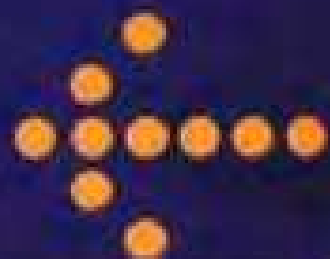


李洋 主编

维修电工



操作技能手册



案头必备
良师益友



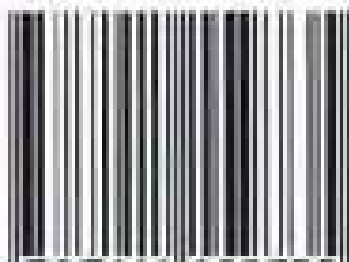
机械工业出版社
CHINA MACHINE PRESS

- ISBN 7-111-15873-X/TM·1346
- 封面设计 / 电脑制作：陈沛

《维修电工操作技能手册》

- 权威性**——依据最新颁布的《国家职业标准·维修电工》的技能要求编写。
- 实用性**——坚持“少而精”的原则，既面向生产实际，又注重基本知识，将技能知识与工艺知识有机结合，使读者就将理论知识付诸于实践，收效于实用。
- 可读性**——通俗易懂，图文并茂。
- 针对性**——本手册定位于初中级维修电工，重点介绍初中级维修电工的基本操作技能和常用数据、资料。

ISBN 7-111-15973-X



9 787111 159735 >

定价：29.00元

中国电力出版社
地址：北京三里河路66号
电话：(010) 67706600
http://www.cpe.com.cn

维修电工操作技能手册

主 编 李 洋
副主编 潘渊颖
主 审 曾建唐



机械工业出版社

本手册针对初、中级维修电工应具备的基本操作技能，系统地介绍了有关操作的技能技巧。主要内容包括：电工符号和标准、电工材料的选用、常用工具和仪器仪表的使用与维护、电工基本操作技能、照明线路、变压器和电动机的检修、常用低压电器和电气控制基本线路的原理与维修、典型生产机械的电气控制线路、电子元器件与电子线路。

本书可作为维修电工必备的工具书，还可供相关专业的学生作为工程实训参考，也可供工程技术人员参考。

图书在版编目 (CIP) 数据

维修电工操作技能手册/李洋主编. —北京：机械工业出版社，2005.2

ISBN 7 - 111 - 15973 - X

I. 维… II. 李 III. 电工 - 维修 - 技术手册
IV. TM07 - 62

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2004) 第 142746 号

机械工业出版社 (北京市百万庄大街 22 号 邮政编码 100037)

责任编辑：何月秋 版式设计：冉晓华 责任校对：姚培新

封面设计：陈 沛 责任印制：洪汉军

北京京丰印刷厂印刷 · 新华书店北京发行所发行

2005 年 2 月第 1 版 · 第 1 次印刷

850mm × 1168mm 1/32 · 14.75 印张 · 2 插页 · 394 千字

0 001—5 000 册

定价：29.00 元

凡购本书，如有缺页、倒页、脱页，由本社发行部调换

本社购书热线电话 (010) 68993821 88379646

68326294 68320718

封面无防伪标均为盗版

前 言

本书以国家最新颁布的《国家职业标准——维修电工》的操作技能训练要求为依据，坚持“少而精”的原则，既面向生产，又注重基础知识的阐述，将其与技能知识和工艺知识相结合。将所学的理论知识付诸于实践而收效于实用。

本手册针对维修电工操作应掌握的技能，收集了大量生产中实用的技术资料，结合了编者的实践经验，着重理论联系实际，突出实际操作，其内容按通俗、易懂原则，图文并茂，操作手段灵活多样。全书共分12章：有供查阅的常用电工标准和电工材料，实用工具及仪器仪表的选用与维护。初、中级维修电工应具备的基本操作技能，照明装置和线路的选择与安装、变压器和电动机的运行与检修，低压电器及其故障的排除，电气控制基本环节和常用机床的电气控制线路与机床电气设备的维修。最后还介绍了常见的电子元器件、新器件、复合器件和相应的线路。

本书由李洋任主编，潘渊颖任副主编，曾建唐任主审。全书由李洋统稿。第一、三、五章及第四章的第二、三节由潘渊颖编写，第十二章的第一、四节和第七章的第一、二节由许昌英编写，徐清编写了第四章的第一节和第七章的第五节，并协助编写第八章第五节的部分内容，第十二章的第二、三节由郑敏华编写，第七章的第三、四节由姜华编写，第二、六、八、九、十、十一章由李洋编写。童志宝、武红军对本书提出了不少建议，在此表示衷心感谢。

本书可作为广大维修电工必备的工具书，还可供相关专业的学生作为工程实训的参考书。

由于我们才疏学浅，错误之处在所难免，敬请广大读者批评指正。

编 者

目 录

前言

| | |
|----------------------------|----|
| 第一章 电气符号和标准 | 1 |
| 第一节 常用计量单位 | 1 |
| 一、常用国际单位 | 1 |
| 二、电工常用法定计量单位 | 2 |
| 三、电工常用计算公式 | 3 |
| 第二节 电气符号与识图 | 4 |
| 一、文字符号 | 5 |
| 二、图形符号 | 5 |
| 三、电气识图 | 20 |
| 四、电气识图的基本方法和步骤 | 24 |
| 第三节 电气标准与电气安全 | 26 |
| 一、颜色标准 | 26 |
| 二、电气安全用具的实验标准 | 29 |
| 三、安全电压标准 | 29 |
| 四、安全距离标准 | 30 |
| 五、安全牌 | 30 |
| 六、电工产品的安全认证 | 33 |
| 七、世界著名电气企业及标志 | 35 |
| 第二章 电工基本操作技能 | 39 |
| 第一节 钳工操作技能基础 | 39 |
| 一、錾削 | 39 |
| 二、锉削 | 40 |
| 三、锯削 | 42 |
| 四、钻孔 | 43 |
| 五、攻螺纹和套螺纹 | 44 |

| | |
|--------------------------|-----------|
| 六、弯曲 | 46 |
| 七、装配工艺 | 48 |
| 第二节 电工安全知识 | 49 |
| 一、电流对人体的危害 | 49 |
| 二、安全电压 | 50 |
| 三、触电的急救处理 | 51 |
| 第三节 绝缘导线的连接 | 55 |
| 一、剥削绝缘层 | 55 |
| 二、导线的连接 | 56 |
| 第四节 登高与绳子结扣 | 61 |
| 一、登高工具 | 61 |
| 二、常见的绳子结扣 | 64 |
| 第五节 安全操作技术措施 | 65 |
| 一、停电 | 65 |
| 二、验电 | 66 |
| 三、装设接地地线 | 66 |
| 四、悬挂标示牌和装设遮栏 | 68 |
| 第三章 常用工具的使用 | 69 |
| 第一节 常用电工工具 | 69 |
| 一、验电器 | 69 |
| 二、钢丝钳 | 71 |
| 三、尖嘴钳和斜口钳 | 71 |
| 四、螺钉旋具 | 71 |
| 五、剥线钳 | 73 |
| 六、活扳手 | 74 |
| 七、电工刀 | 75 |
| 八、电烙铁 | 75 |
| 第二节 专用工具 | 76 |
| 一、喷灯 | 76 |
| 二、射钉枪 | 77 |
| 三、冲击钻和电锤 | 77 |
| 四、拆卸器 | 78 |



| | |
|----------------------------------|------------|
| 五、刮板 | 78 |
| 六、电热烘箱 | 79 |
| 七、压接钳 | 79 |
| 八、断线钳 | 81 |
| 第三节 常用量具 | 81 |
| 一、钢直尺 | 82 |
| 二、钢卷尺 | 82 |
| 三、游标卡尺 | 82 |
| 四、外径千分尺 | 84 |
| 第四章 常用电工仪表与仪器的使用和维护 | 86 |
| 第一节 电工仪表的结构形式和表盘标志符号 | 86 |
| 一、电工仪表的结构形式及准确度等级 | 86 |
| 二、电工仪表的标志符号 | 88 |
| 三、电工仪表的选择 | 89 |
| 第二节 常用电工仪表 | 91 |
| 一、电流表 | 91 |
| 二、电压表 | 95 |
| 三、万用表 | 98 |
| 四、功率表 | 103 |
| 五、电能表 | 107 |
| 六、兆欧表 | 107 |
| 第三节 常用电工仪器 | 114 |
| 一、电桥 | 114 |
| 二、示波器 | 117 |
| 三、晶体管特性图示仪 | 122 |
| 第五章 电工材料的选用 | 130 |
| 第一节 电线和电缆 | 130 |
| 一、裸导线 | 130 |
| 二、电磁线 | 132 |
| 三、电气设备用电线电缆 | 134 |
| 第二节 绝缘材料 | 142 |
| 一、绝缘材料的分类 | 142 |

| | |
|-----------------------------|------------|
| 二、绝缘油 | 143 |
| 三、绝缘漆和胶 | 144 |
| 四、绝缘、浸渍纤维制品及电工层压制品 | 145 |
| 五、电工用塑料、绝缘薄膜及其制品 | 146 |
| 第三节 磁性材料 | 147 |
| 一、软磁材料 | 147 |
| 二、硬磁材料 | 149 |
| 第六章 照明装置和线路的安装 | 151 |
| 第一节 照明装置 | 151 |
| 一、工厂常用的电光源 | 151 |
| 二、工厂常用照明灯具类型的选择 | 152 |
| 第二节 照明装置的安装和维修 | 152 |
| 一、白炽灯 | 152 |
| 二、荧光灯 | 161 |
| 三、其他灯具安装时的注意事项 | 164 |
| 四、照明线的安装要求 | 165 |
| 第三节 导线规格及选用 | 166 |
| 一、导线的型号 | 166 |
| 二、导线的选用 | 167 |
| 三、导线的检查与保存 | 169 |
| 第四节 照明线路安装 | 169 |
| 一、接户线的一般要求 | 169 |
| 二、表线的安装 | 170 |
| 三、护套线线路安装 | 171 |
| 四、线管配线 | 175 |
| 五、线路质量检验 | 177 |
| 六、线路维修 | 178 |
| 第五节 安全接地 | 182 |
| 一、保护接地的作用 | 182 |
| 二、保护接零 | 183 |
| 三、重复接地 | 184 |
| 四、接地装置 | 184 |



| | |
|------------------------------------|-----|
| 第七章 变压器 | 187 |
| 第一节 变压器的分类和原理 | 187 |
| 一、变压器的分类和用途 | 187 |
| 二、变压器的原理 | 188 |
| 三、变压器的铭牌参数 | 190 |
| 第二节 变压器的结构与绕组连接 | 192 |
| 一、变压器的结构 | 192 |
| 二、变压器绕组的极性测定 | 195 |
| 三、三相变压器绕组的连接 | 196 |
| 第三节 变压器运行维护 | 198 |
| 一、运行中的检查 | 199 |
| 二、电力变压器运行的故障分析及排除方法 | 199 |
| 第四节 特殊用途的变压器 | 201 |
| 一、自耦变压器 | 201 |
| 二、互感器 | 201 |
| 三、电焊机 | 206 |
| 第五节 小型变压器的设计及绕制 | 212 |
| 一、小型单相变压器的设计 | 212 |
| 二、小型单相变压器设计举例 | 217 |
| 三、小型变压器的绕制 | 219 |
| 第八章 电动机的检修 | 225 |
| 第一节 电动机的基础知识 | 225 |
| 一、电动机的种类和用途 | 225 |
| 二、异步电动机的工作原理 | 226 |
| 三、异步电动机的结构 | 227 |
| 四、异步电动机的铭牌和型号 | 230 |
| 第二节 异步电动机一般常见故障的判断及维修 | 233 |
| 一、异步电动机的日常维护检查 | 233 |
| 二、异步电动机的例行维护和检查 | 235 |
| 三、异步电动机一般常见故障的判断及维修 | 236 |
| 第三节 电动机的拆装 | 241 |
| 一、拆卸前的准备工作 | 241 |



| | |
|---------------------------|-----|
| 二、拆卸方法和步骤 | 241 |
| 三、修后装配 | 242 |
| 第四节 中、小型异步电动机绕组 | 245 |
| 一、绕组的基本术语 | 245 |
| 二、三相异步电动机定子绕组的分类和连接 | 247 |
| 三、绕组的排列 | 249 |
| 第五节 绕组的修理 | 252 |
| 一、定子绕组故障的检修 | 252 |
| 二、转子绕组故障的检修 | 256 |
| 三、定子绕组重绕工艺 | 258 |
| 第六节 电动机修复后的试验 | 266 |
| 一、试验前的检查 | 266 |
| 二、绝缘试验 | 266 |
| 三、空载运转试验 | 268 |
| 四、温升试验 | 269 |
| 五、超速试验 | 269 |
| 第七节 单相异步电动机 | 269 |
| 一、单相异步电动机的结构 | 270 |
| 二、单相异步电动机的起动 | 270 |
| 三、单相异步电动机的常见故障及处理 | 271 |
| 四、单相异步电动机的嵌线 | 273 |
| 第八节 直流电动机 | 274 |
| 一、直流电动机的构造 | 274 |
| 二、直流电动机运行故障的检查与处理 | 278 |
| 三、直流电动机火花等级的鉴别 | 280 |
| 四、轴承的使用与维修 | 280 |
| 五、转子的平衡 | 284 |
| 第九节 同步电动机 | 285 |
| 一、同步电动机的基本结构 | 286 |
| 二、同步电动机的工作原理 | 287 |
| 三、同步电动机的起动 | 287 |
| 第十节 控制电机 | 288 |



| | |
|----------------------|------------|
| 一、测速发电机 | 288 |
| 二、伺服电动机 | 289 |
| 三、电磁调速电动机 | 291 |
| 四、交磁电机扩大机 | 293 |
| 第九章 常用低压电器的选用 | 296 |
| 第一节 电器的基本知识 | 296 |
| 一、电器的分类 | 296 |
| 二、电磁式电器的基本结构 | 297 |
| 三、低压电器的灭弧 | 298 |
| 第二节 开关电器 | 299 |
| 一、刀开关 | 299 |
| 二、组合开关 | 302 |
| 三、断路器 | 302 |
| 四、漏电保护断路器 | 306 |
| 五、倒顺开关 | 307 |
| 第三节 熔断器 | 307 |
| 一、熔体的电流选择 | 308 |
| 二、使用熔断器的注意事项 | 308 |
| 第四节 主令电器 | 310 |
| 一、按钮 | 310 |
| 二、位置开关 | 311 |
| 三、凸轮控制器 | 314 |
| 第五节 接触器 | 317 |
| 一、接触器的工作原理 | 317 |
| 二、接触器的主要类型和技术参数 | 318 |
| 三、接触器的选择 | 318 |
| 第六节 继电器 | 319 |
| 一、电磁式继电器 | 320 |
| 二、时间继电器 | 320 |
| 三、热继电器 | 323 |
| 四、速度继电器 | 326 |
| 五、固态继电器 | 327 |

| | |
|-------------------------------|------------|
| 第七节 其他控制器件 | 328 |
| 一、牵引电磁铁 | 328 |
| 二、液压控制元件 | 328 |
| 第八节 低压电器故障的排除 | 329 |
| 一、接触器的故障及修理 | 330 |
| 二、接触器简单的维护 | 330 |
| 三、继电器的故障及维修 | 331 |
| 四、时间继电器的故障及维修 | 331 |
| 五、速度继电器的故障及维修 | 332 |
| 第十章 电气控制的基本电路和安装 | 333 |
| 第一节 安全操作规定及工艺规定 | 333 |
| 一、安全操作规定 | 333 |
| 二、识读电气图 | 334 |
| 三、板前布线安装工艺规定 | 335 |
| 四、塑料槽板布线工艺规定 | 338 |
| 五、线束布线工艺规定 | 339 |
| 第二节 三相笼型异步电动机全压起动控制 | 339 |
| 一、利用刀开关、熔丝的控制 | 339 |
| 二、利用组合开关的控制 | 340 |
| 三、利用低压断路器的控制 | 340 |
| 四、利用电磁起动器的控制 | 341 |
| 五、点动控制 | 343 |
| 六、顺序控制 | 345 |
| 七、正反转控制 | 346 |
| 第三节 三相笼型异步电动机减压起动控制 | 349 |
| 一、自耦补偿减压起动 | 349 |
| 二、星形—三角形减压起动 | 350 |
| 第四节 三相绕线转子异步电动机起动控制 | 352 |
| 第五节 三相笼型异步电动机制动控制 | 354 |
| 一、能耗制动 | 354 |
| 二、反接制动 | 354 |
| 三、注意事项 | 356 |



| | |
|------------------------------------|------------|
| 第六节 三相笼型异步电动机的转速控制 | 357 |
| 第七节 直流电动机的控制 | 358 |
| 一、并励直流电动机电枢回路串电阻的起动与调速控制 | 358 |
| 二、改变并励直流电动机励磁电压极性的反转控制 | 360 |
| 三、注意事项 | 361 |
| 第八节 变频器及异步电动机的变频调速 | 362 |
| 一、变频器的分类 | 362 |
| 二、变频器的原理及功能 | 363 |
| 三、异步电动机的变频调速 | 364 |
| 四、变频器的使用 | 364 |
| 第十一章 典型生产机械的电气控制电路和维修 | 368 |
| 第一节 机床电气设备的维修 | 368 |
| 一、对机床电路进行分析的方法和步骤 | 368 |
| 二、机床电气设备的日常维护和保养 | 369 |
| 三、机床电气设备的故障分析和检修 | 369 |
| 第二节 车床的电气控制(CA6140) | 371 |
| 一、控制电路 | 371 |
| 二、保护环节 | 372 |
| 第三节 磨床的电气控制(M-7475B) | 374 |
| 一、主要结构及特点 | 374 |
| 二、控制电路分析 | 375 |
| 第四节 摇臂钻床的电气控制(Z-3040) | 379 |
| 一、机床的主电路 | 380 |
| 二、控制电路 | 380 |
| 三、摇臂钻床的电气控制特点 | 383 |
| 第五节 铣床的电气控制(X62W) | 383 |
| 一、主电路分析 | 383 |
| 二、主轴电动机控制电路分析 | 383 |
| 三、工作台移动控制 | 386 |
| 四、X62W 万能铣床电气控制电路的特点 | 389 |
| 五、X62W 万能铣床电器元件明细 | 389 |
| 第六节 桥式起重机的电气控制 | 391 |

| | |
|------------------------------|------------|
| 一、桥式起重机的结构及运行情况 | 391 |
| 二、桥式起重机对电力拖动和电气控制的要求 | 392 |
| 三、凸轮控制器控制电路 | 392 |
| 第七节 电力变压器绕线机控制电路 | 397 |
| 一、绕线机的工作原理及功能 | 397 |
| 二、绕线机控制电路 | 398 |
| 三、变频器控制电路 | 400 |
| 四、液压控制电路 | 406 |
| 五、绕线机控制电路的安装与调试 | 406 |
| 第十二章 电子元器件与电子电路 | 408 |
| 第一节 RLC 元器件 | 408 |
| 一、电阻器 | 408 |
| 二、电容器 | 413 |
| 三、电感器 | 418 |
| 第二节 半导体器件 | 418 |
| 一、半导体器件手册的查询方法 | 418 |
| 二、晶体二极管 | 424 |
| 三、其他二极管 | 427 |
| 四、晶体三极管 | 431 |
| 五、晶体闸流管 | 437 |
| 六、双向晶闸管 | 439 |
| 七、组合器件 | 441 |
| 第三节 电子元件的焊接技术 | 446 |
| 一、手工焊接的工具和材料 | 446 |
| 二、电子元器件的引线成形和插装 | 446 |
| 三、焊接工艺 | 448 |
| 第四节 常见电子电路 | 451 |
| 一、单相整流电路 | 451 |
| 二、阻容耦合放大器 | 454 |
| 三、晶闸管交流调压 | 456 |
| 四、晶闸管无触点开关 | 457 |
| 参考文献 | 458 |

电气符号和标准

第一节 常用计量单位

我国在 1986 年颁布的《关于在我国统一实行法定计量单位的命令》中规定在全国统一实行以国际单位制为基础的法定计量单位，用以推进科学技术进步和扩大国际经济、文化交流。

一、常用国际单位

常用国际单位见表 1-1。

表 1-1 常用国际单位

| 项 目 | 量的名称 | 单位名称 | 单位符号 |
|-------------------|--------|----------|----------|
| 国际单位制的基本单位 | 长度 | 米 | m |
| | 质量 | 千克, (公斤) | kg |
| | 时间 | 秒 | s |
| | 电流 | 安培 | A |
| | 热力学温度 | 开 [尔文] | K |
| 国际单位制的辅助单位 | [平面] 角 | 弧度 | rad |
| | 立体角 | 球面度 | sr |
| 国际单位制中具有专门名称的导出单位 | 频率 | 赫 [兹] | Hz |
| | 功率 | 瓦 [特] | W |
| | 电压, 电位 | 伏 [特] | V |
| | 电容 | 法 [拉] | F |
| | 电阻 | 欧 [姆] | Ω |
| | 电导 | 西 [门子] | S |
| | 电感 | 亨 [利] | H |

注：方括号中的字，在不致引起混淆的情况下可以省略，下同。



二、电工常用法定计量单位

电工常用法定计量单位及非法定计量单位换算表见表 1-2。

表 1-2 电工常用法定计量单位及非法定计量单位换算表

| 量的名称和符号 | | 法定计量单位 | | 非法定计量单位 | | 换算或说明 |
|---------|----------|----------|---------------|---------|------|---|
| 名称 | 符号 | 名称 | 符号 | 名称 | 符号 | |
| 长度 | l, L | 米 | m | 英尺 | ft | $1\text{km} = 10^3\text{m}, 1\text{m} = 10\text{dm}$ $1\text{dm} = 10\text{cm}, 1\text{cm} = 10\text{mm}$ $1\text{mm} = 10^3\mu\text{m}$ $1\text{ft} = 0.3048\text{m},$ $1\text{in} = 0.0254\text{m}$ $1\text{mile} = 1609.344\text{m}$ $1\text{yd} = 0.9144\text{m}$ |
| 宽度 | b | 分米 | dm | 英寸 | in | |
| 高度 | h | 厘米 | cm | 英里 | mile | |
| 直径 | d, D | 千米 | km | 码 | yd | |
| 距离 | s | | | | | |
| 时间 | t | 日 | d | | | $1\text{d} = 24\text{h} = 86400\text{s}$ $1\text{h} = 60\text{min} = 3600\text{s}$ $1\text{min} = 60\text{s}$ |
| | | [小]时 | h | | | |
| | | 分 | min | | | |
| | | 秒 | s | | | |
| 角速度 | ω | 弧度每秒 | rad/s | | | $360^\circ = 2\pi\text{rad/s}$ |
| 周期 | T | 秒 | s | | | |
| 频率 | f | 赫[兹] | Hz | | | $1\text{MHz} = 10^3\text{kHz}$ $1\text{kHz} = 10^3\text{Hz}$ $f = 1/T$ |
| | | 千赫[兹] | kHz | | | |
| | | 兆赫[兹] | MHz | | | |
| 功率 | P | 瓦[特] | W | 英马力 | hp | $1\text{hp} = 745.700\text{W}$ $1\text{V}\cdot\text{A} = 1\text{W}$ |
| | | 千瓦[特] | kW | 伏安 | V·A | |
| 电流 | I | 安[培] | A | | | |
| 电压 | U | | | | | |
| 电位 | V | 伏[特] | V | | | |
| 电动势 | E | | | | | |
| 电容 | C | 法[拉] | F | | | $1\text{F} = 10^6\mu\text{F}$ $1\mu\text{F} = 10^6\text{pF}$ |
| | | 微法[拉] | μF | | | |
| | | 皮[可]法[拉] | pF | | | |



(续)

| 量的名称和符号 | | 法定计量单位 | | 非法定计量单位 | | 换算或说明 |
|---------|--------|-------------|-----------------------|---------|----|-------------------------|
| 名称 | 符号 | 名称 | 符号 | 名称 | 符号 | |
| 电阻 | R | 欧[姆] 千欧姆 | Ω $k\Omega$ | | | $1k\Omega = 10^3\Omega$ |
| 电阻率 | ρ | 欧[姆]米 | $\Omega \cdot m$ | | | |

三、电工常用计算公式

1. 不同接法的电阻、电压和电流的计算 (见表 1-3)。

表 1-3 不同接法的电阻、电压和电流的计算

| 电阻的连接方式 | 等值参数计算 | 电路中的电压 | 电路中的电流 |
|---------|--|---|---|
| 串联 | 总电阻等于各电阻之和 $R_t = R_1 + R_2 + \dots + R_n$ | 总电压等于各段电压之代数和 $U_t = U_1 + U_2 + \dots + U_n$ | 各支路电流均和总电流相等 $I_t = I_1 = I_2 = \dots = I_n$ |
| 并联 | 总电阻的倒数等于各电阻倒数之和 $1/R_t = 1/R_1 + 1/R_2 + \dots + 1/R_n$ | 各电阻两端电压相等, 并等于外加电压 $U_t = U_1 = U_2 = \dots = U_n$ | 总电流等于各支路电流之代数和 $I_t = I_1 + I_2 + \dots + I_n$ |

2. 三相交流电路中的功率计算 (见表 1-4)。

表 1-4 三相交流电路中的功率计算

| 形式 | 项目 | 公式 | 单位 | 说明 |
|-----------|------|--|-----|---|
| 对称三相电路的功率 | 有功功率 | $P = 3U_p I_p \cos\phi$ $= \sqrt{3} U_l I_l \cos\phi$ | W | U_p : 相电压 I_p : 相电流 U_l : 线电压 I_l : 线电流 ϕ : 相电压与相电流的相角 |
| | 无功功率 | $Q = 3U_p I_p \sin\phi$ $= \sqrt{3} U_l I_l \sin\phi$ | var | |
| | 视在功率 | $S = 3U_p I_p = \sqrt{3} U_l I_l$ | VA | |
| | 功率因数 | $\cos\phi = P/S$ | | |



3. 白炽灯和荧光灯电流的计算(见表 1-5)。

表 1-5 白炽灯和荧光灯电流的计算

| 种类 | 供电相数 | 功率 P/W | 每相电流 I/A | 计算公式 |
|-----|------|-------------|---------------|--------------------------------------|
| 白炽灯 | 单相 | 1000 | 4.5 | $I = P/220$ |
| | 三相 | | 1.5 | $I = P/(1.73 \times 380)$ |
| 荧光灯 | 单相 | | 9 | $I = P/(220 \times 0.5)$ |
| | 三相 | | 3 | $I = P/(1.73 \times 380 \times 0.5)$ |

注: 荧光灯功率因数为 0.5, $\sqrt{3} \approx 1.732$ 。

4. 电动机电流和电焊机电流的计算(见表 1-6 和表 1-7)。

表 1-6 电动机电流的计算公式

| 分类 | 功率 P/kW | 每相电流 I/A | 计算公式 | 说明 |
|-------|--------------|---------------|---|-------------------------------------|
| 单相电动机 | 1 | 8 | $I = P \times 1000 / (220 \times \cos\phi \times \eta)$ | η : 效率 $\cos\phi$: 电动机功率因数 |
| 三相电动机 | | 2 | $I = P \times 1000 / (1.73 \times 380 \times \cos\phi \times \eta)$ | |

表 1-7 电焊机电流的计算公式

| 电焊机输入电压 U/V | 计算公式 | 每千伏安每相电流 I/A |
|------------------|---------------------------------|-------------------|
| 220 | $I(A) = S(kVA) \times 1000/220$ | 4.5 |
| 380 | $I(A) = S(kVA) \times 1000/380$ | 2.7 |

第二节 电气符号与识图

电气符号包括文字符号、图形符号、项目代号和回路标号等, 它们互相关联、互为补充, 主要以图形和文字的形式从不同角度为电气图提供各种信息。只有清楚电气符号的含义、构成及使用方法, 才能正确看图。



一、文字符号

根据国标 GB/T 7159—1987 所规定的文字符号适用于电气技术领域技术文件的编制，也可表示在电气设备、装置和电气元件上，以标明电气设备、装置和元件的名称、功能、状态和特征。文字符号分为基本文字符号和辅助文字符号两大类，见表 1-8。

表 1-8 文字符号的组成

| 文字符号 | 定 义 | | 举例 |
|--------|-----------------------|---|--|
| 基本文字符号 | 表示电气设备、装置和元件的种类名称 | 单字母符号：将电气设备、装置和元件分为 23 大类，每大类用一个字母表示 | “R”表示电阻类； “T”表示变压器类 |
| | | 双字母符号：由表示大类的单字母符号与另一字母组成 注：以单字母符号在前，另一字母在后的次序标出 | “R”表示电阻类 “RP”表示电位器 “G”表示电源类 “GB”表示蓄电池 |
| 辅助文字符号 | 表示电气设备、装置和元件的功能、状态和特征 | 用表示功能、状态和特征的英文单词的前一、二位字母构成，一般不超过三位字母 注：它可放在单字母符号后边组合成双字母符号；另外某些辅助文字符号本身具有独立的、确切的意义 | “GS”表示同步发电机 “YB”表示制动电磁铁 “DC”表示直流电 “AUT”表示自动 “OFF”表示关闭等 |

二、图形符号

图形符号是用于图样或其他文件以表示一个设备或概念的图



形、标记及字符。它是构成电气图的基本单元，是电工技术文件中的“象形文字”。能正确、熟练地理解、绘制和识别各种电气图形符号是电气制图与识图的基本功。

1. 图形符号的概念

图形符号通常由符号要素、一般符号和限定符号组成，见表1-9。

表 1-9 图形符号的组成

| | 符号要素 | | 一般符号 | | 限定符号 | |
|--------|-------------------------------------|---|------------------------|-------|-------------------------|----------------|
| 定义 | 一种具有确定意义的简单图形，通常表示元件的轮廓或外壳 | | 用以表示一类产品或此类产品特征的一种简单符号 | | 用来提供附加信息的一种加在其他图形符号上的符号 | |
| 常用图形符号 | | 元件、装置、功能单元 注：填入或加入适当的符号或代号于轮廓内，以表示元件、装置或功能单元 | | 电阻器 | | 可变电阻器 |
| | | 注：1. 可使用其他形状的轮廓 2. 若外壳具有特殊的防护性能，可加注以引起注意 3. 使用外壳符号是非强制性的 | | 电容器 | | |
| | | | | 熔断器 | | |
| | | 外壳（容器）、管壳 注：1. 可使用其他形状的轮廓 2. 若外壳具有特殊的防护性能，可加注以引起注意 3. 使用外壳符号是非强制性的 | | 插头与插座 | | |
| | | | | 电机 | | 直流发电机 直流电动机 |
| | 边界线 注：用于表示物理上、机械上或功能上相互关联的对象组的边界 | | 导线、电线、电缆、母线、电路等 | | 三根导线 同轴、对同轴电缆 | |



(续)

| 常用图形符号 | 符号要素 | | 一般符号 | | 限定符号 | |
|--------|------|-------------------------|------|--|------|--|
| | | 屏蔽(护罩) 注:屏蔽可画为任何方便形状 | | | | |

注:通常在电气概略图中可用方框图来表示元件、设备等的组合及其功能,而不用给出它们的细节,也不用反映它们间的任何连接关系。

2. 常用电气符号新旧标准对照 (见表 1-10 至表 1-12)。

表 1-10 器件类常用图形符号对照表

| 类别 | 名称 | 文字符号 | 新国标 | 旧国标 |
|------|-----------|------|------|------|
| | | | 图形符号 | 图形符号 |
| 无源元件 | 一般符号 | R | | |
| | 可变电阻器 | | | |
| | 带滑动触点的电阻器 | RP | | |
| | 带滑动触点的电位器 | RP | | |
| | 带固定抽头的电阻器 | | | |
| 电容 | 一般符号 | C | | |
| | 极性电容 | | | |



(续)

| 类别 | 名称 | | 文字符号 | 新国标 | 旧国标 |
|--------|----------|---------|------|------|------|
| | | | | 图形符号 | 图形符号 |
| 电容 | 可调电容器 | | | | |
| 电感 | 一般符号 | L | | | |
| | 带磁芯的电感器 | | | | |
| | 有二抽头的电感器 | | | | |
| 半导体二极管 | 一般符号 | VD | | | |
| | 发光二极管 | VL | | | |
| | 单向击穿二极管 | VS | | | |
| 半导体三极管 | PNP 型三极管 | VT | | | |
| | NPN 型三极管 | | | | |
| 晶闸管 | 反向阻断二极管 | V、VT(r) | | | |
| | 三极管 | | | | |



(续)

| 类别 | 名称 | 文字符号 | 新国标 | 旧国标 |
|----|---|------|------|------|
| | | | 图形符号 | 图形符号 |
| 电机 | 一般符号(符号内的星号要用下述字母代替) C: 旋转变流机 G: 发电机 GS: 同步发电机 M: 电动机 MS 同步电动机 | | | |
| | 直流串励电动机 | MD | | |
| | 直流并励电动机 | MP | | |
| | 单相交流串励电动机 三相交流串励电动机 | MA | | |



(续)

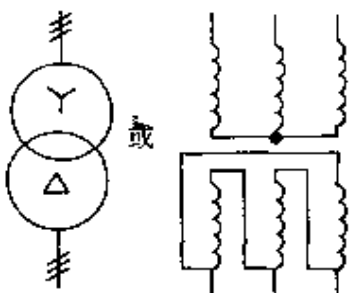
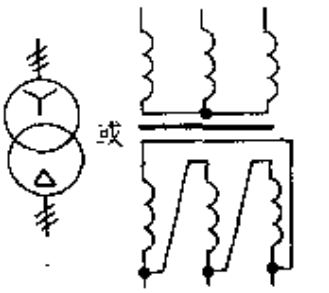
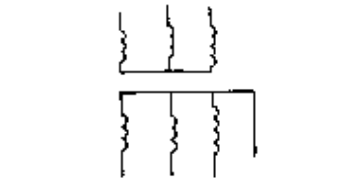

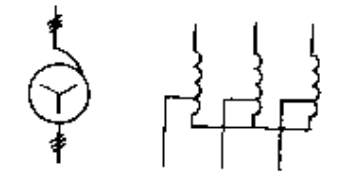
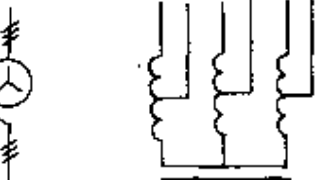
| 类别 | 名称 | 文字符号 | 新国标 | 旧国标 |
|-----|-------------|------|------|------|
| | | | 图形符号 | 图形符号 |
| 电动机 | 单相永磁同步电动机 | MS | | |
| | 三相永磁同步电动机 | MS | | |
| | 三相笼型感应电动机 | MC | | |
| 电动机 | 三相绕线转子感应电动机 | MR | | |
| | 两相伺服电动机 | SM | | |
| 电动机 | 电磁式直流伺服电动机 | SM | | |



(续)

| 类别 | 名称 | | 文字符号 | 新国标 | 旧国标 |
|---------|--------------|---------|------|------|------|
| | | | | 图形符号 | 图形符号 |
| 电动机 | 步进电动机 | 永磁步进电动机 | | | |
| | | 三相步进电动机 | | | |
| 变压器和电抗器 | 变压器和电抗器的—般符号 | 铁心 | | | |
| | | 带间隙的铁心 | | | |
| | | 双绕组变压器 | T | | |
| | | 三绕组变压器 | | | |
| | | 自耦变压器 | TA | | |
| | | 电抗器 | L | | |

(续)

| 类别 | 名称 | 文字符号 | 新国标 | 旧国标 |
|---------|---------------------------------|------|---|---|
| | | | 图形符号 | 图形符号 |
| 变压器和电抗器 | 三相变压器星形-三角形联结 | T |  |  |
| | 具有独立绕组的变压器 三相变压器星形有中性点引出线的星形 | |  |  |
| | 三相自耦变压器星形联结 | |  |  |

3. 图形符号的使用规则

1) 图形符号都是按无电压、无外力作用下的常态画成的。如继电器或接触器被驱动的常开触点都在断开的位置上,常闭触点都在闭合位置;断路器或隔离开关在断开位置;带零位的手动开关在零位位置;不带零位的手动控制开关在图中规定的位置。

2) 事故、备用、报警等开关应表示在设备正常使用时的位置,如在特定的位置时,图上应有说明。

3) 机械操作开关或触点的工作状态与工作条件或工作位置有关,其对应关系应在图形符号附近加以说明,以便进一步了解电路的原理和功能。按开关或触点类型的不同,可采用不同的表示方法。



表 1-11 开关与触点类常用图形符号对照表

| 类别 | 名称及符号 | 文字符号 | 新国标 | | 旧国标 | |
|----|---------------------------|------|-------|-------|-------|-------|
| | | | 图形符号 | 图形符号 | 图形符号 | 图形符号 |
| 触点 | 动合（常开）触点 （也可用作开关的一般符号） | Q | 或 | 或 | 或 | |
| | 两个或三个位置的触点 | | | | | |
| | 延时动作的触点 | | KT | 或 | 或 | 或 |



(续)

| 类别 | 名称及符号 | 文字符号 | 新国标 | | 旧国标 | |
|-----------------|-------------|------------------|------|------|-----|--|
| | | | 图形符号 | 图形符号 | | |
| 触点 | 延时断开的动合触点 | | | | 或 | |
| | 延时动作的 触点 | 延时闭合动断(常闭) 触点 | | | 或 | |
| | | 延时断开动断(常闭) 触点 | | | 或 | |
| 开关和 开关 器件 | 单极开关 | SB | | | | |



(续)

| 类别 | 名称及符号 | 文字符号 | 新国标 | | 旧国标 | |
|-----------------|-------|------|------|------|------------------------|--|
| | | | 图形符号 | 图形符号 | | |
| 开关和 开关 器件 | 单极开关 | | | | | |
| | | | | | 动合 (常开) 按钮开 关 (不闭锁) | |
| | | | | | | |
| | | | | | 动断 (常闭) 按钮开 关 (不闭锁) | |
| 位置 和限制 开关 | | SQ | | | | |
| | | | | | 动合触点 | |
| | | | | | | |
| | | | 或 | | | |
| | | | 或 | | | |



(续)

| 类别 | 名称及符号 | | 文字符号 | 新国标 | | 旧国标 | |
|-----------------|-------------|------------------|------|------|------|-----|--|
| | | | | 图形符号 | 图形符号 | | |
| 开关和 开关 器件 | 位置和限制 开关 | 双向机械操作 | | | | | |
| | 电力开关器 件 | 接触器动合(常开) 主触点 | KM | | | | |
| | | 接触器动断(常闭) 主触点 | | | | | |
| | | 断路器 | QF | | | | |

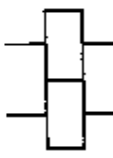
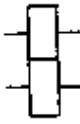
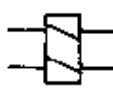
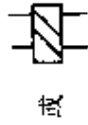
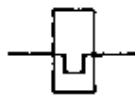

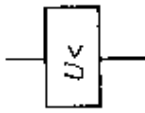
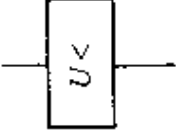

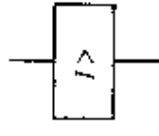


(续)

| 类别 | 名称及符号 | 文字符号 | 新旧标准 | |
|------------|--|------|-------------|-------------|
| | | | 新国标 图形符号 | 旧国标 图形符号 |
| 电力开关器 件 | 隔离开关 | QS | | |
| | 三极开关: 1. 单线表示 QK 2. 多线表示 | QS | | |
| 有或无 继电器 | 操作器件 一般符号 (接触器、 继电器、电磁铁线圈 一般符号) | K | | |



(续)

| 类别 | 名称及符号 | 文字符号 | 新旧国标 | |
|------------|----------------------|------|---|---|
| | | | 新国标 图形符号 | 旧国标 图形符号 |
| 有或无 继电器 | 具有两个绕组的操作 器件组合表示法 | |  |  |
| | | |  |  |
| | 热继电器的驱动器件 | FR |  |  |
| | 欠电压继电器的线圈 | KV |  |  |
| | 过电流继电器的线圈 | KI |  |  |



(续)

| 类别 | 名称及符号 | 文字符号 | 新旧标 | |
|----------|--------------|------|-------------|-------------|
| | | | 新国标 图形符号 | 旧国标 图形符号 |
| 保护 器件 | 熔断器的一般符号 | FU | | |
| | 熔断器和熔断器式开关 | | | |
| | 具有独立报警电路的熔断器 | | | |
| | 火花间隙 | F | | |
| | 火花间隙和避雷器 | | | |



表 1-12 测量仪表常用图形符号对照表

| 类别 | 名称 | | 文字符号 | 新国标 | 旧国标 |
|----------|------|-------------|------|------|-------|
| | | | | 图形符号 | 图形符号 |
| 测量 仪表 | 指示仪表 | 电压表 | PV | | V |
| | | 无功电流表 | PA | | A |
| | | 无功功率表 | PW | | |
| | | 功率因数表 | PC | | cos φ |
| | | 检流计 | | | |
| | | 相位表 | | | |
| | 记录仪表 | 记录式功率表 | PS | | |
| | | 记录式示波器 | | | |
| | 积算仪表 | 小时计 | PJ | | |
| | | 电能表 (瓦特小时计) | | | |

三、电气识图

电气制图有一定的规范，了解和掌握电气制图的一般规则，有助于快速、准确地识图。

1. 电气制图的一般规则



电气图一般由电路图、技术说明和标题栏三部分组成，见表1-13。

表 1-13 电气图的构成

| 名称 | 定 义 | 说 明 |
|------------------|--|---|
| 电 路 图 | 主电路 电源向负载输送电能的电路，一般包括电机、变压器、开关、接触器、熔断器和负载等 | 1. 通常主电路通过的电流较大，导线的线径粗；通过辅助电路中的电流较小，导线的线径也较细 2. 要采用国家统一规定的图形符号和文字符号来表示电气元件的不同种类、规格以及安装形式 |
| | 辅助电路 是对主电路进行控制、保护、监测、指示的电路，一般包括继电器、仪表、指示灯、控制开关等 | |
| 技 术 说 明 | 文字说明 注明电路的要点及安装要求等 | 1. 通常写在电路图的右上方，若说明较多，也可附页说明 2. 是以表格的形式写在标题栏的上方，元件明细表中序号自下而上编排 |
| | 元件 明细表 列出电路中元件的名称、符号、规格和数量等 | |
| 标 题 栏 | 在电路图的右下角，其中注有工程名称、图名、图号及设计人、制图人、审核人、批准人的签名和日期等 | 标题栏是电路图的重要技术档案，栏目中的签名者应对图中的技术内容各负其责 |

2. 电气图中图线、箭头和指引线的识别

(1) 图线 电气图中所用的各种线条统称图线，图线形式包含了一定信息。根据电气图的需要，一般只使用四种图线，即实线、虚线、点划线和双点划线，见表1-14。

(2) 箭头和指引线 电气图中的尺寸标注、表示信号传输或表示非电过程中的介质流向时都需要用箭头；而将文字或符号引注至被注释的部位则需要用指引线，见表1-15。

3. 图上位置的表示方法

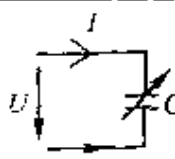
图上位置的表示方法有三种：图幅分区法、电路编号法、表格法。



表 1-14 电气图中图线的形式及应用范围

| 图线名称 | 图线格式 | 应用范围 | 图线宽度/mm |
|------|-------------------|-------------------------------------|----------------------------------|
| 实线 | — | 基本线, 电气图主要内容用线, 可见轮廓线, 可见导线 | 0.25 0.35 0.50 0.7 1.0 1.4 |
| 虚线 | ---- | 辅助线、屏蔽线、机械连接线、不可见轮廓线、不可见导线、计划扩展内容用线 | |
| 点划线 | - · - · - | 分界线、结构围框线、功能围框线、分组围框线 | |
| 双点划线 | - · - · - · - · - | 辅助围框线 | |

表 1-15 箭头、指引线的定义

| 名称 | 形式 | 定 义 | 举 例 |
|------|----|-----------------------------|--|
| 开口箭头 | → | 说明电气能量、电气信号的传递方向(能量流、信息流流向) |  <p>图中 I 指示方向为开口箭头, C 的可变性限定符号用普通箭头, U 指示方向用普通箭头</p> |
| 实心箭头 | ▶ | 说明非电量过程中材料或介质的流向 | |
| 普通箭头 | → | 说明可变性、力或运动方向以及指引线方向 | |

(1) 图幅分区法(又称坐标法) 它是将整个图面分区,将图纸相互垂直的两边各自加以等分,每一区长度为 25~75mm。然后从图样的左上角开始,在图样周边的竖边方向按行用大写字母分区编号,横边方向按列用数字分区编号,图中某个位置的代号用该区域的字母和数字组合起来表示。图幅分区如图 1-1 所示。

(2) 电路编号法 它是指对图样中的电气或分支电路用数字按序编号。

若水平布图,数字编号按自上而下的顺序;若垂直布图,数



字编号按自左而右的顺序。数字分别写在各支路下端，若要表示元件相关联部分所在位置，只需在元件的符号旁标注相关联部分所处支路的编号即可。其方法如图 1-2 所示。

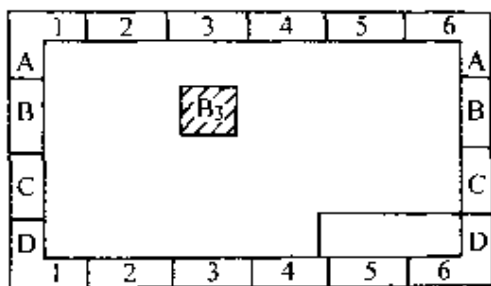


图 1-1 图幅分区法

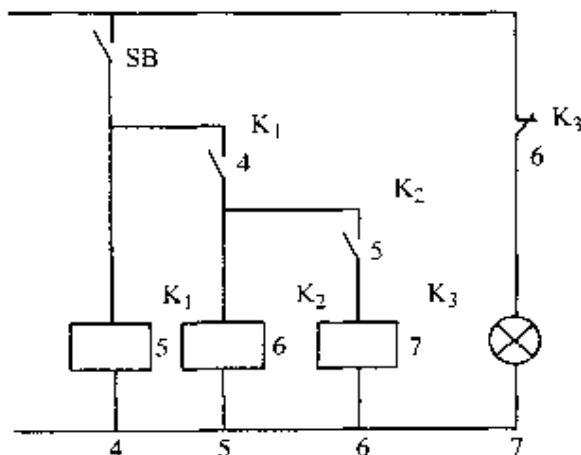


图 1-2 电路编号法

(3) 表格法 它是指在图的边缘部分绘制一个按项目代号进行分类的表格。表格中的项目代号和图中相应的图形符号在垂直或水平方向对齐，图形符号旁仍需标注项目代号。这种位置表示法便于对元件进行归类 and 统计。其方法如图 1-3 所示。

| | | | | | | | | | |
|-----|-----------|-----------|----------|----------|-----------|-----------|----------|----------|----------|
| 电阻器 | R_{b11} | R_{b21} | R_{c1} | R_{c1} | R_{b12} | R_{b22} | R_{c2} | R_{e2} | R_L |
| 电容器 | C_1 | | | C_2 | C_{e1} | | | C_3 | C_{e2} |
| 晶体管 | | | VT_1 | | | | VT_2 | | |

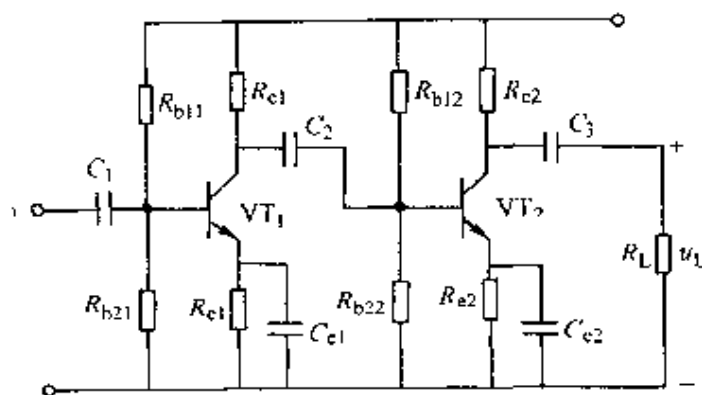


图 1-3 表格法



4. 连接线的识别

在电气图上,各种图形符号的相互连线,统称连接线。它具有连接各种设备、元件的图形符号的作用,可以是传输信息流的导线,也可以是表示逻辑流、功能流的某种特定的图线。连接线是构成电气图的重要组成部分。根据图种和图面情况有多种表示方式。导线的一般表示方法见表 1-16。

表 1-16 导线的几种表示方法

| 名称 | 形式 | 说明 |
|------------|----|--|
| 导线的一般符号 | | 用于表示一根导线、导线组、电线、电缆、传输电路、母线、总线等 |
| 导线根数表示法 | | 根数较少时,用小短斜线表示导线根数 根数较多时,用一小斜线加注数字表示 |
| 导线特征标注法 | | 横线上标注电流种类、配电系统、频率和电压等;横线下注出电路的导线数乘以每根导线的截面积,截面积不同可用加号分开;导线材料可用化学元素符号表示 |
| 导线换位及其他表示法 | | 表示电路相序的变更、极性的反向、导线的交换等 |

四、电气识图的基本方法和步骤

1. 电气识图的基本方法 (见表 1-17)。

2. 识图的基本步骤

(1) 看主标题栏 了解电气图的名称及标题栏中有关内容,结合有关的电路基础知识,对该电气图的类型、性质、作用有一个明确的认识,同时对电气图的内容有一个大致的轮廓印象。

(2) 看电气图形符号和文字符号 了解电气图内各组成部分的作用、信息流向、相互联系、控制关系,注意电气与机械机构



的连接关系，从而对整个电路的工作原理、性能要求等有一个全面的了解。

表 1-17 电气识图的基本方法

| 基本方法 | 说 明 | 举 例 |
|----------------------|--|---|
| 结合电工 电子基础知 识识图 | 所有电路如电力拖动、照明 电子电路、仪器仪表等，都是 建立在电工、电子技术理论基 础之上的，因此要想准确、迅 速地看懂电气原理图的工作原 理，必须具备电工、电子的基 础知识 | 如笼型异步电动机的正反转 控制，就是利用笼型异步电动 机的旋转方向由电动机的三相 电源的相序所决定的道理，用 两个接触器进行切换，改变三 相电源的相序，来改变电动机 的旋转方向（正转或反转） |
| 结合电气 元器件的结 构识图 | 电路中有各种电气元器件， 只有了解这些元器件的性能、 结构、相互控制关系以及在整 个电路中的地位和作用，才能 搞清楚电路工作原理 | 配电电路中的负荷开关、断 路器、熔断器等；电力拖动电 路中常用的各种继电器、接触 器和各种控制开关等 |
| 结合典型 电路识图 | 典型电路即常见的基本电路， 熟悉各种典型电路，识图时就 能很快地分清主次环节，抓住 主要矛盾，就能看懂复杂的电 路图 | 如电动机的起动、制动、正 反转控制电路；继电保护电路、 时间控制电路和行程控制电路、 晶体管整流、振荡和放大电路 等不管电路多复杂，几乎都是 由若干典型电路所组成 |
| 结合图样 说明识图 | 图样说明包括图样目录、技 术说明、元件明细表、安装说 明或施工说明 | 通过看图样说明搞清楚电路 的设计说明和安装施工要求。 这些内容有助于了解电路的大 体情况，便于抓住看图重点， 达到顺利看图的目的 |

(3) 根据信息流向、布局顺序或主辅电路进行分析

1) 按信息流向逐级分析。此种方法非常适于看电力电子电
路。可从信号输入到信号输出信号流向贯穿始终；也可从负载分
析到电源；也可从电源分析到负载，电流流向哪里便分析到哪



里。

2) 按布局顺序进行分析 按布局顺序从左到右,自上而下逐条回路(或逐级)进行分析,这种方法适于一些布局有特色、区域性强的、简单的电路。

3) 按主、辅电路进行分析 先分析主路,而后再看辅助电路,最后了解它们之间的相互关系及控制关系。这种方法适于看机床及其他机械装置的电路图。上述三种方法也可交叉使用。

第三节 电气标准与电气安全

一、颜色标准

1. 电工成套装置中指示灯和按钮的颜色

指示灯和按钮的选色原则是根据按钮被操作(按压)后所引起的功能,或指示灯被接通(发光)后所反映的信息来选色的,指示灯、按钮的颜色及含义见表 1-18 和表 1-19。

表 1-18 指示灯的颜色及其含义

| 颜色 | 含义 | 说 明 | 应用举例 |
|----|---------|-------------------|---------------------------|
| 红 | 危险或告急 | 有危险或须立即采取行动 | 温度已超过(安全)极限、有触及带电或运动部件的危险 |
| 黄 | 注意 | 情况有变化或即将发生变化 | 温度(或压力)异常、或仅能承受允许的短时过载 |
| 绿 | 安全 | 正常或允许进行 | 自动控制系统运行正常、机器准备启动 |
| 蓝 | 按需要指定用意 | 除红、黄、绿三色之外的任何指定用意 | 选择开关在“设定”位置 |
| 白 | 无特定用意 | 任何用意 | 不能确切地用红、黄、绿或用作“执行”时 |



表 1-19 按钮的颜色及其含义

| 颜色 | 含 义 | 应用举例 |
|-----|----------------|---|
| 红 | 处理事故 | 紧急停机 扑灭燃烧 |
| | “停止”或“断电” | 正常停机 装置的局部停机 切断一个开关 带有“停止”或“断电”功能的复位 |
| 黄 | 参与 | 防止意外情况 避免不需要的变化（事故） 参与抑制反常的状态 |
| 绿 | “起动”或“通电” | 正常起动 装置的局部起动 接通一个开关装置（投入运行） |
| 蓝 | 上列颜色未包含的任何指定用意 | 凡红、黄、绿色未包含的用意 |
| 黑灰白 | 无特定用意 | 除单功能的“停止”或“断电”按钮外的任何功能 |

2. 成套装置中的导线颜色

成套装置中按导线颜色标志电路的规定以及按电路选择导线颜色的规定见表 1-20 和表 1-21。

表 1-20 按导线颜色标志电路的规定

| 导线颜色 | 所标志电路 |
|------|--|
| 黑色 | 装置和设备的内部布线 |
| 棕色 | 直流电路的正极 |
| 红色 | 交流三相电路的 3 相；半导体三极管的集电极；半导体二极管、整流二极管或晶闸管的阴极 |
| 黄色 | 交流三相电路的 1 相；半导体三极管的基极；晶闸管和双相晶闸管的门极 |



(续)

| 导线颜色 | 所标志电路 |
|-------|--|
| 绿色 | 交流三相电路的 2 相 |
| 蓝色 | 直流电路的负极；半导体三极管的发射极；半导体二极管、整流二极管或晶闸管的阳极 |
| 淡蓝色 | 交流三相电路的零线或中性线；直流电路的接地中间线 |
| 白色 | 双相晶闸管的主电极；无指定用色的半导体电路 |
| 黄和绿双色 | 安全用的接地线 |
| 红黑色并行 | 用双芯导线或双根绞线连接的交流电路 |

表 1-21 按电路选择导线颜色的规定

| 电 路 | 导线颜色 |
|-------------------|-------|
| 交流三相电路的 1 相 | 黄色 |
| 2 相 | 绿色 |
| 3 相 | 红色 |
| 零线或中性线 | 淡蓝色 |
| 安全用的接地线 | 黄和绿双色 |
| 用双芯导线或双根绞线连接的交流电路 | 红黑色并行 |
| 直流电路的正极 | 棕色 |
| 负极 | 蓝色 |
| 接地中间线 | 淡蓝色 |
| 半导体三极管的集电极 | 红色 |
| 基极 | 黄色 |
| 发射极 | 蓝色 |
| 半导体二极管和整流二极管的阳极 | 蓝色 |
| 阴极 | 红色 |
| 晶闸管的阳极 | 蓝色 |
| 门极 | 黄色 |
| 阴极 | 红色 |
| 双向晶闸管的门极 | 黄色 |
| 主电极 | 白色 |



(续)

| 电 路 | 导线颜色 |
|------------------|---------------|
| 整个装置及设备的内部布线一般推荐 | 黑色 |
| 半导体电路 | 白色 |
| 有混淆时 | 容许用指定用色外的其他颜色 |

二、电气安全用具的实验标准

安全用具是保护人身安全的基本工具,必须完整无损和性能良好。各种安全用具应定期进行检查和实验,具体要求见表 1-22。

表 1-22 常用电气安全用具实验标准

| 名称 | 电压等级 /kV | 实验周期 | 工频实验电压 /kV | 耐压持续时间 /min | 备注 |
|-------|-------------|------|---------------|----------------|--------------------------|
| 绝缘棒 | 6~10 | 每年一次 | 44 | 5 | |
| | 35~154 | | 三倍线电压 | | |
| | 220 | | | | |
| 绝缘手套 | 低压 | 半年一次 | 2.5 | 5 | 泄漏电流 $\leq 2.5\text{mA}$ |
| | 高压 | | 8 | | 泄漏电流 $\leq 9\text{mA}$ |
| 绝缘靴 | 高压 | 半年一次 | 15 | 2 | 泄漏电流 $\leq 7.5\text{mA}$ |
| 绝缘挡板 | 6~10 | 每年一次 | 30 | 5 | |
| | 35 | | 80 | | |
| 绝缘板工具 | 低压 | 半年一次 | 3 | 1 | |
| 验电器 | 6~10 | 半年一次 | 40 | 5 | |
| | 20~35 | | 105 | | |

三、安全电压标准

安全电压标准是指人体接触到的对人体各部分组织(皮肤、心脏、神经等)没有任何损坏的电压。通常很难确定一个对人体完全适合的最高安全电压,许多国家采用 36V 为安全电压,但在潮湿、有导电尘埃、高温和金属容器内工作时,则以 12V 为安全电压;在无高压触电危险地区的安全电压为 24V;有高压触



电危险地区以 36V 为安全电压。

四、安全距离标准

安全距离标准是指在各种工作条件下，带电导体和周围的接地体、地面、不同相的带电导体以及工作人员之间必须保持的最小距离。

安全距离大小与施加于导体的放电特性及电压等级密切相关。对于雷电过电压（又称大气过电压），安全距离要根据避雷器的特性决定；对于操作过电压，安全距离根据电网可能出现的过电压倍数决定；电网允许的最高工作电压，因为其值不会超过 110%，可以不考虑。在电工专业规程中规定的各种情况下的安全距离，是电工设计电器、运行和检修人员在工作中必须遵守的依据。

五、安全牌

安全牌是由不同几何图形和安全色构成，并加上相应的图像、符号和文字。一般电工设备上都有安全标志，如变压器上除标有名称、序号、单相或三相外，在周围遮栏还挂有“止步，高压危险”等警告标志。常用安全牌的标志见表 1-23。

表 1-23 常用安全牌标志







| 类 别 | 图 形 标 志 | 名 称 |
|--------------------------------------|--|------|
| 禁止标志： 颜色为白底、红圈、黑图案， 图案压杠，形状为圆形 |  | 禁止吸烟 |
| |  | 禁止烟火 |

(续)

| 类别 | 图形标志 | 名称 |
|--|--|------|
| <p>禁止标志： 颜色为白底、红圈、黑图案， 图案压杠，形状为圆形</p> |  | 禁止合闸 |
| |  | 禁止触摸 |
| |  | 禁止跨越 |
| |  | 禁止启动 |
| <p>警告标志： 颜色为黄底、黑边、黑图案， 形状为等边三角形，顶角向上</p> |  | 注意安全 |
| |  | 当心火灾 |




(续)

| 类别 | 图形标志 | 名称 |
|--|--|----------------|
| <p>警告标志： 颜色为黄底、黑边、黑图案， 形状为等边三角形，顶角向上</p> |  | <p>当心触电</p> |
| |  | <p>当心电缆</p> |
| |  | <p>当心机械伤人</p> |
| <p>防护工具</p> |  | <p>必须戴安全帽</p> |
| |  | <p>必须戴防护帽</p> |
| |  | <p>必须戴防护手套</p> |





(续)

| 类别 | 图形标志 | 名称 |
|------|--|--------|
| 防护工具 |  | 必须穿防护鞋 |

六、电工产品的安全认证

证明某一产品符合相应的安全标准或技术规范的活动称为产品安全认证，现在已跨越了国界，国际上最有权威的电工电子产品认证机构是国际电工产品认证委员会（CEE），该认证委员会已并入国际电工委员会（IEC），成为 IEC 系统内的电工产品安全认证组织（IECEE），该组织已有中国、美国、俄罗斯、法国、日本及德国等 30 个成员国。部分 IEC 成员国的电工产品认证标志见表 1-24。

表 1-24 IEC 成员国电工产品认证标志符号一览表

| 国家名称 | 标志符号 | 适用范围 | 标志管理部门 |
|------|---|----------|-------------------|
| 中国 |  | 电工产品 | 中国电工产品认证委员会（CCEE） |
| 澳大利亚 |  | 电工与非电工产品 | 澳大利亚标准协会（SAA） |






(续)

| 国家名称 | 标志符号 | 适用范围 | 标志管理部门 |
|------|--|---------------------|-------------------|
| 加拿大 |  | 电工与非电工产品 | 加拿大标准协会 (CSA) |
| 丹麦 |  | 电工产品 | 丹麦电工材料检验所 (DEMKO) |
| 芬兰 |  | 电工产品 | 电器检验所 |
| 法国 |   | 家用电器 家用和类似用途连接附件 | 电工联合会 (UTE) |
| 日本 |  | 电工与非电工以及电子产品 | 日本工业标准调查会 (JISC) |



(续)



| 国家名称 | 标志符号 | 适用范围 | 标志管理部门 |
|------|--|---------------------|------------------|
| 韩国 |  | 电工与非电工产品 电子器件及材料 | 韩国工业发展管理局 |
| 荷兰 |  | 电工产品 | |
| 挪威 |  | 电工产品 | 挪威电气设备实验 与认证局 |
| 美国 | <p>美国没有国家标准标志，但许多民间组织可以提供实验及认证服务</p>  | 电工产品 | 美国保险人实验室 |

七、世界著名电气企业及标志

部分世界著名电气企业及标志见表 1-25。



表 1-25 部分世界著名电工企业及标志




| 中文名称 | 英文名称 | 所属国家 | 标志 | 简介 |
|---------|--------------------|------|---|--|
| 施耐德电气公司 | Schneider Electric | 法国 |  | <p>以其驰名全球的几大品牌，为全世界的客户提供全系列的产品和元器件</p> <p>梅兰日兰 (Merlin Gerin): 生产高品质的配电产品和开关设备</p> <p>美商实快 (Square D): 为配电和工业控制自动化领域提供符合北美标准的元器件</p> <p>TE 电器 (Telemecanique): 是工业界一个最著名的国际品牌, 提供系列丰富的自动化元件, 如电动机保护与控制、人机界面产品、传感器以及可编程控制器等</p> |
| 通用电气 | General Electric | 美国 |  | <p>是世界上最大、产品最齐全的工业企业之一, 其主要业务领域涉及电力设备、电气设备、家用电器、医疗电器、航空航天设备等多种类别</p> |

(续)

| 中文名称 | 英文名称 | 所属国家 | 标志 | 简介 |
|-----------------|---|-----------|--|---|
| 西门子 公司 | Siemens AG | 德国 |  | 是电工、电子、计算机领域的著名企业,涉及电力设备、电器电子器件、计算机、医疗设备、通信设备、自动化等门类的各种产品 |
| ABB 集团 | Asea Brown Boveri Group | 瑞典、 瑞士 |  | 是跨国大型综合性电工企业,涉及电力、工业、交通运输等领域,其产品均与发电、输电、配电以及电能工业、交通运输和家庭中的有效应用有关 |
| 西屋 电气 公司 | Westinghouse Electric Corporation | 美国 |  | 是世界著名电工设备制造企业,主要业务涉及发电设备、输变电设备、用电设备和电控制设备、电子产品等门类 |
| 法兰克 电气 公司 | Franke Elektrotechnik | 德国 |  | 是德国历史悠久的电气发明家族。是世界上最早生产金属化薄膜电力电容器的厂家之一,独创了许多作为电力电容器技术标准的专有技术与革新,如 GMKP 电容器是一种重新界定干式电容器概念的充气型电容器 |



(续)

| 中文名称 | 英文名称 | 所属国家 | 标志 | 简介 |
|--------|---------------------|------|---|--|
| 三菱电气公司 | Mitsubishi Electric | 日本 |  | 在电子研究、工程及电气制造上一直处在世界领先地位,其电气设备广泛应用在通讯、家用电器、工业技术、能源及运输行业中 |
| 东芝电气公司 | TOSHIBA | 日本 |  | 日本创立最早的综合性电气公司。主要产品有核电设备;电站控制系统;各类电机、变压器、断路器、变频器及开关柜等;机电一体化产品;广播通讯设备、大规模集成电路、家用电器等 |
| 猎鹰电气 | Falcon Electric | 美国 |  | 生产并分销不间断电源、变压器和稳压器,面向美国和加拿大的政府、科学、金融、电信、计算机和其他工业领域 |

第二章

电工基本操作技能

第一节 钳工操作技能基础

在对电气设备进行生产、安装、维护和修理工作中，作为电工，除了必备的电工知识外，还应掌握一定的钳工知识和基本操作技能（即称电钳工）。

一、錾削

錾削所用的工具主要是錾子和锤子，是用锤子敲击錾子对工件进行切削加工的一种方法，常用来清除金属表面的凸缘、毛刺及分割材料。常用的錾子有扁錾、狭錾和油槽錾三种。扁錾一般用于清除金属表面的凸缘、毛刺和分割材料；油槽錾专门用于錾削油槽。

錾子的切削部分包括前后两个刀面和一个切削刃，如图 2-1 所示。在保证足够强度的情况下，楔角应尽可能小些。在錾削硬材料时，削楔角要大些；錾削软材料时，楔角要小些。如錾削铸铁、钢等硬材料时，楔角为

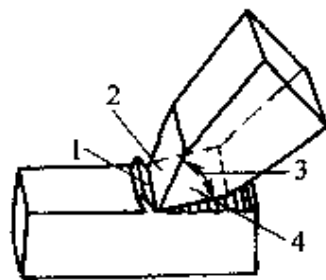


图 2-1 錾子的切削部分
1—切削刃 2—前刀面 3、4—楔角

60°~70°；錾铜、铝等软材料时，楔角为 30°~50°；錾削中等硬度的材料时，楔角为 50°~60°。

当錾子在使用过程中其刃较钝时，一般用砂轮机进行刃磨。刃磨时錾子的切削刃朝上，并高于砂轮中心，刃磨时用力不要太大，以免因錾子与砂轮机的摩擦作用使錾子温升过高而丧失硬度，在刃磨过程中应注意浸水冷却。



锤子规格用锤头的质量来表示，木柄的长度一般在 350mm 左右。

台虎钳是常用的夹持工具，分固定式和回转式两种。规格以钳口宽度划分，常用的有 100mm、125mm 和 150mm 等多种。台虎钳安装在钳桌上，钳桌离地面的高度一般在 800 ~ 900mm 之间。

在錾削时应注意以下几点：

- 1) 錾子要经常刃磨，保持锋利，以提高錾削工作效率，并且防止因切削刃较钝在工件表面打滑造成工伤事故。
- 2) 当錾子的尾部出现明显的毛刺或飞边时，应及时磨去，避免锤子击空或锤击时破裂飞进伤人。
- 3) 工作前应检查锤头是否牢固，若出现松动应及时加固。
- 4) 錾削操作每一工位限一人进行，一手握錾，一手握锤。切不可一人握錾，另一人拿锤，避免因配合失误发生工伤事故。

二、锉削

锉削是用锉刀对工件表面进行切削加工的一种方法。常用于对工件表面进行粗、精加工。

锉刀的构造如图 2-2 所示。锉刀面是锉刀的工作面，上面的齿纹有双齿纹和单齿纹两种，单齿纹锉刀的锉削阻力大，适用于软材料的锉削；双齿纹锉刀的齿纹是从两个方向交叉排列的，适用于脆性材料的锉削。

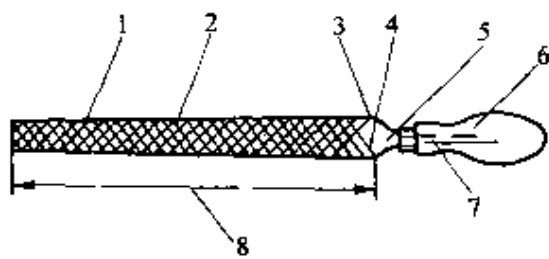


图 2-2 锉刀的构造

- 1—锉刀面 2—锉刀边 3—底齿
4—面齿 5—锉刀尾 6—木柄
7—舌 8—长度

根据齿纹间距，锉刀习惯上分为：粗齿锉（1号）、中粗锉（2号）、细齿锉（3号）、双细锉（4号）、油光锉（5号）；按其用途可分为普通锉、特种锉和整形锉三大类。



普通锉分平锉、方锉、三角锉、半圆锉和圆锉等五种。特种锉是加工特殊表面用的，其断面形状应与加工表面的形状相适应。整形锉又称什锦锉，用于修整工件上小而精细的部件，有5件一组合、6件一组合等。

在对工件表面进行锉削加工前，应根据被加工工件的材料、尺寸、加工精度及表面粗糙度等要求正确选择锉刀。大锉刀的握法如图2-3所示。对于小尺寸锉刀及整形锉来说，用一只手握持就可以了。

在锉削加工中，平面锉削是最基本也是最常用的一种，平面锉削方法有三种：顺向锉、交叉锉、推锉。

1) 顺向锉：该方法用于平面的最后锉光和锉平，其锉痕整齐美观，如图2-4a所示。

2) 交叉锉：该方法沿某一方向顺向锉，再沿另一方向顺向锉，锉痕是交叉的（以正交最为美观），如图2-4b所示。

3) 推锉：该方法是对表面已锉平的工件进行尺寸修正和降低表面粗糙度，如图2-4c所示。

工件表面是否锉平，一般用钢尺或刀口直尺以透光法检查其锉削平整程度。

在进行锉前加工时，应注意两手加于锉刀上的压力的变化。推力的大小主要用右手控制，而压力的大小由两手控制。在锉刀向前推进的过程中，右手逐渐增大压力，左手逐渐减小压力。如

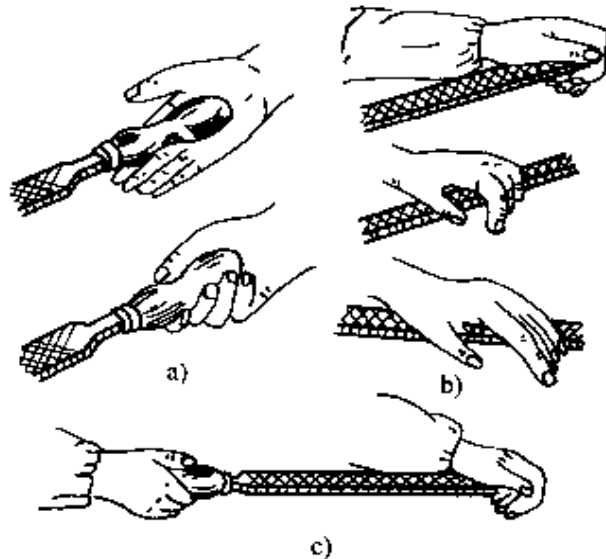


图 2-3 大锉刀的握法

a) 右手的握持 b) 左手的握持
c) 锉削姿势



果推进时两手压力保持不变，则工件两端会出现塌边现象；当锉刀拉回时，应稍微抬起，脱离工件，以免磨钝锉齿和切屑划伤工件表面。锉削速度一般控制在每分钟 20 次为宜。

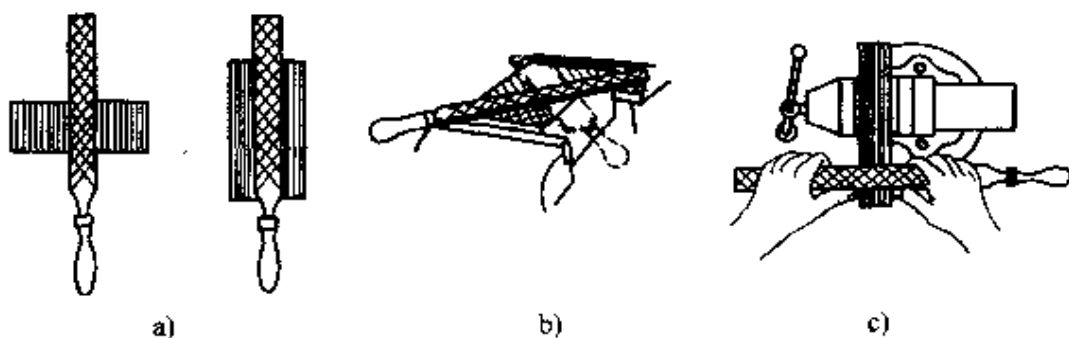


图 2-4 三种基本平面锉削方法

a) 顺向锉 b) 交叉锉 c) 推锉

锉削时应注意以下几点：

- 1) 锉刀应尽量先用一面，用钝后再用另一面。
- 2) 每次用完后，用钢丝刷顺着锉纹将残留其中的切屑清除。
- 3) 粗锉时，因用力较大，锉刀往往会从工件表面突然滑开，造成伤手事故，所以使用锉刀时必须戴上防护手套。
- 4) 不使用无柄或柄已损坏的锉刀。
- 5) 禁止用嘴吹工件表面及台虎钳上的切屑，防止细屑飞进眼睛里，也不能用手抹除切屑，既要防止金属刺扎手，又应防止因手指上的油污使锉刀打滑。
- 6) 锉刀很脆，不能用作撬、击工具。

三、锯削

锯削是用锯对材料进行分割的一种加工方法。锯削工具一般是手锯，由锯弓和锯条组成。锯弓分固定式和可调式两种。固定式只能装配 300mm 的锯条，而可调式锯弓可安装 200mm、250mm 及 300mm 三种规格的锯条，锯条的齿距有 0.8mm、1.0mm、



1.2mm 和 1.8mm 四种。对于软性材料和较大尺寸工件的锯削，应选用粗齿锯条；对于硬性材料、小尺寸工件和薄壁钢管的锯削，应选用细齿锯条。在锯削之前，应检查锯条的锯齿方向是否向前，锯削运动有上下摆动和直线移动两种形式。前一种比较省力，应用较广；后一种适用于锯削平底直槽和薄形工件，在锯削过程中，以每分钟 20~60 次来回运锯为宜，锯削软性材料时运锯速度快些，锯削硬性材料时运锯可慢些。

锯削时应注意以下几点：

- 1) 被锯削工件应用台虎钳夹紧。
- 2) 锯条的拉紧度应调节得当。太紧会因锯条缓冲小而易绷断；太松又影响锯缝的平直程度，因扭曲变形而折断。
- 3) 锯条的个别锯齿折断后，应立即停止锯削，否则邻近的锯齿会逐步折断，使用锉刀将断齿底部磨平，并将断齿的几个齿依次磨低。
- 4) 锯削时用力应均匀，不能太猛，否则会因锯条绷断而发生伤手事故。
- 5) 在工件快要锯断时应减小锯削力量，对沉重工件，在快要锯断时要用左手托住锯掉的一端或用支架支承，以防工件跌坏或砸伤脚面。

四、钻孔

钻孔是用钻头在材料或工件上钻削孔眼的加工方法。常用的钻孔设备有钻床、手电钻等。其中钻床包括台式钻床（台钻）、立式钻床和摇臂钻床。手电钻分手提式和手枪式两种。钻头有麻花钻、扁钻、扩孔钻和中心钻等，其中最为常用的是麻花钻头。

钻削时应注意以下几点：

- 1) 当钻孔直径较大时，工件一定要装夹牢固。在通孔快要钻透时，应减小进刀量。如果是在立钻或摇臂钻床上采用自动进刀方法，在通孔快钻透时，最好改用手动进刀，有利于控制切削力的大小。
- 2) 不准戴手套操作，以防钻头或切屑勾住手套发生事故。



- 3) 必须在停车后用铁勾或毛刷清除切屑，不得用手拉切屑。
- 4) 养成用钻钥匙来松紧钻夹头的习惯，不允许用锤子或其他物品敲击。
- 5) 由于钻头在切削过程中产生大量热量，因此在钻孔时用力不可太猛，必要时需加适当切削液（如乳化液）进行冷却。
- 6) 使用手电钻时应注意用电安全。

五、攻螺纹和套螺纹

用丝锥（即丝攻）在孔壁上旋转切制出内螺纹称为攻螺纹；用板牙在圆杆或管子上旋转切制出外螺纹称为套螺纹。在进行攻螺纹和套螺纹时，应注意螺纹的旋向，较常用的螺纹是右旋螺纹，规定不必标出旋向；左旋螺纹用“左”字标注。

1. 攻螺纹

攻螺纹所用的基本工具是丝锥和铰杠。丝锥由工作部分和柄部组成，其结构如图 2-5 所示。工作部分由切削部分和校

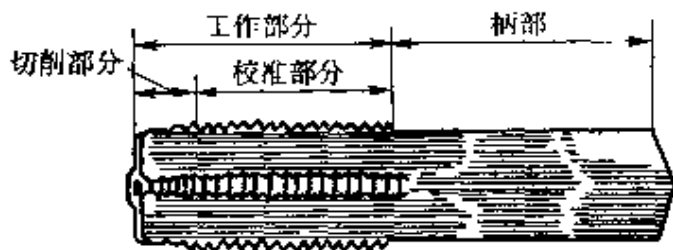


图 2-5 丝锥

准部分组成。切削部分在最前端，由几个刀齿构成，其直径从前向右逐渐增大。校准部分具有完整的牙型，用来校正和修光已切出的螺纹，并引导丝锥沿轴向前进。丝锥的柄部套接铰杠。

铰杠是传递扭矩和夹持丝锥的工具，分普通铰杠和丁字形铰杠两类，如图 2-6 所示。

攻螺纹时底孔的直径应比螺纹的小径稍大，否则，攻螺纹时丝锥有时会被咬住。普通螺纹的底孔直径 D 与螺纹公称直径 d 及螺距 t 三者的关系如下：

对于塑性较大的材料（如钢、纯铜）

$$D = d - t$$

对于塑性较小的材料（如铸铁、黄铜）

$$D = d - (1.05 \sim 1.1)t$$

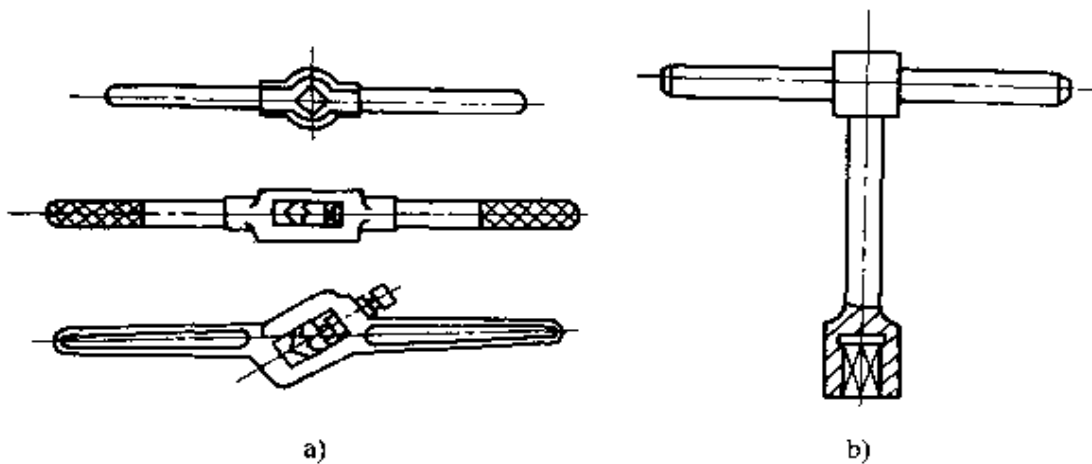


图 2-6 绞杠

a) 普通绞杠 b) 钉子形绞杠

2. 套螺纹

套螺纹所用的基本工具是板牙及绞杠。普通螺纹的圆板牙外形像圆螺母，如图 2-7 所示。其内部有切削刃、校准部分及排屑槽。切削刃是板牙两端的锥孔部分；校准部分是板牙的中间部分，用于校准和修光已切出的螺纹，并引导板牙沿轴向前进；绞杠是传递扭矩和固紧板牙的工具，如图 2-8 所示。

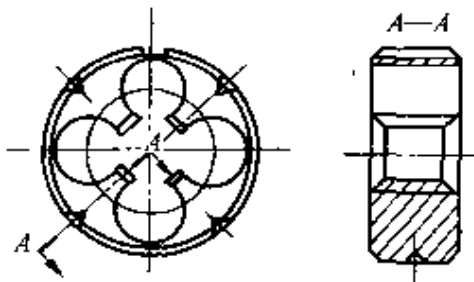


图 2-7 圆板牙

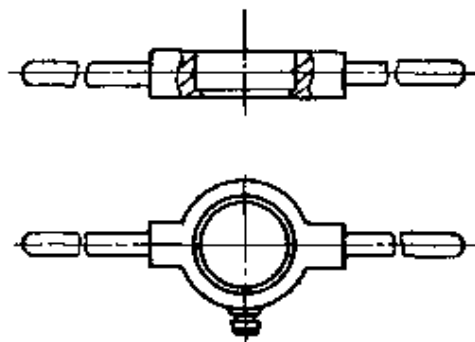


图 2-8 圆板牙绞杠

与攻螺纹相似，套螺纹时圆杆的直径应稍小于螺纹的大径。圆杆直径 D (mm) 与螺纹公称直径 d (mm) 及螺距 t (mm) 的关系如下：

$$D = d - 0.13t$$



在攻螺纹和套螺纹时应注意以下几点：

1) 攻螺纹的底孔孔口要倒角，套螺纹的圆杆端部也要倒角，这样比较容易起纹进量，也可保护刀刃。

2) 开始工作时，应尽量将丝锥或板牙放正，然后再加压（切不可敲击）并转动铰杠，当切入1~2圈时，应校正丝锥或板牙对工件的垂直度。

3) 操作中，铰杠每进半圈左右，就应倒转一些，使切屑断碎以便于排除。

4) 对塑性大的材料攻螺纹和套螺纹时，要加切削液，以减少切削阻力，降低螺纹表面粗糙度值和延长刀具的使用寿命。

六、弯曲

弯曲是把材料按需要弯成各种曲线或折线的工艺过程。

1. 弯曲工具

1) 锤子。

2) 弯棒：是电工弯电线管的常用工具。

3) 弯管器：用来弯曲厚壁或口径较大的钢管。

2. 弯曲的操作方法

1) 板料的弯曲方法 电工常用板料弯成管卡和管夹头。管卡的弯曲方法如图 2-9 所示。管夹头的弯曲方法如图 2-10 所示。

2) 圆柱管弯曲方法 直径在 25mm 及以下的电线管，如图 2-11 所示方法进行弯曲。在

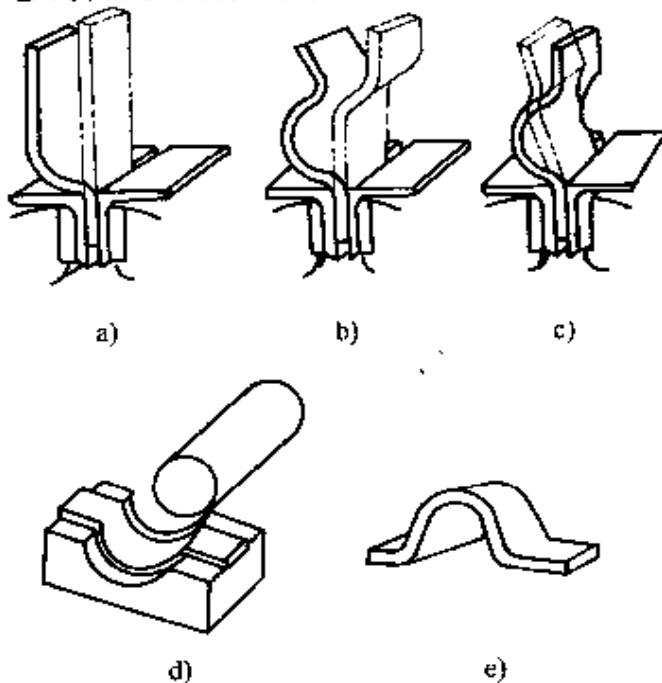


图 2-9 管卡的弯曲方法

a) 一端成形 b) 两端成形 c) 两端校直
d) 圆弧整形 e) 管卡成形



弯曲时，要逐渐移动弯棒，且一次弯曲的弧度不可以过大，否则要弯裂或弯瘪钢管。直径在 25mm 以上的电线管或各种厚壁管，按图 2-12 所示的方法进行弯曲。

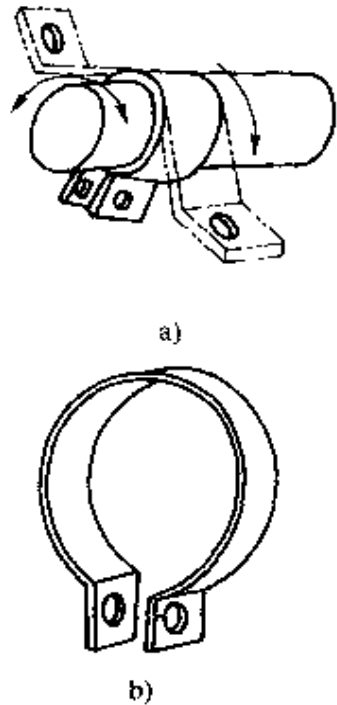


图 2-10 管夹头弯曲方法
a) 弯曲方法 b) 管夹头成形



图 2-11 中、小型电线管的弯曲方法

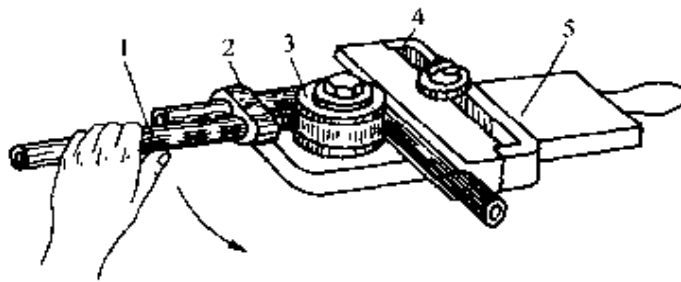


图 2-12 大型电线管或厚壁管的弯曲方法
1—手柄 2—扣钩 3—转盘 4—靠铁 5—底盘

凡是壁薄、直径大的钢管，在弯曲时，管内应灌满沙，否则要把钢管弯瘪。如采用加热弯曲，要用干燥无水分的沙子。灌沙后，管的两端要塞上木塞，如图 2-13 所示。

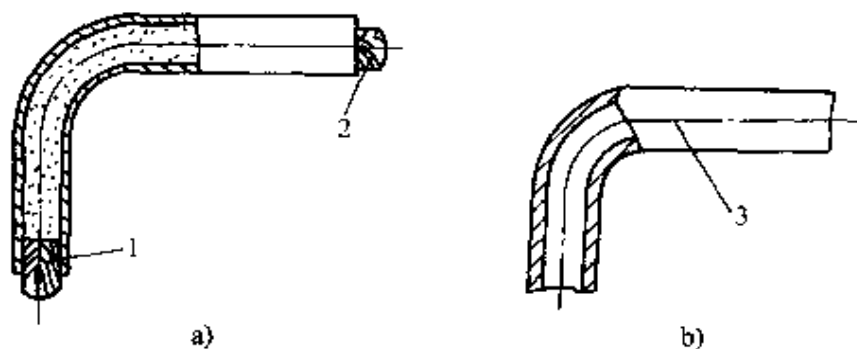


图 2-13 钢管弯曲的工艺要求

a) 较大直径薄壁管需灌沙弯曲 b) 有缝管应以缝作中间层
1、2—木塞 3—焊缝

七、装配工艺

装配是装备或装置在维修过程中的最后也是最重要的一道工序，装配的好坏，对维修质量起着决定性的作用。电工的装配工作，除了应了解机械方面装配的基本要求外，还要了解一定的电气方面的装配要求。例如在装配开关触点时，除了应注意到触点的分合机械动作的灵活性外，还需注意到触点的分合速度和合闸的终压力等电气要求；又如在装配电动机的前后端盖时，除了要照顾到前后轴承之间的轴向同心度外，还要兼顾到转子与定子之间的间隙大小。

一般的装配工艺是：

- 1) 熟悉装配图样以及技术条件；了解设备或装置的结构及每一个零件的作用和相互之间的连接关系。
- 2) 掌握装配的工艺规程、方法和注意事项。
- 3) 安排好装配场地，准备好所需工具。
- 4) 部件装配。
- 5) 总装配。
- 6) 调试。
- 7) 遵循一定的装配方法。



第二节 电工安全知识

随着社会的发展,电气设备在工农业生产及日常生活中的应用日益广泛,随之而来的是用电安全的矛盾愈来愈突出。由于对电气设备使用不合理,安装不妥、维修不及时或使用电气设备的人员缺乏必要的电气安全知识,不仅会浪费电能,而且会出现设备损坏、停电和触电等事故,造成严重后果。

一、电流对人体的危害

1. 电流对人体的作用

(1) 电击 电击是电流对人体内部组织造成的伤害,是最危险的触电伤害,绝大多数触电死亡事故都是由电击造成的。

(2) 电伤 电伤是指触电后人体外表的局部创伤,分灼伤、电烙印和皮肤金属化三种。

2. 影响触电危险程度的主要因素

(1) 通过人体的电流对电击伤害的程度有决定性作用 通过人体的电流越大,人体的生理反应越明显,感觉越强烈,从而引起心室颤动的时间越短,致命的危险就越大。

(2) 电流通过人体持续时间对人体的影响 时间越长,电流对人体组织的破坏越严重,对心脏的危险性越大。

(3) 作用于人体的电压对人体的影响 随着作用于人体电压的升高,人体电阻急剧下降,致使电流迅速增加,从而对人体的伤害更为严重。

3. 人体的触电方式

人体触电一般分为与带电体直接接触触电、跨步电压触电、接触电压触电等几种形式。

(1) 人体与带电体接触触电 人体与电气设备的带电部分接触触电分为单相触电和两相触电。当人体的某一部分碰到相线(俗称火线),另一部分碰到零线时构成单相触电,作用于人体上的电压为 220V;当人体碰到两根相线时,构成两相触电,作用于人体上的电压为 380V。



(2) 接触电压触电 接触电压是指人站在发生接地短路故障设备或断线的附近，其手与故障设备直接接触，手、脚之间因承受的电压而发生触电。

(3) 跨步电压触电 当电气设备或线路发生接地短路故障时，在地面上半径为 20m 的范围内形成电位不同的同心圆（圆心为接地短路点），半径越小的圆周上，其电位越高。若人在这一区域里行走，其两脚之间有电位差，从而发生跨步电压触电。

现场上当发现有接地断线时，不要沿接地点的径向方向逃逸，最好沿“渐开线”避开，并警告过往行人及车辆。

二、安全电压

安全电压与通常所说的低电压是两个不同的概念。《安全工作规程》规定对地电压 250V 及以下的电压为低电压；而《电力设备接地设计技术规程》规定额定电压 1kV 以下的电压为低电压。这两种规程所规定的低电压在发生人身触电时，都是不安全的电压。

人体触电时的安全电压与人体安全电流和人体实际电阻有关，人体的电阻存在一定的差异，而且同一个人在不同环境条件下的人体电阻变化也很大。因此，根据我国具体条件和环境，一般规定的安全电压有 36V 、 22V 和 12V 。在干燥、温暖、无导电粉尘、地面绝缘的环境中也有以 65V 作为安全电压的。

1) 携带式作业灯、隧道照明、机床局部照明、距离地面 2.5m 的照明，以及部分手持电动工具等，安全电压均采用 36V 。在地方狭窄、工作不便、潮湿阴暗以及工作人员在工作中需要接触大面积金属表面等危险环境中（如矿井、压力容器内工作），必须采用 12V 的安全电压。

2) 电焊设备的二次电压在开路时采用 65V 。

3) 电力电容器从电源上断开后，应通过放电装置进行放电，以保证运行和检修人员在停电的电容器上进行工作时的安全。无论电容器的额定电压为多大，在切断电源后的 30s 之内，电容器的端电压不得超过 65V 。



4) 采用降压变压器（如行灯变压器）取得安全电压，并应采用双绕组变压器，使二次绕组与一次绕组间只有磁联系，而不存在直接电联系。此外，安全电压的供电网络的中性线或一根相线应接地，以防由电源引起的触电危险。

三、触电的急救处理

作为电工人员，必须熟悉和掌握触电急救技术。

1. 脱离电源

使触电者尽快脱离电源，这是救治触电者的第一步，也是最重要的一步。具体操作如下：

1) 若电源开关就在附近，应迅速地拉开开关，切断电源。

2) 若电源开关离救护人较远，可用绝缘手钳或装有干燥木柄的刀、斧、铁锹等工具将电线切断，救护人应该特别注意被切断的电源线触及人体。

3) 当导线搭在触电者的身上或压在身下时，可用干燥木棒、竹竿或其他带有绝缘手柄的工具，迅速将电线挑开，但绝对不能直接用手或用导电的物体（包括潮湿的木棒等）去挑电线，以防触电。

4) 若人在高空触电，应采取安全措施，以防电源切断后，触电者从高空掉下致残甚至致死。

2. 急救处理

当触电者脱离电源后，应立即进行现场紧急救护，同时赶快派人请医生前来抢救。

1) 若触电者的伤害并不严重，神志尚清醒，只是心慌，全身无力，或者虽一度昏迷，但未失去知觉时，让触电者安静休息，不要行动，并密切观察。

2) 若触电者的伤害较严重，失去知觉，便着重检查触电者的双目瞳孔是否放大，呼吸是否停止和心脏跳动情况如何等项目。检查项目和方法如图 2-14 所示。

如果触电者停止呼吸，但心脏微微跳动时，应采取口对口人



工呼吸法；若虽有呼吸，但心脏停止跳动时，应采取人工胸外挤压心脏法。



图 2-14 对触电者的检查

a) 检查瞳孔 b) 检查呼吸 c) 检查心跳

3) 若触电者的呼吸和心跳均已停止，完全失去知觉时，则需采用口对口人工呼吸和人工胸外挤压心脏两种方法同时进行（现场须有两人抢救），若现场仅有一人抢救时，可交替使用这两种方法，先胸外挤压心脏 2~8 次，然后暂停，再口对口吹气 2~3 次，再挤压心脏，如此循环反复地进行操作。

在上述急救中，应尽可能地在现场进行，只有在现场危及安全时，才允许将触电者移到安全的地方进行急救，在运送医院的途中，这种急救也不应该间断。

3. 人工呼吸法抢救

人工呼吸法有多种，通常采用口对口（或口对鼻子）人工呼吸法。方法如图 2-15 所示。

1) 首先迅速解开触电者的衣领、裤带，松除其上身的紧身



衣、护胸和围巾等，使其胸部能自由扩张，不妨碍呼吸。

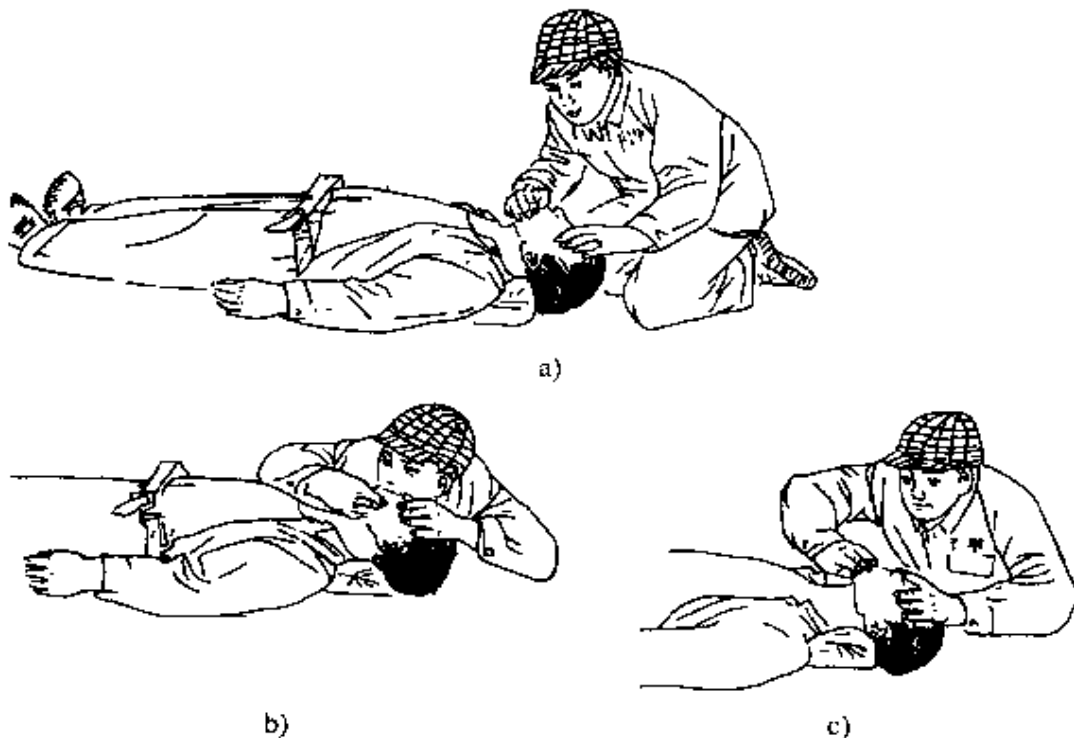


图 2-15 口对口人工呼吸

a) 触电者平卧姿势 b) 急救者吹气方法 c) 触电者呼吸姿态

2) 使触电者朝天仰卧，把头侧向一边，张开其嘴巴，清除口腔中的血块、假牙及其他异物等。如果舌根下陷，应将其拉出，以使呼吸道畅通，然后将其头部扳正，使之尽量后仰，鼻孔朝天。

3) 抢救者位于触电者头部一侧，用一只手捏紧其鼻孔，不使漏气；用另一只手将其下巴拉向前下方，使其嘴张开，抢救者作深呼吸，紧贴触电者的嘴，向其大口吹气，如果嘴巴掰不开，可贴鼻孔吹气。

4) 吹气完毕，应立即离开触电者的嘴巴（或鼻孔），并放松紧捏的鼻孔（或嘴巴），让其自由排气，使胸部自行回缩，达到呼气的目的。

口对口（鼻）人工呼吸，每 5s 一次，其中吹 2s，停 3s。对幼小儿童用此法时，鼻子不必捏紧，而且吹气不能过猛。

4. 人工胸外挤压心脏法

1) 与人工呼吸法的要求一样,使触电者仰卧,姿势与人工呼吸方式相同,但后背着地处须结实,为硬地或木板之类。

2) 抢救者位于触电者一侧,最好是跨腰跪在触电者的腰部,两手相叠(对幼小儿童只用一只手),手掌根部放在心窝稍高一点的地方(掌根按置于触电者胸骨的 $1/3$ 部位),掌根所在位置即是正确的压区。

3) 抢救者找到正确的压点后,自上而下垂直均衡地用力向下挤压,压出心脏里面的血液。对儿童,用力适当小一些。

4) 挤压后,掌根突然放松,但手掌不要离开胸膛。依靠胸部的弹性,自动恢复原状,心脏扩张,血液流回心脏。方法如图2-16所示。

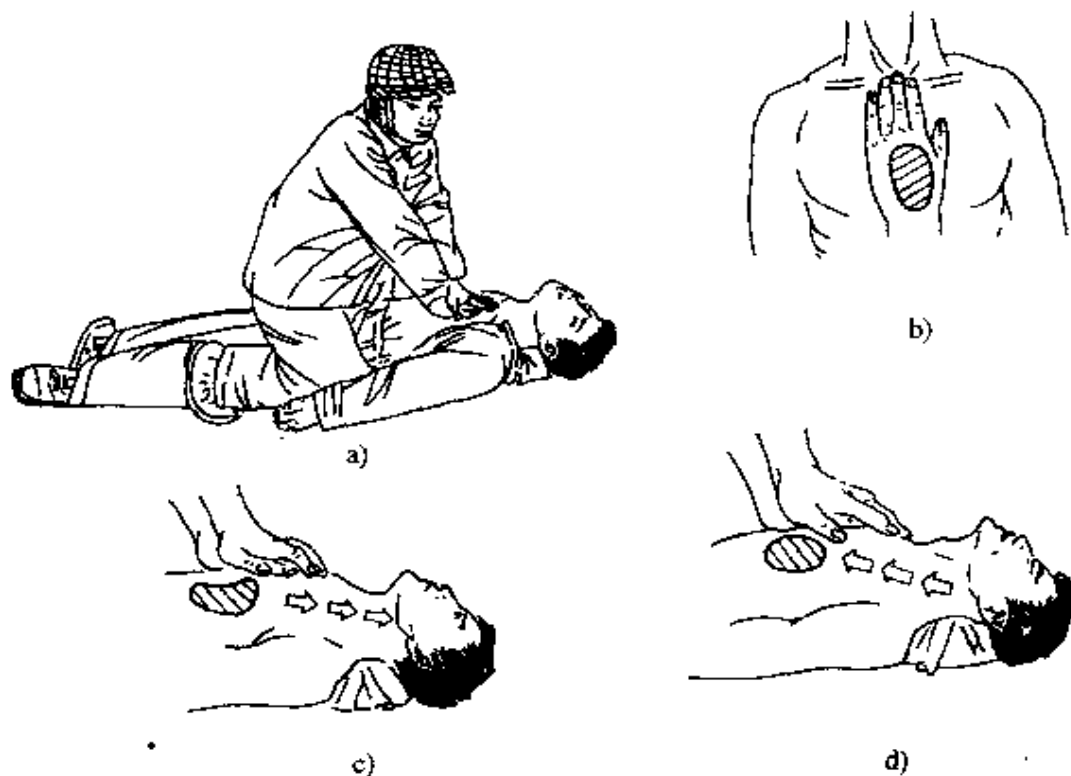


图 2-16 胸外心脏挤压法

- a) 急救者跪跨位置 b) 急救者压胸的手掌位置
c) 挤压方法示意 d) 突然放松示意



这种救护动作要求反复不停地对触电者的心脏进行挤压和放松，每分钟约 60 次左右为宜。挤压时定位要准确，用力要适当，既不能用力过猛，以免将胃中的食物也挤压出来，堵塞气管，影响呼吸，或折断肋骨，损伤内脏；又不可用力太小，达不到挤压血液的作用。

在实行人工呼吸和心脏挤压时，抢救者应密切观察触电者的反应。一旦发现触电者有苏醒特征，如眼皮闪动或嘴唇微动，就应中止操作几秒钟，以让其自行呼吸和心跳。在现场中，这种救护工作对抢救者来说，是非常疲劳的，往往长达数小时之久，对触电形成的假死，一定要坚持救护，直到触电者复苏或医务人员前来救治为止。只有医生才有权宣布触电者真正死亡。

第三节 绝缘导线的连接

一、剥削绝缘层

1. 塑料绝缘线头的剥削

(1) 用剥线钳剥离塑料绝缘层 用剥线钳剥离塑料绝缘层最方便，但只适应线径较细的绝缘线。对软线的绝缘层要用剥线钳剥离，不可用电工刀剥离，因其容易切断芯线。

(2) 用钢丝钳来剥削绝缘层 适用于芯线截面为 4mm^2 及以下的塑料线。操作方法如图 2-17 所示，用钳头刀口轻切塑料层，不可切着芯线，然后用右手握住钳子头部用力向外勒去塑料层，同时用左手把紧电线反方向用力配合动作。

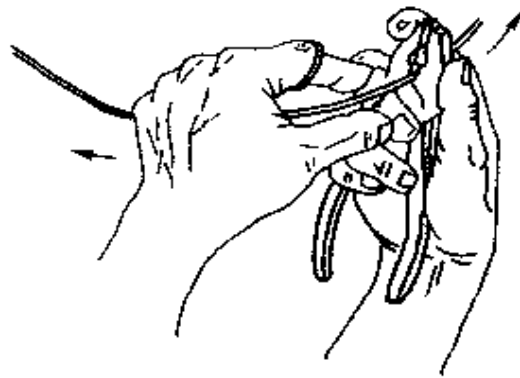


图 2-17 用钢丝钳剥离塑料层的方法

(3) 用电工刀剥削绝缘层适用于较大的塑料线。操作方法如图 2-18 所示。

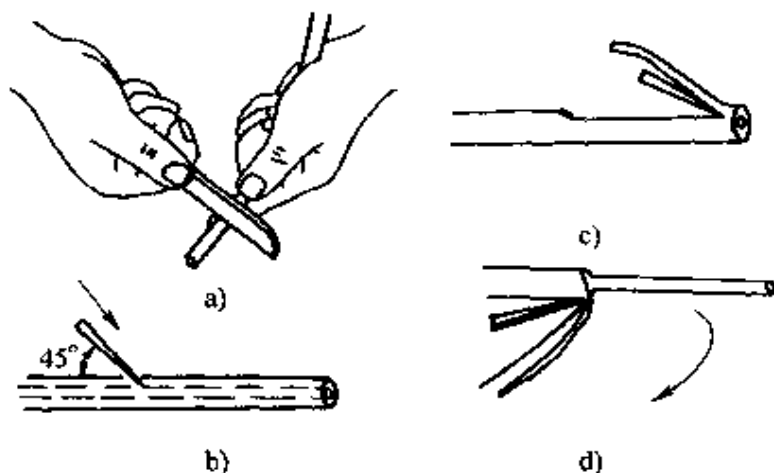


图 2-18 电工刀剥削塑料层方法

a) 握刀姿势 b) 刀以 45° 倾斜切入 c) 刀以 15° 倾斜推削 d) 扳转塑料层并在根部切去

2. 护套线的护套层和绝缘层的剥削

护套层用电工刀剥离，方法是按所需长度用刀尖在线芯缝隙间划开，接着扳转，用刀口切齐，如图 2-19 所示。



图 2-19 护套层的剥离方法

a) 刀在两线缝间划开护套层 b) 扳转护套层并在根部切去

绝缘层的剥削方法如同塑料线，但绝缘层的切口与护套层的切口间应留有 5~10mm 距离。

对于橡胶线和花线的剥削方法如同塑料线。

二、导线的连接

常用导线的线芯有单股、7 股和 19 股等多种。按材料可分为铜芯线和铝芯线。

1. 铜芯导线线头的连接方法

(1) 单股铜芯线的直接连接方法 在剥去两线头的绝缘层



后，把两线端 X 形相交，然后相互绞合 2~3 圈，再扳直两线端在线芯上紧贴并绕 6 圈，剪去多余的线端，最后用绝缘胶布缠封，如图 2-20a 所示。

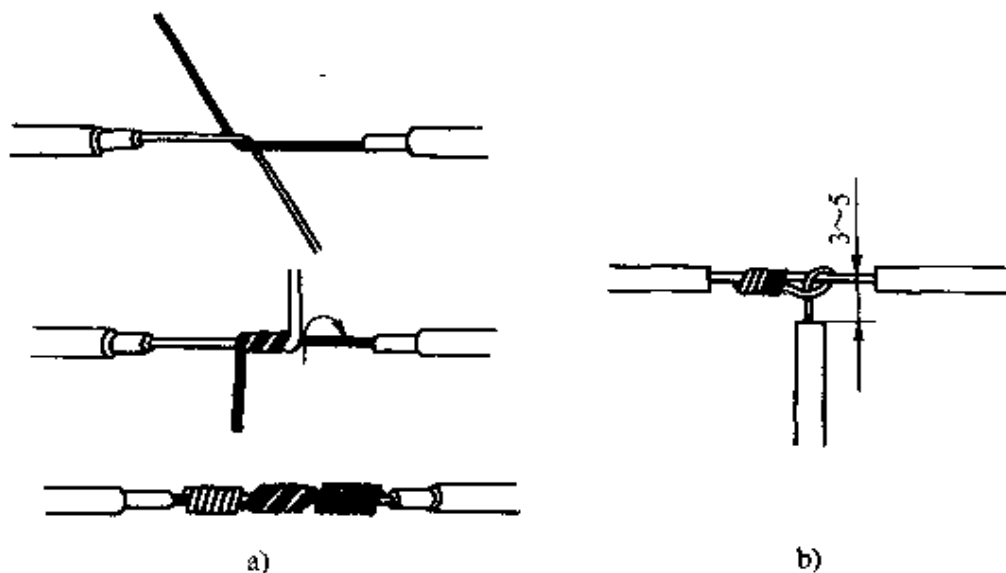


图 2-20 单股芯线的连接方法

a) 直线连接 b) T 形分支连接

(2) 单股铜芯线的 T 形分支连接方法 先剥去绝缘层，然后把支线芯线线头与干线芯线十字相交，使支线芯线根部留出约 3~5mm，对于小截面线芯支线，环绕成结状后，再把支线线头抽紧扳直，然后再紧密地并缠 6~8 圈；对于较大截面线芯支线，可在与干线线芯十字相交后直接紧密并缠 8 圈，剪去多余的线端，最后用绝缘胶布缠封，如图 2-20b 所示。

(3) 多股铜芯线的直接连接方法 (适用于 7 股、19 股)

1) 先剥去绝缘层，将芯线拉直，将芯线头全长的 1/3 根部进一步绞紧，然后将余下的 2/3 根部的芯线头分散成伞骨状。

2) 把两伞骨状线头隔股对叉 (19 股可每两股对叉，必要时每端可剪掉 3~5 根芯)，然后捋平两端每股芯线。

3) 将一端芯线分成两组 (7 股芯线按 2、2、3 股分成 3 组；19 股芯线分成 4~5 组)，将第一组芯线扳直，然后按顺时针方向紧贴并缠 2 圈，再扳成与芯线平行的直角，接着再按相同方法紧缠第二组和第三组芯线。注意最后一组芯线扳成直角时一定要紧



贴前一组芯线已弯成直角的根部，最后剪去多余的线端，并用绝缘胶布缠封，如图 2-21 所示。

(4) 多股铜芯线的 T 形分支连接方法 在剥去绝缘层后，把分支芯线线头的 $\frac{1}{8}$ 处进一步绞紧，再将 $\frac{7}{8}$ 处部分的芯线分成两组，将干线芯用螺钉旋具撬开并分成两组，将支线 2 芯的一组插入干线的两组芯线的中间（7 股芯线），然后把三股芯线的一组往干线一边按顺时针紧缠绕 2~3 圈，另一组 2 芯线则按逆时针紧缠 2~5 圈，剪去多余部分，最后用绝缘胶布缠封，如图 2-22 所示。

