s 内切断故障回路, 并符合下列要求

$$Z_s I_a \leq \frac{\sqrt{3}}{2} U_0 \quad (3-7)$$

式中 Z_s ——相线和 PE 线故障回路阻抗, Ω ;

I_a ——保护电器切断故障回路的動作电流, A。

b) 当 IT 系统引出 N 线, 应在 0.8s 内切断故障回路, 并符合下式要求

$$Z_s I_a \leq 0.5U_0 \quad (3-8)$$

式中 Z_s ——包括相线、N 线和 PE 线在内故障回路阻抗, Ω 。

对于 IT 系统如引出中性线其保护更复杂, 所以建议 IT 系统不引出 N 线。

以上我们从概念上介绍了三种保护型式的保护特点, 那在具体使用中对不同的保护型式的选择要遵循以下几条基本要求:

(1) 配电线路在正常使用中和用电设备正常起动时, 保护电器不会動作。

(2) 保护电器必须按规范规定的时间内切断故障电路, 这是实施规范的最基本目标, 也是保护电器的根本任务。

(3) 配电系统各级保护电器的動作特性应能彼此协调配合, 要求有选择性動作, 即发生故障时, 应使靠近故障点的保护电器切断, 而其上一级和上几级 (靠电源侧

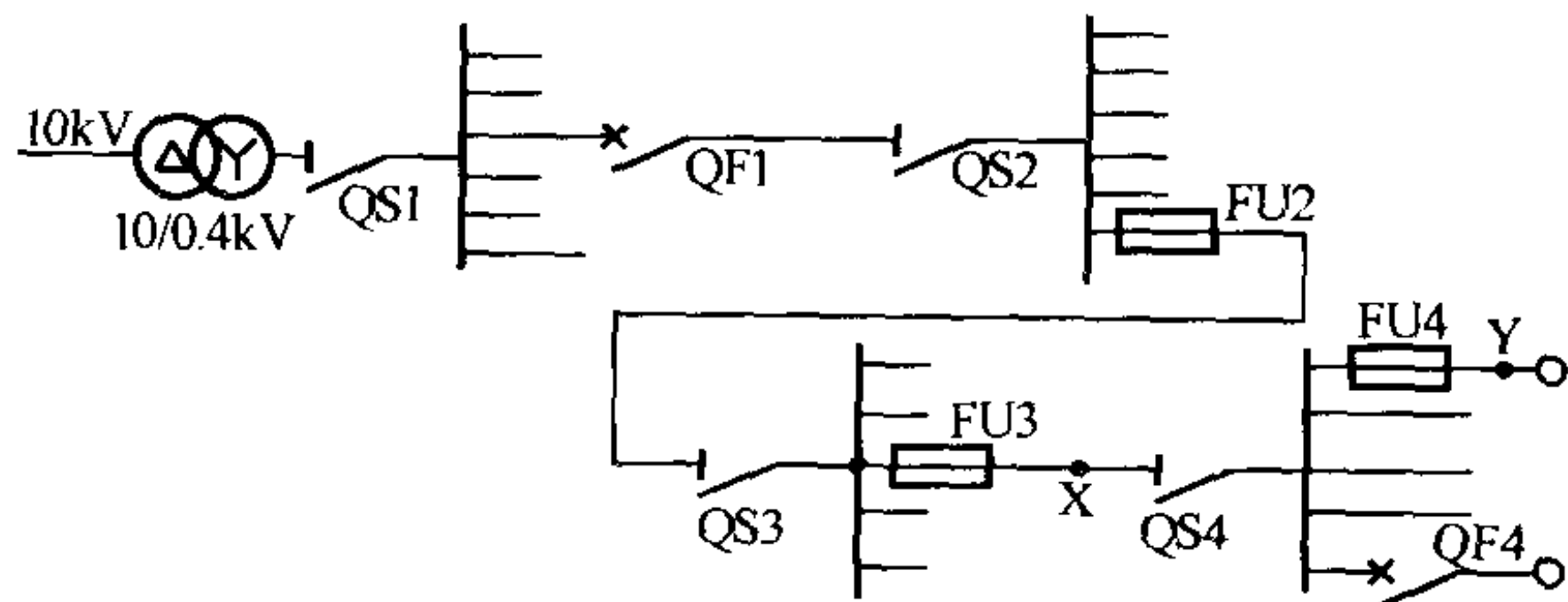


图 3-2 低压配电系统的保护配合

方向为上)保护电器不动作,使断电范围限制到最小。如图 3-2 所示,如 Y 点短路,应使 FU4 断开,如 X 点短路,应使 FU3 断开。如果选择性难以得到完全保证,应该使低压主干线的保护电器(图 3-2 中的 QF1)不会越级断开,宁可牺牲下级配电线路保护的选择性(如 Y 点短路, FU3 越级断开),其影响范围相对较小。

3-4 整定的基本要求及计算方法是什么?

要保护具体的线路和设备要根据实际情况确定断路器每一种保护的动作电流和动作时间,也就是整定电流和整定时间的计算。

三项保护功能的电流和时间整定后需要断路器①正常工作和正常起动时,不应切断电路;②线路故障时,应可靠切断故障电路;③线路故障时,各级保护电器应有选择性地切断电路。这三项要求常常是相互矛盾的,配电系统设计的任务就是要合理地选择保护电器,正确整定其参数。如果保护电器额定电流或整定电流大小受到第 1 和第 2 项的限定,而动作时间的快慢又受到第 2 和第 3 项的制约,必须仔细计算、校验,协调矛盾,实现对立的统一,以符合规范的要求。

以下给出满足保护要求时各整定值的计算方法:

(1) 在正常工作和起动时保护电器不动作。正常工作时,保护电器不动作,应符合 $I_B \leq I_n$ 。

关于起动时,保护电器不动作,以具有代表性的鼠笼型电动机为例,分别按以下要求进行计算和校验。

1) 使用熔断器。熔体额定电流 I_r 应符合下式要求

$$I_r \geq K_r [I_{M1} + I_{B(n-1)}] \quad (3-9)$$

式中 I_{M1} ——线路中所接的最大一台鼠笼型电动机的起动电流, A;

$I_{B(n-1)}$ ——除最大一台电动机外的线路计算电流, A;

K_r ——计算系数。

K_r 通常取 1.0~1.5, 取决于 I_{M1}/I_B 值大小, 即最大一台电动机起动状况。一般说, I_{M1}/I_B 值为 0.25~0.4 时, K_r 取 1.0~1.1, I_{M1}/I_B 为 0.5~0.6 时, K_r 可取 1.2~1.3; I_{M1}/I_B 为 0.7~0.8 时, K_r 可取 1.4~1.5; 对于轻载起动的电动机, 当 $I_{M1}/I_B < 0.25$ 时, 一般可不考虑其起动之影响。

2) 使用断路器。

a) 断路器的长延时脱扣器整定电流 I_{zd1} , 一般可不考虑电动机起动的影响。

b) 短延时脱扣器整定电流 I_{zd2} , 应躲开最大一台电动机的起动电流, 用下式计算

$$I_{zd2} \geq K [I_{qM1} + I_{B(n-1)}] \quad (3-10)$$

式中 $I_{B(n-1)}$ ——除起动电流最大的电动机以外的线路计算电流, A;

I_{qM1} ——线路中所接最大一台笼型电动机的起动电流, A;

K ——可靠系数可取 1.2。

c) 瞬时脱扣器整定电流 I_{zd3} , 应躲过最大一台电动机的全起动电流, 用下式计算

$$I_{zd3} \geq K (I'_{qM1} + I_{B(n-1)}) \quad (3-11)$$

式中 I'_{qM1} ——线路中所接最大一台笼型电动机的全起动电流, 包括周期分量和非周期分

量，其值为该电动机起动电流 (I_{qM1}) 的 1.7~2.1 倍；

K ——可靠系数，可取 1.2。

(2) 短路保护。线路在正常运行中，导体产生温升而达到允许最高工作温度（这是计算的工作温度）。发生故障时，导体温度急剧上升，超过允许工作温度，应该在达到导体允许的极限温度之前切断故障电路，以避免导线绝缘损坏，甚至引起火灾，用式 (3-1) 进行热稳定检验，分述如下。

1) 使用熔断器时，因为它具有反时限特性，使用式 (3-1) 验算时较麻烦，要计算出预期短路电流，按选择的熔体电流值，再查熔断器特性曲线找出相应的全熔断时间 t ，代入式 (3-1)。为了使用方便，可从表 3-4 所列数据，按导体截面和敷设方式查出熔体电流的最大允许值。

2) 使用断路器时，通常是利用其瞬时或短延时脱扣器作短路保护，瞬时脱扣器的全分断时间（包括灭弧时间）极短，一般为 10~20ms，甚至更小，虽然短路电流很大，一般都能符合式 (3-1) 要求。但应注意，当配电变压器容量很大，从变压器低压配电盘上直接引出截面很小的馈线时，难以满足热稳定要求，应按式 (3-1) 作校验。采用短延时脱扣器断开短路电流时，短路电流持续时间将达 0.1~0.6s，根据经验，选用带短延时脱扣器的断路器所保护的配电干线截面不会太小，一般能满足式 (3-1) 要求，可不作校验。

表 3-4 熔体电流最大允许值

导线类型及敷设 导线截面 (mm ²)	导线穿管敷设		导线明敷设		导线在空气中明敷设	
	BV	BLV	BV	BLV	BV	BLV
1.5	10		10			
2.5	25	16	25	16		
4	40	25	40	25	40	25
6	63	40	63	40	63	40
10	80	63	80	63	80	63
16	125	80	125	80	125	80
25	200	125	200	125	200	125
35	250	160	250	160	250	160
50	315	250	315	250	315	250
70	400	315	400	315	400	315
95	500	425	500	425	500	425
120	550	500	550	500	550	500
150	630	550	630	550	630	550

注 导线、电缆按聚氯乙烯绝缘（铜芯 K-115、铝芯 K-76），环境温度为 30℃。熔断器符合国标 GB13539.1—2002 的产品，RT15，RT16，RT17，RL6，RL7 等型号。

(3) 过载保护。

1) 用断路器的长延时作过载保护，如前述，只要符合式 (3-3)，即满足规范规定的式 (3-2) 的要求。

2) 用熔断器保护时，也应满足式 (3-2) 要求。但式 (3-2) 中有约定熔断电流 I_2 ，使用不方便，应作如下变换。

按熔断器国标，16A 及以上的 gG 和 gM 熔断体的约定熔断电流 $I_r = 1.6I_n$ （见表 3-8 和

表 3-9), 又按 GB50054—1995 的条文说明第 4.3.4 条中指出, 因熔断器产品标准测试设备的热容量比实际使用的大许多, 即测试所得的熔断时间较实际使用中的熔断时间为长, 这时 I_2 应乘以 0.9 的系数, $I_2 = 0.9 \times 1.6I_n$, 此式代入式 (3-2) 得 $1.44I_n \leq 1.45I_z$ 近似认为

$$I_n \leq I_z \text{ 或 } I_z \leq I_n \quad (3-12)$$

对于小于 16A 的熔断器, 按表 3-4 所数据: 螺栓连接熔断器的 $I_f = 1.6I_n$; 而刀型触头熔断器和圆筒形帽型熔断器, 则有 $I_f = 1.9I_n$ (当 $16A > I_n > 4A$) 和 $I_f = 2.1I_n$ (当 $I_n \leq 4A$)。按以上同样方法计算结果列于表 3-4。

(4) 接地故障。

1) 接地故障保护要求

对 TN 接地系统来说, 应符合式 (3-4) 的规定。

a) 采用熔断器时, 应分别满足表 (3-2) 或表 (3-3) 规定的 I_d/I_r 值。

b) 采用断路器时, 如只带长延时和瞬时脱扣器的, 应利用瞬时脱扣器作接地故障保护, 瞬时脱扣器的整定电流 I_{zd3} 应符合下式要求

$$I_d \geq 1.3I_{zd3} \quad (3-13)$$

式中, 系数 1.3 是规范规定的可靠系数。

2) 满足规范要求存在的问题和措施。

当配电线路较长, 往往难以满足表 (3-2)、表 (3-3) 或式 (3-13) 的要求, 接地故障电流 I_d 较小, 不足以使保护电路动作。为此, 必须降低熔体电流 I_r 或断路器瞬时整定值 I_{zd3} , 但将受到很多因素的制约; 另一方面应力求提高 I_d 值。具体措施如下:

a) 配电变压器选用 Dyn11 接线, 不用 Yyn0 接线, 对于靠变压器较近的故障点的 I_{d1} 值有明显增大。

b) 加大相导体及接地线导体截面, 对于截面较小的电缆和穿管绝缘线有较大影响, 而对于较大截面的裸干线或架空线, 由于其电抗较大, 加大截面作用很小。

c) 改变线路结构, 如裸干线改用紧凑型封闭母线, 架空线改电缆, 可以降低电抗, 但增加投资, 有时是不可行的。

如果以上措施还是满足不了表 (3-2)、表 (3-3) 或式 (3-13) 的要求, 就应该改变保护电器。

3) 采用带短延时保护的断路器

前述用熔断器或断路器的瞬时脱扣器不能满足接地故障要求, 第一级 (或第二级) 配电干线, 容量较大时, 可采用带短延时脱扣器的断路器作接地故障保护, 短延时整定电流值 I_{zd2} 应符合下式要求

$$I_d \geq 1.3I_{zd2} \quad (3-14)$$

式 (3-14) 和式 (3-13) 相同, 只有 I_{zd2} 取代 I_{zd3} 。同一断路器, 短延时整定电流 I_{zd2} 通常只有瞬时整定电流 I_{zd3} 的 $1/5 \sim 1/3$ 左右。所以满足不了式 (3-13), 但容易满足式 (3-14) 要求, 即短延时保护大大提高了动作灵敏性。

表 3-5 用熔断器作过载保护时熔体电流 (I_r) 和导线载流量 (I_z) 的关系

类型	电流	I_r	I_z
螺栓连接熔断器		全部	$I_r \leq I_z$
刀型触头熔断器和圆筒型帽型熔断器		$I_r \geq 16A$	$I_r \leq I_z$
		$16A > I_r > 4A$	$I_r \leq 0.85I_z$
		$I_r \leq 4A$	$I_r \leq 0.75I_z$
偏置触刀熔断器		$I_r > 4A$	$I_r \leq I_z$
		$I_r \leq 4A$	$I_r \leq 0.75I_z$

4) 采用带接地故障保护的断路器作接地故障保护

如果还满足不了式 (3-14), 则采用此方案, 必将成若干倍地提高动作灵敏性。

接地故障又分两种方式, 即零序电流保护和剩余电流动作保护。

a) 零序电流保护: 三相四线制配电线路正常运行时, 如果三相负载完全平衡, 则流过中性线 (N) 的电流为 0, 即 $I_N=0$; 如果三相负载不平衡, 则产生不平衡电流, $I_N \neq 0$; 如果发生某一相接地故障时, I_N 将大大增加, 达到 $I_{N(d)}$ 。因此, 利用检测 I_N 值发生的变化, 以取得接地故障的信号; 检测零序电流, 通常是在断路器后三相线 (或母线) 各装一只电流互感器 (TA), 取 3 只 TA 二次侧电流矢量和乘以变比, 即 $\dot{I}_N = \dot{I}_A + \dot{I}_B + \dot{I}_C$ 。

断路器的零序电流保护的整定值 I_{zdo} 如何确定? 要求在正常运行中可能出现的最大不平衡电流时不会动作, 而在发生接地故障时必须动作, 建议 I_{zdo} 的整定值应符合下列两式的要求

$$I_{zdo} \geq (1.5 \sim 2.0) I_N \quad (3-15)$$

$$1.3 I_{zdo} \leq I_{N(d)} \quad (3-16)$$

式中 $I_{N(d)}$ ——发生接地故障时电流, 包括接地故障电流和不平衡电流。

一般说, 配电干线正常运行时的 I_N 值不超过计算电流 I_B 的 20%~25%, 所以, 通常 I_{zdo} 可整定在断路器长延时脱扣器电流 I_{zd1} 的 30%~60% 为宜, 但必须符合式 (3-16) 的规定。

可见, 零序电流保护整定值 I_{zdo} 比短延时整定值 I_{zd2} 小得多, 满足式 (3-16) 规定比满足式 (3-14) 又容易得多。动作灵敏性可得到保证。

零序电流保护可用于 TN-C、TN-S 等接地系统。

零序电流保护可选用 DW、MASTERPACT 等多种断路器实现。

b) 剩余电流保护: 和零序电流保护不同的是, 剩余电流保护是检测三相电流加中性线电流的矢量和, 即 $\dot{I}_o = \dot{I}_A + \dot{I}_B + \dot{I}_C + \dot{I}_N$ 。

当三相四线配电线路正常运行时, 三相负载不平衡, 忽略线路泄漏电流, 则 $I_A + I_B + I_C + I_N$ 之矢量和总是等于零; 当某一相发生接地故障时, 则检测的三相电流加中性电流的矢量和不为零, 而等于接地故障电流 $I_{o(d)}$ 。

检测方法是在断路器后三相线和中性线上各装一只 TA。取 4 只 TA 二次侧电流矢量和, 乘以变比, 即为接地故障电流 $I_{o(d)}$ 。

断路器的接地故障保护的整定值 I_{zdG} 应符合下式要求

$$I_{o(d)} \geq 1.3 I_{zdG} \quad (3-17)$$

应注意, 为避免误动作, 整定值 I_{zdG} 应大于正常运行时线路和设备的泄漏电流总和的 5~10 倍。

可见, 采用剩余电流保护比零序电流保护的灵敏度更高得多。

剩余电流保护适用于 TT、TN-S 接地系统, 但不能用于 TN-C 接地系统, 剩余电流保护宜选用可以安装相应的保护的断路器实现, 一般说, 使用这些断路器, 额定电流比较大, 常常在 1000A 以上, 所以, 作为剩余电流保护的整定值不可能很小。如 DW45 型 2000A 断路器, 其接地故障电流最小整定值为 160A。

对于住宅和中小型建筑, 作为引入配电干线总保护的断路器, 容量较小时, 可以用漏电

断路器，或漏电保护器，其整定值最好不大于 0.5A，并在 0.4s 或以上延时，作为防止电弧性接地故障引起火灾的保护措施是很有效的。

5) 线路故障时，应有选择性切断电路。线路故障时，要保证可靠切断电路，又要尽可能缩小断电范围，即有选择性地切断，这就对配电设计提出了更高的要求，要求有合理的配电系统统计，准确的计算数据，恰当的选择保护电器，正确整定保护电器的额定电流、动作电流和动作时间，才能达到预期的目的。

下面具体分析上下级保护电器的选择性。

a) 上级用熔断器，下级也用熔断器。熔断器之间的选择性在国标 GB 13539.1—2002 中已有规定，也就是说，产品本身已经给予了保证。标准规定了过电流选择性，即当弧前时间大于 0.1s 时，熔断体的过电流选择性用“弧前时间—电流”特性校验，弧前时间小于 0.1s 时，其过电流选择性则以 I^2t 特性校验。当上级熔断体的弧前 I_{tmin}^2 值大于下级熔断体的熔断 I_{tmax}^2 值时，可认为在弧前时间大于 0.01s 时，上下级熔断体间的选择性可得到保证。标准规定额定电流 16A 及以上的串联熔断体的过电流选择比为 1.6 : 1 也就实现有选择性熔断。标准规定熔断体额定电流值也是近似按这个比例制定的，如 25、40、63、100、160、250A，以及 32、50、80、125、200、315A 等。

b) 上级用熔断器，下级用非选择型断路器。由于熔断器的反时限特性和断路器的长延时脱扣器的反时限特性能较好配合，在整定电流值合理的条件下，具有良好的选择性动作，条件是熔断体的额定电流比长延时脱扣器的整定电流要大一定的数值。当故障电流超过断路器的瞬时脱扣器整定电流时，则下级瞬时脱扣，而上级熔断器不会熔断。

c) 上级用非选择型断路器，下级用熔断器。当故障电流大于非选择型断路器的瞬时脱扣器整定电流 I_{zd3} ，通常整定为该断路器长延时整定电流 I_{zd1} 的 6~10 倍时，则上级断路器瞬时脱扣，因此，当故障电流小于 I_{zd3} ，下级熔断器先熔断，具有部分选择性，整体说属没有选择性，这种方案不可取。

d) 上级用非选择型断路器，下级也用非选择型断路器。上级断路器 A 和下级断路器 B 的长延时整定值 I_{zd1} 和瞬时整定值 I_{zd3} 列于图 3-3。

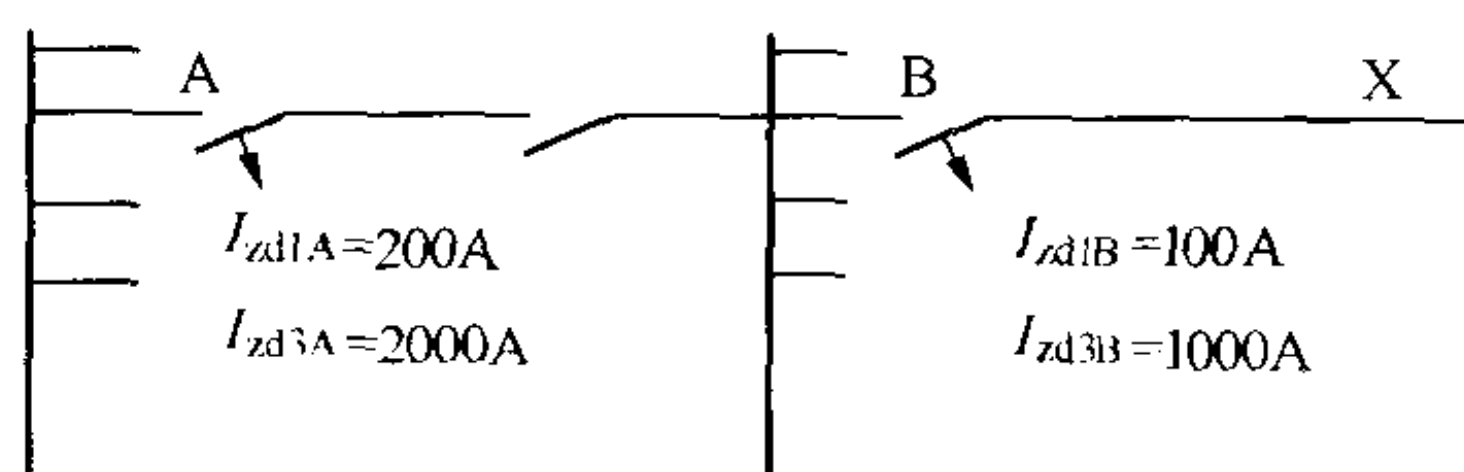


图 3-3 上下级均为非选择型
断路器保护示例

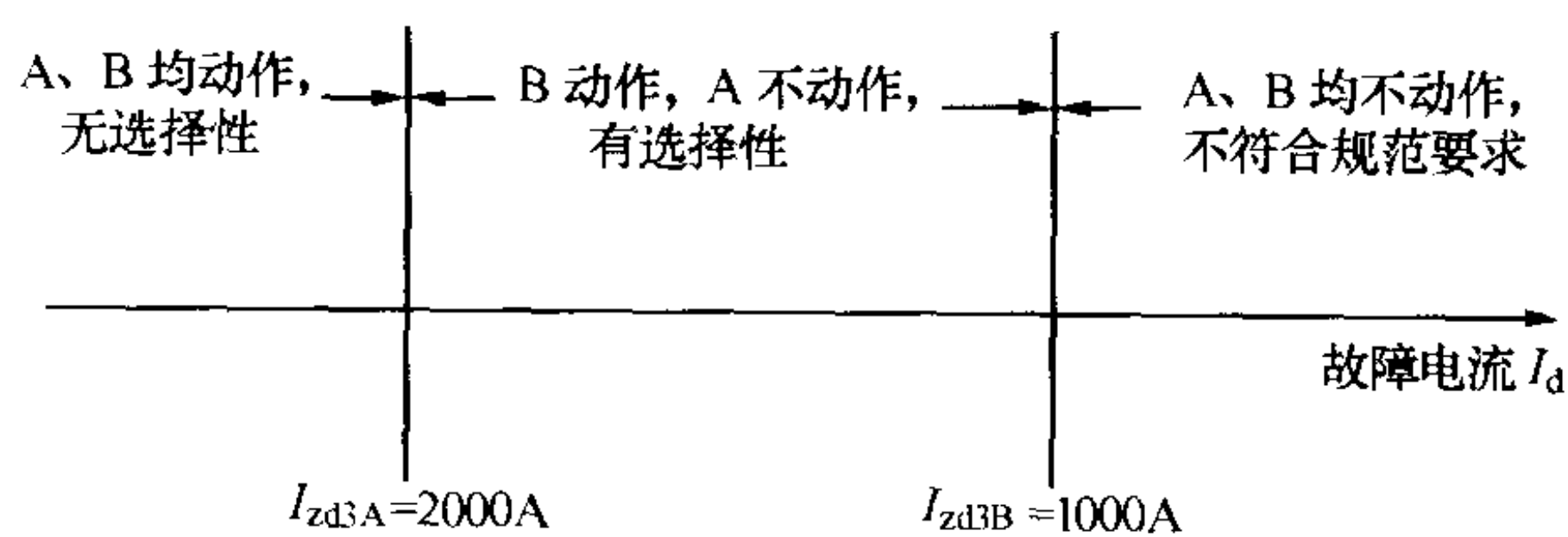


图 3-4 上下级均为非选择型
断路器的选择性分析

当断路器 B 后任一点（如 X 点）发生故障，若故障电流 $I_d < 100A$ 时，断路器 A、B 均不能瞬时动作，不符合保护灵敏性要求；当 $1000A < I_d < 2000A$ 时，则 B 动作，A 不动作，有选择性；当 $I_d > 2000A$ 时，A、B 均动作，无选择性，如图 3-4 所示。因此，这种方式没有选择性。

e) 上级用选择型断路器，下级用熔断器。由于上级断路器具有短延时功能，一般能实现选择性动作，但必须整定正确，不仅短延时脱扣整定电流 (I_{zd2}) 及延时时间要合适，而

且还要正确整定其瞬时脱扣电流值 (I_{zd3})。确定这些参数的原则是：①下级熔断器额定电流 (I_r) 不宜太大；②上级断路器 I_{zd2} 值不宜太小，在满足式 (3-14) 的前提下宜整定大些，如 I_r 为 200A 时， I_{zd2} 至少应取 2500~3000A；③短延时时间应整定大一些，如 0.4~0.8s。④ I_{zd3} 在满足动作灵敏度条件下，尽量整定大一些，以免破坏选择性。

具体方法是：在多个下级熔断器中找出额定电流最大的，最大值为 I_r ，短延时整定值为 I_{zd2} ；假设熔断器后发生的故障电流等于或略大于 I_{zd2} 时，在熔断体的“时间—电流”特性曲线上查出其熔断时间为 t ；再使短延时时间比 t 值在 0.15~0.2s。如不符合要求，应重新选定 I_{zd2} 值。

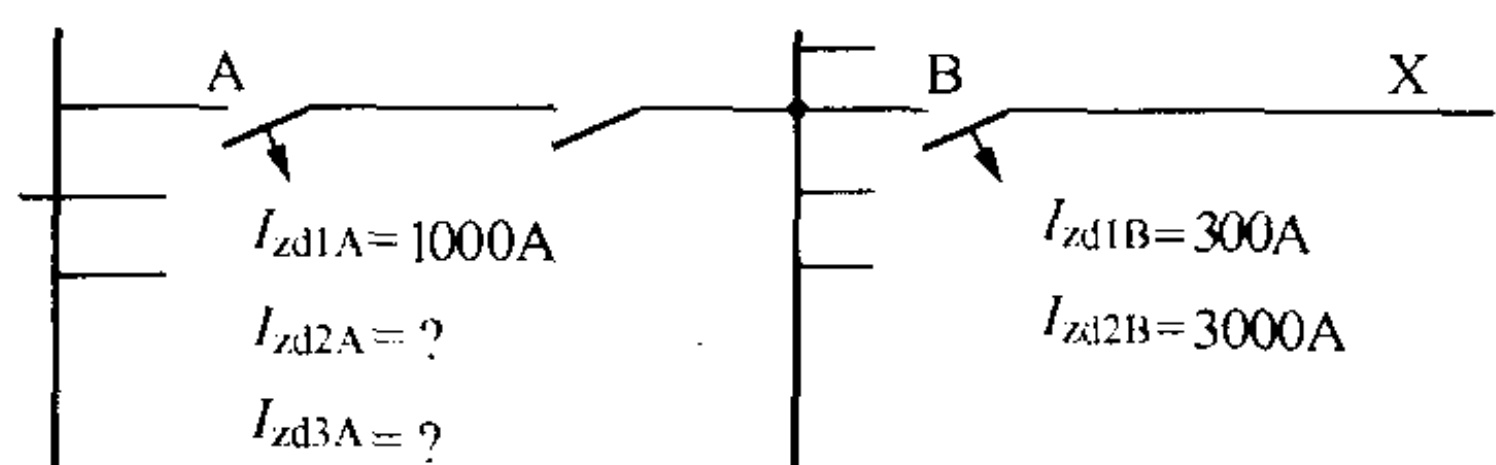


图 3-5 选择型与非选择型
断路器保护示例

f) 上级用选择型断路器，下级用非选择型断路器。这种配合，应该具有良好的选择性，但必须正确整定各项参数，以图 3-5 为例，若下级断路器 B 的长延时整定值 $I_{zd1.B} = 300A$ ，瞬时整定值 $I_{zd3.B} = 3000A$ ；上级断路器 A 的 $I_{zd1.A}$ 通常比 $I_{zd1.B}$ 大很多，根据其计算电流和线路载流量确定，设 $I_{zd1.A} = 1000A$ ，其 $I_{zd2.A}$ 及 $I_{zd3.A}$ 整定原则如下：

- $I_{zd2.A}$ 整定值应符合下式要求

$$I_{zd2.A} \geq 1.2 I_{zd3.B} \quad (3-18)$$

具体原因是，若 $I_{zd2.A} < I_{zd3.B}$ ，当故障电流达到 $I_{zd2.A}$ 值，而小于 $I_{zd3.B}$ 时，则断路器 B 不能瞬时动作，而断路器 A 经短延时动作，破坏了选择性。1.2 是可靠系数，是脱扣器动作误差的需要。

- 短延时的时间没有特别要求，主要是按下级熔断器要求整定。

- $I_{zd3.A}$ 应在满足动作灵敏性前提下，尽量整定大些，以免在故障电流很大时导致 A、B 均瞬时动作，破坏选择性。

g) 上级用带接地故障保护的断路器

- 用零序保护方式：零序保护整定电流 I_{zdo} 一般为 I_{zd1} 的 20%~100%，多为几百到一千安培，与下级熔断器和一般断路器很难有选择性。只有后者的额定电流很小（如几十安培）时，才有可能。

使用零序保护时，在满足动作灵敏性要求的前提下， I_{zdo} 应整定得大一些，延时时间尽量长一些。

- 剩余电流保护方式：这种方式的整定电流更小，在发生接地故障时，和下级熔断器、断路器之间没有选择性。这种保护只能要求和下级漏电电流动作保护器之间具有良好的选择性，这种方式多用于安全防护要求高的场所，所以，应在末端电路装设漏电电流动作保护器，以避免非选择性切断电路。

对为了防止接地故障引起电气火灾而设置的漏电电流动作保护器，其整定电流小到 0.5A，应是延时动作，同时，末端电路必须设有漏电电流动作保护器。如有条件时（如有专人值班维护的工业场所），前者可不切断电路而发出报警信号。

现在的智能断路器（如 DW45 型），具有“保护区域选择连锁”的功能，这是利用微电子技术使保护更为完善，保证了动作灵敏性和选择性。

3-5 什么是限流型断路器的级联技术，如何选择级联产品？

级联技术是限流性能的一种应用，使位于限流断路器的下一级的断路器获得被“加强”的分断能力。限流断路器顾名思义它的工作特点是可以限制大的短路电流，能够更好保证断路器的工作，提高断路器及其上、下级线路和设备的使用寿命。而级联技术的应用是通过具有限流特性的断路器上、下级配合使用，可以把分断能力较低的断路器应用在具有较高的预期短路电流的场所。法国施耐德电气公司的限流型断路器 Compact NS 及其他公司具有限流特性断路器（如 DWX-15）都很好的使用了级联技术，它的限流特性的实现是通过自身的双旋转触头结构，并具有特殊能量脱扣来实现的。

图 3-6 表示的是 Compact NS 断路器主触头的内部结构，Compact NS 断路器的每一极触头，都安装在一个独立的绝缘外壳内，保证了断路器工作的安全性，而断路器的双旋转触头结构，使得当出现短路电流时，在脱扣机构还未发出跳闸命令之前，动静触头间就由于电磁力的作用彼此斥开，使上、下动触头转动产生两个串联的电弧，这两个串联电弧加在线路里就使得实际的短路电流远远低于线路预期的短路电流，从而达到限流的目的；而能量脱扣是因为 Compact NS 断路器结构里有一种物质，当通过断路器的短路电流达到断路器额定电流值的 25 倍时，这种物质迅速气化，气体充满整个绝缘小室，而绝缘小室下部具有活塞装置并和脱扣的弹簧机构相连，在压力到达一定的阈值后断路器

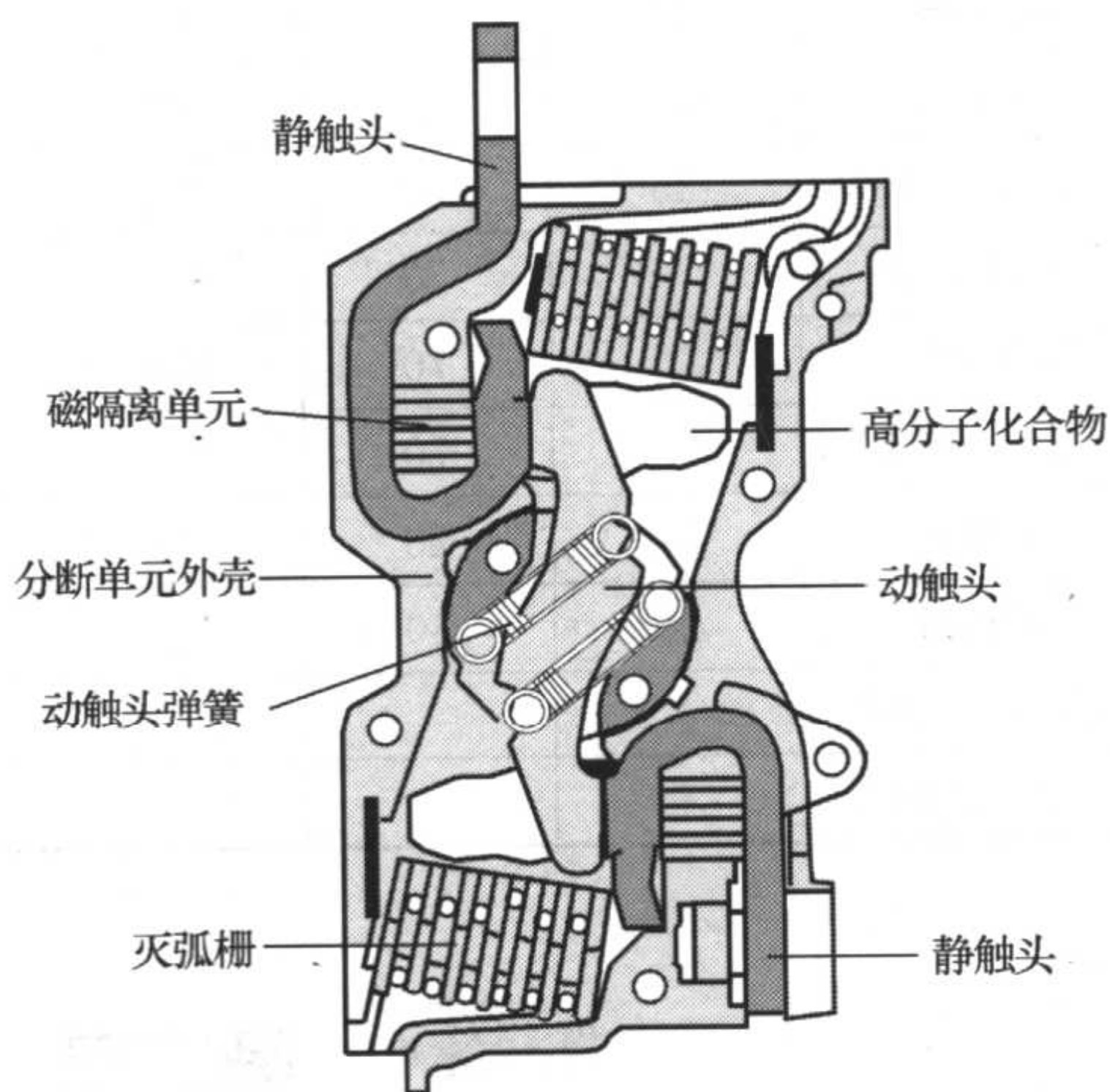


图 3-6 Compact NS 断路器主触头的内部结构

可以在 3ms 内迅速跳闸，这样预期短路电流的峰值还未达到电弧就被切断，从而大大地限制了实际的短路电流，不同的规格的断路器的限流特性是不同的，一般来说限流特性在断路器的规格越小的时候就越大。

限流的作用对于电气装置和用电设备通常来说有以下三种益处：由于短路电流的幅度和时间的受到限流的作用而降低了故障过程中的热效应，从而使导体的发热减少并延长了电气装置和用电设备的寿命；由于峰值受到了限制，从而降低了导体不同相之间的应力，降低了变形、断裂及机械强度的降低等风险；可以降低感应出的磁场的强度，从而降低邻近的测量、控制、通信等设备的干扰或破坏。级联技术的应用依赖于 Compact NS 断路器的限流作用，使限流作用在整个低压供电系统上的应用得到了扩展。在应用上，上一级断路器控制的整个电路上短路电流均得到了限制，故级联技术可以应用到同该断路器相连的下一级相关设备。当然前提是上级断路器的分断能力和限流特性（极限分断能力）必须大于或等于安装处的预期短路电流，同时要求上一级断路器的动作时间应低于下一级低开断容量的断路器的动作时间，避免下一级断路器首先动作，切除故障的短路电流又高于其开断能力，损坏下级断路器，扩大故障的情况。

在 IEC 947—2 附录 A 中对断路器的级联配合进行了规定。IEC 947—2 规定关联性（标准中称为保护配合）一般由制造厂的试验来验证，制造厂应提供可能的组合表。而这些试验均实在特性覆盖区内、磁脱扣的最小整定值 I_B 和 $D1 + D2$ 组合的极限分断能力 I_{cu} ($D2 +$

D1) 之间, 为脱扣器最不利整定值的情况下进行的。表 3-6 为部分开关产品之间的级联选择配合表。

表 3-6 部分开关产品之间的级联选择配合表

上 级	NS100N	NS100H	NS100L	NS160N	NS160H	NS160L	NS250N	NS250H	NS250L
分断能力	36	70	150	36	70	150	35/36	70	150
下级	分断能力								
C60a	15	20	20	15	20	20	15	20	20
C60N	25	30	30	25	30	30	25	30	30
C60H	25	40	40	30	30	30	30	30	30
C60L	25	40	40	30	40	40	30		
NC100H	25	30	30	25	30	30	25	30	30
NC100LS		70	100			100		70	100
NC100LH		70	150		70	150		70	150
NL100LMA		70	150		70	150		70	150
C32N	15	20	20	15	20	20	15	20	30
C32H	25	30	30	25	30	30	25	30	30
C60L \leq 40A								40	40
C60L \leq 63A								30	30



第二节 低压熔断器的选型

3-6 低压熔断器的功能和原理是什么, 都有哪些分类?

熔断器属于保护电器, 在其额定电流内能正常导通电流, 当电路发生故障或异常时电流升高到一定的数值, 经过一定时间后熔断器自身熔断切断故障线路, 从而起到保护线路和设备安全运行的作用。

低压熔断器主要由熔管、熔体构成, 一些熔断器还要填充一些如石英砂等填充料用来熄灭电弧。熔断器中的熔体是将具有低熔断点各种金属, 按照不同的比例混合制成。当电流升高达到或超过其额定电流时, 熔体立即熔断。合金中各种金属的比例不同, 其熔化特性也不同, 也就可以对不同的保护对象进行相应恰当的选择。

按照熔断器的分断范围 (或称工作类型), 国家标准把熔断器分为 g 类和 a 类两大类。g 类为全范围分断, 在规定条件下, 连续承载电流不低于其额定电流, 并能够分断最小熔化电流至额定分断能力之间的各种电流。a 类为部分范围分断, 在规定条件下, 连续承载电流不低于其额定电流, 并能够分断 4 倍额定电流至额定分断能力之间的各种电流; 按照使用类别, 熔断器又可以分为 G 类和 M 类。G 类为一般用途, 适合包括电缆在内的各种负载, M 类为电动机电路的熔断器。上述两类可以有不同的组合, 如 Gg、aM 等。

3-7 低压熔断器都有哪些主要技术参数?

额定电压: 熔断器能够长期正常工作的最高的电压值, 一般为交流 220, 230, 240, 380, 400, 415, 660V 等, 直流一般为 110, 115, 220, 230, 250, 440, 800, 1000V 等。

额定电流：熔断器的额定电流主要是指熔体的额定电流。标准规定熔体的电流从 2A 到 1250A，供 26 个级次，熔断器的支持件的额定电流也可以从前述的 26 个级次中选取，通常代表能同支持件一同使用的熔体额定电流的最大值。

额定频率：一般而言，其额定频率按照 45~62Hz 设计。

熔断特性：熔断器的熔断特性由熔体本身的特性和其散热条件来决定，它描述的是在一定的电流下熔断器熔断所需的时间。时间和电流的平方成反比，即 $Q=I^2t$ 。对于给定的熔断器， Q 为一常数。熔断器的熔断特性通常用对数坐标的时间—电流特性表示，也称之为熔断器的安秒特性。而其时间—电流特性又可以用弧前时间—电流特性、熔断时间—电流特性或时间—电流特性带来表示。熔断器的熄弧时间和电流的功率因数有关，功率因数越低，熄弧时间就越长。

额定分断能力：是指熔断器在很短的时间内分断相当大的故障电流的能力。一般而言熔断器的分断能力在 50kA 以上，高至 100kA 左右。在此情况下，通常的分断时间为几个毫秒。

限流作用和截断电流：在没有考虑熔断器的情况下，预期计算的短路电流是很大的。由于熔断器的动作非常迅速，在短路电流达到其峰值之前动作，切断电路。从而使电路上的电流小于预期计算电流。熔断器所起的效果称之为限流作用；在限流过程中实际所达到电流的最高值被称之为截断电流。由于限流作用，线路中实际可能出现的最大的短路电流只有预期短路电流峰值的 20% 左右。

过电流选择比：过电流选择比是指上下级熔断器之间满足选择性要求的额定电流最小比值，它同熔断器的门限值、安秒特性以及可承受的 I^2t 有关。g 类熔断器间的选择性发生在能使熔断器的弧前时间大于 0.01s 的电流值的预期电流上。如果满足上一级熔断器的弧前时间的 I^2t 值大于下一级的熔断器的熔断 I^2t 值（可以从熔断器的供货厂商得到具体的参数），即认为其过电流选择比满足要求。或者可以简单地在两熔断器的额定电流的比值为 1.6 : 1 的情况下即可认为其过电流选择比满足要求。

约定时间和约定电流是用来描述熔断器保护特性的参数。约定电流分为约定熔断器电流和约定不熔断电流。约定熔断器电流为在约定时间内可熔断的最大电流，约定不熔断电流为在约定时间内不会熔断的最大允许电流。

3-8 国内常见的低压熔断器都有哪些？

NT (RT16) 型和 RT17 型：NT 为引进的国外产品，国内颁发的型号为 RT16。RT17 是国内为补全 NT 系列熔断系的规格由国内厂家设计生产的。两种产品均符合 IEC269 及国内对应的国家标准。可在电压为 660V 及以下、电流最高至 1000A 的电力系统或配电电路中使用。NT 系列熔断器的额定分断能力在 500V 及以下时为 120kA，660V 时为 100kA。两种熔断器均属填料熔断器，具体参数见表 3-7。

表 3-7

NT (RT16) 型和 RT17 型熔断器参数

型 号	NT (RT16) RT17	约定时间	4h
额定电流	4~1000A	约定不熔断电流	$1.25I_n$
额定电压	500 / 600V	约定熔断电流	$1.6I_n$
额定分断能力	120kA/500V, 50kA/660V		

RT12 和 RT15 系列熔断器均为填料式封闭管熔断器,可在 500V 及以下交流系统中作为过载和保护使用。两种熔断器均有熔断指示,均适合同开关连接组成开关熔断器组。RT12 的最大额定电流为 100A,额定分断能力为 100kA;RT15 的最大额定电流 400A,额定分断能力为 100kA。具体参数见表 3-8~表 3-11。

表 3-8 RT12 系列熔断器技术参数表

额定电流	额定电压	额定分断能力	约定时间	约定不熔断电流	约定熔断电流
2A	415V	80kV $\cos\varphi=0.1\sim0.2$	1h	$1.2I_n$	$1.6I_n$
4A			1h	$1.2I_n$	$1.6I_n$
6A			1h	$1.2I_n$	$1.6I_n$
10A			1h	$1.2I_n$	$1.6I_n$
16A			1h	$1.2I_n$	$1.6I_n$
20A			1h	$1.2I_n$	$1.6I_n$
25A			1h	$1.2I_n$	$1.6I_n$
32A			1h	$1.2I_n$	$1.6I_n$
40A			1h	$1.2I_n$	$1.6I_n$
50A			1h	$1.2I_n$	$1.6I_n$
63A			1h	$1.2I_n$	$1.6I_n$
80A			2h	$1.2I_n$	$1.6I_n$
100A			2h	$1.2I_n$	$1.6I_n$

表 3-9 RT12 系列熔断器 I^2t 特性

0.01s 时弧前和熔断 I^2t 值 (kA^2s)	额定电流 (A)								
	16	20	25	32	40	50	63	80	100
最小值 (弧前)	0.2	0.34	0.58	1.0	1.7	2.6	4.7	10	26
最大值 (熔断)	1.0	1.7	2.6	4.7	10	26	40	62	100

表 3-10 RT15 系列熔断器技术参数表

额定电流	额定电压	额定分断能力	约定时间	约定不熔断电流	约定熔断电流
40A	415V	100kA $\cos\varphi=0.1\sim0.2$	1h	$1.2I_n$	$1.6I_n$
50A			1h	$1.2I_n$	$1.6I_n$
63A			1h	$1.2I_n$	$1.6I_n$
80A			2h	$1.2I_n$	$1.6I_n$
100A			2h	$1.2I_n$	$1.6I_n$
125A			2h	$1.2I_n$	$1.6I_n$
160A			2h	$1.2I_n$	$1.6I_n$
200A			3h	$1.2I_n$	$1.6I_n$
250A			3h	$1.2I_n$	$1.6I_n$
315A			3h	$1.2I_n$	$1.6I_n$
350A			3h	$1.2I_n$	$1.6I_n$
400A			3h	$1.2I_n$	$1.6I_n$

表 3-11 RT15 系列熔断器 I^2t 特性

0.01s 时弧前和熔断 I^2t 值 (kA ² s)	额定电流 (A)											
	40	50	63	80	100	125	160	200	250	315	350	400
最小值 (弧前)	3	5	9	16	27	46	86	140	250	400	550	760
最大值 (熔断)	9	16	27	46	86	140	250	400	760	1300	1700	2250

RLS2 系列快速熔断器是用于保护半导体器件的熔断器, 在国内生产, 符合 IEC269 及国内对应的国家标准。可用于 500V 及以下的交流电路中作半导体器件的保护元件。其结构为螺旋式, 在端部装有熔断指示器, 并有非互换性限位装置。具体参数见表 3-12。

表 3-12 RLS2 系列熔断器技术参数表

额定电流	额定电压	额定分断能力	额定电流	额定电压	额定分断能力
16A	500V	50kA $\cos\varphi=0.1\sim0.2$	50A	500V	50kA $\cos\varphi=0.1\sim0.2$
20A			63A		
25A			75A		
30A			80A		
35A			90A		
45A			100A		

3-9 低压熔断器的选用原则是什么?

(1) 首先要根据保护对象的特点选择适当的熔断器, 如对于线路和母线保护应选择全范围的 G 类熔断器; 对于电动机应选择 M 类的熔断器; 作硅元件保护, 则应选择保护半导体件熔断器; 供家庭用, 宜选用螺旋式或半封闭插入式熔断器。

(2) 熔断器的额定电压应高于持续工作电压。

(3) 熔断器的额定电流在一般情况下应高于可能的持续工作电流的最大值, 其支持部件的额定电流应满足使用要求, 并适于安装; 在用于电动机回路时, 不经常起动或起动时间不长, 按照不低于 2.5~3 倍的实际电流来选取熔断器的额定电流, 在起动时间比较长或经常起动, 可以按照 1.6~2 倍的实际电流来选取熔断器的额定电流; 保护半导体器件应按照半导体装置容量的 1.57 倍来选择熔断器。

(4) 额定频率应满足需要。

(5) 额定分断能力应高于经计算得到的最大的可能的故障电流。

(6) 在上下级均有熔断器保护的环下, 应按照两只熔断器的安秒曲线不相交或上级熔断器熔体的额定电流与下级熔断器熔体额定电流之比不低于过电流选择比。

(7) 考虑与熔断器相连的接触器或负荷/隔离开关动作与熔断器动作在时间上的配合, 必须保证在发生短路时熔断器要先于接触器或负荷/隔离开关动作。一般而言要求可靠系数不小于 2, 即接触器的动作时间是熔断器动作时间的两倍以上。

3-10 熔断器选型使用实例。

实例一

已知一低压 380V, 50Hz 线路, 最大负荷电流为 55A, 最大计算短路电流为 17.6kA。

安装在配电箱内，由一隔离开关引出，则熔断器的选择如下：

选择 RT12 系列熔断器，额定电压 $U_n = 415\text{V} > 380\text{V}$ ，满足使用要求；额定频率为 50Hz，满足使用要求；额定分断能力为 $80\text{kA} > 17.6\text{kA}$ 满足使用要求。选择最小的大于 55A 的熔断器，可以从表 3-8 中查出：应选择 63A 的 RT12 型熔断器。

实例二

在前述的熔断器保护的负荷的末端有一低压照明负荷，最大正常运行电流为 15A，则应考虑其过流选择性，选择相应的熔断器。同上例，可以选择 RT12 系列 16A 熔断器，但需要验证其同上一级熔断器的过流选择性。由表 3-9 和表 3-11 可知 RT12-16A 熔断器 0.01s 的最大熔断的 I^2t 值为 $1\text{kA}^2\text{s}$ ，RT15-63A 的最小弧前 I^2t 值为 $9\text{kA}^2\text{s}$ ，满足选择性要求。



第三节 低压接触器的选型与实例

3-11 什么是接触器，接触器有哪些用途，如何分类？

接触器是在按钮或继电器的控制下，通过电磁铁在通电时的吸引力使动触头、静触头闭合或断开的控制电器。在正常条件下，接触器主要用来频繁地切断、接通电路，来控制需要频繁起动的控制对象（如电动机）。通常接触器只能进行负荷电流的通断操作，不能切断过载的电流和故障电流。因此接触器经常和熔断器、热继电器配合使用。

低压接触器是电气传动和自动控制系统中应用最广的一种电器，它适用于远距离频繁地接通与分断交、直流主电路及大容量控制电路的自动电器。其主要控制对象是电动机，也可用于控制照明设备、电焊机、电容器、电热设备等其他负载。接触器主要有交流接触器和直流接触器两种。接触器的分类见表 3-13。

表 3-13

接触器的分类

分类原则	分类名称	主要用途
按主触头所控制电流种类	交流	作为远距离频繁地接通与分断交流电路用
	直流	作为远距离频繁地接通与分断直流电路用
按主头极数	单极	用于控制单相负载；或能耗制动
	双极	交流电动机的动力制动；或在绕线式电动机的转子中短接各级起动电阻
	三极	控制交流电动机
	四极	控制三相四线制的照明电路；或控制双回路电动机负载
	五极	组成自耦补偿起动器；或控制双速笼型电动机，变换绕组连接
按主触头类别	动合式	控制电动机及电阻负载
	动断式	用于能耗制动或备用电源接通
	动合动断兼有式	用于发电机励磁电路的灭磁或备用电源的接通
按灭弧介质	空气式	用于一般用途的接触器
	真空式	用于煤矿、石油化工企业以及电压在 660V 与 1140V 的场合
按有无触头	有触点式	以上用途的接触器均为有触点交流接触器
	无触点式	通常又晶闸管作为电路的通断元件，适用于频繁操作和需要无噪声等特殊场合，如冶金和化工等行业

续表

分类原则	分类名称	主要用途
按使用场合	一般工业用	用于冶金、机床等电气设备中，主要用于控制各类直流电动机
	牵引用	用于电力机车、蓄电池运输车辆的电气设备中
	高电感电路用	用于直流电磁铁、电磁操作机构的控制电路中
按操作线圈控制电源	交流	用于晶闸管控制电路中
	直流	用于直流控制电路中
按主触头极数	单极	用于一般直流电路中
	双极	用于分断后要求电路完全隔离的电路中和控制电动机正反转电路中
按主触头类别	动合式	用于电动机和电阻负载电路中
	动断式	用于放电电阻负载电路中
按有无灭弧室	有灭弧室	用于额定电压较高的直流电路中
	无灭弧室	用于低电压直流电路，如叉车、铲车电控设备中
按吹弧方式	串联磁吹	用于一般用途接触器
	永磁吹弧	用于对小电流也要求可靠熄灭的直流电路中

3-12 低压接触器都有哪些主要技术参数？

(1) 额定电压：主要指主触头的额定电压，同时还应在使用中注意辅助触头、线圈的工作电压。

(2) 额定电流：指主触头的额定电流，是指在规定的额定电压、使用类别、额定工作制、工作环境和操作频率等条件下，能保证电器正常工作的电流值。同样在工作环境恶劣的情况下，如高温，接触器就有必要降容使用。

(3) 动作值：包括起动值和返回值，即线圈吸合和释放电压。根据相关标准的规定，接触器在达到线圈额定电压的 85% 及以上时应可靠吸合；释放电压应不高于线圈额定电压的 70%，下限值交流接触器不低于额定线圈电压的 10%，直流不低于 5%。

(4) 闭合和分断能力：指主触头在规定的条件下能可靠接通和分断的最大电流。在这个电流下主触头不会发生熔焊、飞弧和过分老化、磨损。

(5) 机械寿命和电气寿命：机械寿命是指可以操作的次数，可以达到上百万次、千万次以上；电气寿命是指在额定的工况下的满负荷操作次数。

(6) 操作频率：指每小时操作次数。操作频率会影响接触器的寿命及交流接触器线圈的温升。目前通常的操作频率为 300、600、1200 次/h。

3-13 常见的低压交流接触器都有哪些？

(1) CJ 系列接触器。CJ 系列接触器是全国第二次联合设计的产品，额定交流电压为 380、660、1140V 三种，额定电流为 6.3~630A，操作频率为 600~1200 次/h。机械寿命为 300 万~1000 万次。具有结构紧凑，检修、维护经济方便等特点。主要参数见表 3-14。

(2) LC1-D 系列接触器。LC1-D 系列接触器是施耐德电气公司的产品，它的机械寿命可达到 2000 万次，控制线圈电压在 (70%~120%) U_c 之间波动不影响产品正常工作；而且双线圈工作，功耗低；通用性强；模块化附件功能不全，带有线圈浪涌抑制器、侧装正装辅助触头、机械闭锁、通电断电延时等辅助功能。主要参数见表 3-14。

续表

型号	额定频率 (Hz)	机械寿命 (万次)	额定绝缘 电压 (V)	额定发热 电流 (A)	主 触 头				辅助触点			
					额定工作 电压(V)	额定工作 电流(A)	使用类别	动稳定性 I/I_n	操作频率 (次/h)	热稳定性 $I/I_n \cdot 10s$	电寿命操作 次数(万次)	额定电压 (V)
CJ8Z-40						AC4		300	8	6		
CJ10-40	50/60		500	40	40	AC3	50	600		60	380	5
CJ10ZB-40	50		380			AC4		300		10		
CJ20-40		1000	660	55	55	AC3		1200	8	100		0.26
					40	AC4		300		4		
					25			120		3		
CJ10-60	50/60	300	500	60	60/48	AC3		600	7	60		5
CJ20-63	50	1000	660	80	63			1200	8	120		0.8
						AC4		300		5		
					40			120		1		
CJ10-75A	50/60	300	380	75	75	AC3		600	7	60		10
CJ8-100	50+			100	100							3
CJ8-100Z												
CJ8Z-100						AC4		300	8	2.5		
CJ10-100	50/60	300	500		100/80	AC3		600	7	600		5
CJ12-100			380			AC2	20			15		22
CJ12F-100	50											
CJ20-100		1000	660	125		AC3		1200	8	120		0.8
						AC4		300		3		
					63			120		1		
CJ10-120A	50/60	100	380	120	120	AC3	20	60	7	5		10
CJ8-150	50	300		150	150			600		60		3
CJ8-150Z												
CJ8Z-150						AC4		300	8	2.5		
CJ10-150	50/60		500		150/120	AC3		600	7	60	380	5

续表

型号	额定频率 (Hz)	机械寿命 (万次)	额定绝缘 电压 (V)	额定发热 电流 (A)	主 触 头						辅助触点		
					额定工作 电压(V)	额定工作 电流(A) AC3类	使用类别	动稳定性 I/I_n	操作频率 (次/h)	热稳定性 $I/I_n, 10s$	电寿命操作 次数(万次)	额定电压 (V)	额定电流 (A)
LC1-D09	22~400	2000	690	25	690	9	AC1~AC4		3600	12	200	21~660	7
LC1-D12	22~400	2000	690	25	690	12	AC1~AC4		3600	9	200	21~660	5
LC1-D18	22~400	1600	690	32	690	18	AC1~AC4		3600	8	160	21~660	3
LC1-D25	22~400	1600	690	40	690	25	AC1~AC4		3600	10	160	21~660	4
LC1-D32	22~400	1600	690	50	690	32	AC1~AC4		3600	8	160	21~660	3
LC1-D38	22~400	1600	690	50	690	38	AC1~AC4		3600	8	160	21~660	2
LC1-D40	22~400	1600	1000	60	1000	40	AC1~AC4		3600	8	160	24~660	5
LC1-D50	22~400	1600	1000	80	1000	50	AC1~AC4		3600	8	160	24~660	4
LC1-D65	22~400	1600	1000	80	1000	65	AC1~AC4		3600	8	160	24~660	3
LC1-D80	22~400	1000	1000	125	1000	80	AC1~AC4		3600	8	100	24~660	3
LC1-D95	22~400	1000	1000	125	1000	95	AC1~AC4		3600	8	100	24~660	2
LC1-D115	22~400	800	1000	200	1000	115	AC1~AC4		2400	8	80	24~500	3
LC1-D150	22~400	—	1000	200	1000	150	AC1~AC4		1200	8	—	24~500	—
LC1-D170	22~400	—	1000	200	1000	170	AC1~AC4		1200	7	—	24~500	—
LC1-D205	22~400	1000	1000	275	1000	205	AC1~AC4		2400	7	100	24~1000	4
LC1-D245	22~400	1000	1000	315	1000	245	AC1~AC4		2400	7	100	24~1000	3
LC1-D300	22~400	1000	1000	400	1000	300	AC1~AC4		2400	9	100	24~1000	—
LC1-D410	22~400	1000	1000	500	1000	410	AC1~AC4		2400	9	100	24~1000	—
LC1-D475	22~400	1000	1000	700	1000	475	AC1~AC4		2400	9	100	24~1000	—
LC1-D620	22~400	500	1000	1000	1000	620	AC1~AC4		1200	8	50	24~1000	—

(3) LC1D. K 系列接触器。LC1D. K 系列接触器是施耐德电气公司的产品，它专用于低压无功补偿设备中投切并联电容器组，LC1D. K 系列电容接触器通过辅助电路提前接入电阻，抑制浪涌电流，专利设计保证了使用安全，产品寿命可达到 30 万次。

(4) B 系列接触器。B 系列接触器是引进 ABB 公司的技术生产的，适用于交流 50~60Hz，电压最高至 660V，额定电流为 8.5~475A。具有电寿命和机械寿命长、功能多，重量轻、体积小、功耗低等优点。同时具有多种附件和线圈配合，使用比较方便。还带有失压保护功能，在同热继电器共同组成起动器时，具有过载和断线保护功能。

3-14 低压接触器的选用原则是什么？

低压接触器属于一种控制设备，因为它所控制的负载工作状况不同，负载类别不同，容量不同等因素，所需接触器的类别和特性参数是不一样的，所以我们在选用接触器时，应按以下几点情况考虑：

(1) 按使用类别选用。控制交流负载应选用交流接触器；控制直流负载则选用直流接触器。选择接触器时，不能只看电路的额定电流及工作电压。首先要根据接触器控制的负载的工作状况来选择相应使用类别的接触器。

用于控制电动机负载时，接触器的额定工作电压、电流（功率）和额定操作频率均不得低于电动机的相应值。当用于断续周期工作制或短时工作制时，接触器的额定发热电流应不低于电动机实际运行的等效电流。此外，应按电动机的类型和实际使用的要求，选用有相应使用类别和技术参数的接触器。接触器的使用类别分类见表 3-15。

表 3-15 接触器的使用类别

电流种类	类别	典型用途	IEC 标准	
交流	AC-1	无感或微感负载、电阻炉	947-4	
	AC-2	绕线式感应电动机的起动、分断		
	AC-3	笼型感应电动机的起动、运转中分断		
	AC-4	笼型感应电动机的起动、反接制动或反向运转、点动		
	AC-5a	放电灯的通断		
	AC-5b	白炽灯灯的通断		
	AC-6a	变压器的通断		
	AC-6b	电容器组的通断		
	AC-7a	家用电器和类似用途的低感负载		
	AC-7b	家用的电动机负载		
	AC-8a	具有过载继电器手动复位的密封制冷压缩机中的电动机控制		
	AC-8b	具有过载继电器自动复位的密封制冷压缩机中的电动机控制		
	AC-12	控制电阻性负载和发光二极管隔离的固态负载		947-5
	AC-13	控制变压器隔离的固态负载		
	AC-14	控制小容量电磁铁负载		
	AC-15	控制交流电磁铁负载	947-3	
	AC-20	空载条件下“闭合”和“断开”电路		
	AC-21	通断电阻负载，包括通断适中的过载		
	AC-22	通断电阻电感混合负载，包括通断适中的过载		
AC-23	通断电动机负载或其他高电感负载	947-2		
交直流	A		电路保护，不具有额定短时耐受电流	
	B	电路保护，具有额定短时耐受电流		

续表

电流种类	类别	典型用途	IEC标准
直流	DC-1	无感或微感负载, 电阻炉	947-4
	DC-2	并励电动机的起动、反接与反接制动, 点动, 电动机的动力分断	
	DC-5	串励电动机的起动、反接与反接制动, 点动, 电动机的动力分断	
	DC-6	白炽灯的通断	
	DC-12	控制电阻性负载和发光二极管隔离的固态负载	947-5
	DC-13	控制直流电磁铁负载	
	DC-14	控制电路中有经济电阻的直流电磁铁负载	
	DC-20	空载条件下“闭合”和“断开”电路	947-3
	DC-21	通断电阻性负载包括适中的过载	
	DC-22	通断电阻电感混合负载, 包括通断适中的过载(例如并励电机)	
	DC-23	通断高感负载(例如串励电机)	

(2) 按负载类别选用。不同的用电设备其负载性质和通断过程的电流变化相差很大, 因此对接触器的要求也有所不同, 常用的负载有以下数种:

1) 电热元件负载: 对电热元件负载中用的线绕电阻元件, 其接通电流可达额定电流的1.4倍, 例如用于室内供暖, 电烘箱及电热空调等设备。若考虑网络电压升高10%, 则电阻元件的工作电流也将相应增大。因此, 在选择接触器的额定工作电流时, 应予以考虑。这类负载被划分在AC1使用类别中。

2) 照明装置: 当接通照明装置中的白炽灯负载时, 有较大的冲击电流产生, 约为额定电流的15倍, 若考虑到容许电压升高10%, 电流也将相应增加, 其使用类别被划分在AC-5b中。其他不同的照明灯, 其接通时的冲击电流值和起动时间不同, 负载功率因数也不等于1。它们被划分在AC-5a。

3) 低压变压器负载: 当接通低压变压器时, 会出现一个持续时间甚短的峰值电流, 可达变压器额定电流的15~20倍, 它与变压器的绕组布置及铁芯特性有关。例如, 用于电焊机上的变压器, 操作是在变压器的次级侧通过电焊条将电路短路来接能电源的, 电焊机使用时频繁地产生突发性的强电流, 从而使变压器初级侧的开关装置承受很大的应力。在此情况下, 必须知道变压器输出额定工作电流、电焊条短接时的短路电流以及焊接频率等参数和操作条件, 其使用类别划分在AC-6a中。

4) 电容器负载: 接通电容器时产生瞬态充电过程, 充电电流可达很高的数值, 同时伴随着频率可从几百到几千赫的振荡, 因此, 它对开关电器提出了严峻的要求。接通电容器对电流的振幅和频率, 由电路的电网电压、电容器的容量及电路中的电抗值所决定, 并与此馈电变压器和连接导线的截面、长度有关。为了较经济地切换电容器, 并防止在不利的条件下使开关电器的触头发生接通熔焊, 一般可在电容器及支路中串入附加电感或电阻以限制电流, 并减小接通电路时对电网的影响。此类使用类别划分在AC-6b中。

5) 电动机负载: 低压电动机是最常用的负载之一。交流电动机常用的有绕线式电动机和鼠笼式感应电动机。绕线式电动机起动时, 在转子电路中接入电阻以限制起动电流。但不同的负载起动时间不同, 负载越重起动时间越长。用于绕线式电动机切换的接触器属于

AC-2 使用类别。鼠笼式电动机一般采用直接起动, 起动电流冲击衰减后随后流过的是稳态电流 I_e , 一般的鼠笼式电动机起动电流(有效值) I_A 为 4~8 倍的电动机额定电流 I_N 。电动机的空载电流 $I_0 = (0.95 \sim 0.2) I_e$, 正常负载下的起动时间 $t_A < 10s$, 重载起动时 t_A 可大于 10s。用于切换鼠笼式电动机正常起动和在运转中分断的接触器属于 AC-3 使用类别。而运行在鼠笼式电动机正常起动并同时进行反接制动, 或者是反向运转、点动情况下的接触器, 因其接通电流和分断电流均是电动机的起动电流。这种工作类别的开关电器属于 AC-4, 它比 AC-3 工作类别的要求严酷得多。

(3) 按负载容量等级选用。确定容量等级就是确定接触器的额定电流。主触头的额定工作电流应大于或等于负载电路的电流; 还要注意接触器主触头的额定工作电流是在规定的条件下(额定工作电压、使用类别、操作频率等)能够正常工作的电流值, 当实际使用条件不同时, 这个电流值也将随之改变。

1) 工作制及操作频率对容量的影响。选用接触器时, 应注意控制对象是工作在长期工作制, 还是重复短时工作制。用于长期工作制时应尽量选用银、银合金或镶银触头的接触器。如选用铜触头的接触器, 则应将其容量降至间断长期工作制额定容量的 50% 以下使用。用于重复短时工作制时, 接触器的额定电流应按等效发热电流(方均根)电流来计算。此外, 在操作频率很高时, 还必须考虑电弧能量的影响, 按等效发热电流留取适当裕量来选择接触器的容量等级。

2) 工作电压与容量的关系。接触器在不同电压下工作时, 工作电流一般可按功率相等原则来换算, 但要考虑以下情况:

a) 在较低电压下工作时, 工作电流不应超过同一接触器的额定发热电流。

b) 最高工作电压不能超过接触器的额定绝缘电压。一般在产品资料中列有不同的工作电压下的控制功率, 可作为选用依据。

c) 环境条件对容量的影响。接触器安装于密闭的箱中或当环境温度高于规定的条件时, 应适当降容使用。用于特殊环境条件的接触器应选用派生型产品(如湿热带型—TH 或符合防爆、防尘、防滴等使用要求的产品)。

(4) 选择接触器的线圈电压。吸引线圈的额定电压应与控制回路电压相一致, 接触器在线圈额定电压 85% 及以上时应能可靠地吸合。接触器线圈的额定电压需视控制回路的情况而定。同一系列、同一容量等级的接触器其线圈的额定电压有多种规格, 选用时必须指明线圈的额定电压。

(5) 选择直流接触器。由于直流接触器的线圈以直流电驱动, 铁芯中不会有涡流, 因此可以选择铸铁或钢制的铁芯; 直流电流没有过零点, 所以就灭弧来说相对交流电流比较困难, 必须有可靠的灭弧装置。

3-15 低压交流接触器的选型使用实例。

有一正常工况下需连续运行的三相四线接线的绕线式电动机, 系统运行电压为 380V, 功率为 18.5kW, 机械效率为 70%, 功率因数为 0.75。安装处的短路预期电流为 22kA。控制回路的电源直接取自动力回路当中的 C 相和零线。

由上可知, 绕线式电动机应使用 AC-2 类接触器。负载类型为长期运行的电动机, 控制回路的电压为交流 220V, 工作电压为 380V, 需要 4 极的接触器。接触器的额定电流不应低

于电动机长期满负荷运行的电流。计算电流如下

$$I = \frac{P}{\sqrt{3}U\cos\varphi\eta} = \frac{18.5}{\sqrt{3} \times 0.38 \times 0.75 \times 0.7} = 53.5(\text{A})$$

可选择额定电流为 63A 的四极接触器，线圈电压为 220V 交流。可选择 LC1-D63 型接触器和 LR97 型热继电器。



第四节 低压断路器的选型与实例

3-16 低压断路器都有哪些功能、用途及其结构和分类？

低压断路器是一种不仅能通断正常负荷电流，而且还能切断故障电流，是保护人身安全和电力设备安全的重要电器元件。在用电领域中占有主要地位，它用于不频繁地接通和切断设备的电源，并且具有交、直流线路过载、短路、或欠电压和接地故障保护。通断正常负荷电流、切断故障电流，完成过载保护和断路保护是断路器的基本功能。

低压断路器有多种分类方式，按使用类别分，有选择型的 B 类断路器（有短时耐受电流 I_{cw} 要求）和非选择型 A 类断路器（无短时耐受电流 I_{cw} 要求）；按结构型式分，有框架式（又称万能式）、塑壳式断路器和微型断路器；按灭弧介质分，有空气式和真空式（目前多为空气式）；按操作方式分，有手动操作、电动操作和弹簧储能机械操作；按极数分，可分为单极、二极、三极和四极式；按安装方式分，有固定式、插入式、抽屉式等。

更多的分类方式及内容可参见 GB14048.2。因其结构决定了性能，不同的使用环境对性能有着不同的要求。因此按照市场和厂家的习惯，主要是按断路器的结构型式分类，分为空气断路器（Air Circuit Breaker）即框架断路器、塑壳断路器（Module Case Circuit Breaker）、微型断路器（Miniature Circuit Breaker）。国内外厂家对应这三大类断路器都有自己相应的产品，见表 3-16。

表 3-16 国内外厂家断路器产品列表

产品类型 公司名称	ACB 空气断路器	MCCB 塑壳断路器	MCB 微型断路器
施耐德电气公司 (梅兰日兰品牌)	Mastpact MT Mastpact MW Compact NS	Compact NS Compact NSD Compact NSC	Mluti9 系列产品 C65, NC100, GV2
ABB 公司	Emax Megamax	Isomax Tmax	S 系列产品 S250S, S260, S270, S280, S9
西门子公司 Siemens	3WN6, 3WT	3VF	5SX, 3VU13, 3VF1
人民电器	DW15	RDM8	DZ47
正泰集团	NA1, NA15	NM1, NM8	NB1-63
德力西集团	DW15/16/17	DZ15/DZ20	CDB1/2/3/7

低压框架断路器主要由触头、灭弧装置、操作机构和脱扣系统、外壳和控制单元构成。低压框架断路器的触头分为主触头和辅助触头。其中主触头用于分断和接通主电路，辅助触头用于接通和分断辅助的控制和信号回路。由于主触头间要通过主电路的电流，因此应具有通断负荷电流和分断短路电流，并且能够多次接通、分断故障电流的能力。故障电流可能非

常大（故障电流可达到几十乃至上百千安），触头在分断的时候会产生温度非常高的电弧。因此主触头的结构应该保证在多次分断、接通电流后触头的不会因为电弧烧损或温升超过允许的限度。通常会在结构上增加一组弧触头，在闭合时，弧触头先闭合；在分断的时候，弧触头后分开。这样可以使电弧只在弧触头之间燃烧，主触头不会被电弧损伤而影响，从而保证主触头的接触良好不会导致正常运行时的温升。

灭弧装置是断路器非常重要的组成部分，它用来保证分断的时候在电流过零点后电弧熄灭而不会发生重燃等可能损伤人员、设备安全及电网稳定的情况。一般而言，低压断路器通常采用灭弧罩来增强灭弧能力。灭弧罩的功能主要是在电弧产生的时候，受电弧电流的作用产生磁场，将电弧吸入灭弧罩中，由灭弧栅中的金属片分割成较短的电弧。由于短弧的电压比较低、热量小通过金属片迅速散热，来熄灭电弧，切断电路。

一般框架断路器断路器会采用弹簧操作机构操作机构，也有采用电磁式的操作机构的。一般而言弹簧储能操作机构和脱扣系统因其良好性能和稳定性得到非常广泛的应用。其主要是通过电机（电动）或手柄（手动）来拉伸弹簧到一定的位置，并通过机构上的一些与脱扣器相连的挂钩使弹簧处于储能状态。在脱扣器动作或机械按钮的动作下使挂钩松开释放储存在弹簧中的能量，使断路器动作。同时在机构中必须具备自由脱扣机构，它使断路器在脱扣器的驱动下动作后使触头和操作机构脱离联系，使断路器无法合闸。避免在脱扣器动作后（通常是因为故障）再一次的合闸。同时断路器会有一套和操作机构相配合的脱扣系统来在短时间内动作切断电路。一般而言脱扣装置主要有以下四种：

（1）电磁式过流脱扣器：由铁芯和缠绕在铁芯上的线圈组成。线圈和主电路相连，在主电路发生故障产生故障电流时，大电流流过线圈，使衔铁被吸合，传动杠杆推动操作机构上的搭钩，来释放储存在弹簧中的能量，驱动触头动作切断电路。电流的动作值可以通过调节衔铁的位置来调节。

（2）热过载脱扣器：保护动作元件是一组双金属片。双金属片和主回路相连，电流流过双金属片时产生热量使温度升高，双金属片变形弯曲，来推动传动杠杆运动。当温度上升到一定的程度时，传动杠杆到达相应的动作位置来推动操作机构上的搭钩使断路器动作。热过载继电器具有直接加热和间接加热两种类型，主要用于线路上或负载的过载保护。

（3）欠压脱扣器：在低于某一电压时，脱扣器线圈松开，在弹簧的拉下来推动传动杠杆。在高于规定的电压时，脱扣器的电磁力可以克服弹簧的弹力，而不会推动传动杠杆使断路器动作。欠压脱扣主要用来监视电压变化、完成电路连锁和远方控制。

（4）分励脱扣器：一般来说分励脱扣器供远距离的控制、联锁或保护使用。它同样由线圈、铁芯、弹簧和反作用弹簧组成，在对其施加相应的电压的时候会使衔铁克服弹簧的阻力动作来推动传动杠杆，使机构动作，作出合闸或分闸的动作。

外壳主要是为了保护人员安全、隔离带电部分、防止在切断故障电流时电弧飞出断路器，引起人员的损伤，同时也为了保护断路器内部的机构，降低外界的灰尘、水分、腐蚀性气体的损害。在一些特殊的环境下，外壳还要满足防止盐雾污染、防爆、防潮、防水等多种功能。其外壳的要求主要有防护等级来描述。

控制单元是随着电子技术和计算机技术的发展而逐步进入到断路器控制领域中的。主要用来进行保护整定值的设置，有些控制单元还有液晶显示屏，方便用户查看各种电气参数值，而且还可以通过内部的菜单查询历史事件记录、联锁联动、自诊断以及远方通讯等功

能。

塑壳断路器相对于框架断路器而言，其参数较低，结构也相对简单。通常其额定电流不超过 1250A，绝缘特性和遮断容量也低于框架断路器。由于处于框架断路器的下一级，经过一段线路后，短路电流会降低，塑壳断路器的参数和性能可以满足运行使用要求。而且其尺寸要小，安装灵活。造价要低于框架断路器，适合数量大和范围广的安装使用。塑壳断路器可以安装热磁脱扣器、电子脱扣器，或者

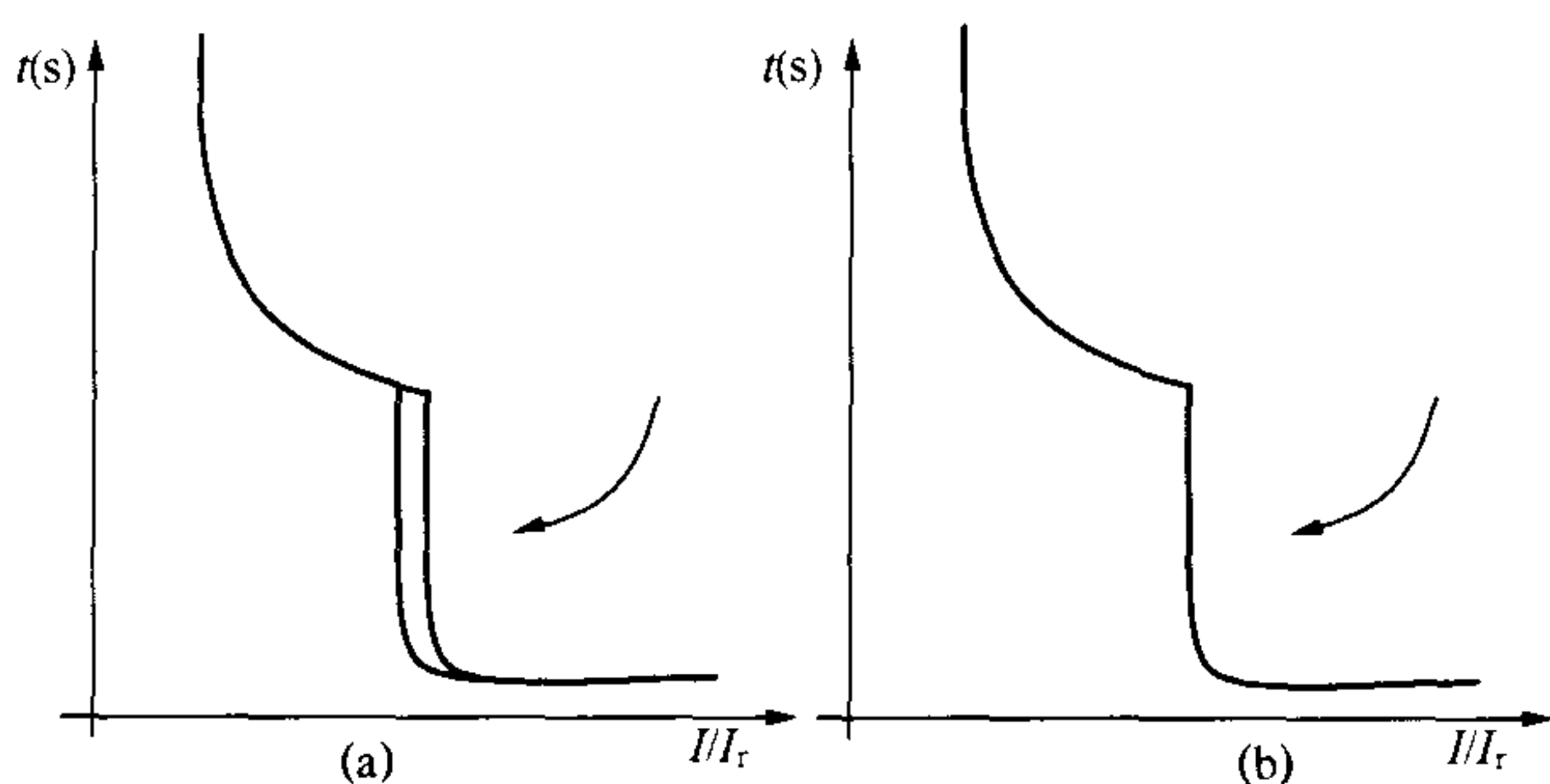


图 3-7 热磁保护曲线

(a) 热磁式脱扣曲线；(b) 电子式脱扣曲线

是按住电磁继电器与另外的热继电器配合使用，对线路和负荷进行保护，也可以安装分励、欠压等脱扣器来满足控制、联锁等要求。电子继电器通常可以设定可调的长延时和短延时保护，热磁脱扣器的保护或热继电器的保护则可以根据其曲线整定，如图 3-7 即为热磁保护的曲线。

塑壳断路器通常安装在配电网中框架开关的下一级来满足更小的负荷和线路上的电能分配，人员安全和用电设备的保护，保证电力网络的安全、稳定运行。除了参数普遍要低于框架断路器外，安装上也多为固定式安装。由于其处在电力网靠近末端的位置，通常没有比较高的控制要求，因此在使用中很少安装电动机等附件。

在电力网络的最末端通常需要安装微型断路器。微型断路器的尺寸要远远小于上述两种断路器，适合在配电网的末端直接同各种用电设备，如照明、空调等用电电器相连。同样其安装更加接近用户，距离电源也就更远，各种故障电流也会低于上述两种低压断路器，但其使用的范围更广泛，数量也更多。因此其结构要比前两者简单，造价也更低，安装更见简单方便。由于上述原因，微型断路器虽然也可以加装分励脱扣元件、欠压脱扣元件、辅助触点、远程控制元件等，但在实际应用中，由于其本身的联锁、控制要求不高，以上附件的应用领域要比开关本身要小得多。对于负荷和线路的保护，通常开关无法进行调整。其内部的动作曲线由微型断路器的额定电流决定。对于防止人员触电或者一些系统当中的接地故障，通常需要安装剩余电流保护或者中性线保护。

通常在使用中，由于框架断路器的参数高（额定电压和额定电流，以及相应的分断能力等性能均高于其他两种低压断路器），因此通常安装在负荷电流和故障电流比较大，需要比较高的安全性和可靠性的地方；框架断路器多用于进线、联络及大电流负荷的馈线。它的下一级就可以使用塑壳断路器。塑壳断路器的性能总体而言介于其他两种断路器之间；在线路的终端则使用微型断路器。简单地说，如图 3-8 所示，从低压电源开始，一般应按照以下顺序确定线路中的低压开关：低压电源—空气断路器（框架断路器）—塑壳断路器—微型断路器。在一些特殊环境中，也可以根据使用的要求来选择满足使用要求的产品。如在各项参数满足应用的条件下，也可以使用塑壳断路器作为低压侧连接变压器的进线开关。

3-17 低压断路器都有哪些主要技术参数？

(1) 额定电压 U_n ：断路器能够长期正常工作的最高的电压值。

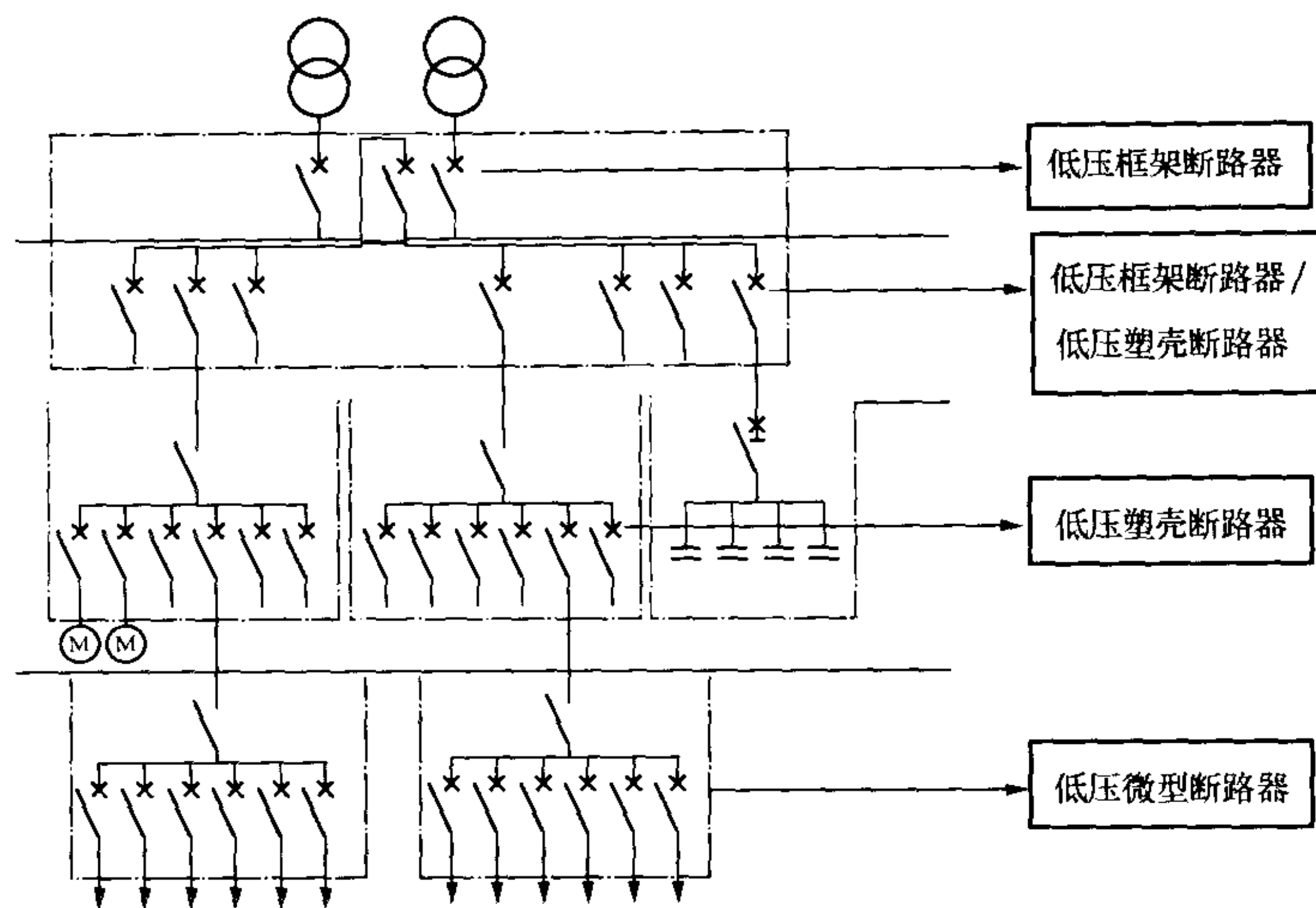


图 3-8 低压断路器的配置顺序

(2) 额定电流 I_n (对于塑壳断路器和空气断路器, 分为断路器壳架额定电流和断路器脱扣器额定电流)。断路器壳架额定电流: 能够长期通过断路器本体的最大的电流值; 断路器脱扣器额定电流: 能够长期通过脱扣器的最大的电流值。

(3) 额定极限短路分断能力 I_{cu} : 断路器在规定的试验电压和操作条件下, 经过“分闸-3min-合分闸”(“O-3min-CO”)操作顺序之后, 还能通过介电性能试验和脱扣器的试验, 能够分断的最大的电流值, 一般用预期短路电流表示。

(4) 额定运行短路分断能力 I_{cs} : 断路器在规定的试验电压和操作条件下, 经过“分闸-3min-合分闸-3min-合分闸”(“O-3min-CO-3min-CO”)操作顺序之后, 还能通过介电性能试验、脱扣器的试验和温升试验, 能够分断的最大的电流值, 根据不同的产品 I_{cs} 值一般是 I_{cu} 值的一个百分数(百分数值标准里有规定), 例如 MT 断路器 $I_{cs} = 100\% I_{cu}$, $I_{cs} = 75\% I_{cu}$ 。

(5) 额定短时耐受能力 I_{cw} : 断路器在规定的试验条件下短时间能够承受的最大的电流值, 对于有选择型的 B 类断路器需要有 I_{cw} 值, 对于非选择型的 A 类断路器不需要有 I_{cw} 值。

3-18 低压断路器都有哪些选用原则?

现在的配电系统要求断路器除了能通断基本的工作电流和故障电流, 实现简单的短路、过载保护功能外, 还要求它具有接地保护、远程控制、测量及人机对话等多项功能。但作为断路器的开发和选择一定要遵循最基本的要求: 即保证人身安全; 完成电气线路与设备的保护功能; 确保可靠的、不间断的电力供应。

根据断路器所在电网特性和所需功能的不同要求, 选择断路器必须逐步进行, 以合理的费用满足需要。用户在选择断路器时可根据不同的需求准则来选择。保护电器必须是符合国家和 IEC 标准的产品, 并根据不同的环境的要求来选择不同种类的断路器。

低压配电线路保护电器选择应考虑以下要求:

- (1) 保护电器的额定电压应与所在配电回路的标称电压相适应。
- (2) 保护电器的额定电流不应小于该配电回路的计算电流。

(3) 保护电器的额定频率应与配电系统的频率相适应。

(4) 考虑断路器保护功能之间的配合及控制要求, 选择适当的脱扣器和控制单元。

(5) 保护电器要切断短路故障电流, 应满足短路条件下的动稳定和热稳定要求, 还必须具备足够的通断能力。分断能力应按保护电器出线端位置发生的预期三相短路电流有效值进行校核。当今, 我国的保护电器产品具有国际先进水平, 其通断能力足以满足配电系统的要求; 但是, 保护电器的通断能力具有不同等级产品, 所以, 在配电设计中, 应进行校验, 重点是当配电变压器容量较大, 而安装在靠近变压器的保护电器容量又较小时, 更应作计算和校验。

(6) 考虑保护电器安装场所的环境条件, 以选择相适应防护等级 (IP 等级) 的产品。

此外, 在高海拔地区 (如海拔超过 2000m) 应选用高海拔用的产品, 或者采取必要的技术措施。在靠近海边的地方, 应使用防盐雾的产品。

断路器的功能决定了它自身的一些特性参数一定要与实际线路情况相匹配, 断路器的保护功能一定要满足设备所需保护并且能够满足线路上保护配合的选择性要求。所以在选择断路的时候一方面要看断路器产品的主要电气参数是否适应需求, 另一方面还要看断路器产品配的脱扣器 (或称为保护控制单元) 的保护功能。

一般简单来说, 可以按照以下方法来选择:

(1) 断路器额定电压 $U_n \geq$ 电源和负载的额定电压。

(2) 断路器额定电流 $I_n \geq$ 负载工作电流。

(3) 断路器脱扣器额定电流 $I_n \geq$ 负载工作电流。

(4) 断路器极限通断能力 $I_{cu} \geq$ 电路最大短路电流。

(5) 脱扣器保护功能的选择: 目前常见的断路器脱扣器形式有热磁式和电子式两种。这两种脱扣器的结构不一样但都能够实现过载和短路保护。对于热磁式的脱扣器最多只能提供两段保护, 即过载长延时保护和短路瞬动保护 (也有称为热保护和磁保护的); 也有根据需要脱扣器只具有磁保护功能的, 例如有些用于电动机保护的断路器, 与热继电器配合使用, 断路器只提供短路保护就可以了。而对于电子式的脱扣器产品类型更多一些, 有的具有两段保护功能; 有的具有三段保护, 即过载长延时保护、短路短延时保护和短路瞬动保护; 还有把接地故障保护和过载、短路保护功能做在一起的脱扣器。

此外, 由于微型断路器的动作曲线主要有 A、B、C、D 四种, 需要根据不同的负荷选择不同曲线的断路器。A 特性一般用于需要快速、无延时脱扣的使用场合, 亦即用于较低的峰值电流值 (通常是额定电流 I_n 的 2~3 倍), 以限制允许通过短路电流值和总的分断时间, 利用该特性可使 MCB 替代熔断器作为电子元器件的过流保护及互感测量回路的保护; B 特性一般用于需要较快速度脱扣且峰值电流不是很大的使用场合; 与 A 特性相比较, B 特性允许通过的峰值电流 $< 3I_n$, 一般用于白炽灯、电加热器等电阻性负载及住宅线路的保护; C 特性一般适用于大部分的电气回路, 它允许负载通过较高的短时峰值电流而 MCB 不动作, C 特性允许通过的峰值电流 $< 5I_n$ 一般用于荧光灯、高压气体放电灯、动力配电系统的线路保护; D 特性一般适用于很高的峰值电流 ($< 10I_n$) 的开关设备, 一般用于交流额定电压与频率下的控制变压器和局部照明变压器的一次线路和电磁阀的保护

3-19 常见的低压断路器有哪些?

(1) 国内常见的框架式断路器如下:

DW 系列主要分为 DW15、DW16 和 DWX15 系列断路器。使用于交流 50Hz, 额定工作电压为 1140V, 额定电流为 4000A 以下的配电网中。也可用来保护电动机或在正常条件下不频繁启动的控制。两系列产品均采用储能式操作机构, 可以以固定式或抽屉式多种方式进行安装。可以配装电磁式或电自式脱扣器。参数见表 3-18。

3WN 系列断路器是西门子公司生产的产品, 该产品可以在温度较高的环境下运行 (可高达 +55℃), 脱扣器整定范围比较宽, 安装比较灵活。参数见表 3-18。

Masterpact MT 系列断路器是法国施耐德公司, 即梅兰日兰 (Merlin Gerin) 品牌的产品, 产品线宽, 应用范围广, 配件系列全, 安装灵活方便, 是国内外知名度非常高的产品。参数见表 3-18。

Emax 系列断路器是 ABB 公司的空气断路器产品, 最新系列的产品配备基于工程重组的全新电子学原理的脱扣器, 使配置具有灵活性和准确性。参数见表 3-17。

表 3-17

Emax 系列断路器参数

型号	规格	额定绝缘电压 (V)	额定频率 (Hz)	额定冲击耐受电压 (kV)	额定工作电压 (V)	额定电流 (A)	极限分断能力 (kA) RMS	使用分断能力	短时耐受电流 (kA/s)	关合容量 (kA 峰值)	分断类型
Masterpact MT	MT06	1000	50/60	12	690	630	50	100%	36	88	N1
	MT08	1000	50/60	12	690	800	65	100%	65	143	H1
	MT10					1000	100	100%	85	187	H2
	MT12					1200	150	100%	30	220	L1
	MT16					1600	50	100%	36	88	N1
	MT20					2000	65	100%	65	143	H1
							100	100%	75	220	H2
							150	100%	65	330	H3
							150	100%	30	330	L1
	MT25	1000	50/60	12	690	2500	65	100%	65	143	H1
	MT32					3200	100	100%	85	220	H2
	MT40					4000	150	100%	65	330	H3
	MT40b	1000	50/60	12	690	4000	100	100%	100	220	H1
	MT50					5000	150	100%	100	330	H2
	MT63					6300		100%			
DW15	DW15-630	690	50/60	12	380	200	20	100%	20	50	Y
						400	30	100%	30	75	Y
						630	30	100%	30	75	Y
	DW15-1600	690	50/60	12	380	1000	40	75%	40	100	Y
	1600					40	75%	40	100	Y	

续表

型号	规格	额定绝缘电压 (V)	额定频率 (Hz)	额定冲击耐受电压 (kV)	额定工作电压 (V)	额定电流 (A)	极限分断能力 (kA) RMS	使用分断能力	短时耐受电流 (kA/s)	关合容量 (kA 峰值)	分断类型
DW15	DW15-2500	690	50/60	12	380	2500	60	67%	60	150	Y
	DW15-6300	690	50/60	12	380	3000	80	62.5%	80	200	Y
						4000					Y
DW17	DW17-1600	1140	50/60	12	690	630	30	100%	30	75	H
						800	30	100%			H
	1140	50/60	12	690	1000	50	100%	50	125	H	
					1250	50	100%			H	
					1600	50	100%			H	
	DW17-2500	1140	50/60	12	690	2500	80	100%	80	200	H
	DW17-3200	1140	50/60	12	690	3200	80	100%	80	200	H
E _{max}	E1	1000	50/60	12	690	800—1600	42	100%	42	88.2	B
		1000	50/60	12	690		50		50	105	N
	E2	1000	50/60	12	690	800—1000	42	100%	42	88.2	B
		1000	50/60	12	690	1000—2000	65		55	143	N
		1000	50/60	12	690	800—2000	85		65	187	S
		1000	50/60	12	690	1250—1600	110		10	242	L
	E3	1000	50/60	12	690	2500—3200	65	100%	65	143	N
		1000	50/60	12	690	1000—3200	75		75	165	S
		1000	50/60	12	690	800—3200	100		75	220	H
		1000	50/60	12	690	800—3200	130		85	286	V
		1000	50/60	12	690	2000—2500	110		15	242	L
	E4	1000	50/60	12	690	4000	75	100%	75	165	S
		1000	50/60	12	690	3200—4000	100		100	220	H
		1000	50/60	12	690	3200—4000	150		100	330	V
	E6	1000	50/60	12	690	4000—6300	100	100%	100	220	H
		1000	50/60	12	690	3200—6300	150		100	330	V

(2) 国内常见的塑壳式断路器如下:

Compact NS 系列塑壳式断路器是法国施耐德公司, 即梅兰日兰 (Merlin Gerin) 品牌的产品。该产品拥有 80 多项专利, 规格齐全, 一体化设计, 结构紧凑, 附件通用, 易于安装和功能扩充, 可以安装漏电保护并具隔离功能。该产品采用全新的电流分断概念—双旋转断点和能量保护功能—电弧压力能量脱扣从而带来比较强的分断能力 ($I_{cs} = 100\% I_{cu} = 150\text{kA}$) 和限流能力。并可以应用独特的独特的级联技术, 级联技术是限流特性的 1 种应用。上级断路器的限流特性使短路电流大大低于下级断路器的预期短路电流。下级断路器的

分断能力相对“加强”，因此只要上级断路器的分断能力大于预期短路容量、下级可以选用分断容量较小的断路器，减少投资。参数见表 3-19。

Tmax 系列断路器是 ABB 公司设计和制造断路器的经验结晶，电流可达到 630A，适用于各种场合，安装简单，性能可靠。即使在最小尺寸的断路器上，也采取了最新技术来实现对话功能的保护脱扣器。参数见表 3-19。

NZM 系列断路器是金钟—默勒公司 (Moeller) 公司的产品，其电流覆盖范围大、安全性高、实用性强、质量可靠，适用于变压器、电机等多种用电的场合。额定电流完全覆盖 6~1600A 的范围，短路分断能力为 22~100kA。附件模块化且功能多样化，安装方便，应用范围广泛。在中国组装的 NZN 系列产品上部壳体绝缘透明的断路器，可以清晰地观察到触头状态和脱扣单元。

3VU 系列/3VF 塑壳式断路器是西门子 (SIEMENS) 公司的产品，适用于额定工作电压 690V、额定绝缘电压 750V 的电路中，可用于电动机的不频繁起动和保护，也可用于线路的保护。断路器反应快速，限流特性好，有安全脱扣测试机构。采用德国专利 SIGUT 接线技术，双层接线盒可以连接 1 根或 2 根不同截面的导线。参数见表 3-19。

CM1-63-800A 塑壳式断路器的额定绝缘电压为 AC800V，可以用于额定工作电压 AG690V 及以下，额定电流至 800A 的电路中作不频繁转换或电机不频繁启动之用。按额定极限短路分断能力的高低可分为 G 型 (基本型)、L 型 (标准型)、N 型 (较高分断型)、H 型 (高分断型)。接线方式有板前接线、板后接线和插入式接线 3 种，可以满足不同的接线要求。此外还有 NM8 系列塑壳式断路器、JXM2 系列塑壳式断路器、CCMI 系列塑壳式断路器、MB30 系列塑壳式断路器等产品均为国内常见的、有着比较长的运行使用经验的国产产品。参数见表 3-18。

表 3-18 常见的塑壳式断路器参数

型号	规格	额定绝缘电压 (V)	额定频率 (Hz)	额定冲击耐受电压 (kV)	额定工作电压 (V)	额定电流 (A)	极限分断能力 (kA)RMS	使用分断能力	类别
Compact NS	NS100	750	50/60	8	690	100	36/50/70/150	100%	N/SX/H/L
	NS160	750	50/60	8	690	160	36/70/150	100%	N/H/L
	NS250	750	50/60	8	690	250	36/70/150	100%	N/H/L
	NS400	750	50/60	8	690	400	50/70/150	100%	N/H/L
	NS630	750	50/60	8	690	630	50/70/150	100%	N/H/L
	NS800	750	50/60	8	690	800	50/70	100%	N/H
	NS1000	750	50/60	8	690	1000	50/70	100%	N/H
DZ20	NS1250	750	50/60	8	690	1250	50/70	100%	N/H
	DZ20-100	660	50/60	8	400	100	18/35/100		Y/J/G
	DZ20-160	660	50/60	8	400	160	12		C
	DZ20-250	660	50/60	8	400	250	15		C
	DZ20-400	660	50/60	8	400	400	20/30/42/100		C/Y/J/G
	DZ20-630	660	50/60	8	400	630	20/30/50		C/Y/J
	DZ20-1250	660	50/60	8	400	1250	50/65		Y/J

续表

型号	规格	额定绝缘电压 (V)	额定频率 (Hz)	额定冲击耐受电压 (kV)	额定工作电压 (V)	额定电流 (A)	极限分断能力 (kA)RMS	使用分断能力	类别
3VF	3VF2	415	50/60	8	415	16—125	18/9	100%	
	3VF3	690/750	50/60	8	660/750	160—225	40	100%	
	3VF4	690/750	50/60	8	660/750	250	40	100%	
	3VF5	690/750	50/60	8	660/750	315—400	45	100%	
	3VF6	690/750	50/60	8	660/750	500—800	45	100%	
	3VF7	690	50/60	8	660	800—1250	50	100%	
	3VF8	690	50/60	8	660	1600—2500	70	100%	
Tmax	T1	800	50/60	8	690	160	10	100%	B
		800	50/60	8	690		15	75%	C
		800	50/60	8	690		22	50%	N
	T2	800	50/60	8	690	160	30	100%	N
		800	50/60	8	690		45	100%	S
		800	50/60	8	690		55	100%	H
		800	50/60	8	690		75	75%	L
	T3	800	50/60	8	690	250	25	75%	N
		800	50/60	8	690		40	50%	S
	T4	800	50/60	8	690	250/320	30	100%	N
		800	50/60	8	690		40	100%	S
		800	50/60	8	690		65	100%	H
		800	50/60	8	690		100	100%	L
		800	50/60	8	690		180	100%	V
	T5	800	50/60	8	690	400/630	30	100%	N
		800	50/60	8	690		40	100%	S
		800	50/60	8	690		65	100%	H
		800	50/60	8	690		100	100%	L
		800	50/60	8	690		180	100%	V

(3) 国内常见的微型断路器如下:

C65 系列微型断路器、Easy 系列微型断路器和“安家”系列微型断路器均属于施耐德电气公司旗下梅兰日兰品牌的产品。C65 系列微型断路器具有体积小,性能稳定、可配装多种附件的特点,而且可以为终端配电用户提供完善的保护。如短路、过载、防雷和接地故障的保护。参数见表 3-20。

CDB 系列产品是由德力西集团设计生产的系列产品,具有过载和短路双重保护的产品,系列中包括限流型高分断小型断路器、可以作为线路过载和短路保护,也可以在正常情况下作为线路的不频繁操作转换之用。参数见表 3-20。

DZ47 系列小型断路器主要适用于交流 50/60Hz, 额定工作电压为 240V/415V 及以下, 额定电流至 60A 的电路中, 该断路器主要用于现代建筑物的电气线路及设备的过载、短路保护, 亦适用于线路的不频繁操作及隔离。参数见表 3-19。

表 3-19 常见的微型断路器参数

系列	型号	最大工作电压 (V)	额定频率 (Hz)	机械寿命 (万次)	冲击耐受电压 (kV)	额定电流范围 (A)	分断能力 (kA) RMS	极数	脱扣曲线类型
C65	C65a	440	50/60	2	6	6, 10, 16, 20, 25, 32, 40, 50, 63	4.5	1-4P	C
	C65N	440	50/60	2	6	1, 2, 4, 6, 10, 16, 20, 25, 32, 40, 50, 63	6	1-4P	C, D
	C65H	440	50/60	2	6	1, 2, 4, 6, 10, 16, 20, 25, 32, 40, 50, 63	10	1-4P	C, D
	C65L	440	50/60	2	6	1, 2, 4, 6, 10, 16, 20, 25, 32, 40, 50, 63	15	1-4P	C, D
DZ47		415	50/60	2	6	1, 3, 5, 10, 15, 20, 25, 32	6	1-4P	B, C, D
		415	50/60	2	6	40, 50, 60	4.5	1-4P	B, C, D
CDB	CDB1	230/400	50	2	6	1, 3, 6, 10, 16, 20, 25, 32, 40, 50, 63	6	1-4P	B, C, D
	CDB2	230/400	50	2	10	63, 80, 100, 125	10	1-4P	C, D
	CDB3	230	50	2	3	6, 10, 16, 20, 25, 32	3	1P+N	C, D
	CDB7	230/400	50	2	6	1, 3, 6, 10, 16, 20, 25, 32, 40, 50, 63	6	1-4P	B, C, D

3-20 框架式断路器选型使用实例。

已知一变电站内安装有 2 台互为备用的 10kV/0.4kV, 短路阻抗为 6%, 容量为 1600kVA 的变压器。上级电网的短路容量为 500MVA, 安装方式为户内安装。高压侧经电缆与 10kV 系统相联接, 低压侧经母排与低压开关柜内的低压进线断路器连接。低压系统为单母线分段以母联断路器连接两段母线。正常情况下母线上最大的工作电流均为 1200A。在一台变压器推出运行时, 由另外一台负担全部负荷。计算过程中母排的电压降和阻抗可忽略。则低压进线断路器的选择应如下:

计算变压器低压侧出口短路电流为 38kA (过程略)。

计算变压器满负荷运行电流为 2253A (过程略)。

断路器额定电压 $U_e \geq 400V$

断路器额定电流 $I_n \geq 2431A$

断路器脱扣器额定电流 $I_n \geq 2400A$

断路器极限通断能力 $I_{cu} \geq 38kA$

脱扣器选择：选择电子式的脱扣器，具有接地故障保护和过载、短路保护功能。

可选择 DW15-2500 或选择施耐德电气公司的产品 Masterpact MT 产品：型号为 MT25N13PMIC5.0P。

3-21 塑壳式断路器选型使用实例。

在前述变电站内部低压系统中有一三相回路，负荷为正常工况下需连续运行的三相四线接线的绕线式电动机，系统运行电压为 380V，功率为 18.5kW， $\eta=0.7$ ，功率因数为 0.75。安装处的短路预期电流为 22kA，试选择低压断路器。

计算工作电流如下

$$I = \frac{P}{\sqrt{3}U\cos\varphi\eta} = \frac{18.5}{\sqrt{3} \times 0.38 \times 0.75 \times 0.7} = 53.6(\text{A})$$

选择额定电流为 63A 的塑壳开关，选择 DZ20-100。

脱扣器选择：选择电子式的脱扣器，具有过载、短路保护功能。

也可选择施耐德电气公司的 Compact NS 产品：型号为 NS100NSTR22SE1003PF。

3-22 微型断路器选型使用实例。

在前述低压配电系统内有一用于照明的配电箱内一回路，为 30 只 220V、40W 单相荧光灯的供电。总容量为 1200W。荧光灯在起动时可能会通过比较高的短时峰值电流（一般不大于 $5I_n$ ），因此必须保证微型断路器允许负载通过较高的短时峰值电流而 MCB 不动作，因此选择 C 特性曲线的微型断路器。计算工作电流，得

$$(30 \times 40) / 220 = 5.5\text{A}$$

可选择施耐德电气公司的产品 Mult9 产品：型号为 C65N-C6A/2P。也可以选择 CDB7-6。



第五节 低压起动器的选型与使用

3-23 低压起动器都有哪些用途和分类？

低压起动器是起动和停止电动机所需要的所有开关电器与适当的过载保护电器相结合的组合电器。异步电动机以其优良的性能及无需维护的特点，在各行各业中得到广泛的应用。然而由于其起动时要产生较大冲击电流（一般为 I_e 的 5~8 倍），同时由于起动应力较大，使负载设备的使用寿命降低。国家有关部门对电机起动早有明确规定，即电机起动时的电网电压降不能超过 15%。

解决办法有两个：

- (1) 增大配电容量。
- (2) 采用限制电机起动电流的起动设备。

如果仅仅为起动电机而增大配电容量，从经济角度上来说，显然不可取。为此，人们往往需要配备限制电机起动电流的起动设备，可以采用的方法有 Y/ Δ 转换、自耦降压、软起动器以及变频器等方法。

1) Y/ Δ 转换器是一种比较经济的电动机起动方法。该方法经济简单,但也存在着起动电流较大、容量小、可控制的电动机的功率比较低、没有过载等保护等弱点,适合小功率(一般小于30kW)、对系统影响不大的三相鼠笼式感应电动机。在实际应用中,既有Y/ Δ 转换的定型产品,也可以在开关柜内相应的接线来实现其功能。定型的产品有QX1-13和QX1-30。如图3-9和图3-10所示,QX1-13用于小于13kW的电动机;QX1-30用于小于30kW的电动机。起动器在Y形接线下起动交流三相鼠笼式感应电动机,在电动机到达一定转速的情况下切换到 Δ 形后,加速至额定转速。其参数见表3-20。

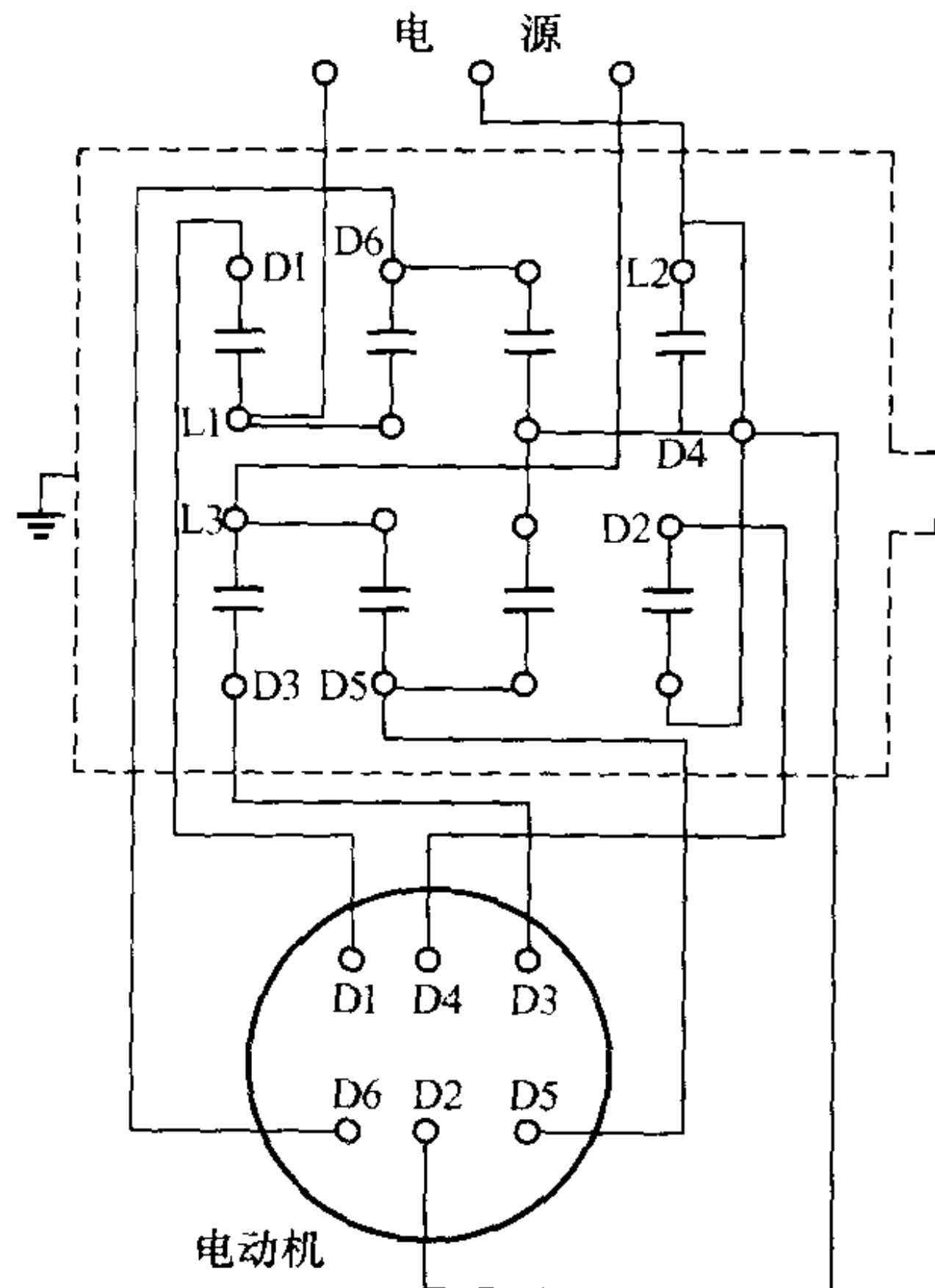


图 3-9 QX1-13

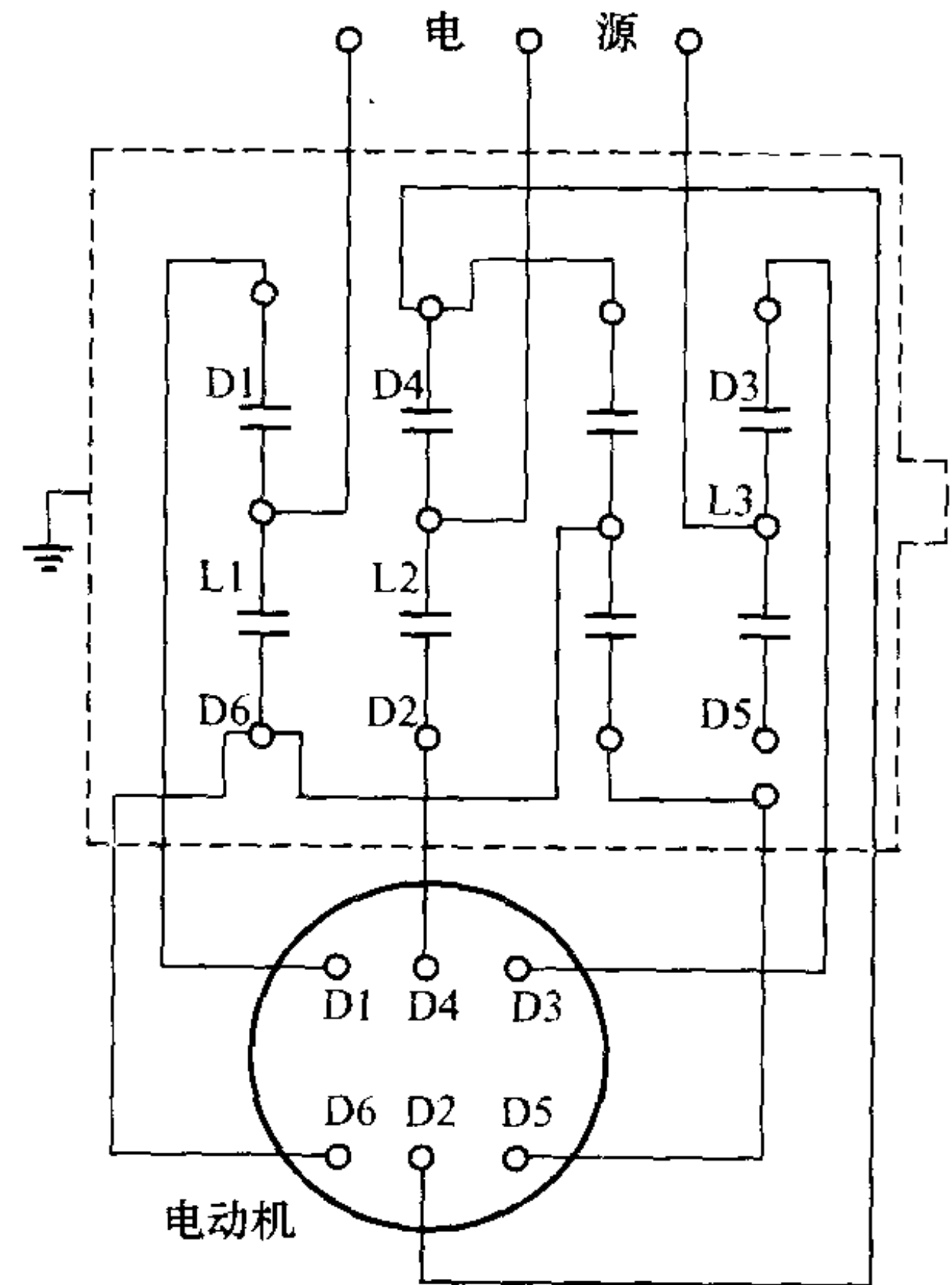


图 3-10 QX1-30

表 3-20

QX1-13、QX1-30 参数

名 称		QX1-13	QX1-30
额定电压 (V)		380	
额定电流 (A)		28	60
额定工作相电流 (A)		16	35
可控制电机最大功率 (kW)		13	30
机械寿命 (次)		100000	
电气寿命 (次)		10000	
接通条件	电压 (V)	380	
	电流 (A)	$4I_e$	
	功率因数	0.35 ± 0.05	
分断条件	电压 (V)	380×0.17	
	电流 (A)	I_e	
	功率因数	0.35 ± 0.05	

2) 自耦降压起动器主要由具有保护作用的外壳、自耦变压器、接触系统(浸在油中)、操作机构、保护装置构成。主要适用于10—35kW的不作频繁起动使用的三相鼠笼式感应电动机,一般配有过载及失压等保护。在起动时使用抽头的低电压,在达到一定的转速后切换到最大电压(电源电压),加速至额定转速。常见的有QJD3系列自耦降压起动器。其参数

见表 3-21。

表 3-21 QJD3 系列自耦降压起动器参数

型 号	额定电压 (V)	可控制电机 最大功率 (kW)	额定工作电流 (A)	热保护电流 (A)	最大起动时间 (s)
QJD3-10	380	10	19	22	30
QJD3-14		14	26	32	
QJD3-17		17	33	45	40
QJD3-20		20	37	45	
QJD3-22		22	42	45	
QJD3-28		28	51	63	
QJD3-30		30	56	63	
QJD3-40		40	74	85	
QJD3-45		45	86	120	
QJD3-55		55	104	160	
QJD3-75		75	140	160	

3) 软起动器。软起动器的主要构成是串接于电源与被控电机之间的三相反并联闸管及其电子控制电路。一般都是采用大功率晶闸管作为主回路的开关元件，通过单片机控制它的导通角进行智能化控制，控制三相反并联闸管的导通角，使被控电机的输入电压按不同的要求而变化，就可实现不同的功能。它既能保证电动机在负载要求的起动特性下平滑起动，又能降低对电网的冲击。同时，还能实现直接计算机通信控制，是一种集软起动、软停车、轻载节能和多功能保护于一体的新颖电机控制装备。它不仅实现在整个起动过程中无冲击而平滑的起动电机，而且可根据电动机负载的特性来调节起动过程中的参数，如限流值、起动时间等。此外，它还具有多种对电机保护功能。电子式软起动器允许长期在额定负载工况下运行，也可以用旁路接触器，在起动完毕后把它短接。切除后要注意电动机运行回路是否还有过载热保护功能。

目前，电子式软起动器主要有以下 5 种起动方式：

a) 斜坡电压起动（软起动），是电压由小到大呈斜坡线性上升，它是将传统的降压起动从有级变成了无级。起动时，电压迅速上升到初始转矩相对应的电压，然后依设定的起动时间逐渐上升，直至达到电网额定电压。主要用于重载起动，转矩特性呈抛物线型上升对拖动系统不利，且起动时间长有损于电动机。

b) 限流起动，顾名思义是限制电动机的高起动电流，起动电流及起动时间均可在一定范围内预先调定。当必须限制最大起动电流时，可使用此方式。它主要用于轻载起动的负载。

c) 可选择的加突跳起动，该功能为电动机起动瞬间提供一个大提升转矩以克服负载的静摩擦。但是，突跳会给电网发送尖脉冲，干扰其他负荷，应用时要特别注意。

d) 全压起动，这种软起动方式的作用就像一个固态接触器，充当无触点开关来用。这种方式会引起电流冲击。

e) 双斜坡起动, 这种方式在负载变化的情况下是很有用的。双斜坡起动允许用户从两个相互独立的软起动斜坡作出选择, 分别设定起动时间和起动转矩。

电子式软起动器一般不带短路保护, 需外加快速熔断器并与晶闸管容量匹配, 它能使晶闸管在连接负载发生短路时受到保护, 低压断路器一般不能保护电子式软起动器。进线电抗器可限制主电源的谐波干扰, 当几台起动器接于同一电源时尤其建议使用进线电抗器。软起动器可安装在有功率因素补偿器的系统中, 但电容器必须位于软起动器的电源进线一侧, 以避免电容器放电损坏软起动器的晶闸管, 另须在电源和电容之间接入电感线圈。在实际应用过程中, 若工艺条件许可, 一台软起动器可用于多台电动机的起动, 大大节省投资费用。软起动器按其中最大电动机容量进行选择。

4) 变频器是利用电力半导体器件的通断作用将工频电源变换为另一频率的电能控制装置。我们现在使用的变频器主要采用交—直—交方式 (VVVF 变频或矢量控制变频), 先把工频交流电源通过整流器转换成直流电源, 然后再把直流电源转换成频率、电压均可控制的交流电源以供给电动机。变频器的电路一般由整流、中间直流环节、逆变和控制 4 个部分组成。整流部分为三相桥式不可控整流器, 逆变部分为 IGBT 三相桥式逆变器, 且输出为 PWM 波形, 中间直流环节为滤波、直流储能和缓冲无功功率。变频器的输出不但改变电压而且同时改变频率; 软起动器实际上是个调压器, 用于电机起动时, 输出只改变电压并没有改变频率。变频器具备所有软起动器功能, 但它的价格比软起动器贵得多, 结构也复杂得多。

3-24 低压起动器都有哪些选用原则?

起动器的选择应同时符合接触器和过载保护电器的要求。

(1) Y/ Δ 转换起动器和自耦降压起动器的选择主要需要考虑额定电压、额定电流、容量及热过载保护电流就可以比较简单地选出相应的产品。

(2) 软起动器应根据负载性质的不同来选择不同类型的起动器。如果负载是离心泵 (消防泵、喷淋泵、水泵等), 则需利用泵控制功能, 减少起动和停止时液流冲击所产生的系统水锤现象的发生, 所以必须用选带泵控制功能的软起动器, 如另带欠载保护或/和防相位颠倒保护的则更好; 负载是通风机的话, 可利用软起动功能, 减少皮带磨损和机械冲击, 并可利用停机时制动转矩功能。负载是搅拌机, 可利用双斜坡起动和预置低速运行, 避免机械损坏; 负载是输送设备, 则利用软起动和预置低速功能, 实现平滑开停, 软停车消除了由于自由停车带来的拖动系统反惯性冲击, 避免产品移位和液体溢出。若有计算机联网要求, 可选带通信接口的软起动器, 可对软起动器进行远程控制和监视。选择软起动器还要注意负载是标准负载还是重载负载。

根据电动机的标称功率、电流及负载性质选择起动器。一般软起动器容量稍大于电动机工作电流即可, 同时适当考虑散热因素。

其他方面, 还要考虑是否保护功能完备, 如过电流保护、过压保护、单项接地保护、上下口断相保护、三相不平衡保护、相位颠倒保护等。不带过载保护的, 必须另加热继电器保护。冷却方式分机械风冷与自然风冷两种。机械风冷带有冷却风机, 有的是通电常转的, 有的靠温度控制器来控制其运转。机柜内安装软起动器时要十分注意散热空间。

(3) 变频器的选择根据负载的情况, 除了要考虑额定工作电压, 保护设置以及补偿环节

外,容量的选择比较复杂。通常应根据异步电动机的额定电流来选择变频器,或者根据异步电动机实际运行中的电流值(最大值)来选择变频器。当运行方式不同时,变频器容量的计算方式和选择方法不同,变频器应满足的条件也不一样。选择变频器容量时,变频器的额定电流是一个关键量,变频器的容量应按运行过程中可能出现的最大工作电流来选择。变频器的运行一般有以下几种方式。

1) 连续运转时所需的变频器容量的计算:由于变频器传给电动机的是脉冲电流,其脉动值比工频供电时电流要大,因此须将变频器的容量留有适当的余量。此时,变频器应同时满足以下三个条件

$$S_{CN} \geq \frac{KP_M}{\eta \cos\varphi} \quad (\text{kVA}) \quad (3-19)$$

$$I_{CN} \geq KI_M (\text{A}) \quad (3-20)$$

$$S_{CN} \geq K\sqrt{3}U_N I_M \times 10^{-3} (\text{kVA}) \quad (3-21)$$

式中 P_M , η , $\cos\varphi$, U_M , I_M ——电动机输出功率、效率(取0.85)、功率因数(取0.75)、电压, V、电流, A;

K ——电流波形的修正系数(PWM方式取1.05~1.1);

P_{CN} ——变频器的额定容量, kVA;

I_{CN} ——变频器的额定电流, A。

式中, I_M 如按电动机实际运行中的最大电流来选择变频器时,变频器的容量可以适当缩小。

2) 加减速时变频器容量的选择:变频器的最大输出转矩是由变频器的最大输出电流决定的。一般情况下,对于短时的加减速而言,变频器允许达到额定输出电流的130%~150%(视变频器容量),因此,在短时加减速时的输出转矩也可以增大;反之,如只需要较小的加减速转矩时,也可降低选择变频器的容量。由于电流的脉动原因,此时应将变频器的最大输出电流降低10%后再进行选定。

3) 频繁加减速运转时变频器容量的选定:根据加速、恒速、减速等各种运行状态下的电流值,按下式确定

$$I_{1CN} = [(I_1 t_1 + I_2 t_2 + \dots + I_5 t_5) / (t_1 + t_2 + \dots + t_5)] K_0 \quad (3-22)$$

式中 I_{1CN} ——变频器额定输出电流, A;

I_1, I_2, \dots, I_5 ——各运行状态平均电流, A;

t_1, t_2, \dots, t_5 ——各运行状态下的时间;

K_0 ——安全系数(运行频繁时取1.2,其他条件下为1.1)。

4) 一台变频器传动多台电动机,且多台电动机并联运行,即成组传动。用一台变频器使多台电机并联运转时,对于一小部分电机开始启动后,再追加投入其他电机启动的场合,此时变频器的电压、频率已经上升,追加投入的电机将产生大的启动电流,因此,变频器容量与同时启动时相比需要大些。以变频器短时过载能力为150%,1min为例计算变频器的容量,此时若电机加速时间在1min内,则应满足以下两式

$$S_{CN} \geq \frac{2}{3} S_{CN1} \left[1 + \frac{n_S}{n_T} (K_S - 1) \right] \quad (3-23)$$

$$I_{CN} \geq \frac{2}{3} n_T I_M \left[1 + \frac{n_S}{n_T} (K_S - 1) \right] \quad (3-24)$$

若电机加速时间在 1min 以上时

$$S_{CN} \geq S_{CNI} \left[1 + \frac{n_S}{n_T} (K_S - 1) \right] \quad (3-25)$$

$$I_{CN} \geq n_T I_M \left[1 + \frac{n_S}{n_T} (K_S - 1) \right] \quad (3-26)$$

$$S_{CNI} = K P_M n_T / \eta \cos \varphi$$

式中 n_T ——并联电机的台数；

n_S ——同时起动的台数；

P_{CNI} ——连续容量，kVA；

P_M ——电动机输出功率；

η ——电动机的效率（约取 0.85）；

$\cos \varphi$ ——电动机的功率因数（常取 0.75）；

K_S ——电机起动电流/电机额定电流；

I_M ——电机额定电流；

K ——电流波形正系数（PWM 方式取 1.05~1.10）；

P_{CN} ——变频器容量，kVA；

I_{CN} ——变频器额定电流，A。

变频器驱动多台电动机，但其中可能有一台电动机随时挂接到变频器或随时退出运行。此时变频器的额定输出电流可按下式计算

$$I_{ICN} \geq K \sum_{i=1}^j I_{MNI} + 0.9 I_{MQ} \quad (3-27)$$

式中 I_{ICN} ——变频器额定输出电流，A；

I_{MNI} ——电动机额定输入电流，A；

I_{MQ} ——最大一台电动机的起动电流，A；

K ——安全系数，一般取 1.05~1.10；

j ——余下的电动机台数。

5) 电动机直接起动时所需变频器容量的计算。通常，三相异步电动机直接用工频起动时起动电流为其额定电流的 5~7 倍，对于电动机功率小于 10kW 的电机直接起动时，可按下式选取变频器

$$I_{ICN} \geq I_K / K_g \quad (3-28)$$

式中 I_K ——在额定电压、额定频率下电机起动时的堵转电流，A；

K_g ——变频器的允许过载倍数， $K_g = 1.3 \sim 1.5$ 。

在运行中，如电机电流不规则变化，此时不易获得运行特性曲线，这时可使电机在输出最大转矩时的电流限制在变频器的额定输出电流内进行选定。

6) 大惯性负载起动时变频器容量的计算。通过变频器过载容量通常多为 125%、60s 或 150%、60s。需要超过此值的过载容量时，必须增大变频器的容量。这种情况下，一般按下式计算变频器的容量

$$S_{CN} \geq \frac{K n_M}{9550 \eta \cos \varphi} \left(T_L + \frac{GD^2}{375} \times \frac{n_M}{T_A} \right) \quad (3-29)$$

式中 GD^2 ——换算到电机轴上的转动惯量值, $N \cdot m^2$;

T_L ——负载转矩, $N \cdot m$;

η , $\cos\varphi$, n_M ——电机的效率 (取 0.85), 功率因数 (取 0.75), 额定转速 (r/min);

T_A ——电机加速时间 (s) 由负载要求确定;

K ——电流波形的修正系数 (PWM 方式取 1.05~1.10);

S_{CN} ——变频器的额定容量 (kVA)。

7) 轻载电动机时变频器的选择。电动机的实际负载比电动机的额定输出功率小时, 多认为可选择与实际负载相称的变频器容量, 但是对于通用变频器, 即使实际负载小, 使用比按电机额定功率选择的变频器容量小的变频器并不理想, 这主要是由于以下原因;

a) 电机在空载时也流过额定电流的 30%~50% 的励磁电流。

b) 起动时流过的起动电流与电动机施加的电压、频率相对应, 而与负载转矩无关, 如果变频器容量小, 此电流超过过流容量, 则往往不能起动。

c) 电机容量大, 则以变频器容量为基准的电机漏抗百分比变小, 变频器输出电流的脉动增大, 因而过流保护容量动作, 往往不能运转。

d) 电机用通用变频器起动时, 其起动转矩同用工频电源起动相比多数变小, 根据负载的起动转矩特性, 有时不能起动。另外, 在低速运转区的转矩有比额定转矩减小的倾向, 用选定的变频器和电机不能满足负载所要求的起动转矩和低速区转矩时, 变频器和电机的容量还需要再加大。

3-25 电机起动器的选型使用实例。

一台风机的 380V、30kW 三相电动机需要安装 Y/△转换起动器来限制其产生的过电流, 根据其额定电压, 额定电流, 容量来选择 Y/△转换起动器。选择 QX1-30Y/△转换起动器, $U_n=380V$, $I_n=56A$, 额定容量为 30kW, 均满足使用要求。

第六节 低压开关、隔离器、隔离开关及熔断器组合电器的选型与使用

3-26 低压开关、隔离器、隔离开关、熔断器组合电器都有哪些分类和用途?

除了前面介绍的具有保护功能的熔断器和断路器, 具有控制功能的接触器, 在低压配电系统中经常用到的起到隔离或分合作用的开关电器还有: 开关、隔离器、隔离开关及熔断器组合电器。

开关的主要功能是指在负载回路正常时, 具有关合、分断和承载正常负载电流的能力, 并且在规定的非正常情况下, 在规定的时间内具有承载非正常电流的能力。开关也可以具有接通一定短路电流的能力, 但不具有分断短流电流的能力。

隔离器的主要功能是指在电气设备进行维修时, 打开隔离器可以使用电设备与带电部分脱离, 保持有效的隔离距离, 并且要求在其分断口间能承受过电压的耐压水平, 另外隔离功能还要满足断开位置指示可靠性的要求。隔离器一般属于无载通断电器, 只能接通或分断“可忽略的电流”(指带电压的母线、短电缆的电容电流或电压互感器的电流)。也有的隔离器具有一定的通断能力, 在其通断能力与所需通断的电流相适应时, 可在非故障条件下接通

或分断电气设备或成套设备中的一部分。

隔离开关指的是在断开状态下，能符合隔离器的隔离功能要求的开关，即同时具有以上开关和隔离器的功能。

熔断器组合电器是指将几个熔断器与以上提到的三种开关设备中的任意一种组装在同一单元内的组合电器。其功能是在开关设备功能的基础上又增加了保护功能。

以上提到的几种开关设备的名称及意义都是 GB14048.3—2002 或 IEC60947—3 中的规定，这与我们以前或现在工作中习惯使用的分类和称法不太一样，但是标准的规定是产品发展的方向。目前低压开关电器存在着新老概念并存的复杂时期，完全的统一还需要专业的权威机构经过一段时间的总结。以下只对过去习惯使用的一些问题做出说明。

隔离开关（或隔离器）是在电气设备进行维修时，需要切断电源，使之与带电部分脱离，并保持有效的隔离距离，要求在其分断口间能承受过电压的耐压水平的开关电器。隔离开关一般属于无载通断电器，只能接通或分断“可忽略的电流”（指带电压的母线、短电缆的电容电流或电压互感器的电流）。也有的隔离开关具有一定的通断能力，在其通断能力与所需通断的电流相适应时，可在非故障条件下接通或分断电气设备或成套设备中的一部分。

刀开关是隔离开关中比较常见的一种。用作隔离开关的刀开关必须满足隔离功能，即开关断口明显，并且断口距离合格。

刀开关和熔断器串联组合成一个单元，称为刀开关熔断器组；刀开关的可动部分（动触头）由带熔断体的载熔件组成时，称为熔断器式刀开关。刀开关增装了辅助元件如操作杠杆、弹簧、弧刀等可组合为负荷开关。负荷开关具有在非故障条件下，接通或分断负荷电流的能力和一定的短路保护功能。低压系统应用的负荷开关是在刀开关的基础上，增加一些辅助部件，如外壳、快速操作机构、灭弧室和电流保护装置（熔断件）组成的。因此，可以断开、闭合额定电流内的工作电流。熔断器可以控制过负荷和短路时起到保护作用。

负荷开关可分开启式负荷开关和封闭式负荷开关。开启式负荷开关（俗称胶盖开关、胶盖闸刀）主要用于额定电压在 380V 以下，电流在 60A 以下的交流电路，作一般电灯、电热类等回路的控制开关、不频繁的带负荷操作和短路保护用。封闭式负荷开关（又称铁壳开关，现用 HH10、HH11 系列，其他型均已淘汰）用于额定电压在 500V 以下。额定电流 200A 以下的电气装置和配电设备中作不频繁地操作和短路保护。也可作异步电动机的不频繁地直接起动及分断用。封闭式负荷开关还具有外壳门机械闭锁功能，开关在合闸状态时，外壳门不能打开。

刀开关和熔断器串联组合成一个单元，称为刀开关熔断器组；刀开关的可动部分（动触头）由带熔断体的载熔件组成时，称为熔断器式刀开关（或刀熔开关）。刀开关增装了辅助元件如操作杠杆、弹簧、弧刀等可组合为负荷开关。负荷开关具有在非故障条件下，接通或分断负荷电流的能力和一定的短路保护功能。

低压刀开关的主要参数

- (1) 额定绝缘电压，即最大额定工作电压；
- (2) 额定工作电流；
- (3) 额定工作制：分为 8h 工作制、不间断工作制两种；
- (4) 使用类别：根据操作负载的性质和操作的频繁程度分类。按操作频繁程度分为 A 类和 B 类，A 类为正常使用的，B 类则为操作次数不多的，如只用作隔离开关的；按操作负载

性质分类很多，如操作空载电路、通断电阻性电路、操作电动机负载等；

- (5) 额定通断能力：有通断能力的开关电器额定通断最大允许电流；
- (6) 额定短时耐受电流；
- (7) 有短路接通能力电器的短路接通能力；
- (8) 额定（限制）短路电流；
- (9) 操作性能：根据不同使用类别，在额定工作电流条件下的操作循环次数。

3-27 隔离开关有哪些选用原则？

(1) 隔离开关的额定电压应等于或大于电源额定电压，额定电流应等于或大于电路工作电流。若用隔离开关控制小型电动机，应考虑电动机的起动电流，选用额定电流较大的电器。隔离器的通断能力和其他性能均应符合电器的要求。

(2) 隔离开关断开负载电流时，不应大于允许断开电流值，一般结构的隔离开关不允许带负载操作，但装有灭弧室的隔离开关，可作不频繁带负载操作。

(3) 隔离开关所在线路的三相短路电流不应超过规定的动、热稳定值。

3-28 负荷开关有哪些选用原则？

相对隔离开关而言，负荷开关还需要注意以下几个参数：

- (1) 关合能力。
- (2) 闭环开断电流或额定开断电流。

3-29 组合电器有哪些选用原则？

相对隔离开关和负荷开关而言，组合电器还需要注意以下几个参数：

(1) 熔断器的最大遮断容量。熔断器的遮断容量一般来说均可以满足要求。但在短路容量比较大，短路电流超过了熔断器的最大遮断电流的情况下，熔断器无法熄弧，电弧在熔断器内部燃烧，会产生高温、高压的气体。当气体的压力超过熔断器的外壁的强度时就会发生爆炸。同时也会因内部的电弧产生瞬间的高电压。所以，必须要根据熔断器的参数来验证其最大遮断容量大于可能的最大故障电流。

(2) 存在熔断器和隔离开关或负荷开关之间的联动时，还要根据其熔断器和开关的动作时间，进一步验证转移电流可以满足应用的要求。

(3) 在使用负荷开关的情况下，还要验证开关的关合电流。在线路上有时可能存在预伏故障，这种情况下闭合开关必须要保证开关不会因为瞬时的故障电流损坏开关，造成进一步的故障。因此必须要保证开关的关合能力大于故障电流的瞬时的峰值。

3-30 常见的隔离开关和刀熔开关有哪些？

常用隔离刀开关主要有：

- (1) HD11、HS11 系列，正面手柄操作，仅作隔离开关用。
- (2) HD12、HS12 系列，用于正面两侧操作前面维修的开关柜中。
- (3) HD13、HS13 系列，用于正面操作，后面维修的开关柜中。
- (4) HD14 系列，用于动力配电箱中。

HD 系列为单投开关, HS 为双投开关。并在其中的一些产品中可以安装灭弧室。参数见表 3-22 和表 3-23。

表 3-22 HD、HS 型 D 开关参数

额定电压 (V)	额定电流 (A)	短时耐受电流 (kA/s)	
		杠杆操作	手动操作
400	200	12	10
	400	20	15
	600	25	20
	1000	30	25
	1500	35	30

表 3-23 HD、HS 型 D 开关结构类型

型号	结构类型	转换方向	极数	额定电流 (A)
HD11	正面手柄操作, 无灭弧室	单投	1~3	100, 200, 400, 600, 1000
HS11	正面手柄操作, 无灭弧室	双投	1~3	100, 200, 400, 600, 1000
HD12	正面两侧杠杆操作, 可安装灭弧室	单投	2、3	100, 200, 400, 600, 1000, 1500
HS12	正面两侧杠杆操作, 可安装灭弧室	双投	2、3	100, 200, 400, 600, 1000
HD13	正面杠杆操作, 可安装灭弧室	单投	2、3	100, 200, 400, 600, 1000, 1500
HS13	正面杠杆操作, 可安装灭弧室	双投	2、3	100, 200, 400, 600, 1000
HD14	侧面手柄操作, 可安装灭弧室	单投	2、3	100, 200, 400, 600, 1000
HS14	侧面手柄操作, 可安装灭弧室	双投	2、3	100, 200, 400, 600, 1000

注 HD12 和 HD13 系列在不安装灭弧室的情况下, 最大额定电流可达 1500A; 在安装灭弧室的情况下, 最大额定电流达 1000A。

HG 系列为旋转式的隔离器, 主要参数见表 3-24。

表 3-24 HG 系列旋转式隔离器主要参数

额定电压 (V)	660	额定工作电流 (A)	200, 400, 630, 1000, 1600
额定工作电压 (A)	380, 220	额定短时耐受电流 (kA/s)	10, 20, 25, 30, 40
额定发热电流 (A)	200, 400, 630, 1000, 1600		

3-31 隔离刀开关选型使用实例。

一个 380V 的配电箱内安装一台刀开关作为进线开关, 其下口装有 6 台三相低压断路器作为各负荷的开关。现场最大的预期短路电流为 8.7kA, 总电流为 78A, 隔离开关只在检修时作为隔离元件使用, 不会作带负荷切除电路的操作。

通常配电箱内安装开关要求在关门的情况下侧面操作。因此选择三极的 HD14 型刀开关。其额定电流为 200A 满足使用要求。其短时耐受电流为 10kA > 8.7kA, 满足使用要求。

3-32 熔断器刀开关 (刀熔开关) 选型使用实例。

一台 380V 低压开关柜内装有一台刀熔开关作为一条低压架空线的出线开关, 安装地点最大预期短路电流为 15kA。最大负荷电流为 230A。

由于安装在开关柜内并且作为出线开关, 因此选择单投、安装灭弧室的, 弹簧操作机构的 400A 的 HD13 型刀熔开关。其额定电压为 400V, 短时耐受电流为 20kA。均满足使用要求。



第七节 低压电线、电缆的选型与使用

3-33 低压电线、电缆有哪些用途、分类与型号?

“电线”和“电缆”并没有严格的界限。通常将芯数少、产品直径小、结构简单的产品称为电线，没有绝缘的称为裸电线，其他的称为电缆；导体截面积较大的（大于 6mm^2 ）称为大电线，较小的（小于或等于 6mm^2 ）称为小电线，绝缘电线又称为布电线。电线电缆按照其结构特征和使用特性不同，可以用在电力系统、信息传输系统、机械设备、仪器仪表系统等，但是无论何种用途的电线电缆其最基本的功能都是作为电能传输的元件。

(1) 电线电缆产品主要分为五大类：

1) 裸电线及裸导体制品：本类产品的主要特征是纯的导体金属，无绝缘及护套层，如钢芯铝绞线、铜铝汇流排、电力机车线等；加工工艺主要是压力加工，如熔炼、压延、拉制、绞合/紧压绞合等；产品主要用在城郊、农村、用户主线、开关柜等。

2) 电力电缆：本类产品主要特征是在导体外挤（绕）包绝缘层，如架空绝缘电缆，或几芯绞合（对应电力系统的相线、零线和地线），如二芯以上架空绝缘电缆，或再增加护套层，如塑料/橡胶套电线电缆。主要的工艺技术有拉制、绞合、绝缘挤出（绕包）、成缆、铠装、护层挤出等，各种产品的不同工序组合有一定区别。产品主要用在发、配、输、变、供电线路中的强电电能传输，通过的电流大（几十安至几千安）、电压高（220V至500kV及以上）。

3) 电气装备用电线电缆：该产品主要特征是品种规格繁多，应用范围广泛，使用电压在1kV及以下较多，面对特殊场合不断衍生新的产品，如耐火线缆、阻燃线缆、低烟无卤/低烟低卤线缆、防白蚁、防老鼠线缆、耐油/耐寒/耐温/耐磨线缆、医用/农用/矿用线缆、薄壁电线等。

4) 通信电缆及光纤：随着近二十多年来，通信行业的飞速发展，产品也有惊人的发展速度。从过去的简单的电话电报线缆发展到几千对的话缆、同轴缆、光缆、数据电缆，甚至组合通信缆等。该产品结构尺寸通常较小而均匀，制造精度要求高。

5) 电磁线（绕组线）：主要用于各种电机、仪器仪表等。

(2) 电线电缆型号。电线电缆的分类有许多种，而且每种类别的命名不相同，所以电线电缆的型号也是多种多样。低压配电系统中使用最多的是电力电缆，我们通常用一个简单的名称，结合型号规格来代替完整的名称，如“低压电缆”代表0.6/1kV级的所有塑料绝缘类电力电缆。

电线电缆产品的命名有以下原则：

1) 产品名称中包括的内容：①产品应用场合或大小类名称；②产品结构材料或型式；③产品的重要特征或附加特征。基本按上述顺序命名，有时为了强调重要或附加特征，将特征写到前面或相应的结构描述前。

2) 结构描述的顺序：从内到外的原则：导体→绝缘→内护层→外护层→铠装型式。

3) 简化：在不会引起混淆的情况下，有些结构描述省写或简写，如汽车线、软线中不允许用铝导体，故不描述导体材料。

型号举例。简化型号：ZR-YJV22-8.7/15表示额定电压8.7/15kV阻燃铜芯交联聚乙烯绝缘钢带铠装聚氯乙烯护套电力电缆。①额定电压8.7/15kV——使用场合/电压等级；

②阻燃——强调的特征；③铜芯——导体材料；④交联聚乙烯绝缘——绝缘材料；⑤钢带铠装——铠装层材料及型式（双钢带间隙绕包）；⑥聚氯乙烯护套——内外护套材料（内外护套材料均一样，省写内护套材料）；⑦电力电缆——产品的大类名称。

电线电缆的型号组成与顺序如下：①类别、用途；②导体；③绝缘；④内护层；⑤结构特征；⑥外护层或派生；⑦特殊使用场合或附加特殊使用要求。

1~5项和第7项用拼音字母表示，高分子材料用英文名的第位字母表示，每项可以是1~2个字母；第6项是1~3个数字。

型号中的省略原则：电线电缆产品中铜是主要使用的导体材料，故铜芯代号T省写，但裸电线及裸导体制品除外。裸电线及裸导体制品类、电力电缆类、电磁线类产品不表明大类代号，电气装备用电线电缆类和通信电缆类也不列明，但列明小类或系列代号等。

第7项是各种特殊使用场合或附加特殊使用要求的标记，在“-”后以拼音字母标记。有时为了突出该项，把此项写到最后面。如ZR-（阻燃）、NH-（耐火）、WDZ-（低烟无卤、企业标准）、-TH（湿热地区用）、FY-（防白蚁、企业标准）等。

3-34 低压电线、电缆有哪些选用原则？

电线、电缆的选择应遵照以下原则：

- 1) 电线、电缆的额定电压要大于或等于安装点供电系统的额定电压。
- 2) 电线、电缆持续容许电流应等于或大于供电负载的最大持续电流。
- 3) 线芯截面要满足供电系统短路时的稳定性的要求。
- 4) 根据电线、电缆长度验算电压降是否符合要求。
- 5) 线路末端的最小短路电流应能使保护装置可靠的动作。
- 6) 安装环境的要求。

下面就每条原则做详细说明：

(1) 电线、电缆的额定电压要大于或等于安装点供电系统的额定电压。电线、电缆绝缘需具有一定耐受电压的能力，如果电流超过载流量，电线、电缆发热将加剧，其绝缘能力随之迅速降低，绝缘加速老化，最后导致绝缘能力丧失，被电压击穿，使金属线芯直接接触或通过电弧而导通，这称之为短路。电线短路时产生异常高温或电弧电火花，引起近旁可燃物质起火，这就是常说的电气火灾。电气短路也可使电气设备带危险电压，而引起触电事故。通常国内的低压电力系统的工作电压为380/220V，而低压电力电缆/电线的额定电压应为500V或1000V。

(2) 电线、电缆持续容许电流应等于或大于供电负载的最大持续电流。电线、电缆的截面指的是电线内铜芯的截面。住宅内常用的电线截面有1.5、2.5、4、6、10、16、25、35、50mm²等。

截流量指的是电线、电缆在常温下持续工作并能保证一定使用寿命（如30年）的工作电流大小。电线、电缆的截流量的大小与其截面积的大小有关，即导线截面越大，它所能通过的电流也越大。如果线路电流超过载流量，使用寿命就相应缩短，如不及时换线，就可能引起种种电气事故。导线截面越大，它所能通过的电流也越大。

从电学角度讲，导线越粗可以通过的电流越大，但导线的截面与载流能力之间的关系要涉及到许多因素。一般导线所承载的是交流电流，交流电流存在自感电势（其作用是阻止电流变化，而交流电流正好是随时间不断变化的），其后果是产生趋肤效应（表面电流密度大），

表 3-25 500V 铜芯绝缘电缆长期连续负荷允许载流量

截面积 (mm ²)	固定敷线用线芯			明线敷设				橡皮绝缘导线多根同穿在一根管 管内时允许的负荷电流 (A)						塑料绝缘导线多根同穿在一根管 管内时允许的负荷电流 (A)											
	股数 (mm)	单根 直径 (mm)	成品 外径 (mm)	25℃		30℃		25℃			30℃			25℃			30℃								
				橡皮	塑料	橡皮	塑料	金属管	塑料管	金属管	塑料管	金属管	塑料管	金属管	塑料管	金属管	塑料管								
1.00	1	1.13	4.4	21	19	20	18	2	3	4	2	3	4	2	3	4	2	3	4	2	3	4	2	3	4
1.50	1	1.37	4.6	27	24	25	22	2	3	4	2	3	4	2	3	4	2	3	4	2	3	4	2	3	4
2.50	1	1.76	5	35	32	33	30	2	3	4	2	3	4	2	3	4	2	3	4	2	3	4	2	3	4
4	1	2.24	5.5	45	42	42	39	2	3	4	2	3	4	2	3	4	2	3	4	2	3	4	2	3	4
6	1	2.73	6.2	58	55	54	51	2	3	4	2	3	4	2	3	4	2	3	4	2	3	4	2	3	4
10	7	1.33	7.8	85	75	80	70	2	3	4	2	3	4	2	3	4	2	3	4	2	3	4	2	3	4
16	7	1.68	8.8	110	105	103	96	2	3	4	2	3	4	2	3	4	2	3	4	2	3	4	2	3	4
25	19	1.28	10.6	145	138	136	129	2	3	4	2	3	4	2	3	4	2	3	4	2	3	4	2	3	4
35	19	1.51	11.8	180	170	168	159	2	3	4	2	3	4	2	3	4	2	3	4	2	3	4	2	3	4
50	19	1.81	13.8	230	215	215	201	2	3	4	2	3	4	2	3	4	2	3	4	2	3	4	2	3	4
70	49	1.33	17.3	285	265	267	248	2	3	4	2	3	4	2	3	4	2	3	4	2	3	4	2	3	4
95	84	1.2	20.8	345	325	323	304	2	3	4	2	3	4	2	3	4	2	3	4	2	3	4	2	3	4
120	133	1.08	21.7	400		374		2	3	4	2	3	4	2	3	4	2	3	4	2	3	4	2	3	4
150	37	2.24	22	470		439		2	3	4	2	3	4	2	3	4	2	3	4	2	3	4	2	3	4
185	37	2.49	24.2	540		505		2	3	4	2	3	4	2	3	4	2	3	4	2	3	4	2	3	4
240	61	2.21	27.2	660		617		2	3	4	2	3	4	2	3	4	2	3	4	2	3	4	2	3	4

注 导线芯最高允许工作温度 65℃。

表 3-26 500V 铝芯绝缘电缆长期连续负荷允许载流量

截面积 (mm ²)	固定敷线用线芯			明线敷设		橡皮绝缘导线多根同穿在一根管 管内时允许的负荷电流 (A)						塑料绝缘导线多根同穿在一根管 管内时允许的负荷电流 (A)																
	股数 (mm)	单根 直径 (mm)	成品 外径 (mm)	25℃		30℃		25℃			30℃			25℃			30℃											
				橡皮		塑料		橡皮		塑料		金属管		塑料管		金属管		塑料管		金属管		塑料管						
				2	3	4	2	3	4	2	3	4	2	3	4	2	3	4	2	3	4	2	3	4				
2.50	1	1.76	5	27	25	23	25	19	17	15	20	18	15	14	20	18	15	14	14	14	14	17	14	17	14	17	14	13
4	1	2.24	5.5	35	32	30	28	25	23	20	26	23	22	22	27	24	22	22	19	22	24	22	21	22	21	22	20	
6	1	2.73	6.2	45	42	39	37	34	30	26	35	32	28	27	35	32	28	27	24	27	31	28	30	26	29	28	24	
10	7	1.33	7.8	65	59	55	52	46	40	35	49	43	37	41	49	44	38	42	33	38	42	38	41	36	47	39	34	
16	7	1.68	8.8	85	80	75	66	59	52	46	62	55	49	54	63	56	50	55	44	49	55	46	52	47	51	49	44	
25	7	2.11	10.6	110	105	98	86	76	68	60	80	71	64	72	80	70	65	73	57	65	73	57	65	61	68	61	57	
35	7	2.49	11.8	138	130	122	106	94	83	74	99	89	78	89	100	90	80	90	70	80	90	70	84	75	84	79	70	
50	19	1.81	13.8	175	165	154	138	118	105	95	124	110	98	112	125	110	100	114	90	102	114	90	117	103	94	107	88	
70	19	2.14	16	220	205	192	165	150	133	120	154	140	124	143	155	143	127	145	115	130	145	115	145	134	119	136	111	
95	19	2.49	18.3	265	250	234	200	180	160	150	187	168	150	172	190	170	152	175	140	158	170	140	178	159	142	164	133	
120	37	2.01	20	310		290	230	210	190	170	215	197	178	197	178	159												
150	37	2.24	22	360		337	260	240	220	205	243	224	206	234	212	192												

注 导线芯最高允许工作温度 65℃。

这样就会使导体的载流能力下降；还有一个问题是电流通过导体时会产生热，导体的截面越大，散热能力越差，导体温度就会变高，而温度高的导体其电阻也增大，更不利电流通过。综上所述，导体的截面与其载流量之间是不成正比的，许多场合，人们喜欢用多根导线并接，不是增大单根导线的截面。例如 2 根 95mm^2 的电缆的载流量要远远大于 1 根 185mm^2 的电缆。

对载流量影响非常大的一个因素是导体和绝缘的材质；同时，电缆横截面的选择同电缆的敷设方式和环境温度有关。明敷和直接敷设在地中的低压绝缘电缆安全载流量也是不一样的。这主要是因为电缆的工作环境不同，电缆在工作时的散热条件是不同的。在不同的运行环境下，环境温度也是影响电缆散热的主要因素之一。

综合以上多种主要因素，根据实际所需的载流量，电缆的截面的选择可以简单地根据国标中相关规定的来进行。即可以通过查阅载流量表（表 3-25~表 3-27）来选择电缆的类型和截面。并根据地温以及平行敷设的电缆情况按照表 3-28 和表 3-29 来校正。其他类型的电缆的横截面的规定可以在相关标准上查到。

表 3-27 直接敷设在地中的低压绝缘电缆安全载流量表 A

标称截面积 (mm^2)	双芯电缆		三芯电缆		四芯电缆	
	铜	铝	铜	铝	铜	铝
1.5	13	9	13	9		
2.5	22	16	22	16	22	16
4	35	26	35	26	35	26
6	52	39	52	39	52	39
10	88	66	83	62	74	56
16	123	92	105	79	101	75
25	162	122	140	105	132	99
35	198	148	167	125	154	115
50	237	178	206	155	189	141
70	286	214	250	188	223	174
95	334	250	299	224	272	204
120	382	287	343	257	308	231
150	440	330	382	187	347	260
135			431	323	396	297
240					448	336

表 3-27 中安全载流量，线芯最高工作温度为 80°C ，地温为 30°C ，在实际地温不是 30°C 的地方，电缆的安全载流量应乘以表 3-28 中的校正系数。

表 3-28 不同地温的载流量校正系数

地温 ($^\circ\text{C}$)	10	15	20	25	30	35	40
校正系数	1.18	1.14	1.10	1.05	1	0.95	0.89

几条电缆平行敷设（电缆外皮间距为 200mm ）时，电缆的安全载流量应乘以表 3-29 中

的校正系数。

表 3-29

平行敷设时的载流量校正系数

电缆条数	1	2	3	4	5	6	7	8
并列系数	1.00	0.92	0.87	0.84	0.82	0.81	0.80	0.79

(3) 线芯截面要满足供电系统短路时的稳定性的要求。供电系统短路时,在低压线路上会产生比较大的电流。而只有在事故状况下,电缆才允许进行过负载运行,此时所允许通过的电流为短时过载载流量。短时过载载流量和电缆的过载前的实际电流、温度等有关。计算如下式

$$I_{sc} = \sqrt{\frac{C_e}{r_{20} + \alpha t} \ln \frac{1 + \alpha(\theta_{sc} - 20)}{1 + \alpha(\theta_0 - 20)}} \quad (3-30)$$

式中 θ_{sc} ——电缆允许短路温度。粘性浸渍及充气电缆为 220℃ 充油电缆 160℃ 聚氯乙烯电缆 130℃ 交联聚乙烯电缆 250℃ 天然橡皮电缆 150℃ 乙丙及丁基橡皮电缆分别为 250℃ 和 220℃。

θ_0 ——短路前电缆温度;

r_{20} ——20℃ 时每厘米电缆导线的交流电阻, Ω/cm ;

α ——导线电阻的温度系数, $1/^\circ\text{C}$;

C_e ——每厘米电缆导线的热容, $\text{J}/(\text{cm} \cdot ^\circ\text{C})$;

t ——短路时间, s。

电缆的允许载流量也可以从电缆厂家出场的数据中找到。

(4) 根据电缆长度验算电压降是否符合要求。为了保证线路末端的用电设备正常运行,必须保证末端的电压值在允许的范围内(通常要求线路上的电压损失不超过 10%)。如果线路的阻抗比较高,可能会在线路上产生比较大的压降,从而影响线路末端用电设备的端电压。一般来说,在电缆线路不是很长的情况下,是没有必要来计算线路上的压降。在线路非常长的情况下(如几公里以上)。根据厂家提供的电缆线路阻抗或电阻的参数(单位长度的阻抗或电阻)。根据负荷的容量以及线缆的阻抗(或电阻)就可以计算出线路上的压降以及线路末端的电压值。如果该电压值低于负荷的最低电压要求,就有必要扩大电缆的截面(并联增加电缆或使用更大截面的电缆)。其校验方法如下

$$\begin{aligned} \Delta U\% &= B \frac{\Delta U}{U} 100\% = B \frac{IR}{U} 100\% = B \frac{I_e \frac{l}{S}}{U} 100\% \\ &= B \frac{P_e \frac{l}{S}}{U^2} 100\% = B \frac{Pl}{CS} \end{aligned} \quad (3-31)$$

$$C = \frac{U^2}{\rho 100} (\text{三相四线制}) \text{ 或 } = \frac{U^2}{2\rho 100} (\text{单相交流或直流})$$

式中 B ——感性负载线路电压损失校正系数,可由表 3-30 中查出;

P ——计算总负荷功率;

l ——电缆长度;

I ——计算电流;

R ——电缆电阻;

S——电缆横截面积；

C——线路电压损失常数，可由表 3-31 中查出。

表 3-30 感性负载线路电压损失校正系数 B

导线截面积 (mm ²)	铜或铝导线明敷，当负荷的功率因数为					电缆明敷或埋地，导线穿管，当负荷功率因数为					裸铜线架设，负荷功率因数为			裸铝线架设，负荷功率因数为		
	0.9	0.85	0.8	0.75	0.7	0.9	0.85	0.8	0.75	0.7	0.9	0.8	0.7	0.9	0.8	0.7
6												1.1	1.12			
10											1.1	1.14	1.2			
16	1.1	1.12	1.14	1.16	1.19						1.13	1.21	1.28	1.1	1.14	1.19
25	1.13	1.17	1.2	1.25	1.28						1.21	1.32	1.44	1.13	1.2	1.28
35	1.19	1.25	1.3	1.35	1.4						1.27	1.43	1.58	1.18	1.28	1.38
50	1.27	1.35	1.42	1.5	1.58	1.1	1.11	1.13	1.15	1.17	1.37	1.57	1.78	1.25	1.38	1.53
70	1.35	1.45	1.54	1.64	1.74	1.11	1.15	1.17	1.2	1.24	1.48	1.76	2	1.34	1.52	1.7
95	1.50	1.65	1.8	1.95	2	1.15	1.2	1.24	1.28	1.32				1.44	1.7	1.9
120	1.60	1.8	2	2.1	2.3	1.19	1.25	1.3	1.35	1.4				1.53	1.82	2.1
150	1.75	2	2	2.4	2.6	1.24	1.3	1.37	1.44	1.5						

(5) 线路末端的最小短路电流应能使保护装置可靠的动作。如果线路比较长（几千米甚至十几千米），线路阻抗非常大。由于断路器的故障设定值是根据正常运行的电流值进行设定的，通常是正常运行电流的几倍。那么有可能在线路末端故障（如两相短路）的情况下，故障电流值可能会低于断路器的动作设定值。在实际的工程中，在电缆线路非常长的情况下，需要根据电缆的阻抗或电阻（在直流系统中应使用电阻，在交流系统中应以阻抗来计算）。

(6) 安装环境的要求。应考虑以下问题。

1) 最大允许敷设位差见表 3-32。

表 3-31 线路电压损失常数 C

线路及电流种类	额定电压 (V)	C 值	
		铜 线	铝 线
三相四线制	380/220	77	46.3
	220	12.8	7.75
单相交流或直流	110	3.2	1.9
	36	0.34	0.21
	24	0.153	0.092
	12	0.038	0.023

表 3-32 最大允许敷设位差

电缆类型		最大允许位差 (m)	
		铅护层	铝护层
普通粘性浸渍电缆	铠装	25	25
	无铠装	20	25
不滴油电缆		无限制	
塑料绝缘电缆			
橡皮绝缘电缆			

2) 电缆外护层的选择：通常来说聚氯乙烯和聚乙烯绝缘的电缆的防水性能比较好，电缆的铠装也能够得到非常好的防蚀保护；钢带的铠装层的作用是抗压，用于直埋电缆；钢丝铠装的作用是抗拉，用于水下敷设或垂直敷设。

3) 电缆最小弯曲半径：敷设时允许最小弯曲半径：①粘性浸渍电缆及不滴流电缆：多芯电缆 15 (D+d)，1~10kV 单芯电缆 18 (D+d)，20~35kV 单芯电缆 25 (D+d)，分相电缆 18 (2.15D+d)；②塑料、橡皮电缆：多芯及单芯电缆（交联聚乙烯电缆为 15D）；③

自容式充油电缆：单芯电缆（铅护层、皱纹铝护层） $25(D+d)$ ，三芯电缆（铅护层、皱纹铝护层） $20(D+d)$ ，平铝护层电缆 $36(D+d)$ 。对油浸纸绝缘电缆， D 为电缆金属护套外径， d 为电缆导体外径。对塑料、橡皮电缆 D 为电缆外径。

4) 应按照表 3-33 来根据环境和敷设方法选择电缆/电线的类型。

表 3-33 根据环境和敷设方法选择电缆/电线的类型

环境特征	敷设方法	常用的电线/电缆型号	导线名称
正常干燥环境	绝缘线瓷珠、瓷夹板或铝皮卡子明敷 绝缘线、裸线瓷瓶明敷 绝缘线穿管明敷或暗敷 电缆明敷或放在沟中	BBLV, BLV, BLVV, BVV BBLX, BLV, LJ, LMY BBLX, BLV, BVV ZLL, ZLL ₁₁ , VLV, YJV, YJLV, XLV, ZLQ	BBLX: 铝芯玻璃丝编制橡皮线 BLV: 铝芯聚氯乙烯绝缘线 BLVV: 铝芯塑料护套线 BVV: 铜芯塑料护套线 LJ: 裸铝绞线 LMY: 硬铝裸导线 ZLL: 有近绝缘纸电缆 VLV: 塑料绝缘铝芯电缆 YJV: 塑料绝缘铜芯电缆 YJLV: 塑料绝缘铝芯电缆 XLV: 橡皮绝缘铝芯电缆 ZLQ: 油浸纸绝缘电缆 BV: 铜芯塑料绝缘线 XLHF: 橡皮绝缘电缆 其他类型的电缆可查阅相关的手册，此处略
潮湿或特别潮湿环境	绝缘线瓷瓶明敷 (>3.5m) 绝缘线穿管明敷或暗敷 电缆明敷	BBLX, BLV, BVV BBLX, BLV, BVV ZLL ₁₁ , VLV, YJV, XLV	
多尘环境 (不包括火灾及爆炸危险尘埃)	绝缘线瓷珠、瓷瓶明敷 绝缘线穿钢管明敷或暗敷 电缆明敷或放在沟中	BBLX, BLV, BLVV, BVV BBLX, BLV, BVV ZLL, ZLL ₁₁ , VLV, YJV, XLV, ZLQ	
有腐蚀性环境	绝缘线瓷珠、瓷瓶明敷 绝缘线穿塑料管明敷或暗敷 电缆明敷	BLV, BLVV, BVV BBLX, BLV, BVV VLV, YJV, ZLL ₁₁ , XLV	
有火灾危险的环境	绝缘线瓷瓶明线 绝缘线穿钢管明敷或暗敷 电缆明敷或放在沟中	BBLX, BLV, BVV BBLX, BLV, BVV ZLL, ZLQ, VLV, YJV, XLV, XLHF	
有爆炸危险的环境	绝缘线穿钢管明敷或暗敷 电缆明敷	BBX, BV, BVV ZL ₁₂₀ , ZQ ₂₀ , VV ₂₀	

5) 中性线和保护线截面的选择。对于中性线来说，在我国低压系统通常采用中性点接地系统，一般均配出中性线。运行中该中性线也是一种载流体。在单相回路中流过相线和中性线的电流相同，因此应采用相同材料的相同截面；在三相四线或两相三线系统中，当用电负荷大部分为单相负荷或可能产生三次谐波的负荷（如气体放电灯）时，中性线的截面不应小于相线的截面；对于采用晶闸管调光的三相四线或两相三线系统中，由于谐波分量较大，中性线的截面不应小于相线的截面的两倍。

以上的选择原则是针对载流导体而言的，而对于正常工作时的非载流导体的保护线来说，应满足以下条件：

a) 在系统故障时，应保证在人体触电引起危险的持续时间内保护装置能可靠地切断电路。在这种情况下要求保护线有足够大的截面，使回路的电阻下降。在发生故障时故障回路有足够大的故障电流视保护装置迅速动作来切断回路。按照有关的规定，230V 交流电的最

常允许切断时间为 0.17s。在选择时应计算能够使保护装置和开关装置动作时间小于上述事件的最小电流。同时应计算发生触电故障时的故障电流应小于该电流。

b) 保护线应能承受故障电流在故障持续时间内的发热作用保证热稳定。在线路的相线截面不大于 16mm^2 时, 保护线截面应不小于同材料的相线截面; 在线路的相线截面大于 16mm^2 且不大于 35mm^2 时, 保护线截面应不小于 16mm^2 ; 在线路的相线截面大于 35mm^2 时, 保护线截面应不小于同材料的相线截面 50%。

c) 当保护线不属于导体的一部分或不与导体同处于一外护物内其截面不应小于以下数值有防护时铜保护线 2.5mm^2 铝保护线 16mm^2 无防护时铜保护线 4mm^2 铝保护线 16mm^2 。

保护线作为多个配电回路的公共保护线时, 应按照最严重的情况进行选择。

3-35 低压电线、电缆的选型与使用实例。

从某变电站引出的长约 100m 的干线, 在干线上共连接有 27 台三相异步电动机。最大运行方式下的最大计算短路电流为 17.2kA。最长的分支线路的长度不超过 20m。负荷中 10kW 电动机 15 台, 4.5kW 电动机 12 台。各台电动机的需要系数为 0.4, 功率因数为 0.75, η 为 0.85。敷设地点环境温度为 22°C 。敷设方法为电缆线明敷。交联聚乙烯电缆允许短路温度 θ_{sc} 为 250°C , 短路前电缆温度 θ_0 为 30°C , 20°C 时每厘米电缆导线的交流电阻 R_{20} 为 $3.68 \times 10^{-6} \Omega/\text{cm}$ (电阻率为 $1.84 \times 10^{-6} \Omega\text{cm}$); 铜导线电阻的温度系数 α 为 $3.93 \times 10^{-3} (1/^\circ\text{C})$ 。每厘米电缆导线的热容 C_e 为 $3.39\text{J}/(\text{cm} \cdot ^\circ\text{C})$, 短路时间 t 按照 1s 计算。

低压总负荷容量为 $10 \times 15 + 4.5 \times 12 = 204\text{kW}$

视在计算总负荷为 $0.4 \times 204 / (0.85 \times 0.75) = 128\text{kVA}$

总计算电流为 $128000 / (380 \times 1.732) = 194\text{A}$

采用 50mm^2 的铜芯塑料 (交联聚乙烯) 电缆, 其载流量为 $201\text{A} > 194\text{A}$

$\Delta U\% = B \frac{PI}{CS} = 1.5 \times \frac{0.4 \times 204 \times 100}{77 \times 50} = 3.18\% < 10\%$ 满足电压降的要求

$$I_{sc} = \sqrt[3]{\frac{C_e}{R_{20} + \alpha t} \ln \frac{1 + \alpha(\theta_{sc} - 20)}{1 + \alpha(\theta_0 - 20)}}$$

$$= \sqrt[3]{\frac{3.39}{3.68 \times 10^{-6} + 3.93 \times 10^{-3} \times 1} \ln \frac{1 + 3.93 \times 10^{-3} (250 - 20)}{1 + 3.93 \times 10^{-3} (50 - 20)}}$$

$$= 23.38\text{kA} > 17.2\text{kA} \text{ 满足短路时的稳定性要求}$$



第八节 低压成套配电装置的选型与使用

3-36 低压成套配电装置有哪些用途、分类与型号?

由一个或多个低压开关设备和相应的控制、测量、信号、保护、调节等电气元件或设备, 以及所有内部的电气机械的相互连接和结构部件组装成的一种组合体, 称为低压成套开关设备。其中主要有低压开关柜或低压配电屏和低压配电箱两种类型设备。低压成套开关设备在低压供电系统中负责电能的控制、保护、测量、转换和分配。在低压成套开关设备中所安装的元件主要包括各种低压开关, 熔断器、接触器、继电器、电工测量仪表、信号元件、

变频器等。由于低压成套开关设备深入到生产现场、公共场所、居民住宅等地点，可以说凡是使用电气设备的地方都应配备低压设备，我国电能的 80% 左右都是通过低压成套开关设备供出。

常见的低压成套配电设备有十几种，根据供电系统的要求分为一级配电设备、二级配电设备、末级配电设备；按照用途分可分为：动力配电柜（PCC：Power Control Center）、电动机控制柜（MCC：Motor Control Center）、补偿柜；按外部型式分可分为：开启式、固定面板式、柜式封闭式；按安装场所分可分为：室内安装、室外安装；按可否移动分为：固定式、可移式；按内部隔离方式分可分为：1、2、3、4 种；按功能单元的电气连接方式分可分为：固定式、抽出式。更多的分类型式，可参阅 GB7251.1 和 IEC60439.1，另外还有结构简单的低压配电箱，通常可以根据其安装位置和用途分为动力配电箱、照明配电箱和非标准配电箱。

一级配电设备，即动力配电中心一般集中安装在变电站内紧靠降压变压器的位置，把电能分配给不同地点的下级变电站或下级配电设备。因此电气参数要求较高，输出的容量也比较大。

二级配电设备，即动力配电柜或电动机控制柜一般安装在一级配电设备的下一级。动力配电柜使用在负荷比较分散、回路数较少的场合；电动机控制中心用于负荷集中、回路数较多的场合。把上一级配电设备某一回路的电能分配给就近的负荷，同时也负担着对这些负荷的保护、监视和控制功能。

末级配电设备，即配电箱，远离供电中心，是分散的小容量配电设备。

如上所述按照结构特征和用途，低压配电设备可以分为固定面板式、封闭式、抽屉式、混装式等类型，每一种都有不同的特点和相应的应用环境。都由进线柜/受电柜，计量柜、联络柜、双电源互投柜、馈电柜和电动机控制柜等组成一个整体的低压配电系统。

(1) 固定面板安装式：常称为开关板和配电屏是一种正面有面板遮栏的开启式开关柜，正面具有防护作用，背面和侧面仍能触及点带电部分。由于其防护等级低，只能用于对供电连续性和可靠性要求比较低的变电站内使用。

(2) 封闭式开关：指设备除安装面外，其他侧面都被封闭起来的一种低压开关柜。这种柜子的开关、保护和监测控制元件均安装在一个用钢或绝缘材料制成的封闭外壳内。柜内的回路之间可以不加隔离措施。同时还存在一些为保证人员、设备安全的联锁。

(3) 抽屉式开关设备：采用接地金属板制成的封闭外壳，进出线回路的电气元件都安装在可抽出的抽屉中，构成能完成某一类供电任务的功能单元。功能单元与母线或电缆之间用接地金属板或绝缘材料隔开，形成母线、功能单元和电缆三个主要区域。每个功能单元之间都有隔离措施。抽屉式的开关设备具有较高的可靠性、安全性和互换性，适用于供电可靠性比较高的配电中心。

(4) 配电箱：电流小，结构简单，用在配电的末端。多为封闭式垂直安装。

(5) 混装式配电设备：通常会采用抽屉式、封闭式等几种结构，用在负荷和回路类型比较复杂的情况下。

3-37 低压成套配电装置有哪些主要技术指标？

低压成套配电装置的主要技术指标主要有以下几项：

(1) 额定电压：一般为 220、380、600V。

(2) 电源频率：一般是 50Hz/60Hz。

(3) 额定电流：分为两种，一种是水平母线的额定电流，由几百安培到 5000~7000A。另一种为垂直母线的额定电流，它是指受电柜以外的其他柜子的垂直母线的工作电流，这个电流小于水平母线电流。抽屉单元的额定电流一般不会超过 400~630A。

(4) 额定短路分断能力、额定短时电流耐受能力：短路分断能力是指在规定的条件下，包括开关电器接线端在内的分断能力。一般为几十千安，最大可达 100kA 左右。对于开关设备内部安装的元件和连接件则要求一定的短时电流耐受能力，可以承受短路状况下的发热和电磁力的作用，一般用电流的峰值和一定时间内（1s 或 3s）故障电流有效值来描述。短路分断能力和短时电流耐受能力是相关的。

(5) 短时电压耐受能力：描述设备的绝缘性能，其中以 1min 的电压有效值和电压冲击的峰值来描述。两个数据也是相关的。

(6) 防护等级：是指外壳防止外界固体异物进入壳内触及带电或运动部件以及防止水进入壳内的防护能力。一般用 IPxx 两位数值表示。具体规定见表 3-34。

表 3-34 防护等级 (IPxx)

第一位数字：固体的防护		第二位数字：液体的防护	
1	防止直径大于 50mm 的固体进入	1	防止垂直方向滴水
2	防止直径大于 12.5mm 的固体进入	2	防止垂直方向 15°范围内的滴水
3	防止直径大于 2.5mm 的固体进入	3	防止垂直方向 60°范围内的滴水
4	防止直径大于 1mm 的固体进入	4	防止各个方向的溅水
5	防尘（无有害沉积）	5	防止各个方向的喷水
6	完全防尘	6	防止各个方向的强烈喷水
		7	防止短时浸水
		8	防止持续浸水

3-38 低压成套配电装置有哪些选用原则？

根据负荷的性质和用途确定低压成套配电装置的类型。电机控制柜一般采用抽屉式开关设备，来保证不同的控制单元之间的隔离，以及对单个抽屉内的元件进行检修、更换或发生故障时不会影响到同一台开关柜内的其他回路。同时抽屉式开关设备也广泛地应用于电站、冶金轧钢、石油化工、矿工、机械、轻纺等工矿企业。在一般的建筑或民用建筑物内，一般采用封闭式开关设备，来保证人员安全和设备运行的可靠；在对安全性和可靠性要求不高，或有其他措施来保证安全性和可靠性，或者运行环境比较理想、事故率比较低的情况下，可以选用固定面板安装式；在配电线路的末端由于其电流小、影响的范围小、故障时的断路容量比较小通常采用配电箱。

额定电压和绝缘性能要高于系统的要求。

额定电流要高于系统的要求。需要验证进线断路器，开关柜的水平母线的额定电流满足实际应用的要求，即要大于实际的满负荷电流及过负荷的电流（一般为 110% 的实际负荷电流）。

短时耐受电流要高于实际系统的最大短路电流。
防护等级要满足使用的要求。

3-39 都有哪些常见的低压成套配电设备？

目前国内市场上常见的低压成套配电设备有：国内自行设计标准柜型 GCD、GGD、GCK；国外的品牌柜，ABB 公司的 MNS 柜，施耐德电气公司的 OKKEN 柜，Blokset 柜，Prisma 柜，西门子公司的 SIVACON 柜等多种品牌。以下列出几种产品的参数：

(1) GCD 低压抽出式开关柜。柜体采用封闭式结构，各功能单元相互隔离，可防止故障的扩大，当抽屉抽出柜外时，柜内带电体均不外露，安全可靠。抽屉导轨采用新型三节式导轨，其承受能力强，抽屉抽出后不必取下即可检修；功能单元抽插时有连接、试验和分离三个明显的位置，并有良好的互换性。

GCD 系统适用于电站、冶金轧钢、石油化工、矿工、机械、轻纺等工矿企业和高层建筑中，作为三相交流额定电压 380~660V，频率 50Hz 电力系统的配电和电动机集中控制之用。

GCD 型开关设备技术参数见表 3-35。

表 3-35 GCD 低压抽出式开关柜技术参数

名 称	单 位	参 数
额定绝缘电压	V	660
额定工作电压	V	380
辅助电路额定工作电压	V	交流 380、220
主母线额定电流	A	1000、1250、1600、2000、4000
主母线额定短时耐受电流	kA/s	50
主母线额定峰值耐受电流	kA	105
分支母线额定电流	A	1000
分支母线额定短时耐受电流	kA/s	50
分支母线额定峰值耐受电流	kA/s	105
外壳防护等级		IP30、IP40

(2) GGD 低压固定式开关柜。GGD 型交流低压配电柜的柜体采用通用柜的形式，框架设计为自然通风形式，使柜内电器元件在运行中得到充分散热。柜体的顶盖在需要时可拆除，便于现场主母线的安装。GGD 型交流低压配电柜适用于发电厂、变电站、厂矿企业等电力用户的交流 50Hz，额定工作电压 380V，额定工作电流至 3150A 的配电系统，作为动力、照明及配电设备的电能转换、分配与控制之用。技术参数见表 3-36。

(3) GCK 低压抽出开关柜。GCK 型开关柜是抽出式的开关柜，最多可容纳 9 只抽屉。柜体的模数为 $E=25\text{mm}$ ，可以容纳比较多的主电路，使用比较灵活方便，特别是某个抽屉发生故障时，可将它抽出进行检修，无故障的抽屉还可以正常工作，从而缩小了停电的范围。GCK 系统适用于发电厂、冶金、石油化工、轻工纺织、港口码头、大楼宾馆等场所作为并流三相四线或五线制、电压 380V、频率 50Hz 电力系统的配电和电动机控制之用。技术参数见表 3-37。

表 3-36 GGD 低压固定式开关柜技术参数

型 号	额定电压 (V)	额定电流 (A)	额定短路开断电流表 (kA)	额定短时耐受电流 (kA)	额定峰值耐受电流 (kA)
GGD1	380	A1000 B600 (630) C400	15	15	30
GGD2	380	A1500 (1600) B1000 C	30	30	63
GGD3	380	A3150 B2500 C2000	50	50	105

表 3-37 GCK 低压抽出开关柜技术参数

名 称	单 位	参 数
额定绝缘电压	V	660
额定工作电压	V	380
辅助电路额定工作电压	V	交流 380、220
主母线额定电流	A	1000、1250、1600、2000、4000
主母线额定短时耐受电流	kA/s	50
主母线额定峰值耐受电流	kA	105
分支母线额定电流	A	1000
分支母线额定短时耐受电流	kA/s	50
分支母线额定峰值耐受电流	kA/s	105
外壳防护等级		IP30、IP40

(4) MNS 低压抽出开关柜和 GCS 低压抽出开关柜。MNS 型低压抽出开关柜是 ABB 公司技术转让的产品，是抽出式开关柜，最多可容纳 36 只抽屉。

GCS 是 MNS 的国产化型号。装置的主构架采用 8MF 型钢，构架采用拼装和部分焊接两种结构形式。主构架上均有安装模数孔 $E=20\text{mm}$ 。装置各功能室严格分开，其隔室主要分为功能单元室、母线室、电缆室，各单元的功能相对独立。抽屉改变仅高度变化，其宽度、深度不变。相同功能单元的抽屉具有良好的互换性。GCS 系统适用于发电厂、石油、化工、冶金、纺织、高层建筑行业的配电系统，可作为三相交流频率为 50/60Hz，额定工作电压为 380/400/660V，额定电流为 4000A 及以下的发、供电系统中的配电、电动机集中控制、无功功率补偿使用的低压成套配电装置。技术参数见表 3-38。

(5) Prisma 低压开关柜。Prisma 低压开关柜是施耐德电气公司技术转让的产品，封闭式开关设备，模块化设计，采用异型母线载流量大、安装方便。Prisma 柜分为 Prisma P 和 Prisma G/GX 两大类产品。其中 Prisma G/GX 的母线额定电流为 630A，防护等级可以为 IP30、IP40 或 IP43，其短时耐受电流为 25kA/s；Prisma P 的母线额定电流最高为 4000A，防护等级可以为 IP20、IP30、IP31 或 IP43，其短时耐受电流为 85kA/s。连接件多为预制件，安装和内部布置灵活方便，性能稳定可靠。

表 3-38 MNS/GCS 低压开关柜技术参数

名称	单位	项目	参数
主电路额定电压	V		交流 380、660
辅助电路电压	V		交流 220、380 直流 110、220
额定频率	Hz		50 (60)
额定绝缘电压	V		660 (1000)
额定电流	A	水平母线	<4000
		垂直母线 (MCC)	1000
母线额定短时耐受电流	kA/1s		50、80
母线额定峰值耐受电流	kA/0.1s		105、176
工频试验电压	V/1min	主电路	2500
		辅助电路	1760
母线		三相四线制	A、B、C、PEN
		三相五线制	A、B、C、PE、N
防护等级			IP30、IP40

Prisma 的技术参数见表 3-39。

(6) Blokset 低压开关柜。Blokset 低压开关柜是施耐德电气公司技术转让的产品，这款低压柜可以提供多种柜型来满足不同应用的需求，可以实现配电、电动机保护、功率因数补偿等方面的功能，应用于需要高可靠性的低压系统。Blockset 整个系列中标准的方案有固定式低压配电柜、固定式电机控制中心、抽屉式电机控制中心、变频软起柜、电容补偿柜及 630A 以下的配电箱多种方案。技术参数见表 3-40。

表 3-39 Prisma 低压开关柜技术参数

名称	单位	参数
额定绝缘电压	V	1000
额定工作电压	V	690
水平母线额定电流	A	4000
垂直母线额定电流	A	4000
额定峰值耐受电流	kA	187
额定短时耐受电流	kA/s	85
频率	Hz	50/60
防护等级		IP20, IP30, IP54

表 3-40 Blokset 低压开关柜技术参数

名称	单位	参数
额定绝缘电压	V	1000
额定工作电压	V	690
额定频率	Hz	50
额定冲击耐受电压	kV	12
主母线额定电流	A	6300
母线短时耐受电流	kA/s	100
防护等级		IP20, IP31, IP42, IP54



第九节 低压电涌保护器的选型与使用

3-40 低压电涌保护器的用途、分类与动作原理是什么？

在电力系统的运行中，由于各种各样的原因，会引起电压的短时间内的骤然升高或扰动，所产生的瞬间的高电压甚至可以达到几十千伏。产生瞬间的过电压的原因主要有两大类：系统过电压和大气过电压。其中大气过电压主要是雷电的直击、反击及感应所产生的过电压；操作过电压主要由开关的操作、系统中的电感、电容元件引起的瞬态过程、电弧或静电放电设备，以及电力系统的扰动产生的。由于现代的商业、工业和公共事业机构当中存在

着大量的电子数据处理系统,测控系统、通信系统、仪表及二次设备当中的电子设备,以及计算机网络系统,因此供电系统当中的过电压不仅可能直接造成电子元件的损坏,其产生的瞬间的电磁场也会干扰电子设备的正常工作甚至损坏电子元件。因此有必要安装过电压保护装置来避免电力系统中浪涌过电压的损害。电涌保护器(SPD, Surge Protective Device)就是能起到预防大气过电压或操作过电压对电气设备或用电设备的损坏的电气元件。

电涌保护器的分类方法有很多种,从其结构原理上可以分为电压开关型(间隙、气体放电管、闸流管等)、电压限制型(SiC, ZnO 压敏电阻等金属氧化物)、综合型电涌保护器;从用途上可分为:电源用、信号用、天线馈线用电涌保护器;按照试验等级分类,又可分为:I、II、III类电涌保护器。

电涌保护器的工作原理如下:电涌保护器作为一个非线性电阻在线路和地之间连接。在正常情况下可以近似认为是断路;在系统中出现过电压的情况下,将超过系统能够承受的瞬态电流自动泄放到大地上,从而来降低线路上或设备上的过电压。

间隙式电涌保护器的动作原理,是指两放电导体之间留有一定间隙,分别连接在电力系统和接地系统上,系统正常工作时,两导体之间的绝缘强度能够承受系统正常的工作电压,在超过两导体间隙的绝缘强度时能够自行放电,击穿并维持放电通道直至雷电流衰减后复位。

金属氧化物电涌保护器的动作原理,主要是利用金属氧化物可变电阻的独特性能,在系统正常工作电压下金属氧化物呈高阻态,一旦系统中有过电压出现并达到一定数值时,电阻值将迅速下降,近似短路状态,将系统中的过电压对地泄放大电流,金属氧化物电涌保护器在应用中几乎不会出现续流。

不同的类型的电涌保护器组合在一起时可以实现多级的保护,在应用中,通常将金属氧化物和火花间隙串联使用,以达到更好的动作特性。利用在火花间隙中的径向或轴向的吹弧技术来保证切断电源续流,气体则是由在电弧影响下的周围的塑料材料产生的,气体则起到了冷却电弧的温度,提高电弧电压的作用。

3-41 低压电涌保护器有哪些主要技术指标?