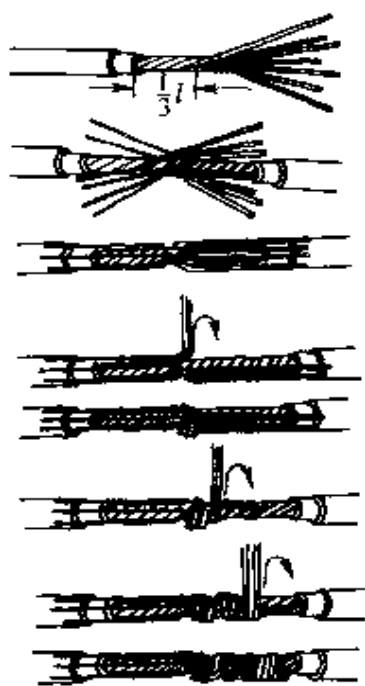


图 2-21 7 股芯线的
直线连接

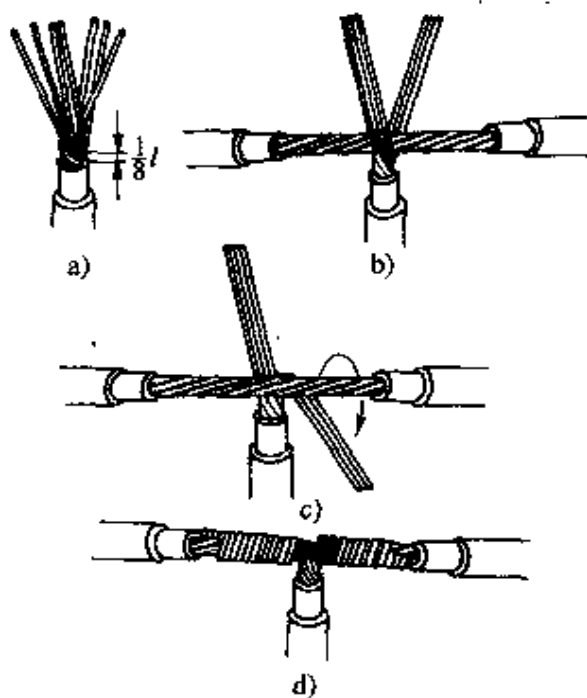


图 2-22 7 股芯线的 T 形分支连接

(5) 多股铜芯线的 U 形轧压接方法 根据导线的截面积，先选择合适的 U 形轧，每个导线接头要用 2~2 副 U 形轧，连接方法如图 2-23 所示。

2. 铝芯导线线头的连接方法

(1) 螺钉压接法 该方法适用于负荷较小的单股芯线的连接，如开关、灯头和线头的连接。

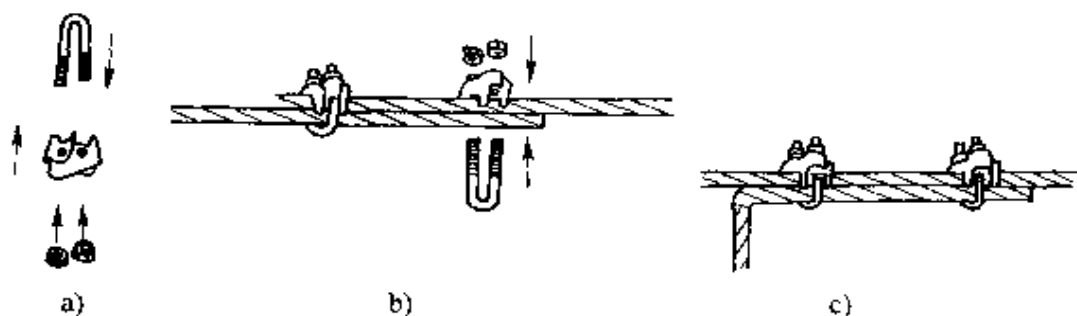


图 2-23 U形轧连接方法
a) U形轧 b) 直线连接 c) T形分支连接

(2) 钳接管直线机械压接法 该方法适用于户内外较大负荷的多根芯线的直线连接。根据导线的截面选择合适的钳接管(又称压接管),压接前应清除掉钳接管内孔及接头表面的氧化层,然后按图 2-24 所示的方法和要求用压接钳进行压接,对于钢芯铝绞线,应在两线之间衬垫一条铝质垫片。

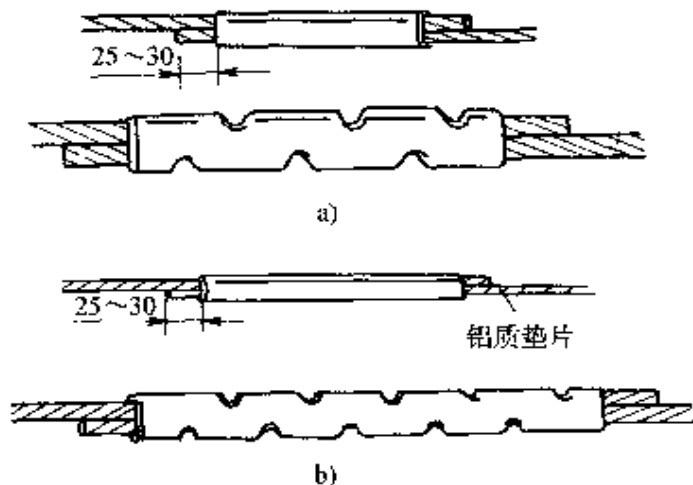


图 2-24 钳接管和导线穿入要求
a) 铝绞线 b) 钢芯铝绞线

(3) 沟线夹螺钉压接的分支连接方法 该方法适用于架空线中的分支连接。当导线截面在 70mm^2 及以下时,用一副小型沟线夹,支线末端与下线用钢丝绑扎;当导线截面在 95mm^2 及以上时,应选用两副大型沟线夹,两副沟线夹之间应保持 $200\sim 300\text{mm}$ 距离,如图 2-25 所示。

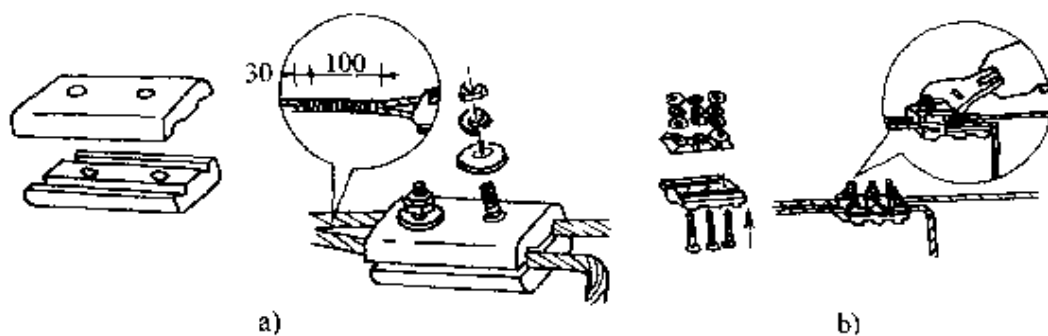


图 2-25 沟线夹的安装方法

a) 小型沟线夹 b) 大型沟线夹

3. 绝缘电线绝缘层的恢复

采用包缠法，通常用黄蜡带、涤纶薄膜带作为恢复绝缘层的材料。绝缘带的宽度，一般选用 20mm 的一种，比较适中，包缠也方便。用在 380V 线路上的电线恢复绝缘时，必须先包缠 1~2 层黄蜡带（或涤纶薄膜带），然后再包缠一层黑胶带。用在 220V 线路上，先包缠一层黄蜡带（或涤纶薄膜带），然后再包缠一层黑胶带；也有只包缠两层黑胶带。包缠的方法和要求如图 2-26 所示。绝缘带或纱带包缠完毕后的末端用纱线绑扎牢固，或用绝缘带自身套结扎紧，方法如图 2-27 所示。黑胶带具有粘性可自作包封。

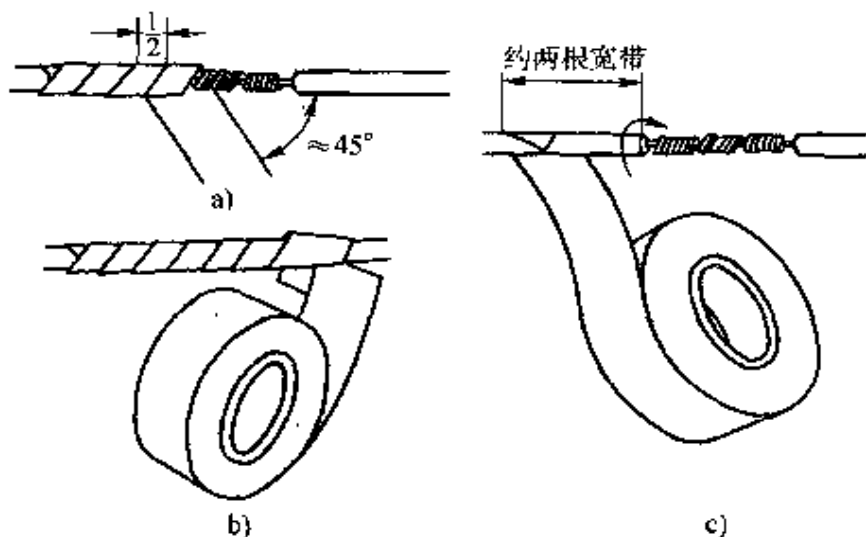


图 2-26 绝缘带的包缠方法

a) 绝缘带压入导线完整绝缘层 b) 压叠半幅带宽 c) 绝缘带衔接方法

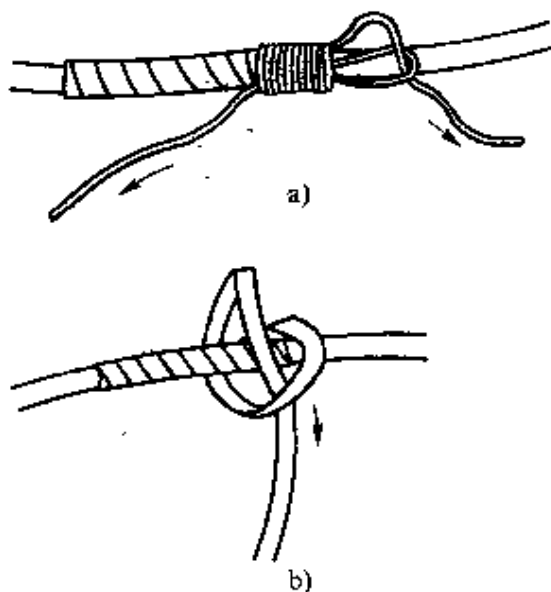


图 2-27 绝缘带或纱带末端的防散处理

a) 纱线绑扎 b) 绝缘带自身套结

第四节 登高与绳子结扣

电工在登高作业时，要特别注意安全。未经现场训练或患有心脏病、严重高血压等疾病者，均不能擅自使用登高工具登高。

一、登高工具

(1) 梯子 如图 2-28 所示，电工常用的梯子有直梯和人字梯两种，前者通常用于户外登高作业，后者通常用于户内登高作业。直梯的两脚应当绑扎橡胶之类防滑材料；人字梯应当在中间绑扎两道自动滑开的安全绳。登在人字梯上操作时，切不可采用骑马方式站立，以防人字梯两脚自动滑开时造成严重的工伤事故。骑马站立的姿势，人在操作时也极不灵活。

(2) 蹬板 又叫踏板，如图 2-29 所示。

(3) 脚扣 又叫铁脚，如图 2-30 所示。脚扣的攀登速度较快，容易掌握登杆方法，但在杆上作业时没有蹬板灵活舒适，易于疲劳，所以适用于杆上短时间作业。

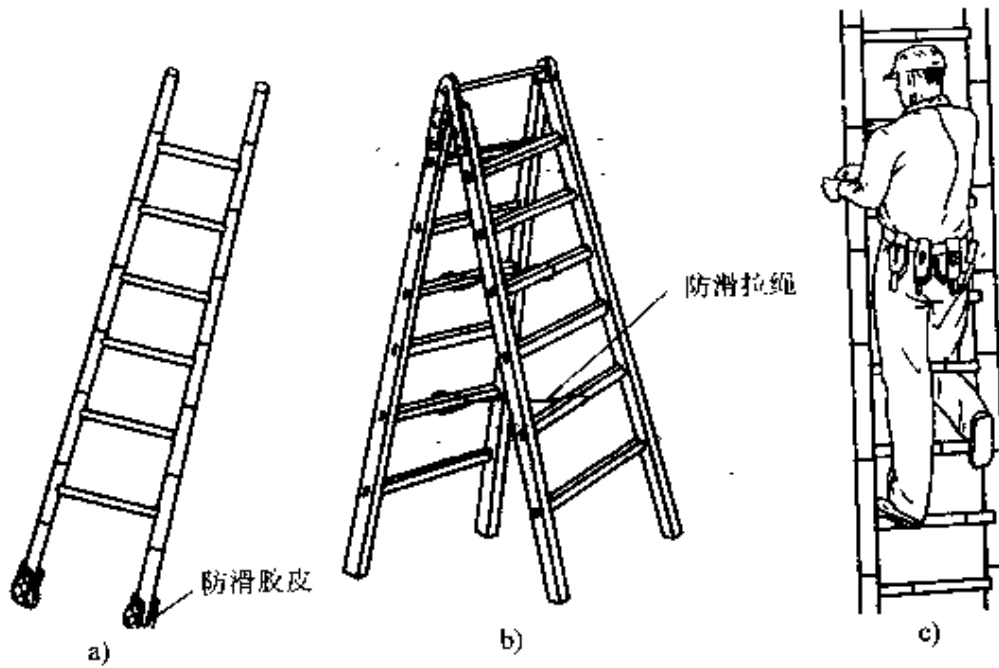


图 2-28 电工用梯
a) 直梯 b) 人字梯 c) 电工在梯子上作业的站立姿势

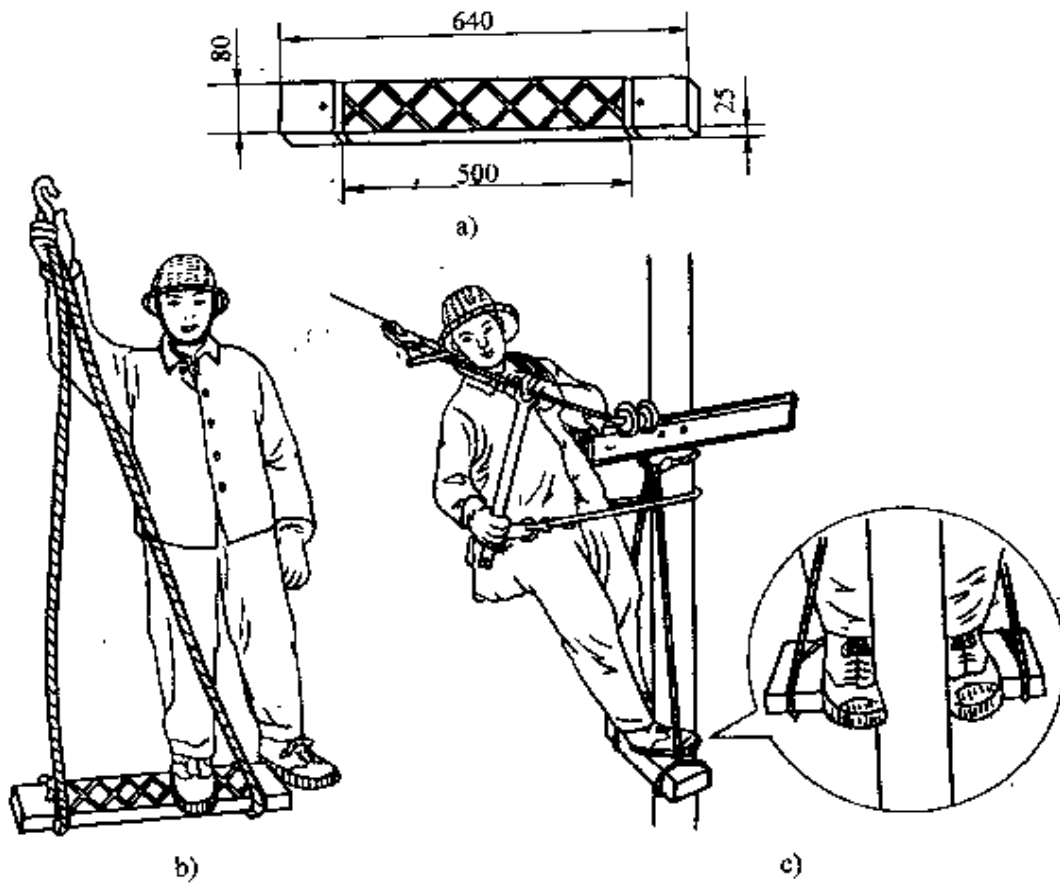


图 2-29 蹬板
a) 蹬板规格 b) 蹬板绳长度 c) 在蹬板上作业的站立姿势

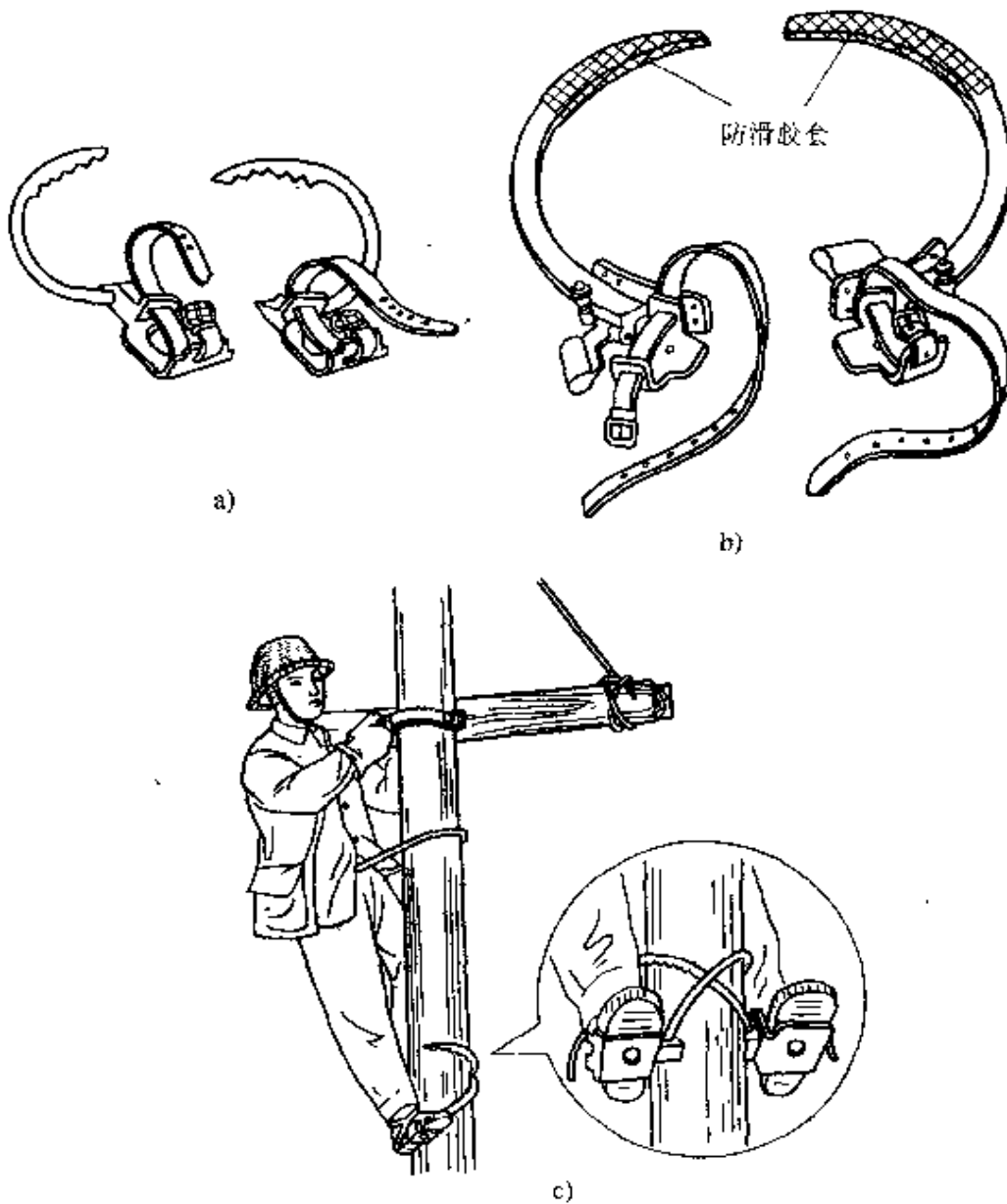


图 2-30 脚扣

a) 登木杆用脚扣 b) 登混凝土用脚扣 c) 杆上操作时两脚扣的定位方法

(4) 腰带、保险绳和腰绳 这些是电杆登高操作的必备品。如图 2-31 所示，腰带是用来系保险绳、腰绳和吊物绳的，使用时应系结在臀部上部，而不是系结在腰部，否则操作时既不灵活又容易扭伤腰部。



(5) 电工工具夹 是户内外登高操作时必备品。用来插装活扳手、钢丝钳、螺钉旋具和电工刀等电工常用工具，如图 2-32 所示。

(6) 防护用品 电工登杆操作，必须戴防护帽、防护手套和穿电工绝缘鞋。

另外还有吊绳、吊篮和背包。

二、常见的绳子结扣

电工施工中，经常要用绳索，而绳索结的扣结，必须满足操作的需要，还应考虑解结方便和安全可靠。以下是常见的几种电工绳结：

(1) 扛物结 用来扛抬工件。扣结方法如图 2-33a 所示。

(2) 拖物结 用来拖拉较重的工件。扣结方法如图 2-33b 所示。

(3) 拽物结 用来拽拉各种导线，使导线展直。扣结方法如图 2-33c 所示。

(4) 吊物结 用来吊取工件或工具。扣结方法如图 2-33d 所示。

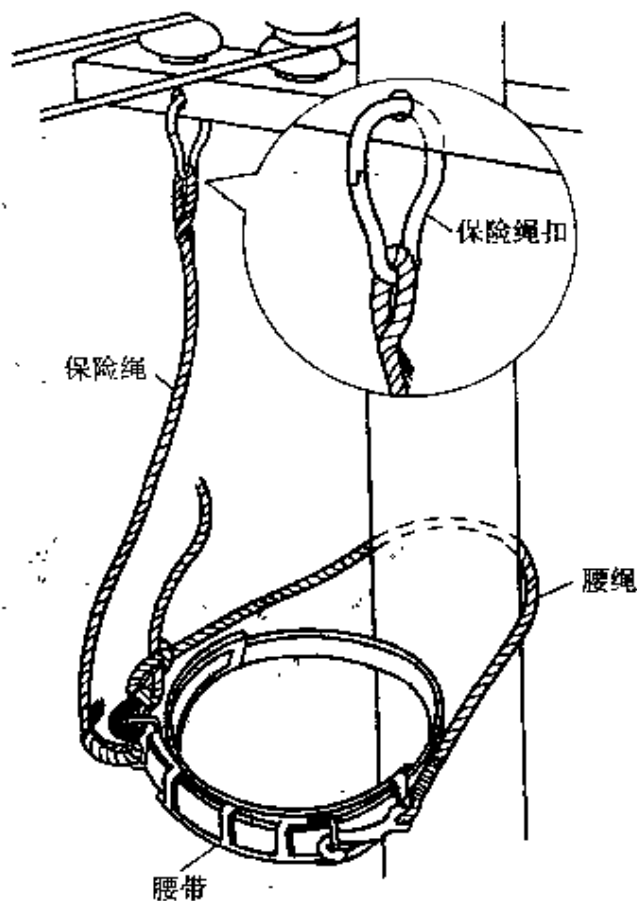


图 2-31 腰带、保险绳和腰绳的使用

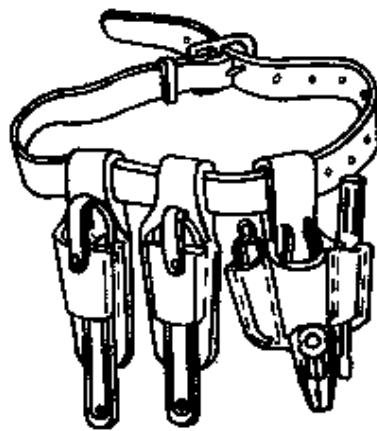


图 2-32 电工工具夹

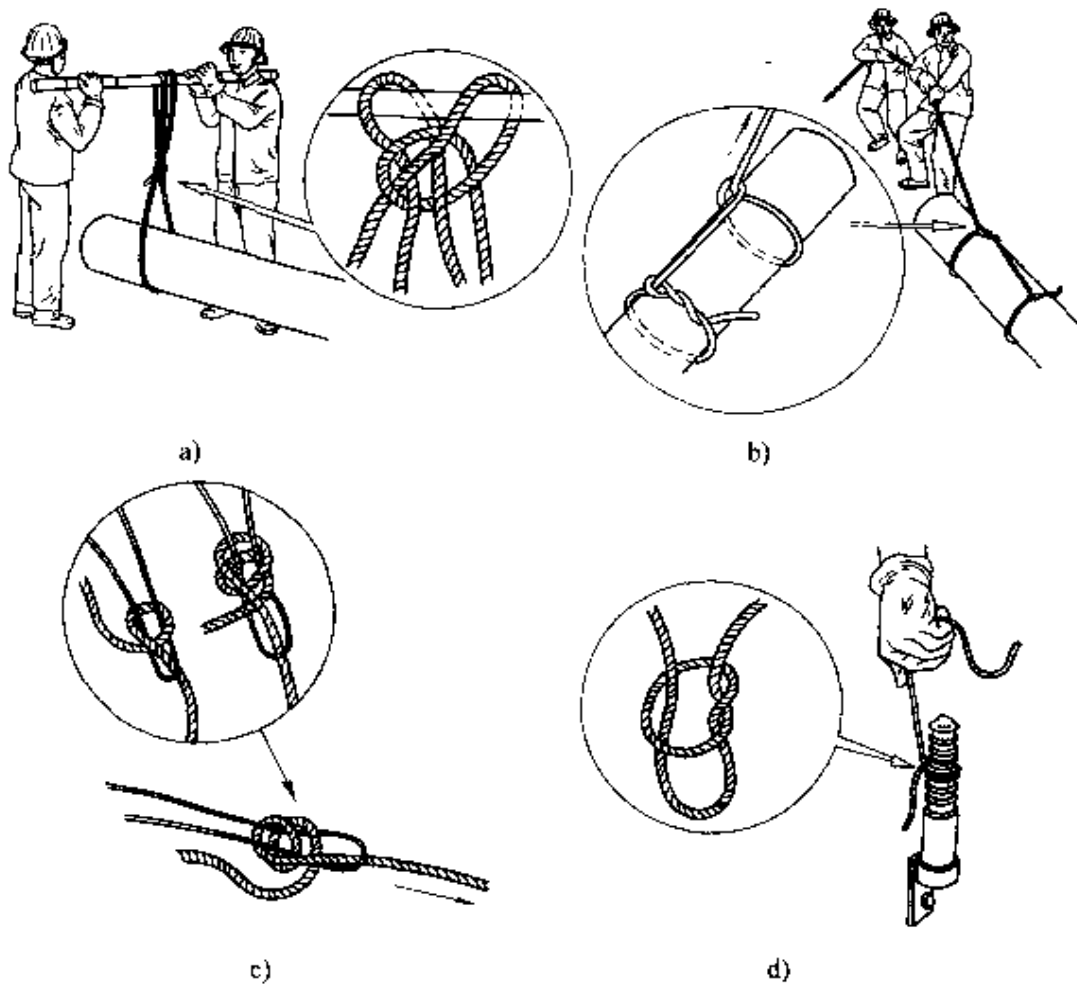


图 2-33 电工常用绳结

a) 扛物结 b) 拖物结 c) 拽物结 d) 吊物结

第五节 安全操作技术措施

在全部停电或部分停电的电气设备上工作，必须完成停电、验电、装设接地线、悬挂标示牌和装设遮栏等保证安全的技术措施。上述措施可由值班员进行。对于无值班人员的电气设备，可由断开电源的工作人员执行，并应有监护人在场。

一、停电

在工作地点，必须停电的设备如下：

- 1) 待检修的设备。
- 2) 工作人员在进行工作时，其正常活动范围与带电设备的



距离小于表 2-1 所规定安全距离的设备。

表 2-1 工作人员工作中正常活动范围与带电设备的安全距离

| 电压等级/kV | | 10 及以下 | 20 ~ 35 | 22 | 60 ~ 110 | 220 | 330 |
|---------|-----|--------|---------|------|----------|------|------|
| 安全距离 | 无遮栏 | 0.70 | 1.00 | 1.20 | 1.50 | 2.00 | 3.00 |
| /m | 有遮栏 | 0.35 | 0.6 | 0.9 | 1.50 | 2.00 | 3.00 |

3) 带电设备在工作人员后面及两侧又无可靠安全措施的设备。将检修设备停电, 必须把各方面的电源完全断开(任何运行中的星形接线设备的中性线, 应视为带电设备), 必须切断刀开关, 使各方面至少有一个明显的断点, 禁止在只经断路器断开电源的设备下工作。与停电设备有关的变压器和电压互感器, 必须从高、低压两侧断开, 以防止由这些设备向停电检修设备反送电, 切断开关和刀开关的操作电源, 刀开关操作把手必须锁住, 防止向停电检修设备误送电。

停电拉闸操作必须按照“先断断路器, 后断负荷侧刀开关, 最后断母线侧刀开关”的顺序进行。

送电时: 在确定断路器断开后, 先合母线侧刀开关, 后合负荷侧刀开关, 最后合断路器。

二、验电

待检修的电气设备和线路停电后, 在悬挂接地线之前必须用验电器验明该电气设备确无电压。验电时, 必须用电压等级合适且合格的验电器。在检修设备进出线两侧的各相上分别验电。线路的验电应逐相进行。在对同杆架设的多层电力线路进行验电时, 其操作顺序为: 先验低压, 后验高压; 先验下层, 后验上层, 且三相均验。

需要说明的是: 表示设备断开和允许进入间隔的信号及经常接入的电压表的指示等等, 不能作为无电压的依据。但如果指示有电, 则禁止在该设备上工作。

三、装设接地地线

为了防止已停电的工作地点因误操作或误动作突然来电, 应



立即将已验明无电的检修设备装设三相短路接地线，以保证工作人员的人身安全。

对于可能送电至停电设备的各部位或停电设备可能产生感应电压的部分都要装设接地线，且保证所装接地线与带电部分应符合规定的安全距离。

若检修部分为几个在电气上不相连的部分，则各段均应分别验电并装设接地线，并要求接地线与检修部分之间不得串接开关或熔断器。对于全部停电的降压变电所，应将各个可能来电侧三相短路接地，其余部分不必每段都装设接地线。

在室内配电装置上，接地线应装在该装置导电部分的规定地点，这些地点的油漆应刮去。

接地线的装设应注意以下几点：

1) 装设时，应先将接地端可靠接地，当验明设备或线路确实无电后，立即将接地线的另一端接在设备或线路的导电部分上。

2) 检修母线时，若母线长度在 10m 以下，可以只装设一组接地线。在门形构架的线路侧进行停电检修，若工作地点与所装接地线的距离小于 10m 时，工作地点虽然在接地线的外侧，也可不另装接地线。

3) 同杆架设的多层电力线路装设接地线时，应先装低压，后装高压；先装下层，后装上层。

4) 装设接地线时，必须由两人进行。若为单人值班，只允许使用接地刀开关接地，或用绝缘棒合上接地刀闸。

5) 装设接地线，必须先装接地端，后装导体端，而且必须接触良好、可靠。拆接地线时，先拆导体端，后拆接地端。

6) 装拆接地线时均应使用绝缘棒或戴绝缘手套，人体不得碰触接地线。

7) 接地线应采用多股软裸铜线，其截面应满足短路电流热稳定的要求，且不得小于 25mm^2 。接地线必须使用专用线夹将其固定在导体上，严禁用缠绕的方法。



8) 若电杆或杆塔无接地引下线时,可采用临时接地棒,接地棒打入地下的深度不得小于0.6m。

每组接地线均应编号,并存放在固定地点。存放位置也要编号,接地线号码与存放号码必须一致。

四、悬挂标示牌和装设遮栏

在工作地点、施工设备和一经合闸即可送电到工作地点或施工设备的开关和刀开关的操作把手上,均应悬挂“禁止合闸,有人工作”的标示牌。如果线路上有人工作,应在线路开关和刀开关的操作把手上悬挂“禁止合闸,线路有人工作!”的标示牌。标示牌的悬挂和拆除,应按调度员的命令执行。

部分停电的工作,当安全距离小于无遮栏所规定的数值的未停电的设备时,应装设临时遮栏,且临时遮栏与带电部分的距离,不得小于表2-1规定的有遮栏的安全距离。临时遮栏应牢固,并悬挂“止步,高压危险!”的标示牌。

在室内高压设备上工作,应在工作地点两旁间隔和对面间隔的遮栏上和禁止通行过道上悬挂“止步,高压危险!”

在室外地面高压设备上工作,应在工作地点四周用绳子做好围栏,围栏上悬挂适当数量的“止步,高压危险!”的标示牌,且标示牌必须朝向围栏外面。在室外构架上工作,则应在工作地点邻近带电部分的横梁上,悬挂“止步,高压危险!”的标示牌,该标示牌在值班人员的监护下,由工作人员悬挂。工作人员上下用的铁架或梯子上,应悬挂“从此上下!”的标示牌;在其附近可能误登的构架上,应悬挂“禁止攀登,高压危险!”的标示牌。

严禁工作人员在工人中移动或拆除遮栏、接地线和标示牌。

第三章

常用工具的使用

第一节 常用电工工具

一、验电器

验电器分高压和低压两类，如图 3-1 所示。低压验电器又称试电笔或称电笔，是检验导线、电器和电气设备是否带电的一种常用工具，检测范围为 60~500V，有钢笔式和螺钉旋具式两种。它由氖管、电阻、弹簧和笔身等组成。

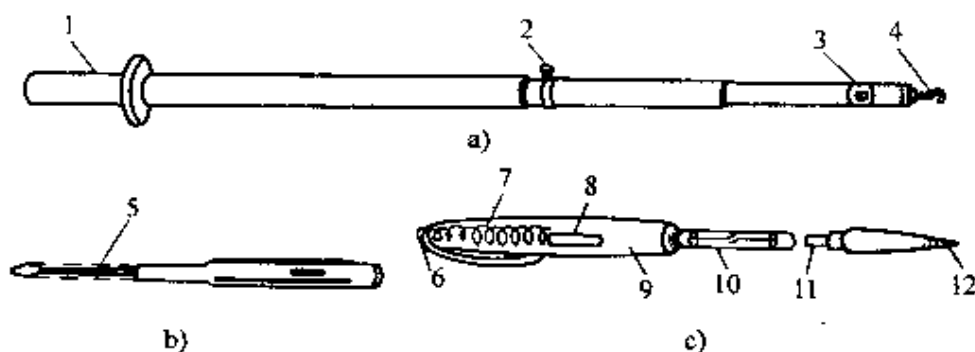


图 3-1 验电笔

- a) 10kV 高压验电器 b) 螺钉旋具式低压验电笔 c) 钢笔式低压验电笔
1—把柄 2—固紧螺钉 3—氖管窗 4—触钩 5—绝缘套管 6—笔尾的金属体
7—弹簧 8—小窗 9—笔身 10—氖管 11—电阻 12—笔尖的金属体

使用高压验电器时，要注意安全，雨天不可在户外测验；测验时要戴符合耐压要求的绝缘手套；不可一人单独测验，身旁要有人监护；测试时，要防止发生相间或对地短路事故；人体与带电体应保持足够的安全距离（10kV 为 0.7m 以上）



低压验电笔的使用方法和注意事项

1) 使用时必须按照如图 3-2 所示方法把笔握妥，以手指触及笔尾的金属体。用前，先要在有电的电源上检查电笔能否正常发光。

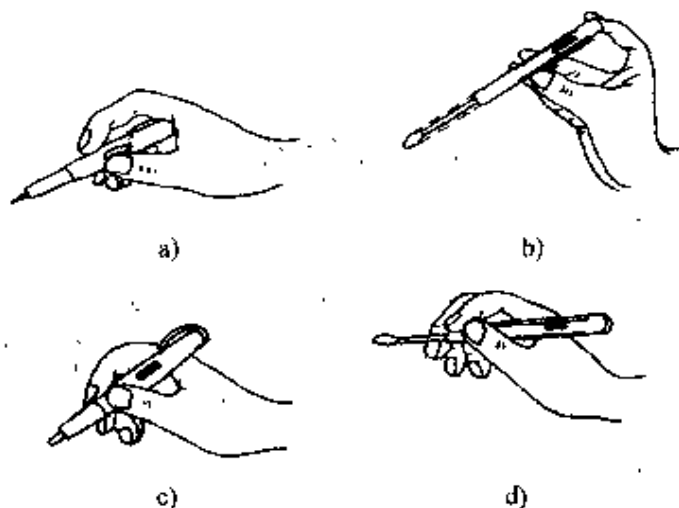


图 3-2 低压验电笔的握法

a)、b) 正确握法 c)、d) 错误握法

2) 在明亮的光线下测试时，往往不容易看清氖泡的辉光，应当避光检测。

3) 电笔的金属探头多制成旋具形状，只可以承受很小的扭矩，使用时应注意，以防损坏。

4) 用低压验电笔区分相线和零线。氖泡发亮的是相线，不亮的是零线。

5) 用低压验电笔区分交流电和直流电。交流电通过氖泡时，两极附近都发亮；而直流电通过时，仅一个电极附近发亮。

6) 用低压验电笔判断电压的高低。若氖泡发暗红，轻微亮，则电压低。若氖泡发黄红色，很亮，则电压高。

7) 用低压验电笔识别相线接地故障。在三相四线制电路中，发生单相接地后，用电笔测试中性线，氖泡会发亮。在三相三线制星形联结的线路中，用电笔测试三根相线，如果两相很亮，另



一相不亮，则这相可能有接地故障。

二、钢丝钳

钢丝钳是钳夹和剪刀工具，由钳头和钳柄两部分组成，如图 3-3 所示。钳口用来弯绞或钳夹导线线头；齿口用来紧固或起松螺母；刀口用来剪切导线或剖切软导线绝缘层；侧口用来侧切电线线芯和钢丝、铅丝等较硬金属。常用的规格有 150mm、175mm、200mm 三种。

使用电工钢丝钳时应注意：

1) 使用电工钢丝钳前，必须检查绝缘柄的绝缘是否完好。在钳柄上应套有耐压为 500V 以上的绝缘管。如果绝缘损坏，不得带电操作。

2) 使用时的握法如图 3-3b 所示，刀口朝向自己面部。头部不可代替锤子作为敲打工具使用。

3) 用电工钢丝钳剪切带电导线时，不得用刀口同时剪切相线和零线，或同时剪切两根相线，以免发生短路故障。

三、尖嘴钳和斜口钳

尖嘴钳适于在较狭小的工作空间操作，可以用来弯扭和钳断直径为 1mm 以内的导线。有铁柄和绝缘柄两种，绝缘柄的为电工所用，绝缘的工作电压为 500V 以下。

常用规格（全长）有 130mm、160mm、180mm 及 200mm 四种。目前常见的多数是带刃口的，既可夹持零件又可剪切细金属丝。

斜口钳是用于剪切金属薄片及细金属丝的一种专用剪切工具，其特点是剪切口与钳柄成一角度，适用于在比较狭窄和有斜度的工作场所使用。

常用规格有 130mm、160mm、180mm 和 200mm 四种。

四、螺钉旋具

螺钉旋具又称改锥、起子或螺丝刀，如图 3-4 所示。分有平口（或叫平头）和十字口（或叫十字头）两种，以配合不同槽型的螺钉使用。常用的有 50mm、100mm、150mm 及 200mm 等规格。

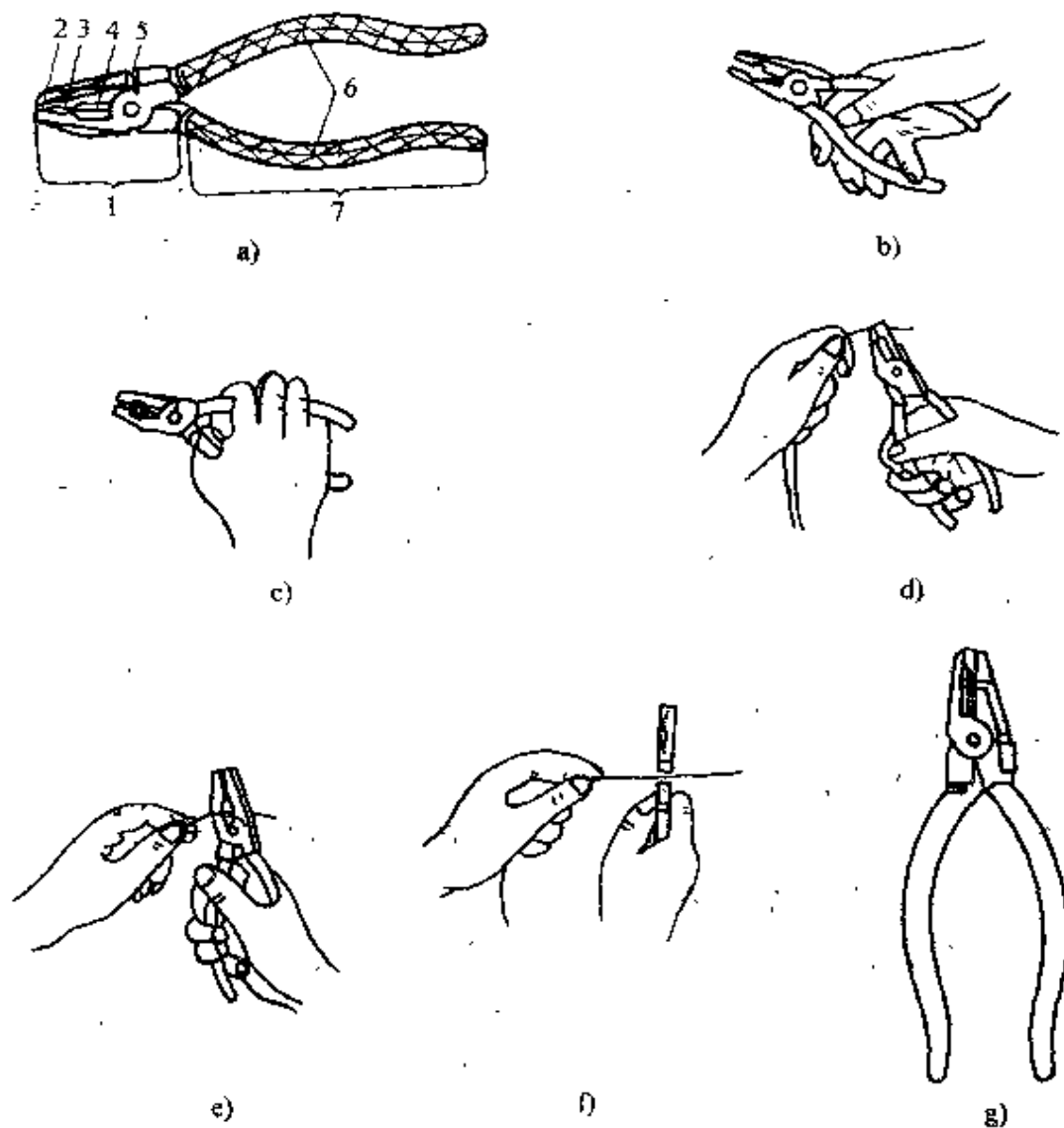


图 3-3 钢丝钳
a) 钢丝钳 (电工用) b) 握法 c) 紧固螺母 d) 钳夹导线头
e) 剪切导线 f) 锯切钢丝 g) 裸柄钢丝钳 (电工禁用)
1—钳头 2—钳口 3—齿口 4—刀口 5—锯口 6—绝缘管 7—钳柄

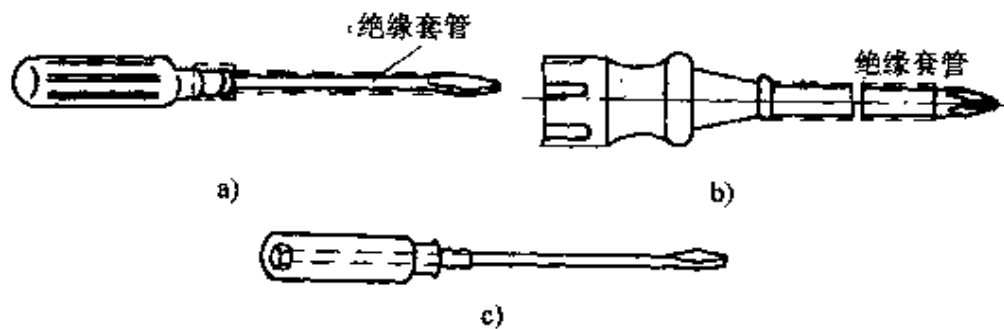


图 3-4 螺钉旋具
a) 平口螺钉旋具 b) 十字口螺钉旋具 c) 穿心金属杆螺钉旋具 (电工禁用)

使用螺钉旋具时应注意：

1) 电工不得使用金属杆直通柄顶的旋具，否则容易造成触电事故。

2) 为了避免旋具的金属杆触及皮肤或邻近带电体，应在金属杆上套绝缘管。

3) 旋具头部厚度应与螺钉尾部槽形相配合，斜度不宜太大，头部不应该有倒角，否则容易打滑。

4) 旋具在使用时应使头部顶牢螺钉槽口，防止打滑而损坏槽口。同时注意，不用小旋具去拧旋大螺钉。否则，一是不容易旋紧，二是螺钉尾槽容易拧豁；三是旋具头部易受损。反之，如果用大旋具拧旋小螺钉，也容易造成因力矩过大而导致小螺钉滑扣现象。旋具的握法如图 3-5 所示。

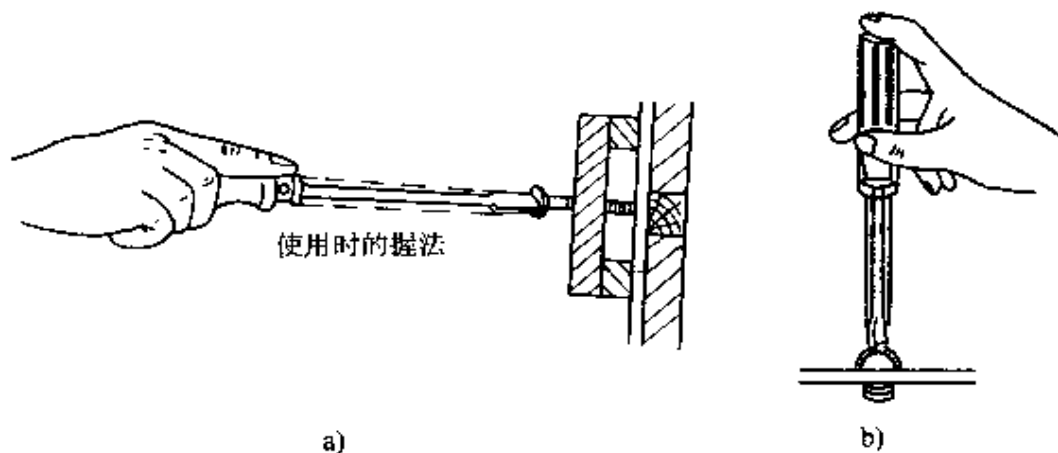


图 3-5 螺钉旋具的使用

a) 大螺钉旋具的用法 b) 小螺钉旋具的用法

五、剥线钳

剥线钳用来剥削截面积在 6mm^2 以下的塑料或橡胶绝缘导线的绝缘层，由钳口和手柄两部分组成，其外形如图 3-6 所示。剥线钳有 $0.5 \sim 3\text{mm}$ 多个直径切口，用于不同规格线芯的剥削。使用时曲口大小必须与导线芯线直径相匹配，过大难以剥离绝缘层，过小易切断芯线。

手柄绝缘的剥线钳，可以带电操作，工作电压在 500V 以下。

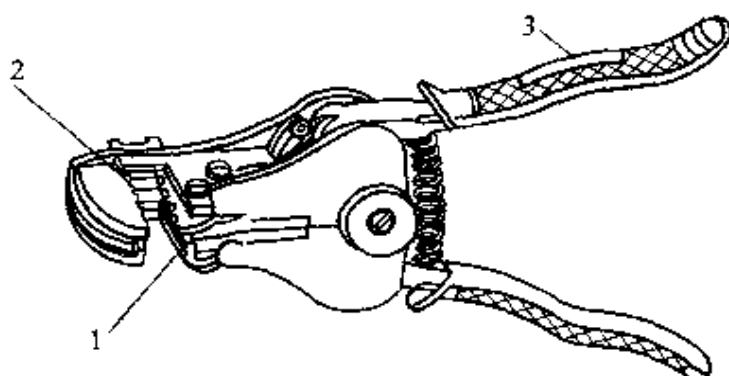


图 3-6 剥线钳

1—压线口 2—刀片 3—钳柄

六、活扳手

活扳手又称活扳头，如图 3-7 所示。由头部和柄部组成，头部由定、动扳唇，蜗轮和轴销等构成。旋动蜗轮以调节扳口大小。常用的规格有 150mm、200mm、250mm 和 300mm 等，按螺母大小选用适当规格。

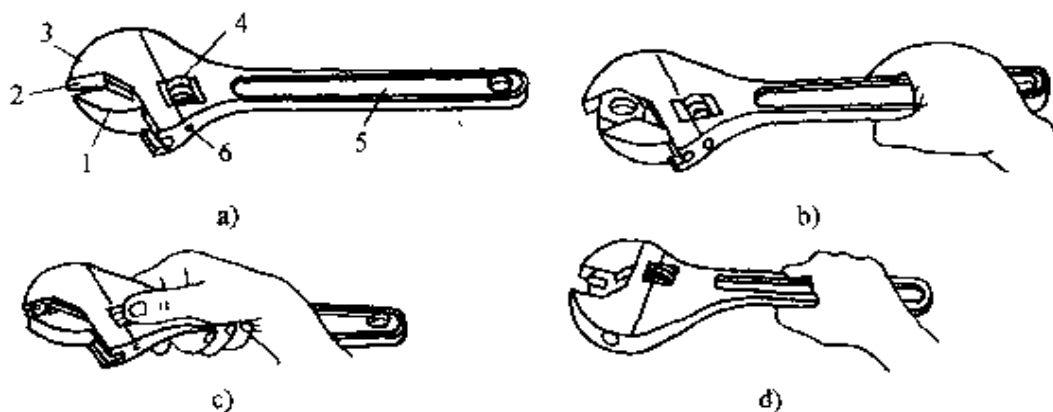


图 3-7 活扳手

a) 活扳手构造 b) 扳较大螺母时握法 c) 扳较小螺母时握法 d) 错误握法
1—动扳唇 2—扳口 3—呆扳唇 4—蜗轮 5—手柄 6—轴销

扳拧较大螺母时，需用较大力矩，手应握在近柄尾处，如图 3-7b 所示；扳拧较小螺母时，需用力矩不大，但螺母过小容易打滑，宜照图 3-7c 所示的方法握把，可随时调节蜗轮，收紧扳唇防止打滑。

活扳手不可反用，如图 3-7d 所示，即动扳唇不可作为重力点使用，也不可用钢管接长柄部来施加较大的扳拧力矩。

七、电工刀

电工刀如图 3-8a 所示，禁止用电工刀切削带电的绝缘导线，在切削导线时，刀口一定朝人体外侧，不准用锤子敲击，如图 3-8b 所示。

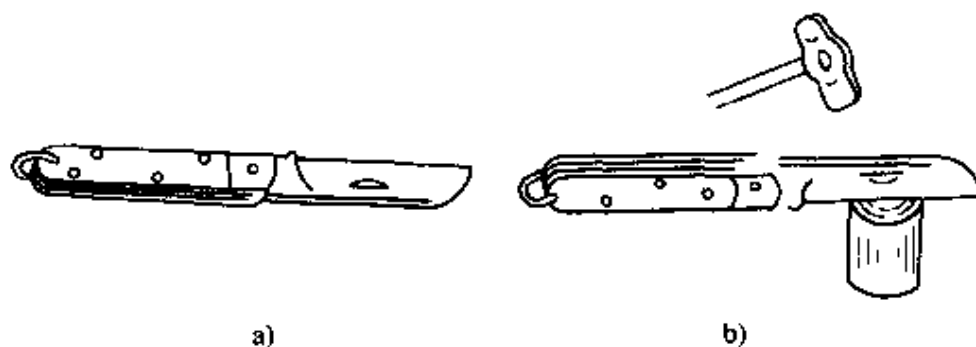


图 3-8 切削工具
a) 电工刀 b) 错误用法

八、电烙铁

电烙铁是焊接的主要工具，电烙铁的外形如图 3-9 所示。电烙铁的型号和规格见表 3-1。

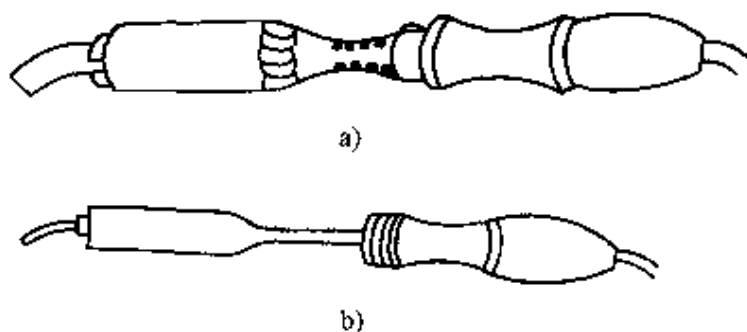


图 3-9 电烙铁
a) 外热式电烙铁 b) 内热式电烙铁

表 3-1 电烙铁的型号和规格

| 型式 | 规格/W | 加热方式 |
|-----|------------------------------------|---------------|
| 内热式 | 20, 35, 50, 70, 100, 150, 200, 300 | 电热元件插入铜头空腔内加热 |



(续)

| 型式 | 规格/W | 加热方式 |
|-----|-------------------------------------|--------------------|
| 外热式 | 30, 50, 75, 100, 150, 200, 300, 500 | 铜头插入电热元件内腔加热 |
| 快热式 | 60, 100 | 由变压器感应出低电压、大电流进行加热 |

第二节 专用工具

一、喷灯

喷灯是一种利用喷射火焰对工件进行加热的工具，火焰温度可达 900°C 以上，常用于锡钎焊时加热烙铁、电缆封端及导线局部的热处理等，常用喷灯分煤油喷灯和汽油喷灯两种，如图 3-10 所示。

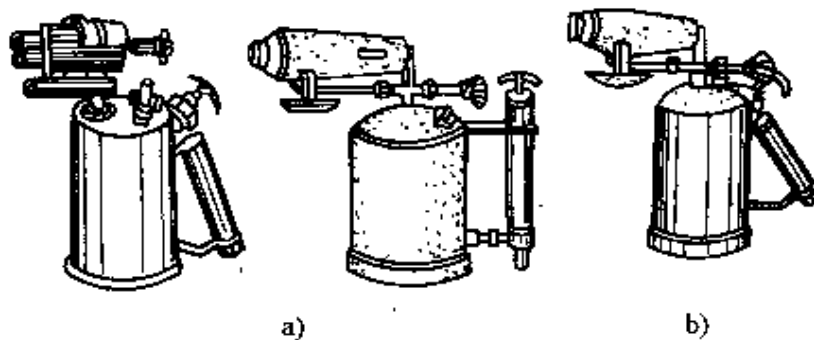


图 3-10 喷灯

a) 汽油喷灯 b) 煤油喷灯

使用时应注意以下几点：

- 1) 使用前应仔细检查油桶是否漏油、喷嘴是否堵塞、漏气等。
- 2) 根据喷灯所规定使用的燃料油的种类，加注相应的燃料油，其油量不得超过油桶容量的 $3/4$ ，加油后应拧紧加油处的螺塞。
- 3) 喷灯点火时，喷嘴前严禁站人，且工作场所不得有易燃



物品。点火时在点火碗内加入适量燃料油，用火点燃，待喷嘴烧热后再慢慢打开进油阀，打气加压时应先关闭进油阀。

4) 喷灯工作时应注意火焰与带电体之间的安全距离。

5) 喷灯的加油、放油、修理应在喷灯熄火冷却后方可进行。

二、射钉枪

射钉枪是利用弹筒内火药爆发时的推力，将特制的螺钉射入混凝土或砖砌体内以固定管线支架等用。操作时要注意安全，周围严禁有工作人员。射钉枪内孔有 6mm、8mm 和 10mm 三种。射钉直径为 3.7mm、4.5mm，射钉长度一般为 13 ~ 62mm，型号有 SDT-A301 等。

三、冲击钻和电锤

冲击钻与电锤是一种携带式带冲击的电动钻孔工具，主要用于对混凝土、砖墙进行钻孔，安装膨胀螺栓或膨胀螺钉，以固定设备或支架。冲击钻和电锤的外形如图 3-11 所示。常用规格见表 3-2。

在使用过程中应注意以下几点：

1) 根据孔径大小，选择合适的钻头，在更换钻头前，一定要将电源开关断开，或将手电钻的电源插头从插座上拔出，以免在更换钻头过程中因不慎误压开关，电钻旋转从而发生操作人员损伤事故。

2) 通电前应检查电源引线和插头、插座是否完好无损，通电后，用验电笔检查是否漏电。

3) 单相电钻的电源引线应选用三芯坚韧橡胶护套线；三相电钻的电源引线应选用四芯坚韧皮护

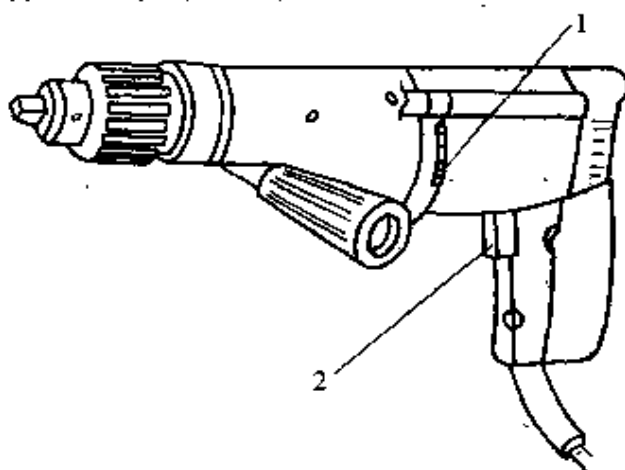


图 3-11 冲击钻

1—钻调节开关 2—电源开关



线，并与相应的插头和插座配合使用，特别注意护套线中接地芯线不得接错。

表 3-2 电动冲击钻与电锤的规格型号

| 规格 | | 冲击钻 (型号) | | 电锤 (型号) |
|---------------------------|------|----------|------------|-------------|
| | | JJZC-10 | JJZC-20 | ZIC-SD01-26 |
| 额定电压/V | | 220 | 220 | 220 |
| 额定转速/ $r \cdot \min^{-1}$ | | 1200 | 800 | 420 |
| 额定功率/W | | 250 | ≥ 320 | ≥ 620 |
| 额定转矩/ $N \cdot \text{cm}$ | | 90 | ≥ 350 | ≥ 450 |
| 额定冲击次数/ \min^{-1} | | 14000 | 8000 | 2850 |
| 额定冲击幅度/mm | | 0.8 | 1.2 | — |
| 最大钻孔直径/mm | 钢铁中 | 6 | 13 | — |
| | 混凝土中 | 10 | 20 | 26 |

4) 有些电钻有“钻孔”和“冲击”两种工作方式，当钻孔时，应选用相应尺寸的普通钻头，并将工作方式置“钻孔”位置；需“冲击”钻孔（在水泥墙上钻孔）时，应选用相应尺寸的冲击钻头，并将工作方式置“冲击”位置。

四、拆卸器

拆卸器又称拉具或拉子，主要用于拆卸带轮、联轴器和轴承。使用时拆卸器要放正，其爪钩的位置应基本平衡，丝杆应对准电机轴心，用力要均匀。若直接拉脱有困难，可在丝杆已拉紧时用木锤敲击带轮的外圆，或在带轮与轴的接缝处渗些煤油，必要时采用热脱方法（用喷灯或气焊枪将带轮外表面加热，使之膨胀，将带轮迅速拉下）。详见电动机一章。

五、刮板

刮板又称划线板，用竹片或层压板制成，是小型电机嵌线时的使用工具。在嵌线时用刮板分开槽口的绝缘纸，将已经下槽的导线理齐，并推向槽内两侧，使后嵌的导线容易入槽。在制做刮



板时，刮线的部分（前端及前端两侧）要用锉刀倒圆，并用砂纸打光，以免刮线时刮破导线的绝缘层和槽底的绝缘纸，其宽度约为 2~3cm。

六、电热烘箱

电热烘箱主要用于电机和变压器的干燥及各种绕组浸渍后的烘干处理，其烘焙温度可根据烘焙对象任意设定。使用时应注意以下几点：

1) 使用前应检查电热烘箱的插头、插座是否完好，门、电源、开关及温度显示是否正常，排气孔是否通畅等。

2) 烘焙时应注意温度的调节，电机的烘干温度应设定在 80℃左右，且烘焙时间一般保持在 8~10h，并随时测量其绝缘电阻（>0.5MΩ），小容量的变压器，温度应设定在 95℃，且每小时测一次绝缘电阻。

3) 在烘焙过程中，应将烘箱上部的通气孔打开，将蒸发出来的潮气排出。

4) 在对浸渍绕组的烘干处理时，刚开始温度不宜过高，以避免由于溶剂挥发过快使漆膜形成针孔或气泡，影响产品的性能和寿命，在烘焙过程中，温度逐步升高，一般来说，初期烘焙温度与浸渍材料工作温度相同，后期烘焙温度比浸渍材料的工作温度高 20℃。

5) 烘焙完毕，断开电源，打开烘箱门，待物件自然冷却后再取出，以避免发生烫伤事故。

七、压接钳

压接钳是连接导线的一种工具。

1. 液压导线压接钳

液压导线压接钳主要依靠液压传动机构产生压力达到压接导线的目的。适用于压接多股铝、铜芯导线，作中间连接和封端，是电气安装工程方面压接导线的专用工具，用途较广，如图 3-12d 所示。

其全套压模有 10 副，规格为 16mm²、25mm²、35mm²、



50mm²、70mm²、95mm²、120mm²、185mm² 及 240mm² 导线压模。
压接范围：压接铝芯导线截面为 16 ~ 240mm²，压接铜芯导线截面为 16 ~ 150mm²。压接形式：六边形围压截面。

2. 手动导线压接钳

1) 导线压接钳，如图 3-12a 所示。可压接导线截面 6 ~ 240mm² 围压、点压。

2) 手动导线机械压接钳，如图 3-12c 所示。分别适用于中、小截面的铜芯或铝芯电缆接头的冷压和中、小截面各种导线的钳压连接。

使用压接钳时，应根据导线截面选择适当规格的压模，而不能混用。各种压接钳使用范围见表 3-3。

表 3-3 各种导线压接钳的使用范围

| 名称 | 型 号 | 适用导线/mm ² | 配套模具/副 |
|----------------|--------------|--------------------------|--------|
| 手动液压钳 | SLY-240 型 | JY16-240 | 10 |
| | SYQ-12A 型 | TJ16-150 | |
| 导线压线钳 | JYJ-I | 围压 LJ6-240 TJ6-185 | 12 |
| | JYJ-II | 围压点压 LGJ6-300 | 13 |
| 导线机械压接钳 | SXQ-16 (X) 型 | 钳压 LJ16-185 LGJ35-240 | 9 |
| 电缆机械压接钳 | SXQ-16 (L) 型 | 环压 L10-240 T10-250 | 11 |
| | | 点压 L25-240 T35-150 | 9 |
| 压接断线两用大剪刀 | NIJ-1 | LJ25-70 LGJ25-70 | 8 |
| | NIJ-2 | LJ95-185 LGJ95-120 | 9 |
| 脚踏式压接钳 (液压) | YTY-240 | TJ16-240 | 围压 |



3) 接断线两用大剪刀, 如图 3-12b 所示, 具有一具两用, 操作简单的特点。

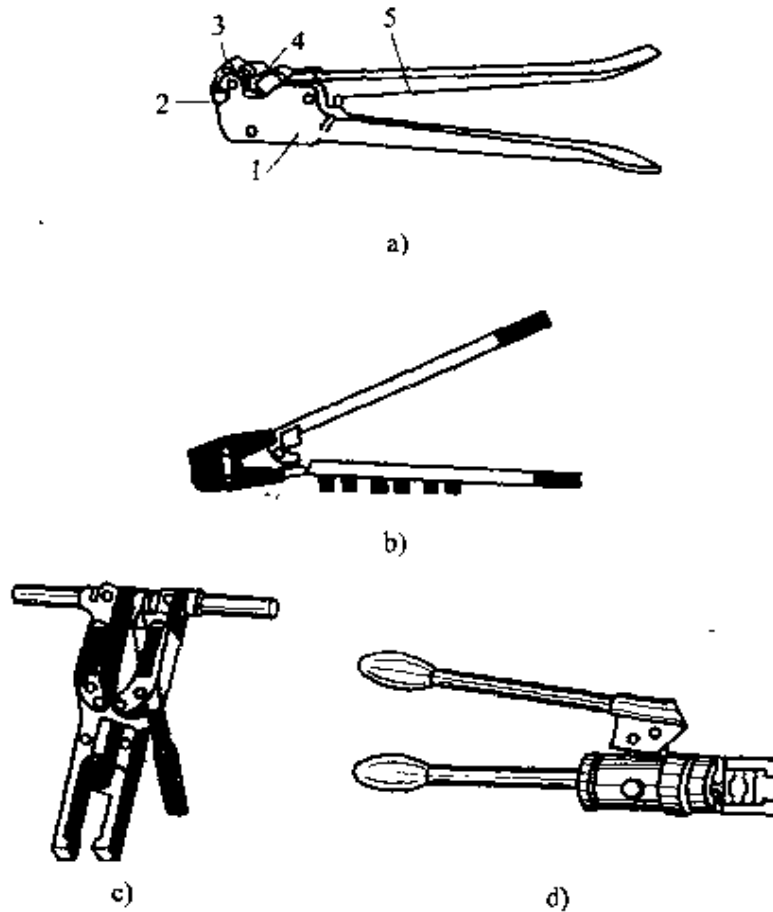


图 3-12 压接工具

- a) 导线压接钳 b) 压接断线两用大剪刀 c) 手动电缆、
导线机械压接钳 d) 液压导线压接钳
1—钳头 2—定位螺钉 3—阴模 4—阳模 5—钳柄

八、断线钳

断线钳专用于剪断直径较粗的金属丝、线材及电线电缆等。有铁柄、管柄和绝缘柄三种形式, 其中绝缘柄的断线钳可用于带电场合, 其工作电压为 1000V 以下。

第三节 常用量具

普通量具有钢直尺、卷尺及内外卡钳等; 精密量具有游标卡



尺、外径千分尺及水平仪等。

一、钢直尺

钢直尺是用厚 1mm、宽 25mm 的不锈钢板制造的。尺的一端是直边，叫工作端边，尺的长度有 150mm、200mm、300mm、1000mm 和 1500mm 等等，其外形如图 3-13 所示。

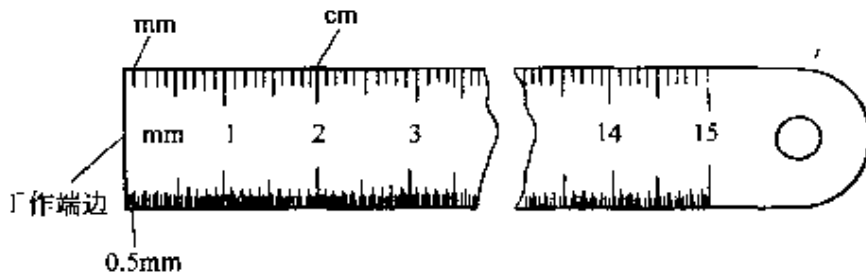


图 3-13 钢直尺外形

二、钢卷尺

钢卷尺分为自卷式卷尺（小钢卷尺）、制动式卷尺（小钢卷尺）和摇卷式卷尺（大型卷尺）三种。其规格品种见表 3-4。

表 3-4 钢卷尺的规格品种

| 品种 | 自卷式，制动式 | 摇卷式 |
|--------|------------------|----------------------------|
| 测量上限/m | 1, 2, 3, 4, 5, 6 | 5, 10, 15, 20, 30, 50, 100 |

三、游标卡尺

游标卡尺用于测量物体的长、宽、高、深和圆环的内、外直径。其外形如图 3-14 所示。其主要部分是一条尺身和一条可以沿主尺滑动的游标。由尺身和游标分别构成内、外测量爪，内测量爪用于测量槽宽度和管的内径，外测量爪用于测量零件的厚度和管的外径，深度尺用于测量槽和筒的深度。

在游标上刻有刻度，游标卡尺就是利用游标来提高测量精度的。尽管各种游标卡尺游标的长度不同，分度格数不同，但基本原理和读数方法是一样的。以 10 分度游标为例，尺身的最小分度是 1mm，游标上有 10 个小的等分刻度，游标尺上每一小分度



线之间距离为 0.9mm ，从“0”线开始，每向右一格，增加 0.1mm 。

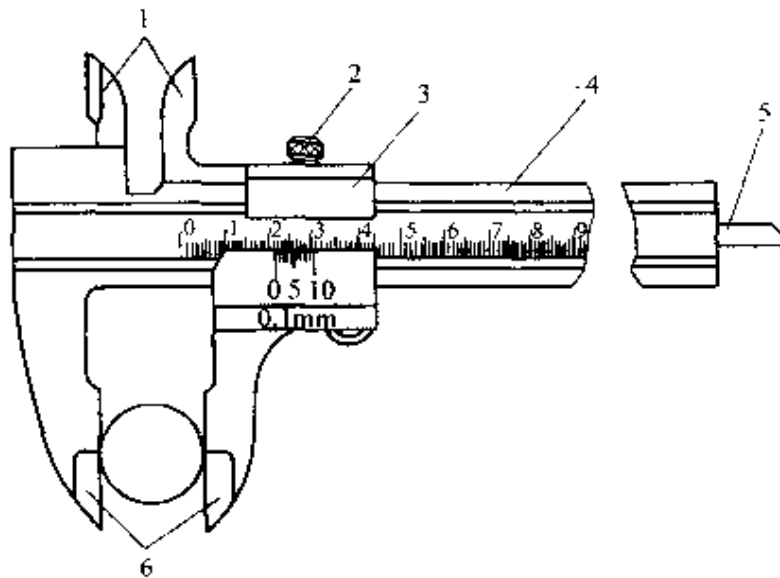


图 3-14 游标卡尺

1—内测量爪 2—紧固螺钉 3—游标
4—尺身 5—深度尺 6—外测量爪

1. 操作方法

测量前，要做“0”标志检查，即将测量爪合在一起（即 0 刻度）时，游标的零刻度线与尺身的零刻线重合。当外测量爪夹一工件时，游标对在尺身上某一位置，如图 3-15 所示，从尺身上给出 $X = 21\text{mm}$ ，在细心观察游标上的哪一根分刻线与尺身上分刻度对得最齐。在图 3-15 中，第 8 根分刻线对得最齐，所以游标给出 $\Delta X = 0.8\text{mm}$ ，则工件总长度为 $21\text{mm} + 0.8\text{mm} = 21.8\text{mm}$ 。

2. 使用游标卡尺注意事项

- 1) 读数时要防止视觉误差，要正视，不可旁视。
- 2) 在测量爪卡住被测物体时，松紧要适当，当需将被测物体取下读数时，要旋紧紧固螺钉。
- 3) 注意保护内、外测量爪。用后，把游标卡尺放在专用盒内，不可与其他工具叠放在一起。

四、外径千分尺

外径千分尺又称螺旋测微器，是比游标卡尺更为精密的测长仪器，主要用来测量小球的直径、金属丝的直径和薄板的厚度等。外径千分尺的外形和各部分的名称如图 3-16 所示。

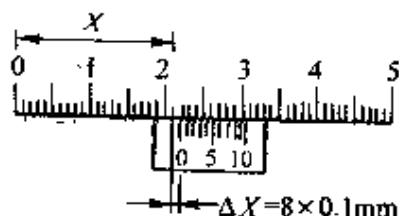


图 3-15 游标卡尺
的读法

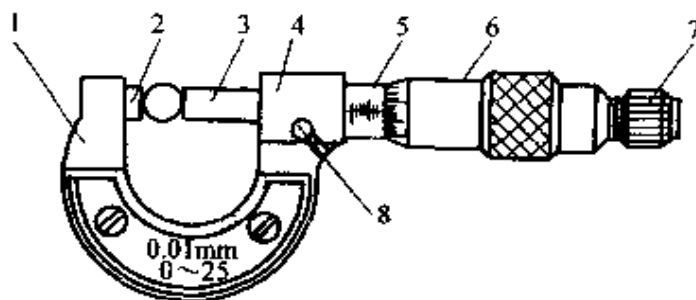


图 3-16 外径千分尺

- 1—尺架 2—测砧 3—测微螺杆
- 4—螺纹轴承 5—固定套管
- 6—微分筒 7—测力装置
- 8—锁紧装置

在尺架上有测砧，测微螺杆和微分筒相连，在微分筒上沿圆周刻有 50 个等分格，测微螺杆的螺距是 0.5mm，因此，测微螺杆每旋转一周时，它沿轴线方向前进（或后退）0.5mm，而每旋转 1 分格，它沿轴线方向前进（或后退） $0.5/50 = 0.01\text{mm}$ 。所以，螺旋测微器的最小刻度是 0.01mm，并且还可以估读一位，故有“千分尺”之称。

测量物体长度时，应先将测微螺杆退出，将被测物放在测量面之间，然后轻轻转动测力装置，使千分尺的两测量面刚好与被



测物体接触。在读数时，从主尺上读取毫米分度，以主尺横线为准线从微分筒上读出余下的部分（估计到微分筒的最小分度的十分之一，即千分之一毫米），然后将两者相加。在图 3-17a 中，微分筒上估读为 15.5，则被测长度为 $5 + 15.5 \times 0.01 = 5.155\text{mm}$ ；而在图 3-17b 中，微分筒上估读仍为 15.5，但主尺为 5.5mm，所以被测长度为 $5.5 + 15.5 \times 0.01 = 5.655\text{mm}$ 。

使用外径千分尺时应注意以下几点：

1) 当外径千分尺的两测量面密合时，如果微分筒的零线与主尺的横线对齐，而是显示某一读数，这个读数称为零点读数。应当注意零点读数的正、负，以便对测量数据进行修正。

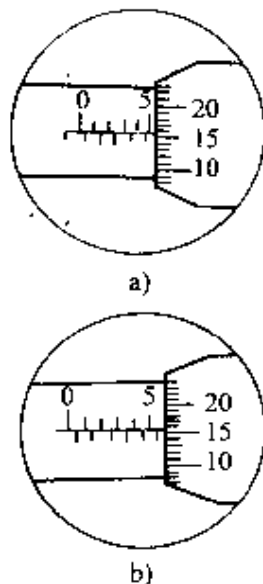
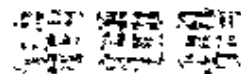


图 3-17 外径千分尺的读数

2) 在校正零点和测长时，不要直接转动测微螺杆和微分筒，以免过份压紧。应轻轻地转动测力装置，待发出“咔、咔”声时，即可进行读数。棘轮的作用是使测量面与物体刚好接触。

3) 测量时，可多测几点，取平均值。



常用电工仪表与仪器的使用和维护

第一节 电工仪表的结构形式和表盘标志符号

一、电工仪表的结构形式及准确度等级

1. 常用电工仪表的结构形式、特点及其应用（见表 4-1）

表 4-1 常用电工仪表的结构形式、特点及其应用

| 结构形式 | 特 点 | 应 用 |
|--------------------|---|--|
| 磁电系 (又称 动圈式) | <ol style="list-style-type: none">1. 标度均匀2. 灵敏度较高3. 读数受外界磁场的影响小4. 表头本身只能用来测量直流5. 过载能力差 | 标准直流电表与各种变换器配合可制成电流表、电压表、欧姆表、功率表、兆欧表和检流计 |
| 电磁系 (又称动 铁式) | <ol style="list-style-type: none">1. 适用于交、直流测量2. 过载能力强3. 无须辅助设备就可直接测量大电流4. 可用来测量非正弦量的有效值5. 标度不均匀6. 准确度不高, 读数受外磁场影响 | 应用于开关板式及一般实验室用交直流表, 可制成电流表、电压表、频率表、功率表、钳形表和同步表 |
| 电动系 | <ol style="list-style-type: none">1. 适用于交、直流测量2. 测量交流的灵敏度和准确度比其他形式的仪表高3. 可用来测量非正弦量的有效值4. 标度不均匀5. 过载能力差6. 读数受外磁场影响大 | 标准交直流电表, 实验室用电表, 可制成电流表、电压表、功率表、功率因数表和同步表 |



(续)

| 结构形式 | 特 点 | 应 用 |
|--------------------|--|----------------------------------|
| 铁磁 电动系 | <ol style="list-style-type: none"> 1. 适用于交、直流测量 2. 有较大的转动力矩 3. 较其他类型仪表耐振动 4. 受外界磁场影响小 5. 可做成广角度的表 6. 标度不均匀 7. 准确度较低 | 开关板式电表, 可制成电流表、电压表、功率表、功率因数表和频率表 |
| 感应系 | <ol style="list-style-type: none"> 1. 转矩大, 过载能力强 2. 受外界磁场影响小 3. 只能用于一定频率的交流电 4. 准确度较低 | 用于计算交流电路中的电能, 主要制成电能表 |
| 流比计 (又称 比率计) | <ol style="list-style-type: none"> 1. 具有磁电式和电动式的某些优点 2. 能消除外界的影响, 如电压、频率的波动等 3. 标度不均匀 4. 过载能力差 | 可制成兆欧表、相位表、频率表和同步表 |

2. 电工仪表的准确度等级

仪表准确度等级的数字是表示仪表本身在正常条件下(即位置正常, 环境温度为 20℃, 几乎没有外磁场的影响)的最大误差的百分比, 亦称引用误差, 若仪表的引用误差为 $\pm 1.0\%$, 则其准确度为 1.0 级。被测实际值越接近满刻度, 相对误差越小, 因此, 在选择仪表量程时, 应尽可能使被测值在仪表满量程的 $1/2 \sim 2/3$ 范围内。

仪表的准确度等级分七级, 见表 4-2, 仪表准确度等级符号见表 4-3。

表 4-2 仪表准确度等级分类及适用场合

| 准确度等级 | 0.1 | 0.2 | 0.5 | 1.0 | 1.5 | 2.5 | 5.0 |
|-------|--------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|
| 引用误差 | $\pm 0.1\%$ | $\pm 0.2\%$ | $\pm 0.5\%$ | $\pm 1.0\%$ | $\pm 1.5\%$ | $\pm 2.5\%$ | $\pm 5.0\%$ |
| 适用场合 | 用作标准表或进行精密测量 | | 多用于实验室作一般测量 | | | 一般用于工程测量 | |



表 4-3 仪表准确度等级符号

| 名 称 | 符 号 |
|----------------------------|-----|
| 以标度尺量限百分数表示的准确度等级, 如 1.5 级 | 1.5 |
| 以标度尺长度百分数表示的准确度等级, 如 1.5 级 | |
| 以指示值百分数表示的准确度等级, 如 1.5 级 | |

二、电工仪表的标志符号

常用电工仪表表盘上的标志符号及意义见表 4-4。

表 4-4 常用电工仪表表盘上的标志符号

| 类型 | 名称 | 图形符号 | 名称 | 图形符号 | 名称 | 图形符号 |
|----------------|-----------|-------|-------------|-------|-------------------------------------|-------|
| 1. 仪表工作原理的图形符号 | 磁电系 仪表 | C | 感应系 仪表 | G | 电动系 比率表 | T |
| | 电动系 仪表 | D | 磁电系 比率表 | C | 整流系 仪表 | L |
| | 电磁系 仪表 | T | 铁磁电 动系仪表 | D | 热电系 仪表 | E |
| 2. 工作位置的符号 | 标尺位置为垂直 | | 标尺位置为水平 | | 标尺位置与水平面倾斜成一角度, 倒 $\angle 60^\circ$ | |



(续)

| 类型 | 名称 | 图形符号 | 名称 | 图形符号 | 名称 | 图形符号 |
|--------------|---------------------|------|------------------------|------|------------------------|--------|
| 3. 绝缘强度的符号 | 不进行绝缘强度实验 | | 绝缘强度实验电压为 500V | | 绝缘强度实验电压为 2kV | |
| | I 级防外磁场及电场 | | II 级防外磁场及电场 | | III 级防外磁场及电场 | |
| 4. 按外界条件分组符号 | IV 级防外磁场及电场 | | | | | |
| | A 组仪表工作环境温度 0 ~ 40℃ | | B 组仪表工作环境温度 -20 ~ +50℃ | | C 组仪表工作环境温度 -40 ~ +60℃ | |
| 5. 电流种类符号 | 直流 | — | 交流 | ~ | 直流和交流 | — ~ |
| | 三相交流 | 3~ | 三相电表 | | 50Hz | ~ 50 |

三、电工仪表的选择

选择仪表是在保证被测量准确度的前提下，合理选择测量方法和测量线路。

1. 根据被测量是直流或是交流来选用仪表

被测量为直流选用直流仪表，被测量为交流则选用交流仪表。交流仪表还分正弦波或非正弦波，若是正弦波电流（电压），只需测出其有效值就可换算出其他数值，可选用任何一种电流表（电压表）进行测量；若是非正弦波电流（电压），应先分清楚是



测量有效值、平均值、瞬时值或是最大值，其中有效值可选用电磁系或电动系电流表（电压表）进行测量，平均值选用整流系仪表测量，瞬时值选用示波器观察，而最大值可选用峰值表。

在测量交流电时，还应考虑被测量的频率，一般电磁系、电动系和感应系仪表应用频率范围较窄，整流系万用表应用频率多在 45 ~ 1000Hz 范围内，但 MF10 型可达 5000Hz，若再高，可选用静电系或电子系仪表。

2. 根据实际要求选择仪表的准确度等级

按实际要求且保证测量结果的误差在允许范围内，来选用适当的准确度仪表。用准确度较低的仪表能满足测量要求时，就不要选用高准确度的仪表，因为仪表的准确度越高，价格越贵，维修越难。如何选用适当的准确度仪表可参见表 4-2。

3. 根据被测量的大小选用相应量程的仪表

根据被测量的大小选用相应量程的仪表，可以充分利用仪表的准确度。如选用量程比被测量大得很多的仪表测量时，其测量误差将会很大，现以下列例题来说明。

【例 4-1】 测量 20V 的直流电压，按下面三种情况选择不同准确度及量程的电压表，其测量结果的最大绝对误差为多少？

1) 选用准确度为 1.5 级、量程为 30V 的电压表；

最大绝对误差 $\Delta m = \pm 1.5\% \times 30V = \pm 0.45V$

相对误差 $r = \pm 0.45/20 = \pm 0.0225 = \pm 2.3\%$

这种测量误差在一般情况下是允许的。

2) 选用准确度为 0.5 级、量程为 150V 的电压表；

最大绝对误差 $\Delta m = \pm 0.5\% \times 150V = \pm 0.75V$

相对误差 $r = \pm 0.75/20 = \pm 0.0375 = \pm 3.8\%$

用量程为 150V 的 0.5 级电压表测量，其测量误差比用量程为 30V 的 1.5 级电压表大，说明测量结果的准确程度，除与仪表准确度有关外，还与仪表的量程有关。

3) 测量 5V 电压，选用准确度为 0.5 级、量程为 150V 的电



压表。

$$\text{相对误差 } r = \pm 0.75/5 = \pm 0.15 = \pm 15\%$$

测量结果，其相对误差更大，因此，应使被测量的大小，为仪表测量上限的 $1/2 \sim 2/3$ 以上。

4. 根据测量线路和测量对象的阻抗大小来选择仪表内阻

在选择仪表类型时，要注意测量线路和被测对象阻抗的大小及其对测量结果的准确度影响。通常电压表并联在被测电路中，其内阻越大越好，一般当电压表内阻 $r_v \geq 100R$ (R 为与电压表并联的被测对象的总电阻)，就可以忽略电压表内阻的影响；而电流表是串连接入被测电路，其内阻越小越好，当电流表内阻 $r_A = R/100$ (R 为与电流表串联的总电阻) 时，就可以忽略电流表内阻的影响。

5. 根据仪表使用场所和工作条件进行选择

仪表是在实验室使用，还是安装在开关柜上；对外界磁场影响有多大；测量过程中是否会有过载情况等，要根据所有这些方面的情况综合来考虑选择哪一种形式的仪表。

总之，在仪表选择中，不要只追求仪表的某一个指标，要从实际出发，考虑性价比，凡是用一般仪表能达到测量要求的，就不要用精密仪表来测量。

第二节 常用电工仪表

一、电流表

电工测量中，常用的电流表有磁电系、电磁系和电动系三种形式。测量直流的仪表常选用磁电系仪表；测量交流的仪表常选用电磁系仪表；一些准确度较高的直流或交流仪表有时也采用电动系仪表。

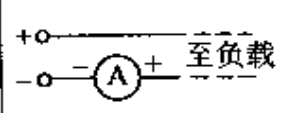
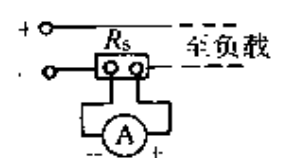
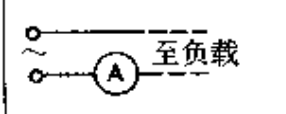
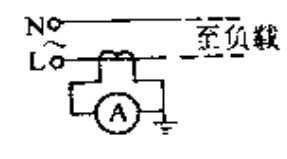
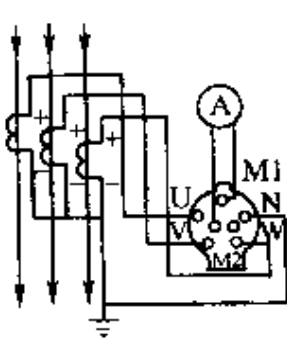
1. 电流的测量方法（见表 4-5）

2. 钳形电流表

钳形电流表是一种能在不切断电路情况下测量电流的可携式仪表，一般用于低压系统。钳形电流表分为可测交流电流（如

T-301、T-302、MG-24) 和可测交、直流电流 (如 MG20、MG21) 两类。用来测量交流电流的钳形表是由电流互感器和整流系电流表组成的, 其外形结构如图 4-1 所示。

表 4-5 电流的测量方法

| 名称 | 测量线路 | | 测量方法及注意事项 |
|-----------|---|---|--|
| | 直接测量 | 带分流器或互感器的测量 | |
| 直流电流的测量 |  |  | <ol style="list-style-type: none"> 1. 仪表必须与负载串联 2. 注意仪表的极性 (不可接错) 与量程 3. 带有分流器的仪表应用配套的定值导线连接仪表与分流器端钮 |
| 单相交流电流的测量 |  |  | <ol style="list-style-type: none"> 1. 电流互感器的二次绕组和铁心都要可靠接地 2. 二次回路绝对不允许开路 and 安装熔断器, 防止高压危及人身安全。因此, 在带载情况下拆装仪表, 必须先将二次绕组短路后才能拆卸 |
| 三相交流电流的测量 | |  <p>三相星形联结</p> | |



3. 电流表的使用

电流表用于测量电路中的电流，串接于被测量电路中。

(1) 直流电流表多采用磁电系测量机构，使用时，应使电流由表的“+”端流入，“-”端流出，从而使电流表的指针正偏。否则，指针会反偏。

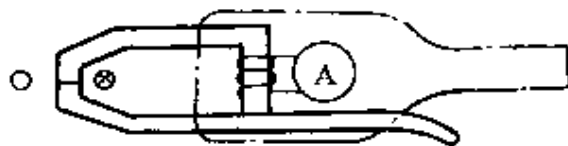


图 4-1 交流钳形表外形

(2) 交直流电流表有电磁系测量机构和电动系测量机构两种。由于电磁系测量机构用于直流测量时有磁滞误差，准确度较低，而电动系测量机构内没有铁磁性物质，所以没有磁滞误差，准确度可高达 0.1 级。

对于多量程的电流表，使用时应先试用大量程，逐步由大到小，直到合适的量程（使读数超过刻度的 $\frac{2}{3}$ 或 $\frac{1}{2}$ ），且在改变量程时应停电，以防测量机构受到冲击。

(3) 钳形电流表使用时的注意事项

1) 在进行测量时用手捏紧扳手使钳口张开，被测载流导线的位置应放在钳口中间，然后，松开扳手，使钳口（铁心）闭合，表头即有指示。

2) 测量时应先估计被测电流的大小，选择合适的量程或先选用较大的量程测量，然后再视被测电流的大小减小量程，使读数超过刻度的 $\frac{1}{2}$ ，以获得较准的读数。

3) 为使读数准确，钳口两个面应保证很好的接合，如有杂声，可将钳口重新开合一次，若声音依然存在，就检查在钳口接合面上是否有杂物或污垢，如有污垢，可用汽油擦干净。

4) 不能用于高压带电测量。

5) 测量完毕后一定要把量程开关放在最大电流量程位置，以免下次使用时由于未经选择量程而造成仪表损坏。

6) 为了测量小于 5A 以下的电流时能得到较准确的读数，在条件许可时，可把导线在钳口上多绕几圈，如图 4-1 所示。实际电流值应为读数除以穿过钳口内侧的导线匝数。



4. 常用电流表的种类、型号及量程范围 (见表 4-6)

表 4-6 常用电流表的种类、型号及量程范围

| 类别 | 结构形式 | 名称 | 型号 | 量程范围/A | 级别 | 备注 |
|-----|------|---------|-----------|---|-----|----------------------|
| 交流型 | 电磁式 | 交流电流表 | ITD-A 型 | 0.5 ~ 200 | 2.5 | 直接接入 |
| | | | | 5 ~ 10 ⁴ | | 经电流互感器接入, 二次侧为 5A |
| | 整流式 | 钳形交流电流表 | T-301A 型 | 0 ~ 10 ~ 25 ~ 200 ~ 250 0 ~ 10 ~ 25 ~ 100 ~ 300 ~ 600 ~ 1000 | 2.5 | |
| | 电磁式 | 交流电流表 | IT9-A 型 | 1.1 ~ 5, 2 ~ 10, 4 ~ 20 2.5 ~ 15, 10 ~ 30, 20 ~ 50 | 2.5 | 1. 为工作部分 2. 为过载部分 |
| | 电磁式 | 交流电流表 | 8IT1-A 型 | 0.5, 1, 2, 3, 4, 5, 10 | 2.5 | 直接接入 |
| | 电磁式 | 交流电流表 | 59T4-A 型 | 0.05, 0.1, 0.2, 0.3, 1 ~ 50 | 2.5 | 直接接入 |
| | 电磁式 | 交流电流表 | 44T1-A 型 | 0.05 ~ 50 | 2.5 | 直接接入 |
| | | | | 10 ~ 1500 | | 配用电流互感器 |
| | 电磁式 | 交流电流表 | 62T51-A 型 | 0.1 ~ 50 | 2.5 | 直接接入 |
| | | | | 10 ~ 1500 | | 配用电流互感器 |
| 直流型 | 磁电式 | 直流电流表 | 44C2-A 型 | $1 \times 10^{-4} \sim 10$ | 1.5 | 直接接入 |
| | 磁电式 | 直流电流表 | 1C2-A 型 | $1 \times 10^{-3} \sim 10 \times 10^4$ | 1.5 | 自 75A 起附定值分流器 |
| | 磁电式 | 直流电流表 | 1KC-A 型 | 1 ~ 500 | 2.5 | 自 20A 起附定值分流器 |
| | 磁电式 | 直流电流表 | C31-A 型 | (7.5 ~ 250) $\times 10^{-4}$ 1.5 ~ 30 | 0.5 | 直接接入 |



(续)

| 类别 | 结构形式 | 名称 | 型号 | 量程范围/A | 级别 | 备注 |
|----------------------------|------|----------|----------------|---|-----|--------------|
| 直 流 型 | 磁电式 | 直流电流表 | 12C1-A型 | $(1 \sim 50) \times 10^{-4}$, $1 \sim 50$, $1 \sim 10 \times 10^3$ | 1.5 | 1kA 以上附定值分流器 |
| | 磁电式 | 直流电流表 | 85C10-A型 | $50 \sim 500 \mu\text{A}$ $1 \sim 750\text{mA}$ $1 \sim 10$ | 2.5 | 直接接入 |
| 交 直 流 两 用 型 | 电磁式 | 交直流钳形电流表 | MG20型 MG21型 | $0 \sim 700$, $0 \sim 1000$, $0 \sim 1500$ | 5 | 配用电流互感器 |
| | 电动式 | 交直流电流表 | D26-A型 | $1 \sim 20$ | 0.5 | 直接接入 |
| | 电动式 | 交直流电流表 | D9-A型 | 5 | 0.5 | |

5. 电流表常见故障

电流表比较常见的故障是表头的过载。当被测电流大于仪表的量程时，往往使表中的线圈、游丝等过热而烧坏或使转动部分撞击损坏。为此，可以采用二极管保护表头，电路如图4-2所示。

二、电压表

磁电系、电磁系和电动系测量机构都可以制成电压表。

1. 电压的测量方法(见表4-7)

2. 电压表的使用

电压表用于测量电路中各部分的电压，与被测量电路并联。

1) 直流电压表多采用磁电系测量机构，使用时，应将该表“+”接线柱接电源的正极或高电位，“-”接线柱接电源的负极或低电位，从“+”端到“-”端为实际电压降方向，这样才能

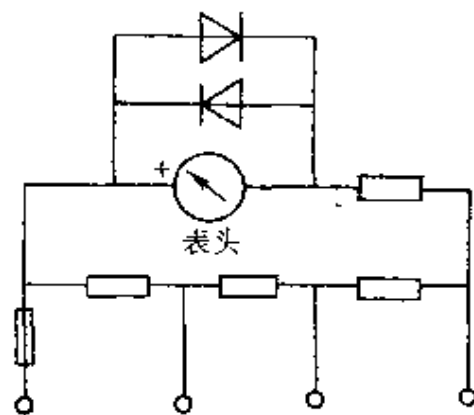
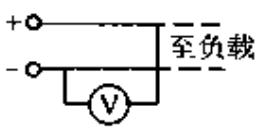
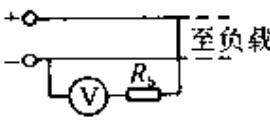
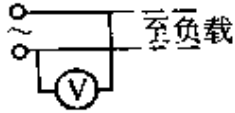
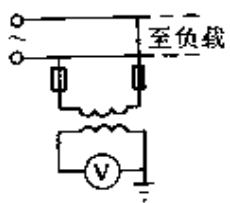
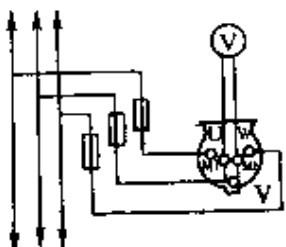
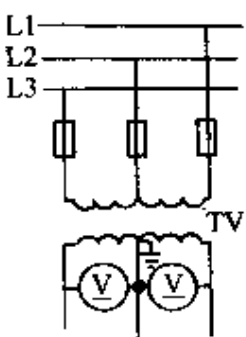


图4-2 表头的二极管保护示意图

使电压表指针正偏。否则，指针会反偏。

表 4-7 电压的测量方法

| 名称 | 测量线路 | | 测量方法及注意事项 |
|-----------|---|---|---|
| | 直接测量 | 带分流器或互感器的测量 | |
| 直流电压的测量 |  |  | <ol style="list-style-type: none"> 1. 电压表与负载并联连接 2. 注意电表的极性与量程 3. 带有互感器测量时，若有接地端，应将仪表接在接地端 |
| 单相交流电压的测量 |  |  | <ol style="list-style-type: none"> 1. 电压互感器的二次侧在运行中不允许短路，一、二次侧必须装熔断器保护，以防发生短路，烧毁互感器 |
| 三相交流电压的测量 |  |  | <ol style="list-style-type: none"> 2. 互感器二次绕组的一端和铁心必须可靠接地 3. 所有并入电路的电压线圈，其额定电流不能超过电压互感器的负载电流 |

2) 交流电压表有电磁系测量机构和电动系测量机构两种，与电流表一样，电动系电压表的测量准确度较高。在选用电压表时，应考虑被测量的性质、范围及测量精度等。测量时，对于多量限电压表应先选用较大的量程测量，然后再视被测电压的大小减小量程，使读数超过刻度 $2/3$ 或 $1/2$ ，在改变量程时，不允许带电变换，以免使测量机构遭冲击。

3. 常用电压表的种类、型号及量程范围（见表 4-8）

第四章 常用电工仪表与仪器的使用和维护

表 4-8 常用电压表的种类、型号及量程范围

| 类型 | 结构形式 | 名称 | 型号 | 量程范围/V | 级别 | 备注 |
|--------|-------|--------|----------------------------------|-----------------------------------|-----------|---------------------|
| 交流型 | 电磁式 | 交流电压表 | 1T1-V 型 | 15 ~ 600 | 1.5 | 直接接入 |
| | | | | 380 ~ 380 × 10 ³ | | 经电压互感器接入, 二次侧为 100V |
| | 电磁式 | 交流电压表 | 81T1-V 型 | 30 ~ 500 | 2.5 | 直接接入 |
| | 电磁式 | 交流电压表 | 1T9-V 型 | 工作部分: 1 ~ 20 过载部分: 5 ~ 50 | 2.5 | 直接接入 |
| | 电磁式 | 交流电压表 | 62T51-V 型 | 5 ~ 450 | 2.5 | 直接接入 |
| | 电磁式 | 交流电压表 | 44T1-V 型 | | 2.5 | 直接接入 |
| 直流型 | 磁电式 | 直流电压表 | 52C2-V 型 | 10 ~ 100, 150 ~ 1000, 1000 ~ 3000 | 1.5 | 配用 75FL2 型, 附定值分压器 |
| | 磁电式 | 直流电压表 | C31-V 型 | 3 ~ 600 | 0.5 | 直接接入 |
| | 磁电式 | 直流电压表 | C21-Mv | 0 ~ 0.075 | 0.5 | 直接接入 |
| | 磁电式 | 直流电压表 | 1C2-V 型 | 3 ~ 600, 1000 ~ 3000 | 1.5 | 1kV 以上带外附电阻器 |
| | 磁电式 | 直流电压表 | 12C1-V 型 | 3 ~ 300 ~ 600 | 1.5 | 直接接入 |
| | | | | 1000 ~ 1500 ~ 3000 | | 外附定值附加电阻 |
| 数字式 | 直流电压表 | WM5 型 | 0 ~ 2, 0 ~ 20, 0 ~ 200, 0 ~ 1000 | 0.5 | 具有 LED 显示 | |
| 交直流两用型 | 电动式 | 直流电压表 | D26-V 型 | 0 ~ 150, 0 ~ 300, 0 ~ 600 | 0.5 | |
| | 电动式 | 交直流电压表 | D9-V 型 | 0 ~ 150, 0 ~ 300, 0 ~ 600 | 0.5 | |
| | 电动式 | 交直流电压表 | 1D7-V 型 | 15 ~ 600 | 1.5 | 直接接入 |

(续)

| 类型 | 结构形式 | 名称 | 型号 | 量程范围/V | 级别 | 备注 |
|--------|------|--------|---------|-------------|-----|--------|
| 交直流两用型 | 电动式 | 交直流电压表 | 41D4-V型 | 15 ~ 600 | 1.5 | 直接接入 |
| | | | | 3.5 ~ 400kV | | 配电压互感器 |
| | 电动式 | 交直流电压表 | 13D1-V型 | 30 ~ 450 | 1.5 | 直接接入 |
| | | | | 3.5 ~ 42kV | | 配电压互感器 |

4. 电压表常见故障

电压表比较常见的故障与电流表相似，是表头的过电压，即当被测电压大于仪表的量程时，往往使表中的线圈、游丝等过热而烧坏或使转动部分撞击损坏。为此，可以采用与电流表一样的采用二极管来保护表头，电路如图 4-2 所示。

三、万用表

万用表又称多用表。一般万用表可用来测量直流电流、直流电压、交流电流、交流电压、电阻、电感、电容、音频电平及晶体三极管的电流放大系数 β 值等。分为指针式万用表和数字式万用表。

1. 指针式万用表

指针式万用表实际上是一个带整流器的磁电系仪表。主要由表头、测量线路及转换开关三大部分组成。图 4-3 所示为 500 型万用表的外形图。

(1) 使用方法

1) 端钮（或插孔）选择要正确。万用表的红色测试棒连接线要接到红色端钮上（或插入标有“+”号的插孔内），黑色测试棒连接线要接到黑色端钮上（或插入标有“-”号的插孔内）。对于备有交直流电压为 2500V 量

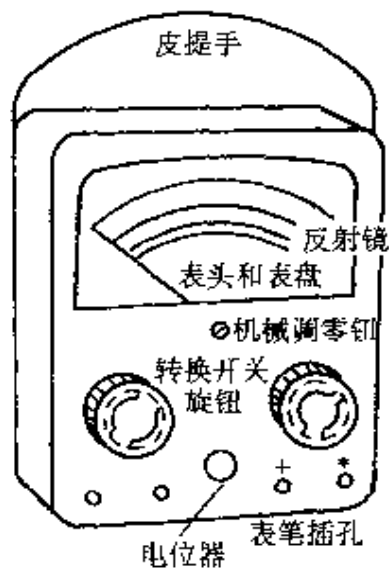


图 4-3 500 型万用表的外形



程的万用表，使用时黑色测试棒仍接黑色端钮（或插入标有“-”号的插孔内），而红色测试棒接到2500V的端钮上（或插入标有“+”号插孔）。

2) 转换开关位置的选择。在使用既有测量种类转换开关又有测量量程选择开关的万用表时，应先选择测量种类，再选择量程。

3) 量程选择要合适。根据被测量的大致范围，将量程选择开关转至适当的量限上，若测量电压或电流，最好使指针指在量程的 $1/2$ 至 $2/3$ 的范围内；若测量电阻，最好使指针指在量程 $1/2$ 附近，这样读数较为准确。

4) 正确进行读数。在万用表标度盘上有很多标度尺，它们分别适用于不同的被测对象。因此测量时既要读取对应标度尺上的读数，同时也应注意标度尺的读数和量程的配合，以免出现差错。

5) 欧姆挡的正确使用。欧姆挡的使用包括倍率挡选择、调零及测试。

倍率挡的选择应以使指针停留在刻度线较稀的部分为宜，使指针尽量接近标度尺的中间部分（即中值电阻），指针越接近 $1/2$ ，读数越准确。

在万用表欧姆挡测电阻之前应进行调零，在选择好倍率挡后，将两根测试棒碰在一起，同时转动“调零旋钮”，使指针刚好指在欧姆标度尺的零位上。每换一次倍率挡，就必须调零一次，保证测量的准确性，在调零时若指针不能回到零位，说明万用表的电池电压不足，需要更换电池。

6) 使用注意事项

①使用万用表时要注意不要用手触及测试棒的金属部分，以保证安全和测量的准确度。

②在测量较高电压或大电流时，不能带电转动转换开关，否则有可能使开关烧坏。

③不能带电测量电阻，以免损坏表头。



④万用表在用完后，应将转换开关转到“空挡”或“OFF”挡。若表盘上没有上述两挡时，可将转换开关转到交流电压最高量限挡，以防下次测量时因疏忽而损坏万用表。

⑤在每次使用前必须全面检查万用表的转换开关及量限开关的位置，确认没有问题时再进行测量。

(2) 指针式万用表的常见故障及处理方法 (见表 4-9)

表 4-9 指针式万用表的常见故障及处理方法

| 故障位置 | 故障现象 | 原因分析 | 处理方法 |
|-------|------------------|---|---|
| 表头 | 摇动表头时，指针摆动不正常 | 1. 表头动圈被异物卡住，支撑部分轧住 2. 游丝绞住 3. 机械平衡不好 4. 表头线圈断开或分流电阻断开 | 1. 清除表头内异物、锈迹 2. 用细针拨开绞住部分 3. 重新调整平衡 4. 更换表头线圈或焊牢脱落处 |
| 直流电流挡 | 1. 无指示 | 1. 表头被短路 2. 分挡开关未接通或触头接触不良 3. 表头串联的电阻损坏或脱焊 | 1. 找出短路点并去除 2. 用细金相砂纸轻轻打磨触头，若开关损坏应更换 3. 更换串联电阻或焊接脱落处 |
| | 2. 各挡测量值偏高 | 1. 与表头串联的电阻值变小 2. 分流电阻值偏高 | 1. 调整与表头串联的电阻 2. 调整分流电阻值 |
| | 3. 各挡测量值偏小 | 1. 表头灵敏度下降 2. 与表头串联的电阻值变大 | 1. 对表头磁钢重新充磁 2. 调整与表头串联的电阻 |
| 直流电压挡 | 1. 无指示 | 1. 电压部分开关公共接触点脱焊 2. 最小量程挡附加电阻断开或损坏 | 1. 焊接脱焊处 2. 更换损坏电阻 |
| | 2. 某量程挡不通，其他量程挡通 | 转换开关接触不良或接点与该挡附加电阻脱焊 | 焊接脱落处或修磨转换开关接触点 |



(续)

| 故障位置 | 故障现象 | 原因分析 | 处理方法 |
|-------|----------------------|--|--|
| 交流电压挡 | 1. 指针轻微摆动或指示极小 | 整流元件被击穿 | 更换同规格整流器 |
| | 2. 读数小一半左右 | 部分整流器损坏 | |
| | 3. 各挡测量值偏小 | 整流元件反向电阻值变小 | 更换整流器或调整交流电压挡的灵敏度 |
| 电阻挡 | 1. 无指示 | 1. 转换开关公共接触点引线断开或是调零电位器 2. 电池无电压输出 | 1. 焊接脱落处 2. 保证电池与引出线弹片接触良好或更换电池 |
| | 2. 正、负表棒短路时, 指针调不到零位 | 1. 电池容量不足 2. 串联电阻值变大 3. 转换开关接触电阻增大 | 1. 更换电池 2. 调整串联电阻值 3. 减小转换开关接触电阻 |
| | 3. 某量程不通 | 1. 转换开关接触点不良 2. 串联电阻断开 | 1. 调整开关的接触片 2. 焊接或更换断开电阻 |
| | 4. 某量程误差很大 | 该挡分流电阻变值 | 更换、调整分流电阻 |

2. 数字式万用表

近年来, 数字式万用表的应用日益广泛, 这是由于数字表读数迅速准确、能消除视差、准确度高、输入阻抗高、功能齐全及过载能力强等特点, DT-890 系列数字万用表面板图如图 4-4 所示。

其中, A 为电流插孔, 测量范围为 $200\mu\text{A} \sim 200\text{mA}$; COM 为公共插孔, 公共“-”或被测信号低端; V/ Ω 插孔在测量电压、电阻时用; 10A 插孔在测量大电流 $200\text{mA} \sim 10\text{A}$ 时用; 量程开关其周围不同的颜色和分界线标出不同测量种类和量限; 三极管插座测 h_{FE} 时用, 测试时, 将三极管的三个管脚插入相应的 E、B、C 孔内; 发光二极管连续检测导通指示; 液晶显示屏 LED 在

直流负输入时显示“-”，溢出时最高位显示“1”；电容测试插座 C_{x1} 接电容器正极， C_{x2} 接电容器负极。

(1) 使用方法

1) 首先按下 ON/OFF 开关，检查电池电压，若显示“LOBAT”或“BAT”，说明电池电压过低，需更换电池；若无，则可进行测量操作。

2) 根据被测量的不同，将红表笔按图 4-4 所示插入相应的孔内，黑表笔插入 COM 孔，即可进行交流电压、直流电压、交流电流、直流电流和电阻的测量。

3) 电容测量：将量程转换开关置于 CAP 处，被测电容插入电容插座中（由极性电容应注意极性）即可。注意：①不能用表笔测量；②测量容量较大的电容时，应先将被测电容进行放电，方能插入测量插座且稳定读数需要一定时间。

4) 二极管测量：将量程转换开关置于二极管测试端，即可显示二极管的正向压降近似值。

5) 三极管 h_{FE} 测量：将量程转换开关置于 h_{FE} 挡，按 NPN 或 PNP 管正确插入测试插座即可显示 h_{FE} 值。

6) 开路测量：将黑红表笔分别插入 COM 和 V/ Ω 孔，量程置于“DC A”，“AC A”挡，表笔另两端接被测电路中测试点，若两点间电阻小于 30Ω ，蜂鸣器发声，同时发光管亮。

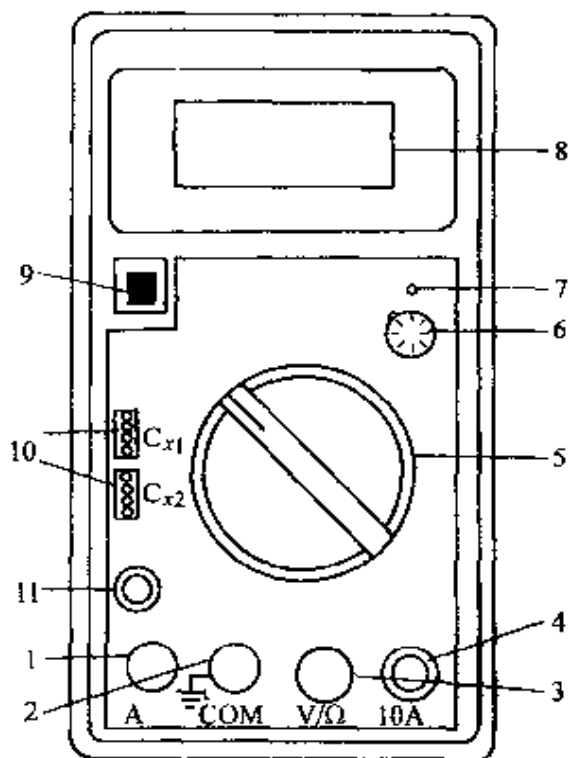


图 4-4 DT-890 系列数字万用表面板图

1—电流插孔 2—公共插孔 3—V/ Ω
4—10A 插孔 5—量程开关 6—三极管插座 7—发光二极管 8—液晶显示屏 LED 9—电源按键开关 10—电容测试插座 11—电容测量调零旋钮



(2) 使用注意事项

1) 测量电流时应将表笔串接在被测电路中，测量电压时应将表笔并联在被测电路中。

2) 数字万用表的交流电压挡只能直接测量低频正弦波信号电压。

3) 每次测量时，应确认量程是否正确。

4) 更换电池或熔丝时，应切断电源开关，且注意熔丝应与原机熔丝相同。

5) 测量高压时要注意避免触电。

四、功率表

功率表大多数为电动系结构，可以测量直流电路的功率，也可以测量正弦和非正弦交流电路的功率，而且准确度高，获得广泛应用。

功率表是反映电压和电流的乘积，通常制成多量程。一般有两个电流量程，两个或三个电压量程。

1. 功率测量的方法

功率测量的线路和方法见表 4-10。

表 4-10 功率测量的线路和方法

| 名称 | 测量线路 | 说明及注意事项 |
|----------|--------------|---|
| 用电压表和电流表 | <p>a) b)</p> | <p>图 a 适用于测量 1A 以上大电流或 $R_V \gg R_L$ 时的接线</p> <p>图 b 适用于测量几百毫安小电流或 $R_A \ll R_L$ 时的接线</p> |
| 用功率表 | <p>电源 负载</p> | <p>接线时“发动机端”（符号）必须接到电源的同一极性上</p> |



(续)

| 名称 | 测量线路 | 说明及注意事项 |
|-------------|---------------------|--|
| 单相交流电路功率的测量 | <p>a)</p> <p>b)</p> | <p>1. 标有“·”号的电压端钮，可以接至电流端的任一端</p> <p>图 a 为电压线圈前接，用于 $R_L \gg R_A$ 时</p> <p>图 b 为电压线圈后接，用于 R_L 接近 R_A 时</p> <p>2. 标有“·”号的电流端钮必须接至电源的一端，另一电流端钮接至负载端</p> |
| 三相三线制电路的接线 | | <p>电路总功率等于两个功率表读数的代数和。当负载 $\cos\phi < 0.5$ 时，则有一只功率表的读数为负值，即功率表反转</p> |
| 三相交流电路功率的测量 | | <p>用三只单相功率表测得各相功率，电路总功率为三只功率表读数之和</p> |
| 三相功率表测量时的接线 | <p>a)</p> <p>b)</p> | <p>图 a 为直接接入电路的接法</p> <p>图 b 为带有电流互感器接入电路的接法</p> |



2. 功率表的使用方法

功率表系电动系仪表，其测量机构由固定线圈与可动线圈组成，接线时固定线圈（即电流线圈）与被测电路串联，可动线圈（即电压线圈）与被测电路并联。

1) 功率表的量程选择：功率表的量程选择包括电流量程的选择和电压量程的选择。选用的电压和电流量程要与负载电压和电流相适应，使电流量程能通过负载电流，使电压量程能承受负载电压。以下面例子来说明。

【例 4-2】 有一感性负载，功率约为 800W，电压为 220V，功率因数为 0.8，测量其功率，需要选择功率表的量程为多少？

解 已知负载电压为 220V，选用功率表的额定电压为 250V 或 300V，而

$$\text{负载电流 } I = P / U \cos \phi = 800\text{W} / 220\text{V} \times 0.8 = 4.54\text{A}$$

功率表的电流量程可选为 5A

所以应选用额定电压为 300V，额定电流为 5A 的功率表，其功率量程为 1500W。

如果选用额定电压为 150V，额定电流为 10A 的功率表，其功率量程也为 1500W，但负载电压 220V 已超过功率表能承受的 150V 电压，故不能使用。

2) 功率表的读数：可携式功率表一般都做成多量程的。由于只有一条标尺，故通常在标尺上不标瓦特数，而标注分格数。被测电路的功率 P (W)，应根据指针偏转的格数 N 和每格瓦特数 C 求出

$$P = CN$$

式中 C (W/格) 又称功率表常数，其计算公式如下：

$$C = U_N I_N / \alpha_m$$

式中 U_N ——功率表电压量程 (V)；

I_N ——功率表电流量程 (A)；

α_m ——功率表标尺的满刻度数。

3) 功率表的接线：电动系仪表转矩方向与两线圈的电流方

向有关。因此，应规定一个能使指针正向偏转的电流方向，即功率表接线要遵守“同名端”守则。

“同名端”又称“电源端”，“极性端”，通常用符号“·”或“±”表示，接线时应使两线圈的“同名端”接在同一极性上，以保证两线圈电流都能从该端子流入。按此原则，正确接线有两种方式，如图4-5所示。图中 R_S 为表头内电阻。

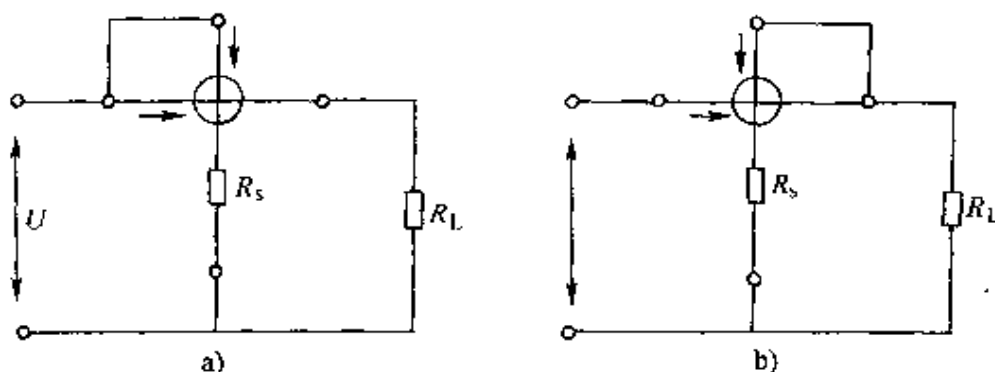


图 4-5 功率表的正确接线

a) 负载电流较小的电路 b) 负载电流较大的电路

3. 常用功率表的规格型号

部分常用携带式单相功率表和部分常用开关板式三相功率表的规格型号见表4-11。

表 4-11 部分常用有功功率表的规格型号

| 名称 | 型号 | 额定电流/A | 额定电压/V | 准确度 | 接入方式及用途 |
|-------|-------|--|---|-----|--------------------|
| 单相功率表 | D19-W | 0~0.5~1, 0~2.5~5, 0~5~10 | 0~150~300 | 0.5 | 直接, 携带式 |
| | D26-W | 0~0.5~1, 0~1~2, 0~2.5~5, 0~5~10, 0~10~20 | 0~15~75~300 0~150~250~500 0~150~300~600 | 0.5 | 直接, 携带式, 交、直流两用 |
| | D51-W | 0~2.5~5 | 0~75~150~240~600 0~48~100~240~480 | 0.5 | 直接, 携带式 |

(续)

| 名称 | 型号 | 额定电流/A | 额定电压/V | 准确度 | 接入方式及用途 |
|-------|---------|--------|---------------|-----|------------------|
| 二相功率表 | 16D3-W | 5 | 100, 127, 220 | 2.5 | 直接, 开关板式, 交、直流两用 |
| | 16D12-W | 5 | 127, 220 | 2.5 | 经电流互感器和电压互感器 |
| | 19D1-W | 5 | 100 | 2.5 | 直接, 开关板式, 交、直流两用 |
| | | 5 | 127, 220, 380 | 2.5 | 经电流互感器 |

五、电能表

电能表俗称火表, 测量交流电路的电能多为感应系电能表, 分为单相和三相及有功、无功电能表, 其接入方式有直接和经互感器接入式。

1. 电能的测量接线方法 (见表 4-12)
2. 常用电能表的型号规格 (见表 4-13)
3. 电能表的使用方法

1) 电能表的正确接法: 电能表接线要求和功率表一样, 不过电能表都有接线盒, 电压和电流的电源端已经连在一起, 接线盒有 4 个端子, 即相线—“进”—“出”和零线—“进”—“出”, 配线应采用进端接电源端, 出端接负载端, 电流线圈应接相线, 而不要接零线。

2) 电能表不宜安装在 $\cos\phi = 1$ 标定电流 5% 以下的电路中使用。

3) 如果使用电压互感器和电流互感器时, 实际消耗的电能应为电能表的读数乘以电压互感器和电流互感器的变化值。

4. 交流电能表常见故障及处理方法 (见表 4-14)

六、兆欧表

兆欧表又称摇表, 是专用于检查和测量电气设备或供电线路的绝缘电阻的一种可携式仪表。



表 4-12 电能的测量方法

| 名称 | 测量方法 |
|------------------|---|
| <p>直流电能的测量</p> | <p style="text-align: center;">直流电能表接线 a) 直接接入 b) 通过分压器、分流器接入</p> |
| <p>单相交流电能的测量</p> | <p style="text-align: center;">单相电能表接线 a) 直接接入 b) 经电流互感器接入</p> |

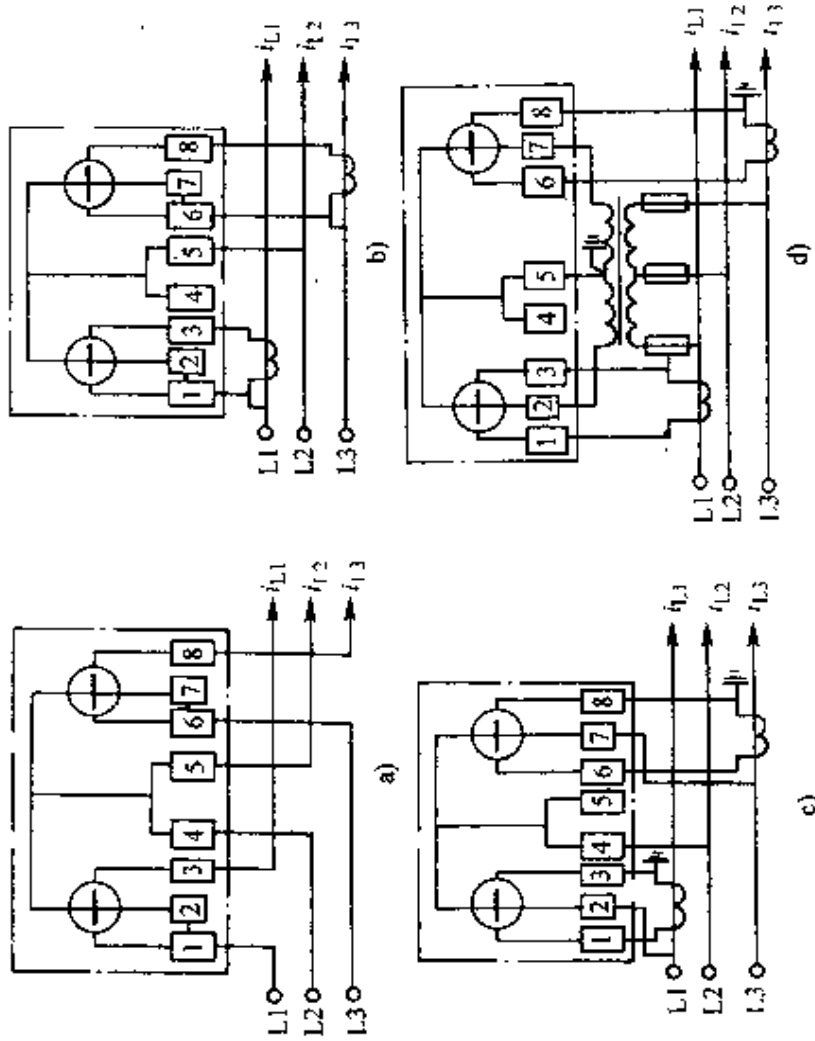


(续)

测量方法

名称

三相交流电能的测量



(1) 三相三线制电能表的接线

a) 直接接入 b) 经电流互感器接入 c) 经电流互感器接入 d) 经电流互感器接入

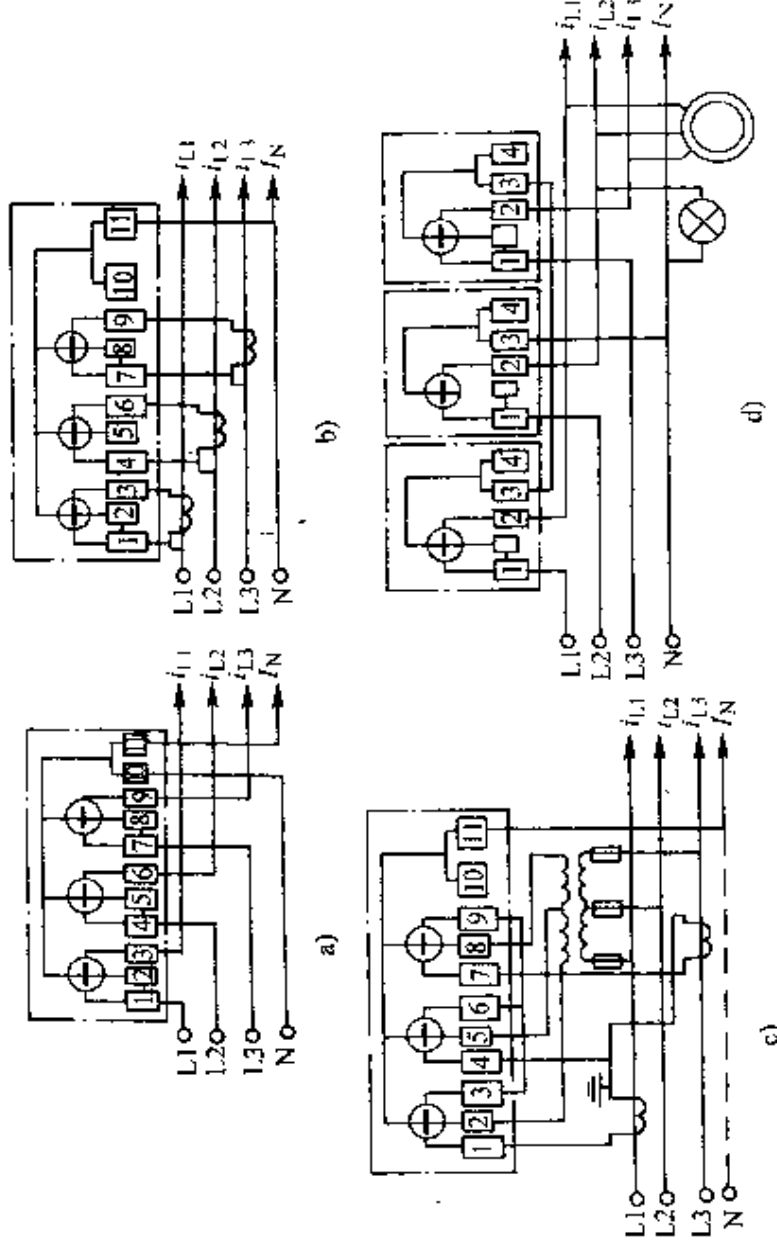


(续)

测量方法

名称

三相交流电能的测量



(2)三相四线制电能表的接法

- a) 直接接入
- b) 经电流互感器接入
- c) 经电流互感器、电压互感器接入
- d) 三只单相电能表接入二相四线制接法


第四章 常用电工仪表与仪器的使用和维护 

表 4-13 常用电能表的型号规格

| 名称 | 型号 | 额定电流/A | 额定电压/V | 准确度等级 | 接入方式 |
|-----------|----------|------------------------------------|---------------|-------|--|
| 单相电能表 | DD1 | 2.5, 5, 10 | 110, 127, 220 | 2.5 | 直接接入或经电压互感器、电流互感器、万用互感器接入, 接入时核定接入表计(三相电能表)的电压为正相序 |
| | DD6 | 3, 5, 10, 25, 50, 100 | 110, 220 | 2.0 | |
| | DD862-4 | 2.5 (10), 5 (20), 10 (40), 15 (60) | 220 | 2.0 | |
| | DD28 | 1, 2.5, 5, 10, 20, 40 | 220 | 2.0 | |
| 单相防窃电电能表 | DD862A-F | 1.5 (6), 2.5 (10), 5 (20) | 220 | 2.0 | |
| 三相三线有功电能表 | DS864-2 | 3 (6) | 100, 380 | 1.0 | |
| | DS862-2 | 3 (6) | 100, 380 | 2.0 | |
| | DS862-4 | 5 (20), 10 (40) | 380 | 2.0 | |
| 三相四线有功电能表 | DT862-2 | 3 (6) | 380/220 | 2.0 | |
| | DT241 | 5, 10, 25, 40, 50 | | 2.0 | |
| | DT862-4 | 5 (20), 10 (40) | | 2.0 | |
| 三相二线无功电能表 | DX863-2 | 3 (6) | 100, 380 | 2.0 | |
| | DX865-2 | | | 3.0 | |
| | DX864-2 | 3 (6) | 380 | 2.0 | |
| | DX862-2 | 3 (6), 5 (10) | 380 | 2.0 | |

表 4-14 交流电能表常见故障及处理方法

| 故障现象 | 产生原因 | 处理方法 |
|-------------------|---|--|
| 1. 有潜动现象 | 出厂时调整不良 | 按电能表的主要技术指标特性重新调整, 使无载自转达到规定要求 |
| 2. 转盘卡住, 但负载仍照常有电 | 1. 因密封不良或受振, 表内有异物卡住转盘 2. 轴承呆滞 3. 端钮盒内小钩子松脱, 电压绕组短路 4. 计度器质量不良, 致使计度器转动不灵活, 甚至卡住 | 1. 清洁表中的异物 2. 对各转动部分加润滑油 3. 检查接线盒中的各接线螺钉是否松脱 4. 调换计度器 |
| 3. 机械损伤 | 运输中受强烈振动, 使外壳破裂, 内部铝盘搁住不能转动 | 调整铝盘并调换外壳 |



兆欧表由测量机构、测量线路和高压电源组成。高压电源多采用手摇发电机，输出电压有 500V、1000V 及 2500V 等几种。目前又研制出晶体管直流变换器，代替手摇发电机的兆欧表。

1. 兆欧表的使用方法

1) 线路间绝缘电阻的测量：测量前应使线路停电，被测线路分别接在线路端钮“L”上和地线端钮“E”上，用左手稳住摇表，右手摇动手柄，速度由慢逐渐加快，并保持在 120r/min 左右，持续 1min，读出兆欧数。

2) 线路对地间绝缘电阻的测量：测量前将被测线路停电，将被测线路接于兆欧表的“L”端钮上，兆欧表的“E”端钮与地线相连接，测量方法同上。

3) 电动机定子绕组与机壳间绝缘电阻的测量：在电动机脱离电源后，将电动机的定子绕组接在兆欧表的“L”端钮上，机壳与兆欧表的“E”端钮相连，测量方法同上。

4) 电缆缆心对缆壳间的绝缘电阻的测量：在电缆停电后，将电缆的缆心与兆欧表的“L”端钮连接，缆壳与兆欧表的“E”端钮连接，将缆心与缆壳之间的内层绝缘物接于兆欧表的屏蔽钮“G”上，以消除因表面漏电而引起的测量误差。

5) 正确选择兆欧表的电压及其测量范围，见表 4-15

表 4-15 兆欧表的选择

| 被测对象 | 被测设备的额定电压/V | 兆欧表的额定电压/V |
|-------------------|-------------|-------------|
| 绕组绝缘电阻 | 500 以下 | 500 |
| | 500 以上 | 1000 |
| 电力变压器绕组、电机绕组的绝缘电阻 | 500 以上 | 1000 ~ 2500 |
| 发电机绕组的绝缘电阻 | 500 以下 | 1000 |
| 电气设备的绝缘电阻 | 500 以下 | 500 ~ 1000 |
| | 500 以上 | 2500 |
| 瓷瓶 | — | 2500 ~ 5000 |



2. 兆欧表使用时的注意事项

1) 在进行测量前应先切断被测线路或设备的电源，并进行充分放电（约需 2~3min），以保证设备及人身安全。

2) 在进行测量前应将与被测线路或设备相连的所有仪表及其他设备退出（如电压表、功率表、电能表及电压互感器等），以免这些仪表及其他设备的电阻影响测量结果。

3) 兆欧表接线柱与被测设备间的连接导线不能用双股绝缘线或绞线，应用单股线分开单独连接，避免因绞线的绝缘不良而引起测量误差。

4) 测量前应将兆欧表进行一次开路 and 短路试验，检查兆欧表是否良好。将 L、E 开路，摇动手柄，指针应立即指在“∞”处；将 L、E 短接，轻轻摇动手柄，指针应立即指在“0”处。则说明兆欧表是良好的，否则兆欧表不能用。

5) 测量电容器及较长电缆等设备绝缘电阻时，一旦测量完毕，应立即将“L”端钮的连线断开，以免兆欧表向被测设备放电而损坏仪表。

6) 测量完毕后，在手柄未完全停止转动及被测对象没有放电之前，切不可用手触及被测对象的测量部分及拆线，以免触电。

3. 兆欧表常见故障及处理方法（见表 4-16）

表 4-16 兆欧表常见故障及处理方法

| 故障现象 | 原因分析 | 处理方法 |
|---------------------|--|---------------------------------|
| 1. 指针指不到“∞”或“0”的刻度上 | 1. 表头指针内有异物 2. 内部线圈产生的转动力矩偏转角 α 太小 | 1. 清洁表头内的异物 2. 调节表内两个线圈的限流电阻 |
| 2. 测量误差大 | 1. 接线不正确引起表面漏电 2. 兆欧表电压量程选用不当 | 正确使用兆欧表调整接线方法 |
| 3. 表头指针无偏转 | 1. 表头线圈烧坏 2. 发电机工作不正常 | 1. 更换线圈 2. 更换发电机 |



第三节 常用电工仪器

一、电桥

电桥是一种灵敏度和精确度都较高的测量仪器，分直流电桥和交流电桥两种。直流电桥用于测量电阻，分为单臂电桥和双臂电桥。

1. 单臂电桥的工作原理

单臂电桥又称为惠斯登电桥，主要用于测量中值电阻（ $1 \sim 10^6 \Omega$ ）。

单臂电桥的工作原理如图 4-6 所示，图中 R_x 为被测电阻， R_1 、 R_2 、 R_3 均为可调已知标准电阻，P 为高灵敏度的磁电系检流计，当调整到 $I_p = 0$ 时，称为电桥平衡，此时有

$$R_1 \times R_3 = R_2 \times R_x$$

则被测电阻 $R_x = (R_1/R_2) \times R_3$

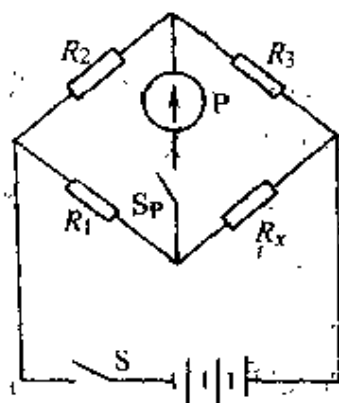


图 4-6 直流单臂电桥原理图

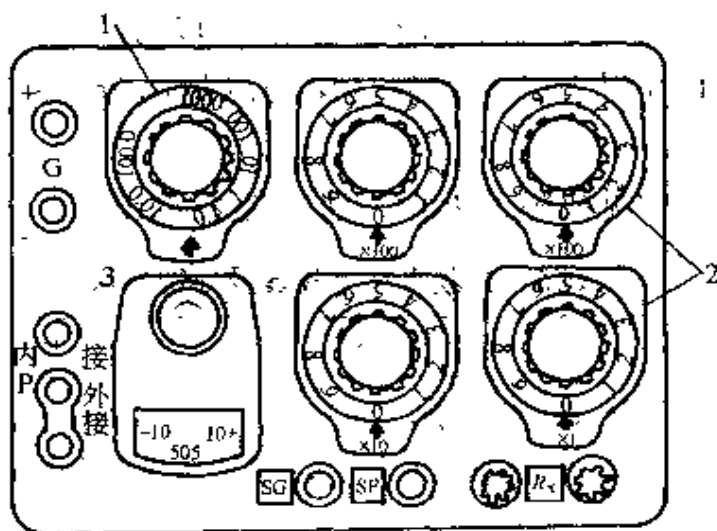


图 4-7 QJ23 型直流单臂电桥面板布置图

1-倍率旋钮 2-比较臂读数盘 3-检流计

这种测量方法称为比较测量法。 R_1/R_2 称为比率臂；而 R_3



称为比较臂。由于该电路的各电阻比值与支路电流无关，且桥臂各电阻是用电阻温度系数极小的锰铜丝烧成，阻值十分准确，有效读数位数较多，因此，精度较高，可达0.2级。

下面以QJ23型为例介绍单臂电桥的面板图，如图4-7所示。

其中，比较臂制成四挡，可调形式为(0、1、2、3、…、9) × 1Ω，× 10Ω，× 100Ω，× 1000Ω。比率臂的倍率通过转换开关可作七挡选择，分别为0.001、0.01、0.1、1、10、100、1000。

2. 双臂电桥的工作原理

双臂电桥又称凯尔文电桥，主要用于测量低值电阻(1Ω以下)，可消除连接线的电阻和接触电阻的影响，以保证低值电阻的精确测量。它是在单臂电桥的基础上发展起来的。原理图如图4-8所示。

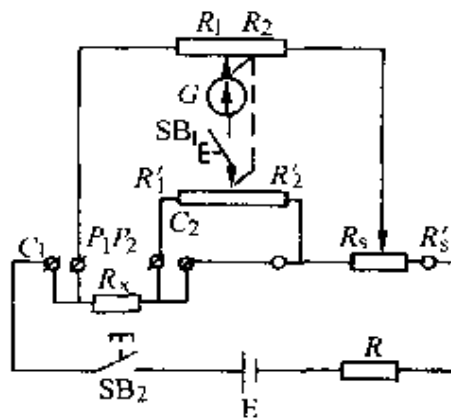


图4-8 直流双臂电桥原理图

经推导可得到平衡条件为： $R_x/R_s = R_1/R_2 = R'_1/R'_2$

图4-9所示为QJ42型直流双臂电桥的面板图。

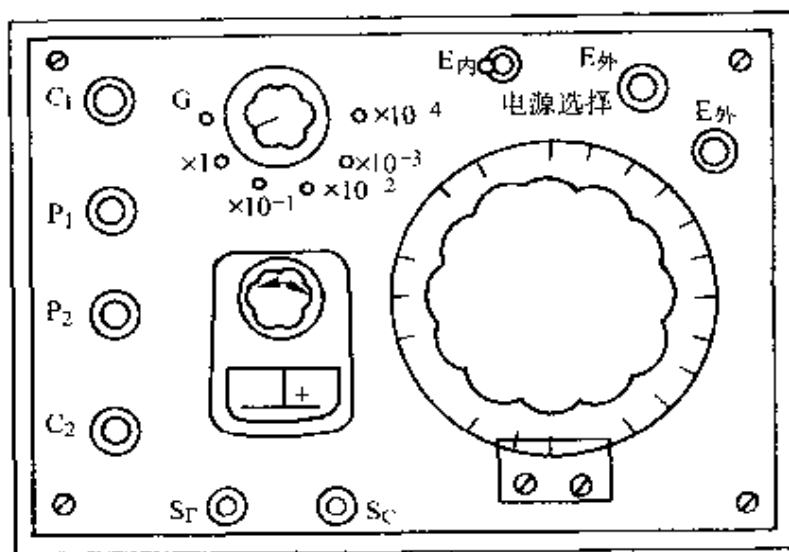


图4-9 QJ42型直流双臂电桥的面板布置图



3. 电桥的使用方法及注意事项

1) 电池装入电桥内(或按规定接入外接直流电源),把电桥放置平稳,然后将检流计锁扣打开,并调节调零器使指针位于机械零点。

2) 在无法估计 R_x 大致值时,先用万用表等对其进行初测,然后再用较粗、较短的连线将被测电阻接入表的被测电阻端钮,并确保接触良好,根据 R_x 阻值范围,选择合适的比率臂比率,以保证比较臂的四组阻箱全部用上。

3) 调节平衡时,应先按电源按钮再按检流计按钮,测量结束应先断开检流计按钮。

4) 按下按钮后,若指针向“+”侧偏转,应增大比较臂电阻;若向“-”侧偏转,则应减少比较臂电阻,调平衡过程中,不要把检流计按钮按死,待调到电桥接近于平衡时,才可按死检流计进行细调。

5) 若使用外接电源,其电压应按规定选择。

6) 测量结束若不再使用时,应将检流计的锁扣锁上。

若是双臂电桥,还需注意以下几点:

1) 被测电阻的电流端钮和电位端钮应和双臂电桥对应端钮正确连接,连接导线应尽量用短线和粗线,接头要牢靠。

2) 双臂电桥工作时电流很大,所以电源容量要大,测量操作应快,测量结束时应立即关断电源。

4. 常用直流单、双臂电桥的型号及测量范围(见表 4-17)

表 4-17 常用直流单、双臂电桥的型号及测量范围

| 电桥名称 | 型号 | 级别 | 测量范围/ Ω | 用途 |
|---------|------|------|---|------------------------|
| 单双两用桥 | QJ16 | 0.02 | 单桥 $100 \sim 10^6$ 双桥 $10^{-6} \sim 100$ | 测量电阻和作为 0.02 级精密电阻箱 |
| 单双两用桥 | QJ17 | 0.02 | 单桥 $100 \sim 10^6$ 双桥 $10^{-6} \sim 100$ | 测量直流电阻 |
| 便携式直流单桥 | QJ23 | 0.2 | $1 \sim 999900$, 保证精 度范围 $1 \sim 99990$ | 测量直流电阻 |



(续)

| 电桥名称 | 型号 | 级别 | 测量范围/ Ω | 用途 |
|---------|------|----------------|--|-----------------|
| 便携式直流双桥 | QJ26 | 0.2 | $10^{-4} \sim 11$ | 测量直流低阻用 |
| 直流单双桥 | QJ32 | 0.05 | 单桥 $50 \sim 10^6$ 双桥 $10^{-5} \sim 100$ | 直流电阻精密测量 |
| 高阻电桥 | QJ38 | 0.05 | $10^5 \sim 10^{16}$ | 测量高阻元件，绝缘电阻及微电阻 |
| 线路实验器 | QJ43 | 0.1 | $1 \sim 999900$ ，保证精度范围 $10 \sim 9999$ | 测量直流电阻、电缆故障点 |
| 双臂电桥 | QJ44 | $0.5 \sim 1.0$ | $10^{-6} \sim 11$ | 测量电工产品绕组直流电阻 |

二、示波器

示波器是一种能直接观察和真实显示被测信号的综合性电子测量仪器，不仅能定性观察电路的动态过程，如观察电压、电流或经过转换的非电量等的变化过程，还可以定量测量各种电参数，如被测信号的幅值、周期和频率等。

示波器按用途分为通用示波器和专用示波器；按其信号通道数分为单踪、双踪、四踪、八踪示波器；按其余辉时间分为长余辉、中余辉、短余辉示波器。

1. 示波器面板上各旋钮或开关的作用

示波器种类不同，旋钮开关的数目以及在面板上的位置和称呼也不完全相同，但大体上可分为主机、Y通道、X通道三部分，以 YB4320 双踪示波器为例，其面板图如图 4-10 所示。

面板上各控制键功能和使用方法见表 4-18。

2. 示波器的基本测量方法

1) 波形幅度（电压、电流幅值）的测量方法。先将示波器面板上各控制器置于表 4-19 所示作用位置，被测信号由 Y 轴输入，使波形幅度控制在荧光屏刻度以内，调节触发和扫描时间，荧光屏上出现稳定波形，如图 4-11 所示，如果“VOLTS/div”为 1V/div，峰-峰之间高度为 6div，计算方法为： $U_{p,p} = 1V/div \times 6div = 6V$ ，如果探头为 10:1，实际值为 $U_{p,p} = 60V$ 。

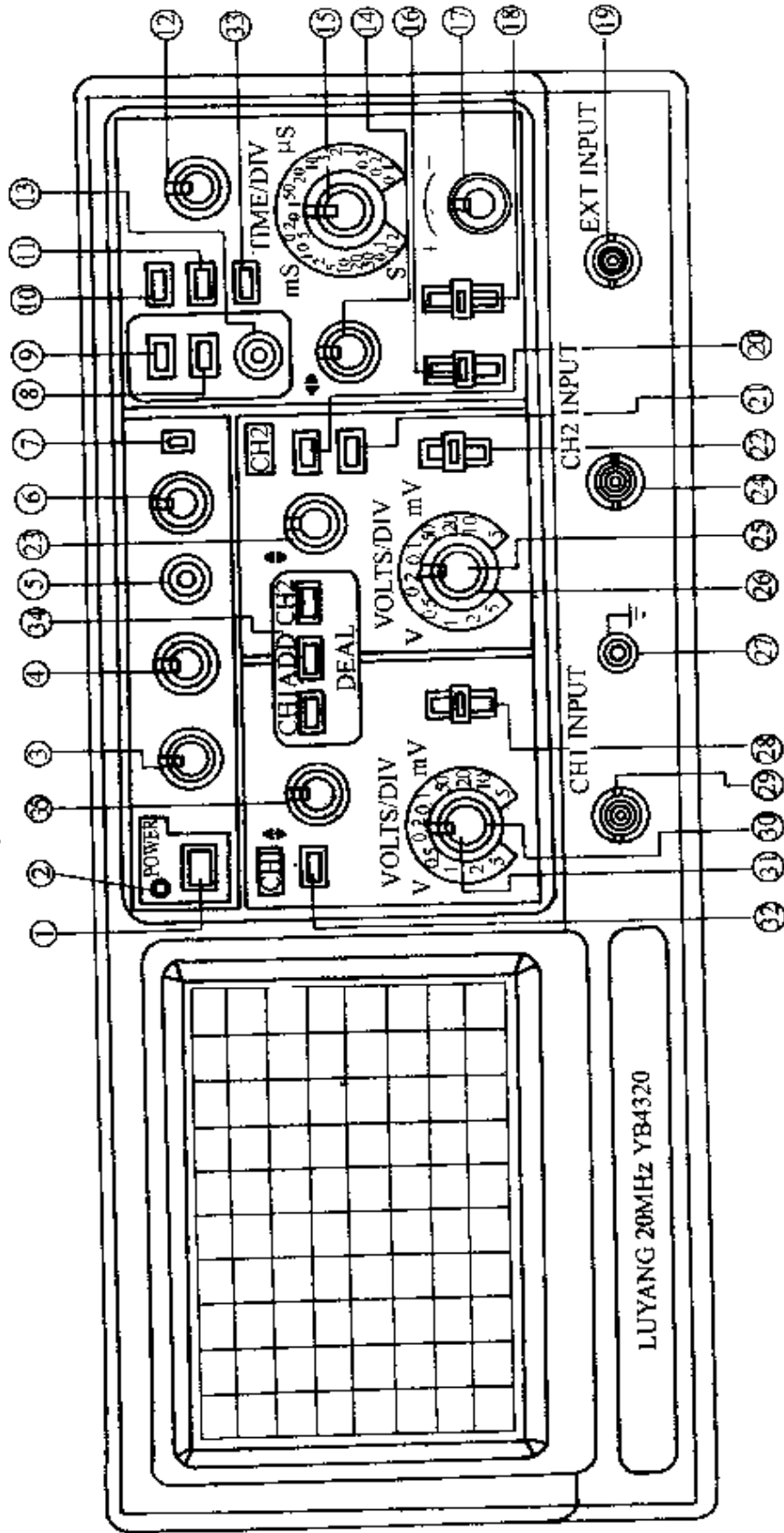


图 4-10 示波器面板示意图



表 4-18 面板上各控制键功能和使用方法

| 图中标号 | 名称 | 功能 | 图中标号 | 名称 | 功能 |
|------|--------------------------|-------------------------------|--------|------------------------|---|
| 1 | 电源开关 POWER | 按下电源开关, 电源接通 | 16 | 触发方式选择 TRIG MODE | 自动 (AUTO): 扫描电路自动进行扫描 常态 (NORM): 有触发信号才能扫描 TV-H TV-V: 用于观察电视信号中场信号波形 |
| 2 | 电源指示灯 | 电源接通时指示灯亮 | 17 | 触发电平旋钮 TRIG LEVEL | 用于调节被测信号在某一电平触发同步 |
| 3 | 亮度旋钮 INTENSITY | 顺时针方向旋转按钮, 亮度增强 | 18 | 触发源选择开关 SOURCE | 选择触发信号源, 包括内触发 (INT)、通道 2 触发 (CH2)、电源触发 (LINE)、外触发 (EXT) |
| 4 | 聚焦旋钮 FOCUS | 调节 3 使亮度适中, 然后调节该按钮至轨迹达到最清晰程度 | 19 | 外触发输入插座 EXT INPUT | 用于外部信号输入 |
| 5 | 光迹旋转按钮 TRACE ROTATION | 用于调节光迹与水平刻度线平行 | 20, 32 | CH1 × 5 扩展, CH2 × 5 扩展 | 按下该键, 垂直方向的信号扩大 5 倍为 1mV/div |
| 6 | 刻度照明控制钮 SCALE ILLUM | 用于调节屏幕亮度, 顺时针旋转亮度将增加 | 21 | CH2 极性开关 INVERT | 按此开关, CH2 显示反向电压值 |
| 7 | 校准信号 CAL | 电压幅度为 0.5p ~ p, 频率为 1kHz 的方波 | 22, 28 | 垂直输入耦合开关 AC-GND-DC | 选择垂直方向信号的耦合方式: 交流: AC, 接地: GND, 直流: DC |
| 8 | ALT 扩展按钮 ALT-MAG | 按下此键, 扫描因数 × 1, × 5 同时显示 | 23, 35 | 垂直移位 | 调节光迹在屏幕中的垂直位置 |



(续)

| 图中 标号 | 名称 | 功能 | 图中 标号 | 名称 | 功能 |
|----------|--------------------------|--|-----------|---------------------------------|--|
| 9 | 扩展控制 键 MAG×5 | 按下此键, 扫描 因数×5扩展 | 24 | 通道 2 输入 端 CH2 INPUT | 在 X-Y 方式时输入端 的信号为 Y 轴信号 |
| 10 | 触发极性 按钮 SLOPE | 用于选择信号 的上升和下降沿 触发 | 25, 31 | 垂直微调旋 钮 VARIABLE | 垂直微调用于连续改 变电压偏转灵敏度, 顺 时针旋转到底为正常位 置, 逆时针方向旋到底, 垂直方向的灵敏度下降 2.5 倍以上 |
| 11 | X-Y 控制 键 | 按下此键, 垂 直偏转信号接入 CH2 输入端, 水 平偏转信号接入 CH1 输入端 | 26, 30 | 衰减器开关 VOLTS/div | 用于选择垂直偏转灵 敏度的调节 |
| 12 | 扫描微调 控制旋钮 VARIABLE | 顺时针方向旋 转到底为校准位 置, 为正常位 置; 逆时针方向 旋转到底, 扫描 减慢 2.5 倍以上 | 27 | 接地杆 | 接地端 |
| 13 | 光迹分离 控制键 | | 29 | 通道 1 输入 端 CH1 INPUT | 在 X-Y 方式时输入端 的信号为 X 轴信号 |
| 14 | 水平位移 POSITION | 用于调节轨迹 在水平方向移动 | 33 | 交替触发 ALT TRIG | 此方式可用于同时观 察两路不相关的信号 |
| 15 | 扫描时间 选择开关 TIME/div | 共 20 挡, 在 0.1μs ~ 0.2s/div 选择扫描速率 | 34 | 垂直工作方 式选择 VERTI- CAL MODE | 按下 CH1, 显示 CH1 通道信号; 按下 CH2, 显示 CH2 通道信号; 同 时按下 CH1 和 CH2 按 钮, 以断续或交替方式 同时显示 CH1 和 CH2 上 的通道信号 |



表 4-19 各控制器所置作用位置

| 控制旋钮名称 | 作用位置 | 控制旋钮名称 | 作用位置 |
|----------------|---------------|-------------------------------|----------------------|
| 电源 POWER | 开关键弹出 | 触发电平 TRIG LEVEL | 中间 |
| 亮度 INTENSITY | 顺时针旋转 | 触发源 SOURCE | 内 |
| 聚焦 FOCUS | 中间 | Time/div | 0.5ms/div |
| AC-GND-DC | AC | 水平位置 | ×1, (×5)、ALT MAG 均弹出 |
| 垂直移位 POSITION | 中间 (×5) 扩展键弹出 | 垂直工作方式 | CHI |
| 触发方式 TRIG MODE | 自动 | VOLTS/DIV VAR TIME/DIV VAR | 顺时针方向 旋转到底 |

2) 频率测量方法。对周期性的重复频率信号来说, 首先测出信号的周期 T , 频率 $f = 1/T$, 如图 4-12 所示, 屏幕上的一个周期为 4div, 如果“扫描时间”为 1ms/div, 则信号的周期 $T = 1\text{ms/div} \times 4\text{div} = 4\text{ms}$, 频率为 $1/4\text{ms} = 250\text{Hz}$; 如运用 ×5 扩展, 则 Time/div 为指示值的 1/5。

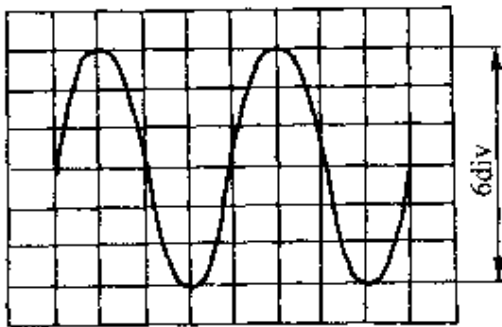


图 4-11 电压测量

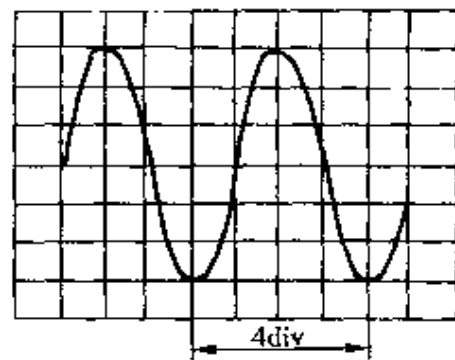


图 4-12 周期和频率测量

3. 示波器使用注意事项

1) 示波器接通电源后, 需预热数分钟后再开始使用。



2) 使用过程中,应避免频繁开关电源,以免损坏示波管。暂时不用时,只需将荧光屏的亮度调暗即可。

3) 示波器的地端应与被测信号电压的地端接在一起,以避免引入干扰信号,同时应注意输入电压不要超过额定值。

三、晶体管特性图示仪

晶体管特性图示仪是一种从示波管的屏幕上直接观察各种晶体管特性曲线的仪器。以 JT-1 为例,可测二极管、三极管的伏安特性、输入和输出特性,各种击穿电压、反向饱和电流、电流放大系数等;还可以测晶闸管、场效应管、集成电路等,是应用十分广泛的电子仪器。

1. 晶体管特性图示仪各旋钮的作用

JT-1 型晶体管图示仪包括阶梯波发生器、阶梯波放大器、集电极扫描信号发生器及示波器等。其中,水平放大器、垂直放大器和示波管组成示波器,功能与普通示波器相同;集电极正弦半波扫描发生器用于产生集电极扫描信号;阶梯波发生器和阶梯波放大器产生基极阶梯信号,为被测晶体管提供基极阶梯电压或电流,其大小和极性可通过转换开关来改变。

如图 4-13 所示为 JT-1 型图示仪的面板图,图中各旋钮的作用见表 4-20。

表 4-20 图示仪各旋钮的作用

| 名称和图形 | 旋钮作用 |
|--------------|--|
| <p>示波器部分</p> | <p>位于面板上半部,屏幕下放设标尺亮度、辅助聚焦、辉度、聚焦四个旋钮,其作用与普通示波器一样,不再叙述</p> |



(续)

| 名称和图形 | 旋钮作用 |
|--|--|
| <p style="text-align: center;">Y轴和X轴作用单元</p> | <ol style="list-style-type: none"> 1. 毫安-伏/度开关：有 24 个挡次的步进式开关，其中“集电极电流”占 16 挡；基极电压占 6 挡；基极电流或基极源电压占 1 挡；外接 1 挡 2. 伏/度开关：有 19 个挡次的步进式开关，其中“集电极电压”占 11 挡；基极电压占 6 挡；基极电流或基极源电压占 1 挡 3. 在 Y 轴和 X 轴作用单元均设有 Y 轴“位移”旋钮、X 轴“位移”旋钮和“放大器校正”开关。测量前应进行零位和放大倍数的校正 4. 在 Y 轴作用单元设有“毫安/度倍乘开关”，用来扩大量程 |
| <p style="text-align: center;">集电极扫描信号部分</p> | <ol style="list-style-type: none"> 1. 峰值电压范围开关：有 0 ~ 20V, 0 ~ 200V 两档，表示集电极扫描电压峰值的调节范围 2. 峰值电压旋钮：配合峰值电压范围开关可连续调节 3. 极性开关：根据所测晶体管的类型变换集电极扫描电压的极性 4. 功耗限值电阻开关：用来限制集电极功耗，以保护被测管 |



(续)

| 名称和图形 | 旋钮作用 |
|---|---|
| <p style="text-align: center;">基极阶梯信号部分</p> | <ol style="list-style-type: none"> 1. 阶梯选择开关：包括基极阶梯电流和基极阶梯电压共 22 挡位 2. 极性开关：用来改变阶梯信号的正、负极性 3. 级/族旋钮：调节阶梯信号的级数，从 4~12 级连续可调 4. 阶梯作用开关：分为“重复”、“关”和“单族”三挡，其中“重复”表示阶梯信号重复地加在被测管的基极上；“关”表示阶梯信号停止输出；“单族”表示只输出一级阶梯信号 5. 级/秒开关：分上 100、200、下 100 三挡，用来改变阶梯信号的频率和相位，用 200 级/秒，可使图形闪烁现象减小，比较稳定 6. 零电流、零电压按键：共三挡，中间位置时阶梯信号直接加在被测管的基极；置于“零电流”时，被测管的基极被开路，可测 I_{CEO} 和 $U_{(BR)CEO}$；置于“零电压”时，基极和发射极短路，可测 I_{CES} 和 $U_{(BR)CES}$ 7. 阶梯调零旋钮：用来将阶梯信号的起始位置调到零位 |
| <p style="text-align: center;">测试台</p> | <ol style="list-style-type: none"> 1. 晶体管插座：有两组，每组有两种：一种是旁边注有 C、B、E 的三个接线柱，E 端固定接地，用于测试大功率晶体管的特性；另一种小圆插座，插孔旁边注有 C、B、E 三个电极的位置 2. 测试选择开关 |

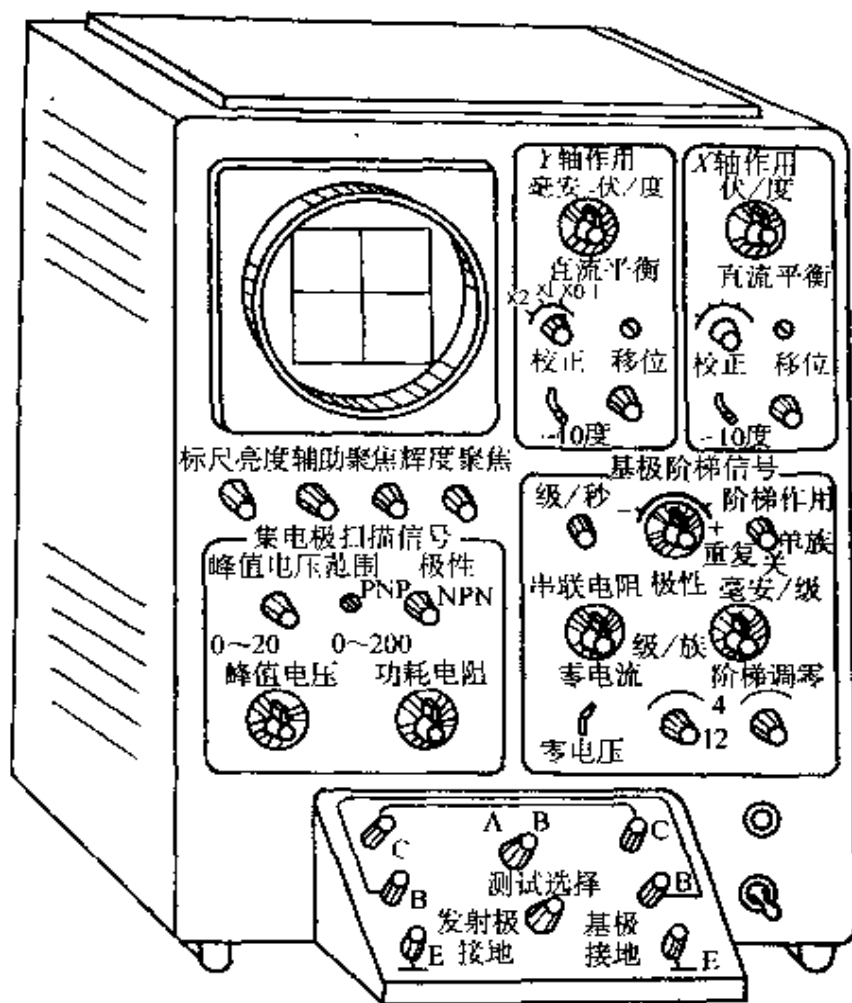


图 4-13 JT-1 型图示仪的面板图

2. 晶体管特性图示仪的操作方法

为了不损坏晶体管，一定要了解该仪器的性能和使用方法，同时，要注意各旋钮的位置，使加在晶体管上的电流和电压慢慢由小到大，监视 I_C 、 U_{CE} 、 P_C 的值，不要超过管子的最大允许值 I_{CM} 、 $U_{(BR)CEO}$ 和 P_{CM} 。

- 1) 打开面板上的电源开关，指示灯亮，使仪器预热 5min。
- 2) 调节辉度，使亮度适中；调节聚焦和辅助聚焦，使线条或亮点清晰。

3) 基极阶梯调零 使用前要对正、负阶梯信号进行调零，如对共发射极接法，NPN 型管阶梯为正，PNP 型管阶梯为负。



- 4) 将集电极扫描信号部分的全部旋钮调到所需的范围。
- 5) 调节 Y 轴和 X 轴作用单元中各旋钮到所需读测位置, 测试小功率管使一般 Y 轴作用调到 $1\text{mA}/\text{度}$, X 轴作用调到 $1\text{V}/\text{度}$ 。
- 6) 基极阶梯信号调节。将极性、串联电阻、阶梯选择调到所需读测位置, 阶梯作用开关一般置于重复, 级/秒选择 200 级/秒为宜。
- 7) 测试台调节。接地开关扳到所需位置, 插上晶体管, 调峰值电压, 此时就有曲线显示。在经 Y 轴、 X 轴基极阶梯信号的调整, 使曲线大小适中。
- 8) 试结束关闭电源。峰值电压旋钮调至零位, 峰值电压范围开关放到 $0 \sim 20\text{V}$ 挡, 功耗电阻调至 $1\text{mA}/\text{度}$, X 轴作用调至 $1\text{V}/\text{度}$, 阶梯信号调至 $0.01\text{mA}/\text{级}$, 以便下次使用仪器不至于由于粗心大意而损坏晶体管。

3. 晶体管参数的测量

(1) 测试二极管 将二极管插入图示仪的测试台“C”、“E”插孔中, 如图 4-14 所示, 图示仪面板上各旋的位置见表 4-21。

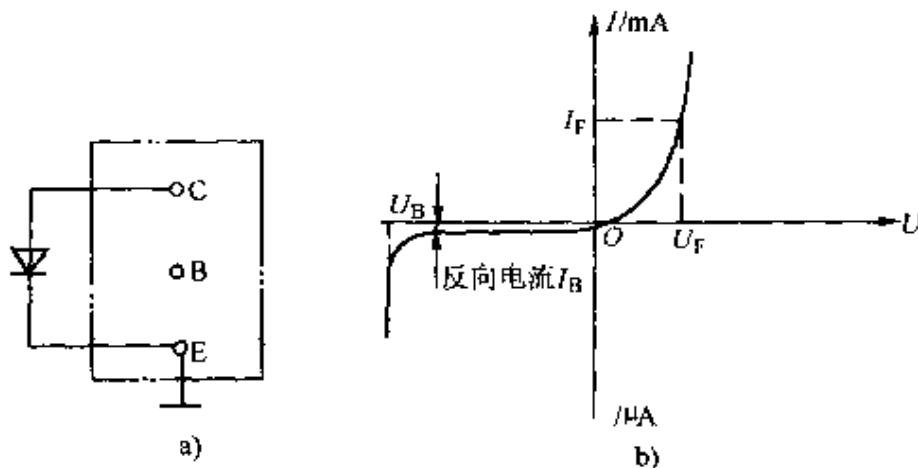


图 4-14 二极管伏安特性曲线
a) 电路连接 b) 特性曲线



表 4-21 图示仪面板上各旋钮的位置

| 旋钮名称 | 旋钮位置 | 旋钮名称 | 旋钮位置 |
|------------|-------------------|--------|--------------|
| Y 轴作用 | 集电极电流 0.05mA/度 | X 轴作用 | 集电极电压 0.1V/度 |
| 峰值电压范围 | 0 ~ 20V | 峰值电压 | 0V |
| 极性 (集电极扫描) | + | 功耗限制电阻 | 1kΩ |
| 阶梯作用 | 关 | — | — |

1) 调节“峰值电压”旋钮,使加在二极管上的最大峰值电压由零逐渐增大,就可在屏幕上显示出图 4-14b 中第一象限所示的正向伏安特性曲线。从该曲线上可以测出:

①正向电流 I_F 是指正向电压为 U_F 时与其对应的电流值。

②正向限流电阻 R_F 是指在不同的工作点,电压与电流之比。

③正向交流电阻 r_F 是指在不同的工作点电压增量与电流增量之比,即 $r_F = \Delta u / \Delta i$ 。

2) 将集电极扫描信号的极性旋钮拨向“-”位置,X轴作用旋钮量程扩大,Y轴作用旋钮量程缩小。调节峰值电压旋钮,使加在二极管反向的最大电压由零逐渐增大,就可在屏幕上显示出如图 4-14b 中第三象限所示的反向伏安特性曲线。从该曲线上可以测出:

①反向电流 I_B 是指与规定的反向电压(小于击穿电压)相对应的反向电流值。

②反向击穿电压 U_B 反向电压增大时,反向电流迅速增大,当反向电流增大到规定时所对应的反向电压值称为该管的方向击穿电压。

注意:当被测管的 $U_B > 20V$ 时,先将峰值电压旋钮回到零后,再将峰值电压范围旋钮拨至“0 ~ 220V”挡。X轴作用旋钮置于较大 V/度,然后再调节峰值电压旋钮,使加在二极管上的反向电压从零逐渐增大,直到测出反向击穿电压 U_B 。稳压管特

性的测试方法与二极管的反向特性测试方法类似。

(2) 测试三极管。测量前要根据被测管子的类型及所需测量的特性曲线调整坐标原点(亮点)的位置。如PNP管共发射极的各种特性曲线均在第三象限,这时亮点应调到屏幕的右上角;而NPN管共发射极的各种特性曲线均在第一象限,这时亮点应调到屏幕的左下角。

输出特性曲线测试 以NPN管为例,先调节位移旋钮,使坐标原点的亮点移动到屏幕的左下角,插上三极管,将测试台中间的接地选择开关拨至发射极地(E接地)的位置上,图示仪各旋钮位置见表4-22。

表 4-22 图示仪各旋钮位置

| 旋钮名称 | 旋钮位置 | 旋钮名称 | 旋钮位置 |
|--------|--------------|------|------------|
| 峰值电压范围 | 0~20V | 峰值电压 | 0V |
| X轴作用 | 集电极电压 1V/度 | Y轴作用 | 集电极电流 mA/度 |
| 极性 | + | 阶梯作用 | 重复 |
| 功耗电阻 | 1 k Ω | — | — |

调节峰值电压旋钮,使峰值电压由零逐渐增大到一定值时,屏幕上便显示出如图4-15所示的输出特性曲线族。这时应调节基极阶梯信号级/族旋钮,使曲线族在屏幕上尽可能显示出11条曲线(对应于10级阶梯信号),并适当调节阶梯信号旋钮和Y轴作用旋钮,使屏幕上显示的曲线族有合适的亮度。

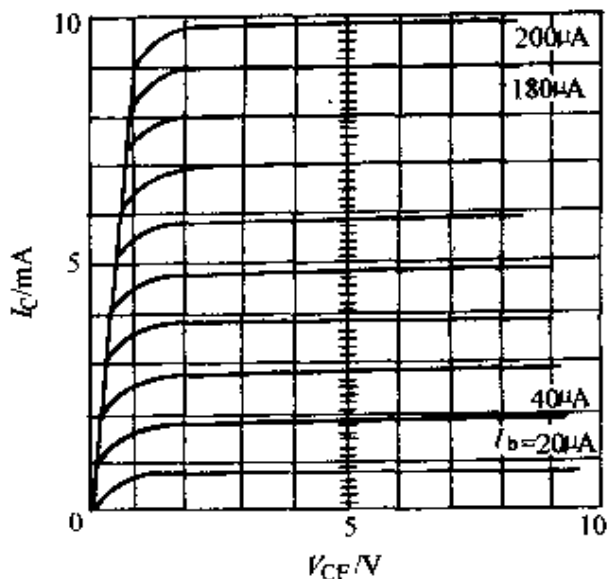


图 4-15 NPN管输出特性曲线

另外,如将Y轴作



用旋钮拨到集电极电流 $0.01\text{mA}/\text{度}$ 位置以外，其他旋钮的位置仍如表 4-22 所列。将零电流/零电压按键拨向零电流位置，相当于被测管基极 b 开路，可以测穿透电流 I_{ceo} ；如将 Y 轴作用旋钮置于集电极电流 $0.01\text{mA}/\text{度}$ 、 X 轴作用旋钮置于 $5\text{V}/\text{度}$ 、峰值电压范围旋钮置于 $0 \sim 220\text{V}$ 挡以外，其他旋钮的位置仍如表 4-22 所列。将零电流/零电压按键拨向零电位位置，就可测量击穿电压 BU_{ceo} 。

4. 晶体管特性图示仪的使用注意事项

- 1) 使用时要先校准，以免读数误差过大。
- 2) 测试管子前一定要检查极性是否正确，所有需调节的电压、电流应放置于小值处，然后分别调节到需要值，切勿粗心。
- 3) 测试结束关闭电源 峰值电压旋钮调至零位，峰值电压范围开关放到 $0 \sim 20\text{V}$ 挡，功耗电阻调至 $1\text{mA}/\text{度}$ ， X 轴作用调至 $1\text{V}/\text{度}$ ，阶梯信号调至 $0.01\text{mA}/\text{级}$ ，以便下次使用仪器不至于由于粗心大意而损坏晶体管。
- 4) 测 I_{cbo} 时，荧光屏上显示回线是正常现象，是仪器本身问题，与被测管无关。

电工材料的选用

第一节 电线和电缆

电线电缆是用以传输电能、传输信息和实现电磁能量转换的线材产品，它包括电磁线、裸导线、电力电缆、电气装备用电线电缆和通信电缆五大类。

一、裸导线

裸导线有单线、绞合线、特殊导线和型材四大类。主要用于电力、交通、通信工程、电机、变压器和电器制造，见表 5-1。

表 5-1 常用裸导线的分类、型号、规格及用途

| 分类 | 产品名称 | 型号 | 规格 | 主要用途 |
|--|------------------------|-----------------|--------------------------------------|-----------------------------------|
| 1. 单线 | 软铜圆线 | TR | 以下为标称直径/mm 0.02 ~ 14 | 软线和半硬线用作电线、电缆及电磁线的线芯；硬线主要用作架空线的线芯 |
| | 硬铜圆线 | TY | 0.02 ~ 14 | |
| | 特硬铜圆线 | TYT | 1.50 ~ 5 | |
| | 软铝圆线 | LR | 0.3 ~ 10 | |
| | IL ₄ 状态硬铝圆线 | LY ₄ | 0.3 ~ 6 | |
| | IL ₆ 状态硬铝圆线 | LY ₆ | 0.3 ~ 10 | |
| 2. 裸绞线：绞合线是由多股单线绞合而成的导线，其目的是改善使用性能。包括架空线和软接线 | 铝合金绞线 | HLJ | 以下为截面积范围/mm ² 10 ~ 600 | 用于一般输配电线路 |
| | 铜绞线 | TJ | 16 ~ 400 | 用于特殊要求的高、低压架空输电线路，一般少用 |
| | 铝绞线 | LJ | 10 ~ 600 | 用于低压短距离的配电架空线路 |

(续)

| 分类 | 产品名称 | 型号 | 规格 | 主要用途 |
|--|-----------------|-------------------|--|-------------------------------|
| 2. 裸绞线: 绞合线是由多股单线绞合而成的导线, 其目的是改善使用性能。包括架空线和软接线 | 钢芯铝绞线: 普通型 | LCJ | 10 ~ 400 | 用于高低压远距离输电架空线路, LGJJ型抗拉强度特别高 |
| | 轻型 | LGJQ | 150 ~ 700 | |
| | 加强型 | LGJJ | 150 ~ 400 | |
| | 防腐钢芯铝绞线: 清防腐 | LGJF | 25 ~ 400 | 用于有腐蚀环境的输电线路, 轻、中、重表示耐腐蚀能力的大小 |
| | 中防腐 | LGJF ₂ | | |
| | 重防腐 | LGJF ₃ | | |
| | 镀锌钢绞线 | GJ | 2 ~ 260 | 用于避雷线或农用架空线 |
| | 铜电刷线 | TS TSX TSR | 0.3 ~ 16 | 电刷联接线 |
| | 镀锡铜软线 | TSXR | 0.6 ~ 2.5 | 电刷联接线 |
| | 铜软接线 | TJR—1 | 0.06 ~ 5 | 电气装置接线或接地线 |
| TJR—2 | | 6 ~ 50 | | |
| TJR—3 | | 0.012 ~ 3 | 电子电器设备或元件用接线 | |
| 特软铜绞线 | TTJR | 0.5 ~ 6 | 特别柔软, 耐振连接 | |
| 铜编制线 | TZ—2 | 4 ~ 120 | 电气装置、开关电器、电炉及蓄电池等接线 | |
| | TZ—4 | 0.03 ~ 0.3 | 电子电器设备或元件用接线 | |
| 镀锡铜编制套 | TZXP | 套径/mm 1 ~ 60 | 屏蔽保护用接线 | |
| 3. 型线和型材: 是指母铜带、铜梯排、空心线等 | 硬扁铜线 | TBY | 厚 a/mm , 宽 b/mm $a: 0.8 \sim 7.1$ $b: 2 \sim 35.5$ | 电机、电器制造用线 |
| | 软扁铜线 | TBR | | |
| | 硬铜母线 | TMY | $a: 4 \sim 31.5$ $b: 16 \sim 125$ | 配电设备及其他电工设备 |
| | 软铜母线 | TMR | | |



(续)

| 分类 | 产品名称 | 型号 | 规格 | 主要用途 | |
|---------------------------|------------------|-----------------|--|-----------------------------|--------------|
| 3. 型线和型材: 是指母铜带、铜梯排、空心线等 | 硬铜带 | TDY | $a: 1 \sim 3.5$ | 配电设备及其他电工设备 | |
| | 软铜带 | TDR | $b: 9 \sim 100$ | | |
| | 硬铝母线 | LMY | $a: 4 \sim 31.5$ | 电机换向器整流片 | |
| | 软铝母线 | LMR | $b: 10 \sim 125$ | | |
| | 纯铜梯排 | TPT | $a: 3 \sim 18$ | 供水冷式电机、变压器和感应炉作绕组 | |
| 银铜梯排 | TYPT | $b: 1 \sim 120$ | | | |
| 4. 特殊导线: 为架设环境的特殊要求而设计制造的 | 空心扁铜导线 | TBRK | $a: 5 \sim 8$ $b: 5 \sim 18$ | 为减少电晕损失与无线电干扰 | |
| | 空心扁铝导线 | LBRK | $a: 1.5 \sim 14$ $b: 8.5 \sim 22.5$ | | |
| | 扩径导线 (扩径钢芯铝绞线) | — | — | | 为高寒地区防风压、防风雪 |
| | 压缩型导线 (压缩型钢芯铝绞线) | — | — | | 为减振而制造 |
| | 自阻尼导线 | — | — | 在输电线路路上采用, 可同时输入和实现大容量的信息传播 | |
| | 光纤复合架空导线 | — | — | | |

二、电磁线

电磁线是一种具有绝缘层的导电金属电线, 用以绕制线圈(绕组), 故又称绕组线。

电磁线分为漆包线、绕包线、无机绝缘电磁线和特种电磁线。本节只介绍广泛应用于制造中、小型电机、变压器和电器线圈中的漆包线。

漆包线的绝缘层是漆膜, 该漆膜均匀、光滑柔软, 有利于线圈的自动绕制。按漆膜及使用特点分为普通漆包线和特种漆包线, 其品种、型号、规格、特点及主要用途见表 5-2。



表 5-2 漆包线的品种、型号、规格、特点及主要用途

| 类别 | 型号 | 名称 | 耐热等级 /℃ | 规格范围 /mm | 特点及主要用途 |
|--------|--------------|------------|------------|------------------|--|
| 油性漆包线 | Q | 油性漆包圆铜线 | A (105) | 0.02 ~ 2.5 | 1. 漆膜均匀 2. 耐熔性差 适用中、高频线圈及仪表电器线圈等 |
| 缩醛漆包线 | QQ | 缩醛漆包圆铜线 | E (120) | 0.02 ~ 2.5 | 1. 漆膜热冲性好 2. 漆膜耐刮好 3. 耐水解性能好 适用普通中小型电机、微电机绕组和油浸变压器线圈、电器、仪表等线圈 |
| | QQL | 缩醛漆包圆铝线 | | 0.06 ~ 2.5 | |
| | QQS | 彩色缩醛漆包圆铜线 | | 0.02 ~ 2.5 | |
| | QQB | 缩醛漆包扁铜线 | | a 边 0.8 ~ 5.6 | |
| | QQLB | 缩醛漆包扁铝线 | | b 边 2 ~ 18 | |
| 聚氨酯漆包线 | QA-1 | 聚氨酯漆包圆铜线 | E (120) | 0.015 ~ 1 | 1. 色性好, 可制成不同颜色的漆包线便于接头时识别 2. 可直接焊接, 不需要刮去漆膜 要求 Q 值稳定的高频线圈、电视机线圈和仪表用线圈 |
| | QA-2 | 彩色聚氨酯漆包圆铜线 | | | |
| 环氧漆包线 | QH-1 QH-2 | 环氧漆包圆铜线 | E (120) | 0.06 ~ 2.5 | 1. 耐水解性能好 2. 耐潮性好 3. 耐酸碱腐蚀和耐油性好 油浸变压器的线圈和耐化学腐蚀、耐潮湿电机的绕组 |
| 聚酯漆包线 | QZ | 聚酯漆包圆铜线 | B (130) | 0.02 ~ 2.5 | 在干燥和潮湿条件下, 耐电压击穿性能好 适用于中小电机, 干式变压器和电器仪表的线圈 |
| | QZL | 聚酯漆包圆铝线 | | 0.06 ~ 2.5 | |
| | QZS | 彩色聚酯漆包圆铜线 | | 0.06 ~ 2.5 | |
| | QZB | 聚酯漆包扁铜线 | | a 边 0.8 ~ 5.6 | |
| | QZLB | 聚酯漆包扁铝线 | | b 边 2 ~ 18 | |



(续)

| 类别 | 型号 | 名称 | 耐热等级 /℃ | 规格范围 /mm | 特点及主要用途 |
|-------|-----------|----------------|------------|-------------|---|
| 特种漆包线 | QAN | 自粘直焊漆包线 圆铜线 | E | 0.1~0.44 | 在一定温度时间条件下不需刮去漆膜,可直接焊接,同时不需要浸渍处理,能自行粘合成形 适用于微型电机、仪表的线圈和电子元件,无骨架的线圈 |
| | QAT WC | 无磁性聚氨酯漆包圆铜线 | E | 0.02~0.2 | 1. 漆包线中铁的含量极低,对感应磁场所起干扰作用极微 2. 在高频条件下介质损耗角小 精密仪表和电器的线圈,如直镜式检流计、磁通表、测震仪等线圈 |

三、电气设备用电线电缆

1. 电线电缆型号的含义见表 5-3

表 5-3 常用电线电缆型号中字母的含义

| 类别、特征 | 导体 | 绝缘种类 | 内护层 | 其他特征 |
|--|------------------------|--|---|---------------------------|
| 电力电缆(省略,不表示) K 控制电缆 P 信号电缆 B 绝缘电线 R 绝缘软线 Y 移动式软电缆 H 市内电话电缆 | T 铜线 (一般省略) L 铝线 | Z 绝缘体 X 天然橡胶 (X) D 丁基橡胶 (X) E 乙丙橡胶 V 聚氯乙烯 Y 聚乙烯 YI 交联聚乙烯 | Q 铅护套 L 铝护套 H 橡胶套 (H) F 非燃性橡胶 V 聚氯乙烯护套 Y 聚乙烯护套 | D 不滴流 F 分相金属护套 P 屏蔽 |

2. 常用低压电气装备用电线的品种、特点及应用见表 5-4

3. 常用绝缘导线的规格和安全载流量见表 5-5 ~ 表 5-7

4. 通用电缆

通用电缆分为 Y 系列移动式通用橡套软电缆、N 系列固定敷设农用电缆(电缆)和 K 系列信号控制电缆。其品种、型号及主要用途见表 5-9。



表 5-4 低压电气装备用电线的品种、特点及应用

| 类别 | 型号 | 名称 | 额定电压 /V | 芯数 /根 | 导线长期允许工作温度 /°C | 应用场合 |
|----------|---------|------------------------|----------------------|---------------|----------------|--|
| 聚氯乙烯绝缘电线 | BVR | 铜芯聚氯乙烯绝缘软电线 | 交流 450/750 | 1 | 70 | 室内安装, 要求较柔软的场所 |
| | BVV | 铜芯聚氯乙烯绝缘聚氯乙烯护套圆形电线 | 交流 300/500 直流 750 | 1, 2, 3, 4, 5 | 70 | 要求机械防护较高和潮湿等场合, 可明敷或暗敷 |
| | | | | 1 | | |
| | BLVV | 铝芯聚氯乙烯绝缘聚氯乙烯护套圆形电线 | 交流 300/500 直流 750 | 1 | 70 | 固定敷设在室内外照明及小容量动力线, 可明敷或暗敷 |
| | BVVVB | 铜芯聚氯乙烯绝缘聚氯乙烯护套平行电线 | | | | |
| | BLVVVB | 铝芯聚氯乙烯绝缘聚氯乙烯护套平行电线 | 交流 450/750 | 1 | 105 | 适用于炎热场合, 可明敷或暗敷 |
| | BV—105 | 铜(铝)芯耐热 105°C 聚氯乙烯绝缘电线 | | | | |
| | BVR—105 | 铜芯耐热 105°C 聚氯乙烯绝缘软电线 | 450/750 | 1 | 105 | 同 BV—105, 用于安装时要求柔软场合 |
| | RV | 铜芯聚氯乙烯绝缘连接软电线 | 450/750 | 1 | 70 | 主要用于中、轻型移动电器、家用电器、仪表、电信设备、自动化装置接线、移动电动工具及吊灯的电源过接线等 |
| | RVB | 铜芯聚氯乙烯绝缘双芯平行软电线 | 300/300 | 2 | | |
| | RVS | 铜芯聚氯乙烯绝缘双芯绞合软电线 | | | | |
| | RVVVB | 铜芯聚氯乙烯绝缘护套平行软电线 | | | | |



(续)

| 类别 | 型号 | 名称 | 额定电压 /V | 芯数 /根 | 导线长期允许工作温度 / °C | 应用场合 |
|--------|------|---------------|---------|--------------|-----------------|--|
| 橡胶绝缘电线 | BXF | 铜芯氯丁橡胶线 | 300/500 | 1 | 65 | 适用于户内明敷和户外，特别是寒冷地区 |
| | BLXF | 铝芯氯丁橡胶线 | | | | |
| | BX | 铜芯橡胶线 | 300/500 | 1 | 65 | 固定敷设在用于照明和动力线路，可明敷或暗敷 |
| | BLX | 铝芯橡胶线 | | | | |
| | RXR | 铜芯橡胶软线 | 300/500 | 1 | 65 | 用于室内安装及有柔软要求场合 |
| | RX | 橡胶绝缘棉纱总编织线 | | | | |
| | RXS | 橡胶绝缘棉纱编织双绞软线 | 300/500 | 2, 3 2 | 65 | 用于灯头、灯座之间，移动家用电器连接线 |
| | BVP | 聚氯乙烯绝缘屏蔽线 | | | | |
| | BVVP | 聚氯乙烯绝缘和护套屏蔽线 | 300/300 | 1, 2 1, 2 | 65 | 屏蔽线用于防电磁波干扰，广泛用于防止相互干扰的仪器仪表、电子设备、电信器件、计算机及电声广播等线路中 |
| | RVP | 聚氯乙烯绝缘屏蔽软线 | | | | |
| | RVVP | 聚氯乙烯绝缘和护套屏蔽软线 | | | | |

(单位: A)

表 5-5 塑料绝缘线的安全载流量

| 导线截面 /mm ² | 固定敷设用的线芯 | | 穿钢管安装 | | | | 穿硬塑料管安装 | | | |
|-----------------------|----------------|--------|-------|----|-----|-----|---------|-----|-----|-----|
| | 芯线股数 / (直径/mm) | 近似英规 | 明线安装 | | —管 | | —管 | | —管 | |
| | | | 铜 | 铝 | 二根线 | 三根线 | 四根线 | 二根线 | 三根线 | 四根线 |
| 1.0 | 1/1.13 | 1/18 # | 12 | 11 | 10 | 10 | 10 | 10 | 10 | 9 |



(续)

| 导线 截面积 /mm ² | 固定敷设用的线芯 | | 穿钢管安装 | | | | 穿硬塑料管安装 | | | | | | | | |
|-------------------------------|------------------|--------|-------|-----|-----|-----|---------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
| | 芯线股数 /(直径/mm) | 近似英规 | 明线安装 | | 一管 | | 一管 | | 一管 | | 一管 | | | | |
| | | | 铜 | 铝 | 二根线 | 四根线 | 二根线 | 四根线 | 二根线 | 四根线 | 二根线 | 四根线 | | | |
| 1.5 | 1/1.37 | 1/17# | 21 | 16 | 17 | 13 | 11 | 14 | 10 | 14 | 11 | 13 | 10 | 11 | 9 |
| 2.5 | 1/1.76 | 1/15# | 28 | 22 | 23 | 17 | 16 | 21 | 13 | 21 | 16 | 18 | 14 | 17 | 12 |
| 4 | 1/2.24 | 1/13# | 35 | 28 | 30 | 23 | 21 | 27 | 19 | 27 | 21 | 24 | 19 | 22 | 17 |
| 6 | 1/2.73 | 1/11# | 48 | 37 | 41 | 30 | 28 | 36 | 24 | 36 | 27 | 31 | 23 | 28 | 22 |
| 10 | 7/1.33 | 7/17# | 65 | 51 | 56 | 42 | 38 | 49 | 33 | 49 | 36 | 42 | 33 | 38 | 29 |
| 16 | 7/1.70 | 7/16# | 91 | 69 | 71 | 55 | 49 | 64 | 43 | 62 | 48 | 56 | 42 | 49 | 38 |
| 25 | 7/2.12 | 7/14# | 120 | 91 | 93 | 70 | 61 | 82 | 57 | 82 | 63 | 74 | 56 | 65 | 50 |
| 35 | 7/2.50 | 7/12# | 147 | 113 | 115 | 87 | 78 | 100 | 70 | 104 | 78 | 91 | 69 | 81 | 61 |
| 50 | 19/1.83 | 19/15# | 187 | 143 | 143 | 108 | 96 | 127 | 87 | 130 | 99 | 114 | 88 | 102 | 78 |
| 70 | 19/2.14 | 19/14# | 230 | 178 | 177 | 135 | 124 | 159 | 110 | 160 | 126 | 145 | 113 | 128 | 100 |
| 95 | 19/2.50 | 19/12# | 282 | 216 | 216 | 165 | 148 | 195 | 132 | 199 | 151 | 178 | 137 | 160 | 121 |

表 5-6 橡胶绝缘线(皮线)安全载流量 (单位: A)

| 导线 截面积 /mm ² | 固定敷设用的线芯 | | 穿钢管安装 | | | | 穿硬塑料管安装 | | | | | | | |
|-------------------------------|------------------|-------|-------|----|-----|-----|---------|-----|-----|-----|-----|-----|----|----|
| | 芯线股数 /(直径/mm) | 近似英规 | 明线安装 | | 一管 | | 一管 | | 一管 | | 一管 | | | |
| | | | 铜 | 铝 | 二根线 | 四根线 | 二根线 | 四根线 | 二根线 | 四根线 | 二根线 | 四根线 | | |
| 1.0 | 1/1.13 | 1/18# | 18 | 16 | 13 | 13 | 12 | 12 | 10 | 11 | 10 | 10 | 10 | 10 |
| 1.5 | 1/1.37 | 1/17# | 23 | 16 | 17 | 13 | 16 | 16 | 12 | 15 | 12 | 14 | 11 | 12 |



(续)

| 导线 截面积 /mm ² | 固定敷设用的线芯 | | 明线安装 | | 穿钢管安装 | | | | 穿硬塑料管安装 | | | | | | | |
|-------------------------------|------------------|---------|------|-----|-------|-----|-----|-----|---------|------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
| | 芯线股数 /(直径/mm) | 近似英规 | 一管 | | 二管 | | 三管 | | 四管 | | 三根线 | | 四根线 | | | |
| | | | 铜 | 铝 | 铜 | 铝 | 铜 | 铝 | 铜 | 铝 | 铜 | 铝 | 铜 | 铝 | | |
| 2.5 | 1/1.76 | 1/15 # | 30 | 24 | 24 | 18 | 22 | 17 | 20 | 14 | 22 | 17 | 19 | 15 | 17 | 13 |
| 4 | 1/2.24 | 1/13 # | 39 | 30 | 32 | 24 | 29 | 22 | 26 | 20 | 29 | 22 | 26 | 20 | 23 | 17 |
| 6 | 1/2.73 | 1/11 # | 50 | 39 | 43 | 32 | 37 | 30 | 34 | 26 | 37 | 29 | 33 | 25 | 30 | 23 |
| 10 | 7/1.33 | 7/17 # | 74 | 57 | 59 | 45 | 52 | 40 | 46 | 34.5 | 51 | 38 | 45 | 35 | 40 | 30 |
| 16 | 7/1.70 | 7/16 # | 95 | 74 | 75 | 57 | 67 | 51 | 60 | 45 | 66 | 50 | 59 | 45 | 52 | 40 |
| 25 | 7/2.12 | 7/14 # | 126 | 96 | 98 | 75 | 87 | 66 | 78 | 59 | 87 | 67 | 78 | 59 | 69 | 52 |
| 35 | 7/2.50 | 7/12 # | 156 | 120 | 121 | 92 | 106 | 82 | 95 | 72 | 109 | 83 | 96 | 73 | 85 | 64 |
| 50 | 19/1.83 | 19/15 # | 200 | 152 | 151 | 115 | 134 | 102 | 119 | 91 | 139 | 104 | 121 | 94 | 107 | 82 |
| 70 | 19/2.14 | 19/14 # | 247 | 191 | 186 | 143 | 167 | 130 | 150 | 115 | 169 | 133 | 152 | 117 | 135 | 104 |
| 95 | 19/2.50 | 19/12 # | 300 | 230 | 225 | 174 | 203 | 156 | 182 | 139 | 208 | 160 | 186 | 143 | 169 | 130 |
| 120 | 37/2.00 | 37/14 # | 346 | 268 | 260 | 200 | 233 | 182 | 212 | 165 | 242 | 182 | 217 | 165 | 197 | 147 |
| 150 | 37/2.24 | 37/13 # | 407 | 312 | 294 | 226 | 268 | 208 | 243 | 191 | 277 | 217 | 252 | 197 | 230 | 178 |
| 185 | 37/2.50 | 37/12 # | 468 | 365 | | | | | | | | | | | | |
| 240 | 61/2.24 | 61/13 # | 570 | 442 | | | | | | | | | | | | |
| 300 | 61/2.50 | 61/12 # | 668 | 520 | | | | | | | | | | | | |
| 400 | 61/2.85 | 6/11 # | 815 | 632 | | | | | | | | | | | | |
| 500 | 91/2.62 | 9/12 # | 950 | 738 | | | | | | | | | | | | |



表 5-7 护套线和软导线的安全载流量 (单位: A)

| 导线截面积 /mm ² | 护 套 线 | | | | | | 软 导 线 | | | |
|---------------------------|-------|---|------|---------|----|------|-------|------|------|---|
| | 双根芯线 | | | 三根或四根芯线 | | | 单根芯线 | | 双根芯线 | |
| | 塑料绝缘 | | 橡胶绝缘 | 塑料绝缘 | | 橡胶绝缘 | 塑料绝缘 | 铜 | 塑料绝缘 | 铜 |
| | 铜 | 铝 | 铜 | 铝 | 铜 | 铝 | 铜 | 铜 | 铜 | |
| 0.5 | 7 | | 7 | 4 | 4 | | 8 | 7 | 7 | |
| 0.75 | | | | | | | 13 | 10.5 | 9.5 | |
| 0.8 | 11 | | 10 | 9 | 9 | | 14 | 11 | 10 | |
| 1.0 | 13 | | 11 | 9.6 | 10 | | 17 | 13 | 11 | |
| 1.5 | 17 | | 14 | 10 | 10 | 8 | 21 | 17 | 14 | |
| 2.0 | 19 | | 17 | 13 | 12 | | 25 | 18 | 17 | |
| 2.5 | 23 | | 18 | 17 | 16 | 14 | 29 | 21 | 18 | |
| 4.0 | 30 | | 28 | 23 | 21 | 19 | | | | |
| 6.0 | 37 | | 29 | 28 | 22 | 22 | | | | |

注: 表 5-5 ~ 表 5-7 所列的安全载流量是根据线芯最高允许温度为 35℃ 而定的; 当实际空气温度超过 35℃ 的地区 (指当地最热月份的平均最高温度), 导线的安全载流量应乘以表 5-8 所列的校正系数。

表 5-8 绝缘导线安全载流量的温度校正系数

| | | | | | |
|------------|-----|------|------|------|------|
| 环境最高平均温度/℃ | 35 | 40 | 45 | 50 | 55 |
| 校正系数 | 1.0 | 0.91 | 0.82 | 0.71 | 0.58 |



表 5-9 通用电缆的常用品种、型号及主要用途

| 类别 | 型号 | 名称 | 截面范围 /mm ² | 额定电压 U ₀ /U/V | 主要用途 | 载流量 |
|------------------------|-----------------------|--------------------------------------|-----------------------------------|-----------------------------|---|---|
| 通用橡 套电缆 | YQ YQW | 轻型橡套软电缆 | 0.3~0.75 (2~3芯) | 300/300 | 适用日用电器、小型电动移动设备；YQW具有耐油、耐气候性能，长期工作温度不超过65℃ | 2芯为7A、11A和14A 3芯为6A、9A和12A |
| | YZ YZW | 中型橡套软电缆 | 0.75~6 (2~5芯) | 300/500 | 各类移动式电器设备和工具；YZW为户外型，长期工作温度不超过65℃ | 2芯为14A、17、21A、30、41A、53A 3芯为12A、14A、18A、25A、35A、和45A 4芯为11A、13A |
| N系列 农用 电线 | YC YCW | 重型橡套软电缆 | 2.5~120 (1~5芯) | 450/750 | 各类移动式电器设备，能承受较大的机械外力；YCW为户外型，长期工作温度不超过65℃ | 1芯为30~955A 2芯为24~318A 3芯为21~360A 4芯为20~351A |
| | NLV NLVV | 铝芯聚氯乙烯绝缘 电线 铝芯聚乙烯绝缘聚 氯乙烯护套线 | 2.5~50 | 450/750 | 农用配电和线路电气设备，可直埋，深度1m及以下，长期工作温度<70℃，敷设环境温度不 低于0℃ | |
| K系列 控制、 信号 电缆 | KVV (铜芯) KLVV (铝芯) | 聚氯乙烯绝缘护套 控制电缆 | 铜芯(4~37芯) 0.75~10 铝芯(4~37芯) | 450/700 | 控制(起停、操作)信号显示和测量线路，固定敷设 KYV耐寒性较好 KLVV能承受较大的机械外力作用 | |
| | KYV (铜芯) KLYV (铝芯) | 聚乙烯绝缘聚氯乙烯 护套控制电缆 | 1.5~10 | | | |



表 5-10 电机、电器引出线及电焊机用电线的品种和主要用途

| 名称 | 型号 | 名称 | 截面范围/mm ² | 工作电压/V | 用途 |
|----------|-------------------|----------------------------|---|---|--|
| 电机、电器引出线 | JBQ | 橡皮绝缘丁腈护套引出线 | 0.2~120 0.5~120 | 500 1140 | 用于电机、电器引出线，可用于温热地区，JBQ 一般用于小型电机、中型电机，其他用 JBQ 型 |
| | JBF | 丁腈聚氯乙烯复合绝缘引出线 | 0.03~50 | 500 | |
| | JBYS | 氯磺化聚乙烯绝缘引出线 | 0.2~120 0.5~120 6~120 | 500 1140 6000 | 用途同 JBQ 型，但有良好的耐臭氧、耐寒和耐溶剂性，耐热性优于上述品种 |
| | JEFH | 乙丙橡皮绝缘引出线 | 0.75~240 | 6000 及以下 | 用于耐温等级较高的电机、电器作引出线，电性能优良，可用于温热地区 |
| | JHXG | 硅橡胶绝缘引出线 | 0.75~240 | 500 | 用于 F、H 级电机、电器作引出线 |
| | YH YHF | 铜芯电焊机用橡套电缆 | 10~150 | 200 及以下 | 联接电焊机二次侧电源交流 220V 和脉动直流峰值 400V 以下，长期工作温度 65°C |
| | YHL | 铝芯电焊机用橡套电缆 | 16~185 | | |
| | YHR | 电焊机用橡皮套特软电缆 | 10~95 | 200 及以下 | 作用同上，主要供联接卡头用 |
| | YHBQ | CO ₂ 气体保护电焊机用电缆 | 标称截面 33 或 57 | 200 及以下 | CO ₂ 气体保护电焊机接线 |
| | YHQ YHZ YHC | 电焊机用橡套电缆 | 0.3~0.75 (2~3 芯) 0.75~6 (2~3 芯) 2.5~120 (2~3 芯) | U ₀ /U = 300/300 U ₀ /U = 300/500 U ₀ /U = 450/750 | 交流电焊机动力线（输入端电缆线），长期工作温度 65°C |
| 电焊机用电缆 | | | | | |



5. 专用电线电缆

专用电线电缆主要有电机电器引接线、电焊机电缆、电子计算机电缆、汽车及拖拉机用电线等。表 5-10 为电机、电器引出线及电焊机用电缆的品种和主要用途。

第二节 绝缘材料

电绝缘材料具有较高的绝缘电阻和耐压强度，并能避免发生漏电、击穿等事故；其次耐热性能要好，其中尤其以不因长期受热作用（热老化）而产生性能变化最为重要；此外还应有良好的导热性、耐潮和有较高的机械强度以及工艺加工方便等特点。

一、绝缘材料的分类

1. 按材料的化学成分分

1) 无机绝缘材料：有云母、石棉、玻璃、陶器及大理石等。

2) 有机绝缘材料：有虫胶、树脂、橡胶、棉纱、纸及丝绸等，大多用于制造绝缘漆和绕组导线等。

3) 混合绝缘材料：有塑料、电木及有机玻璃等，用作电器的底座和外壳等。

2. 按材料的物理状态分

1) 气体绝缘材料：有空气、二氧化碳及六氟化硫等。

2) 液体绝缘材料：有矿物油（变压器油、断路器油、电缆油）、合成油（硅油）及植物油等。

3) 固体绝缘材料：有绝缘漆、胶、纸、云母、塑料及陶瓷等。

3. 按材料的耐热等级分（见表 5-11）

表 5-11 绝缘材料的耐热等级

| 级别 | 绝缘材料 | 最高允许温度/ $^{\circ}\text{C}$ |
|----|---|----------------------------|
| Y | 天然纤维材料及制品，如木材、纺织品等，及以醋酸纤维和聚酰胺为基础的纺织品和易于热分解和溶化点较低的塑料 | 90 |



(续)

| 级别 | 绝缘材料 | 最高允许温度/°C |
|----|--|-----------|
| A | 工作于矿物油中和用油或树脂复合胶浸过的 Y 级材料, 漆包线、漆布及漆丝的绝缘及油性漆等 | 105 |
| E | 聚脂薄膜和 A 级材料复合、玻璃布、油性树脂漆、胶纸板 | 120 |
| B | 聚脂薄膜、云母制品、玻璃纤维、石棉等, 聚脂漆及聚脂漆包线 | 130 |
| F | 用耐油有机树脂或漆粘合、浸渍的云母、石棉、玻璃丝制品及复合硅有机聚脂漆等 | 155 |
| H | 加厚的 F 级材料、复合云母、有机硅云母制品、硅有机漆及复合薄膜等 | 180 |
| C | 用有机沾合剂及浸渍剂的无机物, 如石英、石棉、云母、玻璃和电瓷材料等 | 180 以上 |

二、绝缘油

绝缘油主要有矿物油和合成油两大类, 其中矿物油的使用最为广泛。主要用于电气绝缘、冷却、灭弧及填充绝缘间隙等。常用绝缘油性能与用途见表 5-12。

表 5-12 常用绝缘油性能与用途

| 名称 | 质量指标 | | 凝固点 不高于 /°C | 主要用途 |
|-----------------------------|--------------|----------------|-------------------|--|
| | 透明度 /+5°C | 绝缘强度 /kV·cm | | |
| 变压器油 10、20 号 DB-10、DB-20 | 透明 | 160~180 | -10 | 用于变压器及油断路器 中起绝缘和散热作用 |
| 45 号变压器油 DB-45 | | 180~210 | -25 | |
| 45 号开关油 DV- 45 | 透明 | | -45 | |
| 电容器油 1 号、2 号 DD-1、DD-2 | 透明 | 200 | -45 | 在电力工业、电容器上 作绝缘用; 在电信工业、 电容器上作绝缘用 |



三、绝缘漆和胶

1. 绝缘漆

绝缘漆按用途分为浸渍漆、漆包线漆和硅钢片漆等，常用电工绝缘漆的品种、型号及用途见表 5-13。

表 5-13 常用电工绝缘漆的品种、型号及用途

| 名称 | 型号 | 溶剂 | 耐热等级 / °C | 用途 |
|--------------|----------------|-----------------|------------|---|
| 醇酸浸渍漆 | 1030 1031 | 200号溶剂汽油 二甲苯 | B (130) | 具有较好的耐油性，耐电弧性，烘干迅速。作浸渍电机、电器线圈，也可作覆盖漆和胶粘剂 |
| 三聚氰胺醇酸漆 | 1032 | 200号溶剂汽油 二甲苯 | B (130) | 具有较好的干透性、耐热性、耐油性和较高的电气性能。供温热带地区电机、电器线圈作浸渍之用 |
| 三聚氰胺环氧树脂浸漆 | 1033 | 二甲苯 丁醇 | B (130) | 同上，用于浸渍热带电机、变压器、电工仪表线圈以及电器零部件表面覆盖 |
| 有机硅浸漆 | 1053 | 二甲苯 甲苯 | H (180) | 具有耐高温、耐寒性、抗潮性、耐水性及抗海水、耐电晕、化学稳定性好的特点。供浸渍 H 级电机、电器线圈及绝缘零部件用 |
| 耐油性清漆 | 1012 | 200号溶剂汽油 | A (105) | 具有耐油、耐潮性，干燥迅速，漆膜平滑光泽。用作浸渍电机、电器线圈及粘合绝缘纸等 |
| 硅有机覆盖漆 | 1350 | 二甲苯 甲苯 | H (180) | 适用于 H 级电机、电器线圈作表面覆盖层，在 180°C 下烘干 |
| 硅钢片漆 | 1610 1611 | 煤油 | A (105) | 用于涂覆硅钢片 |
| 环氧无溶剂浸渍漆（地腊） | 515—1 515—2 | | B (130) | 用于各类变压器、电器线圈浸渍处理。干燥温度 130°C |



2. 绝缘胶

广泛用于浇注电缆接头和套管、浇注电流互感器、某些干式变压器，以及密封电子元件和零部件等。电缆浇注胶的性能和用途见表 5-14。

表 5-14 电缆浇注胶的性能和用途

| 名称型号 | 击穿电压 /kV·2.5mm | 特性和用途 |
|-----------------------|-------------------|---------------------------------|
| 黄电缆胶 (1810) | > 45 | 电气性能好，抗冻裂性好，适宜浇注 10kV 及以上电缆接头盒 |
| 黑色电缆胶 (1811, 1812) | > 35 | 耐潮性好，适宜浇注 10kV 以下电缆接头盒 |
| 环氧电缆胶 | > 82 | 密封性好，电气、机械性能高，适宜浇注 10kV 以下电缆接头盒 |
| 环氧树脂灌封剂 | | 电视机高压包等高压线圈的灌封、粘合等 |

四、绝缘、浸渍纤维制品及电工层压制品

常用纤维、层压制品绝缘材料的性能和用途见表 5-15。

表 5-15 常用纤维、层压制品绝缘材料的性能和用途

| 产品名称 | 型号 | 耐热等级 /°C | 主要性能和用途 |
|---------------|------------------------------------|-------------|---|
| 电话纸 | DH—40 DH—50 DH—70 | Y (90) | 坚实、不易破裂，用于 $\phi < 0.4\text{mm}$ 的漆包线的层间绝缘，专供电信电缆绝缘 |
| 电缆纸 | DL—08 DL—12 DL—17 | Y (90) | 柔顺，耐拉力强。用于 $\phi > 0.4\text{mm}$ 漆包线的层间绝缘。低压绕组间的绝缘。电缆专用 |
| 绝缘纸板 | DY—00/100 DY—50/50 DY—100/00 | Y (95) | 耐弯曲、耐热，适用于电机、电器绝缘和保护材料，变压器油中作嵌件、垫块 |
| 油性漆布 (黄蜡布) | 2010 2012 | Y (90) | 耐高压、但耐油性差。用于低压电机、电器线圈层及组间绝缘 |
| 油性玻璃漆布 | 2412 | E (120) | 耐热好，耐压较高。一般电机、电器线圈绝缘，也可在油中工作 |



(续)

| 产品名称 | 型号 | 耐热等级 /°C | 主要性能和用途 |
|-----------------|------|-------------|---------------------------------------|
| 油性漆绸 (黄蜡绸、带) | 2212 | A (105) | 耐高压、较薄,耐油性好。适用于油中工作的电机、变压器、电器线圈绝缘 |
| 环氧酚醛层 压玻璃布板 | 3240 | B (130) | 具有高的机械性能、介电性能和耐水性。适用于电机、电器设备中作绝缘结构零部件 |
| 酚醛层压纸板 | 3250 | E (120) | 坚实、易弯折。用于线包骨架等,可在变压器油中使用 |
| 虫胶衬垫云母板 | 5731 | B (130) | 耐热好,耐压较高但较易碎,不耐潮。用于电机、电器等各类绝缘衬垫 |

五、电工用塑料、绝缘薄膜及其制品

常用电工塑料、绝缘薄膜材料的性能和用途见表 5-16。

表 5-16 常用电工塑料、绝缘薄膜材料的性能和用途

| 产品名称 | 型号 | 耐热等级/°C | 主要性能和用途 |
|------------------|------|----------------|---|
| 聚乙烯 (PE) 塑料 | | Y (70) | 电气性能优异,耐寒、耐潮性能良好。主要供电线电缆用 |
| 聚氯乙烯 (PVC) 塑料 | | Y (60~105) | 机械性能优异,电气性能良好,耐潮、耐电晕、不延燃、成本低。供电线电缆用 |
| ABS 塑料 | | | 象牙色,不透明体,有良好的机电综合性能。用于仪表、电器外壳、支架、小型电机外壳 |
| 聚乙烯薄膜 | | Y (80~100) | 耐弯性好、化学稳定性高,耐酸、耐碱,吸湿性好,绝缘性能和耐辐射性尤为突出,但不耐油。用于通信电缆,高频电缆,水底电缆等作绝缘层 |
| 聚脂薄膜 | 6020 | B (120~140) | 耐热、耐高压,用于高压绕组层、相间及电机槽部等的绝缘 |



(续)

| 产品名称 | 型号 | 耐热等级/ $^{\circ}\text{C}$ | 主要性能和用途 |
|--------------|------|--------------------------|---------------------------------------|
| 聚脂薄膜 青壳纸 | 6620 | E (120) | 用于 E 级电机、电器作槽绝缘、衬垫绝缘和匝间绝缘 |
| 聚氯乙烯 薄膜粘带 | | 低于 Y (6~080) | 较柔软,粘性强,耐热差,用于一般电线电缆接头包扎绝缘 |
| 白粘橡胶带 | | | 具有耐热、耐潮、抗振动、耐化学腐蚀等特性,但抗拉强度较低,适用于电缆头密封 |

第三节 磁性材料

常用的磁性材料就是指铁磁性物质,是电器产品中的主要材料。按其性能不同可分为软磁材料和硬磁材料两大类。

一、软磁材料

软磁材料主要用作导磁回路,要求导磁率 μ 很高;用于交变磁场作为磁路的软磁材料,还要求单位损耗小,即剩磁 B_r 和矫顽力 H_c 较小,因而磁滞现象不严重,是一种既容易磁化又容易去磁的材料,一般都是在交流磁场中使用,是应用最广泛的一种磁性材料。

1. 软磁材料的品种、主要特点和应用范围 (见表 5-17)

表 5-17 软磁材料的品种、主要特点和应用范围

| 品 种 | 主要特点 | 应用范围 |
|---------------------------|---|-------------------------|
| 电工纯铁 (牌号 DT) | 饱和磁感应强度高,冷加工好。但电阻率低,铁损高,不能用在交流磁场中。有磁时效现象 | 一般用于直流或脉动成分不大的电器中作为导磁铁心 |
| 硅钢片 (牌号 DR、RW 或 DQ) | 和电工纯铁相比,电阻率增高,铁损降低,磁时效基本消除,但热导率降低,硬度提高,脆性增大。适用在强磁场条件下使用 | 电机、变压器、继电器、互感器、开关等产品的铁心 |



(续)

| 品 种 | 主要特点 | 应用范围 |
|-----------------------------|--|---------------------------------------|
| 铁镍合金 (牌 号 1J50、 1J51) | 与其他软磁材料相比，磁导率 μ 高，矫顽力 H_c 低，但对应力比较敏感。在弱磁场下，磁滞损耗非常低，电阻率又比硅钢片高，所以高频特性好 | 频率在1MHz以下弱磁场中工作的器件，如电视机、精密仪器用特种变压器等 |
| 铁铝合金 (牌号 1J12等) | 和铁镍合金相比，电阻率高，密度小，但磁导率低，随着含铝量增加（超过10%），硬度和脆性增大，塑性变差 | 弱磁场和中等磁场下工作的器件，如微电机、音频变压器、脉冲变压器及磁放大器等 |
| 软磁铁氧体 (牌号 R100等) | 属非金属磁化材料，烧结体，电阻率非常高，高频时具有较高的磁导率，但饱和磁感应强度低，温度稳定性也较差 | 高频或较高频率范围内的电磁元件（磁芯、磁棒及高频变压器等） |

2. 硅钢片

硅钢片是电力和电讯工业的基础材料，用量占磁性材料的90%以上，硅钢片的品种、性能和主要用途见表5-18。

表 5-18 硅钢片的品种、性能和主要用途

| 分 类 | 牌 号 | 厚度 /mm | 应 用 范 围 |
|---------|--|--------------|---------------|
| 热轧硅钢片 | DR1200—100 DR740—50 DR1100—100 DR650—50 | 1.0 0.50 | 中小型发电机和电动机 |
| | DR610—50 DR530—50 DR510—50 DR490—50 | 0.5 | 要求损耗小的发电机和电动机 |
| | DR440—50 DR400—50 | 0.5 | 中小型发电机和电动机 |
| | DR360—50 DR315—50 DR290—50 DR265—50 | 0.5 | 控制微电机、大型汽轮发电机 |
| 热轧变压器钢片 | DR360—35 DR320—35 | 0.35 | 电焊变压器，扼流圈 |
| | DR320—35 DR280—35 DR360—35 DR360—50 DR315—50 DR290—35 | 0.35 0.50 | 电抗器和电感线圈 |



(续)

| 分 类 | | 牌 号 | 厚度 /mm | 应 用 范 围 |
|-----------------------|--------------------|--|-----------------------|-------------------|
| 冷 扎 硅 钢 片 | 无 取 向 | DW530—50 DW470—50 | 0.50 | 大型直流电动机、大中小型交流电动机 |
| | | DW360—50 DW330—50 | 0.50 | 大型交流电动机 |
| | 变 压 器 用 | DW530—50 DW470—50 | 0.50 | 电焊变压器、扼流器 |
| | | DW310—35 DW270—35 DW360—50 DW330—50 | 0.35 0.50 | 电力变压器、电抗器 |
| | 电 动 机 用 | DQ230—35 DQ200—35 DQ170—35 DQ151—35 DQ350—50 DQ320—50 | 0.35 0.50 | 大型发电机 |
| | | G1、G2、G3、G4 | 0.05 0.2 0.08 | 中高频发电机、微电机 |
| | | | | |
| 单 取 向 | 变 压 器 用 | DQ230—35 DQ200—35 DQ170—35 DQ151—35 | 0.35 | 电力变压器、高频变压器 |
| | | DQ290—35 DQ260—35 DQ230—35 DQ200—35 | 0.35 | 电抗器、互感器 |
| | G1、G2、G3、G4 (日本牌号) | 0.05 0.2 0.08 | 电源变压器、高频变压器、脉冲变压器、扼流器 | |

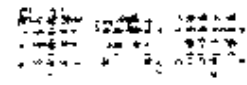
二、硬磁材料

硬磁材料具有大面积的磁滞回线特性，矫顽力和剩磁感应强度都很大，这种材料在外磁场中充磁，撤除外磁场后仍能保留较强的剩磁，形成恒定持久的磁场，故又称永磁材料。它主要用作储藏和提供磁能的永久磁铁，如磁电式仪器用的钨钢和铬钢；测量仪表和微电机用的铝镍钴、硬磁铁氧体和稀土永磁材料等。硬磁材料的品牌和用途见表 5-19。



表 5-19 硬磁材料的品牌和用途

| 硬磁材料品牌 | | 用 途 举 例 |
|----------|---------|-----------------------------------|
| 铝镍钴合金 | 铸造铝镍钴 | |
| | 铝镍钴 13 | 转速表、绝缘电阻表、电能表、微电机及汽车发动机 |
| | 铝铝镍钴 20 | 话筒、万用表、电能表、电流表、电压表、记录仪及消防泵磁电机 |
| | 铝镍钴 32 | |
| | 铝铝镍钴 40 | 扬声器、记录仪及示波器 |
| | 粉末烧结铝镍钴 | |
| | 铝镍钴 9 | 汽车电流表、爆光表、电器触头、受话器、直流电机、钳形表及直流继电器 |
| | 铝镍钴 25 | |
| 铁氧体硬磁材料 | | 仪表阻尼元件、扬声器、电话机、微电机及磁性软水处理 |
| 稀土钴硬磁材料 | | 行波管、小型电机、副励磁机、拾音器精密仪表、医疗设备及电子手表 |
| 塑料变形硬磁材料 | | 里程表、罗盘仪、计量仪表、微电机及继电器 |



照明装置和线路的安装

照明电源线取自三相四线制低压线路上的一根相线和中性线，构成照明电路的线路，叫做照明线路，简称灯线。我国统一的标准为 220V。

第一节 照明装置

一、工厂常用的电光源

工厂常用的电光源见表 6-1。

表 6-1 常用的电光源

| 类 型 | 构 成 | 特 点 |
|--------|---|---|
| 热辐射光源 | 白炽灯 靠钨丝通过电流加热到白炽状态而辐射发光的光源 | 用于开关频繁、需要及时点亮或调光的场所，或者不能有频闪效应及需防止电磁波干扰的场所 |
| | 卤钨灯 在白炽灯泡内充入含有微量卤族元素或卤化物的气体，利用卤钨循环原理来提高光源的发光效率和使用寿命的一种新型光源 | 同上，但若需要高照度时，可采用卤钨灯 |
| 气体放电光源 | 日光灯 (荧光灯) 利用汞蒸气在外加电压作用下产生弧光放电，发出少许可见光和大量紫外线，紫外线又激励灯管内壁涂的荧光粉，使之发出大量可见光的一种光源 | 悬挂高度在 4m 以下的一般工作场所，考虑到电能的节约，宜优先选用荧光灯 |
| | 高压汞灯 又称高压水银荧光灯，是一种高气压（压强达 10Pa 以上）的汞蒸气放电光源 | 悬挂高度在 4m 以上的场所，宜采用高压汞灯或高压钠灯 |
| | 氙灯 是一种高气压的自持弧光放电光源，一般要配专用的触发器，作为起辉装置 | 有高挂条件并需大面积照明的场所，宜采用金属卤化物灯或氙灯 |



二、工厂常用照明灯具类型的选择

常用照明灯具的类别和应用见表 6-2。

表 6-2 常用照明灯具的类别和应用概况

| 类 别 | 特 点 | 应 用 场 所 |
|-------------------|---|--|
| 白炽灯 | <ol style="list-style-type: none">1. 构造简单, 使用可靠, 价格低廉, 装修方便, 光色柔和2. 发光效率较低, 使用寿命较短 (一般仅 1000h) | 广泛应用于各种场所 |
| 碘钨灯 | <ol style="list-style-type: none">1. 发光效率比白炽灯高 30% 左右, 构造简单, 使用可靠, 光色好, 体积小, 装修方便2. 灯管必须水平安装 (倾斜度不可大于 4°), 灯管温度高 (管壁可达 500 ~ 700℃) | 广场、体育场、游泳池, 工矿企业的车间、仓库、堆场和门灯, 以及建筑工地和田间作业等场所 |
| 荧光灯 (日光灯) | <ol style="list-style-type: none">1. 发光效率比白炽灯高 4 倍左右, 寿命长, 比白炽灯长 2 ~ 3 倍, 光色较好2. 功率因数低 (仅 0.5 左右), 附件多, 故障率较白炽灯高 | 广泛应用于办公室、会议室和商店等场所 |
| 高压汞灯 (高压水银荧光灯) | <ol style="list-style-type: none">1. 发光效率高, 约是白炽灯的 3 倍, 耐振耐热性能好, 寿命约是白炽灯的 2.5 ~ 5 倍2. 起辉时间长, 适应电压波动性能差 (电压下降 5% 可能会引起自熄) | 广场、大型车间、车站、码头、街道、露天工厂、门灯和仓库等场所 |
| 管形氙灯 (小太阳) | <ol style="list-style-type: none">1. 功率极大, 自几千瓦至数十千瓦, 体积小, 寿命长2. 灯管温度高, 需配用触发装置 | 大型广场、车站和码头, 以及大型体育场和工地等场所 |

第二节 照明装置的安装和维修






一、白炽灯

1. 灯座

又称灯头。品种较多, 常用灯座的外形、规格和用途见表 6-3。



表 6-3 常用灯座的选用

| 外形 | 名称 | 品种 | 额定电压/V | 额定电流/A | 用途 |
|---|------------|--------|--------|--------|--------------------------------|
|  | 插口吊灯座 | 胶木铜壳 | 250 | 3 | 户内一般场合的吊式灯 |
|  | 插口平灯座 | 胶木铜壳 | 250 | 3 | 户内一般场合的吊式灯 |
|  | 插口安全灯座(吊式) | 胶木 | 250 | 3 | 户内较潮湿且易被人体触及场合的吊式灯 |
|  | 螺口吊灯座 | 胶木 | 250 | 3 | 集体场所的一般户内吊式灯；民用户内潮湿环境或公用场合的吊式灯 |
|  | 螺口平灯座 | 胶木铜壳瓷质 | 250 | 3 | 集体场所的一般户内平装灯；民用户内潮湿环境或公用场合的平装灯 |



(续)

| 外形 | 名称 | 品种 | 额定电压/V | 额定电流/A | 用途 |
|---|---------------|----------|--------|--------|--------------------------------------|
|  | 防水吊灯座 (螺口) | 胶木 瓷质 | 250 | 3 | 户外吊式灯, 或户内有水汽、漏雨水场所的吊式灯 |
|  | 螺口防水 平灯座 | 胶木 瓷质 | 250 | 3 | 户外平装灯, 或户内较潮湿、有漏水场所的平装灯 |
|  | 螺口安全 吊灯座 | 胶木 | 250 | 3 | 户内人体易触及场所的吊式灯; 或户内潮湿, 导电地面灯场所的吊式灯 |
|  | 螺口安全 平灯座 | 胶木 | 250 | 3 | 户内人体易触及场所的平装灯; 或户内潮湿, 导电地面灯场所的平装灯或行灯 |




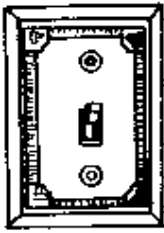
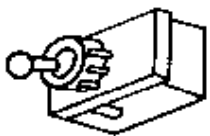
2. 开关

开关的种类很多, 常用的品种、规格和应用范围见表 6-4。

表 6-4 常用电灯开关的品种、规格和应用范围

| 外形结构 | 名称 | 品种 | 额定电压/V | 额定电流/A | 适用范围 |
|---|---------------|----------|--------|--------|----------------|
|  | 拉线开关 (普通型) | 胶木 瓷质 | 250 | 3 | 户内一般场所 普遍使用 |