最大持续运行电压:允许持久地施加在SPD上的最大交流电压有效值或直流电压。超过次运行值电涌保护器将受到热损坏。

保护水平:表明电涌保护器泄放标称电流时,电涌保护器两端的最大电位差。所需的电涌保护器的保护水平取决于被保护设备的安装位置(过电压类别)和/或被保护装置的电气绝缘强度。

通流容量:通流容量并不是一个参数而是一组参数,它是由一系列的标准化试验确定出的电涌保护器的技术参数,这些试验由三个分类试验组成,分别称为I级分类试验、II级分类试验、III级分类试验。I级分类试验是指用标称放电电流 I_n 、 $1.2/50\mu\text{s}$ 波形冲击电压和最大冲击电流 I_{imp} 所进行的试验,若最大冲击电流在10ms内通过电荷为 Q ,则参数值上 $I_{\text{peak}}(\text{kA})=0.5Q(\text{A}\cdot\text{s})$;II级分类试验是指用标称放电电流 I_n 、 $1.2/50\mu\text{s}$ 波形冲击电压和最大放电电流 I_{max} 所进行的试验,其实验要求与I级分类试验有所不同;III级分类试验是指用混合波($1.2/50\mu\text{s}$, $8/20\mu\text{s}$)所作的试验。三种试验方法没有等级和高下之分,也没有可比性。每个制造商可以任选其中的一个。一般来说德国的VDE标准采用的是I类试验

方法，法国 NCF 标准采用的是 II 类试验方法，而美国的 UL1449 标准采用的是 III 类试验方法。由此产生了以下的参数：

1) 标称放电电流 I_n ：电涌保护器可以通过的 $8/20\mu\text{s}$ 波形电流的峰值（如 20 次）未损坏。

2) 冲击电流 I_{imp} ：指通过 $10/350\mu\text{s}$ 波形雷电流的能力，它包括两个参数幅值电流 I_{peak} 和电荷量 Q 。

3) 最大放电电流 I_{max} ：电涌保护器可以导通的 $8/20\mu\text{s}$ 波形电流的峰值（2 次）。该参数表示能够安全地泄放而不会明显地影响其功能的最大的浪涌电流或复合电流，是电涌保护器的一个非常重要的参数。

以上为标准中（GB 或 IEC 等）给出的有关通流容量的参数，但在习惯上更多地使用另一个参数——冲击通流容量，其定义为：为了检验电涌保护器的性能和老化的状况通常要测量通过 1mA 电流时电涌保护器两端的电压 $U_{1\text{mA}}$ ，随着长期的使用（交直流负荷、电涌电流的冲击）电涌保护器的电压 $U_{1\text{mA}}$ 会逐步下降，下降的幅度用来评估电涌保护器的性能。把满足下降要求的电涌保护器所能承受的最大冲击电流（按规定的波形）幅值叫做冲击通流容量。一般说过压保护为 $3\sim 5\text{kA}$ ，防雷保护为 $5\sim 20\text{kA}$ 。

漏电流 I_L ：电涌保护器两端施加 $0.75U_{1\text{mA}}$ 时流过电涌保护器的电流。该数值表明了正常工作时通过电涌保护器泄漏能量的程度。泄漏的能量会在电涌保护器中发热，影响电涌保护器的寿命、特性，以及保护性能。一般应控制在 $50\sim 100\mu\text{A}$ 。

续流熄灭能力：表示电涌保护器自动熄灭系统续流的限值。该参数对火花间隙电涌保护器非常重要

标称放电电流：电涌保护器可以通过的 $8/20\mu\text{s}$ 波形电流的峰值（20 次）未损坏。

工作频率范围：电涌保护器通常具有低通的特性，因此用工作频率范围来界定其截止频率，在电信领域内是比较重要的参数。

3-42 低压电涌保护器有哪些选用和配合原则？

选择使用电涌保护器的最终目的是保护用电设备避免瞬态过电压的侵害，但是由于用电设备所在线路类别不同（电源线路、信号线路、天线馈线），安装位置不同，所需的保护要求、过电压的峰值、类型、电流，以及切断电源续流的要求也不同，因此对应不同的用电设备、不同的安装位置，需要安装不同的类型或参数的电涌保护器，并且在不同级的电涌保护器之间还存在着配合，因此在选择上必须根据实际存在的要求来选择电涌保护器。

以下列出几条电涌保护器的选用原则，供读者参考，但因为大气过电压或系统过电压出现的次数及能量都属于概率事件，实际应用中无法得到具体数值，所以除了按标准和经验外，还要考虑雷击风险，被保护设备的重要性（雷击的直接和间接经济损失），建筑物外部是否安装避雷针或具有等电位连接等相关的因素。电涌保护器在满足选用要求的基础上有一条基本原则就是：电涌保护器的保护水平 U_p 必须小于被保护设备的冲击耐受电压 U_{choc} ，以保证被限制后的电压小于设备的绝缘强度，可靠的保护用电设备。

(1) SPD 最大可持续运行电压要大于系统电压。

(2) 保护水平应低于被保护设备的最大的绝缘强度。

(3) 对于间隙式电涌保护器，应该有足够的续流熄灭能力来保证在浪涌电流衰减之后，

在系统电流的第一个过零点保证电弧熄灭。由于电弧的阻抗无法计算，通常根据电涌保护器的安装位置来估计。

(4) 应该有足够放电能力来保证将雷电流泄放到大地中去，不会因此引起人员的伤亡和设备的损坏，不会明显地影响电涌保护器本身的性能。并且电压和电流不会超过下一级电涌保护器的放电能力。一般来说，应该根据环境因素和负荷本身的因素来确定放电能力。方法如下

$$\text{环境因素 } E = N_g \times (1 + LV + MV + d) \tag{3-32}$$

$$\text{负荷因素 } R = S + C + I \tag{3-33}$$

式中 N_g ——雷击密度 [雷电次数/ (km²·年)]，从 0.1 到 3，通过雷电密度图获得，如需精确值可从专门机构获得；

d ——架空线位置因素的系数，可能值：0, 0.5, 0.75, 1，见表 3-41；

LV ——取决于供电的低压架空线长度，可能值：0, 0.2, 0.4, 0.6, 0.8, 1，见表 3-42；

MV ——决定于为 MV/LV 变电站供电的 MV 系统的参数，地下 MV/LV 变电站时 $MV=0$ ，柱上式 MV/LV 变电站时 $MV=1$ ；

S ——设备敏感度，对应于耐冲击电压设备分类 (I, II, III, IV 类)，两个可能值：1 或 3， $S=1$ 指的是 $U=2.5\text{kV}$ 负载类型为 III 和 IV，一般或较高抗冲击能力。负荷主要为配电柜，固定的开关设备 (断路器，插座等) 工业设备 (电动机，变压器等)，装于配电盘上级的设备：表计、过流设备等。

$S=3$ 指的是 $U < 2.5\text{kV}$ 负载类型 I 和 II，低抗冲击能力。所有敏感设备：计算机，电传，电话应答机，报警器，传真，立体声，TVs, VCRs, 调整器，具有完整电流的设备，旋转工具，电器 (洗碗机，冰箱，微波炉等)；

C ——设备成本，低成本时 $C=1$ ，一般成本时 $C=2$ ，高成本时 $C=3$ ；

I ——停电的损失，三个可能值：1, 2, 3，无影响时 $I=1$ ，局部受影响时 $I=2$ ，全部受影响时 $I=3$ 。

对于进线端的电涌保护器按照表 3-43 选择。

表 3-41 不同的架空线位置的 d 值

d	0	0.5	0.75	1
中压、低压和电话线的位置	完全被建筑物包围	附近很少建筑物	平坦开阔	在山顶上，水中、山上的物体，似避雷针物体

表 3-42 不同的架空线长度的 LV 值

$LV=0$	$LV=0.2$	$LV=0.4$	$LV=0.6$	$LV=0.8$	$LV=1$
地下或墙内电缆或绞线	$I=100\sim 200\text{ m}$	$I=201\sim 300\text{ m}$	$I=301\sim 400\text{ m}$	$I=401\sim 500\text{ m}$	$I > 500\text{ m}$
低压架空线长度					

表 3-43 按 E 和 R 值选择电涌保护器

$R=8/9$	40kA	65kA	65kA
$R=6/7$	15kA	40kA	65kA
$R=5$	15kA	15kA	40kA
	$E \leq 1$	$1 < E < 4$	$E \geq 4$

对于下一级电涌保护器，当存在上一级避雷器或电涌保护器的情况下，可以选择 5—8kA；末端电涌保护器，可以选择 1.5kA

由于雷电流无法精确计算，根据经验进行估计，通常进线端的电涌保护器的放电能力不超过 50kA，电涌保护器在配合比较理想的情况下，根据回路数的多少，（回路数越多，单一回路所分担的电流就越少）来估计，一般分配电电盘和配电箱内的电涌保护器为 5kA 左右，终端（插座等）为 1.5kA 左右。

(5) 频率范围应满足使用要求（天线馈线回路的频率非常高）。

(6) 脱扣装置应满足使用要求。

(7) 在电涌保护器的选择中必须注意彼此间的配合，同时也应该考虑到低压线缆的耦合效应。上一级的电涌保护器通常各项参数会高于终端的电涌保护器，下一级电涌保护器的各项参数指标都比上一级小。但如果它与上一级安装得过近，就有可能比上一级电涌保护器更早动作，从而要承受本由上一级电涌保护器承受的高能量，因此可能会引起过载、老化进而失去保护作用，甚至发生故障。但是由于雷电流和系统产生的电涌的电流都比较大，因此低压线缆的阻抗可以承担的一部分电压降，有时可以保证两级电涌保护器之间的配合。所以根据经验我们有两个基本的配合安装原则：

1) 两级电涌保护器之间的线缆连接长度大于等于 10m，这样通常就可以满足配合的要求。但是如果线缆的长度过短（<5m）则应串接去耦扼流圈（电感）。一般来说，增加一部分电感不会对系统运行产生太恶劣的影响，但电感太小却会可能是下级电涌保护器过载。一般来说 10 μ H 通常可以满足要求。

2) 电涌保护器的安装位置距离被保护设备应尽可能的近，距离不超过 15m。

(8) 不同的接地方式中电涌保护器的使用是不同的。一方面因为不同的接地方式下保护的特点不同，选择安装的配置也不同；另外一方面是电涌保护器和漏电保护装置相配合，为了避免电涌保护器动作时的电流，可能同时引起上级的漏电保护装置误动作；另外还要考虑到当电涌保护器损坏时（如电涌保护器被击穿时，使得电涌保护器成为一个连接线路和大地之间的通路），需要在它上一级安装相应的保护设备（断路器或熔断器）。

以下按照不同的接地方式分别介绍。

1) TN 系统。因为 TN 系统的接地过电流比较大，TN 系统中电涌保护器只能安装在过电流保护设备之后，以便在电涌保护器发生故障时及时切断故障，保证人员和设备的安全。同时在发生接地故障的情况下对地电压虽然会降低，但持续的时间比较短，相间和 L-N 之间的电压也不会升高，对地升高的幅度仍可以接受。在 TN 系统中使用的电涌保护器的额定电压为系统电压的 1.15 倍。如下式

$$U_c \geq 1.15 \times U_n \quad (3-34)$$

TN 系统又可以分为 TN-S、TN-C、TN-C-S 系统。在 TN-S 接地系统中，PE 线和 N 线分开，只有回路阻抗太高（回路过长）导致故障电流非常小的情况下才需要剩余电流保护。即使在这种情况下 L-N 之间的操作过电压所泄放的电流也可以从 N 线返回，不会产生使漏电保护误动的电流。因此电涌保护器安装在漏电保护之后。TN-S 接地系统的电涌保护器的安装如图 3-11 所示。

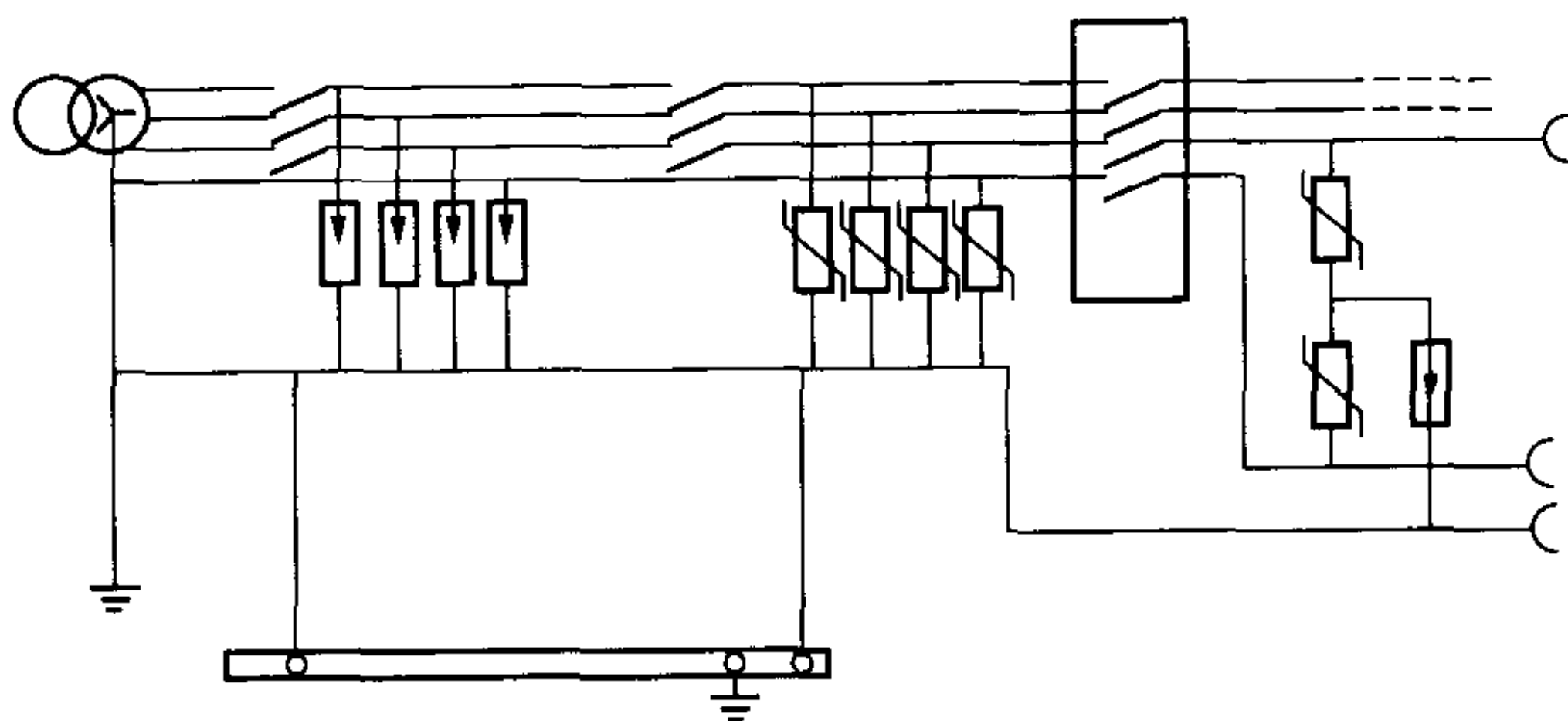


图 3-11 TN-S 接地系统的电涌保护器安装图

TN-C 接地方式下 PE 线和 N 线合并。通常情况下不需要也不能安装漏电保护装置。TN-C 接地系统的电涌保护器的安装如图 3-12 所示。

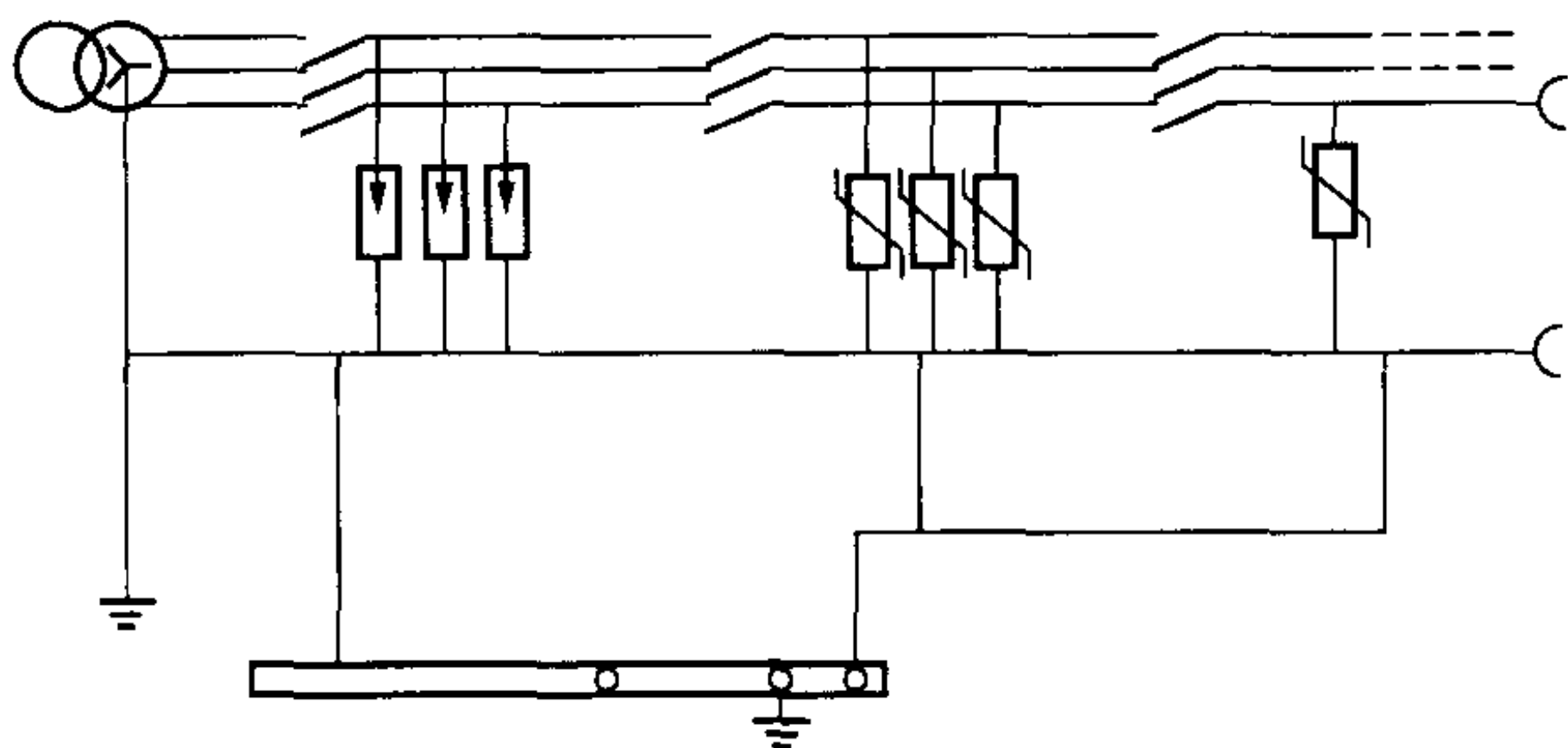


图 3-12 TN-C 接地系统的电涌保护器安装图

TN-C-S 系统中最末一级的 D 级电涌保护器的保护设备是带有漏电保护功能的断路器，应使用浪涌保护的漏电断路器。因为在 LN 之间泄放电流时，没有电流会释放到 PE。TN-C-S 接地系统的电涌保护器的安装如图 3-13 所示。

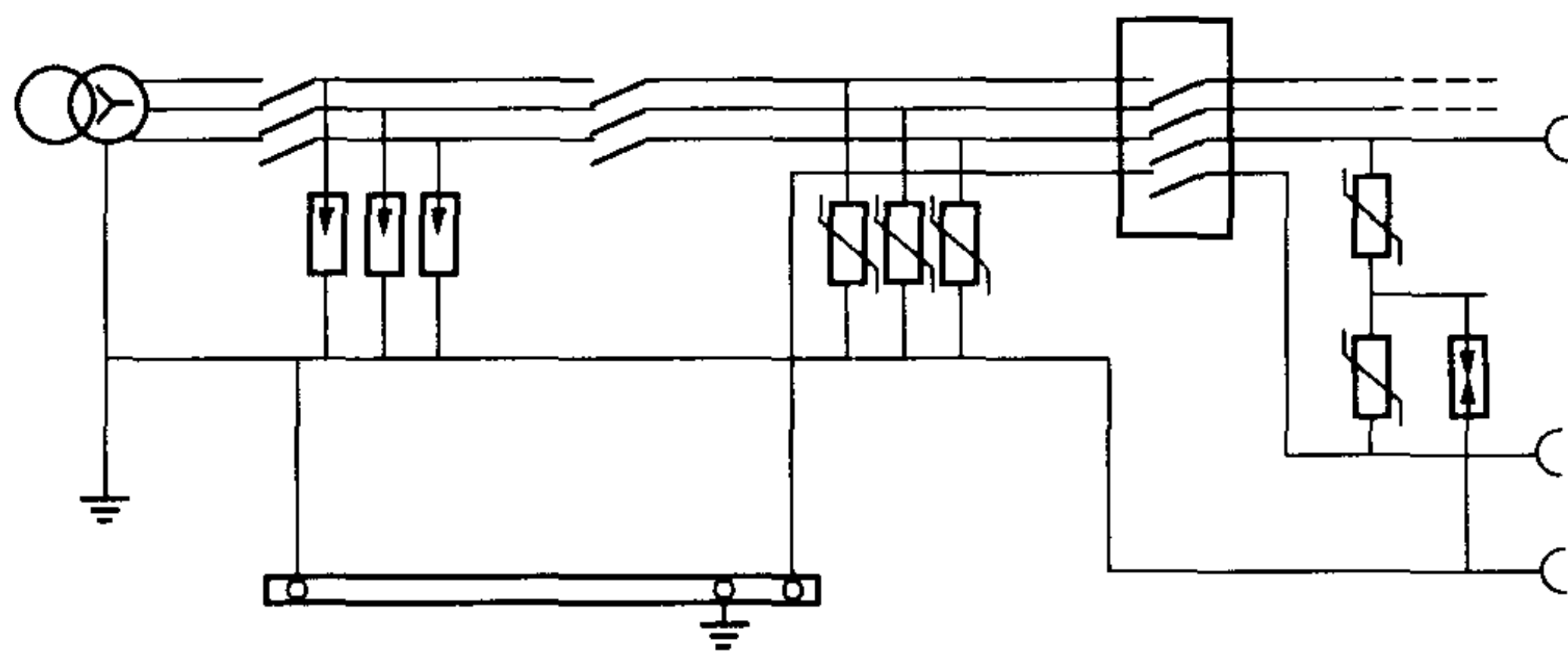


图 3-13 TN-C-S 接地系统的电涌保护器安装图

2) IT 系统。IT 系统中，单相接地时的故障电流比较小，可以在故障状态下继续运行。剩余电流保护通常动作为报警，而不是跳闸。在单相接地之后继续运行，故障相对地电压为零，中性点和非故障相对地电压会升高 $\sqrt{3}$ 倍。因此 IT 系统中的电涌保护器的额定电压应考虑故障状态下运行，如下式

$$U_c \geq 1.15 \times \sqrt{3} \times U_n \quad (3-35)$$

IT 系统中，考虑到人身和设备的安全有时也安装剩余电流保护。因此在该系统中电涌

保护器安装在漏电保护器的上口。

IT 接地系统的电涌保护器的安装如图 3-14 所示。

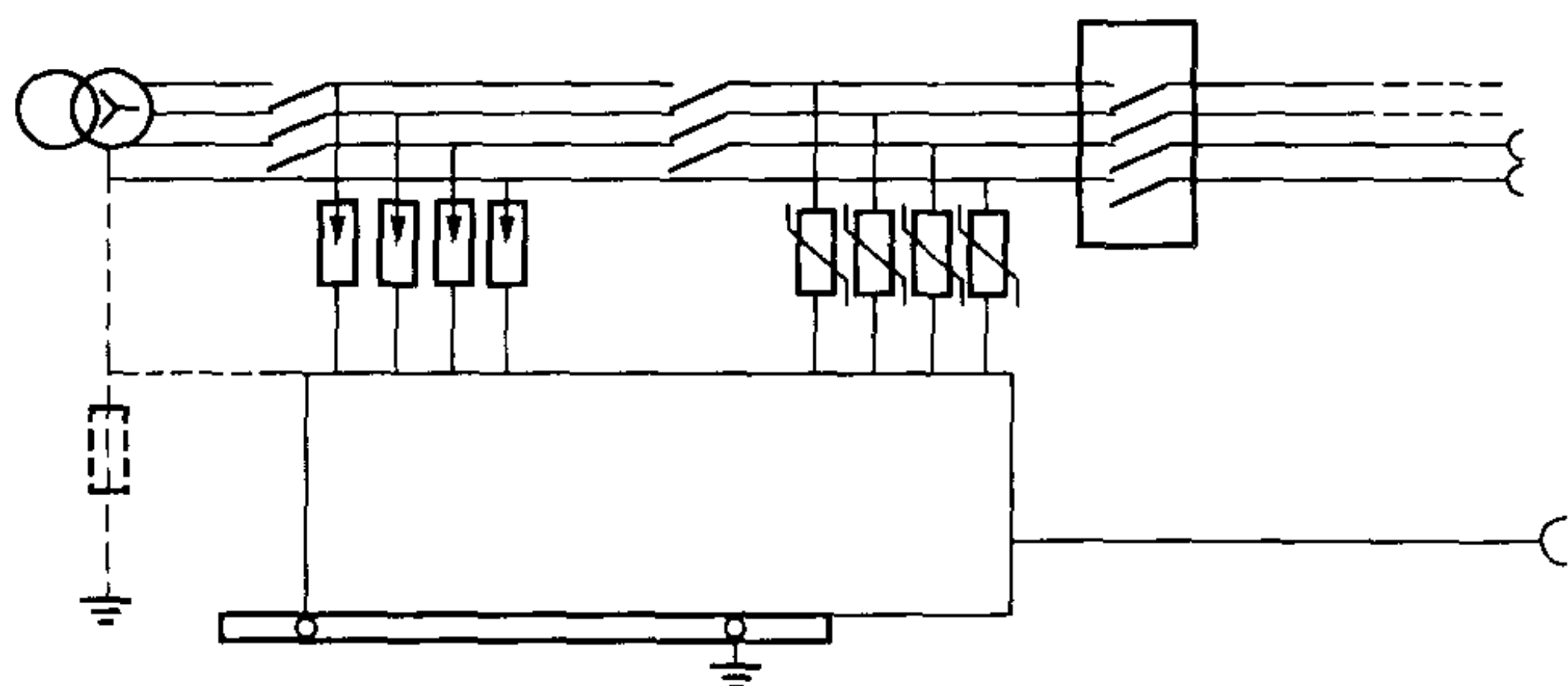


图 3-14 IT 接地系统的电涌保护器安装图

3) TT 系统。TT 系统中发生接地故障时，由于受电流接地电阻和电气设备接地电阻的影响，故障电流比较小。在系统和负荷的各种参数不利的情况下，发生接地故障时的故障电流可能不会使断路故障保护装置动作，因此需要在末端采用剩余电流保护，来保障人身和设备的安全。由于 N 线和 PE 线之间没有太多的联系，需要在 N 线和 PE 线安装雷电流避雷器。并且该雷电流避雷器必须满足比较高的要求，因为它必须能够承受 L1、L2、L3 和 N 线上的雷电流的分电流。在 TT 系统中应用电涌保护器的额定电压如下

$$L \text{ 线和 } N \text{ 线之间的电涌保护器 } U_c \geq 1.1 \times U_n \quad (3-36)$$

$$N \text{ 线和 PE 线之间的电涌保护器 } U_c \geq 1.1 \times U_n \times 0.5 \quad (3-37)$$

TT 接地系统的电涌保护器的安装如图 3-15 所示。

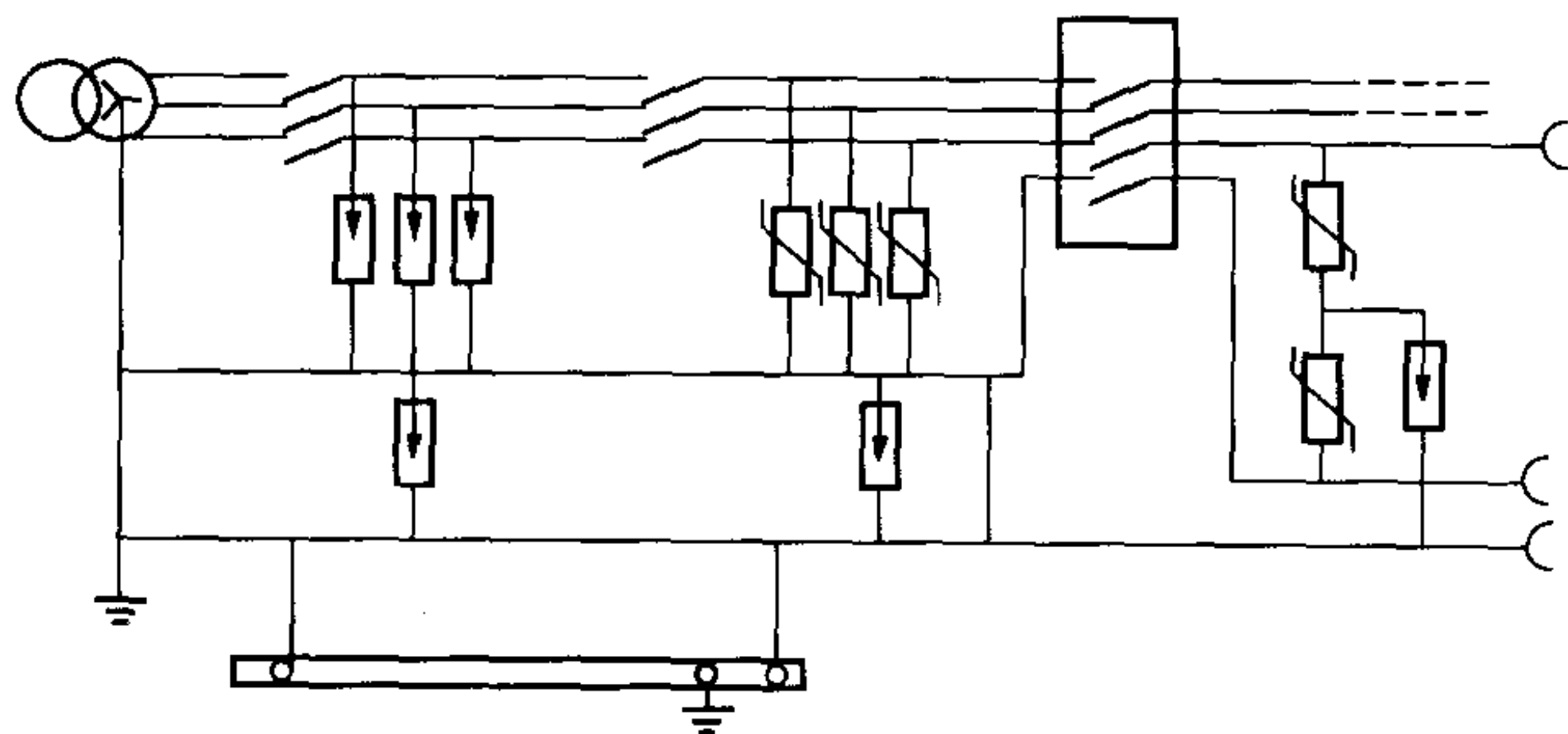


图 3-15 TT 接地系统的电涌保护器安装图

3-43 常见的电涌保护器有哪些？

目前市场上的电涌保护器产品种类繁多，国内外品牌都有，例如国外的品牌：施耐德电气公司旗下梅兰日兰品牌的 PRD 系列和 ST 系列产品，ABB 公司的 OVR 系列产品，海格公司的 SP 系列产品，德国 DEHN 公司的 DEHNguard 系列产品等，国内的品牌有：正泰公司的 Nu8 系列产品，菲尼克斯公司的 VAL 系列产品等。各种品牌的产品，因其产品特性范围不同，所用的保护、安装特性也有所差异，这就需要使用者参照具体参数和使用安装特点进行选择。例如：施耐德电气公司（梅兰日兰品牌）的 PRD

系列和 ST 系列产品，其参数可以满足大多数的要求，并且产品型号采用 1P+N 或 3P+N 的方式，具有“3+1”的接线模式特点，可以用 4 个模块满足全保护（既有差模保护又有共模保护）的功能。PRD 系列电涌保护器参数见表 3-44，ST 系列电涌保护器参数见表 3-45。

Nu8 系列电涌保护器是由正泰集团设计生产的产品，适用于交流 50/60Hz，额定电压 230V/400V 三相配电和控制系统，产品符合 GB18802.1-2002 和 IEC61643-1:1998。Nu8 系列电涌保护器参数见表 3-46。在使用中可以按照表 3-47 进行简单的选择。

表 3-44 PRD 系列电涌保护器参数

	类型	极数	I_n (kA)	I_{max} (kA)	保护等级 U_p (V)	模式	远程指示
U_{cmax} 共模 =440V 50/60Hz	PRD65r	1P	20	65	2000	共模	有
	PRD65r	3P	20	65	2000	共模	有
	PRD40r	1P	15	40	1800	共模	有
	PRD40	1P	15	40	1800	共模	没有
	PRD40r	3P	15	40	1800	共模	有
	PRD40	3P	15	40	1800	共模	没有
	PRD15	1P	5	15	1800	共模	没有
	PRD15	3P	5	15	1800	共模	没有
	PRD8	1P	2	8	1800	共模	没有
	PRD8	3P	2	8	1800	共模	没有
U_{cmax} 共模 =275V 50/60Hz	PRD65r	1P	20	65	1500	共模	有
	PRD40r	1P	15	40	1200	共模	有
	PRD40	1P	15	40	1200	共模	无
	PRD15	1P	5	15	1200	共模	无
	PRD8	1P	2	8	1200	共模	无
U_{cmax} 共模 =440V 50/60Hz 差模=275V 50/60Hz	PRD65r	1P+N	20	65	1500	共模/差模	有
	PRD65r	3P+N	20	65	1500	共模/差模	有
	PRD40r	1P+N	15	40	1200	共模/差模	有
	PRD40	1P+N	15	40	1200	共模/差模	无
	PRD40r	3P+N	15	40	1200	共模/差模	有
	PRD40	3P+N	15	40	1200	共模/差模	无
	PRD15	1P+N	5	15	1200	共模/差模	无
	PRD15	3P+N	5	15	1200	共模/差模	无
	PRD8	1P+N	2	8	1200	共模/差模	无
PRD8	3P+N	2	8	1200	共模/差模	无	

表 3-45

ST 系列电涌保护器参数

类 型	极 数	I_n (kA)	I_{max} (kA)	保护等级 U_p (V)	模 式
STH	1P	20	65	1500	共模
	1P+N	20	65	1500	共模
	3P	20	65	1500	共模
	3P+N	20	65	1500	共模
STM	1P	15	40	1200	共模
	1P+N	15	40	1200	共模
	3P	15	40	1200	共模
	3P+N	15	40	1200	共模
STD	1P	5	10	1200	共模
	1P+N	5	10	1200	共模
		3	10	1000	差模
	3P	5	10	1200	共模
	3P+N	5	10	1200	共模
		3	10	1000	差模

表 3-46

NU8 系列电涌保护器参数

产品型号	最大持续工作电压 (V)	保护水平 (kV)	标称放电电流 8/20us (kA)	最大放电电流 8/20us (kA)	被保护设备的 安装类别
NU8-5	275	1.2	5	15	I、II、III
	320	1.5			I、II、III
	385	1.8			I、II、III
	460	2.0			II、III
	510	2.5			II、III
	550	3.0			II、III
NU8-15	275	1.2	15	40	I、II、III
	320	1.5			I、II、III
	385	1.8			I、II、III
	460	2.0			II、III
	510	2.5			II、III
	550	3.0			III
NU8-25	275	1.2	25	60	I、II、III
	320	1.5			II、III
	385	1.8			II、III
	460	2.0			II、III
	510	2.5			III
	550	3.0			III
NU8-40	275	1.2	40	100	II、III
	320	1.5			II、III
	385	1.8			II、III
	460	2.0			III
	510	2.5			III
	550	3.0			III

表 3-47 不同接地方式的保护模式

最大持续工作电压 (V)	适用的接地系统	保护模式	电路的类型	极 数
275	TT	L-N	单相、三相四线	1
	TN-S	L-PE、N-PE、L-N	单相、三相五线	1、2、3、4
	TN-C	L-PE	单相、三相四线	1、2、3
320	TT	L-N	单相、三相四线	1
	TN-S	L-PE、N-PE、L-N	单相、三相五线	1、2、3、4
	TN-C	L-PE	单相、三相四线	1、2、3
385	TT	L-PE、N-PE、L-N	单相、三相四线	1
	TN-S	L-PE、N-PE、L-N	单相、三相五线	1、2、3、4
	TN-C	L-PE	单相、三相四线	1、2、3
460	TT	L-PE、N-PE、L-N、L-L	单相、三相四线	1、2、3、4
	TN-S	L-PE、N-PE、L-N、L-L	单相、三相五线	1、2、3、4
	TN-C	L-PE、L-L	单相、三相四线	1、2、3
	IT	L-PE、N-PE、L-L	单相、三相三(四)线	1、2、3、4
510	TT	L-PE、N-PE、L-N、L-L	单相、三相四线	1、2、3、4
	TN-S	L-PE、N-PE、L-N、L-L	单相、三相五线	1、2、3、4
	TN-C	L-PE、L-L	单相、三相四线	1、2、3
	IT	L-PE、N-PE、L-L	单相、三相三(四)线	1、2、3、4
550	TT	L-PE、N-PE、L-N、L-L	单相、三相四线	1、2、3、4
	TN-S	L-PE、N-PE、L-N、L-L	单相、三相五线	1、2、3、4
	TN-C	L-PE、L-L	单相、三相四线	1、2、3
	IT	L-PE、N-PE、L-L	单相、三相三(四)线	1、2、3、4

3-44 电涌保护器的选型和使用实例。

面积 10 公顷的区域内，有一座办公楼、一个门房和三座生产厂房。周围有一些建筑物（杆塔，树木等），所有建筑物都有防雷装置。中压和低压供电系统均为地下供电。各建筑物内设备被分别保护，负荷主要为：①厂房：计算机，UPS，供暖设备；②办公楼：计算机，照明，供暖，空调；③门房：所有安全系统的中央控制。生产厂房的配电装置进线端的接地系统是 TNC 系统，进入办公楼和门房后变成 TNS 系统。

根据 IEC 标准，当使用避雷针时，电涌保护器的额定电流是 $I_n(8/20) = 20\text{kA}$ 所用电涌保护器数据：

PRD 型， $I_n = 20\text{kA} - I_{\max} = 65\text{kA} - U_p = 2\text{kV}$

共模保护形式 (TNC) + 差模形式 (TNS)

每个建筑物配电盘的进线端电涌保护器都有二级保护，并进行级联设置

$I_n = 2\text{kA} - I_{\max} = 8\text{kA} - U_p = 1.5\text{kV}$

组合的断路器要求开断能力为 22kA 的断路器。

第四章

中压配电设备的选型与使用



第一节 中压配电设备的一般条件

4-1 中压配电设备的正常使用条件是什么？

中压配电设备包括下列各元件：断路器、隔离开关、负荷开关、熔断器、电抗器、电容器、避雷器、电压互感器、电流互感器、成套配电装置、组合电器、重合器、分段器、电源设备、母线、绝缘子、套管等。此外，将变压器、电动机及电线电缆也归到本章进行说明。

在选择中压配电设备时，应保证中压配电设备在正常工作条件下能可靠工作，在短路故障时不被损坏。即按长期正常工作条件选择参数，按环境条件选择结构类型，按短路情况进行校验。

我国对正常使用条件规定如下：

(1) 户内配电设备。

1) 周围空气温度：最高 40℃；24h 平均值不超过 35℃，最低 -15℃ ~ -25℃。

2) 海拔：正常为 ≤1000m，当超过 1000m 时，(1000m < H < 4000m) 试验电压修正为 $U_t = U_0 \times k_a$ ($k_a = 1/(1.1 - H \times 10^{-4})$)，例如：35kV 断路器，用于 3000m 时的 U_t ， $U_0 = 80\text{kV}$ ， $U_t = 80 \times [1/(1.1 - 3000 \times 10^{-4})] = 100\text{kV}$ 。

3) 周围空气没有明显的尘埃、烟、腐蚀性或可燃性气体，水蒸气或盐的污染。

4) 湿度：日相对湿度平均值不大于 95%，月相对湿度平均值不大于 90%。

5) 地震烈度：对尺寸较小的产品不予考虑，如有必要按 8、9 度考虑。

6) 公称爬电比距—即外绝缘爬电距离与其最高电压之比（见表 4-1、表 4-2），实际的爬电比距要求为最小的公称爬电比距乘 α 。

表 4-1 户内开关设备外绝缘最小公称爬电比距要求

污秽等级	污秽导电率 (μs)		等值盐密 (mg/cm)		最小公称爬电比距 (mm/kV)	
	范围	参考值	范围	参考值	瓷质材料	有机材料
I	5~10	7	0.01~0.02	0.015	14	16
IIA	12~16	14	0.02~0.04	0.03	18	20

注 根据实验室试验经验，表列爬电比距值允许减小（例如对特殊型式的耐污绝缘子）。

7) 单纯以空气作为绝缘介质的开关柜，柜内各导体的相间与对地净距应符合表 4-3 的要求。

8) 无线电干扰电压，在 $1.1U/\sqrt{3}$ 下 (U 为产品额定电压) 的无线电干扰电压不得超过 $500\mu\text{V}$ 。

表 4-2 最小公称爬电比距的应用系数

绝缘的应用		应用系数 α
相对地		1
相间		$\sqrt{3}$
断路器断口间	3.6~252 (245) kV	1.0
	363~550kV	1.2
隔离断口间 (包括起联络作用的断路器断口和起隔离作用的负荷开关断口)	3.6~252 (245) kV	1.15
	363~550kV	1.2

表 4-3 开关柜内各相导体相间与对地净距 (海拔 $\leq 1000\text{m}$)

额定电压 (即最高电压) (kV)	7.2	12 (11.5)	24	40.5
导体至接地间净距	100	125	200	300
不同相的导体之间净距	100	125	180	300
导体至无孔遮栏间净距	130	155	210	330
导体到网状遮栏间净距	200	225	280	400

注 海拔超过 1000m 时, 前两项按每升高 100m 增大 1% 修正, 后两项分别增加前两项的修正值。

(2) 户外配电设备。

1) 周围空气温度: 最高 40°C (24h 平均值不超过 35°C), 最低 $-35 \sim -45^{\circ}\text{C}$ (SF_6 断路器可根据产品使用压力和液化温度适当提高周围空气温度最低值)。

日温差: 一般地区为 25°C , 特殊地区为 32°C 。

2) 海拔: 同户内配电设备。

3) 公称爬电比距:

I 级污秽地区 $\geq 16\text{mm/kV}$;

II 级污秽地区 $\geq 20\text{mm/kV}$;

III 级污秽地区 $\geq 25\text{mm/kV}$;

IV 级污秽地区 $\geq 31\text{mm/kV}$ 。

实际的和上述公称比距乘以应用系数 α (见表 4-2)。

4) 覆冰:

1 级 (一般地区) 覆冰层不超过 1mm;

10 级 (较重地区) 覆冰层不超过 10mm;

20 级 (重地区) 覆冰层不超过 20mm。

5) 风压不超过 700Pa (对应 34m/s 风速)。

6) 应考虑有凝露或雨, 温度突变及阳光辐射影响 (阳光辐射强度为 $0.1\text{W}/\text{cm}^2$), 制造部门如无说明, 则设计时可按额定电流的 80% 考虑。

7) 耐地震能力: 同户内配电设备。

8) 无线电干扰电压: 同户内配电设备。

4-2 中压配电设备主要参数如何选择?

在上述正常使用条件基础上, 对设备的长期工作条件各参数进行选择。

(1) 设备的额定电压 (即最高电压) 应不小于所在电网的最高运行电压, $U_{\text{Nd}} \geq U_{\text{Nx}}$ 。

(2) 设备的额定电流, 应不小于该回路在各种合理运行方式下的最大持续工作电流, $I_{\text{Nd}} \geq I_{\text{gmax}}$ 。

对户外隔离开关，考虑长期暴露于空气，触头会发生氧化使温升偏高，故其额定电流应留有一定裕度。

(3) 按开断电流选择（对有要求的设备，如断路器）。

断路器的额定开断电流应不小于可能开断的最大电流。

即
$$I_{Nd}^{(3)} \geq I_k^{(3)} \quad \text{或} \quad S_{Nd} \geq S''$$

式中 S_{Nd} , I_{Nd} ——断路器的额定断流容量和断流量；

S'' 和 $I_k^{(3)} = I''$ —— O_s 短路容量和次暂态电流。

(4) 额定绝缘水平。配电设备的绝缘水平按电力网中可能出现的各种作用电压、保护装置特性及设备绝缘特性等因素来确定，从而保证配电设备的绝缘在工作和过电压作用下具有足够的可靠性，在表 4-4 中列出了 $1\text{kV} \leq U_n \leq 252\text{kV}$ 范围的设备的标准绝缘水平。

表 4-4 电压 $1\text{kV} \leq U_n \leq 252\text{kV}$ 的标准绝缘水平 kV (GB 311.1—1997)

系统标称电压 (有效值)	设备最高电压 (有效值)	额定雷电冲击耐受电压 (峰值)		额定短时工频耐受电压 (有效值)
		系 列 I	系 列 II	
3	3.5	20	40	18
6	6.9	40	60	25
10	11.5	60	75	30/42***, 35
			95	30/42***, 35
15	17.5	75	95	40, 45
			105	40, 45
20	23.0	95	125	50, 55
35	40.5	185/200*		80/95***; 85
66	72.5	325		140
110	126	450/480*		185, 200
220	252	(750)**		(325)**
		850		360
		950		395
		(1050)**		(460)**

注 3~15kV 系列 I 仅用于中性点直接接地系统。

* 该栏斜线下数据使用于变压器类设备的内绝缘。

** 220kV 设备，括号内数据不推荐使用。

*** 为设备外绝缘在干燥状态下之耐受电压。

(5) 校验短路的稳定性。

1) 一般原则。

a) 应按最大可能通过的短路电流进行动稳定和热稳定校验。

b) 用熔断器保护的配电设备可不校验热稳定。当熔断器有限流作用时，可不校验动稳定，用熔断器保护的电压互感器可不校验动热稳定。

2) 动稳定校验。所谓动稳定校验是指在冲击电流作用下，配电设备的载流部分所产生的电动力是否能导致断路器的损坏，配电设备的极限电流必须大于三相短路时通过配电设备的冲击电流。即

$$i_{\max} \geq i_{sh} \quad \text{或} \quad I_{\max} \geq I_{sh}$$

式中 i_{\max} , I_{\max} ——配电设备允许的动稳定电流幅值和有效值，kA；

i_{sh} , I_{sh} ——配电设备的短路冲击电流幅值和有效值，kA。

3) 热稳定校验。所谓热稳定校验是指短路电流 I_∞ 在假想时间内通过断路器时, 其各部分的发热不会超过规定的最大允许温度, 即

$$I_t^2 t \geq I_\infty^2 t_{\text{ima}}$$

式中 I_t, t ——制造厂给出的允许通过的热稳定电流和持续时间, kA 和 s, 旧产品为 1, 5, 10s, 新产品为 4s;

I_∞ ——稳态短路电流, kA;

t_{ima} ——假想时间。

$$t_{\text{ima}} = t_k + 0.05 \left(\frac{I''}{I_\infty} \right)^2$$

在无限大容量电源供电系统中 $I'' = I_\infty$, 故 $t_{\text{ima}} = t_k + 0.05\text{s}$, 当 $t_k > 1\text{s}$ 时, $t_{\text{ima}} \doteq t_k$,

$$t_k = t_{\text{op}} + t_{\text{oc}}$$

式中 t_{op} ——继电保护动作时间;

t_{oc} ——断路器全分断时间 (固有分闸时间加灭弧时间), 一般断路器 $t_{\text{oc}} = 0.2\text{s}$ 高速断路器, $t_{\text{oc}} = 0.1 \sim 0.15\text{s}$ 。

对母线及电线电缆等导体, 满足热稳定的等效条件是

$$A \geq A_{\text{min}} = \frac{I_\infty \times 10^3}{C} \sqrt{t_{\text{ima}}}$$

式中 I_∞ ——稳态短路电流, kA;

A ——导体截面积, mm^2 ;

A_{min} ——满足热稳定的最小允许截面积, mm^2 ;

C ——导体的热稳定系数 (见表 2-10)。

(6) 机械载荷。所选设备的端子的允许负载, 应大于设备引线在正常运行和短路时的最大作用力。

对于两根平行导体, 当通过电流为 i_1 和 i_2 时, 其相互间的作用力为

$$F = 2i_1 i_2 k_f \frac{L}{a} \times 10^{-7}$$

式中 i_1, i_2 ——两导体中电流瞬时值, A;

L ——平行导体长度, m;

a ——两平行导体中心线距, m;

k_f ——相邻矩形截面形状系数 (见图 2-10)。

在三相系统中, 当三相导体在同一平面布置时, 受力最大的是中间相, 在发生三相短路故障时, 短路电流冲击值通过导体中间相产生的电动力为

$$F_{\text{max}}^{(3)} = \sqrt{3} k_f i_{\text{sh}}^2 \frac{L}{a} \times 10^{-7}$$

式中 $F_{\text{max}}^{(3)}$ ——中间相导体所受的最大电动力, N;

i_{sh} ——三相短路电流冲击值, kA。

由上式可见, 当 L, a 和 k_f 为定值时, F_{max} 仅与电流有关, 故对一般电器, 其动稳定性可用极限通过电流 (即额定峰值耐受电流) 来表示。



第二节 变压器选型与使用

4-3 电力变压器是怎么分类的?

电力变压器是电网中直接使用的变压器的总称,它包括有升压变压器($>500\text{kVA}$)、降压变压器($>500\text{kVA}$)、配电变压器($3\sim 500\text{kVA}$)、联络变压器(连接不同电压等级的电网)及厂(所)用电变压器(电厂或变电所自用)。按冷却方式可以分为:油浸式变压器、干式变压器、特殊液体冷却(如硅油)变压器和充气式(SF_6)变压器。而油浸式变压器又可分为油浸自冷、油浸风冷、油浸水冷、强迫油循环水冷、强迫油循环风冷变压器;干式变压器又可分为空气自冷、强迫空气冷却、浇注式绝缘变压器。按相数可分为单相和三相;按绕组数可分为双绕组和三绕组;按调压方式可分为无载调压和有载调压;按绕组耦合方式可分为自耦和互耦;按铁芯结构可分为芯式和壳式。

4-4 电力变压器有哪些参数和特性?

电力变压器的参数和特性如下:

(1) 额定容量(kVA),即在额定条件下运行时的最大负荷功率。一般不大于 630kVA 的为小型变压器, $800\sim 6300\text{kVA}$ 为中型变压器; $8000\sim 63000\text{kVA}$ 为大型变压器;不小于 90000kVA 为特大型变压器。

(2) 额定电压(kV)分为一、二次电压。一般分为 400V , 3 , 6 , 10 , 35 , 66 , 110 , 220 , 330 , 500kV ;分接头用 $\pm 2\times 2.5\%$ 或 $\pm 5\%$ 来表示。

(3) 额定频率:有 50 、 60Hz 等,我国为 50Hz 。

(4) 阻抗电压:变压器的阻抗百分数(即短路阻抗和额定阻抗之比)等于变压器的短路电压百分数(即短路电压和额定电压之比)。所谓短路电压是二次短路时,一次通额定电流时所测得一次电压。此值对计算短路电流及变压器并联运行是一个十分重要的参数,其允许误差为 $\pm 10\%$,对 $6\sim 35\text{kV}$ 的变压器其值为 $4\%\sim 8\%$,这在变压器铭牌上就有表示。

(5) 空载损耗(简称铁耗)(kW)。这是由励磁电流所引起的在铁芯中的功率损耗,可分为涡流和磁滞损耗两类。

(6) 短路损耗(简称铜耗)(kW)这是由变压器的负荷和磁化电流在一、二次绕组电阻上的功率损耗。

(7) 空载电流(A)。通常以额定电流的百分数来表示,中小型变压器一般为 $2\%\sim 8\%$,大型的小于 10% ,允许偏差 22% 。

(8) 温升($^{\circ}\text{C}$)。这是绕组对空气的平均温升。对油浸变压器是绕组对油的平均温升和油对空气的平均温升之和。

(9) 过负荷能力,可分为正常过负荷和事故过负荷两类。在不降低正常使用寿命下允许的过负荷称为正常过负荷,对过负荷的时间是有规定的。此时间应由制造厂提供。

(10) 基本冲击电压水平 BIL (Basic Impulse Level)。冲击电压试验是在变压器端子上加一种模拟雷电波形的标准冲击波以考核变压器的主,纵绝缘的冲击强度,在制造厂作型式试验时进行。

(11) 噪声水平(dB)。一般控制在 50dB 左右。

(12) 极性。这对单相变压器有规定，我国生产的一般为减极性。

(13) 绕组联接组，这对三相变压器有规定。常用的有 Yd11、Dy11、Yy12 及 Dd12 四种组别。对 10kV 配电变压器有 Yyn0 和 Dyn11 两种常用的联接组，Dyn11 联接组的变压器具有低压侧单相接地短路电流大的特点，有利于故障切除，且承受三相不平衡负荷的能力强，高压侧△接线有利于抑制零序谐波电流注入电网等优点。在 TN 及 TT 系统接地形式的低压电网中得到广泛应用。

注：TN 系统指在电源中性点直接接地方式下，电气设备外露可导电部分用公共保护中性线与系统中性点相连接的三相低压配电系统。

TT 系统指在电源中性点直接接地方式下，电气设备外露可导电部分与电源引出线无关的各自独立接地体连接后，进行直接接地的三相四线制低压配电系统。

在表 4-5~表 4-8 中列出国内外生产的某些电力变压器的技术数据。

变压器的型号表示如下：

1—相数 (D—单相，S—三相)

2—冷却方式 (J—油浸自冷 (可不标)，G—干式空气自冷，C—干式浇注绝缘，F—油浸风冷，S—油浸水冷)

3—循环方式 (自然循环不标，P—强迫循环)

4—绕组数 (双绕组不标，S—三绕组，F—双分裂绕组)

5—调压方式 (无载调压不标，Z—有载调压)

6—设计序号

7—额定容量 (kVA)

8—高压侧额定电压等级 (kV)

表 4-5 S₉ 型三相铜线低损耗电力变压器技术数据

额定容量 (kVA)	电压组合 (kV)			联结 组别	损耗 (kW)		短路阻抗 (%)	空载电流 (%)
	高 压 (kV)	高压分接 范 围	低 压 (kV)		空 载	负 载		
30	6; 6.3; 10; 10.5; 11	±2×2.5% 或±5%	0.4	Yyn0 Dyn11	0.13	0.60	4	2.8
50					0.17	0.87		2.5
63					0.20	1.04		2.4
80					0.25	1.25		2.2
100					0.29	1.50		2.1
125					0.34	1.80		2.0
160					0.40	2.20		1.9
200					0.48	2.60		1.8
250					0.56	3.05		1.7
315					0.67	3.65		1.6
400					0.80	4.30		1.5
500					0.96	5.10		1.4
630					1.20	6.20		4.5
800					1.40	7.50	1.2	
1000					1.70	10.30	1.1	
1250					1.95	12.80	1.0	
1600					2.40	14.50	6	0.9
2000					3.00	18.00		0.8

表 4-7 10kV 三相油浸配电变压器技术数据 (ABB 公司产)

额定容量 (kVA)	短路阻抗 U_k (%)	空载损耗 (W)	负载损耗 (W) 75℃	油重 (kg)	噪声 (dB)	额定容量 (kVA)	短路阻抗 U_k (%)	空载损耗 (W)	负载损耗 (W) 75℃	油重 (kg)	噪声 (dB)
50	4	190	1100	90	55	630	4	1300	8400	350	70
		125	1350	90	47			1300	6500	410	70
		125	1100	90	47			860	6500	390	60
		125	875	100	47			860	5400	340	60
100	4	320	1750	130	59	630	6	1200	8700	410	70
		210	2150	150	49			1200	6750	390	70
		210	1750	145	49			800	8700	360	60
		210	1475	150	49			800	6750	400	60
160	4	460	2350	180	62	800	6	1300	10000	490	72
		300	3100	180	52			1300	8500	430	72
		300	2350	180	52			920	10000	460	62
		300	2000	180	52			920	8500	460	62
200	4	550	2850	200	65	1000	6	1700	13000	610	73
		360	3800	215	55			1700	10500	500	73
		360	2850	200	55			1100	13000	550	63
		360	2450	200	55			1100	10500	510	63
250	4	650	3250	205	65	1250	6	2100	15400	640	75
		425	4200	215	55			2100	13000	600	75
		425	3250	205	55			1320	15400	605	65
		425	2750	200	55			1320	13000	620	65
400	4	930	6000	270	68	1600	6	2600	20000	900	76
		930	4600	260	68			2600	17000	680	76
		610	6000	280	58			1700	20000	640	66
		610	4600	260	58			1700	17000	750	66
		610	3850	340	58						
500	4	1100	5500	280	69	2000	6	3100	21000	870	80
		730	5500	310	59			2100	21000	870	70

- 注 1. 高压侧可制作到 36kV。
 2. 上表低压侧为 0.4kV, 分接头为 $\pm 2 \times 2.5\%$ 。
 3. 表中每项第四种为低损耗变压器。

表 4-8 树脂型干式变压器 (真空浇注绕组) — ABB 公司产

额定电压 (kV)	12															
额定容量 (kVA)	50	100	160	250	315	400	500	630	800	1000	1250	1600	2000	2500	3150	
空载损耗 (W)	350	440	610	820	1100	1150	1350	1370	1800	2000	2504	2800	3600	4300	6000	
空载损耗 (W) 75℃	1230	1760	2380	3080	3780	4310	5630	6690	8010	8900	11130	12460	16200	18900	22500	
负载损耗 (W) 120℃	1400	2000	2700	3500	4300	4900	6400	7600	9000	10000	12500	14000	18000	21000	25000	
短路阻抗 (%)	4							6								

续表

额定电压(kV)	36														
额定容量(kVA)	50	100	160	250	315	400	500	630	800	1000	1250	1600	2000	2500	3150
空载损耗(W)	—	—	960	1280	1500	1650	1950	2200	2800	3100	3700	4200	5000	5800	7500
负载损耗(W) 75℃	—	—	2500	3520	4220	5020	6250	7040	8630	10240	12280	15130	18900	22500	26100
负载损耗(W) 120℃	—	—	2900	4000	4800	5700	7100	8000	9700	11500	13800	17000	21000	25000	29000
短路阻抗(%)	6														

4-5 如何选择电力变压器的台数和容量?

(1) 电力变压器台数选择。在 SDJ 2—88 规程中关于变电所主变压器选择作如下规定：主变压器容量和台数的选择应根据《电力系统设计技术规程》SDJ 61—1985 有关规定和审批的电力系统规划设计决定进行。凡装有两台（组）及以上主变压器的变电所，其中一台（组）事故停运后，其余主变压器的容量应保证该所全部负荷的 70%。在计及过负荷能力的允许时间内，应保证用户的一、二级负荷。如变电所有其他能源保证在变压器停运后用户的一级负荷，则可装设一台主变压器。

在工程设计中，一般符合下列条件之一时，宜装设两台及以上变压器。

- 1) 有大量的一、二级负荷。
- 2) 季节性负荷变化较大。
- 3) 集中负荷容量较大，虽为三级负荷，但一台变压器供电容量不够。

(2) 电力变压器容量选择。为了正确地选出变压器的额定容量，应绘制年及日负荷曲线，且从曲线上得出年及日最高负荷和平均负荷，同时还应考虑 5~10 年的发展规划。

对仅有一台变压器运行的变电所，其变压器容量应满足： $S_{NT} > S_C$ （ S_C 为计算负荷）考虑节能和余量，变压器负荷率一般取 70%~85%。

对有两台变压器运行的变电所，通常采用等容量的变压器，每台容量应满足：

1) 满足总计算负荷的 70% 的需要即 $S_{NT} = 0.7S_C$ ，因此变电所总安装容量为 $2 \times 0.7S_C = 1.4S_C$ (kVA)。

2) 满足全部一、二级负荷的需要。即 $S_{NT} > S_{C(I+II)}$ 当两台变压器运行时，每台变压器各承受计算负荷的 50%，负载率平均为 0.7。事故情况下，一台变压器承受总计算负荷时，只过载 40%，可继续运行一段时间，此时可切除三级负荷和调整生产。一台变压器仍能保证一、二级负荷的供电。

变压器容量还应能满足大型电动机及其他冲击负荷的要求，一般规定电动机非频繁启动时，母线电压不宜低于额定电压的 85%。

供配电变压器容量一般不宜大于 1250kVA，当用电设备容量较大，负荷集中且运行合理时，也可选用 1600~2000kVA 的变压器。

当选用两台不同容量变压器时，每台容量可按下列条件选择：

$$S_{NT1} + S_{NT2} > S_C$$

$$\text{且} \quad S_{NT1} \geq S_{C(I+II)}$$

$$S_{NT2} \geq S_{C(I+II)}$$

应满足 5~10 年负荷增长的需要。

4-6 配电变压器选型使用实例 1。

新建变电所，电压等级为 10/0.38kV，变压器在屋外场地。其用户的总计算负荷为 3600kVA，其中一、二级负荷为 1800kVA， $\cos\varphi=0.8$ 。试选择配电变压器形式，台数和容量。

(1) 选择变压器形式。由于变压器置于屋外，故选用油浸变压器 S_9 型 10/0.4kV 三相双绕组变压器。无载调压，分接头 $\pm 5\%$ ，联结组别 Dyn11。

(2) 选择变压器台数。因一、二级负荷的占有总负荷的比例较大，故采用两台等容量的变压器。

(3) 选择变压器容量。根据供电要求，采用无功补偿将 $\cos\varphi$ 从 0.8 提高到 0.9 则无功补偿后的总计算负荷为 $3600\text{kVA} \times 0.8/0.9 = 3200\text{kVA}$ ，其中一、二级负荷为 $1800\text{kVA} \times 0.8/0.9 = 1600\text{kVA}$ 。

按规定每台变压器应满足下列条件：

(1) 满足总计算负荷 70% 的需要，即为 $0.7 \times 3200\text{kVA} = 2240\text{kVA}$ 。可选 2000kVA (每台)

(2) 满足全部一、二级负荷需要，即为大于 1600kVA。

这样，当两台变压器运行时，每台变压器各承受总计算负荷的 50%，即 1600kVA，负载率为 0.8；在事故情况下，一台变压器承受总计算负荷时，过载 60%，允许时间为 45 分钟，在此期间可迅速切除三级负荷，确保一、二级负荷。

根据上述情况，故初选每台变压器容量为 2000kVA。

4-7 配电变压器选型使用实例 2。

某居民区，共 1000 户，每户平均用电 6kW，用电同时系数为 0.9，平均功率因数为 0.8，试选择配电变压器的形式、台数和容量。

配电变压器总容量可按下式计算

$$S = PWk / \cos\varphi = 6 \times 1000 \times 0.9 / 0.8 = 6750\text{kVA}$$

式中 P ——每户平均用电；

W ——户数；

k ——同时系数。

考虑到用电量的发展可以选择三台 2500kVA S_9 型油浸变压器，电压为 10/0.4kV。也可选用五台 1500kVA 的箱式变压器，电压为 10/0.4kV。



第三节 三相异步电动机的选型和使用

4-8 三相异步电动机三种运行状态如何判断？

三相异步电动机是应用最为广泛的电动机。在电力系统中占总用电量的 60% 以上。所

谓“异步”是指电动机的额定转速和其同步转速之间有一个滑差而言。这个滑差是必须存在的，它使转子绕组或铜条在定子旋转磁场作用下产生感应电动势和电流，从而和定子旋转磁场相互作用使转子发生旋转，因此，也称为感应电动机。

从电机学可知，异步电动机的电磁转矩 M 在外加电压及频率不变时，它只随滑差 S 而变，所以 $M = f(S)$ 的关系曲线也称为异步电动机的机械特性，在图 4-1 中给出了这种曲线。

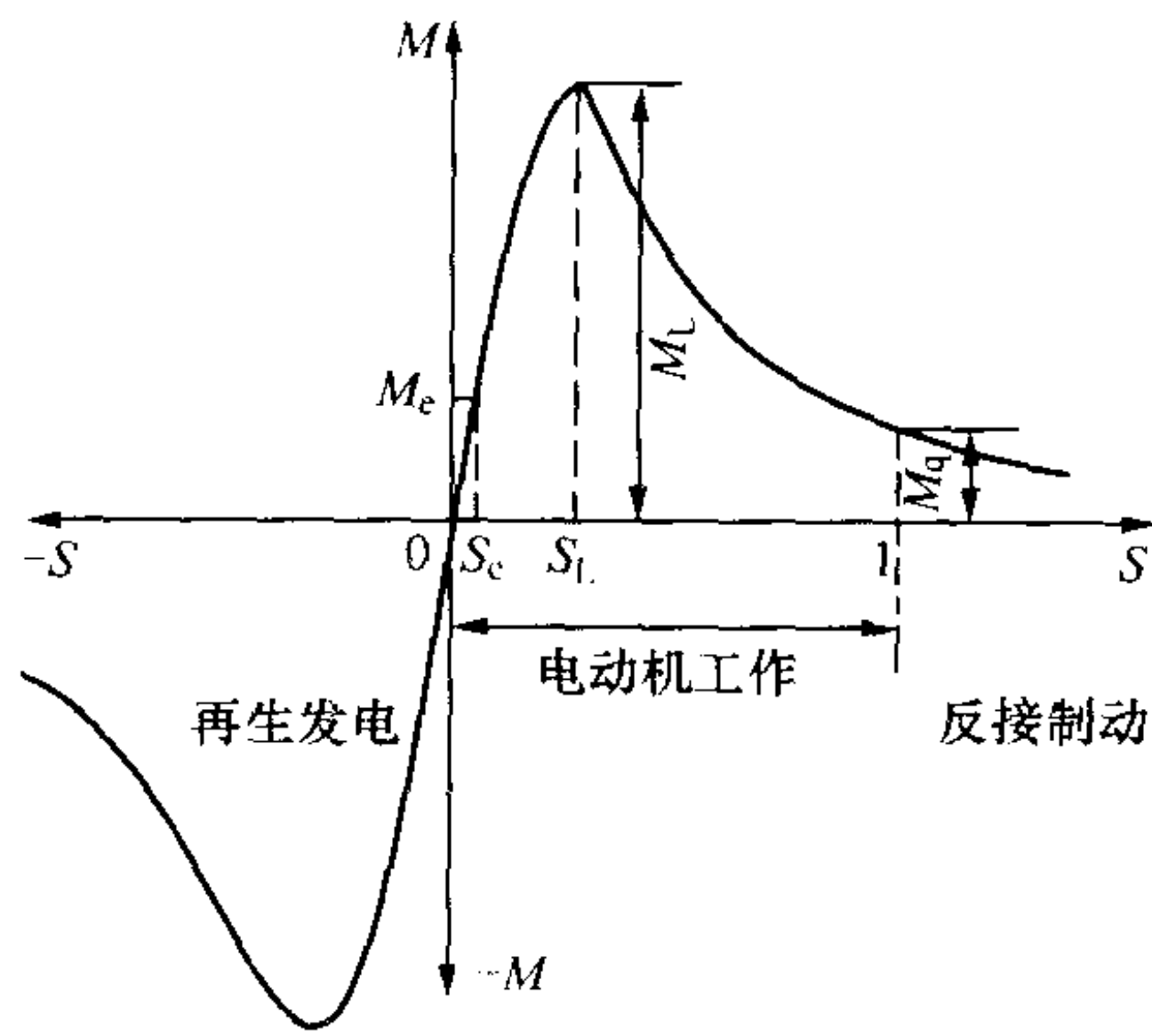


图 4-1 异步电动机自然机械特性曲线 $M = f(S)$

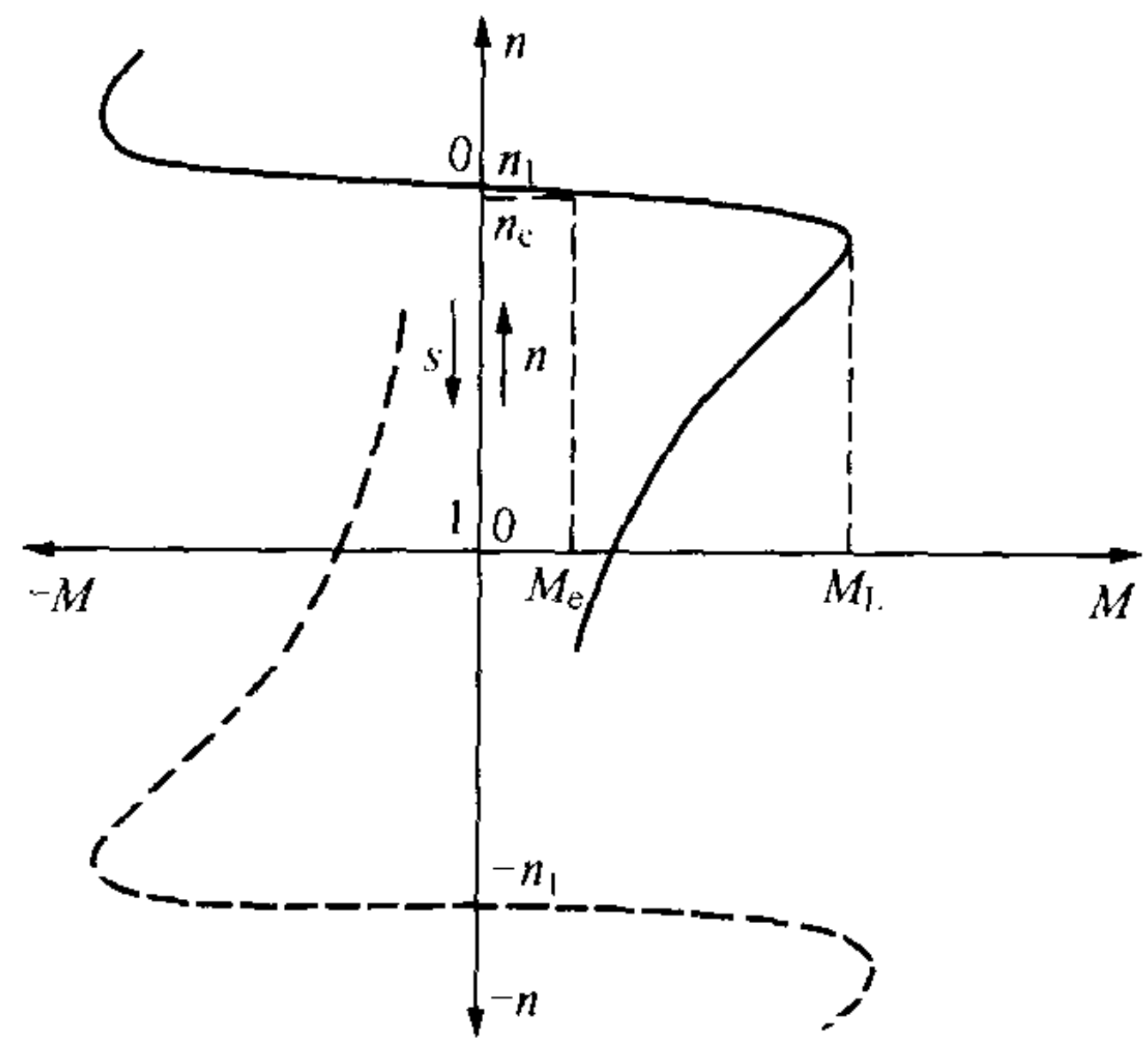


图 4-2 异步电动机自然机械特性曲线 $n = f(M)$

从图 4-1 可见，曲线表示了电机的三种运行状态： $0 < S < 1$ 为电动机工作状态； $S > 1$ 为反接制动工作状态； $S < 0$ 为再生发电工作状态。我们知道转速和滑差的关系为 $n = (1 - S)n_1$ (n_1 为同步转速)，用此关系将图 4-1 的纵横坐标转化为 M 和 n ，并将图像顺时针转 90° ，则可得到常用的 $n = f(M)$ 关系曲线（见图 4-2）。在 NEMA (National Electrical Manufacturers Association—(美国) 全国电气制造商协会) 标准中，给出了四种不同的特性曲线，它用于不同用途的被拖动机械（见图 4-3）。

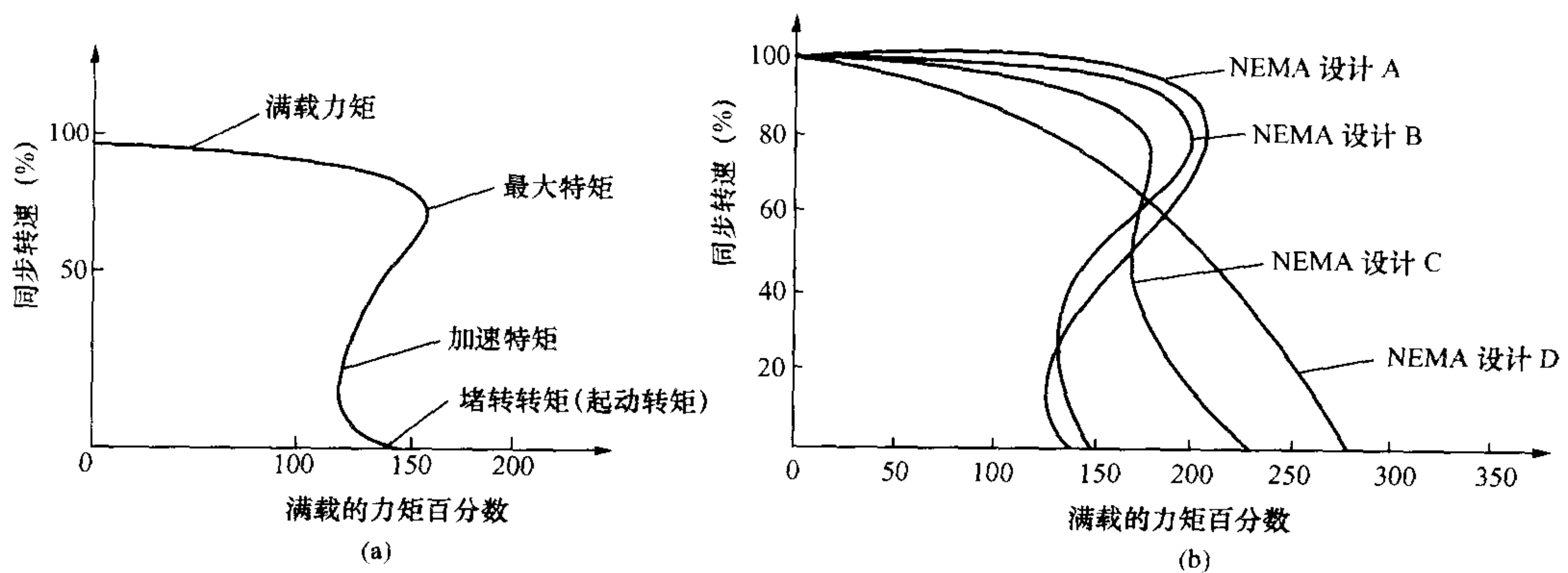


图 4-3 NEMA 电动机的 $M = f(n)$ 曲线
(a) 典型；(b) 设计

4-9 试说明异步电动机的工作特性。

从机械特性曲线可知（见图 4-1）有三个重要的转矩值。

（1）额定电磁转矩和额定转差率。所谓额定电磁转矩是在额定电压和电流等额定条件下的电磁转矩，此时的转速称为额定转速。额定电磁转矩减去空载转矩就是额定负载转矩—即额定转矩，可从铭牌数据中求得。（ $M_e = 975 P_e / n_e \text{kgm}$ ，式中 P_e 为电动机额定容量（kW）额定转差率 $S_e = n_1 - n_e / n_1$ ，一般 $S = 0.02 \sim 0.06$ ）。

（2）起动转矩。电动机刚起动时， $S = 1$ ，故起动转矩 M_g 就是 $S = 1$ 时的电磁转矩。

（3）最大转矩和临界转差率。产生最大转矩时的转差率称为临界转差率。临界转差率是机械特性的稳定和不稳定区域的分界线，以 S_L 表示；从 $S = S_L$ 到 $S = \infty$ 为不稳定区，从 $S > 0 \sim S = S_L$ 是稳定区。因此必须选择稳定区域。 S_L 对应的 M_L 是最大转矩，通常在产品说明上用过载能力表示。（即 $\lambda_M = M_L / M_e$ ）一般对统线式异步电动机 $\lambda_M = 1.7 \sim 2.8$ ，对鼠笼型电动机 $\lambda_M = 1.65 \sim 2.8$ 。

在绘制曲线 $M = f(S)$ 时可采用下列实用公式

$$M = 2M_L \frac{S}{S_L} + \frac{S_L}{S}$$

$$M_L = \lambda_M M_e$$

$$M_e = 975 P_e / n_e (\text{kgm})$$

$$S_L = S_e (\lambda_M + \sqrt{\lambda_M^2 - 1})$$

计算例：已知三相异步电动机的数据为：

$P_e = 7.5 \text{kW}$ ， $n_e = 945 \text{rpm}$ ， $U_{1e} = 380/220 \text{V}$ ， $I_{1e} = 20.9 \text{A}$ ， $\lambda_M = 2.8$ ，试求 $M = f(S)$ 曲线。

解：

$$M_e = 975 P_e / n_e = 975 \times \frac{7.5}{945} = 7.73 \text{kgm}$$

$$M_L = \lambda_M M_e < 2.8 \times 7.73 = 21.6 \text{kgm}$$

$$S_e = n_1 - n_e / n_1 = 1000 - 945 / 1000 = 0.055$$

$$S_L = S_e (\lambda_M + \sqrt{\lambda_M^2 - 1}) = 0.055 (2.8 + \sqrt{2.8^2 - 1}) = 0.3$$

代入上式

$$M = 2 \times 21.6 \frac{0.3}{S} + \frac{S}{0.3}$$

取不同的 S 值算得的 M 值见表 4-9，由表数值可绘出 $M = f(S)$ 曲线。

表 4-9

$M = f(S)$ 关系曲线值

S	1	0.9	0.8	0.7	0.5	0.3	0.2	0.1	0.055
M (kgm)	11.9	12.95	14.25	15.65	19	21.6	20	13	7.67

4-10 试说明异步电动机的起动方法。

异步电动机的起动特性可用下列三个参数来表征，即起动转矩、起动电流和允许的起动时间。一般情况下，对鼠笼式电动机可采用额定电压下直接起动和降低电压起动而前者是采用得最多的。对一般小型的鼠笼式电动机，可参考下列公式来确定能否直接起动，即

$$\frac{3}{4} + \frac{\text{电源总容量(kVA)}}{4 \times \text{电动机容量(kW)}} \geq \frac{I_q}{I_e}$$

(I_q/I_e 为起动电流倍数)

例：有一台笼式电动机容量 $P_e = 75\text{kW}$ ， $I_q/I_e = 6.5$ ，电源变压器容量为 560kVA ，可否直接起动？

由上式得
$$3/4 + 560/4 \times 75 = 2.65$$

电动机的起动电流倍数 $I_q/I_e = 6.5 > 2.62$ ，故不允许起动。

对高压笼型电动机的起动除直接起动外（这是优先采用的）还有下列方式。降压起动（串电抗器）；软起动（包括液阻软起动；高压变频器软起动；开关变压器式软起动）所谓软起动是电动机的端电压随时间斜率式增加，软起动是一种新型起动方法，具有起动电流小，不受电网电压和负载波动影响，起动平稳，结构简单，维护方便等特点。

对高压绕线式电动机起动方式有转子串电阻和串频敏变阻器等方式。

4-11 试说明异步电动机常用的调速方法。

异步电动机的调速方法可分为：

(1) 从定子方面，改变旋转磁场速度。①改变电源网路的频率；②改变电机的磁极对数。

(2) 从转子方面，改变转差率。①在转子电路中接入调速的变阻器；②在转子电路中引入附加电势。

(3) 用电磁离合器调速。

下面我们分别加以说明：

(1) 改变电源频率调速。这种方法由于采用了晶闸管变频调速器作为变频电源，这种方法扩大了应用范围。在这种调速装置中，用逐渐增加频率的方法来起动异步电动机，使其得到较大的起动转矩而起动电流却不太大。其调速范围相当大，平滑性和稳定性都较好。

(2) 改变电机的磁极对数。根据 $n = \frac{60f}{p}$ 的关系 (p 为极对数) 改变 p 也使 n 改变。这就产生了多速（变极）电动机，这往往是在定子上装两个独立的绕组来实现的。

(3) 转子电路中接入调速的变阻器。由于接入变阻器改变了转子电路中的电阻值，使 $M = f(S)$ 曲线变为所要求的人造特性曲线，在同一转矩下可得到不同的滑差（见图 4-4）。从而达到改变转速的目的。

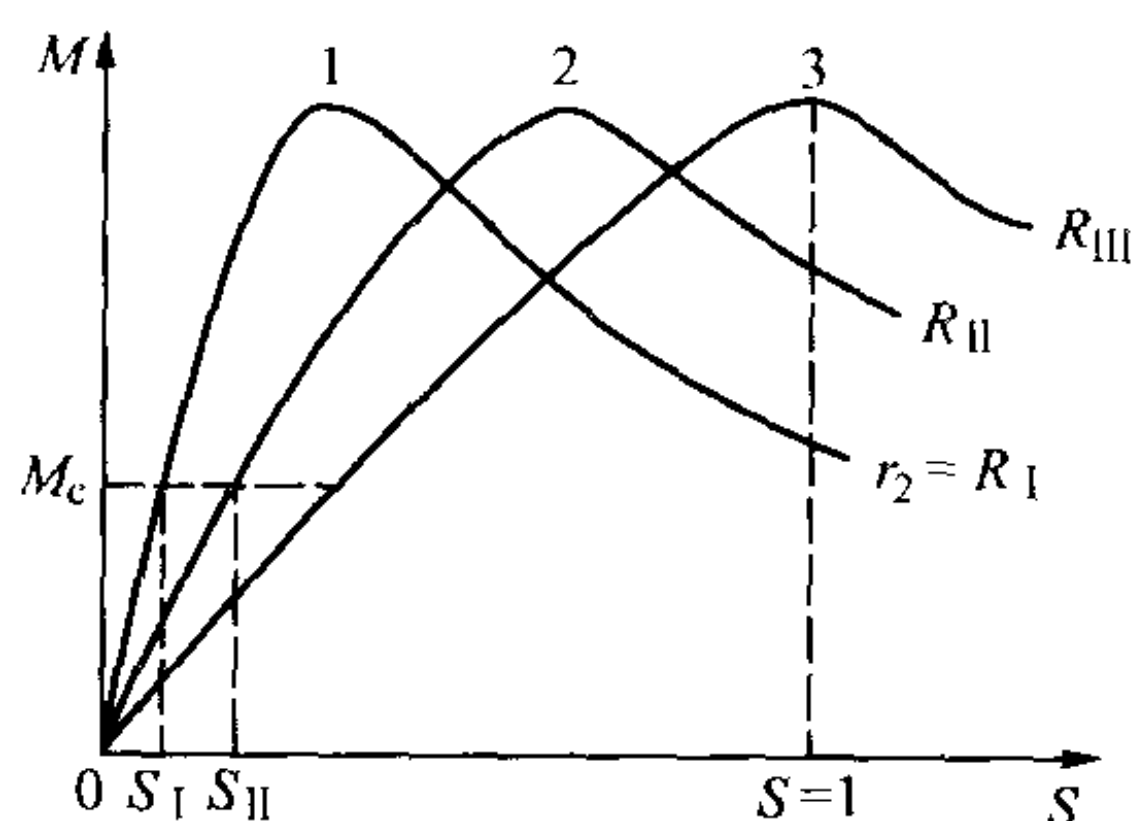


图 4-4 人造特性曲线 $M = f(S)$

(4) 转子电路引入附加电动势调速。这种方法是基于转差率和电势的关系而采用的，即

$$S' = S + E_f/E_2$$

式中 S' ——引入附加电势的新的转差率；

S ——原有转差率；

E_f ——附加电势；

E_2 ——转子绕组感应电势。

它比引入变阻器而言有下述优点：

- 1) 特性曲线硬度不变，稳定性较好；
- 2) 没有变阻器电阻的能耗，较经济；
- 3) 转速调节范围较宽。

4) 可均匀平滑无级调速。

目前, 采用晶闸管整流设备来实现此种方法。

4-12 异步电动机的选型原则及实例说明。

(1) 型式的选择。一般情况采用鼠笼式电动机, 对起动力矩要求大的设备可采用深槽式、双鼠笼式。对反复, 重载起动或要在小范围内调速的设备(如吊车)可采用绕线式电动机。

防护方式应与周围环境条件相适应。对潮湿多灰尘车间至少要达到 IP54 要求, 其他场所, 可不低于 IP23。对有爆炸危险场所应采用防爆型电动机(见表 3-34)。

(2) 电压选择。

1) 对 6kV 电压级。一般 200kW 以上电动机宜采用 6kV, 200kW 以下的电动机宜采用 380V, 200kW 左右的电动机按具体情况而定。

2) 对 10kV 和 3kV 二级电压。1800kW 以上宜采用 10kV, 200~1800kW 宜采用 3kV, 200kW 以下采用 380V。200kW 和 1800kW 左右的按具体情况定。

3) 对 3kV (或 10kV) 电压级。100kW (或 200kW) 以上的采用 3kV (或 10kV) 100kW (或 200kW) 以下用 380V、100kW (或 200kW) 左右者按具体情况定。

(3) 容量选择。电动机容量按机械所需轴功率选择

$$P_e = k k_t k_h P_z$$

式中 P_e ——电动机额定容量, kW;

P_z ——机械所需轴功率, kW;

k ——机械储备系数(取 1.15~1.3);

k_t ——温度修正系数(见表 4-10);

k_h ——海拔修正系数, 当海拔大于 1000m 时。若环境温度下降且满足 $(h - 100)\Delta\theta/100 - (40 - \theta) < 0$ 时则容量不修正, (h —海拔高度, $\Delta\theta$ —每升高 100m 递增额定温升的 1%, θ —环境最高温度, 一般为月平均最高温度加 5°C)。

表 4-10

温度修正系数

冷却空气温度 (°C)	25	30	35	40	45	50
修正系数 k_t	1.1	1.08	1.05	1	0.95	0.875

(4) 容量校验。

1) 对机械转动惯量大或重载起动时的电动机, 当使用条件与制造厂配套不符时, 应按起动校验其容量。

2) 根据电动机的起动温升来决定其容量和起动特性。在冷态起动 2 次或在热态起动 1 次以后, 定子绕组导体温度不应超过: A 级绝缘 200°C, B 级绝缘 220°C。

由于计算温升较复杂, 涉及起动时间和起动电流, 一般符合起动次数规定的就可正常使用; 如有特殊情况(如更换被拖动机械)则可用直接测温法来校验。

(5) 根据被拖动机械的转矩特性来选择。对某些机械, 例如大多数风机、鼓风机、离心

泵和压缩机等，要求相对低的起动力矩，在启动后，要求驱动力矩随速度的增加而增加，直至满负载速度和力矩。可以选择图 4-3 (b) 中的设计 B 的电动机；对要求高启动转矩的机械，例如往复式空压机和输送皮带等，可以选择设计 C 的电动机。对于经常启动的电动机，例如某些泵和起重机，可以选择设计 D 的电动机。

- (6) 运行在设计条件下，电动机的铭牌出力应不小于拖动设备的 1.15 倍。
 (7) 最大启动电流倍数。200kW 及以下应小于 6.5，200kW 及以上者应小于 6。
 (8) 冷态启动不少于 2 次，热态启动不少于 1 次。
 (9) 振动幅度不超过国家和 NEMA 标准，见表 4-11。

表 4-11 电动机振动标准 (双振幅) mm

转速 (r/min)	3000	1500	1000	750 及以下
振动值	0.06	0.10	0.13	0.16

- (10) 噪声水平。在离 1.53m 处不超过 85dB。

例 某火力发电厂的凝结水泵的参数为：流量 510T/h，扬程 140m，转速 1450r/min，设计效率 0.74，厂用电电压为 6kV 试选择电动机参数。

凝结水泵属离心泵，其所需轴功率可由下式求得

$$P_z = \gamma QH / 102 \cdot \eta_b \cdot \eta_{cha} \quad (\text{kW})$$

式中 Q ——流量， m^3/s ；

H ——扬程， m ；

γ ——水比重， kg/m^3 ；

η_b ——水泵效率；

η_{cha} ——传动效率 (直接传动为 1)。

将参数代入上式可得

$$P_z = 1000 \times 510 \times 140 / 102 \times 3600 \times 0.74 \times 1 = 263 \quad (\text{kW})$$

电动机容量为

$$P_e = k k_\tau k_h \cdot P_z$$

对凝结水泵可取 $k=1.2$ ，由于环境平均温度小于 40°C 可取 1，且在海拔小于 1000m 处，则不作修正，取 1。则

$$P_e = 1.2 \times 1 \times 1 \times 263 = 315 \quad (\text{kW})$$

选择电压为 6kV (200kW 以上)，故选择 Y3556-4 型电动机，其参数如下：

电动机额定容量 315kW

额定电压 6kV

额定电流 36.48A

额定转速 1450r/min

效率 93.6%

功率因数 0.86

最大启动电流倍数 5.94

电动机绝缘等级 B 级

额定频率 50Hz

外壳防护等级 IP56

4-13 异步电动机的主要参数有哪些？

异步电动机的主要参数有：

- (1) 额定功率：是指输出的机械功率，用 kW 表示。
- (2) 额定电压：是指在额定运行时的线电压，用 V 表示。
- (3) 额定频率：是指在额定运行时的频率，用 Hz 表示。
- (4) 额定电流：是指在额定运行时的线端电流，用 A 表示。
- (5) 额定转速：是指在额定运行时的转速，用 r/min 表示。
- (6) 满载时的效率 (%) 和功率因数。
- (7) 起动电流倍数：是指起动电流和额定电流之比值。
- (8) 起动转矩倍数：是指起动转矩和额定转矩之比值。
- (9) 最大转矩倍数：是指最大转矩和额定转矩之比值。
- (10) 转子电压和电流：对于绕线式电动机而言。

在表 4-12~表 4-15 中给出了某些国产三相异步电动机的技术数据。

三相异步电动机的国家标号如下：

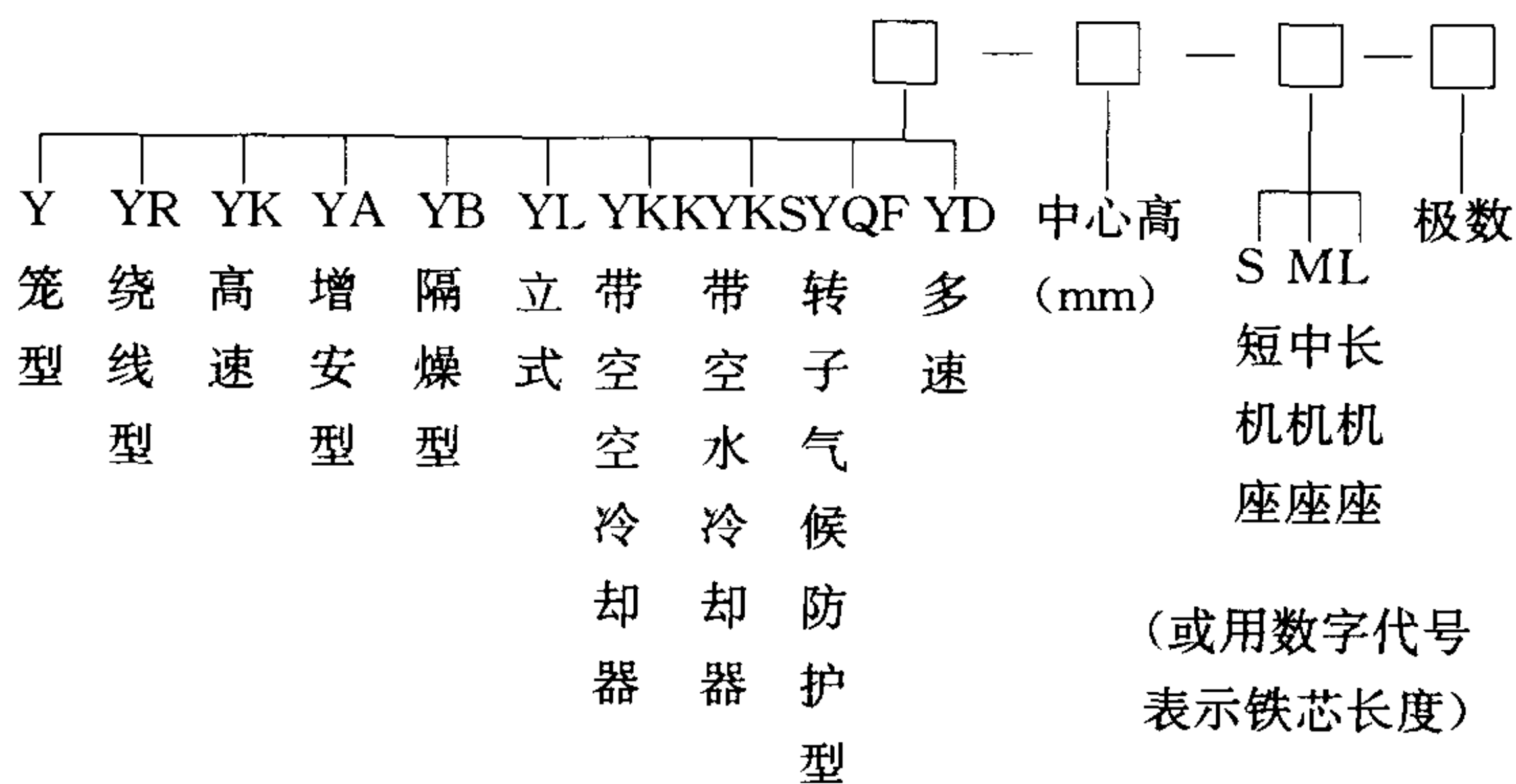


表 4-12 高压三相异步电动机 Y 型系列技术数据 (6kV)

型 号	额定功率 (kW)	额定电流 (A)	同步转速 (r/min)	效 率 (%)	功率因数 (cosφ)	堵转转矩 / 额定转矩	堵转电流 / 额定电流	最大转矩 / 额定转矩
Y3551-2	220	24.1	3000	92.8	0.86	0.6	7.0	1.8
Y3553-4		25.42	1500	93.3	0.85	1.03	5.15	2.27
Y3555-6		27.13	1000	93.0	0.82	1.25	5.72	1.89
Y4003-8		28.13	750	92.9	0.78	1.20	4.95	2.16
Y3552-2	250	30.1	3000	92.9	0.86	0.6	7.0	1.8
Y3554-4		29.11	1500	93.4	0.85	1.20	5.77	2.40
Y3555-6		30.29	1000	93.3	0.82	1.57	5.45	1.95
Y4004-8		31.64	750	93.0	0.79	1.14	4.73	1.90
Y3553-2	280	33.7	3000	93.1	0.86	0.6	7.0	1.8
Y3555-4		32.63	1500	93.5	0.86	1.31	6.04	2.22
Y4002-6		33.8	1000	93.5	0.83	1.25	5.73	2.36
Y4005-8		35.4	750	93.0	0.79	1.18	4.85	1.89

续表

型 号	额定功率 (kW)	额定电流 (A)	同步转速 (r/min)	效 率 (%)	功率因数 ($\cos\varphi$)	堵转转矩 额定转矩	堵转电流 额定电流	最大转矩 额定转矩
Y3554-2	315	37.7	3000	93.1	0.86	0.6	7.0	1.8
Y3556-4		36.48	1500	93.6	0.86	1.30	5.94	2.36
Y4003-6		37.75	1000	93.7	0.83	1.23	5.61	2.19
Y4501-8		40.02	750	93.4	0.80	1.39	5.15	2.33
Y4002-2	500	58.5	3000	94.6	0.87	0.6	7.0	1.8
Y4004-4		57.21	1500	94.3	0.87	1.19	6.06	2.24
Y4502-6		59.32	1000	94.5	0.85	1.10	5.36	1.80
Y5001-8		60.7	750	94.3	0.81	1.22	5.15	2.06

表 4-13

高压三相异步电动机 YR 型系列技术数据 (6kV)

型 号	额定功率 (kW)	额定电流 (A)	同步转速 (r/min)	效 率 (%)	功率因数 ($\cos\varphi$)	转子电压 (V)	转子电流 (A)	最大转矩 额定转矩
YR3551-4	220	26.5	1500	92.7	0.87	286	453	1.8
YR4001-6		26.7	1000	92.5	0.81	263	494.1	1.8
YR4003-8		28.3	750	92.3	0.78	392	327.0	1.8
YR3552-4	250	30.2	1500	93.0	0.84	317	463	1.8
YR4002-6		30.9	1000	92.7	0.82	301	487.4	1.8
YR4004-8		31.8	750	92.3	0.78	418	349.2	1.8
YR3553-4	280	33.5	1500	93.1	0.84	342	481	1.8
YR4003-6		34.3	1000	92.8	0.82	324	506.6	1.8
YR4005-8		35.6	750	92.5	0.79	471	346.8	1.8
YR4001-4	315	37.5	1500	93.2	0.85	352	522.7	1.8
YR4004-6		38.0	1000	93.0	0.82	341	541.8	1.8
YR4501-8		39.9	750	92.6	0.80	584.6	324.7	1.8
YR4005-4	500	58.0	1500	93.9	0.85	499	586.7	1.8
YR4503-6		59.5	1000	93.8	0.84	487.9	622.6	1.8
YR5001-8		61.0	750	93.5	0.81	691.1	414.7	1.8

表 4-14

低压三相异步电动机 Y 系列技术数据 (380V)

型 号	额定功率 (kW)	额定电流 (A)	效 率 (%)	功率因数 ($\cos\varphi$)	堵转转矩 额定转矩	堵转电流 额定电流	最大转矩 额定转矩	同步转速 (r/min)
Y180M-2	22	42.2	89	0.89	2.0	7.0	2.2	3000
Y180L-4		42.5	91.5	0.86	2.0	7.0	2.2	1500
Y200L ₁ -6		44.6	90.5	0.83	1.8	6.5	2.0	1000
Y225M-8		47.6	90	0.78	1.8	6.0	2.0	750
Y200L ₁ -2	30	56.9	90	0.89	2.0	7.0	2.2	3000
Y200L-4		56.8	92.2	0.87	2.0	7.0	2.2	1500
Y225M-6		59.5	90.2	0.83	1.8	6.5	2.0	1000
Y250M-8		63.0	90.5	0.80	1.8	6.0	2.0	750
Y225M-2	45	83.9	91.5	0.89	2.0	7.0	2.2	3000
Y225M-4		84.2	92.3	0.88	1.9	7.0	2.2	1500
Y280S-6		85.4	92.0	0.87	1.8	6.5	2.0	1000
Y280M-8		93.2	91.7	0.80	1.8	6.0	2.0	750

续表

型号	额定功率 (kW)	额定电流 (A)	效率 (%)	功率因数 ($\cos\varphi$)	堵转转矩 额定转矩	堵转电流 额定电流	最大转矩 额定转矩	同步转速 (r/min)
Y280M-2	90	167.0	92.0	0.89	2.0	7.0	2.2	3000
Y280M-4		164.3	93.5	0.89	1.9	7.0	2.2	1500
Y315S-6		166.0	93.0	0.87	1.8	6.5	2.0	1000
Y315S-8		168.0	93.0	0.87	1.8	6.0	2.0	750
Y315S-2	160	295.0	92.5	0.9	1.4	6.8	2.0	3000
Y315S-4		304.0	93.0	0.88	1.4	6.8	2.0	1500
Y315M ₂ -6		303.0	93.8	0.87	1.3	6.5	1.8	1000
Y315M ₂ -8		310.0	93.3	0.81	1.3	6.0	1.8	750
Y315M ₂ -2	200	367.0	92.5	0.9	1.4	6.8	2.0	3000
Y315M ₂ -4		413.0	94.0	0.88	1.4	6.8	2.0	1500
Y315M ₄ -2	250	456.0	93.8	0.9	1.2	6.8	2.0	3000
Y315M ₄ -4		469.0	94.3	0.88	1.2	6.8	2.0	1500

表 4-15 低压三相异步电动机 YR 系列技术数据 (380V)

型号	额定功率 (kW)	额定电流 (A)	效率 (%)	功率因数 ($\cos\varphi$)	最大转矩 额定转矩	转子电压 (V)	转子电流 (A)	同步转速 (r/min)
YR315S-4	160	302	92.5	0.87	1.8	415	241	1500
YR315S-6		303	93.3	0.86		479	205	1000
YR315M ₂ -8		322	92.8	0.79		325	299	750
YR315M ₂ -4	200	374	93.3	0.87	1.8	521	237	1500
YR355M ₂ -6		378	93.3	0.86		243	512	1000
YR355M ₄ -8		402	93.5	0.81		365	307	750
YR315	250	460	93.8	0.88	1.8	385	470	1500
YR315M ₄ -6		465	93.8	0.87		292	530	1000
YR315L ₂ -8		508	93.5	0.80		486	301	750



第四节 中压断路器的选型和使用

4-14 中压断路器是如何分类的?

断路器分类一般是以灭弧介质和灭弧方式分类的。

(1) 以油作为灭弧介质和绝缘介质。

1) 多油断路器。油量大,触头系统及灭弧室都放在接地的油箱中。

2) 少油断路器。油量少,油为灭弧介质,对地绝缘是油加固体介质。

(2) 压缩空气断路器。以压缩空气作灭弧介质、操动介质及绝缘介质。

(3) SF₆ 断路器。以 SF₆ 气体作灭弧和绝缘介质。对工艺和密封要求高。

(4) 真空断路器。以真空作灭弧和绝缘介质。

随着配电网的无油化断路器的推广,目前 SF₆ 和真空断路器得到了推广采用。

续表

额定电压 (kV) (1)	额定雷电冲击耐受电压,峰值 (kV)				1min 工频耐受电压,有效值 (kV)				额定操作冲击耐受电压,峰值 (kV)			
	相对地 (2)	相间 (3)	断路器断口 (4)	隔离断口 (5)	相对地 (6)	相间 (7)	断路器断口 (8)	隔离断口 (9)	相对地 (10)	相间 (11)	断路器断口 (12)	隔离断口 (13)
126 (123)	450	450	450	520	200	200	200	225				
252 (245)	550	550	550	630	230	230	230	265				
	850	850	850	950	360	360	360	415				
	950	950	950	1050	395	395	395	460				
363	1050	1050	1050(+205)	1050(+205)	460	460	520	520	850	1300	950	950
											850(+295)	850(+295)
	1175	1175	1175(+205)	1175(+205)	510	510	580	580	950	1425	950	950
											850(+295)	850(+295)
550	1425	1425	1425(+315)	1425(+315)	630	630	790	790	1050	1675	1175	1175
											1050(+450)	1050(+450)
	1550	1550	1550(+315)	1550(+315)	630	630	790	790	1050	1675	1175	1175
											1050(+450)	1050(+450)
	1550	1550	1550(+315)	1550(+315)	680	680	790	790	1175	1800	1175	1175
											1050(+450)	1050(+450)
	1675	1675	1675(+315)	1675(+315)	740	740	790	790	1175	1800	1175	1175
											1050(+450)	1050(+450)

- 注 1. 我国额定电压(即最高电压)与 IEC 的电压标准级别稍有不同;在本表中,国标值放在前面,IEC 标准值列于括号中;一切型式试验取较高值为基础核算其试验条件。
2. 额定电压 3.6~550kV 中,相对地额定雷电冲击耐受电压值均取自 GB 311.1;其“相间”值等于“相对地”值。
3. 根据电力工业部高压开关设备标准化技术委员会第九次年会(山东曲阜)的决定,凡对地雷电冲击与工频耐受电压值与 GB 311—1961 相同时,其断路器断口间的耐压水平与对地相同,不再考虑反相电压的作用。
4. 根据 GB 7674—1984《72.5kV 及以上气体绝缘金属封闭开关设备》,取其表 1、表 2 以确定 72.5~550kV 的额定绝缘水平,但对下列数值作出修正:
——额定电压为 72.5kV 级的(6)~(9)项根据标委会八、九次年会意见确定,将 140kV、160kV 并为 155kV;
——额定电压为 126kV 级的(6)~(9)项根据 GB 311.1,将 185kV 改为 200kV。
5. 隔离断口包括隔离开关断口,以及有隔离作用的负荷开关和起联络作用的断路器断口:
项(5)3.6~72.5kV 级数值取自 IEC694 表 1 项⑤;
项(9)3.6~72.5kV 级数值为其项(6)加反相电压有效值;
项(9)126kV 级较其项(8)高 25kV(根据 GB 7674)。
6. 根据国标 GB 311.1 补充了下列数值:
——363kV 1min 工频对地——510kV;
——550kV 1min 工频对地——740kV。
7. 根据 IEC pub 694 表 III 补充了 126(123kV)第二档较高的耐压水平值。
8. 当 12kV 系统中性点为有效接地时,绝缘水平采用括号中的数值。

表 4-17

10~35kV 少油断路器技术数据

型号	电压 (kV)		额定电流 (A)	额定断流容量 (MVA)			额定开断电流 (kA)			额定动稳定 电流(kA)		热稳定电流 (kA)				固有分 闸时间 (s)	合闸 时间 (s)	
	额定	最大		3kV	6kV	10kV	3kV	6kV	10kV	峰值	有效值	1s	4s	5s	10s			
SN ₂ -10	10		400 600 1000	100	200	350	20	20	20	52	30	30		20	14	0.1	0.23	
SN ₄ -10G	10	11.5	5000 6000			1800				105	300	170	173		120	85	0.15	0.65
SN ₄ -20G	20	23	6000 8000 12000			(20kN) 3000				(20kN) 87	300	173	173		120	85	0.15	0.75

续表

型号	电压 (kV)		额定电流 (A)	额定断流容量 (MVA)			额定开断电流 (kA)			额定动稳定电流 (kA)		热稳定电流 (kA)				固有分闸时间 (s)	合闸时间 (s)
	额定	最大		3kV	6kV	10kV	3kV	6kV	10kV	峰值	有效值	1s	4s	5s	10s		
SN ₈ -10	10	11.5	2000 8000		400 400	400 400			23 24	75	43.5	43.5		30	21	0.14	0.5
SN ₁₀ -10I			630 1000					20	16	40			16 (2s)			0.06	0.2
SN ₁₀ -10II	10	11.5	1000						31.5	80			31.5 (2s)				
SN ₁₀ -10III			1250 2000 3000						40	125			40 (4s)		0.07 0.07		
SN ₁₁ -10	10	11.5	600 1000			350			20	52	30	30		20	14	0.05	0.23
SN ₁₀ -15	15	17.5	1000						25 (15kV)	62.5			25			≤0.06	
SN ₁₀ -35	35	40.5	1250					16(35kV) 20(95kV)		40 50			1620			≤0.06	0.25
SW ₃ -35	35		600 1000		1500			6.6		17	9.8		6.6			0.06	0.12
SW ₂ -35 SW ₂ -35G	35	40	1000 1500		1000 1500			15.5 24.8		63.4	39.2		16.5 24.8			0.06	0.4
SW ₄ -35			1250				16.5		42				16.5			0.08	0.35

表 4-18 LW11A-126/3150-40 型户外高压六氟化硫断路器的技术数据 (国产)

参数名称		单位	数值
额定电压		kV	110
最高电压		kV	126
额定频率		Hz	50
额定绝缘水平	1min 工频耐受电压 (有效值)	相对地	230
		相间	230
		断口间	273
	雷电冲击耐受电压 (峰值)	相对地	550
		相间	550
		断口间	650
SF ₆ 气体零表压 5min, 工频耐受电压 (有效值)		kV	断口间 109
			相对地 109
额定电流		A	1600, 2000, 2500, 3150
额定短路开断电流 (有效值)		kA	31.5, 40
额定短时耐受电流 (有效值)		kA	31.5, 40
额定峰值耐受电流		kA	80, 100
额定短路持续时间		s	3
额定失步开断电流 (有效值)		kA	7.9, 10
近区故障开断电流 (有效值)		kA	23.6/28.4, 30/36
额定线路充电开断电流		A	31.5
100%额定短路开断电流下不需检修的开断次数		次	12
额定操作顺序		分-0.3s-合分-180s-合分	
机械寿命		次	3000
主回路电阻		μΩ	不大于 70
操作时对地基的冲击载荷		分闸时 (向下)	~85000
		合闸时 (向上)	~20000

续表

参 数 名 称		单 位	数 值	
SF ₆ 气体压力 (20℃表压)	额定压力	MPa	0.5	
	压力降低时的报警压力		0.45	
	报警解除压力		0.48	
	压力降低时的闭锁压力		0.40	
	闭锁解除压力		0.43	
SF ₆ 气体年漏气量	%	不大于1		
微水含量 (SF ₆ 气体) (V/V)		不大于 100×10 ⁻⁶		
爬电比距	对 地	mm/kV	25	
	断口间		31	
机械尺寸	断路器触头行程	mm	160±3	
	断路器主触头超行程		13±1.5	
	断路器弧触头超行程		25±1.5	
	操动机构工作缸中活塞行程		102±2	
	油缓冲器行程		102±2	
合闸速度 (平均)	m/s	2.2±0.6		
分闸速度 (平均)	m/s	6.6±0.8		
时间参数	合闸时间	ms	不大于 120	
	分闸时间	ms	不大于 35	
	合-分时间	s	不大于 0.06	
	分-合时间	s	不大于 0.3	
	合闸同期性	ms	不大于 3	
	分闸同期性	ms	不大于 2	
二次回路	合闸线圈	额定电压 (DC)	V	220
		电阻 (20℃)	Ω	110±5.5
		额定电流 (DC)	A	2
	分闸线圈	额定电压 (DC)	V	220
		电阻 (20℃)	Ω	110±5.5
		额定电流 (DC)	A	2
	加热器	数量	个	2
		额定电压 (AC)	V	220
		功率	W	1000
操动机构的压力控制特性 (表压)	额定操作气压	MPa	1.5	
	最高操作气压		1.6	
	自动重合闸闭锁气压 (降压) ↓		1.45	
	自动重合闸闭锁解除气压 (开压) ↑		1.48	
	分合闸闭锁气压 (降压) ↓		1.30	
	分合闸闭锁 (信号) 解除气压 (开压) ↑		1.35	
耗气量 (表压)	气动操作系统 24h 压力降应小于	MPa	0.05	
	断路器单分一次的耗气量应小于		0.12	
	断路器“分-0.3s-合分”耗气量应小于		0.24	
端子静拉力	水平横向拉力	N	1500	
	水平纵向拉力		1500	
	垂直方向拉力		1500	
	风压等效拉力		1500	
外形尺寸	断路器的外形尺寸 (长×宽×高)	mm	5036×1045×4624	
	断路器极间距离		1500 (户内手车) 1700	
	带电部分对地最小距离		1160	
重量	断路器总质量	kg	~3900	
	操动机构质量		~500	
	SF ₆ 气体台用量		~11.4	
断路器容积 (SF ₆ 气体)	m ³	~0.357		
断路器体积	m ³	~1.8		

表 4-19 LW-10 型国产 SF₆ 断路器技术数据 (户外型)

序 号	名 称		单 位	数 据			
1	额定电压		kV	10			
2	最高工作电压		kV	12			
3	额定绝缘水平 (当断路器所充 SF ₆ 气体为 0.25MPa、 20℃时)	雷电全波冲击耐压	kV	75			
		工频耐压 1min		干 试	断口 47, 对地 42		
				湿 试	34		
		反相冲击耐压 二次部分对地 1min		85		2	
4	零表压下的绝缘 水平	工频耐压 1min	kV	30			
		反相耐压 1min		30			
		最高相电压 5min		9			
5	额定电流		A	400	630		
6	额定短路开断电流		kA	0.3	8	12.5	16
7	额定关合电流 (峰值)		kA	16	20	31.5	40
8	额定动稳定电流 (峰值)		kA	16	20	31.5	40
9	额定热稳定电流		kA	6.3	8	12.5	16
10	异相接地重合闸开断电流		kA	5.5	7.1	10.9	13.9
11	零表压下开断电流		A	400		630	
12	额定短路开断电流下的开断次数			30			
13	操作顺序	I 型		分—180s—合分 分 180s—合分			
		II 型		分 180s—合分 分 180s—合分			
14	固有合闸时间 (II 型)		s	≤0.06			
15	固有分闸时间	I 型	s	≤0.06			
		II 型	s	≤0.04			
16	额定工作压力		MPa	0.35 (20℃时)			
17	最低工作压力		MPa	0.25 (20℃时)			
18	年漏气率		%	≤1			
19	机械稳定性 (连续合分操作)		次	3000			
20	总重量	I 型	kg	122~135			
		II 型	kg	126~146			

表 4-20 LN₂-12 型国产 SF₆ 断路器技术数据 (户内型)

U_H	12kV	
I_H	400、630A	
1 分钟工频耐压	干 试	42kV
	湿 试	34kV
雷电冲击波	75kV	
额定短时耐受电流	6.3~20kA	
额定峰值耐受电流	16~50kA	
额定短路开断电流	6.3~20kA	

表 4-21 国产真空断路器参数

型号	额定电压 (kV)		额定电流 (A)	额定断流容量 (MVA)	额定开断电流 (kA)	额定动稳定电流 (kA)		热稳定电流 (kA)		固有分闸时间 (s)	合闸时间 (s)	开断时间 (s)
	额定	最大				峰值	有效值	4s	3s			
ZN ₁₂ -10 I	10	11.5	1250		31.5	80		31.5		≤0.065	≤0.075	
ZN ₁₂ -10 II	10	11.5	1600		31.5	80		31.5				
ZN ₁₂ -10 III	10	11.5	2000		31.5	80		31.5				
ZN ₁₂ -10 IV	10	11.5	2500		31.5	80		31.5				
ZN ₁₂ -10 V	10	11.5	1600		40	100			40			
ZN ₁₂ -10 VI	10	11.5	2000		40	100			40			
ZN ₁₂ -10 VII	10	11.5	3150		40	100			40			
ZN ₁₂ -10 VIII	10	11.5	1600		50	125			50			
ZN ₁₂ -10 IX	10	11.5	2000		50	125			50			
ZN ₁₂ -10 X	10	11.5	3150		50	125			50			
ZN ₄ -10/1000-16	10	11.5	1000		16	40		16		≤0.05	≤0.02	≤0.07
ZN ₄ -10/1250-20	10	11.5	1250		20	40		20				
ZN ₁₂ -35/1250	35	40.5	1250		25	63		25				
ZN ₁₂ -35/1600			1600		31.5	80		31.5		≤0.075	≤0.09	
ZN ₁₂ -35/2000			2000		31.5	80		31.5				
2N-10C/630	10	11.5	630		20	50		20				
ZN-10C/1250	10	11.5	1250		31.5	80		31.5				
ZN-10C/2000	10	11.5	2000		31.5	80		31.5		≤0.06	≤0.15	
ZN-10C/1600	10	11.5	1600		40	100		40				
ZN-10C/3150	10	11.5	3150		40	160		40				

表 4-22 国外 SF₆ 断路器参数 (户外型) (ABB)

断路器型号	最高电压 kV	额定电流 A	额定短路开断电流 kA	60Hz 耐压 kV	雷电冲击耐压 kV
121PM40 50/63	121	2000, 3000 4000, 5000	40, 50 63	260	550
145PM40 50/63	145	2000, 3000 4000, 5000	40, 50/63	310	650
169PM40 50	109	2000, 3000 4000, 5000	40, 50	365	750

表 4-23 国外 SF₆ 断路器参数 (施耐德公司) (户内型)

类型		SF1	SF2
额定电压 (kV)		40.5	40.5
绝缘水平 (kV)	有效值工频 1 分钟	85	95
	冲击 1.2/50μs	185	185
额定电流 (A)	630	✓	✓
	1250	✓	✓
	2500		✓
开断容量 (kA 峰值)		25	31.5

续表

关合容量 (kA 峰值)		50	63	63	79
短时耐受电流 (kA-3s)		20	25	25	31.5
电容器开断能力 (A)	$I_n=630A$	440	440		440
	$I_n=1250A$	875	875		875
	$I_n=2500A$			1750	1750
额定操作循环	O—3 分钟—CO—3 分钟—CO	✓	✓	✓	✓
	O—0.3 秒—CO—15 秒—CO	✓	✓		
	O—0.3 秒—CO—3 分钟—CO	✓	✓	✓	✓
操作时间 (ms)	打开	50			
	分断	65			
	闭合	70			
爬电距离 (mm)		648			

表 4-24 国外 SF₆ 断路器参数 (户外型) (施耐德公司)

额定电压	(kV)	40.5	40.5	40.5	40.5
额定绝缘水平 (kV)	工频耐压	100	100	100	100
	冲击耐压 (1.2/50 μ s)	200	200	200	200
断路器型号		40 GI-E 16	40 CH-E 20	40 GI-E 25	40 GI-E 31
额定电流 (A)		630	630	630	2000
		1250	1250	1250	3150
		1600	1600	1600	
				2000	3150
额定短时耐受电流 (3s)	(kA)	16	20	25	31.5
额定短路开断电流	(kA)	16	20	25	31.5
电容器组开断电流	$I_n=630A$	630	630	630	630
	$I_n=1250A$	630	630	630	630
	$I_n=1600A$	630	630	630	630
	$I_n=2000A$	1250	1250	1250	1250
	$I_n=3150A$	1250	1250	1250	1250
额定短路闭合电流 (kA)		40	50	63	80
电动储能弹簧操作机构		GMh	GMh	GMh	GMh
动作时间 (ms)	开断	33/50	33/50	33/50	33/43
	拉弧 (最大)	15	15	15	15
	分断 (最大)	48/65	48/65	48/65	45/58
	闭合	60/83	60/83	57/83	57/80
额定操作循环		O—0.3S—CO—3min—CO 或者 O—0.3s—CO—15s—CO			
额定 SF ₆ 气压 (kPa 表压)		400			
爬电距离 (mm)		1012			
间距 (相间) (mm)		410			

表 4-25 国外 SF₆ 断路器参数 (施耐德公司) - 户内型

额定电压 (kV)	12	24	工频耐压 (1min) (kV)	42/48	50
额定电流 (A)	630	630	冲击耐压 (峰值) (kV)	95/110	125
短路开断电流 (kA)	20	16	短时耐受电流 (kA)	20	16
关合电流 (kA, 峰值)	50	40			

表 4-26 Evolis 真空断路器技术参数 (户内型) (施耐德公司)

额定电压		kV	12	
额定绝缘水平	工频耐受电压 (50Hz, 1min)		kV	42
	雷电冲击耐受电压 (1.2/50 μ s)		kV	75
	额定电流	母线	A	630-1250-2500-3150
断路器		A	630-1250-2500-3150	
额定热稳定耐受电流 (4s)		kA	25-31.5-40	
额定峰值耐受电流		kA	63-80-100	
防护等级	外壳		IP4X	
	隔室间		IP2XC	
正常运行条件	环境空气温度	最低温度	-5	
		最高温度	+40	
		24 时平均	+35	
	海拔		m	$\leq 1000^*$
	湿度 (相对)	日平均		$\leq 95\%$
		月平均		$\leq 90\%$

* 1000m 以上需考虑降容系数, 由制造厂定。

表 4-27 国外真空断路器参数 (ABB)

额定电压 (kV)	36 (IEC)	40.5 (CNS)	额定电流	...3150*	...3150*
工频耐压 (1min, kV)	70	95	额定短路开断电流 (kA)	31.5**	31.5
冲击耐压 (kV)	170	185	额定短时耐受电流 (kA)	31.5**	31.5
额定频率 (kV)	50/60	50	额定峰值耐受电流 (kA)	80***	80

* 在 40°C 下可达 3150A, 在 55°C (带强迫通风) 为 2500A。

** 按需要可达 40kA。

*** 按需要可达 100kA。

4-16 如何对中压断路器选型及实例说明。

断路器的选型主要应考虑如下几方面因素:

(1) 电气性能:

- 1) 额定电压。
- 2) 额定电流及额定频率。
- 3) 额定短路开断电流。
- 4) 热、动稳定性。
- 5) 绝缘水平。

(2) 灭弧介质。在允许的价格条件下, 应尽量采用无油化断路器, 即 SF₆ 断路器和真空断路器, 采用真空断路器时应考虑分断感性负载时产生截流过电压 (如经常分断高压电动机或电弧炉变压器等) 并采取措施 (如配置 R-C 阻尼装置或 MOA)。

(3) 安装地点状况。包括户内、户外; 温度、湿度; 环境污秽状况; 海拔高度等 (见正

常使用条件款) 对户内的断路器往往采用开关柜作为成套配电装置安装使用。

(4) 操作机构的安全可靠性。断路器的故障往往发生在操作机构的失灵、拒动等方面。因此, 机械寿命(即可操作次数)也是一个重要的技术指标。

(5) 主触头的磨损寿命。这将对运行维护影响极大, 故断路器的电气寿命也是重要指标之一(如 20 年及以上)。

(6) 动作时间的快慢。断路器的开断短路电流的时间往往对系统的稳定性起重要作用, 因此, 快速开断是一个质量指标。这将由系统稳定要求来确定。这也包括对自动重合闸(即操作循环顺序)的配合。

下面我们举例说明如何选择断路器。

试选择某变电所进线侧断路器, 该进线的负荷电流为 1300A, 计算三相短路电流 $I_k^{(3)} = I'' = 25 \text{ kA}$, 继电主保护动作时间为 0.05s、后备保护动作时间为 4s。

查产品目录, 可选真空断路器 ZN₁₂-10 II 型。

从表 4-28 可见, 经校验为合格。

表 4-28 断路器选择校验表

序 号	安装地点电气数据		ZN ₁₂ -10 II 型断路器	
	项 目	数 据	项 目	数 据
1	U_N	10kV	U_N	10kV
2	I_C	1300A	I_C	1600A
3	$I_k^{(3)}$	25kA	$I_k^{(3)}$	31.5kA
4	$i_{sh}^{(3)}$	$2.55 \times 25 = 63.75 \text{ kA}$	i_{max}	80kA
5	$I_{\infty}^2 t_{ima}$	$(25 \text{ kA})^2 \times (4 + 0.2^*) \text{ s} = 2625 \text{ kA}^2 \cdot \text{s}$	$I_t^2 \cdot t$	$(31.5 \text{ kA})^2 \times 4 \text{ s} = 3969 \text{ kA}^2 \cdot \text{s}$

* 0.2s 为一般断路器的全分断时间(固有分闸时间+灭弧时间)。

第五节 中压熔断器的选型和使用

4-17 中压熔断器的分类和用途是什么?

中压熔断器的用途是对电路及设备进行短路保护及过载保护。它是利用低熔点的金属丝(片)(也称为熔件)的熔化而切断电路的。其结构简单, 造价低, 且容易维护。

中压熔断器按安装地点可分为户内式和户外式, 按是否限流可分为限流式和非限流式。所谓限流式熔断器是熔断器的瓷管中充满石英砂, 当短路电流使熔丝熔断而产生电弧, 由于石英砂颗粒间狭沟的限制, 使弧柱直径变小, 加上石英砂的冷却作用, 在电流未到稳定值以前就将电弧熄灭, 起到限流的作用。跌落式熔断器是一种非限流式熔断器, 在熔丝管内层有产气材料, 当故障电流流过熔断器时, 熔丝熔断产生电弧, 在电弧高温作用下, 产生高压气体通过管口向外喷出, 将电弧拉长并冷却, 在电流过零时熄灭。熔丝熔断后, 使活动关节释放, 熔丝管跌落而形成明显的断口。

限流式熔断器一般用于户内居多, 但不宜使用在低于熔断器额定电压的电网中, 以避免熔断器熔断的截流所产生的过电压超过电网允许 2.5 倍的工作相电压。

跌落式熔断器一般用于户外，因为在其灭弧时，会喷出大量气体，并发出很大的声响。

4-18 中压熔断器的主要参数和特性有哪些？

中压熔断器的主要参数和特性：

(1) 额定电压：是指熔断器分断后长期承受的电压，一般等于或大于设备或线路的额定电压。

(2) 额定电流：分熔断器和熔体的额定电流，是指长期通过的电流。一般为设备额定电流的1.5~3倍左右。

(3) 额定开断能力：是指在故障条件下可靠地开断过载或短路电流的能力。一般用开断电流或开断容量表示。

(4) 绝缘水平：一般用工频耐压和雷电冲击耐压来表示。

(5) 安秒特性：是指熔断器动作时间与通过熔断器电流的关系，它由制造厂提供。这对保证熔断器的选择性是十分必要的，否则将会发生越级跳闸等误动作的恶劣后果。

表4-29~表4-36列出了一些国产熔断器及国外熔断器的参数和特性。

RN2、RN3系列是户内高压限流熔断器，RN3型在熔体管一端装有指示器，熔断器动作后指示器即向外脱出。

表 4-29 RN2 系列高压熔断器的技术数据

型 号	额定电压 (kV)	最高工作电压 (kV)	额定电流 (A)	断流容量 (MVA)	最大开断电流 (kA)	质量 (kg)
RN2-10	3	3.5	0.5	500	100	5.6
	6	6.9		1000	85	
	10	11.5		1000	50	
RN2-20	20	23	0.5	1000	30	12.2
RN2-35	35	40.5			17	15.6

表 4-30 RN3 系列熔断器的技术数据

型 号	额定电压 (kV)	最大工作电压 (kV)	熔断器额定 电流(A)	最大断流 容量三相 (MVA)	熔断管额定电流 (A)	质量 (kg)
RN3-3	3	3.5	50	200	2,3,5,7.5,10,15,20,30,40,50	5.57
			70		75	7.25
			200		100,150,200	9.2
RN3-6	6	6.9	50		200	2,3,5,7.5,10,15,20,30,40,50
			70	75		0.7
			200	100,150,200		10.5
RN3-10	10	11.5	50	200		2,3,5,7.5,10,15,20,30,40,50
			70		75	6.9
			200		100,150	11.7
RN3-35	35	40.5	7.5		200	2,3,5

RW3-10、RW7-10 型是户外高压跌落式熔断器，RW11-10/100 型是户外防污型高压跌落式熔断器。

表 4-31 RW3-10 型熔断器的技术数据

型 号	额定电压 (kV)	最高工作电压 (kV)	额定电流 (A)	断流容量 (MVA)		配用熔丝额定电流	质量 (kg)
				上限	下限		
RW3-10 I /100	10	11.5	100	75	15	7.5, 10, 15, 20, 30, 40, 50, 75, 100	0.22
RN3-10 II /100	10	11.5	100	100	10	7.5, 10, 15, 20, 30, 40, 50, 75, 100	7.55
RW3-10 II /200	10	11.5	200	150	30	10, 15, 20, 30, 40, 50, 75, 100, 125, 150, 175, 200	8.07

表 4-32 RW7-10 型跌落式熔断器的技术数据

型 号	额定电压 (kV)	额定电流 (A)	断流容量 (MVA)		单相质量 (kg)
			上 限	下 限	
RW7-10/50-75	10	50	75	10	6
RW7-10/100-100		100	100	30	6
RW7-10/200-100		200	100	30	7
RW7-10/50-75GY		50	75	10	6.38
RW7-10/100-100GY		100	100	30	6.33

表 4-33 RW11-10/100 型跌落式熔断器技术数据

型 号	额定电压 (kV)	额定电流 (A)	上限断流容量 (MVA)	下限断流容量 (MVA)	泄漏比距 (cm/kV)
RW11-10/100	10	100	100	10	4

RXW0-35 型是高压限流熔断器 (户外) 0.5A 者用于电压互感器, 2~5A 者用于其他电器。

表 4-34 RXW0-35 型熔断器的技术数据

型 号	额定电流 (A)	断流容量 (MVA)	熔断电流 (A)	电阻值 ($\Omega \pm 10\%$)	质 量 (kg)
RXW0-35/0.5	0.5	200	0.6-1.8	3.5	23
RXW0-35/2	2		3-4	10.8	
RXW0-35/4	3		4.5-6	4.14	
RXW0-35/5	5		8-10	1.52	

RW5-35 型是户外跌落式熔断器, 适用于 35kV、50Hz 的输电线路及电力变压器作为过负荷和短路保护用, RW5-35 I 型为改进型。

表 4-35 RW5-35 型熔断器技术数据

型 号	额定电压 (kV)	最高工作电压 (kV)	额定电流 (A)	额定断流容量 (MVA)		配用熔丝额定电流 (A)	质量 (kg)
				上 限	下 限		
RW5-35	35	40.5	100	400	20	10, 15, 20, 30	32
RW5-35 I				300	60	40, 50, 75, 100	

表 4-36 Fusarc CF 型熔断器 (户内型) 技术参数 (施耐德公司)

额定电压 (kV)	工作电压 (kV)	额定电流 (A)	最大遮断电流 (kA)	最小遮断电流 (A)	冷态电阻 (mΩ)	功率损耗 (W)	长度 (mm)	直径 (mm)	质量 (kg)		
3.6	3/3.6	250	50	2000	0.6	58	292	86	3.3		
7.2	3/7.2	6.3	63	36	205	12	192	50.5	0.9		
		10		34	102	14					
		16		46	68	26					
		20		55	53	32					
		25		79	36	35		57	1.1		
		31.5		101	26	42					
		40		135	18	46					
		50		180	11.7	44		78.5	2		
		63		215	8	52					
		80		280	6.4	68					
100	380	5	85								
12	6/12	125	50	650	3.4	88	292	86	3.3		
		160		1000	2.2	87					
		200		1400	1.8	95					
		250		2200	0.9	95	442	46			
		6.3		63	36	319	16	292	50.5	12	
10	34	158	18								
16	46	106	37								
20	55	82	42								
25	79	56	52		57	1.5					
31.5	101	40	59								
40	135	28	74								
50	180	17.4	70		78.5	2.8					
63	215	13	82								
80	280	10	102								
100	380	7.5	120								
17.5	10/17.5	125	40	650	5.3	143	442	86	4.6		
		160		1000	3.5	127					
		200		1400	2.7	172					
		10		40	34	203	23	292	50.5	1.2	
		16			46	132	47				
		25			79	71	72				
		31.5			101	51	78		78.5	2.8	
		40			135	35	90				
		6.3			35	402	21				367
		10			34	203	25				
16	46	132	46								
20	55	103	52								
25	79	71	66		57	1.9					
31.5	101	51	74								
40	135	35	94								
50	180	22	93	78.5	3.5						
63	215	18	121								
80	300	135	145								
100	450	11	192								
			32				86	4.4			

续表

额定电压 (kV)	工作电压 (kV)	额定电流 (A)	最大遮断电流 (kA)	最小遮断电流 (A)	冷态电阻 (mΩ)	功率损耗 (W)	长度 (mm)	直径 (mm)	质量 (kg)
24	10/24	6.3	40	36	485	25	442	50.5	1.6
		10		34	248	31			
		16		46	158	58			
		20		55	123	67			
		25	32	79	85	79	57	2.2	
		31.5		101	61	96			
		40		135	42	119			
		50	32	180	31.5	135	78.5	4.1	
		63		215	22	144			
		80		300	18	200			
100	450	13.5		240	86	5.3			
36	20/36	6.3	20	36	750	39	537	50.5	1.8
		10		34	380	50			
		16		46	252	98			
		20		58	197	120			
		25	20	79	133	133	57	2.6	
		31.5		101	103	171			
		40		135	70	207			78.5
		50	20	200	47	198	86	6.4	
		63		250	35	240			

注 1. 冷态电阻（在 20℃ 下）的误差为 ±10%。

2. 上述熔断器用于变压器、电动机和电容器和电压互感器的保护。

4-19 中压熔断器是如何选择的？

(1) 中压熔断器选择的环境条件。环境条件是指环境温度、最大风速（对户外使用的熔断器有要求）、污秽情况（对户外使用的熔断器有要求）、海拔、地震烈度等，上述要求可参照户外开关设备的要求而定。

(2) 中压熔断器选择的技术条件。技术条件包括正常工作条件（电压、电流）和保护特性（最大开断电流、最小开断电流，熔断特性等）两部分。

1) 按正常工作条件选择额定电压和电流。

$$U_N \geq U_E$$

$$I_N \geq I_{N.R} \geq I_E$$

式中 U_N ——制造厂保证的最高工作电压，kV；

U_E ——电路的工作电压，kV；

I_N ——熔断器的额定电流，A；

$I_{N.R}$ ——熔件（体）的额定电流，A；

I_E ——电网的持续工作电流。

而 $I_{N.R}$ 的选择包括下述两种方式。

a) 为了防止熔体在通过变压器励磁涌流和保护范围以外的短路电流以及电动机自起动的冲击电流时的误动作，保护 35kV 及以下电力变压器的中压熔断器，其熔体的额定电流可按下式选择。

$$I_{N\cdot R} = kI_{1\max}$$

式中 k ——可靠系数, 不计电动机自启动时, 取 1.1~1.3, 考虑电动机自启动时, 取 1.5~2.0;

$I_{1\max}$ ——电力变压器回路的最大工作电流。

b) 用于保护电力电容器的熔体, 当系统电压升高或波形畸变引起回路电流增大或运行过程中产生涌流时, 不应误熔断, 其熔体的额定电流可按下式选择。

$$I_{N\cdot R} = kI_{NC}$$

式中 k ——可靠系数 (对限流式中压熔断器, 当一台电力电容时, $k=1.5\sim 2.0$, 当一组电力电容器时, $k=1.3\sim 1.8$;

I_{NC} ——电力电容器回路的额定电流。

2) 按保护特性来选择参数。

a) 熔断器的额定开断电流。

对限流式熔断器 $I_{DN} \geq I''$

式中 I_{DN} ——熔断器的额定断流量 kV;

I'' ——短路电流的次暂态电流。

对无限流作用的熔断器 $I_{DN} \geq I_{sh}$

式中 I_{DN} ——熔断器的额定断流量, kA;

I_{sh} ——短路电流的冲击电流的有效值。

b) 保护电压互感器的熔断器, 只需按额定电压和额定开断电流选择, 不必选择额定电流。

c) 当中压熔断器的开断能力不能满足被保护回路要求时, 可在熔断器回路中装设限流电阻以限制短路电流, 但保护防雷用的电容器除外。

d) 熔体的额定电流应按中压熔断器的保护熔断特性进行选择, 并满足保护的可靠性、选择性和灵敏度的要求。

在选择时, 应保证前后两级熔断器间, 熔断器和电源侧及负荷侧继电保护间动作的选择性。在本段保护范围由发生短路故障时, 应在最短时间内切断故障。当电网接有其他接地保护时, 回路中最大接地电流和负荷电流之和不应超过最小熔断电流。

此外, 在选择熔断器时对熔件电流的选择应在满足下列条件:

- 1) 保护中压线路的熔断器熔件电流应大于线路的计算电流 (一般为 1.1~1.3 倍)。
- 2) 保护电力变压器的熔断器熔件电流一般取一次侧额定电流的 1.5~2.0 倍 (考虑过负荷, 空载合闸电流等)。
- 3) 保护电压互感器的熔断器熔件电流一般取 0.5A。
- 4) 所选择的熔件电流应保证电路中前后保护的配合。

4-20 举例说明中压熔断器的选型。

例 1 已知某变电所的配电变压器容量为 3150kVA, 电压为 35/10kV, 其短路电流的冲击电流有效值为 6kA, 拟在一次侧采用户外式跌落式熔断器, 试进行选型。

解: 由变压器参数可求得变压器一次侧额定电流

$$I_E = S_N / \sqrt{3}U_N = 3150 / \sqrt{3} \times 35 = 52.03(\text{A})$$

按正常工作条件选择

熔断器额定电压 $U_N \geq 35\text{kV}$

熔断器额定电流 $I_N \geq I_{N.R} \geq I_E$

对保护电力变压器的熔断器熔件电流可取一次侧额定电流的 1.5~2.0 倍, 则 $I_{N.R} = 2 \times 52 = 104\text{A}$, 取 100A。

熔断器的额定开断电流, 对无限流作用的熔断器 $I_{DN} = I_{sh}$ (I_{sh} 为短路冲击电流有效值), 即 $I_{DN} \geq 6\text{kA}$ 。

根据上述计算: 可选取 RW11-38 II / 100-6.3 跌落式熔断器 (额定电压为 38kV, 熔断器额定电流为 100A, 配熔丝的额定电流为 100A, 其额定开断电流为 6.3kA)。

例 2 限流式熔断器的选型, 可参见负荷开关+熔断器的例子。



第六节 隔离开关的选型和使用

4-21 中压隔离开关用途是什么? 如何分类?

中压隔离开关的结构比较简单, 断开后有明显可见的断开间隙, 可用于隔离高(中)压电源以保证其他设备的安全维修。它没有专门的灭弧装置, 因此不允许带负荷操作, 一旦发生误操作(即用于切断负荷电流或故障电流), 将带来严重的设备损坏及人身伤亡事故。在制造厂铭牌有时也有说明可以通断一定的小电流。

中压隔离开关的分类: 按安装地点可分为户内和户外式, 按绝缘支柱可分为单、双和三柱式。

4-22 如何选择中压隔离开关?

选择电压隔离开关的条件可分为技术条件和环境条件。

(1) 技术条件。

1) 按正常技术条件选择: 这包括电压、电流、频率及机械载荷。

2) 按短路稳定性校验: 这包括动稳定、热稳定和持续时间的校验。

3) 按承受过电压能力: 这包括对地和断口间的绝缘水平、外绝缘的爬电比距等。

(2) 环境条件。这包括环境温度、日温差(户外式用) 最大风速(户外式用)、相对湿度(户外、内式用)、污秽状况(户外式用)、海拔、地震烈度等。

4-23 中压隔离开关的主要参数有哪些?

中压隔离开关的主要参数有:

(1) 额定电压: 定义和断路器相同。

(2) 最高工作电压: 定义和断路器相同。

(3) 额定电流: 定义和断路器相同。

(4) 峰值耐受电流: 即动稳定电流, 定义和断路器相同, 但对作为接地开关的隔离开关其值要小于(或等于)隔离开关的数值。

(5) 短时耐受电流: 即热稳定电流、定义和断路器相同, 但对作为接地开关的隔离开关其值要小于隔离开关的数值。

(6) 工频耐压(1min) 和雷电冲击耐压峰值。它分为对地和断口两项。其标准应符合

DL/T 593—1996 年有关开关设备的额定绝缘水平。

表 4-37 和表 4-38 列出了某些国内的中压隔离开关的技术数据。

表 4-37 户内型高压隔离开关

型号	额定电压 (kV)	最高电压 (kV)	额定电流 (A)	4s 热稳定电流 (kA)	动稳定电流 (峰值) (kA)
GN4-10T	10	11.5	400	14	52
GN6-10T	10	11.5	600	20	52
GN8-10T	10	11.5	1000	30	75
GN19-35/630	35	40.5	630	20	50
GN19-35/1250	35	40.5	1250	31.5	80

表 4-38 户外型高压隔离开关

型号	额定电压 (kV)	最高电压 (kV)	额定电流 (A)	4s 热稳定电流 (kA)	动稳定电流 (峰值) (kA)
GW1-10	10	11.5	600	20	35
GW4-10	10	11.5	400	10	25
GW4-10	10	11.5	600	14	50
GW9-10G	10	11.5	630	20	50
GW4-40.5	35	40.5	400—1250	31.5	80

4-24 试举例说明中压隔离开关的选择。

某变电所进线侧负荷电流为 300A，母线的三相短路电流周期分重有效值为 $I_k^{(3)} = 8\text{kA}$ ，继电保护动作时间为 1.1s 试选择中压隔离开关（电压为 10kV）。

根据隔离开关选择条件，将结果列于表 4-39。

表 4-39 选择结果表

序号	安装地点电气条件		GN6-10T/400 隔离开关	
	项目	数据	项目	数据
1	U_N	10kV	U_N	11.5kV
2	I_C	300A	I_N	400A
3	$I_k^{(3)}$	8kA	I_{oc}	
4	i_{sh}	$2.55 \times 8\text{kA} = 20.4\text{kA}$	i_{max}	52kA
5	$I_k^2 t_{ima}$	$(8\text{kA})^2 \times (1.1 + 0.2) = 83.2\text{kA}^2\text{s}$	$I_t^2 t$	$14^2 \times 4 = 784\text{kA}^2\text{s}$



第七节 中压负荷开关的选型和使用

4-25 中压负荷开关的用途是什么？如何分类？

中压负荷开关具有简单的灭弧装置，它主要用于切断和关合一定的负荷电流和过负荷电流。但不能断开短路电流。因此，它仅作为控制和过载保护用，不能作为故障保护用。为了能保护故障短路，往往和高（中）熔断器串联使用，此时负荷开关用于开断负荷，熔断器作为切断短路故障。这种组合在较小容量配所得到了应用，代替了价格高的断路器。负荷开关断开后，和隔离开关一样具有明显的断口间隙，从而保证安全维修。

中压负荷开关的分类：按安装地点分为户内和户外式；按灭弧介质分为压气式、 SF_6 、真空等；按结构可分为柱上式（或墙上式）和开关柜式。

4-26 如何选择中压负荷开关?

选择中压负荷开关按环境条件和技术条件进行。

(1) 环境条件: 包括环境温度、最大风速(户外式用)、覆冰(户外式用)、相对湿度(户内式用)、日温差(户外式用)、污秽状况(户外式用)、海拔、地震烈度等。

(2) 技术条件:

1) 按正常工作条件选择: 包括电压、电流、频率和机械载荷等。

2) 按短路条件校验: 包括动稳定电流, 额定关合电流, 动、热稳定电流和持续时间等。

3) 按绝缘水平选择: 包括一分钟工频耐压, 雷电冲击耐受电压等。

以上各项可参照 4-1 的各项条款要求和 DL/T 593—1996 年的规程要求。

4-27 中压负荷开关有哪些技术参数?

中压负荷开关的技术参数有:

(1) 额定电压: 是指开关正常工作的线电压(有效值)。

(2) 最高工作电压: 是指开关可以长期使用的最高的工作线电压(有效值)。

(3) 额定电流: 是指在规定的正常工作条件下可以通过的长期的工作电流(有效值)。

(4) 额定频率: 是指在规定的正常工作条件可以连续运行的电网频率(我国为 50Hz)。

(5) 额定热稳定电流和持续时间: 它表示开关的热稳定性, 其值等于额定的短路电流。

(6) 额定动稳定电流: 它表示开关的动稳定性, 其值等于额定短路关合电流(峰值)。

(7) 额定绝缘水平: 它包括 1 分钟工频耐压及雷电冲击耐压。

(8) 额定空载变压器开断电流: 它仅限于一定容量的变压器的空载电流。

(9) 额定短路关合电流: 在此电流下开关能进行关合, 它等于额定峰值耐受电流(动稳定电流)。

在表 4-40 和表 4-43 中列出了国内外某些中压负荷开关的技术数据。

表 4-40 户内交流高压负荷开关(空气灭弧介质)

序号	项 目	单 位	FKKA-12D/630	FKRNA-12D/125
1	额定电压	kV		12
2	额定频率	Hz		50
3	额定电流	A	630	100*
4	雷电冲击耐受电压	kV	对地, 相间及真空断口 75kV 隔离断口 85kV	
5	1min 工频耐受电压	kV	对地, 相间及真空断口 42kV 隔离断口 48kV	
6	额定热稳定电流	负荷开关	25 (4s)	
		接地开关	20 (2s)	20 (2s)
7	额定动稳定电流	负荷开关	63	—
		接地开关	50	50
8	额定关合电流(峰值)	kA	63	
9	额定短路开断电流	kA		50
10	额定转移电流	A		1500**
11	开断空载变压器容量	kVA		1250
12	额定电缆充电开断电流	A		10
13	额定有功负载开断电流	A		630
14	撞击器触发分闸时间	s		<0.06

* 取决于熔断器的额定电流, 最大额定电流为 100A。

** 取决于熔断器的额定短路开断电流, 最大可达 50kA。

表 4-41 户内高压负荷开关（真空灭弧）（FZN-12D/630-20 型）

序 号	项 目	单 位	数 值
1	额定电压	kV	12
2	额定电流	A	630
3	额定短时耐受电流（4s）	kA	20
4	额定峰值耐受电流	kA	50
5	额定短路关合电流	kA	50
6	额定动负载开断电流	A	630
7	额定闭环开断电流	A	630
8	额定电缆充电电流	A	10
9	额定空载变压器开断	kVA	1250
10	1min, 工频耐压	kV	相间, 相对地 42 隔离断口 48
11	雷电冲击耐压	kV	相间, 相对地 75 隔离断口 85
12	机械寿命	次	10000

表 4-42 FW 型户外产气式负荷开关数据

型 号	额定电压 (kV)	额定 电流 (A)	最大开 断电流 (A)	极顺通过电流 (kA)		热稳定电流 (kA)		重量 (kg)	操作 机构	外形尺寸 (mm)			生产单位
				有效值	峰值	4s	3s			高	宽	深	
FW1-10/400	10	400	800					80					沈阳高压开关厂
FW2-10G/200 FW2-10G/400	10	200 400	1500 1500	8 8	14	7.9	7.8 12.7	164 168	绝缘棒 或绳索	110	530	412	沈阳市第三 电器开关厂
FW4-10/200 FW4-10/400	10	200 400	800 800	8.7 8.7	15	5.8		157 174	绝缘棒 或绳索	557	640	630	上海华通 开关厂
FW5-10/200	10	200	1500		10	4		75	绝缘棒 或绳索	760	900	850	沈电、先开、 火电、红电、 上瓷

表 4-43 RL 系列技术规范（户外型）（施耐德公司产）

额定值	15kV 12.5kA	15kV 16kA	27kV 12.5kA	27kV 16kA
最高系统电压	15kV	15kV	27kV	27kV
额定连续电流	630A	630A	630A	630A
故障关合电流（有效值）	12.5kA	16kA	12.5kA	16kA
故障关合电流（峰值）	31.5kA	40kA	31.5kA	40kA
机械操作次数	3000	3000	3000	3000
额定满负荷操作	600	600	600	600
热稳定电流（4s 有效值）	12.5kA	16kA	12.5kA	16kA

续表

SF ₆ 气体工作压力 (20℃时表压)		0.1MPa	0.1MPa	0.1MPa	0.1MPa
开断能力	开断有功负荷电流 (功率因数 0.7)	630A	630A	630A	630A
	开断电缆充电电流	25A	25A	25A	25A
	开断变压器励磁电流	22A	22A	22A	22A
冲击耐压	断口	125kV	125kV	170kV	170kV
	相对相	110kV	110kV	150kV	150kV
	相对地	110kV	110kV	150kV	150kV
工频耐压	断口	48kV	48kV	60kV	60kV
	相对相	42kV	42kV	60kV	60kV
	相对地	42kV	42kV	60kV	60kV
工作环境	温度	-40~+50℃	-40~+50℃	-40~+50℃	-40~+50℃
	阳光辐射 (最大)	1.1kW/m ²	1.1kW/m ²	1.1kW/m ²	1.1kW/m ²
	湿度	0~100%	0~100%	0~100%	0~100%
	海拔 (最高)	3000m	3000m	3000m	3000m
负荷开关 (本体) 净重		95kg	95kg	95kg	95kg

4-28 中压负荷开关如何和熔断器配合?

中压负荷开关—限流熔断器组合电器具有结构简单、造价低、保护特性好、操作维护方便、运行可靠等优点。在中压配电变压器的保护和控制开关选用中得到了广泛应用。

在负荷开关—熔断器组合电器中，对负荷开关提出了转移电流和交接电流的要求：

(1) 转移电流。由于三相熔断器熔体熔化有时间差，三相中有一相先断开后，撞击器动作形成另两相故障电流由负荷开关来开断（撞击器任何一个动作将使负荷开关全部自动分闸）。转移电流是指熔断器与负荷开关转移开断职能时的三相对称电流值。当小于该值时，首相电流由熔断器开断，其他两相电流由负荷开关开断，大于该值时，三相电流仅由熔断器开断。负荷开关所能承受的转移电流应足够，否则将无力承担开断两相电流的任务而爆炸。

而转移电流和熔断器的安—秒特性有关，根据 IEC420 (1990) 推荐用 0.9 乘负荷开关固分时间在安—秒曲线所对应的电流值就是转移电流。一般来说，860kVA 以内的变压器可选用空气介质的负荷开关，800~1250kVA 的变压器可选用真空和 SF₆ 介质的负荷开关，大于 1250kVA 的变压器选用断路器来保护和控制。

(2) 交接电流。交接电流是指熔断器和负荷开关脱扣器动作的分界电流，低于交接电流时由脱扣器动作断开开关，高于交接电流时，由熔断器保护动作。

选择交接电流参数较高的负荷开关（如真空和 SF₆ 的开关）可有效地减少熔断器动作次数，减少两者交换数量。

(3) 限流熔断器的选配。在组合电器中，负荷开关负责正常或转移电流的开断，而熔断器负责过载和短路电流的开断。选用的熔断器应分断能力高，时间—电流特性曲线陡峭等特性，其额定电流应和变压器容量相配合，可见表 4-44 (IEC 标准)。

表 4-44 熔断器额定电流和变压器容量的配合 (A)

工作电压 (kV)	变压器容量 (kVA)													
	25	50	100	125	160	200	250	315	400	500	630	800	1000	1250
3.3	16	25	40	50	50	80	80	100	125	125	160	200		
6.6	10	16	25	31.5	40	50	50	63	80	80	100	125	125	160
10	6.3	10	16	20	25	31.5	40	50	50	63	80	80	100	125
13.8	6.3	10	16	16	20	25	315	31.5	40	50	50	63	80	80

对于多台配电变压器的并列运行系统，应注意对转移电流的校验，因此时转移电流将大大增加。

4-29 中压负荷开关+熔断器组合电器的选型实例。

已知某配电所有一台配电变压器，容量为 1250kVA，电压为 10/0.4kV，拟采用负荷开关+熔断器的组合电器用于 10kV（一次侧）的开断（短路电流为 25kA）。试对此组合电器进行选型。

解：变压器的正常工作电流为

$$I_N = S/\sqrt{3}U_N = 1250\text{kVA}/\sqrt{3} \times 10\text{kV} = 72.25\text{A}$$

根据熔断器和配电变压器容量的配合表（见表 4-44）对 10kV 等级应选熔断器的额定电流为 125A，其开断电流应大于 25kA，熔体的额定电流也取 125A，可选 XRNT 型熔断器（限流式）（额定开断电流为 40kA）。

负荷开关所承担的转移电流，查得 FN16A—12D/200 型真空负荷开关的固分时间为 35ms，在熔断器安—秒曲线上可查得对应 $0.9 \times 35\text{ms}$ 的电流值为 2000A，而负荷开关的额定转移电流为 3150A，完全足够。而交接电流在熔断器安—秒特性时间轴取负荷开关最小分闸时间加 20ms（继电保护动作时间）所对应的电流值为 3000A，该型负荷开关也可满足。

为此选用 FN16A-12D/200 型负荷开关+熔断器组合电器。



第八节 互感器的选型和使用

4-30 电压互感器有什么用途？如何分类？

电压互感器是一种特殊的变压器，它由一次绕组、二次绕组、铁芯、接线端子和绝缘支持物等组成，一次绕组匝数很多，并联于被测电路的两端，其绝缘等级与实际系统的电压相对应。二次绕组匝数较少，它可并联仪表，继电保护的电压线圈，二次绕组的额定电压一般为 100V。

电压互感器的分类和它的型号是相对应的，在表 4-45 中列出了常用的电压器型号及含义。

表 4-45 国产电压互感器代号

序号	分类用途	含义	代表字母
1	用途	电压互感器	J
2	结构形式	瓷箱式 串级式 单相 三相	C C D S
3	绝缘形式	油浸式 干式 浇注绝缘 电容分压式	J G Z R
4	结构特征	接地保护用 带补偿绕组 “五”柱三绕组	J B W

4-31 电压互感器的主要参数有哪些？

电压互感器的主要参数有：

- (1) 额定一次电压：由所在系统的标称电压来确定。用相电压时，其电压应除以 $\sqrt{3}$ 。
- (2) 额定二次电压：供三相系统间连接的单相电压互感器，额定二次电压为 100V；供三相系统与地之间用的单相电压互感器，其额定一次电压为某值的 $1/\sqrt{3}$ 时，额定二次电压为 $100/\sqrt{3}$ V；剩余电压绕组的额定二次电压，中性点有效接地系统时为 100V，非有效接地系统为 $100/\sqrt{3}$ 。

(3) 准确等级和误差限值。

1) 测量用的准确等级：以该准确等级规定的电压和负荷范围的最大允许电压误差百分数来标称（即为 0.1、0.2、0.5、1.0、3.0 级）。

2) 保护用的准确等级：以该准确等级在 5% 额定电压到额定电压因数相对应的电压范围内最大允许电压误差的百分数来标称。标准的为 3P 和 6P。

3) 误差限值：对电压互感器其比差和角差不应超过一定值（见表 4-46）。

表 4-46 电压互感器的准确等级和允许误差

准确度等级	一次电压为额定电压的百分数 (%)	允许误差		负载导纳为额定导纳的百分数 (%)	准确度等级	一次电压为额定电压的百分数 (%)	允许误差		负载导纳为额定导纳的百分数 (%)
		比差 (%)	角差分				比差 (%)	角差分	
0.01	20	± 0.03	± 1.0	25~100	0.1	20	± 0.3	± 15	25~100
	50	± 0.015	± 0.5			50	± 0.015	± 7.5	
	80~120	± 0.01	± 0.3			80~120	± 0.1	± 5	
0.02	20	± 0.06	± 2.0		0.2	20	± 0.6	± 30	
	50	± 0.03	± 1.0			50	± 0.3	± 15	
	80~120	± 0.02	± 0.6			80~120	± 0.2	± 10	
0.05	20	± 0.15	± 6.0		0.5	85~115	± 0.5	± 20	
	50	± 0.075	± 3.0		1	85~115	± 1.0	± 40	
	80~120	± 0.05	± 2.0		3	85~115	± 3.0	不规定	

注 电压互感器的实际误差曲线，应不超过表列各允许误差点所连成的折线范围（参阅 JJG 163—1975《测量用互感器试行检定规程》）。

比差为折算到一次的二次电压与实际一次电压间的差值。角差为一次电压向量与反转 180° 后的二次电压间的夹角（以分表示）。

4) 二次负载。保证二次实接负荷在额定输出的百分数范围内。

表 4-47~表 4-52 中列出某些国内外电压互感器数据。

表 4-47 JD2 型户内环氧浇注式电压互感器的技术数据

额定电压比		1000/100	3000/100	6000/100	10000/100	10000/200	11000/100	13800/100	15000/100
频率 (Hz)		50	50	50	50	50	50	50	50
额定二次负荷 (VA)	0.5 级	30	30	50	80	80	80	80	80
	1 级	50	50	80	120	120	120	120	120
	3 级	100	100	200	300	300	300	300	300
最大负荷 (VA)		200	200	300	500	500	500	500	500
绝缘水平 (kV)		6/32/60	6/32/60	6/32/60	40/42/80	40/42/80	40/42/80	45/55/108	45/55/108

表 4-48 JSJW-10、JDJ-10 型电压互感器技术数据

技术参数 型号	额定一次电压 (kV)	额定二次电压 (V)		额定输出及准确级		热初级 负荷 (VA)	额定 电压 因素	工频耐受电压 (kV)		爬电 距离 (mm)	安装 尺寸 (mm)	油重/ 总重 (kg)
		二次	剩余	二次之间及地	一次对二次及地							
JSJW-10	10	100	100	0.5 级 100VA 1 级 200VA	6P 200VA	960	1.15 倍连续 1.9 倍 8h	42kV	3kV	287.5	740× 748	55/190
JDJ-10	10	100		0.5 级 1 级 3 级	80VA 150VA 320VA	640	1.15 倍连续	42kV	3kV	287.5		

表 4-49 JD6-35 型电压互感器技术数据

额定电压 (V)		额定 频率 (Hz)	二次绕组在相应准确级的额定容量 (VA) $\cos\varphi=0.8$ (滞后)			二次绕组极限容量 (VA) $\cos\varphi 0.8\sim 1.0$	绕组连接 组标号
一次绕组	二次绕组		0.5	1	3		
35000	100	50	150	250	500	1000	1/1-12

表 4-50 JD6-35 型电压互感器允许的电压误差和相位差限值

准确级	电压误差 (%)	相 位 差	
		(')	(rad)
0.5	± 0.5	± 20	± 0.6
1	± 1.0	± 40	± 1.2
3	± 3.0	不规定	不规定

表 4-51 JD6-35 型电压互感器允许的温升

部 位	温升限值 (°C)	测量方法
线 圈	55	电阻法
铁芯及其他结构零件表面	55	热电偶法和温度计法
油顶层	50	温度计法

表 4-52 国外产电压互感器 (施耐德公司)

电压互感器 VRQ2WS1 (相对地)	额定电压 (kV)	24			
	原边电压 (kV)	10/3	15/√3	15~20/e	20/√3
	副边电压 (V)	100/√3			
	热功率 (VA)	250			
	精度等级	0.5	0.5~1	0.5	0.5-1
	初级单绕组额定输出功率 (VA)	30	30	30	
	初级双绕组额定输出功率 (VA)	30~50			
电压互感器 VRC2/S1 (相对相)	额定电压 (kV)	24			
	原边电压 (kV)	10	15	20	
	副边电压 (V)	100			
	热功率 (VA)	500			
	精度等级	0.5			
	初级单绕组额定输出功率 (VA)	50			
电压互感器 RV9 (相对相)	额定电压 (kV)	24			
	原边电压 (kV)	10	15	20	
	副边电压 (V)	220			
	额定输出功率 (VA)	2500、4000			

4-32 电压互感器有哪些接线方式,各自用途是什么?

电压互感器的接线方式有:

- (1) 一个单相电压互感器接线,用于测线电压。
- (2) 两个单相电压互感器接成 V/V,用于测三相三线制电路的各个线电压,应用于 10kV 中压配电装置中。

(3) 三个单相三绕组电压互感器或一个三相五心柱绕组电压互感器接成 $Y_0/Y_0/\Delta$ 联结,接成 Y_0 的二次侧可测各线电压及相对地电压,接线开口三角形的辅助二次绕组可测零序电压,用于绝缘监察装置或微机小电流接地选线装置。正常时, Δ 两端电压接近于零,当某一相接地时, Δ 两端出现近 1000 的零序电压,使电压继电器动作,发出信号。在 10kV 系统中此接线的电压比为 $\frac{10}{\sqrt{3}}\text{kV}/\frac{100}{\sqrt{3}}\text{V}/\frac{100}{\sqrt{3}}\text{V}$ 。

在图 4-5 中表示了电压互感器的接线图式。

4-33 如何选择电压互感器?

选择电压互感器的原则是:

- (1) 电压的选择。电压互感器的额定一次电压应与安装地点电网的额定电压相对应,额

定二次电压一般为 100V (或 $100/\sqrt{3}V$)。

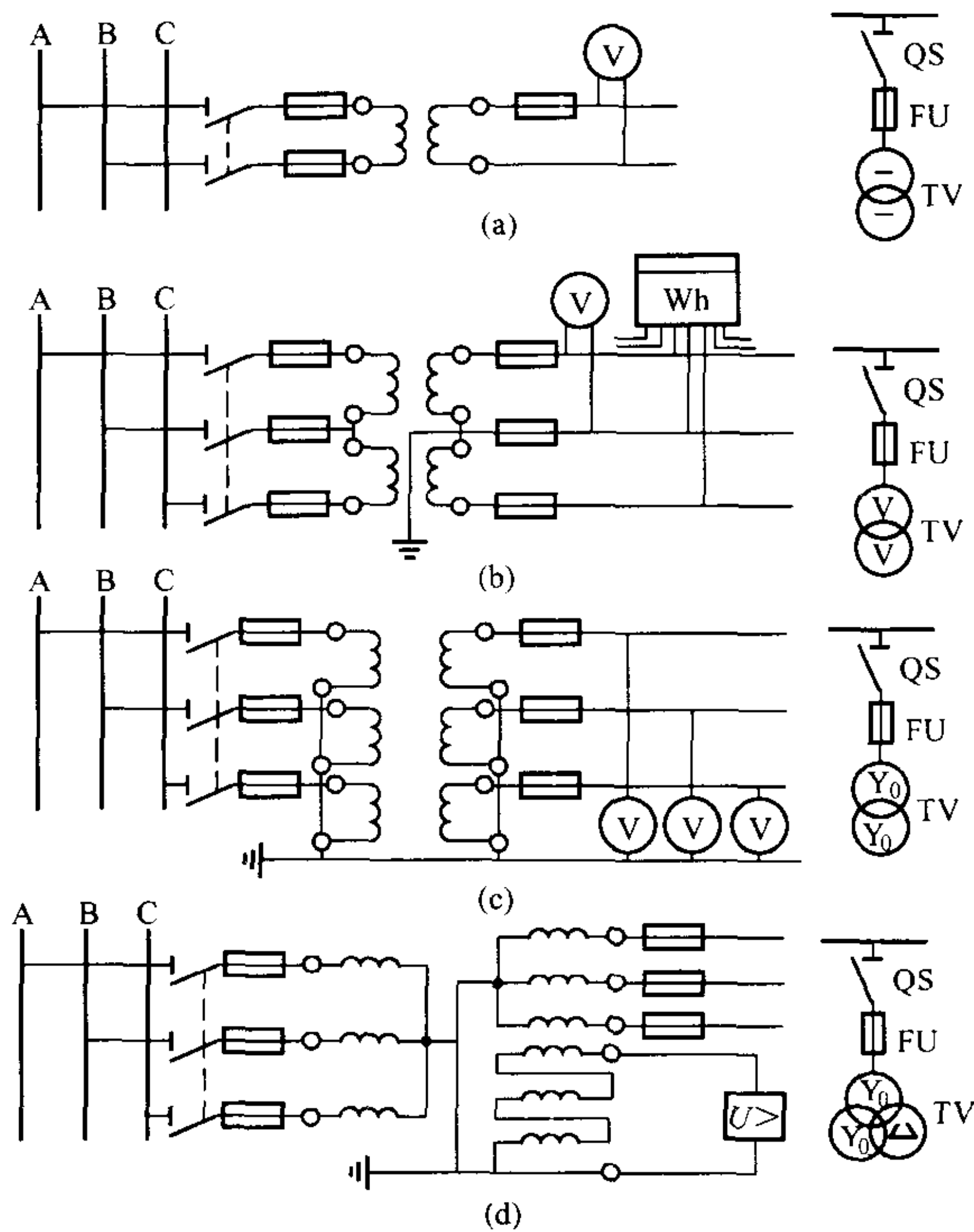


图 4-5 电压互感器接线图式

(a) 一个单相电压互感器；(b) 两个单相接成 V/V 形；(c) 三个单相电压互感器接成 Y_0/Y_0 形；(d) 三个单相三绕组电压互感器或一个三相五心柱三绕组电压互感器接成 $Y_0/Y_0/\Delta$ 形

(2) 按准确度级要求选择。电压互感器的二次负荷 S_2 不得大于规定准确级所要求的额定二次容量 S_{2N} ，即 $S_{2N} \geq S_2$ 。

$$S_2 = \sqrt{(\sum P_u)^2 + (\sum Q_u)^2}$$

$$\sum P_u = \sum (S_u \cos \varphi)$$

$$\sum Q_u = \sum (S_u \sin \varphi)$$

式中 $\sum P_u$ ——仪表、继电器电压线圈消耗的总有功功率；

$\sum Q_u$ ——仪表、继电器电压线圈消耗的总无功功率。

计算各相负荷时，应注意连接方式。当互感器与负荷接线方式不一致时，可参考表 4-53 进行计算。

表 4-53

电压互感器二次绕组负荷计算公式

接线		
----	--	--

续表

A	$P_A = [S_{ab} \cos(\varphi_{ab} - 30^\circ)] / \sqrt{3}$ $Q_A = [S_{ab} \sin(\varphi_{ab} - 30^\circ)] / \sqrt{3}$	AB	$P_{AB} = \sqrt{3} S \cos(\varphi + 30^\circ)$ $Q_{AB} = \sqrt{3} S \sin(\varphi + 30^\circ)$
B	$P_B = [S_{ab} \cos(\varphi_{ab} + 30^\circ) + S_{bc} \cos(\varphi_{bc} - 30^\circ)] / \sqrt{3}$ $Q_B = [S_{ab} \sin(\varphi_{bc} + 30^\circ) + S_{bc} \sin(\varphi_{bc} - 30^\circ)] / \sqrt{3}$	BC	$P_{BC} = \sqrt{3} S \cos(\varphi - 30^\circ)$ $Q_{BC} = \sqrt{3} S \sin(\varphi - 30^\circ)$
C	$P_C = [S_{bc} \cos(\varphi_{bc} + 30^\circ)] / \sqrt{3}$ $Q_C = [S_{bc} \sin(\varphi_{bc} + 30^\circ)] / \sqrt{3}$		

(3) 不需进行短路动, 热稳定校验。

(4) 仪表与配套的电压互感器的准确等级见表 4-54。

表 4-54 准确等级的配套

指 示 仪 表		计 量 仪 表		TV 准确级
仪表准确级	TV 准确级	有功电能表	无功电能表	
0.5	0.5	0.5	2.0	0.2
1.0	0.5	1.0	2.0	0.5
1.5	1.0	2.0	3.0	0.5
2.5	1.0	同回路的无功电能表与有功电能表共用同等级 TV		

4-34 使用电压互感器应注意什么?

(1) 电压互感器的一、二次侧必须加熔断器保护, 以防止发生短路而烧毁互感器, 影响一次电路的正常运行。

(2) 电压互感器的二次侧有一端必须接地, 以防止一次侧高压在绝缘击穿时窜入二次侧而危及人身和设备的安全。

(3) 在连接时, 应注意端子的极性 (即同名端相连), 如果接错, 则可能发生事故。

4-35 电压互感器的选型实例。

某 10kV 母线 (中性点不接地系统), 电压互感器除供测量仪表外, 还用于作交流电网绝缘监视, 试选择电压互感器 (已知 $P_{ab}=10\text{W}$, $Q_{ab}=15.2\text{var}$; $P_{bc}=9\text{W}$, $Q_{bc}=15.2\text{var}$)。

从上述要求看, 拟选用三相五柱式电压互感器, 型号为 JSJW-10 型, 也可选用带接地保护的 3 只单相浇注型电压互感器, 型号为 JDZJ-10 型。

电压互感器的一、二次电压为 10/0.1/ (0.1/3) kV, 由于接有计费用电能表, 故选用 0.5 级准确级的电压互感器。三相总额定容量为 100VA, 接线为 YNynd0。

根据表 4-53 可求出不完全星形负荷为

$$S_{ab} = \sqrt{P_{ab}^2 + Q_{ab}^2} = \sqrt{10^2 + 15.2^2} = 18.2\text{VA}$$

$$\cos\varphi_{ab} = P_{ab}/S_{ab} = 10/18.2 = 0.55$$

$$\varphi_{ab} = 56.6^\circ$$

$$S_{bc} = \sqrt{P_{bc}^2 + Q_{bc}^2} = \sqrt{9^2 + 15.2^2} = 17.65\text{VA}$$

$$\cos\varphi_{bc} = P_{bc}/S_{bc} = 9/17.65 = 0.51$$

$$\varphi_{bc} = 59.2^\circ$$

每相上的绝缘监视电压表的 $P=0.3\text{W}$, $Q=0$ 。

$$\begin{aligned} \text{A 相负荷: } P_A &= \frac{1}{\sqrt{3}} S_{ab} \cos(\varphi_{ab} - 30^\circ) + P \\ &= \frac{1}{\sqrt{3}} \times 18.2 \times \cos(56.6^\circ - 30^\circ) + 0.3 = 9.69\text{W} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} Q_A &= \frac{1}{\sqrt{3}} S_{ab} \sin(\varphi_{ab} - 30^\circ) \\ &= \frac{1}{\sqrt{3}} \times 18.2 \times \sin(56.6^\circ - 30^\circ) = 4.7\text{var} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{B 相负荷: } P_B &= \frac{1}{\sqrt{3}} [S_{ab} \cos(\varphi_{ab} + 30^\circ) + S_{bc} \cos(\varphi_{bc} - 30^\circ) + P] \\ &= \frac{1}{\sqrt{3}} [18.2 \times \cos(56.6^\circ + 30^\circ) + 17.65 \cos(59.2^\circ - 30^\circ)] + 0.3 \\ &= 9.1\text{W} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} Q_B &= \frac{1}{\sqrt{3}} [S_{ab} \sin(\varphi_{ab} + 30^\circ) + S_{bc} \sin(\varphi_{bc} - 30^\circ)] \\ &= \frac{1}{\sqrt{3}} [18.2 \sin(56.6^\circ + 30^\circ) + 17.65 \sin(59.2^\circ - 30^\circ)] \\ &= 15.46\text{var} \end{aligned}$$

按负荷大的相校验

$$S_B = \sqrt{P_B^2 + Q_B^2} = \sqrt{9.81^2 + 15.46^2} = 18.3\text{VA}$$

按上述计算及要求, 可选用 JSJW-10 型电压互感器。(见表 4-48) (三相五柱式), 0.5 级, 二次额定容量为 100VA, 一、二次电压为 $10/0.1/0.1/\sqrt{3}\text{kV}$, 接线为 YNynd0。

4-36 电流互感器有什么用途? 如何分类?

电流互感器也是一种特殊变压器, 其一次绕组串联在电力线路里, 二次绕组接仪表和继电器。其作用是将一次电流转变为标准的二次电流 (如 5A 和 1A), 以便用于测量和保护用。

电流互感器的分类和其代号也有对应, 在表 4-55 中列出了其各代号的含义。

表 4-55 电流互感器型号 (国产) 代号

序号	分类含义		代表字母
1	用途	电流互感器	L
2	结构形式	穿墙式 支持式 瓷套式 单匝贯穿式 复匝贯穿式 母线式 线圈式 装入式 支柱式 低压式	A B C D F M Q R Z Y
3	绝缘形式	干式 瓷绝缘 浇注成型固体 塑料外壳绝缘	G C J或Z K
4	结构特征	带保护级 带差动保护 加强型 加大容量	B D Q J

注 第3字 W 为户外式。

4-37 电流互感器的主要参数有哪些?

电流互感器的主要参数有:

- (1) 额定一次电流: 指一次绕组通过此电流时, 各部温升不超过绝缘材料的允许温升。
- (2) 额定一次电压: 由所在系统的标称电压确定 (有 0.5, 3, 6, 10, 15, 20, 35, 60, 110kV 等)。

(3) 额定二次电流; 有 5A 和 1A 两类。

(4) 准确等级和误差限值。电流互感器的准确度等级是以此比差和角差来区分的, 在数值上是等于比差限值的最小值。有 0.01、0.02、0.05、0.1、0.2、0.5、1、3、10 级和 0 级之分。

比差—折算到一次的二次电流与实际一次电流间的差值。角差—一次电流向量与反转 180°后的二次电流向量之间的夹角, 以分表示。

表 4-56 中表示了电流互感器的准确等级及允许误差。

(5) 额定热稳定电流有效值及持续时间。指在二次线圈短路时, 互感器在 1s (或 5s) 内承受短路电流热作用而无损伤的一次电流有效值。

(6) 额定动稳定电流峰值。指在一次线路发生短路时, 互感器所能承受住而无机械损伤的最大一次电流峰值。一般为热稳定电流的 2.55 倍。

在表 4-57~表 4-59 中列出了某些国内外的电流互感器的技术数据。

表 4-56

电流互感器的准确等级和允许误差

准确度等级	一次电流为额定电流的百分率 (%)	允许误差		负载阻抗为额定值的百分率 (%)	准确度等级	一次电流为额定电流的百分率 (%)	允许误差		负载阻抗为额定值的百分率 (%)
		比差 (%)	角差分				比差 (%)	角差分	
0.01	10~120	±0.01	±0.3	25~100	0.5	10	±1	±60	25~100
0.02		±0.02	±0.6			20	±0.75	±45	
0.05		±0.05	±2			100~120	±0.5	±30	
0.1	10	±0.25	±10		1	10	±2	±120	
	20	±0.20	±8			20	±1.5	±90	
	50	±0.15	±7			100~120	±1	±60	
	100~120	±0.1	±5						
0.2	10	±0.5	±20		3	50~120	±3	不规定	
	20	±0.35	±15						
	50	±0.3	±13		10	50~120	±10		
	100~120	±0.2	±10						

注 电流互感器的实际误差曲线，应不超过表列各允许误差点所连成的折线范围（参阅 JJG 163—75《测量用互感器试行检定规程》）。

表 4-57

LABN-35 (W) 型电流互感器技术数据 (国产)

额定电压 (kV)	额定一次电流 (A)	额定二次电流 (A)	级次组合	测量级额定二次负荷与仪表保安系数 PS	保护级 (P) 额定二次负荷与准确限值系数 LF	短时热电流 (kA/3s)	动稳定电流 (kA)	爬电距离 (mm)	额定绝缘水平 (kV)	产品介质损耗率	产品密封性能	油重/总重 (kg)
35	15	5 (1)	0.5/P 0.2/P	50VAFS5	50VA10P15	0.975	1.8	1015	40.5/ 80/ 185	0.02	0.15 MPa 15min 无渗漏	40/ 120
	20			50VAFS5	50VA10P15	1.3	2.4					
	30			50VAFS5	50VA10P15	1.95	3.6					
	40			50VAFS5	50VA10P15	2.6	4.8					
	50			50VAFS5	50VA10P15	3.25	6					
	75			50VAFS5	50VA10P15	4.875	9					
	100			50VAFS5	50VA10P15	6.5	12					
	150			50VAFS5	50VA10P15	9.75	18					
	200			50VAFS5	50VA10P15	13	24					
	300			50VAFS5	50VA10P15	19.5	36					
	400			50VAFS5	50VA10P15	26	48					
	600			50VAFS5	50VA10P15	39	72					

表 4-58

10kV 电流互感器性能数据

型 号	额定电流比 (A/A)	级次 组合	准 确 度	二次负载值 (Ω)				10%倍数		1s 热 稳定 倍数	动稳定 倍数
				0.5 级	1 级	3 级	B	二次负 载 (Ω)	倍数		
LA-10	5、10、15、20、30 40、50、75、100、 150、200、300、400、 500、600、750、1000/5								10	90	160
									10	75	135
									10	50	90
LFZ1-10 LFX-10	5~200/5 300~400/5 5~400/5	0.5/1	0.5	0.4	0.4	0.6		0.4 0.6	2.5~10	90	160
		0.5/3	1						75	130	
		1/3	3						60		
LFX-10	5~200/5 300、400/5 500、600、750、1000/5								90 75 50	225 160 90	
LFZB6-10 LFZJB6-10 LFSQ-10	5~300/5 100~300/5 5~200/5 400~1500/5									150~80	103
										80	103
										150	230
										42	60
LFZJ	5~150/5 200~800/5 1000~3000/5								10	106	180
										40	70
										20	35
LZZB6-10 LZZJB6-10	5~300/5 100~300/5 400~800/5 1000、1200、1500/5	0.5/B				0.2			15	150~80	103
									15	150~80	103
									15	55	70
									15	27	35
LZZQB6-10	100~300/5 400~800/5 1000~1500/5								15	148	188
									15	55	70
									15	40	50
LDZB6-10 LDJ-10	400~1500/5 5~150/5 200~3000/5									28	52
									15	106	188
										100~13	23
LMZB6-10 LMZB1-10	1500~4000/5 150~1250/5								15	35	45

表 4-59

国外产电流互感器短时耐受电流参数 (施耐德公司)

(kA)

互感器 ARM2/N2F (用于负荷开关 进、出线或 连接柜)	I_{1n} (A)	50	75	100	150	400	600					
	I_{th} (kA)	12.5	16			25						
	t (s)	0.8	1	0.8		1						
	测量和 保护	5A	7.5VA—0.5级									
		1A	1VA—10P30									
		5A	10VA—5P10									
绕组形成	初级单绕组；次级双绕组用于保护和测量											
互感器 ARM1/N1F (用于熔断器+负荷 开关组合柜)	I_{1n} (A)	10	15	20	25	30	50	75	100	150	200	
	I_{th} (kA)	0.8	1.2	1.6	2	2.4	4	6	8	12.5		
	t (s)	1										
	测量和 保护	5A	7.5VA—0.5级									
		5A	5VA 5P15									
绕组形成	初级双绕组；次级单绕组用于测量和保护											
互感器 ARJP1/N2F (用于带熔断器 的接触器柜)	I_{1n} (n)	50	100	150	200							
	I_{th} (kA)	10										
	t (s)	1										
	测量和 保护	5A	7.5VA—0.5级									
		5A	5VA—5P10									
绕组形成	初级绕组；次级绕组用于测量和保护											
互感器 ARM3/N2F [对 (630A 柜) (用于隔离开关+断 路器柜及电流/ 电压测量柜)]	I_{1n} (A)	10—20	20—40	50—100	100—200	200—400	300—600					
	I_{th} (kA)	5		12.5			25					
	t (s)	1	0.8		1							
	测量和 保护	5A	7.5VA—0.5级									
		1A	1VA—10P30									
		5A	5VA—5P10				5VA—5P15		5VA—5P10			
绕组形成	初级双绕组；次级双绕组用于测量和保护											
互感器 ARJP2/N2F [对 1250A 柜 (用途同 630A 柜)]	I_{1n} (A)	600					750					
	I_{th} (kA)	25										
	t (s)	1										
	测量和 保护	1A	20VA—0.5级									
		1A	10VA 5P20									
		5A	20VA 0.5级									
5A		10VA 5P20										
绕组形成	初级单绕组；次级双绕组用于测量和保护											

续表

互感器 ARJP3/N2F [对 1250A 柜 (用 途同 630A 柜)]	I_{ln} (A)	1000	1250	
	I_{th} (kA)	25		
	t (s)	1		
	测量和 保护	1A	30VA—0.5 级	
		1A	15VA 5P20	
		5A	30VA 0.5 级	
5A		15VA 5P20		
绕组形成	初级绕组；次级双绕组用于测量和保护			

4-38 电流互感器的接线方式有哪些？各自用途是什么？

电流互感器的接线方式及用途有：

(1) 一相式接线。二次绕组通过的电流，反映一次电路对应相的电流，通常用于负荷平衡的三相电路中测量电流，或在继电保护中作为过负荷保护接线。如图 4-6 (a) 所示。

(2) 两相 V 型接线。也称为两相不完全星形接线，广泛用于中性点不接地的三相三线制电路中，常用于三相电流和电能的测量和过电流继电保护。如图 4-6 (b) 所示。

(3) 两相电流差接线。其公共线（二次侧）流过的电流是二次电流之差，在对称运行和三相短路时，此电流等于相电流的 $\sqrt{3}$ 倍。如图 4-6 (c) 所示。

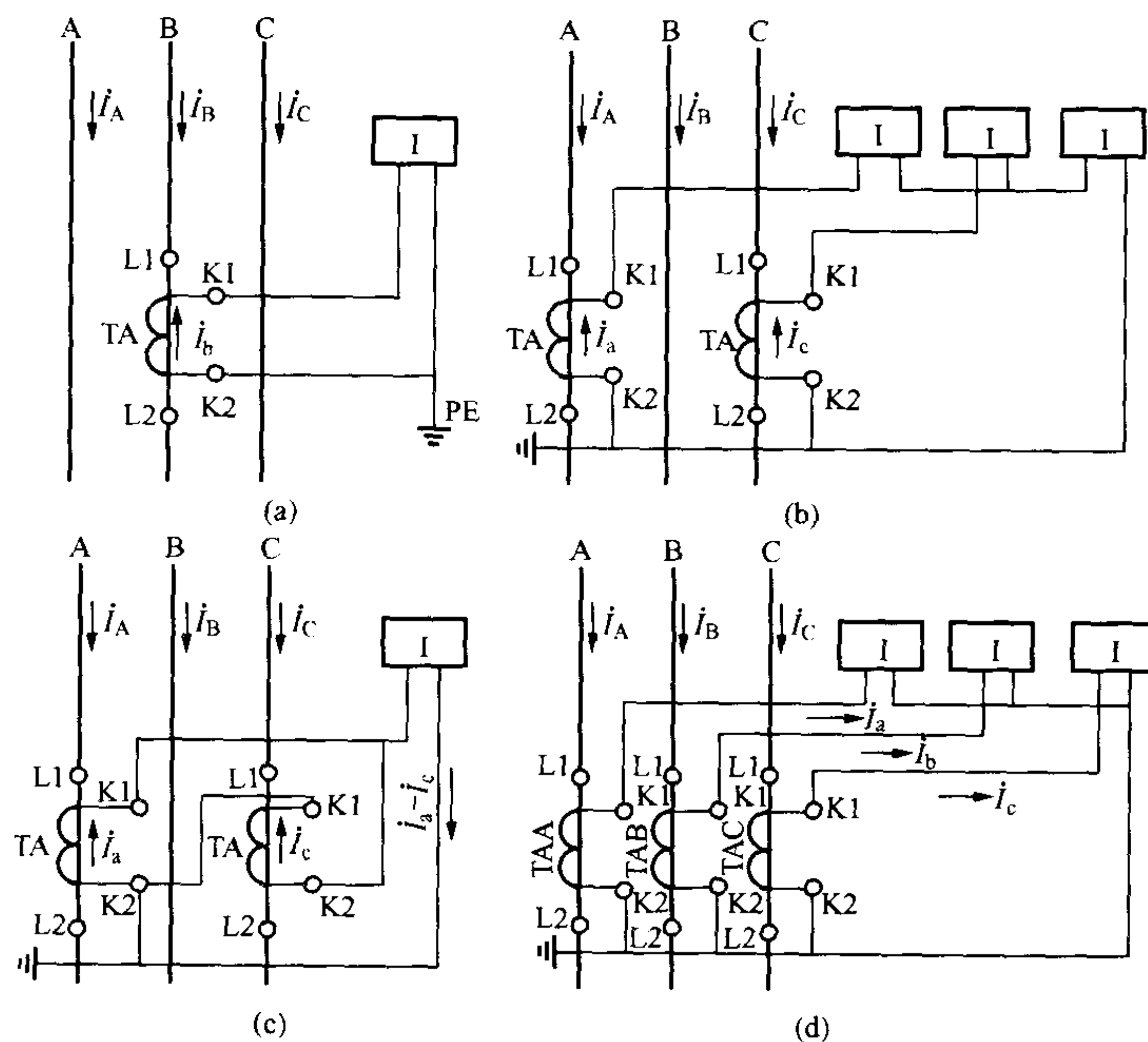


图 4-6 电流互感器接线图式

(a) 一相式接线；(b) 两相 V 型接线；(c) 两相电流差接线；
(d) 三相星形接线

(4) 三相星形接线。这种接线反映了各相电流，它广泛用于中性点接地的三相三线制和三相四线制电路中，用于测量或过电流继电保护。如图 4-6 (d) 所示。

4-39 使用电流互感器的注意事项有哪些？

(1) 电流互感器二次侧在工作时不得开路，否则由于励磁电流增大到一次电流使励磁安匝数（磁动势）剧增，而导致铁心过热而烧毁互感器；同时在二次绕组（匝数多）中感应出过电压，危及人身和设备安全，为此二次侧不允许串接熔断器和开关。

(2) 二次侧有一端应接地。这是为了防止一、二次绕组绝缘击穿时，一次高压窜入二次而危及人身和设备安全。

(3) 连接时应注意极性（即 P1S1 及 P2S2 为同名端）如果端子极性搞错，则所接仪表，继电器中的电流就不是预计的电流，甚至引起事故。

4-40 如何选择电流互感器？

(1) 电流、电压的选择。

1) 额定电压应不低于装设地点电路的额定电压。

2) 额定一次电流应不小于电路中的计算电流。

a) 测量表计回路电流选择。测量表计回路用的电流互感器选择应考虑其额定一次电流，应使正常负荷下仪表指示在刻度标尺的 2/3 以上，并考虑过负荷运行时有适当的指示。即

$$I_1 \geq 1.25 I_N$$

式中 I_1 ——电流互感器的一次电流；

I_N ——发电机或变压器的额定电流，对线路应取最大负荷电流。

对直接起动电动机应选用 $I_1 > 1.5 I_N$

b) 继电保护用电流互感器的电流选择：

i) 当保护与测量仪表共用一组电流互感器时，只能选用相同的额定一次电流。

ii) 当电流互感器单独用于保护回路时，其电流应大于该电气主设备可能出现的最大长期负荷电流；对 Y, d 接线的变压器差动回路，需计算使所选用的两侧电流互感器在变压器以额定容量运行时，其两侧电流互感器的二次侧的二次电流能使差动继电器达到平衡，一般将 Y 侧的电流互感器的额定一次电流增大 $\sqrt{3}$ 倍。

在表 4-60 中列出了国产电流互感器的额定一次电压及电流等级。

表 4-60

额定电压、电流等级

额定电压等级 (kV)	0.5, 10, 15, 20, 35, 60, 110, 220, 330, 500
额定电流等级 (kA)	5, 10, 15, 20, 30, 40, 50, 75, 100, 150, 200; 300, 400, 500, 600, 800, 1000, 1200, 1500, 2000, 3000, 4000, 5000, 6000, 8000, 10000, 12000, 15000, 20000, 25000

(2) 按准确级选择：

准确级选择应符合下列要求：

1) 与仪表连接的互感器 (TA) 应不低于表 4-61 中要求。

表 4-61 仪表与配套的 TA 准确等级

指示仪表			计量仪表		
仪表准确等级	TA 准确等级	辅助 TA 准确等级	仪表准确等级		TA 准确等级
			有功电能表	无功电能表	
0.5	0.5	0.2	0.2	1.0	0.1
1.0	0.5	0.2	0.5	2.0	0.2 或 0.2s
1.5	1.0	0.2	1.0	2.0	0.5 或 0.5s
2.5	1.0	0.5	2.0	3.0	0.5 或 0.5s

注 1. s—特殊用途类，用于工作电流变化范围较大的计算仪表。

2. 无功电能表一般与同回路有功电能表采用同一等级 TA。

2) 用于电能测量的互感器的准确级：①0.5 级有功电能表应配用 0.2 级互感器；②1.0 级有功电能表及 2.0 级无功电能表应配用 0.5 级互感器；③2.0 级有功电能表及 3.0 级无功电能表应配用 1.0 级互感器。

3) 一般保护用互感器可用 3 级，差动、距离及高频保护用互感器应用 0.5 级（或 D 级），零序接地保护可用专用的电流互感器。

4) 二次负荷 S_2 不得大于额定准确度的要求的额定二次负荷，即

$$S_{2N} \geq S_2$$

二次负荷 S_2 可由下式计算

$$S_2 \approx \sum S_i + I_{2N}^2 (R_{wl} + R_{xc})$$

$$R_{wl} = l/\gamma A$$

式中 S_i ——仪表、继电器在 I_{2N} 时的功率损耗（查产品样本）；

R_{wl} ——连接导线电阻；

l ——二次电路计算长度；

γ ——导线电导率 [$53\text{m}/(\Omega \cdot \text{mm}^2)$]；

A ——导线截面， mm^2 ；

R_{xc} ——二次回路接头的接触电阻（近似取 0.1Ω ）。

对于继电保护用的电流互感器，它和测量仪表用的电流互感器要求上是不同的，后者要求在全测量范围内都必须满足准确度要求。而前者则要求在故障电流下必须有一定的准确度，根据运算校验和理论分析，其变比误差不超过 $\pm 10\%$ ，角差不超过 7° ，制造厂按上述条件下允许的各一次电流倍数和相应的二次负载绘成一条曲线（称为 10% 误差曲线）用户根据此曲线选择，使相应的一次电流倍数和二次负载的交点在曲线以下（见图 4-6）。

例 LGC 电流互感器，变比为 200/5，一次最大工作电流为 4000A（短路电流）时，试按 10% 误差曲线求其最大允许二次负载。

解 一次电流倍数 $(cn) = 4000/200 = 20$

由图 4-7 曲线查得 $m=20$ 时， $Z_2=0.8\Omega$ ，即实际电路中的二次负载阻抗应小于 0.8Ω 才能保证最大误差小于 10%。

(3) 短路动稳定和热稳定校验。在制造厂产品样本中有动稳定峰值和热稳定电流有效值。可按下式进行校验：

动稳定

$$i_{\max} \geq i_{Sh}^{(3)}$$

热稳定

$$I_t^2 t \geq I_\infty^2 t_{ima}$$

式中 i_{max} —— 电流互感器的额定峰值耐受电流（即动稳定电流）；

$i_{Sh}^{(3)}$ —— 三相短路电流冲击值（kA）；

I_t —— 电流互感器的额定短时耐受电流有效值（kA）（即热稳定电流）；

t —— 热稳定电流对应的时间（由产品样本提供）；

I_∞ —— 短路电流同期分量有效值（稳态）；

t_{ima} —— 短路发热假想时间。计算方法可见 2-17 条款。

4-41 电流互感器的选型实例。

已知工作电压为 10kV，工作电流为 433A，其中 A、C 相接测量仪表，准确等级为 0.5 和 1 级，其二次负载分别为 A 相 0.35Ω ，C 相 0.3Ω （包括导线及其接触电阻），而继电保护的二次负载阻抗为 0.5Ω 短路电流 $I'' = 18.8\text{kA}$ ，假想时间为 1.5s。试选择电流互感器。

解 根据上述要求，可采用接于 A、C 相的两相不完全星形接法，电流互感器分别带有测量仪表和继电保护用的线圈。

(1) 对测量仪表，初步选用 LZZJB6-10-600 型电流互感器（见表 4-58），0.5 级的二次允许负载值为 0.4Ω ，大于 0.35Ω ，故合格。

校验短路时的动热稳定：由表可查得动稳定倍数为 70，1s 的热稳定倍数为 55。

则：热稳定校验

$$(kI_N)^2 t = (55 \times 0.6\text{kA})^2 \times 1 = 1089\text{kA}^2\text{s}$$

$$I_\infty^2 t_i = 18.8\text{kA}^2 \times 1.5\text{s} = 530\text{kA}^2\text{s}$$

$$(kI_N)^2 t > I_\infty^2 t_i \text{ 合格}$$

动稳定校验

$$\sqrt{2} \times 0.6\text{kA} \times 70 = 59.4\text{kA}$$

$$i_{sh} = 2.55I'' = 2.55 \times 18.8 = 48\text{kA}$$

$$59.4\text{kA} > 48\text{kA} \text{ 合格}$$

(2) 对继电保护，其允许二次负载值为 $0.6\Omega > 0.5\Omega$ ，合格

根据上述计算，选用 LZZJB6-10-600-0.5/B 型电流互感器是合适的。

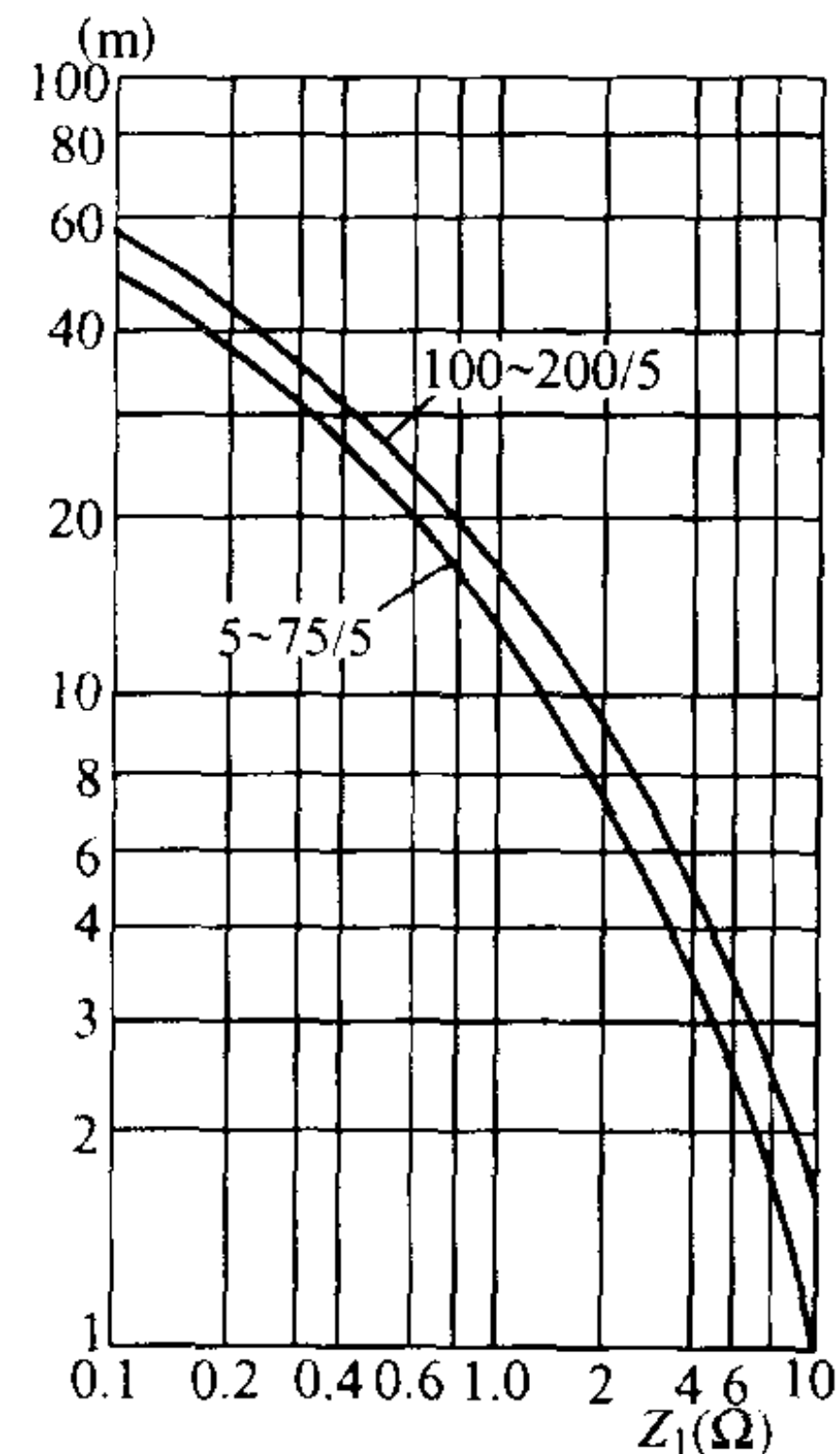


图 4-7 LGC 型电流互感器 10%误差曲线



第九节 避雷器的选型与使用

4-42 避雷器的用途是什么？如何分类？

避雷器是一种并联在电气设备上的电器，用于保护电气设备免受过电压的侵害，一旦出现过电压，它就先放电。

这种保护电器有保护间隙，管式避雷器，阀型避雷器，和金属氧化物避雷器（简称 MOA-Metal Oxide Arrester）。前两种使用越来越少，管型避雷器今后制造厂也不再生产了。后两种使用较普遍，尤其是 MOA 避雷器的应用越来越多。

(1) 阀型避雷器。可分为普通型和磁吹型两类；普通型有 FS、FZ 型；磁吹型有 FCZ、FCD 型。

1) FS 型。带有间隙的阀片 (SiC)、阀片较小，无分路电阻。用于 3~10kV 小容量配电装置和变电所。

2) FZ 型。带有间隙的阀片 (SiC)，阀片较大，有分路电阻。用于 3~220kV 中，大容量重变电所。

3) FCZ 型。带有间隙并加装磁吹灭弧元件 (电弧拉长式间隙) 电压可较高。用于 110~330kV 变电所，某些变压器的中性点。

4) FCD 型。带有间隙并加装磁吹灭弧元件 (电弧旋转式间隙)，但部分间隙有并联电容器，电压较低。用于 2~15kV 旋转电机保护用。

5) FCX 型。线路型磁吹式，用于 330kV 及以上配电装置的出线上。

(2) 金属氧化物避雷器 (MOA)。其阀片是以氧化锌基压敏电阻为基础，添加 Bi_2O_3 、 CO_2O_3 、 MnO_2 、 Sb_2O_3 、 Cr_2O_3 等金属氧化物经粉碎混合，高温烧结而成。其非线性比 SiC 好得多。

可分为有串联间隙和无串联间隙两大类。总称 Y 系列。其应用范围是：

1) 与 FCZ、FCX 和 FCD 型避雷器相同。

2) 并联和串联电容器组。

3) 高压电缆。

4) 变压器和电抗器的中性点。

5) 全封闭组合电器。

6) 频繁切合的电动机。

7) 有间隙 MOA 主要用于 10kV 及以下电压等级，已逐步淘汰。

4-43 避雷器的主要参数有哪些？

(1) 阀型避雷器。

1) 额定电压 (有效值)。它由电力系统的电压等级而定。

2) 灭弧电压 (kV) (有效值) 是指在保证灭弧 (切断工频续流) 条件下允许加在避雷器上的最高工频电压。在选择避雷器时，应根据系统电压的升高不超过灭弧电压来考虑。

3) 工频放电电压 (干燥和淋雨状态) 是指加在避雷器两端使间隙发生放电的工频电压幅值除以后 (有效值) 有上下限。

4) 冲击放电电压是指在避雷器两端加给定波形的冲击电压波时，在放电前所达到的最高电压值。

5) 残压。阀片在冲击电流时呈现小电阻，使阀片上的压降降低到足够低；冲击电流过去后，加在阀片上的电压是电网的工频电压，此时阀片呈现大电阻，限制了工频续流。一般说残压是指冲击电流残压。

在表 4-62 中列出了某些国产阀型避雷器的技术数据。

(2) 氧化锌避雷器 (即 MOA)。

1) 无间隙 MOA：

a) 持续运行电压 (有效值)，运行中允许持续施加在 MOA 两端的工频电压有效值。

表 4-62

阀型避雷器技术数据

型 号	额定电压有效值 (kV)	最大允许电压有效值 (kV)	灭弧电压有效值 (kV)	工频放电电压有效值 (kV)		预放电时间为 1.5~20 μ s 冲击放电电压幅值 (kV)	波形为 10/20 μ s 的冲击电流下残压幅值不大于 (kV)			泄漏电流或电导电流		质量 (kg)
				不小于	不大于		3kA	5kA	10kA	电压 (kV)	电流 (μ A)	
FS-0.22	0.22		0.25	0.6	1.0	2.0	1.3			0.3	0~10	0.31
FS-0.38	0.38		0.50	1.1	1.6	2.7	2.6			0.6	0~10	1.3
FS-0.5	0.5		0.50	1.15	1.65	3.68	2.5			(0.5)	0~5	0.3
FS-2	2		2.5	5	7	15		11				
FS-3	3	3.5	3.8	9	11	21	(16)	17		3 (4)	0~10	7.2
FS-6	6	6.0	7.6	16	19	35	(28)	30		6 (7)	0~10	8.3
FS-10	10	11.5	12.7	26	31	50	(47)	50		10 (11)	0~10	12.1
FS ₄ -3GY	3		3.8	9	11	21		17				
FS ₄ -6GY	6		7.6	16	19	35		30				
FS ₄ -10GY	10		12.7	26	31	50		50				
FS ₄ -15GY	15		20.5	42	52	78		67				
FZ-3	3		3.8	9	11	20		14.5	(10)	4	450~550	41
FZ-6	6		7.6	16	19	30		27	(30)	5	400~600	44
FZ-10	10		12.7	26	31	45		45	(50)	10	400~600	49
FZ-15	15		20.5	42	52	78		67	(74)	16	400~600	58
FZ-20	20		25	49	60.5	85		80	(88)	20	400~600	64
FZ-30	30		25	56	57	110		83	(91)	24	400~600	
FZ-30	30		25	56	67	110		83	(91)	24	400~600	
FZ-35	35		41	84	104	134		134	(198)	16	400~600	87
FZ-40	40		50	98	121	134		160	(176)	20	400~600	112
FZ-60	60		70.5	140	178	220		227	(280)	20	400~600	168
FZ-110	110		100	229	268	310		332	(364)	29	400~600	236
FZ-110	110		126	259	320	340		415	(458)	16	400~600	281
FCD-2	2		2.3	4.5	5.7	6	6	6.4		2	50~100	
FCD-3	3.15		3.8	7.5	9.5	9.5	9.5	10		4	50~100	48
FCD-4	4		4.6	9	11.4	12	13	12.8		4	50~100	48
FCD-6	6.3	6.9	7.6	15	18	19	19	20		6	50~100	56
FCD-10	10.5	11.5	12.7	25	30	31	31	33		10	50~100	74
FCD-13.8	13.8	15.2	16.7	33	39	40	40	43		13.2	50~100	101
FCD-15	15	17.3	19	37	49	45	45	49		15	<100	103
FCZ ₃ -35	35		41	70	85	112		108	122	50	250~400	
FCZ ₃ -35t	35		46	78	90	134		134		50	250~400	
FCZ ₅ -35GY	35		41	70	85	112		108	122	50	250~400	
FCZ-1105	110		100	170	195	265		265	295	30	1000~2000	762
FCZ-1105	110		100	170	195	265		265	295	30	1000~2000	497

b) 额定电压。正常运行时端部最大工频电压有效值。

在表 4-63 中列出了上述两种电压的限值。

表 4-63 无间隙金属氧化物避雷器持续运行电压和额定电压

系统接地方式		持续运行电压 (kV)		额定电压 (kV)	
		相地	中性点	相地	中性点
有效接地	110kV	$U_m/\sqrt{3}$	$0.45U_m$	$0.75U_m$	$0.57U_m$
	220kV	$U_m/\sqrt{3}$	$0.13U_m (0.45U_m)$	$0.75U_m$	$0.17U_m (0.57U_m)$
	330kV 500kV	$U_m/\sqrt{3} (0.59U_m)$	$0.13U_m$	$0.75U_m (0.8U_m)$	$0.17U_m$
不接地	3~20kV	$1.1U_m; U_{m \cdot g}$	$0.64U_m; U_{m \cdot g}$	$1.38U_m, 1.25U_{m \cdot g}$	$0.8U_m, 0.72U_{m \cdot g}$
	35kV 66kV	U_m	$U_m/\sqrt{3}$	$1.25U_m$	$0.72U_m$
消弧线圈		$U_m, U_{m \cdot g}$	$U_m, U_{m \cdot g}$	$1.25U_m, 1.25U_{m \cdot g}$	$0.72U_m, 0.72U_{m \cdot g}$
低电阻		$0.8U_m$	—	U_m	—
高电阻		$1.1U_m, U_{m \cdot g}$	$1.1U_m/\sqrt{3}, U_{m \cdot g}/\sqrt{3}$	$1.38U_m, 1.25U_{m \cdot g}$	$0.8U_m, 0.72U_{m \cdot g}$

注 U_m —系统最高电压； $U_{m \cdot g}$ —发电机最高运行电压。

c) 直流参考电压 (1mA 下) U_{1mA} 。此值是表示阀片是否受潮，确定其动作性能是否符合要求。

d) $0.75U_{1mA}$ 直流电压下的泄漏电流。此值主要是检查长期允许工作电流是否符合规定。此电流与 MOA 的寿命成反比。

e) 残压。阀片在冲击电流作用下的呈现的电压。

2) 有间隙的 MOA。

a) 额定电压，定义与无间隙 MOA 同。

1) 3~10kV 和 35kV、66kV 系统分别不低于 $1.1U_m$ 和 U_m ；3kV 以上有发电机的系统不低于 $1.1U_{m \cdot g}$ （—发电机最高运行电压）。

2) 中性点 MOA，对 3~20kV 和 35kV、66kV 系统，分别不低于 $0.64U_m$ 和 $0.58U_m$ ；对 3~20kV 发电机不低于 $0.64U_{m \cdot g}$ 。

b) 工频放电电压（有效值），同阀型避雷器定义。

c) 冲击放电电压（峰值），同阀型避雷器定义。

d) 残压（峰值），同阀型避雷器定义。

表 4-64~表 4-68 中分别列出了某些 MOA 的技术数据。

表 4-64 Y10C 型带间隙氧化锌避雷器技术数据

型号	系统额定电压 (kV)	避雷器额定电压 (kV)	工频放电电压 (不小于, kV)	持续运行电压 (kV)	波前冲击放电电压 (不大于, kV)	标称放电电流下残压 (不大于, kV)	1.2/50 μ s 冲击放电电压 (不大于, kV)	方波冲击耐受电流 (2ms, A)
Y10C-7.5	6.6	7.5	15	5.5	30 28 (5kA)	26 24 (5kA)	21	200 100 (5kA)

续表

型号	系统额定电压 (kV)	避雷器额定电压 (kV)	工频放电电压 (不小于, kV)	持续运行电压 (kV)	波前冲击放电电压 (不大于, kV)	标称放电电流下残压 (不大于, kV)	1.2/50 μ s 冲击放电电压 (不大于, kV)	方波冲击耐受电流 (2ms, A)
Y10C-10.5	9	10.5	22	7.5	42.5 40.5 (5kA)	37 35 (5kA)	31	200 100 (5kA)
Y10C-12	11	12	23	8.8	49.5 47.5 (5kA)	43 41 (5kA)	33	200 100 (5kA)
Y10C-18	15	18	33	12	70 66 (5kA)	60 57 (5kA)	48	200 100 (5kA)
Y10C-24	20	24	40	18	92 88 (5kA)	80 76 (5kA)	66	200 100 (5kA)
Y10C-27	24	27	45	20	104 98 (5kA)	90 80 (5kA)	72	200 100 (5kA)
Y10C-30	33	30	48	22	115 110 (5kA)	100 95 (5kA)	75	200 100 (5kA)
Y10C-36	33	36	56	26	126 120 (5kA)	110 100 (5kA)	85	200 100 (5kA)

表 4-65 YSC、YCD、Y CZ 型带间隙金属氧化物避雷器技术数据

型号	系统额定电压 (kV)	避雷器额定电压 (kV)	工频放电电压 (不小于, kV)	持续运行电压 (kV)	波前冲击放电电压 (不大于, kV)	标称放电电流下残压 (不大于, kV)	1.2/50 μ s 冲击放电电压 (不大于, kV)	方波冲击耐受电流 (2ms, A)
YSC3-7.6/27	6	7.6	16	4	43	27	35	75 (150)
YSC3-12.7/45	10	12.7	26	6.6	62	45	45	75 (150)
YSC2-12.7/41	10	12.7	26	6.6	57	41	41	150 (400)
YCD-6	6	7.6	16	4	—	19	19	200 (400)
YCD-10	10	12.7	26	6.6	—	31	31	200 (400)
Y CZ3-35	35	41	80	23.4	116	108	108	200 (400)

无间隙 MOA 在不同使用场所的不同类型见表 4-66~表 4-68。

表 4-66 电容器型：抑制真空开关或少油开关操作电容组产生的过电压、保护电容组免受操作过电压的损坏

型号	避雷器额定电压	系统额定电压	避雷器持续额定电压	直流参考电压 U_{1mA} (不小于)	残压			通流容量		0.75 U_{1mA} 下泄漏电流 (不大于)
					雷电冲击电流下 5kA	陡坡冲击电流下	操作冲击电流下 5kA	2ms18 次 (不小于)	4/10 μ s 2 次 (不小于)	
kV (有效值)				kV	(峰值) kV			A	kA	μ A
(H) Y ₅ WR-5/13.5	5	3	4	7.2	13.5		10.5	400	65	50
(H) Y ₅ WR-10/27	10	6	8	14.4	27		21	400	65	50

续表

型号	避雷器额定电压	系统额定电压	避雷器持续额定电压	直流参考电压 U_{1mA} (不小于)	残压			通流容量		$0.75U_{1mA}$ 下泄漏电流 (不大于)
					雷电冲击电流 下 5kA	陡坡冲击电流 下 5kA	操作冲击电流 下 5kA	2ms18 次 (不 小于)	4/10 μ s 2 次 (不小于)	
kV (有效值)				kV	(峰值) kV			A	kA	μ A
(H) Y ₅ WR-12/2.4	12	10	9.6	17.4	324		25.2	400	65	50
(H) Y ₅ WR-15/40.5	15	10	12	21.8	40.5		31.5	400	65	50
(H) Y ₅ WR-17/46	17	10	13.6	24	46		35	400	65	50
(H) Y ₅ WR-51/134	51	35	40.8	73	134		105	400	65	50

表 4-67

配电型：保护相应电压等级的开关柜、变压器、箱式变、
电缆头、柱上油开关等配电设备免受大气和操作过电压的损坏

型号	避雷器额定电压	系统额定电压	避雷器持续额定电压	直流参考电压 U_{1mA} (不小于)	残压			通流容量		$0.75U_{1mA}$ 下泄漏电流 (不大于)
					雷电冲击电流 下 5kA	陡坡冲击电流 下 5kA	操作冲击电流 下 5kA	2ms18 次 (不 小于)	4/10 μ s 2 次 (不小于)	
kV (有效值)				kV	(峰值) kV			A	kA	μ A
(H) Y ₅ WS-5/15	5	3	4	7.5	15.0	17.3	12.8	100	65	50
(H) Y ₅ WS-10/30	10	6	8	15	30.0	34.6	25.6	100	65	50
(H) Y ₅ WS-12/35.8	12	10	9.6	18	35.8	41.2	30.6	100	65	50
(H) Y ₅ WS-15/45.6	15	10	12	23	45.6	52.5	39.0	100	65	50
(H) Y ₅ WS-17/50	17	10	13.6	25	50.0	57.5	42.5	100	65	50

表 4-68

电站型：保护发电厂、变电站交流电气设备免受大气过电压和操作过电压的损坏

型号	避雷器额定电压	系统额定电压	避雷器持续额定电压	直流参考电压 U_{1mA} (不小于)	残压			通流容量		$0.75U_{1mA}$ 下泄漏电流 (不大于)
					雷电冲击电流 下 5kA	陡坡冲击电流 下 5kA	操作冲击电流 下 5kA	2ms18 次 (不 小于)	4/10 μ s 2 次 (不小于)	
kV (有效值)				kV	(峰值) kV			A	kA	μ A
(H) Y ₅ WZ5/13.5	5	3	4	7.2	13.5	15.5	11.5	400	65	50

续表

型号	避雷器 额定电 压	系统额 定电压	避雷器持 续额定 电压	直流参 考电压 U_{1mA} (不小于)	残 压			通流容量		$0.75U_{1mA}$ 下泄漏电流 (不大于)
					雷电冲 击电流 下 5kA	陡坡冲 击电流 下 5kA	操作冲 击电流 下 5kA	2ms18 次 (不 小于)	4/10 μ s2 次 (不 小于)	
					kV (有效值)		kV	(峰值) kV		
(H) Y ₅ WZ-10/27	10	6	8	14.4	27	31	23	400	65	50
(H) Y ₅ WZ-10/26	10	6	8	14.4	26	31	23	400	65	50
(H) Y ₅ WZ-10/24	10	6	8	14.4	24	31	23	400	65	50
(H) Y ₅ WZ-12/32.4	12	10	9.6	17.4	32.4	37.2	27.6	400	65	50
(H) Y ₅ WZ-15/40.5	15	10	12	21.8	40.5	46.5	34.05	400	65	50
(H) Y ₅ WZ17/45	17	10	13.6	24	45	51.8	38.3	400	65	50
(H) Y ₅ WZ17/42	17	10	13.6	24	42	48.3	35.7	400	65	50
(H) Y ₅ WZ51/134	51	35	40.8	73	134	154	114	400	65	50
(H) Y ₅ WZ51/130	51	35	40.8	73	130	149	111	400	65	50
(H) Y ₅ WZ51/122	51	35	40.8	73	122	140	104	400	65	50
(H) Y ₅ WZ5/116	51	35	40.8	73	116	133	99	400	65	50

4-44 如何选择避雷器?