(续)

| 外形结构 | 名称 | 品种 | 额定电压 /V | 额定电流 /A | 适用范围 |
|---|-------------------------|------------|---------|---------|---------------------------------|
|  | 顶装式 拉线开关 (挂线盒带开关) | 胶木 瓷质 | 250 | 3 | 户内吊装式灯座 (挂线盒与开关合一) |
|  | 防水 拉线开关 | 瓷质 | 250 | 5 | 户外一般场所 或户内有水汽、 有漏水等严重潮湿场所 |
|  | 平开关 | 胶木 瓷质 | 250 | 3 10 | 户内一般场所 |
|  | 暗装开关 | 胶木 金属外壳 | 250 | 5 10 | 采用暗设管线 线路的建筑物 |
|  | 台灯开关 | 胶木 金属外壳 | 250 | 1 3 | 台灯和移动电具 |



3. 开关及插座的安装

根据导线的敷设方式,开关及插座的安装有凸出式和嵌入式两种。

(1) 凸出式安装 该方法主要是针对明敷导线安装开关和插座,其方法如下:

1) 将木台(俗称圆木)固定在混凝土的预埋木砖上或木质墙壁上,若墙中无预埋木砖,可用大冲击钻头在墙上钻孔,然后将木楔用手锤打入孔中,将穿好导线的木台固定在木楔上。

2) 木台固定好后,将开关或插座用木螺钉固定在木台上。在安装时应使开关向上操作为接通,向下操作为断开。对于插座应按规定接线:对单相双孔插座,当双孔竖直排列时,上孔接相线,下孔接零线;当双孔水平排列时,左孔接零线,右孔接相线;而对单相三孔插座,上孔接保护线(接地或接零),左孔接零线,右孔接相线。

(2) 嵌入式安装 该方法适用于暗敷导线的开关和插座的安装,它要求在建房子时应将开关及插座的接线盒预埋到墙体中。对于已建成的墙体采用这种方法安装开关和插座时,因后埋的接线盒不牢固而影响安装质量和用户的正常使用,故很少用。在安装时应注意开关及插座的接线规定要求。

(3) 线头与接线柱的连接

1) 常用的接线柱有两种形式,即针孔式和螺钉平压式,如图 6-1 所示。

2) 小截面积铝芯导线与接线柱连接时,必须留有能供再剖削 2~3 次线头的长度,否则线头断裂后无法再与接线柱连接。留出余量导线,要按图 6-2 所示盘绕成弹簧状。

3) 小截面积导线与平压式接线柱连接时,必须把线头弯成羊眼圈,羊眼圈的弯曲方向应与螺钉拧紧方向一致,如图 6-3 所示。羊眼圈内径不可太大,以防拧紧时散开。

4) 较大截面积导线与平压式接线柱连接时,线头必须装上接线耳,由接线耳再与接线柱连接。接线耳与导线的压接方法如图 6-4 所示。

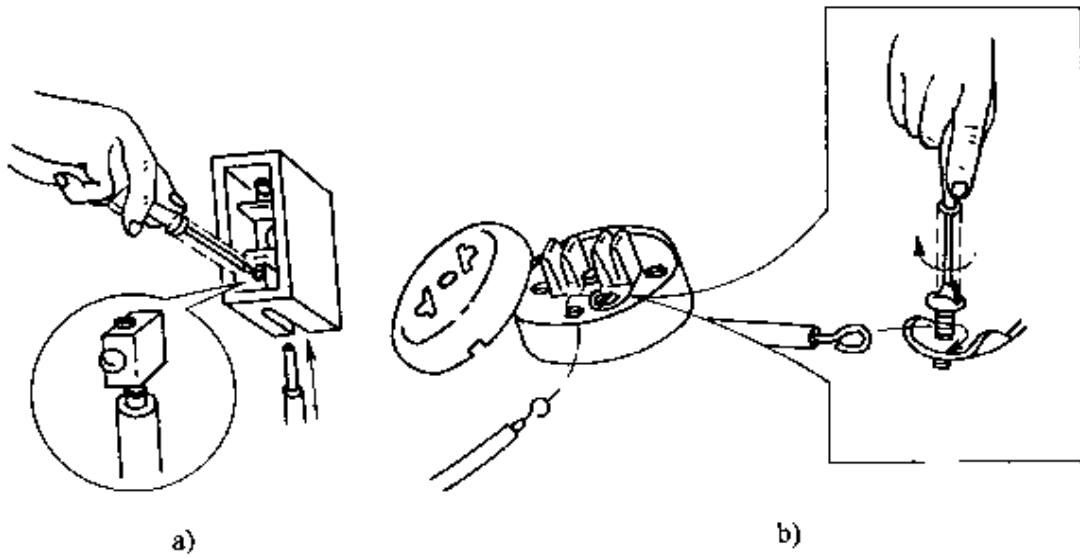


图 6-1 接线柱形式
a) 针孔式 b) 螺钉平压式

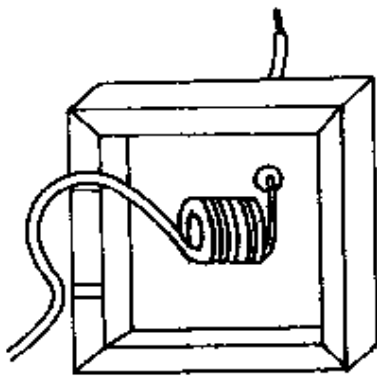


图 6-2 余量导线的处理方法

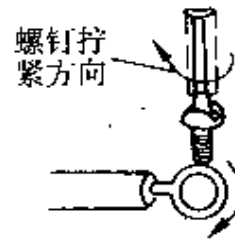


图 6-3 羊眼圈的安装

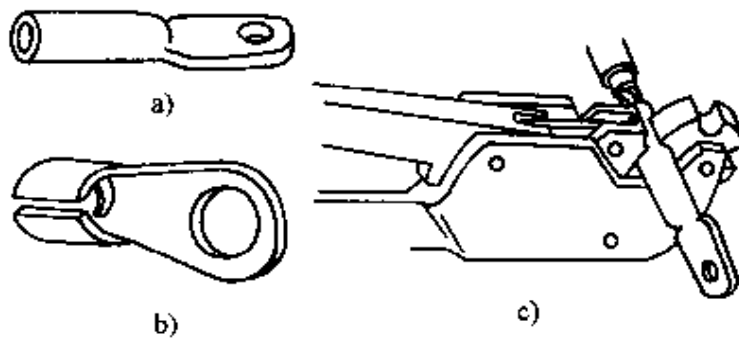


图 6-4 接线耳与接线耳的压接方法
a) 大载流量用接线耳 b) 小载流量用接线耳 c) 铝芯线与接线耳的压接方法



5) 芯线线头与针孔的直径不相配时，截面积过小的单股芯线，按图 6-5 所示方法折弯。

6) 软线线头与接线柱连接时，不允许有芯线松散和外露现象。在平压式接线柱上连接时，应按图 6-6 所示方法进行连接，以保证连接牢固。

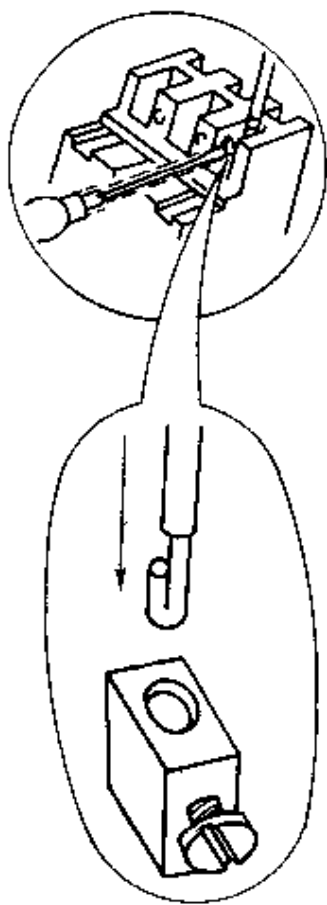


图 6-5 截面过小的
线头处理方法

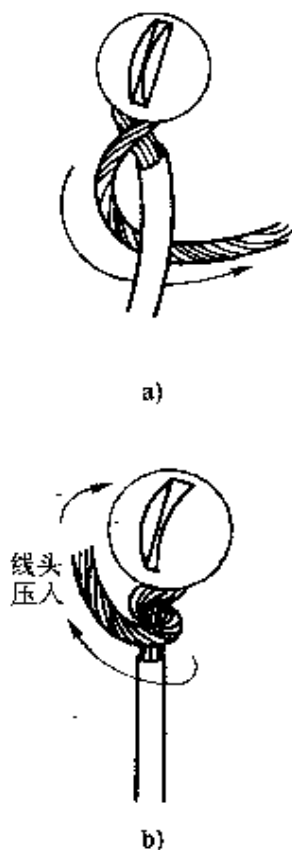


图 6-6 软接线头的连接方法
a) 围绕螺钉后再自缠 b) 自缠
一圈后线头压入螺钉

螺口灯座安装实例如图 6-7 所示。吊灯灯座安装必须使用塑料软线（或花线），安装时必须把多股芯线拧绞成一体，接线柱上不应有外露芯线，挂线盒必须安装在木台上。为避免芯线承受吊灯的重量，可采用线端打结方法如图 6-8 所示。

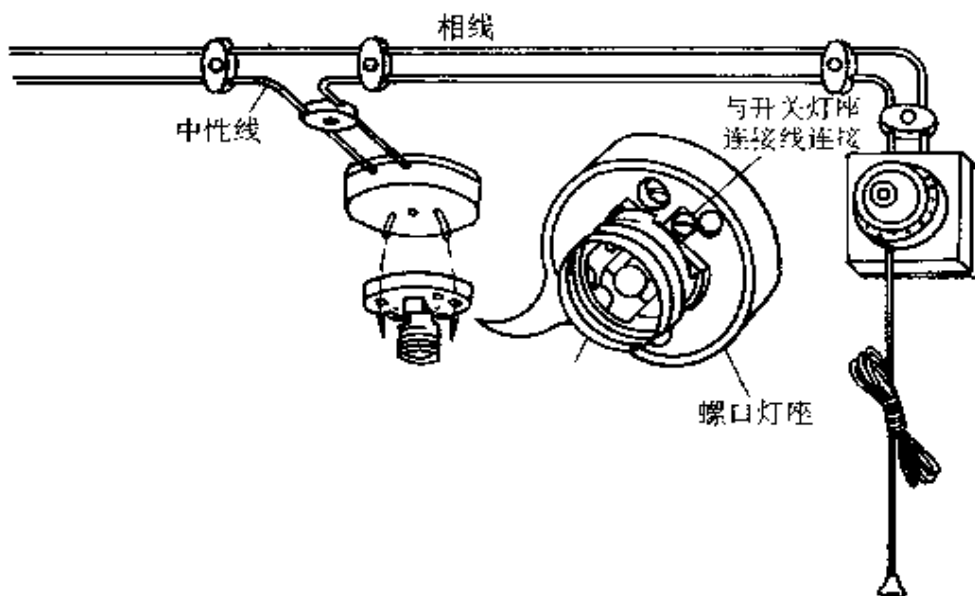


图 6-7 螺口灯安装

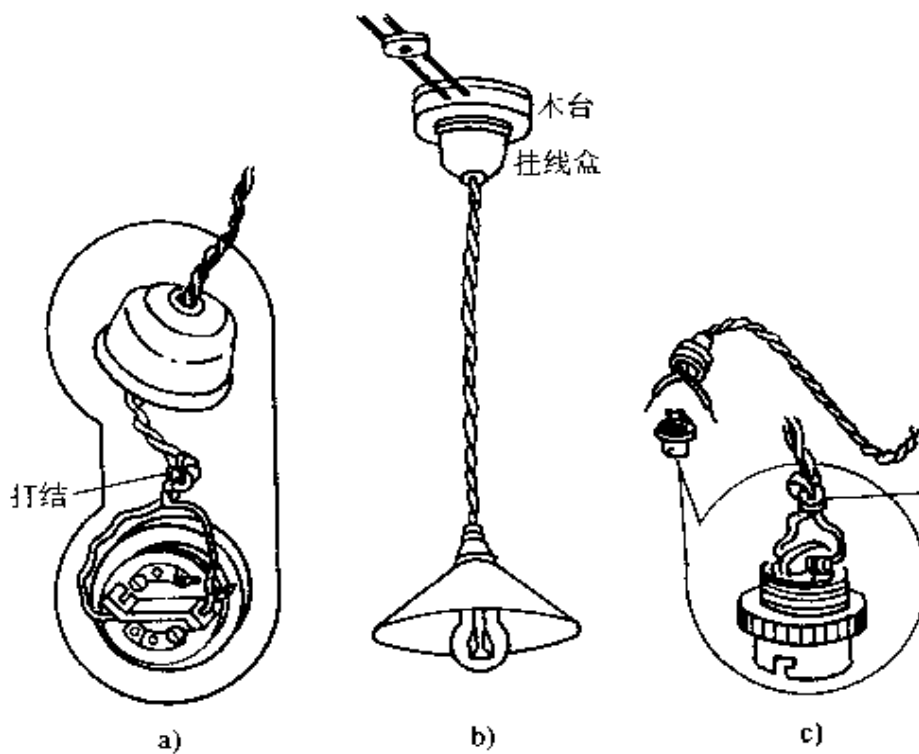


图 6-8 避免芯线承受吊灯重量的方法
a) 挂线盒安装 b) 装成的吊灯 c) 灯座安装



4. 白炽灯的常见故障和排除方法 (见表 6-5)

表 6-5 白炽灯常见故障和排除方法

| 故障现象 | 产生故障的可能原因 | 排除方法 |
|-------------|---|---|
| 灯泡不发光 | <ol style="list-style-type: none"> 1. 灯丝断裂 2. 灯座或开关触点接触不良 3. 熔丝烧毁 4. 电路开路 5. 停电 | <ol style="list-style-type: none"> 1. 更换灯泡 2. 把接触不良的触点修复, 无法修复时, 应更换完好的 3. 修复熔丝 4. 修复线路 5. 升起其他用电器加以验明, 或观察邻近不是同一个进户点用户的情况加以验明 |
| 灯泡发光强烈 | 灯丝局部短路 (俗称搭丝) | 更换灯泡 |
| 灯光忽亮忽暗或时亮时暗 | <ol style="list-style-type: none"> 1. 灯座或开关触点 (或接线) 松动, 或因表面存在氧化层 (铝质导线、触点易出现) 2. 电源电压波动 (通常由附近有大容量负载经常启动引起) 3. 熔丝接触不良 4. 导线连接不妥, 连接处松散 | <ol style="list-style-type: none"> 1. 修复松动的触点或接线, 去除氧化层后重新接线, 或去除触点的氧化层 2. 更换配电变压器, 增加容量 3. 重新安装, 或加固压接螺钉 4. 重新连接导线 |
| 不断烧断熔丝 | <ol style="list-style-type: none"> 1. 灯座或挂线盒连接处两线互碰 2. 负载过大 3. 熔丝太细 4. 线路短路 5. 胶木灯座两触点间胶木严重烧毁 | <ol style="list-style-type: none"> 1. 重新接妥线头 2. 减轻负载或扩大线路的导线容量 3. 正确选用熔丝规格 4. 修复线路 5. 更换灯座 |
| 灯光暗红 | <ol style="list-style-type: none"> 1. 灯座、开关或导线对地严重漏电 2. 灯座、开关接触不良, 或导线连处接触电阻增加 3. 线路导线太长太细、线压降太大 | <ol style="list-style-type: none"> 1. 更换完好的灯座、开关或导线 2. 修复接触不良的触点, 重新连接接头 3. 缩短线路长度, 或更换较大截面的导线 |



二、荧光灯

1. 荧光灯的组成及选配

荧光灯俗称日光灯，是应用比较广泛的一种光源。由灯管、起辉器、镇流器、灯架和灯座等组成，如图 6-9 所示。

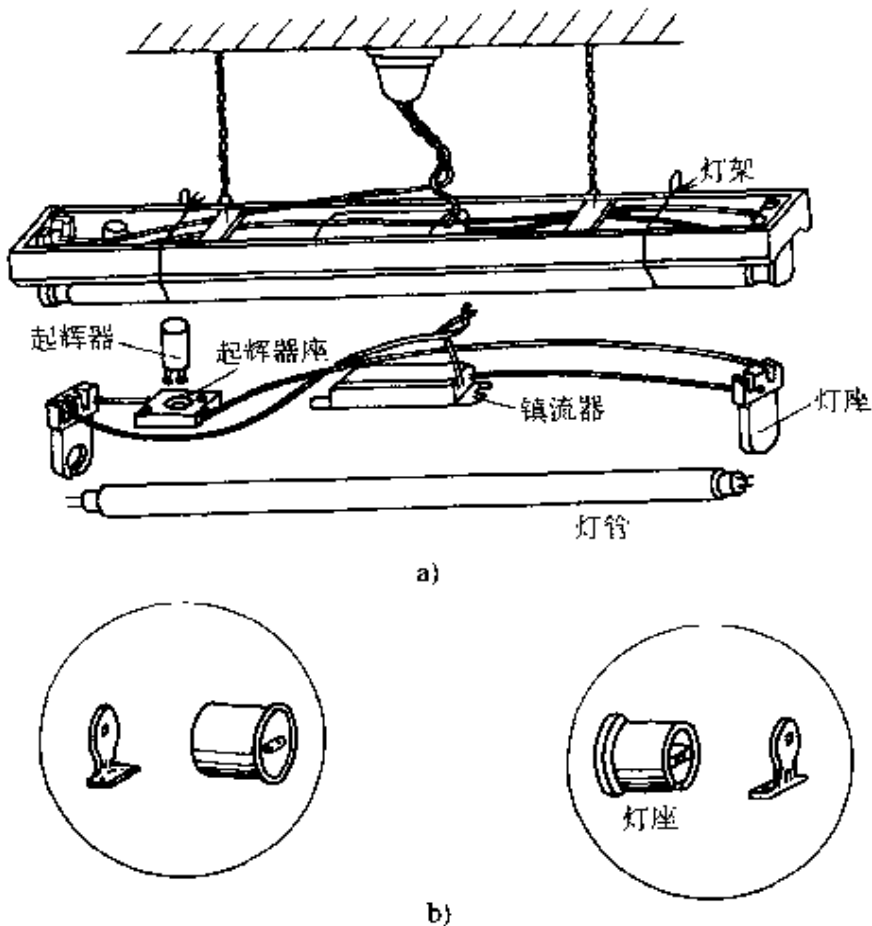


图 6-9 荧光灯

a) 组成部件和布线 b) 弹簧式灯座

荧光灯的附件要与灯管功率、电压和频率等相适应。常用附件选配见表 6-6。

2. 荧光灯的安装

荧光灯的安装分吸顶式、吊链式及钢管悬吊式等，前两种比较普遍，使用时应注意镇流器的型号及接线，特别是带有副线圈的镇流器，应严格按照说明书接线，因镇流器是一个大电感，功



率因数低，必要时在荧光灯的相线及零线上配用一只 220V/4.75 μ F 的电容器以提高功率因数，其接线如图 6-10 所示，开关一定接在相线侧。

表 6-6 荧光灯附件的选配

| 灯 管 | | | | 镇 流 器 | | | | 起 辉 器 | 电 容 器 |
|---------|---------|---------|---------|-------|---------|---------|---------|--------------------------|-----------------------------|
| 标称功率 /W | 工作电压 /V | 工作电流 /A | 起辉电流 /A | 规格 /W | 工作电压 /V | 工作电流 /A | 起辉电流 /A | 规格/W (额定电压为 220V) | 容量/ μ F (额定电压为 250V) |
| 6 | 50 | 0.135 | 0.18 | 6 | 202 | 0.14 | 0.18 | 4~8 (或 4~40 通用型) | — |
| 8 | 60 | 0.20 | 0.20 | 8 | 200 | 0.16 | 0.20 | | |
| 15 | 50 | 0.44 | 0.44 | 15 | 202 | 0.33 | 0.44 | 15~20 (或 4~40 通用型) | 2.5 |
| 20 | 60 | 0.50 | 0.50 | 20 | 196 | 0.35 | 0.50 | | |
| 30 | 89 | 0.56 | 0.56 | 30 | 180 | 0.36 | 0.56 | 30~40 (或 4~40 通用型) | 3.75 |
| 40 | 108 | 0.65 | 0.65 | 40 | 165 | 0.41 | 0.65 | | 4.75 |

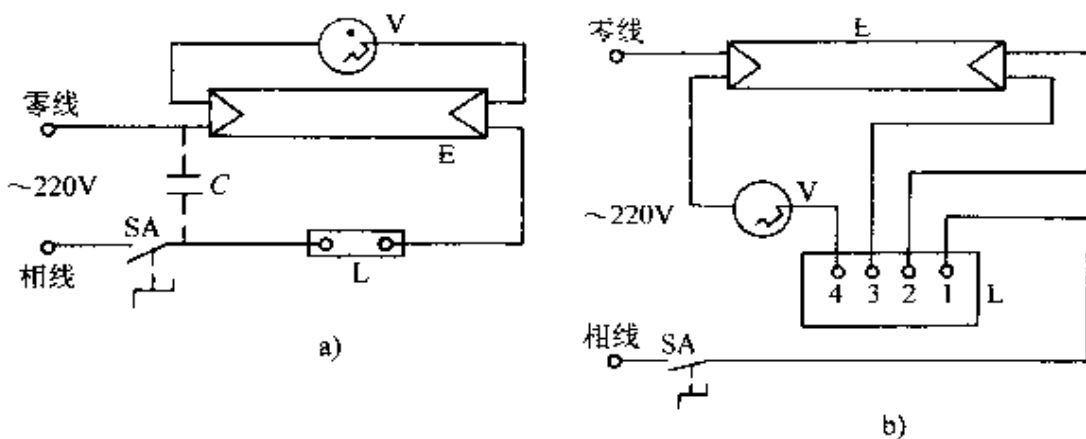


图 6-10 荧光灯的接线图

a) 典型接线 b) 四插头镇流器的荧光灯接线

E—荧光灯管 L—镇流器 V—起辉器 SA—开关

3. 荧光灯故障的排除方法

荧光灯的常见故障比较多，故障原因、现象和排除方法参见表 6-7。



表 6-7 荧光灯常见故障的排除方法

| 故障现象 | 故障产生的原因 | 排除方法 |
|--------------------------|--|---|
| 灯管不发亮 | <ol style="list-style-type: none"> 1. 无电源 2. 灯座触点接触不良, 或电路线头松散 3. 起辉器损坏 4. 镇流器绕组或管内灯丝断裂或脱落 | <ol style="list-style-type: none"> 1. 验明是否停电, 或熔丝烧断 2. 重新安装灯管, 或重新连接已松散线头 3. 先旋动起辉器, 试看是否发光; 再检查线头是否脱落, 排除后仍不发光, 应更换起辉器 4. 用万用表低电阻档测量绕组和灯丝是否通路, 20W 及以下灯管一端断丝, 可把两脚短路, 仍可使用 |
| 灯管两端发亮, 中间不亮 | 起辉器接触不良, 或内部小电容击穿, 或基座线头脱落; 或起辉器已损坏 | 检查小电容击穿, 可剪去后复用 |
| 起辉困难 (灯管两端不断闪烁, 中间不亮) | <ol style="list-style-type: none"> 1. 起辉器配用不成套 2. 电源电压太低 3. 环境气温太低 4. 镇流器配用不成套, 起辉器电流过小 5. 灯管衰老 | <ol style="list-style-type: none"> 1. 换上配套的起辉器 2. 调整电压或缩短电源线路, 使电压保持在额定值 3. 可用热毛巾在灯管上来回烫熨 (但应注意安全, 灯架盒灯座处不可触及和受潮) 4. 换上配套的镇流器 5. 更换灯管 |
| 灯光闪烁或管内有螺旋形滚动光带 | <ol style="list-style-type: none"> 1. 起辉器或镇流器连接不良 2. 镇流器不配套 (工作电流过大) 3. 新灯管暂时现象 4. 灯管质量不佳 | <ol style="list-style-type: none"> 1. 接好连接点 2. 换上配套的镇流器 3. 使用一段时间会自行消失 4. 无法修理, 更换灯管 |
| 镇流器过热 | <ol style="list-style-type: none"> 1. 镇流器质量不佳 2. 起辉情况不佳, 连续不断地长时间产生触发, 增加镇流器的负担 3. 镇流器不配套 4. 电源电压过高 | <ol style="list-style-type: none"> 1. 正常温度以不超过 65℃ 为限, 过热严重的应更换 2. 排除起辉系统故障 3. 换上配套的镇流器 4. 调整电压 |



(续)

| 故障现象 | 故障产生的原因 | 排除方法 |
|---------|--|--|
| 镇流器异声 | 1. 铁心叠片松动 2. 铁心硅钢片质量不佳 3. 绕组内部短路 (伴随过热现象) 4. 电源电压过高 | 1. 固紧铁心 2. 更换硅钢片 (需校正工作电流, 即调节铁心间隙) 3. 更换绕组或整个镇流器 4. 调整电压 |
| 灯管两端发黑 | 1. 灯管衰老 2. 起辉不佳 3. 电压过高 4. 镇流器不配套 | 1. 更换灯管 2. 排除起辉系统故障 3. 调整电压 4. 换上配套的镇流器 |
| 灯管光通量下降 | 1. 灯管衰老 2. 电压过低 3. 灯管处于冷风直吹场合 | 1. 更换灯管 2. 调整电压, 或缩短电源线路 3. 采取遮风措施 |

三、其他灯具安装时的注意事项

1. 高压汞灯

首先弄清楚高压汞灯是否需要配置镇流器, 在安装过程中, 高压汞灯要垂直安装, 且其外玻璃壳的温度很高, 必须装有散热良好的灯具, 在外玻璃壳破碎后, 为防止大量紫外线对人体的伤害, 必须立即更换高压汞灯。

2. 碘钨灯

碘钨灯要求电压波动不宜超过 2.5%, 安装时需水平安装, 由于灯管的温度较高 (近 600℃), 安装时一定要加灯罩, 并且与易燃的厂房结构保持一定的距离, 其灯脚引线必须采用耐高温的导线, 不得用普通导线, 也正因为温度高, 抗振性差, 故不能作为移动光源使用。

3. 金属卤化物灯

金属卤化物灯有钠铊铟灯及镝灯, 使用时通常都需附加镇流器, 其接线与高压汞灯类似, 在使用时应严格按照说明书的要求进行。



金属卤化物灯对线路电压要求较高，电压一般控制在 5% 范围内，在使用时还必须配置玻璃罩，以防止紫外线辐射伤害人体，若无玻璃罩，悬挂高度不低于 14m。管形镝灯安装方法有三种：即水平点燃；垂直点燃且灯头在上；垂直点燃且灯头在下。在安装时若将垂直点燃的灯水平安装，灯很容易爆裂；而将灯头方向调错，则光色将会偏绿。与碘钨灯一样金属卤化物灯的玻璃壳温度很高，必须考虑散热条件。

4. 低压安全灯

一般工作环境的照明采用 220V 的灯具，但在工作环境恶劣的场所，局部照明采用电压为 24V 以下的低压安全灯，对于井下、工作地点狭窄、金属内工作的场所，其携带式照明灯不高于 12V，通常采用 6V 的照明，电源由专用的行灯变压器供给，该行灯变压器必须是双绕组变压器，保证一次、二次之间只有磁联系而不存在直接电联系，同时要求该变压器的高压侧必须装设熔断器。

携带式低压安全灯，安装及使用时必须注意以下几点：

- 1) 灯体及手柄使用坚固的耐热及耐湿绝缘材料制成。
- 2) 灯体、灯座、灯泡安装可靠，不允许出现转动及松动情况。
- 3) 灯泡应该设有可靠保护网罩，一般选用金属保护网，且保护网的上端应固定在灯具的绝缘部分上，保护网必须用专用工具方可取下。
- 4) 电源导线应选用软电缆，禁止用带开关的灯头。

四、照明线的安装要求

照明线路属于室内配线，分明配线和暗配线两种。明配线指导线沿墙壁、天花板、木桁架及柱子等明敷设；暗配线是导线穿管埋设在墙内、地坪内进行敷设。

照明配线的一般要求如下：

- 1) 所使用导线的额定电压应大于线路的工作电压。
- 2) 配线时应尽量避免导线有接头。



3) 明配线路在建筑物上应水平或垂直敷设。水平敷设时,导线距地面不小于 2.5m;垂直敷设时,导线距地面不小于 2m。若不满足上述条件,导线应穿钢管。

4) 导线穿过楼板时,穿钢管的长度应从楼板 2m 高处到楼板下出口处为止。

5) 导线穿过墙壁时要用瓷套管保护,且瓷套管两端分别超出墙面不小于 10cm。

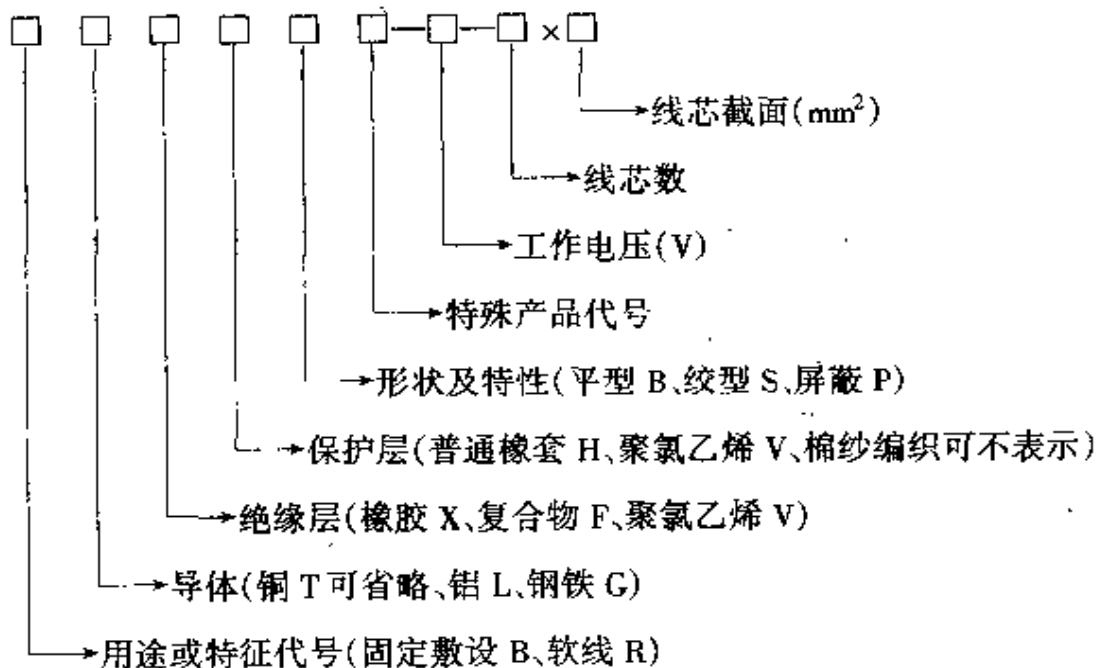
6) 当导线互相交叉时,为避免碰线,在每根导线上套上绝缘套管,并将管固定牢靠,不使其移动。

第三节 导线规格及选用

一、导线的型号

1. 绝缘导线的型号

导线可按其导电材料、绝缘材料、保护层材料、线芯形状、外形、敷设条件及使用范围等进行分类。目前我国对绝缘导线型号的规定如下:



如 RX-250-3 × 2.5 表示额定电压 250V、线芯截面 2.5 mm²、橡胶、绝缘棉纱编织铜软线。



2. 裸导线的型号

裸导线用于 6kV 及以上的高压架空线路，其相间及对地绝缘水平由固定导线的绝缘子的工作电压决定。其型号有三种：铝绞线（LJ）、铜绞线（TJ）及钢芯铝绞线（LGJ）。目前我国对裸导线型号规定如下：

LJ 或（TJ、LGJ）—导线截面积（ mm^2 ）

如 LJ—95 表示截面积为 95 mm^2 的铝绞线，LGJ—95 表示截面积为 95 mm^2 的钢芯铝绞线。

需要说明的是：对于钢芯铝绞线，其截面是指铝绞线部分的截面，不包括钢芯截面。上面提到的 LGJ—95，“95”表示铝绞线部分的截面积是 95 mm^2 。

二、导线的选用

由于导线有一定的电阻，因此当电流通过时，该电阻就消耗电能，从而使导线的温度升高。当导线温度升高到超过规定的限度，轻则加速绝缘物的老化，缩短使用寿命，重则损坏绝缘，甚至造成事故。通常将各种导线长期最大允许通过电流称为“载流量”。

1. 导线类型的选择

在选用导线时应根据特定的使用场合和各类导线的使用范围、具体性能而定，而导线的截面主要根据通过电流的大小来确定。

在需要移动的场所，应选用软线，不应采用单芯线；而固定不动的场合应选用单芯线。

2. 导线截面的选择

确定导线截面的方法有多种，常用“按发热条件”和“按电压损失条件”两种方法来确定导线的截面，对于架空线，还应作其机械强度的校验。

（1）根据发热条件选择导线截面

1) 导线和电缆必须满足的发热条件：电流通过导线时，在导线里因电阻损耗而产生热量，导线的温度就会升高。温度过高



时, 将使其绝缘损坏, 甚至引起失火。同时, 还会使导线接头处氧化加剧, 增大接触电阻, 使之进一步氧化, 甚至发展到断线。

为了防止导线的绝缘材料因过热而受损, 以及防止导线连接点氧化或融化, 规定导线的最高允许温度如下:

橡胶绝缘导线——55℃

裸导线——70℃

根据规定的导线最高允许温度和周围环境及敷设条件, 对一定型号导线的每一种标准截面, 规定了最大允许持续电流 I , 如果导线最大负荷电流为 I_e , 则按下式选择导线截面

$$I \geq I_e$$

由于铝的电阻率是铜的 1.69 倍, 在相同的环境条件下, 等截面铜导线的载流量是铝导线的 1.3 倍; 若以通过电流来考虑, 则相同负载电流铝导线的截面是铜导线的 1.69 倍。

2) 中性线截面的选择: 三相四线制线路中的中性线, 由于正常情况下通过的电流为三相不平衡电流或零序电流, 通常较小, 因此规定, 中性线截面不得小于相线截面的 50%。

但是对于三次谐波电流相当突出的三相四线制电路和单相线路的中性线, 由于其中通过的电流接近或者与相线电流相等, 故中性线截面应与相线截面相等。

(2) 根据容许电压损失选择导线截面 各种负载都是按一定的额定电压 U_e 设计的。但实际上线路有电压损失, 负载端电压 U_2 不一定等于它的额定电压, 并且还会随着负载大小而变化。所谓线路上的电压损失, 就是指线路始端电压 U_1 与末端电压 U_2 的算术差

$$\Delta U = U_1 - U_2$$

电压损失通常用相对值来表示, 即

$$\Delta u = \Delta U / U_e \times 100\%$$

电压损失应有一定的允许值, 对于电动机负载, 不得超过 5%。



三、导线的检查与保存

1. 检查

1) 购买导线时, 应先检查产品合格证及相关技术证件是否齐全, 产品型号、规格与说明书是否一致等。

2) 导线盘装整齐, 外表光滑, 成色一致, 粗细均匀, 绝缘层均匀, 无擦伤、划痕、起皮、毛刺、粗糙及发霉等现象。

2. 保存

对于暂时不用的导线, 存放时应注意如下几点:

1) 仓库应保持阴凉、干燥、通风、无日光直射、无有害气体, 温度一般在 $10 \sim 35^{\circ}\text{C}$ 之间。

2) 堆放时下边应适当垫高, 以便底层通风良好, 且堆层不宜太高, 以免底层导线久压变形。

3) 聚氯乙烯绝缘导线还应设有防老鼠措施。

4) 对于发霉绝缘导线, 应放于通风处阴干后再用毛刷刷去霉迹。

5) 导线的保管期限不应超过生产厂的保证期, 最长不得超过 18 个月。

第四节 照明线路安装

一、接户线的一般要求

1) 接户线是指一端接于低压架空线路电杆, 另一端接于用户的墙檐下第一支持物的这一端导线。由此至电能表的一段导线称为入表线。接户线长度不得超过 30m, 当大于 30m 或因用户墙屋檐过低, 不宜安装户线的支持绝缘子时, 必须增设接户线杆。

2) 接户线杆埋深应为全长的 $1/6$, 但不应小于 1.2m; 埋设斜度不超过梢径的 $1/2$ 。土质松软的地方深埋应适当的增加或用卡、底盘稳定电杆。

3) 接户线一般应使用绝缘导线。接户线的最小截面积规定为: 铜芯绝缘导线不得小于 2.5 mm^2 ; 铝芯绝缘导线不得小于 4 mm^2 。跨越交通要道的架空接户线, 铜线为 6 mm^2 。铝线为



10 mm²。

4) 接户线进入墙壁屋檐部分, 墙外应留有防水弯。

5) 接户线应在相(火)线上加装熔断器(俗称飞保险)。

6) 接户线对房屋最突出部分的水平距离应不小于 200mm, 垂直距离应不小于 250mm。

7) 接户线距离窗户上沿应不小于 300mm, 距离窗户下沿应不小于 500mm, 距离窗户侧面应不小于 750mm, 楼房阳台上面不得横跨接户线。

8) 接户线和弱电线路交叉时, 垂直距离应不小于 600mm。

二、表线的安装

(1) 入表线必须采用绝缘线, 不可用软线, 中间不可有接头。进户线安全载流量应满足: 导线安全载流量(A) ≥ 所有用电器具的额定电流之和。进户线的截面应按照规定选用。但进户线的最小截面积规定为: 铜芯绝缘导线不得小于 1.5 mm²; 铝芯绝缘导线不得小于 2.5 mm²。

(2) 进户线在安装时应有足够的长度, 户外一端应保持如图 6-11 所示的弛度。

(3) 进户管是用来保护进户线的, 分有瓷管、钢管和硬塑料管三种。各种进户管的规格和安装要求如下:

1) 瓷管: 进户线的截面小于 50mm² 时, 采用弯口瓷管, 大于 50mm² 时, 采用反口瓷管。规定是一根导线单独穿一根瓷管。否则会因瓷管破碎时损坏导线绝缘而造成短路事故。按

导线粗细来选配, 一般以导线(包括绝缘层)占瓷管有效截面的 40% 左右为选用标准, 但是最小的管径不可小于 13mm。

2) 钢管或硬塑料管: 应把所有的进户线穿在同一根管内, 管径大小应根据导线的粗细和根数选用, 选用时可查表 6-8 所列

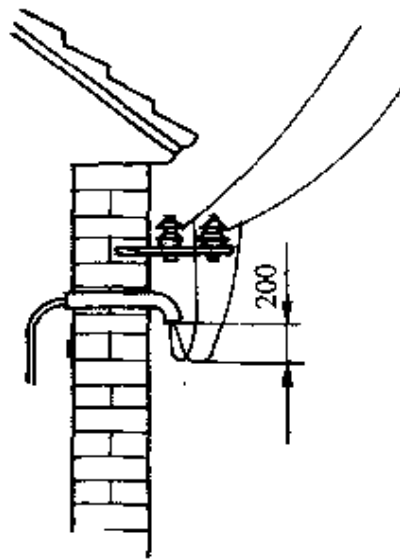


图 6-11 进户线的弛度



数据。在安装前，钢管应经过防锈处理，如镀锌或涂漆。管内和管口处不能存有毛刺。管子伸出户外的一端应制成防雨弯，如图6-12所示。钢管的两端管口皆应加装护圈。进户钢管的管壁厚度不应小于2.5mm，进户硬塑料管的管壁厚度不应小于2mm。

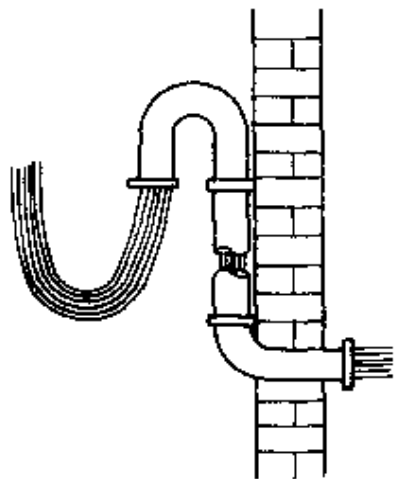


图6-12 进户管的防雨弯

三、护套线线路安装

护套线分为塑料护套线、橡胶套线和铅包线三种。铅包线价格较贵，目前普遍采用塑料护套线。护套线线路适于户内外，具有耐潮性能好、抗腐蚀能力强、线路整齐美观和线路造价

(指塑料护套线)较低等到优点，故在照明电路上已获得广泛应用。但导线的截面积较小，大容量电路不能采用。

表6-8 钢管和硬塑料管的选用

| 导线标称截面 /mm ² | 导 线 根 数 | | | | | | | | |
|----------------------------|-------------|----|----|----|----|----|----|----|----|
| | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 |
| | 电线管的最小管径/mm | | | | | | | | |
| 1 | 13 | 16 | 16 | 19 | 19 | 25 | 25 | 25 | 25 |
| 1.5 | 13 | 16 | 19 | 19 | 25 | 25 | 25 | 25 | 25 |
| 2 | 16 | 16 | 19 | 19 | 25 | 25 | 25 | 25 | 25 |
| 2.5 | 16 | 16 | 19 | 25 | 25 | 25 | 25 | 25 | 32 |
| 3 | 16 | 16 | 19 | 25 | 25 | 25 | 25 | 32 | 32 |
| 4 | 16 | 19 | 25 | 25 | 25 | 25 | 32 | 32 | 32 |
| 5 | 16 | 19 | 25 | 25 | 25 | 25 | 32 | 32 | 32 |
| 6 | 16 | 19 | 25 | 25 | 25 | 32 | 32 | 32 | 32 |
| 8 | 19 | 25 | 25 | 32 | 32 | 32 | 38 | 38 | 38 |
| 10 | 25 | 25 | 32 | 32 | 38 | 38 | 38 | 51 | 51 |
| 16 | 25 | 32 | 32 | 38 | 38 | 51 | 51 | 51 | 64 |
| 20 | 25 | 32 | 38 | 38 | 51 | 51 | 51 | 64 | 64 |
| 25 | 32 | 38 | 38 | 51 | 51 | 64 | 64 | 64 | 64 |
| 35 | 32 | 38 | 51 | 51 | 64 | 64 | 64 | 64 | 76 |
| 50 | 38 | 51 | 64 | 64 | 64 | 64 | 76 | 76 | 76 |
| 70 | 38 | 51 | 64 | 64 | 76 | 76 | 76 | | |
| 90 | 51 | 64 | 64 | 76 | 76 | | | | |



1. 护套线线路在安装时，应遵守以下几项规定：

1) 护套线芯线的最小截面规定为：户内使用时，铜芯的不得小于 0.5mm^2 ，铝芯的不得小于 1.5mm^2 ；户外使用时，铜芯的不得小于 1.0mm^2 ，铝芯的不得小于 2.5mm^2 。

2) 护套线敷设在线路上时，不可采用线与线的直接连接，应采用接线盒或借用其他电气装置的接线桩来连接线头。接线盒由瓷接线桥（也叫瓷接头）和保护盖等组成，如图 6-13 所示。瓷接线桥分有单线、双线、三线和四线等到多种，按线路要求选用。

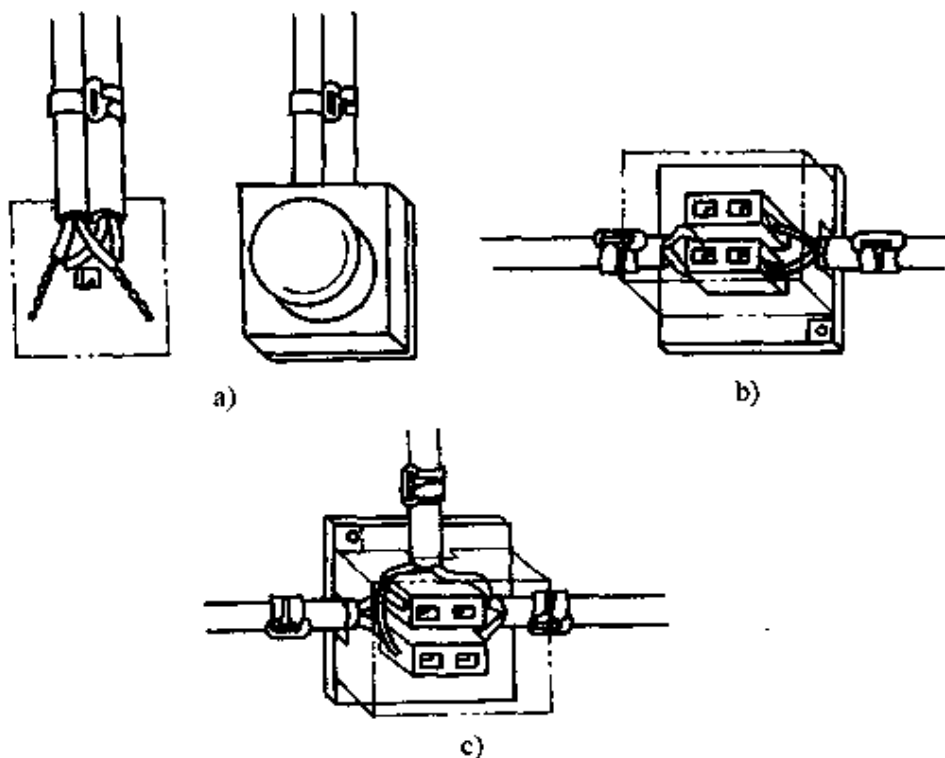


图 6-13 护套线接头的连接方法

- a) 在电气装置上进行中间或分支接头 b) 在接线盒上进行中间接头
c) 在接线盒上进行分支接头

3) 护套线必须采用专用的金属轧片支持，金属轧片应能防锈。金属轧片的规格分有 0、1、2、3 和 4 等多号。号码越大，长度越长，可按需要选用。金属轧片的形状分有用小铁钉固定的

和用胶水粘贴的两种。如图 6-14 所示。

4) 护套线支持点的定位有以下一些规定：直线部分，两支持点之间的距离为 0.2m；转角部分，转角前后各应安装一个支持点；两根护套线十字交叉时，叉口处的四方各应安装一个支持点，共四个支持点；进入木台前应安装一个支持点；在穿入管子前或穿出管子后，均需安装一个支持点。护套线线路支持点的各种安装位置如图 6-15 所示。

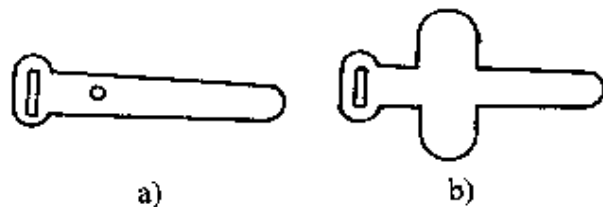


图 6-14 支持护套线用的金属轧片
a) 铁钉固定式 b) 粘贴式

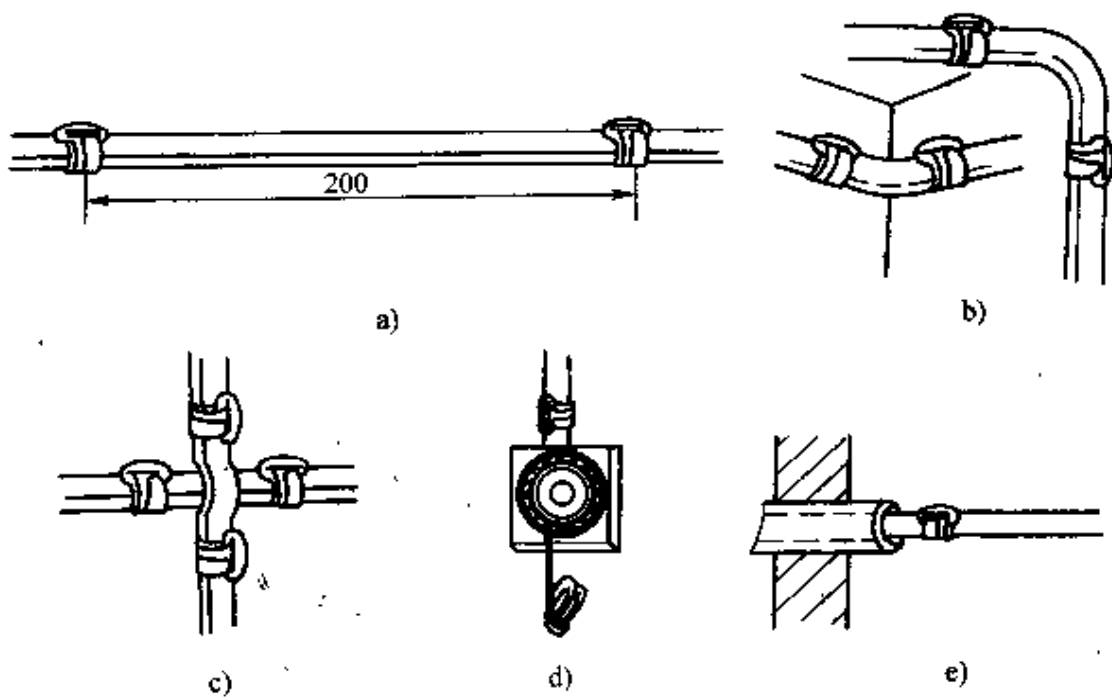


图 6-15 护套线支持点的定位

a) 直线部分 b) 转角部分 c) 十字交叉 d) 进入木台 e) 进入管子

5) 护套线在同一墙面上转弯时，必须保持垂直。转角处还应保持适当的曲率半径 R ，其数值一般应是护套线宽度 d 的 3~

4倍。太小会损伤芯线（尤其是铝芯线）；太大影响线路美观。护套线转弯时的曲率半径如图6-16所示。

6) 护套线线路离地面的最小距离不得低于0.15m；在穿越楼板的一段及离地面0.15m以下部分的导线，应加钢管（或塑料管）保护，以防导线遭受损伤。

7) 采用铅包线时，整个线路的铅皮要连成一体，并应接地。

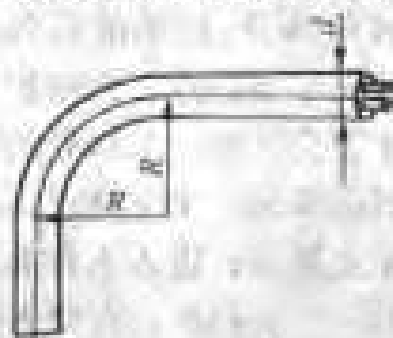


图6-16 护套线转弯时的曲率半径

2. 敷设护套线

1) 标划线路走向，同时标出所有线路装置和用电器具的安装位置，以及导线的每个支持点。

2) 用冲击钻钻整个线路所有支持点的孔洞及穿越孔，并嵌入木楔，为钉金属扎片固定护套线准备。

3) 木楔上钉各支持点的金属扎片。

3. 放线施工方法

1) 为防止把整盘线搞乱和造成护套线平面小半径的扭曲，放线应由两人合作。把整盘护套线套入一人的双手中；另一人将线向前拉出。放出的护套线不可在地面上拖拉，以免擦破或弄脏护套层。如图6-17所示。



图6-17 护套线的放线方法

2) 为了达到护套线路整齐、美观的特点，护套线必须敷设得横平竖直和平顺，平行敷设的线应靠得紧密，线与线间，不能有明显空隙。在敷线时，首先把有弯曲的部位，用纱团裹捏住来回勒平，使之挺直。收紧导线，用已钉装好的金属扎片逐一扎紧，如图6-18所示。

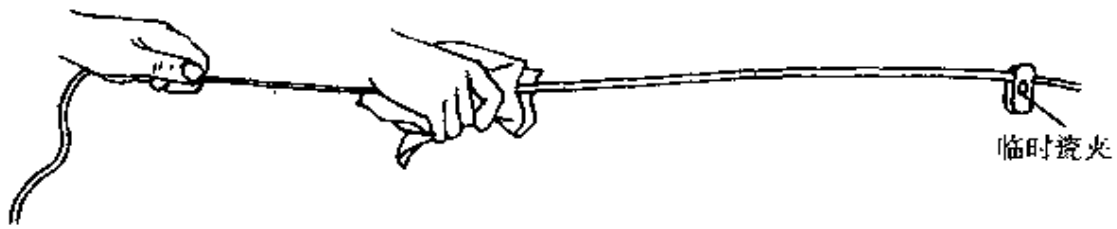


图 6-18 护套线的勒直方法

四、线管配线

将绝缘导线穿在线管内敷设称为线管配线。这种配线方式既安全可靠，又避免腐蚀性气体侵蚀、光照和遭受机械损伤，它分明配和暗配两种。

1. 线管配线的要求

明配要求线管横平竖直、整齐美观；暗配要求管路短、弯头少，便于施工和穿线。

2. 线管配线操作过程

1) 线管的选择：线管选择包括线管类型选择和线管管径选择。常用的线管有黑铁电线管、镀锌水煤气管及硬塑料管等，目前市场上出现了阻燃性能优越的 PVC 工程塑料管。黑铁电线管一般用于照明；水煤气管一般用于有腐蚀性气体的场所；硬塑料管的耐腐蚀性好，但机械强度差，一般用于暗敷，当用于明敷时，支撑点要多。

线管的型号选好后，应选择合适的管径。它是根据导线的截面积和根数来选择的。一般按管内导线的总截面积（包括绝缘层）不超过线管内孔截面的 40% 为宜。

2) 防锈措施：对于钢质线管，应进行除锈和涂漆（或涂沥青）工作。

3) 锯管、套螺纹及弯管：对于钢及铁质线管，在进行锯削后，还须进行套丝，保证接头处连接平滑，穿线时不会发生卡线现象。在线管拐弯处，可以根据长度进行锯削，套螺纹，再配以合适的弯头（带内螺纹）；也可以根据长度在需要处进行弯管，

钢管及黑铁管的弯曲，可用弯管器（50mm）或弯管机（>50mm）。对于塑料管，直接配置合适尺寸的管接头（平接头、弯接头、三通接头）而无需弯管。

4) 固定：对于暗配管，可用铁丝将管子绑扎在钢筋上，用碎石将管子垫高 15mm 以上，然后进行浇注。对于明配管，可采用支架或膨胀管卡固定，明配管应与水暖、气暖管道保持一定的距离。

5) 清管穿线：在穿线前应对管路内进行清扫。清扫时可用 $2:5 \times 10 \text{ Pa}$ 的压缩空气对已敷设好的管道进行吹气。

3. 穿线的要求（钢、塑管相同）

为了避免穿线困难，按下列规定在管路中加装接线盒及分线盒。钢管的接线盒布线如图 6-19 所示。

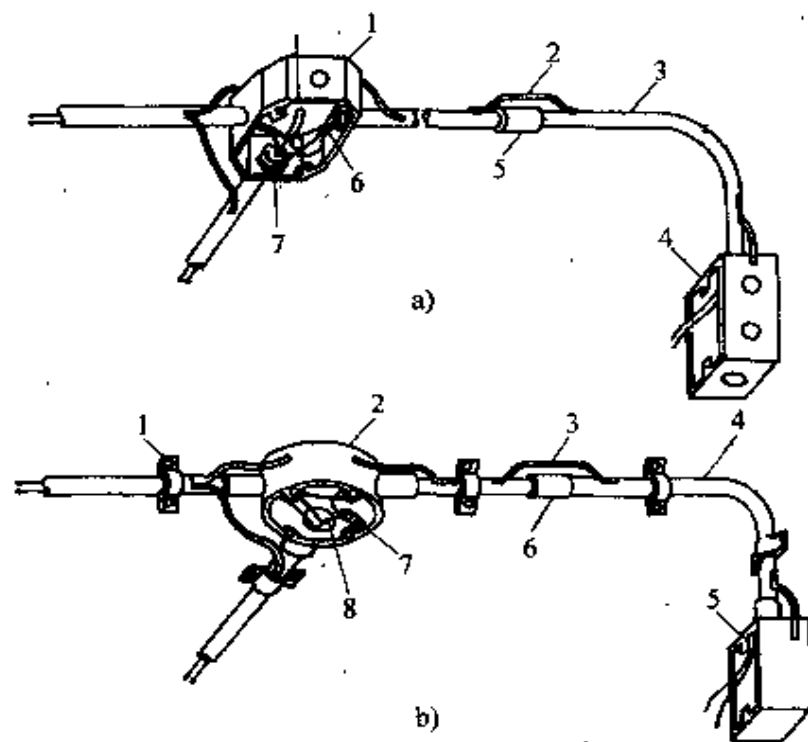


图 6-19 钢管布线

a) 钢管暗布线 b) 钢管明布线

- a) 1—灯头接线盒 2—跨接地线 3—钢管 4—开关接线盒
5—管箍 6—导线 7—锁母
- b) 1—管子卡 2—灯头接线盒 3—跨接地线 4—钢管
5—开关接线盒 6—管箍 7—导线接头 8—导线



1) 当管子长度超过 60m 而无弯曲时，中途加装一个接线盒。

2) 管子全长超过 40m 而有一个弯时，加装一个接线盒。

3) 管子全长超过 30m 而有两个弯时，加装一个接线盒。

4) 管子全长超过 15m 而有三个弯时，加装一个接线盒。

5) 多根导线穿管时，导线总截面不超过管内面积的 40%，一根管内穿线不准超过 10 根。穿线时，一般用铁丝或钢丝先穿入管中作引线，不论导线根数多少，应该同时一次拉入，将要穿管的导线绝缘层剥去，然后将导线绑扎在钢丝引线上，一边拉钢丝引线，一边同时往里送线，直到线头被拉出管口。为减少穿线阻力，可在导线上撒一些滑石粉，但应注意绝不可用润滑油。

6) 不同变压器的电源线，工作照明线与事故照明线，不能穿入同一钢管内，不同电压等级的线路也不得装入同一根管内。

7) 穿进钢管内的导线，必须整条完好无损，即管内不许有接头，所有接头和分支均应在接线盒中进行。接头需用黄蜡布、橡胶布带扎好，而后涂一层沥青漆加强绝缘。

8) 为了达到密封的目的，在和出线盒、电气用具连接的管子口，都要用绝缘填料（温度不超过 65 ~ 70℃）灌封，长度大约 20 ~ 30mm。

五、线路质量检验

1. 安装质量的检验

通常采用人工复查和复测的方法。如检验导线规格时，可在线路装置中所露线芯上进行复测；检验支持点是否牢固时，往往用手拉攀检查；检验明敷的线路，一般都通过检查导线的走向及连接位置来判断有否接错；检验暗敷的线路，一般通过检验线头标记或导线绝缘层色泽来判断接线是否正确。

2. 绝缘电阻的检验

用兆欧摇表测量。具体的测量方法是：在单相线路中，需测量两线间的绝缘电阻（即相线和中性线），以及相线和大地之间的绝缘电阻；在三相四线制线路中，需分别测量四根导线中的每

两线间的绝缘电阻，以及每根相线和大地之间的绝缘电阻。

测量前，应卸下线路上的所有熔断器插盖（或熔断管），同时，凡已接在线路上的所有用电设备或器具也均需脱离（如卸下灯泡）。然后在每段线路熔断器的下接线柱上进行测量。测量方法如图 6-20 所示。

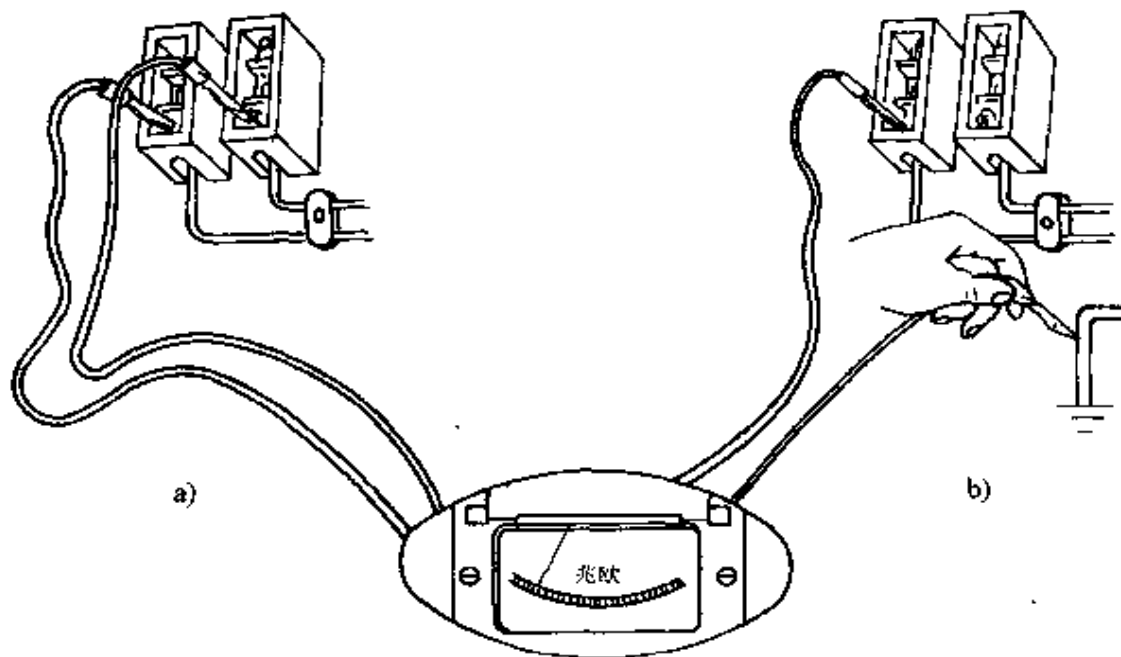


图 6-20 导线绝缘电阻的测量方法

a) 线与线之间 b) 线与大地之间

六、线路维修

1. 线路的维护保养

线路的维护保养可分为日常的和定期的两类。

(1) 日常维护保养 专职电工必须经常关注以下各项内容：

1) 在整个线路内有否盲目增加用电装置，或擅自拆卸用电设备、开关和保护装置等。

2) 有否擅自更换熔体的现象，有否经常烧断熔体或保护装置不断动作的现象。

3) 各种电气设备，用电器具和开关保护装置结构是否完整，外壳有否破损，运行是否正常，控制有否失灵，以及是否存在过



热现象等。

4) 各处接地点是否完整, 接点有否松动或脱落, 接地线有否发热、断裂或脱落。

5) 整个线路内的所有电气装置和设备, 有否存在受潮和受热现象。

6) 在正常用电情况下, 是否存在耗电量明显增加, 建筑物和设备外壳等是否存在带电现象。

(2) 测量导线载流量 电工常用钳形电流表来测量导线载流量, 通过检查用电设备每相的耗流情况, 从而判断运行是否正常。

(3) 定期维修 其中应包括定期检查项目, 如每隔半年或一年测量一次线路和设备的绝缘电阻; 每隔一年测量一次接地电阻等等。

2. 线路常见故障的排除方法

一般线路的常见故障有以下几方面:

(1) 短路 回路中发生短路时, 电路电阻就急剧下降, 电流骤然增大。若此时保护装置失去作用, 将会烧毁线路的导线和设备。短路可分为相间短路和相对地短路两类, 相对地短路又可分为: 相线与中性线间短路和相线与大地间短路两种, 如图 6-21 所示。

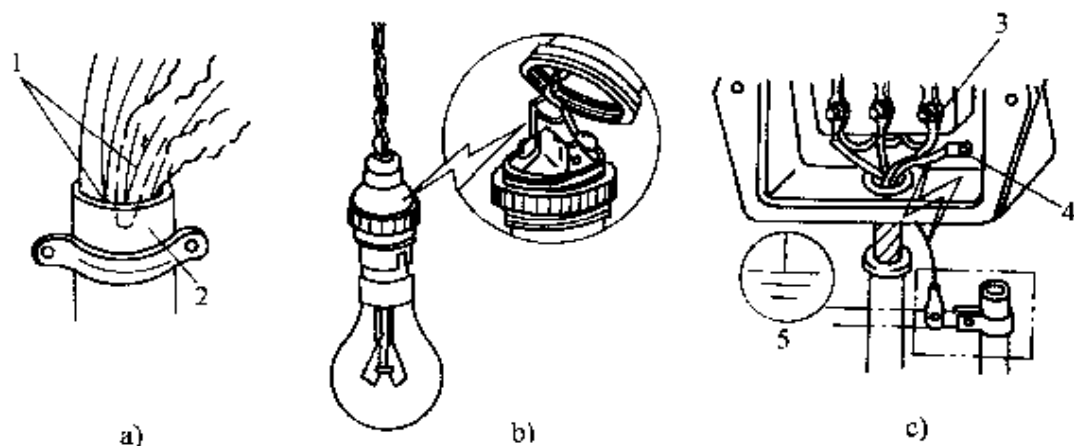


图 6-21 回路短路情况

a) 相线与相线间 b) 相线与中性线间 c) 相线与大地间
1—相线 2—钢管 3—相线头 4—接地线头 5—接地



采用绝缘导线的线路，线路本身发生短路的可能性较少。往往由于用电设备、开关装置和保护装置内部发生相间碰线或绝缘损坏而发生短路。因此，检查和排除短路故障时应先把故障区域内的用电设备脱离电源线路，试看故障是否能够解除，如果故障依然存在，再逐个检查开关和保护装置。

管线线路和护套线线路往往因为线路上存在严重过载和短路等故障，使导线长期过热，破坏了导线的绝缘性能，或因受外界机械损伤而破坏了导线绝缘层，都会引起线路的短路。所以要定期检查导线的绝缘电阻和绝缘层的结构状况，发现绝缘电阻下降，或绝缘层出现破裂，则应予以更换。

(2) 开路 电路存在开路，电流就不能形成回路，电路不能正常运行。造成开路故障的原因通常有以下几方面。

- 1) 导线线头连接点松散或脱落。
- 2) 小截面的导线被老鼠咬断。
- 3) 导线因受外物撞击或拉勾等机械损伤而断裂。
- 4) 小截面导线因严重过载或短路而烧断。

5) 单股小截面导线因质量不佳或因安装时受到损伤，在绝缘层内部的芯线断裂。

6) 活动部分的连接线因机械疲劳而断裂。

(3) 漏电 若电路中部分绝缘体有较轻程度的损坏就会形成程度较轻的漏电短路。漏电也可分为相间和相地间两类。存在漏电故障时，在不同程度上会反映出耗电量的增加。随着漏电程度的发展，会出现类似过载和短路故障的现象。如熔体经常烧断，保护装置容易动作及导线和设备过热等。

引起漏电的主要原因有：

- 1) 线路和设备的绝缘老化或损坏。
- 2) 线路装置安装不符合技术要求。
- 3) 线路和设备因受潮，受热或遭受化学腐蚀而降低了绝缘性能。

4) 恢复的绝缘层不符合要求，或恢复层绝缘带松散。



(4) 发热 线路导线的发热或连接点发热的故障原因通常有以下几方面:

- 1) 导线选用得不符合技术要求,若截面过小会出现导线过载发热。
- 2) 用电设备的容量增大而线路导线没有相应地增大截面。
- 3) 线路、设备和各种装置存在漏电现象。
- 4) 单根载流导线穿过具有环状的磁性金属,如钢管之类。
- 5) 导线连接点松散,因接触电阻增加而发热。

上述故障现象比较明显,造成故障的原因也较简单,针对故障原因予以排除。

3. 部分电路的增设和拆除

(1) 部分电路的增设 增设电路所需要的新支线,一般不允许在原有线路末端延长,或在原有线路上任意分支,而应在配电总开关出线端(或总熔断器出线端)引线,也可从干线熔丝盒的出线端引接,成为新的分路。

如果增设的分路,其负荷已超过用电申请的裕量,应重新申请增加用电量,不可随意增设分支扩大容量。

如果增设的用电设备台数较少,而容量也较小,原有线路能承受所增负荷,则允许在原线路上分接支线。

(2) 部分电路的拆除 拆除个别用电设备,不能只拆除设备,而留下电源线于原处,应把这段电源线全部拆除至于线引接处,并恢复好干线的绝缘。如拆除整段支线,应拆至上一级支干线的熔断器处,不可只在分支处与干线脱离,留下支线于原处,而应把所拆支线全部卸除。

在照明线路上,拆除个别灯头或插座时,应把灯座的电源引线从挂线盒上拆除,将开关线头或插座线头恢复绝缘层后埋入木台内,切不可让线头露在木台之外。



第五节 安全接地

一、保护接地的作用

1. 保护接地的作用

当电气设备或装置发生绝缘损坏故障时，其金属外壳（包括机座）对地会有-一定的电压，工作人员接触到这些设备的金属外壳时，将造成人身触电事故。防止这种触电事故的有效方法之一就是采取保护接地，即将这些设备或装置的金属外壳用导线与接地体相连接。当设备的绝缘损坏时，电流通过接地装置流入到大地，从而使得接触电压或跨步电压小于相电压值，而且电压值可以被限制到对人身没有危害的数值以下。由于电气设备金属外壳接地电阻比人体电阻小得多，即使人体触及漏电设备的金属外壳而发生触电，其危险程度比电气设备未采取接地保护时人体触及漏电设备的金属外壳要小得多。

2. 工作接地的作用

在正常或故障情况下，为了保证电气设备能安全工作，必须把电力系统某-点接地，比如将变压器的中性点接地。这种接地可直接接地，也可经电阻、消弧线圈接地。

3. 保护接地的使用范围

为了保证工作人员的安全，一般要求发电厂、变电所及工厂的下列设备采取保护性接地：

- 1) 电机、变压器、照明器具、携带式或移动式用电器具等的底座和外壳；
- 2) 电力设备的传动装置；
- 3) 电流互感器的二次绕组某-一端；
- 4) 配电盘与控制台的框架；
- 5) 室内外配电装置的金属构架和钢筋混凝土构架，靠近带电部分的金属围栏和金属门；
- 6) 交直流电力电缆的外皮；
- 7) 非金属护套电缆的1~2根屏蔽芯线。



二、保护接零

1. 保护接零的作用

在三相四线制中性点直接接地的低压电网中（即 380/220V 低压电网）将电气设备在正常情况下不带电的金属外壳与低压系统中的零线相连接，当其中一相绝缘损坏而使外壳带电时，单相接地短路电流通过该相与零线构成回路，该电流足以使熔断器和空气开关快速动作，从而避免人身触电伤亡事故。

2. 对接零装置的具体要求

1) 当采用保护接零时，电源中性点必须有良好的接地，且接地电阻应在 4Ω 以下，同时，必须对零线在规定地点采用重复接地。只有这样，万一零线断线，断线后的接零设备就成为经重复接地电阻的保护接地设备，否则在零线回路上的接零设备中，零线断线后，只要有一台设备的外壳带电，则同一零线上全部接零设备的金属外壳都会呈现出近似于相电压的对地电压，这是相当危险的。

2) 当电气设备在任一点发生接地短路时，零线的截面在满足最小截面的情况下应保证其短路电流大于熔断器的熔丝额定电流的 4 倍或自动空气开关整定电流的 1.5 倍，以保证保护装置迅速动作，切除短路故障。

3) 零线在短路电流作用下不应断线且零线上不得装设熔断器和开关设备。

4) 在使用三眼插座时，不准将插座上接电源中性线的孔与接保护（或地线）的孔串接在一起使用。这是因为一旦工作零线松脱断落，设备的金属外壳就会带电。而且当工作零线与相线接反时，也会使设备的金属外壳带电，从而造成触电伤亡事故。正确接线如图 6-22 所示。

5) 在同一低压电网中（指同一台变压器或同一台发电机供电的低压电网），不允许将一部分电气设备采用保护接地，而另一部分电气设备采用保护接零，否则，当接地设备发生碰壳（即绝缘损坏）故障时，使零线电位升高，从而使接零保护设备的金

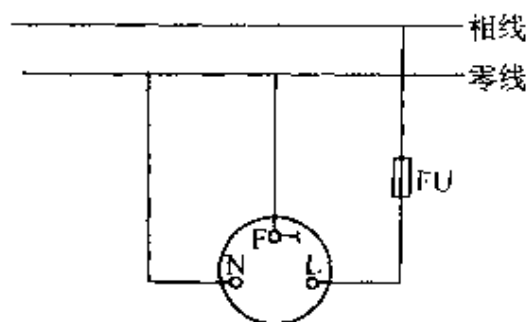


图 6-22 三眼插座的正确接法

属外壳全部带电。

三、重复接地

在中性点直接接地的低压系统中，零线除了在电源中性点实施接地外，还必须在规定处接地（该接地称为重复接地），这样，既降低了漏电设备外壳的对地电压，又减轻了零线断线时的触电危险。

按照《电力设备接地设计规程》规定，重复接地主要应用于以下几个方面：

1) 户外架空线路的零线应采用重复接地，要求架空线路的干线和分支线的终端及沿线每 1km 处，零线应实施重复接地；

2) 电缆及架空线路在引入车间或大型建筑物处，距接地点超过 50m 时，零线应实施重复接地，或在室内将零线与配电屏、控制屏的接地装置相连；

3) 零线的重复接地，应充分利用自然接地体（如建筑物地基的钢构架等），对于经交流整流的直流系统，由于存在电解腐蚀作用，因而零线的重复接地应采用人工接地体，并且不得与地下金属管道相连。

四、接地装置

接地电阻值的大小直接影响漏电设备金属外壳的对地电压，为了保证达到接地的目的，接地装置必须正确设置，并且连接可靠，否则，不但达不到接地保护的目的，而且还可能带来不利的



影响。

接地装置由接地体和接地线组成。

1. 接地体

接地体又称接地极，其材料通常采用钢管、角钢、圆钢和扁钢等，接地体可以水平埋设，也可以垂直埋设，通常以垂直埋设较普遍。在作垂直埋设时，一般将接地体垂直夯入土壤中，因而要求材料有必要的机械强度。若用钢管作接地体，应选用直径50mm以上、长2.5m的厚壁钢管；若用角钢作接地体，应选用50mm×50mm的等边角钢，其长度为2.5m。

在设置人工接地网时，用钢管或等边角钢作垂直接地体埋入地中，用扁钢作水平接地体来连接各垂直接地体，从而形成一个接地网，相邻两垂直接地体的间距应大于2.5m，以免影响流散电阻，并且要求连接的扁钢应侧放，而不应平放。

当接地体水平埋设时，其埋设深度不小于0.6m，一般用圆钢及扁钢。接地体的表面不应涂任何涂料。

2. 接地线

接地体通常焊上镀锌扁钢作为引出线。引出线上焊上螺栓用以连接导线。接地线的最小截面规定如下：

绝缘铜线： 1.5 mm^2 ，裸铜线： 4 mm^2 ；

绝缘铝线： 2.5 mm^2 ，裸铝线： 6 mm^2 。

在装设接地线时，还应注意：

1) 引出线如高出地面，必须加塑料管作穿管保护，其高度不小于2m。

2) 裸铝导线作接地线时，严禁埋入大地。

3. 接地电阻值的一般规定

接地电阻值范围一般可参照下列规定：

1) 对于变压器中性点不直接接地的电网，单相接地电流通常不超过30A，故接地电阻 R 不得大于 4Ω 。

2) 对于中性点直接接地的380/220V低压电网，其接地电阻一般不超过 4Ω 。



3) 对 3 ~ 10kV 变电所单独接地的防雷保护和旋转电机的防雷保护, 以及进线保护段的架空地线 (避雷线), 其接地电阻一般不超过 10Ω 。

4) 对柱上高压油断路器和总容量在 100kVA 以下变压器的接地电阻不允许超过 10Ω 。

5) 配电线路零线每一处重复接地的接地电阻值不应超过 10Ω 。在电气设备接地装置的接地电阻达到 10Ω 的系统中, 每一处重复接地装置的接地电阻值不应超过 30Ω , 且重复接地点不应少于三处。

变 压 器

变压器在交流电路中是用来升高或降低电压的一种电器，是输配电系统中不可缺少的重要设备。另外还有可用作阻抗变换及其他特殊用途的变压器，如自耦变压器和仪用互感器等。

第一节 变压器的分类和原理

一、变压器的分类和用途

为了适用不同的使用目的和工作条件，变压器的种类很多，其常用的分类方法和主要用途见表 7-1。

表 7-1 变压器的分类方法和主要用途

| 分类 | 名称 | 主要用途 |
|---------|--------|---------------------|
| 按用途分类 | 电力变压器 | 输配电系统中用于变换电压、传输电能 |
| | 仪用互感器 | 电工测量与自动保护装置中使用 |
| | 电焊变压器 | 用于焊接各类钢铁材料的交流电焊机上 |
| | 电炉变压器 | 冶炼、加热及热处理用的变压器 |
| | 调压器 | 实验室或工业上用于调节电压 |
| | 整流变压器 | 用于电力机车电源、直流调速等 |
| | 矿用变压器 | 用于有爆炸危险的矿井，以供动力和照明等 |
| 按工作特性分类 | 变压器 | 改变电压（有升压、降压和配电变压器等） |
| | 变流器 | 改变电流 |
| | 感应式移相器 | 改变相位用于可控整流电路等 |
| | 变换阻抗 | 改变阻抗（如收音机上的输出变压器） |
| | 饱和电抗器 | 用于稳压、恒流、电动机调速磁放大器等 |



(续)

| 分类 | 名称 | 主要用途 |
|-----------|--------|----------------------------|
| 按铁心结构形式分类 | 壳式铁心 | 小型变压器 |
| | 心式铁心 | 大中型电力变压器 |
| | C形铁心 | 电子技术中的变压器 |
| 按冷却方式分类 | 油浸式变压器 | 油冷，外部加风冷或水冷，用于大、中型变压器 |
| | 风冷式变压器 | 强迫油循环风冷，用于大型变压器 |
| | 自冷式变压器 | 空气冷却，用于中、小型变压器 |
| | 干式变压器 | 用于安全防火要求较高的场合，如地铁、机场及高层建筑等 |
| 按相数分类 | 单相变压器 | 小型变压器用 |
| | 三相变压器 | 中、大型变压器用 |
| 按绕组数量分类 | 单绕组变压器 | 自耦变压器高、低压共用一个绕组 |
| | 双绕组变压器 | 每相有高、低压两个绕组 |
| | 三绕组变压器 | 每相有高、中、低压二个绕组 |
| | 多绕组变压器 | 如整流用六相变压器 |

二、变压器的原理

最简单的变压器是由一个闭合的铁心和绕在铁心上的两个匝数不等的绕组组成，如图 7-1 所示。为了减少涡流及磁滞损耗，铁心用涂有绝缘漆，厚度为 0.35 ~ 0.5mm 的硅钢片叠成。与电源相连的绕组称为一次绕组；与负载相连的绕组称为二次绕组，一、二次绕组都是用绝缘的导线绕成。虽然一、二次绕组在电路上是相互分开的，但二者却处在同一磁路上。

1. 空载运行

所谓空载，就是一次绕组接上额定的交变电压，而二次绕组开路（不接负载）。

在外加正弦电压 u_1 作用下，一次绕组中便有交变电流 i_0 ，一般为额定电流的 3% ~ 8%， i_0 通过匝数 N_1 的一次绕组，产生

磁动势 $i_0 N_1$ ，在其作用下，铁心中产生了正弦交变磁通。这个交变的磁通在 N_1 和 N_2 上产生了感应电动势 e_1 和 e_2 。工作过程如图 7-2 所示。

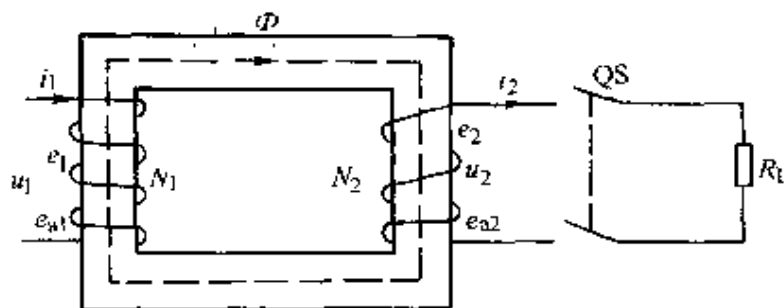


图 7-1 变压器原理图

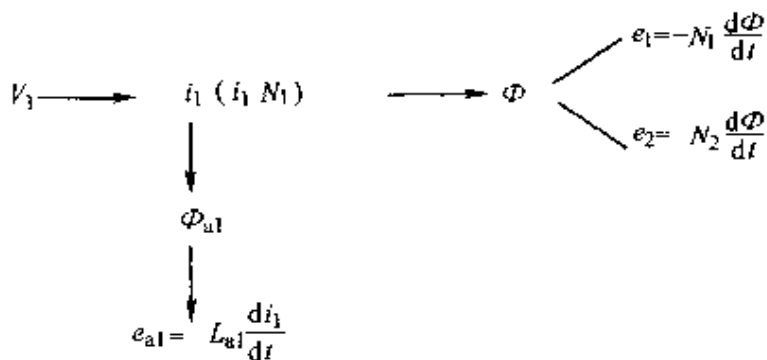


图 7-2 变压器空载时电磁关系图

e_1 和 e_2 的大小是

$$E_1 = 4.44f\Phi_m N_1$$

$$E_2 = 4.44f\Phi_m N_2$$

如果忽略一次绕组的电阻电压降 U_{R1} 和漏感抗电压降 U_L ，则有 $U_1 \approx E_1$ 。空载时变压器的二次绕组是开路的，所以 $U_2 = E_2$ 。

$$U_1/U_2 = N_1/N_2 = K_v$$

式中 K_v 称为变压器的电压比。 $K_v > 1$ 变压器降压； $K_v < 1$ 变压器升压。

2. 有载运行

把变压器的二次绕组与负载接通后，在二次绕组中就有电流

i_1 流过。工作过程如图 7-3 所示。磁动势 $i_2 N_2$ 和 $i_1 N_1$ 共同产生一个合成磁通。由于主磁通 Φ_m 基本保持不变 ($\because U_1 \approx E_1 = 4.44f N_1 \Phi_m$)。所以, $I_1 N_1 + I_2 N_2 = I_0 N_1$

因为 I_0 很小, 在满载情况下, $I_0 N_0$ 相对 $I_1 N_1$ 或 $I_2 N_2$ 而言, 基本上可以忽略不计, 于是

$$I_1 N_1 \approx I_2 N_2$$

$$I_1 / I_2 = N_2 / N_1 = 1 / K_v = K_i$$

式中 K_i 称为电流比。

由此可见, 变压器一次、二次的电流比与它们的匝数成反比, 而电压与匝数成正比。必须注意, 变压器一次电流 I_1 的大小是由二次电流 I_2 的大小来决定。在空载时, $I_2 = 0$, 此时一次绕组中只有很小的空载电流 I_0 。

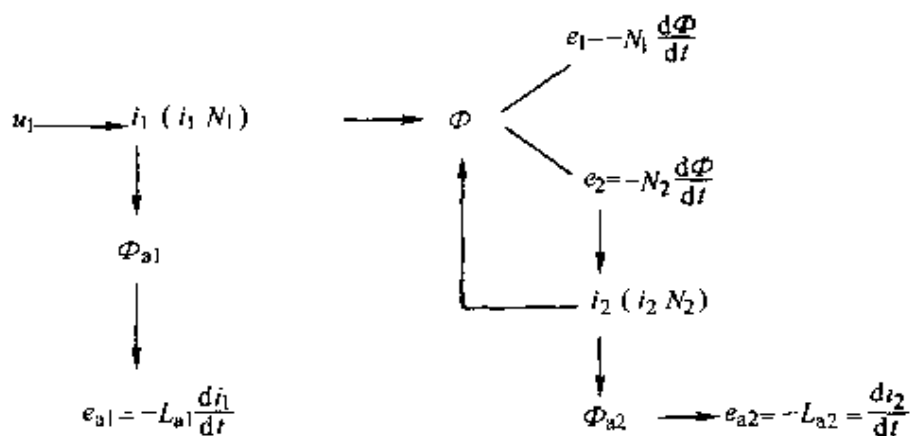
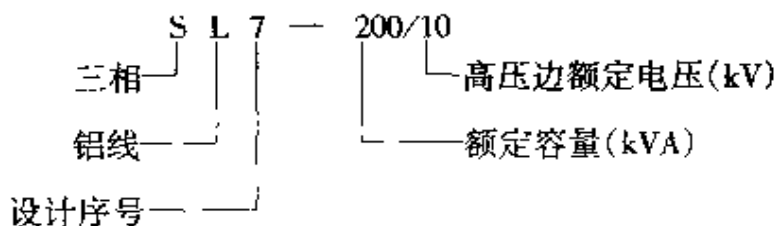


图 7-3 变压器有载时电磁关系图

三、变压器的铭牌参数

1. 变压器的型号

例如: SL7—200/10





表明该变压器为三相矿物油浸自冷式双绕组铝线无励磁调压的，第七次统一设计的，额定容量为 200kVA，高压边额定电压为 10kV 的电力变压器。

2. 变压器的额定容量

变压器的额定容量是指变压器的视在功率，表示变压器在额定情况下的输出力或带负载的能力，其大小是由变压器的额定电压 U_{2N} 与额定电流 I_{2N} 所决定的，单位是 VA 或 kVA。

单相变压器额定容量： $S_N = U_{2N} I_{2N}$

三相变压器额定容量： $S_N = \sqrt{3} U_{2N} I_{2N}$

3. 额定电压 U_{1N}/U_{2N}

变压器空载时二次绕组电压的保证值称为二次绕组的额定值 U_{2N} ；一次绕组的额定电压 U_{1N} 是指变压器额定运行时，一次绕组所加的电压。对三相变压器是线电压。单位是 V 或 kV。

4. 额定电流 I_{1N}/I_{2N}

额定电流是变压器绕组允许长期连续通过的工作电流，是根据变压器绕组的允许发热决定的。在三相变压器中，额定电流指的是线电流，单位是 A。

5. 额定频率 f_N

我国规定额定频率为 50Hz。有些国家规定频率为 60Hz。

6. 温升

温升是指变压器指定部位的温度和周围冷却介质的温度差。油浸变压器中用的绝缘材料都是 A 级绝缘。国家规定线圈温升为 65°C ，考虑最高环境温度为 40°C ，则 $65^{\circ}\text{C} + 40^{\circ}\text{C} = 105^{\circ}\text{C}$ ，这就是变压器线圈的极限工作温度。

除额定值外，铭牌上还标有变压器的相数、联结组、接线图、短路电压百分值、变压器的运行及冷却方式等。为了考虑运输和吊心，还标有变压器的总重、油重和器身的重量等。

例 7-1 有一台三相油浸式（自冷）铝线电力变压器， $S_N = 160\text{kVA}$ ，Y，yn0 联结， $U_{1N}/U_{2N} = 35\text{kV}/0.4\text{kV}$ ，试求一、二次绕组的额定电流。



解 根据 $S_N = \sqrt{3} U_{2N} I_{2N}$

$$I_{1N} = \frac{S_N}{\sqrt{3} U_{1N}} = \frac{160 \times 10^3}{\sqrt{3} \times 35 \times 10^3} \text{A} = 2.64 \text{A}$$

$$I_{2N} = \frac{S_N}{\sqrt{3} U_{2N}} = \frac{160 \times 10^3}{\sqrt{3} \times 0.4 \times 10^3} \text{A} = 230.9 \text{A}$$

第二节 变压器的结构与绕组连接

一、变压器的结构

根据变压器类别的不同,其结构亦不同。一般干式变压器和小型电源变压器的外形结构比较简单,主要部件是铁心、绕组、引线和外壳等。干式变压器的结构如图 7-4 所示。大功率电力变

压器和其他用途变压器的结构比较复杂。如图 7-5 所示为油浸式电力变压器的结构。包括器身(铁心、绕组、绝缘、引线及分接开关等)、油箱及其附件(油箱本体、放油阀门、活门、小车、油样活门、接地螺栓及铭牌等)、冷却装置(散热器或冷却器)、保护装置(储油柜、油表、安全气道、吸湿器、测温元件、净油器和气体继电器等)和出线装置(高压套管及低压套管)等。

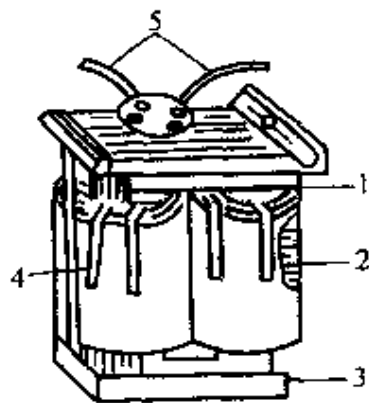


图 7-4 干式变压器的结构

- 1—铁心
- 2—绕组
- 3—底座
- 4—低压引出线
- 5—高压引出线

1. 变压器铁心

变压器各种铁心的结构如图 7-6 所示。变压器铁心有壳式和心式两种。绕组包着铁心的变压器叫壳式变压器,铁心包着绕组的叫心式变压器,如图 7-7 所示。

壳式铁心多用于小型变压器,如电力变压器大多用三相心式铁心。

铁心制造主要过程有,硅钢片剪裁、冲孔、去毛刺、退火、涂漆、叠装及铁心性能试验等工序组成。

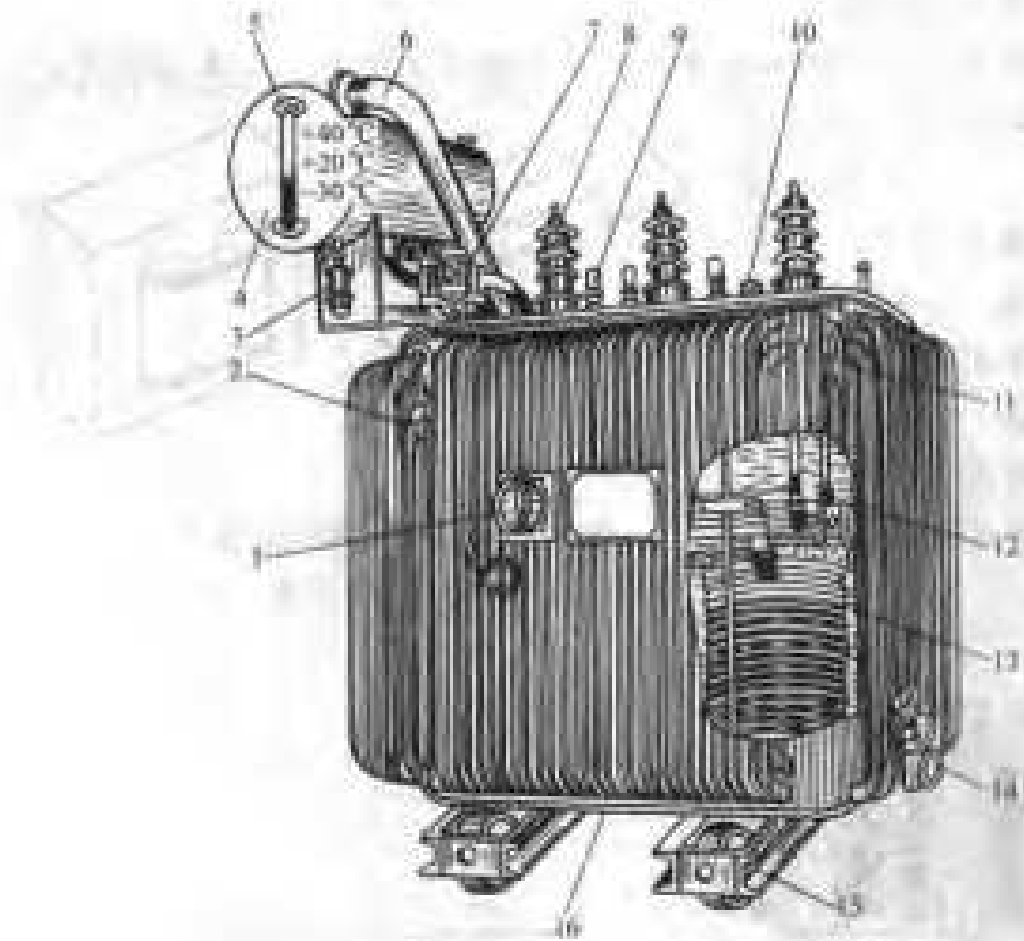


图 7-5 油浸式电力变压器

- 1—温度计 2—销钉 3—吸湿器 4—储油柜 5—油枕
- 6—安全气道 7—气体继电器 8—高压套管 9—低压套管
- 10—分接开关 11—油箱 12—铁心 13—绕组 14—放油
- 阀门 15—小车 16—引线接地螺栓

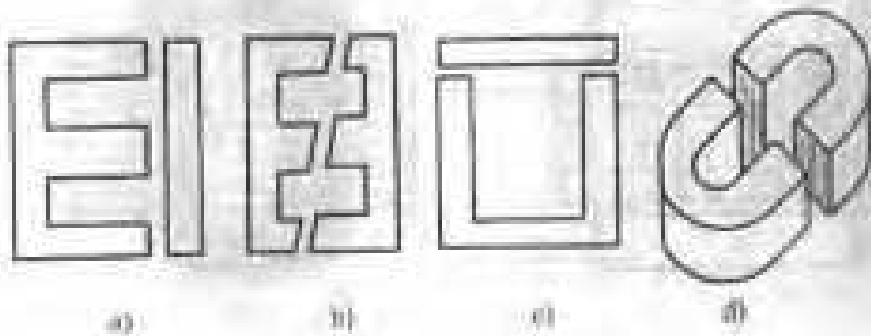


图 7-6 各种铁心的结构

- a) 山字形 b) 双E形 c) 口字形 d) C形



2. 变压器绕组

绕组有同心式和交叠式两种，如图 7-8 所示。由绝缘铜线或铝线绕制而成。同心绕组是将一、二次绕组绕在同一铁心柱上。为了便于绝缘，一般将低压绕组放在里面。交叠式绕组的高，低压绕组是互相交错放置的。大多数电力变压器都采用同心绕组。

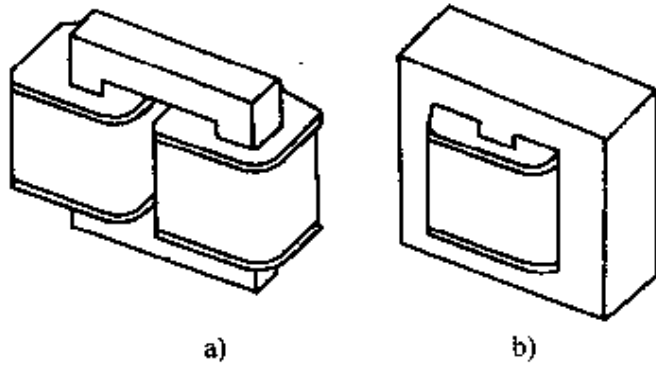


图 7-7 心式铁心和壳式铁心
a) 心式 b) 壳式

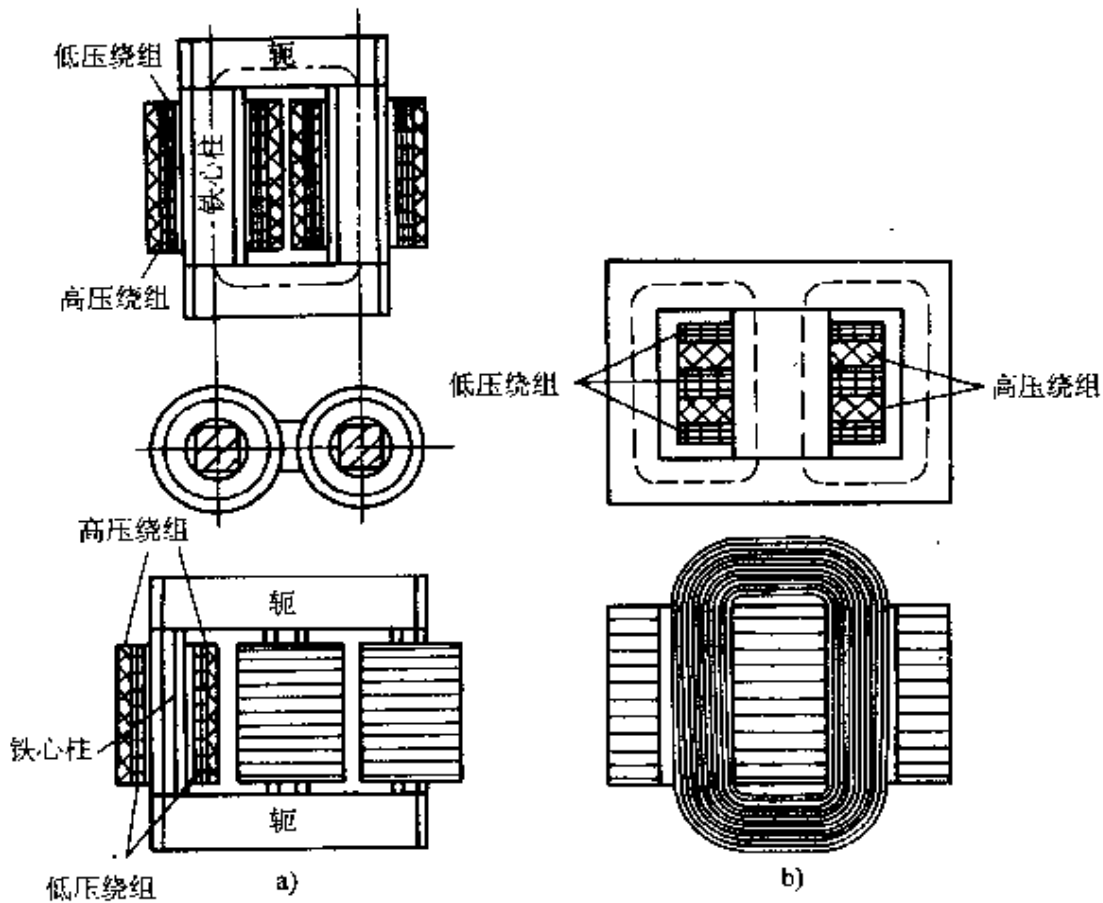


图 7-8 变压器线圈结构
a) 同心式 b) 交叠式

线圈的绕制是在专用绕线机上进行的。根据绕线工作特点，对绕线机的要求为：起动平稳，以保证逐渐地拉紧导线和等速地绕制；具有可靠的不倒转的制动装置，以防止绕好的部分因倒转而松开。

线圈绕制完，从绕线模上取下线圈，在线圈的四周取回处沿轴向用斜纹布带扎好，进行匝数检查，然后送去干燥浸漆。

二、变压器绕组的极性测定

在使用变压器或者其他有磁耦合的互感线圈时，要注意线圈的正确联结。例如一台变压器的一次绕组有两个相同绕组，如图 7-9 所示。

当两个绕组串联，2、3 连接在一起，可接 220V 电源，当两个绕组并联，1、3 联结，2、4 联结在一起，只能接 110V 的电源。如果联结错误，例如：2 和 4 两端联结在一起，将 1 和 3 两端接电源，这样两个绕组的磁动势就互相抵消，铁心中不产生磁通，绕组中也就没有感应电动势，绕组中将流过很大的电流，把变压器烧毁。

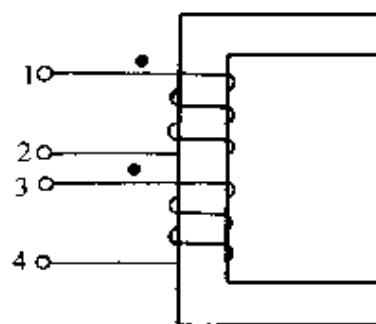


图 7-9 两绕组的同极性端

若两个绕组的磁动势在磁路中的方向一致，互相相助，则这两个绕组的电流流进端或流出端就称为同极性端。绕组的同极性端用标有圆点的记号“·”表示。同极性端和线圈绕向有关，只要线圈绕向知道，同极性端就不难定出，但是，已经制成的变压器由于经过浸漆或其他工艺处理，从外观也就无法看出，这就要用实验的方法来测定同极性端。通常采用下面两种实验方法。

1. 交流法

用交流法测定绕组极性的电路如图 7-10 所示。将两个绕组的 1、2 两端和任意两端（2 和 4）联结在一起，在其中一个绕组（如 1-2）端加一个比较低的测量电压。用伏特计分别测量 1、3 两端的电压和两绕组电压 U_{12} 及 U_{34} 。如果 U_{13} 的数值是两绕组电



压之差，则 1 和 3 是同极性端。如果 U_{13} 是两绕组电压之和，则 1 和 4 是同极性端。

2. 直流法

如图 7-11 所示，当开关 S 闭合瞬间，如果毫伏计的指针正偏，则 1 和 3 是同极性端；反向偏转时则 1 和 4 是同极性端。

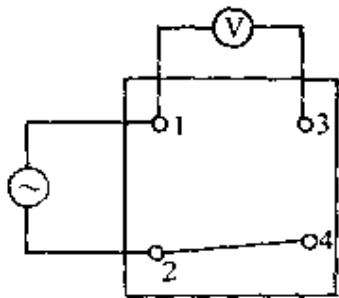


图 7-10 用交流法测定绕组的极性

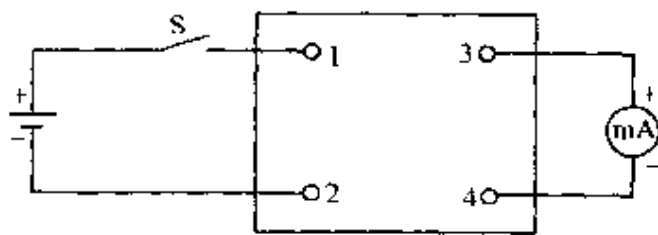


图 7-11 用直流法测定绕组的极性

三、三相变压器绕组的联结

1. 星形联结和三角形联结

把三相绕组的三个末端 X、Y、Z 连接在一起，这个联结点称为中性点，用 O 表示，它们的首端 U、V、W 连接引出在电源或负载，便是星形联结 (Y)。把一相绕组的末端和另一绕组的首端依次连接在一起，形成闭合线路，便是三角形联结 (Δ)。

三相电力变压器的绕组，无论是一次绕组还是二次绕组，都可以接成星形和三角形两种形式，表示符号如图 7-12 所示。

2. 联结组别

变压器线圈联结组别是表示变压器各绕组的联结法和相量关系的符号。单相电力变压器联结组标号有：1/1-12、1/1-12-12 和 0-1/1-12-12 三种；我国三相双绕组电力变压器规定的标准联结组标号见表 7-2 所列几种

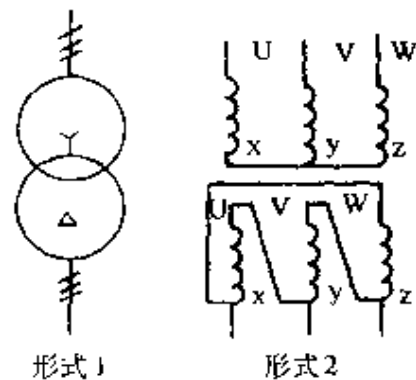


图 7-12 三相变压器的图形符号

类型。

联结组别一般采用时钟表示法，就是把变压器一次绕组的线电压相量 AB 作为时针的长针，固定不动地指向钟面上 12 的位置，把二次绕组相应的线电压相量 ab 作为时钟的短针。如果短针正指向 6，则表示相量 AB 和 ab 相反，即记作 6。

表 7-2 标准联结组标号

| 联结组号 | 一般应用场合 |
|-----------------|-------------------------|
| Y, yn0 和 D, yn0 | 三相四线供电，即同时有动力负载和照明负载的场合 |
| Y, y0 | 三相动力负载 |
| YN, y0 | 高压中性点需接地场合 |
| Y, d11 | 用于降压变压器 |
| YN, d11 | 用于超高压电力系统 |

例如 Y, y0 表示一次绕组用星形联结，二次绕组也用星形联结，如图 7-13 所示。相量图和时钟表示如图 7-14 所示。一次绕组线电压与相应的二次绕组线电压间的相角差为 0° 。Y, yn0 的接线图和 Y, y0 接线图不同，是在 Y, y0 接线图中的二次绕组中性点处引出一中性线。

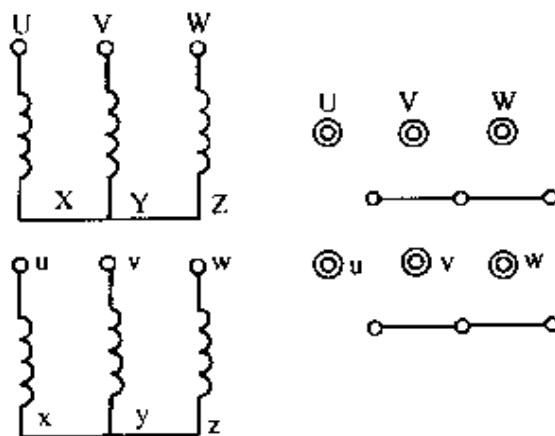


图 7-13 Y, y0 接线图

如果把一次绕组接成星形，二次绕组接成三角形，如图 7-15 所示，则一次与二次电压相量 UV 与 uv 间有

30° 的相角差。从相量图 7-16 中可以看出二次线电压相量 uv 将较一次线电压相量 UV 超前 30° 。用时钟表示时，短针指向面 11 上，这种联结组记为 Y, d11。

单相变压器，如果一次电压相量 UX 与二次电压相量 ux 为同相，记为 1/1-12；反相时，记为 1/1-6。

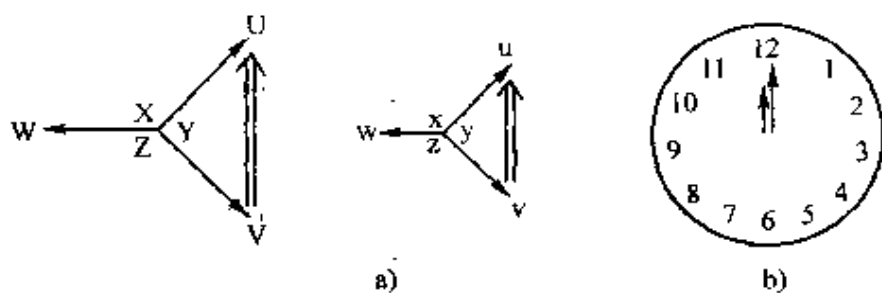


图 7-14 Y, y_0 相量图及时钟表示

a) 相量图 b) 时钟表示

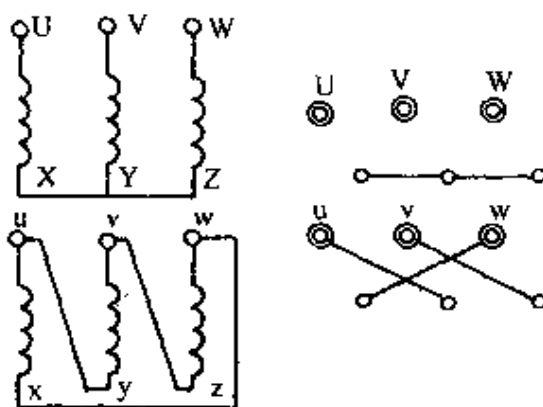


图 7-15 Y, d11 接线图

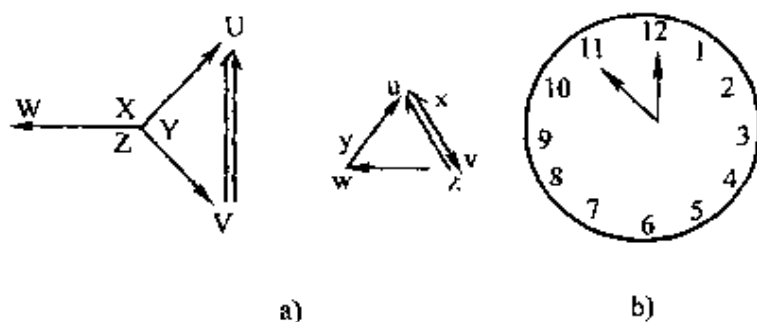


图 7-16 Y, d11 相量图及时钟表示

a) 相量图 b) 时钟表示

第三节 变压器运行维护

为保证变压器能安全可靠的运行，当变压器发生异常情况时，能及时发现，及时处理，将故障消除在萌芽状态。以防事故的发生与扩大。

一、运行中的检查

1. 监视仪表

变压器控制盘上的仪表，如电压表、电流表及功率表等指示着变压器的运行情况，电压质量等，因此必须经常监察，并应每小时抄表一次；在过负载下运行时则应半小时抄表一次。另外，还应测量变压器的三相负载是否平衡；检查电压是否经常超过允许范围；对变压器的温度和油温都应记录。

2. 现场检查

电力变压器应定时进行外部检查，每天应至少检查一次。如无固定值班人员的至少每个月检查二次。特殊情况下可增加检查的次数。

3. 定期检查的项目

1) 检查电力变压器的高、低压套管是否清洁，有无裂纹，放电痕迹及其他异常现象。

2) 油箱各部是否有渗油，漏油现象。

3) 检查油位是否正常，一般不应低于油面线，油色是否正常。

4) 检查油温是否正常，上层油温是否超过 85°C 。

5) 外壳接地是否良好，接地线有无断股和接触不良现象。

6) 变压器有无异常响声或响声较前增大。

7) 检查防爆管的玻璃是否完好，有无渗油、冒油等现象。

8) 检查气体继电器油面高度是否符合规定。

9) 呼吸的干燥剂是否失效。

10) 室内设备是否完整良好。

二、电力变压器运行的故障分析及排除方法

分析故障之前应了解的情况：

1) 变压器的运行记录，如负载性质及过载状况。

2) 故障前后的气候与环境，如有无雷、电与雨、雪等。

3) 继电器动作的性质，在哪一相动作。

4) 其他外界因素。



电力变压器的常见故障及检修方法见表 7-3。

表 7-3 电力变压器的常见故障及检修方法

| 故障现象 | 产生原因 | 检修方法 |
|-----------------|---|--|
| 1. 运行中有异常响声 | <ol style="list-style-type: none"> 1. 铁心片间绝缘损坏 2. 铁心的紧固件松动 3. 外加电压过高 | <ol style="list-style-type: none"> 1. 抽出器身检查片间绝缘电阻进行涂炭处理 2. 紧固松动的螺栓 3. 调整外加电压 |
| 2. 油温过高 | <ol style="list-style-type: none"> 1. 负载过大 2. 线圈短路 3. 缺油或油质不好 | <ol style="list-style-type: none"> 1. 减小负载 2. 停止运行, 吊心检修线圈 3. 加油或调换全部油 |
| 3. 油面不正常 | <p>油面升高: 内部温度过高引起</p> <p>油面过低:</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. 油箱漏油 2. 漏入水或油潮气侵入 | <p>按照油温过高故障所列方法检修</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. 修补漏油处, 加入新油 2. 找出漏水处或检查吸潮剂是否失效 |
| 4. 气体继电器动作 | <ol style="list-style-type: none"> 1. 信号指示未跳闸 2. 信号指示开关跳闸 | <ol style="list-style-type: none"> 1. 变压器内进入空气, 造成气体继电器误动作, 查出原因加以排除 2. 变压器内部有严重故障, 油温剧烈上升, 分解出大量气体, 使油快速流向油枕, 使气体继电器动作, 应查出故障加以处理 |
| 5. 变压器着火 | <ol style="list-style-type: none"> 1. 高、低压线圈层间短路 2. 严重过载 3. 套管破裂, 油在闪络时流出来, 引起顶盖着火 | <ol style="list-style-type: none"> 1. 吊出铁心, 局部处理或重绕线圈 2. 减小负载 3. 调换套管 |
| 6. 高、低压线圈间或对地击穿 | <ol style="list-style-type: none"> 1. 变压器受大气过电压 2. 绝缘油受潮 | <ol style="list-style-type: none"> 1. 调换线圈 2. 对绝缘油进行干燥处理 |