(1) 阀型避雷器。

1) 额定电压。应与安装地点的额定电压一致。

2) 灭弧电压。按照使用情况、核对避雷器安装地点可能出现的最大的导线对地电压, 是否等于或小于避雷器的灭弧电压。

安装地点的最大对地电压与中性点接地方式及系统参数有关。

一般

$$U_{mi} \geq C_d U_{sm}$$

式中 U_{mi} ——灭弧电压有效值, kV;

C_d ——接地系数, 对中性点非直接接地者, 6~10kV 及以下取 1.1; 35kV 及以上取

1.0;

U_{sm} ——电网最高运行线电压, kV。

3) 校核工频放电电压。

a) 在中性点绝缘或经阻抗接地系统中, 工频放电电压一般应大于最大运行相电压的 3.5 倍。

在中性点直接接地系统中, 工频放电电压应大于最大运行相电压的 3 倍。

b) 工频放电电压应大于灭弧电压的 1.8 倍。

4) 校核避雷器的冲击放电电压及残压。

绝缘配合主要从残压来衡量, 要求被保护电器基本冲击绝缘水平 (BIL) (约为电器的冲击试验电压的 90%) 应大于避雷器残压的 10%~15%, 避雷器与电器距离满足表 4-69 要求。由于国产避雷器与电器绝缘可以配合, 一般可不校验。

表 4-69 普通阀式避雷器至主变压器间的最大电气距离 (m)

系统标称电压 (kV)	进线长度 (km)	进线路数			
		1	2	3	≥4
35	1	25	40	50	55
	1.5	40	55	65	75
	2	50	75	90	105
66	1	45	65	80	90
	1.5	60	85	105	115
	2	80	105	130	145
110	1	45	70	80	90
	1.5	70	95	115	130
	2	100	135	160	180
3~10	1	15	20	25	30

注 1. 全线有避雷线进线长度取 2km, 进线长度在 1~2km 间时的距离按补插法确定。

2. 35kV 也适用于有串联间隙金属氧化物避雷器的情况。

3. 用于其他被保护设备时应相应增加 35%。

(2) 氧化锌避雷器 (MOA)。

1) 无间隙 MOA 主要参数选择。

a) 持续运行电压

$$U_{by} \geq U_{xy}$$

式中 U_{by} ——MOA 的持续运行电压有效值, kV;

U_{xy} ——系统最高相电压有效值, kV。

对于电容器组为组的额定电压, 若串电抗器时, 组端电压则高于系统的最高电压。

b) MOA 的额定电压。应按电网中单相接地条件下健全相的最大暂态工频电压选取。

c) 参考电压 (kV) 包括工频和直流参考电压, 参考电压一般取 $(1.5 \sim 2.5) U_{\phi}$, 避免单相接地时出事故。

d) 标称放电电流。一般 110kV 及以下的系统不大于 5kA, 可选取 5kA 系列。

e) 残压 (kV) 一般取配合系数为 1.4 (配合系数—被保护设备的绝缘水平和避雷器的保护水平之比)。

d) MOA 与主变压器之间的距离应满足表 4-70。对其他电器的最大距离应相应增加 35%。

表 4-70 金属氧化物避雷器至主变压器间的最大电气距离 (m)

系统标称电压 (kV)	进线长度 (km)	进线路数			
		1	2	3	≥4
110	1	55	85	105	115
	1.5	90	120	145	165
	2	125	170	205	230
220	2	125	195	235	265
		(90)	(140)	(170)	(190)

注 1. 本表也适用于电站碳化硅磁吹避雷器 (FM) 的情况。
2. 表 12 括号内距离对应的雷电冲击全波耐受电压为 850kV。

4-45 避雷器的选型实例。

例 1 阀型避雷器的选型。

已知某变电所母线电压为 35kV，为中性点不接地系统；试选择阀型避雷器。

(1) 避雷器额定电压。35kV 母线的相对地电压为：有效值 $U_m/\sqrt{3}$ ，峰值为 $\sqrt{2}U_m/\sqrt{3}$ ， U_m 为设备最高电压有效值，即 $U_m = 35 \times 110\% = 38.5\text{kV}$ ，则相对地有效值为 $38.5/\sqrt{3} = 22.26\text{kV}$ ，峰值为 $\sqrt{2} \times 38.5/\sqrt{3} = 31.48\text{kV}$ 。故可选避雷器额定电压为 35kV。

(2) 校验避雷器的最大容许电压 (灭弧电压)，则 U_{mi} 应大于 38.5kV (最高运行线电压)，从产品样本可查得 FZ-35 型的灭弧电压值为 41kV，可符合要求 (见表 4-62)。

(3) 校核工频放电电压，由表 4-62 可查得该型避雷器的工频放电电压不小于 84kV，最大运行相电压的 3.5 倍为 $3.5 \times 22.26\text{kV} = 77.91\text{kV}$ ，符合要求。灭弧电压的 1.8 倍为 $41 \times 1.8 = 73.8\text{kV}$ 也符合要求。

(4) 校核避雷器的冲击放电电压及残压。从表 4-62 查得波形为 10/20 μs (5kA) 的冲击电流下残压峰值不大于 134kV，以 15% 计算要求被保护电器的 BIL (约为电器的冲击试验电压的 90%) 应大于 $134 \times 0.15 = 20.10\text{kV}$ 。对于 35kV 电压等级的电气设备 (见表 4-16) 是完全满足要求的。

从上述计算可见，可选择 FZ-35 型阀型避雷器。

例 2 氧化锌避雷器的选型。

某变电所拟在 35kV 电压母线处装设氧化锌避雷器，该母线为单母线分段，每组母线上装一组避雷器，试选择 MOA。

解 (1) 系统最高电压 $U_m = 40.5\text{kV}$

(2) 系统持续运行电压 $U_c = 40.5\text{kV}$ ($U_c \geq U_m$) (40.5kV)

(3) 额定电压 $U_r = 50.6\text{kV}$ ($U_r \geq 1.25U_m$) (52.7kV)

(4) 标称放电电流 $I_n = 5\text{kA}$ (5kA)

(5) 雷电冲击电流残压 U_n (134kV)

- (6) 陡波冲击电流残压 U_n ($U'_n = U_n/1.15$) (154kV)
- (7) 雷电保护水平 $U_{1V} = Ma \times 1U_n$, U'_n , 规定 134kV
- (8) 额定雷电冲击耐受电压 BIL, 选 185kV
- (9) 绝缘配合校验 $BIL \geq 1.4U_{1V}$, 188kV
- (10) 爬距最小值 (II 级污秽) $D_{1en} = 20U_m = 810\text{mm}$
- (11) 爬距实际值校验 $D_{1er} \geq D_{1en}$ (mm) (875mm)

根据上述数据, 可查产品目录, 查得为 HY₅WZ₃-52, 7/134 型无间隙氧化锌避雷器, 其技术数据相应标在对应项的括号中。

第十节 并联电容器的选型与使用

4-46 并联电容器有什么用途? 如何分类?

并联电容器是一种专门用来无功补偿的电力电容器, 它具有安装简单, 运行维护方便, 有功损耗小及组装灵活, 扩容方便等优点, 因此应用十分普遍。它可由液体介质和固体介质组成电容器的介质。液体介质包括矿物油、二芳基乙烷、苯甲基硅油等; 固体介质包括纸、薄膜复合、全聚丙烯薄膜, 全电容器纸等。按照安装地点可以分为室外型和室内型。按使用电压可分为高(中)压用并联电容器和低压并联电容器。现在有一种金属化膜低压并联电容器, 它具有被击穿后能“自愈”的性能, 即它被电击穿时, 击穿电流使击穿点周围的金属层蒸发, 介质迅速恢复绝缘性能。从而克服了它有损坏后不便修复及从电网中切除后有危险的残余电压等缺点。

4-47 并联电容器是如何补偿无功的?

以图 4-8 为例, 这是并联电容器(旧称为移相电容器)的应用原理图。容性电流 I_c 相位超前电压 90° , 可抵消一部分相位滞后于电压 90° 的感性电流 I_x , 使电流减小为 I_2 , 相角由 φ_1 减小到 φ_2 , 从而使功率因数从 $\cos\varphi_1$ 提高到 $\cos\varphi_2$ 。

从图 4-8 可见, 可用下式求出最大负荷时所需的无功补偿容量(将功率因数从 $\cos\varphi_1$ 提高到 $\cos\varphi_2$), 即

$$Q_{N,C} = Q_C - Q'_C = P_C(\tan\varphi_1 - \tan\varphi_2)$$

式中 $Q_{N,C}$ ——最大负荷时的无功补偿容量;

Q_C ——原无功功率;

Q'_C ——补偿后的无功功率;

P_C ——有功功率。

4-48 试述并联电容器的接法。

并联电容器大多采用三角形接线, 以提高电容器组的利用率。只有容量在 450kvar 及以上的高压电容器组才接成星形, 以减小一相电容器组击穿时造成的危害。低压并联电容器大多作成三相, 且内部已接成三角形。三角接线有单和双三面接线, 星形接线有单和双星形接线之分。一般单三角形接线用于 6kV 及以下的并联电

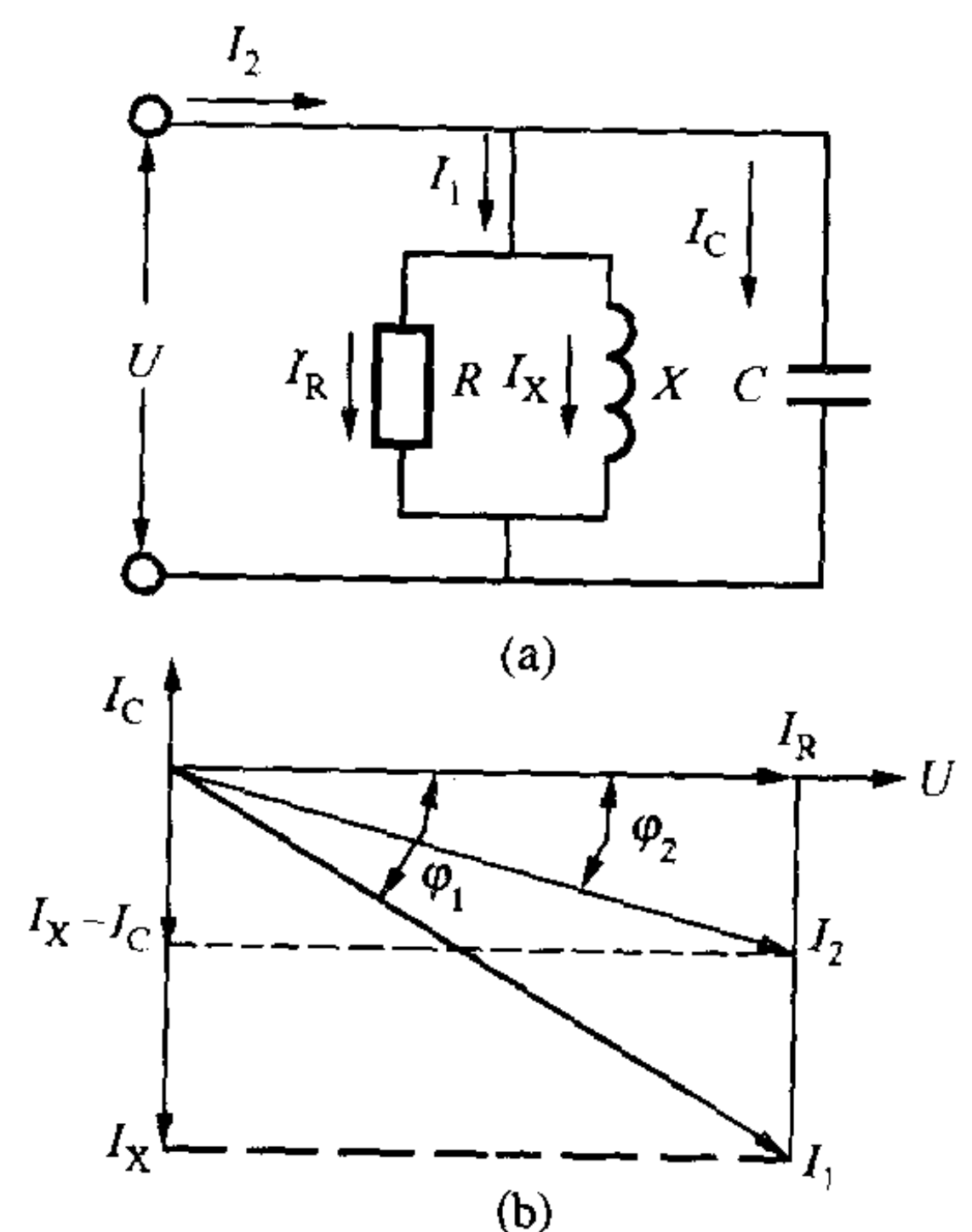


图 4-8 移相电容器应用原理图

容器组和杆式并联电容器组，而双三角形缺点多，较少使用；单星形接线用于 6kV 及以上的并联电容器组，双星形接线用于 10kV 及以上的大容量并联电容器组。

4-49 并联电容器的主要参数有哪些？

并联电容器的主要参数有：

(1) 额定电压。应略高于电网的额定电压，因为考虑到电容器接入电网后，其端电压将有所升高（此外，为了降低高次谐波而接入串联电抗器时，其端电压也将升高）。例如额定电压为 380V 的电网上应选用额定电压为 400V 的电容器，额定电压为 6kV 的电网应选用额定电压为 6.3kV 的电容器。

(2) 标称容量。在正常使用条件下的可补偿的无功功率 (kvar)。

(3) 标称电容。达到标称容量的所需电容。即

$$C = Q / 2\pi f U^2 \quad (\mu\text{F})$$

式中 Q ——无功功率；

f ——频率；

U ——电压。

(4) 频率。对应的电网频率。

(5) 相数。是单相还是三相。

(6) 运行温度。在规定的环境温度范围内正常工作。应按制造厂所给定的范围内使用。

(7) 海拔。一般不超过 1000m，超过时应另选用高原电容器。

(8) 过电压。电容器应能在 1.05 倍额定电压下长期运行，在 1.1 倍额定电压下，一昼夜能运行 6h。

(9) 过电流。电容器的过电流不超过额定电流的 1.3 倍。

(10) 介质代号。是液体还是固体介质。

在表 4-71 中列出了某些并联电容器的技术数据。

表 4-71 国产并联电容器技术数据

型号	额定电压 (kV)	标称容量 (kvar)	标称电容 (μF)	频率 (Hz)	相数	质量 (kg)
BW6.3-12-1TH	6.3	12	0.964	50	1	25
BW6.3-12-1W	6.3	12	0.964	50	1	24
BW6.9-12-1W	6.9	12	0.80	50	1	24
BW6.3-16-1W	6.3	16	1.28	50	1	24
BW10.5-12-1W	10.5	12	0.35	50	1	24
BW10.5-16-1W	10.5	16	0.46	50	1	24
BWF10.5-25-1W	10.5	25	0.72	50	1	21
BWF10.5-50-1W	10.5	50	1.44	50	1	32
BWF10.5-100-1W	10.5	100	2.89	50	1	57
BWM6.3-100-1W	6.3	100	8	50	1	38
BWM6.3-200-1W	6.3	200	16	50	1	66
BWM11/ $\sqrt{3}$ -50-1W	11/ $\sqrt{3}$	50	3.95	50	1	20

注 B—并联电容器；W—户外型；F—二芳基乙烷液体介质；M—全聚丙烯薄膜固体介质；F—纸薄膜复合固体介质。

4-50 并联电容器组的选择实例。

某 35kV 变电所其二次侧为 10kV，其计算负荷为 1600kW+1160kvar（单母线分段，每段负荷为 1/2 计算负荷）欲使该段的功率因数达到 0.92，则需进行无功补偿，求各段的并联电容器装置的容量应是多少？

解 (1) 求补偿前各段的视在计算负荷及功率因数

$$\text{视在计算负荷 } S_c = \sqrt{(1600/2)^2 + (1160/2)^2} = 988(\text{kVA})$$

$$\text{功率因数 } \cos\varphi = P_c/S_c = 800/988 = 0.81$$

(2) 确定无功补偿容量

$$\begin{aligned} Q_{N,C} &= P_c(\tan\varphi - \tan\varphi') \\ &= 800 \times [\tan(\arccos 0.81) - \tan(\arccos 0.92)] = 238.4(\text{kvar}) \end{aligned}$$

(3) 选择电容器组数及每组容重。从表 4-71 可查得 BWF10.5-50 型， $q_{NC} = 50\text{kvar}$ ，需电容器组数为

$$n = 238.4/50 = 4.768(\text{取 } 5)$$

则每段容量为 $5 \times 50 = 250\text{kvar}$ ，两段为 $2 \times 250\text{kvar} = 500\text{kvar}$

此时，各段视在计算负荷为

$$S_c = \sqrt{P_c^2 + (Q_c - Q_{N,C})^2} = \sqrt{800^2 + (580 - 250)^2} = 865.4(\text{kVA})$$

功率因数 $\cos\varphi = P_c/S_c = \frac{800}{865.4} = 0.924$ 满足要求。

▶ 第十一节 电线、电缆的选型和使用

4-51 电线有什么用途？如何分类？

电线是用以传输电能、信息或实现电磁能转换的线材产品。在输配电或通信线路中架空敷设用的裸导线，称为架空导线。与电缆相比，具有结构简单，制造方便，造价低，施工容量和便于检修等优点；但占用地面和空间较多，对建筑物和树木应有足够的安全距离。除架空导线外，电线还可以有电气装备用的裸导线和绝缘导线，其品种多、用途广。在表 4-72、表 4-73 中列出了架空导线和电气设备用电线的分类。

表 4-72

架空导线分类表

分 类	品 种	型 号	截面(或线径)范围	
裸单线	铝包钢线	GL GGL	$\phi 3.7 \sim 4.4$	用于通信明线和小容量配电线路
	铜包钢线	GTA	$\phi 1.2 \sim 6.0$	用于通信明线
	镀锌低碳钢线	—	$\phi 4.0 \sim 6.0$	用于农用配电线路及通信明线
	硬铜圆单线	TY	$\phi 3.0 \sim 6.0$	除特殊情况外，不采用
普通绞线	铝绞线	LJ	10~600	用于档距较小的一般配电线路
	铝合金绞线	HLJ	10~600	用于一般输配电线路
	铝包钢绞线	GLJ	70~600	用于重冰区或大跨越导线、通信避雷线
	镀锌钢绞线	—	2~260	用于农用架空线或避雷线
	硬铜绞线	TJ	10~400	除特殊情况外，不采用

续表

分类	品种	型号	截面(或线径)范围	
组合绞线	钢芯铝绞线普通型	LGJ	10~400	用于输配电线路
	轻型	LGJQ	150~700	
	加强型	LGJJ	150~400	
	钢芯软铝绞线	LRGJ	120~700	用于传输容量较大的输配电线路
	防腐钢芯铝绞线	LGJF	25~400	用于有腐蚀环境的输配电线路
特种导线	扩径导线	LGJK	240~700	用于高压或高海拔输电线及变电站
	高强重防腐钢芯铝包钢绞线	GLGJF ₃	120~400	用于大跨越输电线路
	防冰雪导线	LGJFB	50~400	用于重冰区输电线路

表 4-73

电气设备用电线分类表

分类	品种	型号		用途
		铜芯	铝芯	
通用 电 线	橡皮绝缘电线	BX	BLX	固定敷设于室内外及设备内安装用线 同 BX 型, 仅用于要求柔软的场所
	橡皮绝缘软电线	BXR		
	聚氯乙烯绝缘电线	BV	BLV	同 BV 型, 但耐湿性和耐气候性较好 同 BV 型, 仅用于要求柔软的场所
	聚氯乙烯绝缘软电线	BVR		
	农用聚氯乙烯绝缘电线		NLV	直埋于土壤(深大于 1m), 供动力、照明线路用
	聚氯乙烯绝缘软线	{ RV RVB RVS		供各种移动电器、仪表、电信设备、自动化装置接线用, 也作为内部安装线, 安装温度大于 -15℃
	丁腈聚氯乙烯复合物绝缘软线	RFB		同 RVB、RVS, 但低温柔软性好
	聚氯乙烯绝缘和护套电线	RFS		同 RFB, 为两芯绞型
	耐热 105℃ 聚氯乙烯绝缘和护套电线	RVV		同 RV, 用于潮湿和机械防护要求高, 经常移动弯曲的场所
	耐热 105℃ 聚氯乙烯绝缘电线	RV-105		同 RV, 用于 45℃ 及以上高温环境
通用屏蔽绝缘电线	聚氯乙烯绝缘屏蔽电线	BVP		仪器仪表, 电子设备内部屏蔽安装线
	聚氯乙烯绝缘和护套屏蔽电线	BVVP		外部屏蔽连线及自控, 广播线用屏蔽电线, BVP、BVVP 为固定敷设、环境温度大于 -15℃
	聚氯乙烯绝缘屏蔽软线	RVP		RVP、RVVP 可移动使用
	耐热 105℃ 聚氯乙烯绝缘屏蔽软线	BVP-105		RVP-105、BVP-105 用于 45℃ 及以上环境温度及仪表工作温度高场合
	耐热 105℃ 聚氯乙烯绝缘屏蔽电线	RVP-105		

4-52 电线是如何选择的?

电线的选择按下列条件进行:

- (1) 导线材料的选择。一般采用铝导线, 在下列场合可采用铜导线:
 - 1) 重要的操作回路及二次回路。
 - 2) 移动设备的线路及剧烈振动场合的线路。
 - 3) 对铝有严重腐蚀的场合。
 - 4) 爆炸危险场所有特殊要求者。

5) 国际工程有要求者。

(2) 按通过电流时的效应来选择截面, 包括下列条件:

1) 发热条件: 导线在通过正常最大负荷电流时产生的发热温度, 不应超过其正常运行时的最高允许温度。

2) 电压损失条件: 导线在通过正常最大负荷电流时, 产生的电压损失不应超过正常运行时允许的电压损失。

3) 经济电流密度条件: 对 35kV 及以上高压线路或 35kV 以下但距离长, 电流大的线路者宜用此条件选择; 对 10kV 及以下线路, 一般不按此条件选择。

4) 机械强度条件: 导线截面应不小于其最小允许截面 (见表 4-74~表 4-75)。

表 4-74 架空裸导线的最小允许截面

线路类别		导线最小截面 (mm ²)		
		铝及铝合金	钢芯铝线	铜绞线
35kV 及以上线路		35	35	35
3~10kV 线路	居民区	35	25	25
	非居民区	25	16	16
低压线路	一般	10	16	16
	与铁路交叉跨越档	35	16	16

注 DL/T 599—1996《城市中低压配电网改造技术导则》规定, 中压架空铝绞线分支线最小允许截面为 70mm², 低压架空铝绞线分支线最小允许截面为 50mm², 这是从城市电网发展需要考虑的, 而不是从机械强度要求考虑的。

表 4-75 绝缘导线的最小允许截面

线路类别			导线最小截面 (mm ²)		
			铜芯软线	铜芯线	PE 线和 PEN 线 (铜芯线)
照明用灯头引下线	室内		0.5	1.0	有机械性保护时为 2.5 无机械性保护时为 4
	室外		1.0	1.0	
移动式设备线路	生活用		0.75	—	
	生产用		1.0	—	
藏在绝缘子上的 绝缘导线 (L 为支持点间距)	室内	L ≤ 2m	—	1.0	
	室外	L ≤ 2m	—	1.0	
		L ≥ 2m	—	1.5	
		2m < L ≤ 6m	—	2.5	
		6m < L ≤ 15m	—	4	
	15m < L ≤ 25m	—	6		
穿管敷设的绝缘导线			1.0	1.0	
沿坡明敷的塑料护套线				1.0	

《全国民用建筑工程设计技术措施 电气》规定铜芯导线截面最小值, 进户线不小于 10mm², 动力、照明配电箱的进线不小于 6mm², 控制箱进线不小于 6mm² 动力, 照明分支线不小于 2.5mm², 动力、照明配电箱的 N、PE、PEN 连线不小于 6mm², 这是从负荷发展需要和安全运行考虑的, 而不是从机械强度要求考虑的。

表 4-76 选择导线和电缆的环境温度

类别	敷设场所	选取的环境温度	备注
导线	室外	最热月的日最高温度平均值	即最热月平均最高气温
	室内	该处的通风设计温度	亦可取最热月的日最高温度平均值加 5℃
电缆	土中直埋	埋深处的最热月平均地温	亦可近似地取当地最热月平均气温
	室外空气中, 电缆沟内	最热月的日最高温度平均值	
	有热源设备的厂房	通风设计温度	有机通风时
		最热月的日最高温度平均值加 5℃	有机通风时
	一般性厂房、室内	通风设计温度	有机通风时
		最热月的日最高温度平均值	有机通风时
室内电缆沟	最热月的日最高温度平均值加 5℃		

5) 短路热稳定条件: 对绝缘导线和母线, 应进行校验; 对架空导线可不进行校验 (散热好)。

上述五个条件的使用场合为:

对负荷大的低压配电线路, 可先按发热条件选择, 然后校验其他条件; 对负荷不大而距离长的线路, 可先按电压损失条件选择, 然后再校验其他条件; 对短路容量较大而负荷电流不大者可先按短路热稳定条件选择, 然后再校验其他条件; 对长距离大电流线路及 35kV 以上高压线路, 可先按经济电流密度选择, 然后再校验其他条件。

1) 按发热条件计算导线截面。应使其允许载流量 I_N 大于所在回路的最大负荷电流。即 $I_N > I_{\max}$ 。

如果实际环境温度与表中的温度值不同, 则对允许载流量进行修正。即

$$K_\theta = \sqrt{Q_N - \theta'_0 / \theta_N - \theta_0}$$

式中 θ_N ——导线在额定负荷时的最高允许温度;

θ'_0 ——导线的实际环境温度;

θ_0 ——导线允许载流量所用的环境温度, 见表 4-77。

在表 4-77~表 4-81 中列出了某些导线的允许载流量。

表 4-77 LJ、HLJ、LGJ 型裸铝绞线、钢芯铝绞线的载流量 ($\theta_c = 70^\circ\text{C}$)

A

截面 (mm ²)	LJ 型								HLJ 型				LGJ 型			
	室内				室外				室外				室外			
	25℃	30℃	35℃	40℃	25℃	30℃	35℃	40℃	25℃	30℃	35℃	40℃	25℃	30℃	35℃	40℃
10	55	52	48	45	75	70	66	61	74	70	66	61				
16	80	75	70	65	105	99	92	85	96	91	85	79	106	98	92	185
25	110	103	97	89	135	127	119	109	126	119	111	103	135	127	119	109
35	135	127	119	109	170	160	150	138	154	145	136	126	170	169	148	137
50	170	160	150	138	215	202	189	174	193	182	170	158	220	207	193	178
70	215	202	180	174	265	249	233	215	236	232	268	143	275	259	228	222
95	260	244	220	211	325	305	286	247	283	266	219	231	335	315	295	272
120	310	292	273	251	375	352	330	304	324	300	286	265	380	357	335	307
150	370	348	326	300	440	414	387	356	376	353	330	303	415	418	381	360

续表

截面 (mm ²)	LJ 型								HLJ 型				LGJ 型			
	室 内				室 外				室 外				室 外			
	25℃	30℃	35℃	40℃	25℃	30℃	35℃	40℃	25℃	30℃	35℃	40℃	25℃	30℃	35℃	40℃
185	425	400	374	844	500	470	440	405	425	400	374	347	515	481	458	416
240					610	574	536	494	496	457	437	405	610	574	536	494
300					680	640	597	550	570	538	502	465	700	658	616	605

表 4-78

TJ 型裸铜绞线的载流量 ($\theta_c = 70^\circ\text{C}$)

A

截 面 (mm ²)	室 内				室 外			
	25℃	30℃	35℃	40℃	25℃	30℃	35℃	40℃
4	25	24	22	20	50	47	44	44
6	35	33	31	28	70	86	82	57
10	60	56	53	49	95	89	84	77
16	100	94	83	81	130	122	114	105
25	140	132	123	104	180	169	158	148
35	175	165	154	142	220	207	144	178
50	220	207	194	178	270	254	238	219
70	280	263	246	227	340	320	300	276
95	340	320	299	276	415	400	365	336
120	405	380	356	328	485	456	426	398
150	480	431	422	389	570	536	501	461
185	550	516	484	445	615	806	587	532
240	630	616	571	526	770	724	678	624
300					890	835	723	720

表 4-79

TRJ 型裸铜软绞线的载流量 ($\theta_c = 70^\circ\text{C}$)

A

截 面 (mm ²)	室 内				截 面 (mm ²)	室 内			
	25℃	30℃	35℃	40℃		25℃	30℃	35℃	40℃
10	77	72	67	62	120	441	415	388	359
16	101	45	88	82	150	504	465	435	402
25	152	143	133	124	185	606	570	533	464
35	188	177	165	153	240	709	656	624	577
50	232	218	204	184	300	850	800	748	602
70	316	296	277	256	400	1015	981	920	850
95	371	340	326	302	500	1215	1142	1070	900

注 1. 本表为计算数据, 供使用参考。

2. 当本型导线应用在电弧炼钢炉上时, 因受热辐射较大, 一般按电流密度 1.5A/mm^2 选择截面。

表 4-80

聚氯乙烯绝缘电线明敷的载流量 ($\theta_c = 65^\circ\text{C}$)

A

截 面 (mm ²)	BLV 铝 芯				BV BVR 铜 芯			
	25℃	30℃	35℃	40℃	25℃	30℃	35℃	40℃
1.0					10	17	16	15
1.5	18	16	15	14	24	22	20	18
2.5	25	23	21	19	32	29	27	25
4	32	29	27	25	42	39	36	33

续表

截面 (mm ²)	BLV 铝 芯				BV BVR 铜 芯			
	25℃	30℃	35℃	40℃	25℃	30℃	35℃	40℃
6	42	39	36	33	55	51	47	43
10	59	55	51	46	75	70	64	59
16	80	71	69	63	105	98	90	83
25	105	98	90	83	138	129	119	109
35	130	121	112	102	170	158	147	134
50	165	154	142	130	215	201	185	170
70	205	191	177	162	265	247	229	209
95	250	233	216	197	325	303	281	257
120	285	266	246	225	375	350	324	296
150	325	303	281	257	430	402	371	340
185	380	355	328	300	490	458	423	387

表 4-81 聚氯乙烯绝缘电线穿硬塑料管敷设的载流量 ($\theta_c = 65^\circ\text{C}$)

A

截面 (mm ²)	二根单芯				管径 (mm)	三根单芯				管径 (mm)	四根单芯				管径 (mm)	
	25℃	30℃	35℃	40℃		25℃	30℃	35℃	40℃		25℃	30℃	35℃	40℃		
BLV 铝 芯	2.5	18	16	15	14	15	16	14	13	12	15	14	13	12	11	20
	4	24	22	20	18	20	22	20	19	17	20	19	17	16	15	20
	6	31	28	26	24	20	27	25	23	21	20	25	23	21	19	25
	10	42	39	36	33	25	38	35	32	30	25	33	30	28	26	32
	16	55	51	47	43	32	49	45	42	38	32	44	41	38	34	32
	25	73	68	63	57	32	65	60	56	51	40	57	53	49	45	40
	35	90	84	77	71	40	80	74	69	63	40	70	65	60	55	50
	50	114	106	98	90	50	102	95	88	80	50	90	84	77	71	63
	70	145	185	125	114	50	130	121	112	102	50	115	107	99	90	63
	95	175	163	151	138	63	158	147	136	124	63	140	130	121	110	75
120	200	187	163	158	63	180	168	155	142	63	160	149	138	120	75	
150	230	215	198	181	75	207	183	178	163	75	185	172	160	140	75	
185	265	247	229	209	75	235	219	203	185	75	212	198	183	167	90	
BV 铜 芯	1.0	12	11	10	9	15	11	10	9	8	15	10	9	8	7	15
	1.5	16	14	13	12	15	15	14	12	11	15	13	12	11	10	15
	2.5	24	22	20	18	15	21	19	18	16	15	20	17	16	15	20
	4	31	28	26	24	20	28	26	24	22	20	25	23	21	18	20
	6	41	38	35	32	20	36	33	31	28	20	32	29	27	25	25
	10	56	52	48	44	25	49	46	42	38	25	44	41	38	34	32
	16	72	67	62	56	32	65	60	56	51	32	57	53	49	45	32
	25	95	88	82	75	32	85	79	73	67	40	74	70	64	59	40
	35	120	112	103	94	40	105	98	90	83	40	92	86	80	73	50
	50	150	140	129	118	50	132	123	114	102	50	117	109	101	92	63
70	185	172	160	146	60	167	156	144	130	50	148	138	128	117	63	
95	230	210	198	181	63	205	191	177	162	63	185	172	160	146	75	
120	270	252	238	213	63	240	224	207	189	63	210	201	185	172	75	
150	305	285	263	211	75	275	257	237	217	75	260	253	216	197	75	
185	355	331	307	280	75	310	280	268	245	75	280	201	212	221	90	

注 硬塑料管规格根据 HGZ-63—65, 并采用轻型管、管径指内径。

2) 按电压损失允许值选择: 用电设备的电压偏移有一个允许值, 见表 2-1, 按电压损失选择截面时, 应使其符合表 2-1 中的要求。而电压损失 ($\Delta U\%$) 的允许值则可参考表 4-82 中所列数值。

表 4-82 各种情况下 $\Delta U\%$ 允许值

线路名称	允许电压损失值 ($\Delta U\%$)	备注
内部低压配电线路	1.0~2.5	总计不大于 6%
外部低压配电线路	3.5~5.0	
工业场地内照明低压线路	3.0~5.0	4 和 6 两项不得大于 10%
正常情况下矿区内高压配电线路	3.0~6.0	
事故情况下矿区内高压配电线路	6.0~1.2	
正常情况下地方性高压供电线路	5.0~8.0	4 和 6 两项不得大于 10%
事故情况下地方性高压供电线路	10~12	

对三相架空线路的 $\Delta U\%$ 可按下式计算

$$\Delta U\% = [(r_0 + x_0 \tan \varphi) PL] / (10U_N^2)$$

$$= \Delta U\% PL = \Delta U\% M$$

式中 r_0 、 x_0 ——线路单位长度电阻、电抗值, Ω/km ;

φ ——功率因数角;

U_N ——线路额定电压, kV;

L ——线路长度, km;

P ——有功功率, MW;

M ——负荷短, MW·km;

$\Delta U\%$ ——线路单位长度负荷短的电压损失的分数。

在表 4-83 中列出了架空线路的阻抗。

表 4-83 每千米架空线路阻抗及其标么值 ($S_b = 100\text{MVA}$)

导线型号	单位长度电阻 (Ω/km)	单位长度电抗									
		0.4kV		6.3kV		10.5kV		37kV		115kV	
		实际值 (Ω/km)	实际值 (Ω/km)	标么值	实际值 (Ω/km)	标么值	实际值 (Ω/km)	标么值	实际值 (Ω/km)	标么值	
TJ-10	1.84	0.381	0.438	1.105	0.438	0.397					
TJ-16	1.20	0.36	0.417	1.018	0.417	0.378	0.47	0.0343			
TJ-25	0.74	0.345	0.402	1.012	0.402	0.364	0.456	0.0333			
TJ-35	0.54	0.335	0.392	0.988	0.392	0.356	0.445	0.0325			
TJ-50	0.39	0.324	0.381	0.957	0.381	0.345	0.434	0.0317			
TJ-70	0.28	0.312	0.370	0.932	0.370	0.336	0.423	0.0309			
TJ-95	0.20	0.303	0.360	0.912	0.360	0.328	0.413	0.0303			
TJ-120	0.158	0.295	0.353	0.889	0.353	0.320	0.406	0.0297			
LJ-16	1.98	0.358	0.416	1.043	0.416	0.378					
LJ-25	1.28	0.344	0.402	1.012	0.402	0.364					
LJ-35	0.92	0.334	0.392	0.988	0.392	0.356					
LJ-60	0.64	0.323	0.380	0.957	0.380	0.345					
LJ-70	0.46	0.312	0.369	0.932	0.369	0.336					
LJ-95	0.34	0.303	0.36	0.912	0.36	0.328					

续表

导线型号	单位长度电阻 (Ω/km)	单位长度电抗									
		0.4kV		6.3kV		10.5kV		37kV		115kV	
		实际值 (Ω/km)	实际值 (Ω/km)	标么值	实际值 (Ω/km)	标么值	实际值 (Ω/km)	标么值	实际值 (Ω/km)	标么值	
LJ-120	0.27	0.295	0.353	0.889	0.353	0.320					
LGJ-35	0.85						0.438	0.032			
LGJ-50	0.65						0.429	0.0314			
LGJ-70	0.46		0.365	0.920	0.365	0.331	0.418	0.0307	0.448	0.00339	
LGJ-95	0.33		0.353	0.890	0.353	0.320	0.400	0.0298	0.436	0.0033	
LGJ-120	0.27		0.347	0.874	0.347	0.315	0.400	0.0292	0.429	0.00325	
LGJ-150	0.21		0.341	0.859	0.341	0.309	0.394	0.0286	0.422	0.00319	
LGJ-185	0.17		0.333	0.839	0.383	0.302	0.388	0.0283	0.416	0.00314	
LGJ-240	0.132		0.325	0.819	0.325	0.295	0.378	0.0277	0.407	0.00308	
LGJ-300	0.107						0.371	0.0272	0.400	0.00303	
LGJ-400	0.08						0.362	0.0265	0.391	0.00296	

注 1. 实际采用的电压 U 与表中所给的平均电压 U_B 不同时所列的标么值应乘以系数 $(U_B/U)^2$ 。

2. 导线电抗值按单回路钢筋混凝土杆计算, 导线间的几何均距对 0.4kV、0.3 (10.5) kV、37kV 及 115kV 分别采用 0.6m、1.5m、3.5m 及 5.5m。

3) 按经济电流密度选择:

所谓经济电流密度是指从全面的经济效益考虑, 导线应选择一个比较合理的截面 (即经济截面), 即使线路的年运行费用接近最少; 又考虑节约有色金属, 我国现行的经济电流密度规定见表 4-84。

表 4-84

导线和电缆的经济电流密度

(A/mm²)

线路类型	导线材质	年最大负荷利用小时 (h)		
		<3000	3000~5000	>5000
架空线路	铜	3.00	2.25	1.75
	铝	1.65	1.15	0.90
电缆线路	铜	2.50	2.25	2.00
	铝	1.92	1.73	1.54

$$A_{ec} = I_c / j_{ec}$$

式中 I_c ——线路计算电流;

j_{ec} ——经济电流密度。

按上式算出 A_{ec} 后, 选最接近的标称截面, 然后校验其他条件。

4) 按短路热稳定条件选择: 对绝缘导线和电缆进行, 对架空线不进行计算; 计算公式为

$$A \geq A_{min} = \frac{I_{\infty} \times 10^3}{C} \sqrt{t_{ima}}$$

式中 I_{∞} ——线路稳态短路电流, kA;

A ——导体截面积, mm²;

A_{min} ——满足热稳定的最小允许截面, mm²;

C ——导体的热稳定系数 (见表 2-10)。

4-53 架空导线截面的选择实例。

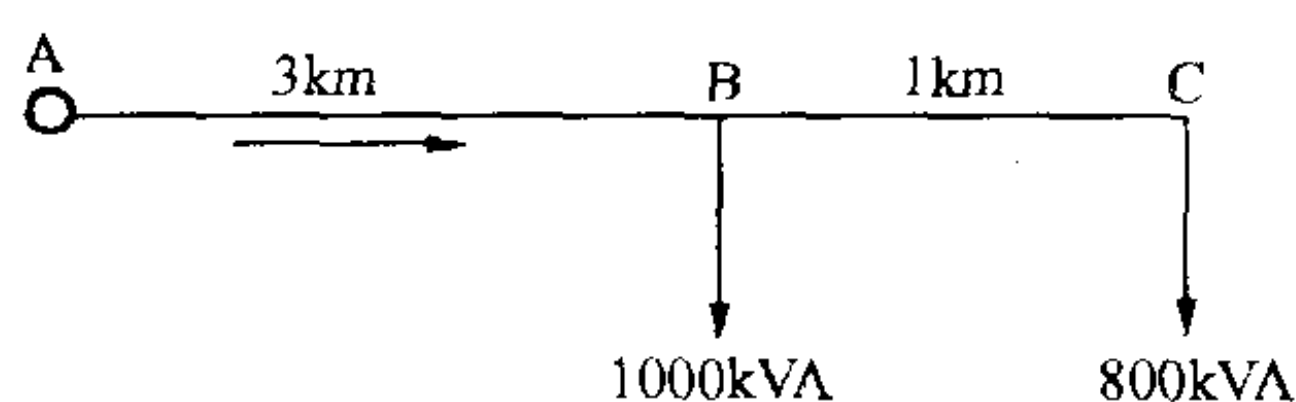


图 4-9 架空导线截面选择系统图

有两个用户，其负荷为 1000kVA 和 800kVA，功率因数为 0.9，相距如图 4-9 所示，架空线线间间距为 1m，环境最高温度为 37℃，电压为 10kV，用户属地方性高压供电性质。试选择导线截面。

解 (1) 按经济电流密度选择。

从表 4-84 可得在年利用小时为 3000~5000h 的架空线路的经济电流密度为 1.15 (铝导线)，则截面为 $A_{1ec} = I_{c1} / j_{ec}$ ， $A_{2ec} = I_{c2} / j_{ec}$ ，由负荷值可求得计算电流

$$I_{c1} = (S_1 + S_2) / \sqrt{3}U_N = (1000 + 800)\text{kVA} / \sqrt{3} \times 10\text{kV} = 104\text{A}$$

$$I_{c2} = 800\text{kVA} / \sqrt{3} \times 10\text{kV} = 46.24\text{A}$$

则 $A_{1ec} = 104\text{A} / 1.15(\text{A}/\text{mm}^2) = 90.43\text{mm}^2$

$$A_{2ec} = 46.24 / 1.15(\text{A}/\text{mm}^2) = 40.2\text{mm}^2$$

可采用 LJ 型导线，可查得为 LJ-70 型导线和 LJ-35 型导线。

(2) 按电压损失选择。从表 4-81 中可见电压损失允许值为 5%~8%。

从 LJ-70 型导线查表 4-83 可得 $r_0 = 0.46\Omega/\text{km}$ ， $x_0 = 0.369\Omega/\text{km}$ 。

从 LJ-35 型导线查表 4-83 可得 $r_0 = 0.92\Omega/\text{km}$ ， $x_0 = 0.392\Omega/\text{km}$ 。

按计算公式

$$\Delta U\% = \frac{1}{10U_N^2}(PR + QX)$$

$$\text{AB 段 } \Delta U_{AB}\% = \frac{1}{10 \times (10\text{kV})^2} (1800\text{kVA} \times 0.9 \times 3\text{km} \times 0.46\Omega/\text{km} + 1800\text{kVA} \times 0.436 \times 3\text{km} \times 0.369\Omega/\text{km}) = 3.11\%$$

$$\text{BC 段 } \Delta U_{BC}\% = \frac{1}{10 \times (9.7\text{kV})^2} (800\text{kVA} + 0.9 \times 1\text{km} \times 0.92\Omega/\text{km} + 800\text{kVA} \times 0.436 \times 1\text{km} \times 0.392\Omega/\text{km}) = 0.8\%$$

总的电压损失 $\Delta U_{AC}\% = (3.11 + 0.8)\% = 3.91\% < 5\%$ 合格。

(3) 按发热条件选择。各线段导线的电流为

$$\text{AB 段 } I_{AB} = S_1 + S_2 / \sqrt{3}U_N = 1000 + 800 / \sqrt{3} \times 10 = 104\text{A}$$

$$\text{BC 段 } I_{BC} = 800 / \sqrt{3}U_N = 800 / \sqrt{3} \times 10 = 46.24\text{A}$$

由表 4-76~表 4-80 可得 LJ-70 导线允许载流量为 215A (40℃)

LJ-35 导线允许载流量为 150A (40℃)

故尚有较大余量。

(4) 机械强度校核。由表 4-74 和表 4-75 查得 10kV 架空线路铝绞线最小截面为 35mm²，故 LJ-70 和 LJ-35 都符合要求。

4-54 绝缘电线的选择实例。

有一台 50kVA 配电变压器，电压为 10/0.38kV，低压侧额定电流为 72.3A，环境温度 25℃，试选择导线截面。

解 (1) 按发热条件选择

$$I_f = 1.3I_N = 1.3 \times 72.3 = 94(\text{A})$$

查表 4-81 得 BLV-50 穿硬塑料管敷设的载流量为 102A (25°C)。

(2) 按机械强度要求, 由表 4-75 可得应大于 1.0mm^2 , 符合要求。

(3) 由于距离短, 故不校核电压损失和经济电流密度。

(4) 由于短路电流很小, 故不校验短路热稳定。

4-55 电缆有什么用途? 如何分类?

电缆也是用以传输电能、信息的线材产品。在电力系统中用以传输和分配大功率电能的电缆产品称为电力电缆, 包括各种电压等级, 各种绝缘的电力电缆。从供电系统把电能直接传送到各种用电设备、器具的属电源连接线路用电缆。各种工农业装备中的电气安装和信号控制用电缆属电气装置用电缆。此外, 还有传输电话、电视、广播、传真等信息的电缆称为通信电缆。在表 4-85 中列出了以上三种电缆的分类。

表 4-85 常用中低压电缆分类

类 型	绝 缘 类 型	电 缆 名 称	电压等级 (kV)
电力电缆	油浸纸绝缘电缆	普通黏性浸渍电缆	1~35
		不滴流电缆	1~35
	塑料绝缘电缆	聚氯乙烯电缆	1~10
		聚乙烯电缆	6~220
		交联聚乙烯电缆	6~220
	橡皮绝缘电缆	天然丁苯橡皮电缆	0.5~6
		乙丙橡皮电缆	1~35
		丁基橡皮电缆	1~35
	电气装备用电缆	橡 塑 材 料	通用橡套电缆
通用信号、控制电缆			交流 250~500、直流 1000
电工、电子设备用电缆			36~6000
绝 缘 类 型			电 缆 名 称
通信电缆	空气—纸, 塑料, 空气—塑料	市内话缆	音 频
		长途对称话缆	高频 12~252kHz
		同轴通信电缆	9MHz 以下

和架空线路相比, 电力电缆具有美观, 占地少, 基本不占地面以上空间, 传输性能稳定, 可靠性高等优点。因此, 经常用于城市的地下电网, 发电厂的引出线路, 变电所的进出线路, 工业与民用建筑内部配电线路, 以及水下输电线路等。但建设费用较高, 且受到所用电压的限制。

4-56 如何选择电力电缆?

包括以下几方面:

1) 导体材料的选择。一般选用铝芯。在下列场合可采用铜芯。①重要的操作回路及二次回路; ②移动设备的线路及剧烈振动场合的线路; ③对铝有严重腐蚀的场合; ④爆炸危险场所有特殊要求者; ⑤国际工程有要求者。

2) 绝缘种类的选择。应根据电缆的使用场所来选择。在表 4-86 中列出各种型号的电力电缆的使用范围。在当今, 橡塑电缆, 特别是交联聚乙烯电缆, 由于其比油浸绝缘电缆具有

绝缘性能好，耐热、耐老化；无油、防火等优点，故使用越来越广泛。

表 4-86 常用电缆型号名称及使用范围

序号	电 缆 型 号		名 称	使 用 范 围
	铜 芯	铝 芯		
1	ZQ	ZLQ	纸绝缘裸铅包电力电缆	敷设在室内、沟道中及管子内，对电缆应没有机械损伤。且对铅护层应有中性环境
2	ZQ1	ZLQ1	纸绝缘铅包麻被电力电缆	敷设在土壤中，其他条件与序号 1 相同
3	ZQ2	ZLQ2	纸绝缘铅包钢带铠装电力电缆	敷设在土壤中，能承受机械损伤，但不能受大的拉力
4	ZQ20	ZLQ20	纸绝缘铅包裸钢带铠装电力电缆	敷设在室内、沟道中及管子内，其他条件与序号 3 相同
5	ZQ3	ZLQ3	纸绝缘铅包细钢丝铠装电力电缆	敷设在土壤中，能承受机械损伤及大的拉力
6	ZQ30	ZLQ30	纸绝缘铅包裸细钢丝铠装电力电缆	敷设在室内及矿井中，其他条件与序号 5 相同
7	ZQ4	ZLQ4	纸绝缘铅包粗钢丝铠装电力电缆	敷设在水中，能承受较大的拉力
8	ZQF2	ZLQF2	纸绝缘分相铅包钢带铠装电力电缆	敷设条件与序号 3 相同
9	ZQF20	ZLQF20	纸绝缘分相铅包裸钢带铠装电力电缆	敷设条件与序号 4 相同
10	ZQF4	ZLQF4	纸绝缘分相铅包粗钢丝铠装电力电缆	敷设条件与序号 7 相同
11	ZL	ZLL	纸绝缘裸铅包电力电缆	敷设在干燥的户内、沟管中，电缆不能承受机械外力作用，且对铝层应有中性环境
12	ZQD3	ZLQD3	纸绝缘铅包细钢丝铠装不滴流电力电缆	敷设在土壤及空气中，电缆能承受机械外力作用，并能承受相当的拉力，用于垂直敷设或高差较大处
13	ZQD30	ZLQD30	纸绝缘铅包裸钢丝铠装不滴流电力电缆	敷设在室内矿井中，其他条件与序号 12 相同
14	ZQD4	ZLQD4	纸绝缘铅包粗钢丝铠装不滴流电力电缆	敷设在水中或电缆承受较大拉力的地方，用于垂直敷设或高差较大处
15	XQ	XLQ	橡皮绝缘铅包电力电缆	敷设在室内、隧道内及管道中，电缆不能受推动和机械外力作用，且对铅护层应有中性环境
16	XQ2	XLQ2	橡皮绝缘铅包钢带铠装电力电缆	敷设在地下（隧道），电缆不能承受大的拉力
17	XQ20	XLQ20	橡皮绝缘铅包裸钢带铠装电力电缆	敷设在室内、隧道内及管道中，电缆不能承受大的拉力
18	VV	VLV	聚氯乙烯绝缘及护套电力电缆	敷设在室内、隧道内及管道中
19	VV20	VLV20	聚氯乙烯绝缘及护套裸钢带铠装电力电缆	敷设在室内、隧道内及管道中，电缆不能承受大的拉力
20	VV22	VLV22	聚氯乙烯绝缘及护套钢带内铠装电力电缆	敷设在地下，电缆不能承受大的拉力
21	VV3	VLV3	聚氯乙烯绝缘及护套细钢丝铠装电力电缆	敷设在地下，电缆能承受机械外力作用，并能承受相当的拉力
22	VV32	VLV32	聚氯乙烯绝缘及护套细钢丝内铠装电力电缆	敷设在室内及矿井中，其他条件与序号 21 相同

续表

序号	电 缆 型 号		名 称	使 用 范 围
	铜 芯	铝 芯		
23	VV40	VLV40	聚氯乙烯绝缘聚氯乙烯护套裸粗钢丝铠装电力电缆	敷设在室内、矿井中，电缆能承受机械外力作用，并能承受较大的拉力
24	VV42	VLV42	聚氯乙烯绝缘聚氯乙烯护套粗钢丝内铠装电力电缆	敷设在水中，电缆能承受较大的拉力
25	YJV	YJLV	交联聚乙烯绝缘聚氯乙烯护套电力电缆	敷设在室内、隧道内及管道中，电缆不能承受机械外力作用
26	YJ22	YJL22	交联聚乙烯绝缘聚氯乙烯护套内铠装电力电缆	敷设在地下，电缆不能承受大的拉力
27	YJ32	YJL32	交联聚乙烯绝缘聚氯乙烯护套细钢丝内铠装电力电缆	敷设在室内及矿井中或地下，能承受机械外力作用，并能承受相当的拉力
28	YJV-FR	YJLV-FR	交联聚乙烯绝缘聚氯乙烯护套阻燃电力电缆	敷设在有阻燃要求的场合，其他条件与序号 25 相同
29	YJ22-FR	YJL22-FR	交联聚乙烯绝缘聚氯乙烯护套内铠装阻燃电力电缆	敷设在有阻燃要求的场合，其他条件与序号 26 相同
30	YJV40	YJLV40	交联聚乙烯绝缘聚氯乙烯护套裸粗钢丝铠装电力电缆	敷设在室内、隧道内及矿井中，电缆能承受机械外力作用，并能承受较大的拉力
31	YJV42	YJLV42	交联聚乙烯绝缘聚氯乙烯护套粗钢丝内铠装电力电缆	敷设在水中，电缆能承受较大的拉力
32	XV20	XLV20	橡皮绝缘聚氯乙烯护套裸钢带铠装电力电缆	敷设在室内、隧道内及管道中，电缆能承受机械外力作用，但不能承受大的拉力
33	YC		重型橡套电缆	用于 500V 及以下移动式受电装置，能承受较大的机械外力作用
34	CHY		船用橡皮绝缘耐油橡套电缆	固定敷设于瓦斯继电器、变压器温度表等回路中
35	KVV		聚氯乙烯绝缘聚氯乙烯护套控制电缆	敷设在室内、隧道内及管道中，不能受机械外力作用

3) 电缆截面的选择：对于较长输电线路，一般按经济电流密度初步选择，按发热，电压损失及短路热稳定进行校验。对较短输电线路，只需按发热和短路热稳定进行校验。

a) 按经济电流密度选择：在表 4-84 中列出了各种运行小时下的经济电流密度，则

$$A_{ec} = I_{1max} / j_{ec}$$

式中 A_{ec} ——截面， mm^2 ；

I_{1max} ——所在回路的最大工作电流，A；

j_{ec} ——经济电流密度， A/mm^2 。

b) 按发热条件校验

$$KI_N = I_{1max}$$

式中 K ——修正系数；

I_N ——额定载流量（见表 4-87～表 4-92）；

I_{1max} ——所在回路的最大工作电流，A。

K 又可按情况不同分为：

空气中单根敷设 $K = K_t$ ， K_t 为环境温度不同于额定敷设温度（ $25^\circ C$ ）时的校正系数（见表 4-93）。

空气中多根敷设 $K = K_t K_1$ ， K_1 为空气中并列敷设电缆的校正系数（见表 4-94）。

空气中穿管敷设 $K = K_t K_2$ ， K_2 为穿管敷设校正系数， $10kV$ 及以下， $95mm^2$ 及以下者为 0.9， $120 \sim 185mm^2$ 者为 0.85。

土壤中单根敷设 $K = K_t K_3$ ， K_3 为直埋电缆用土壤热阻不同的校正系数（见表 4-95）。

土壤中多根敷设 $K = K_t K_3 K_4$ ， K_4 为多根并列直埋时的校正系数（见表 4-96 和表 4-97）。

表 4-87

油浸纸绝缘电力电缆直埋地敷设的载流量

A

主线芯数 ×截面 (mm ²)	1—3kV $\theta_c=80^\circ\text{C}$			6kV $\theta_c=65^\circ\text{C}$			10kV $\theta_c=60^\circ\text{C}$			35kV $\theta_c=50^\circ\text{C}$	
	20°C	25°C	30°C	20°C	25°C	30°C	20°C	25°C	30°C	25°C	
铝 芯	3×2.5	29	28	26							
	3×4	38	37	35							
	3×6	47	46	43							
	3×10	62	60	57	58	55	51				
	3×16	83	80	76	74	70	65	69	65	60	
	3×25	109	105	100	100	95	88	96	90	83	80
	3×35	135	130	124	116	110	102	112	105	97	90
	3×50	166	160	152	141	135	126	139	130	120	115
	3×70	197	190	181	173	165	154	160	150	138	135
	3×95	239	230	219	217	205	191	197	185	171	165
	3×120	275	265	252	241	230	215	230	215	199	185
	3×150	312	300	286	273	260	243	262	245	226	210
3×185	353	340	324	309	295	275	294	275	254	230	
3×240	416	400	381	362	345	322	347	325	300		
铜 芯	3×2.5	38	37	35							
	3×4	48	47	44							
	3×6	62	60	57							
	3×10	83	80	76	74	70	65				
	3×16	109	105	100	95	90	84	90	85	98	
	3×25	145	140	133	127	120	112	123	115	106	105
	3×35	176	170	162	153	145	135	144	135	125	115
	3×50	213	205	195	190	180	168	181	170	157	150
	3×70	260	250	238	227	215	201	219	205	189	180
	3×95	312	300	286	275	260	243	262	245	226	210
	3×120	358	345	329	318	300	280	294	275	254	240
	3×150	405	390	372	360	340	317	337	315	291	275
3×185	462	445	424	402	380	355	385	360	333	300	
3×240	530	510	486	477	450	420	449	420	388		

注 土壤热阻率 $P_t=80^\circ\text{C}\cdot\text{cm}/\text{W}$ 。

表 4-88

聚氯乙烯绝缘电力电缆在空气中敷设的载流量

A

主线芯截面 (mm ²)	中性线截面 (mm ²)	1kV (四芯)				6kV (三芯)				
		25°C	30°C	35°C	40°C	25°C	30°C	35°C	40°C	
铝 芯	4	2.5	23	21	19	18				
	6	4	30	28	25	23				
	10	6	40	37	34	31	43	40	37	34
	16	6	54	50	46	42	56	52	48	44
	25	10	73	68	63	57	73	68	63	57
	35	10	42	86	79	72	90	84	77	71
	50	16	115	107	99	90	114	106	98	90
	70	25	141	131	121	111	143	133	123	113
	95	35	174	162	150	137	168	157	145	132
	120	35	201	187	173	158	194	181	167	153
	150	50	231	215	199	182	223	208	192	176
	185	50	266	248	230	210	256	239	221	202
240						301	281	260	238	
铜 芯	4	2.5	30	28	25	23				
	6	4	39	36	33	30				
	10	6	52	48	44	41	56	52	48	44
	16	6	70	67	60	55	73	68	63	57
	25	10	94	87	81	74	95	88	82	75
	35	10	119	111	102	94	118	110	96	93
	50	16	149	139	128	117	148	138	128	117
	70	25	184	172	159	145	181	169	156	143
	95	35	226	211	195	178	218	203	188	172
	120	35	260	243	224	205	251	234	217	198
	150	50	301	281	260	238	290	271	250	229
	185	50	345	322	298	272	333	311	288	263
240						391	365	339	309	

表 4-89

聚氯乙烯绝缘电力电缆直埋地敷设的载流量

A

主线芯截面 (mm ²)	中性线截面 (mm ²)	1kV (四芯)			6kV (三芯)			
		20℃	25℃	30℃	20℃	25℃	30℃	
铝 芯	4	2.5	31	29	27			
	6	4	39	37	35			
	10	6	53	50	47	52	49	46
	16	6	69	65	61	67	63	59
	25	10	90	85	79	86	81	76
	35	10	116	110	103	168	102	95
	50	16	143	135	126	134	127	119
	70	25	172	162	152	163	154	145
	95	35	207	196	184	193	182	171
	120	35	236	223	208	221	209	196
	150	50	266	252	236	228	237	202
	185	50	300	284	265	286	270	252
	240					332	313	292

表 4-90

交联聚乙烯绝缘电力电缆在空气中敷设的载流量

A

主线芯数 ×截面 (mm ²)	铝 芯					铜 芯				
	6~10kV $\theta_e=90^\circ\text{C}$				35kV 单芯 $\theta_e=80^\circ\text{C}$	6~10kV $\theta_e=90^\circ\text{C}$				35kV 单芯 $\theta_e=80^\circ\text{C}$
	25℃	30℃	35℃	40℃	25℃	25℃	30℃	35℃	40℃	25℃
3×16	99	94	90	80		127	122	116	111	
3×25	128	123	117	112		166	159	152	145	
3×35	154	147	141	135		200	192	184	175	
3×50	188	180	172	165	216	243	233	223	213	272
3×70	229	220	210	201	259	294	282	270	258	332
3×95	274	263	252	240	310	351	337	322	308	395
3×120	317	304	291	278	355	407	391	374	357	453
3×150	364	349	334	319	405	467	448	429	410	516
3×185	413	396	379	363	458	530	509	487	465	583
3×240	482	463	443	423	538	616	591	566	541	682

表 4-91

交联聚乙烯绝缘电力电缆直埋地敷设载流量 ($\rho_t=80^\circ\text{C cm/W}$)

A

主线芯数 ×截面 (mm ²)	铝 芯				铜 芯			
	6~10kV $\theta_e=90^\circ\text{C}$			35kV 单芯 $\theta_e=80^\circ\text{C}$	6~10kV $\theta_e=90^\circ\text{C}$			35kV 单芯 $\theta_e=80^\circ\text{C}$
	20℃	25℃	30℃	25℃	20℃	25℃	30℃	25℃
3×16	99	96	92		127	123	118	
3×25	126	122	117		162	157	150	
3×35	150	145	139		194	187	179	
3×50	183	177	170	174	235	227	218	223
3×70	220	212	203	212	281	271	260	268
3×95	259	250	240	246	333	321	308	316
3×120	295	285	273	281	377	364	349	359
3×150	334	322	309	317	427	412	395	404
3×185	374	361	346	354	480	463	444	449
3×240	430	415	398	409	549	529	500	518

表 4-92

通用橡套软电缆的载流量

A

主线 截面 (mm ²)	中性线 截面 (mm ²)	YZ YZW YHZ 型								YQ、YQW YHQ 型			
		二 芯				三 芯				四 芯		二芯	三芯
		25℃	30℃	35℃	40℃	25℃	30℃	35℃	40℃	25℃	25℃		
0.5	0.5	12	11	10	9	9	8	7	7	11	9		
0.75	0.75	14	13	12	11	11	10	9	8	14	12		
1.0	1.0	17	15	14	13	13	12	11	10				
1.5	1.0	21	19	18	16	18	16	15	14				
2.0	2.0	26	24	22	20	22	20	19	17				
2.5	2.5	30	28	25	23	25	23	21	19				
4	2.5	41	38	35	32	36	32	30	27				
6	4	53	49	45	41	45	42	38	35				

主线 截面 (mm ²)	中性线 截面 (mm ²)	YC、YCW、YHC 型									
		二 芯				三 芯				四 芯	
		25℃	30℃	35℃	40℃	25℃	30℃	35℃	40℃	35℃	40℃
2.5	1.5	30	28	25	23	26	24	22	20		
4	2.5	39	36	33	30	34	31	29	26		
6	4	51	47	44	40	43	40	37	34		
10	6	74	69	64	58	63	58	54	49		
16	6	98	91	84	77	84	78	72	66		
25	10	135	126	116	106	115	107	99	90		
35	10	167	156	144	132	142	132	122	112		
50	16	268	194	179	164	176	164	152	139		
70	25	259	242	224	204	224	209	193	177		
95	35	318	297	275	251	273	255	236	215		
120	35	371	346	320	293	316	295	273	249		

表 4-93

环境温度变化时载流量的校正系数 K₁

导线工作温度 (℃)	不同环境温度下的载流量校正系数								
	5℃	10℃	15℃	20℃	25℃	30℃	35℃	40℃	45℃
80	1.17	1.13	1.09	1.04	1.0	0.954	0.905	0.853	0.798
65	1.22	1.17	1.12	1.06	1.0	0.935	0.865	0.791	0.707
60	1.25	1.20	1.13	1.07	1.0	0.926	0.845	0.756	0.655
50	1.34	1.25	1.18	1.09	1.0	0.895	0.775	0.653	0.447

注 不同环境温度下载流量的校正系数可按下式计算为

$$\frac{I_1}{I_2} = \left(\frac{\Delta Q_1}{\Delta Q_2} \right)^{\frac{1}{2}}$$

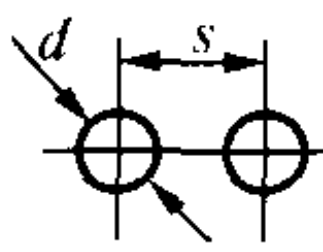
式中 I₁, I₂——对应于 ΔQ₁、ΔQ₂ 时的载流量，二者的比值即为温度校正系数；

ΔQ₁——载流量表中规定的最大允许温升（导线温度与基准环境温度之差）；

ΔQ₂——由于环境温度变化引起的导线最大允许温升。

表 4-94

电线电缆在空气中多根并列敷设时载流量的校正系数 K₁

线缆根数	1	2	3	4	6	4	6
排列方式	○		○○○	○○○○	○○○○○○	○○ ○○	○○○ ○○○
线缆中 心距离	s=d	1.0	0.9	0.85	0.82	0.80	0.8
	s=2d	1.0	1.0	0.98	0.95	0.90	0.9
	s=3d	1.0	1.0	1.0	0.98	0.96	0.96

注 本表系产品外径相同时的载流量校正系数，d 为电缆的外径，当电线电缆外径不同时，d 值建议配合产品外径的平均值。

表 4-95 不同土壤热阻系数时载流量的校正系数 K_3

导线截面 (mm ²)	不同土壤热阻系数时载流量的校正系数				
	$\rho_t=0^\circ\text{C}\cdot\text{cm}/\text{W}$ (3.33m·K/W)	$\rho_t=80^\circ\text{C}\cdot\text{cm}/\text{W}$ (3.53m·K/W)	$\rho_t=120^\circ\text{C}\cdot\text{cm}/\text{W}$ (3.93m·K/W)	$\rho_t=160^\circ\text{C}\cdot\text{cm}/\text{W}$ (4.33m·K/W)	$\rho_t=200^\circ\text{C}\cdot\text{cm}/\text{W}$ (4.73m·K/W)
2.5~16	1.06	1.0	0.9	0.83	0.77
25~95	1.08	1.0	0.88	0.80	0.73
120~240	1.09	1.0	0.86	0.78	0.71

注 土壤热阻系数的选取、潮湿地区取 60~80, 指沿海、湖、河畔地带雨量多地区, 如华东、华西地区等, 普通土壤取 120; 如平原地区东北、华北等干燥土壤取 160~200, 如高原地区雨量少山区、丘陵、干燥地带。

表 4-96 电线电缆在土壤中多根并列埋设时载流量的校正系数 K_4

线缆间净距 (mm)	不同敷设根数时的载流量校正系数				
	1 根	2 根	3 根	4 根	6 根
100	1.00	0.88	0.84	0.80	0.75
200	1.00	0.90	0.86	0.83	0.80
300	1.00	0.92	0.89	0.87	0.85

注 敷设时电线电缆相互间净距应不小于 100mm。

表 4-97 多根电缆并列敷设在空气中综合校正系数 $K=K_t K_1$

电缆并列 根数	电缆间距 s	环境温度 缆芯温度	35℃				40℃			
			60℃	65℃	80℃	90℃	60℃	65℃	80℃	90℃
			K_t	K_1	K_t	K_1	K_t	K_1	K_t	K_1
			0.845	0.805	0.905	0.92	0.756	0.791	0.853	0.877
4	$s=d$	0.82	0.693	0.709	0.742	0.754	0.62	0.648	0.699	0.719
4	$s=2d$	0.95	0.802	0.822	0.86	0.874	0.718	0.754	0.81	0.833
6	$s=d$	0.8	0.676	0.692	0.724	0.736	0.605	0.633	0.582	0.762
6	$s=2d$	0.9	0.76	0.778	0.814	0.828	0.68	0.712	0.767	0.789
2×3	$s=d$	0.75	0.633	0.649	0.679	0.69	0.567	0.59	0.64	0.658

注 d 为电缆外径。

c) 按电压损失校验 (对三相交流)

$$\Delta U\% = 17LI_{\max}(r\cos\varphi + x\sin\varphi)/U \leq 5\%$$

式中 U ——线路工作线电压 (kV);

L ——线路长度;

$\cos\varphi$ ——功率因数;

r, x ——电缆单位长度电阻、电抗值 (见表 2-13)。

d) 按短路热稳定校验。应满足下列条件

$$A \geq A_{\min} = \frac{I_{\infty} \times 10^3}{C} \sqrt{t_{\text{ima}}}$$

$$t_{\text{ima}} = (t_{\text{op}} + t_{\text{oc}}) + 0.05 \left(\frac{I''}{I_{\infty}} \right)^2$$

式中 A_{\min} ——热稳定最小截面, mm²;

I_{∞} ——稳态短路电流, kA;

C ——热稳定系数 (见表 2-1);

t_{ima} ——假想时间;

t_{op} ——继电保护动作时间;

t_{oc} ——断路器全分断时间。

4-57 电力电缆的选型实例。

某变电所 10kV 出线，长 50m，末端负荷为 $1000\text{kVA} \cdot \cos\varphi = 0.85$ ，电缆采用直埋敷设，土壤温度为 20°C ，年运行小时为 5000h，土壤热阻系数为 $80^\circ\text{C} \cdot \text{cm}/\text{W}$ ，短路电流为 4kA。

(1) 按经济电流密度选择

$$I_c = S_N / \sqrt{3}U_N = 1000\text{kVA} / \sqrt{3} \times 10\text{kV} = 58\text{A}$$

查表 4-84 可得 5000h 时，经济电流密度为 $1.54\text{A}/\text{mm}^2$ ，则经济截面为 $S_{ec} = I_c / j_{ec} = 58 / 1.54 = 38\text{mm}^2$ 。

选择一根 10kV ZLQ₂ 三芯油浸纸绝缘铝芯铅包钢带铠装防腐电缆，电缆截面为 $S = 35\text{mm}^2$ ， $I_{20^\circ\text{C}} = 112\text{A}$ ，正常允许最高温度为 60°C （见表 4-87 和表 4-88）。

(2) 按长期发热条件校验。

根据式 $KI_N \geq I_{\max}$ $1.06 \times 112 > 58$

$K = K_1 K_3$ ，查表 4-92~表 4-94 得 $K_1 = 1.06$ ， $K_3 = 1.0$ 。

(3) 按电压损失校验。因距离短，容量不大，电压较高，故可不校验。

(4) 按短路热稳定校验

按公式 $S_{\min} = I_\infty \sqrt{t_{ima}} / C$

假想时间考虑继电保护动作时间为 0.7s，断路器全分断时间 0.2s， $t_{ima} = 1\text{s}$ ，则 $S_{\min} = 4 \times 10^3 / 115 = 34.5\text{mm}^2 < 35\text{mm}^2$ 。



第十二节 高（中）压成套配电装置的选型与使用

4-58 高（中）压成套配电装置有什么用途？如何分类？

高（中）压成套配电装置是按一定的电路接线方案将有关的电气设备（如断路器、隔离开关、负荷开关、熔断器、互感器、避雷器等）但装在一个封闭的金属外壳内的配电装置，俗称开关柜。这种组合优点是占地少，方便维修，可靠性高等。

开关柜可分为三种类型：

- (1) 铠装式。各相间用金属板隔离且接地。
- (2) 间隔式。各相间用一个或多个非金属板隔离。
- (3) 箱式。有金属外壳，但间隔数少于上述两种型式。

从中压断路器置放分有两种：

- (1) 落地式。断路器手车落地推入柜内。
- (2) 中置式。手车装于开关柜中部。

从固定形式分有两种：

- (1) 固定式。固定结构，不能移动。
- (2) 手车式。非固定结构，可以移动。

从结构分开启式、半封闭式、封闭式三种。

从使用环境分有户内和户外两种。

从操作方式分有电磁操作机构、弹簧操作机构、手动操作机构。

为了防止误操作，保证人员与设备安全，要求开关柜具有五防功能，即

- (1) 防止误合、误分断路器。
- (2) 防止带负荷分、合隔离开关。
- (3) 防止带电挂地线。
- (4) 防止带地线合闸。
- (5) 防止误入带电间隔。

上述功能是通过电气和机械的联锁装置来实现的。

在表 4-98~表 4-119 中表示了国产和某些国外的各种开关柜的一次方案和主要技术参数。

表 4-98 HXGN1A-10 型环网柜技术数据 (国产)

序号	名称	技术数据	序号	名称	技术数据
1	额定电压 (kV)	10	8	主回路额定短路关合电流 (kA)	50
2	额定频率 (Hz)	50	9	额定短路开断电流 (kA)	31.5
3	主母线额定电流 (A)	630	10	机械寿命 (次)	2000
4	额定热稳定电流 (kA)	20 (2s)	11	1min 工频耐受电压、对地、相间/隔离断口 (kV)	42/48
5	接地回路额定热稳定电流 (kA)	20 (2s)	12	雷电冲击耐受电压、对地、相间隔离断口 (kV)	75/85
6	额定动稳定电流 (kA)	50	13	二次回路 1min 工频耐压 (V)	2000
7	接地回路额定动稳定电流 (kA)	50			

表 4-99 环网柜配用的 FN12-10D 型负荷开关及 FN12-10RD 型组合电器技术数据

序号	名称	PN12-10D/630	FN12-10RD/100
1	额定电压 (kV)	10	
2	额定频率 (Hz)	50	
3	额定电流 (A)	630	100
4	1min 工频耐受电压、对地、相间/隔离断口 (kV)	42/48	
5	雷电冲击耐受电压、对地、相间/隔离断口 (kV)	75/85	
6	额定热稳定电流 (kA)	20 (2s)	—
7	额定动稳定电流 (kA)	50	—
8	额定短路关合电流 (kA)	50	—
9	额定电流下电气寿命 (次)	不小于 100	—
10	额定空载变压器开断电流	1600kVA 变压器空载电流	
11	额定短路开断电流 (kA)		31.5
12	额定转移电流 (kA)		1.5
13	机械寿命 (次)	2000	

表 4-100 环网柜配用的高压熔断器技术数据

型号	额定电压 (kV)	额定电流 (A)	额定开断电流 (kA)
XRN1-12	12	40	31.5
		50	
		63	
		100	

表 4-101 环网柜配用的避雷器技术数据

型号	额定电压 (kV)	持续运行电压 (kV)	直流 1mA 参考电压 (kV)	标称放电电流下残压 (kV)
HYSW-17	17	6.6	不小于 24	42

表 4-102 环网柜配用的电流互感器技术数据

型号	额定电压 (kV)	额定电流比	准确级次	额定二次负荷 ($\cos\varphi=0.8VA$)	1s 热稳定电流 (有效值 kA)	动稳定电流 (峰值 kA)
LZJC-10	10	5~1000/5	0.5	10	0.375~50	0.75~90
			C	15		
LZZB6-10	10	5~300/5	0.5	10	0.8~24.5	1.9~44
			C	15		
LZZJB6-10	10	5~1500/5	0.5	10	15~41	38.3~74
			C	15		

表 4-103 环网柜配用的电压互感器技术数据

型号	额定电压 (V)		额定容量 (VA)			最大容量 (VA)
	一次绕组	二次绕组	0.5	1 级	3 级	
JDZ-10	10000	100	50	80	200	400
JDZJ-10	10000/ $\sqrt{3}$	100/ $\sqrt{3}$	50	80	200	400

表 4-104 环网柜配用的带电显示器技术数据

型号	额定电压 (kV)	工频耐受电压		雷电冲击电压 (峰值, kV)	抗拉、抗弯的机械破坏负荷 (N)	局部放电量		显示器氖灯超焊电压 (kV)
		一次对地 1min (kV)	二次对地 1min (kV)			1.1×最高工作电压 (pC)	1.1×最高工作电压/ $\sqrt{3}$ (pC)	
GSN1-10	12	42	2	±75	>8000	≤10		1.72

HXGN1A-10 型环网柜一次主接线方案见表 4-105。

表 4-105 电气主接线方案

方案号	01	02	03	04	05	
主接线图						
主要电器设备	FN12-10 型负荷开关				1	
	FN12-10D 型负荷开关	1	1	1	1	
	LZJC-10 型电流互感器		1	2	3	
	RNZ-10 型熔断器					3
	JDZ-10 型电压互感器					2
	GSN1-10 型显示器	1	1	1	1	1

注 1. 一次方案组合约有 70 种, 这里仅列出 5 种。

2. H—环网开关柜; X—箱型; G—固定式; N—户内型; 10—额定电压 10kV。

3. 此种柜属固定交流金属封闭环网柜是 6—10kV 环网供电和终端供电系统的户内成套配电装置。适用于厂矿, 住宅小区, 高层建筑, 学校等配电场所。

表 4-106

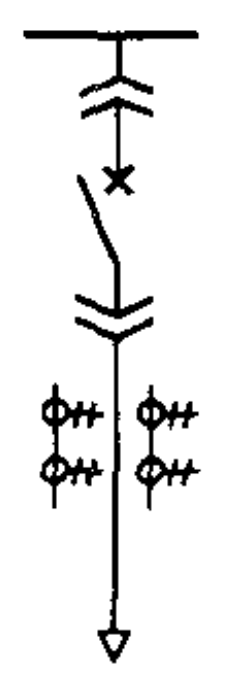
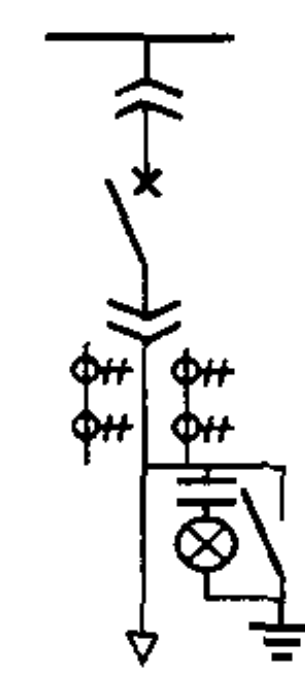
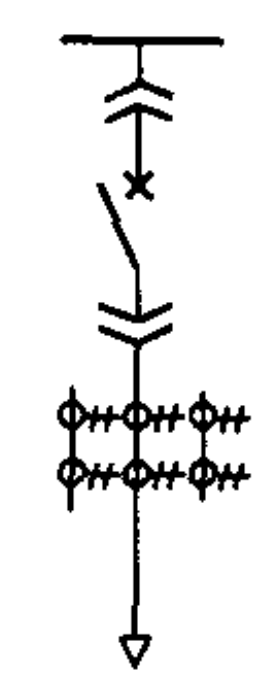
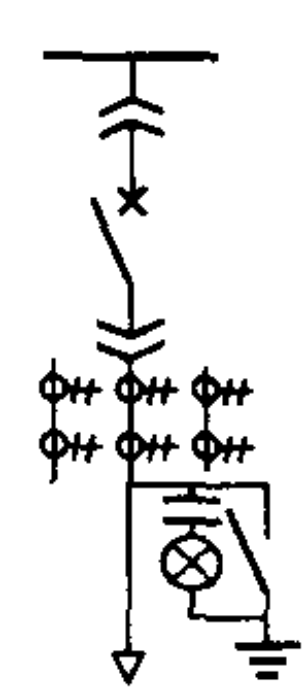
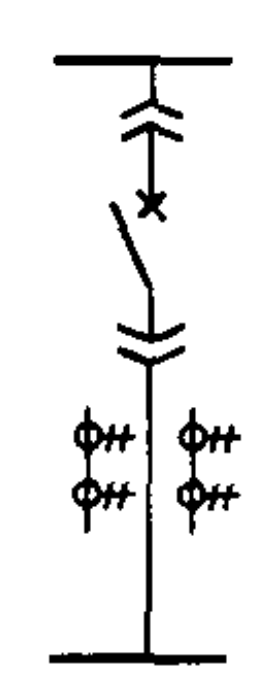
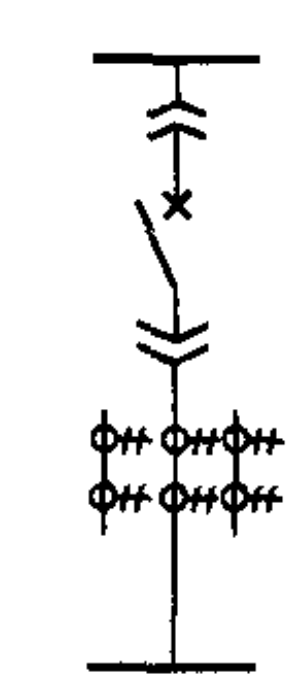
KYN1-10 型开关柜技术数据 (国产)

断路器型号	ZN28-10/ 630-12.5	ZN28-10/ 1250-20	ZN28-10/1250 2000-31.5/2500	ZN28-10/2000 2500-40.3150
额定电压 (kV)	3 6 10			
最高工作电压 (kV)	3.5 6.9 12			
额定电流 (A)	630	1000 1250 1600 2000 2500 3150		
断路器额定电流 (A)	630	1250 1600 2000 2500 3150		
额定开断电流 (有效值, kA)	12.5	20	31.5	40
额定关合电流 (峰值, kA)	31.5	50	80	100
动稳定电流 (峰值, kA)	31.5	50	80	100
4s 热稳定电流 (有效值, kA)	12.5	20	31.5	40
开关柜相对地距离 (mm)	≥125			
操作机构	CD17 或 CT17			
防护等级	IP2X			
质量 (kg)	≤800			≤1200
断路器型号	SN10-10IC/ 630-16	SN10-10IC 1000-16	SN10-10 II C/ 1000-31.5	SN10-10 III C/ 1250-40
额定电压 (kV)	3 6 10			
最高工作电压 (kV)	3.5 6.9 12			
额定电流 (A)	630	1000		1250
断路器额定电流 (A)	630	1000		1250
额定开断电流 (有效值, kA)	12/20		31.5	40
额定关合电流 (峰值, kA)	40/50		80	100
动稳定电流 (峰值, kA)	40/50		80	100
4s 热稳定电流 (有效值, kA)	16/20		31.5	40
开关柜相对地距离 (mm)	≥125			
操作机构	CD10 或 CT8			
防护等级	IP2X			
质量 (kg)	≤800			

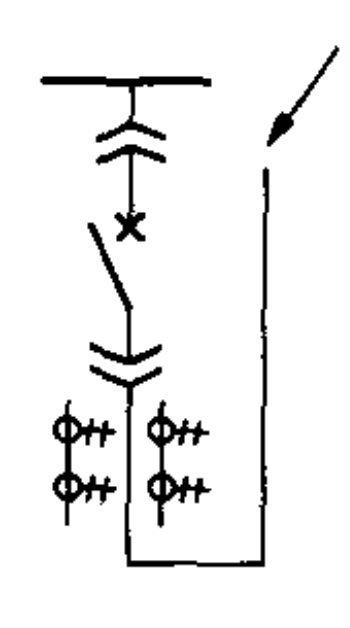
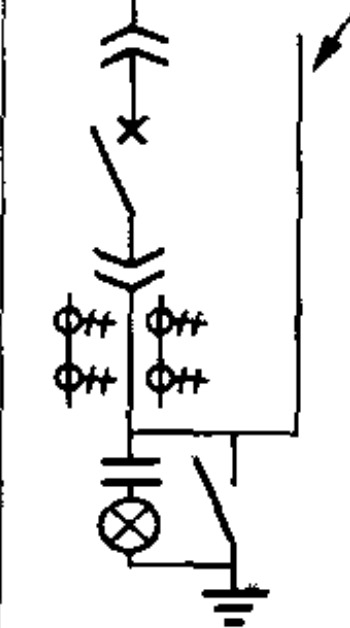
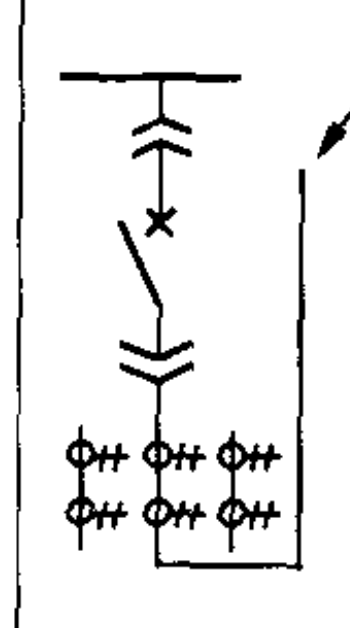
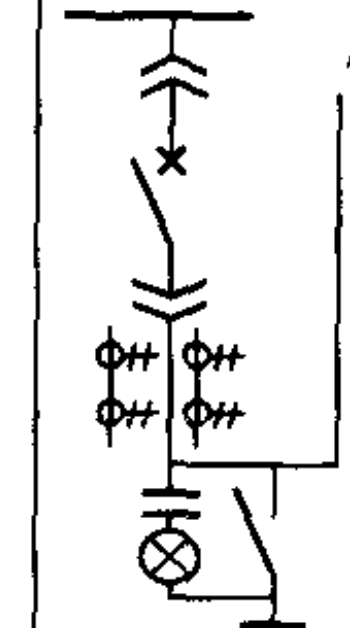
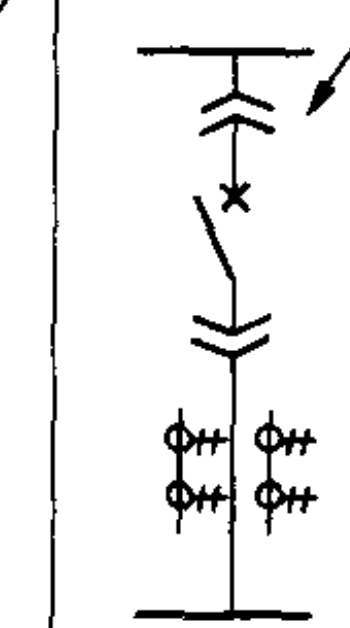
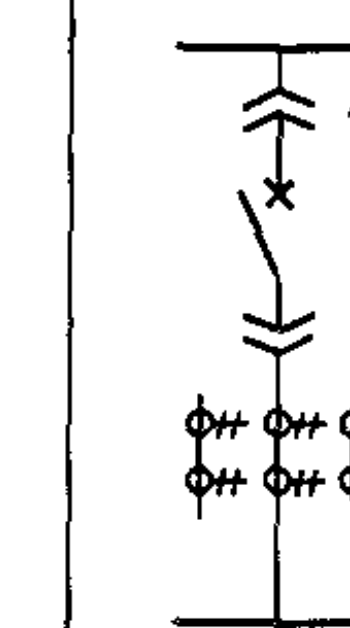
KYN1-10 型开关柜主接线原理如表 4-107 所示。

表 4-107

KYN1-10 型开关柜电气主接线原理

方案编号	01	02	03	04	05	06
一次线路图						
用途	电缆进 (出) 线				左 (右) 联络	
SN10-10 少油断路器	(1)	(1)	(1)	(1)	(1)	(1)
ZN28-10 真空断路器	1	1	1	1	1	1

续表

方案编号	01	02	03	04	05	06
CD10. CT12 (配少油) CT17. CT17 (配真空) 操动机构	1	1	1	1	1	1
LDJ 型电流互感器	2	2	3	3	2	3
JN4-10 接地开关		1		1		
额定电流 (A)	630、1000、1250*					
柜宽 (mm)	800、840					
方案编号	07	08	09	10	11	12
一次线路图						
用途	架空进(出)线				架空进线左(右)联络	
SN10-10 少油断路器	(1)	(1)	(1)	(1)	(1)	(1)
ZN28-10 真空断路器	1	1	1	1	1	1
CD10. CT8 (配少油) CT17. CT12 (配真空) 操动机构	1	1	1	1	1	1
LDJ 型电流互感器	2	2	3	3	2	3
JN4-10 接地开关		1		1		
额定电流 (A)	630、1000、1250*					
柜宽 (mm)	800、840					

注 1. 此种柜是金属铠装落地手车式柜、各单元用接地金属板隔离，配装真空和少油断路器，达到五防要求。

2. K—金属封闭铠装式；Y—移开式；N—户内型；10—额定电压 (kV)。

* 1250 开关适用于表 ZN28-10 型真空断路器。

表 4-108

CZS1-10 型开关柜技术数据 (国产)

项 目		数 据
额定电压 (kV)		3、6、10
最高工作电压 (kV)		3.6、7.2、12
额定绝缘水平	1min 工频耐受电压 (kV)	42
	雷电冲击耐受电压 (kV)	75
额定频率 (Hz)		50
主母线额定电流 (A)		630、1250、1600、2000、2500、3150
分支母线额定电流 (A)		630、1250、1600、2000、2500、3150
3s 热稳定电流 (有效值, kA)		16、20、25、31.5、40、50
额定动稳定电流 (峰值, kA)		40、50、63、80、100、125
防护等级		外壳为 IP4X, 隔室间, 断路器室门打开时为 IP2X

续表

项 目		数 据
外形尺寸	高度 (mm)	2300
	宽度 (mm)	分支小母线额定电流达至 1250A 热稳定电流 40kA
		分支小母线额定电流 1600A 及以上
	深度 (mm)	电缆进出线
架空进出线		
质量 (kg)		700~1200

表 4-109 VD4 真空断路器技术数据

项 目		数 据	项 目		数 据	
额定电压 (kV)		10	3s 热稳定电流 (有效值, kA)	16、20、25、31.5、40、50		
最高工作电压 (kV)		12		额定动稳定电流 (峰值, kA)	40、50、63、80、100、125	
额定绝缘水平	1min 工频耐受电压 (kV)	42	合闸时间 (ms)		约 70	
	雷电冲击耐受电压 (kV)	75	分闸时间 (ms)		≤45	
额定电流 (A)		630、1250、1600 2000、2500、3150	燃弧时间 (ms)	≤15		
额定对称短路开断电流 (有效值, kA)		16、20、25、31.5、 40、50	开断时间 (ms)	≤60		

GZS1-10 型开关柜电气主接线方案如表 4-110 所示。

表 4-110 电气主接线方案

方案编号	01	02	03	04	05	06	07
一次线路图							
柜体尺寸 (mm)	800 × 1500 × 2300 1000						
主要电器元件	VD4 或 VS1	1	1	1	1	1	1
	AS12/1506/2S/4S	2	2	2	3	3	2
	电压互感器						
	RNZ-10						
	JN□或 ES1		1	1		1	1
	HYSWS2-□/50			3			3
额定电流 (A)	630~3150						
回路名称	受电 馈电 受电, 馈电 受电, 馈电 受电, 馈电 受电 馈电 受电、馈电 联络 (右)						

注 1. 此种柜是金属铠装式中置移开式开关柜, 装有真空断路器, 达到“五防”要求。具有“五防”性能。其优点是: 手车推拉在轨道上进行, 避免地面质量的影响, 手车推拉在门封闭情况下进行, 有安全感, 断路器中置后, 下面有宽大空间可安装其他设备和电缆, 是最新式的开关柜之一。

2. G—固定式、Z—中置式、S—新型。

表 4-111

XGN2-10 型开关柜主要技术数据 (国产)

额定电压 (kV)	3 6 10				
最高工作电压 (kV)	3.6 7.2 11.5				
额定电流 (A)	1250			1600~3150	
额定开断电流 (有效值, kA)	12.5	20	25	31.5	40
额定关合电流 (峰值, kA)	31.5	50	63	80	100
额定动稳定电流 (峰值, kA)	31.5	50	63	80	100
额定热稳定电流 (有效值, kA)	12.5	20	25	31.5	40
热稳定时间 (s)	4				
防护等级	IP2X				
母线系统	单母线段 单母线段带旁路				
操动方式	电流式 (CD10, CD17) 弹簧储能式 (CT8, CT17)				
外形尺寸 (宽×深×高, mm)	单母线	电缆进出	1100×1200×2650		1200×1200×2650
		架空进出	1100×1600×2650		1200×1600×2650
	单母线带旁路	1100×1800×2650		1200×1800×2650	
质量 (kg)	约 1000			约 1300	

XGN2-10 型开关柜主接线方案见表 4-112。

表 4-112

XGN2-10 型开关柜主接线方案表

方案编号	01	02	03	04	05	06
一次线路图						
主要电器元件	额定电流 (A)	1250				
	GN30-10/GN30-10D	1/	1/	1/	1/	2/
	ZN28A-10 (配 CD17, CT17)					
	SN10-10 (配 CD10 ^I , (T8 ^I) _{II})	1	1	1	1	1
	LZZBJ16 10、LZZJ-10	2	3	2	3	2
	GSN-10	0~1				
LJZ165, LJ175	0~1					
用途	电缆出线			电缆进出线		
柜宽 (mm)	1100					

注 1. 此种柜是固定式金属封闭开关柜, 积木式金属封闭箱型结构。一次方案约有 80 多种, 这里仅列出 6 种。达到“五防”要求。

2. X—箱式; G—固定式; N—户内型; 10—额定电压 (kV)。

表 4-113 UniGear-ZS1 型开关设备主要技术数据 (ABB 公司产)

项 目	单 位	数 据	项 目	单 位	数 据
额定电压	kV	12	主母线额定电流	A	…4000
额定绝缘电压	kV	12	分支母线额定电流	A	630
额定工频耐受电压	kV 1min	42			1250
额定雷电冲击耐受电压	kV	75			1600
额定频率	Hz	50-60			2000
额定短时耐受电流	kA 3s	…50			2500
额定峰值耐受电流	kA	…125			3150
内部燃弧耐受电流	kA (1s)	…40			分支母线额定电流
	kA (0.5s)	…50	带强制风冷		4000

表 4-114 进线或馈线柜主接线方案例

方 案 编 号	001	002	003	004	005	
主接线方案						
主 要 设 备	额定电流 (A)	630~4000	630~4000	630~4000	630~4000	
	真空断路器 VD4	1	1	1	1	
	电流互感器	2	2	2	2	2
	电压互感器				2	2
	高压熔断器					3
	接地开关 EK6		1	1	1	1
	避雷器			3		
	带电显示装置	按用户需要	按用户需要	按用户需要	按用户需要	按用户需要
用 途	LF	LF	LF	LF	LF	
备 注						

表 4-115 UniGear-ZS3.2 型开关设备技术参数 (ABB 公司产)

项 目	单 位	数 据	
		IEC	CNS
额定电压	kV	36	40.5
额定工频耐受电压 (1min)	kV	70/80	95/118 (隔离断口)
额定雷电冲击耐受电压 (全波)	kV	170/195	185/215 (隔离断口)
额定功率	Hz		50/60
主母线额定电流	A		1600、2000、2500、3150
分支母线额定电流	A		1250、1600、2000、2500、3150*
断路器额定电流	A		1250、1000、2000、2500、3150*
断路器额定短路开断电流	kA		25, 31.5
额定峰值耐受电流	kA		63, 80
额定短时耐受电流 (4 秒) (有效值)	kA		25, 31.5

续表

项 目	单 位	数 据	
		IEC	CNS
辅助电源电压	V		DC110、220
外壳防护等级			IP4X
断路器室门打开时防护等级			IP2X
外形尺寸 (宽×深×高)	mm		1200×2565×2400
质量	kg		630-1500

* 需强制风冷

表 4-116 主接线方案例

方 案 编 号	001	002	003	004	005
接 线					
额定电流 (A)	1250~3150	1250~3150	1250~3150	1250~3150	1250~3150
真空断路器 VD4	1	1	1	1	1
电流互感器	2	2	3	3	3
电压互感器	3	3			
高压熔断器		3			
接地开关 EK6	1	1		1	1
避雷器					3
带电显示装置	按用户需要	按用户需要	按用户需要	按用户需要	按用户需要
用 途	LF	LF	LF	LF	LF
备 注					

表 4-117 SM6 系列主要电气特性 (施耐德公司产)

主要电气特性					
适用环境: 工作温度 -5~40℃, 海拔低于 1000m。					
额定电压 (kV)			7.2	12	24
绝缘等级	50Hz/1min (kV 有效值)	对 地	28	42	50
		断口间	32	48	60
	1.2/50μs (kV 峰值)	对 地	75	95	125
		断口间	85	110	145
分断能力	空载变压器 (A)		16		
	空载电缆 (A)		25		
短时耐 受电流	25kA/1s		630~1250A		
	20kA/3s		630~1250A		

续表

额定闭环开断电流		630A		
5%额定负荷开断电流		31.5A		
额定负荷开断电流		630A		
主开关及接地开关短时峰值耐受电流		50kA		
主开关及接地开关热稳定电流		20kA/3s		20kA/1s
最大分断能力	额定电压 (kV)	7.2	12	24
	1M 1MC, 1MB NSM-电缆	630A		
	QM、QMC	25kA		20kA
	带有熔断器的 CRM	25kA		
	DM1-A, DM1-D	25kA		20kA
寿命		机械寿命		电气寿命
(柜型)		IEC265		IEC265
1M、1MC、1MB 1MP OM*、QMC*		2000 次操作		200 次开断 在额定电流、功率因数 0.7 时
NSM-电缆 CRM-F		IEC56 300000 次操作		IEC56 320A 时, 100000 次开断 250A 时, 300000 次开断
DM1-A, DM1-D		IEC56 10000 次操作		IEC56 12.5kA 时, 40 次开断 20kA 时, 20 次开断 25kA 时, 25 次开断 在额定电流、功率因数 为 0.7 时, 10000 次开断

- 注 1. 根据 IEC 420 和 GB 3804—1990 规定, 功率因数为 0.2 时, 三次开断转移电流 1750A/12kV 或 1400A/24kV。
 2. 电磁兼容性: ①继电器、根据 IEC 801.4 规定, 4kV 耐压; ②屏蔽室; ③电场: -100MHz 时, 衰减 40dB, -200MHz 时, 衰减 20dB; ④磁场: 30MHz 以下, 衰减 20dB。
 3. 适用环境: ①储存时, -40°C 到 70°C; ②工作时, -5°C 到 40°C; ③海拔低于 1000m。
 4. 1M、1MC、1MB、1MP—负荷开关进线、出线或连接柜; QM、QMC—熔断器+负荷开关组合柜; CRM—带熔断器的接触器柜; DM1-A, DM1-D—隔离开关+断路器柜; DM1-W—可抽出式断路器+隔离开关柜; GBC-A, GBC-B—电流/电压测量柜; NSM-电缆—双电源进线柜; GEM—扩展柜; GBM—母线升高柜; GAMZ—进线电缆连接柜; TM—中压/低压变压器柜。

表 4-118

主接线方案例


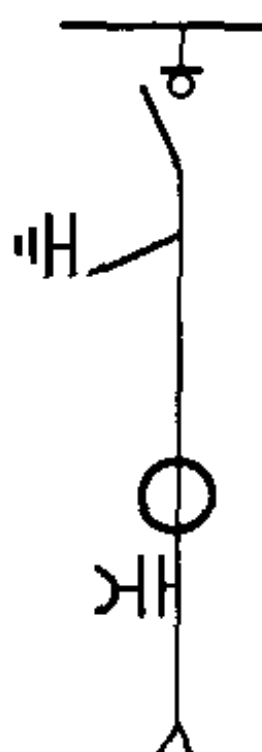


方案编号	01 (375mm 或 500mm) 进线或出线柜	02 (500mm) 进线或出线柜	03 (500mm) 带避雷器进线或出线柜	04 (375mm) 出线柜 (或)
接线				
基本设备	开关和接地开关、三相母线、C1T 操作机构、带电指示器、50W 加热器、干式单芯电缆接线端子			
		1 至 3 个电流互感器	避雷器支架	三相底部母线
型号	带分励脱扣装置的手动或电动操作机构 C12、630A 或 1250A 三相母线			
			避雷器	
可选择的附件	操作机构电机、辅助触点、钥匙式闭锁、底座、相厚仪、故障显示器、干式单芯电缆双连接装置、低压间			

表 4-119 RM6 型环网开关柜电气性能表 (施耐德公司产)

额定电压			12	24
绝缘水平	工频	50Hz 1min (kV 有效值)	42/48	50
	冲击	1.2/50 μ s (kV 峰值)	95/110	125
电网开关柜	额定电流 (A) ^①		630	630
	开断电流 (A) ^①	正常负荷电流	630	630
		接地故障	95	95
		空载电缆	30	30
	短时耐受电流 (kA, 有效值) ^② /s		20/3 或 25 ^④ /1	16/1
负荷开关和接地开关关合电流 (kA 峰值)		50 或 63	40	
变压器回路	额定电流 (A)		200	200
	空载变压器开断电流 (A)		16	16
熔断器—开关	短路开断电流 (kA) ^③		25 或 25 ^④ /1	16
	关合电流 (kA 峰值) ^③		50 或 63	40
断路器	短路开断电流 (kA)		20	16
	关合电流 (kA, 峰值)		50	40
线路保护回路	额定电流 (A)		630	630
	短路开断电流 (kA)		20	16
	关合电流 (kA, 峰值)		50	40

注 1. RM6 符合以下国际标准: IEC 60694、IEC 60298、IEC 60265、IEC 60129、IEC 60420、IEC 60050、IEC 60255。符合 IEC 60694 户内开关装置的正常工作条件:

(1) 环境温度户内分级 +40~-25℃。

(2) 海拔 1000m 及以下。

(3) 开断电流。RM6 负荷开关为 E3/M1 级负荷开关, 符合 IEC 60265 标准, 即:

1) 在额定电流和负载功率因数为 0.7 时, 200 次“合/分”操作。

2) 2000 次机械“合/分”操作, 200A 和 630A 断路器进行。

3) 2000 次机械“合/分”操作, 符合 IEC 60050 标准。

4) 在额定电流下 200 次“合/分”操作。

2. RM6 为紧凑型中压开关柜系列产品, 可用于环网和辐射式电网中进行和出线。

3. 负荷开关+熔断器可保护 1250kVA 以下的变压器, 断路器柜可保护 3000kVA 以下的变压器。

4. 开关装置和主母线密闭在充有 SF₆ 气体的壳体中。

5. RM6 开关柜是遥控式网络接点配电箱的主要设备、可实现遥控运行。

①根据 IEC 标准, 本特性在环境温度 -25~+40℃ 间有效, 温度较高时, 允许电流应为 (A)

温度 40℃ 45℃ 50℃ 55℃

户内 630 575 515 460

②短时耐受电流时间为 4s

③此系预期值, 实际电流受熔断器限制

④限于 12kV

4-59 如何选择高压开关柜?