第四节 特殊用途的变压器

一、自耦变压器

如图 7-17 所示是一种自耦变压器，其结构特点是二次绕组是一次绕组的一部分，至于一次、二次电压之比和电流之比也是：

$$U_1/U_2 = N_1/N_2 = K_V$$

$$I_1/I_2 = N_2/N_1 = 1/K_V = K_I$$

实验室中常用的调压器就是一种可改变二次侧匝数的自耦变压器，一般绕组做成圆形。调节器有三相和单相两种。自耦变压器不允许作为安全变压器使用，因为高低压绕组有电方面的连通。

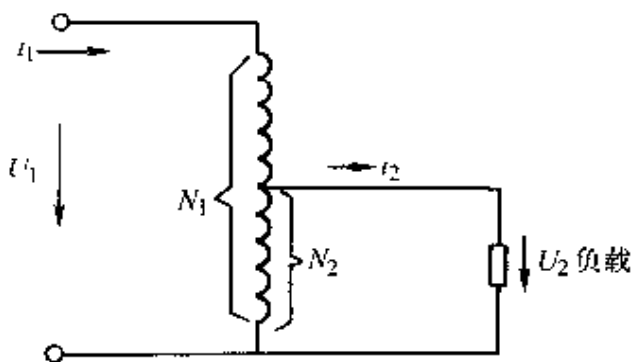


图 7-17 自耦变压器

二、互感器

1. 电流互感器

电流互感器是根据变压器原理制成的，主要用来将大电流转换为一定数值的小电流，一般为 5A 或 1A，以供测量和继电保护之用。电流互感器的接线如图 7-18 所示，一次侧的匝数很少（只有一匝或几匝），串联在被测电路中。二次侧的匝数较多，与安培计、其他仪表或继电器线圈相连接。

根据变压器原理可认为

$$I_1/I_2 = N_2/N_1 = K_I$$

$$I_1 = (N_2/N_1) I_2 = K_I I_2$$

式中 K_I 是电流互感器的电流比

利用电流互感器可将大电流变换成小电流，安培计的读数 I_2 乘上电流比 K_I 即为被测的大电流 I_1 。常用的电流比有 10/5、20/5、30/5 等，一次侧电流范围为 10 ~ 2500A。如图 7-19 所示为



几种电流互感器的外形结构。型号意义见表 7-4，主要参数见表 7-5。

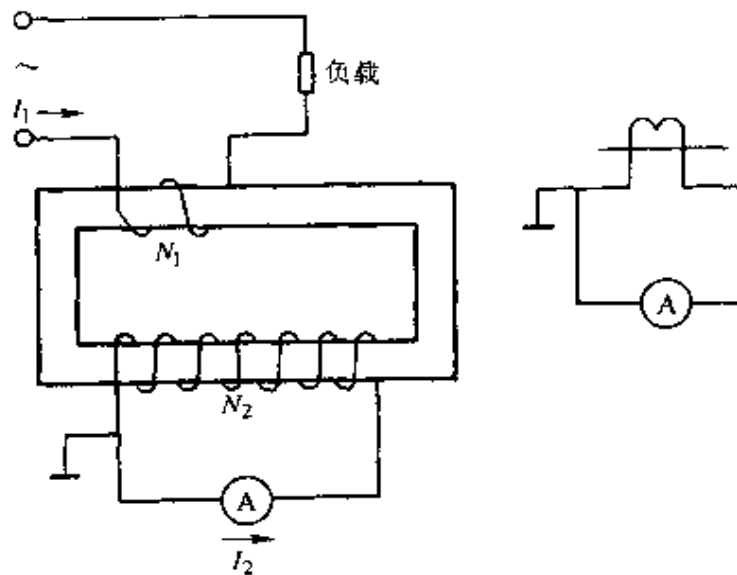


图 7-18 电流互感器的接线

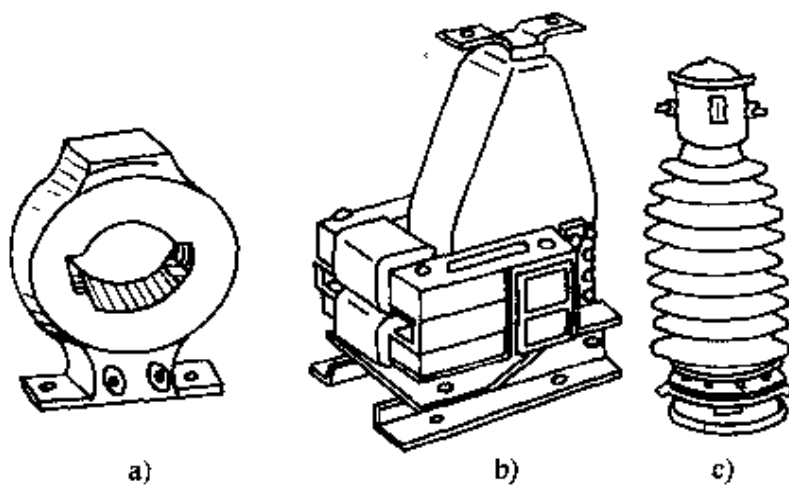


图 7-19 几种电流互感器的外形结构

a) 干式 b) 浇注绝缘式 c) 油浸式

测流钳是电流互感器的一种变形，它的铁心如同一钳，用弹簧压着，测量时将钳口压开而引入被测导线。这时该导线就是一次侧，二次侧绕在铁心上并与安培计接通，这样不断开要测电路，而将一次侧串接进去。

表 7-4 电流互感器的型号意义

| 第一个字母 | | 第二个字母 | | 第三个字母 | | 第四个字母 | | 第五个字母 | |
|-------|-------|-------|------|-------|-------|-------|------|-------|------|
| 字母 | 意义 | 字母 | 意义 | 字母 | 意义 | 字母 | 意义 | 字母 | 意义 |
| L | 电流互感器 | A | 穿墙式 | C | 瓷绝缘 | B | 保护级 | D | 差动保护 |
| | | B | 支撑式 | G | 改进过 | D | 差动保护 | | |
| | | C | 瓷箱式 | K | 塑料外壳式 | J | 加大容量 | | |
| | | D | 单匝式 | J | 塑脂浇法 | Q | 加强式 | | |
| | | F | 多匝式 | M | 母线式 | | | | |
| | | J | 接地保护 | Z | 浇注绝缘 | | | | |
| | | M | 母线式 | W | 户外式 | | | | |
| | | N | 支柱式 | | | | | | |
| | | Q | 线圈式 | | | | | | |
| | | R | 装入式 | | | | | | |
| Y | 低压式 | | | | | | | | |

表 7-5 电流互感器的主要参数

| 型号 | 额定电 流比 | 级次 组合 | 二次额定负荷 ($\cos\phi = 0.8$)/ Ω | | | | 1s 热稳定倍数 | 动稳定倍数 | 10%倍数 | |
|----------|-----------|----------|--|-----|-----|--------------|---------------|-----------|-------|--------------|
| | | | 0.5 级 | 1 级 | 3 级 | D 级 | | | | |
| LDZ1—10 | 600 | 0.5/3 | 0.4 | 0.4 | 0.6 | 50 | 90 | 15(3级) | | |
| | 800 | | | | | | | | | |
| | 1000/5 | | | | | | | | | |
| LDZ1—10 | 600 | 0.5/3 | 0.4 | 0.4 | 0.6 | 65(600、800A) | 120(600、800A) | 15(3级) | | |
| | 800 | | | | | | | | | |
| | 1000 | | | | | | | | | |
| | 1500/5 | | | | | | | | | |
| LDZJ1—10 | 300 | 0.5/3 | 0.8 | 1.2 | 1 | 1.6 | 80(300A) | 140(300A) | | |
| | 400 | | | | | | | | | |
| | 500 | | | | | | | | | |
| LDZJ1—10 | 600 | 0.5/D | 1.2 | 1.6 | 1.2 | 1.6 | 60(500A) | 110(500A) | | |
| | 800 | | | | | | | | | |
| | 1000 | D/D | | | | | | | 50 | 90(600~1500) |
| | 1200 | | | | | | | | | |
| | 1500/5 | | | | | | | | | |



使用电流互感器时应注意：

1) 二次侧电路不允许断开，如果断开，一方面会使铁心发热到不能允许的程度；二是电压过高。

2) 二次侧及电流互感器的铁心一端必须可靠接地。

3) 连接时要注意一、二次线圈接线端子的极性。一般用 L1 和 L2 标明一次线圈端子，用 K1 和 K2 标明二次线圈端子，L1 和 K1 属同一个极性，L2 和 K2 属同一个极性。

2. 电压互感器

电压互感器主要用它扩大交流电压表的量程，其工作原理与普通变压器空载情况相似，使用时，应把匝数较多的高压绕组并接在需要测量的电压供电线上，而匝数较少的低压绕组与电压表相连。如图 7-20 所示。

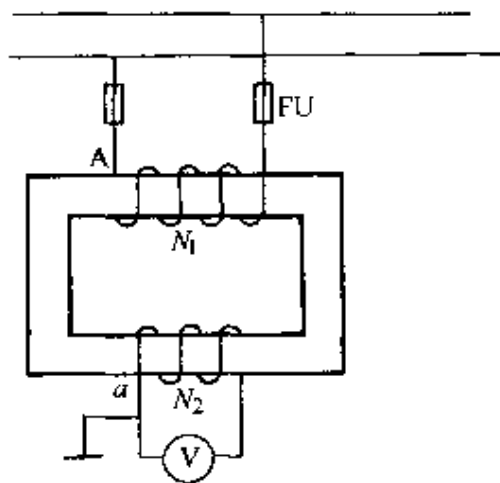


图 7-20 电压互感器

由此可知，高压线路的电压等于二次侧所测得的电压与变压器电压比的乘积。电压表的刻度就可按电压互感器高压侧的电压标出，这样，就不必经过中间运算，而直接从表中读出高压线路的电压值。

通常电压互感器二次侧的额定电压均设计同一标准值为 100V，电压比可为 6000/100、10000/100 等。如图 7-21 所示为几种电压互感器的外形结构，型号意义见表 7-6，主要参数见表 7-7。

使用电压互感器时应注意：

1) 工作时二次侧不得短路。

2) 电压互感器铁壳及二次侧的一端都必须接地。如不接地，万一高低压绕组间的绝缘损坏，则低压绕组和测量仪表对地将出现一个高电压，这对值班人员来说是非常危险的。

3) 电压互感器一、二次侧应装设熔断器作为短路保护，同

时其一次侧应装设隔离开关作为安全检修用。

4) 连接时要注意一、二次线圈接线端子的极性。一般用 v 、 v' 标明一次线圈端子，用 u 、 u' 标明二次线圈端子， v 和 u 属同一个极性， v' 和 u' 属同一个极性。

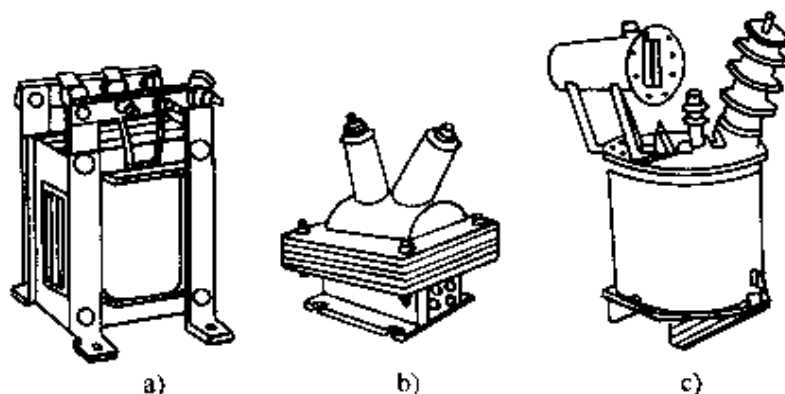


图 7-21 几种电压互感器的外形结构
a) 干式 b) 浇注绝缘式 c) 油浸式

表 7-6 电压互感器型号意义

| 第一个字母 | | 第二个字母 | | 第三个字母 | | 第四个字母 | |
|-------|-------|-------|-----|-------|-------|-------|----------------|
| 字母 | 意义 | 字母 | 意义 | 字母 | 意义 | 字母 | 意义 |
| J | 电压互感器 | D | 单相 | J | 油浸式 | Z | 有形接线补偿线 |
| | | S | 三相 | C | 瓷箱式 | J | 接地保护 |
| | | C | 串级式 | Z | 浇注式 | W | 三线圆三相三柱旁轭式铁心结构 |
| | | | | G | 干式 | | |
| | | | | R | 电容分压式 | | |

表 7-7 电压互感器主要参数

| 型号 | 额定电压/V | | | 额定容量/VA ($\cos\phi = 0.8$) | | | 最大容量/VA | 接线方式 | 外形尺寸 宽×高×深/mm |
|---------|-----------------|----------------|------|---------------------------------|----|-----|---------|--------|------------------|
| | 一次绕组 | 二次绕组 | 辅助绕组 | 0.5 | 1 | 3 | | | |
| JDZ-6 | 6000 | 100 | | 50 | 80 | 200 | 300 | | 188×196×274 |
| JDZ1-6 | 6000 | 100 | | | | | | | 206×192×264 |
| JDZ2-6 | 6000 | 100 | | 50 | 80 | 200 | 400 | 1/1-12 | 208×234×318 |
| JDZ1-10 | $1000/\sqrt{3}$ | $100/\sqrt{3}$ | | | | | | | 214×294×314 |

三、电焊机

1. 交流电焊机的原理

单相交流弧焊机（电焊变压器）具有结构简单（没有旋转部分），使用年限长、维护方便、效率高、节省电能和材料、焊接时不产生磁偏吹等优点，因此得到广泛应用。如图 7-22 所示是交流弧焊机的原理图。

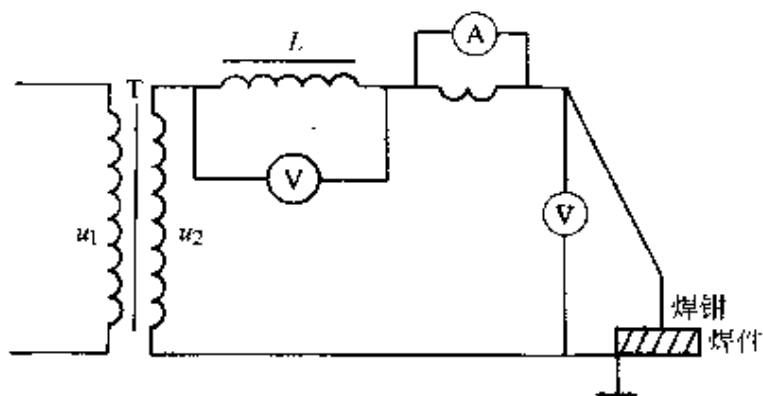


图 7-22 交流弧焊机的原理图

它由变压器 T、电抗器 L 、引线电缆及焊钳等组成。变压器的作用是将电网电压降到 60 ~ 70V 的低电压，供安全操作，电抗器 L 用来调节焊接电流。当焊条接触焊件的瞬间，焊钳与焊件之间的电压由 60 ~ 70V 急速下降到零，这时电源变压器、焊钳、焊件和电抗器组成一闭合电路。电抗器起限流作用。电压与电流间的关系如图 7-23 所示，称为交流弧焊机的下降外特性。当焊条以均匀缓慢的速度离开焊件约 5mm 左右时应能起弧进行焊接，这时焊钳与焊件间的电压只有 20 ~ 30V。当停止焊接时，电压即回升到 60 ~ 70V。

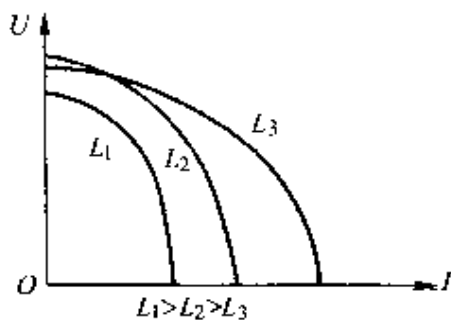


图 7-23 交流弧焊机的下降外特性

要改变焊接电流大小，应该改变电抗器的感抗，通常可调节

电抗器的空气隙长度或其线圈匝数来实现，电流随着电抗器空气隙的增长而增大。

2. 常用的三种不同结构形式电焊变压器简单的工作原理

1) BX1 系列交流电焊机（动铁式）。它是有三个铁心柱的单相变压器，中间铁心柱是可以移动的，两侧为固定的主铁心，如图 7-24a 所示。一次绕组绕在一个主铁心柱上；二次绕组分为两部分，一部分绕在一次绕组外层，另一部分兼作电抗线圈绕在另一个主铁心柱上，两者串联，如图 7-24b 所示。调换二次绕组接线端子上连接片的位置，实现改变二次绕组匝数，可以对焊接电流作粗调节。通过手轮传动将铁心移入时，漏磁通增加，漏抗增大，焊接电流变小。反之漏磁通减小，漏抗变小，焊接电流增大。

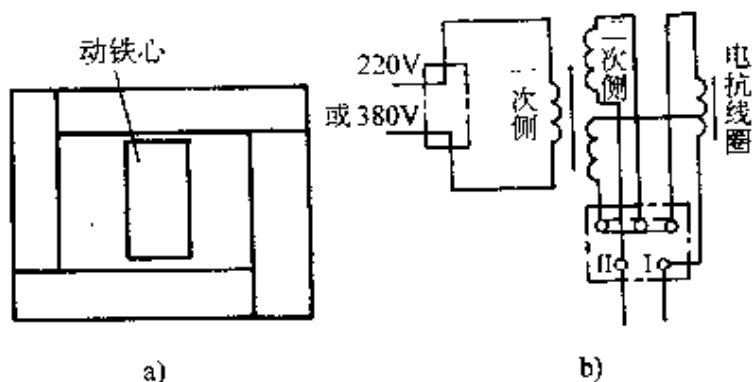


图 7-24 BX1 系列交流电焊机铁心结构和线圈接线图
a) 铁心结构 b) 线圈接线图

2) BX2 系列交流电焊机（带电抗器）。它是带有电抗器的单相变压器，电抗器铁心与变压器铁心装在一起，有一共同的铁轭，如图 7-25a 所示。一次与二次绕组绕成两个筒形，装在两个铁心柱上，电抗器线圈在上部。二次绕组串联着一个可变的电抗器，电抗器的动铁心可用手柄移动，铁心移出时，气隙增大，电抗减小，电焊工作电流增大，反之电流减小。其接线如图 7-25b 所示。

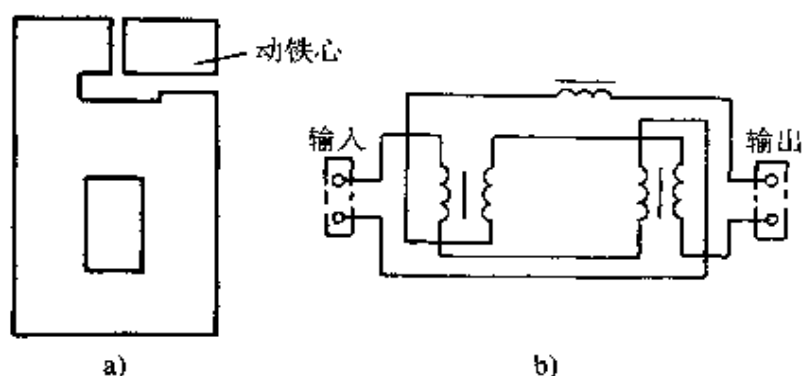


图 7-25 BX2 系列交流电焊机铁心结构和线圈接线图
a) 铁心结构 b) 线圈接线图

3) BX3 系列交流电焊机（俗称动圈式交流电焊机）。它的变压器同 BX1 和 BX2 系列电焊机变压器的主要区别仅在于改变漏抗的方法不同，它是通过改变与一、二次绕组相对位置来实现的。动圈式电焊变压器的结构如图 7-26 所示。其一次绕组是固定的，二次绕组是可移动的。两绕组间的距离不同，漏抗也不同。绕组间距离最大时，空间漏磁最大，漏抗最大，这时空载输出电压降低，而焊接电流最小；当两绕组接近时，空载输出电压升高，焊接电流最大。

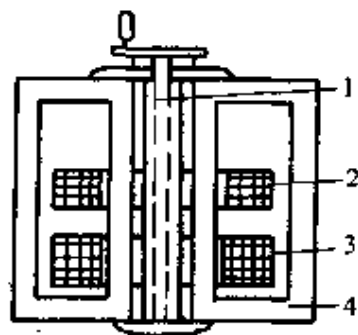


图 7-26 动圈式系列交流电焊机结构示意图
1—一次绕组调节机构
2—可动的一次绕组
3—固定的一次绕组
4—铁心

常用交流电焊机变压器的技术参数见表 7-8。

3. 直流弧焊机

与交流弧焊机相比较，具有容易引燃（起弧），电弧稳定，焊接质量可靠，能焊接多种焊条等优点，直流弧焊机有两种类型，一种是旋转式，另一种硅整流式直流弧焊机（即弧焊整流器）。

(1) 旋转式直流弧焊机是由一台直流弧焊发电机和一台三相异步电动机组成的，两者装于同一轴上，构成同轴变流机组，它

具有调节装置及指示装置。调节装置用以获得所需的输出范围。

表 7-8 常用交流电焊机变压器型号和基本技术数据

| 型 号 | | BX1—300 | | BX2—500 | | BX3—300 | |
|--------------------|------|-----------|-----------|-----------|-----|----------|-----------|
| 弧焊变压器类别 | | 动铁式 | | 同体式 | | 动圈式 | |
| 输入电压/V | | 220 或 380 | | | | | |
| 接法 | | I | II | | | I | II |
| 空载电压/V | | 70 | 60 | 60 | | 75 | 60 |
| 电流调节范围/A | | 50 ~ 180 | 160 ~ 450 | 150 ~ 700 | | 40 ~ 125 | 115 ~ 400 |
| 额定负载持续率 (%) | | 65 | | 60 | | 60 | |
| 额定焊接电流/A | | 330 | | 500 | | 300 | |
| 额定工作电压/V | | 30 | | | | | |
| 输入电流 /A | 220V | 78 | | 142 | | 93.5 | |
| | 380V | 45 | | 82 | | 54 | |
| 效率 (%) | | 80 | | 86 | | 83 | |
| 功率因数 λ | | 0.5 | | 0.52 | | 0.53 | |
| 不同负载持续率时 焊接电流/A | | 100 | 265 | 100 | 400 | 100 | 232 |
| | | 65 | 330 | 65 | 500 | 65 | 300 |
| | | 50 | 450 | 50 | 700 | 50 | 400 |

注：负载持续率是指焊接时间与工作时间的比值。所谓工作时间，即焊接时间与非焊接时间之和（风机不停）。如焊接电流小于额定焊接电流，则负载持续率可适当提高。

应用较广的弧焊整流机 Z×G—700 型，其空载电压为 70V，工作电压为 20~70V，焊接电流调节范围为 15~300A。由三相变压器、三相磁放大器（饱和电抗器和硅整流器组）、输出电抗器、通风机及控制系统组成。

(2) 整流式直流弧焊机是一种将交流电经过二极管整流变成直流电的一种弧焊机。一般都采用硅二极管整流。它与旋转式直流弧焊机相比，具有体积小、效率高、工作可靠及维护简单等优点。常用的有以下两种类型。



- 1) ZXG 系列整流式直流弧焊机。
- 2) ZX7 系列晶闸管逆变直流弧焊机，是一种新型的高效节能直流焊接电源。

它们的常用技术参数见表 7-9。

表 7-9 常用整流式直流弧焊机的技术参数

| 型 号 | | ZXG—300 | ZXG—500 | ZX7—315 | ZX7—400 |
|--------|------------|----------|---------|----------|---------|
| 输 出 | 工作电压/V | 25 ~ 30 | | 25 ~ 40 | |
| | 空载电压/V | 70 | | 最高 80 | |
| | 电流调节范围/A | 15 ~ 300 | | 25 ~ 500 | |
| | 额定焊接电流/A | 300 | | 500 | |
| | 负载持续率(%) | 100 | 60 | 100 | 60 |
| | 焊接电流/A | 230 | 300 | 387 | 500 |
| | 额定负载持续率(%) | 60 | | 60 | |
| 输 入 | 电源电压/V | 380 | | 380 | |
| | 额定输入电流/A | 32 | 58 | 26.6 | 32 |
| | 额定输入容量/kVA | 21 | 38 | 17.5 | 21 |
| | 相数 | 3 | | 3 | |
| | 频率/Hz | 50 | | 50 | |

4. 交流电焊机的检修

对交流电焊机进行检修，要会正确拆装，明确检修项目，掌握故障排除方法和检修后的试运行。

1) 拆卸焊机时如在运行中，应首先切断电源。拆除电源线，拆卸各紧固螺钉、上盖及手轮外壳等，收集好螺母、螺钉和其他部件。

2) 对焊机内部进行清理，除去灰尘和接线处锈蚀，并紧固接线螺钉。

3) 对照实物分析焊机结构形式，弄清一、二次绕组电路接线，指示装置、动铁心调节装置、动铁心、铁心及输出接线板的



连接方法等。

4) 检查绝缘时应测量绕组绝缘电阻是否良好, 绝缘电阻值不低于 $0.5\text{M}\Omega$, 检查各绕组的连接线紧固状态等。

5) 检查传动机构位置, 传动是否正常。

6) 焊机装配工序与拆卸工序相反。

7) 修理完毕后, 检查零部件安装是否齐全, 然后按不同的工作电流进行试焊。

8) 交流电焊机的常见故障及排除方法见表 7-10。

表 7-10 交流电焊机的常见故障及排除方法

| 故障 | 产生原因 | 处理方法 |
|-----------|--|---|
| 焊机不起弧 | <ol style="list-style-type: none"> 1. 电源没有电压 2. 焊机接线错误 3. 焊机绕组有短路或断路 4. 电源电压过低 | <ol style="list-style-type: none"> 1. 检查开关和熔断器及电源电压 2. 检查一、二次的接线是否正确 3. 检查并修理绕组 4. 调整电源电压 |
| 焊机绕组过热 | <ol style="list-style-type: none"> 1. 焊机过热 2. 焊机绕组短路 3. 通风机工作不正常 | <ol style="list-style-type: none"> 1. 按规定的负载持续率下的焊接电流值使用 2. 重绕绕组更换绝缘 3. 检查通风机是否反转或停止运行 |
| 焊机铁心过热 | <ol style="list-style-type: none"> 1. 电源电压超过额定电压 2. 铁心硅钢片短路 3. 铁心夹紧螺杆及夹件的绝缘损坏 4. 重绕一次绕组后, 绕组匝数不足 | <ol style="list-style-type: none"> 1. 用电压表检查电源电压值并与焊机标牌上的规定数值相对照 2. 清洗硅钢片并重刷绝缘漆后重装 3. 更换绝缘材料 4. 检查绕组匝数并验算各项电气技术数据 |
| 熔断器经常熔断 | <ol style="list-style-type: none"> 1. 电源线有短路或对地短路 2. 一次绕组或二次绕组短路 | <ol style="list-style-type: none"> 1. 检查电源线并修理故障 2. 检查绕组情况, 修理或重绕绕组 |
| 焊机振动或响声过大 | <ol style="list-style-type: none"> 1. 动铁心上的螺杆和拉紧弹簧松动或脱落 2. 传动动铁心或绕组的机构有故障 3. 绕组短路 | <ol style="list-style-type: none"> 1. 加固动铁心及拉紧弹簧 2. 检修传动机构如手柄、螺杆、齿轮和电动机等 3. 更换绝缘, 重绕绕组 |



(续)

| 故障 | 产生原因 | 处理方法 |
|----------|---|---------------------------------------|
| 焊接电流不能调节 | 1. 调节机构上油垢太多或已锈住 2. 移动轨道上有障碍 3. 调节机构已磨损 | 1. 清洗或除锈 2. 消除障碍物 3. 检修或更换磨损的零件 |

第五节 小型变压器的设计及绕制

一、小型单相变压器的设计

自制小型单相变压器可按下面的方法和步骤进行设计计算，对损坏的变压器维修时重绕或改绕，也可参照本方法。

设计的出发点是负载用电的需要，即应设计出电压、容量满足需要和尺寸、参数（如铁心截面、窗口尺寸、匝数、线径等）确定的变压器。

1. 变压器的视在功率和一次输入电流

变压器输出总视在功率 S_0 为

$$S_0 = U_2 I_2 + U_3 I_3 + \cdots + U_n I_n$$

式中， U_2, U_3, \cdots, U_n 为各二次绕组的电压有效值（V）； I_2, I_3, \cdots, I_n 为各二次绕组的电流有效值。

因变压器负载时存在着各种损耗（如铁耗、铜耗），故其输入视在功率 S_i 总是大于 S_0 。 S_i 可用下式计算：

$$S_i = S_0 / \eta$$

式中， η 为变压器的效率。小型变压器的效率可按表 7-11 选取。

表 7-11 变压器的效率

| 输出视在功率 S_0/VA | < 10 | 10 ~ 30 | 30 ~ 80 | 80 ~ 200 | 200 ~ 400 | 400 以上 |
|------------------------|------|---------|---------|----------|-----------|--------|
| 效率 η | 0.6 | 0.7 | 0.8 | 0.85 | 0.9 | 0.95 |

一次绕组的输入电流 I_1 （A）为

$$I_1 = (1.1 \sim 1.2) S_i / U_1$$

式中， U_1 为一次的电压，即电源电压 (V)。(1.1~1.2) 为考虑到变压器空载励磁电流大小的经验系数。

2. 变压器的结构形式

小型变压器的铁心结构，一般多采用壳式。其基本尺寸如图 7-27 所示。

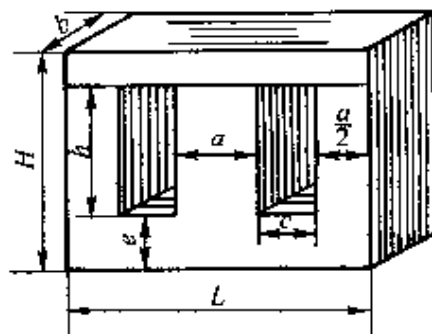


图 7-27 变压器的尺寸

小型变压器常用的标准铁心硅钢片有两种：一种是 GEI 型，窗口较小；一种是 KEI 型，窗口较大。用前者制作变压器时，用铜少、用铁多、价廉，但体积大；用后者则正好相反。这两种铁心硅钢片的规格如表 7-12 所示。

表 7-12 小型变压器的标准铁心硅钢片

| 硅钢片型号 | 规格/mm | | | | | | | 窗口面积 | | | | |
|--------|-------|-------|------|-----|----|------|-----------|------|------|----|------------------|-------|
| | L | H | h | c | a | e | 标准化叠片厚度 b | | | | /cm ² | |
| GEI—10 | 36 | 31 | 18 | 6.5 | 10 | 6.5 | 12.5 | 15 | 17.5 | 20 | 1.17 | |
| GEI—12 | 44 | 38 | 22 | 8 | 12 | 8 | 15 | 18 | 21 | 24 | 1.76 | |
| GEI—14 | 50 | 43 | 25 | 9 | 14 | 9 | 18 | 21 | 24 | 28 | 2.25 | |
| GEI—16 | 56 | 48 | 28 | 10 | 16 | 10 | 20 | 24 | 28 | 32 | 2.8 | |
| GEI—19 | 67 | 67.5 | 33.5 | 12 | 19 | 12 | 24 | 28 | 32 | 38 | 4.02 | |
| GEI—22 | 78 | 67 | 39 | 14 | 22 | 14 | 28 | 33 | 38 | 44 | 5.46 | |
| GEI—26 | 94 | 81 | 47 | 17 | 26 | 17 | 33 | 39 | 45 | 52 | 7.99 | |
| GEI—30 | 106 | 91 | 53 | 19 | 30 | 19 | 38 | 45 | 56 | 60 | 10.07 | |
| GEI—35 | 123 | 105.5 | 61.5 | 22 | 35 | 22 | 44 | 52 | 60 | 70 | 13.52 | |
| GEI—40 | 144 | 124 | 72 | 26 | 40 | 26 | 50 | 60 | 70 | 80 | 18.7 | |
| KEI—10 | 40 | 35 | 25 | 10 | 10 | 5 | 8 | 10 | 12 | 16 | 20 | 2.5 |
| KEI—12 | 48 | 42 | 30 | 12 | 12 | 6 | 10 | 12 | 16 | 20 | 25 | 3.6 |
| KEI—16 | 64 | 56 | 40 | 16 | 16 | 8 | 12 | 16 | 20 | 25 | 32 | 6.4 |
| KEI—20 | 80 | 70 | 50 | 20 | 20 | 10 | 16 | 20 | 25 | 32 | 40 | 10 |
| KEI—25 | 100 | 87.5 | 62.5 | 25 | 25 | 12.5 | 20 | 25 | 32 | 40 | 50 | 15.62 |
| KEI—32 | 128 | 112 | 80 | 32 | 32 | 16 | 25 | 32 | 40 | 50 | 63 | 25.6 |
| KEI—40 | 160 | 140 | 100 | 40 | 40 | 20 | 32 | 40 | 50 | 63 | 80 | 40 |



3. 变压器铁心柱截面积 S

铁心柱截面积 S 与变压器总输出视在功率有关, 可由下式确定:

$$S = K_0 \sqrt{S_0}$$

式中, K_0 为经验系数, 可按表 7-13 选取。

表 7-13 经验系数 K_0 的参考值

| S_0/VA | 0~10 | 10~50 | 50~500 | 500~1000 | 1000 以上 |
|-----------------|------|--------|---------|----------|---------|
| K_0 | 2 | 2~1.75 | 1.5~1.4 | 1.4~1.2 | 1 |

根据计算所得的 S 值, 可由 $S = a \times b$ 和 $b = (1 \sim 2)a$ 的关系确定铁心宽 a 和铁心净叠厚 b 。其中 a 可根据小型变压器标准铁心硅钢片尺寸选用。

由于铁心是用涂绝缘漆的硅钢片叠成, 考虑到漆膜与叠片间间隙的厚度, 故铁心的实际厚度为 $b' = b/0.9 \approx 1.1b$

4. 线圈匝数计算

变压器绕组感应电动势 E 的计算公式为

$$E = 4.44fNB_m S \times 10^{-4}$$

则每伏匝数 N_0 为

$$N_0 = N/E = 10^4 / (4.44fB_m S)$$

式中, S 为铁心柱的截面积 (cm^2); B_m 为铁心的磁感应强度 (T), 不同的硅钢片, 所允许的 B_m 值也不同, 通常冷轧硅钢片 B_m 可取 1.2~1.4T; 热轧硅钢片 B_m 可取 1.0~1.2T; 电动机用热轧硅钢片 B_m 可取 0.5~0.7T; 而对于晶粒取向冷轧硅钢片 B_m 可取 1.6~1.8T。

根据计算所得 N_0 值, 可算得每个绕组的匝数, 即

$$N_1 = U_1 N_0; N_2 = KN_0 U_2; N_3 = KN_0 U_3 \dots$$

式中, K 为补偿三次绕组负载时本身的电压降而设, K 的取值范围约为 1.05~1.15, 变压器的容量越小, K 应取得越大。

5. 计算导线直径

$$d = \sqrt{4I/(\pi j)} = 1.13 \sqrt{I/j}$$

式中， I 为绕组的电流 (A)。 j 为导线允许电流密度 (A/mm^2)。

铜导线一般选用 $j = (2 \sim 3) A/mm^2$ ，变压器短时工作时可取 $j = (4 \sim 5) A/mm^2$ ，如果设计的是稳压电源的电源变压器，则电流密度可取小些。

绕组常用的漆包线有 QZ 型和 QQ 型高强度漆包线。导线越粗，漆包线漆层越厚，通常线径 $\phi 0.2mm$ 以下漆层厚 $0.03 \sim 0.04mm$ ； $\phi 0.2 \sim 0.5mm$ 为 $0.05mm$ ； $\phi 0.50 \sim 1mm$ 为 $0.06mm$ ； $\phi 1mm$ 以上为 $0.07mm$ 。具体的导线规格和带漆膜后的线径 d' 可查阅第五章。

6. 线圈结构和窗口的核算

根据前面所确定的铁心截面积和铁心柱宽，预选出标准的铁心硅钢片后，窗口的高 h 和宽度 c 也都定下来了。至此也求得了各绕组的匝数，导线规格，再考虑到导线的排列和绝缘结构中的绝缘材料尺寸，即可核算铁心的窗口是否能容纳所有的线圈。

容量较小的小型变压器常采用无框骨架，无框骨架也称线圈底筒。线圈的结构如图 7-28 所示。

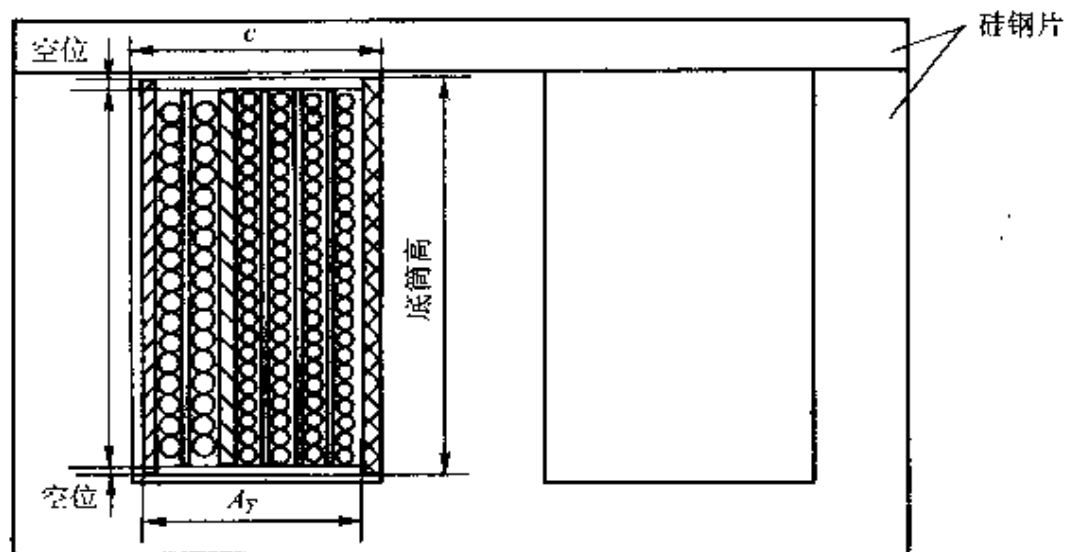


图 7-28 小型变压器线圈结构图



每层可绕的匝数

$$n = h_m / (K_v d')$$

式中： h_m 为线圈实际绕制高度（底筒高减两端空位）； K_v 为导线排绕系数，导线直径小于0.5mm时取1.1；直径大于0.5mm时取1.05。 d' 为该绕组所用导线带漆膜后的线径。

进一步可算得每个绕组的层数为

$$W = N/n$$

线圈底筒可用1~2.5mm厚的弹性纸或环氧板制作，必要时也可在底筒上再包上两层0.1mm厚的聚酯薄膜。各绕组的层间绝缘可根据工作电压的大小采用0.05mm或0.10mm聚酯薄膜或0.12mm的电缆纸或采用其他如电话纸、透明纸、青壳纸等。各绕组的外层绝缘也可用上述材料包2~5层。（导线越粗，层间绝缘也应越厚）。

为避免电子设备的输出信号有交流声的干扰，在变压器的一次、二次线圈之间可加一层静电屏蔽。可采取单绕一层线圈，一头空置，一头接地作为屏蔽层；也可用铜箔等金属材料在一、二次侧间绕一层，两端留缝隙相互绝缘，一端引出接地作屏蔽层。屏蔽层外也要加绝缘层。

每个绕组厚度为

$$A = W(d' + \delta) + r$$

式中， δ 为层间绝缘的厚度（mm）； r 为绕组间绝缘的厚度（mm）。

最后可算出全部绕组的总厚度

$$A_{\Sigma} = (1.1 \sim 1.15)(\theta + A_1 + A_2 + \dots + A_n)$$

式中， θ 为骨架本身的厚度。

显然，若计算所得的总厚度 A_{Σ} 小于铁心窗口宽度 c ，则设计可行，否则，方案不可行，应调整设计。调整思路有二：一是加大铁心厚 b ，使铁心截面积 S 加大，以减少绕组匝数。但经验表明 b 为 $(1 \sim 2)a$ 为较合适的尺寸配合，故不能任意增大叠厚 b 。二是重新选取大一些的铁心型号按原法计算和核算直到合适。

二、小型单相变压器设计举例

一台控制变压器的原始额定数据如图 7-29 所示，图中数值均为有效值，根据给定条件，变压器输出总视在功率为

$$\begin{aligned} S_0 &= U_2 I_2 + U_3 I_3 + U_4 I_4 \\ &= (12 \times 0.8 + 3.6 \times 2.5 + 6.3 \times 0.3) \text{VA} \\ &= 101.5 \text{VA} \end{aligned}$$

查表 7-11 得 $\eta = 0.85$ ，则一次侧输入的视在功率为

$$S_1 = S_0 / \eta = 101.5 / 0.85 \text{VA} = 119.4 \text{VA}$$

因而一次绕组的输入电流为

$$\begin{aligned} I_1 &= (1.1 \sim 1.2) S_1 / U_1 \\ &= [(1.1 \sim 1.2) \times 119.4 / 380] \text{A} \\ &= (0.346 \sim 0.377) \text{A} \end{aligned}$$

取 $I_1 = 0.36 \text{A}$

由变压器输出总视在功率 S_0 ，从表 7-13 查得 $K_0 = 1.4$ ，故可求得铁心柱的截面积为

$$S = 1.4 \sqrt{101.5} \text{cm}^2 = 14.1 \text{cm}^2$$

由 $S = a \times b$ ； $b = (1 \sim 2) a$ 及查表 7-12，预选表 7-12 中所列的 GEL-30 型标准硅钢片，其有关尺寸如：铁心柱宽 $a = 30 \text{mm}$ ；窗口高度 $h = 53 \text{mm}$ ；窗口宽度 $c = 19 \text{mm}$ ；铁心的净叠厚 $b = S / a = 14.1 \times 10^2 / 30 \text{mm} = 47 \text{mm}$ 。

因此需 0.35mm 厚的硅钢片片数为 $47 / 0.35 \text{片} = 135 \text{片}$ ，（含有小数，不够一片算一片）。

铁心叠成后实际的厚度 $b' = 47 / 0.9 \text{mm} = 52.2 \text{mm}$ 取铁心的磁感受应强度 $B_m = 1 \text{T}$ ，则每伏匝数为

$$\begin{aligned} N_0 &= 10^4 / (4.44 f B_m S) = 10^4 / (4.44 \times 50 \times 1 \times 14.1) \text{匝/V} \\ &= 3.19 \text{匝/V} \end{aligned}$$

一次绕组的匝数为

$$N_1 = U_1 N_0 = 380 \times 3.19 \text{匝} = 1212 \text{匝}$$

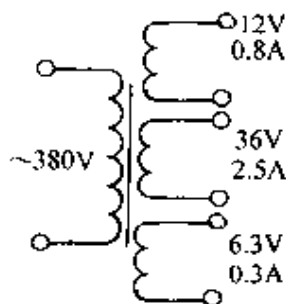


图 7-29 绕组的
给定数据



各二次绕组的匝数为

$$N_2 = KU_2 N_0 = 1.1 \times 12 \times 3.19 \text{ 匝} = 42 \text{ 匝}$$

$$N_3 = KU_3 N_0 = 1.1 \times 36 \times 3.19 \text{ 匝} = 126 \text{ 匝}$$

$$N_4 = KU_4 N_0 = 1.1 \times 6.3 \times 3.19 \text{ 匝} = 22 \text{ 匝}$$

取电流密度 $j = 2.5 \text{ A/mm}^2$ ，可求得一次绕组的导线直径为

$$d_1 = 1.13 \sqrt{I_1/j} = 1.13 \sqrt{0.36/2.5} \text{ mm} = 0.429 \text{ mm}$$

各二次绕组的线径为

$$d_2 = 1.13 \sqrt{I_2/j} = 1.13 \sqrt{0.8/2.5} \text{ mm} = 0.639 \text{ mm}$$

$$d_3 = 1.13 \sqrt{I_3/j} = 1.13 \sqrt{2.5/2.5} \text{ mm} = 1.13 \text{ mm}$$

$$d_4 = 1.13 \sqrt{I_4/j} = 1.13 \sqrt{0.3/2.5} \text{ mm} = 0.391 \text{ mm}$$

查手册漆包圆线线规表，分别得相近截面标准线规为

N_1 和 N_4 绕组都采用 QZ 型漆包圆线 $d_1 = d_4 = 0.44 \text{ mm}$ ， $d_1' = d_4' = 0.5 \text{ mm}$ ；

N_2 绕组采用 QZ 型漆包圆线 $d_2 = 0.64 \text{ mm}$ ， $d_2' = 0.72 \text{ mm}$ ；

N_3 绕组采用 QZ 型漆包圆线 $d_3 = 1.12 \text{ mm}$ ， $d_3' = 1.23 \text{ mm}$ 。

N_4 的匝数少，在此取 $d_4 = d_1$ ，这样可以减少导线规格，而对用线重量的增多很少。

绝缘骨架采用无框骨架，骨架高（即底筒高）应比铁心窗口高短约 2mm 左右；即底筒高为 51mm，两端空位取 2.5mm，则一次绕组每层可绕匝数为

$$\begin{aligned} n_1 &= h_m / (K_{v1} \times d_1') = (51 - 2 \times 2.5) / (1.1 \times 0.5) \text{ 匝/层} \\ &= 83 \text{ 匝/层} \end{aligned}$$

一次绕组的层数为

$$W_1 = N_1 / n_1 = (1212/83) \text{ 层} = 15 \text{ 层}$$

层间用 0.05mm 厚的聚酯薄膜绝缘，绕组外侧用 3 层 0.12mm 厚的青壳纸与二次绕组绝缘。故一次绕组厚度为

$$\begin{aligned} A_1 &= W_1 (d_1' + \delta_1) + r_1 = [15(0.5 + 0.05) + 3 \times 0.12] \text{ mm} \\ &= 8.61 \text{ mm} \end{aligned}$$

二次绕组 N_2 的每层匝数和层数为

$$n_2 = h_m / (K_{v2} d_2') = [(51 - 2 \times 2.5) / (1.05 \times 0.72)] \text{匝/层} \\ = 60 \text{匝/层}$$

$$W_2 = N_2 / n_2 = (42 / 60) \text{层} = 0.7 \text{层}$$

二次绕组 N_4 的每层匝数和层数为

$$n_4 = h_m / (K_{v4} d_4') = [(51 - 2 \times 2.5) / (1.1 \times 0.5)] \text{匝/层} \\ = 83 \text{匝/层}$$

$$W_4 = N_4 / n_4 = (22 / 83) \text{层} = 0.27 \text{层}$$

可见，二次绕组 N_2 和 N_4 可以共绕在同一层中，因只有一层，故无层间绝缘，绕组外侧用一层 0.12mm 厚的青壳纸绝缘，则绕组厚度为

$$A_2 = d_2' + r_2 = (0.72 + 0.12) \text{mm} = 0.84 \text{mm}$$

二次绕组 N_3 的每层匝数和层数为

$$n_3 = h_m / (K_{v3} d_3') = [(51 - 2 \times 2.5) / (1.05 \times 1.23)] \text{匝/层} \\ = 35 \text{匝/层}$$

$$W_3 = N_3 / n_3 = (126 / 35) \text{层} = 4 \text{层}$$

由于导线较粗，层间采用 0.10mm 的聚酯薄膜绝缘，绕组外侧用 2 层厚 0.12mm 厚的青壳纸绝缘，则绕组厚度为

$$A_3 = W_3 (d_3' + \delta_3) + r_3 = [4(1.23 + 0.10) + 2 \times 0.12] \text{mm} \\ = 5.56 \text{mm}$$

选用骨架本身厚 $\theta = 1 \text{mm}$ ，则所有绕组的总厚度为

$$A_\Sigma = 1.15(\theta + A_1 + A_2 + A_3) = 1.15(1 + 8.61 + 0.84 + 5.56) \text{mm} \\ = 18.41 \text{mm}$$

总厚度小于窗口宽度 (19mm)，故此方案可行的。

三、小型变压器的绕制

1. 绕制前的准备工作

1) 导线及绝缘材料的准备：根据设计结果，准备好合适的漆包线，通常使用 QZ 型高强度漆包线，其绝缘性能较好，耐压可达 300 ~ 500V。也可使用 Q 型普通漆包线，但其耐压较低，层

间绝缘要求较高。绝缘材料可选用电话纸、电缆纸、绘图纸、青壳纸、聚酯薄膜、塑料纸。通常层间绝缘厚度应按两倍层间电压的绝缘强度选用。对铁心绝缘及绕组间的绝缘，按两倍绕组电压考虑选用。裁剪绝缘材料时，宽度与铁心窗口高度 h 相等，长度应大于骨架或绕线心子的周长，还应考虑到绕组绕大后所需裕量，数量可根据变压器线匝层数确定。

2) 制作木心：为使骨架能平稳地围绕绕线机的转轴旋转，确保绕线质量，必须制作合适木心。通常用木材制作，也可用其他材料。其截面积 $a' \times b'$ 应比铁心柱截面积 $a \times b$ 略大，以方便插铁心片，木心高 h' 应比铁心窗高 h 大，可取 $h' \approx 1.3h$ ，木心中心孔直径 10mm，如图 7-30 所示。对小型变压器，当铁心柱宽较小（12mm 以下）时，木心无法钻直径 10mm 的孔，此时，必须车一细直径（ $\phi 4\text{mm}$ ）转轴，拧在绕线机转轴上，作为转轴的延伸，相应地，木心中心钻孔直径也应为 4mm，木心的边角用砂纸磨成圆角，以方便套进或抽出骨架。

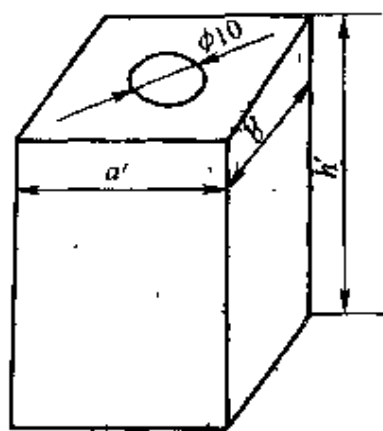


图 7-30 木心

3) 制作绕组骨架：1kVA 以下的变压器多采用无框骨架，如图 7-31 所示。一般用弹性纸制成。所用弹性纸的厚度 t 见表 7-14。

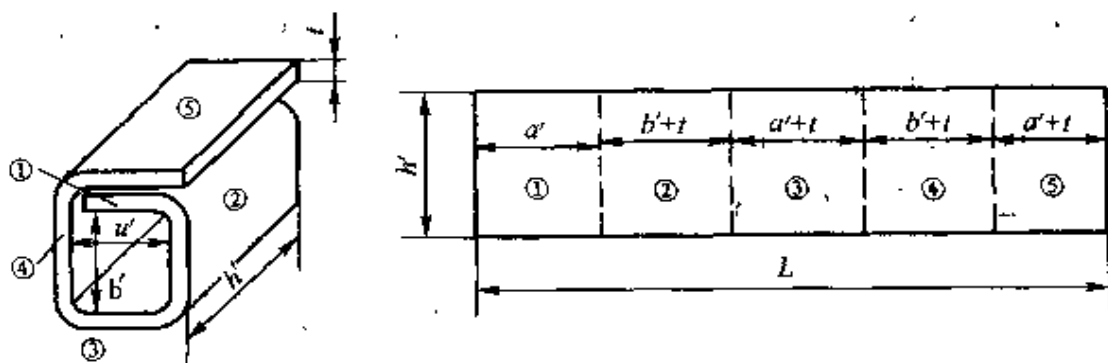


图 7-31 纸质无框骨架

表 7-14 制作骨架的弹性纸厚度

| | | | | |
|---------------|-----|-----|--------|------------|
| 变压器容量/VA | 30 | 50 | 300 以下 | 300 ~ 1000 |
| 弹性纸厚度 t /mm | 0.5 | 0.8 | 1.0 | 1.0 ~ 1.5 |

无框骨架的长度 h' 应比铁心窗高 h 稍短些 (通常短 2mm 左右), 骨架的边沿也必须平整垂直。弹性纸的长度 L 取为

$$L = 2(b' + t) + a' + 2(a' + t) = 2b' + 3a' + 4t$$

按图 7-31 中虚线用裁纸刀划出浅沟, 沿沟痕把弹性纸折成方形, 第 5 面与第 1 面重叠, 用胶水粘合。注意粘合面应在铁心柱宽 a 的一侧。如粘合在叠厚 b 的一侧, 会造成铁心两侧宽窄不一, 减少绕线层数。

容量较大或绝缘性能要求较高的变压器, 可采用有框活络骨架, 如图 7-32 所示。

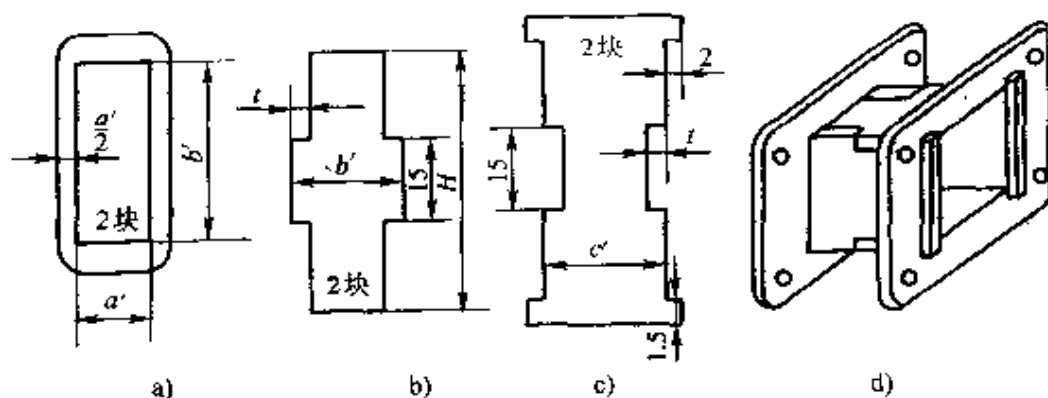


图 7-32 活络框架的结构

a) 上、下框板 b)、c) 夹板 (t 是夹板厚度) d) 框架

2. 绕制线圈

对线圈绕制的要求是: 绕组要紧, 即外一层要紧压在内一层上, 若是方形线包, 绕完后仍应保持方形; 绕线要密, 即同层相邻两根导线之间不得有空隙; 绕线要平, 即每层导线应排列整齐, 同层相邻导线严禁重叠。

1) 绕组首尾的固定: 起绕时, 用一绝缘带的折条, 套住导线引出头, 使绕上的导线压住折条, 绕过 7~8 圈后, 抽紧折条,

这样往后绕时，前面已绕的线就不会松散。同样，离绕组绕制结束还差7~8圈时，放上一绝缘折条，压紧折条继续绕至结束，将线尾插入折条折缝中，抽紧绝缘折条，线尾就固定了，如图7-33所示。

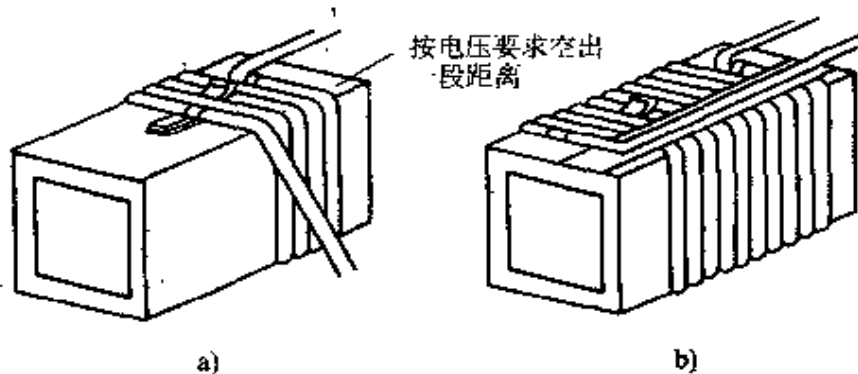


图 7-33 绕组首尾的固定
a) 首端固定 b) 末端固定

2) 绕线方法：对无框骨架在绕线中导线不可过于靠近骨架的边缘（应离骨架边缘约2~3mm）以防绕多层时漆包线滑出以及插铁心片时损伤导线绝缘；若采用有框骨架，导线要紧靠边框板，不留出空间。对无框骨架来说，边缘虽留有2~3mm的空位，但如果导线拽得过紧或稍不注意，边缘的绕线可能会崩塌，因此需特别小心。可以采用包边纸的办法来处理，具体做法是在绕至最后数十圈时，预垫一纸片（纸片应垫在图7-31所示的3或5面）绕完边缘最后一圈后，将此纸张折翻后压在新一层的线圈之下，即可防止边缘崩塌。

绕线的要领是：绕线时持线手应将导线逆着绕线前进方向向后拉约5°左右；并且随着绕线前进方向逐渐移动手的位置，持线的拉力要适当，视导线粗细而异，如图7-34所示。

3) 绝缘层的安放：每绕完一层导

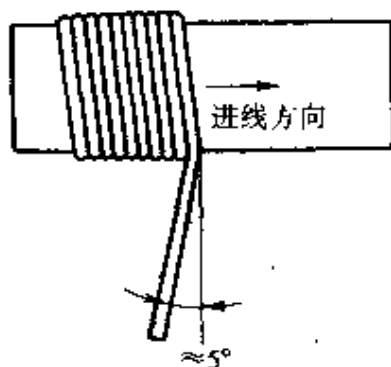


图 7-34 绕线过程的持线手法



线，应放入一层绝缘纸。注意安放绝缘纸必须从骨架所对应的铁心舌宽面开始放入，这样可少占铁心窗口位置。

4) 绕制顺序：按一次侧绕组、静电屏蔽层、二次绕组中电压较高绕组，二次绕组中电压较低绕组次序叠绕。各绕组间都要衬垫绝缘。最后包好整个绕组，以保证对铁心的绝缘。

5) 放置屏蔽层：屏蔽层可用厚约 0.1mm 的铜箔或铝箔制成，其宽度比骨架长度稍短 1~3mm，长度比一次侧绕组的周长短 5mm 左右，如图 7-35 所示，夹在一、二次侧绕组的绝缘垫层间，但不能碰到导线或自行短路，铜箔上焊接一根多股软线作为引出接地线。

6) 做好引出线：每个线圈绕最后几匝时，要注意留好引出线。当导线直径大于 0.2mm 时，可利用原导线绞合后，套上绝缘套管作引出线，如图 7-36 所示；当线径小于 0.2mm 时，应采用多股软线焊接后引出，引出线的套管应按耐压等级选用。

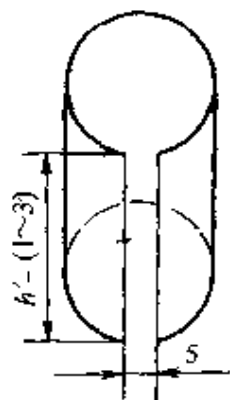


图 7-35 静电屏蔽的形状

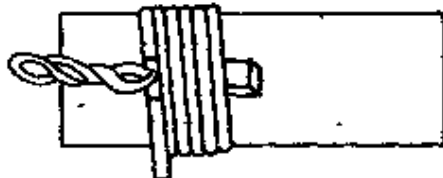


图 7-36 利用原线作引出线

3. 绝缘处理

为了提高绕组的防潮能力和增加绝缘强度，绕组绕好后一般均进行绝缘处理。其方法是：将绕好的绕组放在烘箱内加温到 70~80℃。保温 3~5h 后取出，立即浸入绝缘清漆中约 0.5h，取出后在通风处滴干，然后在 80℃烘箱内烘 8h 左右即可。

对于非批量生产的绕组，常用“涂刷法”代替浸漆处理，即在绕制过程中，每绕完一层导线，就涂刷一薄层绝缘清漆，然后

垫上层间绝缘继续绕线，绕制完成后，用通电法烘干。

4. 硅钢片的镶嵌

镶片可先装 E 形片，从线包两边一片一片地镶嵌（F 形片也是如此）如图 7-37 所示。镶到中部时则要两片两片地对镶。镶紧片时要用旋凿撬开夹缝才能插入，插入后，用木锤轻轻敲入。在插条形片时，不可直向插片，以免擦伤线包。当线包嫌大时，切不可硬行插片，可将线包套在木心上，用两块木板夹住线包两侧，在台虎钳上缓慢地将它压扁一些。镶片完毕后，把变压器放在平板上，用木锤将硅钢片敲打平整，硅钢片接口间不能留有空隙。最后用螺栓或夹板紧固铁心。并把引出线焊接到接线的焊片上。

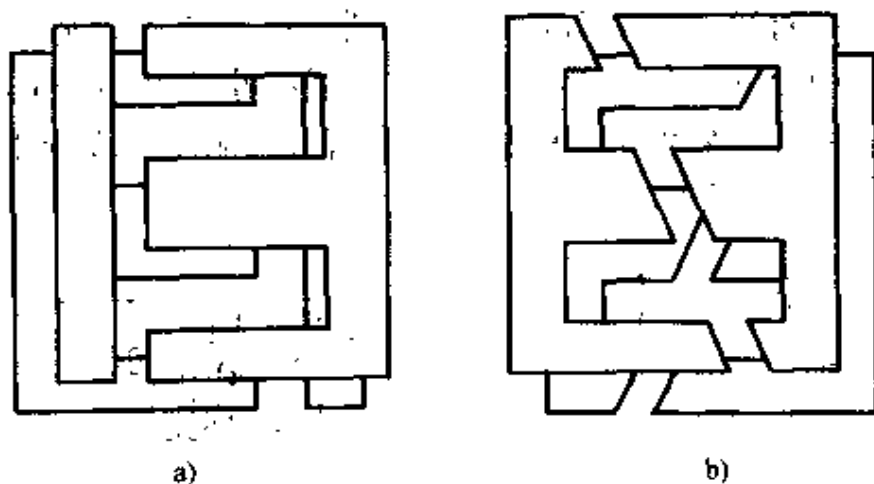


图 7-37 硅钢片镶嵌示意图

a) E 形 b) F 形

5. 测试

变压器装好后应进行绝缘电阻和空载电压、空载电流的测试。各绕组间和绕组对地间的绝缘电阻可用兆欧表测试。其值应不低于 $500M\Omega$ 。当一次侧电压加到额定值时，二次侧各绕组的空载电压允许误差为 $\pm 5\%$ ，中心抽头电压误差为 $\pm 2\%$ 。空载电流一般约为 $5\% \sim 8\%$ 的额定电流值。

电动机的检修

第一节 电动机的基础知识

一、电动机的种类和用途

电动机的种类和用途见表 8-1。

表 8-1 电动机的种类和用途

| 分类 | 名 称 | | 型号 | 主 要 特 点 和 用 途 |
|---------------------------|----------------|-----------|-----|---|
| 按使用 电源种类 分 | 直流电动机 | | Z | 调速性能好, 起动转矩大, 但制造工艺复杂, 生产成本低, 维护困难, 主要用于电力机车、造纸设备、印刷机械或大型机床和提升起重设备等 |
| | 交流 电动机 | 同步 电动机 | T | 转速恒定不变与负载的大小无关, 主要用于大型设备如空压机、通风机、轧钢机等 |
| | | 异步 电动机 | Y | 工业、农业和人们日常生活中都得到广泛应用 |
| 异步电 动机按转 子结构不 同分 | 笼型异步 电动机 | | Y | 结构简单, 坚固耐用, 工作可靠, 价格便宜, 使用和维护方便等优点, 是在生产中得到广泛应用的小型电动机。缺点是调速性能不好 |
| | 绕线转子异步 电动机 | | YR | 转子结构比较复杂, 成本比笼型高, 但它有较好的起动和调速性能, 一般用于有这种特殊需要的设备。如卷扬机等 |
| | 整流子异步 变速电动机 | | YHT | 防护式结构, 用于纺织、吹塑、造纸及化工等要求变速的场合, 其负载效率和功率因数较高 |



(续)

| 分类 | 名称 | 型号 | 主要特点和用途 |
|----------------------------|-----------|-------------------|--|
| 异步电动机按外壳不同形式分(适应不同工作环境的需要) | 防护式 | Y | 用于清洁场所, 拖动机床、鼓风机、水泵等 |
| | 封闭式 | Y | 用于灰沙较多场所、水土飞溅的场所。如碾米机等 |
| | 防爆式 | YA YB | 防爆式, 钢板外壳, 双笼型转子, 适用于爆炸性混合物的场所 |
| | 潜水式 | YQB | 密封式, 用于农业排灌及消防等场合 |
| | 防水式 | YS | 封闭式, 多用于农业机械 |
| | 防腐式 | YF | 封闭式, 用于多尘地区。一般在化肥、氯碱系统等化工厂 |
| | 船用 | Y—H | 防护式, 一般用在船上 |
| 按特殊用途分 | 起重用 | YZ YZR | 封闭式, 用于起重机及冶金辅助机械上 |
| | 电磁调速异步电动机 | YCT | 特点是调速平滑、结构简单、控制方便, 但效率低。主要用于造纸、纺织、化工、水泥等生产机械 |
| | 高起动转矩 | YQ | 防护式, 用于起动静止负荷较大的机械, 如压缩机、粉碎机等 |
| | 多速异步电动机 | YD | 防护式, 用在要求 2~4 种速度的场合, 如机床、印刷机等 |
| | 自制动异步电动机 | YEZ YEP YEG | 封闭式结构, 广泛用作单梁吊车及行走机构的动力, 也适用于卷扬机、橡胶化工机械、木工机械及机床的进给系统等快速制动的机械 |

二、异步电动机的工作原理

电动机有三相对称定子绕组, 接通三相对称交流电源后, 绕组中流有三相对称电流, 在气隙中产生一个旋转磁场, 转速为 n_0 , 大小取决于电动机的电源频率 f 和电动机的极对数 p , 即 $n_0 = 60f/p$ 。此旋转磁场切割转子导体, 在其中感应电动势和感



应电流，其方向可用右手定则确定，此感应电流与磁场作用产生转矩，转矩方向可用左手定则确定，于是电动机便顺着旋转磁场方向旋转，但转子速度 n 必须小于 n_0 ，否则转子无感应电流，也就无转矩，转子转速 n 略低于且接近于同步转速 n_0 ，这是异步电动机“异步”的由来。通常用转差率表示转子转速 n 与同步转速 n_0 相差的程度，即 $s = \frac{n_0 - n}{n_0}$ 。

一般在额定负载时三相异步电动机的转差率在 1%~9%。

三、异步电动机的结构

异步电动机是由定子和转子两部分组成的。定子与转子之间留有相对运动所必须的空气隙。三相笼型异步电动机结构如图 8-1 所示。

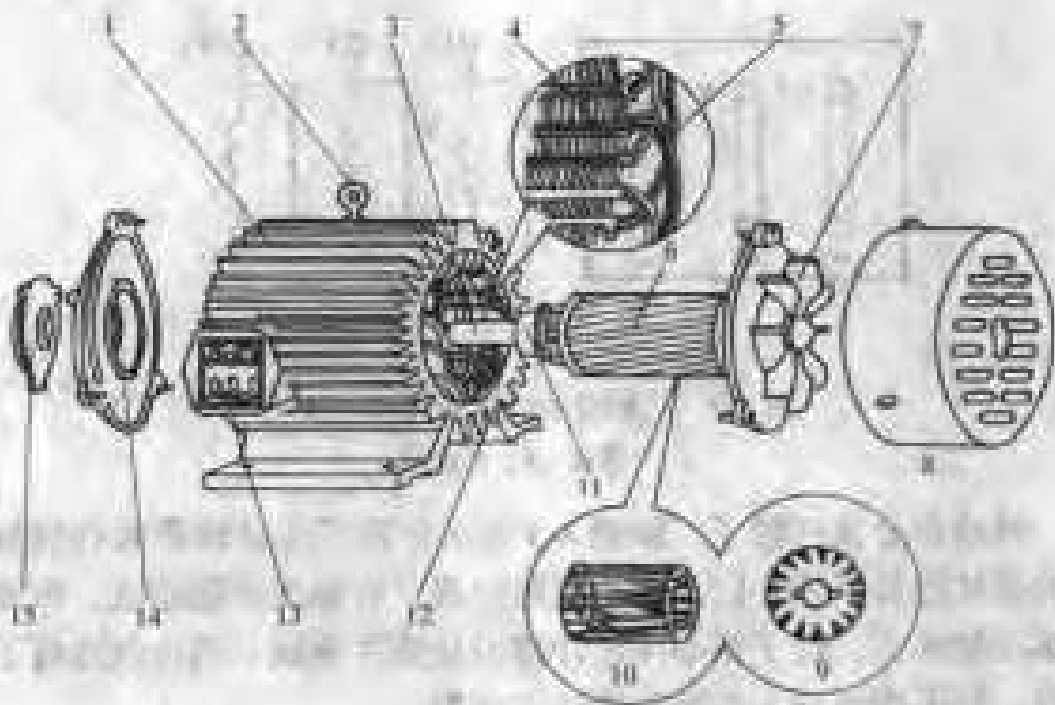


图 8-1 三相笼型异步电动机结构

- 1—散热筋 2—吊环 3—转轴 4—定子铁心 5—定子绕组 6—转子
- 7—风扇 8—罩壳 9—转子铁心 10—笼型绕组 11—轴承 12—机座
- 13—接线盒 14—端盖 15—轴承盖

固定部分又叫定子，如图 8-1 所示，定子主要由机座、铁心和三相绕组组成。机座是电动机的支撑部分，通常由铸铁或铸钢制成。定子铁心由硅钢片叠压成圆筒状压入机座里构成。硅钢片形成的齿槽均匀分布在铁心内圆表面，并与轴平行。齿槽内放置三相定子绕组，六个端头分别引到机座接线盒内的接线柱上。通过改变接线柱间连接片的连接关系，根据供电电压不同，三相定子绕组可以接成星形，也可接成三角形，如图 8-2 所示。

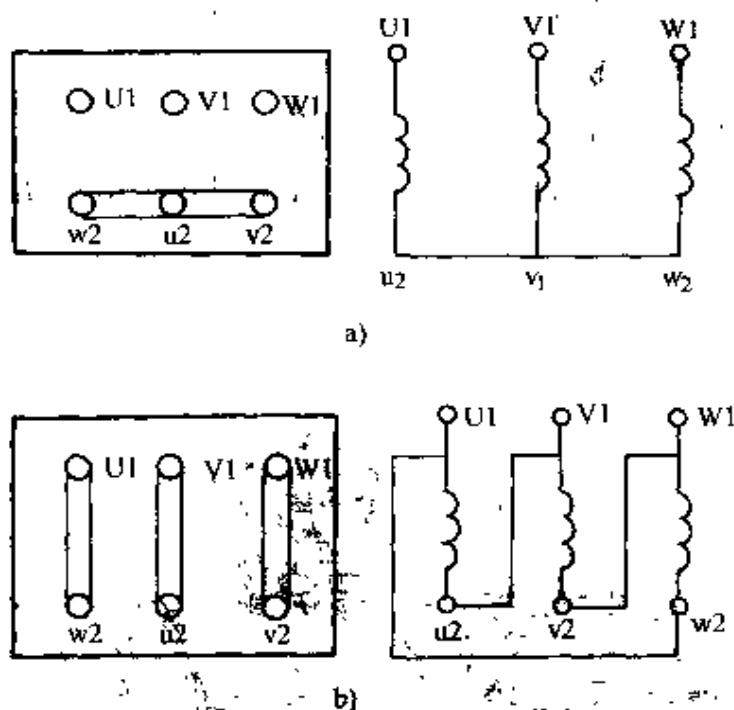


图 8-2 三相定子绕组的接线方式

a) Y 联结 b) Δ 联结

转动部分又叫转子，如图 8-3 所示。转子由转轴和装在转轴上的圆柱形转子铁心以及转子绕组组成。转轴由碳钢制成，两端支撑在轴承上，转子铁心用已冲槽的硅钢片叠成，槽内放置转子绕组。转子绕组分为笼型和绕线式两类。

笼型转子绕组是由安放在转子槽内的裸导体和短路环连接而成。如果把转子铁心去掉，可以看出，裸导体的形状好像一个笼，故称笼转子。小型笼型转子的导体，一般采用铸铝与冷却用的风扇叶片一次浇铸成形。绕线转子的铁心和笼型转子的铁心相

同，但它的绕组与笼型转子不同，而与定子绕组一样，也是三相绕组，一般接成星形。它的三个出线端从转子轴中引出，固定在轴上的三个互相绝缘的集电环上，然后经过电刷的滑动接触与外加变阻器相接。改变变阻器手柄的位置，可使绕线转子三相绕组串接入变阻器或使之短路，如图 8-4 所示。绕线转子异步电动机的转子结构较复杂，价格较贵，一般用于对起动和调速性能有较高要求的场合。

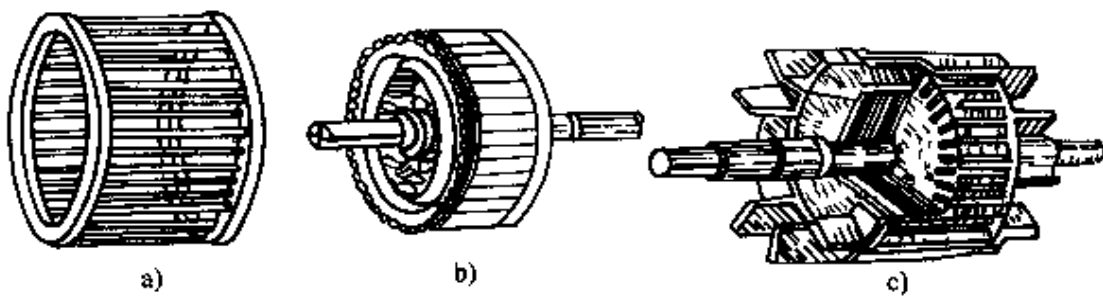


图 8-3 笼型异步电动机转子

a) 笼型转子绕组 b) 铜导条笼型转子外形 c) 铸铝笼型转子外形

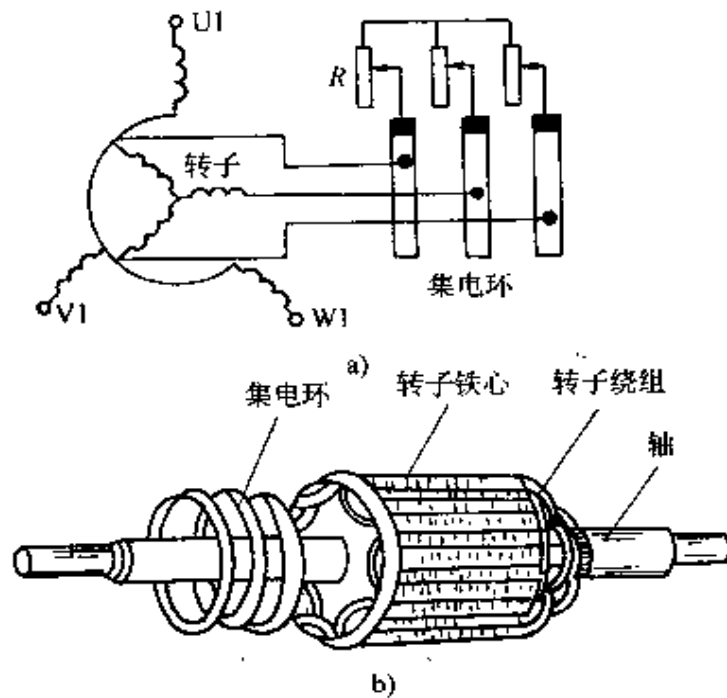


图 8-4 绕线转子图

a) 绕线转子异步电动机接线示意图 b) 绕线转子外形图



上述两类异步电动机，尽管转子结构不同，但它们的基本原理则是相同的。定子铁心和转子之间留有一定的空气隙。中小型电动机的空气隙约为 0.2 ~ 1mm。

四、异步电动机的铭牌和型号

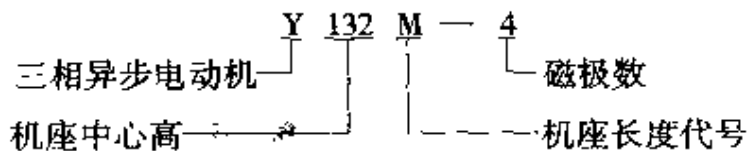
1. 铭牌数据

某台三相异步电动机的铭牌如图 8-5 所示。以此实例说明其意义。

| | | |
|--------------|----------|-------------|
| 三相异步电动机 | | |
| 型号 Y132M-4 | 功率 7.5kW | 频率 50Hz |
| 电压 380V | 电流 15.4A | 接法 Δ |
| 转速 1440r/min | 绝缘等级 B | 工作方式 连续 |
| 年 月 | 编号 | ××电机厂 |

图 8-5 三相异步电动机铭牌示例

(1) 型号



(Y—异步电动机；

(S—短机座；

YR—绕线式异步电动机；

M—中机座；

YB—防爆型异步电动机；

L—长机座)

YQ—高起动转矩异步电动机)

(2) 功率 额定运行时，电动机轴上输出的机械功率值，单位是 kW。

(3) 接法与电压、电流 电动机在额定运行时定子绕组按规定的接法所应该加的线电压值，额定运行时定子绕组的线电流值。本例中，该三相异步电动机定子绕组为 Δ 接法。应该接于线电压 380V 的三相交流电源，轴上为额定负载时定子线电流 15.4A。

(4) 转速 转速与磁极数有关，与轴上负载大小有关。铭牌

上给出的转速是定子绕组加额定电压，轴上为额定负载时的转速。

定子绕组加额定电压后产生旋转磁场，旋转磁场的转速称为同步转速 n_0

$$n_0 = \frac{60f_1}{p}$$

式中 f_1 ——电源频率；
 p ——磁极对数。

本示例中， $f_1 = 50\text{Hz}$ ， $p = 2(4\text{极})$ 。由此可以列出 $n_0 = f(p)$ 的关系，见表 8-2。

表 8-2 同步转速与磁极对数的关系

| p | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 |
|----------------------|------|------|------|-----|-----|-----|
| $n_0/(r/\text{min})$ | 3000 | 1500 | 1000 | 750 | 600 | 500 |

2. 型号

新老异步电动机型号对照见表 8-3。

表 8-3 新老异步电动机型号对照表

| 产品名称 | 产品代号 | | 代号汉字意义 | 产品结构型式及特征 |
|-----------|------|----------------------------|--------|---|
| | 新 | 旧 | | |
| 小型三相异步电动机 | Y | J0、J02、J03、J04、J0L、J02—L | 异 | 封闭式，铸铁外壳，壳上有散热筋，外风扇吹冷，铸铝转子，防护等级为 IP44 |
| 小型三相异步电动机 | Y | J、J2、J3、J3L、J2L | 异 | 防护式，铸铁外壳，铸铝转子，防护等级为 IP23 |
| 三相异步电动机 | Y | JS、JS2、JSL2、JSQ、JSL、JK、JK2 | 异 | 中心高 H355mm 以上，基本型式为防护式、卧式，机座带底脚，电动机为径向通风，电压等级有 380V、3000V、6000V |
| 小型三相异步电动机 | YR | JR0、JR02 | 异绕 | 自冷式绕线转子，铸铁外壳，壳上有散热筋。防护等级为 IP44 |



(续)

| 产品名称 | 产品代号 | | 代号汉字意义 | 产品结构型式及特征 |
|-----------|------|--------------------------|--------|--|
| | 新 | 旧 | | |
| 小型三相异步电动机 | YR | JR、JR2 | 异绕 | 防护式铸铁外壳绕线转子，防护等级为 IP23 |
| 三相异步电动机 | YR | JR、JR2、JRL2、JRQ、JRL、JRAI | 异绕 | 中心高 H355mm 以上，基本型式为防护式，绕线转子，防护等级为 IP23，电压为 3000V、6000V |

Y 系列异步电动机的技术数据见表 8-4。

表 8-4 Y 系列异步电动机的技术数据

| 型号 | 额定功率/kW | 满载时 | | | | 起动电流/额定电流 | 起动转矩/额定转矩 | 最大转矩/额定转矩 |
|------------|---------|-------|------------|--------|------|-----------|-----------|-----------|
| | | 电流/A | 转速/(r/min) | 效率 (%) | 功率因数 | | | |
| Y2-801-2 | 0.75 | 1.83 | 2830 | 75 | 0.83 | 6.1 | 2.2 | 2.3 |
| Y2-802-2 | 1.1 | 2.55 | | 77 | 0.84 | 7.1 | | |
| Y2-801-6 | 0.37 | 1.30 | 890 | 62 | 0.70 | 4.7 | 1.9 | 2.0 |
| Y2-802-6 | 0.55 | 1.79 | | 65 | 0.72 | | | 2.1 |
| Y2-801-8 | 0.18 | 0.88 | 630 | 51 | 0.61 | 3.3 | 1.8 | 1.9 |
| Y2-802-8 | 0.25 | 1.15 | 640 | 54 | | | | |
| Y2-112M-2 | 4.0 | 8.23 | 2890 | 85 | 0.88 | 7.5 | 2.2 | 2.3 |
| Y2-112M-4 | 4.0 | 8.83 | 1440 | 84 | 0.82 | 7.0 | 2.3 | 2.3 |
| Y2-112M-6 | 2.2 | 5.57 | 940 | 79 | 0.76 | 6.5 | 2.0 | 2.1 |
| Y2-112M-8 | 1.5 | 4.47 | 680 | 75 | 0.69 | 5.0 | 1.8 | 2.0 |
| Y2-132S1-2 | 5.5 | 11.18 | 2900 | 86 | 0.88 | 7.5 | 2.2 | 2.3 |
| Y2-132S2-2 | 7.5 | 15.06 | | 87 | | | | |
| Y2-160M1-2 | 11 | 21.35 | 2930 | 88 | 0.89 | 7.5 | 2.2 | 2.3 |
| Y2-160M1-4 | 15 | 28.78 | | 89 | | | | |
| Y2-160L-2 | 18.5 | 34.72 | 2930 | 90 | 0.90 | 7.5 | 2.2 | 2.3 |

(续)

| 型号 | 额定功率/kW | 满载时 | | | | 起动电流/额定电流 | 起动转矩/额定转矩 | 最大转矩/额定转矩 |
|------------|---------|--------|------------|-------|------|-----------|-----------|-----------|
| | | 电流/A | 转速/(r/min) | 效率(%) | 功率因数 | | | |
| Y2-160L-4 | 15 | 30.14 | 1460 | 89 | 0.85 | 7.5 | 2.2 | 2.3 |
| Y2-180L-4 | 22 | 43.14 | 1470 | 91.0 | 0.86 | 7.5 | 2.2 | 2.3 |
| Y2-180L-6 | 15 | 31.63 | 970 | 89 | 0.81 | 7.0 | 2.0 | 2.1 |
| Y2-200L1-2 | 30 | 55.37 | 2950 | 91.2 | 0.90 | 7.5 | 2.0 | 2.3 |
| Y2-200L2-2 | 37 | 67.92 | | 92 | | | | |
| Y2-225M-4 | 45 | 84.54 | 1480 | 92.8 | 0.84 | 7.2 | 2.2 | 2.3 |
| Y2-225M-6 | 30 | 58.63 | 980 | 91.5 | 0.78 | 7.0 | 2.0 | 2.1 |
| Y2-250M-4 | 55 | 103.1 | 1480 | 93 | 0.87 | 7.2 | 2.2 | 2.3 |
| Y2-250M-6 | 37 | 71.08 | 980 | 92 | 0.86 | 7.0 | 2.1 | 2.1 |
| Y2-280S-2 | 75 | 134 | 2970 | 93 | 0.90 | 7.5 | 2.0 | 2.3 |
| Y2-280M-2 | 90 | 160.27 | | 93.8 | 0.91 | | | |
| Y2-315S-2 | 110 | 195.46 | 2980 | 94 | 0.91 | 7.1 | 1.8 | 2.2 |
| Y2-315M-2 | 132 | 233.3 | | 94.5 | 0.91 | | | |
| Y2-315L1-4 | 160 | 287.95 | 1490 | 94.9 | 0.89 | 6.9 | 2.1 | 2.2 |
| Y2-315L2-4 | 200 | 358.8 | | 95 | 0.89 | | | |
| Y2-355M2-2 | 250 | 432.50 | 2980 | 95.3 | 0.92 | 7.1 | 1.6 | 2.2 |
| Y2-355L-2 | 315 | 543.25 | | | | | | |

第二节 异步电动机一般常见故障的判断及维修

一、异步电动机的日常维护检查

电动机日常维护检查的要点是在未用专用仪器测量之前，靠视觉、听觉、嗅觉和触觉来判断出电动机故障原因，及早发现设备的异常状态，及时进行处理，防止事故扩大。

三相异步电动机的故障现象和主要原因见表 8-5。



表 8-5 三相异步电动机的故障现象和主要原因

| 感觉 | 现象 | 主要原因 |
|----|----------|---|
| 视觉 | 外观 | 污损、尘埃、腐蚀、损伤 |
| | 变色、冒烟 | 过热、烧损、接触不良 |
| | 仪表失常、不平衡 | 电压不平衡、转子电阻不平衡、层间短路、断线 |
| | 无指示 | 单相运转、接触不良、熔丝烧断 |
| | 电流不平衡 | 转子电阻不平衡、转子绕组故障 |
| | 指示过大 | 过负荷、堵转、轴承烧损 |
| | 运转停止 | 停电、轴承烧毁，定子和转子接触、单相运转、电压低、转矩不够、负载过大、离心开关不好或电压降过大 |
| 听觉 | 噪声 | 机械原因：松动、连接不良、机械不平衡、轴承故障。 |
| | | 电气原因：电压不平衡、单相运转、堵转、层间短路、断路、起动及升速不好 |
| 嗅觉 | 有臭味 | 电动机过热、烧损、层间短路、堵转、过载、单相运转、润滑不良、轴承烧损 |
| 触觉 | 振动 | 异常振动、机械不平衡、电压不平衡、单相运转、层间短路断线 |
| | 温度 | 过热、过载、堵转、单相运转、冷却不良、低电压运行或升速不好 |

用手摸电动机机壳表面估计温度高低时，由于每个人的感觉不同，带有主观性，因此要由经验来决定，通常人手感觉与温度的关系见表 8-6。

表 8-6 电动机机壳表面温度与手感的关系

| 机壳表面温度/℃ | 手感 | 说明 |
|----------|----|---------------|
| 30 | 稍冷 | 由于比体温低，所以感觉稍冷 |
| 40 | 稍温 | 感到温和的程度 |
| 45 | 温和 | 用手一摸就感到暖和 |

(续)

| 机壳表面温度/°C | 手感 | 说 明 |
|-----------|-------|------------------------|
| 50 | 稍热 | 长时间用手摸时,手掌变红 |
| 55 | 热 | 仅可用手摸 5 ~ 6s |
| 60 | 更热些 | 仅可用手摸 3 ~ 4s |
| 65 | 非常热 | 仅可用手摸 2 ~ 3s, 离开后还感到手热 |
| 70 | 非常热 | 用一个手指触摸, 只能坚持 3s 左右 |
| 75 | 极热 | 用一个手指触摸, 只能坚持 1 ~ 2s |
| 80 | 极热及烧毁 | 手指稍触便要离开, 用乙烯树脂带试时发生卷缩 |
| 80 ~ 90 | | 用手指稍触摸一下, 就感到烫的不得了 |

二、异步电动机的例行维护和检查

电动机例行维护和检查项目见表 8-7。

表 8-7 电动机例行维护检查项目

| 检查周期 | 检 查 项 目 |
|---------------|---|
| 日常检查 | <ol style="list-style-type: none"> 1. 外观全面检查, 并记录 2. 检查电动机各部分是否有振动、噪声和异常现象, 各部分温度是否正常 3. 检查供油系统, 对轴承进行润滑 4. 检查通风冷却系统、滑动摩擦状况以及各部分紧固情况 |
| 每月或定期 巡回检查 | <ol style="list-style-type: none"> 1. 外观全面检查, 并记录 2. 检查各部分松动情况 (如开关、配线、接地装置等) 及接触情况 3. 有无破损部位, 并提出处理计划和措施 4. 检查粉尘堆积情况, 要及时清扫 5. 检查引出线和配线是否有损伤、老化等到问题 6. 各部分连接状态是否良好 7. 绝缘电阻情况 8. 检查电刷、集电环磨损情况, 电刷在刷握内活动是否正常 |



(续)

| 检查周期 | 检查项目 |
|------|---|
| 每年检查 | <ol style="list-style-type: none">1. 检查轴承和润滑剂，及时更换新轴承和润滑剂2. 必要时，电动机应解体检修（检查）3. 清扫或清洗尘垢4. 外观检查是否生锈、腐蚀5. 更换电刷，修理集电环，调整刷压6. 检查绝缘电阻，进行干燥处理 |

三、异步电动机一般常见故障的判断及维修

电动机出现了故障，首先要了解其型号结构、使用情况，旧的电动机还要了解是否修过，修理前后的情况等；同时还要注意观察或询问故障现象，例如起动情况、运行情况、有无振动、噪声、发热、冒烟和焦臭气味等异常现象，通过观察了解；从故障的主要现象入手，初步确定可能产生故障的原因。如果原因很多，难于肯定，可再结合故障的一些次要现象，进行全面的分析或必要的测试以缩小范围。例如检查电源线路的断路故障应首先判断断路或接触不良处所在的范围。方法是首先检查熔丝，看其是否熔断，接触是否良好。如果熔丝没有问题，再用电压表或万用表测量开关或起动机输出线端之间的电压（也可用试电笔测试三相输出端是否有电），说明开关或起动机及以上的线路没有故障，故障点肯定在开关或起动机输出端以下的线路（例如开关或起动机接至电动机接线板的导线断裂、接线板螺钉松动使其接触不良或电动机绕组断线等）；若输出端之间的电压不平衡或有的有电压，有的无电压（试电笔亮度不一，或有的亮有的不亮），说明故障点在开关或起动机及以上的线路中。这时可进一步检查开关或起动机的输入线端，根据检查的情况，判定故障点是在开关或起动机以上线路中，或是在开关或起动机内部；最后在已知的范围内找故障点。这样可以避免盲目性，较迅速地找出故障，及时排除。电动机常见故障现象及处理方法见表 8-8。

表 8-8 电动机常见故障现象及处理方法

| 故障现象 | 可能原因 | 简单处理方法 | 检查顺序或要点 |
|---------------------|--|--|---|
| 1. 电动机不能启动, 且没有任何声响 | 1. 电源没电 2. 熔丝熔断两相以上 3. 电源线有两相或三相断线或接触不良 4. 开关或起动设备有两相以上接触不良 | 1. 接通电源 2. 更换熔丝 3. 故障处, 重新刮净、接好 4. 检查出接触不良处, 予以修复 | 先检查熔丝是否熔断, 然后测试线路是否有电, 最后检查线路、开关、起动设备是否有接触不良或断路 |
| 2. 电动机不能启动且有嗡嗡声响 | 1. 电源线有一相断线 2. 熔丝熔断一相 3. 星形接法电动机绕组有一相断线, 三角形接法绕组有一相或两相断线 4. 定、转子相擦 5. 负载机械卡死 6. 轴承损坏 7. 电压太低 | 1. 查出断线处, 重新接好 2. 更换熔丝 3. 检查绕组断线处, 重新修好 4. 找出相擦原因, 予以排除 5. 检查负载机械及传动装置 6. 更换轴承 7. 电源线太细起动电压降太大应更换粗导线。设法提高电压, Δ 接法接成 Y 8. 检查开关和熔丝 | 先检查熔丝是否熔断, 然后查看线路是否有断线, 再转动传动装置, 看负载机械是否卡住, 定、转子是否相擦, 并上下掀动转轴, 看轴承是否损坏。最后检查绕组断线 |
| 3. 电动机启动时熔丝熔断 | 1. 定子绕组一相反接 2. 定子绕组有短路或接地故障 3. 负载机械卡住 4. 起动设备操作不当 5. 传动带太紧 6. 轴承损坏 7. 熔丝过细 8. 单相起动 | 1. 分清三相首尾, 重新接好 2. 检查绕组短路和接地处, 重新修好 3. 检查负载机械和传动装置 4. 纠正操作方法 5. 把传动带调整得松紧适当 6. 更换轴承 7. 合理选用熔丝 | 开关合上, 熔丝即熔断, 大多是一相首尾接反或绕组有短路、接地故障。检查时仍应首先考虑熔丝是否正确, 然后检查皮带松紧, 负载机械有无卡住, 轴承是否损坏等。最后再辨清三相首尾, 若无错再检查绕组短路和接地 |



(续)

| 故障现象 | 可能原因 | 简单处理方法 | 检查顺序或要点 |
|----------------------------|--|--|--|
| 4. 电动机起动困难; 起动后转速较低 | <ol style="list-style-type: none"> 1. 电源电压过低 2. 定子线圈有短路或接地 3. 转子笼条或端环断裂 4. 电动机过载 5. 将三角形接法的电动机错接为星形接法 | <ol style="list-style-type: none"> 1. 调整电压或等线路电压正常时再使用电动机 2. 检查线圈短路、接地处, 予以修复 3. 重新铸铝或另换转子 4. 减轻负载 5. 按正确接法改接过来 | <p>首先查看接法是否和铭牌相符, 然后检查负载和电源电压是否正常, 最后检查定子绕组和转子的故障</p> |
| 5. 电动机三相电流不平衡, 且温度过高, 甚至冒烟 | <ol style="list-style-type: none"> 1. 电源电压不平衡 2. 绕组有短路和接地 3. 重换线圈后, 部分线圈接线错误 4. 电动机单相运转 | <ol style="list-style-type: none"> 1. 查出线路电压不平衡的原因, 予以排除 2. 检查短路接地处, 并予以修复 3. 查出接错处, 改接过来 4. 检查线路或绕组的中断或接触不良处, 并重新接好 | <p>首先检查熔丝、开关、电源线和接头是否有接触不良处, 然后检查电源电压及测量电动机绕组是否断路, 最后检查绕组短路、接地和接错等。(若不是重换线圈, 且过去电动机运行正常, 不必检查绕组是否接错)</p> |
| 6. 电动机三相电流同时增大, 温度过高, 甚至冒烟 | <ol style="list-style-type: none"> 1. 电源电压过低 2. 电动机过载 3. 接法错误 4. 起动频繁 | <ol style="list-style-type: none"> 1. 调整线路电压或等电压正常时再工作 2. 减轻负载 3. 改接过来 4. 减少起动次数或改用其他合适类型的电动机 | <p>首先检查接法是否和铭牌相符, 然后再检查线路电压是否正常, 最后调整负载和减少起动次数</p> |
| 7. 电流没有超过额定值, 但电动机温度过高 | <ol style="list-style-type: none"> 1. 环境温度过高 2. 电动机受太阳直接曝晒 3. 通风不畅 4. 电动机灰尘、油泥过多、影响散热 | <ol style="list-style-type: none"> 1. 设法降低环境温度或降低电动机容量使用 2. 应增加遮阳设施 3. 清理风道或搬开影响通风的东西 4. 清除灰尘、油泥 | <p>分别进行检查</p> |



(续)

| 故障现象 | 可能原因 | 简单处理方法 | 检查顺序或要点 |
|----------------|---|---|--|
| 8. 电动机有不正常的振动 | 1. 电动机基础不稳固或校正不好 2. 风扇叶片损坏造成转子不平衡 3. 轴弯或有裂纹 4. 传动皮带接头不好 5. 电动机单相运转 6. 绕组有短路或接地 7. 并联绕组有支路断路 8. 转子笼条或端环断裂 | 1. 加固基础或重新校正 2. 更换风扇或设法校正转子 3. 更换新轴或校正弯轴 4. 重新接好 5. 查找线路或绕组的断线和接触不良处，并予以修复 6. 查找短路和接地处，并予以修复 7. 查出断线处，予以修复 8. 重新铸铝或另换转子 | 首先判断振动是机械方面引起的还是电气方面引起的，判断的方法是：接通电源，电动机发生振动，切断电源，电动机仍发生振动，为机械故障；若接通电源，电动机振动，切断电源振动消失为电气故障。机械方面按前四项原因分别检查。电气方面按后四项原因分别检查，例如熔丝是否熔断，接头或开关是否有接触不良等 |
| 9. 电动机运行时声音不正常 | 1. 轴承损坏或润滑油严重缺少、油中有杂质等 2. 定、转子相擦 3. 风罩或转轴上零件(风扇、联轴器等)松动 4. 风罩内有杂物 5. 轴承内圈和轴配合太松 6. 电动机单相运转 7. 绕组有短路或接地 8. 线圈有接错 9. 并联绕组中有支路断路 10. 电源电压过低 11. 电动机过载 12. 转子笼条和端环断裂 | 1. 更换或清洗轴承并换新油 2. 找出相擦原因，予以排除 3. 紧固风罩或其他零件 4. 清除杂物 5. 堆焊转轴轴承档，并按规定尺寸车好，使其配合紧密 6. 检查线路、绕组断线或接触不良处，予以排除 7. 检查短路、接地处，重新修好 8. 改接过来 9. 检查断路点，重新接好 10. 设法调整电压或等线路电压正常时再使用 11. 减轻负载 12. 转子重新铸铝或更换转子 | 首先确定不正常的声响是机械方面引起的，还是电气方面引起的。其方法是接上电源，有不正常的声音存在，切断电源，不正常的声音消失，为电气故障。不论接上电源或切断电源，不正常的声响都存在为机械故障。机械方面故障按前五项目原因分别检查。电气方面故障按后七项原因分别检查 |



(续)

| 故障现象 | 可能原因 | 简单处理方法 | 检查顺序或要点 |
|------------|--|--|---|
| 10. 轴承过热 | <ol style="list-style-type: none"> 1. 传动带过紧 2. 轴弯 3. 端盖松动或没有装好 4. 黄油太脏或变质 5. 黄油过多过少 6. 黄油牌号不符 7. 轴承损坏 8. 端盖轴承室太紧 | <ol style="list-style-type: none"> 1. 调整传动带使之松紧适当 2. 校正弯轴或更换新轴 3. 上紧螺栓合严止口 4. 清洗轴承更换新油 5. 黄油应加到油腔的2/3 6. 按要求黄油牌号更换黄油 7. 更换轴承 8. 按正常尺寸扩大轴承室 | <p>首先检查皮带松紧是否合适，然后检查轴是否弯曲，端盖是否装好，再打开轴承盖检查润滑情况，最后拆端盖，检查端盖与轴承的配合及轴承是否损坏</p> |
| 11. 机壳带电 | <ol style="list-style-type: none"> 1. 引出线或接线盒接头的绝缘损坏碰地 2. 槽子两端的槽口绝缘损坏 3. 槽内有铁屑等杂物未除尽，导线嵌入后即通地 4. 外壳没有可靠接地 | <ol style="list-style-type: none"> 1. 套一绝缘套管或包扎绝缘布 2. 耐心找出绝缘损坏处，然后垫上绝缘纸再涂上绝缘漆 3. 拆开每个线圈接头，用淘汰法找出接地线圈进行局部修理 4. 将外壳可靠接地 | <p>首先检查接线接头处的绝缘。然后按以上四项分别处理</p> |
| 12. 绝缘电阻降低 | <ol style="list-style-type: none"> 1. 潮气浸入或雨水滴入电动机内 2. 绕组上灰尘污垢太多 3. 引出线和接线盒接头的绝缘损坏 4. 电动机过热后绝缘老化 | <ol style="list-style-type: none"> 1. 用摇表检查后，进行烘干处理 2. 清除灰尘、油污后，浸渍处理 3. 重新包扎引出线接头 4. 7kW 以下电动机可重新浸渍 | <p>分别用摇表检查所有可能使绝缘降低的线盒接头的绝缘</p> |



第三节 电动机的拆装

修理或维护保养电动机时，有时需要把电动机拆开。如果拆得不好，会把电动机拆坏，或使修理质量得不到保证。因此，必须掌握正确拆卸和装配电动机的技术，学会正确拆卸的方法。

一、拆卸前的准备工作

拆卸前应将工具和检修记录准备好，在线头、端盖、刷握等处做好标记，以便于装配；在拆卸过程中，应同时进行检查和测试。如测量定子和转子间的气隙和电动机绝缘电阻，以便检修后作比较。

二、拆卸方法和步骤

拆卸应按图 8-6 所示顺序进行。

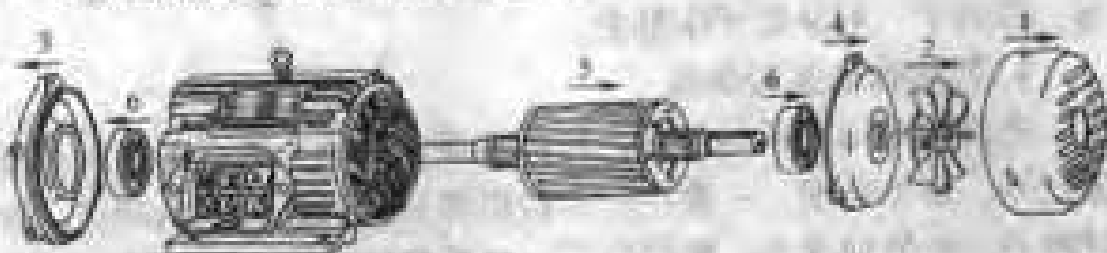


图 8-6 三相异步电动机的拆卸步骤

- 1—拆卸风扇罩 2—拆卸风扇 3—拆卸前端盖 4—拆卸后端盖
5—卸下转子 6—拆卸前后轴承

1. 拆除电动机的所有引线

拆时必须做好与电源线相对应的标记，以免恢复时搞错相序。对于绕线转子的电动机来说，还应抬起或提出电刷。

2. 拆卸带轮或联轴器

先将带轮或联轴器上的固定螺钉或销子松脱或取下，再用专用工具——抓手（也叫拉具）把带轮或联轴器慢慢拉出，如图 8-7 所示。

使用抓手时要顶正，抓手螺杆中心线要对准电动机轴的中心线，并注意抓手和带轮或联轴器的受力情况，不要将轮缘拉裂或抓手扳裂。如遇到拆不下来时，可以渗些煤油再拉，或用喷灯、



瓦斯加热，乘热迅速拉下。加热时应当用石棉包住轴，并浇凉水，以防止热量传到电动机内，损坏其他部件。不需清洗轴承或有轴承套的电动机，有时可不拆卸带轮或联轴器。

3. 拆卸风扇或风罩

封闭式电动机在拆卸带轮后，就可把风罩卸下来。然后取下风扇上的定位螺栓，用锤子轻敲风扇四周，卸下风扇。有的风扇是塑料的，内孔有螺纹，可以

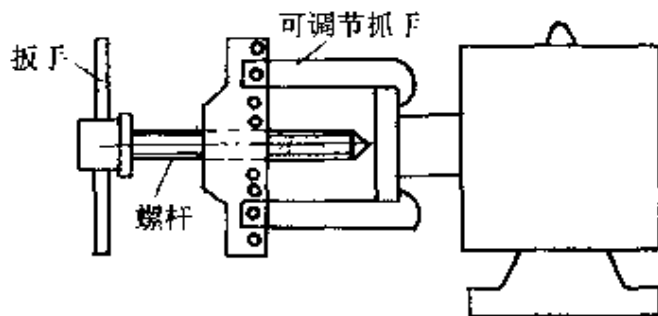


图 8-7 抓手拆卸带轮

用热水使塑料风扇膨胀后旋卸下来。小型电动机的风扇也可不拆，随转子一起从定子中抽去。

4. 拆卸轴承盖和端盖

先拆除滚动轴承的外盖，再拆端盖。端盖与机座的接缝处要做记号，便于装配。一般小型电动机都只拆风扇一侧的端盖，同时将另一侧的轴承盖、螺钉拆下，然后将转子、端盖、轴承盖和风扇一起抽出。中、大型电动机，因转子较重，可把两侧的端盖都拆下来。卸下后应标清上、下及负荷端和非负荷端。为防止定、转子机械碰伤，拆下端盖后应在气隙中垫以钢纸板。

5. 抽出转子

小型电动机的转子可用手将转子、端盖等一起抽出。大、中型电动机转子较重，可用起重设备将转子吊出，如图 8-8 所示。抽转子时，应小心缓慢，特别要注意不可歪斜，以免碰伤定子绕组，必要时可在线圈端部垫纸板保护线圈。

6. 拆卸前后轴承和轴承内盖

如果仅是清洗轴承，不一定要将轴承从轴上拆下。若要修理、更换轴承，则要卸下旧轴承。要用专用工具“爪子”。

三、修后装配

电动机的装配顺序大致按拆卸时的逆顺序进行。在装配前，

应做好各部件的清洁工作，装配时，应将各部件按拆卸时所作标记复位。

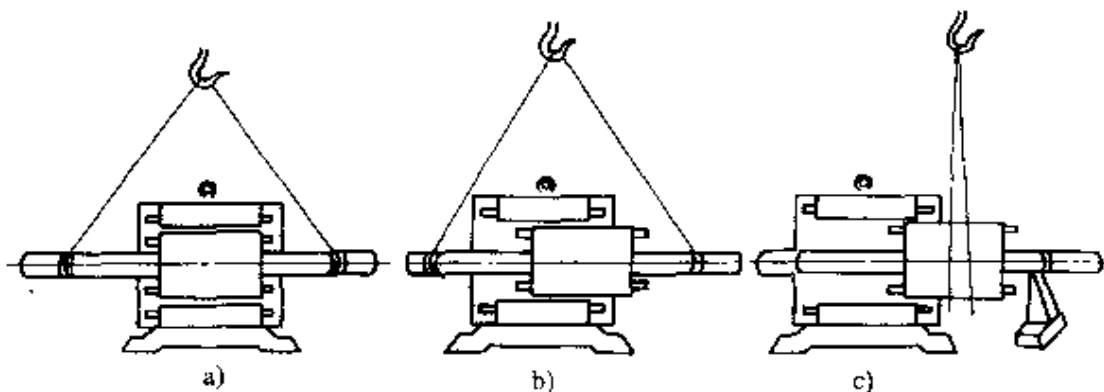


图 8-8 大、中型电动机转子的抽出方法

1. 装轴承

1) 用煤油将轴承盖及轴承清洗干净，然后察看、检查轴承有无裂纹，再用手旋转轴承外圈，看其转动是否灵活、均匀，噪声是否较大。如果不太好，应予以更换。

2) 将轴颈部位擦干净，套上清洗干净并已加好润滑脂的内轴承盖。

3) 在轴和轴承配合部位涂上润滑油后，把轴承套到轴上，用一根约 300mm，内径略大于轴颈直径的铁管，一端顶在轴承的内圈上，用锤子敲打铁管另一端，将轴承逐渐敲打到位。如图 8-9 所示。最好是用压床压入。必要时也可采用热套法。

4) 在轴承滚珠间隙及轴承盖里装填洁净的润滑脂，一般只要装满空腔容积的 2/3 即可。高速电动机宜再少加些。

2. 安装后端盖

将轴伸端朝下垂直放置，在其端面上垫上木板，将后端盖套在后轴承上，用木锤敲打，把后端盖敲进去，然后装轴承外盖，紧固内外轴承盖的螺栓时要轮番拧紧螺钉，不要一次拧到底。

3. 安装转子

把转子对准定子孔中心，缓缓向定子里送，注意不要擦碰定



子绕组，后端盖要对准与机座的标记，旋上后端盖螺栓，但不要拧紧。

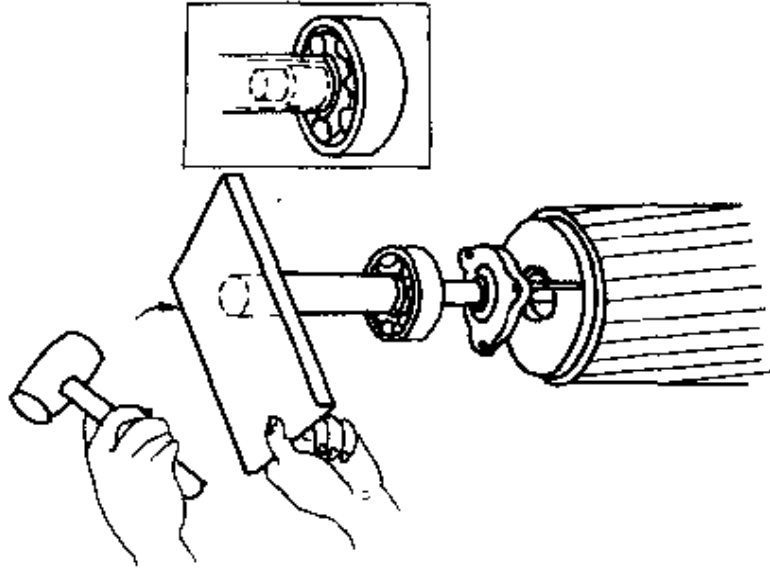


图 8-9 轴承的安装

4. 安装前端盖

将前端盖对准机座的标记，用木锤均匀敲击端盖四周，端盖与机座合拢后，拧上端盖紧固螺栓。拧紧前后端盖的紧固螺栓时，应按对角线逐步拧紧，不能先拧紧一个，再拧紧另一个，如图 8-10 所示。可先旋螺栓 1、4，然后再旋螺栓 2、3，再旋螺栓 1、4，依次将螺栓旋紧。

安装前轴承盖之前，先用一根一头与轴承内端盖螺孔相配的穿心钢丝拧在轴承内盖的任一螺孔上，然后将前轴承外盖套入轴颈并将钢丝穿入任一螺孔。外盖

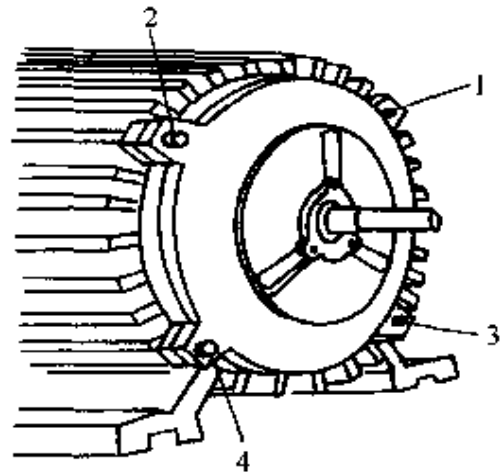


图 8-10 端盖螺栓的紧固方法

与端盖合拢后，使得内外盖及端盖的三个螺孔也在同一条中心线上，拧上螺栓。取出穿心钢丝，将其余螺栓依次穿入并旋紧。

5. 检查转子



用手转动转轴，转子转动应灵活均匀，无停滞、偏重现象。

6. 安装刷架、风扇和风罩

绕线转子异步电动机要按所作标记装上刷架、刷握和电刷等，保证集电环与电刷吻合良好，弹簧压力均匀适当。

7. 安装带轮或联轴器

安装时先将键槽和定位螺钉对准，然后在其端面垫上木块，用锤子打入。

绕线转子异步电动机要按所作标记装上刷架、刷握和电刷等，保证集电环与电刷吻合良好，弹簧压力均匀适当。

第四节 中、小型异步电动机绕组

绕组是电动机的“心脏”部分，又是最容易发生故障的部分，因此，绕组修理质量的好坏，对整个电动机的性能有很大的影响。

一、绕组的基本术语

1. 线圈单元

线圈是以绝缘导线（圆线或扁线）按一定形状绕制而成，由一匝或多匝串联组成，它有两个引出线，一个叫首端，另一个叫尾端，如图 8-11 所示。

2. 极距 τ

定子绕组一个磁极在定子圆周上所跨的距离，通常用定子槽数来表示。如定子槽数为 Z_1 ， $2p$ 为电动机的磁极数，则极距为 $\tau = Z_1/2p$ （槽）。

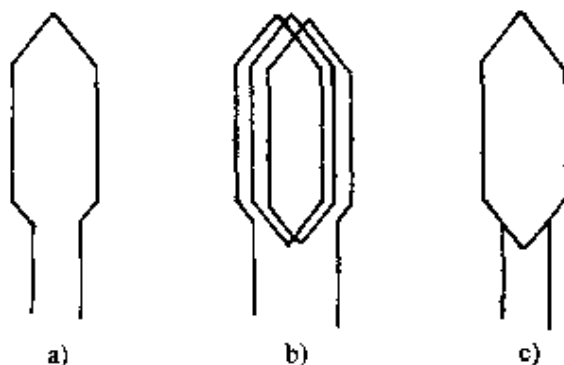


图 8-11 线圈单元

3. 节距 y

节距指一个线圈的两个边在定子圆周上所跨的距离，通常用定子槽数来表示。节距有全节距、短节距、长节距之分。



(1) 全节距 指节距应等于或接近极距 (即 $y = \tau$)，优点是产生最大的电动势，因为元件的有效边分别在相邻磁极的对应位置上。

(2) 短节距 指节距小于极距 (即 $y < \tau$)。优点是缩短端部连线，提高电动机效率，减少电动机的噪声。

(3) 长节距 指节距大于极距 (即 $y > \tau$)。缺点是端部连线较长，导线用量较多，只有特殊的电动机采用。

4. 极对数 p

极对数 p 即电动机主磁场磁极的对数。电动机主磁场沿气隙按 N、S 交替间隔分布。

5. 电角度 α 和机械角度

一个圆周对应的机械角度为 360° ；如定子绕组能产生 p 对磁极，一对磁极对应一个交变周期，将一个交变周期定义为 360° 电角度。因此，如有 p 对磁极，电角度 = $p \times$ 机械角度。

6. 每极每相槽数 q

它表示每个极下每相绕组所占的槽数，即 $q = Z_1 / 2pm$ ，式中， m 是绕组的相数。每极每相的 q 个槽所占的区域称为相带。在三相绕组中，每个极距内共分为三个相带，分别属于 A、B、C 三相，而每个极距 $\tau = 180^\circ$ 电角度，则每个相带为 60° ，这样排列的对称三相绕组称为 60° 相带绕组。一般的三相异步电动机中都采用这种 60° 相带的三相绕组。

7. 极相组 (线圈组)

它指一个磁极下属于同一相的 q 个绕组元件按一定方式连接而成的组合体，或称为线圈组，同一个极相组中所有的绕组元件电流方向相同，如图 8-12 所示。

8. 绕组的并联支路数

一台电动机每相所有的绕组元件有串联成一路的，也有串联成几条支路再并联的，每相绕组中并联的支路数称为并联支路数。

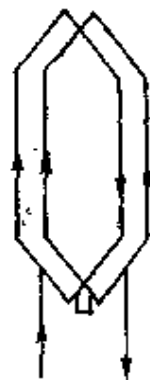


图 8-12 极相组示意图



9. 定子绕组展开图

电动机定子绕组分布在铁心圆柱面上，为了便于直观表示，设想将定子铁心沿轴向切开，展开成平面，将这种定子铁心及绕组画成平面的图形，称为定子绕组展开图。

10. 并绕根数

额定功率较大的电动机，因电流较大，可采用几根线径较小的导线并绕构成线圈。当决定电动机修理、重绕拆线的，需搞清原始的并绕根数，以免误作线圈匝数。

11. 匝数和线径

匝数即每个线圈的圈数，线径用线号或裸线直径（mm）表示。

二、三相异步电动机定子绕组的分类和连接

1. 三相单层绕组

其特点是每个槽中只嵌一个线圈边，整个绕组的线圈数等于总槽数的一半。单层绕组的优点是嵌线比较方便、槽的利用率高；缺点是节距的选择受限制，电动机的电磁性能不够理想。常用于小功率电动机。

单层绕组按绕组端部的形状分，有同心式，交叉式和链式三种。

(1) 同心式绕组 同一个绕组元件的节距大小不等，绕制时需用几个大小不同的模具，但几个元件同心安放，端部连线不互相交叉，易于排列整齐（如图 8-13a 所示）。

(2) 链式绕组 绕组元件的节距相等，绕制较方便，链式排列，端部连线交叉较多，端部整形困难（如图 8-13b 所示）。

(3) 交叉式绕组 如图 8-13c 所示，元件节距有两种，一大一小交叉安放，元件的绕制虽不如链式方便，但可以采用短节距绕组，对改善电动机性能有利。它又可分为交叉链式和交叉同心式，如图 8-14 所示。

2. 三相双层绕组

双层绕组即每个槽内放两个有效边，一个在上层，一个在下



层。双层绕组的优点主要有：所有绕组元件具有同样的形状和尺寸，易于制造，端部排列整齐，利于散热和增强机械强度，可选择有利的节距，使旋转磁场的波形接近于正弦波，改善电动机性能，可组成多个并联电路。但嵌线比较麻烦。双层绕组分叠绕组与波绕组两种。

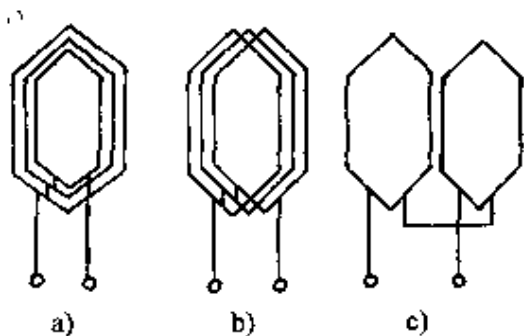


图 8-13 绕组的形式

a) 同心式 b) 链式 c) 交叉式

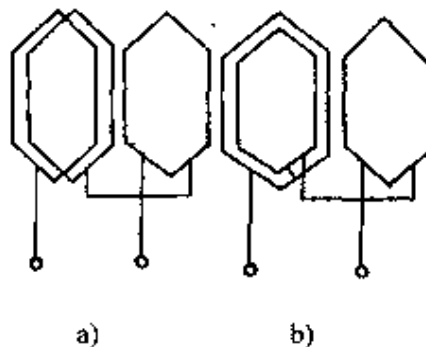


图 8-14 交叉式绕组

a) 交叉链式 b) 交叉同心式

(1) 三相双层叠绕组 三相双层叠绕组的任何两个串联线圈，总是后一个叠在前一个的上面，故称叠绕组，多用于 10kW 以上的中型电机中。

(2) 双层波绕组 用于磁极较多、支路导线截面较大的交流电机中，每相元件的串联是按同一方向，呈波浪花形起伏，故称波绕组。

3. 线圈的连接方式

定子绕组线圈的连接方式可分为两种：

(1) 显极式连接 如图 8-15a 所示。此种连接中，每个(组)线圈形成一个磁极，相邻线圈(组)间不形成磁级，绕组的线圈(组)数与磁极数相等。此种连接也称反串连接，即首端(头)与首端(头)相接，尾端与尾端相接。国产电动机大多采用此种连接，只有少数小功率电动机例外。

(2) 隐极式连接 如图 8-15b 所示。此种连接中，不但每个(组)线圈形成一个磁极，而且相邻线圈(组)间还形成磁极，

绕组的线圈（组）数与磁极对数相等，也称正串连接，即首端（头）与尾端相接。进口电动机不论功率大小，较多采用此种连接。

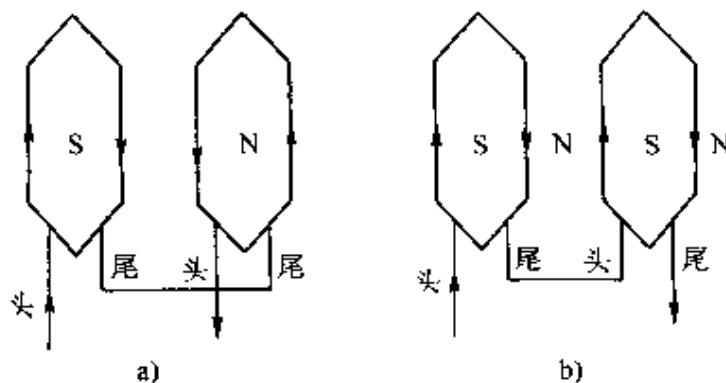


图 8-15 绕组的两种连接方法
a) 显极式连接 b) 隐极式连接

三、绕组的排列

1. 三相单层绕组的排布与连接规则

(1) 先将定子槽数按极数均分，再把每极下槽数均分成三个相带，每个相带各占 60° 电角度。

(2) U、V、W 三相相带的分布规律为：V 相带滞后 U 相带 120° 电角度；W 相带又滞后 V 相带 120° 电角度。相邻的不同极性下的同相的相带相差一个极距，即 180° 电角度。图 8-16 是 $Z_1 = 24$ 、 $p = 2$ 的三相电动机相带的划分排列情况。各相绕组的电源引出线应彼此间隔 120° 电角度，即三相绕组中的三个始端 U1、

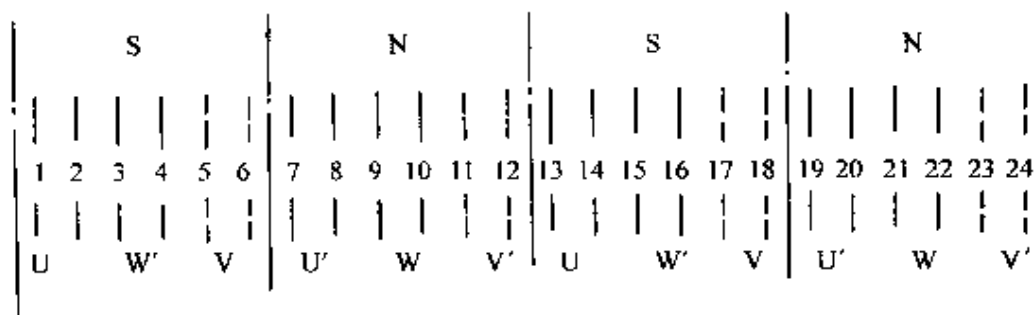


图 8-16 三相电动机相带划分和排列
 $Z_1 = 24$ 、 $p = 2$ 、 $\tau = 6$ 、 $q = 2$ 、 $\alpha = 30^\circ$

V1、W1 各相差 120° 电角度。三个末端 U2、V2、W2 也各相差 120° 电角度。

(3) 同一相绕组的各个有效边在同性磁极下的电流方向应相同，而在异性磁极下的电流方向应相反。

(4) 同相线圈之间的连接应顺着电流方向进行。

按上述原则可绘制出几种常用的三相单层绕组如下。图 8-16 中画出了其中一相绕组的排布，另外两相仅画出了其引出线的位置（其中 W 相的引出线也可以有另外的出线位置，可参阅下面完整的三相展开图）。

单层链式绕组：此种绕组由相同节距的线圈组成，线圈是一个环，形如长链，故称链式绕组，如图 8-17 所示。

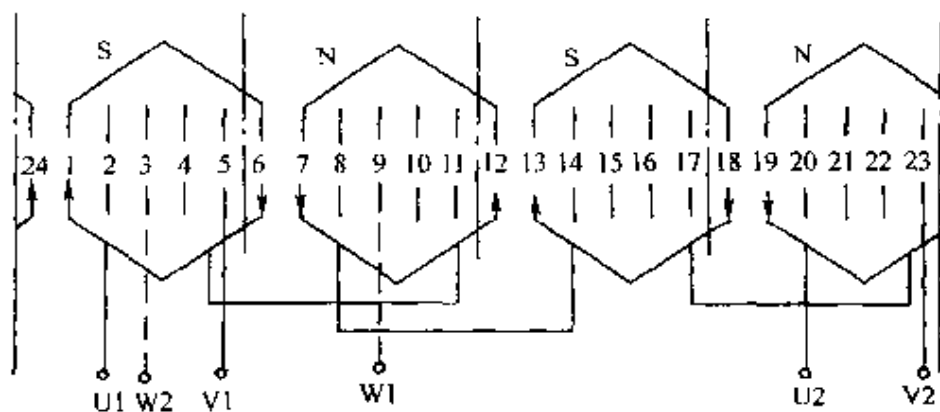


图 8-17 单层链式绕组一相展开图

$Z_1 = 24$ 、 $2p = 4$ 、并联支路数 $q = 1$ 、 $y = 5$ 、显极式连接、线圈组数 = 极数

单层交叉链式绕组：它是采用不等距线圈组成，主要用于每极每相槽数 $q = 3$ （或其他奇数）， $2p = 4$ 或 6 的小型异步电动机中，如图 8-18 所示。

单层同心式绕组：此种绕组大小线圈的中心重合，故称同心式绕组，在二极电动机中采用较多，如图 8-19 所示。对于每极每相槽数 $q = 4$ 的电动机可把 4 个线圈分成左右两个同心线圈组，形成交叉同心式绕组，如图 8-20 所示。

2. 双层叠绕组的排布与连接规律

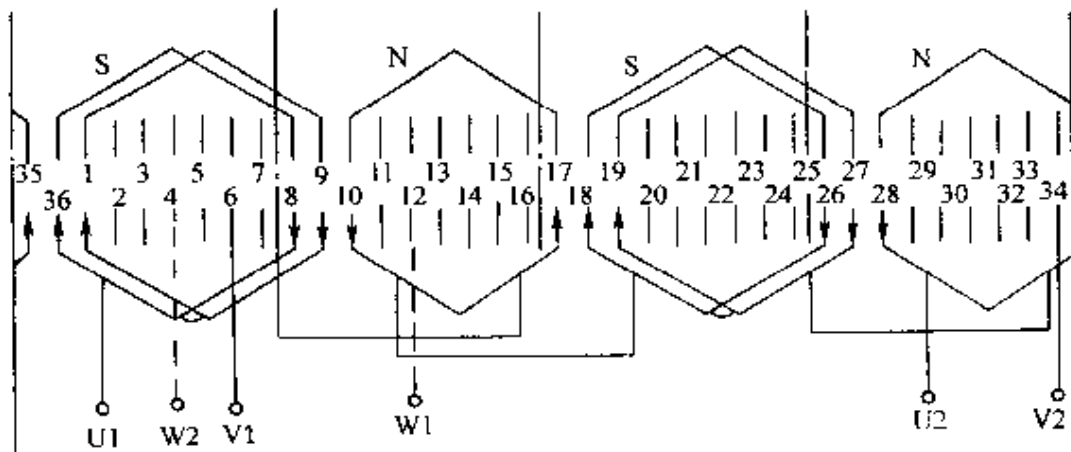


图 8-18 单层交叉链式绕组一相展开图

$Z_1 = 36$ 、 $2p = 4$ 、并联支路数 $q = 1$ 、 $y_{大/双圈} = 8$ 、 $y_{小/双圈} = 7$ 、
显极式连接、线圈组数 = 极数

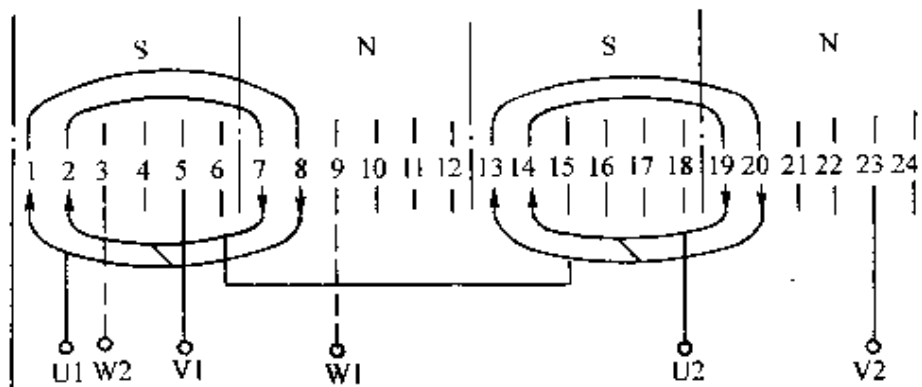


图 8-19 单层同心式绕组一相展开图

$Z_1 = 24$ 、 $2p = 4$ 、并联支路数 $q = 1$ 、 $y_{大} = 7$ 、 $y_{小} = 5$ 、隐极式连接、线圈组数 = 极对数

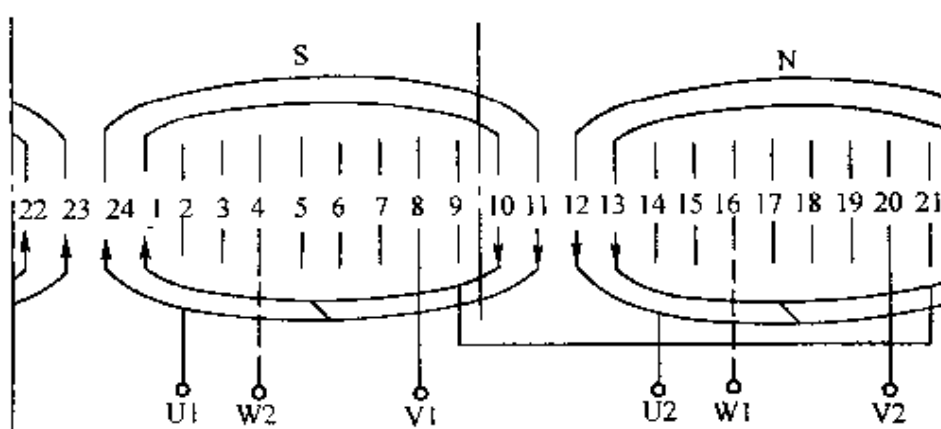


图 8-20 单层交叉同心式绕组一相展开图

$Z_1 = 24$ 、 $2p = 2$ 、并联支路数 $q = 1$ 、 $y_{大} = 11$ 、 $y_{小} = 9$ 、显极式连接、线圈组数 = 极数



其相带的划分与绕组的连接规律与单层绕组的基本相同，所不同的是它每槽有上、下两层导体，相带是按上层导体来划分的，下层边由线圈的节距决定。双层绕组的节距可采用 $y = \tau$ 的整节距（较少用），也可采用 $y < \tau$ 短节距（常用）。如图 8-21 所示，图中的虚线表示下层边。

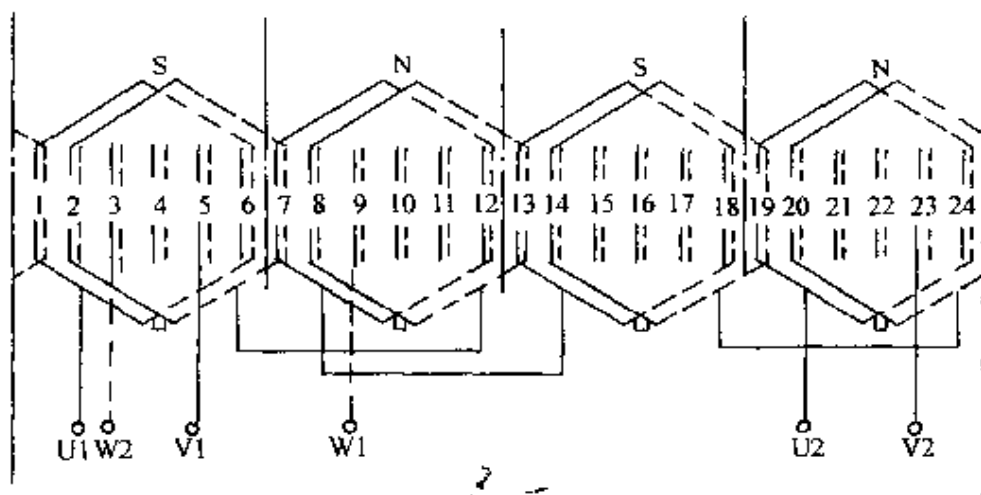


图 8-21 三相短距双层叠绕组一相展开图

$Z_1 = 24$ 、 $2p = 4$ 、并联支路数 $q = 1$ 、 $y = 5$ 、显极式连接、线圈组数 = 极数

第五节 绕组的修理

因受潮，受热，腐蚀性气体浸入，绕组绝缘老化，或者电动机过载，三相电动机单相运行等原因，均可能导致绕组发生故障。在绕组中常见的故障有绕组接地、绕组短路、断路等。

一、定子绕组故障的检修

1. 绕组接地

绕组绝缘损坏，线圈同铁心或机壳相碰，就叫“绕组接地”。

绕组接地会造成绕组有效匝数减少，使电流增大，绕组发热，进而烧坏尚未损坏的绝缘。如果不同相的绕组中有两处同时接地，会引起相间短路，使电动机完全不能工作。绕组接地后除了有过热现象外，还常伴有异常响动，振动，甚至不能工作。另外，绕组接地后，机壳带电，若机壳接地不良，则可能造成人身触电事故。



(1) 绕组接地的检查

1) 摇表检查的方法如图 8-22a 所示。

2) 试灯检查：将一只灯泡和两根测试棒用导线连接起来，测试时，如果绝缘绕组良好，则灯泡不亮，若灯泡发亮，说明该相绕组有接地故障。有时灯泡不亮，但测试棒接触电动机时，出现火花，则是绕组严重受潮，如图 8-22b 所示。

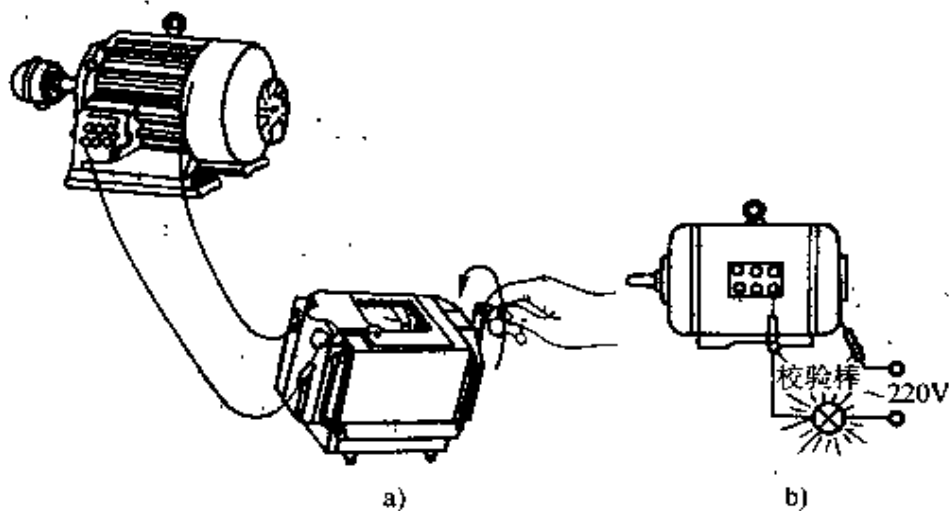


图 8-22 绕组接地故障的检查

a) 摇表检查 b) 试灯检测

用试灯检查，电源一般用电池或低压电源，若用 220V 交流电源则要注意安全，应拆去机壳的接地线，并将电动机放在木板或工作台上，以防触电。

如用上述方法还不能找到接地点，那就要拆开绕组，用“分组淘汰法”查找接地点，在查出接地点的一相绕组后，把该相的各极相组之间的连线剪开，用摇表或试灯逐组检查，找到接地点所在的极相组后，再用同样方法查找接地线。

(2) 接地故障的修理方法

1) 如果接地点在绕组端部槽口附近，而且没有严重烧损，则只要在接地处的导线和铁心之间插入绝缘材料后，涂刷绝缘漆就行了，不必拆出线圈。



2) 如果接地点在槽的里面,可以在故障线圈线槽的槽楔上,用毛刷刷上适当的溶剂(其配方(体积分数)为丙酮40%、甲苯35%和酒精25%),约半小时后,绕组绝缘可软化。这时轻轻地抽出槽楔,仔细地用划线板将线圈的线匝一根一根地取出,直至取出有故障的导线为止。用绝缘带把绝缘损坏处包好,再仔细将线圈导线嵌回线槽中去。处理后再嵌回槽中有困难,可用同规格电磁线,更换已损坏的导线,匝数不变。重要设备所使用的电动机,为了确保质量,可以重换绕组,但修理费用较多。

3) 如果发现整个绕组受潮,就要把整个绕组预烘,然后涂上绝缘漆并烘干,直到绕组对地绝缘电阻超过 $0.5M\Omega$ 为止。如果绕组受潮严重,绕组绝缘大部分因老化焦脆而脱落,接地点较多,可以根据具体情况,把整机绕组拆下,换成新的。

4) 有时,铁心槽内有一片或几片硅钢片凸出来,把绝缘割破造成接地。遇到这种情况,只要把硅钢片敲下去,再把导线绝缘被割破的地方重新包好就可以了。

2. 绕组短路

绕组短路就是绕组的线圈导线绝缘物损坏,而使不应该相通的线匝直接相碰,构成一个低阻抗的环路。接通电源后,在这个环路中,会产生高于正常电流很多倍的大电流,使线圈迅速发热,加快了绕组绝缘的老化变质。如果短路匝数过多,会引起电流激增,甚至烧坏电动机。

常见的短路情况有:同一相绕组内线圈匝间短路;两个相邻线圈间短路;两相绕组间短路。

(1) 绕组短路检查的方法

1) 直接观察法 仔细观察绕组,颜色变深或烧焦的线圈就是短路线圈,可从中查找短路点的位置。若直观看不出,可让电动机空载运行10min,(若有冒烟或发出焦味应立即停机),然后迅速拆开电动机端盖,用手摸绕组,找出温度较高的线圈,从中可以查找短路点。

2) 直流电阻法 电动机绕组发生短路时,其电阻将减小,



根据这一点，可以用测定电动机绕组的直流电阻大小的方法，确定短路的绕组。如被测电动机有六个出线头，首先用万用表的电阻档（ $R \times 1$ 档），找出每相绕组的两个线端，然后用直流电桥分别测量各相绕组的直流电阻值，并将它们加以比较，其中电阻值最小的一相就是可能发生短路的那一档。同理可测量电动机绕组有三个出线头。

如果有条件可用短路侦察器法。

(2) 绕组短路的修理

1) 局部垫绝缘法 如果短路线圈的绝缘还未焦脆，可在线圈短路处重垫绝缘，再涂上绝缘漆，烘干。这种方法适用于绕组端部或绕组外层短路的修理。

2) 局部拆修重嵌法 若故障发生在线槽里面，可参照前面绕组接地故障的修理方法 2) 进行局部拆修重嵌。若短路故障发生在底层，则必须把上述的线圈取出槽外，待有故障的线圈修好后，再顺序放回槽内。

3) 跳接法 跳接法是把短路线圈从绕组中切除出去的一种应急措施。方法是把短路线圈导线全部切断，包好绝缘，把这个线圈原来的两个线头连接起来，跳过这个有故障的线圈，跳接法会破坏相电流的平衡。

3. 定子绕组断路故障的检修

电动机定子绕组的导线、连接线、引出线等断开或接线头脱落等故障叫绕组断路故障。通常由焊接不良造成，因此，当发生绕组断路时；应先检查绕组引出线和各过桥线的焊接处是否有焊锡熔化，或焊接点松脱现象。

绕组断路故障的检查比较容易，可用兆欧表、万用表欧姆档（放在低电阻档）或用验灯等。在电动机接线板上便可查出断路的绕组相（三角形接法要拆开各接头），然后拆开在断相中测量各极相组电阻值，如不通者即断路的极相组，最后可找出断路的线圈，如图 8-23 所示。

如果查明断路点是引出线或线圈过桥线的焊接部分开焊，可

将脱焊处清理干净，然后在待焊处附近的线圈上铺垫一层绝缘纸，防止焊锡流入而损伤线圈绝缘，最后进行补焊。

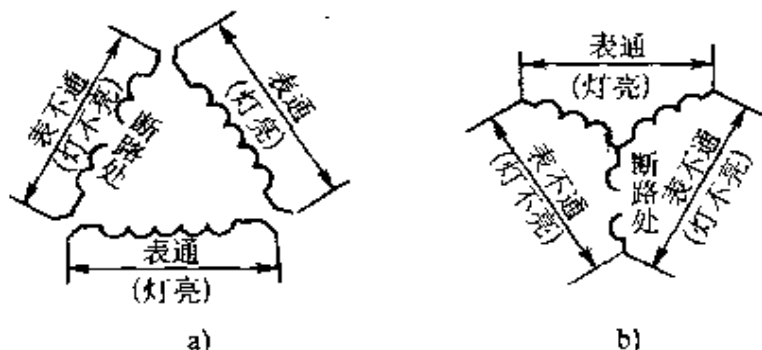


图 8-23 用兆欧表或用验灯检查定子绕组断路
a) Δ 形接法的检验 b) Y形接法的检验

如果是端部线圈烧断一根或几根导线时，需将线圈加热至 130° 左右，使绝缘软化，然后将烧断的线匝撬起，分清每根导线的端头，用相同规格的导线连接在烧断的导线端头上，连接好后进行焊接，焊好后，包扎绝缘，涂漆处理。

4. 绕组接线错误的检查

可用一圆形铁片（或铁皮罐头筒），中间有孔，穿入铜棍，然后当作转子插入定子膛内，这时定子绕组可通入 $30\% \sim 50\%$ 的额定电压，如果圆形铁片旋转正常，则说明绕组接线正确；如果圆形铁片停止不转，则说明绕组接线有严重错误；如果圆形铁片旋转不正常，则说明极相组或某一线圈接错。可用万用表检查法确定三相绕组的头尾如图 8-24 所示，然后重新正确连接。

二、转子绕组故障的检修

1. 笼型转子的故障检修

笼型转子比较坚固而不易损坏，对铸铝转子来说，最常见的故障是笼转子的断条。如果是个别铸铝笼条断条时，也可将断条钻掉。

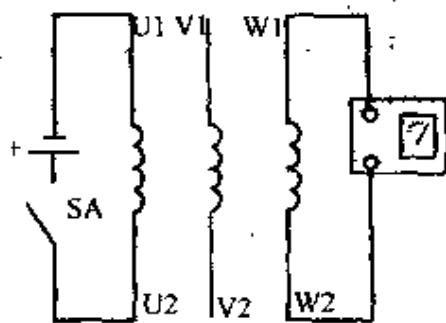


图 8-24 用万用表判断三相绕组的首尾端



把槽清理干净，如没有铸铝设备，可做一根与槽形相同的铝条或铜条打入槽内，再用铝焊药把铝条与端环用气焊焊牢即可；若转子笼条断裂较多，则应全部更换。

2. 绕线转子的故障检修

绕线型转子绕组的结构和绕制方法与定子绕组相同，其故障检查可参照定子绕组部分，绕线型转子有一套滑环和电刷装置，是较易发生故障的地方，通常的故障及修理方法见表 8-9。

表 8-9 绕线转子异步电动机集电环及电刷的检修和调整

| 部位 | 故障现象 | 故障原因及处理方法 | |
|--------------------|-------------------------------|---|---|
| 集电环 | 表面轻微损伤： 如斑点、刷痕、轻度磨伤等 | 先用平锉或油石轻轻压于集电环的表面，然后缓缓转动轴进行研磨，直至伤痕被消除。最后用“0”号砂布对其表面进行抛光 | |
| | 表面严重损伤： 烧伤，凹凸沟槽低于平面 1mm 以上 | 应上车床车削，进刀量尽可能的少，一次吃刀深度为 0.1mm 左右，车完后，将“00”号砂布涂上一层凡士林油，对其表面进行光整，高速旋转抛光 | |
| | 有裂纹 | 必须更换 | |
| 电刷 | 失去弹性 | 当配件绝缘不良时，弹簧流过电流发热而产生退火，或长期使用的弹簧出现机械疲劳，以致失去弹性 | 除更换绝缘外，还应更换弹簧 |
| | 刷握内表面磨损 | 电刷和刷握框配合不当以致滑环转动时震荡 | 校正刷握框间隙（见表 8-10），锉光刷握框内表面的毛刺 |
| 电刷的 研磨调整 和更换 | 调整弹簧压力 | 由于电刷磨损变短，弹簧伸长，导致压力变小 | 调整弹簧压力 |
| | 研磨 | 电刷与转动体的接触面小于 70% | 用“00”号砂布，将其韧外绕集电环一周且用胶布固定住，转动转轴对电刷进行研磨，直到接触面达到 90% 以上 |
| | 更换 | 电刷磨损太严重 | 更换相同牌号的电刷 |



表 8-10 电刷和刷握框的允许间隙

| 空 隙 | 轴向/mm | 沿旋转方向/mm | |
|------|-------|----------|----------|
| | | 宽度 5~16 | 宽度 16 以上 |
| 最小间隙 | 0.2 | 0.1~0.3 | 0.15~0.4 |
| 最大间隙 | 0.5 | 0.3~0.6 | 0.4~1.0 |

三、定子绕组重绕工艺

1. 填写原始数据记录卡

原始数据是第一手技术资料，必须对其进行认真测量和记录。需要在拆除绕组之前便开始记录。一直到拆除绕组为止，贯穿整个工艺过程。见表 8-11。

表 8-11 数据记录单

| 铭 牌 数 据 | 绕组及铁心数据 |
|--|---|
| 型号_____功率_____转速_____ 连接_____电压_____频率_____ 电流_____绝缘_____等级_____ 出厂编号_____制造厂名_____ 出厂日期_____ | 1. 绕组数据：绕组形式_____ 线圈节距_____并联支路数_____ 导线线径_____并绕根数_____ 线圈周长_____线圈匝数_____ 线圈端部伸出长度_____ |
| | 2. 铁心数据：定子铁心外径_____ 定子铁心内径_____定子铁心长度_____ 定子槽数_____ |

2. 旧绕组拆除

(1) 通电加热法 一般要降低电源电压加热，对于有故障线圈，在通电加热时，要使电动机可靠接地。

(2) 用烘箱，煤球炉等方法加热拆除，温度可提高到 200℃ 左右。

(3) 用煤气，乙炔，喷灯等加热。在加热过程中应特别注意防止烧坏铁心，使硅钢片性能变化。

(4) 冷拆法



- 1) 用电工刀把槽楔从中间破开后取出。
- 2) 用剪切钳将绕组一端的端部剪断。
- 3) 在另一端用钢丝钳将导线顺序逐根从槽内拉出。

拆除绕组后，应清除槽内绝缘残物，修正槽形。在拆除绕组过程中应保留一只完整绕组，以便到做绕组模时参考。

3. 绕组的绕制

(1) 绕线模的制做 重绕电动机绕组时，绕组尺寸的大小对嵌线质量、绕组的耗铜量以及电动机重换后的运行特性都有密切关系。因此绕线模的尺寸要做得比较正确。

绕线模的尺寸可以按照电动机型号在《电工手册》等有关资料中查到。

如果电动机无铭牌，但有废旧绕组，可拆下一只完整绕组，取其中最小的一匝，参考它的形状以周长作为线模尺寸。

如遇到空壳无铭牌的电动机，可用一根漆包线在选定了的槽节距的槽子中间，用手捏出一个线模样板即成。线模是由心板和上下夹板组成，如图 8-25 所示。

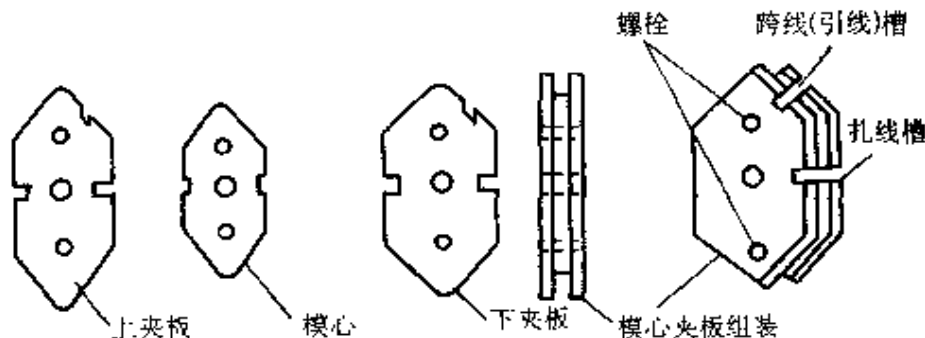


图 8-25 绕线模

(2) 绕制绕组

1) 绕组绕制的匝数要绝对准确，首尾头要用不同颜色玻璃纤维管，以防止弄错首尾头。

2) 试绕绕组，验证模心制作得是否合适。

3) 绕线模紧固在绕线机上，把线轴上的漆包线端头拉至线



模上固定（若线径超过 1.5mm 以上时，应加装拉线板夹住），并在绕组挡板槽中，放置扎线，如图 8-26 所示。

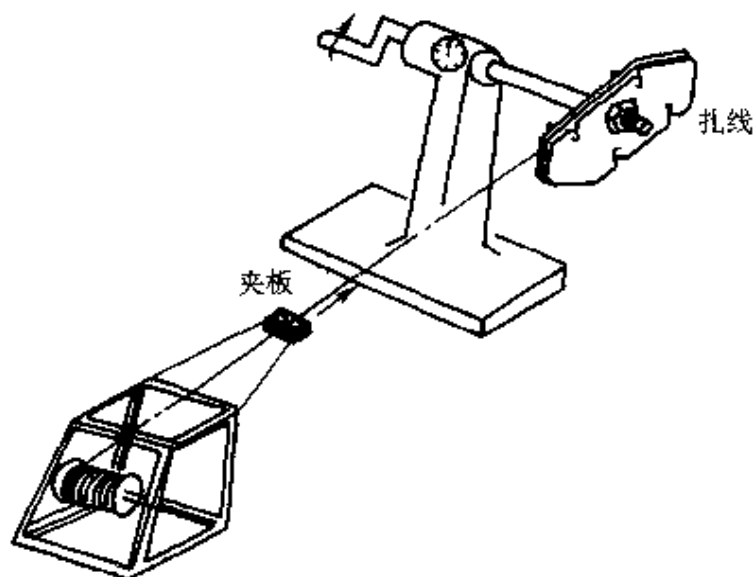


图 8-26 绕制绕组示意图

4) 绕线机计数器校零位。

5) 绕线时，绕组要依次密排完成一层，再返回第二层，如此循环至完成。

6) 绕组绕完后，将挡板槽中的扎线上翻，扎紧绕组以放松散，然后在从绕线机上取下，将绕组退下线模，再继续绕下一个绕组。

7) 绑扎绕组时，用白线绳或纸绳。将绕组两端扎紧，两线头应套绝缘玻璃丝管和绕组扎在一起。

8) 注意绕线机的速度不应太快，也不应忽快忽慢；拉线机松紧应适宜，太紧会伤线的绝缘。

4. 嵌线工艺

(1) 准备工作

1) 检查铁心和定子槽清理质量。

2) 准备好嵌线的工具：小型异步电动机嵌线工具有划线板（又称理线板）、压线板（又称压脚）、打板、剪刀、电工刀、尖



嘴钳、电烙铁及木锤等。划线板如图 8-27a 所示，一般由竹或硬塑料或布纹层压板等做成，要磨得光滑，厚薄适中，要求能划入槽深 2/3 处。压线板由铜或铁做成，宽度应比线槽上部宽小 0.5~0.7mm，表面要光滑，在压线时不会损伤绝缘，如图 8-27b 所示。打板是嵌完线来整形端部用的。剪刀多用手术弯剪刀。电烙铁用于小型电动机绕组接头，一般可用功率为 50~100W 的电炉铁。

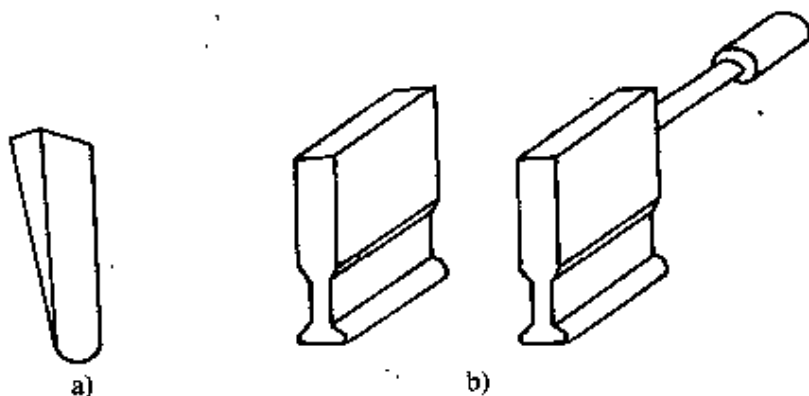


图 8-27 嵌线工具

a) 划线板 b) 压线板

3) 准备好槽绝缘、端部相间绝缘、层间绝缘材料和槽楔，以及紧固端部的扎线或绑带。槽绝缘材料一般用里外两层，小功率电动机可只用一层，槽绝缘材料的选用见表 8-12。

表 8-12 中小型异步电动机槽绝缘材料的选用

| 电动机中心高/mm | 绝缘材料及其厚度 | 总厚度/mm |
|-----------|--------------------------------------|--------|
| 80~100 | 0.22 聚酯薄膜复合绝缘纸一张 | 0.22 |
| 112~160 | 0.27 聚酯薄膜复合绝缘纸一张 | 0.27 |
| 160~180 | 0.27 聚酯薄膜复合绝缘纸一张 + 0.15 聚氯氮醇玻璃丝漆皮 | 0.42 |

槽绝缘伸出铁心的长度见表 8-13。

表 8-13 槽绝缘伸出铁心的长度

| 电动机中心高/mm | 80~112 | 132~160 | 180~220 | 225 | 250 |
|-----------|--------|---------|---------|-----|-----|
| 伸出长度/mm | 7.5 | 8 | 10 | 12 | 15 |



外层槽绝缘宽要求左、右、下三面紧贴槽壁，而上面正好比槽口缩进一些，里层槽绝缘宽可按上述要求也可采用左、右、下三面紧贴槽壁，上面再高出槽口约 5~10mm 的宽度，以便嵌线时线圈能从高出槽口的两片纸中间滑进槽内。如图 8-28 所示。端部相间绝缘和层间绝缘材料和槽绝缘相同，端部相间绝缘形状尺寸大小视绕组端部而定，层间绝缘长度要求两端各伸出槽外 10~20mm，宽度比槽宽大 5~10mm，以利隔相。槽楔一般用竹片削制而成，槽楔长度较线槽稍长，横截面应是梯形，梯形的高度应以能压紧槽内线圈为准，削制的槽楔要求表面光滑、平直。

(2) 嵌线的工艺 电动机的嵌线过程，一般可按以下几步进行：

1) 摆放电动机定子位置：将电动机横卧，底座朝向外侧，接线盒朝向内侧。

2) 线圈整形：右手大拇指和食指捏住线圈一有效边，左手捏住另一有效边，两手同时用力，右手向外翻，左手向内翻转，把线圈尽量捏扁，如图 8-29 所示。

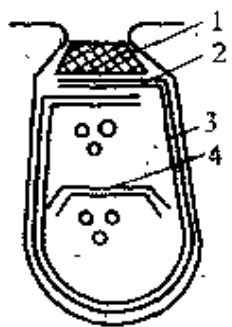


图 8-28 槽绝缘、层间绝缘及槽楔的构成

1—槽楔 2—封口
3—槽绝缘 4—层间绝缘

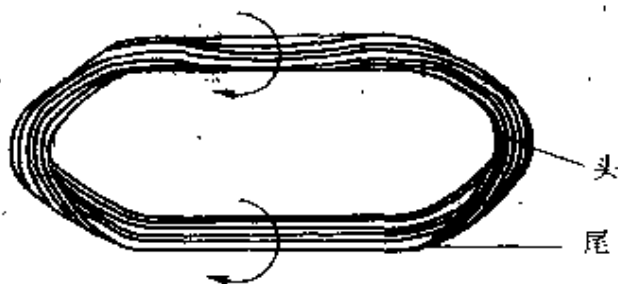


图 8-29 线圈整形

3) 嵌入线圈

①线圈的引线朝向接线盒的进线孔方向，先嵌靠近身体的一线圈有效边，用两手把线圈有效边尽量捏扁，将线圈边的左端从



槽口右侧倾斜着嵌进槽里，逐渐向左移动，边拉边压，来回滑动，使导线全部嵌入槽内，如图 8-30 所示。如有小部分导线压不进槽里，可用划线板划入。但须注意划线板必须从槽的一端一直划到另一端，并且必须使所划的导线全部嵌入槽内，然后再划其余导线。切忌随意乱划或局部揞压，以免导线交叉轧在槽口无法嵌入。

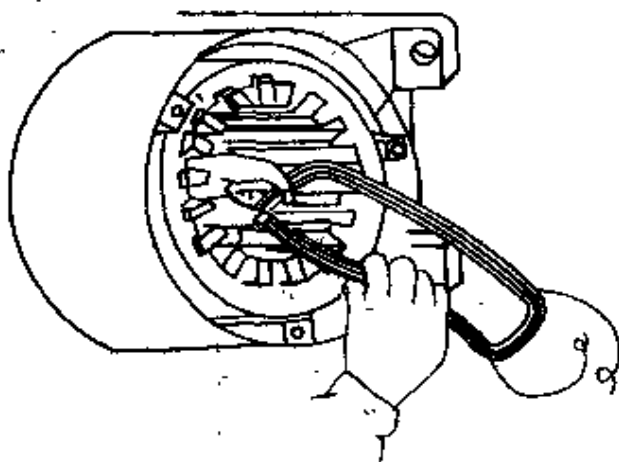


图 8-30 线圈的嵌人

②靠身体的线圈边嵌好后，再把另一线圈边倒向前面嵌进槽里。这一线圈边的嵌法不同于先嵌的线圈边，要采用划线板划入。注意，并不是每个线圈的两边都同时嵌线，也

有嵌若干个线圈边后再回头嵌原先一个线圈的另一线圈边的，要视具体情况而定。

③为防暂时不嵌入槽内的另一线圈边影响其他线圈的嵌线操作，或防止导线可能与铁心槽口周围相擦而损坏绝缘；可采用钢丝绳吊起（称吊把）或用厚纸暂时衬垫。这种线圈称“起把”线圈。

④单、双层绕组嵌线顺序，一般都是后退（靠身）进行。

4) 压实导线：导线全部嵌入槽内，如槽内导线太满，可用压线板顺定子槽来回压几次，将导线压紧，以利槽楔顺利插入。

5) 封槽口：将引槽纸齐槽剪平，折合封好，并用压线板压实，插入槽楔。

6) 端部相间绝缘处理（即隔相）：隔相时应将任两相绕组完全隔开，不要错隔，漏隔。隔相纸应插到底。

7) 接线：按前面所述绕组连接方法，对照展开图完成接线。

8) 线圈引出线的接线和焊接：



①在线圈引出线上套入能串套的粗“玻璃丝”套管及细的“玻璃丝”套管，粗套管长度约为40~80mm，如图8-31所示。



图 8-31 引线套管

②刮净漆包线上的绝缘，尽量不要损伤金属部分。

③线端的连接如图8-32所示。

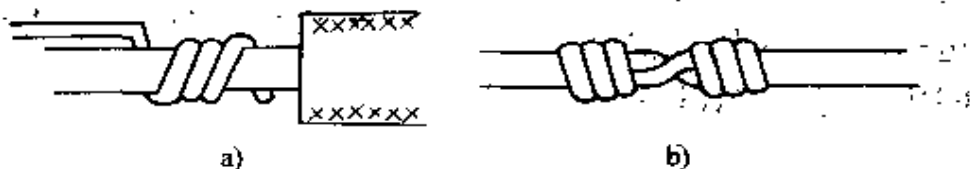


图 8-32 线端的连接

a) 引接线 b) 单线绞合

9) 端部整形：把绕组端部整形成外大里小的喇叭口形状。整形方法是用手按压绕组端部内侧，或用橡胶锤垫着竹板，轻轻敲打，使端部成形。其直径大小要适当，不可太靠近机壳。

10) 端部包扎：中型电动机可采用玻璃丝布包扎，小型电动机可用扎线或纱带包扎。

5. 绕组试验

(1) 接线检查 绕组接线完成后，要检查各相绕组是否接通，各相绕组对地绝缘是否良好，三相绕组是否接错或接反。

检查通过后，做三相电流平衡试验，将三相绕组并联通入单相交流电（电压为24~40V），测量三相电流，若平衡表示没有故障。如果不平衡，可能绕组有短路、断路或三相绕组电阻不平衡等现象。

也可以采用指针法，通入三相70V左右的交流电源，并在定子铁心中放一只小钢珠。如果接线正确，小钢珠将沿着定子内



圈旋转；如小钢珠被吸住不动，说明线圈可能存在着接错、嵌反、短路或断路等故障。

(2) 测量直流电阻 在正常情况下，三相绕组电阻应该相等。允许误差不超过 4%。测量直流电阻一般使用电桥。

(3) 耐压试验

1) 使用 1000V 兆欧表分别测量绕组对机壳及三相绕组的绝缘电阻，并记下电阻值。

2) 绝缘电阻合格的绕组进行耐压试验，试验项目为三相绕组对地及三相绕组间的耐压。试验电压为：电动机额定电压 1000V。试验时间为 1min，如不发生击穿现象，即合格。

3) 耐压试验合格后，再次使用 1000V 兆欧表分别测量三相绕组对机壳及三相绕组之间的绝缘电阻，正常情况下应与耐压试验前的电阻一样。如前后两次绝缘电阻相差较大，说明经耐压试验后，绝缘虽没有被击穿，但绕组已遭破坏。

6. 浸漆与烘干

电动机绕组浸漆的目的是提高绕组的绝缘强度，耐热性，耐潮性以及导热能力。此外也增加了绕组的机械强度和耐腐蚀能力。一般 A 级绝缘使用 1012 号的耐油清漆，E 级绝缘使用 1032 号三聚氰胺醇酸漆。

在浸漆前，要进行预烘。预烘的目的是除去绕组内潮气和挥发物，温度一般为 110℃ 左右，时间约 4 ~ 8h。预烘时，约每隔 1h 测绝缘电阻一次，待绝缘电阻稳定后，才可浸漆。

常见的浸漆方法，有以下几种：

(1) 沉浸 将电动机吊入漆罐中，保证漆面没过电动机 200mm 以上，使绝缘漆渗透到所有绝缘孔隙内，填满线圈各匝之间以及槽内所有空间。

(2) 滴浸 适用于中小型电动机绝缘浸渍用。下面介绍一种小型电动机常用的手工滴漆工艺。

1) 预热 在绕组内通电加热 4min 左右，温度控制在 100 ~ 115℃，也可放在干燥炉内加热，约 30min。



2) 滴浸 如图 8-33 所示, 将电动机直放置在漆盘上, 然后当电动机温度降为 $60 \sim 70^{\circ}\text{C}$ 左右时, 开始手工滴漆。待 10min 后, 将电动机翻转, 滴浸另一端绕组, 一直浇透为止。

3) 固化 滴浸后, 绕组通电加热固化, 绕组温度为 $100 \sim 150^{\circ}\text{C}$, 测量绝缘电阻值 ($20\text{M}\Omega$) 合格为止。也可放入干燥炉中固化, 温度同上, 时间约 2h 左右, 视电动机大小而定, 绝缘电阻大于 $1.5\text{M}\Omega$ 出炉。

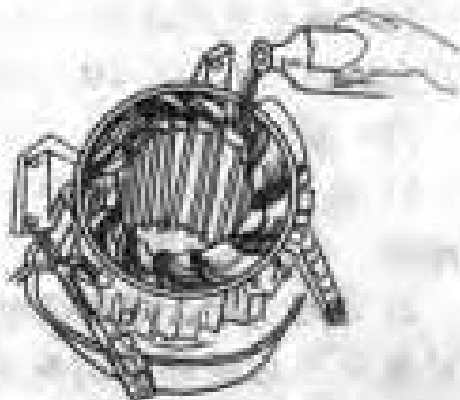


图 8-33 浇漆绝缘漆

第六节 电动机修复后的试验

电动机的修理试验, 可分为三种: ①修理前的试验, 这种试验主要目的是为了检查故障所在, 给修理提供必要的数据; ②修理中的试验, 目的是检查半成品的质量; ③修理后的试验, 是保证电动机的可靠性, 提高电动机的修理质量。

一、试验前的检查

修复后的电动机在试验开始之前, 首先应进行一般性检查。一般性检查包括: 检查电动机的装配质量, 各部分的紧固螺栓是否旋紧, 引出线的标记是否正确, 转子转动是否灵活。此外, 还要检查各绕组接线是否正确。确认电动机的一般性检查良好后, 在绝缘良好的情况下, 方可进行通电试验。

二、绝缘试验

电动机绝缘是比较容易损坏的部分, 电动机的绝缘不良, 将会造成严重后果, 如烧毁绕组, 电动机机壳带电等。所以, 经过修理的电动机和尚未使用过的新电动机, 在使用之前都要经过严格的绝缘试验, 以保证电动机的安全运行。

绝缘试验包括绝缘电阻测量和绝缘耐压试验。

1. 绝缘电阻的测量



测量绝缘电阻，最简便的办法是采用兆欧表（又称摇表）。常用兆欧表有两种电压级别，即 500V 级和 1000V 或 2500V 级。前者用于 500V 以下电动机测试；后者用于高压电动机的测试。测试前应先放掉绝缘中的电荷。测试时可将兆欧表的“接地”端接至机座（应刮去上面的油漆和尘埃），另一“相线”端接至绕组的出线端，然后用手摇动手柄。旋转速度应符合表上所规定的数值。若表上未规定转速，可按 120r/min 摇测 1min，待其数值不再摆动时，方可读出数值。

交流电动机测量绝缘电阻时，如果各相绕组的始末端引出机壳外，应断开各相绕组之间的连接线，分别测量每相绕组对机壳的绝缘电阻，即绕组对地的绝缘电阻，然后测量各相绕组之间的绝缘电阻，即相间绝缘电阻。

绝缘电阻一般规定为：低压电动机小于 $5M\Omega$ ；3 ~ 6kV 高压电动机不小于 $20M\Omega$ 。

三相异步电动机的绝缘电阻值不得低于 $0.5M\Omega$ 。如果低于 $0.5M\Omega$ ，必须先经过干燥处理之后，方可进行通电运转和高压试验。

2. 绝缘耐压试验

绝缘电阻符合要求，也并不一定表示此电动机的绝缘情况良好。有时绝缘可能已有机械损坏，但只是线圈与外壳之间无金属性接触，它的电阻仍可能很高。所以检查绝缘品质最可靠的方法是绝缘耐压试验。每一台修复后的电动机都应当作耐压试验。

（1）绕组对地和绕组间的耐压试验 每一个独立的绕组，都应轮流作对机壳的绝缘试验。而其他绕组在电气上都应与接地机壳连接。试验采用升压变压器，电压表接在低压侧。试验时，调节升压变压器次级得到所需要的高压（试验开始时的电压应不超过试验电压的 $1/3$ ）。增大电压时，要逐渐地（不超过全值的 5%）进行。试验电压由半值升高到全值时间不应小于 10s。

如果线圈是局部修理，试验电压低一些。一般总装后低压电动机的耐压值为 500V，高压电动机为额定电压的 1.3 倍。



对于电压为 380V 以下的电动机，如果没有试验设备，可用电压为 1000V 的兆欧表作耐压试验，摇测 1min。

进行耐压试验时，必须注意安全，防止触电事故发生。

(2) 匝间耐压试验 试验时，在被测试的绕组上加上 1.3 倍的额定电压，历时 3min。对使用过的电动机，或者绕组绝缘局部更换过的电动机，试验时间可缩短为 1min。

三、空载运转试验

空载运转试验也称为空转试验。是电动机修复后的一项基本试验。将电动机通以电压，电动机转轴上不带负载运转。运转时间一般为 1h 左右。起动和运行中要测量三相线电流的数值。

空载试验中应注意以下问题：

1) 检查电动机运转情况。是否有杂声、摩擦声、振动，轴承、铁心的发热程度。

2) (空载试验中) 注意电流的变化。三空的空载电流应保持平衡，任一相电流与三相电流的平均值的偏差不应超过 10%。

由于三相绕组匝数不等而引起的三相电流不平衡在试验过程中电流不会升高。如果三相电流不平衡是因为绕组中有匝间短路，则试验过程中电流会不断增大，直至绕组烧毁。因此在空载试验中，一旦发现某一相电流不稳定，就应停止试验，检查绕组。

3) 空载电流的数值不应超过表 8-14 所规定的数值。

表 8-14 电动机空载电流与额定电流的比 (%)

| 极数 | 0.12kW 及以下 | 0.5kW 及以下 | 2kW 及以下 | 10kW 及以下 | 50kW 及以下 | 100kW 及以下 |
|----|------------|-----------|---------|----------|----------|-----------|
| 2 | 70 ~ 50 | 45 ~ 70 | 40 ~ 45 | 30 ~ 45 | 23 ~ 35 | 18 ~ 30 |
| 4 | 80 ~ 96 | 65 ~ 80 | 45 ~ 60 | 35 ~ 55 | 25 ~ 40 | 20 ~ 30 |
| 6 | 85 ~ 90 | 70 ~ 90 | 50 ~ 65 | 35 ~ 65 | 30 ~ 45 | 22 ~ 33 |
| 8 | 90 ~ 98 | 75 ~ 90 | 50 ~ 70 | 37 ~ 70 | 35 ~ 50 | 25 ~ 35 |



四、温升试验

电动机在运行过程中，有铁耗也有铜耗，这些损耗最后都转化为热能，使电动机各部分的温度升高。而过高的温度会使绝缘材料的寿命降低。电动机的使用寿命，主要决定于电动机的绝缘老化情况。因此各种绝缘材料都规定有一定的工作温度。如果电动机温度超过了规定值，即使不会立即烧坏电动机，电动机的寿命也会因绝缘的快速老化而缩短。电动机工作时，若绝缘材料达到规定的温度极限，这时的电动机的负载能量为最大负载，也即额定负载。电动机温升试验是为了检查电动机在额定负载下运行时其各部分温升是否正常。

温度计法就是用温度计直接测量电动机的温升。一般主要测量铁心温度与绕组温度。温度计的玻璃球可用锡箔、棉絮裹住并扎牢。为了保证测量的准确性，应排除影响温度的因素。电动机运转中温度不断上升，运行数小时后温度达到某一稳定值而不再上升，这个温度与环境温度之差，就是电动机的温升。对于封闭式电动机来说，不能用温度计直接贴在线圈上测量，可将温度计用锡箔裹住玻璃球塞在吊环孔中测量，四周用棉絮裹住。

五、超速试验

超速试验一般是将电动机转速提高到额定转速 120%。超速试验的目的在于检查电动机的安装质量，考验转子各部分承受离心力的机械强度和轴承在超速时的机械强度。

要使异步电动机超速运转，可以提高被试电动机电源电压的频率，或用辅助电动机拖动被试电动机，使之转速提高。提高电动机电源电压频率的方法，目前都采用晶闸管变频装置。

作超速试验时，转速的测量最好采用远距离测速计。

第七节 单相异步电动机

用单相电源供电，只具有一相主定子绕组的异步电动机，叫单相异步机。与相同功率的三相异步机相比，单相电动机体积大，工作性能也差一些，在工农业生产中，单相电动机远不如三

相电动机应用得广泛。但由于单相异步电动机所用电源是单相交流电源，这就使它在家用电器、医疗器械中用得很多，如电风扇、洗衣机、电冰箱及吸尘器等电器中，都用到单相异步电动机。单相电动机的功率较小，一般都不到 1kW。

一、单相异步电动机的结构

从结构上看，它由转子和定子两部分组成。单相电动机的转子和三相异步机的转子相同，转子铁心用硅钢片叠压而成，套装在转轴上。转子铁心槽内装有笼形转子绕组。

定子部分由机座、铁心、定子绕组、端盖、轴承等组成，对电容运转或分相起动电动机而言，结构形式和三相电动机相似。

定子铁心也是用硅钢片叠压而成，定子绕组由两套线圈组成，一套是主绕组（工作绕组），一套是副绕组（起动绕组）。两套绕组的中轴线在空间错开一定角度。两套绕组若在同一槽中时，一般将主绕组放在槽底（下层），副绕组在槽内上部。

二、单相异步电动机的起动

使单相异步电动机起动运转的关键就是，设法建立旋转磁场。不同类型的单相电动机，产生旋转磁场的方法也不同，常见的是电容起动式单相异步电动机。

这种电动机的定子中装有两相绕组，一相叫主绕组，一相叫副绕组。主绕组直接与电源连接，副绕组与一电容器串联后与主绕组并连接入电源，其接线如图 8-34 所示。两个绕组由同一单相电源供电，由于副绕组支路中串有电容器，故两个绕组中的电流相位不同。如果电容 C 选择合适，可以使两个电流的相位差 90° ，相差 90° 的两个正弦交流电分别通入在空间互差 90° 的两个绕组，就会产生旋转磁场。（实际上两个绕组中电流有一定的相位差，便可以产生旋转磁场，并不一定准确相差 90° 才可以）。

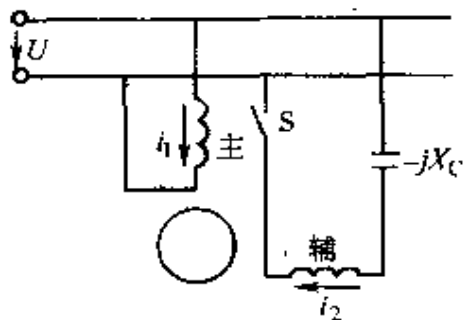


图 8-34 电容起动电动机

电动机起动后，借助离心开关 S，自动把起动绕组的电源切断，电动机进入正常运行。“两相”电流所生旋转磁场的转速（同步转速）和三相旋转磁场一样，可由下式决定：

$$n_1 = 60f/p = 60 \times 50/p = 3000/p \quad (f = 50\text{Hz})$$

式中， f 为电源频率， p 为极对数。

电容运转电动机具有较好的运行特性，其功率因数、效率、过载能力均比其他单相电动机高，并能产生较大转矩。若要改变电动机转动方向，也很容易实现。家用电器风扇、洗衣机中普遍采用这种电动机。

如果把起动绕组支路中的电容器换成电感器或电阻器（实际上常采用换细导线增大电阻的办法，而不额外加串电阻元件），同样可以使两个绕组中的电流不同相，从而得到旋转磁场，这就成为电感或电阻电动机了。它们和电容起动电动机都称为分相起动电动机。

三、单相异步电动机的常见故障及处理

单相异步电动机常见故障和三相异步电动机相似，不同点在于有起动装置和起动绕组。其故障及处理方法见表 8-15。

表 8-15 单相异步电动机故障分析与处理方法

| 故障现象 | 故障原因 | 处理方法 |
|--------------|--|---|
| 电源正常，电动机不能起动 | 1. 引线或绕组断路 2. 离心开关接触不良 3. 电容器击穿 4. 轴承卡住——轴承质量不好，润滑脂干固，轴承中有杂物，轴承装配不良 5. 定、转子铁心相擦 6. 过载 | 1. 用万用表找到断线处，并修好，修理处应抹上绝缘漆并衬垫绝缘物，或者更换线圈 2. 修理离心开关 3. 更换新的电容器 4. 更换轴承，或将轴承卸下，用汽油洗净，抹上新的润滑脂，再装配好 5. 取出转子，校正转轴，或锉去定、转子铁心上的凸出部分 6. 减载或选择功率较大的电动机 |



(续)

| 故障现象 | 故障原因 | 处理方法 |
|-------------------------|---|---|
| 空载或在外力帮助下能起动,但起动迟缓且转向不定 | <ol style="list-style-type: none"> 1. 辅助绕组断路 2. 离心开关触点合不上 3. 电容器击穿 | <ol style="list-style-type: none"> 1. 同上 1 项 2. 修理或更换离心开关 3. 更换电容器 |
| 转速低于额定值 | <ol style="list-style-type: none"> 1. 电源电压过低 2. 轴承损坏 3. 工作绕组接线错误 4. 过载 5. 工作绕组接地或短路 6. 转子断条 7. 起动后离心开关触点断不开, 辅助绕组未脱离电源 | <ol style="list-style-type: none"> 1. 调整电源电压至额定值 2. 更换轴承 3. 改正绕组端部连接 4. 减载或选择功率较大的电动机 5. 拆开电动机, 观察是否有烧焦绝缘的地方或嗅到气味。若局部短路应用绝缘物隔开, 若短路多处应换绕组 6. 查出断处, 接通断条, 或更换新转子 7. 修理或更换离心开关 |
| 起动后电动机很快发热, 甚至烧毁绕组 | <ol style="list-style-type: none"> 1. 工作绕组接地或短路 2. 工作、辅助绕组短路 3. 起动后离心开关触点断不开, 使起动绕组长期运行而发热, 甚至烧毁 4. 工作、辅助绕组相互接错 | <ol style="list-style-type: none"> 1. 同上 5 项 2. 找到故障处用绝缘物隔开 3. 修理或更换离心开关 4. 测量其电阻或复查接头符号, 改正工作、辅助绕组接线 |
| 运行发热 | <ol style="list-style-type: none"> 1. 绕组短路或接地 2. 工作、辅助绕组间短路 3. 电源电压过低 | <ol style="list-style-type: none"> 1. 同上 1 项 2. 同上 2 项 3. 调整电源电压至额定值 |
| 运行时噪声大 | <ol style="list-style-type: none"> 1. 工作、辅助绕组短路或接地 2. 工作绕组接线错误 3. 电动机内落入杂物 4. 轴承损坏 5. 离心开关损坏 6. 轴向间隙太大 | <ol style="list-style-type: none"> 1. 同上 1 项 2. 改正接线 3. 拆开电动机清理并用风吹净 4. 更换轴承 5. 更换离心开关 6. 将间隙调至适当值 |

(续)

| 故障现象 | 故障原因 | 处理方法 |
|---------------|------------------------------------|---|
| 通电后熔丝熔断，电动机不转 | 1. 绕组短路或接地 2. 引接线接地 3. 电容器短路 | 1. 同上1项 2. 查到绝缘破裂处，用绝缘物扎好 3. 更换新电容器 |

四、单相异步电动机的嵌线

和三相异步电动机相比，单相的定子绕组嵌线就比较容易了，下面就以4极24槽单相电容起动式电动机为例。

1. 操作要点

4极24槽单相电容起动式电动机嵌线工艺如图8-35所示。

①嵌5吊24；②嵌7、8→4、3；③嵌11→6；④嵌13、14→10、9；⑤嵌17→12；⑥嵌19、20→16、15；⑦嵌23→18；⑧嵌2、1→22；⑨嵌24。

2. 下面给出三种单相异步电动机绕组展开图（如图8-35~8-37所示）。

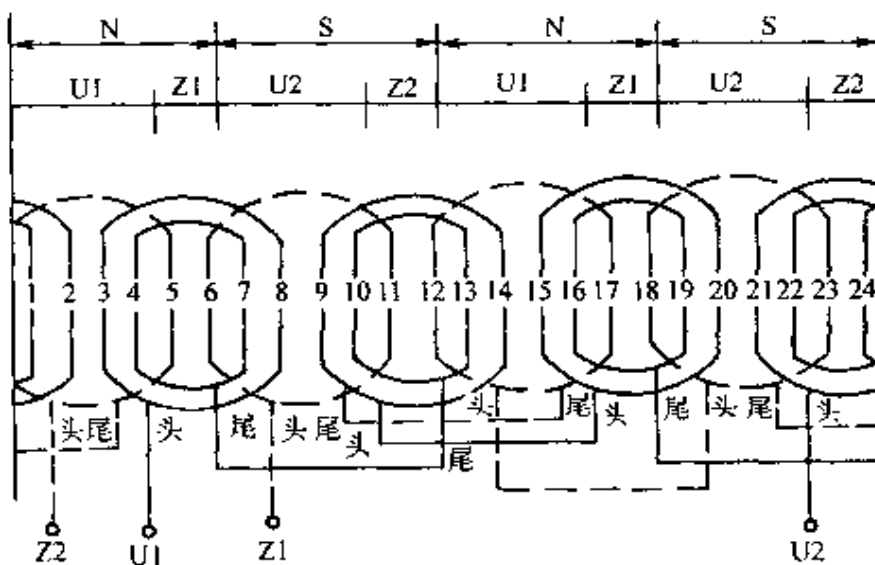


图 8-35 4极24槽单相电容起动异步电动机绕组展开图

U1、U2—工作绕组；Z1、Z2—起动绕组

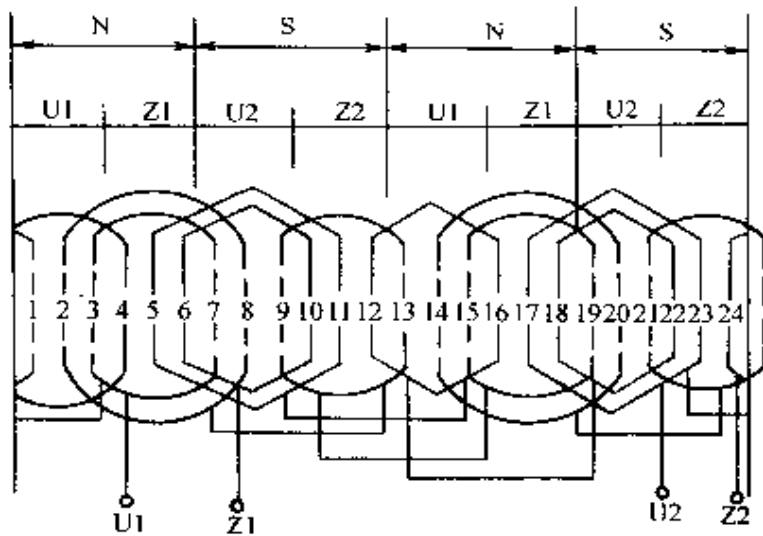


图 8-36 4 极 24 槽单相电容异步电动机绕组展开图

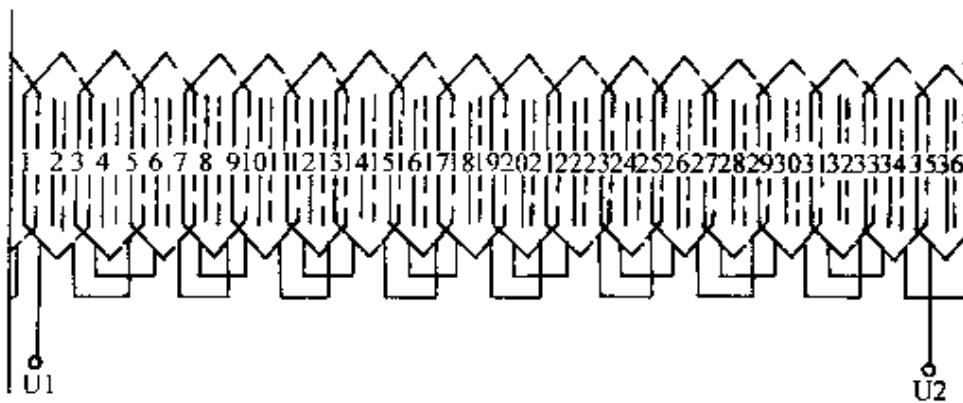


图 8-37 18 极 36 槽单相异步电动机一个绕组展开图 (吊风扇常用)

第八节 直流电动机

由机械能转变为直流电能的电机，称为直流发电机；而由直流电能转变为机械能的电机，称为直流电动机。

直流电动机具有优良的调速特性，调速平滑、方便、调速范围广。虽然其制造成本和维护费用比交流电动机大。但对电动机的调速性能和起动性能要求高的生产机械上仍得到广泛应用，如轧钢机、起重设备、电力机车等都是以直流电动机作为动力。

一、直流电动机的构造

直流电动机和直流发电机工作是可逆的，结构基本相同。直

流电动机主要由两大部分组成，静止部分叫做定子，转动部分叫做转子，又叫电枢。直流电动机的结构示意图，如图 8-38 所示。

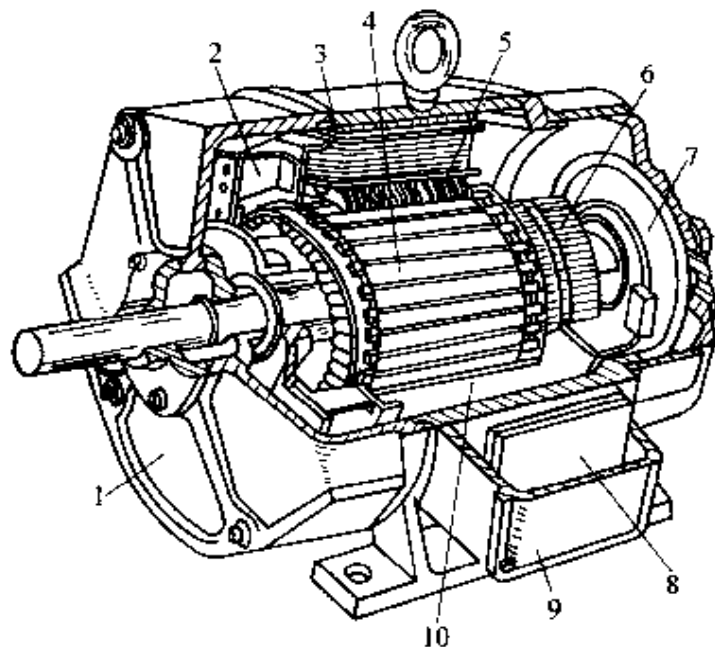


图 8-38 直流电动机的结构示意图

- 1—端盖 2—风扇 3—机座 4—电枢 5—主磁极 6—换向器
7—刷架 8—接线板 9—出线盒 10—换向磁极

1. 定子部分

定子部分由机座、磁极和换向磁极、电刷装置等部件组成，如图 8-39 所示。

机座由铸铁或铸钢制成。

主磁极的作用是产生一个恒定的主磁场。主磁极由铁心及励磁线圈组成。铁心是用硅钢片迭压紧固后，再将绕制好的励磁绕组套在铁心外边，整个磁极用螺钉固定在机座上。励磁绕组的两个出线端引到接线盒上，以便外接直流励磁电源的正负极。改变励磁电流的方向，就能够改变主磁场的方向。

有些小型直流电机的磁场是由永久磁铁供给的，这种获得磁场的方式叫永磁式，一般直流电机多用电磁铁提供磁场。电磁铁的线圈称为励磁绕组（或激磁绕组）。如果励磁绕组和电枢绕组分别由两个电源供电，称为他励式；如果励磁绕组和电枢绕组并

联，由同一电源供电，则称为并励式。此外还有串励式、复励式等不同的励磁方式。几种励磁方式的接法如图 8-40 所示。

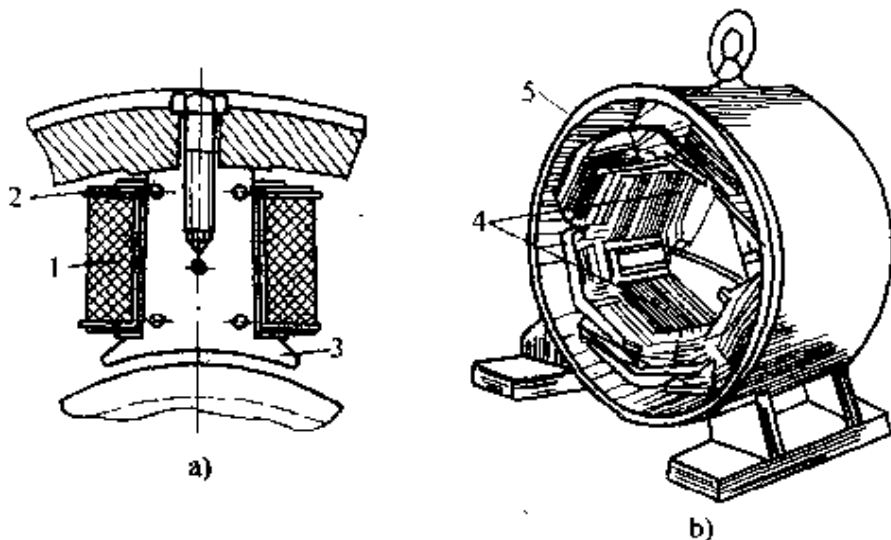


图 8-39 直流电动机的定子

a) 主磁极 b) 机座

1—励磁绕组 2—绝缘框架 3—主磁极铁心 4—主磁极 5—机座

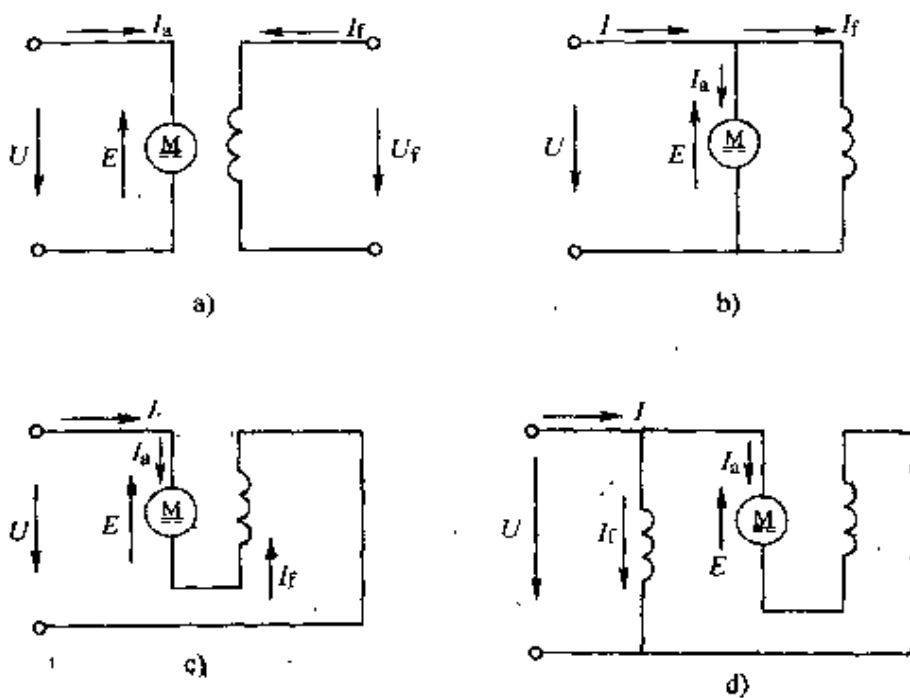


图 8-40 直流电动机接线图

a) 他励电动机 b) 并励电动机 c) 串励电动机 d) 复励电动机



电刷装置的作用是通过固定不动的电刷和旋转的换向器之间的滑动接触，将外部直流电源与直流电动机的电枢绕组连接起来。电刷放在电刷的刷握内，并用弹簧压紧在换向器上，使电刷与换向片紧密接触。电刷上有软导线接到固定接线盒内，作为电枢绕组的接线端子，以便与直流电源相联。

机座的两边各有一个端盖，它的中心部分装有轴承，用来支持电枢的转轴，电刷架也固定在端盖上。

2. 电枢部分

直流电动机的电枢部分由电枢铁心、电枢绕组、换向器、风扇和转轴等组成，如图 8-41 所示。

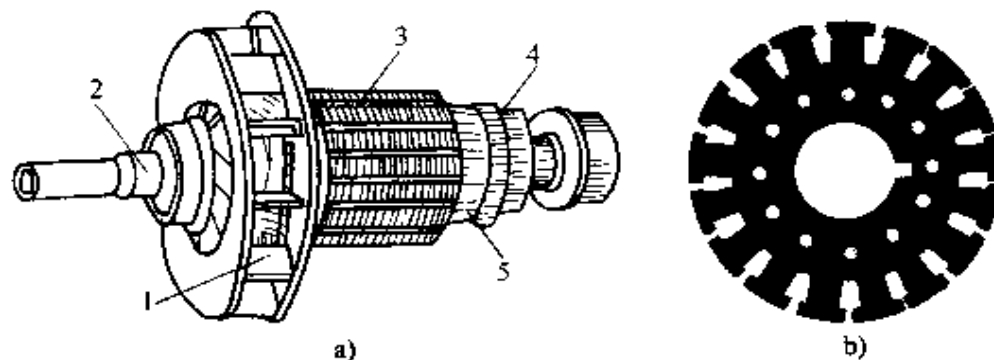


图 8-41 直流电动机的电枢

a) 转子主体 b) 电枢钢片

1—风扇 2—转轴 3—电枢铁心 4—换向器 5—电枢绕组

电枢铁心由硅钢片迭压而成，并固定在转轴上。它的作用有二：一是在铁心槽内嵌放电枢绕组；另一个作为电动机磁路的组成部分。

实际的电枢绕组是由多个线圈按一定的规律连接而成，组成线圈的各个导体嵌放在电枢铁心槽内，线圈多，换向片的数目也就随之加多了。

电枢转轴的一端装有换向器。换向器由许多铜质换向片组成一个圆柱体。换向片之间为云母绝缘。电枢绕组的每一个线圈二端分别接至二个换向片上。换相器是直流电动机的重要部件，它



的作用是将加于电刷之间固定极性的直流电流变换成为绕组内部的交流电流以便形成固定方向的电磁转矩。小型直流电机中常用塑料换向器。

二、直流电动机运行故障的检查与处理

直流电动机常见故障与处理方法见表 8-16。

表 8-16 直流电动机常见故障与处理方法

| 故障现象 | 造成原因 | 处理方法 |
|-------------|-----------------------|---|
| 电刷下 火花过大 | 1. 电刷与换向器接触不良 | 1. 研磨电刷，并在轻载下运行 0.5 ~ 1h |
| | 2. 刷盒松动或装置不当 | 2. 紧固或纠正刷盒装置 |
| | 3. 电刷与刷盒配合不当 | 3. 不能过松或过紧，略微磨小电刷尺寸或更换新电刷 |
| | 4. 电刷压力不当或不匀 | 4. 适当调整弹簧压力，使电刷压力保持在 $1.47 - 2.4\text{N}/\text{mm}^2$ |
| | 5. 电刷位置不在中性线上 | 5. 把刷杆座调整到原有记号的位置或参考换向片位置重新调整杆的距离 |
| | 6. 电刷磨损过短或型号、尺寸不符 | 6. 更换电刷 |
| | 7. 换向器表面不光洁、不圆或有污垢 | 7. 清洁、研磨或加工换向器表面 |
| | 8. 换向器片间云母凸出 | 8. 重新下刻云母后研磨或加工 |
| | 9. 过载 | 9. 恢复正常负载 |
| | 10. 电动机底脚螺钉松动发生振动 | 10. 紧固底脚螺钉 |
| | 11. 换向极绕组短路 | 11. 查找短路部位，进行修复 |
| | 12. 换向极绕组接反 | 12. 检查换向极极性，加以纠正 |
| | 13. 电枢绕组断路或电枢绕组与换向片脱焊 | 13. 查找短路或脱焊的部位，进行修复 |
| | 14. 电枢绕组短路或换向器短路 | 14. 查找短路的部位，进行修复 |
| | 15. 电枢绕组中有部分接反 | 15. 检查电枢绕组接线，加以纠正 |
| | 16. 电枢平衡未校好 | 16. 电枢重校平衡 |

(续)

| 故障现象 | 造成原因 | 处理方法 |
|-----------|--|--|
| 电源接通后不能起动 | <ol style="list-style-type: none"> 1. 过载 2. 接线板线头接错 3. 电刷接触不良或换向器表面不清洁 4. 电刷位置移动 5. 主极绕组断路 6. 轴承损坏或有异物 | <ol style="list-style-type: none"> 1. 减少负载 2. 检查接线，加以纠正 3. 研磨电刷或调整压力，清理换向器表面及片间云母 4. 重新校正中性线位置 5. 查找断路的部位，进行修复 6. 更换轴承或清除异物 |
| 起动后转速不正常 | <ol style="list-style-type: none"> 1. 电刷不在正常位置 2. 电枢或主极绕组短路 3. 串励主极绕组断线或接反 4. 并励主极绕组断线或接反 | <ol style="list-style-type: none"> 1. 调整刷杆座位置，可逆转的电动机应使其在中性线上 2. 查找短路的部位，进行修复 3. 检查主极绕组接线，加以纠正 4. 检查断线部位与接线，加以纠正 |
| 电枢过热或冒烟 | <ol style="list-style-type: none"> 1. 长时期过载 2. 电枢绕组或换向器短路 3. 换向极绕组或电枢绕组中有部分接反 4. 定、转子相擦 | <ol style="list-style-type: none"> 1. 立即恢复正常负载 2. 查找短路的部位，进行修复 3. 检查换向极及电枢绕组接线，加以纠正 4. 检查相擦原因，进行修复 |
| 磁场绕组过热 | <ol style="list-style-type: none"> 1. 并励主极绕组部分短路 2. 转速太低 | <ol style="list-style-type: none"> 1. 查找短路的部位，进行修复 2. 提高转速 |
| 轴承过热 | <ol style="list-style-type: none"> 1. 轴承损坏或有异物 2. 润滑脂过多或过少，型号选用不当或质量差 3. 轴承装配不良 | <ol style="list-style-type: none"> 1. 更换轴承或清除异物 2. 调整或更换润脂 3. 检查轴承与转轴、轴承与端盖的配合情况，进行调整或修复 |
| 外壳带电 | <ol style="list-style-type: none"> 1. 接地不良 2. 绕组绝缘老化或损坏 3. 绕组受潮 4. 接线板损坏或污垢太多 5. 引出线接地 | <ol style="list-style-type: none"> 1. 查找原因，并采取相应措施 2. 查找绝缘老化或损坏的部位，进行修复，并作绝缘处理 3. 测量绕组绝缘电阻，如阻值太小，应进行干燥处理或绝缘处理 4. 更换或清理接线板 5. 查找接地的部位，加以纠正 |



三、直流电动机火花等级的鉴别

电机运行中，电刷与换向器或滑环之间难免出现火花。如果所发生的火花大于某一规定限度，尤其是出现放电性的红色电弧火花时，将产生破坏作用，必须及时加以纠正。

火花等级可分为以下几级，火花等级的鉴别见表 8-17。

表 8-17 电刷下火花的等级

| 火花等级 | 电刷下的火花程度 | 换向器与电刷的状态 | 允许的运行方式 |
|----------------|-----------------------|--|-----------------------------------|
| 1 | 无火花 | | |
| $1\frac{1}{4}$ | 约四分之一的电刷下面小部分发生微弱的火花 | 换向器上没有黑痕及电刷上没有灼痕 | 允许长期运行 |
| $1\frac{1}{2}$ | 约半数电刷下面发生微弱火花 | 换向器上有黑痕，但不发展，用汽油擦其表面即能除，同时电刷上有轻微灼痕 | |
| 2 | 大多数或全部电刷下面大部分发生火花 | 换向器上有黑痕，用汽油不能擦除，同时电刷上有灼痕。如短时出现 2 级火花，换向器不出现灼痕，电刷不烧焦或损坏 | 仅在短时过载或短时冲击负载时允许出现 |
| 3 | 全部电刷下面发生相当大的火花，伴有爆烈声音 | 换向器上有黑痕相当严重，用汽油不能擦除，同时电刷上有灼痕。如 3 级火花短时出现，则换向器将出现灼痕，同时电刷将被烧焦或损坏 | 仅在直接起动（无变阻器）或逆转的瞬间允许存在但不得损坏换向器及电刷 |

四、轴承的使用与维修

1. 轴承的使用

电动机使用的轴承有滚动轴承和滑动轴承两种。滑动轴承精度高，振动小，在保证液体摩擦条件下，能长时间高速工作，但



它的安装、维修较复杂，滑动轴承多用于大型和部分中型电动机中；滚动轴承装配方便、维修简单，运行中不需要经常维护，耗用润滑油脂也不多，广泛应用于转速小于 1500r/min、功率在 1000kW 以下和转速在 1500 ~ 3000r/min、功率在 500kW 以下的中、小型电机中。

选择滚动轴承的主要依据，是其所承受的负荷及所受负荷的方向。球轴承用于承受较轻的或中等的负荷，滚柱轴承用于承受较重的负荷。承受纯径向负荷时，可选用向心球轴承或向心圆柱滚柱轴承或推力滚柱轴承，同时承受径向和轴向负荷时，可选用向心推力球轴承或圆锥滚柱轴承。

2. 轴承的检查

(1) 电动机运行中的检查 电动机正常运行时，滚动轴承仅有均匀连续的轻微嗡嗡声，滑动轴承噪声更小，不应有杂音。滚动轴承缺油时，会发出“骨碌骨碌”的声音；若听到不连续的“梗梗”声，则可能是轴承钢圈破裂或滚球有了疤痕；轴承内混有沙土等杂物或轴承零件有轻度磨损，会产生轻微的杂音。总之，轴承有异常噪声，说明有故障。严重的杂音可以直接听出来。轻微的杂音，可以用一把大螺钉旋具抵在轴承外盖上，耳朵贴近螺钉旋具木柄来察听。

除了听声音外，轴承发热和振动情况，也是判断轴承是否有故障的基本方法。轴承松动，会引起电动机振动，停机后用手晃动电动机转轴伸出端，可以觉察轴承是否松动。正常的轴承是觉察不出松动的。

(2) 轴承拆卸后的检查 要进一步确定轴承损坏情况，应将轴承从转轴上取下来，用汽油或煤油清洗干净后仔细检查。首先应察看轴承的滚动体，夹持器及内外钢圈等部分是否有破裂、锈蚀及疤痕等。然后用手捏或支住轴承内圈，并使轴承摆平，用另一手转动外圈。如果轴承良好，外圈应转动平衡并逐渐减速至停止，转动中没有振动或明显的停滞现象，停转后外钢圈没有倒退现象。如果轴承有缺陷，则当它转动时会有杂音和振动，停止时



象刹车一样突然，严重的还会倒退反转。这样的轴承就不能再用了，应当修理或更换。

对于磨损严重的轴承。可用简便法检查。左手卡住外钢圈，右手捏住内钢圈，用力向各个方向推动，如果推动感到很松就是磨损相当严重了，也可用塞尺来检查轴承的磨损情况。就是滚珠或滚柱与钢圈之间的间隙。

更换新轴承时，原则上应换以同规格的轴承。若无所需要的轴承型号，在不得已的情况下，可使用另一规格的轴承来代替，但代用轴承的载重量应适合所代替的轴承。代用轴承的几何尺寸与原轴承稍有差别时，应加推止环或内外套筒。

3. 轴承的拆卸

(1) 用拉具拆卸 如图 8-42 所示，拉具的脚应放在轴承的内套圈上，不能放在轴承外套圈上，否则拉坏轴承。拉具丝杆的顶点要对准轴的中心，拉具的杠杆要保持平行，不能歪斜（发现歪斜要及时纠正），手柄用力要均匀，旋转要慢。

(2) 用金属棒拆卸
在没有拉具或不适用拉具的情况下，可把金属棒放在轴承的内套圈上，用手锤敲打金属棒，把轴承慢慢敲出。切勿用手锤直接敲打轴承，以免把轴承敲坏。敲打时，要使内套圈的一周受力均匀。可在相对两侧轮流敲打，不可偏敲一边，用力也不宜过猛。

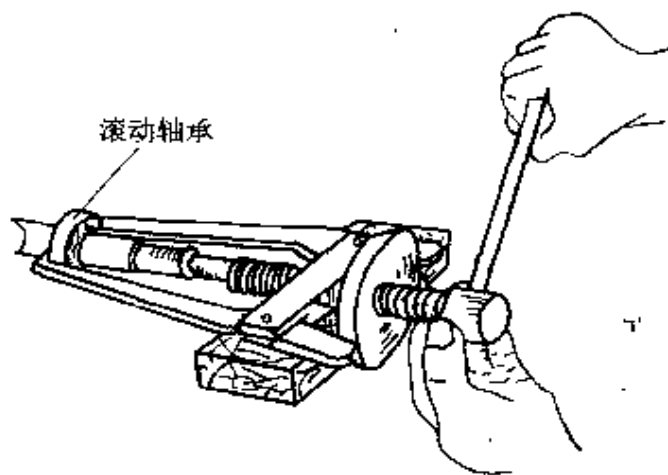


图 8-42 用拉具拆卸滚动轴承

(3) 放在圆筒上拆卸 如图 8-43 所示，在轴承的内套圈下面垫两块铁板，铁板搁在一只圆筒上面（圆筒的内径略大于转子的外径），轴的端面上垫放一块铅块或铜块，用手锤敲打（不允许直接用手锤敲打轴端面，不然会造成轴弯曲）。圆筒内放些柔



软的东西，以防拆下轴承时摔坏转子。

不管用以上哪种方法，都要避免强敲硬拆。如果轴承过紧，难以拆卸时，可以用 100℃ 左右的热机油浇在轴承上，使其膨胀，趁热拆卸。浇油前应先用水布把转轴包住，以避免转轴同时膨胀。

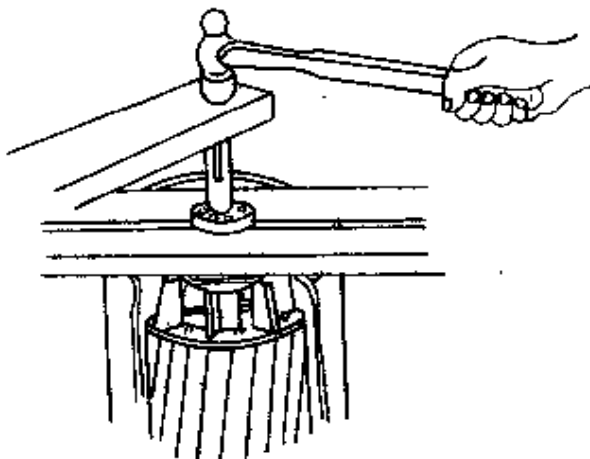


图 8-43 搁在圆筒上拆卸轴承

4. 轴承的安装

轴承安装前，应将原有的润滑脂洗净装滚动轴承，还要记住先将轴承内盖装在轴上，否则会造成返工。

滚动轴承安装注意的问题和拆卸时基本相同。先把轴承套在轴颈上，用套筒顶住轴承的内圆，在套筒另一端垫以铁板，用锤子敲打，直到轴承到位。也可以用加热法，安装时还应注意把标有轴承型号的一面向外，以便今后检修时查看。

5. 轴承的修理

(1) 滚动轴承的清洗和加油 发现轴承有故障现象，轴承内积聚杂物。润滑油开始发硬变质等现象时，或者轴承运行 2500 ~ 3000h 以后，要对轴承进行清洗。先将轴承中旧油除去，然后用毛刷或布块蘸汽油或煤油等溶剂来清洗。一定要清洗干净，否则轴承会很快损坏。正在刷扫时轴承不要转动，避免有毛、线等杂物轧入轴承滚道。洗净后的轴承，用干净的布擦干，不能用棉纱等多绒毛的东西擦，以免有绒毛等杂物落入轴承。也不要用手摸，免得轴承沾染汗水而锈蚀。

洗净并干燥后的轴承要按照规定重新加入纯净的润滑脂。一般润滑脂占轴承内腔容积的 1/2 ~ 2/3 为宜。

(2) 常见轴承故障的处理 轴承外表上有锈斑，特别是滚道内有锈迹现象，可用“00”号砂布擦清，再放在汽油中洗净。若

有较深的裂纹或内、外套圈碎裂，须更换轴承。

轴承损坏时，可以把几只同型号的轴承拆开，把它们的完好零件拼凑组装成一只轴承。深球缺少或破损，也可以重新配上继续使用。

有些用于高速的轴承，如果磨损不很严重，可以换做低速轴承继续使用。

若轴承外盖压住轴承太紧，可能是轴承外盖的止口太大，可以修正；如果轴承盖的内孔与轴颈相擦，可能是轴承盖止口松动或不同心，也应加以修正。

6. 电动机常用的滚动轴承型号

电动机常用的滚动轴承型号见表 8-18。

表 8-18 Y 系列 (IP44) 电动机轴承规格

| 中心高 | 极数 | 轴 承 规 格 | | 轴承尺寸 (内径×外径×宽度)/mm |
|-----|----------|----------|----------|-----------------------|
| | | 主轴伸端 | 风扇端 | |
| 80 | 2、4 | 180204Z1 | 180204Z1 | 20×47×14 |
| 90 | 2、4、6 | 180205Z1 | 180205Z1 | 25×52×15 |
| 112 | 2、4、6 | 180206Z1 | 180206Z1 | 30×72×19 |
| 132 | 2、4、6、8 | 180206Z1 | 180206Z1 | 40×90×25 |
| 160 | 2 | 309Z1 | 309 Z1 | 45×100×25 |
| | 2、6、8 | 2309Z1 | | |
| 200 | 2 | 312Z1 | 312Z1 | 60×130×31 |
| | 4、6、8 | 2312Z1 | | |
| 250 | 2 | 314Z1 | 314Z1 | 70×150×35 |
| | 4、6、8 | 2314Z1 | | |
| 315 | 2 | 316Z1 | 316Z1 | 80×170×39 |
| | 4、6、8、10 | 2319Z1 | 319Z1 | 95×200×45 |

五、转子的平衡

电动机的转子经过修理后，应当进行平衡实验，校平后才能进行电动机总装。如果它们的质量分布不一定是平均的，即重心



不一定在轴线上。当电动机旋转时就会引起有害的振动。

转子短而粗或每分钟不超过 1000r/min 的电动机，只作静平衡；转速超过 1000r/min 及转子较长的电动机，必须进行动平衡。在作动平衡以前，最好先作静平衡。

转子校静平衡，一般可以在水平的、互相平行排列的两根钢刃上，如图 8-44 所示，转子如果不平衡，就会在钢刃上转动，使自己的最重部分居于最低位置。这时就在此处作下记号。为复验是否正确，将转子转过 90° 松手，作记号处应处在最低位置。这就是所谓的转子“不静平衡”。处理方法不外乎加配重和减配重。加配重，就是在转子轻的一面加铆钉或螺钉、平衡圈、电焊等，直到转子转到任何一位置都很平稳，没有自行转的趋势，静平衡工作即告结束。所加平衡物必须固定牢固，防止电动机运转时将其甩出造成事故。减配重的方法，是在转子重的一侧钻几个浅孔或在某些零件上铣去一些与强度无关的材料，以去掉不平衡，达到静平衡。

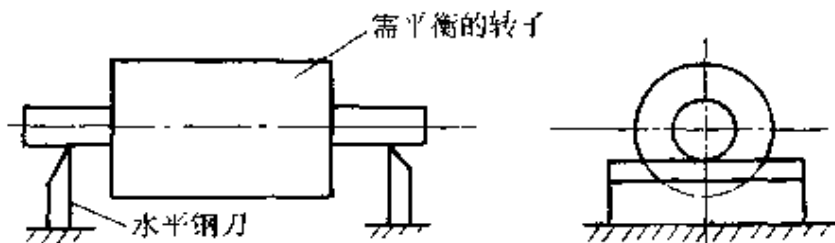


图 8-44 转子的静平衡法

动平衡的方法很多，且都比较复杂。通常是在动平衡试验设备上进行。对中、小型电动机来说，修理后一般只作静平衡而无需作动平衡。在条件允许的情况下，可以试作动平衡。

第九节 同步电动机

同步电机工作是可逆的，它既可以作发电机用，又可作电动机用；同时还可作专门发出无功功率的补偿电动机用。

三相同步电动机也是一种交流电动机，但它和交流异步电动



机不同，它的转速 n 和旋转磁场的同步转速 n_0 相同和电源的频率 f_1 保持严格的比例关系。即 $n = n_0 = 60f_1/p$ ，故称为同步电动机。

一、同步电动机的基本结构

同步电动机是由定子和转子两部分构成。大容量同步电动机的定子和异步电动机的定子基本相同。在定子铁心上开有槽，槽内的嵌放有三相对称绕组，以及机座和端盖。同步电动机的转子和异步电动机的转子不同，它有两种结构形式：一种是有明显的磁极，称为凸极同步电动机，如图 8-45a 所示；另一种无明显的磁极，转子为圆柱体，称为隐极式同步电动机，如图 8-45b 所示。前者的气隙是不均匀的，适用于低速（1000r/min 以下）同步电动机，后者气隙是均匀的，适用于高速（1000r/min 以上）同步电动机。

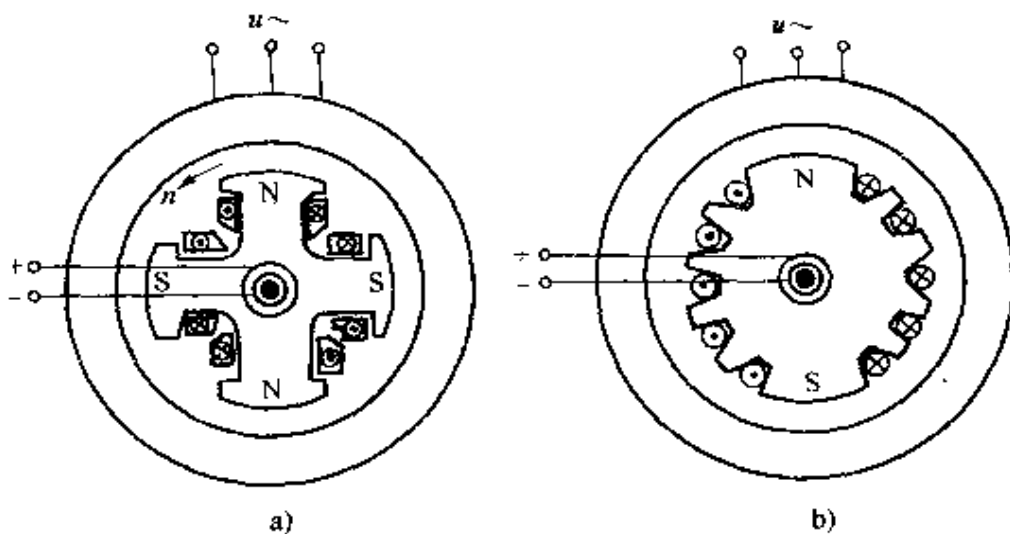


图 8-45 旋转磁极式同步电动机基本结构示意图

a) 凸极式 b) 隐极式

转子铁心上装有直流励磁绕组，直流励磁电流经电刷和滑环引入。直流电源可由连接在同步电动机轴上的（或单独的）发电机（称为励磁机）担任，也可以由硅整流设备提供。另外，同步电机磁极表面的槽中还嵌有笼形绕组。这种笼形绕组在同步发电机中作为阻尼绕组，在同步电动机中作为起动绕组。



二、同步电动机的工作原理

如图 8-46 所示为同步电动机的工作原理图。当定子绕组接入三相交流电时，便产生旋转磁场，在转子中通入直流励磁电流后，也产生了磁场，当转子转到同步转速时，根据磁极异性相吸的原理，转子就被定子的磁场吸住，拖着作同步旋转， $n = n_0$ 。

同步电动机有以下特点：

1) 同步电动机具有恒速特性，即它的旋转速度不随负载的大小而变化。这种特性常称为绝对硬特性。

2) 同步电动机的功率因数可以通过控制励磁电流的大小来改变，励磁电流不足时（称为欠励状态），定子电流将滞后电压，它相当于一个电感性负载；励磁电流增加时，它的功率因数就逐渐升高而接近于 1；如果再继续增大励磁电流（称为过励状态），定子电流便将超前于电压，这时相当于一个电容负载，因此，它除了可以拖动生产机械，而且在起着改善功率因数的作用。这种电机又称为同步补偿机。

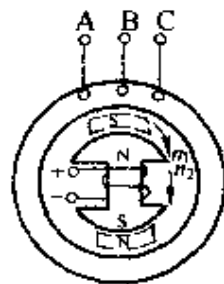


图 8-46 同步电动机工作原理

三、同步电动机的起动

为改善同步电动机的起动性能，现广泛采用“异步起动”，也就是利用笼式异步电动机原理，在同步电动机的转子上，加装一套笼式绕组（即起动绕组），如图 8-47 所示。它的结构和工作原理完全和异步电动机的笼式绕组相同。定子绕组中通入三相交流电流后产生的旋转磁场，在起动绕组中感应出电流，产生转矩使转子旋转，当转速接近同步转速（约为原定转速的 95% 以上）时，再在励磁绕组中通入直流励磁电流产生固定磁场，把转子继续加速到同步转速，这时起动绕组便不起作用。

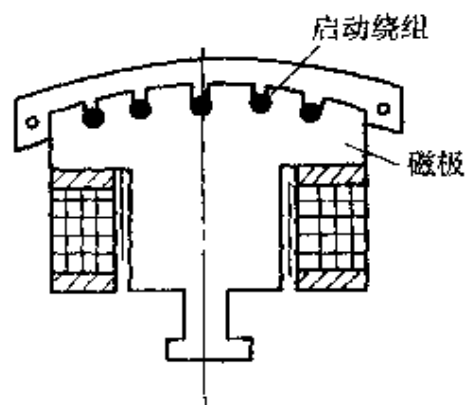


图 8-47 同步电动机的起动绕组



第十节 控制电机

一、测速发电机

测速发电机是一种检测元件，其基本任务是将机械旋转转换为电气信号。

测速发电机通常用连接轴和被测的机械连接，它能测量生产机械的瞬时转速。测速发电机的电动势 E 与旋转机械的转速成正比 $E = Kn$ ，式中 K 是比例系数。

测速发电机也有交流、直流两大类。交流测速发电机又有异步测速发电机与同步测速发电机之分；直流测速发电机又有他励式和永磁式两种。其中以直流测速发电机的应用较为广泛。

1. 交流测速发电机

交流测速发电机有异步及同步两种。同步测速发电机是一种永磁式单相同步发电机，由于其电动势的频率随转速而改变，所以其内电抗和负载阻抗的大小必然也随着转速而改变。这样，其输出就不再与转速成正比。因此使用范围不广。故重点介绍异步测速发电机的特性。

(1) 结构 交流测速发电机通常采用空心杯形转子的结构形式。其定子结构与一般异步电动机相似，由硅钢片迭成铁心，定子上放置两套彼此在空间上相差 90° 电角度的绕组，一套为励磁绕组，接在交流电源上，另一套为输出绕组，产生输出电压。

(2) 工作原理 如图 8-48 所示，当测速电机的转子静止时，接到单相交流电源上的励磁绕组，产生单相脉动磁场，此磁场虽然能在转子中产生感应电动势，但由于输出绕组的轴线与励磁绕组的轴线互相垂直，故此感应电动势在转子中产生电流，并形成磁通，可是其轴线与励磁绕组重合，故输出绕组中不会产生感应电动势，则输出电压为零。而当转子由被测机构拖动旋转时，转子与励磁磁场存在相对运动， Φ_1 在转子中产生的感应电动势 e_2 的大小就与转速成正比，而相位上则滞后于 $\Phi_1 90^\circ$ ，这个电动势 e_2 在转子中产生电流 i_2 ，由于电阻较大， i_2 产生的交变磁通 Φ_2

基本上与感应电动势 e_2 同相位，也就是此励磁绕组产生的 Φ_1 滞后 90° ，而和输出绕相的轴线一致，于是 Φ_2 就可以在输出绕组中产生感应电动势。此感应电动势的数值与转子转速成正比。所以输出电压就代表与之相应的转子转速。输出电压的大小与转速成正比，而其频率与电源频率一致，是不变的，与转速无关。

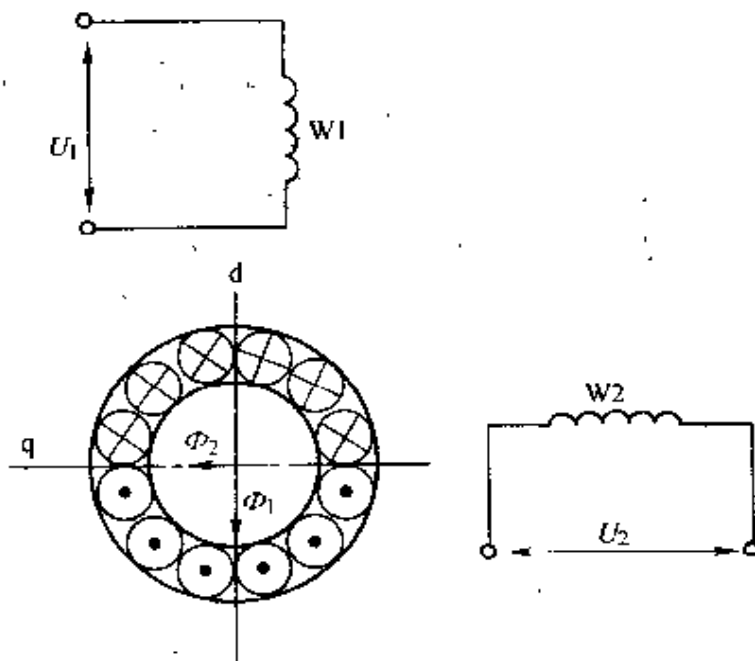


图 8-48 交流测速发电机的原理图

2. 直流测速发电机

直流测速发电机与普通型直流发电机相同，由于功率小，磁极可由永久磁铁制成，励磁方式也几乎只采用他励式。

直流测速发电机的工作原理和直流发电机相同。励磁绕组接在直流电源上，电枢绕组作为输出绕组。电枢电动势与转速 n 成正比。为电枢绕组接上负载时，电枢绕组中会因为出现电流而产生电枢反应。使主磁通去磁。这样电枢端电压就不会再和转子转速成正比，给测量带来误差。一般输出端应配接高阻抗负载为妥。