选用高压开关柜的原则是:

(1) 根据使用环境决定户外或户内。

(2) 根据开关柜数量和可靠性要求决定固定或手车式。

(3) 根据一次接线方案决定柜内的电气设备。在柜中的核心往往是断路器,其他设备和断路器配套。

(4) 根据占地的的大小来选择不同尺寸的开关柜。

4-60 高压成套配电装置的选型实例。

可参见第六章的设计实例 1 中的 35kV 和 15kV 的开关柜和实际 3 中的 6kV 开关柜。

第十三节 电源设备的选型和使用

4-61 电源设备有什么用途? 如何分类?

电源设备是电力系统中一种重要的设备,它作为电气设备所需的动力,控制照明,微机等设备的电源,特别在事故状态下,对保证事故用负荷是一种关键设备。对发电厂和变(配)电所来说,一旦失去交流电源而全厂(所)停电时,必须由直流系统供给事故用照明,汽轮机和一些重要辅机的电源及通信用电源等。

电源设备可分为直流电源和交流电源两类。直流电源由蓄电池及其充电设备组成,充电设备在正常情况下除了向直流网络的经常性负荷供电外,同时对蓄电池进行浮充电,并作为均衡充电和事故放电后的充电用。一般选用半导体整流装置或高频开关电源成套装置。还可以采用直流不间断电源(DC UPS)或电容储能直流系统。交流电源可以通过电流,电压互感器和变压器供电,也可以由交流不间断电源(AC UPS)供电。当今,用蓄电池组作为直流电源已逐渐被整流电源或交流电源所代替,而 UPS 电源已得到了广泛的应用。

4-62 如何选择电源设备?

(1) 直流操作电源设备的选择:

1) 蓄电池。这是一种独立可靠的直流电源,在重要的变电所中还是得到应用。按照《电力工程直流系统设计技术规程》(DL/T 5044)规定:小型发电厂及 110kV 变电所采用阀控式密封铅酸蓄电池、防酸式铅酸蓄电池,也可采用中倍率镉镍碱性蓄电池,35kV 及以下变电所和发电厂辅助车间宜采用阀控式密封铅酸蓄电池,也可采用高倍率镉镍碱性蓄电池。

阀控式密封铅酸蓄电池具有免维护的功能,在正常运行时氢和氧可再结合还原成水,为避免异常的充电电压和温度下产生高压,在蓄电池盖上装有释压阀,它除释放压力外还能防止火苗进入蓄电池内部。目前已得到了较广泛的应用。

阀控式密封铅酸蓄电池的主要参数有:

a) 额定容量。是指蓄电池容量基准值。小时率容量是指 N 小时放电率在额定容量的数值,以 C_N 表示。我国电力系统用 10h 放电率放电容量,以 C_{10} 表示。

b) 放电率电流和容量。 $C_3 = 0.75C_{10}$, $C_1 = 0.55C_{10}$; $I_{10} = 0.1C_{10}$, $I_3 = 2.5I_{10}$, $I_1 = 5.5I_{10}$ 。

c) 浮充电压,单体为 2.23~2.27V (25℃),浮充电流 1~3mA/Ah;均衡充电电压,单体为 2.3~2.4V (25℃),均衡充电电流 1.0~1.25 I_{10} 。

d) 终止电压。10h 率单体终止电压为 1.8V；3h 率单体终止电压为 1.8V；1h 率单体终止电压为 1.75V。

e) 电池间连接电压降。1h 率放电时各极柱根部小于 10mV。

按容量分阀控蓄电池可分为大型 (200Ah 以上)，中型 (20~200Ah) 和小型 (20Ah 以下)。

我国电力系统一般选用大型，而 UPS 选用中型。对小时率，我国电力系统一般选用 10 小时率，而 UPS 选用 20 小时率。

在表 4-120~表 4-123 中给出了某些阀控式蓄电池的参数。

表 4-120 Drypower 系列阀控式蓄电池参数

型 号	容量 $C_{20}(20^{\circ}\text{C})$ (Ah)	放 电 电 流 (A)				
		30'	1h	3h	10h	20h
DP12V-7	7	7	4	1.4	0.7	0.4
DP12V-12	12	12	7	2.5	1.2	0.6
DP12V-18	18	17	10	3.4	1.6	1
DP12V-25	25	25	12	4.4	2.2	1.25
DP12V-33	33	28	14.3	4.8	2.53	1.65
DP12V-40	40	39	20	7.8	3.6	2
DP12V-65	65	64	34	13	6.5	3.3
DP12V-100	100	105	60	22	9.2	5
DP12V-200	200	220	120	50	19	10

注 $U_s=1.60\text{V}/\text{只}$ ，浮充电压为 $2.25\text{V}/\text{只}$ 。该型电池适用于各型不间断电源，单体电压为 12V。该型电池属德国 HOPPEKE 产品。

表 4-121 GFM 型阀控蓄电池参数 (国产)

型 号	额定电压 (V)	10h 率容量 (Ah)	终止电压 (V)	放 电 率 (25 $^{\circ}\text{C}$)			
				10h	3h	1h	30'
GFM 300	2	300	1.8	0.10C	0.27C	0.60C	0.94C
500		500					
850		850	1.7				
1050	1050						
1200		1200	1.6			0.68C	1.04C

表 4-122 大密系列阀控蓄电池参数 (国产)

型 号	额 定 容 量 (Ah)					
	1.80V		1.80V		1.60V	
	20h	10h	8h	5h	3h	1h
DJ 65	74	68	65	59.5	54	44.1
DJ 75	84	78	75	68.5	62.1	50.8
DJ 100	114	104	100	91	82.8	67.7
DJ 130	148	136	130	119	108	88.4
DJ 150	176	156	150	136.5	123.9	101.3
DJ 200	228	200	200	182.5	165.9	135.5
DJ 250	294	261	250	228	207.3	169.5
DJ 300	340	312	300	273.5	248.4	20.3
DJ 400	452	417	400	365	331.5	271.0
DJ 500	564	521	500	455.5	414	338.5

注 额定电压 2V。

表 4-123 HOPPECKE-OSP 阀控式蓄电池 (德国)

型 号	容量 C ₁₀ (20℃) (Ah)	终止电压、放电时间及电流 (A)															
		1.67V				1.75V				1.77V				1.8V			
		30'	1h	3h	10h	30'	1h	3h	10h	30'	1h	3h	10h	30'	1h	3h	10h
3OSP 150	150	123	79.5	39	15	108	75	37.5	15	102	72	37.5	15	99	69	37.5	15
4OSP 200	200	164	106	52	20	144	100	50	20	136	96	50	20	132	92	50	20
5OSP 250	250	205	132.5	65	25	180	125	62.5	25	170	120	62.5	25	165	115	62.5	25
6OSP 300	300	246	159	108	30	216	150	75	30	204	144	75	30	198	138	75	30
7OSP 350	350	287	185.5	91	35	252	175	87.5	35	238	168	87.5	35	231	161	87.5	35
8OSP 560	560	520	336	160	56	432	288	144	56	424	288	144	56	400	288	144	56
7OSP 700	700	560	378	182	70	462	350	175	70	465	336	175	70	427	308	164.5	70
8OSP 800	800	640	432	208	80	528	400	200	80	520	384	200	80	488	352	188	80
9OSP 900	900	720	486	234	90	594	450	225	90	585	432	225	90	549	396	211.5	90
10OSP 1000	1000	800	540	260	100	660	500	250	100	650	480	250	100	610	440	235	100
11OSP 1100	1100	880	594	286	110	726	550	275	110	715	528	275	110	671	484	258.5	110
12OSP 1200	1200	960	648	312	120	792	600	300	120	780	576	300	120	732	528	282	120

注 可采用任何一种充电方式,恒压充电方式为首选,既可用 2.25V/只浮充电,也可用 2.4V/只强充电,在后备运行时的满充状态下可维持充电电压 2.25V/只。

2) 充电设备。充电设备有高频开关式和晶闸管式两种。高频开关式具有集成模块化、技术性能好、体积小、功耗小、自动化水平高等优点,广泛用于发电厂和变电所中。其原理框图如图 4-10 所示。

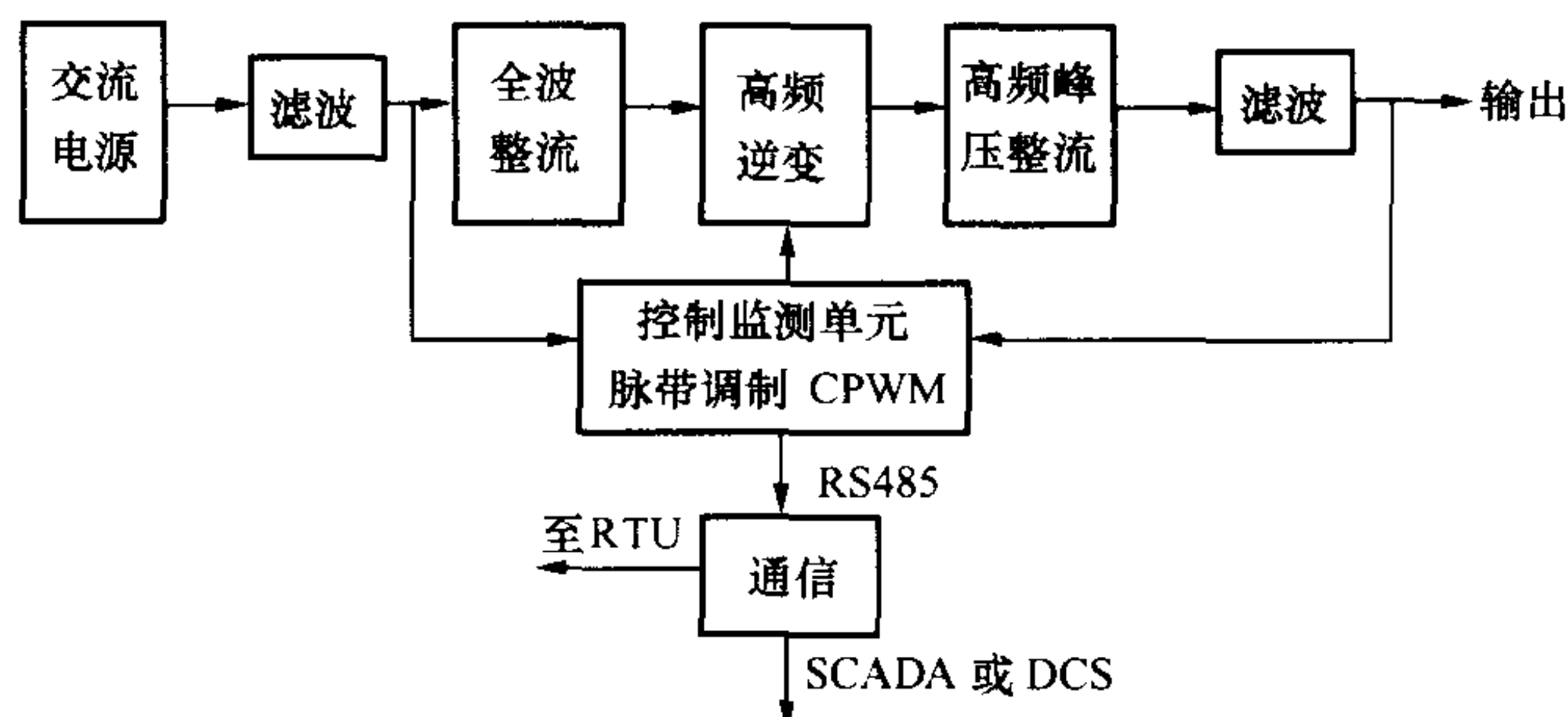


图 4-10 高频开关充电设备原理图

充电装置由若干模块并联组成,一般用 N+1 备份冗余方式,如直流负荷 50A,可选 10A 模块 5+1=6 个,每个模块的电流为 50/6=8.34A,有一个故障不影响供电。

在无人值班变电所中可以采用操作和通信相结合的方案。此时,交流电通过 AC/DC 高频开关电源变为 220V 直流,DC/DC 变换器输入接在 220V 直流母线上,输出 48V,阀控蓄电池接在 220V 直流母线上。正常时,220V 直流母线供控制保护设备及 DC/DC 变换器,失电时由蓄电池组供电。

(2) 交流操作电源设备的选择。

1) 用所用变压器或电压互感器取得 220V 电压,从电流互感器取得电流。这种方法一

般用于小型 10kV 配变电所。

2) 采用 UPS 方案。这种方案提高了可靠性。它更适用于民用建筑供电系统中。在采用计算机控制的发电厂和变电所中也得到了广泛的应用。UPS 的产品很多。应根据使用要求来选用（如输出电压的稳定性、整机可靠性、过负能力、对电网的干扰等）其容量可按式计算。

$$S_C = k_i k_d k_t k_s \Sigma P / \cos\varphi = k_{rel} \Sigma P / \cos\varphi$$

式中 S_C ——UPS 计算容量；

k_i ——动态峰值系数，1.1~1.15；

k_d ——直流电压下峰系数，1.1；

k_t ——温度修正系数，1.05~1.1；

k_s ——设备老化及裕度系数，1.05~1.10；

k_{rel} ——可靠系数；

ΣP ——全部负载计算功率；

$\cos\varphi$ ——负载功率因数，0.7~0.8。

在图 4-11 给出了交流 UPS 的方框图，在表 4-124 中给出了某种 UPS 的技术参数。

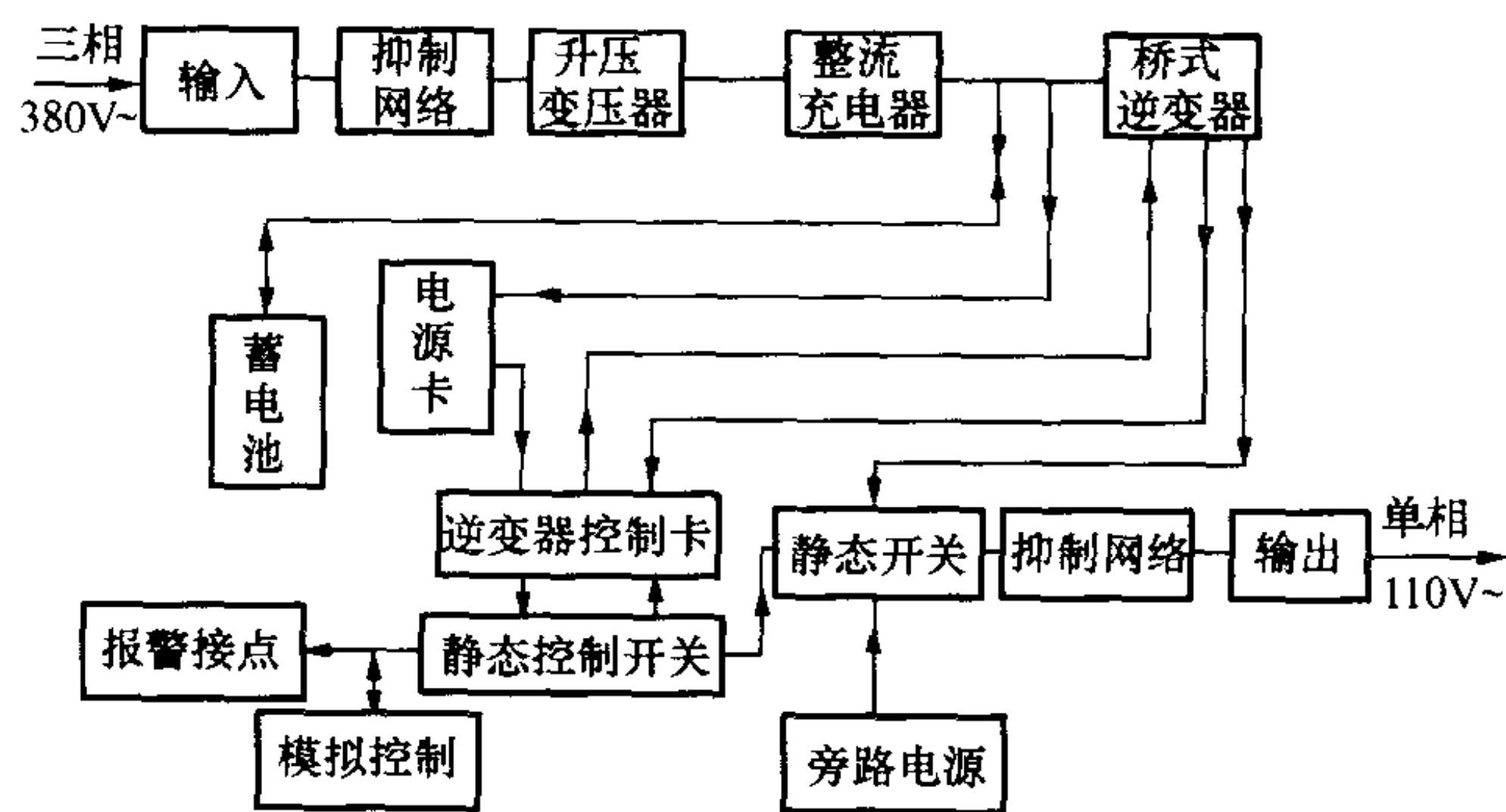


图 4-11 ACUPS 方框图

UPS 的技术特性要求：

(1) 输出电压特性：

1) 稳态电压精度。平衡负载 $\pm 1\%$ ；非平衡负载 $\pm 2\%$ 。

2) 瞬态响应特性。是指负载从 0~100% 突加或从 100%~0 突减时输出电压的精度 $\pm 4\%$ 。

3) 谐波失真度。非线性负载使输出电压失真，允许的液峰因数一般为 3:1 以上。失真度为 3%。

(2) 输入特性。要求有高功率因数，使用功率因数矫正电路。

(3) 配套阀控蓄电池的质量，放电特性符合要求。

(4) 噪声要求。选用低噪声的 UPS。

(5) 运行温度。应满足现场的实际温度，否则，在机房应采取调温措施（如设置空调等）。

(6) 温度要求。应满足现场的温度情况，否则，在机房内应采取调温度措施。

(7) 可满足并机要求。

表 4-124

某种 UPS (AC) 的技术参数

项 目	数 据
额定容量	30kVA
输入电压	交流 380V±10%三相三线
输入频率	50Hz±5%
输出电压	交流 110V 单相
输出频率	50Hz±0.01%
频率跟踪	±2Hz
逆变器调整	±1%
瞬时响应	>±2%，从空载到满载，满载到空载在 60ms 内恢复至±1%
噪声	1m 距离为 75dB
总的谐波失真	典型为 3%，线性负荷最大为 5%
运行温度	0~40℃
湿度	95%不凝结
蓄电池	阀控密封铅酸电池

4-63 电源设备的选型实例。

实例 1 阀控蓄电池的选择。

某 110kV 变电所直流负荷电压为 220V，电流为 47.8A（包括经常负荷、事故照明、通信电源、运动电源等）1 小时容量为 47.8Ah，试选择蓄电池容量。

(1) 根据最高电压确定蓄电池个数

$$n = 1.05 \text{ 额定电压} / \text{浮充电压} = 1.05 \times 220 / 2.25 = 102.67 \text{ (取 102 个)}$$

(2) 蓄电池放电终止电压 U_z

$$U_z \geq 0.85 \times \text{额定电压} / n = 0.85 \times 220 / 102 = 1.83 \text{ (V)}$$

(3) 蓄电池容量 (C)

$$\begin{aligned} C &= KC_s / K_{cc} = \text{可靠系数} \times \text{放电容量} / \text{容量系数} \\ &= 1.5 \times 47.8 / 0.55 = 130.4 \text{ (Ah)} \end{aligned}$$

容量系数由制造厂提供，可靠系数取 1.5，已考虑低温影响，电池参数不一定影响及当电池容量低于 80% 时为寿命终止。

选择蓄电池 GFM 型 200，标称容量 $C_{10} = 200\text{Ah}$ 。

实例 2 UPS 装置的选择。

某发电厂对 125MW 发电机组 (1 台) 选择交流 UPS 装置，交流输入电压为 380V，输出电压为单相 110V，频率为 50Hz 全部负载的计算功率为 12kW，试选择 AC UPS 容量及参数。

按计算容量公式

$$S_c = k_{rel} \sum p / \cos \varphi$$

$$k_{\text{rel}} = 1.33 \sim 1.53, \text{取 } 1.53$$

$$\Sigma p = 12\text{kW}$$

$$\cos\varphi = 0.7 \sim 0.8, \text{取 } 0.7$$

$$\text{则 } S_c = 1.53 \times 12 / 0.7 = 26.23\text{kVA}$$

可选 30kVA 的 UPS, 其参数可见表 4-122。从表中可见该 UPS 符合技术要求。

第五章

配电自动化装置的选择和使用



5-1 试述配电自动化及其装置的基本组成。

所谓配电自动化就是在配电设备和配电管理上的自动化。也就是在自动化的配电网架上，装配上与其相适应的开断设备，采取与其相配套的自动化管理手段，实现对配电网的故障区段自动定位，迅速隔离，缩小停电范围和停电时间；对非故障区域自动迅速地恢复供电。配电自动化是 20 世纪 80 年代末期逐步发展起来的，内容也在不断变化。通常将变配电所自动化、馈线自动化、用户管理自动化三方面内容称为配电自动化系统。它主要由计算机系统、通信系统及远方终端设备组成，以实时的方式实现对配电网的远方监视，控制和操作，并与上一级的电力调度自动控制系统相联系，是一种可以使配电在远方以实时方式监视、协调和操作配电设备的自动化系统。

为了实现配电自动化，对配电装置及保护、通信等方面就提出了一系列要求，主要是应具有四遥的功能（即遥控、遥测、遥信和遥调）。在采用了计算机技术后，对实现上述要求提供了保证，而采用了新型的配电装置后（如采用真空的 SF₆ 断路器，SF₆ 重合器和分段器及它们之间的配合），使设备能适应自动化的要求，使供电更为可靠、灵活。

5-2 试述自动重合器的分类及特点。

自动重合器是一种可按顺序自动完成开断和重合操作，并在其后自动复位或闭锁（即经过预定整定的重合次数后，则不再进行重合）的控制设备。从而可有力地消除临时故障，提高供电可靠性和自动化水平。

自动重合器按灭弧介质可分为油、真空、SF₆ 三种；按控制方式可分为液压和电子两种；按相数可分为单相和三相；按安装地点可分为杆上、地面上、水下或地下；按分闸方式可分为串联和并联分闸。

5-3 自动重合器的主要参数有哪些？

自动重合器的主要参数有：

(1) 额定电压，即开关的标称电压。按 IEC 标准要求修订的新标准中，额定电压已改为最高电压，即开关的额定电压应不低于系统电压。例如系统的额定电压为 10kV，则自动重合器的额定电压为 12kV。

(2) 额定电流。表征设备长期承载电流的能力，以有效值表示。

(3) 额定短路开断电流。指在额定电压下，设备能开断而不妨碍其继续正常工作的最大电流，以有效值表示。

(4) 额定短路关合电流。即关合短路电流时，巨大的电动力效应和产生预击穿电弧不至于使开关损坏而继续正常工作。

(5) 额定动稳定电流,也称为额定峰值耐受电流,(峰值)在数值上与额定短路关合电流相同,但效应不同。

(6) 额定热稳定电流,也称为额定短时耐受电流(有效值),表征开关对短路电流热效应的耐受能力,数值上和额定开断电流相同,但有时间要求。

(7) 额定绝缘水平,包括冲击和工频耐压值。

在表 5-1~表 5-3 中分别列出了国内外生产的自动重合器的技术数据。

表 5-1

目前国产 10kV 自动重合器主要技术参数及生产厂

型号 项目	LCHW-10 LCW1-10 YCW-10 ZCW-10				型号 项目	LCHW-10 LCW1-10 YCW-10 ZCW-10			
	灭弧介质	SF ₆	SF ₆	油		真空	复位时间 (s)	5、7.5、 10、15 23、30、 35、40、 50、60、 75、90、 120 180	5~180 (可选择)
控制方式	电子	电子	液压	电子					
额定电压 (kV)	10	10	10	10					
最高电压 (kV)	11.5	11.5	11.5	11.5					
额定电流 (A)	400	400	125~400	400					
短路开断 电流 (kA)	6.3	6.3	6.3	6.3	额定最小 脱扣电流 (A)	100、200、 300、400、 500、600、 700、800、 900			
热稳定电 流 (kA)	6.3 (4S)	6.3 (2S)	6.3 (2S)	6.3 (4S)					
动稳定电 流峰值 (kA)	16	16	16	16					
冲击耐压 峰值 (kV)	75	75	75	75					
I _{min} 工频 耐压 (kV)	干试	42	42	42					
	湿试	30	30	30					
典型操作 顺序	分-t ₁ 合- 分-t ₂ 合分- t ₃ 合分 -闭锁	分-t ₁ 合 分-t ₂ 合 分-t ₃ 合 分-闭锁	分-t ₁ 合 分-t ₂ 合 分-t ₃ 合 分-闭锁				接地故障 最小脱扣 电流: 4、 8、12、 16、20、 24、28、 36		
重合间隔 (A)	t ₁ : 0.5、2.5、 10、15、30、 60、120 t ₂ 、t ₃ : 25、10、15 30、60、120	t ₁ 、t ₂ 、t ₃ 1~60 (可选择)	t ₁ 、t ₂ 、t ₃						
主要生产厂					湛江高压 电器生产 总厂、川 东高压电 器厂	福州第三 开关厂 (电科院 研制)	沈阳黎明 发动机公 司、浙江 慈溪电器 开关厂	沈阳黎明 发动机 公司	

表 5-2

U 系列三相自动重合器参数 (施耐德公司)

额定值	15.5kV	27kV	
最高系统电压	15.5kV	27kV	
额定连续电流	630A	630A	
故障关合电流 (有效值)	12.5kA	12.5kA	
故障关合电流 (峰值)	31.5kA	31.5kA	
故障开断能力	12.5kA	12.5kA	
动作时间 (合/分)	0.1/0.05s	0.1/0.05s	
机械操作次数	10000	10000	
额定满负荷操作次数	10000	10000	
热稳定电流 (3s 有效值)	12.5kA	12.5kA	
开断能力			
开断有功负荷电流 (功率因数 0.7)	630A	630A	
开断电缆充电电流	25A	25A	
开断线路充电电流	5A	5A	
开断变压器励磁电流	22A	22A	
冲击耐压			
相对相	110kV	125kV	
相对地	110kV	125kV	
断口	110kV	125kV	
工频耐压			
相对地	50kV	60kV	
断口	50kV	60kV	
工作环境			
工作环境温度 ^①	-40~+50℃	-40~+50℃	
工作环境阳光辐射 (最大)	1.1kW/m ²	1.1kW/m ²	
工作环境湿度	0~100%	0~100%	
工作环境海拔 ^② (最高)	3000m	3000m	
净重			
重合器本体	118kg	118kg	
控制箱和其他附件	145kg	145kg	
包装板条箱尺寸			
标准箱	长=1160mm	宽=960mm	高=1020mm

注 U 系列自动重合器 (ACR) 采用真空断路器, 真空断路器安装在环氧树脂套管内, 无需使用油和气体绝缘, 机械部分密封在不锈钢箱内, 配有柱上控制通信箱。

①控制箱配有加热器时, -40~+50℃作为造购件提供。

②海拔高于 1000m 时, 应根据 ANSI C37.60 的标准降低参数。

表 5-3

N 系列三相自动重合器参数 (施耐德公司)

项目	12/15kV	24kV	27kV	38kV	38kV
额定值	12.5kA	12.5kA	12.5kA	12.5kA	16kA
最高系统电压	12/15.5kV	24kV	27kV	38kV	38kV
额定连续电流	630A	630A	630A	630A	800A
故障关合电流 (有效值)	12.5kA	12.5kA	12.5kA	12.5kA	16kA
故障关合电流 (峰值)	31.5kA	31.5kA	31.5kA	31.5kA	40kA
动作时间 (合/分)	0.1/0.05s	0.1/0.05s	0.1/0.05s	0.1/0.05s	0.1/0.05s
机械操作次数	10000	10000	10000	10000	10000
额定满负荷操作次数	10000	10000	10000	10000	10000
热稳定电流 (3 秒有效值)	12.5kA	12.5kA	12.5kA	12.5kA	16kA
开断能力					

续表

项目	12/15kV	24kV	27kV	38kV	38kV
开断有功负荷电流 (功率因数 0.7)	630A	630A	630A	630A	800A
故障开断能力	12.5kA	12.5kA	12.5kA	12.5kA	16kA
开断电缆充电电流	25A	25A	40A	40A	40A
开断变压器励磁电流	22A	22A	22A	22A	22A
开断电容器电流	250A	250A			
冲击耐压					
相对相	110kV	150kV	150kV	170kV	170kV
相对地	110kV	150kV	150kV	170kV	170kV
断口	110kV	150kV	150kV	170kV	170kV
工频耐压					
相对相	50kV	60kV	70kV	70kV	70kV
相对地	50kV	60kV	70kV	70kV	70kV
断口	50kV	60kV	70kV	70kV	70kV
工作环境					
工作环境温度 ^①	-30~+50℃	-30~+50℃	-30~+50℃	-30~+50℃	-30~+50℃
工作环境阳光辐射 (最大)	1.1kW/m ²	1.1kW/m ²	1.1kW/m ²	1.1kW/m ²	1.1kW/m ²
工作环境湿度	0~100%	0~100%	0~100%	0~100%	0~100%
工作环境海拔 ^② (最高)	3000m	3000m	3000m	3000m	3000m
净重					
重合器本体	327kg	327kg	327kg	327kg	327kg
加外部 CT	380kg	380kg	387kg	387kg	387kg
包装板条箱尺寸					
标准箱	长=1160mm	宽=730mm	高=1640mm		
加外部 CT	长=1160mm	宽=730mm	高=1960mm		

注 N 系列气体绝缘重合器采用真空断路器, 安装在全密封焊接的不锈钢箱内, 并充以 SF₆ 气体配有柱上控制通信箱。

①控制箱配有加热器时, -30~+50℃作为选购件提供。

②海拔高于 1000 米时, 应根据 ANSI C3760 的标准降低参数。

5-4 如何选择自动重合器?

选择自动重合器的原则是:

- (1) 重合器的额定电压应大于或等于系统电压。
- (2) 重合器的遮断电流应大于或等于重合地点可能出现的最大故障电流。
- (3) 重合器的长期工作电流, 应大于或等于线路的负荷电流。
- (4) 重合器应能检测到和遮断它所承担的保护区末端发生短路时可能出现的最小故障电流。

(5) 重合器与其他保护装置配合时, 通过时延和操作程序的选择, 应保证有选择地切除故障, 将系统中瞬时遮断和长期中止供电的范围尽量缩小, 并且与后续线路的保护设备相配合。

5-5 自动重合器如何和其他设备相配合?

当自动重合器和其他保护设备相配合时应注意下列几方面。

(1) 重合器与熔断器的配合。

1) 重合器和配电变压器一次侧熔断器的配合。此时,重合器装在变压器的二次侧,作为负荷出线的保护(见图 5-1),此种保护应满足下列选择性要求:

a) 当配电线路上在重合器的保护区域内发生短路故障时,重合器按规定程序进行多次重合,直至重合器闭锁之前,熔断器熔丝都不熔断。为了达到此要求,可画出熔断器的电流-时间曲线 3,乘以变压器变比后变为曲线 1;画出重合器的电流-时间曲线 4,乘以系数 k (见表 5-4)得到曲线 2。曲线 1 和 2 的交点 A 则是熔断器和重合器的最大的配合点(见图 5-2)。当电流小于 I_P 时,重合器则先动作,故 I_P 就是保护的最大的故障电流。其时间为重合器平均延时开断时间。

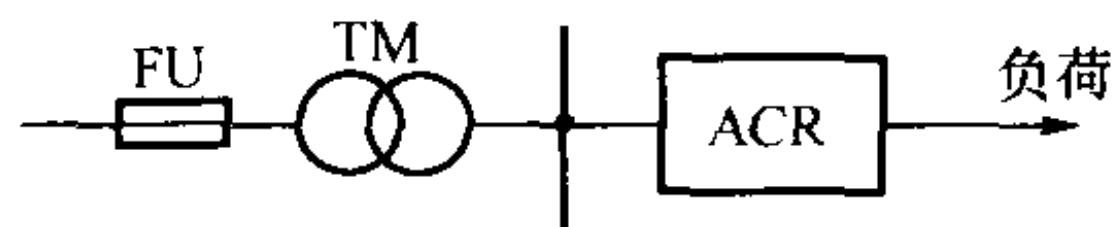


图 5-1 重合器和电源侧熔断器的配合

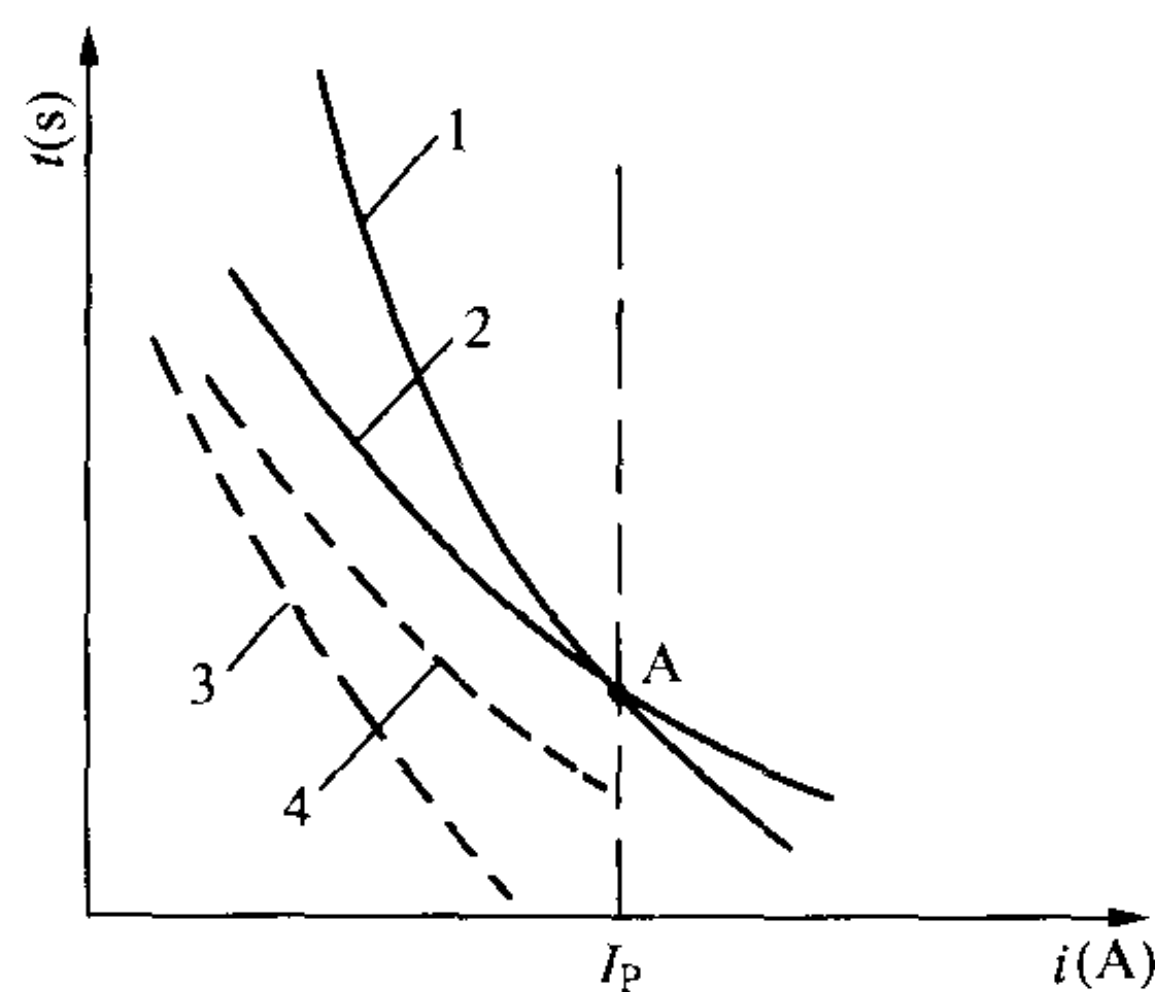


图 5-2 电流-时间特性曲线

表 5-4

电源侧熔断器 K 值

重合时间 (s)	0.4	0.5	1	1.5	2	4	10
二快二慢	2.7	2.6	2.1	1.85	1.7	1.4	1.35
一快三慢	3.2	3.1	2.5	2.1	1.8	1.4	1.35
四慢	3.9	3.5	2.7	2.2	1.9	1.45	1.35

b) 当变压器内部或二次母线发生故障时,熔断器应该熔断。

例 某配电所的配电变压器,其变比为 34.5/13.8kV,一次侧用熔断器保护,二次侧用重合器保护,在重合器安装处最大运行方式下最大短路电流为 3000A,最小运行方式下最小短路电流为 600A,变压器一次负荷电流为 60A,二次负荷电流为 150A。接线如图 5-3 所示。

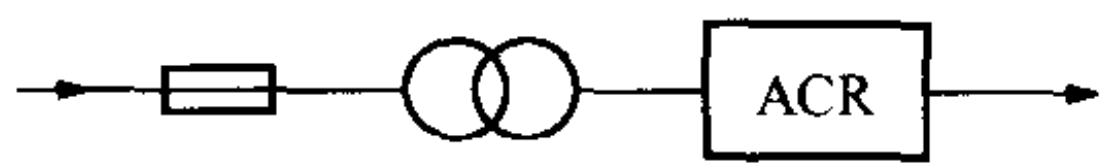


图 5-3 例的配合图

试选择重合器和熔断器。

选择重合器。因为主变压器二次负荷为 150A,故选择重合器的串联线圈额定电流为 150A,分闸线圈额定电流为 320A,重合时间为 2s,采用两快两慢操作。

查表 5-4,可得 $k=1.7$ 。

将重合器的 E 曲线乘以 k 得到参考曲线 300ES(见图 5-4)。

将熔断器的安秒特性乘以变比 2.5,得 60、80、100Es 三条曲线。

选择熔断器。按变压器过负荷电流选择。当过负荷为 2.3 倍额定电流(即负荷电流为

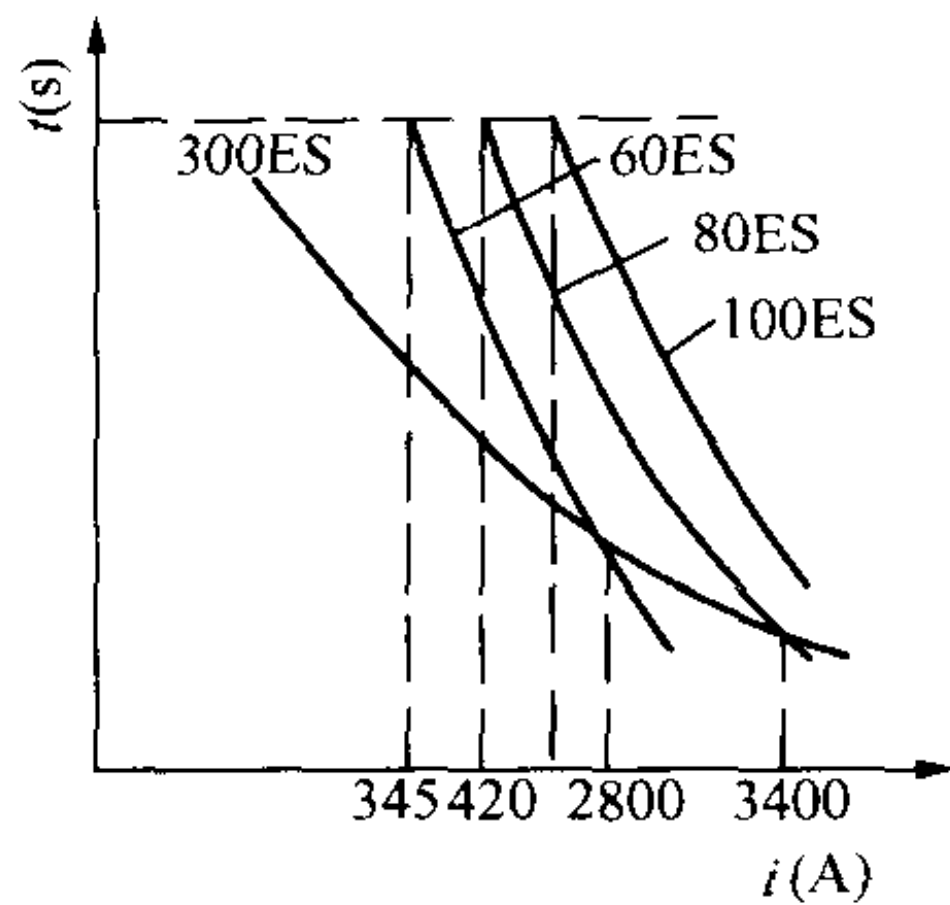


图 5-4 配合用曲线

345A) 时, 60ES 曲线可运行 300s, 而对应电流为 2800A, 则重合器延时跳闸前, 熔断器首先熔断, 故不能选用。选 80ES, 当过负荷为 2.8 倍额定电流 (即 420A) 时可运行 300s, 交点为 3400A, 当故障电流小于 3000A 时 (最大运行方式下为 3000A), 重合器将提前动作, 从而达到配合要求。

2) 重合器与变压器负荷侧熔断器的配合。由于熔断器和重合器都在变压器二次侧, 故配合时可直接用二者的安-秒特性曲线。配合时应满足下述要求:

a) 重合器必须反应重合器与熔断器保护范围内的全部故障电流。在配合时, 重合器调整为两快两慢; 对永久性故障, 则在第三次延时操作的分闸之前熔断器熔断, 这将使重合器第三次重合成功, 以恢复非故障区段的正常供电。

b) 对熔断器保护范围内的所有故障电流而言, 熔断器的最小熔断时间应大于重合器快速操作时间再乘以安全系数 k 。这样, 当瞬时故障时, 重合器先动作, 再重合, 故障消失, 供电正常, 避免了熔断器熔断, k 值见表 5-5。

表 5-5

负荷侧 k 值

重合间隔时间 (s)	k 值	
	一次瞬间分断	二次瞬间分断
0.5	1.2	1.8
1.0	1.2	1.35
1.5	1.2	1.35
2.0	1.2	1.35

c) 对熔断器保护范围内的所有故障电流而言。熔断器的最大熔断时间应小于重合器的最小延时分断时间。

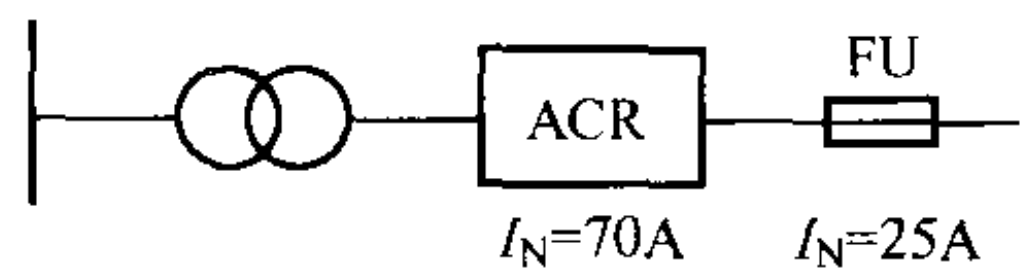


图 5-5 例题的配合图

例 某配电所的配电变压器装有重合器及负荷侧熔断器 (见图 5-5), 熔断器额定电流为 25A, 重合器额定电流为 70A, 最小跳闸电流为 140A, 在图 5-6 给出了它们的各自的特性曲线。重合器选两快两慢

方式, 即按 A 特性分断两次, 按 B 特性分断两次。A 曲线乘 K 值 (表 5-5) 所得参考曲线与熔断器最小熔化曲线的交点 M 对应电流为 800A, 曲线 B 与最大熔断曲线交点 N 对应电流为 300A, 故配合范围在 300~800A 之间。

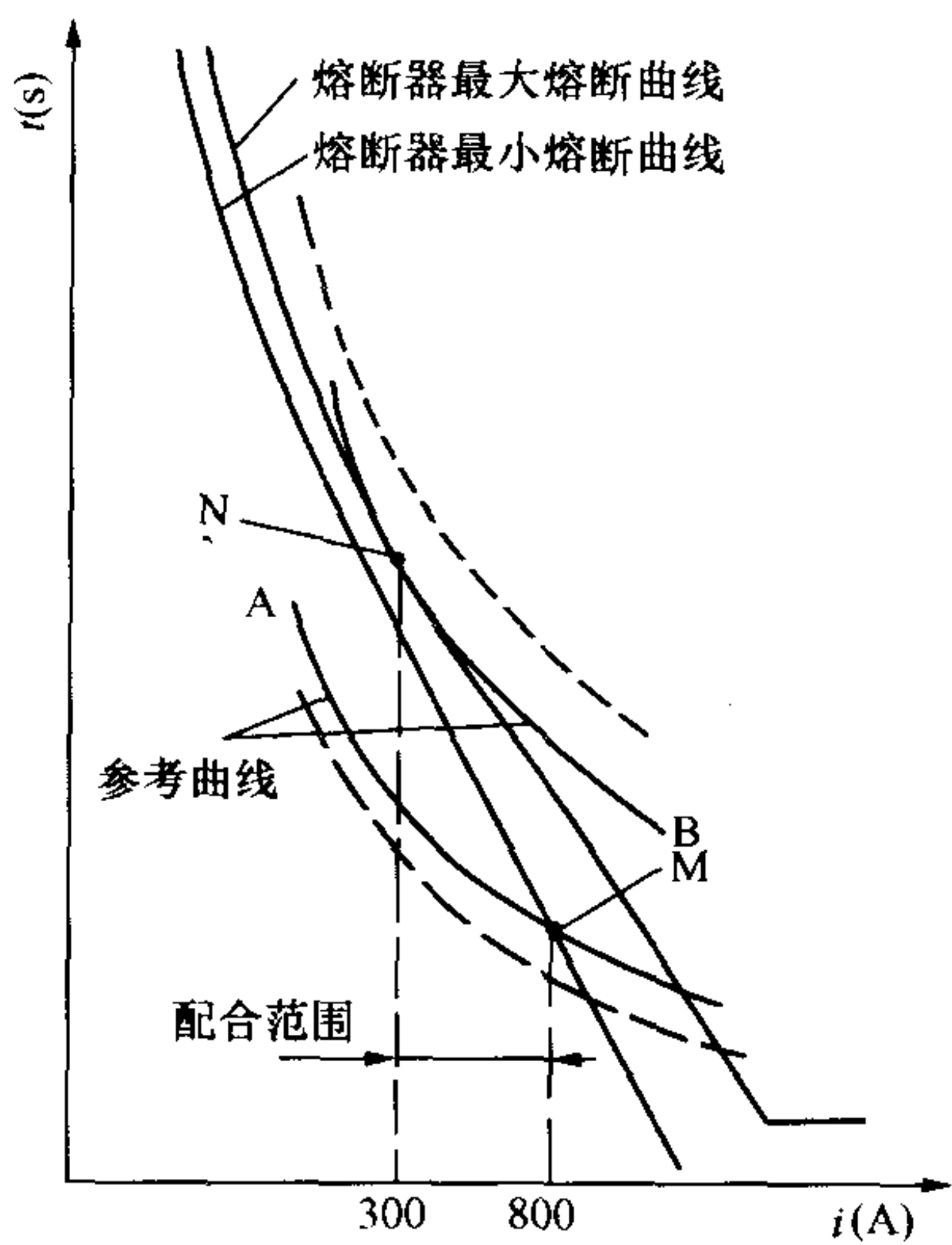


图 5-6 配合曲线

(2) 重合器与断路器的配合。在变电所中也可用断路器作为后备保护和重合器配合使用, 这种配合要求断路器的保护继电器特性曲线和重合器特性曲线不相交, 且重合器的曲线低于继电器曲线。理想的配合是重合器在完成全部操作 (最多三次重合) 前, 断路器的继电器不会动作。

(3) 重合器、分段器、熔断器的配合。如图 5-7 所示, 这种配合应分别考虑, 首先应考虑重合器与熔断器配合, 其次再考虑重合器与分段器的配合。通常重合器采用一快三慢的操作程序, 当线路故障发生在熔断器外

侧,重合器第一次延时跳闸之前,熔断器熔断,切除故障,

而重合器与分段器不动作。重合器一般不应采用两快两慢方式,这是由于熔断器外侧故障时,重合器将瞬时动作两次,分段器计数两次,如果故障仍未消除,重合器在按延时跳闸前,熔断器将熔断切除故障段,重合器恢复正常,但此时分段器已第三次计数跳开并闭锁,达不到分段器与熔断器配合目的。如果必须用两快两慢方式,分段器应加装电压抑制装置。

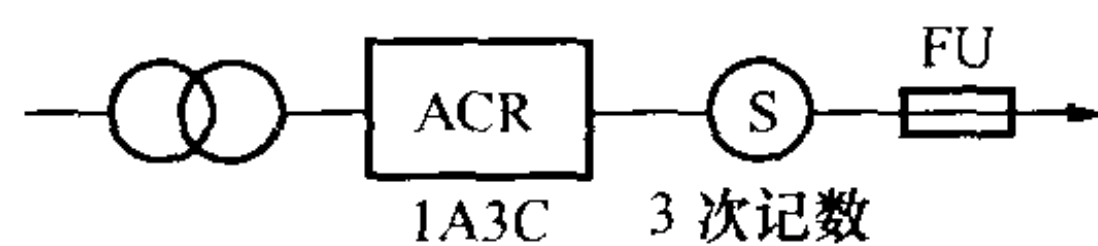


图 5-7 重合器、分段器、熔断器的配合

5-6 自动分段器如何分类? 特点是什么?

自动分段器是一种能够自动判断线路故障和记忆故障电流开断的次数,并在达到预先整定的动作次数后,在无电压或无电流下自动分闸的开关设备。某些分段器具有关合短路电流及开断,关合负荷电流的能力,但无开断短路电流的能力。

自动分段器按工作原理可分为液压控制、电子控制和跌落式分段器。按相数分为单相和三相式。按灭弧介质分为油、真空和 SF₆ 分段器。

自动分段器的特点因控制方式的不同而不同。液压控制经济、简单、可靠、耐用,但不够稳定、精确和快速,调整不方便。电子控制灵活,功能多,互换性好,稳定,价格较贵,技术水平较高。

5-7 自动分段器的主要参数有哪些?

自动分段器的主要参数有:

- (1) 额定电压。
- (2) 最高电压。
- (3) 额定电流。
- (4) 最大负荷开断电流。
- (5) 额定短路关合电流(峰值)。
- (6) 额定短时耐受电流。
- (7) 额定峰值耐受电流。
- (8) 额定绝缘水平,包括冲击和工频耐压。
- (9) 闭锁前记忆次数。
- (10) 灭弧介质。

在表 5-6~表 5-8 中列出了一些国内外的分段器的技术数据。

表 5-6 10kV 自动分段路主要参数及生产厂

项目 \ 型号	FDCW 1-10	FDYW 1-10	FDKW 1-10	FDZW -10 (U ₁ 型)
灭弧介质	SF ₆	变压器油	空气	真空
控制方式	电子	液压	电子	电子
额定电压 (kV)	10	10	10	10
最高电压 (kV)	11.5	11.5	11.5	11.5

续表

项目	型号	FDCW	FDYW	FDKW	FDZW
		1-10	1-10	1-10	-10 (U ₁ 型)
额定电流 I_N (A)		400	100、200	50、100	400
最大负荷开断电流 (A)		800	$1.3I_N$		400
起动电流 (A)		80、160 240、320 400、460 560、640 720	$1.6I_N$	$1.6I_N$	
额定短路关合电流 (峰值) (kA)		16	16		40
额定短时间耐受电流 (kA)		6.3 (4s)	6.3 (4s)	6.3 (2s)	16 (2s)
额定峰值耐受电流 (kA)		16	16	15.8	40
冲击耐压 (kV)		75	75	75	75
1min 工频耐受 电压 (kV)	干试	42	42	42	42
	湿试	30	32	32	30
闭锁前记忆次数/次		1~3 (可调)	1~3 (可调)	1、2、3	
复位时间 (s)		20、40~300 (可调)	50 ± 5	>25	
生产厂家		湛江高压 电器总厂 川东高压 电器厂	福州第二 电器厂	镇江电工 器材厂	烟台开关厂

表 5-7

国外分段器主要参数及生产厂家

项目	型号	GN3	PUS	OYS	USPS (U-6 型)	DM 装置 (U-1 型)
	灭弧介质		油	SF ₆	油	真空
控制方式		液压	电子	液压	电子	电子
额定电压 (kV)		14.4	13.8		12	12
最高电压 (kV)		15.5	15.5	14	15.5	15.5
额定电流 I_N (A)		5~200	200	200	400~630	400~600
最大负荷开断电流 (A)		440	200	400	400、630	400、600
起动电流 (A)		$1.6I_N$		$1.6I_N$		
额定短路关合电流 (kA)		0.8~9	15	15	12.5、31.5	25
额定短时耐受电流 (kA)			6	0.5~6.3 (1s) 0.10~3.7 (10s)	12.5、31.5 (1s)	10

续表

项目	型号	GN3	PUS	OYS	USPS (U-6型)	DM装置 (U-1型)
	冲击耐压/kV		110	110	110	75
工频耐压 (kV)	1min 干试	50	50	50	28	28
	10s 湿试	45	45	45		
闭锁前记忆次数 (次)		3		3		
复位时间 (s)		60		60		
生产厂家		美国 爱迪生公司	英国 勃拉西公司	英国 雷诺公司	日本 东芝公司	日本 户上公司

表 5-8

国外自动分段器主要参数施耐德公司 RL-系列

最高系统电压		15kV	15kV	27kV	27kV
额定连续电流		630A	630A	630A	630A
故障关合电流 (有效值)		12.5kA	16kA	12.5kA	16kA
故障关合电流 (峰值)		31.5kA	40kA	31.5kA	40kA
机械操作次数		3000	3000	3000	3000
额定满负荷操作		600	600	600	600
热稳定电流 (4s 有效值)		12.5kA	16kA	12.5kA	16kA
SF ₆ 气体工作压力 (20℃时表压)		0.1MPa	0.1MPa	0.1MPa	0.1MPa
开断能力 ^①	开断有功负荷电流 (功率因数 0.7)	630A	630A	630A	630A
	开断电流充电电流	25A	25A	25A	25A
	开断变压器励磁电流	22A	22A	22A	22A
冲击耐压 ^①	相对相	110kV	110kV	150kV	150kV
	相对地	110kV	110kV	150kV	150kV
	断口	125kV	125kV	170kV	170kV
工频耐压 ^①	相对相	42kV	42kV	60kV	60kV
	相对地	42kV	42kV	60kV	60kV
	断口	48kV	48kV	60kV	60kV
工作环境	温度 ^②	-30~+50℃	-30~+50℃	-30~+50℃	-30~+50℃
	阳光辐射 (最大)	1.1kW/m ²	1.1kW/m ²	1.1kW/m ²	1.1kW/m ²
	湿度	0~100%	0~100%	0~100%	0~100%
	海拔 (最高) ^③	3000m	3000m	3000m	3000m
净重	负荷开关 (带电机)	120kg	120kg	120kg	120kg
	加控制箱、附件及包装箱	225kg	225kg	225kg	225kg
包装板条箱尺寸 (标准箱)		长=1150mm	宽=1120mm	高=860mm	

①在西高所型式试验时,所有电气试验均在零表压下进行。

②负荷开关带电机的工作环境温度为一40~+50℃控制箱配有加热器时,可满足-30~+50℃的工作环境温度。

③海拔高于1000米时,应根据ANSI C37.63的标准降低参数。

5-8 如何选择自动分段器?

(1) 分段器的最小动作电流应为电源侧保护装置最小跳闸电流的 80%，固通常是分段器和重合器的额定电流相等来满足其额定电流和最小起动电流与重合器相适应。

(2) 分段器断开前计数的整定是应比后备保护装置在闭锁前的总操作次数小一些。

(3) 三相分段器一般不与三相非同期开断的后备保护装置相配合。固分段器无遮断故障电流的能力。

(4) 分段器必须串联使用在自动重合器的负荷侧，其额定长期工作电流应等于或大于预期的负荷电流，额定瞬时电流应等于或大于可能出现的最大故障电流。

(5) 一般将重合器作为分段器的后备保护装置。故重合器应能反映分段器保护范围内的最小故障电流，而此电流应大于分段器的最小动作电流。

(6) 后备保护装置的总累计操作时间应等于或小于分段器的存储时间。

5-9 试说明电子分段器和重合器的配合。

(1) 动作电流的配合。电子控制分段器与重合器配合使用时，要求：

1) 分段器的长期工作电流应等于或大于使用地点的长期工作电流。

2) 最小动作值应为重合器最小跳闸电流的 80%。

(2) 动作时限的配合。

电子分段器记忆时间有 30、45、90s 三种，若重合器的操作程序整定为一快三慢、带 5、15、30s 重合间隔。分段器整定为三次计数，重合器的第一次重合时间 $R_1=5s$ ，第二次重合时间 $R_2=15s$ ，第二、三次跳闸时间 $F_2=F_3=6s$ ，累计为 $TAT=32s$ ，故应取记忆时间为 45s。复位时间随记忆时间和分段器闭锁前重合器的操作次数变化、重合器的复位时间比

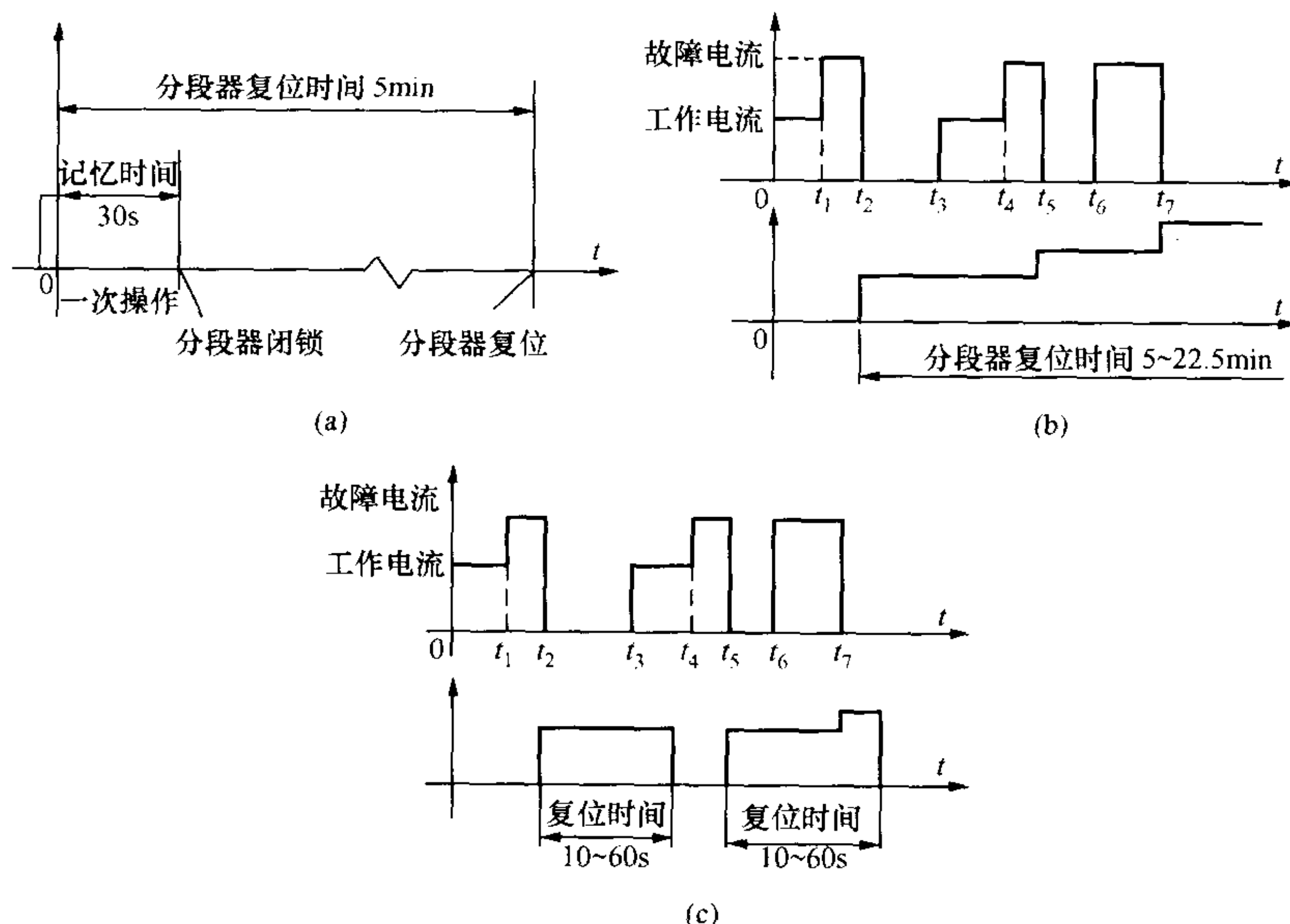


图 5-8 重合器与电子分段器的配合

(a) 一次操作分段器复位时间；(b) 配合失误图形；(c) 用记忆复位附件后的配合

t_1 —第一次故障时间； t_2 、 t_5 、 t_7 —重合器分断时间；

t_3 —第一次重合时间； t_4 —第二次故障时间； t_6 —第二次重合时间

分段器短 (10~180s)。如图 5-8 所示为了避免配合失误, 采用记忆复位附件, 当后备重合器重合后, 可使分段器快速复位, 如图 5-8 (c) 所示。防止不必要的停电。

5-10 什么是自动配电开关?

自动配电开关是实现自动化的一种重要元件, 它与重合器和分段器不同, 它以检测网络有无电压作为动作判据, 有电压时就关合, 无电压时就开断。其组成是: 开关本体 (真空开关), 它是按开断负荷电流和接通短路电流而设计的, 用 PVS 表示, 当励磁线圈有电压时, 即行关合, 当励磁线圈失去电压时, 即行开断; 电源变压器 (T), 它是开关的动力电源。故障检测器 FDR, 用于检测 PVS 两侧电压; 故障区段指示器 FSI, 它能指示故障发生在线路哪一个区段。

其工作原理是 (见图 5-9): 两组 T 供给两个并联工作的桥式整流器, 并经过继电器触点 K 至 PVS 的励磁线圈。桥式整流器的直流输出回路是通过触点 S1, S2, S3 给 FDR 的继电器线圈供电。线圈 Y 获得电源的条件是:

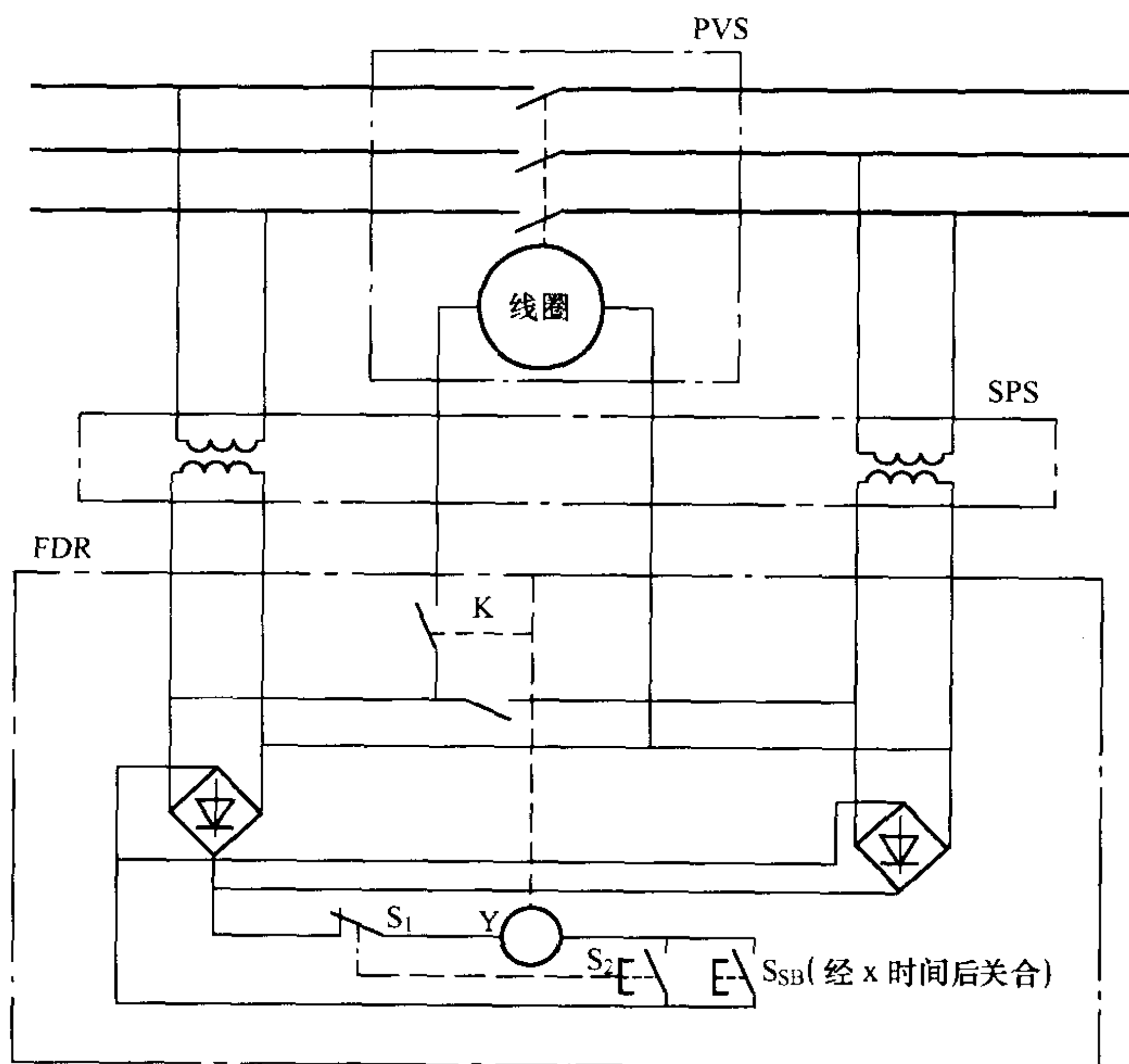


图 5-9 自动配电开关接线原理

- 1) FDR 的手柄处于手动关合位置。
- 2) 当电压加到 PVS 后, 经过 $x=7S$, S3 关合。 $x=7S$ 称为闭合时间。
- 3) 当 FDR 手柄置在手动断开位置, S1 分断, K 开断, PVS 失压而开断。
- 4) 当 FDR 检测到故障电流, S3 断开直流电源, 使继电器失电, K 开断, PVS 励磁线圈失电, PVS 开断。

5-11 自动配电开关的主要参数有哪些?

由于自动配电开关的主体是断路器 (真空或 SF_6 的), 故其主要参数可参见断路器部分的项目。由于配有控制器, 故还具有保护和重合闸的功能。在表 5-9~表 5-11 中列出了某些国产的自动配电开关的型号和主要参数。

表 5-9

PVS 真空自动配电开关

序 号	项 目	单 位	参 数
1	额定电压	kV	12
2	额定频率	Hz	50
3	额定电流	A	630
4	1 分钟工频耐压	kV	42 (相间对地) 48 (断口)
5	雷电冲击耐压	kV	75 (相间对地) 85 (断口)
6	额定热稳定电流 (4s)	kA	12.5
7	额定动稳定电流	kA	31.5
8	开断空载变压器	kVA	1250/1600
9	额定有功负载开断电流	A	630
10	额定短路关合电流 (峰值)	kA	31.5
11	额定电缆光电开断电流	A	10
12	SF ₆ 气体压力	MPa	0.04
13	SF ₆ 气体泄漏率	%	≤1%/年
14	机械寿命/电寿命	次	10000/5000
15	重量	kg	160
16	SF ₆ 气体零表压分、合闸状态对地 5min 工频耐压	kV	12
17	分合闸操作电源额定电压	V	AC220、DC24
18	温度	℃	-40~70
19	标准		GB3804-1990、IEC205-1、ANSIC37.63

注 1. 此开关用于 10kV 架空线锁线自动化系统用的配电开关采用真空灭弧, SF₆ 气体绝缘, 主要部件用不锈钢制成, 可免维护使用 15 年。

2. 配有电压和电流互感器及控制线路。

表 5-10

ZW-12 系列真空配电自动化开关主要技术参数

序 号	名 称	单 位				
1	额定电压	kV	12			
2	额定电流	A	630			
3	工频耐压 1min	kV	42			
4	雷电冲击耐压	kV	75			
5	额定短路开断电流	kA	6.3	12.5	16	20
6	额定短路关合电流	kA	16	31.5	40	50
7	额定动稳定电流	kA	16	31.5	40	50
8	4s 热稳定电流	kA	6.3	12.5	16	20
9	额定短路电流开断次数	次	30			
10	机械寿命	次	1000			
11	额定操作电压 (分、合线圈)	V	DC24V、AC220V			
12	控制器电源电压	V	AC220V			
13	控制器输入电流	A	1			
14	控制器功耗	W	<10			
15	速断过流定值	A	0~6350			
16	限时速断过流定值	A	0~6350			

续表

序号	名称	单位	数据
17	过流整定值	A	0~1270
18	速断延时	s	0~150
19	限时速断延时	s	0~3.2
20	过流动作延时	s	0~12.75
21	重合闸次数	次	2
22	一次重合闸延时	s	1~8
23	二次重合闸延时	s	5~160

- 注 1. 本产品除具有断路器功能外, 还具有三段式过流保护功能, 自动重合闸功能, 及就地遥控功能。
 2. 环境温度+40~-40℃, 海拔1000m (无油式), 地表烈度<8度。
 3. 分、合闸采用12kV干式小容量变压器提供操作电源。
 4. 操作机构内配有微控制器为基础的微机控制保护装置。

表 5-11

新型 SF₆ 配电自动开关

序号	名称		单位	数据	
1	额定电压		kV	12	
2	额定绝缘水平 (充 SF ₆ 气体为 0.25MPa 20℃)	雷电冲击耐压全波	kV	75	
		工频耐压 1 分钟		42	
		淋雨耐压试验		34	
		反相冲击耐压		85	
3	零表压下的绝缘 水平 (充 SF ₆ 气体 为 0MPa 20℃)	工频耐压 1 分钟	kV	30	
		反相耐压 1 分钟		30	
		最高相电压 5 分钟		9	
4	额定电流		A	400	630
5	额定短路开断电流		kA	12.5	16
6	异相接地重合闸开断电流		kA	10.9	13.9
7	零表压下开断电流		A	400	630
8	额定短路开断电流下开断次数		次	30	
9	额定操作顺序			分-0.3s-合分-180s-合分	
10	额定关合电流		kA	31.5	40
11	额定动稳定电流		kA	31.5	40
12	额定热稳定电流		kA	12.5	16
13	额定热稳定时间		s	4	
14	储能电动机工作电压	交流	V	220	
		直流		48	
15	额定合, 分闸电压	直流	V	48	
16	刚合速度		m/s	2.6±0.2	
17	刚分速度		m/s	2.6±0.2	

续表

序号	名称	单位	数据
18	固有合闸时间	s	≤ 0.06
19	固有分闸时间	s	≤ 0.04
20	额定气压 (20°C)	MPa	0.35
21	最低工作压力 (20°C)	MPa	0.25
22	年漏气率	%	< 1
23	机构稳定性 (连续合分) 操作	次	5000
24	重量 (不包括 P2K-100 监控器)	kg	150

5-12 试说明自动配电开关与重合器的配合使用。

自动配电开关与重合器的配合利用的是逆时差配合原理。即不管线路中哪一段发生短路，重合器先跳开，然后由自动配电开关逐级延时闭合来寻找故障点。故在配合中比重合器与熔断器、或重合器与分段器配合要简单。

(1) 应用于辐射电网。在图 5-10 中表示了这种配合。

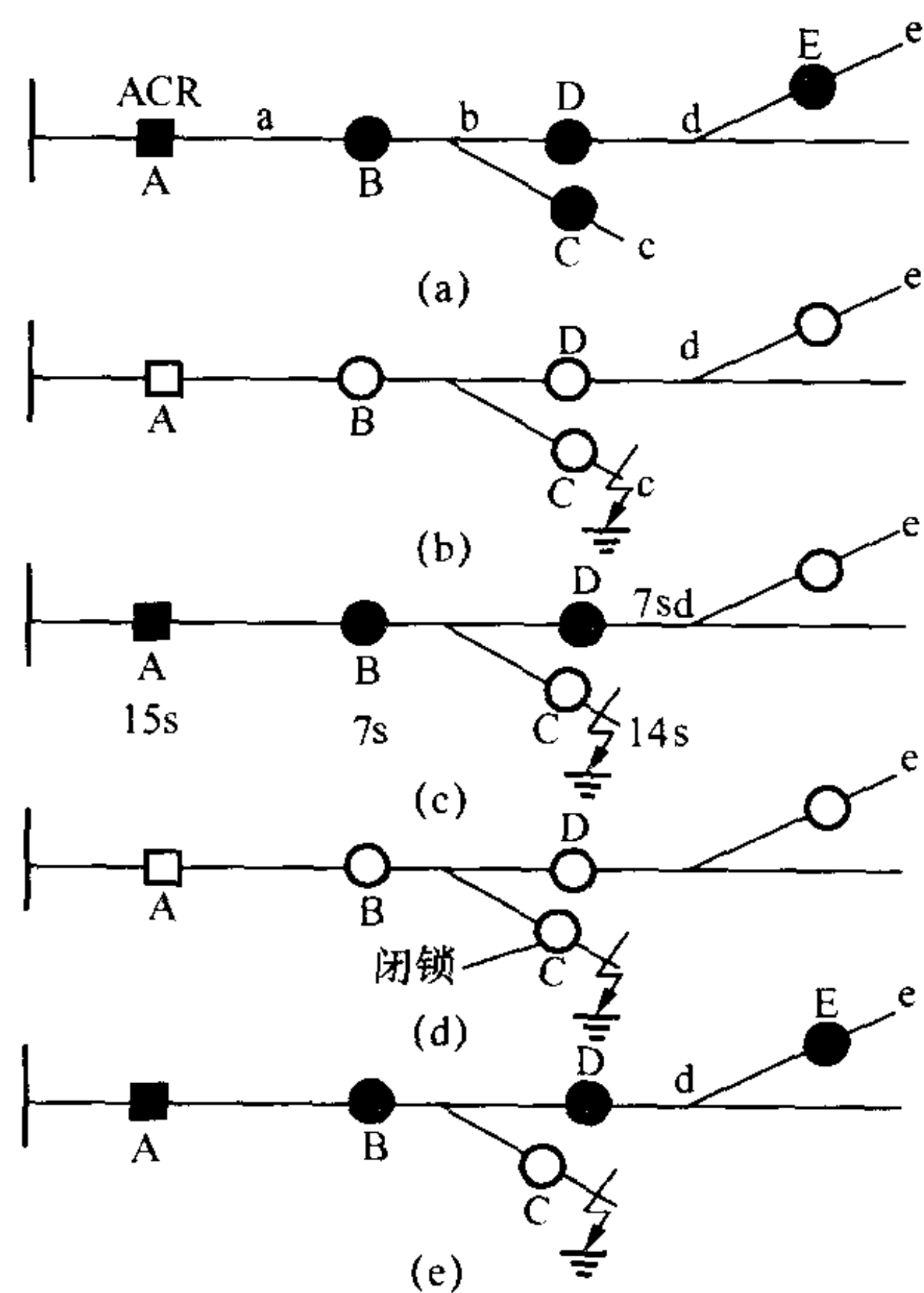


图 5-10 重合器与自动配电开关的配合 (辐射网)

(a) 正常运行; (b) ACR 第一次跳闸; (c) 首次重合逐段供电; (d) ACR 第二次跳闸 PVS_c 闭锁; (e) 二次重合恢复供电

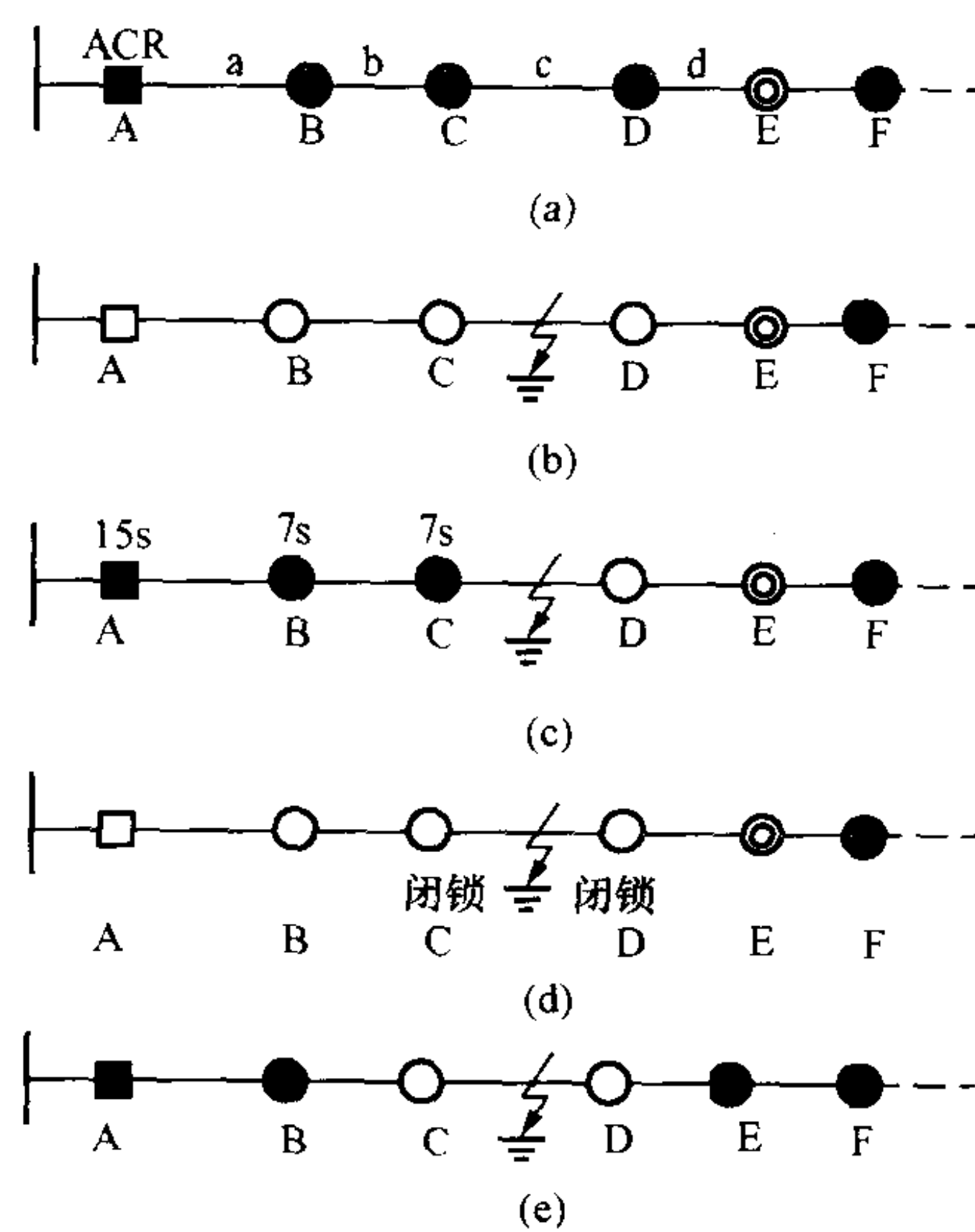


图 5-11 重合器与自动配电开关的配合 (环网)

(a) 正常运行; (b) ACR_A 第一次跳闸; (c) 逐段供电; (d) ACR_A 第二次跳闸 PVS_{c,D} 闭锁; (e) ACR_A 第二次重合 PVS_E 关合恢复供电

1) 在辐射网中的应用。在图 5-10 (a) 中配电网被 PVS 分为 a、b、c、d、e 各段。
a) 正常运行。ACR 和全部 PVS 处于闭合状态 [见图 5-10 (a)]。

b) c点短路故障。ACR第一次跳闸,所有PVS的FDR检测不到电压,故同时分断[见图5-10(b)]。

c) 经15s后,ACR重合,a段供电。经7s后, PVS_B 关合,b段供电。再经7s, PVS_D 关合,d段供电[见图5-10(c)]。

d) 经14s后, PVS_c 自动关合,图c点为永久性故障,故ACK第二次跳闸[见图5-10(d)]。

e) 因 PVS_c 在 $Y=5s$ 内未测得电压而产生甲种闭锁。

f) ACR第二次重合(经5s),经7s线路逐段恢复供电。(因 PVS_c 已闭锁)[见图5-10(e)]。

(2) 应用于环网中。在图5-10(b)中表示了双向供电的配电网(有一侧未画)。

1) 正常运行。两侧ACR及 $PVS_{B,C,D,F}$ 皆关合。环路开关E分断。开环运行[见图5-11(a)]。

2) c段发生永久性故障, ACR_A 第一次跳闸, $PVS_{B,C,D}$ 同时分断,环路开关有一侧无电压, FDR_E 以 $X=45s$ 计时[见图5-11(b)]。

3) 经15s ACR_A 重合。a段恢复供电,经 $X=7s$ 后 PVS_B 关合,其 $Y=5s$ 开始计时,且 PVS_c 经 $X=7s$ 关合,其 $Y=5s$ 开始计时[见图5-11(c)]

4) ACR_A 在 PVS_c 关合后第二次跳闸。其后产生两种闭锁[见图5-11(d)]。

a) PVS_c 检测电压的时间小于 $Y=5s$,产生甲种闭锁。

b) PVS_D 只检测到短路残压,产生乙种闭锁。

5) 经5s后, ACR_A 重合,b段恢复供电。

6) 环网开关当 $X_L=45s$ 计时到时, PVS_E 关合,d段恢复供电,这样,c段就被隔离了[见图5-11(e)]。

5-13 中压系统对继电保护有哪些规定?