二、伺服电动机

伺服电动机亦称执行电动机，它具有有一种服从控制信号要求



而动作的职能，在信号来之前，转子静止不动；信号来到之后，转子立即转动；当信号消失，转子又能即时自行停转。由于这种“伺服”的性能，因此而命名。

常用的伺服电动机有两大类，以交流电源工作的称为交流伺服电动机；以直流电源工作的称为直流伺服电动机。

1. 交流伺服电动机

如图 8-49 所示是交流伺服电动机原理图，图中 F 和 K 表示装在定子上的两个绕组，它们在空间相差 90° 电角度。绕组 F 是由交流电压励磁，称为励磁绕组；绕组 K 是由伺服放大器供电而进行控制的，故称为控制绕组。转子为笼型。

交流伺服电动机的工作原理与单相异步电动机相似，当它在系统中运行时，励磁绕组固定地接到电源上，控制电压为零时，气隙内磁场为脉动磁场，电动机无法起动转矩，转子不转。若有控制电压加在控制绕组上，且控制绕组内流过的电流和励磁绕组内的电流不同相，则在气隙内建立一定大小的旋转磁场。此时就是一台分相式的单相异步电动机。

当励磁电压 V_f 为一常数，而信号控制电压 V_k 的大小变化时，则转子的转速相应变化。控制电压大，电动机转得快，控制电压小，电动机转得慢。当控制电压相位相反时，旋转磁场转向相反，导致转子也反转。在运行中如果控制电压变为零，电机是不会继续转动的，一旦 V_k 为零，电动机立即停转，这是交流伺服电动机的特点，也是自控制系统所要求的。关键在于交流伺服电动机的转子电阻 R_2 做得很大（比一般异步机大 6~8 倍左右），所以它有下垂的机械特性。这也是和一般异步电动机的本质区

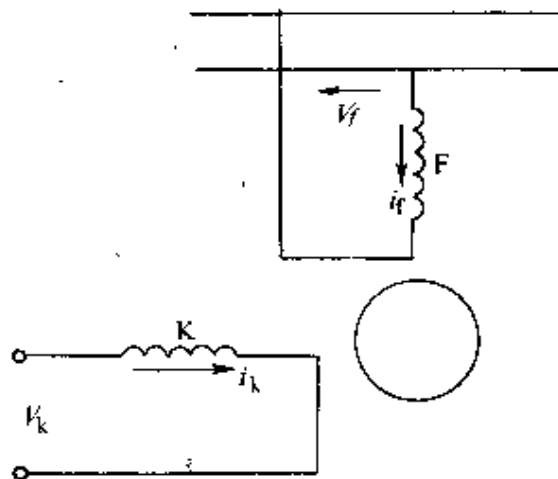


图 8-49 交流伺服电动机的原理图



别。

2. 直流伺服电动机

直流伺服电动机是一种微型的直流电动机。输出功率一般在 1 ~ 600W 之间。直流伺服电动机有他励和永磁式两种方式（有时永磁式亦认为是他励式）

直流伺服电动机的基本工作原理与一般直流电动机相同。

只要在励磁绕组中有电流通过且产生了磁通，当电枢绕组中通过电流时，这个电流与磁通相互作用而产生转矩使伺服电动机投入工作。这两个绕组其中的一个断电时，电动机立即停转。

可以通过改变其电枢电压 V_a 或改变磁通来控制伺服电动机的转速，前者称为电枢控制，后者称为磁场控制。通常都采用电枢控制。因为电枢控制方式特性好且反应迅速。

三、电磁调速电动机

电磁调速电动机又名滑差电动机。它是一种无级变速电动机，由三相笼式异步电动机、电磁转差离合器和控制装置三部分组成。

1. 结构

电磁调速异步电动机的结构特点，是在一台普通的异步电动机之外，尚有一个电磁转差离合器。离合器实质也是一台电动机，借磁场作用将主动轴的转矩传递到从动轴（输出轴），离合器有两个旋转部分，即电枢和磁极如图 8-50 所示。

电枢由铸钢制成圆筒形。直接由异步电动机（原动机）拖动，为了散热，电枢上带有风叶、散热箱。

磁极制成爪形结构，其轴与被拖动的机械相连接（输出轴），磁极的励磁线经集电环通入直流励磁。磁极的极性分布，如图 8-51 所示。

2. 工作原理

电磁调速电动机的无级调速，主要是通过转差离合器来实现的。当磁极上励磁线圈通入直流励磁后，磁极产生磁通，经过爪级→气隙→爪极而闭合。在原动机带动后，离合器的电枢就随着



电动机一起以转速 n 在磁场中旋转，于是电枢与磁极便有相对运动。根据电磁感应定律可知，电枢切割磁场将产生电动势。由于电枢由整块铸钢做成，因而产生涡流。涡流与磁场相互作用产生转矩，迫使磁极作为从动部分随之旋转，与异步电动机相似。

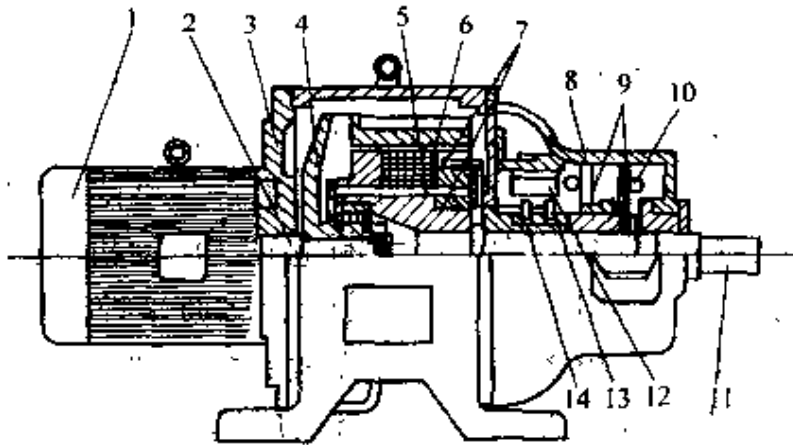


图 8-50 电磁调速异步电动机

- 1—电动机 2—主动轴 3—法兰端盖 4—电枢 5—工作气隙
6—励磁线圈 7—磁极 8—测速机定子 9—测速机磁极
10—永久磁铁 11—输出轴 12—刷架 13—电刷 14—集电环

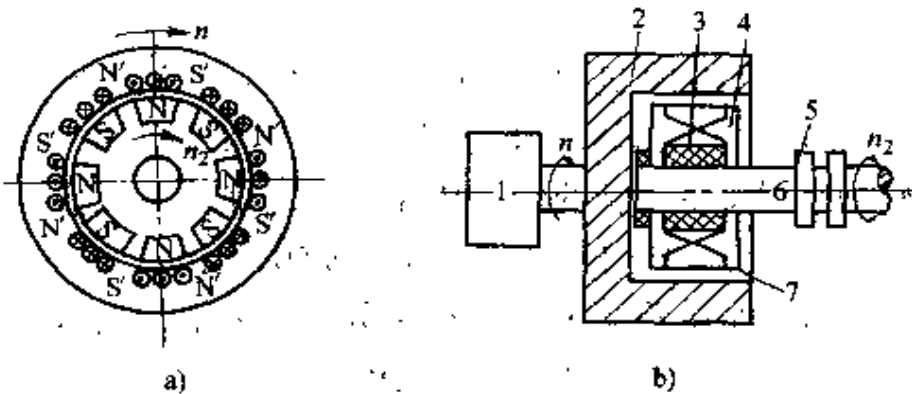


图 8-51 转差离合器示意图

- 1—电动机 2—电枢 3—励磁线圈 4—爪形磁极
5—集电环 6—输出轴 7—气隙

磁极的转速必须低于电枢的转速。只有这样才能产生转矩，所以叫做转矩离合器。不过异步机的旋转磁场是由三相交流电流产生的，而转差离合器的磁场由直流电流产生的，依靠电枢的转



动才起着旋转磁场的作用。

当离合器的从动轴上带有一定负载时，励磁电流的大小就决定了从动部分转速的高低，励磁电流愈大，磁场愈强，电枢感应电动势和涡流愈大，转速就愈高。同理，励磁电流愈小，转速就愈低。所以通过控制装置（如可控硅整流装置）改变励磁线圈中电流的大小就可以无级地改变输出轴转速的高低。

电磁调速电动机的调速范围可达 1:10（120 ~ 1200r/min），功率在 0.6 ~ 100kW 之间。这种电动机调速范围广，速度调节平滑，起动转矩大，控制功率小，控制简单。缺点是机械特性软，稳定性差，在低速时，离合器的效率和输出功率都比较低。

四、交磁电机扩大机

交磁电机扩大机是自动控制系统中主要元件，它用微弱功率的输入信号去控制大功率的输出信号，又可称为功率扩大机。

1. 交磁电机扩大机的构造

交磁电机扩大机的定子有大槽、中槽、小槽。每个大槽占有两个中槽的位置，每个中槽占有两个小槽的位置。控制绕组嵌在大槽内，由二至四个集中线圈组成。大槽的一部分以及定子小槽嵌有分布的补偿绕组，补偿绕组是用来补偿分布的电枢绕组所产生的直轴电枢反应磁通，中槽内嵌有换向绕组和交轴助磁绕组。在大槽轭部还绕有交流去磁绕组。如图 8-52 所示为交磁电机扩大机的结构示意图。

2. 交磁电机扩大机的基本原理

如图 8-53 所示。定子的磁路和两极直流电机相似，极上有控制绕组。扩大机的电枢和普通直流电机一样，只是在换向器上多装了一对电刷。通过换向片和几何中心线上的导体相连的电刷 q-q 称为交轴电刷，通过换向片和磁极轴线上的导体相连的电刷 d-d 称为直轴电刷。当励磁控制绕组中通入电流，便产生磁通 Φ_K ，如果电枢有电动机拖动，以速度 n 顺时针方向旋转，电枢导体就切割磁通 Φ_K ，在交轴电刷 q-q 两端产生电势 E_q 。如果我们将交轴电刷短接起来，在电刷绕组中就会产生一个较大的电

流，其方向由右手定则确定，如图 8-53 所示，用外圈的 \oplus 和 \odot 表示。电流 I_q 产生交轴电枢反应磁通 Φ_q 是一个新的励磁磁通，它被电枢绕组切割，在直轴电刷 d-d 两端产生电势 E_d ，这就是交磁扩大机的输出电势。

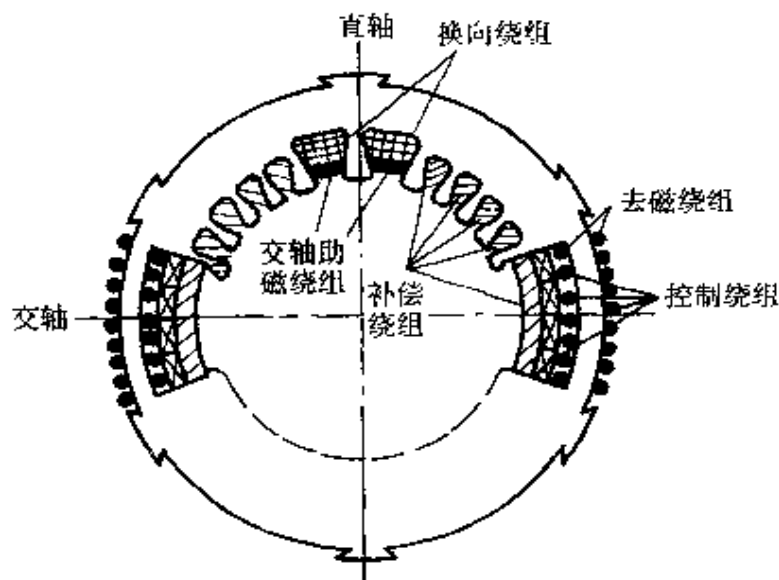


图 8-52 交磁电机扩大机的结构示意图

由此可见，交磁扩大机相当于一组两级直流发电机，其工作情况如图 8-54 所示。在结构上只是将第 II 级的励磁绕组取消，而借用第 I 级的电枢反应磁通，同时将电刷 d-d 移到第 I 级电枢来，公用一个电枢绕组进行第 II 级放大。其放大系数很高。

当交磁扩大机接上负载以后，直轴电流 I_d 也会产生一个电枢反应磁场，按右手螺旋定则，其磁通 Φ_d 恰好与控制绕组中电流产生的磁通 Φ_k 相反，且比 Φ_k 大

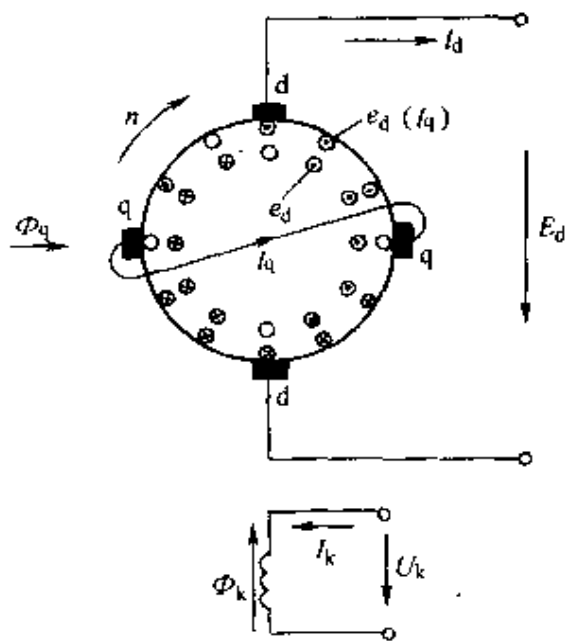


图 8-53 交磁电机扩大机的基本原理



得多，这样强烈的去磁作用，使扩大机根本不能带上负载。为了消除直轴电枢反应的影响，在定子上绕有分布的补偿绕组，它与电枢绕组串联，使绕组中的磁通 Φ_{bc} 去抵消 Φ_d ，由于 Φ_{bc} 、 Φ_d 均随扩大机输出电流的增减而增减，因此可以在不同的输出电流下，都得到较好的补偿。为了调整方便，补偿绕组产生的 Φ_{bc} 比 Φ_d 大 100%，在并联一个可调电阻 R_{BCQ} ，以便调整。其接线如图 8-55 所示。

由于交磁扩大机相当于两级直流发电机，加上其转速高、气隙小、材料好等特点，因此它的放大倍数很大，其功率放大倍数可大 500~10000。

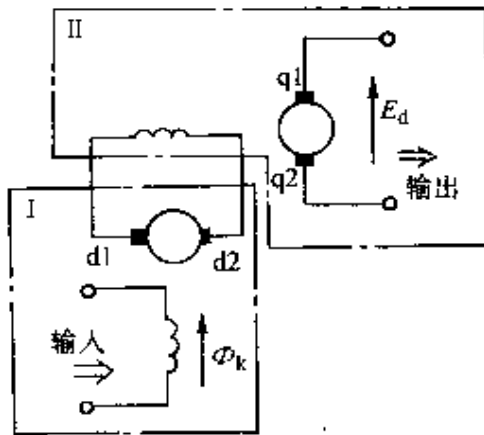


图 8-54 两级直流发电机示意图

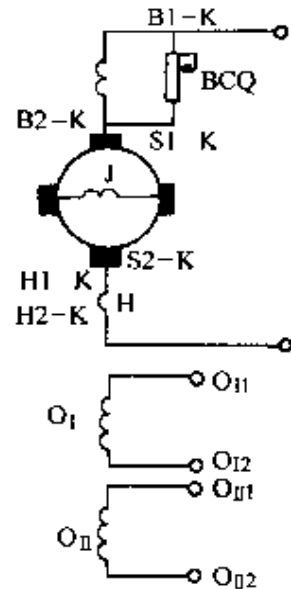


图 8-55 交磁扩大机的接线原理图

第九章

常用低压电器的选用

第一节 电器的基本知识

一、电器的分类

常用低压电器的分类和用途见表 9-1。

表 9-1 常用低压电器的分类和用途

| | 电路名称 | 主要产品 | 用 途 |
|------------------|-----------|--|--------------------------------|
| 配 电 电 器 | 刀开关 | 负荷开关 熔断器式开关 板形刀开关 | 主要用于电路的隔离,也能接通和分断额定电流 |
| | 转换开关 | 组合开关 换向开关 | 用于两种以上电源和负载的转换,接通或分断电路 |
| | 低压 断路器 | 塑壳式低压断路器 框架式低压断路器 限流式低压断路器 漏电保护开关 | 用于线路过载、短路或欠压保护,也可用作不频繁接通和分断电路 |
| | 熔断器 | 无填料熔断器 有填料熔断器 快速熔断器 自动熔断器 | 用于线路或电器设备的过载和短路保护 |
| | 接触器 | 交流接触器 直流接触器 | 主要用于远距离频繁起动和控制电动机,接通和分断正常工作的电路 |
| 控 制 电 器 | 继电器 | 热继电器 中间继电器 时间继电器 速度继电器 | 主要用于控制系统,用来控制其他电器或作主电路的保护 |

(续)

| | 电路名称 | 主要产品 | 用途 |
|--------------|------|------------------------------|----------------------|
| 控制 电 器 | 起动器 | 磁力起动器 降压起动器 | 主要用于电动机的起动和正反转控制 |
| | 控制器 | 凸轮控制器 平面控制器 | 主要用于接通和分断控制电路 |
| | 主令电器 | 按钮 限位开关 万能转换开关 微动开关 | 主要用于接通和分断控制电路 |
| | 电阻器 | 铁基合金电阻 | 用于改变电路参数或变电能为热能 |
| | 变阻器 | 励磁变阻器 起动变阻器 频敏变阻器 | 主要用于发电机调压及电动机减压起动和调速 |
| | 电磁铁 | 起重电磁铁 牵引电磁铁 制动电磁铁 | 用于起重、操纵或牵引机械装置 |

二、电磁式电器的基本结构

(1) 电磁机构 电磁机构主要作用是将电能转换为机械能，带动触点工作，从而完成接通或分断电路。主要由吸引线圈、铁心、衔铁组成，如图9-1所示。

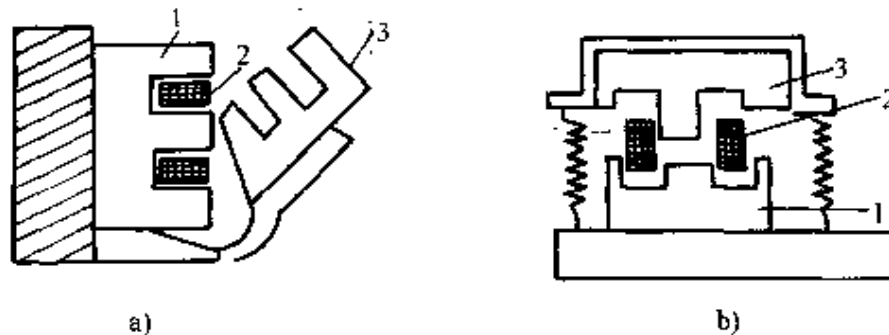


图9-1 常用电磁机构形式

1—铁心 2—线圈 3—衔铁



(2) 电磁吸力与反力 电磁机构中，衔铁始终受到反力弹簧、触点弹簧反作用力的作用。

(3) 电器的触点系统 触点是电器的执行部分，起着接通和分断电路的作用。因此，要求触点导电、导热性能良好，通常用铜或银质材料制成。触点的结构形式很多，按其接触形式有点接触、线接触和面接触三种。

三、低压电器的灭弧

熄灭电弧可以从两方面着手，一方面是尽量减少输入电弧的能量，另一方面尽量把电弧中的能量尽快地散失掉，为达到上述目的，其基本方法有以下几种。

(1) 速断灭弧 利用储能弹簧的反作用力加快触点断开速度来灭弧。

(2) 电动力灭弧 图 9-2 是一种桥式结构双断口触点，当触点打开时，在断口中产生电弧维持电流导通。图中以 \oplus 表示触点回路电流磁场的方向，根据左手定则，电弧电流要受到一个指向外侧的电动力 F 的作用，使电弧向外运动并拉长，以至迅速穿越冷却介质而熄灭。交流接触器就采用这种灭弧方法。

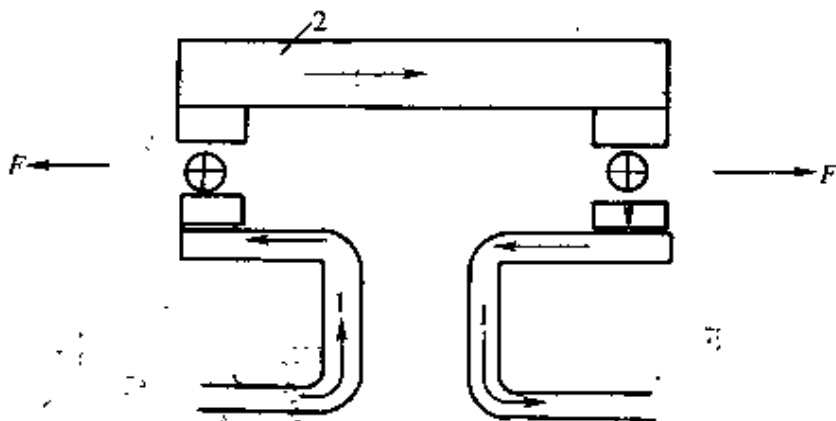


图 9-2 电动力灭弧示意图

1—静触点 2—动触点

(3) 磁吹灭弧 通过与触点电路串联的吹弧线圈产生的磁场，使电弧在该磁场中受到一个向外的电动力而拉长电弧（即吹弧）。



(4) 灭弧罩 通常用耐高温陶土、石棉水泥或耐热塑料制成。其作用一是分隔各路电弧，以防止发生短路；二是使电弧与灭弧罩的绝缘壁接触，使电弧迅速冷却而熄灭。

第二节 开关电器

一、刀开关

1. 刀开关的种类

1) 开启式负荷开关（俗称瓷底胶盖刀开关）。

2) 封闭式负荷开关（俗称铁壳开关）。

以上两种刀开关的外形及图形符号如图 9-3 ~ 9-5 所示。

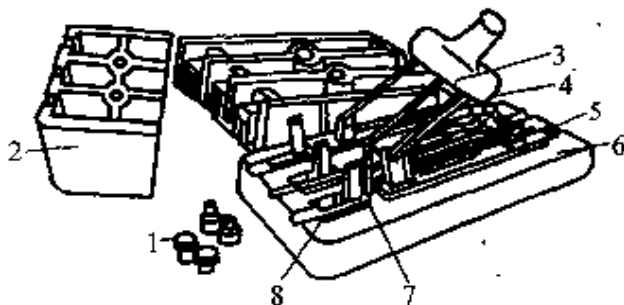


图 9-3 HK 系列开启式负荷开关

1—胶盖紧固螺钉 2—胶盖 3—瓷柄 4—动触点
5—出线座 6—瓷座 7—静触点 8—进线座

2. 刀开关的选用

常用的主要产品有：HD14、HD17、HS13 系列刀开关，其中 HD17 是新型换代产品；HK2、HD13BX 系列是开启式负荷开关，其中 HD13BX 是较先进的产品，其操作方式是旋转型。HH4 系列是封闭式负荷开关。HR3 系列为熔断器式刀开关，其中 HR5 是刀开关中的熔断器采用 NT 型低压高分断型，并且结构紧凑，其分断能力高达 100kA。

用于照明电路时可选用额定电压 250V，额定电流等于或大于电路最大工作电流的二极开关；用于小功率电动机的直接启动时，可选用额定电压为 380V 或 500V，额定电流等于或大于电动



机额定电流 3 倍的三极开关。

3. 使用刀开关应注意事项

1) 胶木壳闸刀开关直接控制电动机，只能控制 5.5kW 以下的电动机。

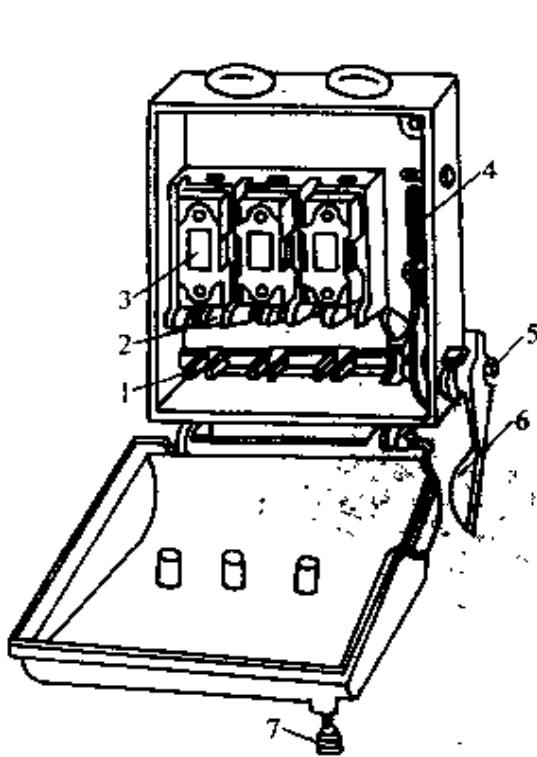


图 9-4 HH 系列封闭式负荷开关

1—动触点 2—静触点 3—熔断器
4—速断弹簧 5—转轴 6—手柄

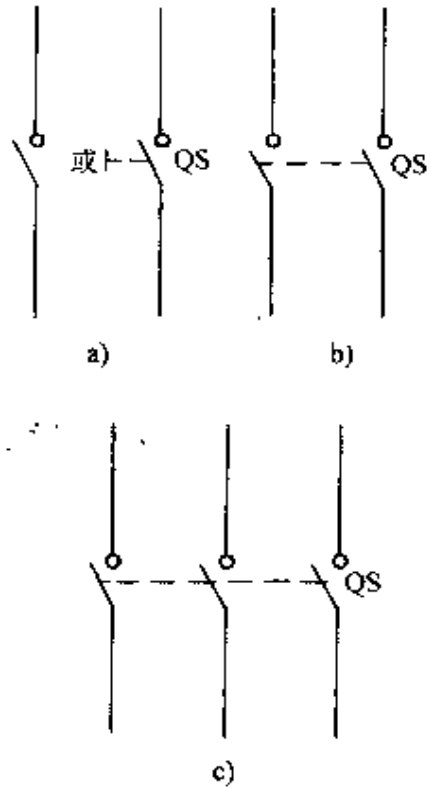


图 9-5 刀开关的图形符号

a) 单极 b) 双极 c) 三极

2) 没有胶木壳的闸刀开关不能使用。

3) 铁壳开关的外壳应保护接零或接地。

4) 开关接线时，电源线应接在刀座上端，熔断器接在负荷侧。

5) 安装刀开关时，手柄要向上，不得倒装。开关距地面的高度为 1.3~1.5m。

6) 刀开关在接、拆线时，应首先断电。

常用刀开关的主要参数见表 9-2~表 9-4。



表 9-2 HK2 系列开启式负荷开关主要技术数据

| 型号 | 额定电压/V | 额定电流/A | 极数 | 控制感应电动机功率/kW | 熔体 (铜的质量分数不少于 99.9%) | | 用途 |
|----------|--------|--------|----|--------------|----------------------|----------|--------------------------------|
| | | | | | 线径不大于/mm | 最大分断电流/A | |
| HK2—10/2 | 250 | 10 | 2 | 1.1 | 0.25 | 500 | 用于工业企业、农村电气照明和支线配电,也可控制小型异步电动机 |
| HK2—15/2 | | 15 | | 1.5 | 0.41 | 500 | |
| HK2—30/2 | | 30 | | 3 | 0.56 | 1000 | |
| HK2—15/3 | 380 | 15 | 3 | 2.2 | 0.45 | 500 | |
| HK2—30/3 | | 30 | | 4 | 0.71 | 1000 | |
| HK2—60/3 | | 60 | | 5.5 | 1.12 | 1500 | |

表 9-3 HH4 系列封闭式负荷开关主要技术数据

| 型号 | 负荷开关额定电流/A | 熔体额定电流/A | 熔体材料 | 熔体直径 d/mm | 接通分断能力 | | | 极限分断能力 | | | 用途 |
|--------|------------|----------|------|-----------|--------|------|------|--------|------|------|--|
| | | | | | 通断能力/A | cosφ | 通断次数 | 分断能力/A | cosφ | 分断次数 | |
| HH4—15 | 15 | 6 | 软铅 | 1.08 | 60 | 0.5 | 10 | 500 | 0.8 | 2 | 作为手动不频繁地接通和分断有负载的电路,起动与分断电动机以及线路短路保护之用 |
| | | 10 | 铅丝 | 1.25 | | | | | | | |
| | | 15 | 紫铜 | 1.98 | | | | | | | |
| HH4—30 | 30 | 20 | 紫铜 | 0.61 | 120 | 0.5 | 10 | 1500 | 0.7 | 2 | |
| | | 25 | 铜丝 | 0.71 | | | | | | | |
| | | 30 | 紫铜 | 0.8 | | | | | | | |
| HH4—60 | 60 | 40 | 紫铜 | 0.92 | 240 | 0.4 | 10 | 3000 | 0.6 | 2 | |
| | | 50 | 铜丝 | 1.07 | | | | | | | |
| | | 60 | 紫铜 | 1.2 | | | | | | | |

表 9-4 HR3 系列熔断器式刀开关主要技术数据

| 型号 | 刀开关分断能力/A | | 熔断器极限分断能力,有效值/kA | | | 用途 |
|---------|-----------------------|----------------------|-------------------------|--|-----------------------|----|
| | 交流 380V cosφ ≥ 0.6 | 直流 440V t = 4.5ms | 熔体额定电流/A | | 交流 380V cosφ = 0.3 | |
| HR3—100 | 100 | 100 | 30、40、50、60、80、100 | | 50 | 25 |
| HR3—200 | 200 | 200 | 80、100、120、150、200 | | | |
| HR3—400 | 400 | 400 | 150、200、250、300、350、400 | | | |
| HR3—600 | 600 | 600 | 350、400、450、500、550、600 | | | |



二、组合开关

组合开关又称为转换开关，是一种结构更为紧凑的手动电器。由装在同一根转轴上多个单极旋转开关叠装在一起组成的。当转动手柄时，每一动片即插入相应的静片中，使电路接通。其结构示意图如图 9-6 所示。

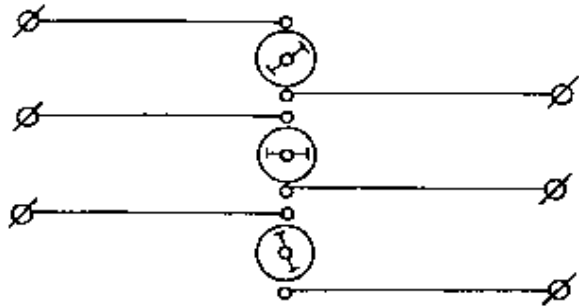


图 9-6 组合开关结构示意图

在机床电气设备中，主要作为电源引入开关，也可用来直接控制小容量异步电动机非频繁起动和停止。组合开关的图形符号和文字符号如图 9-7 所示。

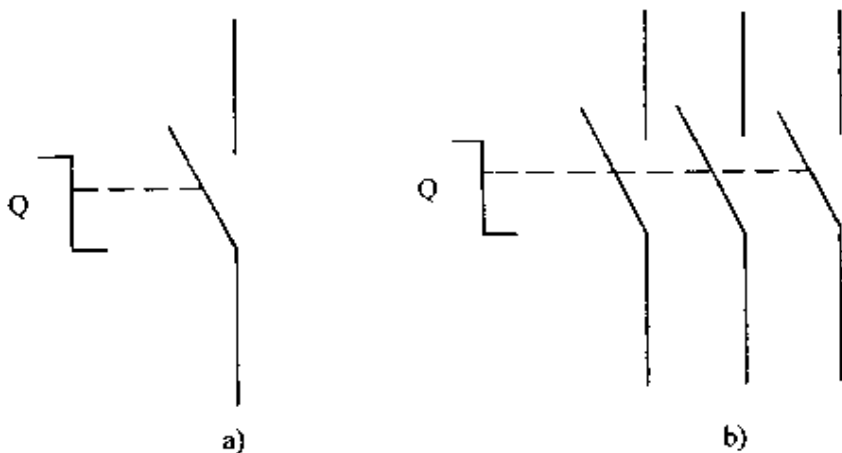


图 9-7 组合开关的图形符号和文字符号

a) 单极 b) 三极

常用产品有：HZ5、HZ10、HZ15 系列。HZ10 是早期产品，HZ15 是更新换代产品。3LB、3ST 系列组合开关是德国西门子的引进产品。主要参数见表 9-5 和表 9-6。

三、断路器

断路器俗称自动开关，其特点是保护功能多，事故动作后不需要更换元件，动作电流可按需要整定，工作可靠，安装方便，分断能力强。

表 9-5 HZ 系列组合开关技术数据

| 型号 | 额定电压 /V | 额定电流 /A | 控制功率 /kW | 用途 | 备注 |
|----------|------------|------------|-------------|--|------------------------|
| HZ5-10 | 交流 380 | 10 | 1.7 | 在电气设备中作电源引入， 接通或分断电路，换接电源或 负载（电动机等） | 可取代 HZ1—HZ3 等老产品 |
| HZ5-20 | | 20 | 4 | | |
| HZ5-40 | | 40 | 7.5 | | |
| HZ5-60 | | 60 | 10 | | |
| HZ10-10 | 直流 220 | 10 | | 在电气线路中作接通和分断 电路，换接电源和负载，测量 三相电压，控制小型异步电动 机正反转 | |
| HZ10-25 | | 25 | | | |
| HZ10-60 | | 60 | | | |
| HZ10-100 | | 100 | | | |

注：HZ10-10 为单极时，其额定电流为 6A，HZ10 系列具有 2 极和 3 极。

表 9-6 3ST 和 3LB 系列组合开关技术数据

| 型号 | 单相交流 50Hz 电源开关额定工 作电流/A | 三相交流 50Hz 电动机开关额定 工作电流/A | 三相交流 50Hz Y-△转换开关额 定工作电流/A | 机械寿命 /万次 | 操作频率 /(次/h) |
|------|-------------------------------|--------------------------------|----------------------------------|-------------|----------------|
| 3ST1 | 10 | 8.5 | 8.5 | 30 | 500 |
| 3LB3 | 25 | 16.5 | 25 | | |
| 3LB4 | 40 | 30 | 35 | 10 | 100 |
| 3LB5 | 63 | 45 | 45 | | |

1. 塑料外壳式断路器原理

图 9-8b 是断路器工作原理示意图。开关是靠操作机构手动合闸的，触点闭合后，自由脱扣机构将触点锁在合闸位置上。当电路发生故障时，通过各自的脱扣器使自由机构动作，自动跳闸实现保护作用。分励脱扣器则作为远距离控制分断电路之用。

几种断路器外形和图形文字符号如图 9-8 所示。

2. 主要产品

常用的塑料外壳式断路器有 DZ10、DZ15、DZ20、DZX19、C45N、S060、3VE 及 S060 等系列产品。其中 DZ20 系列是 20 世纪 90 年代换代产品，该产品具有较高的分断能力，可达 50kA。

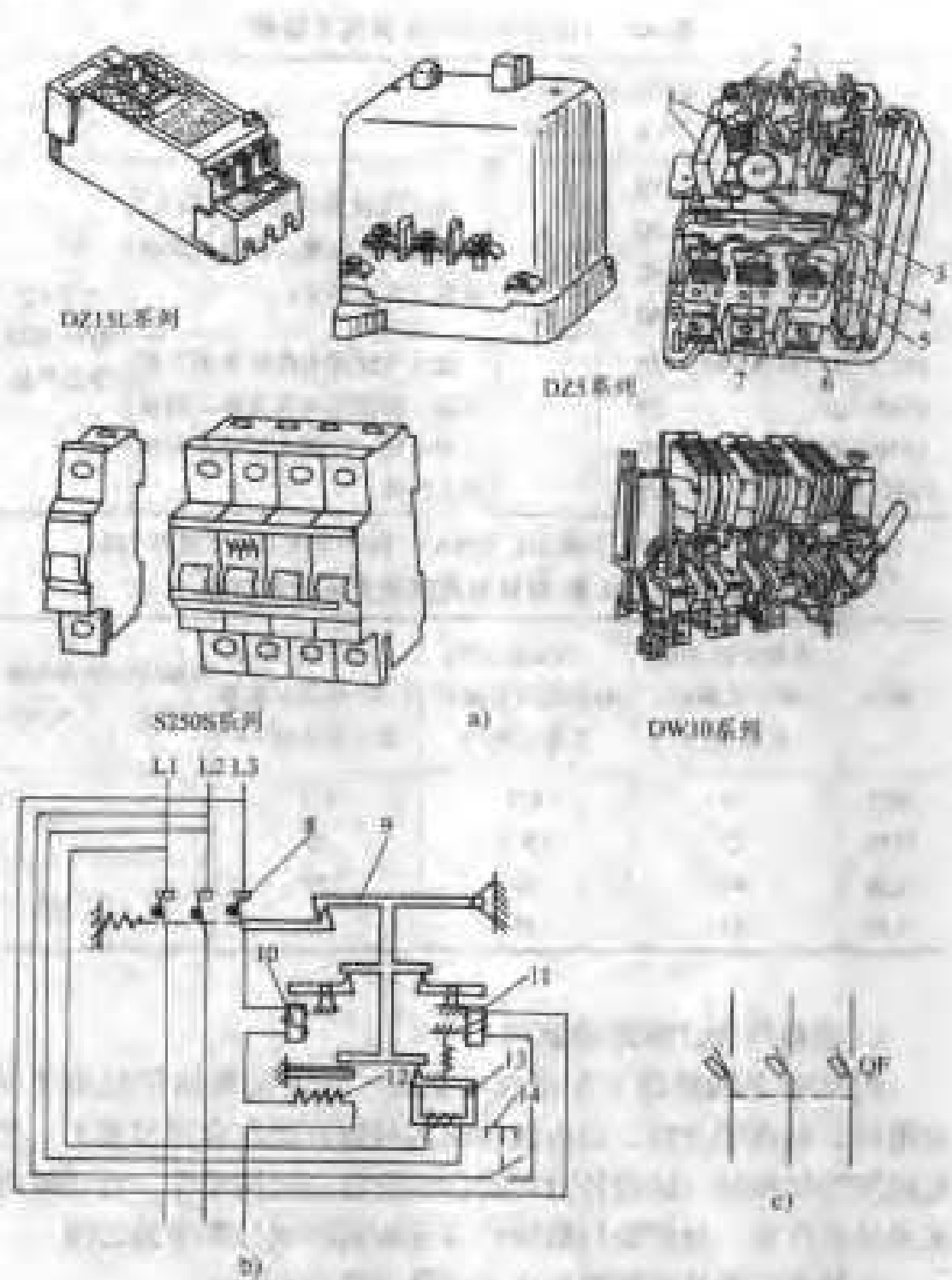


图 9.8 自动空气断路器

a) 几种断路器的外观 b) 工作原理 c) 图形和文字符号

- 1、14—按钮 2、10—过电流脱扣器 3、9—自由脱扣器 4—动触点
5—静触点 6—接线 7、12—热脱扣器 8—主触点 11—分励脱扣器 13—欠电压脱扣器



DZX19 系列为限流式断路器，可利用短路电流所产生的电动力使触点约在 8~10ms 内迅速断开，限制了可能出现的最大短路电流。DZS6—20 系列作为小容量电动机及配电网的过载和短路保护。C454N 是天津产的小电流等级塑料外壳式断路器。S060 系列是北京低压电器厂生产的导线保护塑料外壳式断路器。3VE 是德国西门子的技术生产的。S060 是德国 BBC 公司的技术生产的。

3. 断路器的选择

1) 断路器的额定电流和额定电压应不小于电路正常工作时的电流和电压。

2) 热脱扣器的整定电流应为所控制电动机的额定电流或负载额定电流的 1.1~1.5 倍。

3) 断路器的通断能力大于或等于电路的最大短路电流。

4) 断路器的类型应根据使用场合和保护类型来选用。短路电流不太大的可选用塑料外壳式断路器；短路电流相当大的可选用限流式断路器；额定电流比较大或有选择性保护时应选择框架式断路器；对控制和保护含半导体器件的直流电路应选择直流快速断路器等。

表 9-7 ~ 表 9-9 给出了常用断路器的主要参数。

表 9-7 常用 DZ 系列塑料外壳式断路器主要技术参数

| 型号 | 额定 电流 /A | 过电流脱 扣器范围 /A | 短路通断能力 | | | | 用 途 | |
|------------|----------------|--------------------|----------|-----------|----------|-----------|---|---|
| | | | 交流 | | 直流 | | | |
| | | | 电压 /V | 电流 /kA | 电压 /V | 电流 /kA | | |
| DZ10—100 | 100 | 15~100 | 380 | 7 | 220 | 7 | 主要用于交直流电路中，作为开关板控制线路、照明线路的过载及短路保护，以及在正常操作条件下作为线路的不频繁接通和分断之用 | |
| DZ10—250 | 250 | 100~250 | | 9 | | 9 | | |
| DZ10—600 | 600 | 200~600 | | 12 | | 12 | | |
| DZ20Y—100 | 100 | 16~100 | 380 | 18 | 380 | 10 | | 主要用于交直流电路中，作为开关板控制线路、照明线路的过载及短路保护，以及在正常操作条件下作为线路的不频繁接通和分断之用 |
| DZ20Y—200 | 200 | 100~200 | | 25 | | 25 | | |
| DZ20Y—400 | 400 | 200~400 | | 30 | | 25 | | |
| DZ20Y—630 | 630 | 500~630 | | 30 | | 25 | | |
| DZ20Y—800 | 800 | 500~800 | | 42 | | 25 | | |
| DZ20Y—1250 | 1250 | 800~1250 | | 50 | | 30 | | |



表 9-8 常用框架式断路器主要技术数据

| 型号 | 额定 电流 /A | 过电流脱 扣器范围 /A | 通断能力 | | | | 用 途 |
|------------|----------------|--------------------|-----------|--------------|----------|-----------|---|
| | | | 交流 | | 直流 | | |
| | | | 电压 /V | 电流有效 值/kA | 电压 /V | 电流 /kA | |
| DW10—200 | 200 | 100 ~ 200 | | 10 | | 10 | 在配电网中作为过载、 短路及失压保护，在正 常工作条件下用来不频 繁地转接电路，常用丁 要求高分断能力和选择 性保护的场合，作为总 电源开关和负载近端支 路开关 |
| DW10—400 | 400 | 100 ~ 400 | | 15 | | 15 | |
| DW10—600 | 600 | 400 ~ 600 | | 15 | | 15 | |
| 新系列 断路器 | 200 | 100 ~ 200 | 380 和 660 | 20 和 10 | | | |
| | 400 | 200 ~ 400 | 380 | 25 | | | |
| | 600 | 300 ~ 600 | 380 | 30 | | | |

表 9-9 限流式断路器主要技术数据

| 结构形式 | 额定电流 /A | 通断能力 | | 用 途 | |
|-------|------------|------|----------|-----|-------------------------------|
| | | 电压/V | 电流有效值/kA | | |
| 框架式 | 200 | 380 | | 50 | 主要用作支路配电 自动开关电动机保护 自动开关 |
| | 400 | | | 50 | |
| | 600 | | | 70 | |
| 塑料外壳式 | 100 | | | 30 | |
| | 200 | | | 40 | |
| | 400 | | | 50 | |
| | 600 | 60 | | | |

四、漏电保护断路器

漏电保护断路器是一种安全保护电器，在电路中作为触电和漏电保护之用。在线路或设备出现对地漏电或人身触电时，迅速自动断开电路，能够有效地保证人身和线路安全。

单相式主要产品有 DZL18—20 型；三相式有 DZL15L、DZ47L、DS250M 等。

漏电保护断路器的额定漏电流为 30 ~ 100mA，漏电脱扣动作时间小于 0.1s。

表 9-10 为 DZL15L 系列的技术数据。

表 9-10 DZL15L 系列漏电保护开关的技术数据

| 额定电压 /V | 额定频率 /Hz | 额定电流 /A | 极数 | 过电流脱扣器 额定电流/mA | 额定漏电 动作电流 /mA | 额定漏电 不动作电流 /mA | 额定漏电 动作时间 /s |
|-------------|----------------------------|---|-----|--------------------------|---------------------|----------------------|--------------------|
| 380 | 50 ~ 60 | 40 | 3 | 6, 10, 16, 20, 25, 40 | 30 | 15 | < 0.1 |
| | | | | | 50 | 25 | |
| | | | | | 70 | 40 | |
| | | 4 | 40 | 50 | 25 | | |
| | | | | 75 | 40 | | |
| | | | | 100 | 50 | | |
| 63 (100) | 3 | 10, 16, 25, 32, 40, 50, 63, 80, 100 | 50 | 25 | | | |
| | | | 75 | 40 | | | |
| | | | 100 | 50 | | | |
| 4 | 32, 40, 50, 63, 80, 100 | 16, 20, 25, | 50 | 25 | | | |
| | | 32, 40, 50, 63, | 70 | 40 | | | |
| | | 80, 100 | 100 | 50 | | | |

五、倒顺开关

倒顺开关是利用开关本身结构改变两相的相序用以实现电动机的正反转。接线时一定要将开关的结构搞清楚，以免造成相间短路。

第三节 熔断器

熔断器串联在线路中，当线路或电气设备发生短路，熔断器中的熔体首先熔断，使线路或电气设备脱离电源，起到保护作用，它是一种短路保护电器。几种熔断器的外形和符号如图 9-9 所示。

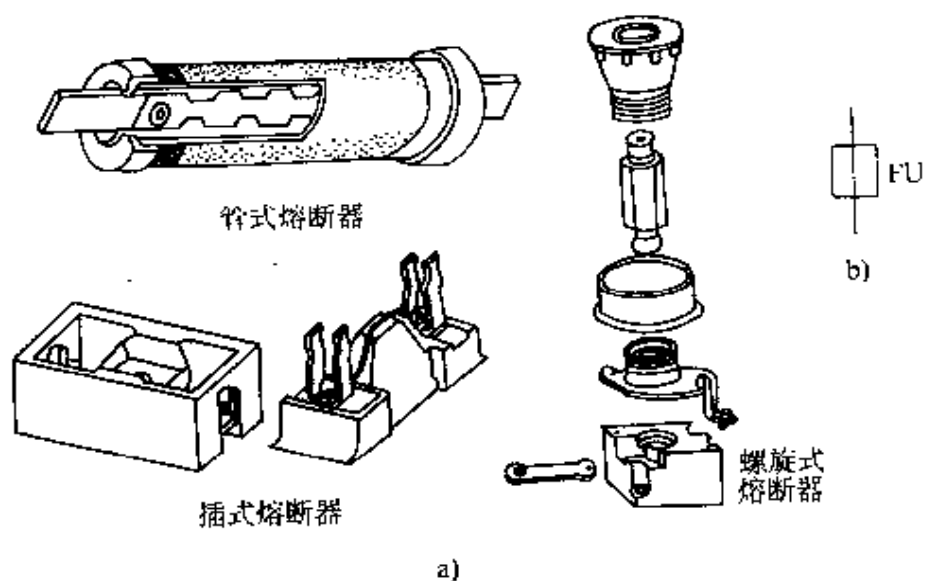


图 9-9 熔断器

a) 几种熔断器外观图 b) 图形和文字符号

一、熔体的电流选择

1) 对于电阻性负载

$$I_{FU} = 1.1 I_N$$

式中 I_{FU} ——熔丝额定电流；

I_N ——负载额定电流。

2) 单台电动机

$$I_{FU} \geq (1.5 \sim 2.5) I_N$$

式中 I_{FU} ——熔丝额定电流；

I_N ——负载额定电流。

3) 多台电动机

$$I_{FU} \geq (1.5 \sim 2.5) I_{N_{\max}} + \sum I_N$$

式中 I_{FU} ——熔丝额定电流；

$I_{N_{\max}}$ ——最大一台电动机额定电流；

$\sum I_N$ ——其余小容量电动机额定电流之和。

二、使用熔断器的注意事项

1) 品牌不清的熔丝不能使用。



- 2) 不能用铜丝或铁丝代替熔丝。
- 3) 熔断器的插片接触要保持良好。如要发现插口处过热或触点变色, 则说明插口处接触不良, 应及时修复。
- 4) 更换熔体或熔管时, 必须将电源断开, 以免发生电弧烧伤。
- 5) 安装熔丝时, 避免把它碰伤, 也不要将螺钉拧得太紧, 使熔丝扎伤。熔丝应顺时针方向弯过来, 这样在拧紧螺钉时就会越拧越紧。熔丝只需弯一圈就可以, 不要多弯。
- 6) 如果连接处的螺钉损坏而拧不紧, 则应换新的螺钉。
- 7) 对于有指示器的熔断器, 应经常注意检查。若发现熔体已烧断, 应及时更换。

常用熔断器的技术数据见表 9-11。

表 9-11 常用熔断器的技术数据

| 名称 | 型号 | 熔管额定电压 /V | 熔管额定电流 /A | 熔体额定电流等级 /A | 短路分断能力 /kA | 用途 |
|------------|----------|---------------------------|--------------|-----------------|---------------|---|
| 瓷插式 熔断器 | RC1A—5 | 交流 380 | 5 | 2, 5 | 0.25 | 用于 500V 以下 小容量线路 |
| | RC1A—10 | | 10 | 2, 4, 6, 10 | 0.5 | |
| | RC1A—15 | | 15 | 6, 10, 15 | 0.5 | |
| | RC1A—30 | | 30 | 20, 25, 30 | 1.5 | |
| | RC1A—60 | | 60 | 40, 50, 60 | 3 | |
| | RC1A—100 | | 100 | 80, 100 | 3 | |
| | RC1A—200 | | 200 | 120, 150, 200 | 3 | |
| 螺旋式 熔断器 | RL1—15 | 交流 500 | 15 | 2, 4, 6, 10, 15 | 2 | 作为过载及短路 保护元件。用于控 制箱、配电箱及振 动较大的场合 |
| | RL1—60 | | 60 | 20, 25, 30, 35, | 3.5 | |
| | RL1—100 | | 100 | 40, 50, 60 | 20 | |
| | RL1—200 | | 200 | 60, 80, 100 | 50 | |
| | RLS—10 | | 10 | 3, 5, 10 | 40 | |
| RLS—50 | 50 | 15, 20, 25, 30, 40, 50 | | | | |



(续)

| 名称 | 型号 | 熔管额定电压 /V | 熔管额定电流 /A | 熔体额定电流等级 /A | 短路分断能力 /kA | 用途 |
|------------------------|---------|------------------|--------------|---------------------------------|----------------------|--|
| 有填料 封闭管 式熔断 器 | RTO—50 | 交流 380 直流 440 | 50 | 5, 10, 15, 20, 30, 40, 50 | 直流 25 交流 50 | 用于低压配电和 动力网络中作为导 线、电缆及电气设 备的短路和过载保 护 |
| | RTO—100 | | 100 | 30, 40, 50, 60, 80, 100 | | |
| | RTO—200 | | 200 | 80, 100, 120, 150, 200 | | |
| | HTO—400 | | 400 | 150, 200, 250, 350, 400 | | |
| | RTO—600 | | 600 | 350, 400, 450, 500, 550, 600 | | |
| 无填料 封闭管 式熔断 器 | RM7—15 | 交流 220 | 15 | 2, 2.5, 3, 4, 5, 6, 10, 15 | 1.5 | |
| | RM7—15 | 交流 380 直流 440 | 15 | 6, 10, 15 | 2 | |
| | RM7—60 | | 60 | 15, 20, 25, 30, 40, 50, 60 | 5 | |
| | RM7—100 | | 100 | 60, 80, 100 | 20 | |
| | RM7—200 | | 200 | 100, 120, 150, 200 | | |
| | RM7—400 | | 400 | 200, 250, 300, 350, 400 | | |
| | RM7—600 | | 600 | 400, 450, 500, 550, 600 | | |

第四节 主令电器

主令电器主要用来接通和分断控制电路以达到发号施令目的电器。最常见的有按钮、行程开关、主令开关和主令控制器等；另外还有踏脚开关、接近开关、倒顺开关、紧急开关及钮子开关等。

一、按钮

按钮是一种手动且一般可以自动复位的主令电器。常用于交



流电压 500V 或直流电压 440V，电流 10A 或 5A 以下的电路中。按钮的结构型式可分为掀钮式、紧急式、旋钮式及钥匙式等。有的带指示灯。按钮开关的结构与外观如图 9-10a、b 所示，图形和文字符号如图 9-10c 所示。

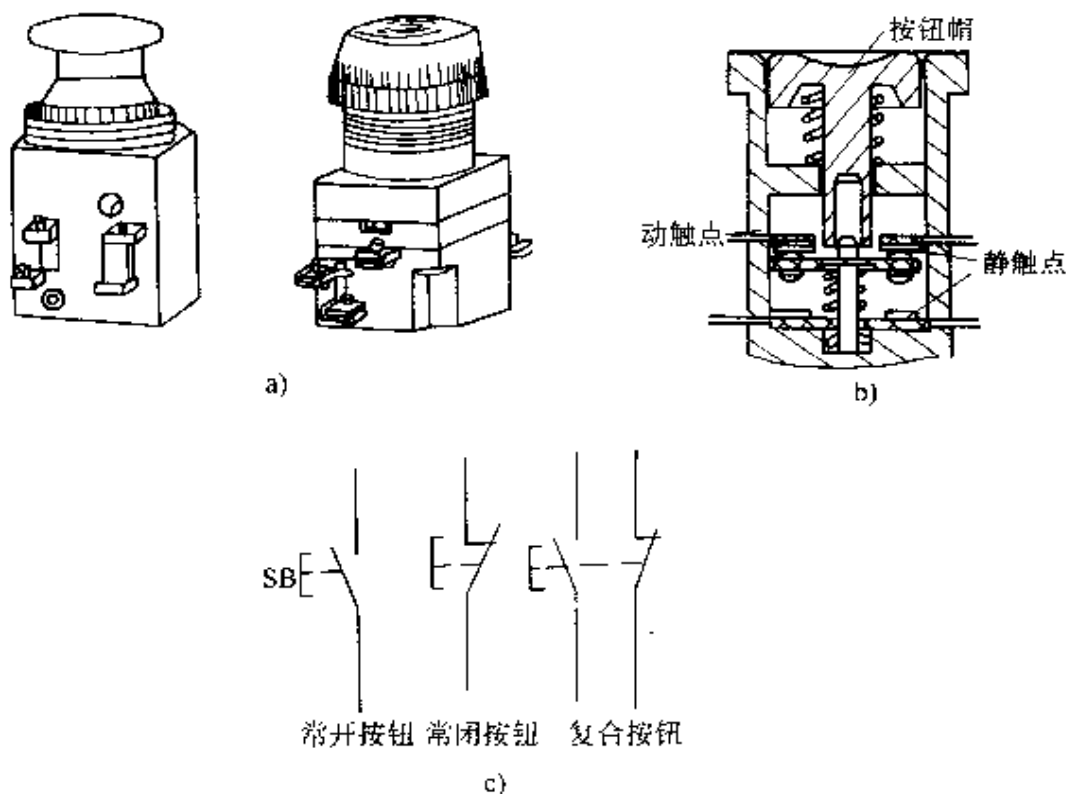


图 9-10 按钮

a) 外观图 b) 结构图 c) 图形和文字符号

目前使用较多的产品有 LA18、LA19、LA20、LA25 和 LAY30。其中 LA25 为通用型按钮的换代产品，采用组合结构，可根据需要任意组合其触点数目，最多可组成 6 个单元。LAY3 系列是根据德国西门子技术标准生产的产品，可取代同类进口产品。

按钮的主要参数见表 9-12。

二、位置开关

1. 行程开关

行程开关又名限位开关，是一种利用生产机械某些运动部件

的碰撞来发出控制指令的主令电器。用于控制生产机械的运动方向、行程大小或位置保护。

表 9-12 常用控制按钮主要技术数据

| 型号 | 电压 /V | 电流 /A | 结构形式 | 按 钮 | | 用 途 | | | |
|---|------------------|----------|-----------|-----|-----------|-----------------------------------|-----------|---|-----------|
| | | | | 钮数 | 颜 色 | | | | |
| LA18—22 LA18—44 LA18—66 LA18—22J LA18—44J LA18—66J LA18—22Y LA18—44Y LA18—66Y LA18—22X LA18—44X LA18—66X | 交流 500 直流 440 | 5 | 元件 | 1 | 红,绿,黑,白 | 主要用于远距离操作接触器、继电器等电器或用于信号和电气联锁的线路中 | | | |
| 紧急式 | | | 红 | | | | | | |
| 钥匙式 | | | 金属 | | | | | | |
| 旋钮式 | | | 黑 | | | | | | |
| 元件式 | | | 红,黄,蓝,白,绿 | | | | | | |
| 紧急式 | | | | | 红 | | | | |
| 带指示灯 | | | | | 红,黄,蓝,白,绿 | | | | |
| | | | | | 红 | | | | |
| | | | | | 红 | | | | |
| LA20—11D LA20—11DJ LA20—22D LA20—22DJ LA20—2K LA20—3K LA20—2H LA20—3H | | | 380 | | | | 带指示灯 | 1 | 红,黄,蓝,白,绿 |
| 带灯紧急式 | | | | | | | 红 | | |
| 带指示灯 | | | | | | | 红,黄,蓝,白,绿 | | |
| 带灯紧急式 | | | | | | | 红 | | |
| 开启式 | 黑红,绿红 黑,绿,红 | | | | | | | | |
| 保护式 | 黑红,绿红 | | | | | | | | |
| | 黑,绿,红 | | | | | | | | |

行程开关的工作原理和按钮相同,区别只是它不靠手指的按压,而利用生产机械运动部件的挡铁碰压而使触点动作。图 9-11 所示是几种常见行程开关的外观和一般结构及电气图形、文字符号。

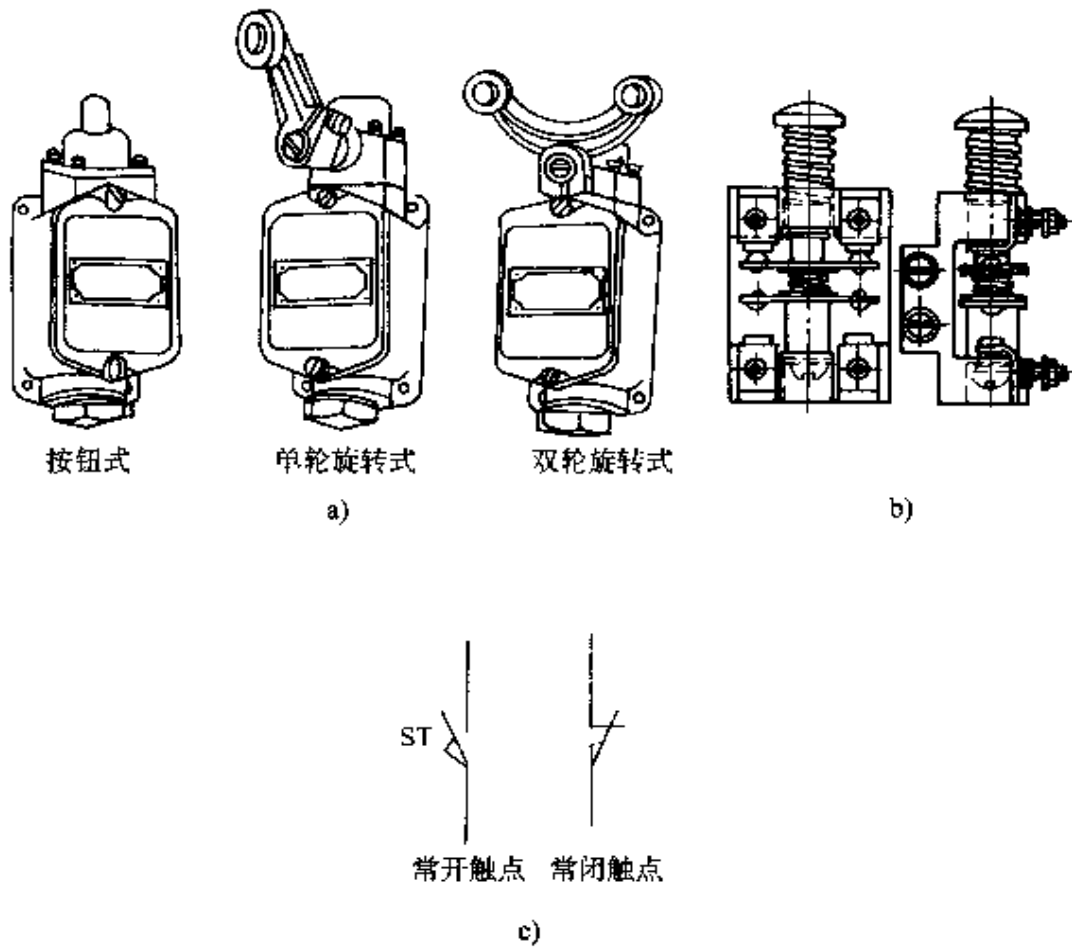


图 9-11 行程开关

a) 几种行程开关 b) 一般结构 c) 图形及文字符号

常用的行程开关有 LXW5、LX19、LX22、LXK3 及 LX33 等系列。LXW5 是微动开关，3SE3 是新型的。

主要参数见表 9-13。

2. 接近开关

接近开关又称无触点开关，是以不直接接触方式进行控制的一种位置开关。按其工作原理分为高频振荡型、电容型和永磁型等。

接近开关主要系列产品有 IJ2、IJ6、IXJ3 和 3SC 等系列。主要参数见表 9-14。



表 9-13 常用行程开关技术数据

| 型号 | 额定电压 /V | 额定电流 /A | 结构形式 | 触点数 | | 行程 | 用途 |
|----------|------------------------|------------|----------------|-----|----|-------|--|
| | | | | 常开 | 常闭 | | |
| LX19K | 380 | 5 | 元件 | 1 | 1 | 3mm | 将机械信号转换为电气信号,以通断控制信号或作为行程限位之用。其中 LX22 系列可取代 LX4 系列等老产品 |
| LX19—111 | | | 单轮,能自动复位 | | | 约 30° | |
| LX19—121 | | | 单轮,能自动复位 | | | 约 30° | |
| LX19—131 | | | 单轮 | | | 约 30° | |
| LX19—212 | | | 双轮,不能自动复位 | | | 约 30° | |
| LX19—222 | | | 双轮,不能自动复位 | | | 约 30° | |
| LX19—232 | | | 双轮,不能自动复位 | | | 约 30° | |
| LX19—001 | | | 无滚轮,仅用传动杆能自动复位 | | | < 4mm | |
| LX22—1 | 交流 380 直流 220 | 20 | 带有滚轮的垂直操作臂 | | | | |
| LX22—2 | | | 带有滚轮的叉形操作臂 | | | | |
| LX22—3 | | | 蜗杆蜗轮传动 | | | | |
| LX22—4 | | | 三叉形操作臂并带有定位装置 | | | | |
| LX22—6 | | | 有两个带滚轮的操作臂 | | | | |

表 9-14 LXJ3 系列的主要参数

| 型号 | 额定电压 /V | 输出电压 /V | 输出电流 /mA | 动作距离 /mm | 回环宽度 /mm | 重复定位 精度/mm | 最高工作 频率 /(次/s) |
|---------|---------------|-----------------|-----------------------|-------------|-------------|---------------|----------------------|
| LXJ3—5 | AC110~ 220 | “1”态 $\leq 10'$ | 100 (max) 20 (min) | 5 | 1 | ≤ 0.03 | 10 |
| LXJ3—10 | | “0”态 \leq | | 10 | ≤ 2 | ≤ 0.05 | |
| LXJ3—15 | | 95% U_e | | 15 | ≤ 3 | ≤ 0.10 | |

三、凸轮控制器

是按照预定的顺序接通和切断电路的电器,常用于控制电动机的起动、调速、正反转和制动等。控制器按结构分为凸轮控制器、鼓形控制器和平面控制器。其中,凸轮控制器应用最多。凸轮控制器是一种手动电器,由手柄、定位机构、框架、灭弧罩、



转轴、凸轮和触点等组成。图 9-12 是凸轮控制器的结构原理图。

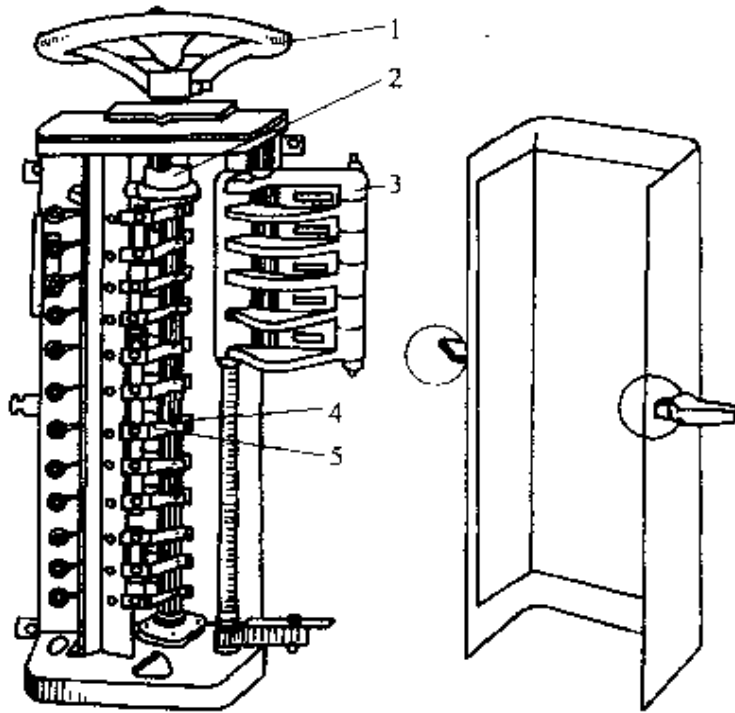


图 9-12 凸轮控制器的结构原理图

1—手轮 2—转轴 3—灭弧罩 4—动触头 5—静触头

凸轮控制器的工作原理是通过手柄转动凸轮，以凸轮圆弧半径的不同来推动触点的闭合。在转轴上叠装不同形状的凸轮，可以使若干个触点组按规定的顺序接通或分断。

主令控制电器是按预定程序转换控制电路的主令电器。其结构与凸轮控制器相类似，只是触点额定电流较小。

凸轮控制器的图形符号及触点通断表示方法如图 9-13 所示。图中“0”表示手柄的中间位置，两侧的数字表示手柄操作位置，在该数字两方可用文字表示操作状态（如向前、向

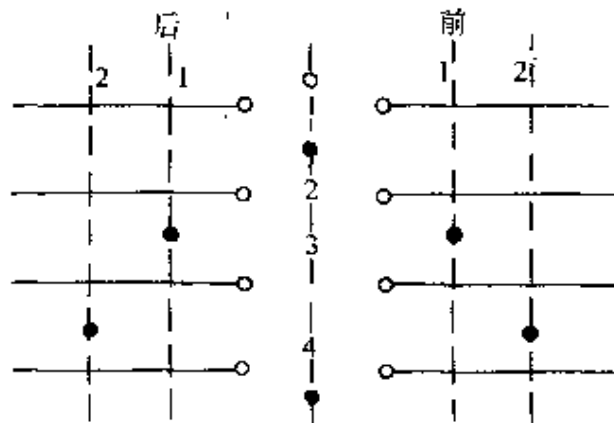


图 9-13 凸轮控制器的图形符号



后、自动和手动等), 短划线表示手柄操作触点开闭的位置线, 数字 1、4 表示触点号。各触点在手柄转到不同位置时, 通断状态用“.”表示, 有“.”表示触点闭合, 无“.”表示触点断开。例如手柄在中间“0”位置时, 触点 1 和 4 闭合, 其余的触点均为断开状态。主令电器的图形符号及触点在各档通断状态的表示方法与凸轮控制器类似。

凸轮控制器型号有 KT10、KT14 及 KT15 等系列。主要参数见表 9-15。

表 9-15 常用凸轮控制器技术数据

| 型号 | 额定电压 /V | 额定电流 /A | 工作位置数 | | 380V 时控制 电动机的功率 /kW | 操作 频率 /(次/h) | 操作力 /N | 用途 | | |
|---------|------------|------------|------------|------------|---------------------------|--------------------|-----------|---|---|---|
| | | | 向前 (上升) | 向后 (下降) | | | | | | |
| KT10—25 | 380 | 25 | 5 | 5 | 11 | 600 | 50 | 主要作为起重机 及其他类型的交流 电动机的起动、调 速和换向。可取代 KTJ1、KTJ2 及 KGJ1 等老产品 | | |
| | | | 1 | 1 | 5 | | | | | |
| | | | 5 | 5 | 2×5 | | | | | |
| KT10—60 | 380 | 60 | 5 | 5 | 30 | 600 | 50 | | 主要作为起重机 及其他类型的交流 电动机的起动、调 速和换向。可取代 KTJ1、KTJ2 及 KGJ1 等老产品 | |
| | | | 1 | 1 | 16 | | | | | |
| | | | 5 | 5 | 2×11 | | | | | |
| KT12—25 | 380 | 25 | 5 | 5 | 16 | 600 | 50 | | | 主要作为起重机 及其他类型的交流 电动机的起动、调 速和换向。可取代 KTJ1、KTJ2 及 KGJ1 等老产品 |
| | | | 1 | 1 | 11 | | | | | |
| | | | 5 | 5 | 2×7.5 | | | | | |

主令控制电器的主要产品有 LK14、LK15 及 LK16 系列。LK15 系列主要参数见表 9-16。

表 9-16 常用主令控制器技术数据

| 型号 | 额定电压 /V | 额定电流 /A | 位置数 | 控制 回路数 | 操作 频率 /(次/h) | 交流分断能力 | | | 用途 |
|------|------------|------------|-----|-----------|--------------------|----------|------------|------------|-------------------------------|
| | | | | | | 电压 /V | 接通电流 /A | 分断电流 /A | |
| LK14 | 交流 500 | 15 | 6 | 6~12 | 600 | 500 | 100 | 15 | 用于电气传动 装置, 以便联锁、 转换控制线圈 |
| LK15 | | 10 | | | 700 | | | | |
| LK16 | | 10 | | | 1200 | 380 | 10 | | |



第五节 接 触 器

接触器是一种用来频繁地接通或断开交、直流主电路及大容量控制电路的自动切换电器。主要用于控制电动机、电热设备、电焊机等。是电力拖动系统中使用最广泛的电器元件。

一、接触器的工作原理

交流接触器常用来接通或断开电动机或其他电气设备的主电路。其结构和符号如图 9-14 所示。

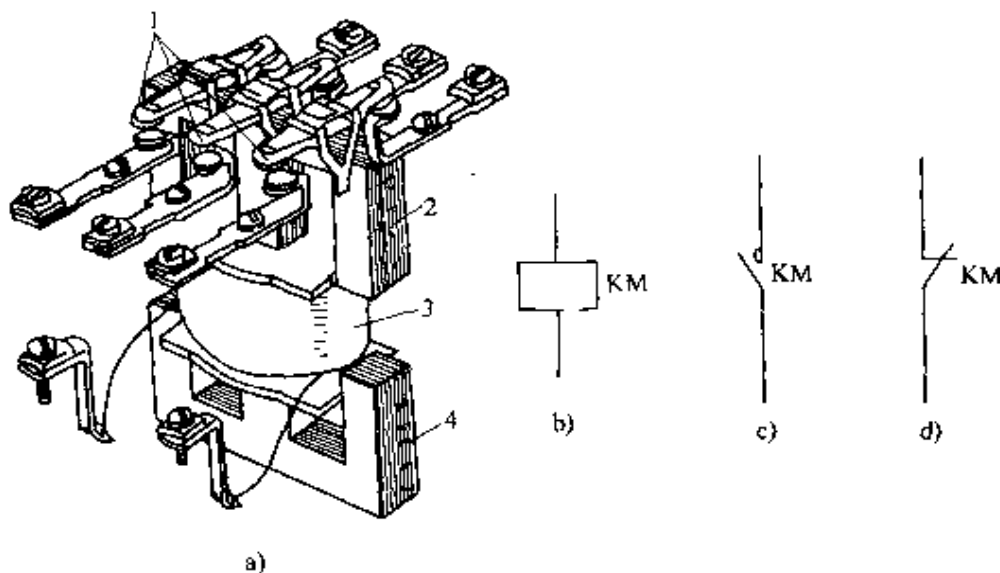


图 9-14 交流接触器

a) 主要结构 b) 线圈 c) 常开触点 d) 常闭触点

1—主触点 2—上铁心 3—线圈 4—下铁心

接触器主要由电磁铁和触点两部分组成，比较大的接触器还有灭弧装置。线圈没有通电时断开的触点称为常开触点，此时已经闭合的触点称为常闭触点。当线圈通电后，电磁铁产生吸力，吸引山字形铁芯，而使常开触点闭合，常闭触点断开。线圈失电后，各触点恢复原态。



二、接触器的主要类型和技术参数

1. 接触器的主要类型

接触器分为直流和交流。机械设备中常用的交流接触器有 CJ10、CJ12、CJ10X、CJ20、CJX1、CJX2、3TB、3TD 及 B 系列。

CJ10、CJ12 系列是早期国标产品；CJ10X 系列为削弧接触器；CJ20 为新型的国标产品。B 系列是引进德国 BBC 公司技术生产的。3TB 系列是从德国西门子引进技术生产的。

直流接触器有 CZ0、CZ18 系列。

2. 接触器的技术参数

1) 额定电压 指主触点的额定电压。交流有 220V、380V、660V，直流有 110V、220V、440V。

2) 额定电流 指主触点的额定电流。为 10~800A。

3) 吸引线圈的额定电压 交流有 36V、127V、220V 和 380V；直流有 24V、48V、220V 和 440V。

4) 电气寿命和机械寿命 以万次表示。

5) 额定操作频率 以次/h 表示。一般为 300 次/h、600 次/h 和 1200 次/h。

6) 动作值 规定接触器的吸合电压大于线圈额定电压 80% 是可靠吸合，释放电压不高于线圈额定电压 70%。

三、接触器的选择

1) 额定电压的选择 接触器的额定电压大于或等于负载回路电压。

2) 额定电流的选择 接触器的额定电流应大于或等于被控回路的额定电流。

3) 吸引线圈额定电压的选择 吸引线圈的额定电压应与所接控制电路的电压一致。

4) 接触器的触点数量、种类选择 触点数量和种类应满足主电路和控制电路的要求。

接触器主要技术参数见表 9-17 和表 9-18。



表 9-17 CJ20 系列交流接触器技术数据

| 型号 | 额定电压 /V | 额定电流 /A | 可控制电动机最大功率 /kW | 吸引线圈消耗功率 | | 机械寿命 /万次 | 电气寿命 /万次 |
|----------|---------|---------|----------------|----------|----------|----------|----------|
| | | | | 起动功率 /VA | 吸持功率 /VA | | |
| CJ20—10 | 380 | 10 | 2.2 | 65 | 8.3 | 1000 | 100 |
| CJ20—25 | | 25 | 11 | 93.1 | 13.9 | | |
| CJ20—40 | | 40 | 22 | 175 | 19 | | |
| CJ20—63 | | 63 | 30 | 480 | 57 | | |
| CJ20—100 | | 100 | 50 | 570 | 61 | | |
| CJ20—160 | | 160 | 85 | 855 | 82 | | |
| CJ20—400 | 400 | 200 | 3578 | 250 | 600 | 120 | |
| CJ20—630 | 630 | 300 | 3578 | 250 | | | |

表 9-18 3TB 系列交流接触器技术数据

| 型号 | 额定电压 /V | 主触头 | | | 辅助触头 | | | 可控电动机功率 /kW | | AC3 工作制 | | |
|-------|---------|-----------|----------|------|-----------|--------|------|-------------|------|---------|---------|----------|
| | | 额定发热电流 /A | 额定工作电流/A | | 额定发热电流 /A | 额定电流/A | | | 380V | 660V | 电寿命 /万次 | 操作频率 次/h |
| | | | 380V | 660V | | 220V | 380V | 660V | | | | |
| 3TB40 | 660 | 22 | 9 | 7.2 | 10 | 0.45 | 6 | 2 | 4 | 5.5 | 1200 | 1000 |
| 3TB41 | | 22 | 12 | 9.5 | | | | | 5.5 | 7.5 | | |
| 3TB42 | | 35 | 16 | 13.5 | | | | | 7.5 | 11 | | |
| 3TB43 | | 35 | 22 | 13.5 | | | | | 11 | 11 | | |
| 3TB44 | | 55 | 32 | 18 | | | | | 15 | 15 | | |

第六节 继电器

继电器一般用于小电流的电路，触点额定电流不大于 5A，所以不加灭弧装置，而接触器一般用于控制大电流的电路，有灭弧装置。它们的结构和原理相同。



一、电磁式继电器

1. 电流继电器

电流继电器的线圈与被测量电路串联，以反映电路电流的变化。为不影响电路工作情况，其线圈匝数较少，导线粗，线圈阻抗小。

电流继电器又有欠电流和过电流之分。

2. 电压继电器

电压继电器的线圈并联在电路中，所以线圈匝数多，导线细，阻抗大。

电压继电器有过电压、欠电压继电器之分。

3. 中间继电器

中间继电器实质上就是电压继电器，但它的触点多，触点的容量较大（5~10A）。

电磁式继电器的一般图形符号是相同的。如图 9-15 所示。电流继电器的文字符号为 KI，电压继电器的文字符号为 KV，而中间继电器的文字符号为 KA。

电磁式继电器常用的型号有：JL14、JL18、JT18、JZ15、3TH80、3TH82 及 JZC2 等系列。其中 JL14 系列为交直流电流继电器，JL18 系列为交直流过电流继电器，JT18 系列为直流通用继电器，JZ15 为中间继电器，3TH80、3TH82 为接触器式继电器，与 JZC2 系列类似。

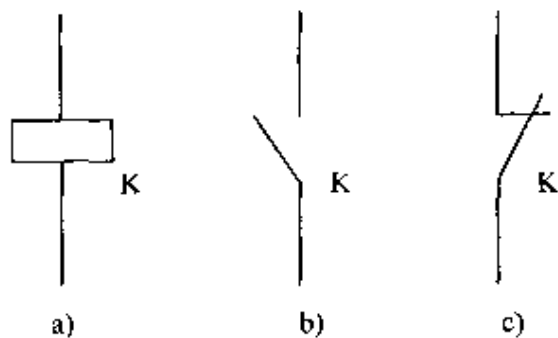


图 9-15 电磁式继电器一般图形符号
a) 线圈 b) 常开触点 c) 常闭触点

二、时间继电器

时间继电器是一种利用电磁原理或机械等原理实现触点延时接通或断开的自动控制电器，其外形和图形符号如图 9-16 和图 9-17 所示。时间继电器种类、特性和用途见表 9-19。

时间继电器主要参数见表 9-20 和表 9-21。

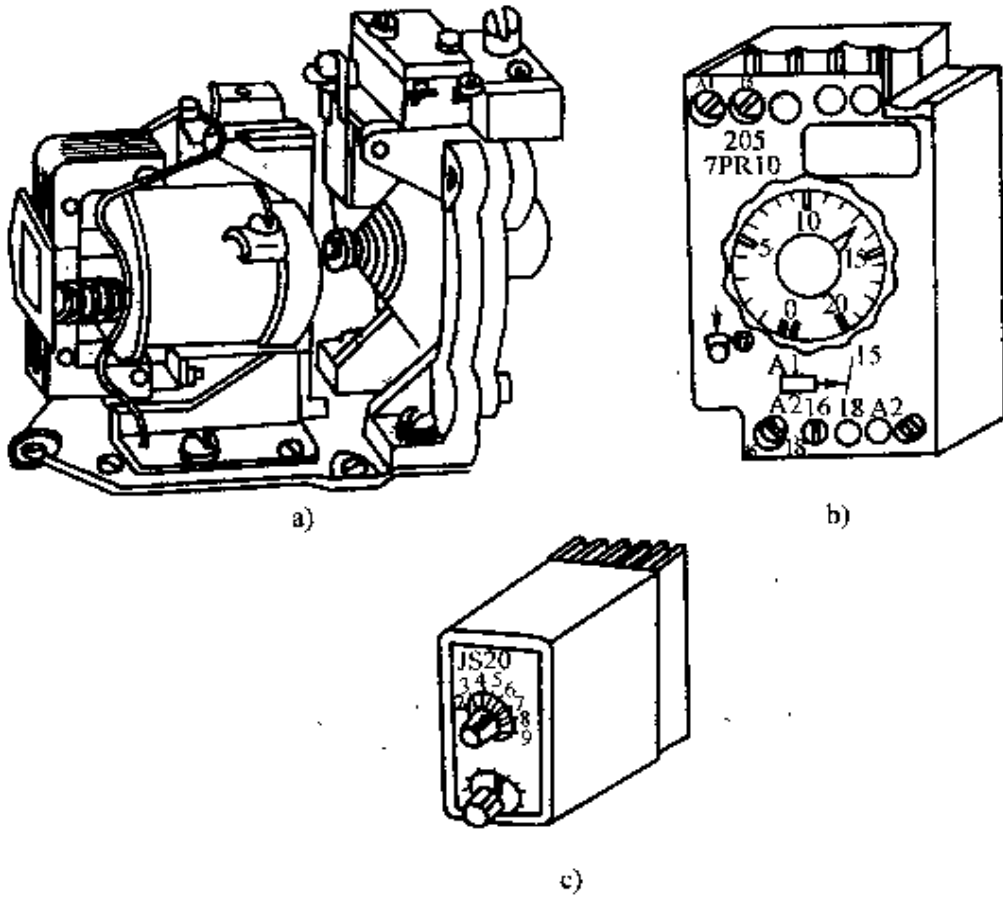


图 9-16 时间继电器外形

a) 空气阻尼式 b) 电动式 c) 晶体管式

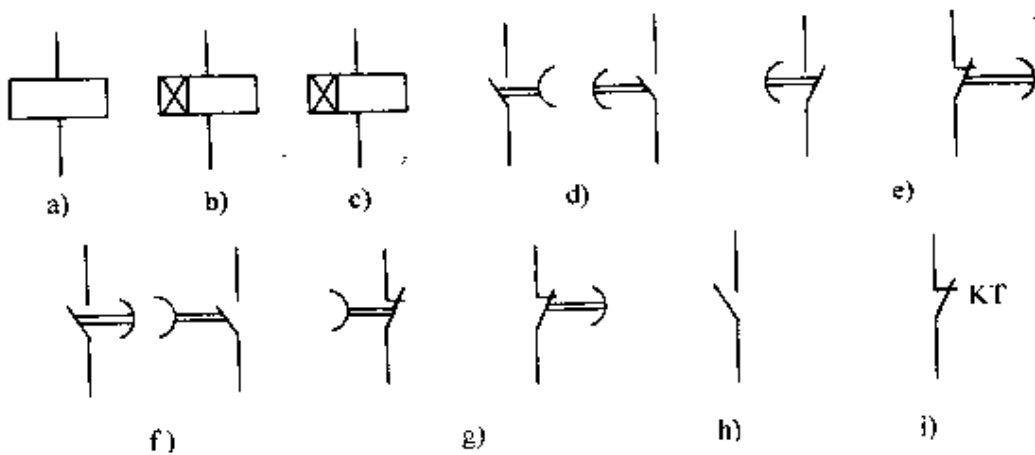


图 9-17 时间继电器

a) 线圈 b) 通电延时线圈 c) 断电延时线圈 d) 延时闭合常开触点
e) 延时断开常闭触点 f) 延时断开常开触点 g) 延时闭合常闭触点
h) 瞬动常开触点 i) 瞬动常闭触点



表 9-19 常用时间继电器种类、特性和用途

| 类别 | 型号 | 特 性 及 用 途 |
|-------|--------------------------|---|
| 空气式 | JS23 JS-7 | 结构简单、易构成通电延时和断电延时型，具有调整简便，价格较低等优点，使用较广，但延时精度低，一般用于要求不高的场合 |
| 电动式 | JS-11 JS-17 | 延时值不受电源电压波动及环境温度变化的影响，重复精度高，延时范围宽，可长达数 10h，延时过程能通过指针直观表示出来，但结构复杂，成本高、寿命低，不适于频繁操作，延时误差受电源频率的影响，一般用于机床电路中 |
| 直流电磁式 | JT-18 | 主要用于断电延时，时间可达 0.2 ~ 10s，而通电延时仅为 0.1 ~ 0.5s，延时整定精度和稳定性不是很高，但继电器本身适应能力较强 |
| 电子式 | JS20 JS-13 ~ JS-15 | 体积小，精度较高，延时范围较广，调节方便，消耗功率小，寿命长，主要用于中等延时时间 0.05 ~ 1h 的场合 |

表 9-20 JS7 系列时间继电器技术数据

| 型号 | 触点容量 | | 吸引线圈电压 /V | 延时触点数 | | | | 瞬时动作触点数 | | 1. 延时范围: 0.4 ~ 60s, 0.4 ~ 180s 2. 重复误差 ≤ 15% 3. 延时稳定性 误差 ≤ 20% |
|--------|------------|------------|--------------------|-------|----|------|----|---------|----|--|
| | 额定电压 /V | 额定电流 /A | | 通电延时 | | 断电延时 | | 常开 | 常闭 | |
| | | | | 常开 | 常闭 | 常开 | 常闭 | | | |
| JS7-1A | 380 | 5 | 36、127、 220、380 | 1 | 1 | | | | | |
| JS7-2A | | | | 1 | 1 | | | 1 | 1 | |
| JS7-3A | | | | | | 1 | 1 | | | |
| JS7-4A | | | | | | 1 | 1 | 1 | 1 | |

表 9-21 常用的时间继电器技术数据

| 产品型号 | 触 点 参 数 | | | 吸引线圈 | | 动作值或整定值 | |
|-----------------------|---------|--------------|------------|-------------------|---------------------|---------|---|
| | 数量 | 组合方式 | 额定电 流/A | 通断能力 (交流 380V) | 电压/V (交流) | | 消耗功 率/W |
| JS11 电 动式时间 继电器 | 5 | 接通延时 3分2合 | 5 | 接通 3A 分断 0.3A | 110、127、 220、380 | 4 | 1. 延时范围: 0 ~ 8s, 0 ~ 40s, 0 ~ 4min, 0 ~ 20min, 0 ~ 2h, 0 ~ 12h, 0 ~ 72h 2. 整定误差及重复误差不大于正负 1% 3. 延回时间小于 0.2s |
| | 5 | 断电延时 3分2合 | | | | | |
| | 5 | 不延时 1分1合 | | | | | |

(续)

| 产品型号 | 触点参数 | | | 吸引线圈 | | 动作值或整定值 | |
|----------------|-------|----------------------------|--------|---|------------------------------|--------------|---|
| | 数量 | 组合方式 | 额定电流/A | 通断能力 (交流 380V) | 电压/V (交流) | | 消耗功率/W |
| JS20 晶体管式时间继电器 | 1 或 2 | 通电延时 1 或 2 断电延时 2 | | 带瞬动触点: 7.5A(电阻负载) 3A(电感负载) 不带瞬动触点: 2A(电阻负载) 1A(电感负载) | 工作电压 36, 110, 220, 380 | 1.5 (继电器) | 1. 延时范围: 0.1 ~ 180s, 0.1 ~ 300s, 0.1 ~ 3600s 2. 重复延时误差小于正负 3% 3. 延时稳定性误差小于正负 10% |

三、热继电器

电动机在运行过程中，如果长期过载、频繁起动、欠电压运行或断相运行都可能使电机的电流超过其额定电流。如果超过额定值的量并不大，熔断器在这种情况下则不会熔断，这样将引起电动机过热，损坏绕组的绝缘，缩短电动机的使用寿命，严重时甚至烧坏电动机。因此必须对电动机采用过热保护措施。最常用的是利用热继电器进行过热保护。热继电器是一种利用电流的热效应来切断电路的保护电器。热继电器主要由热元件、双金属片和触点三部分组成。图 9-18 是热继电器的结构示意图。热元件串接在电动机的定子绕组中，当电动机过载时，流过热元件的电流增大，经过一段时间后，双金属片弯曲而推动导板使继电器触点动作，切断电动机的控制线路。

电动机断相是电动机烧毁的主要原因，因此要求热继电器还应具备断相保护功能，如图 9-18b 所示，热继电器的导板采用差动结构，在断相时，其中两相电流增大，一相逐渐冷却，这样可使热继电器的动作时间缩短，从而更有效的保护电动机。

热继电器有两相或三相结构式的。热继电器的图形符号及其文字符号如图 9-19 所示。

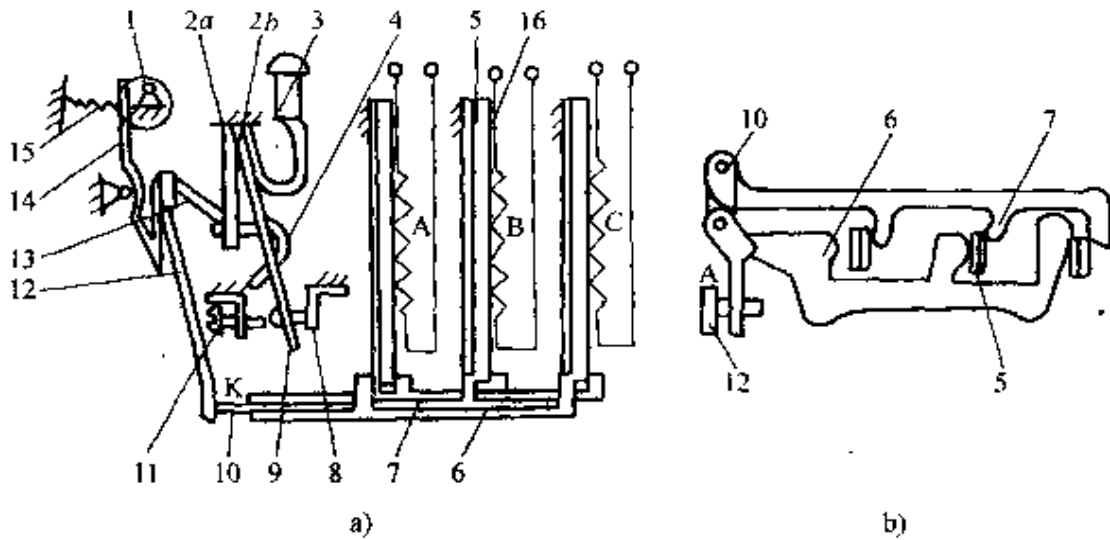


图 9-18 热继电器的结构示意图

a) 结构图示意图 b) 差动式断相保护示意图

1—电流调节凸轮 2a、2b—簧片 3—手动复位机构 4—弓簧 5—主双金属片
6—外导板 7—内导板 8—常闭静触点 9—动触点 10—杠杆 11—复位调节螺钉
12—补偿双金属片 13—推杆 14—连杆 15—压簧 16—热元件

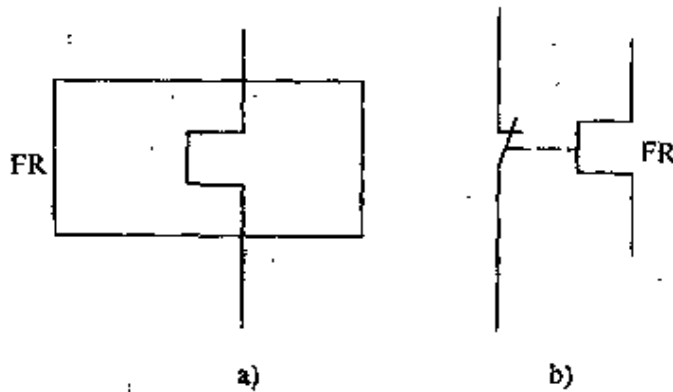


图 9-19 热继电器图形文字符号

a) 热元件 b) 常闭触点

常用产品有 JR16、JR20、JRS1 及 T 系列。JR20、JRS1 系列具有断相保护、温度补偿、整定电流可调及手动复位功能。根据德国 BBC 公司技术标准生产的新型 T 系列热继电器的规格齐全，符合 IEC、VDE 等国际标准，可取代同类进口产品。

常用热继电器技术参数见表 9-22 ~ 9-24。



表 9-22 JR16 系列热继电器技术数据

| 型号 | 额定电流 /A | 热元件等级 | | 用途 |
|---------------------------|------------|-----------------|-------------------|--|
| | | 热元件额定 电流/A | 热元件整定电流 调节范围/A | |
| JR16—60/3 JR16—60/3D | 60 | 22 | 14 ~ 18 ~ 22 | 主要作为长期工作制 或间断长期工作制的过 载保护。常与交流接触 器组合成磁力起动器 |
| 32 | | 20 ~ 26 ~ 32 | | |
| 45 | | 28 ~ 36 ~ 45 | | |
| 63 | | 40 ~ 50 ~ 63 | | |
| JR16—150/3 JR16—150/3D | 150 | 63 | 40 ~ 50 ~ 63 | |
| 85 | | 53 ~ 70 ~ 85 | | |
| 120 | | 75 ~ 100 ~ 120 | | |
| 160 | | 100 ~ 130 ~ 160 | | |

表 9-23 JRS 系列热继电器技术数据

| 型号 | 主电路 | | 控制触点 | | 热元件 | |
|------------------------|--------------|------------|----------------|--------------|--------------|--------------------|
| | 额定绝缘 电压/V | 额定电流 /A | 额定工作 电压/V | 额定工作 电流/A | 额定整定 电流/A | 整定电流调节范围 /A |
| JRS1—12/Z JRS1—12/F | 660 | 12 | 220 | 4 | 0.15 | 0.11 ~ 0.13 ~ 0.15 |
| | | | | | 0.22 | 0.15 ~ 0.18 ~ 0.22 |
| | | | | | 0.32 | 0.22 ~ 0.27 ~ 0.32 |
| | | | | | 0.47 | 0.32 ~ 0.4 ~ 0.47 |
| | | | | | 0.72 | 0.47 ~ 0.6 ~ 0.72 |
| | | | | | 1.1 | 0.72 ~ 0.9 ~ 1.1 |
| | | | 380 | 3 | 1.6 | 1.1 ~ 1.3 ~ 1.6 |
| | | | | | 2.4 | 1.6 ~ 2 ~ 2.4 |
| | | | | | 3.5 | 2.4 ~ 3 ~ 3.5 |
| | | | | | 5.0 | 3.5 ~ 4.2 ~ 5 |
| | | | | | 7.2 | 5 ~ 6 ~ 7.2 |
| | | | | | 9.4 | 6.8 ~ 8.2 ~ 9.4 |
| 500 | 2 | 12.5 | 9 ~ 9 ~ 12.5 | | | |
| | | 12.5 | 9 ~ 11 ~ 12.5 | | | |
| | | 18 | 12.5 ~ 15 ~ 18 | | | |
| JRS1—25/Z JRS1—25/F | 660 | 25 | 220 | 4 | 12.5 | 9 ~ 11 ~ 12.5 |
| | | | 380 | 3 | 18 | 12.5 ~ 15 ~ 18 |
| | | | 500 | 2 | 25 | 18 ~ 22 ~ 25 |



表 9-24 T 系列热继电器技术数据

| 型号 项目 | TB16 | TB25 | TB45 | TB85 | TB105 | TB170 | TB250 | TB370 |
|--------------------|--------------------|---------------------|---------------------|-----------|-------------------------------------|--------------------------|----------------|---------------|
| 整定电流 调节范围 /A | 0.11 ~ 0.16 | 0.17 ~ 0.25 | 0.3 ~ 0.52 | 6 ~ 10 | 35 ~ 52 | 90 ~ 130 | 100 ~ | 160 ~ |
| | 0.19 ~ 0.29 | 0.22 ~ 0.32 | 0.4 ~ 0.63 | 8 ~ 14 | 45 ~ 63 | 110 ~ 160 | 160 | 250 |
| | 0.35 ~ 0.52 | 0.28 ~ 0.42 | 0.63 ~ 1 | 12 ~ 20 | 57 ~ 82 | 140 ~ 200 | 160 ~ | 250 ~ |
| | 0.55 ~ 0.83 | 0.37 ~ 0.55 | 0.83 ~ 1.3 | 17 ~ 29 | 70 ~ 105 | | 250 | 400 |
| | 0.70 ~ 1.0 | 0.5 ~ 0.7 | 1 ~ 1.6 | 25 ~ 40 | 80 ~ 115 | | 250 ~ | 310 ~ |
| | 1.1 ~ 1.5 | 0.6 ~ 0.9 | 1.3 ~ 2.1 | 35 ~ 55 | | | 400 | 500 |
| | 1.5 ~ 2.1 | 0.7 ~ 1.1 | 1.6 ~ 2.5 | 45 ~ 70 | | | | |
| | 2.1 ~ 3.0 | 1 ~ 1.5 | 2.1 ~ 3.3 | 60 ~ 100 | | | | |
| | 3.4 ~ 4.5 | 1.3 ~ 1.9 | 2.5 ~ 4 | | | | | |
| | 4.0 ~ 6.0 | 1.6 ~ 2.4 | 3.3 ~ 5.2 | | | | | |
| 6.3 ~ 9.0 | 2.1 ~ 3.2 | 4 ~ 6.3 | | | | | | |
| 9.0 ~ 13 | 2.8 ~ 4.1 | | | | | | | |
| 12 ~ 17.6 | 3.7 ~ 5.6 | | | | | | | |
| 配套接 触器 | B9、B12、 B15、B25 | B15、B25、 B30、B37 | B25、B30、 B37、B45 | B65、B85 | B37、B45 B65、B85 B105、 B170 | B65、B85 B105、 B170 | B250 | B390、 B460 |
| 最大热损 功耗/相 /W | 2.1 | 2.1 | 2.9 | 8.2 | 2.9 | 2.9 | 2.9 | 2.9 |
| 热元件结 构形式 | 摩擦脱扣器 | 摩擦脱扣器 | 跳跃式 | 摩擦脱 扣器 | 背包跳 跃式 | 背包式 | 主回路带互 感器跳跃式 | |
| 断相保护 | 有 | | | | | | | |

四、速度继电器

速度继电器是当转速达到规定值时动作的继电器。常用于电动机反接制动的控制电路，当反接制动的转速下降到接近零值时，它能自动及时切断电源。常用的速度继电器有 JY1 和 JFZO 型。一般速度继电器的动作速度为 120r/min，触点的复位转速在



100r/min 以下，转速在 3000r/min 以下能可靠地工作。

速度继电器的结构和图形符号如图 9-20 所示。

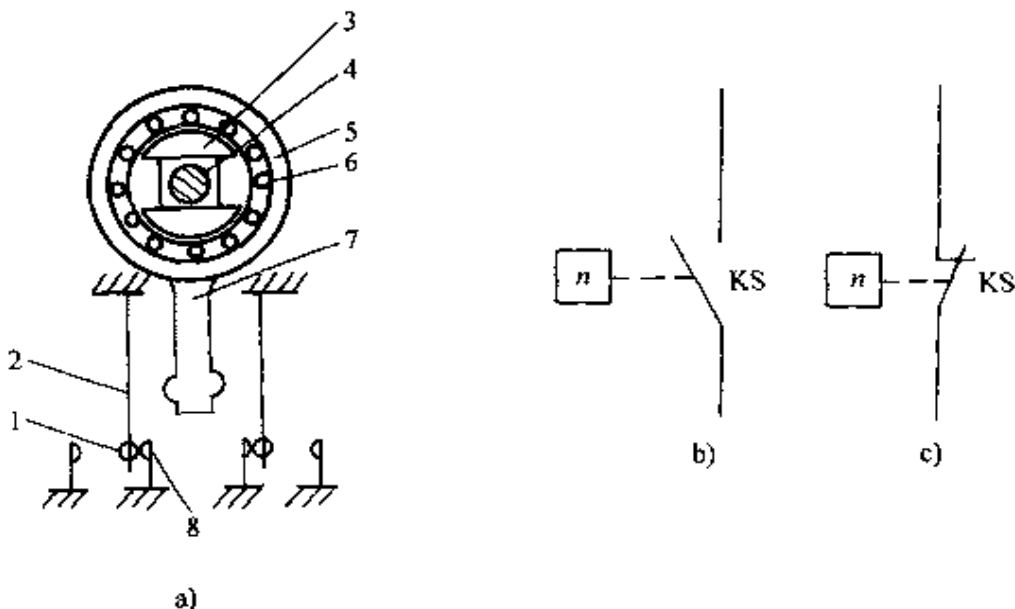


图 9-20 速度继电器的结构和图形符号

a) 结构 b) 常开触点 c) 常闭触点

1—动触头 2—簧片 3—永磁转子 4—轴 5—定子 6—笼型绕组
7—定子柄 8—静触头

五、固态继电器

固态继电器是四端器件，其中两个为输入，两个为输出，中间采用隔离器件，以实现输入与输出之间的隔离。有直流型和交流型两类固态继电器。

常用的产品有 DJ 型系列固态继电器。其主要技术指标见表 9-25。

表 9-25 DJ 型固态继电器技术参数

| 额定电压 | 额定电流 | 输出高电压 | 输出低电压 | 门限值 |
|------------------------------|-------------------|--------------------|--------------------------|--------------------|
| 交流 220V | 1A, 3A, 5A, 10A | $\geq 95\%$ 电源电压 | $\leq 5\%$ 电源电压 | 0.5 ~ 10k Ω |
| 环境温度 | 开启时间 | 关闭时间 | 绝缘电阻 | 击穿电压 |
| -10 ~ +40 $^{\circ}\text{C}$ | $\leq 1\text{ms}$ | $\leq 10\text{ms}$ | $\geq 100\text{M}\Omega$ | \geq 交流 2500V |



固态电子继电器使用时应注意:

- 1) 固态继电器的选择应根据负载类型(阻性、感性)确定,并采用有效的过电压吸收保护。
- 2) 过电流保护应采用专门保护半导体器件的熔断器或用动作时间小于 10ms 的自动开关。
- 3) 安装时应采用散热器,且对地绝缘。

继电器的种类很多,除了上述继电器外,还有相序继电器、断相保护继电器、压力继电器和综合保护继电器等。

第七节 其他控制器件

一、牵引电磁铁

牵引电磁铁是用来操作或牵引机械装置完成动作要求。它是利用电磁系统中产生的电磁吸力使衔铁作机械运动。

常用的牵引电磁铁有 MQ3 系列和 MQZ1 系列,其中 MQZ1 为小型直流牵引电磁铁。

另外还有 MFZ6—YC 和 MFJ6—YC 系列阀门电磁铁;有 MZS1、MZZ2 系列的制动电磁铁;TJ2、TZ2 系列的电磁制动器。起重电磁铁有 GTB5 和 1PB 系列,二者都具有停电保护功能。

二、液压控制元件

液压传动以其运动传送平稳,可大范围内无级调速,易实现功率放大等特点,被广泛地应用。图 9-21 为几种常见的液压控制元件的职能符号。

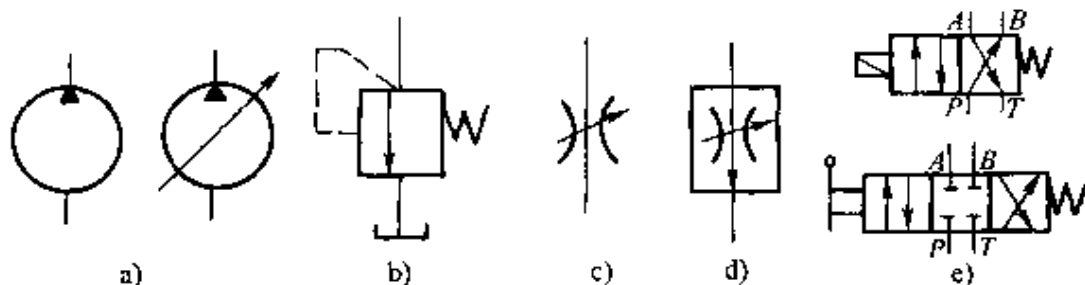


图 9-21 几种常见的液压控制元件的职能符号

a) 液压泵 b) 溢流阀 c) 节流阀 d) 调速阀 e) 换向阀



图 9-20a 表示液压泵，为动力元件，图中没有箭头的为定量泵，有箭头的为变量泵。

图 9-20b 为溢流阀符号，方格相当于阀芯，箭头表示工作通道，两侧直线表示进出管路，虚线表示控制油路。当控制油路的压力超过弹簧力时，阀芯移动使阀芯上的通道进出管接通，使多余工作液溢回油箱，达到控制系统压力的目的。

图 9-20c 为节流阀符号，方格中两圆弧所形成的缝隙表示节流孔道，倾斜的箭头表示节流孔的大小，可以调节，即通过流量进行调节。

图 9-20d 为调速阀符号，实际是一个组合阀，工作时能保持阀体内的节流阀前后的压力差恒定，使流经节流阀的流量不随负载的变化而变化，执行元件的运动速度保持稳定。

图 9-20e 为换相阀符号，换相阀一般有 2~3 个工作位置，图中用方格表示，有几个方格就表示几位阀。方格内的符号“↑”表示工作液通道符号，符号“⊥”表示阀内通道堵塞，这些符号在一个方格内与方格的交点数表示阀的通路数。换相阀的控制形式有手动、电动和液动等，图中两位阀为电磁换相阀，三位阀为手动换相阀。当电磁铁通电时，阀芯被推向右边，P 与 A 通，T 与 B 通。当电磁铁断电时，阀芯被弹簧推向左边，P 与 B 通，T 与 A 通。其中阀口 P 为进油口，A 与 B 为工作油口，T 为回油口。

第八节 低压电器故障的排除

电器元件经长期使用，特别是使用在多尘埃、潮气大、有化学腐蚀气体的场合就更易引起故障，必须根据故障的特征，仔细检查和分析，及时排除故障。

电器元件损坏后，修理固然是必要的，但平时坚持对电器进行经常的维护，故障将会大大地减少，这既有利于延长电器的使用寿命，又提高了生产效率。



一、接触器的故障及修理

接触器的常见故障及修理方法见表 9-26。

表 9-26 接触器的常见故障及修理方法

| 故障现象 | 产生原因 | 修理方法 |
|---------------------------|---|--|
| 1. 触点断相 电动机虽能转动，但发出嗡嗡声 | 1. 某相触点接触不好 2. 连接螺钉松脱 | 停车检修 |
| 2. 触点熔焊 | 1. 操作频率过高或过负载使用 2. 负载侧短路 3. 触点表面有金属颗粒突起 | 1. 调换合适的接触器或减小负载 2. 排除短路故障，更换触点 3. 清理触点表面 |
| 3. 相间短路 | 1. 接触器正反转联锁失灵 2. 因误动作使两接触器同时运行 | 在控制线路上改用按钮、接触器双重连锁控制电动机的正反转 |
| 4. 线圈断电，接触器不释放或释放缓慢 | 1. 触点熔焊 2. 铁心表面有油污 3. 触点弹簧压力过小或反作用弹簧损坏 | 1. 排除熔焊故障，修理或更换触点 2. 清理铁心极面 3. 调整触点弹簧力或更换反作用弹簧 |

二、接触器简单的维护

1) 定期检查接触器各部件工作情况，要求可动部分不卡住，紧固体无松脱，零部件如有损坏及时修换。

2) 接触器触点表面与铁芯磁极面经常保持清洁；触点表面因电弧烧灼而形成颗粒时，用小刀铲除（不允许使用砂纸来修磨）；触点严重损坏时，应及时更换。

3) 原来带有灭弧罩的接触器决不能不带灭弧罩使用，以防止短路事故。



三、继电器的故障及维修

热继电器的常见故障及修理方法见表 9-27。

表 9-27 热继电器的常见故障及修理方法

| 故障现象 | 产生原因 | 修理方法 |
|------------|---|--|
| 1. 热元件烧断 | 1. 负载侧短路或电流过大 2. 反复短时工作，操作频率过高 | 1. 先切断电源，排除短路故障调换热继电器 2. 限定操作频率或调换合适热继电器 |
| 2. 热继电器误动作 | 1. 整定电流值偏小 2. 电动机起动时间过长 3. 操作频率过高 | 1. 调大整定电流，但只能调整螺钉 2. 选择具有合适的可返回时间的热继电器或起动时将热继电器短接 3. 调换热继电器或限定操作频率，也可改用电流继电器 |
| 3. 热继电器不动作 | 1. 整定电流偏大 2. 热元件烧断或脱焊 3. 热继电器触点有灰尘，接触不良 | 1. 调小整定电流 2. 更换热元件或热继电器 3. 清理触点灰尘 |

另外热继电器使用日久应定期校验它的动作是否正确可靠。热继电器动作脱扣后，不要立即手动复位，应待双金属片冷却复原后再使常闭触点复位。按复位按钮时，不要用力过猛，否则会损坏操作机构。

四、时间继电器的故障及维修

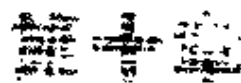
它的电磁系统和触点的故障及维修和接触器相同。

空气式时间继电器，主要是空气室造成的故障使延时不准确，空气室如果经过拆卸后再重新装配时，密封不严或者漏气，就会使动作延时缩短，甚至不产生延时。



五、速度继电器的故障及维修

速度继电器发生故障后一般表现为电动机停车时不能制动停转。这种故障除了触点接触不良之外，有时因为胶木柄断裂，无论定子怎样转动，触点都不会动作。出现这种情况时可照原样更换一个胶木柄。



电气控制的基本电路和安装

第一节 安全操作规定及工艺规定

一、安全操作规定

- 1) 电工人员应穿工作服和安全鞋，女工应加戴工作帽。
- 2) 操作低压刀开关时，操作者应站在开关手柄的右侧，面对电动机和手动机械，双目注视合闸后电动机的起动、传动装置的传动和被拖动机械的传动情况，发现异常应立即拉闸停车，切勿推上合闸手柄后离开操作位置。
- 3) 电动机运行时，机上不可搁置异物，风道内不准有任何杂物以防堵塞，周围环境应保持清洁，不可浇水或油进行冷却。
- 4) 电动机使用熔断器保护时，应根据电动机的额定电流选择合格的熔丝，不得随意用铜线、铝线或铁线代替熔丝。
- 5) 电动机投入运行后，三相电源电压的波动不得超过额定值的+5%和-10%，三相电压不平衡不得超过5%，三相电流不平衡不得超过10%，不符合上述条件时，应当立即停车进行检查。
- 6) 一般全压起动的电动机容量，不得超过电源变压器容量的15%~20%；一般超过10kW的电动机装设降压起动设备，使其起动电流不超过额定电流的2.5倍。
- 7) 电动机必须具有综合性保护措施，如短路、接零（地）、过载、断相、失电压和欠电压保护等。
- 8) 中小型电动机的短路保护、过载保护不可互相代替。
- 9) 电动机可能与人接触的旋转部分和转动部分，都应装设防护罩，或保持不小于1m的安全距离。