对中压系统(指110kV及以下系统)的继电保护的规定,除了基本要求(即四性)外,还有一些特殊要求,下面我们分两方面来说明。

(1) 四性要求。

1) 选择性。即与系统发生故障时,离故障最近的保护动作,并切除故障段,其他部分仍然正常运行。如果由后备保护切除故障段,亦称为有选择性。

2) 速动性。为了防止故障扩大,提高系统运行的稳定性,要求保护装置尽快动作,切除故障。

目前保护的最小动作时间为0.02~0.03s,断路器的最小动作时间为0.05~0.06s,两者之和为故障切除时间(约0.1s)。

对110kV电网要求保护动作时间约为0.1~0.7s,对配电网要求为0.5~1.0s。

3) 灵敏性。是指继电保护对其保护范围向发生的故障或不正常运行状态的反应能力,通常用灵敏系数来衡量,对各类保护和灵敏系数应满足《继电保护和安全自动装置技术规程》(DL/400—1991)的规定。保护在最大和最小运行方式(指流过保护装置的短路电流为最大和最小)都能动作。

表5-12中给出了最小灵敏系数的规定。

表 5-12 短路保护的最小灵敏系数 (取自 DL/400—1991)

保护分类	保护类型	组成元件	灵敏系数	备注	
主保护	带方向和不带方向的电流保护或电压保护	电流元件和电压元件	1.3~1.5	200km 以上线路, 不小于 1.3, 50~200km 线路不小于 1.4, 50km 以下线路, 不小于 1.5	
		零序或负序方向元件	2.0		
	距离保护	起 动 元 件	负序和零序增量或负序分量元件	4	距离保护第三段动作区末端故障, 大于 2
			电流和阻抗元件	1.5	线路末端短路电流应为阻抗元件精确工作电流 2 倍以上, 200km 以上线路, 不小于 1.3, 50~200km 线路, 不小于 1.4, 50km 以下线路, 不小于 1.5
		距离元件	1.3~1.5		
	平行线路的横联差动方向保护和电流平衡保护	电流和电压起动元件		2.0	线路两侧均未断开前, 其中一侧保护按线路中点短路计算
				1.5	线路一侧断开后, 另一侧保护按对侧短路计算
		零序方向元件		4.0	线路两侧均未断开前, 其中一侧保护按线路中点短路计算
				2.5	线路一侧断开后, 另一侧保护按对侧短路计算
	方向比较式纵联保护	跳闸回路中的方向元件	3.0	个别情况下为 1.3	
		跳闸回路中的电流和电压元件	2.0		
		跳闸回路中的阻抗元件	1.5		
	相位比较式纵联保护	跳闸回路中的电流和电压元件	2.0		
		跳闸回路中的阻抗元件	1.5		
	发电机、变压器、线路和电动机纵差保护	差电流元件	2.0		
母线的完全电流差动保护	差电源元件	2.0			
母线的不完全电流差动保护	差电流元件	1.5			
发电机、变压器、线路和电动机的电流送断保护	电流元件	2.0	按保护安装处短路计算		
后备保护	远后备保护	电流、电压和阻抗元件	1.2	按相邻电力设备和线路末端短路计算, 短路电流应为阻抗元件精确工作电流 2 倍以上, 可考虑相继动作	
		零序或负序方向元件	1.5		
	近后备保护	电流、电压和阻抗元件、负序或零序方向元件	1.3 2.0	按线路末端短路计算	
辅助保护	电流速断保护		1.2	按正常运行方式保护安装处短路计算	

- 注 1. 主保护的灵敏系数除表中注也有外, 均按保护区末端短路计算。
 2. 保护装置如反应故障时增长的量, 其灵敏系数为金属性短路计算值与保护整定值之比, 如反应故障时减少的量, 则为保护整定值与金属性短路计算值之比。
 3. 各种类型的保护中, 接于全电流和全电压的方向元件的灵敏系数不作规定。
 4. 本表内未包括的其他类型的保护, 其灵敏系数另作规定。

灵敏系数 K_{sen} 以下式表示:

对过量保护 (如过电流保护)

$$K_{sen} = \frac{\text{保护区末端金属性短路时故障参数的最小计算值}}{\text{保护装置动作值}}$$

对欠量保护 (如低电压保护)

$$K_{sen} = \frac{\text{保护装置的動作值}}{\text{保护末端金属性短路时故障参数最大计算值}}$$

4) 可靠性是指在规定的保护范围内发生故障时, 它应该可靠动作, 即不拒动, 在正常运行或保护范围以外故障时, 它不应该动作, 即不误动。

以上四条要求是互相联系而有时又互相矛盾的, 所以在选用时, 应从实际、全局出发, 分清主次。

此外, 继电保护又有主保护, 后备保护和辅助保护及异常运行保护之分。

主保护—满足系统稳定和设备安全要求, 能以最快速度有选择地切除故障的保护。

后备保护—主保护或断路器拒动时, 用以切除故障的保护, 可分为远后备和近后备保护。远后备是由相邻线路或设备的保护来实现的后备, 近后备是由本线路或设备的另一套保护来实现的后备。

辅助保护是为补充主保护和后备保护性能或当主保护和后备保护退出运行而增设的简单保护。

异常运行保护是反应被保护设备或线路异常运行状态时的保护。

(2) 线路保护。

1) 35kV 及以上中性点非直接接地电网中的线路保护。对相间短路和单相接地应设置相应的保护。

相间短路保护配置原则是:

a) 采用远后备方式。

b) 如线路短路, 使电厂厂用母线电压低于 U_N 的 50%~60% 应快速切除故障。

相间短路装设保护规定是:

a) 单侧电源线路, 可装一段或两段电流电压速断和过电流保护。由一段线路串联的单侧电源线路及分支线路, 若上述保护不满足速动或灵敏性要求, 速断保护可无选择地动作, 但应以自动重合闸补救。此时, 应躲开变压器低压母线的短路。

b) 复杂电网的单回线路, 可装一段或两段电流电压速断保护和过流保护。必要时, 应具有方向性, 如选择、灵敏、速动性不能满足, 宜采用距离保护。

c) 电缆及架空短线路, 如采用电流电压保护不满足选择、灵敏、速动性要求, 宜采用导引线或光纤通信等纵联保护作为主保护, 以带方向或不带方向的电流保护作为后备保护。

d) 环形网络, 可采用故障时先自动解列网络而后恢复的办法。

e) 平行线路, 宜分列运行; 如必须并列运行, 可装横差保护作为主保护, 以阶段式电流保护为后备保护。

单相接地故障。按 3~10kV 线路原则设置保护。

2) 3~10kV 中性点非直接接地电力网中的线路保护。对相间短路和单相接地应设置相应的保护。

对相间短路的配置原则是:

a) 保护装置如由电流继电器构成, 则其应接于两相电流互感器上, 并在同一网络的所有线路上, 均接于相同两相的电流互感器上。

b) 保护应采用远后备方式。

c) 如线路短路使电厂厂用母线或重要用户母线电压低于额定电压的 50%~60%, 以及线路导线截面过小, 应快速 (不带时限) 切除故障。

d) 过流保护时限不大于 0.5~0.7s, 且无第 3 条的情况, 或没有配合上的要求时, 可不设瞬动的电流速断保护。

对相间短路的装置设保护的規定是:

a) 单侧电源线路。可装设两段过流保护, 第一段为不带时限的电流速断保护, 第二段为带时限的过流保护。带电抗器的线路, 如断路器不能切断电抗器前的短路, 则不应装电流速断, 应由母线或其他保护来切除。不带电抗器的线路, 应装设无时限电流速断保护, 保护装置仅装在线路的电源侧。

b) 双侧电源线路。可装设带方向或不带方向的电流速断和过流保护。当其不符合选择、灵敏和速动性要求时, 可采用下列保护: 短线路, 以带辅助导线的纵差保护为主保护, 带方向或不带方向的电流保护作后备保护 (导引线不宜超过 1~2km)。对并联的电缆线路, 以横差保护作主保护。带方向或不带方向的电流保护作后备保护。

c) 并列运行的平行线路宜装设横差保护作主保护, 后备保护为接于两回线电流之和的电流保护。

d) 环形网络。可采用故障时先将网络自动解列而后恢复的方法。对不宜解列的线路, 可参照双侧电源线路的規定。

对单相接地故障, 应按下列規定装设保护:

a) 在电厂和变电所母线上, 应装单相接地监视装置, 它反应零序电压动作于信号。

b) 有条件装零序电流互感器的线路, 如电缆线路或经电缆引出的架空线路, 当单相接地电流满足选择和灵敏性要求时, 应装动作于信号的单相接地保护。

c) 在出线数少, 或难以装选择性单相接地保护时, 可用依次断开线路办法来查找故障线路。

d) 根据人身的设备安全要求, 必要时, 保护可动作于跳闸。

过负荷保护: 装于经常出现过负荷的电缆线路, 宜带时限, 动作于信号, 必要时, 动作于跳闸。

3) 110kV 中性点直接接地电力网中的线路保护。

a) 相间短路。① 单侧电源单回线路, 可装设三相电流电压保护, 不能满足要求时则装设距离保护; ② 双侧电源线路宜装设距离保护; ③ 正常运行方式下, 电流速断灵敏系数在 1.2 以上时, 可装设电流速断作为辅助保护; ④ 符合装设全线速动保护条件的, 除装全线速动保护外, 还应装设后备和辅助保护。

b) 接地短路。① 宜装设阶段式或反时限零序电流保护; ② 可采用接地距离保护并辅之以①; ③ 当装有全线速动保护时, 应按①和②規定装设接地后备保护。

4) 110kV 中性点非直接接地电力网的线路保护。可参照中性点直接接地电力网的线路保护的規定进行。

(3) 电力变压器的保护。对电力变压器应装设下列保护:

1) 电流速断或差动保护。它能反应变压器内部故障和引出线的相间短路。瞬时动作于跳闸。对 6.3MVA 以下厂用工作变压器和并列运行的变压器及 10MVA 以下厂用备用变压器和单独运行的变压器,当后备保护时限大于 0.5s 时,应装设电流速断。对 6.3MVA 以上和 10MVA 及以上的上述变压器以及 2MVA 及以上用电流速断保护灵敏性不符合要求的变压器,应装设纵差保护。

2) 过电流保护。它能反应变压器外部短路引起的过电流,带时限动作于跳闸。可作为上述保护的后备保护。此种保护宜用于降压变压器,保护的整定值应考虑事故时可能出现的过负荷。复合电压(含负序及低电压)起动的过流保护,宜用于升压变压器,系统联络变压器和过流保护不符合灵敏性要求的降压变压器。负序电流和单相式低电压起动的过流保护可用于 6.3MVA 及以上升压变压器。

3) 过负荷保护。它能反应过负荷引起的故障。对 0.4MVA 及以上变压器,当数台并列运行或单独运行并作为其他负荷的备用电源时,应根据过负荷情况,装设过负荷保护,保护采用单相式,带时限动作于信号。对无人值班变电所,必要时,可动作于跳闸或断开部分负荷。

4) 零序电流保护。对一次电压为 10kV 及以下,绕组为 Y—Y 连接,低压侧中性点接地的变压器,对低压侧单相接地短路应装设零序电流保护或利用高压侧的过流保护,保护宜用三相式,以提高灵敏性。带时限动作于跳闸。当低压侧有分支线时,宜利用分支过流保护有选择地切除各分支回路的故障。

5) 温度保护。对变压器温度升高和冷却系统故障,应按电力变压器要求装设作用于信号或动作于跳闸的装置。

6) 瓦斯保护。它能反应油浸式变压器油箱内部故障和油面降低,瞬时动作于信号或跳闸,有轻、重瓦斯保护之分。

(4) 母线保护。

1) 对发电厂和变电所的 35~110kV 电压的母线,在下列情况下应装设专用的母线保护:

a. 110kV 双母线;

b. 110kV 单母线,重要发电厂或 110kV 以上重要变电所的 35~66kV 母线,需要快速切除母线上的故障时;

c. 35~66kV 电网中,主要变电所的 35~66kV 双母线或分段单母线需快速而有选择地切除一段或一组母线上故障,以保证系统安全稳定运行和可靠供电时。

2) 对发电厂和主要变电所的 3~10kV 分段母线及并列运行的双母线,一般可由发电机和变压器的后备保护实现对母线的保护。在下列情况下,应装专用母线保护:

a. 须快速而有选择地切除一段或一组母线上的故障,以保证发电厂及电力网安全运行和重要负荷可靠供电。

b. 当线路断路器不允许切除线路电抗器前的短路时。

c. 3~10kV 分段母线,宜采用不完全电流差动式母线保护。

(5) 电容器的保护。对 3kV 及以上的并联补偿电容器组的下列故障及异常运行方式,应装设相应的保护。

a) 电容器组和断路器间连接线短路,可装设短时限电流速断和过流保护。

b) 对电容器内部故障及其引出线的短路。宜对每台电容器分列装设专用的熔断器。熔断器熔丝为额定电流的 1.5~2.0 倍。

c) 电容器组中, 切除到一定数差引起其端电压超过 110% 额定电压时, 可装设过电压保护断开整组电容器。

d) 对电容器的单相接地故障, 可装设有选择性的电流保护或功率方向保护。而装在绝缘支架上的可不设单相接地保护。

(6) 高压电动机的保护。电压为 3kV 以上的异步电动机对下列故障及异常运行方式, 应装设相应的保护。

a) 定子绕组相间短路 (含引出线), 2MW 以下的装电阻速断, 宜采用两相式。2MW 以上的或 2MW 以下但电流速断灵敏系数不符合要求者, 应装纵差保护。所有保护动作跳闸。

b) 定子绕组单相接地。当接地电流大于 5A 时, 应装单相接地保护, 10A 及以上时带时限动作于跳闸。10A 以下时, 可动作于跳闸或信号。小于 5A 时, 可装接地监视装置。

c) 对易发生过负荷或起动, 自起动时间过长的电动机应装过负荷保护, 动作于信号或跳闸。

d) 下列情况装低电压保护, 动作于跳闸。①电源电压短时降低或中断后又恢复时, 需要断开的次要电动机; ②上述情况下, 不允许或不需要自起动的电动机; ③电源电压长期消失后, 须自动断开的电动机; ④属 I 类负荷并装有备自投的备用电动机。

e) 2MW 及以上者, 装负序过流反应电流不平衡及作为主保护的后备保护。动作于信号或跳闸。

5-14 继电保护装置如何进行选用?

在我国, 各种类型的继电保护装置在电力系统中并存, 这是由于历史和经济原因等因素造成的。它包括电磁型、静态型继电器和微机继电保护装置。但随着我国计算机技术的发展, 以及世界各大继电器制造商的生产, 在我国微机保护装置的普及率已大大提高, 我国的继电保护技术已进入了微机保护的时期。特别在配电自动化的进程中, 微机保护更具有显著的特点。因此, 本书重点说明微机继电保护装置。在 5-13 问题中所述的有关继电保护的一些规定及名称对于微机继电保护装置仍然适用。

下面我们先叙述微机保护比常规保护的优点:

(1) 可靠性高。微机保护有自诊断能力, 可随时对其自身的硬件和软件进行检测, 如有异常就会发出报警。这种能力再辅以硬件的多重化和容错技术, 就大大地提高了可靠性。

(2) 可改善保护性能。微机保护是用数学运算方法来实现保护功能的。它使保护装置的性能得到了改善。

(3) 具有自适应性。微机保护特性主要由软件决定, 它可灵活地改变保护的特性和性能, 也可按系统运行方式的改变而自动更改整定值。

(4) 便于信息的管理与交换。微机保护通过外围接口设备, 可在系统故障后提供多种信息, 有利于事故后分析。也可通过通信控制接口与其他计算机交换信息, 构成一个统一的微机监控系统。

(5) 维护调试工作量少。微机保护装置检测其本身硬件的完好性和软件的正确性比较简单, 不用做模拟试验, 维护调试工作重比常规保护小。

微机保护的基本构成：微机保护由硬件和软件两大部分组成。硬件包括 CPU 主系统，模拟量输入系统，开关量（或数字量）输入/输出系统和外围设备四部分，如图 5-13 所示。在图 5-12 中表示了模拟量输入系统的构成回路，其主要任务是对模拟信号进行预处理，处理连续的模拟量为离散的，能为 CPU 直接处理的数字量，同时还可起屏蔽和隔离作用，提高可靠性。在图 5-13 中表示了开关量的输入/输出回路，输入开关量信号主要有：①来自断路器、隔离开关设备及继电器触点的开关信号，一般从外部经端子排引入保护装置；②调试或运行中定期检查装置使用的键盘及切换装置的转换开关等触点。对①类触点需经光电隔离以削弱电磁干扰。输出回路主要包括保护的跳闸出口及本地和中央信号等。A 为 0，B 为 1 时，则与非门 H1 输出低电平，光敏三极管导通，继电器 K 吸合。

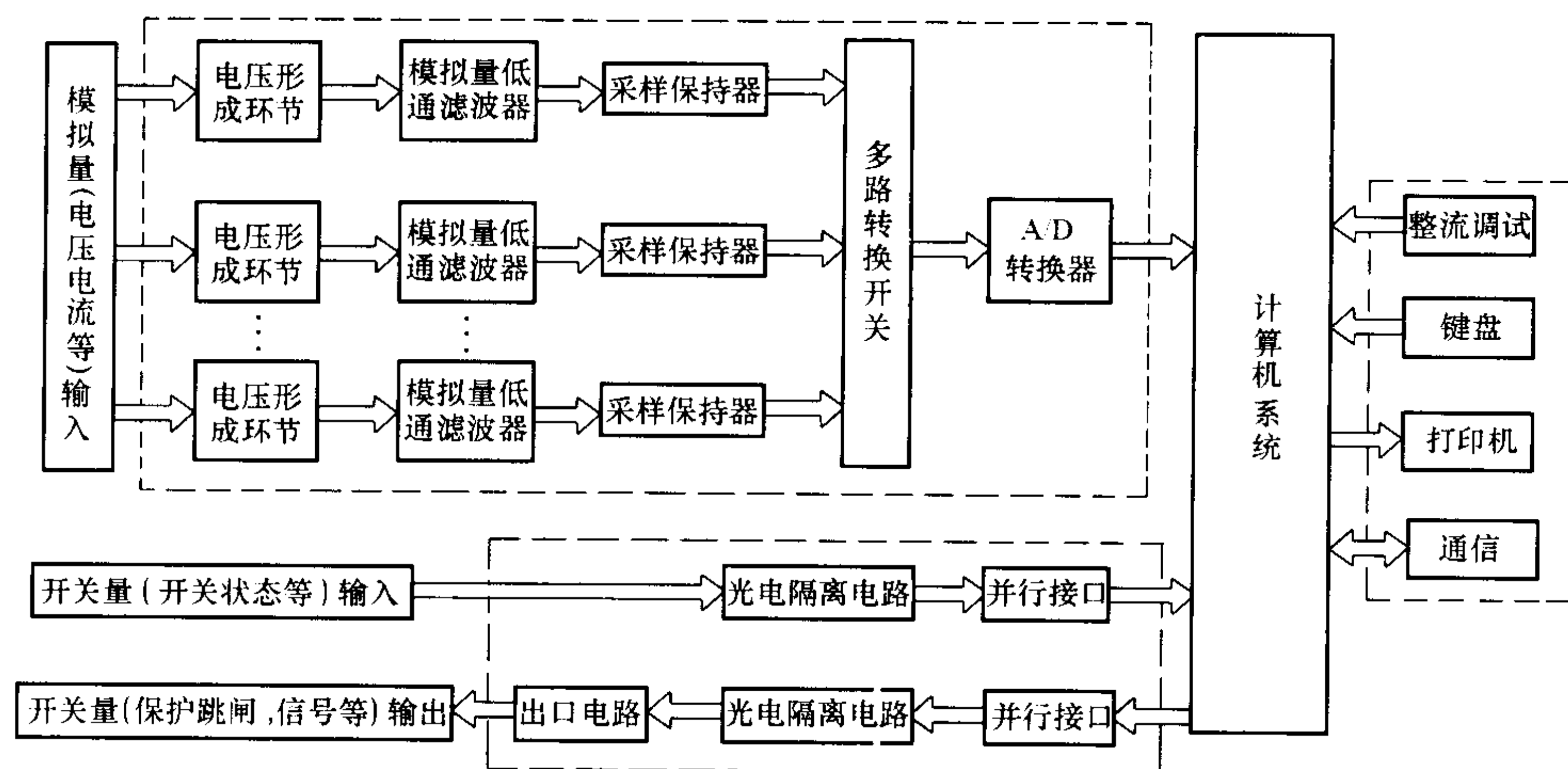


图 5-12 微机保护的硬件基本组成

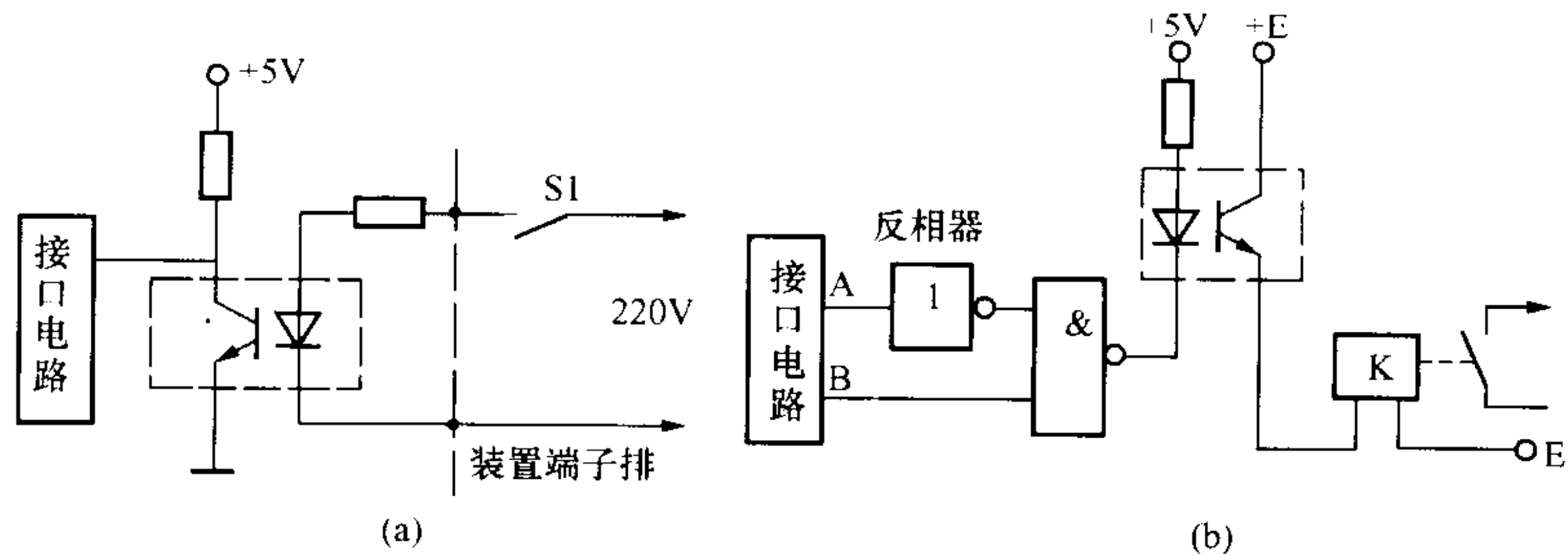


图 5-13 开关量输入/输出回路接线

(a) 输入；(b) 输出

微机保护装置的选用。

目前，无论是国内还是国外的，微机保护装置的产品已越来越多。在国产方面的微机保护装置的生产厂家有南瑞继保电气有限公司。北京哈德威四方公司，烟台东方电子等厂家；在国外方面的有法国施耐德电气有限公司，瑞士 ABB 公司等。下面介绍几种已经在我国应用的微机保护装置。

(1) 国产 NPS7 系列中压保护。NPS7 系列装置是基于 DSP 计算机系统的硬件平台 (DSP 是数字信号处理器)，可以完成保护及测控功能，构成中压保护及测控系统，包括锁线保护 (如 NPS788)、电容器保护 (如 NSP782)、变压器后备保护 (如 NPS772)，及备用

电源自动投入装置，同期装置，电动机保护等。

硬件系统包括 DSP 模件及 MMI 模件。采用工业级芯片，各装置内部含保护 CPU 和人机交互 CPU。保护 CPU 为 32 位 DSP 芯片，其系统框图见图 5-14。

MMI 模件是人机界面，可用于人机交互及通信，如图 5-15 所示。

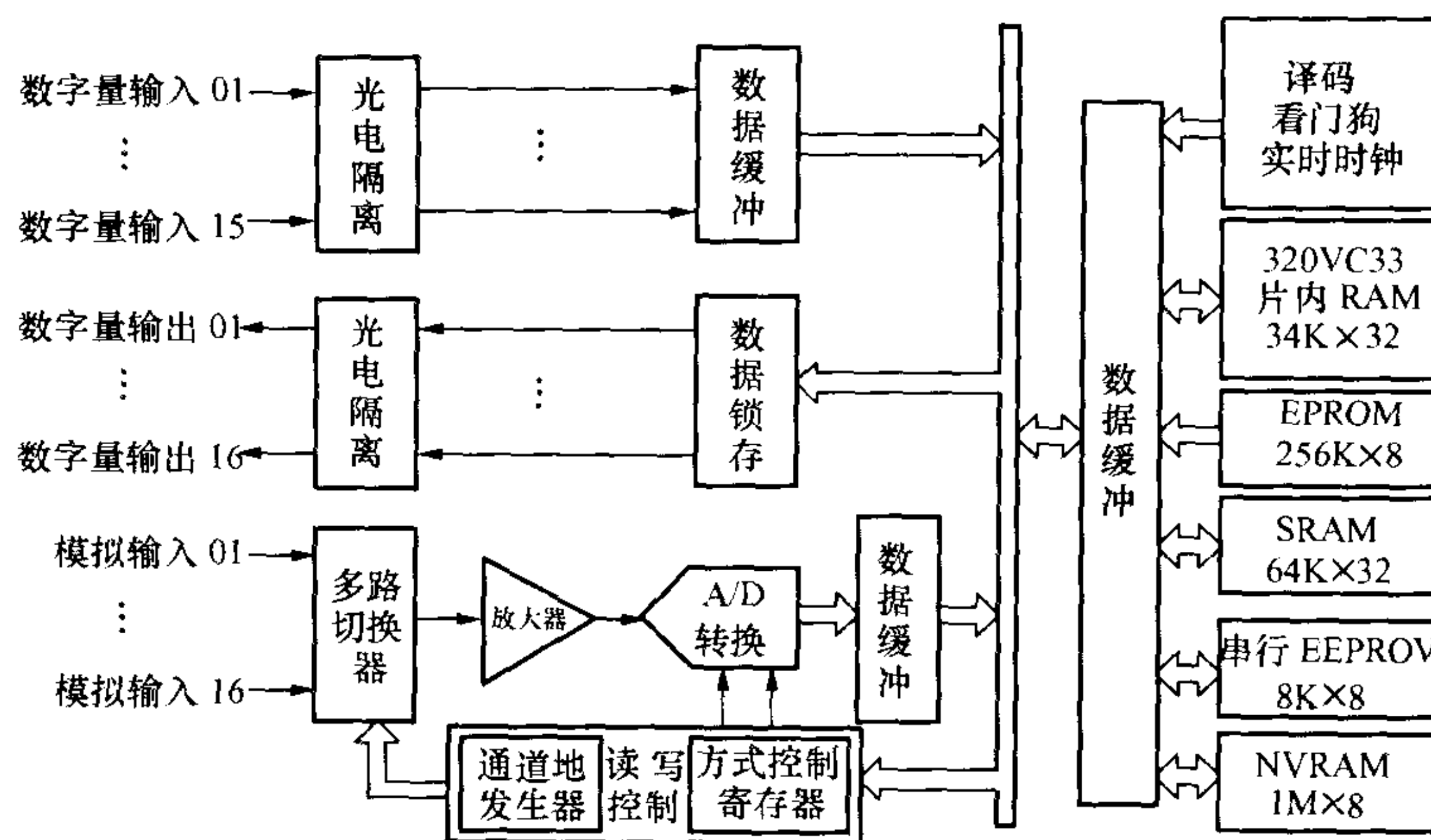


图 5-14 保护及控制模件硬件框图

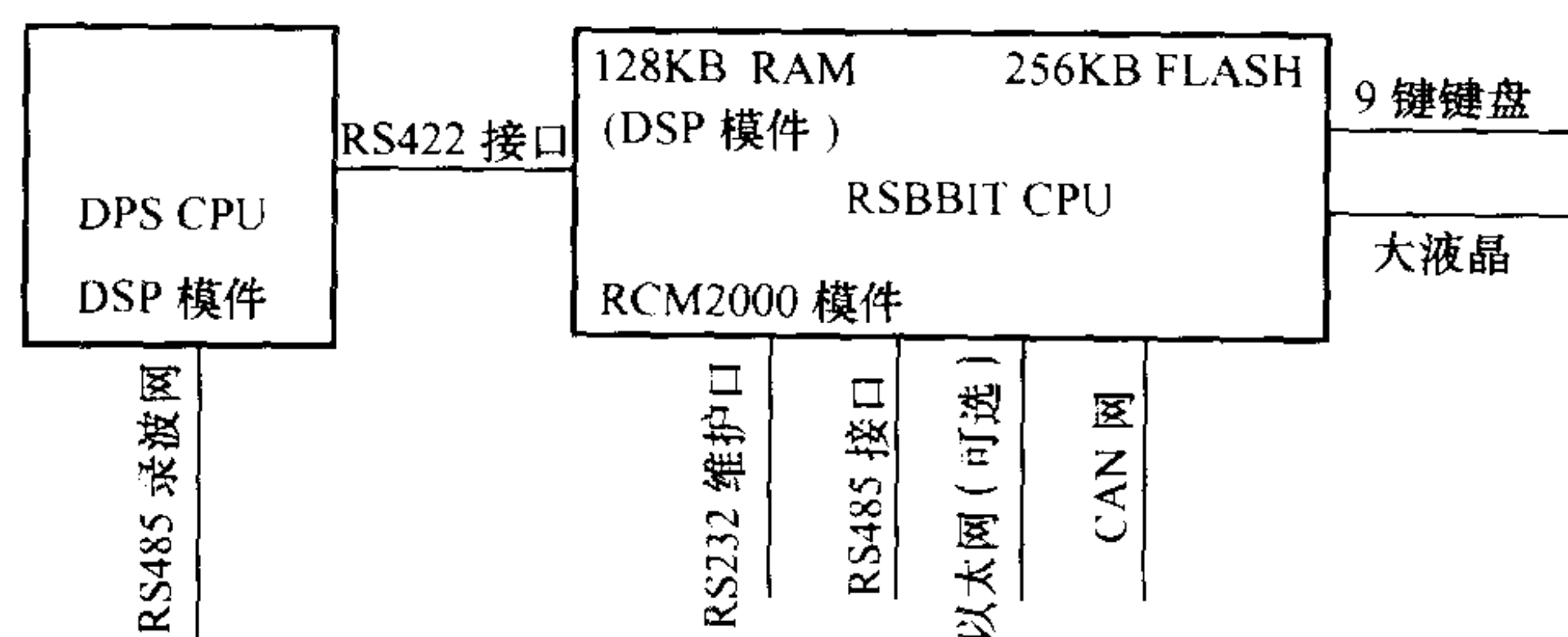


图 5-15 MMI 模件系统与 DSP 模件通信联系框图

MPS7 系列硬件系统的主要特点为：

- 1) 采用 16 位 A/D 采集芯片，提高了数据采集的分辨率和测重精度。
- 2) 系统具有高的抗干扰能力及工作可靠性。
- 3) 所采用的保护原理成熟可靠，并有丰富的现场运行经验。
- 4) 装置保护功能相对独立，保护和测控功能不依赖通信网。
- 5) 有大量的通信接口，支持 RS485、CANBUS 及基于 TCP/IP 的以太网。
- 6) 采用大屏幕液晶显示，汉化菜单操作，使用方便。
- 7) 具有与 GPS 硬件对时功能。
- 8) 配有大容量掉电保持的 NVRAM 芯片，可保存事件报文及故障录波报文。
- 9) 具有看门狗和电源监测电路，系统安全、可靠。

(2) 国产 7UT612 (13) 微机差动保护装置。7UT612 微机保护用于双绕组变压器作为差动保护，7UT613 微机保护用于三绕组变压器作为差动保护。同时，它们还具有过流、负序、温度保护、故障录波和断路器失灵等保护功能。差动保护采用二次谐波作为励磁涌流的

制动判据。过励磁制动采用五次谐波作为过励磁判据。7UT612 有 8 个电流输入回路，可把中性点电流输入到保护装置中，以提高单相接地短路的灵敏度。图 5-16 中表示了 7UT612 的接线图和动作特性。

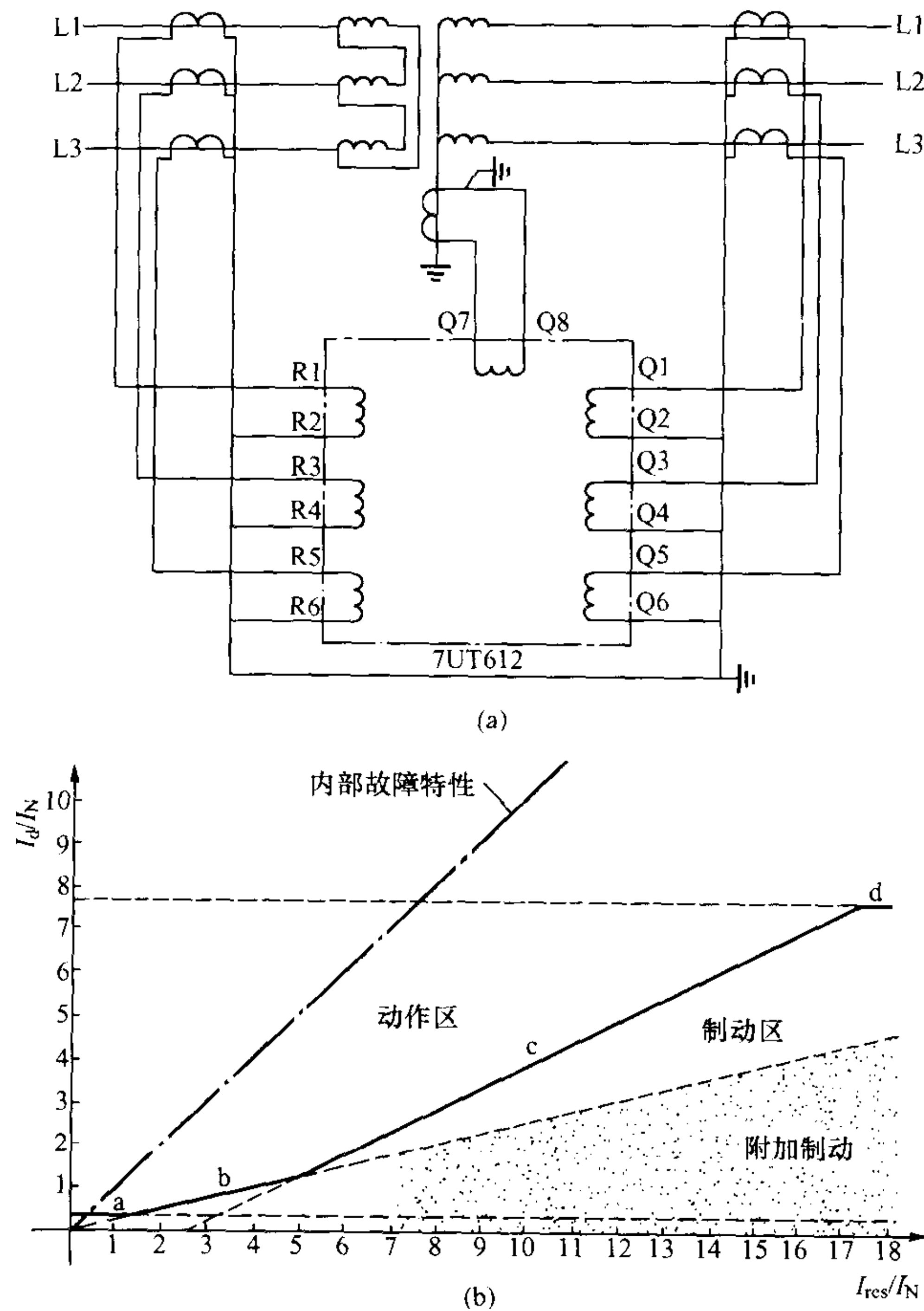


图 5-16 7UT612 接线示例及动作特性

在图 5-10 中的动作特性曲线由四段直线组成，a 和 b 段表示差动保护的動作整定值，上方为動作区，下方为不动作区。c 段是防止两侧电流互感器饱和程度不同导致外部故障时误动作。即短路电流较大时， $I_{res} = 2 | I_1 |$ 也较大，此时使動作值相应增大。d 段是差动电流大到一定程度时，不论制动电流有多大，微机差动保护 7UT612 立即动作于跳闸。

当内部单相接地短路时： $I_d = 2 | i_1 |$ ， $I_{res} = 2 | i_1 |$ ， $I_d = I_{res}$ ，故動作特性曲线为斜率等于 1 的直线。

而外部单相接地短路时， $I_d = 0$ ， $I_{res} = 2 | i_1 |$ ，不动作。

(3) 国外（法国施耐德公司）产 Sepam 系列电网保护。Sepam 系列有 20, 40, 80 等种类，Sepam 20 适合于一般场合，提供基于电流或电压测量的简单解决方案；Sepam 40 具有电流电压测量功能，可为要求较高的应用场合提供更高性能的解决方案。Sepam 80 是为电力配电和设备提供可靠的解决方案，它专门用于大型工业的高要求用户。Sepam 连接图如图 5-17 所示。

下面我们分别简述三种系列装置的主要功能：

1) Sepam 20 系列。

a) 保护变电站的进线和出线，防止相间和相对地短路。

b) 架空线的保护，使用内置重合闸功能。

c) 变压器过载保护，使用环境温度补偿热过载保护。

d) 电动机保护。防止过载、内部故障和负载相关的故障及带有电机起动状态监控和辅助操作。

e) 可监控电网电压和频率及根据频率变化率检测主电源缺失，用于保护本地发电设备。

2) Sepam 40 系列。除提供 Sepam 20 系列功能外，还提供以下功能：

a) 使用方向保护为闭环电网或并列进线电网提供保护。

b) 方向接地故障保护，适用于所有接地系统（阻抗接地，不接地或补偿接地系统）。

c) 使用可变的配置保护适用于需要在设定值组之间进行切换及逻辑分辨的电网。

d) 所有必要的电气测量：包括相电流和剩余电流，相电压、线电压和剩余电压、频率、功率和电量等。

e) 全面的电网诊断辅助功能：20 秒扰动记录，最近 200 次警报的详细记录，最后 5 次跳闸记录。

f) 通过逻辑方程编辑器改启控制功能。

g) 定判警报信息以适应每种应用场合，并可采用本地化的语言显示。

3) Sepam 80 系列。除提供 Sepam 40 系列功能外，还提供以下功能：

a) 对变压器和电机—变压器组的全面保护。①带有中性线电网制动功能，提供稳定、灵敏的差动保护；②链接所需的后备保护功能。

b) 对电动机和发电机的全面保护。①防止内部故障：使用起动和传感器受损制动功能，提供稳定，灵敏的电机差动保护，失磁、定子接地故障等；②防止电网和过程故障：失步、速度控制、误上电等。

c) 测量谐波失真，电流和电压，以此评价电网质量。

d) 42 个输入端/23 个输出端，用于全面的设备控制。

e) SFT 2841 设置软件，带有设置帮助。

f) 2 个 Modas 通信窗口，用于将 Sepam 集成到 2 个不同的电网或冗余系统中。

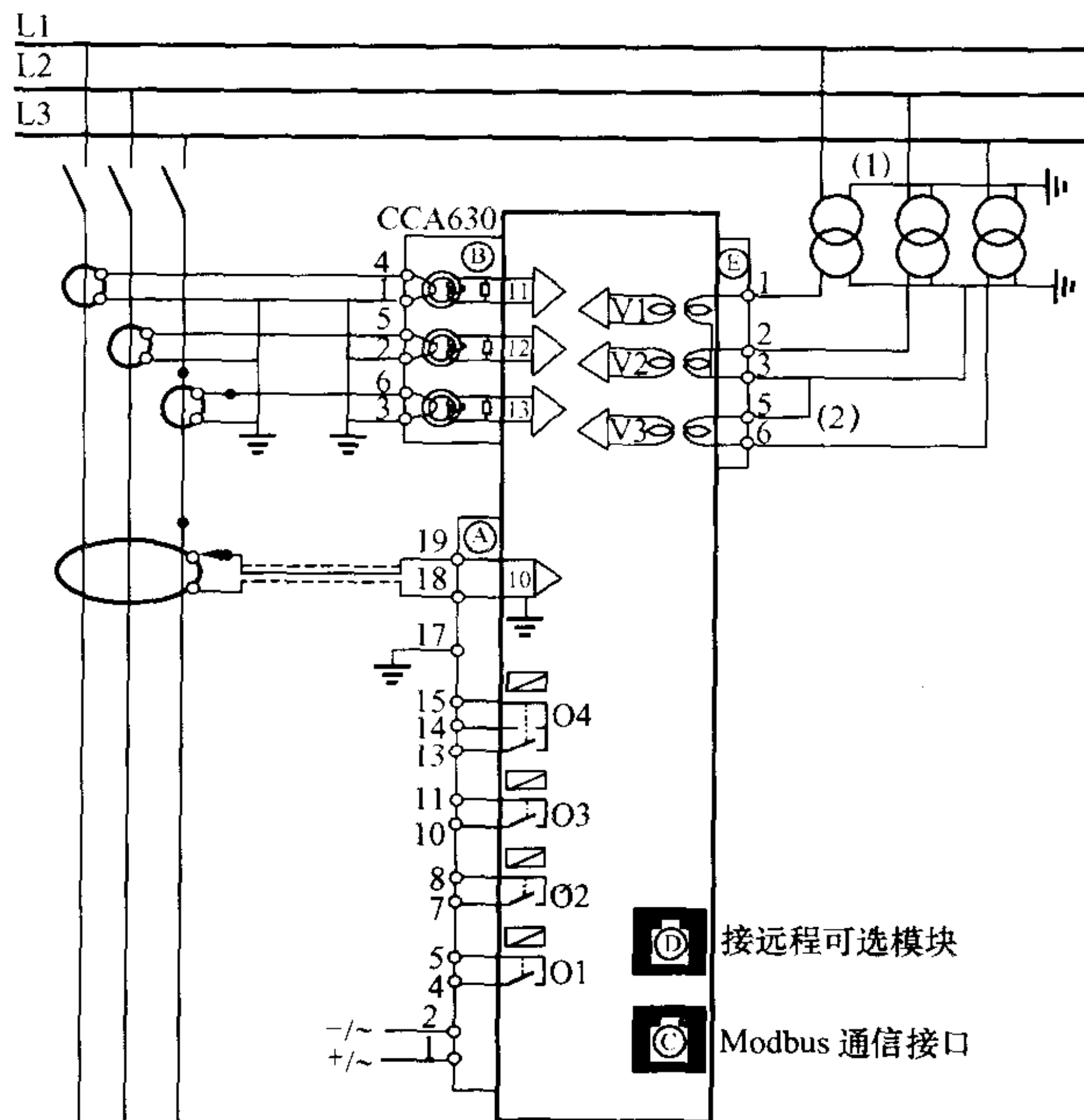
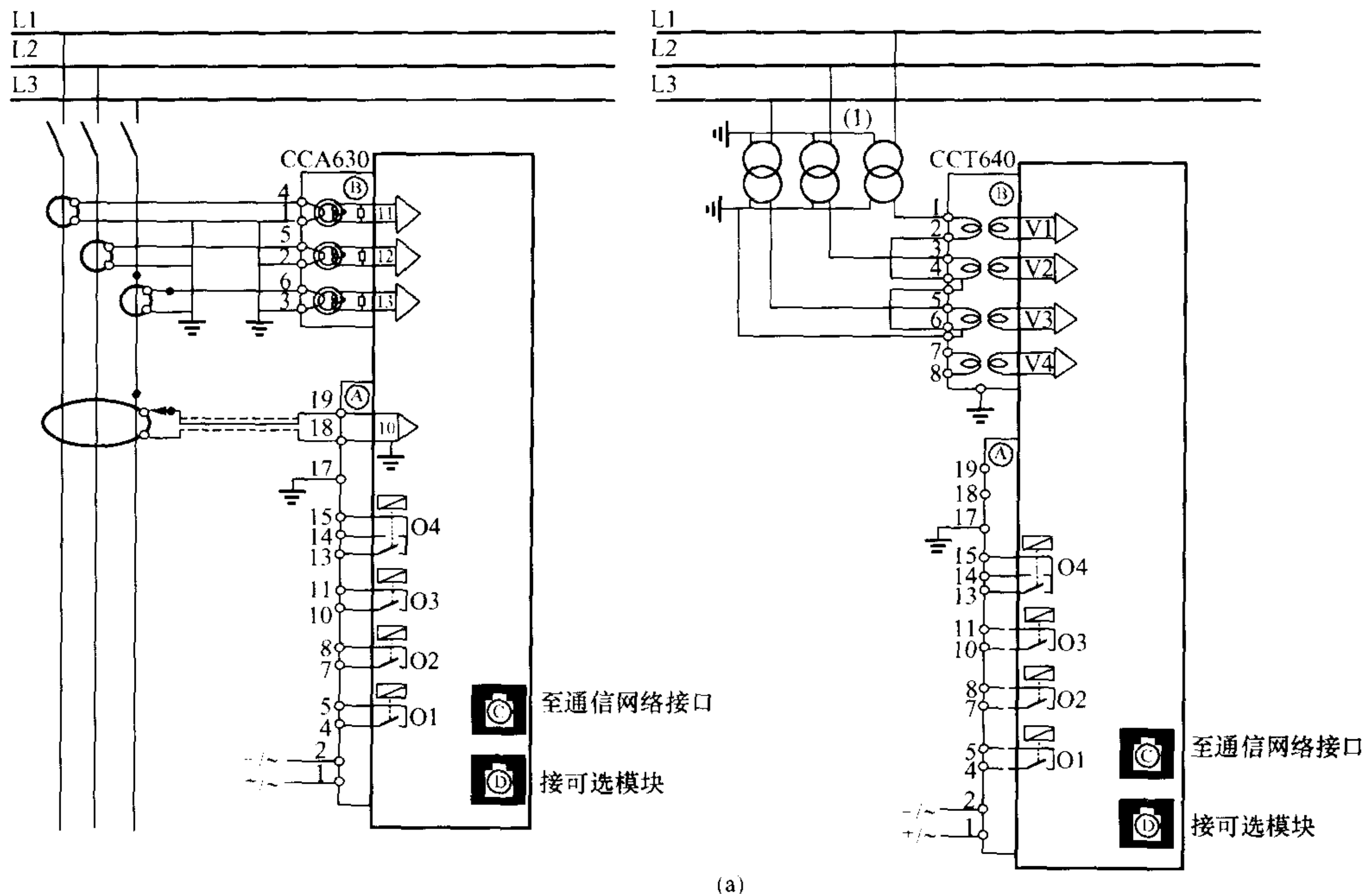
g) 可移动式存储程序盒 1 在更换了有故障的基本单元之后可使设备快速重新投入运行。

h) 备用电池，用于存储历史和扰动记录数据。

在图 5-11 中分别表示了这三种系列的典型接线图。

(4) 国外（瑞士 ABB 公司）产 REF 542 plus 智能型控制/保护单元。REF 542 plus 智能型控制/保护单元由微处理器来控制的，它集保护、控制、测量、通信和监记等功能于一体。其特点是：可通过个人计算机读取故障和事件记录，有灵活的模块结构，具有很高的经济性。

在装置内最多可设置 24 个保护功能；只有一个保护功能可以经由直接通道来触发，直接通道编号限至 24。为了确保装置能够可靠运行，所设置的循环时间必须小于 30ms，最多可以引用 1000 条线段，而连线（线号）数量限至 512。记忆元件只能设置一个。最多可以设置 62 个开关元件（如断路器，接触器等），可设置 15 个电能计数器，每个模拟量输入最多可设置 10 个模拟量阈值元件，最多可安装 48 个模拟量报警元件。



- (1) 这一类的选接可以计算剩余电压。
- (2) 跨接 3 号和 5 号端子的附件与 CCA626 插接件一起提供。

(b)

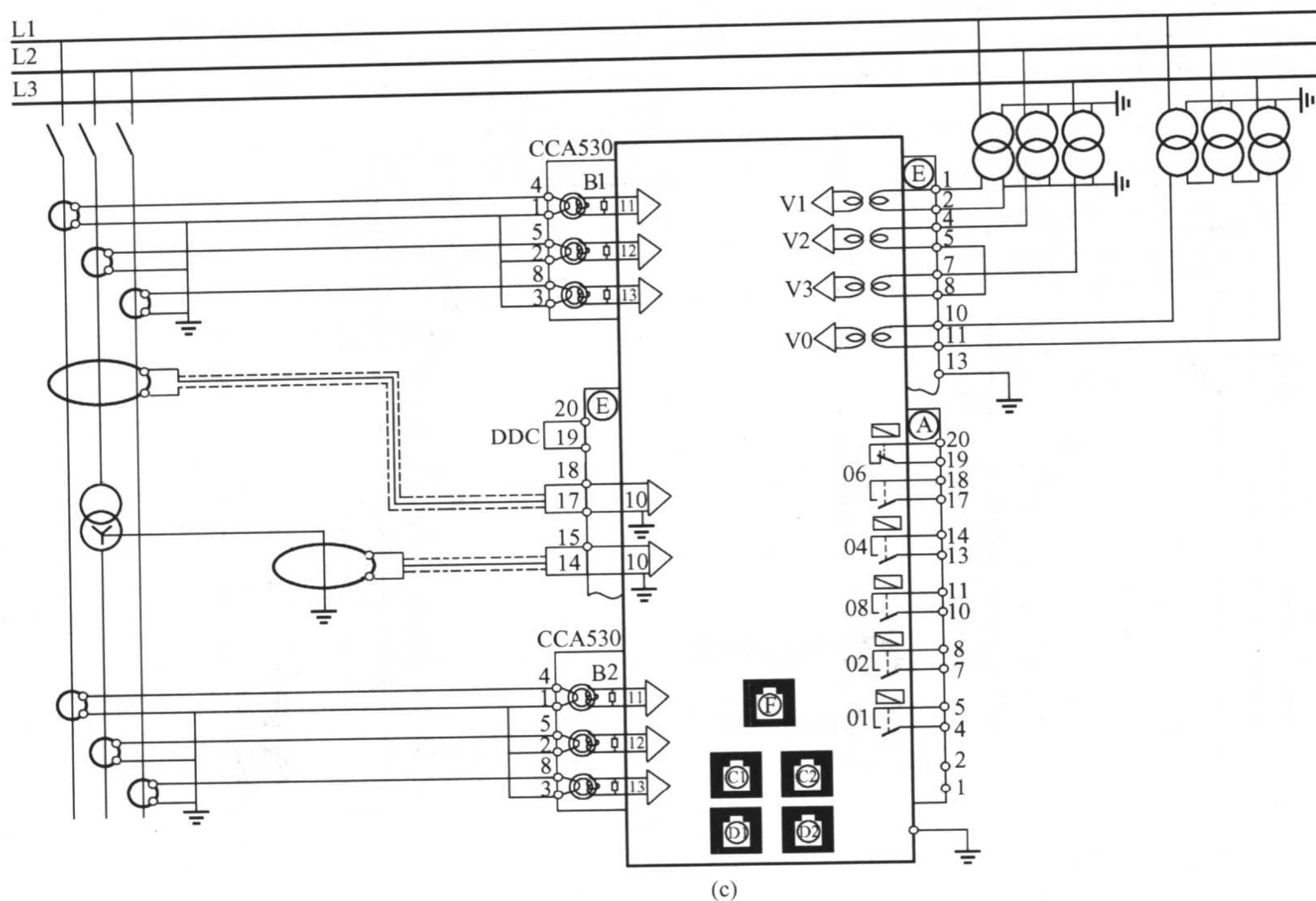


图 5-17 Sepam 连接图

(a) Sepam 20 系列；(b) Sepam 40 系列；(c) Sepam 80 系列

该装置可适用于所有中压开关设备，可应用于任何带和不带自动化监控功能系统中，可用于完全接地、低电阻接地、电抗接地和不接地系统，放射式、多路馈出式或环形供电系统。

该装置由两部分组成，一个主机单元和一个本地可独立操作的人机接口（HMI），两部分间用串行电缆连接。

其主机方框图如图 5-18 所示。

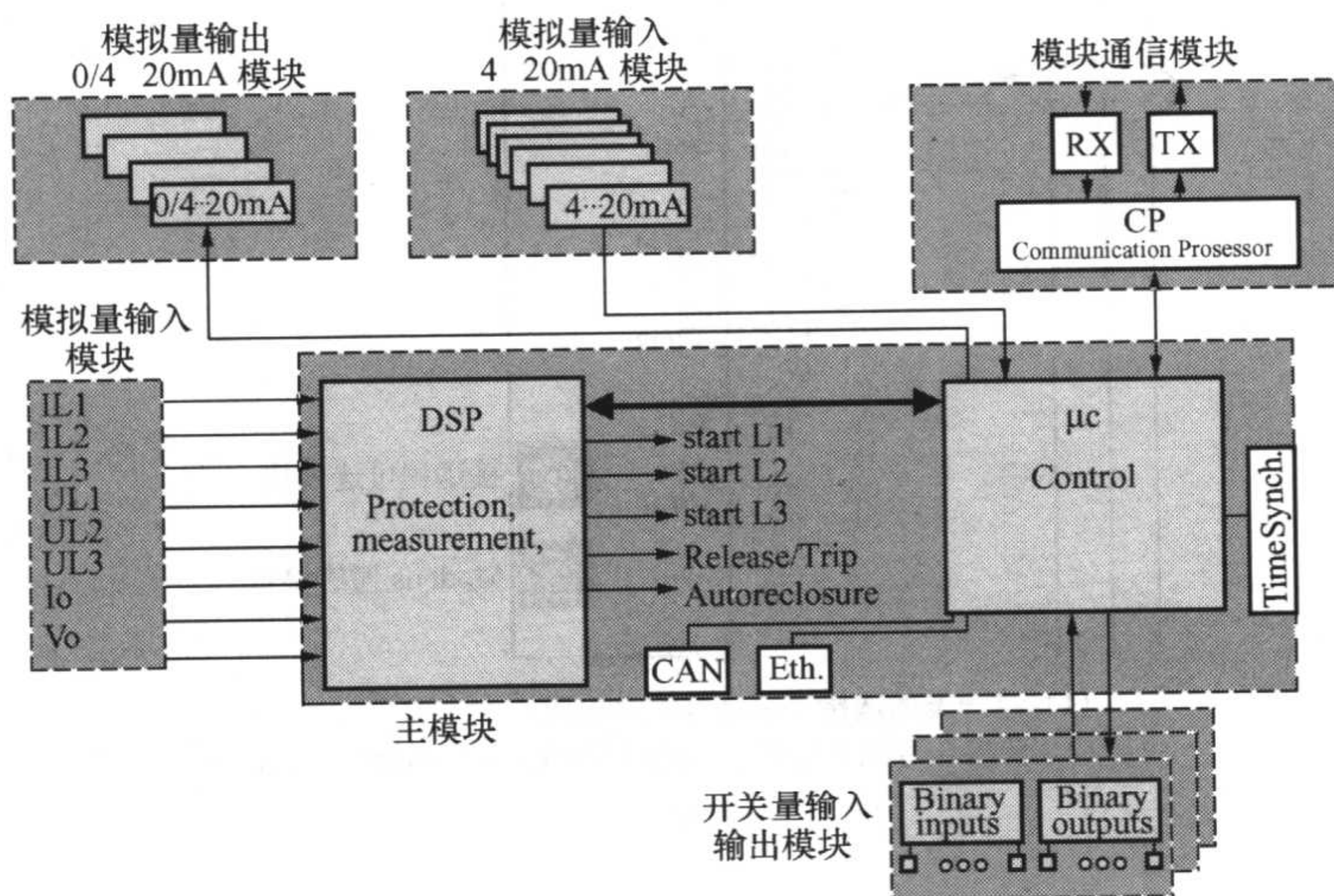


图 5-18 REF542 plus 主机方框图

HMI 有一个背光式液晶显示器 (LCD), 8 个按键。它可对开关柜实施就地监控。该装置的保护功能如下:

1) 电流保护 (括号中为 ANSI 代号):

- 涌流保护 (68)
- 电流速断 (50)
- 定时限过流 (51)
- 方向性过流 (67)
- 接地保护 (51N)
- IDMT 接地保护 (反时限) (51NIDMT)
- 方向性接地保护 (67N)
- 灵敏性方向接地保护 (67S)
- 扇形方向性接地保护 (67NS)

2) 电压保护:

- 过压速断 (59)
- 低压速断 (27)
- 检同步 (25)
- 残余电压 (59N)

3) 电动机保护:

- 全过程记忆的热过载保护 (49)
- 电动机起动 (51MS)
- 转子堵转 (定时限) (51LR)
- 启动次数 (66) (含冷热与起动)
- 不平衡负荷 (46)
- 低载 (37)

4) 差动保护:

- 变压器和电动机差动 (87)
- 变压器限制性接地故障 (87N)

5) 线路距离保护 (21)。

6) 其他保护:

- 频率保护 (81)
- 自动重合闸 (79)
- 逆功率 (32)
- 故障录波
- 功率方向 (32)

在图 5-19 (a) 中表示该装置的典型接线方案。通用型出线柜典型接线方案是电压和电流保护均要采用的, 其中零序电流互感器用于检测接地故障电流; 带差动、接地故障保护电力变压器的接线方案如图 5-19 (b) 所示。模拟量输入板上 8 个输入全用于电流, 前 6 个通道用于差动保护, 通道可用于限制性接地故障保护, 通道 8 用于接地保护; 图 5-19 (c) 为带母线检同步功能通用进线柜, 通道 1、2、3 用于电流检测和电流保护功能, 4、5、6 用于

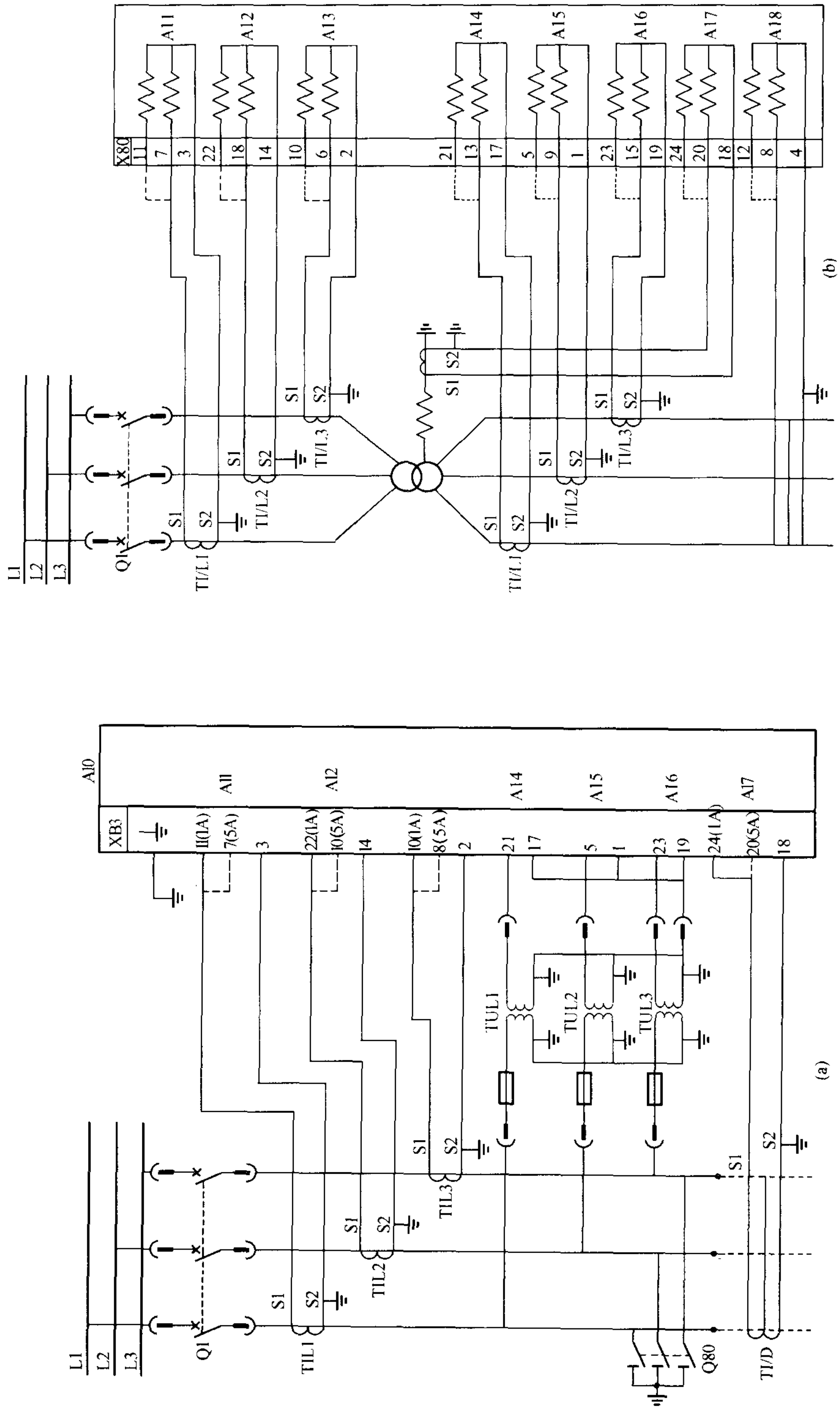


图 5-19 典型接线方案

(a) 通用型接线柜；(b) 电力变压器差动保护

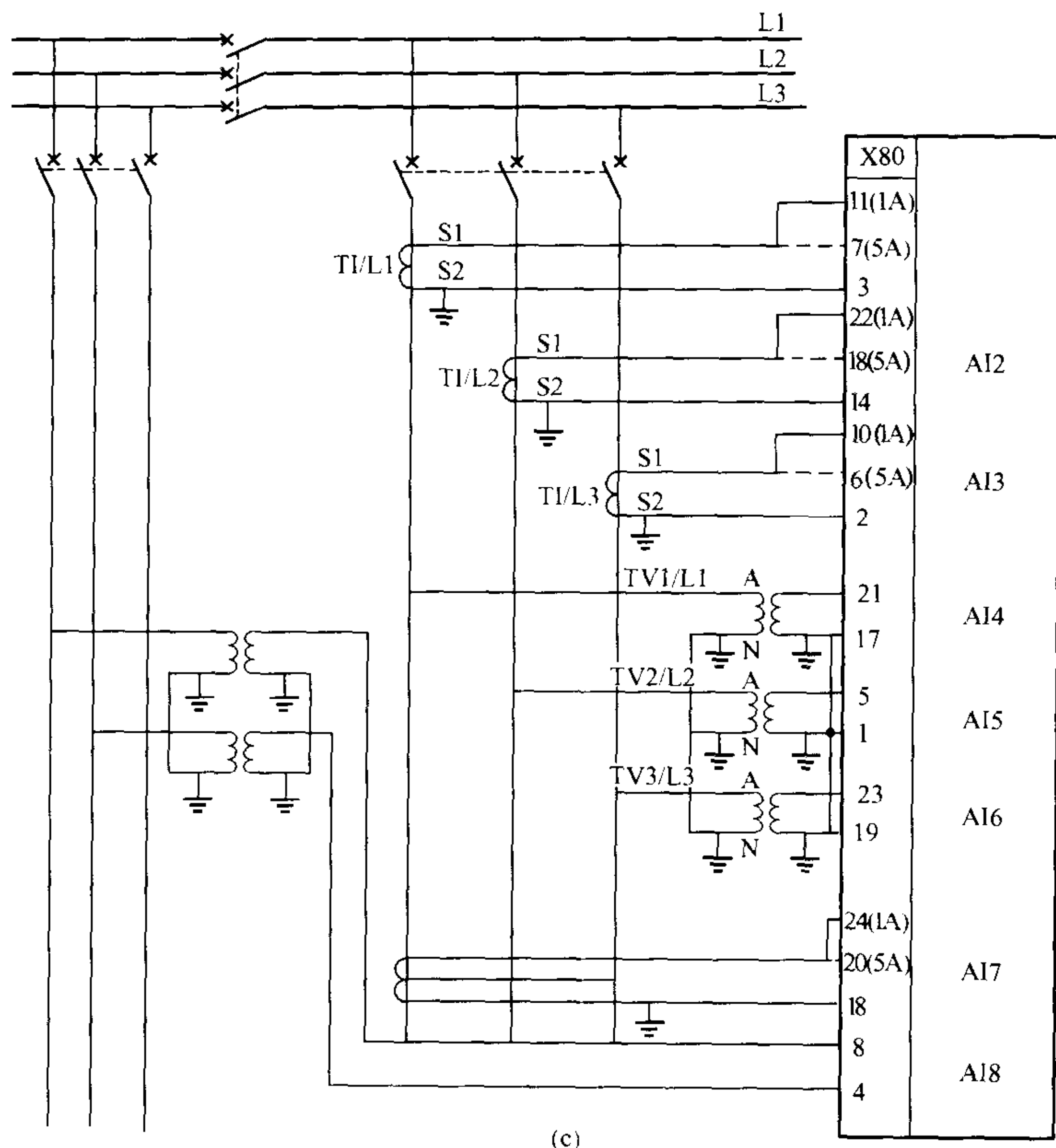


图 5-19 典型接线方案

(c) 带检同步功能的进线柜

相对地电压测量和进线柜保护，通道不用于检测接地故障保护所用的残余电流，通道 8 用于检测执行检同步的相—相电压。

在图 5-20 中还表示了该装置用于配电网监控的情况，它可为故障跳闸提供最高级别的选择性，并能快速隔离故障设备以便使其他负载不受供电质量扰动的影响。环型和放射型电网均可使用。

REP 542 plus 有两段方向性过流保护 (67) 和三段方向性接地故障保护，其中一段是高灵敏度保护 (67S)，应用这些功能并选用合适的逻辑程序可以识别和定位故障，并以开断最少的断路器来隔离它们，将断电次数限制在最小值。两个 RE FS42 plus 间逻辑选择性可用导线 (最长约 1200m) 连接来实现。

5-15 如何选用自动重合闸装置?

电力系统的故障，特别是架空线路上的故障大多是暂时性的，这些故障在断路器跳闸后，多数能很快地自行消除。因此，采用自动重合闸装置 (ARD)，可使断路器自动重新合闸，迅速恢复供电，从而大大提高供电可靠性。

ARD 的类型较多，按动作性能分为机械和电气式；按作用于断路器方式，分为三相、单相和综合重合闸；按动作次数分为一次和二次 (多次) 式，按使用条件分为单侧电源和双侧电源重合闸，而双侧电源重合闸又分为检定无压和检定同期重合闸，非同期重合闸。按和

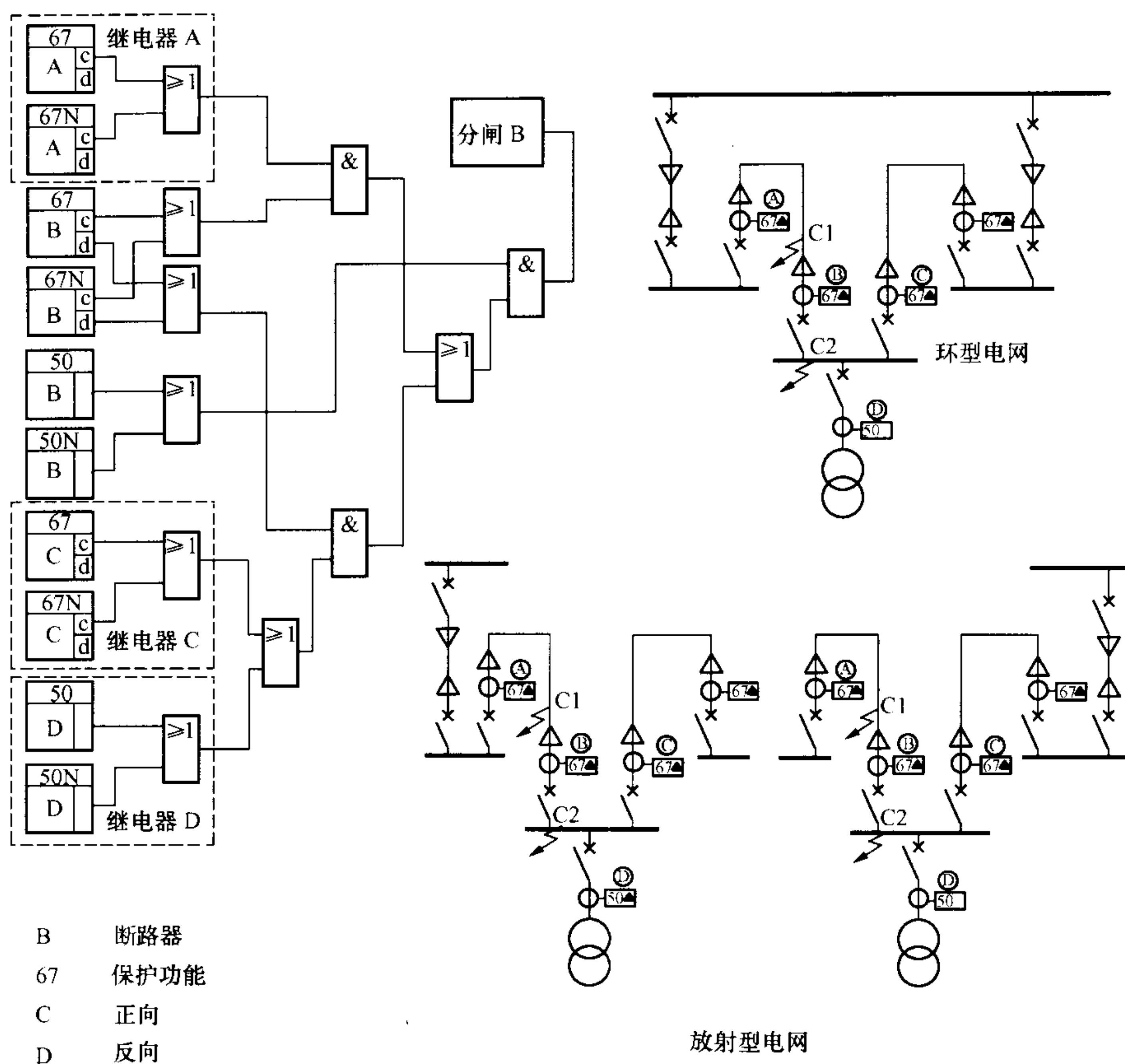


图 5-20 配电网监控方案

继电保护配合方式可分为前加速和后加速保护。

所谓前加速保护即线路发生故障时，靠近电源侧保护首先已选择性地瞬时动作于跳闸、重合闸后，如为永久性故障，则按照保护的时限配合实行选择性跳闸，主要用于 35kV 以下由电厂（变电所）引出的直配线上。

所谓后加速保护方式即线路发生故障时，保护有选择性地动作切除故障后，重合闸一次重合。若重合于永久性故障，保护瞬时动作断路器。主要用于 35kV 及以上的电网和重要负荷供电线路上。

在配电系统自动化系统，自动重合闸一般都含在微机保护装置的功能中。

例 1 国产 NSP 788 中的自动重合闸功能。

NSP 788 是适用于 35kV 及以下线路的微机保护，其装置内部配有三相二次重合闸功能，可通过整定为一次或二次重合。

三段电流保护的每一段都可以独立地选择是否启动重合闸，任一投入重合闸功能的保护动作，在断路器位置由合到分且检定无流时起动重合闸。

装置可通过控制字选择是检同期或检无压合闸，在检无压投入时，如果有压则自动转入检同期。

装置还设置了闭锁条件防止误动作。

在图 5-21 中表示了 NSP 788 中自动重合闸功能原理框图。

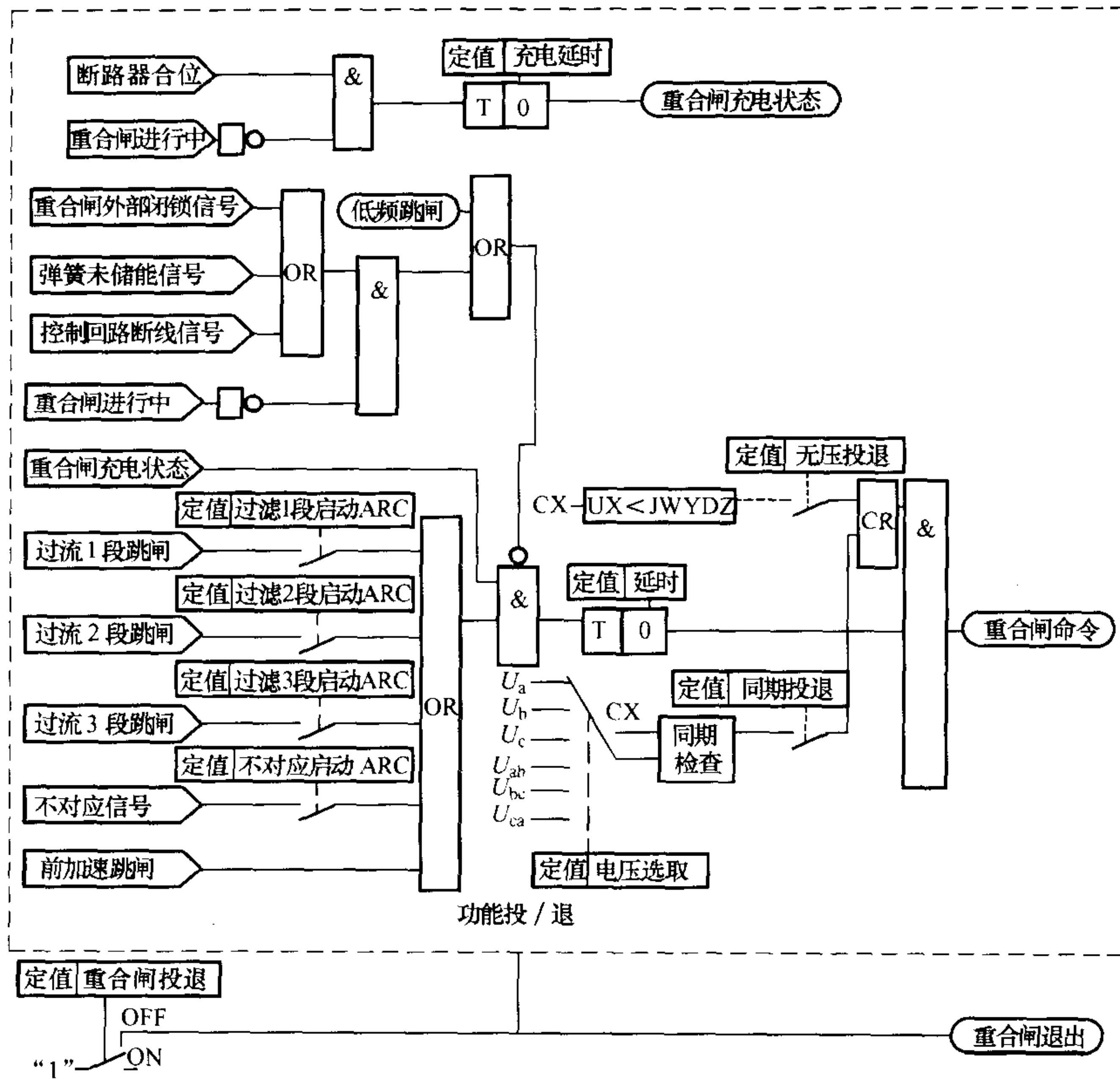


图 5-21 NSP 788 的自动重合闸功能原理框图

在图 5-22 中表示了其重合闸时序图。经过二次重合闸成功。当保护跳闸而启动重合闸时，重合闸延时从开关位置分位开始计时；不对应信号启动重合闸时，重合闸延时从不对应

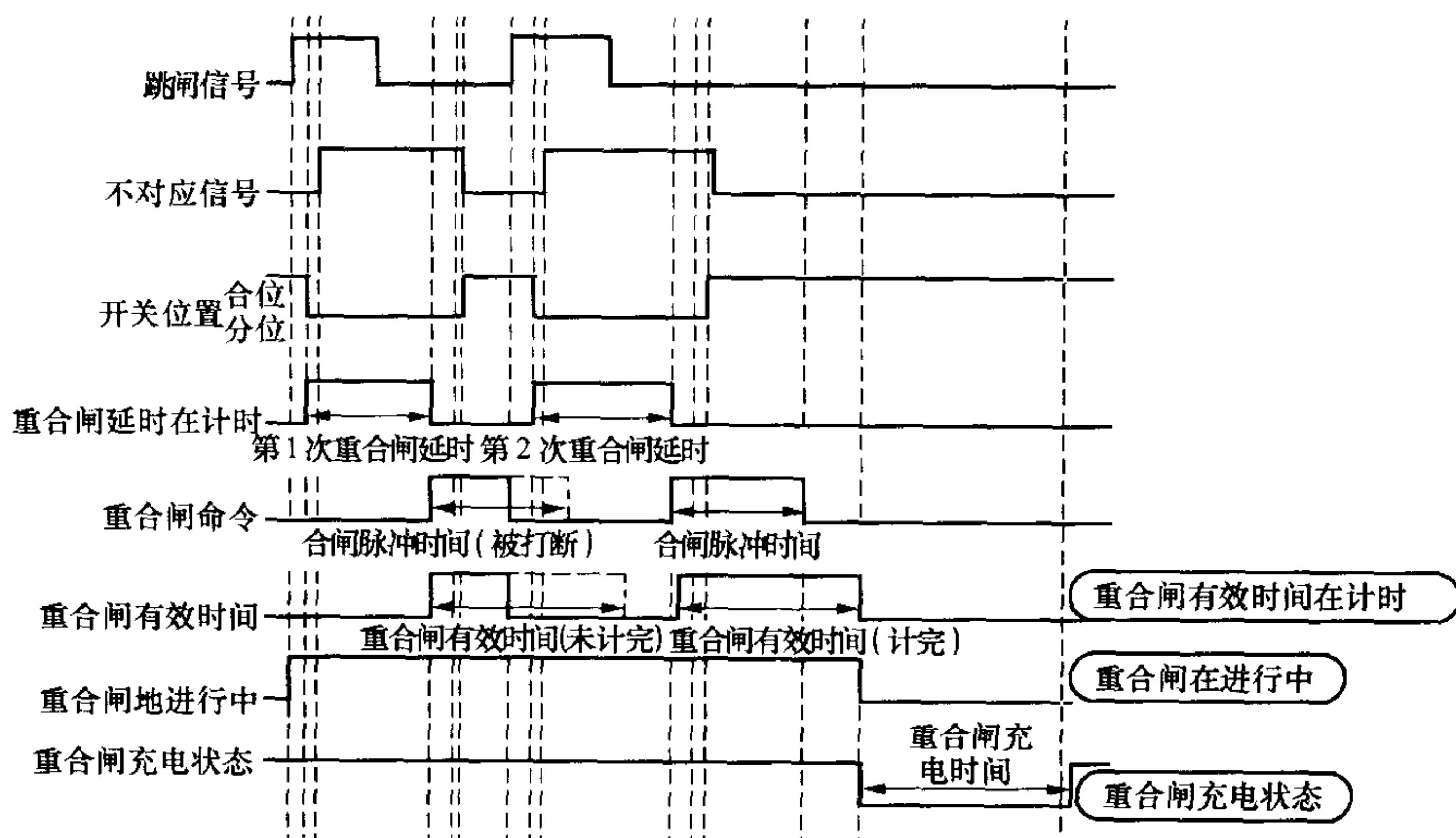


图 5-22 重合闸时序图（二次重合成功）

信号出现时开始计时。重合闸命令发出后，开始重合闸有效时间计时，若此计时结束前没有出现新的保护起动信号，则计时结束后认为重合闸成功，且重合闸放电，再经过重合闸充电时间为下一次重合作好准备；若在重合闸有效时间又出现新的保护起动信号，则重合闸次数统计增加一次。若重合闸次数未超过设定次数，则开始下一轮重合闸延时，若超过设定次数，则不再重合且放电。

例 2 国外产 Sepam 20 系列中的自动重合闸功能。

在表 5-13 中表示了该装置中自动重合闸特性。

表 5-13 Sepam 20 自动重合闸特性

重合闸循环	整定值	
循环次数	1~4	
循环 1 动作*	过流 1	瞬时/延时/不动作
循环 2、3 和 4 动作*	过流 2	瞬时/延时/不动作
	接地故障 1	瞬时/延时/不动作
	接地故障 2	瞬时/延时/不动作
	过流 1	瞬时/延时/不动作
	过流 2	瞬时/延时/不动作
	接地故障 1	瞬时/延时/不动作
	接地故障 2	瞬时/延时/不动作
	记忆时间延时	0.05~300S
循环间隔时间	循环 1	0.05~300s
	循环 2	0.05~300s
	循环 3	0.05~300s
	循环 4	0.05~300s
闭锁延时	0.05~300s	
精度	±2%或 25ms	
分辨率	10ms 或 1digit	

* 如果一种保护功能不能起动导致断路器断开的重合闸，则禁止重合闸。

下面我们说明重合闸的运行：

(1) 重合闸的初始化。如果符合以下所有条件，重合闸已准备可运行。

- 1) “断路器控制”功能已起动，自动重合闸投入运行。
- 2) 断路器合闸。
- 3) 禁止延时未运行。
- 4) 没有满足重合闸禁用条件。

(2) 自动重合闸循环。

1) 已清除故障情况。在一个重合闸命令后，如果在脱离时间已过去后不出现故障，重合闸重新初始化，并在显示器上出现一个报文（见图 5-23）。

2) 未清除故障情况。

a. 用保护装置瞬时或延时跳闸后，与第一次有效循环一起起动循环间隔时间。在循环

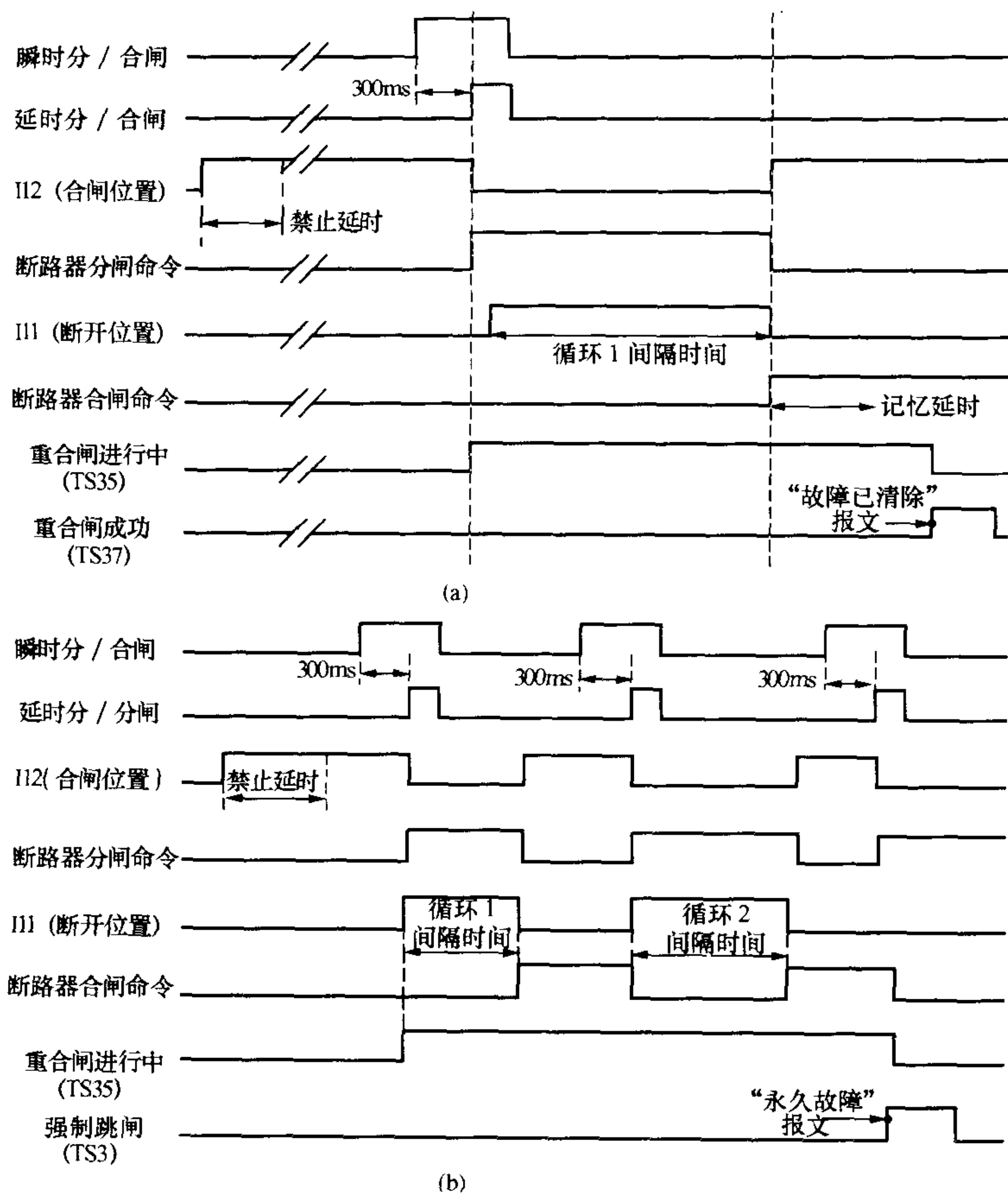


图 5-23 自动重合闸时序图

(a) 第一次循环重合闸成功，激活 300ms 延时过流保护；

(b) 300ms 延时过流保护激活两个循环后，给出强制跳闸命令

间隔时间结束时，给出一个合闸命令，且起动记忆延时，如果保护装置在延时结束前探出故障，则给出一个跳闸命令，并起动下一次重合闸。

b. 运行了所有有效循环后，如果故障继续存在，则给出最后一个跳闸命令。在显示器上出现一个报文并锁住合闸命令，直到按照保护功能的参数整定值进行确认为止。

3) 故障合闸。如果断路器在故障时合闸，或者，如果故障出现在安全延时结束之前，禁止重合闸。

(3) 重合闸禁止条件。

- 1) 分闸或合闸命令。
- 2) 重合闸无效。
- 3) 在逻辑输入端 126 接收到一个禁用命令。
- 4) 出现一个与开关设备有关的故障（如跳闸电路故障或控制故障）
- 5) 经过输入 121、122 或 123 的外部跳闸命令使断路器跳闸。

5-16 如何选用低周波减载装置?

众所周知，频率下降对电力系统和工业企业供电系统的危害极大，是不允许的。故规定电力系统频率正常不能低于 49~49.5Hz，在事故情况下不能长时间停留在 47Hz 以下，瞬时值不能低于 45Hz。根据频率下降程度，应快速切除部分不重要负荷，制止频率继续下降，防止事故扩大，保证重要用户的继续供电。

低周减载装置就是满足这种需要的自动装置。在我国，目前的低周波减载装置种类已不少，有晶体管式、数字式和微型机低周波减载装置。

下面介绍两种微型机低周波减载装置。

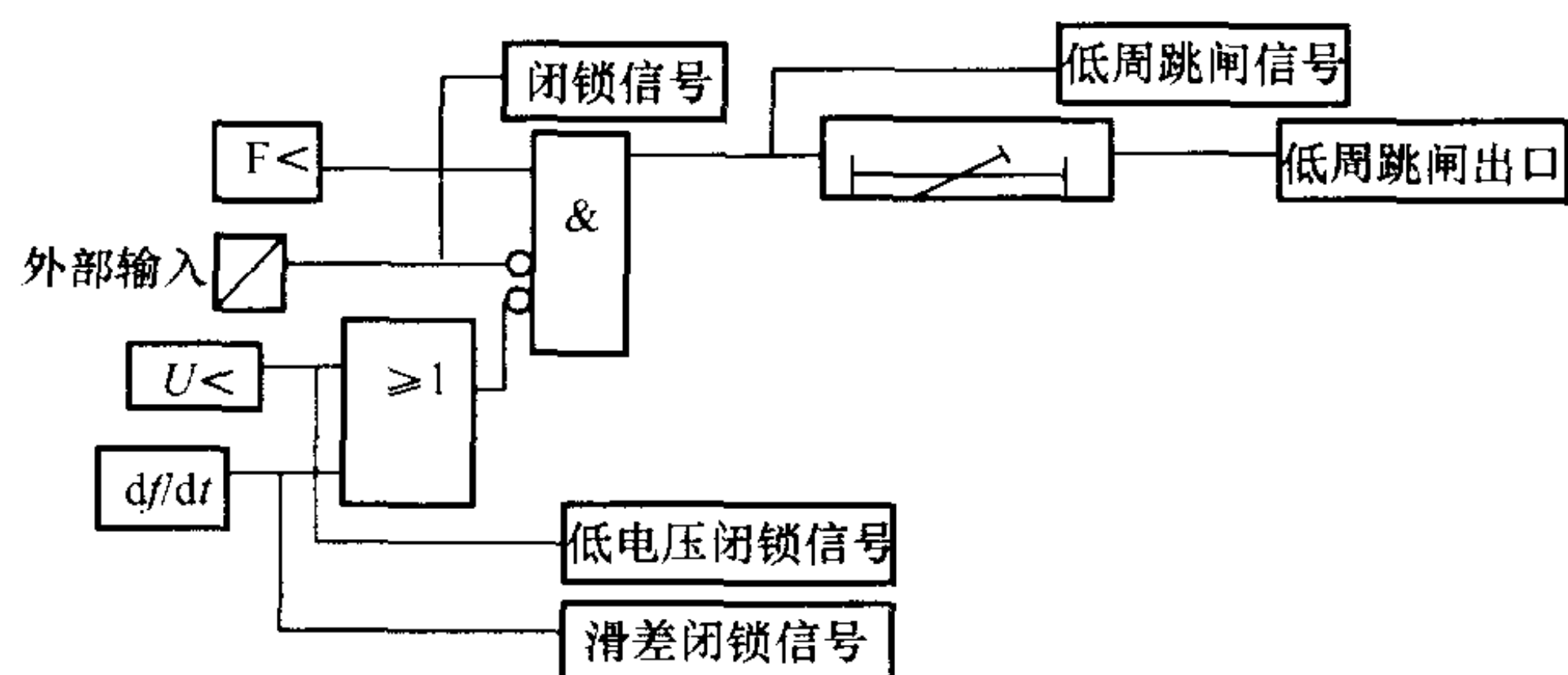


图 5-24 7RW600 低周减载逻辑框图

(1) 国产 7RW600 系列微机低频减负荷装置。在图 5-24 和图 5-25 中表示了该装置的逻辑框图和原理接线图。逻辑框图中的滑差闭锁功能是防止电网中一些非正常的低频现象引起的误动。当功率缺额时频率下降较慢 ($df/dt \leq 3$) 而非正常情况时频率下降很快 ($df/dt \geq 3$)，在频率下降很快时，滑差闭锁功能将闭锁低频减载装置。

7RW600 根据交流采样并滤波后进行频率值的计算。同时将滑差闭锁接点返送主装置本身的二进制输入 B11，对低频保护闭锁，当继电器动作的触点经中间继电器 KM 重动后，分别将 KM 的两副动合触点接至直流电源的正负端。形成低频小母线 wfl±极，它接到保护测控装置中的二进制信号输入口，由保护测控装置完成低频减载的最后出口跳闸。

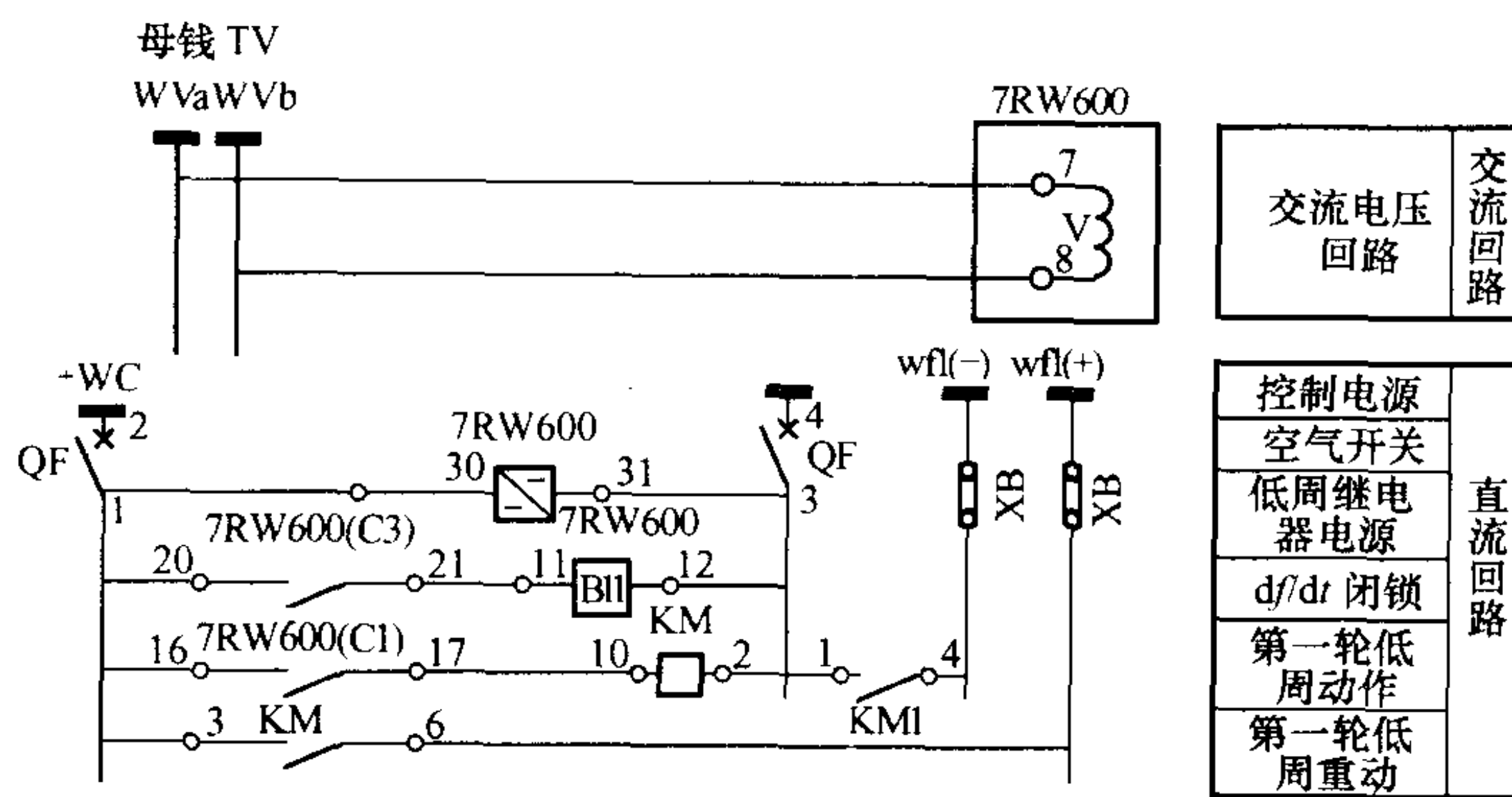


图 5-25 7RW600 低周减载原理接线

(2) 国外产 Sepam 40 系列中的低频减载功能。

Sepam 40 系列具有超频和欠频保护功能。

1) 超频保护功能。其方块图和特性见图 5-26 和表 5-14。

运行：当正序电压频率高于 F_s 设定点，而且负序电压高于 V_s 设定点时，本保护功能动作。如果只连接一个电压互感器 (U_{21})，则当频率低于 F_s 设定点，而且 U_{21} 电压高于 V_s 设定点时，本保护功能动作。它包括一个定时限延时 T 。

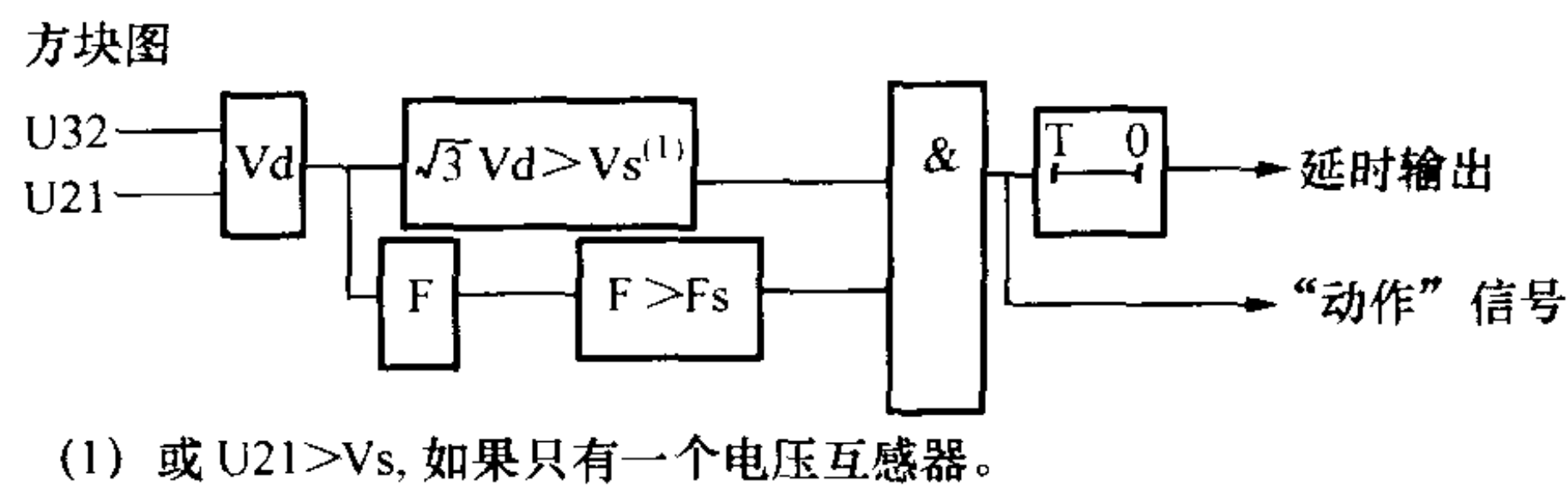


图 5-26 方框图

表 5-14 Sepam 40 系列超频保护功能特性表

项 目		数 据
FS 设定点	整定值	50~53Hz 或 60~63Hz
	精度	±0.02Hz
	分辨率	0.1Hz
	动作/回动差	0.25Hz
YS 设定点	整定值	20% U_{np} 至 50 U_{np}
	精度 ^①	±2%
	分辨率	1%
延时 T	整定值	100ms 至 300s
	精度 ^①	±2% 或 ±25ms
	分辨率	10ms 或 1.12
时间特性 ^①	动作时间	动作 < 100ms (典型 80ms)
	超调时间	< 40ms
	复位时间	< 50ms

①在参考条件 (IEC 60255—6)

2) 欠频保护功能, 其方块图和特性见图 5-27 和表 5-15。

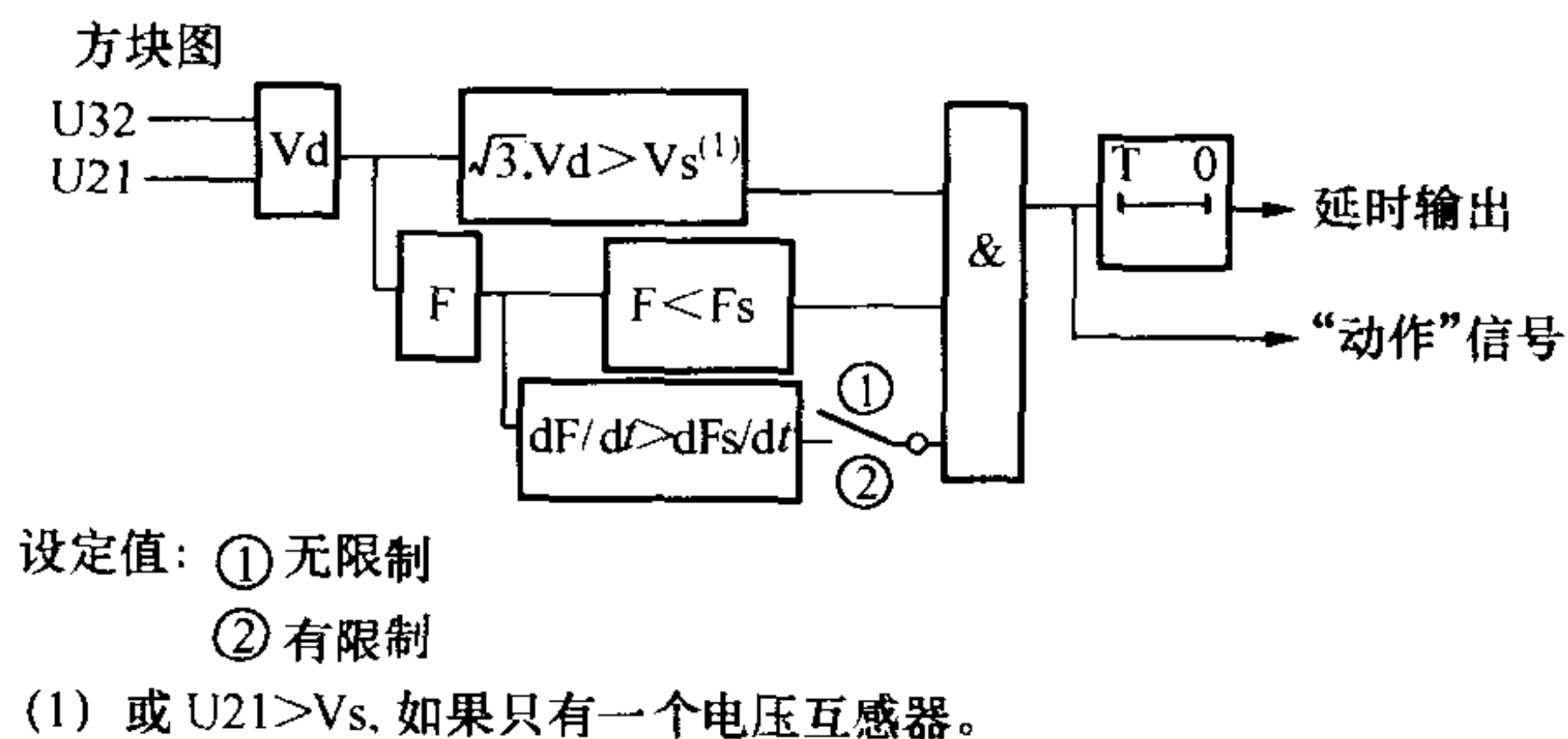


图 5-27 方框图

表 5-15

Sepam 40 系列欠频保护功能特性

项 目		数 据
FS 设定点	整定值	45~50Hz 或 55~60Hz
	精度 ⁽¹⁾	±0.02Hz
	分辨率	0.1Hz
	动作/回动差	0.25Hz±0.1Hz
V _s 设定点	整定值	20%U _{np} 至 50U _{np}
	精度 ⁽¹⁾	2%
	分辨率	1%
对频率变化的限制	整定值	有/无
	dF _s /dt 设定点	1~15Hz/s
	精度 ⁽¹⁾	1Hz/s
	分辨率	1Hz/s
延时 T	整定值	100~300s
	精度 ⁽¹⁾	±2%或±25ms
	分辨率	100ms 或 1 位
时间特性 ^①	动作时间	动作<80ms
	超调时间	<40ms
	复位时间	<50ms

①在参考条件 (IEC 60255—6)

运行：当正序电压频率低于 F_s 设定点，而且负序电压高于 V_s 设定点时，本保护功能动作。如果连接一台单独的电压互感器 (U_{21})，则当频率低于 F_s 设定点，而且 U_{21} 电压高于 V_s 设定点时，本保护功能动作。它包括一个定时限延时 T。本保护功能包括一种限制条件，它可按照频率变化率配置，万一出现频率连续减少值大于禁止设定时；它可禁止这种保护。

当母线在进线电压消失后由剩余的电动机电压再次供电时，用这种整定值可避免使所有的馈线跳闸。

5-17 如何选用备用电源自投装置？

备用电源自投装置 (APD) 是为了提高供电的可靠性和连续性而设置的。它已经成为变电所综合自动化系统的基本功能之一。它是一种自动控制装置，当电力系统故障或其他原因使工作电源被断开后，能迅速将备用电源自动投入工作，使原来被断开的用户能迅速恢复供电。

传统的 APD 是电磁型或晶体管型的自控装置。这些装置不仅体积大，功能单一，且可靠性不高。随着微处理机技术，网络技术和通信技术的发展，微机型的 APD 将取代传统的 APD。

对 APD 装置的基本要求是：

- (1) 工作电源电压无论何种原因 (故障或误操作) 消失时，APD 应起动。
- (2) 只有在备用电源电压正常、工作电源已经断开的条件下，才允许投入备用电源。

(3) APD 装置只允许动作一次。这是为了防止 APD 投制永久性故障上造成断路器多次开合, 损坏断路器或扩大事故。

(4) APD 装置的动作时间应尽量缩短, 以利于电动机起动或减少停电对生产的影响。

(5) 应校验备用电源的过负荷能力, 如备用电源过负荷超过允许的限度, 应在 APD 装置动作时自动减负荷。

(6) 电压互感器二次回路断线时, APD 应不误动作。

(7) 当工作电源与备用电源同时失去电压时, APD 装置不动作。

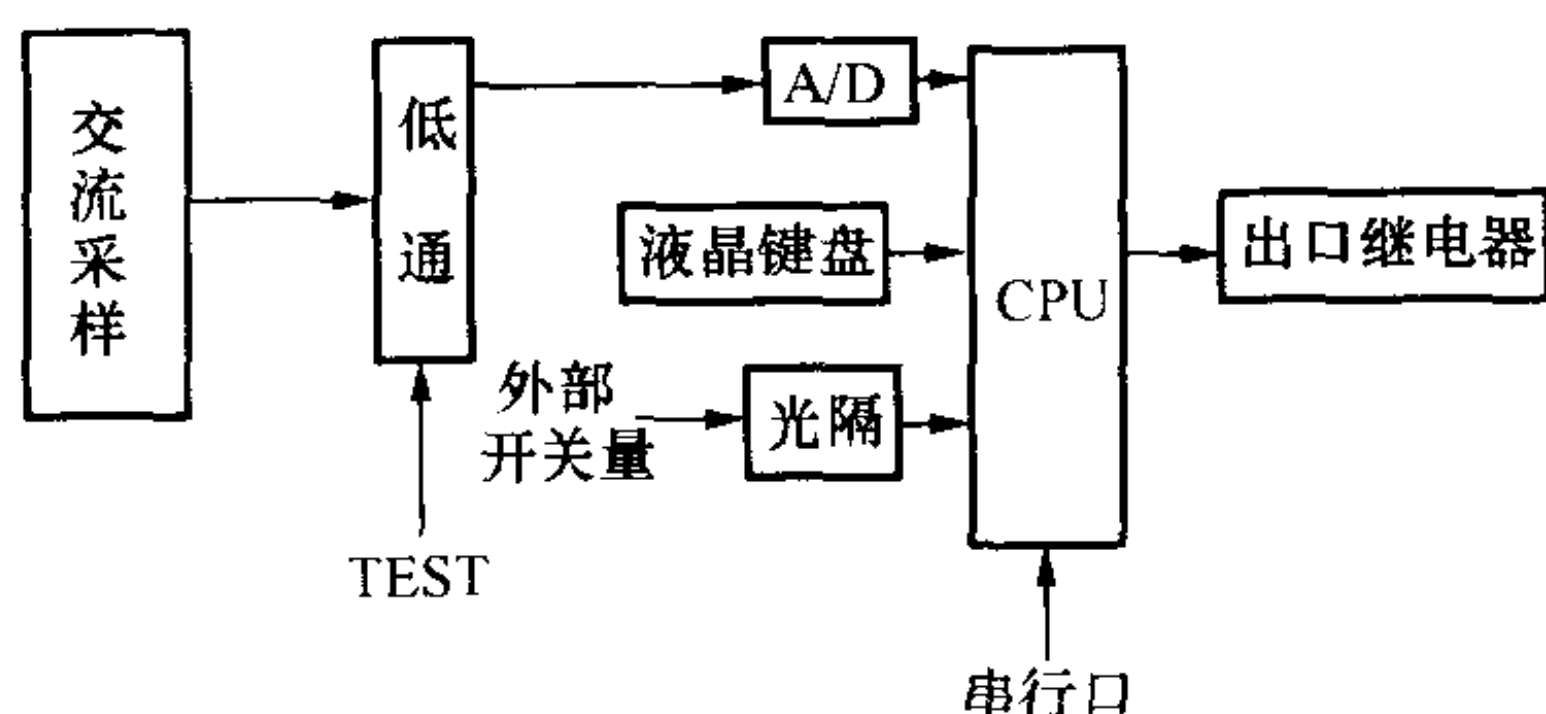


图 5-28 微机型 APD 硬件配置图

微机 APD 装置的硬件配置如图 5-28 所示。它主要由 TV、TA 输入的交流采样回路、外部开关量输入回路, 出口继电器及智能集成电路组成, 所有需要进行的逻辑判断均以软件方式在 CPU 中进行处理。对不同的接线方式或用户的要求只需改动参数, 组成不同的逻辑即可, 方便灵活, 操作简单, 便于运行维护。

5-18 配电网自动化设备的运行管理的内容是什么?

根据《国家电力调度通信中心文件》, 有关配电网自动化设备的运行管理的内容包括有:

(1) 自动化设备应建立完整的技术档案, 其内容包括设备的技术说明书、使用说明书、合格证明和出厂试验报告、施工原理图、安装图、电缆清册、各类信息定义表、检验、报告、自动化设备运行规程、检验规程及运行管理规定等。

(2) 建立自动化设备的定期巡检、定期检验和缺陷管理制度, 建立巡检记录簿, 检验记录簿, 缺陷处理记录簿, 上述各项工作均应详细记录在相应的记录簿上。

(3) 定期巡检, 每季度进行一次, 巡检内容包括:

- 1) 巡视设备和信号指示灯工况。
- 2) 检查遥测的运行工况。
- 3) 在远动装置上对遥信量进行抽样检查, 数量一般不小于 20%。
- 4) 巡视遥控/遥调执行屏的继电器触点 (若发现故障需处理时, 应先断开其输出接口)。
- 5) 测量设备各等级电源电压。
- 6) 测量调制解调器的输入, 输出电平。
- 7) 对 UPS 装置进行自动切换检查。
- 8) 对设备进行必要的清洁工作。

(4) 定期检验, 周期一般为一年, 最多不超过三年。

(5) 当自动化设备出现缺陷时, 应按缺陷管理制度进行处理。

(6) 当自动化设备因故障停运时, 应及时报告当值调度员, 变电所的主管部门必要时安排人员临时值班。

(7) 未经调度部门同意, 不得将自动化设备或自动化通道停运, 不得在自动化设备上工作。

(8) 自动化人员进入变电所进行工作时, 必须严格遵守《电业安全工作规程》及现场工

作规程。

(9) 自动化设备应与变电所接地系统可靠连接, 并有防雷和防过电压措施, 运行环境应符合相应设备的技术要求。

(10) 必须配备必要的备品、备件和检修工具、仪表、仪器, 并分类存放, 备品、备件应定期进行检测。

(11) 必须配备专用的交通与通信工具, 以保证自动化设备的正常维护, 及时排除故障。

(12) 应定期进行无人值班变电所远动装置及遥控操作的运行统计、分析, 主要考核指标为:

$$1) \text{ 运动装置月均可用率} = \frac{\text{全月日历总小时数} \times n - \sum \text{每套运动装置月停用小时数}}{\text{全月日历总小时数} \times n} \times 100\%$$

注: 每套运动装置月停用小时数包括装置故障停用时间和各类检修时间; n 为运动装置总套数。

$$2) \text{ 遥控操作年误动率 (系统指标)} \leq 0.01\%$$

$$\text{遥控操作年误动率} = \frac{\text{遥控操作年误动次数}}{\text{遥控操作年操作总次数}} \times 100\%$$

$$3) \text{ 遥控操作月拒动率 (系统指标)} \leq 2\%$$

$$\text{遥控操作月拒动率} = \frac{\text{遥控操作月拒动次数}}{\text{遥控操作月操作次数}} \times 100\%$$

(13) 自动化专业人员一般应具有中专及以上文化水平, 有较高业务能力和专业水平, 各单位每年应有对自动化专业人员的再培训计划, 保证必要的培训时间。

第六章

中低压配电系统设计实例



6-1 中压配电系统的设计原则是什么?

(1) 应做到供电可靠, 电源质量好, 满足生产要求。对一级负荷应有两个独立电源, 对二级负荷一般要有两个电源, 可以手动切换, 在条件困难情况下, 允许只有一个电源。

(2) 系统的接线力求简单灵活, 便于操作维护, 并能适应负荷的变化和系统的发展。同一电压的配电级数不应多于二级。

(3) 由两回及以上线路供电时, 其中一回停运时, 其余线路应保证全部一类负荷的供电, 对其他用电负荷应保证其全部负荷的 75% 供电。

(4) 制定供配电方案时, 应充分考虑节省基建投资, 降低运行费用, 减少有色金属消耗量。

(5) 制定供配电方案时, 一般不考虑当一电源发生故障时, 另一电源也同时发生故障。

(6) 制定供配电方案时, 应考虑负荷增长, 预留必要的发展余地或做出分期建设的规划。电源进线要有适当富裕的供电能力, 亦符合第 (3) 条要求。

(7) 技术先进, 设备优良, 采用新技术, 新产品。

6-2 中压供配电系统设计的基础技术资料有哪些?

(1) 电源数据, 包括工作电压、频率、短路电流 (设备安装地点), 电源系统类型 (种类、容量) 等。

(2) 所选线路方案和电气设备原理图。

(3) 变 (配) 电所的照明和动力容量及其负荷分布。

(4) 各类配电元件机械强度要求和外壳防护等级。

(5) 进线馈电装置的类型, 输出馈电的数量、位置和有关数据。

(6) 母线、电缆和其他导线的类型、芯数和有关数据。

(7) 设备安装方式, 要求采用的配线、装配方式和结构类型。

(8) 周围空气温度、湿度、防腐、防爆性要求。

(9) 气象条件: 风、雷、暴、百年一遇洪水位等。

(10) 污染等级。

(11) 地理结构、地质情况。

(12) 线路地理结构、平面图、地质情况。

(13) 线路输送容量。

(14) 技术经济比较的必要的原始资料。

6-3 中压配电系统的设计实例 1 (变电所的设计)。

某国外工程, 一座 150kV 电压变电所, 装有两台 150/35/15kV 主变压器, 三线圈有载

调压；容量为 20/10/10MVA，进线 150kV 两回，采用单母线分段，联结组别为 Y_{d11} 。对二次侧 35kV 和 15kV 母线用单母线分段（见图 6-1）正常运行分为列运行。该系统的短路电流为：150kV 40kA，35kV 25kA，15kV 16kA。35kV 出线 6 回（其中两回备用），15kV 出线 6 回（其中两回备用），采用微机型继电保护及开关设备为无油化开关设备。

根据上述要求对变电所主要设备进行选择，并列于表 6-1。

表 6-1 主要设备清单

序号	名称	数量	型号
1	三线圈有载调压变压器	2	SFPS Z _q -20000/150 (国产)
2	150kV 侧断路器	4	150PM40, 1200A, 40kA, 50Hz (ABB 产)
3	150kV 侧隔离开关	4	GW ₅ -150, 1200A, 40kA, 50Hz (国产)
4	150kV 侧出口隔离开关	4	GW ₅ -150, 1200A, 40kA, 50Hz (国产)
5	150kV 线路避雷器	2	FZ-150J
6	150kV 母线避雷器	2	FZ-150J
7	150kV 母线电压互感器	2	JSRW-150
8	150kV 母联断路器	1	150PM40, 1200A, 40kA, 50Hz (ABB 产)
9	150kV 母联隔离开关	2	GW ₅ -150, 1200A, 40kA, 50Hz (国产)
10	150kV 侧电流互感器	24	LCWD-150
11	150kV 电流互感器	12	LCWD-150
12	150kV 出口电流互感器	24	LCWD-150
13	150kV 电压互感器熔断器	2	BW ₂ -150
14	主变压器高压侧中性点避雷器	2	2×FZ-20
15	主变压器中压侧避雷器	2	FZ-35
16	主变压器低压侧避雷器	4	FZ-15
	35kV 侧开关柜		KYNG ₁ -40.5 (施耐德公司产-SF ₆ 断路器)
17	出线柜	6	SF ₁ -630A/40.5kV, 25kA
18	主变压器进线柜	2	SF ₁ -1250A/40.5kV, 25kA
19	PT 避雷器柜	1	JD2×9-35 (0.2)
20	分段柜	1	SF ₁ -1250A/40.5kV, 25kA
21	分段隔离柜	1	SF ₁ -1250A/40.5kV
	15kV 侧开关柜		SM ₆ 型 (施耐德公司产-SF ₆ 断路器)
22	出线柜	6	DM1-A (2), SM ₆ -630A/17.5kV, 20kA
23	主变压器进线柜	2	DM2-A (1), SM ₆ -630A/17.5kV, 20kA
24	PT 避雷器柜	1	LA, CM 型
25	分段柜	1	DM1-D, SM ₆ -630A/17.5kV, 20kA
26	分段隔离柜	1	DM1-D 型, SM ₆ -630A/17.5kA
27	所用变柜	2	QM 型
28	30kV 侧消弧线圈		XDJ-550/35 (国产)
	主变压器压器保护		(以下均为国产微机保护)
29	主变压器差动保护装置	2	TUT612 型
30	主变压器高压侧后备保护	2	NSP772 型
31	主变压器中压侧后备保护	2	NSP772 型
32	主变压器低压侧后备保护	2	NSP772 型
33	主变压器本体保护装置	2	NSP10 型
34	主变压器开关操作箱	6	NSP30C ₂ 型
	150kV 线路保护		
35	150kV 线路保护 1	2	7SJA610 型
36	150kV 线路保护 2	2	7SJ62 型
37	150kV 母联保护	1	7SA610 型
	30kV, 15kV 线路保护		
38	30kV 线路保护	6	NSP788 型
39	30kV 母联保护	1	NSP788 型
40	15kV 线路保护	6	MSP788 型
41	15kV 母联保护	1	NSP788 型
42	PT 并列装置	2	NSP20 型
43	150kV 故障录波	1	NSR 2000
44	电度表屏	3	TG4

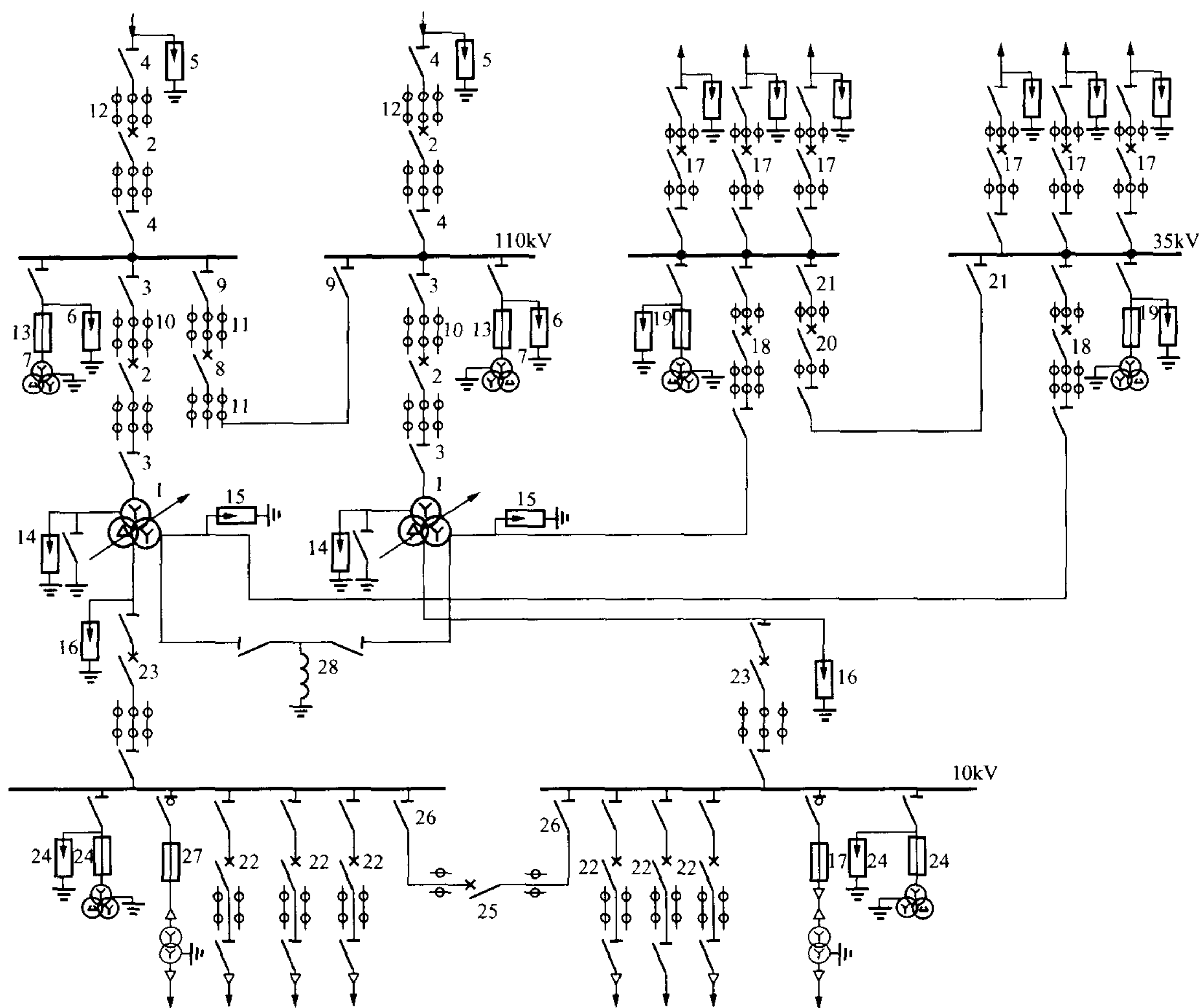


图 6-1 实例 1 的电气主接线图

6-4 中压配电系统的设计实例 2 (居民住宅小区配电系统)。

某居民住宅小区，共有居民 500 户，采用箱式变电站，电压为 10/0.4kV，环网供电，开环运行，2 路电源。共设置座箱式变电站，每座变压器容量为 630kVA。每座变电站的电气主接线图如图 6-2 所示，其主要设备列表于表 6-2。

表 6-2 ZB 型户外箱式配电站主要元件表

序号	名称	数量	型号
1	变压器	1	SC3 型干式变压器 630kVA 10/0.4kV
2	负荷开关	1	FN-10, 200A, 10kV
3	负荷开关	2	FN-10, 630A, 10kV
4	熔断器	1	RN ₁ -10, 10kV, 50/50A, 200MVA
5	避雷器	2	F2-10
6	低压主断路器	1	DW10-1000/3
7	隔离开关	2	HD13-600/3
8	支路断路器	8	DZ10-250
9	电流互感器	3×3	LM-0.5
10	电容器用主开关	1	DZ10-250
11	电容器组	2	BSMJ 0.4-30-3
12	电容器用互感器	2	CM-0.5
13	支路电流互感器	14	LM-0.5
14	接地开关	3	JN-10
15	接触器	2	CJ20-160

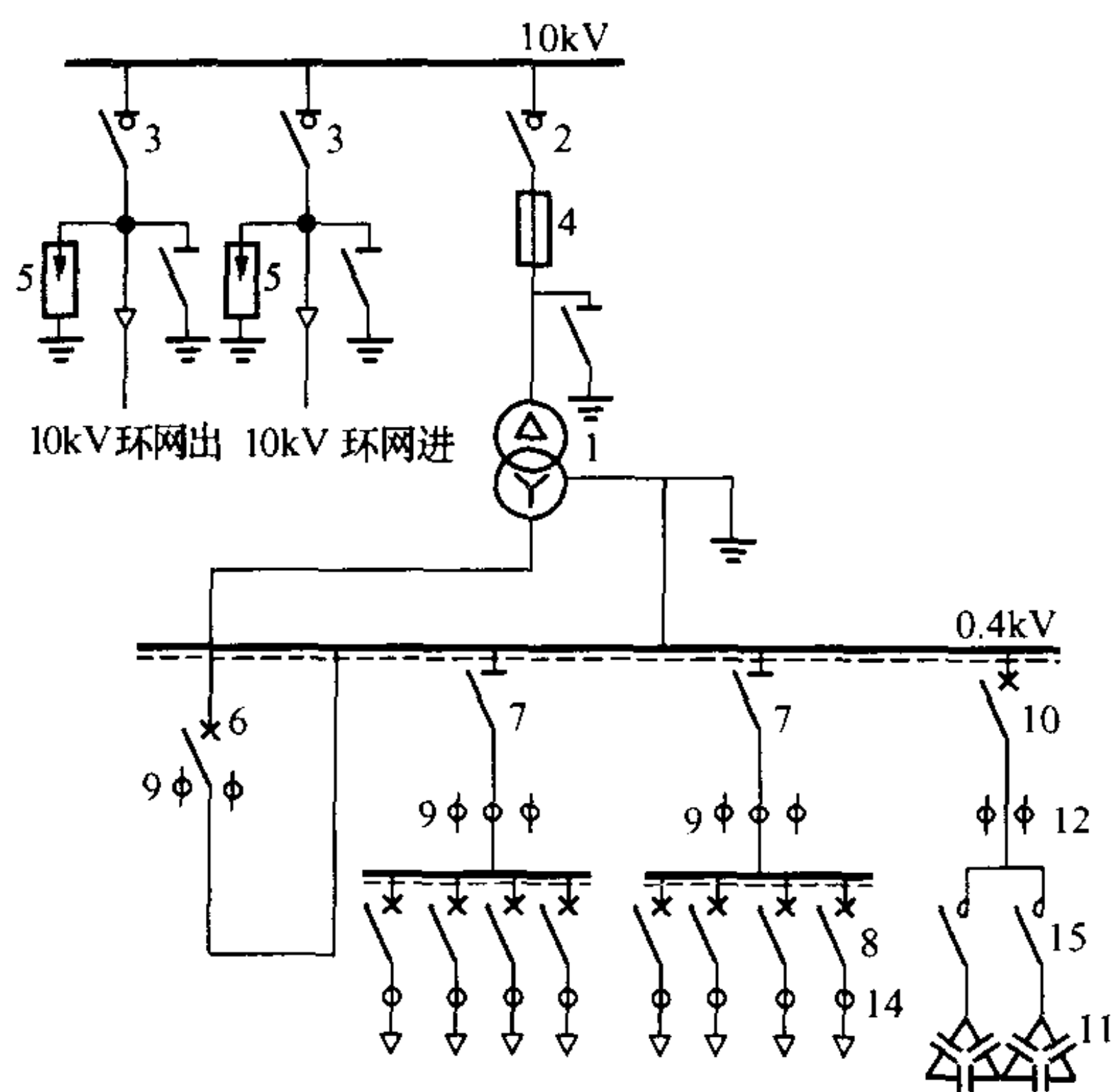


图 6-2 实例 2 电气主接线图

6-5 火力发电厂电气系统的设计实例 3 (中压电气系统)。

某地方电厂其电气系统为：共有三台汽轮发电机，容量分别为 1、2 号机为 25MW， $\cos\varphi 0.85$ ，6.3kV；3 号机为 125MW， $\cos\varphi 0.85$ ，13.8kV；分别配有三台主变压器，组成发电机—变压器组单元接线；并另设高压备用变压器一台，作为事故备用，其变比为 63/6.3kV；3 号机则通过厂用变压器（变比为 13.8/6.3kV）提供厂用电，1、2 号机则经过电抗器直供厂用电，高备变的容量和 3 号机厂用变容量相同。电厂的出线共四回，和 63kV 的电网相连接，现根据设备各主要参数及短路电流计算值对各开关设备、互感器、继电保护等进行选择，选择结果见表 6-3（短路电流计算值可见表 2-20），其电气一次系统结线图如图 6-3 所示。

算值可见表 2-20)，其电气一次系统结线图如图 6-3 所示。

表 6-3

实例 3 设备一览表

序号	名称	数量	型号
1	汽轮发电机	1	QF-30-2, 6.3kV, 3234.4A, 3000r/min
2	汽轮发电机	1	QF-25-2, 6.3kV, 2860A, 3000r/min
3	汽轮发电机	1	QFS-125-2, 13.8kV, 6150A, 3000r/min
4	主变压器	1	SFPS-150000/63
5	主变压器	1	SFPS-40000/63
6	主变压器	1	SFPS-31500/63
7	高压备用变压器	1	SFPS-16000/63
8	3 号机厂用变压器	1	SFPS-16000/13.8
9	主断路器	1	SW2-60, 1500A, 2500MVA
10	主断路器	1	SW2-60, 600A, 2500MVA
11	主断路器	1	SW2-60, 600A, 2500MVA
12	主断路器	1	SW2-60, 600A, 2500MVA
13	出线断路器	4	SW2-60, 1000A, 2500MVA
14	母联断路器	1	SW2-60, 1500A, 2500MVA
15	主隔离开关	1	GW5-60, 1500A
16	主隔离开关	1	GW5-60, 600A
17	主隔离开关	1	GW5-60, 600A
18	主隔离开关	1	GW5-60, 600A
19	出线隔离开关	12	GW5-60, 1000A
20	母联隔离开关	2	GW5-60, 1500A
21	出线避雷器	4	FZ-60
22	母线避雷器	2	FZ-60
23	母线电压互感器	2	JSJW-60
24	电流互感器	6×8	LCWD-60, 600/S

续表

序号	名称	数量	型号
25	电流互感器	6×6	LCWD-60, 400/S
26	电流互感器	2×6	LCWD-60, 1500/S
27	电流互感器	2×6	LCWD-6, 1500/S
28	电流互感器	4×9	LDCD-6
29	电流互感器	2×9	LDCD-15
30	电流互感器	2×6	LCWD-15
31	电压互感器	1	JSJW-6
32	电压互感器	1	JSJW-6
33	电压互感器柜	4×1	JSJ-6
34	避雷器柜	4×1	FZ-6
35	高压开关柜	10	GZS1-10型(配VD4真空断路器)(国产)
36	高压开关柜	10	GZS1-10型(配VD4真空断路器)(国产)
37	高压开关柜	8	HSS型(SF6断路器)(英国产)
38	高压开关柜	8	HSS型(SF6断路器)(英国产)
39	厂用变压器	2×1	SFS-4000/6
40	厂用变压器	2×1	SFS-2000/6
41	高压电动机	35	Y型(1.2号G)和Teco型(英国产)(3G)
42	电抗器	2	NKL-6
43	发电机变压器组继保屏(3)	1	法国CEE公司产静态型继电器(共14种)
44	发电机变压器组继保屏(1.2)	2	国产
45	高备变继保屏	1	国产
46	3G厂用变继保屏	2	法国CEE公司产静态型继电器
47	母联(63kV)继保屏	1	国产RCS-945型母线保护
48	出线(63kV)继保屏	1	国产RCS-901微机距离保护
49	高压开关柜(6kV)继保(1.2)	2×12	国产
50	高压开关柜(6kV)继保(3)	2×10	法国CEE公司产静态继电器
51	直流系统	2	国产、采用蓄电池组(硅整流充电)
52	交流UPS	1	英国产(POWERNETICS)(3G用)
53	直流UPS	1	英国产(POWERNETICS)(3G用)

6-6 低压配电系统的设计原则是什么?

(1) 低压配电系统应满足供电可靠性和电能质量要求, 应注意接线简单、操作方便安全、有一定的灵活性。配电系统的层次不宜超过二级。

(2) 同一生产流水线的低压用电设备尽量由同一母线或线路供电, 如果用电设备过于分散, 可由不同变压器供电, 但这些变压器应接在同一段高压母线上。平行的生产流水线及互为备用的机组, 宜由不同的母线或线路供电。

(3) 配电系统的设计应便于维修, 如果工段比较固定时, 一个大厂房可分二段配电; 多层厂房宜分层设配电箱, 各个独立单元可设单独的电源开关。

(4) 单相用电设备应适当配置, 力求三相平衡。由单相负荷不平衡而引起的中性线电流不得超过变压器低压线圈额定电流的25% (或按制造厂规定) 任一相电流不得超过额定电流值。冲击负荷及容量较大的电杆设备宜占其他设备分开, 单独供电。

(5) 为了假日或轻负荷时能切除部分变压器, 相距较远的变电所低压侧宜敷设联络线。

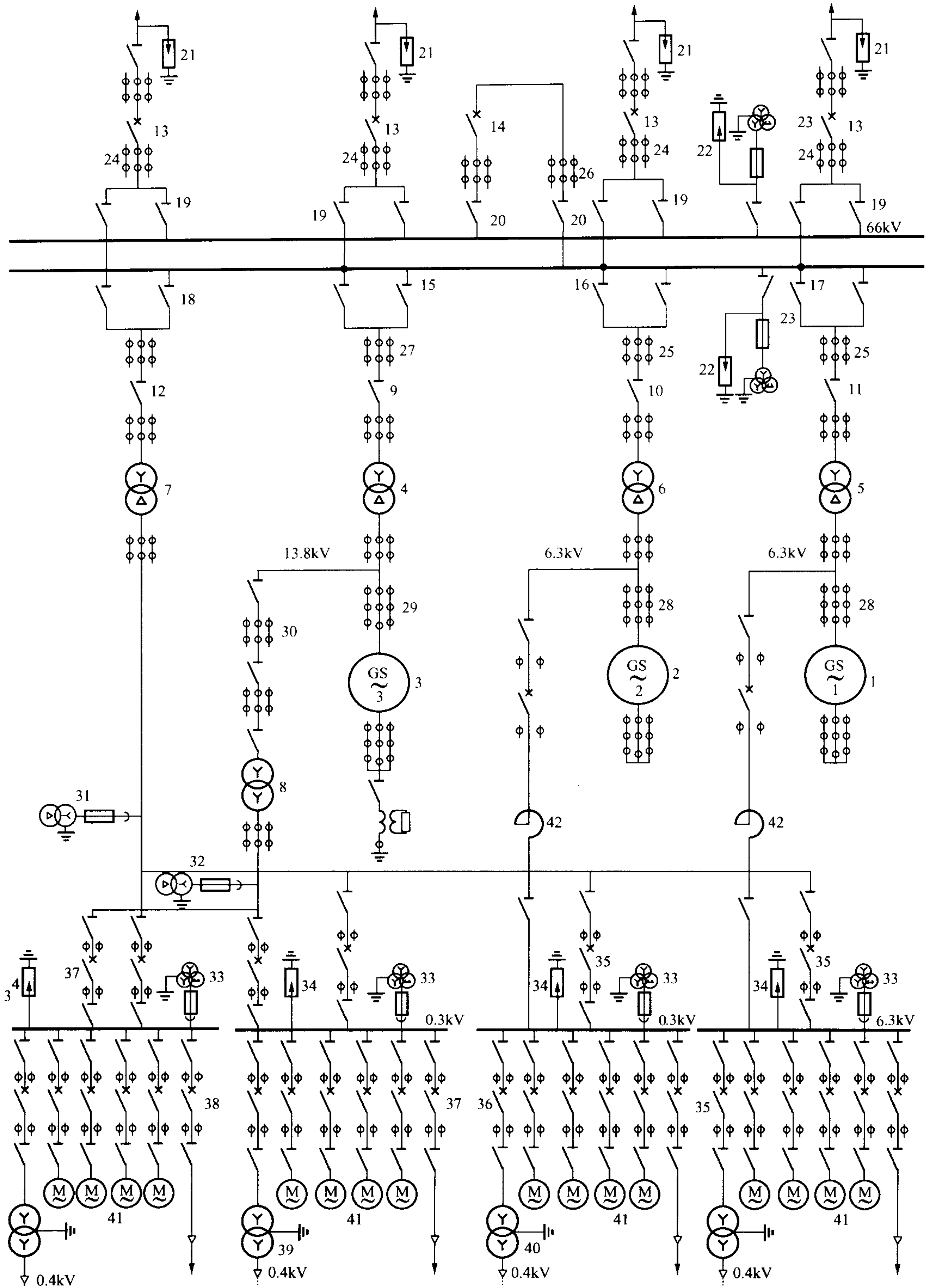


图 6-3 实例 3 的电气一次系统接线图

(6) 由建筑物外引来的线路应在屋内进线处装设开关设备,亦便于维护操作。

6-7 低压配电系统的设计实例 1 (钢厂的低压系统)。

山东省的某一钢铁厂内的 3500Nm³/h 的空分装置低压负荷,包括各种流程泵、电加热器和装置、辅助电气设备的供电、控制和保护,并为照明、空调和检修等公共系统提供馈线。低压开关设备采用 TN-S 中性点接地形式来保证安全和可靠性,单母线分断,双电源进线,主母线在上部,抽屉式结构。低压开关设备的额定绝缘电压为 1000VAC,额定冲击电压为 8kV,短路分断能力为 50kA,母线额定电流为 2000A,防护等级为 IP40,控制电源电压为 220VAC,采用底部电缆出现。

其中负荷主要有四大类:两段母线连接至变压器的主进线和两断母线之间的母联开头、中小容量的电动机控制和馈电回路(如汽轮机冷凝水泵、膨胀机油泵)、大容量的电动机变频器的控制和馈电回路(如 295kW 液氧泵)、照明馈出等配电回路(如直流屏电源、照明、UPS 输入电源、控制楼电源等)。主要负荷及电气元件选择见表 6-4。

表 6-4 主要负荷及电气元件的选择

负 荷 名 称	负荷容量 (kW)	负荷电流 (A)	开关设备型号及选型
空压机组控制油泵 1 号	3	6.5	GV2-RS14C+GV1-L3+LC1-D18
空压机组油烟机 1 号	0.85	2.1	GV2-RS08C+LC1-D18
空压机组润滑油泵 1 号	45	85.6	NS100 II TM22SE+DF+SD LC1-D80+LR2-D1305
空压机顶起泵	6.6	14	GV2-RS20C+GV1-L3+LC1-D25
汽轮机顶起泵	30	57	NS100H TM22SE++DF+SD LC1-D80+LR2-D3359
汽轮机冷凝水泵 1 号	75	140	NS160H TM22ME++DF+SD LC1-D150
D01 膨胀机油烟机	0.83	2.1	GV2RS06C+LCD09
D01 膨胀机油泵	4	8	GV2-RS14C+GV1-L3+LC1-D18
D02 膨胀机油泵	5.5	11	GV2-RS16C+GV1-L3+LC1-D25
P03A-液氧泵	295	550	NS630H TM43ME P/I DF+SD LC1-D620
P10A-粗氩泵	22	41.6	NS100H TM22SE++DF+SD LC1-D80+LR2-D3357
P30-液氮泵	5.5	11	GV2-RS16C+GV1-L3+LC1-D25
P40-液氧泵	11	22.3	GV2-RS22C+GV1-L3+LC1-D25
P52-液氮泵	11	22.3	GV2-RS22C+GV1-L3+LC1-D25
P60A-冷冻水泵	75	140	NS160H TM22ME+DF+SD LC1-D150
P87A-冷凝水泵	1.5	3.6	GV2-RS08C+LC1-D18
D02G-膨胀机制动发电机	160	273	NS400H STR43ME+DF+SD LC1-D300
空压机组油加热器 1 号	25	38	NS100H TM22ME+DF+SD LC1-D80+LR2-D3359
空压机组水箱加热器 1 号	6	9.6	GV2-RS20C+GV1-L3+LC1-D25
D01 膨胀机油加热器	3	4.6	GV2-RS14C+GV1-L3+LC1-D18
D01 膨胀机油加热器	2.5	4	GV2-RS14C+GV1-L3+LC1-D18
D02 膨胀机解冻加热器	0.2	0.9	GV2-RS06C+LC1-D09

续表

负 荷 名 称	负荷容量 (kW)	负荷电流 (A)	开关设备型号及选型
主冷基础伴热	2	3	GV2-RS10C+LC1-D18
板式基础伴热	2.6	4	GV2-RS14C+GV1-L3+LC1-D18
E09. A-特殊再生加热器 A 组	141.7	227	NS250H STR22ME+DF+SD LC1-D245
E09. B-特殊再生加热器 B 组	141.7	227	NS250H STR22ME+DF+SD LC1-D245
E09. C-特殊再生加热器 C 组	141.7	227	NS250H STR22ME+DF+SD LC1-D245
P03A. AH-液氧泵防潮加热器	0.2	0.93	GV2-RS06C+LC1-D09
P03A. HC-液氧泵法兰加热器	1.35	6.3	GV2-RS08C+LC1-D18
P10A. AH-粗氩泵防潮加热器	0.05	0.23	GV2-RS06C+LC1-D09
P10A. HC-粗氩泵法兰加热器	0.5	2.3	GV2-RS07C+LC1-D09
P30. AH-液氩泵防潮加热器	0.025	0.12	GV2-RS06C+LC1-D09
P40. AH-液氧泵防潮加热器	0.025	0.12	GV2-RS06C+LC1-D09
P52. AH-液氧泵防潮加热器	0.025	0.12	GV2-RS06C+LC1-D09
直流屏电源 1 号		32	NS100H TM32D+SD
UPS 主输入电源		32	NS100H TM32D+SD
D01 膨胀机机旁柜		16	NS100H TM16D+SD
32A 配电		32	NS100H TM32D+SD
所用照明 63A		63	NS100H TM22SE+SD
空调电源 63A		63	NS100H TM22SE+SD
照明 160A		160	NS160H TM22SE+SD
控制楼 160A		160	NS160H TM22SE+SD
检修电源 160A		160	NS160H TM22SE+SD
主厂房动力 250A		250	NS250H TM22SE+SD
桥机电源 400A		400	NS400H TM22SE+SD
电源进线 1 号		2000	MT20H1 MIC5.0A
母联断路器		2000	MT20H1 MIC5.0A
电源进线 2 号		2000	MT20H1 MIC5.0A
空压机组控制油泵 2 号	3	6.5	GV2-RS14C+GV1-L3+LC1-D18
空压机组油烟机 2 号	0.85	2.1	GV2-RS08C+LC1-D18
空压机组润滑油泵 2 号	45	85.6	NS100H STR22ME+DF+SD LC1-D80+LR2-D1350
空压机组盘车泵	18.5	37	NS100H STR22ME+DF+SD LC1-D80+LR2-D3355
空压机清洗泵	7.5	15	GV2-RS20C+GV1-L3+LC1-D25
汽轮机冷凝水泵 2 号	75	140	NS160H STR22ME+DF+SD LC1-D150
P03B-液氧泵	295	550	NS630H STR43ME P/I+DF+SD LC1-D620
P10B-粗氩泵	22	41.5	NS100H STR22ME+DF+SD LC1-D80+LR2-D3357
P51-液氮泵	7.5	15	GV2-RS20C+GV1-L3+LC1-D25
P60B-冷冻水泵	75	140	NS160H STR22ME+DF+SD LC1-D150

续表

负 荷 名 称	负荷容量 (kW)	负荷电流 (A)	开关设备型号及选型
P87B-冷凝水泵	1.5	3.6	GV2--RS08C+LC1--D18
备用电机	0.85	2.1	GV2--RS08C+LC1--D18
备用电机	4	8	GV2--RS14C+GV1--L3+LC1--D18
备用电机	5.5	11	GV2--RS16C+GV1--L3+LC1--D25
备用电机	7.5	15	GV2--RS20C+GV1--L3+LC1--D25
备用电机	11	22.3	GV2--RS21C+GV1--L3+LC1--D25
备用电机	18.5	37	NS100H STR22ME+DF+SD LC1--D80+LR2--D3355
备用电机	30	57	NS100H STR22ME+DF+SD LC1--D65+LR2--D3359
备用电机	160	273	NS400H STR43ME+DF+SD LC1--D300
空压机组油加热器 2号	25	38	NS100H STR22ME+DF+SD LC1--D80+LR2--D3359
空压机组水箱加热器 2号	6	9.6	GV2--RS20C+GV1--L3+LC1--D25
E09. D-特殊再生加热器组	141.7	227	NS250H STR22ME+DF+SD LC1--D345
E09. E-特殊再生加热器组	141.7	227	NS250H STR22ME+DF+SD LC1--D345
E09. F-特殊再生加热器组	141.7	227	NS250H STR22ME+DF+SD LC1--D345
E81-解冻加热器	270	432	NS630H STR43ME P/I+DF+SD LC1--D620
P03B. AH-液氧泵防潮加热器	0.2	0.93	GV2--RS06C+LC1--D09
P03B. HC-液氧泵法兰加热器	1.35	6.3	GV2--RS08C+LC1--D18
P10B. AH-粗氩泵法兰加热器	0.05	0.23	GV2-RS06C+LC1--D09
P10B. HC-粗氩泵防潮加热器	0.05	0.23	GV2--RS06C+LC1--D09
P51. AH-液氨泵防潮加热器	0.025	0.12	GV2--RS06C+LC1--D09
PV6121-加热环	2	3.2	GV2--RS10C+LC1--D18
PV6321-加热环	2	3.2	GV2--RS10C+LC1--D18
PV6521-加热环	2	3.2	GV2--RS10C+LC1--D18
备用加热器		2.5	GV2--RS08C+LC1--D18
备用加热器		6.3	GV2--RS10C+LC1--D18
备用加热器		9	GV2--RS14C+GV1--L3+LC1--D18
直流屏电源 2号		32	NS100H TM32D+SD
UPS 后备输入电源		90	NS100H STR22SE+SD
备用配电 32A		32	NS100H TM32D+SD
备用配电 32A		32	NS100H TM32D+SD
备用配电 32A		32	NS100H TM32D+SD
备用配电 63A		63	NS100H STR22SE+SD
备用配电 63A		63	NS100H STR22SE+SD
备用配电 160A		160	NS160H STR22SE+SD
备用配电 250A		250	NS250H STR22SE+SD
备用配电 400A		400	NS400H STR22SE+SD

四大类负荷主要有以下典型的接线：进线和母联使用的是 ACB，额定电流均为 2000A，采用的是可抽出式的安装方式，并具有互换性，便于不停电检修的要求，见图 3-7；中小容量的电动机控制和馈电回路主要向中小容量的电动机和加热器等供电。回路中主要由断路器、热继电器（热脱扣和电磁脱扣）、接触器组成。不同的回路的馈出线因负荷的不同也有区别，如 A、B、C 三线或 A、B、C、N 四线或 A、B、C、N、PE 五线（见图 6-4）；大容量的电动机变频器的控制和馈电回路的容量比较大，回路中主要由断路器、热继电器（热脱扣和电磁脱扣）、接触器和变频器组成（见图 6-4）；配电回路一般由断路器、热脱扣和电磁脱扣组成，馈出通常均为 A、B、C、N、PE 五线（见图 6-4）。

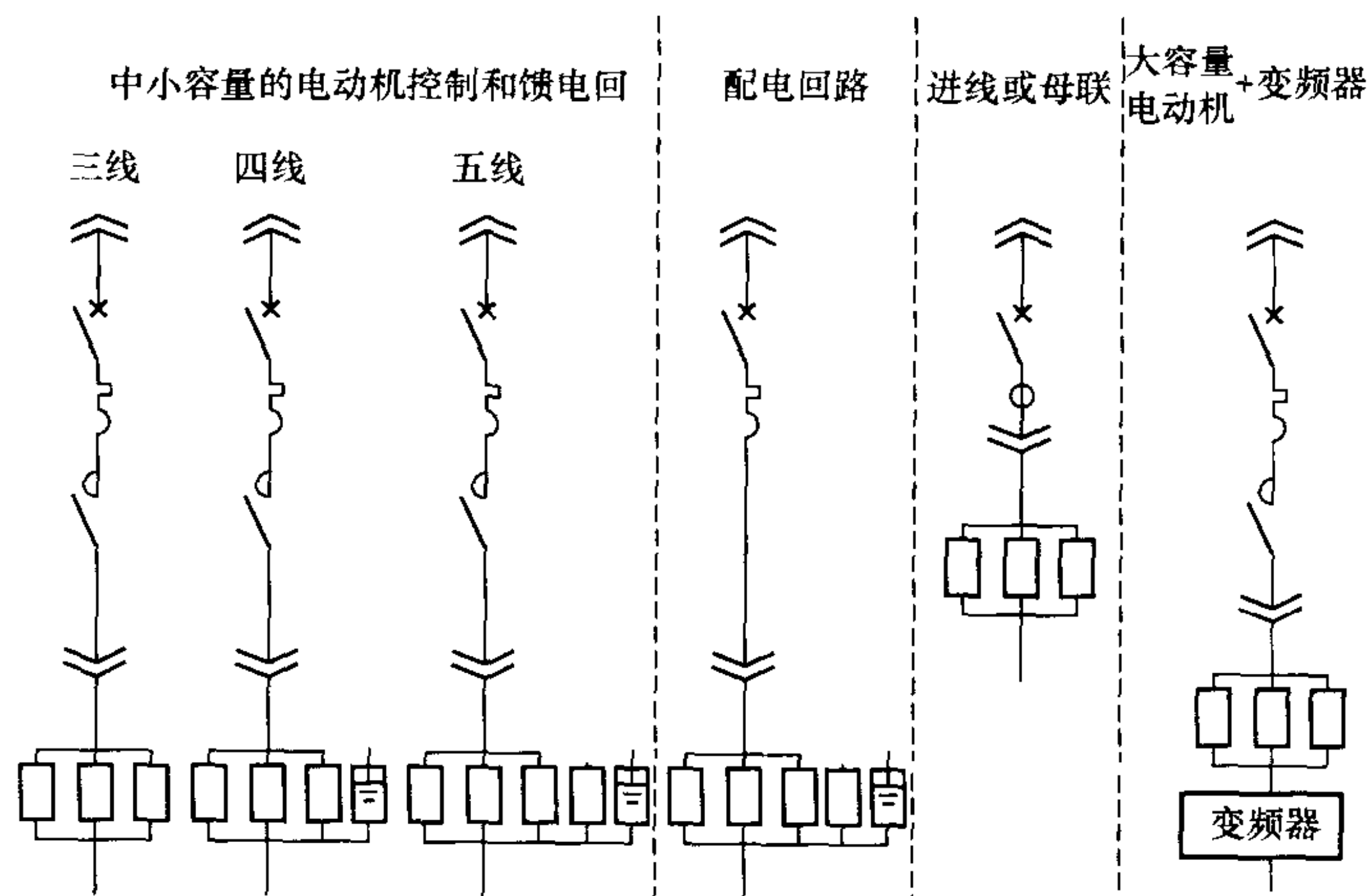


图 6-4 主接线典型方案

对于负荷的分配应该尽量在两段母线之间均衡布置。同类的负荷如空压机组控制油泵 1 号和空压机组控制油泵 2 号应该将其分别布置在不同的两段母线，防止某一段母线应故障或检修等原因断电而影响用电设备的运行。同样直流屏电源 1 号和 2 号、UPS 输入电源的主和备馈线、特别大的负荷、作用相同的水泵、加热器等也应该安装在不同的母线段上。

两段母线之间装有电源备自投装置，在一段母线因各种原因失电的情况下（不包括内部故障）分开进线，投入母联在最短的时间内恢复供电，保证用电设备的运行。在另一方面也要求 3 个开关之间有电气联锁（因电源备自投的原因不应加装机械联锁）来避免三个开关同时闭合，以防止电源并列造成变压器的并列运行。

6-8 低压配电系统的设计实例 2（电站的低压系统）。

某电站内有 380V 淡水 I、II 段电气系统用于二级泵房、行政楼、食堂、综合楼、双阀滤池、加药间、排污泵房、消防站等低压交流负荷的供电，以保证该电站内的工业用水和生活用水。淡水 I、II 段存在配电和电机两种负荷。对于电机负荷，考虑到与备用回路的互换性和检修方便，电机控制负荷采用抽屉单元；配电负荷的二次回路非常简单，因此采用固定隔室单元。接线方式为单母线分段。所有的负荷见表 6-5，系统接线如图 6-5 所示。

对于进线和母联，额定电流为 2000A，其保护定值考虑如下：

进线：变压器低压侧额定电流为 1443A，按照变压器油温为 40℃，1.2 倍的过载计算

(1731A)，应是进线开关的长延时保护定值的 1.05 倍。则长延时保护定值应为 1649A，按照拨盘设定 $I_r=0.8 \times 2000=1600A$ ， $t_r=12s$ ($6t_r$)，1.05 t_r 时 800s 动作；1.2 t_r 时 500s 动作；1.5 I_r 时 200s 动作。短延时考虑一台生活水泵、一台工业水泵、一台生产废水泵、一台生活污水泵同时起动为 240kW，按照起动电流 6 倍并考虑 20% 的误差，电流为 3456A，加上正常负荷 150kW，则电流值为 3756A。 $I_{sd}=2.5I_r=4000A$ ，拨盘设定为 3800A，速断保护定值 $I_i=3I_n=6000A$ 。

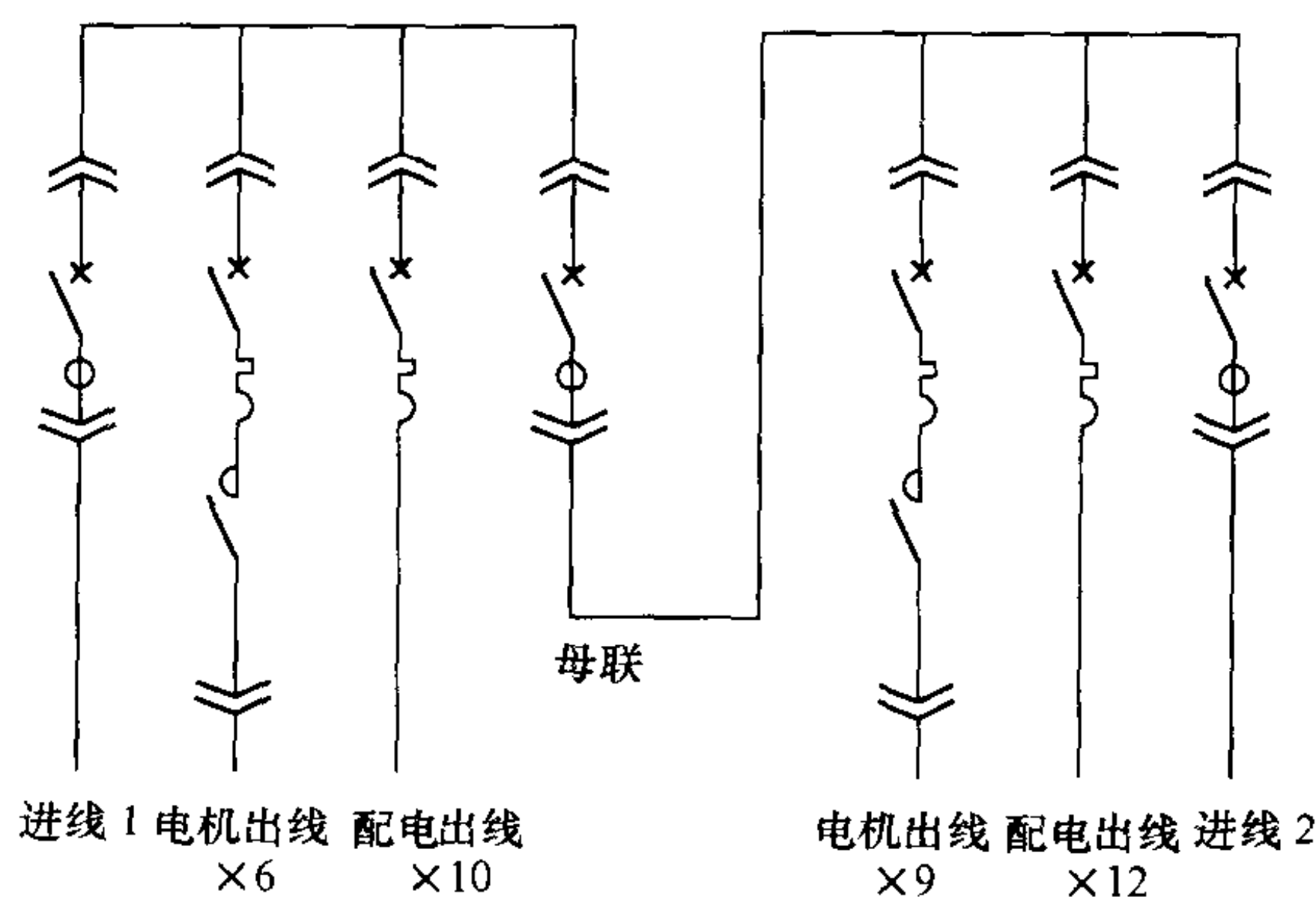


图 6-5 低压 380V 配电系统接线图

母联：当 II 段通过联络开关带 I 段运行，此时 I 段不能进行就地切换的负荷为：二级泵房排水泵、水厂道路照明电磁流量计、二级泵房真空泵、宣教中心照明箱、快滤池、食堂、31 号行政楼动力箱。负荷总计 466.7kW。取同时系数 0.8，为 370kW。保证一台工业水泵和一台工业水泵，则功率为 490kW。当 I 段通过联络开关带 II 段运行，不能进行就地切换的负荷则为：加药间、营房、吊车、33 号厂房电源、LB-4 厂区道路照明、电动阀门、排污泵房、1 号、2 号次氯酸钠发生器、3 号澄清器。负荷总计为 259kW，取同时系数 0.8，为 208kW。保证一台工业水泵、一台工业水泵和一台化学泵，则功率为 358kW。考虑一台变压器带两段负荷，此时每段正常负荷 800A（进线开关在电流达到 1680A 时 13min 动作），联络开关的长延时的设定如下：保护电流值为 800A，拨盘设定 $I_r=0.4 \times 2000=800A$ ， $t_r=12s$ 。则 1.05 倍 800s 动作，1.2 倍 500s 动作，1.5 倍 200s 动作，短延时保护定值考虑一台工业水泵、一台工业水泵同时起动，按照起动电流 6 倍并考虑 20% 的误差，电流为 1720A。加上正常负荷 370kW 则电流值为 2460， $I_{sd}=4I_r=3200A$ 。调节定值至 2500A， $I_{sd}=0.2$ 。速断保护定值 $I_i=2I_n=6000A$ 。

其他的负荷的定值的整定见表 6-5。

表 6-5 用户计算负荷及保护定值

设备名称	安装位置	需要系数	功率因数	计算负荷			保护定值			
							长 延 时			速断定值 (A)
				有功 (kW)	无功 (kW)	视在功率 (kVA)	整定值 (A)	1.2 倍动作时间	1.2 倍动作时间	
1 号生活水泵	I 段	0.8	0.8	36	27	45	100A 无长延时保护			700
2 号生活水泵	I 段	0.8	0.8	36	27	45	100A 无长延时保护			700
1 号化学泵	I 段	0.8	0.8	24	18	30	100A 无长延时保护			500
二级泵房排水泵	I 段	0.5	0.8	0.5	0.3	0.58	16	300	100	190
1 号 2 号工业水泵变频器	I 段	0.6	0.8	126	94.5	157.5	410.13	300	100	2050.65
排水泵动力箱	I 段	0.8	0.8	120	90	150	304	300	100	1216
二级泵房照明箱	I 段	0.8	0.8	8	6	10	32	500	200	400
水厂道路照明箱、电磁流量计	I 段	0.8	0.8	12	9	15	32	500	200	400

续表

设备名称	安装位置	需要系数	功率因数	计算负荷			保护定值			
				有功(kW)	无功(kW)	视在功率(kVA)	长延时			速断定值(A)
							整定值(A)	1.2倍动作时间	1.2倍动作时间	
二级泵房1号2号真空泵	I段	0.8	0.8	4.4	3.36	5.5	20	500	200	300
宣教中心动力箱	I段	0.8	0.8	48	36	60	128	500	200	1250
宣教中心照明	I段	0.8	0.8	40	30	50	100	500	200	1250
高配间直流充电装置	I段	0.8	0.8	12	9	15	40	300	60	500
快滤池	I段	0.8	0.8	60	45	75	160	300	60	1250
食堂	I段	0.8	0.8	105	78.7	131.2	356.94	300	100	1784.7
31号行政楼动力箱	I段	0.8	0.8	100	75	125	200	500	200	1200
消防队	I段	0.8	0.8	20.8	15.6	26	50.4	500	200	500
3号次氯酸钠发生器	I段	0.8	0.8	40	30	50	100	500	200	500
加药间	II段	0.8	0.8	12	9	15	32	500	200	400
营房	II段	0.8	0.8	10	7.5	12.5	40	500	200	500
消防队	II段	0.8	0.8	20.8	15.6	26	50.4	500	200	500
吊车	II段	0.3	0.8	4.5	3.3	5.5	32	500	200	400
二级泵房照明配电箱	II段	0.8	0.8	8	6	10	32	500	200	400
33号厂房电源	II段	0.8	0.8	64	48	80	160	300	100	800
高配间直流备用	II段	0.8	0.8	12	9	15	50.4	500	200	500
厂区道路	II段	0.8	0.8	20.8	15.6	26	64	500	200	640
高配间照明	II段	0.8	0.8	12	9	15	32	500	200	400
电动闸门	II段	0.8	0.8	6.1	4.5	7.5	25	500	200	300
排水泵动力箱	II段	0.8	0.8	108	81	135	304	300	100	1216
排污泵房	II段	0.8	0.8	48	36	60	128	500	200	1250
1号2号次氯酸钠发生器	II段	0.8	0.8	28	21	35	80	500	200	640
3号澄清池	II段	0.8	0.8	6.4	4.8	8	20	500	200	300
3号工业水泵	II段	0.8	0.8	60	45	75	220A 无长延时保护			2200
4号工业水泵	II段	0.8	0.8	108	81	135	320A 无长延时保护			3280
二级泵房检修箱	II段	0.8	0.8	15	30	18.7	100A 无长时保护			600
4号生活水泵	II段	0.8	0.8	36	27	45	100A 无长延时保护			900
3号生活水泵	II段	0.8	0.8	36	27	45	100A 无长延时保护			700
3号化学泵	II段	0.8	0.8	24	18	30	100A 无长延时保护			600
2号化学泵	II段	0.8	0.8	24	18	30	100A 无长延时保护			800

6-9 配电系统自动化的设计原则是什么?

(1) 统一规划, 分步实施, 避免重复建设或推倒重来。

(2) 自动化规划应与配电网改造和发展规划同步, 并相互协调配合, 实现整体投资的综合优化。

(3) 设计的系统和设备应满足下列要求:

1) 系统标准值。各种接口应按国际标准设置, 数据库应使用结构查询语言 SQL。人机界面, 通信规约应遵循有关标准(国家、国际通用标准)。

2) 系统开放性。应遵循标准性规定的操作系统、人机界面和通信接口标准, 并能用标准的结构查询语言访问不同的数据库, 以保证在相同或不同的支撑平面上, 可运行不同的应用程序, 同时应具备用户应用软件的开发环境。

3) 系统集成性。在遵循各种接口标准的基础上, 应能利用系统的开放性, 按照用户要求集成不同厂家的应用软件。

4) 系统可扩充性。软件系统及相关的硬件设备, 应能根据用户要求, 按照不同阶段计划和要求, 灵活配置, 逐步投入、扩展、升级, 以保证投资的可利用性。

5) 系统安全性。应采取措施确保数据存取的安全性, 防止各种病毒的感染。应具有权限管理功能, 各系统间应有隔离措施, 防止相互干扰。

6) 系统可维护性。系统的硬件、软件、数据应便于维护、各部件都应具有自检和联机诊断校验的能力。软件应有备份, 便于安装起动。数据库存取应具有应用程序接口。应保证数据的唯一性和一致性。

(4) 尽量发挥现有系统和设施的作用, 非标准系统可通过必要转换接入标准系统, 尽量延长可用期限。

(5) 尽量选用模块化设计产品, 便于功能扩展和现场升级, 满足系统发展要求, 避免以后重复投资。

(6) 配电系统自动化的信息分为实时、管理和网际三个层次, 信息管理应具有不同层次的安全保护措施, 以保证配电系统自动化的正常工作, 尤其应确保实时系统的安全。

(7) 配电自动化所需基础设备和装置, 应贯彻先进、可靠、实用、经济的方针, 不应盲目攀比。

(8) 在确保功能和质量前提下, 应优先采用国产设备。

(9) 配电系统自动化应综合考虑经济和社会效益。以提高供电安全可靠, 提高工作效率和管理水平, 减少运行费用和各种损耗, 减少维修费用等方面进行分析, 并计算出投资效益。

6-10 配电所自动化设计实例 1 (农村变电所)。

某农村变电所, 某变电容量为 $2 \times 3150\text{kVA}$, 一次进线侧电压为 35kV , 二次出线电压为 10kV , 4 回出线。欲采用重合器模式实现无人值班。试选择变电所主要设备。

根据上述要求可画出电气主接线图如图 6-6 所示。

根据上述要求选择主要设备见表 6-6。

表 6-6

例 1 用主要设备表

序号	名称	数量	型号
1	主变压器	2	S9-3150/35
2	跌落式熔断器	2	RW11-38 II /100
3	隔离开关	4	GW5-35 II /630
4	氧化锌避雷器	1	Y5CZ-42/124
5	SF ₆ 断路器	3	LW3-35/630, LW3-10 II /630
6	重合器 (SF ₆)	4	CHW-10/400-6.3
7	分段器	4	DFW1-10F (W) /100-6.3
8	熔断器	1	RW11-10/100
9	氧化锌避雷器	2	Y5CZ-12.7/41
10	氧化锌避雷器	4	Y5CS-12.7/45
11	电压互感器	2	JSTW-10
12	所用变压器	1	S7-5/10
13	电流互感器		LJW-10
14	隔离开关	5	GW1-10/400
15	隔离开关	1	GW1-10/630
16	隔离开关	1	GW1-35/200
17	熔断器	1	RW7-10/50
18	熔断器		RW7-35/100
19	电压互感器	1	JSJW-35

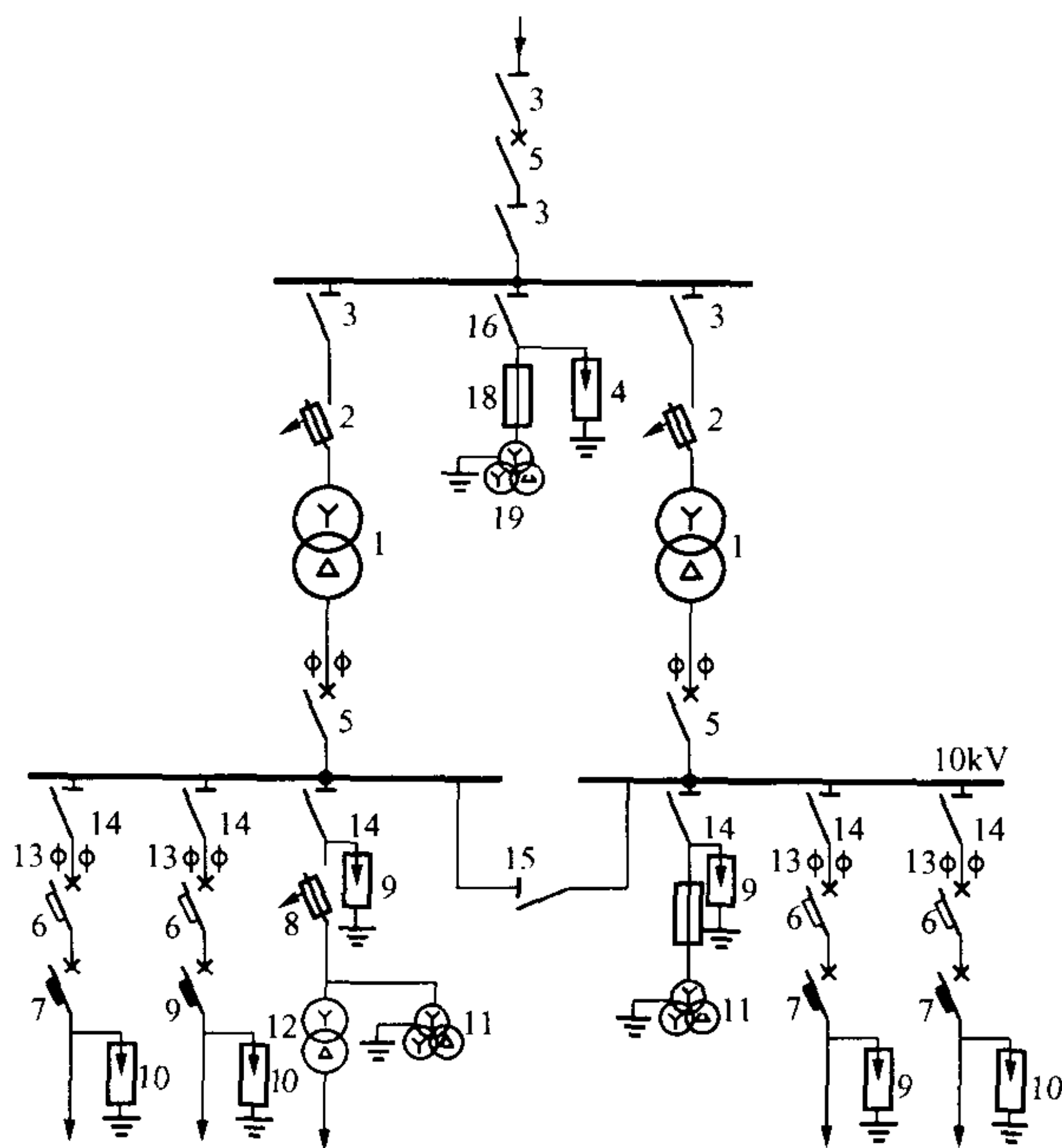


图 6-6 实例 1 用电气接线图

6-11 变电所自动化设计实例 2 (110kV/35kV/10kV 变电站)。

某 110kV 变电站，总容量为 30MVA，有 110kV 进线 1 回，35kV 进线 1 回，10kV 馈线 12 回。配有 110/35/10kV 三圈变压器 1 台，容量为 20/10/10MVA，35/10kV 双圈变压器 1 台，容量为 10MVA。110kV 和 35kV 采用单母线接线，10kV 采用单母线分段，并配有二组 10kV 电容器。在图 6-7 中表示该变电所的电气接线图。

根据系统技术条件，电气主接线图，供电要求和负荷性质要求，决定使用 Power Scada 变电站综合自动化系统。该系统采用分层分布式结构，按无人（或少人）值班要求设计，具备远方/本地控制功能。

选用法国施耐德及中国南瑞测控和保护装置如下：

(1) 110kV 主变压器。主变压器保护配 1 台 Sepam 2000 + D31 主保护及 3 台 Sepaw 1000 + S40 高中低后备保护 1 台，功能有：差动速断，比率差动保护，复合电压闭锁方向过流，过负荷报警；本体轻、重瓦斯、压力释放、温度、控制回路断线检测等。同时具有“四遥”，故障录波，远方/本地控制功能。

(2) 35kV 主变压器。主变压器保护配置 1 台 Sepam 1000 + T87 主保护及 1 台 Sepam

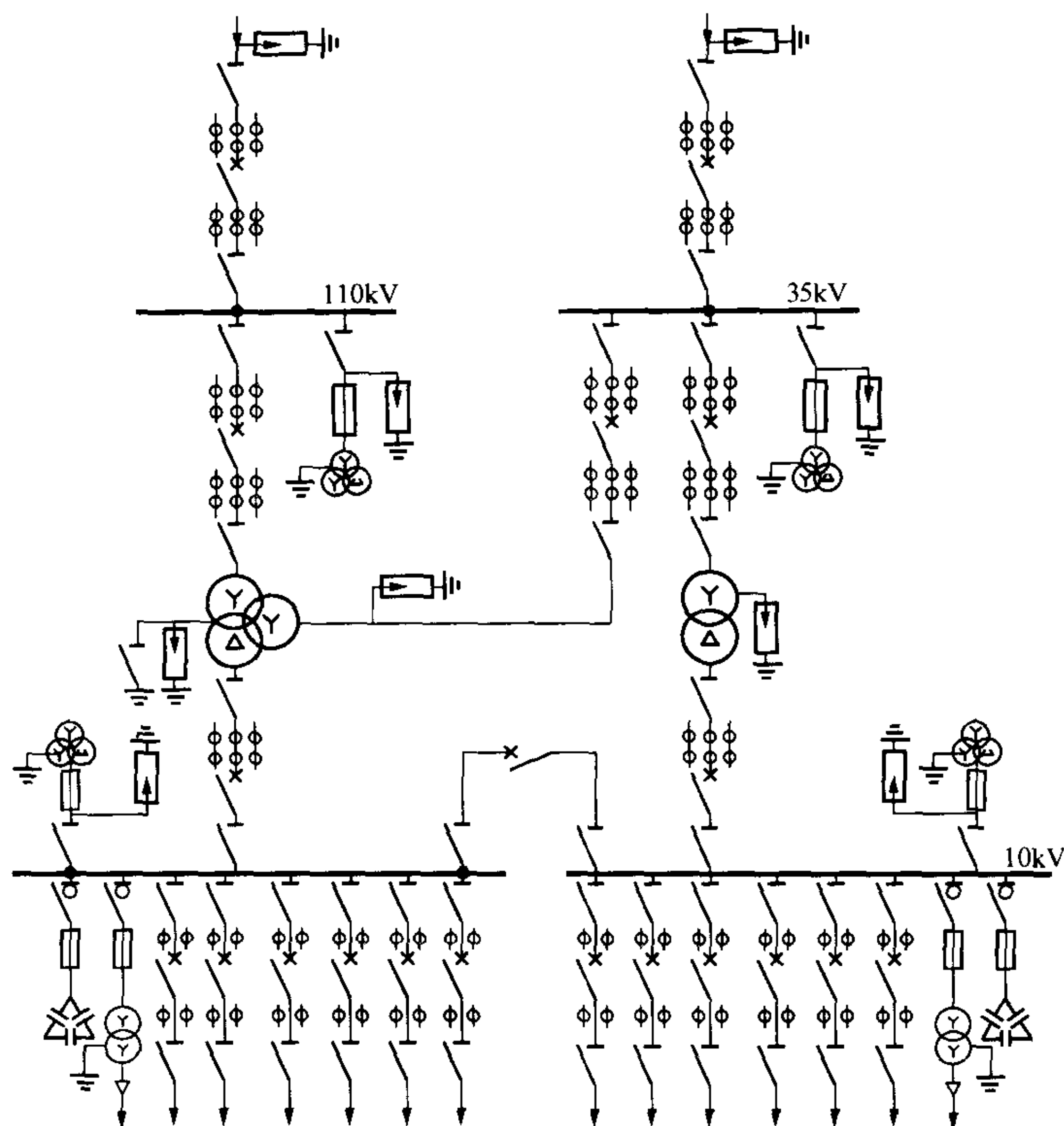


图 6-7 实例 2 电气接线图

1000+S40 后备保护，其功能和 110kV 主变保护相同。

(3) 35kV 进线。进线保护配置 2 台 RCS9613，功能有：光纤差动保护、过流及速断（电压闭锁）、三相一次重合闸（检同期或无压）控制回路断线检测等。具有“四遥”功能，故障录波、远方/就地控制功能。

(4) 10kV 馈线。每条线配置各 1 台 Sepam 1000+S20+PM810，功能有：带时限过流保护、带时限电流速断，零序电流保护（反时限）、三相一次重合闸、过负荷报警、控制回路断检测。具有“四遥”，故障录波、远方/就地控制功能。

(5) 10kV 电容器。每台电容器配置 1 台 Sepam 1000+S40。功能有：时限过流、时限电流速断、零序电流（反时限），过压和欠压，故障录波，控制回路断线检测。具有“四遥”功能，故障录波远方/就地控制功能。

(6) 所用变（共 2 回）。每条馈线配置 1 台 PM810，有“四遥”功能。

(7) 35kV 及 10kV 电压 PT 切换装置（共 2 台）。PT 切换通过专用的 PT 切换装置 DPC40 实现，电压取自 35kV 及 10kV 母线。

本变电站采用分散分布式微机监控系统——Power SCADC 变电站综合自动化系统。按结构和功能可分为三层：间隔层，站级控制层及远方集控中心控制层。

(1) 间隔层：所有保护测控装置及智能监测仪表按一次设备对应分布式配置，各装置相对独立。各装置和仪表通过 RS485 通讯口接入相应的底层 RS485 子网，将有关信息传送至站级通讯管理层。

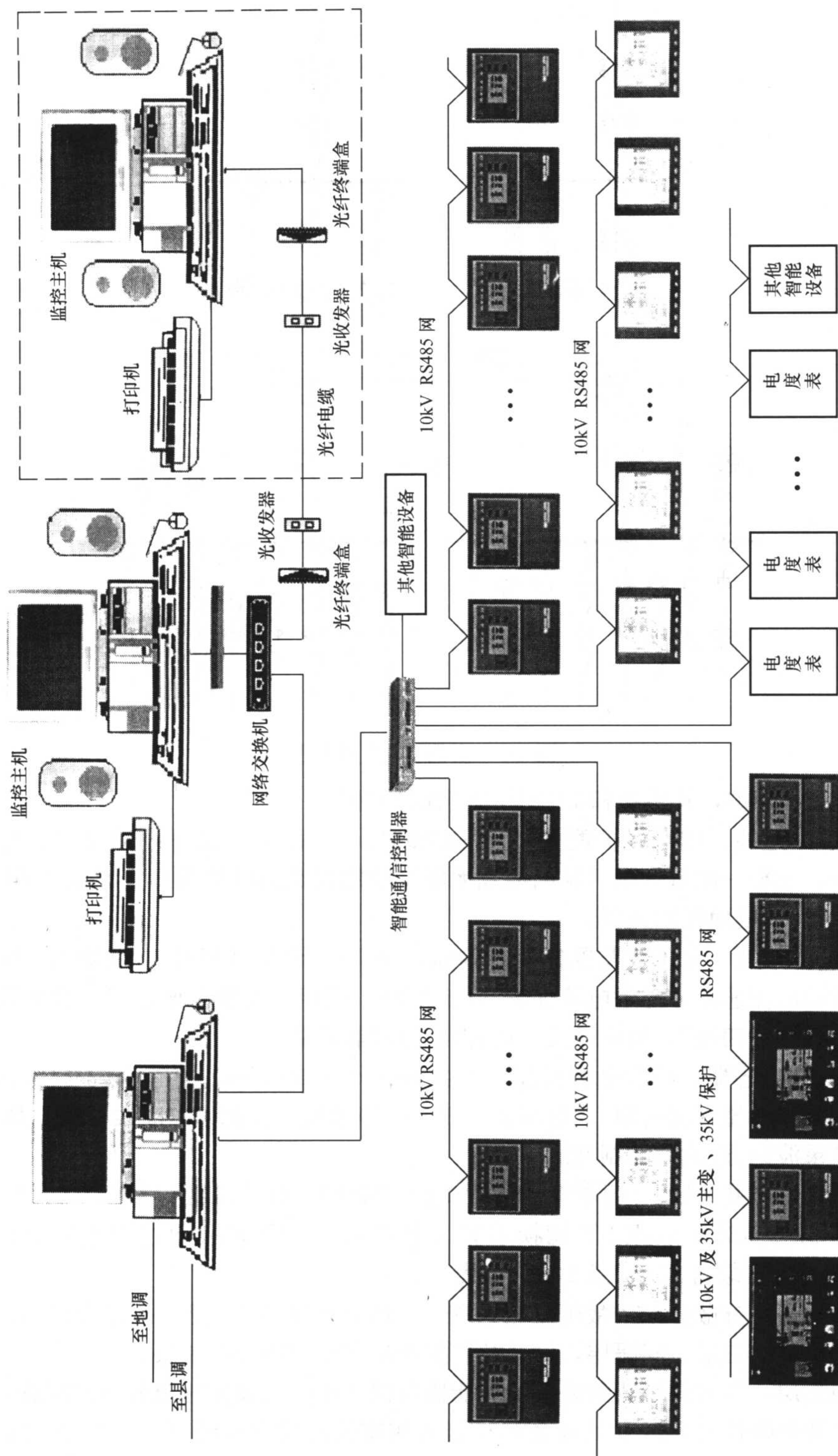


图 6-8 实例 2 的微机监控系统图

(2) 站级主站层：主机采用高性能工控机，软件平台采用专业组态监控软件，可完成供电系统的智能化运行管理。

(3) 远方集控中心：站级监控主机将现场运行数据和事件信息分类，处理，打包后通过局域网或调制解调器上传到主站层，同时，接受并执行主站层下达的各项控制命令。

在图 6-8 中表示了该微机监控的系统图。

监控系统主要性能指标：

- (1) 电流、电压误差： $\leq 0.5\%$ 。
- (2) 功率、电能误差： $\leq 1.0\%$ 。
- (3) 频率精度 $50\text{Hz} \pm 0.01\text{Hz}$ 。
- (4) 事件顺序记录分辨率 (SOE) $\leq 1\text{ms}$ 。
- (5) 画面调用响应时间： $< 1\text{s}$ 。
- (6) 画面实时数据更新周期：2~30s 可调。
- (7) 遥信变位传送时间 $\leq 2\text{s}$ ，遥信处理正确率 100%。
- (8) 遥控变调命令传递时间 $\leq 1\text{s}$ ，正确率 100%。
- (9) 系统可用率不小于 99.99%。
- (10) 系统平均无故障时间 MTBF 不小于 100000h。
- (11) CPU 负载率 $< 30\%$ 。

通信及后台监控设备清单见表 6-7。

表 6-7 通信及后台监控设备清单

序号	设备名称	规格型号	单位	数量	备注
1	通信前置机	工控机：PIV2.0GHz，256M/40GHD，3.5 寸软驱，52 倍速光驱，彩色图形卡，键盘，鼠标等	套	1	台湾研华
2	监控主机	工控机：PIV2.0GHz，256M/40GHD，3.5 寸软驱，CD-RW，彩色图形卡，声卡，音箱，键盘，鼠标	套	2	台湾研华
3	智能通讯器	GI134I	块	2	台湾 MOXA
4	大屏幕彩显	17 英寸纯平	台	2	三星
5	打印机	A3 激光打印机	台	2	HP
6	UPS	山特 1kVA	台	2	合资
7	网络配件	光纤盒、光纤跳线等网络附件	批	1	国产
8	屏蔽双绞线	RVVP 2×0.75	km	0.6	国产
9	监控电脑台椅等		套	1	国产
10	通信及后台 监控软件	系统软件	套	3	施耐德 (北京) 中压
		人机交互软件	套	3	
		系统组态软件	套	3	
		图形组态软件	套	3	
		系统通讯软件	套	3	
		调度通讯软件	套	3	
		其他通讯软件	套	3	
		调试软件	套	1	

[G e n e r a l I n f o r m a t i o n]

S S 号 = 1 1 7 1 1 2 7 1

书名 = 中低压配电设备选型与使用 2 0 0 例

页数 = 2 6 9

作者 = 周武仲, 胡静编

出版社 = 中国电力出版社

出版日期 = 2 0 0 6

封面
书名
版权
前言
目录

第一章	中低压配电设备应用状况
1 - 1	我国中低压配电设备应用状况如何？
1 - 2	我国的配电设备自动化状况如何？
1 - 3	我国中低压配电设备的发展方向 and 展望是什么？
第二章	中低压配电系统基础知识
第一节	电力系统基本知识
2 - 1	电力系统运行特点和基本要求是什么？
2 - 2	电能质量的各项指标是什么？
2 - 3	我国规定的用电设备、发电机、变压器等元件的额定电压是什么？
2 - 4	电力网中性点运行方式及对应的电压等级有哪些？
第二节	电气主接线
2 - 5	电气主接线的主要形式及对电气主接线的基本要求是什么？
2 - 6	各种主接线中主要电气设备的配置原则是什么？
2 - 7	供配电系统中有哪些限制短路电流的方法？
第三节	短路电流计算
2 - 8	短路电流计算有哪些项目？
2 - 9	短路电流计算的近似条件是什么？
2 - 10	计算短路电流的目的是什么？什么是无限大容量电源供电和有限容量电源供电系统？
2 - 11	短路电流的物理量的定义和关系是什么？
2 - 12	无限大容量电源供电的高（中）压电网的三相短路电流是如何计算的？
2 - 13	有限容量电源供电的高（中）压电网的三相短路电流是如何计算的？
2 - 14	多个电源供电的三相短路电流是如何计算的？
2 - 15	什么是网络变换，有哪些变换方法？
2 - 16	电动机对短路电流有什么影响？
2 - 17	什么是短路电流的效应？
2 - 18	低压电网的短路电流是如何计算的？
2 - 19	不对称短路电流是如何计算的？
2 - 20	短路电流计算实例 1（供电系统）。
2 - 21	短路电流计算实例 2（带发电机）。
2 - 22	短路电流计算实例 3（用计算机计算）。
2 - 23	短路电流计算实例 4（带电动机）。
2 - 24	短路电流计算实例 5（低压电网）。
2 - 25	短路电流计算实例 6（不对称短路）。
第四节	过电压保护和接地
2 - 26	电力系统过电压的种类有哪些？采取什么保护措施？
2 - 27	雷电过电压的特性是什么？
2 - 28	接地，接地电阻，接触电压和跨步电压的基本概念是什么？
2 - 29	避雷针、避雷线保护范围是如何确定的？
2 - 30	3 ~ 110 kV 电压的发电厂和变电所对雷电侵入波采取什么过电压保护？
2 - 31	电源中性点直接接地低压配电系统有哪些保护接地形式？
第三章	低压配电设备的选型和使用
第一节	低压配电设备的选择的一般条件
3 - 1	什么是低压配电设备及低压配电整体方案？
3 - 2	低压配电设备的选择有哪些条件？
3 - 3	低压配电线路中几种保护型式的动作要求和特点？
3 - 4	整定的基本要求及计算方法是什么？
3 - 5	什么是限流型断路器的级联技术，如何选择级联产品？
第二节	低压熔断器的选型
3 - 6	低压熔断器的功能和原理是什么，都有哪些分类？
3 - 7	低压熔断器都有哪些主要技术参数？
3 - 8	国内常见的低压熔断器都有哪些？
3 - 9	低压熔断器的选用原则是什么？
3 - 10	熔断器选型使用实例。
第三节	低压接触器的选型与实例
3 - 11	什么是接触器，接触器有哪些用途，如何分类？

- 3 - 1 2 低压接触器都有哪些主要技术参数？
- 3 - 1 3 常见的低压交流接触器都有哪些？
- 3 - 1 4 低压接触器的选用原则是什么？
- 3 - 1 5 低压交流接触器的选型使用实例。
- 第四节 低压断路器的选型与实例
 - 3 - 1 6 低压断路器都有哪些功能、用途及其结构和分类？
 - 3 - 1 7 低压断路器都有哪些主要技术参数？
 - 3 - 1 8 低压断路器都有哪些选用原则？
 - 3 - 1 9 常见的低压断路器有哪些？
 - 3 - 2 0 框架式断路器选型使用实例。
 - 3 - 2 1 塑壳式断路器选型使用实例。
 - 3 - 2 2 微型断路器选型使用实例。
- 第五节 低压起动器的选型与使用
 - 3 - 2 3 低压起动器都有哪些用途和分类？
 - 3 - 2 4 低压起动器都有哪些选用原则？
 - 3 - 2 5 电机起动器的选型使用实例。
- 第六节 低压开关、隔离器、隔离开关及熔断器组合电器的选型与使用
 - 3 - 2 6 低压开关、隔离器、隔离开关、熔断器组合电器都有哪些分类和用途？
 - 3 - 2 7 隔离开关有哪些选用原则？
 - 3 - 2 8 负荷开关有哪些选用原则？
 - 3 - 2 9 组合电器有哪些选用原则？
 - 3 - 3 0 常见的隔离开关和刀熔开关有哪些？
 - 3 - 3 1 隔离刀开关选型使用实例。
 - 3 - 3 2 熔断器刀开关（刀熔开关）选型使用实例。
- 第七节 低压电线、电缆的选型与使用
 - 3 - 3 3 低压电线、电缆有哪些用途、分类与型号？
 - 3 - 3 4 低压电线、电缆有哪些选用原则？
 - 3 - 3 5 低压电线、电缆的选型与使用实例。
- 第八节 低压成套配电装置的选型与使用
 - 3 - 3 6 低压成套配电装置有哪些用途、分类与型号？
 - 3 - 3 7 低压成套配电装置有哪些主要技术指标？
 - 3 - 3 8 低压成套配电装置有哪些选用原则？
 - 3 - 3 9 都有哪些常见的低压成套配电设备？
- 第九节 低压电涌保护器的选型与使用
 - 3 - 4 0 低压电涌保护器的用途、分类与动作原理是什么？
 - 3 - 4 1 低压电涌保护器有哪些主要技术指标？
 - 3 - 4 2 低压电涌保护器有哪些选用和配合原则？
 - 3 - 4 3 常见的电涌保护器有哪些？
 - 3 - 4 4 电涌保护器的选型和使用实例。
- 第四章 中压配电设备的选型与使用
 - 第一节 中压配电设备的一般条件
 - 4 - 1 中压配电设备的正常使用条件是什么？
 - 4 - 2 中压配电设备主要参数如何选择？
 - 第二节 变压器选型与使用
 - 4 - 3 电力变压器是怎么分类的？
 - 4 - 4 电力变压器有哪些参数和特性？
 - 4 - 5 如何选择电力变压器的台数和容量？
 - 4 - 6 配电变压器选型使用实例 1。
 - 4 - 7 配电变压器选型使用实例 2。
 - 第三节 三相异步电动机的选型和使用
 - 4 - 8 三相异步电动机三种运行状态如何判断？
 - 4 - 9 试说明异步电动机的工作特性。
 - 4 - 1 0 试说明异步电动机的起动方法。
 - 4 - 1 1 试说明异步电动机常用的调速方法。
 - 4 - 1 2 异步电动机的选型原则及实例说明。
 - 4 - 1 3 异步电动机的主要参数有哪些？
 - 第四节 中压断路器的选型和使用
 - 4 - 1 4 中压断路器是如何分类的？
 - 4 - 1 5 中压断路器的主要参数有哪些？
 - 4 - 1 6 如何对中压断路器选型及实例说明。

第五节 中压熔断器的选型和使用

- 4 - 1 7 中压熔断器的分类和用途是什么？
- 4 - 1 8 中压熔断器的主要参数和特性有哪些？
- 4 - 1 9 中压熔断器是如何选择的？
- 4 - 2 0 举例说明中压熔断器的选型。

第六节 隔离开关的选型和使用

- 4 - 2 1 中压隔离开关用途是什么？如何分类？
- 4 - 2 2 如何选择中压隔离开关？
- 4 - 2 3 中压隔离开关的主要参数有哪些？
- 4 - 2 4 试举例说明中压隔离开关的选型。

第七节 中压负荷开关的选型和使用

- 4 - 2 5 中压负荷开关的用途是什么？如何分类？
- 4 - 2 6 如何选择中压负荷开关？
- 4 - 2 7 中压负荷开关有哪些技术参数？
- 4 - 2 8 中压负荷开关如何和熔断器配合？
- 4 - 2 9 中压负荷开关 + 熔断器组合电器的选型实例。

第八节 互感器的选型和使用

- 4 - 3 0 电压互感器有什么用途？如何分类？
- 4 - 3 1 电压互感器的主要参数有哪些？
- 4 - 3 2 电压互感器有哪些接线方式，各自用途是什么？
- 4 - 3 3 如何选择电压互感器？
- 4 - 3 4 使用电压互感器应注意什么？
- 4 - 3 5 电压互感器的选型实例。
- 4 - 3 6 电流互感器有什么用途？如何分类？
- 4 - 3 7 电流互感器的主要参数有哪些？
- 4 - 3 8 电流互感器的接线方式有哪些？各自用途是什么？
- 4 - 3 9 使用电流互感器的注意事项有哪些？
- 4 - 4 0 如何选择电流互感器？
- 4 - 4 1 电流互感器的选型实例。

第九节 避雷器的选型与使用

- 4 - 4 2 避雷器的用途是什么？如何分类？
- 4 - 4 3 避雷器的主要参数有哪些？
- 4 - 4 4 如何选择避雷器？
- 4 - 4 5 避雷器的选型实例。

第十节 并联电容器的选型与使用

- 4 - 4 6 并联电容器有什么用途？如何分类？
- 4 - 4 7 并联电容器是如何补偿无功的？
- 4 - 4 8 试述并联电容器的接法。
- 4 - 4 9 并联电容器的主要参数有哪些？
- 4 - 5 0 并联电容器组的选择实例。

第十一节 电线、电缆的选型和使用

- 4 - 5 1 电线有什么用途？如何分类？
- 4 - 5 2 电线是如何选择的？
- 4 - 5 3 架空导线截面的选择实例。
- 4 - 5 4 绝缘电线的选择实例。
- 4 - 5 5 电缆有什么用途？如何分类？
- 4 - 5 6 如何选择电力电缆？
- 4 - 5 7 电力电缆的选型实例。

第十二节 高（中）压成套配电装置的选型与使用

- 4 - 5 8 高（中）压成套配电装置有什么用途？如何分类？
- 4 - 5 9 如何选择高压开关柜？
- 4 - 6 0 高压成套配电装置的选型实例。

第十三节 电源设备的选型和使用

- 4 - 6 1 电源设备有什么用途？如何分类？
- 4 - 6 2 如何选择电源设备？
- 4 - 6 3 电源设备的选型实例。

第五章 配电自动化装置的选型和使用

- 5 - 1 试述配电自动化及其装置的基本组成。
- 5 - 2 试述自动重合器的分类及特点。
- 5 - 3 自动重合器的主要参数有哪些？

- 5 - 4 如何选择自动重合器？
 - 5 - 5 自动重合器如何和其他设备相配合？
 - 5 - 6 自动分段器如何分类？特点是什么？
 - 5 - 7 自动分段器的主要参数有哪些？
 - 5 - 8 如何选择自动分段器？
 - 5 - 9 试说明电子分段器和重合器的配合。
 - 5 - 10 什么是自动配电开关？
 - 5 - 11 自动配电开关的主要参数有哪些？
 - 5 - 12 试说明自动配电开关与重合器的配合使用。
 - 5 - 13 中压系统对继电保护有哪些规定？
 - 5 - 14 继电保护装置如何进行选用？
 - 5 - 15 如何选用自动重合闸装置？
 - 5 - 16 如何选用低周波减载装置？
 - 5 - 17 如何选用备用电源自投装置？
 - 5 - 18 配电网自动化设备的运行管理的内容是什么？
- 第六章 中低压配电系统设计实例
- 6 - 1 中压配电系统的设计原则是什么？
 - 6 - 2 中压供配电系统设计的基础技术资料有哪些？
 - 6 - 3 中压配电系统的设计实例 1（变电所的设计）。
 - 6 - 4 中压配电系统的设计实例 2（居民住宅小区配电系统）。
 - 6 - 5 火力发电厂电气系统的设计实例 3（中压电气系统）。
 - 6 - 6 低压配电系统的设计原则是什么？
 - 6 - 7 低压配电系统的设计实例 1（钢厂的低压系统）。
 - 6 - 8 低压配电系统的设计实例 2（电站的低压系统）。
 - 6 - 9 配电系统自动化的设计原则是什么？
 - 6 - 10 配电所自动化设计实例 1（农村变电所）。
 - 6 - 11 变电所自动化设计实例 2（110 kV / 35 kV / 10 kV 变电站）。