- 10) 电动机与低压配电设备的裸露带电部分距离不得小于 1m。
- 11) 表箱、表板、配电箱、开关板及控制柜等，应牢固地安装在干燥、明亮、无振动以及便于抄表、操作和使用维护之处。
- 12) 安装于墙上的配电箱中心距地面高度应为 1.6 ~ 1.8m，明装在墙上的配电板中心距地面高度为 1.8 ~ 2m。
- 13) 直流电动机换向控制必须串电阻，不得在全压条件下换向运行。
- 14) 电源引线及电动机引线如穿金属护线管时，两端应接零（地）或加穿一根不小于相线截面 1/2 的导线作为零（地）线且管内穿线中间不得有接头。

二、识读电气图

国家规定：从 1990 年 1 月 1 日起，电气系统图中的文字符号和图形符号必须符合最新的国家标准。第一章给出了电气控制图常用图形符号和文字符号的新旧对照表，以便对照。

1. 电气原理图

| | | | | | | | | | | | | |
|------|---|---|---|---|---|----|---|---|------|----|----|----|
| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 | 13 |
| 电源开关 | | | | | | 照明 | | | 控制电路 | | | |

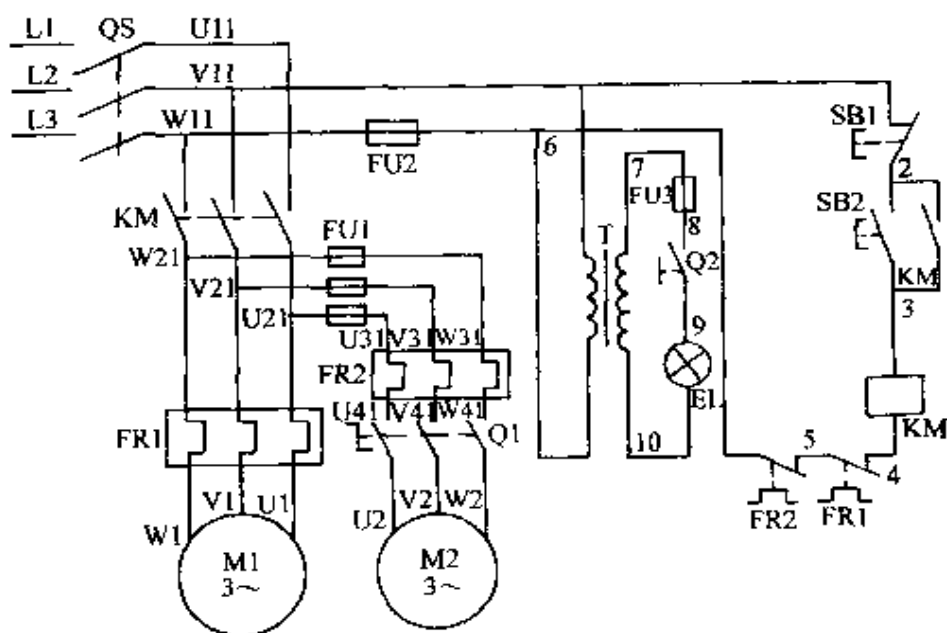


图 10-1 CW 6140 车床的电气原理图



电气原理图是为了便于阅读与分析控制电路，根据简明、清晰、易懂的原则，采用电器元件展开的形式绘制而成。但并不按照电气元件的实际布置来绘制，也不反映电气元件的大小。图 10-1 为 CW6140 机床的电气原理图。

识读原理图一般顺序是先从主电路（电源至主电动机大电流通过的路径）入手，然后分析控制电路，采用“化整为零”的方法把控制电路分为一些基本单元电路，最后分析辅助电路。辅助电路包括：照明电路、信号电路及故障报警等部分。

2. 电气安装接线图

电气安装接线图是根据电器位置布置最合理、连接导线最经济等原则来安排的，它为安装电气设备，检修电气故障等提供必要的资料。图 10-2 为某机床的电气安装接线图，绘制电气安装图应按照下列原则进行：

- 1) 各电器不画实体，以图形符号代表，各电器元件的位置均应与实际安装位置一致。
- 2) 各电器元件上凡是需要接线的部件端子都应绘出并编号，各接线端子的编号应与原理图导线的编号一致。
- 3) 不在同一处的电气元件的连接应通过接线端子进行。
- 4) 走向相同的相邻导线可以绘成一股线。
- 5) 画连接导线时，应标明导线的规格、型号、根数及穿线管的尺寸。

三、板前布线安装工艺规定

- 1) 布线通道尽可能少，同路并列的导线按主、控电路分类集中，单层密排，紧贴安装面布线。
- 2) 同一平面导线不能交叉，非交叉不可时只能在另一导线因进入接点而抬高时，从其下空隙穿越。
- 3) 布线要横平竖直，弯成直角，分布均匀和便于检修。
- 4) 布线次序一般是以接触器为中心，由里向外，由低至高，先控制电路后主电路，主控制回路上下层次分明，以不妨碍后续布线为原则。

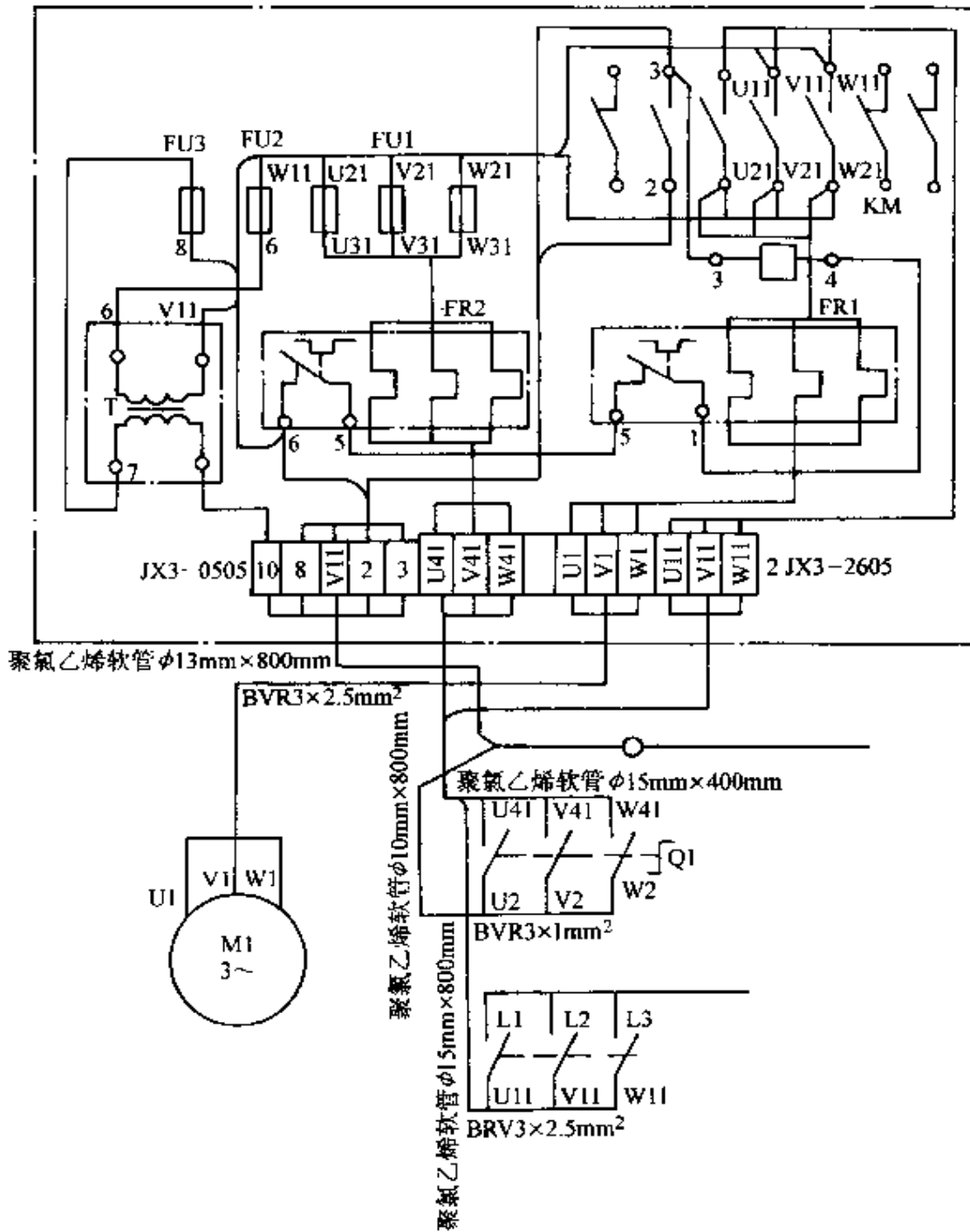
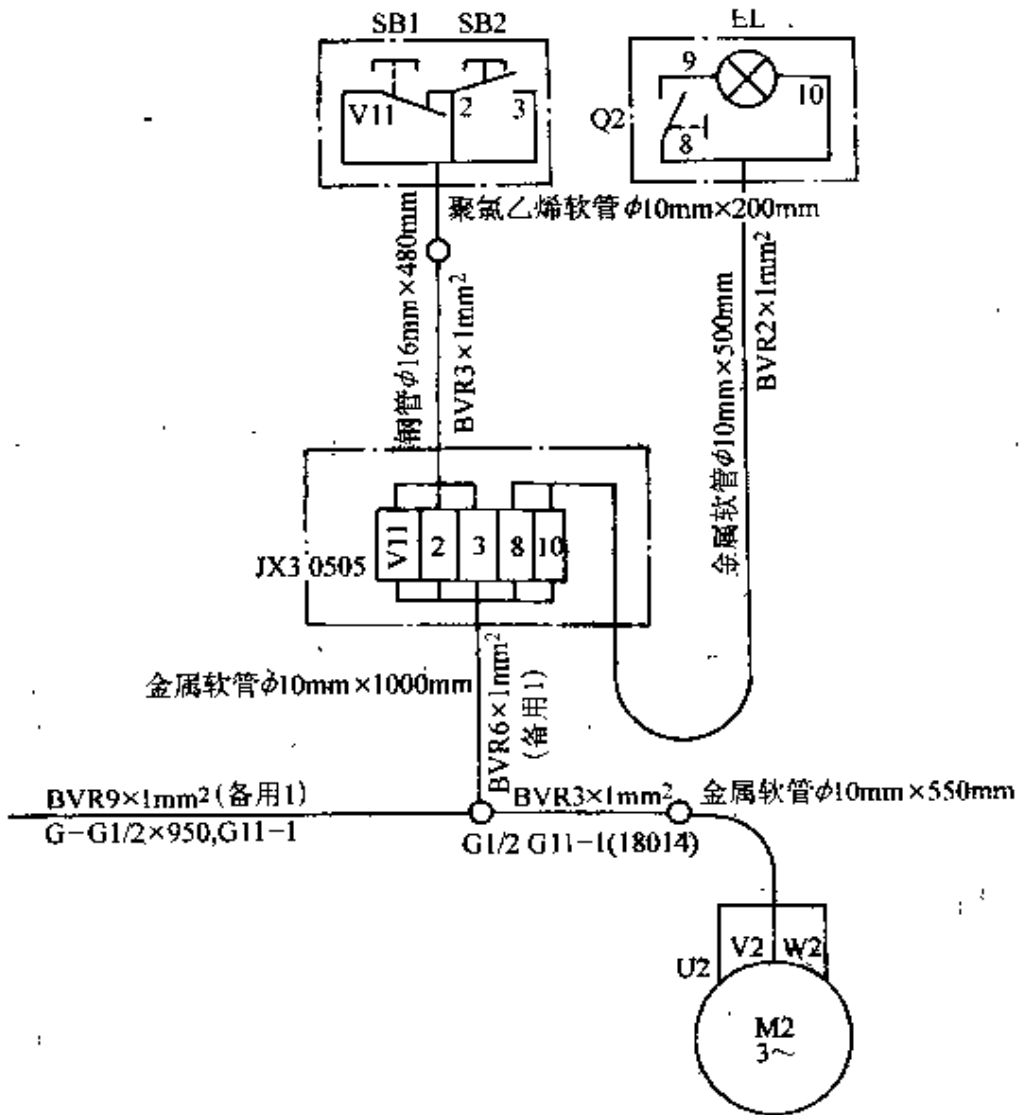


图 10-2 CW 6140 车床的电气



安装接线图



5) 接头、接点处理应做到:

① 剥去绝缘层的线头两端套上标有与原理图编号相符的号码套管。

② 不论是单股线还是多股线的芯线头,插入连接端的针孔时,必须插入到底。多股导线要绞紧,同时导线绝缘层不得插入接线板的针孔,而且针孔外侧导线裸露不能超过芯线外径,螺钉要拧紧不可松脱。

6) 线头与平压式接线桩的连接应注意:

① 单股芯线头连接时,将线头按顺时针方向弯成平压圈(俗称羊眼圈),导线裸露不超过导线芯线外径。

② 软线头绞紧后以顺时针方向,圈绕螺钉一周后,回绕一圈,端头压入螺钉。外露裸导线,不超过所使用导线的芯线外径。

③ 每个电器元件上的每个接点不能超过两个线头。

7) 控制板与外部连接应注意:

① 控制板与外部按钮、行程开关、电源负载的连接应穿护线管,且连接线用多股软铜线。电源、负载也可用橡胶电缆连接。

② 控制板或配电箱内的电器元件布局要合理,这样既便于接线和维修,又保证安全和规整。

四、塑料槽板布线工艺规定

1) 较复杂的电气控制设备还可采用塑料槽板布线,槽板应安装在控制板上,与电气控制设备、电器元件位置横平竖直。

2) 板拐弯的接合处成直角,并要结合严密。

3) 将主、控回路导线自由布放到槽内,将接线端的线头从槽板侧孔穿出至电气控制设备、电器元件的接线桩,布线完毕后将槽盖板扣上,槽板外的引线也要力求完美、整齐。

4) 导线选用应根据设备容量和设计要求,采用单股芯线或多股软芯线均可。

5) 接头、接点工艺处理均按板前布线安装要求。

五、线束布线工艺规定

1) 较复杂的电力拖动控制设备,按主、控回路电路走径分别排成线束(俗称把子线)。

2) 线束(把子线)中每根导线两端分别套上电路中的同一编号。

3) 从线束(把子线)中,接至各接线桩,均应横平竖直,弯成直角,接头、接点工艺处理均按板前布线安装的要求。

第二节 三相笼型异步电动机全压起动控制

直接起动,就是指电动机直接接到电源上去。这时电源的全部电压都加在电动机的定子绕组上,所以又称全压起动。直接起动的设备简单,投资少,操作维修方便,它是异步电动机最简单最常用的起动方法。但全压起动电流大(约为额定电流的5~7倍)。一般电动机容量在10kW以下,但小于供电变压器容量的15%~20%时,都应尽可能采用直接起动方法。

一、利用刀开关、熔丝的控制

电动机经熔丝通过三相开关与电源接通或断开。刀开关可选用普通的瓷底胶盖刀开关或铁壳开关等,如图10-3a所示。容量不易太大。因为它的灭弧能力差,如果电流太大,

拉闸时产生电弧火焰较大,容易发生危险。铁壳开关比刀开关安全可靠,操作时只需扳动铁壳外的手柄,即可“接通”或“分断”电源。

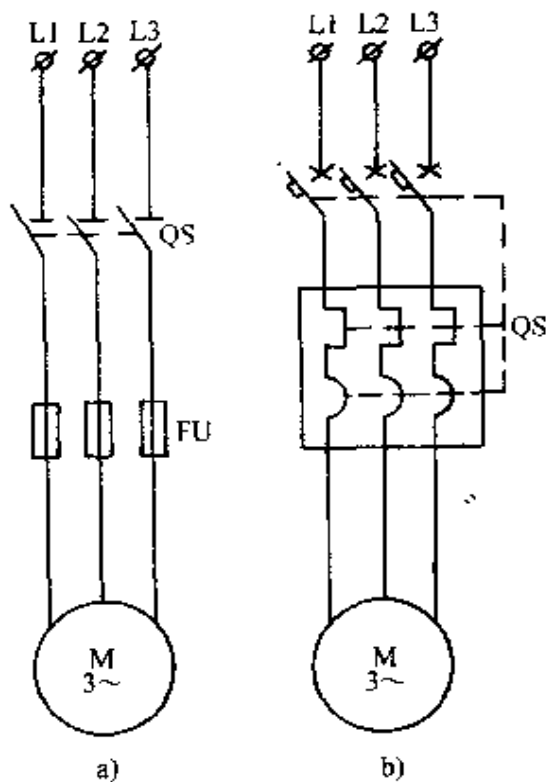


图 10-3 简单的全压起动电路

a) 刀开关控制 b) 断路器控制



注意事项:

1) 分合开关时动作要快, 开关合上时向上推足且动作要快, 使动触点刀片完全插入静触点中; 分断时要向下拉到位, 切不可把手柄停在刚离开触点的位置上, 以免动触点刀片离静触点距离太近而发生调弧或误合闸。

2) 底板胶盖刀开关的胶盖必须保持完整, 接线要求牢固, 不可松脱。

3) 熔丝要接成“S”型, 很松弛地放在瓷槽内, 且不应拉紧, 以防影响熔丝系数; 若放在瓷槽外, 熔丝熔断时易溢出弧光发生短路。

4) 铁壳开关的外壳必须可靠接地。

二、利用组合开关的控制

用组合开关可直接起动 5.5kW 以下的小功率电动机, 也常用于机床控制电路中, 控制电路把图 10-3a 中的刀开关换成组合开关即可。

注意事项:

1) 组合开关的额定电流应为电动机额定电流的 1.5 ~ 2.5 倍。

2) 组合开关每转换一次手柄位置 90°, 360° 内分合两次, 手柄必须按顺时针方向旋转, 反之则手柄会被拧出轴柄。手柄每次变位到触点停止位置时, 会发出“嗒”的一声, 手柄停住而发声时应注意触点是否已停妥。

3) 组合开关本身没有短路保护装置, 安装时应在电源侧加装带有明显断开的开关及短路保护装置。

三、利用低压断路器的控制

低压断路器与负荷开关相比, 有占地位置小、安装方便、操作安全等优点。有短路、严重过载以及失压保护, 当短路故障解除后可重复使用, 不用更换新的熔体。因此低压断路器在机床控制电路中得到广泛的应用, 如图 10-3b 所示。

注意事项:



- 1) 起动电流一般按额定电流 7 倍计算。
- 2) 电磁脱扣器瞬时动作整定值为热脱扣器电流的 8 ~ 12 倍，出厂时为 10 倍。

四、利用电磁起动器的控制

电磁起动器就是交流接触器和热继电器两者组合而成的起动设备。前者是用来接通或断开电源的自动电器，后者可起过载保护作用。如图 10-4 所示，此时电路中的开关 QS 并不直接控制电动机而只是作为隔离之用。由于热继电器必须在热量积累后才起作用，短路时来不及动作，所以电路中同时采用熔断器作为短路保护装置。

1. 工作原理

起动时，首先合上开关 QS，引入三相电源。然后按下起动按钮 SB2，交流接触器 KM 的吸引线圈通电，使接触器主触点闭合，电动机接通电源直接起动运转，同时与起动按钮 SB2 并联的常开辅助触点 KM 闭合，使接触器吸引线圈经两条路通电，这样，当手松开，SB2 自动复位，接触器 KM 的线圈仍可通过辅助触点 KM 使接触器线圈继续通电（叫自锁），从而保持电动机的连续运行。如果没有自锁，当手松开，电动机就停止，这就是点动控制。按停止按钮，接触器失电，电动机停止。接触器线圈已不再能依靠自锁触点 KM 通电了。

起动：按 SB2 → KM⁺（自锁） → KM 主触点闭合 → 电动机 M 起动。（KM⁺ 表示线圈 KM 得电）

停车：按 SB1 → KM⁻（解除自锁） → KM 主触点断开 → 电动机

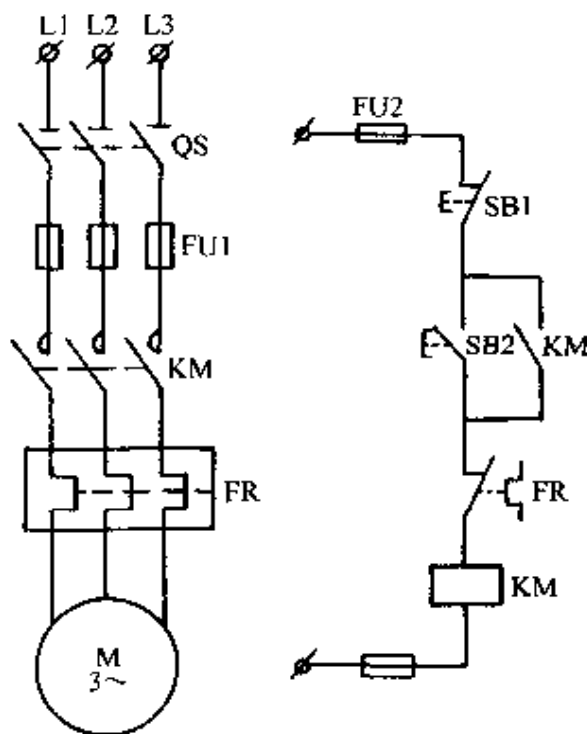


图 10-4 三相笼型异步电动机的起、停电路



机 M 停转。(KM⁻ 表示线圈 KM 失电)

当电动机在运行中过载时，热继电器的发热元件 FR 受热变形，使 FR 常闭触点断开，接触器线圈 KM 断电，使电动机断电停止运转，保证电动机不致烧毁。再次启动时，需按一下 FR 的复位按钮，使动作机构回到原来的位置。由于热继电器的发热元件串联在电源线上，而避免了电动机单相运行过热引起的严重故障。

2. 注意事项

1) 按按钮一定要按到底，动作要快，切不可作轻微断续点动，以免接触器误动作烧毁接触点。

2) 线圈电压从人身安全角度考虑，可选得低一些，为使控制电路简单，用电不多时，为节省控制变压器应选用 380V 或 220V 电压。

3) 这种控制电路有欠电压和无电压释放的保护作用。

4) 热继电器有两相结构和三相结构，一般情况下可选用两相结构的热继电器；若电网电压均衡较差，电动机工作环境恶劣可以选用三相结构的热继电器；对于作△接法的电动机要选用带有断相保护的热继电器。

5) 热继电器的整定电流值通常与电动机的额定电流值相等；若电动机负载较重、启动时间长或是冲击性负载，热继电器整定电流值可以稍大于电动机的额定电流，一般可选用额定电流的 1.1~1.2 倍。

6) 短路保护和过载保护两者作用在电路保护中不可相互取代。

电磁起动器操作安全轻便，具有过载保护能力，是一种较理想的启动设备，较刀开关价格高。如果没有现成的电磁起动器。可按图 10-4 的电路用交流接触器、热继电器及按钮自行安装。

常用的国产有 QC10、QC12 及 QC20 系列，及引进的 MSJB 和 MSBB 系列磁力起动器。MSJB 系列为塑料外壳，MSBB 为金属外壳。其技术数据见表 10-1 和表 10-2。

表 10-1 QC10 系列电磁起动器主要技术数据

| 型号 | 额定 电流 /A | 所配交 流接触 器型号 | 所配热继电器(JR16 系列) | | 可控笼型电动机最大功率/kW | |
|--------|----------------|-------------------|-----------------|----------------------|----------------|------|
| | | | 热元件额 定电流/A | 整定电流 调节范围/A | 220V | 380V |
| QC10-3 | 20 | CJ10-20 | 11 | 6.8 ~ 9 ~ 11 | 5.5 | 10 |
| | | | 16 | 10 ~ 13 ~ 16 | | |
| | | | 32 | 14 ~ 18 ~ 22 MSJB | | |
| QC10-4 | 40 | CJ10-40 | 22 | 14 ~ 18 ~ 22 | 11 | 20 |
| | | | 32 | 20 ~ 26 ~ 32 | | |
| | | | 45 | 28 ~ 36 ~ 45 | | |
| QC10-5 | 60 | CJ10-60 | 45 | 28 ~ 36 ~ 45 | 17 | 30 |
| | | | 63 | 45 ~ 50 ~ 63 | | |

表 10-2 MSJB、MSBB 系列电磁起动器主要技术数据

| 型 号 | 交流接触器 | | 热继电器 | 起动器额定电流/A | | 可控笼型电动机功率/kW | |
|-----------|-------|--------|----------|-----------|-------|--------------|------|
| | 型号 | 额定电流/A | 型号 | 380 V | 660 V | 380V | 220V |
| MSJ(B)B9 | B9 | 16 | T16 | 8.5 | 3.5 | 4.9 | 3 |
| MSJ(B)B12 | B12 | 20 | T16 | 11.5 | 4.9 | 5.5 | 4 |
| MSJ(R)B16 | B16 | 25 | T16 | 15.5 | 6.7 | 7.5 | 5.5 |
| MSJ(B)B25 | B25 | 40 | T16, T25 | 22 | 13 | 11 | 11 |
| MSJ(B)B30 | B30 | 45 | T25, T45 | 30 | 17.5 | 15 | 15 |
| MSBB45 | B45 | 60 | T45 | 45 | 25 | 22 | 22 |
| MSBB65 | B60 | 80 | T85 | 65 | 44 | 40 | 33 |
| MSBB85 | B85 | 100 | T85 | 85 | 53 | 50 | 45 |

五、点动控制

如图 10-5 所示为点动控制电路。点动控制和连续运行控制电路的根本区别在于有无自锁电路，从主电路上点动因工作时间



短可不接热继电器。图 10-5a 是点动控制电路的基本型，合上电源开关 QS。

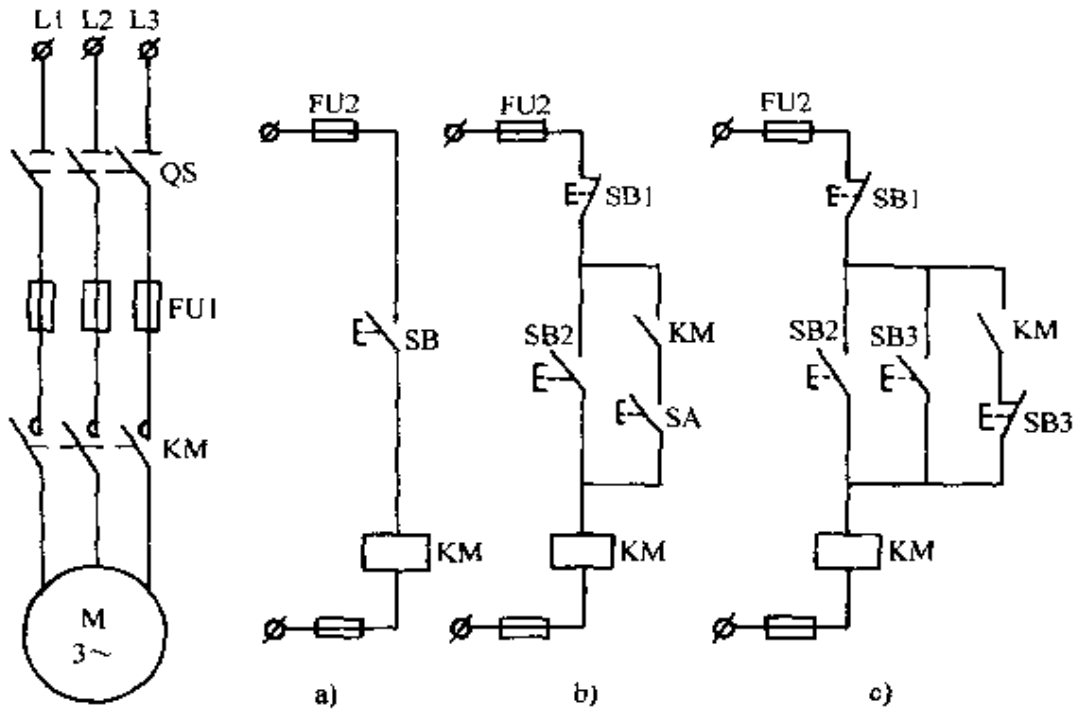


图 10-5 电动机的点动控制电路

起动：按下 SB \rightarrow KM $^+$ \rightarrow KM 主触点闭合 \rightarrow 电动机 M 转动。
(KM $^+$ 表示线圈 KM 得电)

停机：放松 SB \rightarrow KM $^-$ \rightarrow KM 主触点断开 \rightarrow 电动机 M 停转。
(KM $^-$ 表示线圈 KM 失电)

图 10-5b 即可实现点动又可实现连续控制，有手动开关 SA 进行选择。当 SA 闭合时为连续控制，打开时为点动控制。图 10-5c 中 SB2 为连续运转按钮，SB3 为点动按钮，用 SB3 的常闭触点来断开自锁电路实现。SB1 是停止按钮。

注意事项：

1) 熔断电流一般是熔体额定电流的 2 倍，熔丝的选择要合适。

2) 瓷插式熔断器不能用于振动场所。

六、顺序控制

在车床主轴转动前，要求油泵电动机先运行，给齿轮箱供足润滑油后，才允许主轴电动机在有油润滑的情况下转动。

控制过程（如图 10-6 所示）：

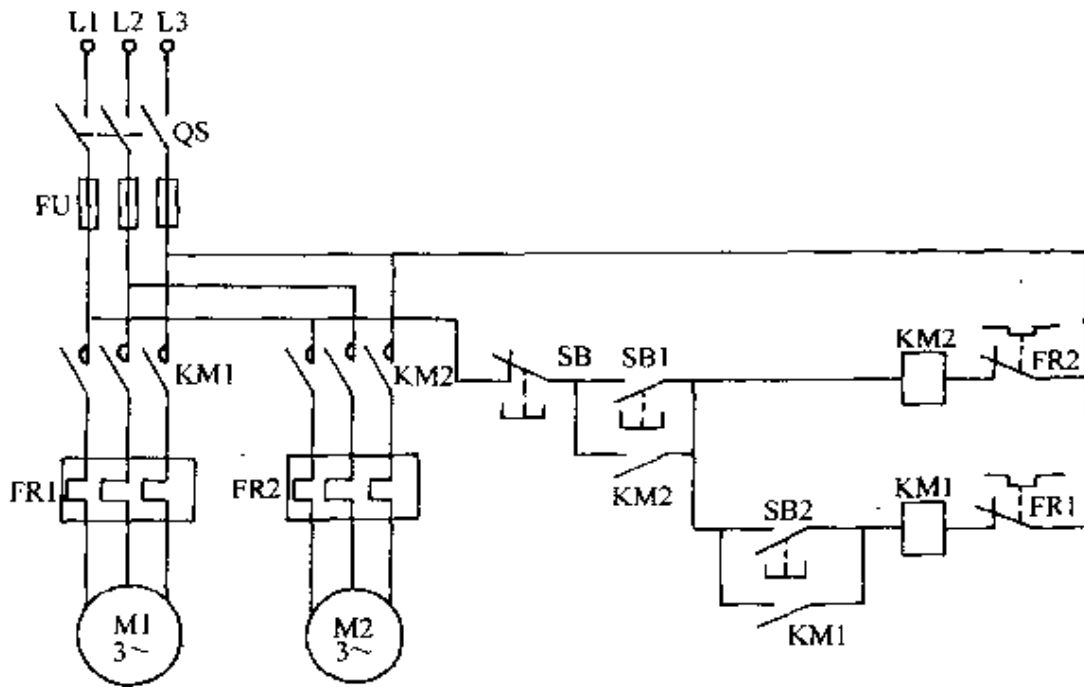


图 10-6 主轴电动机和油泵电动机顺序控制电路

- 1) 合上刀开关 QS。
- 2) 按动 SB1，KM2 线圈得电，KM2 主、辅触点闭合，油泵电动机 M2 运转。松开 SB1、KM2 线圈自保持得电。
- 3) 按动 SB2，KM1 通过 SB、KM2 已闭合的常开辅助触点、SB2 而得电，主轴电动机 M1 运行，松开 SB2，KM1 自保持得电。
- 4) 按动 SB，整个系统失电，主轴电动机和油泵电动机停止运转。

本电路中，在 SB1 没有按下的情况下，按动 SB2 主轴电动机不能得电运行，只有按下 SB1 后，再按 SB2，主轴电动机才能运行，从而实现油泵电动机和主轴电动机顺序工作的要求，即实现两者间的联锁。

七、正反转控制

1. 倒顺转换开关控制

如图 10-7 为倒顺转换开关控制电动机正反转电路图，其中图 10-7a 为倒顺开关直接控制电动机正反转，由于倒顺开关无灭弧装置，仅适用于电动机容量 5.5kW 以下电动机的正反转控制。对于容量大于 5.5kW 的电动机，则用图 10-7b 所示电路来控制。在图 10-7b 中，倒顺开关用来预选电动机旋转方向，而由按钮来控制接触器接通与断开电源，实现电动机的起动与停止，所以其控制电路是电动机单向旋转控制电路，而主电路引入了倒顺开关。由于采用了接触器控制，并且接入了热继电器 FR，所以电路具有长期过载保护和欠压与零压保护。

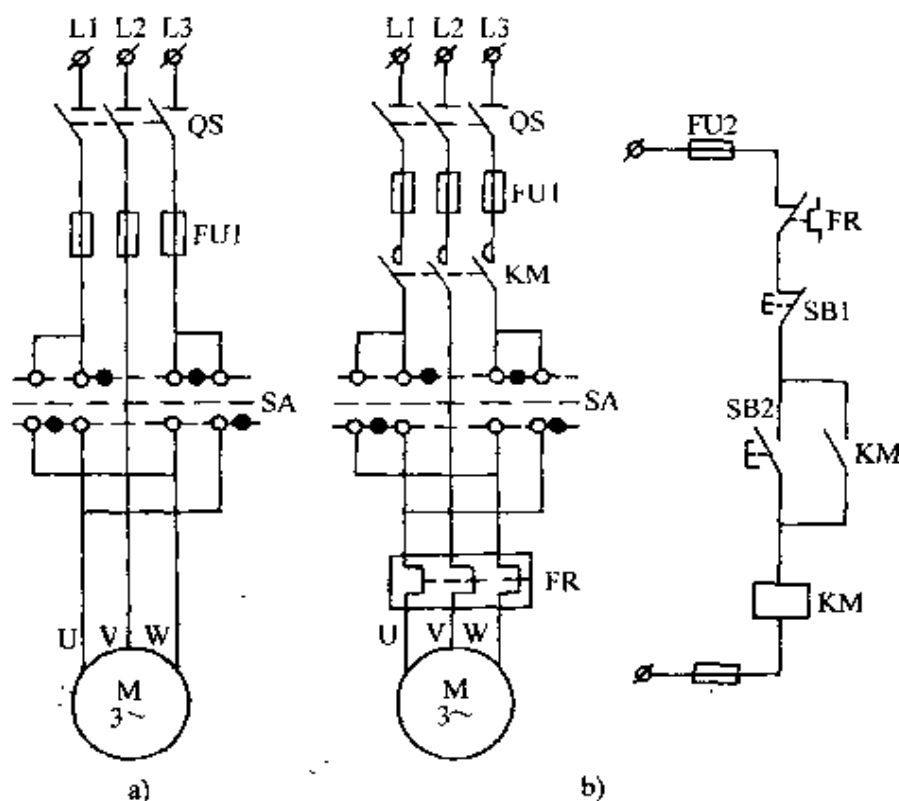


图 10-7 倒顺转换开关控制电动机正反转电路

a) 由倒顺转换开关直接控制电动机正反转

b) 倒顺转换开关和接触器控制

2. 按钮控制



电动机的正反转是通过改变加在电动机上任意两相电源的相序来实现的，但正反转电路不能同时运转，即正反转要互相锁定，从而防止相间短路。原理如图 10-8b 所示，该图利用两个接触器的常闭触点 KM1、KM2 起相互控制作用，即利用一个接触器通电时，其常闭辅助触点的断开来锁住对方线圈的电路。这种利用两个接触器的常闭辅助触点互相控制的方法叫做互锁。而这两对起互锁作用的触点便叫做互锁触点。也叫电器互锁。这就构成了正—停—反的操作顺序。图 10-8c 中同时还采用复合按钮 SB1、SB2 进行互锁，这叫做机械互锁。双重互锁保证了电路可靠地工作，实现正—反—停的操作。

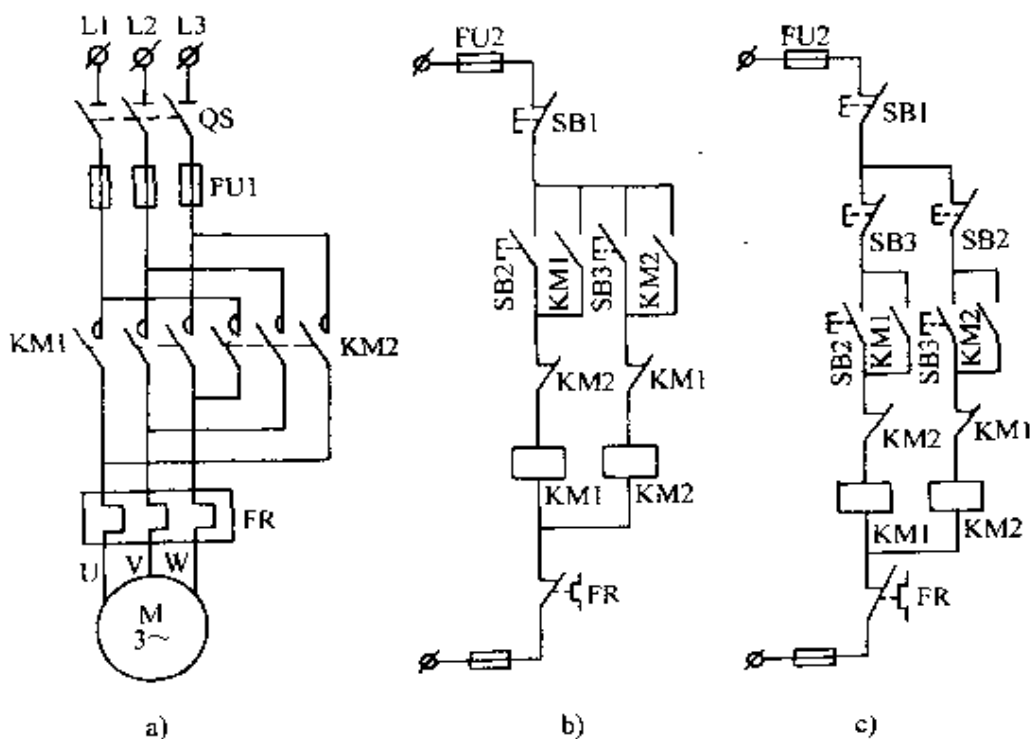


图 10-8 按钮控制电动机正反转电路

图 10-8c 的工作过程如下：合上刀开关

正向起动：按下 SB2 → KM1⁺（自锁、常闭触点同时断开 KM2）→ M 正转



反向启动：按下 SB3 → (SB3 常闭触点断开 KM1) → M 停止
正转 → KM2⁺ (常闭触点同时断开 KM1) → M 反转

3. 自动往返限制控制

某些生产机械要求工作台在一定的距离内能自动往返，以便对工件连续加工，在控制电路中用行程开关代替复合按钮来控制，可实现自动循环控制电路。如图 10-9 所示。其中 SQ3、SQ4 是起极限位置保护作用，SQ1、SQ2 的常开和常闭触点和复合按钮的作用相当。

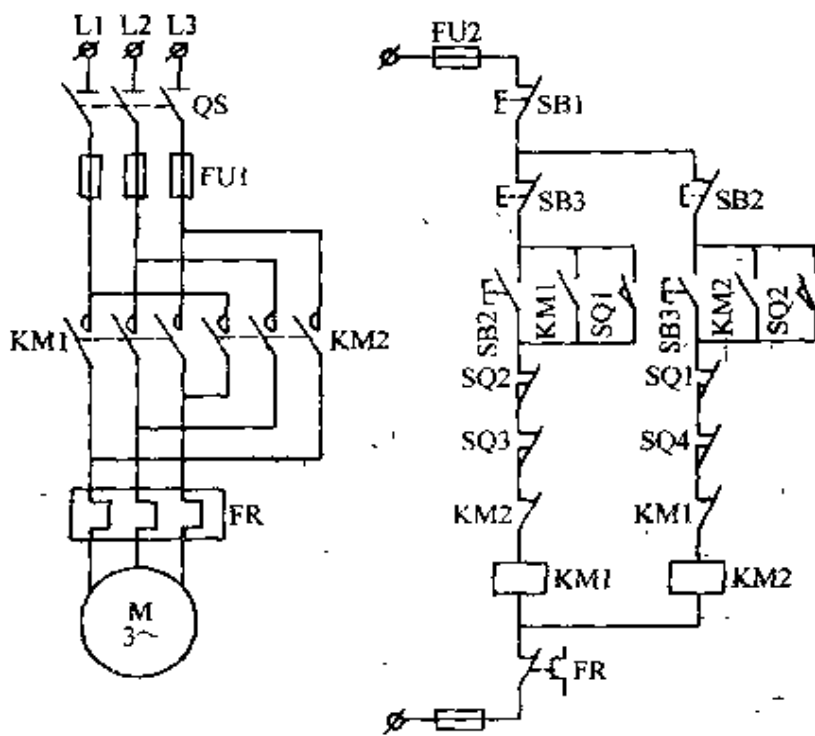


图 10-9 自动循环的电动机可逆控制电路

正向启动：(向前) 按下 SB2 → KM1⁺ (自锁、互锁 KM2) → M 正转 → (到一定位置转为向后) 压下 SQ2 → KM1⁻ (解除自锁和对 KM2 的互锁) → SQ2 同时接通 KM2 线圈 → KM2⁺ (自锁、互锁 KM1) → M 反转 → (到一定位置转为向前) 压下 SQ1 → KM2⁻ (解除自锁和对 KM1 的互锁) → SQ1 同时接通 KM1 线圈 → KM1⁺ (自锁、互锁 KM2) → M 正转。如此自动往返运转。



第三节 三相笼型异步电动机减压起动控制

异步电动机的起动电流很大，起动电流约为额定电流的 5~7 倍。当电网容量较小时，这样大的起动电流会使电网电压显著降低，影响电网上其他电气设备的正常工作。因此必须根据具体情况选择不同的起动方法，减小电动机的起动电流。

一、自耦补偿减压起动

当采用 60% 抽头的自耦变压器起动时，根据变压器和电动机原理知道，电动机的起动转矩降低到 0.36 倍。而电动机上的起动电流也降低到 0.36 倍。它们都和降压倍数的平方成正比。起动电流下降，这是有利的方面，同时电动机起动转矩也以同样的比例下降，这是不利的方面。通常自耦变压器具有 40%、60%、80% 多种抽头，可根据需要加以选择。

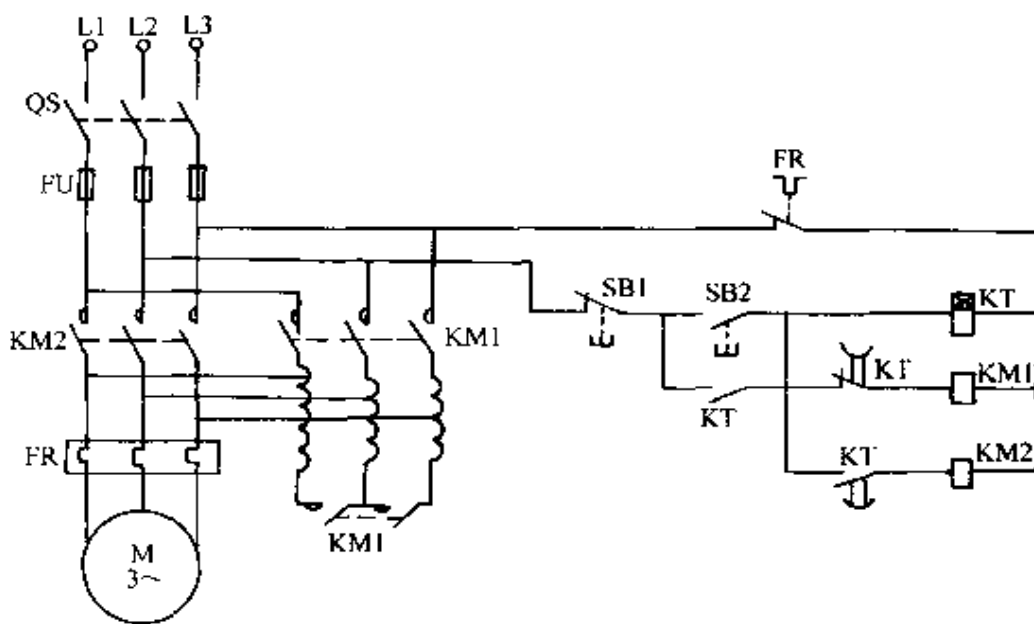


图 10-10 自耦变压器减压起动控制电路

如图 10-10 所示，是自动补偿起动器的原理图。工作过程如下，合上电源开关 QS，按下起动按钮 SB2，接触器 KM1 线圈和时间继电器 KT 线圈通电，KT 瞬时动作的常开触点闭合自锁，接



触器 KM1 主触点闭合将电动机定子绕组经自耦变压器接至电源，开始减压起动。时间继电器经过一定时间延时后，其延时常开触点闭合，延时常闭触点打开，使接触器 KM1 线圈断电，KM1 主触点断开，从而将自耦变压器从电网上切除。而延时常开触点闭合，使接触器 KM2 线圈通电，于是电动机接到电网运行，完成了整个起动过程。

按 SB2→KM1⁺ (KT⁺) (自锁) →M 减压起动→延时一会→KM1⁻→KM2⁺→M 全压起动。

自耦变压器起动方法适用于起动较大容量的电动机，起动转矩可以通过改变抽头的连接位置得到改变，它的缺点是自耦变压器价格较贵，且不允许频繁起动。

实际的补偿起动器比这要复杂一些。常用的有手动操作补偿起动器和自动补偿降压起动器。其主要技术参数见表 10-3。

表 10-3 XJ 01 自耦变压器降压起动器技术数据

| 型 号 | 被控电动机功率/kW | 最大工作电流/A | 自耦变压器功率/kW | 热继电器整定电流/A | 电流互感器电流比 |
|----------|------------|----------|------------|------------|----------|
| XJ01-14 | 14 | 28 | 14 | 32 | — |
| XJ01-20 | 20 | 40 | 20 | 40 | — |
| XJ01-28 | 28 | 58 | 28 | 63 | — |
| XJ01-40 | 40 | 77 | 40 | 85 | — |
| XJ01-55 | 55 | 110 | 55 | 120 | — |
| XJ01-75 | 75 | 142 | 75 | 142 | — |
| XJ01-80 | 80 | 152 | 115 | 2.8 | 300/5 |
| XJ01-95 | 95 | 180 | 115 | 2.8 | 300/5 |
| XJ01-100 | 100 | 190 | 115 | 3.5 | 300/5 |

二、星形—三角形减压起动

星形—三角形起动器是利用将三角形接法的电动机在起动时改接为星形接法来降低起动电压的。这种起动装置结构简单，成本低廉而效果则与 60% 抽头的自耦降压补偿起动器相仿，因此广泛应用于△接法的电动机。



接法下起动，过一段时间（转速基本上稳定后），时间继电器 KT 的延时断开触点、延时闭合触点同时动作，使 KM_Y 线圈断电， KM_{Δ} 线圈得电， KM 线圈继续得电。 KT 、 KM_{Δ} 的常开主触点闭合，使电动机在三角形接法下运行。此电路有热继电器作过载保护， KM_{Δ} 和 KM_Y 有互锁防止 KM_{Δ} 、 KM_Y 同时得电而造成三相电源短路的危险。

按 $SB2 \rightarrow KM^+、KM_Y^+、KT^+ \rightarrow M$ 星形起动（延时一会儿）
 $\rightarrow KM_Y^-$ （解除互锁） $\rightarrow KM_{\Delta}^+、KT^- \rightarrow M$ 三角形运行。

自动星—三角起动器技术参数见表 10-4。

表 10-4 QX 4 系列自动星—三角起动器技术参数

| 型 号 | 被控电动机功率/kW | 额定电流/A | 热继电器整定电流/A | 时间继电器整定值/s |
|---------|------------|--------|------------|------------|
| QX4-17 | 13 | 26 | 15 | 11 |
| | 17 | 33 | 19 | 13 |
| QX4-30 | 22 | 42.5 | 25 | 15 |
| | 30 | 58 | 34 | 17 |
| QX4-55 | 40 | 77 | 45 | 20 |
| | 55 | 105 | 61 | 24 |
| QX4-75 | 75 | 142 | 85 | 30 |
| QX4-125 | 125 | 260 | 100 ~ 160 | 14 ~ 60 |

第四节 三相绕线转子异步电动机起动控制

三相绕线转子异步电动机的优点之一是转子回路可以通过集电环在外串电阻来达到减小起动电流，提高转子电路功率因数和起动转矩的目的。在一般要求起动转矩较高的场合，绕线转子异步电动机得到了广泛的应用。

转子回路串接电阻起动控制电路，如图 10-12 所示是依靠时间继电器自动短接起动电阻的控制电路。

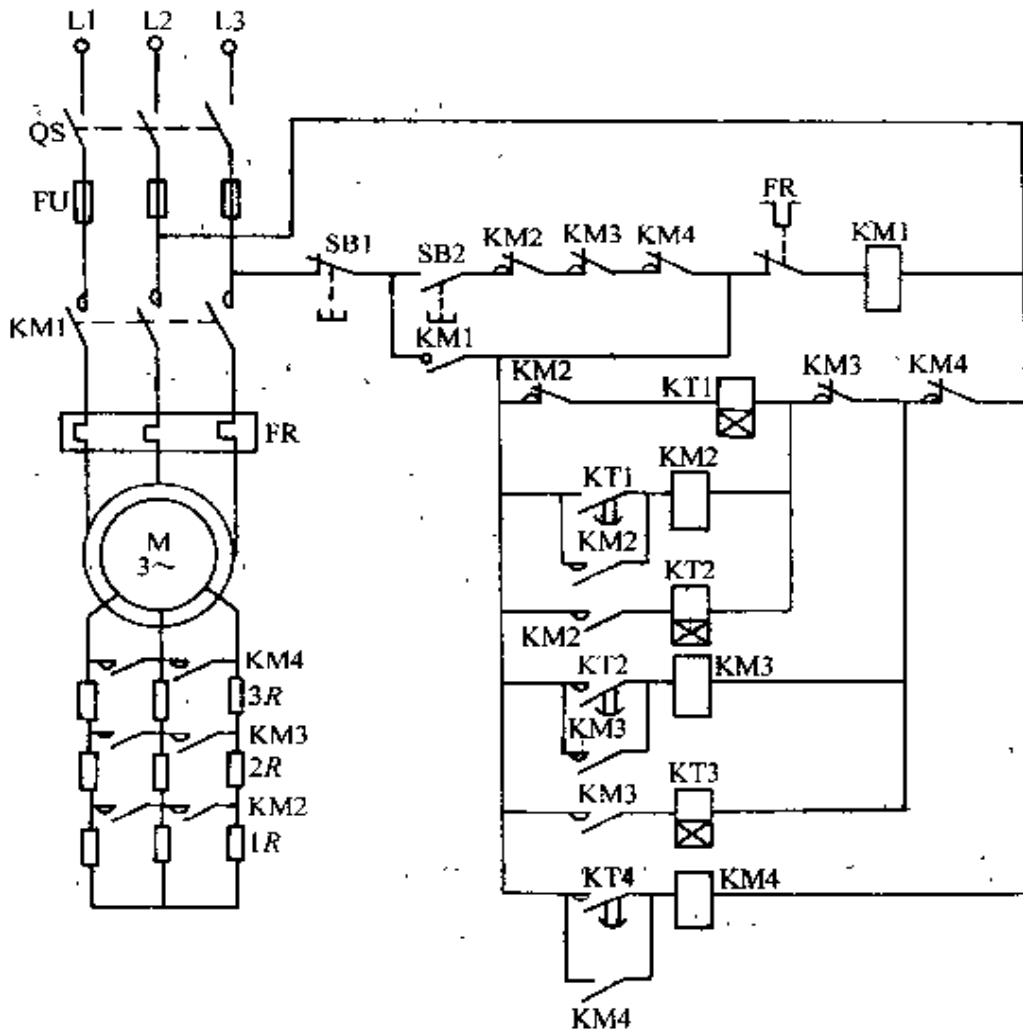


图 10-12 依靠时间继电器短接起动电阻的控制电路

起动时，合上电源开关 QS，按 SB2→KM1⁺（串全部电阻起动）→KT1⁺（延时一会儿）→KM2⁺（切除 1R）→KT1⁻、KT2⁺（延时一会儿）→KM3⁺（切除 2R）→KM2⁻、KT2⁻、KT3⁺（切除 3R、延时一会儿）→KM4⁺（切除 3R、KM3⁻、KT3⁻）→切除全部电阻，M 起动完毕。

电路中只有 KM1、KM4 长期通电，而 KT1、KT2、KT3、KM2、KM3 五只线圈的通电时间均被压缩到最低限度。这样做一方面节省了电能，更重要的是延长了它们的使用寿命。



图 10-12 控制电路在电动机起动过程中逐段减小电阻时，电流及转矩突然增大，产生不必要的机械冲击；而且本身比较笨重，能耗大。频敏变阻器的阻抗能够随着转子电流频率下降自动减小（频敏变阻器实质上是一个铁心损耗非常大的三相电抗器），所以它是绕线转子异步电动机较为理想的一种起动设备。常用于较大容量的绕线转子异步电动机的起动控制。

第五节 三相笼型异步电动机制动控制

从提高生产效率，安全及准确停车等方面考虑，都要求电动机能迅速停车，要求对电动机引进制动控制。制动方法一般有两类：机械制动和电气制动。机械制动是用机械装置来强迫电动机迅速停车；电气制动实质上在电动机停车时，产生一个与原来旋转方向相反的制动转矩，迫使电动机转速迅速下降。一般有两种方法，即能耗制动和反接制动。

一、能耗制动

在定子绕组中任意两相通入直流电流，形成固定磁场，它与旋转的转子中的电流相互作用，从而产生制动转矩，实现能耗制动。制动时间的控制由时间继电器来完成。

制动控制过程如图 10-13 所示，合上电源开关 QS。

1) 起动，按下 SB2，KM1 得电且自保持，电动机运转。

2) 停止，按下 SB1，KM1 失电，同时 KM2 得电，然后 KT 得电，KM2 的主触点闭合，经整流后的直流电压通过限流电阻 R 加到电动机两相绕组上，使电动机制动。延时一会，时间继电器 KT 延时断开常闭触点，使 KM2 与 KT 线圈相继失电，制动结束，电动机停车。

按 SB1 → KM1⁻ → KM2⁺、KT⁺ → M 能耗制动（延时一会儿）
→ KM2⁻ → M 电动机停止。

二、反接制动

能耗制动是利用转子中的储能进行的，所以能量损失较少，制动电流较小，制动准确，但制动速度较慢，在某些控制系统中，

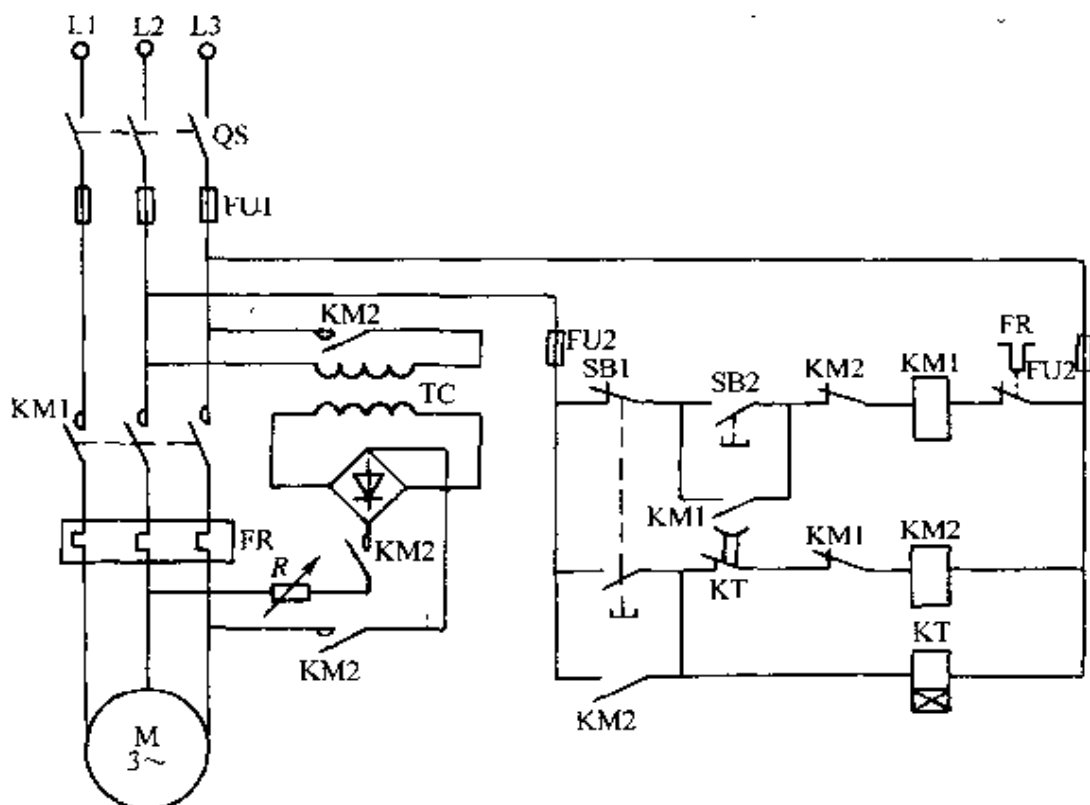


图 10-13 时间原则控制的能耗制动电路

不能满足快速停车的要求。对于异步电动机，解决快速停车最简单的方法就是采用反接制动，即制动时，将电源反相序，制动到零速时，电动机的电源自动切除。检测接近零速的信号，以直接反映控制过程的转速信号最为理想，通常采用速度继电器实现。

控制过程（如图 10-14 所示）：

1) 按动 SB2，KM1 得电且自保持，电动机正转。当电动机正转时，速度继电器 KS 的正向常闭触点 KS_F 打开，正向常开触点 KS_F 闭合，为制动做好准备，同时 KM2 因与 KM1 互锁，不能得电。

2) 按下 SB1，KM1 失电，KM1 主触点打开，电动机失电，同时解除对 KM2 的互锁；松开 SB1，电动机依靠惯性仍然在正转，通过 SB1， KS_F 常开触点，KM1 常闭触点，使 KM2 得电，电动机定子电源反相序，反接制动，转速下降，当转速接近零速时， KS_F 闭合的常开触点断开，KM2 断电释放，反接制动结束。同理可分析反转时的制动。

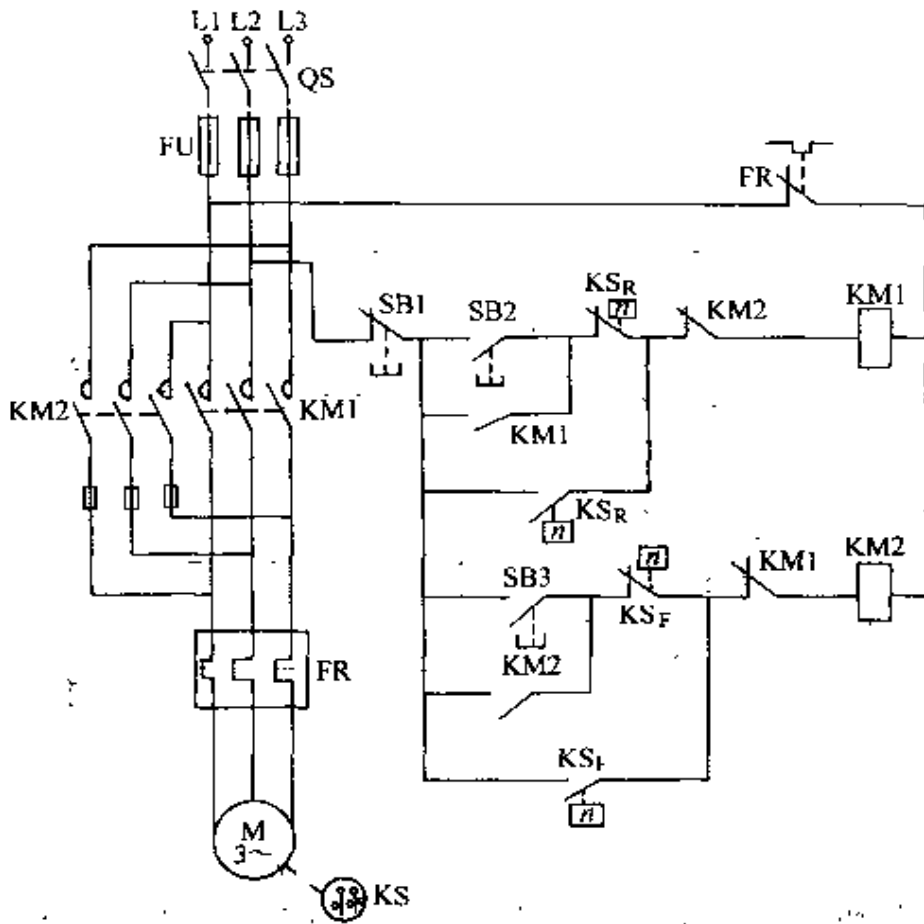


图 10-14 速度原则控制的反接制动电路

按 SB1→KM1⁻（解除互锁）→KM2⁺（KS_F接通）→M 反接制动→n—0（KS_F断开）KM2⁻→M 停车。

三、注意事项

1) 测量制动电压、电流时要提前做好准备，动作要快，并按次序进行。

2) 认真选择限流电阻，并考虑电阻的功率。

3) 当电源电压为 380V 时，若要求反接制动电流为堵转电流的一半，则三相电路每相应串入的电阻 R (Ω) 可估算如下：

$$R = 1.5 \times (380 / 7I_N)$$

4) 4kW 以上电动机需要串电阻，4kW 以下可不必串电阻，10kW 以上电动机一般不采用反接制动。

第六节 三相笼型异步电动机的转速控制

在电气控制电路中，对笼式电动机的调速常用多速电动机实现，单绕组多速异步电动机通过改变电动机绕组的外部接线方式来获的双速、三速、四速等。双速电动机的调速，常采用三角形—双星形的接法，如图 10-15 所示。

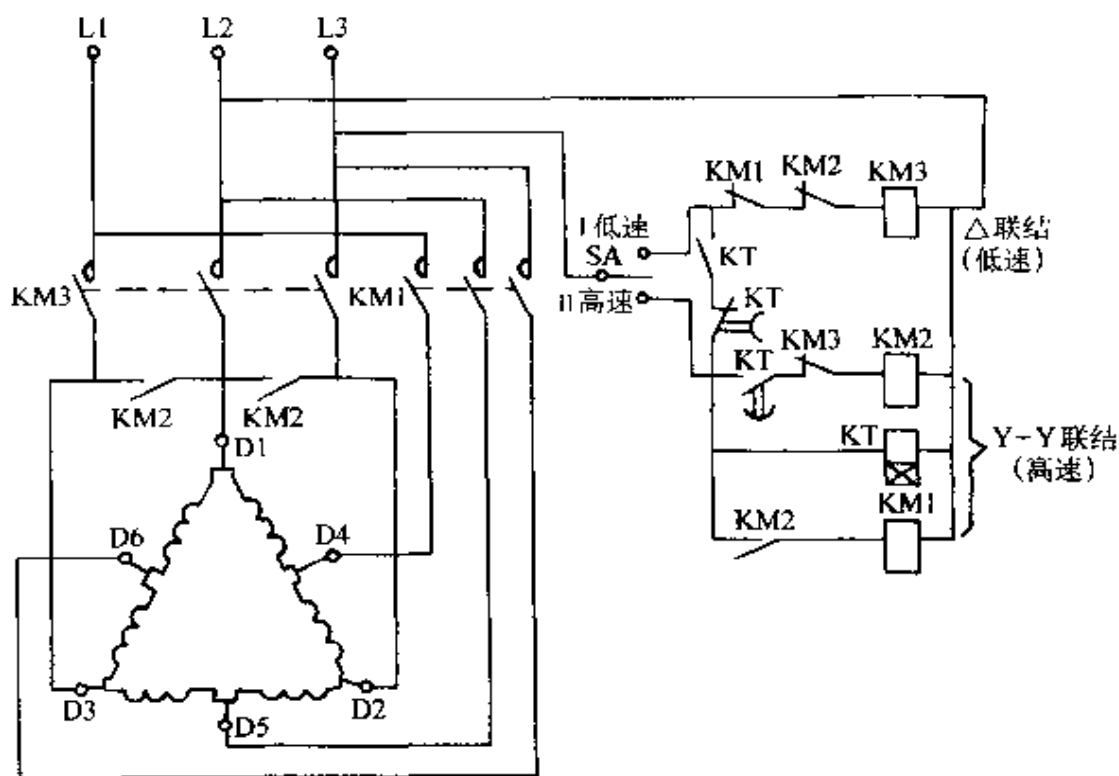


图 10-15 双速电动机调速控制电路

控制过程：

SA 为双投开关。当其合向低速位置时，线圈 KM3 通过 KM1 和 KM2 常闭触点得电而吸合，主触点动作，绕组线圈为三角形接法，低速运转。

当 SA 合向高速位置时，首先，时间继电器 KT 常开触点闭合，线圈 KM3 通过 KT 的常开触点、KT 的常闭延时断开常闭触点，KM1 和 KM2 的常闭触点得电而吸合，电动机低速起动。当

延时一段时间后 KT 动作。KT 的延时闭合常开触点、延时闭开常闭触点分别动作，使 KM3 失电，KM2 得电，KM2 得电又导致 KM1 得电，整个绕组是双星形接法，电动机高速运转。同时 KM3，KM1 和 KM2 的常闭触点形成互锁，确保 KM3 和 KM2 不可能同时得电。

注意事项：

- 1) 相序一定要接正确，高、低速要求旋转方向一致。
- 2) 电动机接线前，首先要弄清每个接线端，以防错接造成故障。
- 3) 接触器要按电动机接成双星形时的功率选取。

第七节 直流电动机的控制

直流电动机按励磁方式不同而分为并励、串励及复励电动机。在机床等设备中，以并励直流电动机应用较多。

直流电动机控制和交流电动机控制的最大区别是励磁绕组端电压很低或零磁时 ($Q \approx 0$)，会产生“飞车”事故。

一、并励直流电动机电枢回路串电阻的起动与调速控制

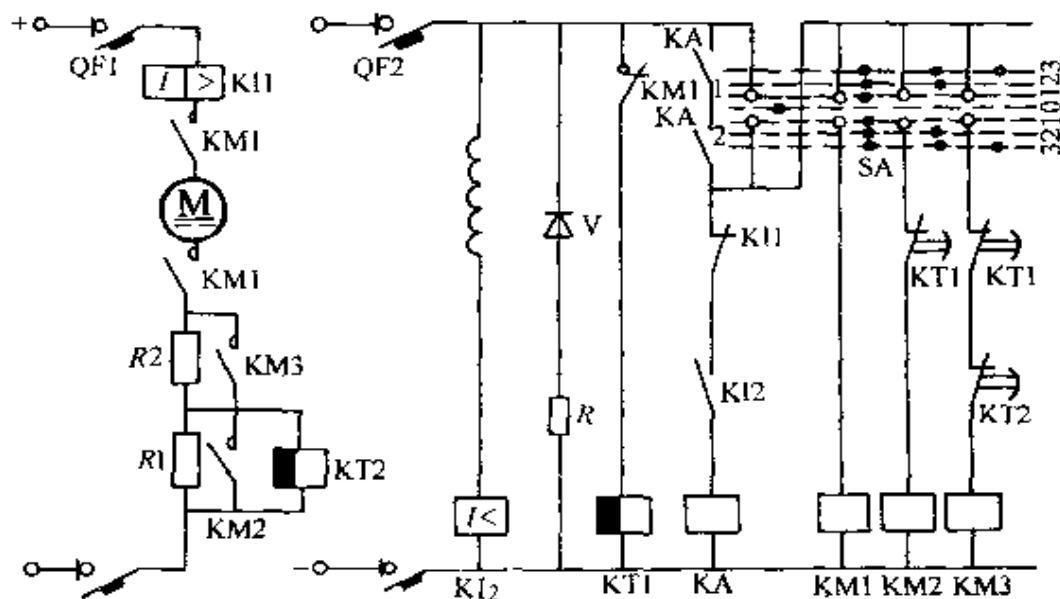


图 10-16 并励直流电动机电枢回路串电阻的起动与调速控制电路



如图 10-16 所示, 起动电阻分为两段, 利用主令控制器来实现起动、调速及停车控制。其工作过程如下:

1. 起动前的准备

将主令开关 SA 的手柄置零位, 分别合上主回路及控制回路的空气自动开关 QF1、QF2, 在电动机的并励绕组中, 就流过额定励磁电流, 欠电流继电器 KI2 的常开触点闭合, 使 KA 通过 SA (1-2) 通电吸合并自保。主回路过电流继电器 KI1 不动作, 与此同时时间继电器 KT1 的线圈也通电, 其延时闭合的常开触点立即分开, 使 KM2、KM3 不得电, 以保证起动时 R1 与 R2 都串入主回路。

2. 起动

起动时可将 SA 的手柄由零位扳到 3 位, SA (1-2) 触点断开, 其他三路触点闭合。这时 KM1 通电吸合, 主触点闭合使电动机 M 串 R1 与 R2 起动 (限制起动电流), 同时 KT1 断电释放开始延时, 由于起动电阻 R1 上有压降, 使时间继电器 KT2 通电, 使其常闭触点断开。当 KT1 延时到, 其延时闭合的常闭触点闭合, 接通 KM2 的线圈电路。KM2 的常闭触点闭合, 切除起动电阻 R1, 电动机进一步加速。同时, KT2 线圈被短接, 经过一定延时, 其延时闭合的常开触点闭合, 接通加速接触器 KM3 的线圈回路, KM3 的常开主触点闭合, 切除最后一段电阻 R2, 电动机再次加速进入全电压运转, 起动过程结束。

3. 调速

欲使电动机运行在低速时, 只要将主令开关的手柄扳到“1”或“2”, 则电动机就在电枢串有两段或一段电阻下运行, 其转速低于主令开关处在“3”位时的转速。在调速过程中 KT1 和 KT2 的延时作用是保证电动机 M 有足够的加速时间, 避免由于转速突变引起传动系统过大的冲击。

4. 保护

电动机发生过载和短路时, 主回路过电流继电器 KI1 即动作, 它切断 KA 的通电回路, 于是 KM1、KM2、KM3 均断电, 使



电动机脱离电源。

欠电流继电器 $KI2$ 是当励磁线圈断路时，通过其常闭触点切断 KA 线圈电路，起到失磁保护作用（避免“飞车”事故）。

当主令开关手柄处于零位起动， KA 才可能接通，既避免电动机 M 的自起动，同时也保证了 M 在任何情况下总是从低速到高速的自然、安全加速过程，这就是零位保护作用。由于 SA 具有防止由于停电以后突然来电而产生的“自起动”，也起到零压保护作用。

电路中二极管 V 与 R 串联构成励磁绕组的吸收回路，其作用是在停机时防止由于过大的自感电动势引起励磁绕组的绝缘击穿，并保护其他元件。

二、改变并励直流电动机励磁电压极性的反转控制

该控制电路如图 10-17 所示，是 $MM52125A$ 型导轨磨床的部分电路。由于电动机未采取制动措施，故在正反转时，利用时间继电器 KT 的延时，保证电动机停止以后才能反向起动。

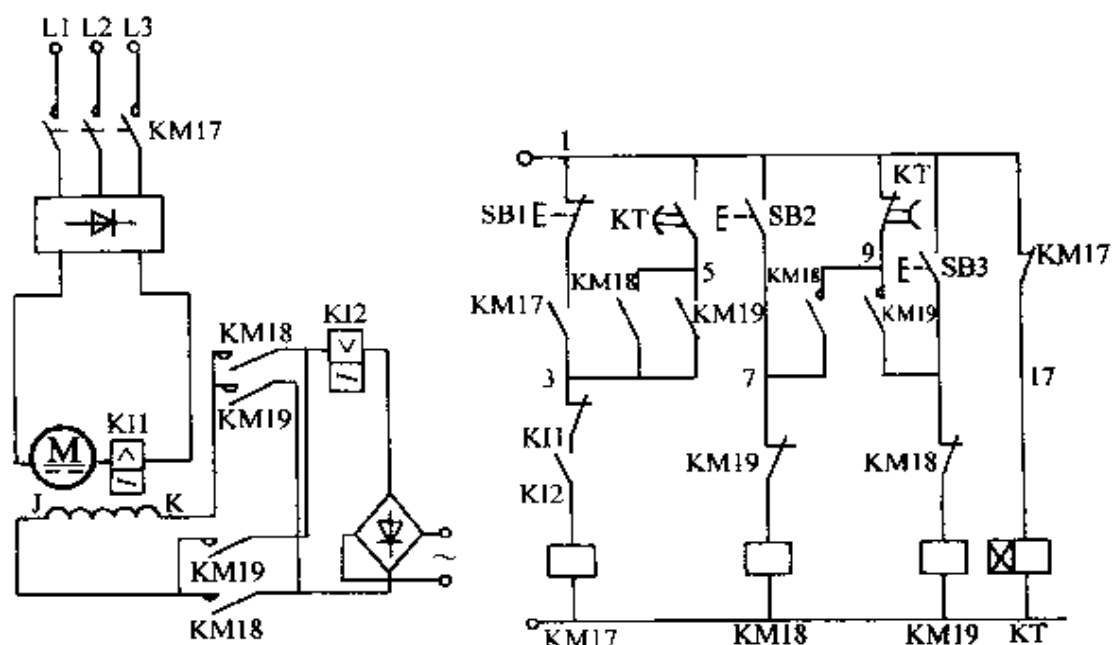


图 10-17 改变并励直流电动机励磁电压极性的反转控制电路



1. 正转

控制回路有电，KT 线圈有电，相应的延时触点动作，按下 SB2，使 KM18 吸合后，先有励磁电流，其常开辅助触点和 KT (1-5-3) 使 KM17 线圈吸合，KM17 的主触点闭合，给电动机电枢供电，电动机处于正转状态。KM17 的辅助触点使 KT 线圈失电，KM18 其常闭辅助触点 (7-9) 组成 KM18 的自保电路，这时电动机的励磁电流由 J 流向 K。

2. 停车

此控制电路必须先停车，然后才能反转起动。按压 SB1，KM17 释放，它一方面切断电动机的电枢电源，另一方面它的常闭触点 (1-17) 闭合，接通 KT 的线圈回路。KT 吸合，KT 触点 (1-5) 需延时到预先整定的时间后才能闭合，故在这延时时间内，主回路是不可能供电的，而另一触点 KT (1-9) 也需延时同样的时间后，才能切断 KM18 的自保回路，在这段时间内，KM18 继续维持吸合状态，使励磁回路保持正常供电，从而保证在停车控制中，先切断电枢电源后切断励磁电源。

3. 反转

如果在整定的延时时间内，按压 SB3 时，既不可能对电动机电枢回路供电，也不可能使反向接触器 KM19 吸合。只有在经过预先整定的时间后，KT 触点 (1-5) 闭合，主回路接触器 KM17 处于再次起动的准备状态，KT (1-9) 断开，KM18 释放，使励磁回路也处于再次起动的准备状态。此时如按压按钮 SB3，则 KM19 吸合，使反向励磁电流先接通，紧接着 KM17 吸合使电枢回路接通电源反向起动，同时 KM17 辅助触点 (1-17) 使 KT 释放，KM19 通过 KT 触点 (1-9) 自保，松开按钮 SB3 后，电动机仍按反方向连接运转。

三、注意事项

1) 4kW 以上的直流电动机起动电流为额定电流的 10 ~ 20 倍，必须串电阻起动，0.75kW 以下的可不串电阻起动。

2) 根据直流电动机名牌参数，用经验公式估算出电枢绕组



电阻 R_a 和起动时应串电阻 R_{st} 、电阻功率 P_R ，即有

$$R_a = (1/2 \sim 2/3)(U_N I_N - P_N) / I_N^2$$

$$R_{st} = \{U_N - (1.5 \sim 2.5) I_N R_a\} / (1.5 \sim 2.5) I_N$$

$$P_R = (1/3 \sim 1/4)(1.5 \sim 2.5) I_N^2 R_{st}$$

3) 并励电动机电枢串电阻，要求分级。

第八节 变频器及异步电动机的变频调速

变频器是一种静止的频率变换器，可将配电网电源 50Hz 的恒定频率变成可调频率的交流电源，作为电动机的电源装置，当前国内外交流电动机的调速中使用较为普遍。使用变频器可以节能、提高产品质量和劳动生产率。

一、变频器的分类

1. 按变换频率的方法分类

1) 交—直—交变频器。交—直—交变频器首先将恒定 50Hz 的交流经整流，变换成直流，经过滤波，再将平滑的直流逆变成频率可调的交流。

2) 交—交变频器。

2. 按照开关方法分类

1) PAM 控制。所谓 PAM 控制是 Pulse Amplitude Modulation (脉冲振幅调制) 的简称，是一种改变电压源的电压或电流源的电流的幅值进行输出控制的方式。

2) PWM 控制。PWM 控制是 Pulse Width Modulation (脉冲宽度调制) 的简称，是在逆变电路同时对输出电压（电流）的幅值和变频器进行控制的方式。并通过改变输出脉冲的宽度来达到控制电压（电流）的目的。目前在变频器中多采用正弦波进行 PWM 控制方式。

3. 按电压等级分类

变频器按电压等级分为两类，一种是变频器电压等级为 200 ~ 460V 的低压型变频器；另一种是高压型变频器，电压等级为 3kV、6kV 及 10kV。



4. 按不同用途分类

1) 通用变频器：指对普通的异步电动机进行调速控制。如风机、泵类变频器。

2) 高性能专用变频器：如地铁机车用变频器、轧机用变频器。

二、变频器的原理及功能

变频器将交流变为直流，经直流滤波器滤波后，由逆变将它变为频率可调的交流。为了对交流异步电动机的调速，所给出的操作量有电压、电流及频率。

1. 主要参数及功能

1) 输入信号有正转指令、自由运转指令、复位输入、加速、减速时间转换、多段频率选择和自保持运转电路等。

2) 频率设定：由可调电位器（1~5kΩ）进行频率设定。上升/下降控制能通过外部信号（接点信号）进行控制，在其接通期间，频率上升（UP信号）或下降（DOWN信号）；多段频率选择：根据外部信号（接点信号）的组合；最多能进行7段运转的选择。

3) 运转状态信号有运转中、频率到达、频率检测、过载预报等。模拟信号有：输出频率、输出电流、输出转矩、负载率等。

4) 加速时间、减速时间：能独立设定4种加速、减速，并能由外部信号选择，能选择线性加速减速，曲线加速减速（S型曲线除外）。

5) 能设定上限、下限频率。

6) 其他还有频率设定增益、偏置频率、跳跃频率、直接切换运转、瞬间停电时再启动、转差补偿控制、再生回馈控制等设定。

2. 显示内容

1) 无论运转还是停止中都能显示输出频率、输出电压、电动机旋转速度、负载轴旋转速度、输出转矩等，并显示其单位。在LCD画面上能显示其单位。测试功能输入信号和输出信号的有无（模拟信号的大小）。



2) 设定时：显示功能码和数据（带单位显示）。

3) 跳闸时：区分跳闸的原因，并显示。

3. 保护环节

1) 变频器保护有电涌保护、过载保护、再生过电压保护、欠电压保护、接地过电流保护、冷却风机异常、过热保护及短路保护。

2) 异步电动机保护有过载保护、超频（超速保护）。

3) 其他保护有防止失速过电流、防止失速再生过电压。

三、异步电动机的变频调速

异步电动机调速传动时变频器可以根据电动机的特性对供电电压、电流、频率进行适当的控制，不同的控制方式所得到的调速性能、特性以及用途是不同的。

控制方式大体可分为 V/F 控制方式，转差频率控制和矢量控制等方式。

1) V/F 控制是在改变频率的同时控制变频器输出电压，是控制电压（Voltage）与频率（Frequency）的比（ V/F ）不变，为常数。使电动机磁通保持一定，在较宽的调速范围内，电动机的效率、功率因数不下降。

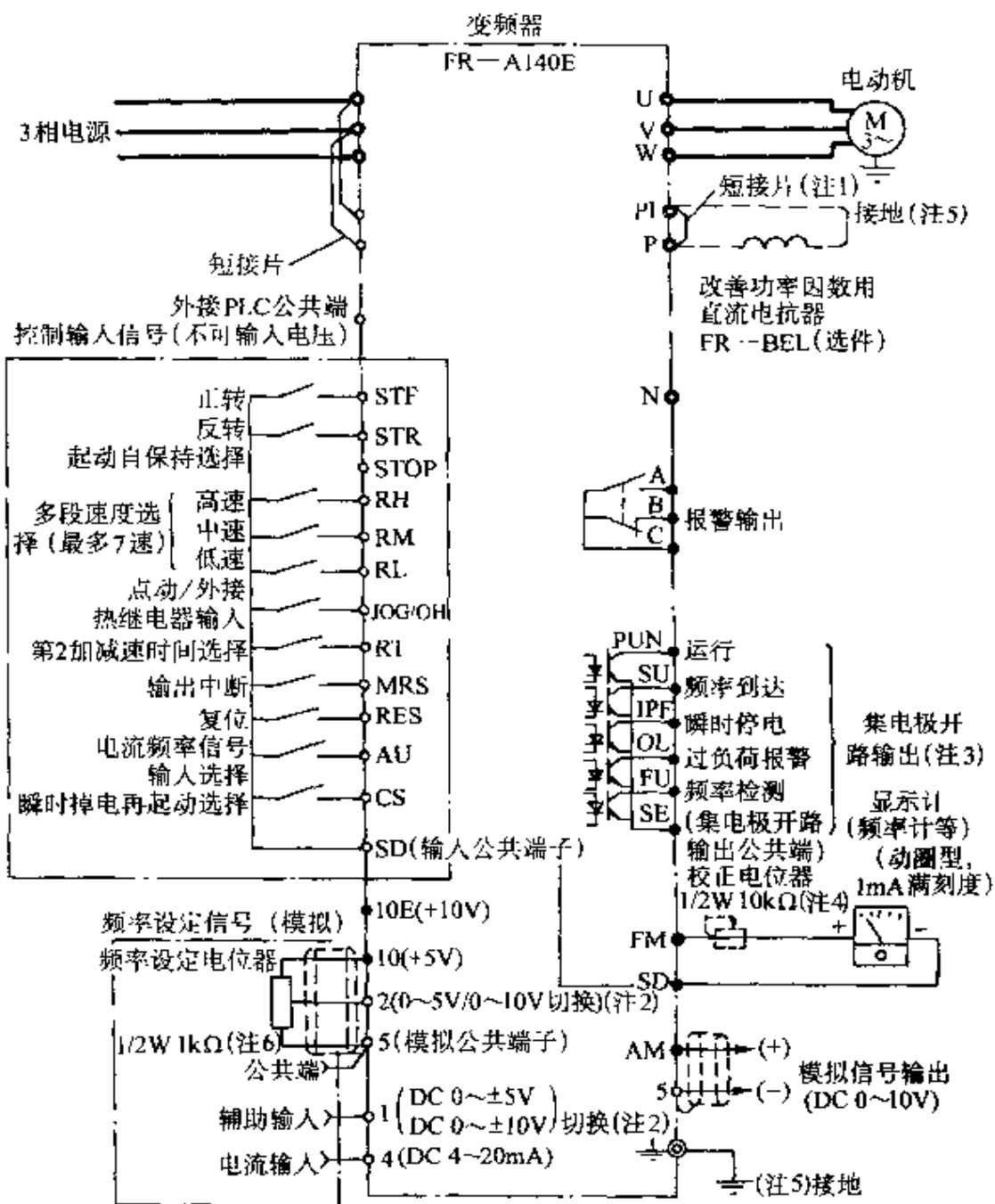
V/F 控制比较简单，这种变频器采用的是开环控制方式，多用于通用变频器、风机、泵类传动等。另外，空调等家用电器也采用 V/F 控制的变频器。

2) 转差频率控制需要检出电动机的转速，构成速度闭环，速度调节器的输出为转差频率，然后以电动机速度与转差频率之和作为变频器的输出频率。由于通过控制转差频率来控制转矩和电流，与 V/F 控制相比其加减速特性和限制过电流的能力得到提高。也适用于自动控制系统。

3) 矢量控制：其基本原理是控制电动机定子电流的幅值和相位（即电流矢量），来分别对电动机的励磁电流和转矩电流进行控制，从而达到控制电动机转矩电流特性的目的。

四、变频器的使用

1. 主电路的连接



注:

1. 使用FR-BEL的场所, 拆下短接片。
2. 参数单元可以对输入信号进行切换。
3. “RUN”以外所有的输出端子可以用报警编码显示异常情况。
4. 若设有参数单元进行刻度校正, 这个校正电位器就不必设置。
5. 变频器及电机在使用前必须可靠接地。
6. 频率设定更改频繁时, 使用2W 1kΩ的电位器。

- 主回路
- 控制回路(输入)
- 控制回路(输出)

图 10-18 变频器接线图



下面以三菱 FR—A140E 为例介绍主要端子规格及连接，见图 10-18。

1) 主电路电源端子 R、S、T 端子经接触器和空气开关与电源连接，无需考虑相序；变频器输出端 U、V、W 和三相电动机连接。

2) 直流电抗器连接用端子和 P1、P 连接，用以改善功率因数。出厂时 P1、P 间有短路片短接。

3) 外部制动单元连接用端子 P、N。

4) 变频器接地：这是指变频器机壳的接地，要真正接地。

5) 控制回路电源端子 R1，S1 与交流电源端子连接。在保持显示和异常输出时，请拆下端子排短路片，由这个端子从外部输入电源。

2. 控制电路端子的连接

1) 频率设定有三个端子：10 端子作为频率设定器用电源 (DC: +5V, 10mA)；2 端子设定用电压输入 (DC: 0~5V)，输入和输出成比例，输入电阻 10kΩ；4 端子设定用电流输入 (DC: 4~20mA)，输入和输出成比例，输入电阻 250Ω；5 端子是频率设定公用端，是对于频率设定信号 (端子 2、1、4) 和 AM 的公共端子，与控制回路的公共回路不绝缘，不要接大地。

2) 控制输入：STF 端子是正转起动，STF—SD 之间处于 ON 时便正转，处于 OFF 便停止；STR 反转起动；STF，STR—SD 间同时为 ON 时，便为停止指令；STOP 起动自保持选择，STOP—SD 间处于 ON，可以选择起动信号自保持；RH，RM，RL 为多段速度选择，最多可以选择 7 种速度；JOG/OH 为点动模式选择或外部热继电器输入，RT 端子为第 2 加减速时间选择；MRS 端子为输出停止；RES 端子为是复位；CS 瞬停再起启动选择；AU 电流频率信号输入选择；SD 端子是输入公用端；PC 为外接 PLC 公用端。

3) 控制输出：RUN 为异常输出端子；SU 为频率到达端子；OL 为过负荷报警；IPF 为瞬时停电；FU 为频率检测；SE 集电极

开路输出公共端；FM 为脉冲输出用于仪表；AM 为模拟信号输出。

3. 使用时注意事项

1) 变频器的保护功能动作时，继电器的常闭触点控制接触器电路，使接触器断开，从而切断变频器电路的电源。

2) 请勿以主电路的通断来进行变频器的运行、停止操作。必须用控制面板上的运行键（RUN）和停止键（STOP）来操作。

3) 变频器输出端子（U、V、W）最好经热继电器再接至三相电动机上，当旋转方向与设定不一致时，请调换 U、V、W 三相中的任意两相。

4) 如不用变频器 P 和 N 端子，则使其开路。如果短路或直接接入制动电阻，则会损坏变频器。

5) 从安全及降低噪声的需要出发，必须接地，接地电阻应小于或等于国家标准规定值，且用较粗的短线接到变频器的专用接地端子上。

6) 有的变频器输出电压为三相 220V，对于 Y 联结 380V 额定电压的三相异步电动机，在接入变频器时，应改接成 Δ 接法。否则电动机的输出转矩将仅有正常时的 1/3。

典型生产机械的电气控制 电路和维修

第一节 机床电气设备的维修

一、对机床电路进行分析的方法和步骤

1. 阅读设备说明书

- 1) 了解机械、液压等技术指标、工艺过程。
- 2) 了解电动机的用途（布置）、型号。
- 3) 设备使用方法，手柄开关、旋钮布置及作用。

2. 分析电气控制原理图

1) 从主电路中找出该机床共有几台电动机和其他设备，以及他们是由哪些接触器控制的；即电动机的起动方法，有无反转、调速、联锁和制动等。

2) 分析控制电路的基本方法是把电路“化整为零”，用“查线法”读图。即控制电路中每个接触器小回路中所串、并联的其他元件（如接触器、继电器触点以及按钮、转换开关、行程开关的接线点等），分析他们的相互关系，弄清哪个先动作及相互联系。

3) 对保护装置、照明、报警及指示电路等。主要是弄清他们在什么情况下起作用，以及哪些元件起作用。

- 4) 最后总体检查看是否有遗漏。

3. 电路与实物对号

对照电气原理图、接线图找到每个电动机、每个控制元件的安装位置及每个元件、每个设备连线的走径，直到完全和原理图、接线图对上号为止。



二、机床电气设备的日常维护和保养

1) 与机床操作者相配合,经常保持电动机的清洁,不允许电动机表面灰过多,影响散热。并定期对电动机进行中修和大修等。雨季要防止绝缘受潮漏电。

2) 注意听运转中电动机声音是否正常,是否有摩擦声、尖叫声和其他杂音,并注意观察电动机起动是否轻快。如发现不正常,应该立即停车检查,在排除故障后才能继续使用。

3) 正确选用熔断器的熔流,热继电器的选择是否恰当。检查电动机的三相电流是否平衡,是否正常,经常查看是否负载过重。

4) 注意连接导线有无断裂、脱落,绝缘是否老化。

5) 检查接触器的触头接触是否良好。经常清理电器元件上的油污和灰尘,特别要清除铁粉之类有导电性能的灰尘。

6) 维护时,还必须注意安全,电气设备的接地或接零必须可靠。

通过经常的维护,既能减少故障的发生,又能及时发现隐藏的故障,从而防止故障的扩大。

三、机床电气设备的故障分析和检修

1. 修理前的调查研究

1) 看:短路器是否跳闸或熔断器内熔丝是否熔断。其他电气元件有无烧毁、发热、断线、导线连接螺钉是否松动,有无异常的气味等。

2) 问:向操作者了解故障发生的前后情况,有利于根据电气设备的工作原理来判断发生故障的部位,分析故障的原因。一般询问项目是:故障经常发生还是偶然发生;有哪些现象(如响声、冒火、冒烟等);故障发生前有无频繁起动、停止、制动、过载,是否经过保养检修等。

3) 听:电动机、变压器和一些电器元件,正常运行的声音和发生故障的声音有无明显差异,听它们的声音是否正常,可以



帮助寻到故障部位。

4) 摸：电动机、变压器和电磁线圈等发生故障时，温度显著上升，可切断电源用手去摸摸。

2. 确定故障发生的范围

从故障现象出发，按电路工作原理进行分析，便可判断故障发生的可能范围，以便进一步分析，找出故障发生的确切部位。

3. 进行外表检查

在判断了故障可能发生的范围后，在此范围内对有关电器元件进行外表检查，常能发现故障的确切部位。例如：接线头脱落，触头接触不良或未焊牢，弹簧断裂或脱落，线圈烧坏等，都能明显地表明故障点。

4. 带电检查控制电路

在检查时，要遵守安全操作规程不得随意触动带电部分，要尽可能切断电动机主电路电源，只在控制电路带电的情况下进行检查；如需电动机运转，则应使其在空载下运行；避免机床运动部分误动作发生撞击；要暂时隔断有故障的主电路以免故障扩大；并预先充分估计到局部电路动作后可能发生的不良后果。

5. 利用仪表来检查

利用万用表的电阻档检测电器元件是否短路或断路（测量时必须切断电源）；用万用表的电压、电流档来检测电路的电压、电流值是否正常，三相是否平衡，能有效地找出故障原因。有时也可用试电笔来检查电路故障。也可以用完好的电器元件代换可疑的电器元件的方法找出故障元件。也可采用局部输入信号的方法，来寻找机床控制电路中的故障点。

1) 用万用表检查控制电路 断开总电源开关，把万用表拨到 $R \times 100$ ，调零后，将两测试棒分别接到控制电源的两端，此时一般电阻为无穷大，否则接线可能有误（起动按钮 SB 应接成常开触点，而错接成常闭）或起动按钮 SB 的常开触点粘连而闭合；按下起动按钮 SB，此时如测得一电阻值（为 KM 线圈电阻），如电阻为零，说明有短路情况。



2) 用万用表检查主电路 断开总电源开关, 断开控制回路, 取下接触器 KM 的火弧罩, 将万用表拨到适当的电阻档。把万用表两测试棒分别接到三相主电路电源 L1-L2、L2-L3、L3-L1 之间。此时测的电阻应为无穷大, 若某次测的为零, 则说明所测的两相接线有短路; 用手或螺钉旋具按下接触器 KM 的触头架, 使 KM 的常开触点闭合, 重复上述测量, 此时测的电阻应为电动机 M1 两相绕组的阻值, 且三次测的结果应基本一致, 如有为零、无穷大或不一致的, 则应进一步的检查。可以一个一个连接点的检查, 直到找到故障点为止。

6. 检查是否存在机械故障

在许多电气设备中, 电器元件的动作是由机械来推动的, 或与机械构件有着密切的联动关系, 所以在检修电气故障的同时, 应检查、调整和排除机械部分的故障。

总之检查分析电设备故障的一般顺序和方法, 应按不同的故障情况灵活掌握, 力求迅速有效地找出故障点, 判明故障原因, 及时排除故障。在实际工作中, 每次排除故障后, 及时总结经验, 并作好维修记录。记录的内容可包括: 机床的名称、型号和编号, 故障发生的日期、故障现象、故障部位, 损坏的电器及故障原因, 修复措施及修复后的运行情况等。作为档案以备日后维修时参考。并通过对历次故障的分析和排除, 应采用一些有针对性的有效措施, 防止类似事故的再次发生。

第二节 车床的电气控制 (CA6140)

在金属切削机床中, 车床的比例最大。能车削外圆、内圆、端面、螺纹和定型表面。并可用钻头、绞刀、镗刀进行加工。卧式车床的结构示意图如图 11-1。主要由床身、主轴变速箱、进给箱、溜板箱、刀架和丝杠等构成。

一、控制电路 (如图 11-2 所示)

1) 主电动机 M1 的通电和断电由 KM1 主触点控制, 床鞍上绿色起动按钮 SB1, 红色按钮 SB2 和接触器 KM1 构成了电动机的

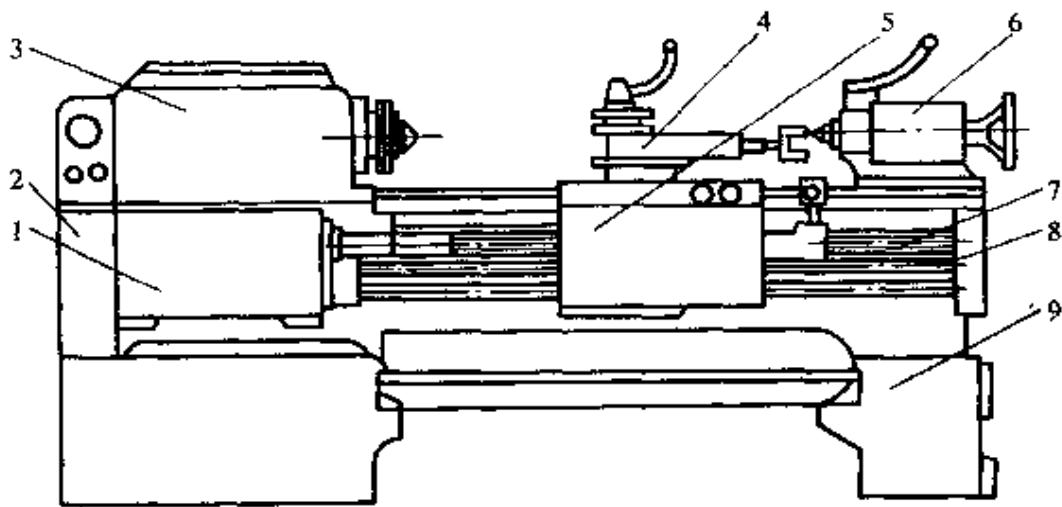


图 11-1 普通车床的结构示意图

1—进给箱 2—挂轮箱 3—主轴变速箱 4—溜板与刀架
5—溜板箱 6—尾架 7—丝杆 8—光杆 9—床身

单向连续运转起动—停止电路。正反转是由摩擦离合器改变传动链来实现的。

按下 SB1→KM1⁺ (KM1 自锁闭合) →KM1 主触点闭合→M 起动运行。

按下 SB2→KM1⁻ (KM1 自锁断开) →KM1 主触点断开→M 停止运行。

2) 开关 SA1 控制接触器 KM2 来实现冷却泵电动机 M2 的起动和停止。

3) 对快速电动机 M3 的操作时, 先将快慢速进给手柄扳到所需移动方向, 再按动 SB3 按钮, 即可实现该方向的快速移动(点动)。

4) 还有 EL 机床照明灯和 HL 信号灯。

二、保护环节

1) 带有开关锁 SA2 的断路器 QS 将三相电源引入, 当需合

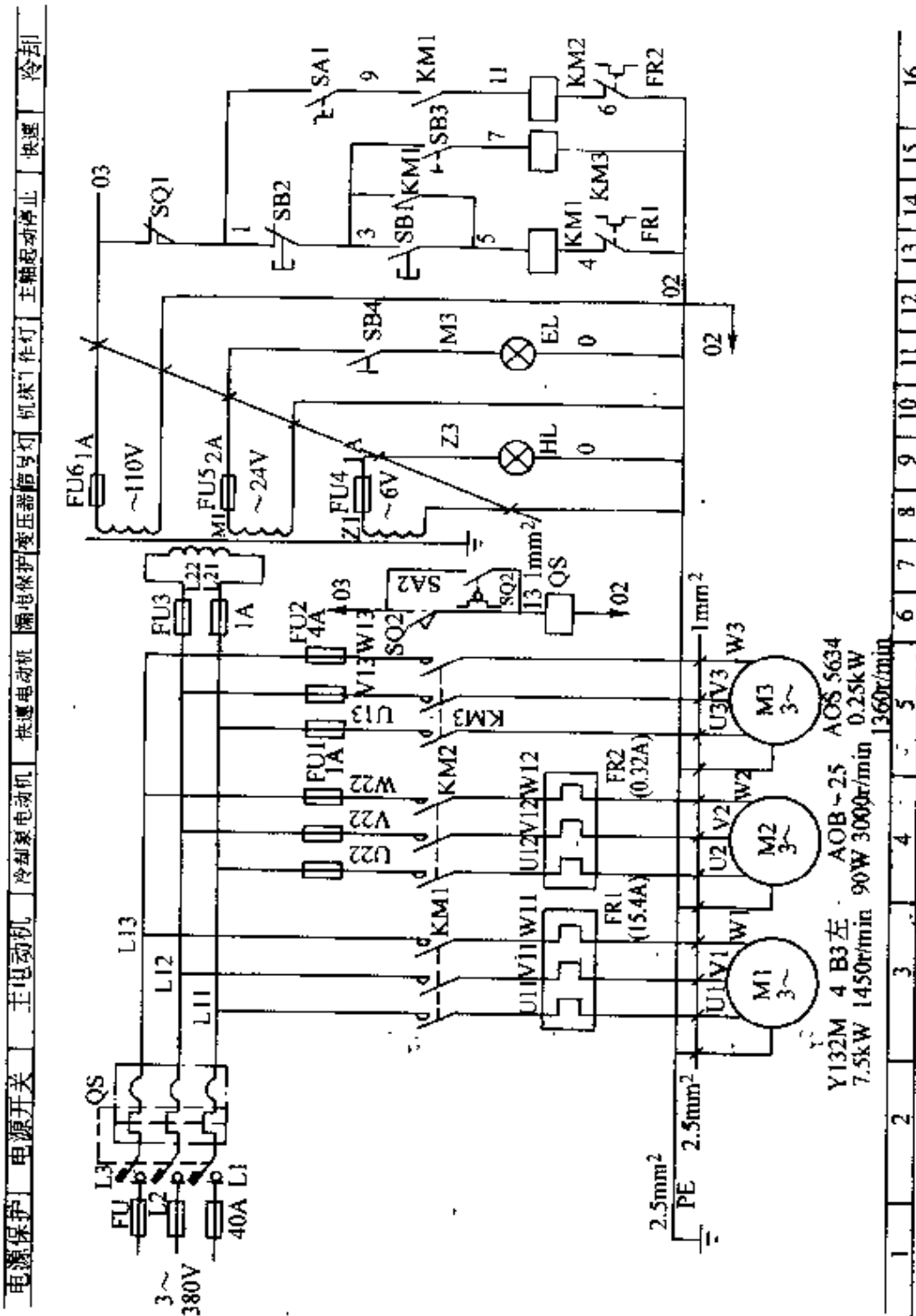


图 11-2 CA6140 普通车床电气控制电路图



上电源时，先用开关钥匙将开关锁 SA2 右旋，再扳动断路器 QS 将其合上，此时，电源送入主电路 380V 交流电压，并经控制变压器输出 110V 控制电压，24V 照明电压，6V 信号灯电压。

当将开关锁 SA2 左旋时，触点 SA2 (03—13) 闭合，QS 线圈通电，断路器 QS 跳开。若出现误操作，又将 QS 合上，QS 将在 0.1s 内再次自动跳闸。由于机床接通电源需使用钥匙开关，再合上开关，增加了安全性。

2) 在机床控制配电盘壁龛门上装有安全行程开关 SQ2，当打开配电盘壁龛门时，行程开关触头 SQ2 (03—13) 闭合，将使 QS 线圈通电，QS 断路器自动断开，切除机床电源，以确保人身安全。

3) 要机床床头皮带罩处设有安全开关 SQ1，当打开床头皮带罩，SQ1 (03—1) 断开，使接触器 KM1、KM2、KM3 线圈断电释放，电动机全部停止转动，以确保人身安全。

4) 为满足打开机床配电盘壁龛门进行带电检修的需要，可将 SQ2 开关传动杆拉出，使触点 SQ2 (03—13) 断开，此时 QS 线圈断电，QS 开关仍可合上。当检修完毕，关上壁龛门后，SQ2 开关传动杆复原，保护作用照常。

5) 电动机 M1、M2 由热继电器 FR1、FR2 实现电动机长期过载保护；短路器 QS 实现全电路的电流、欠电压、热保护；熔断器 FU、FU1 ~ FU6 实现各部分电路的短路保护。

第三节 磨床的电气控制 (M—7475B)

一、主要结构及特点

磨床是用砂轮对工件进行精加工的精密机床。有内圆磨床、外圆磨床、平面磨床、无心磨以及各种专用磨床等。磨床由床身、工作台、电磁吸盘、砂轮箱、滑座及立柱等部分组成，如图 11-3 所示。矩形工作台平面磨床工作图如图 11-4 所示。

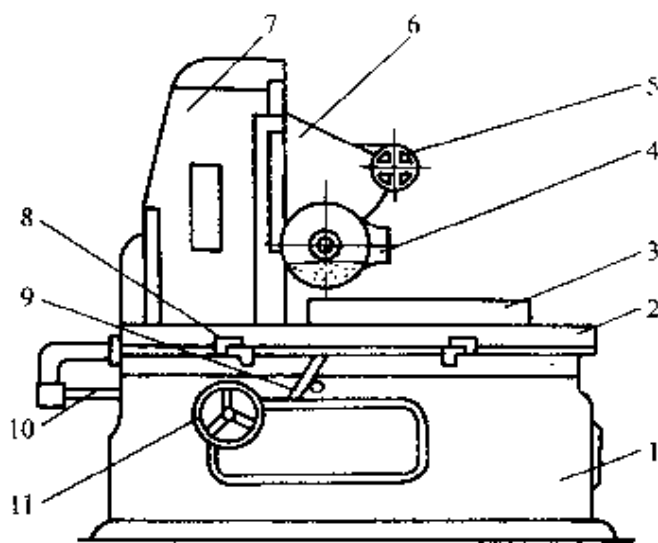


图 11-3 卧轴矩台平面磨床外形图

- 1—床身 2—工作台 3—电磁吸盘 4—砂轮箱
5—砂轮箱横向移动手轮 6—滑座 7—立柱
8—工作台换向撞块 9—工作台往复运动换向手柄
10—活塞杆 11—砂轮箱垂直进刀手轮

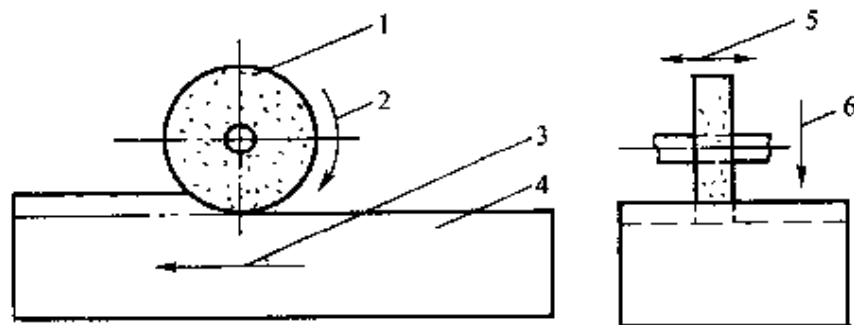


图 11-4 矩形工作台平面磨床工作图

- 1—砂轮 2—主运动 3—纵向进给运动
4—工作台 5—横向进给运动 6—垂直进给运动

磨床的特点是多电动机单独拖动，相互间存在简单的联锁、必要的信号和保护环节。

二、控制电路分析

控制电路如图 11-5 和 11-6 所示。

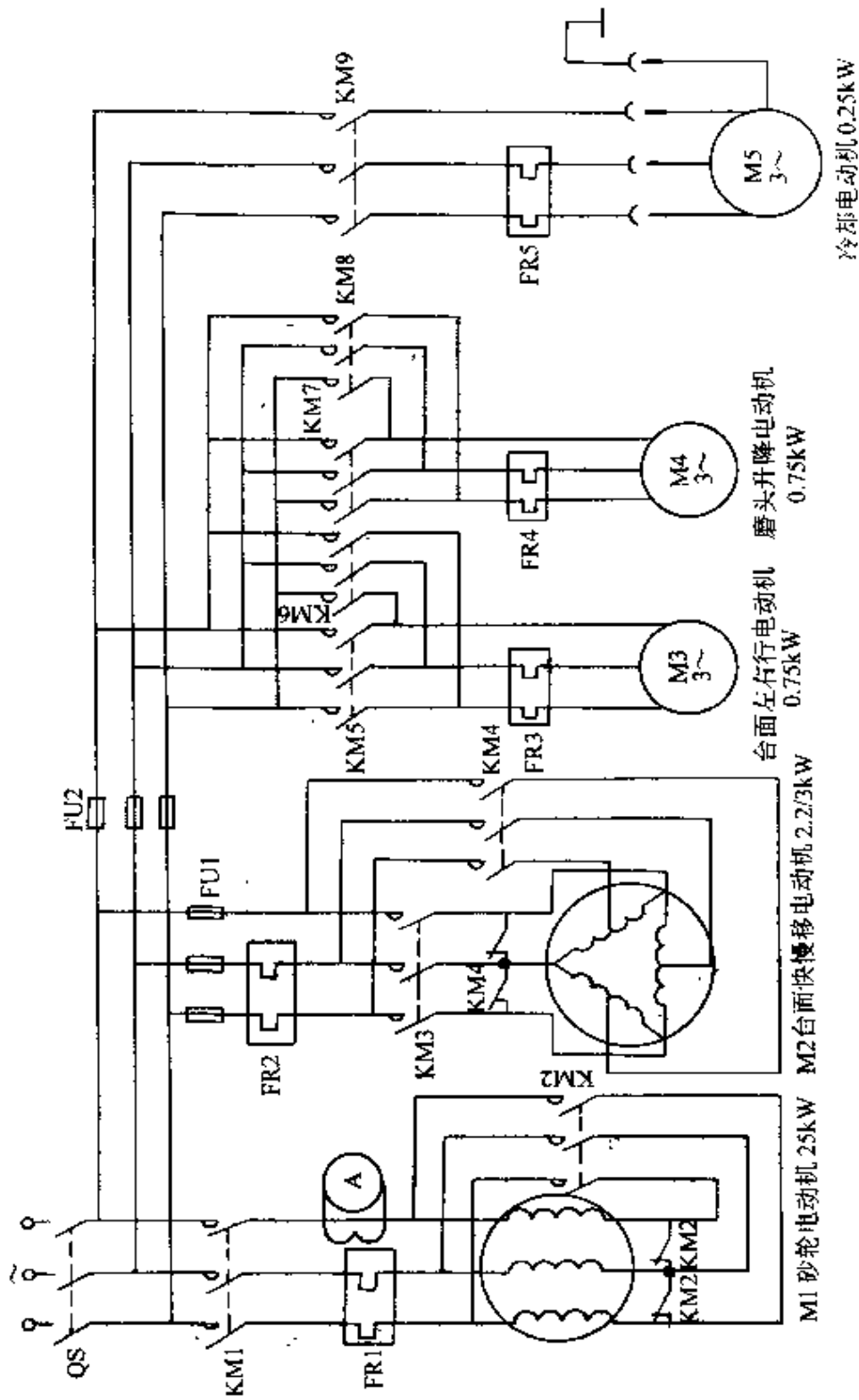


图 11-5 M-747SB 磨床的电气控制主电路图

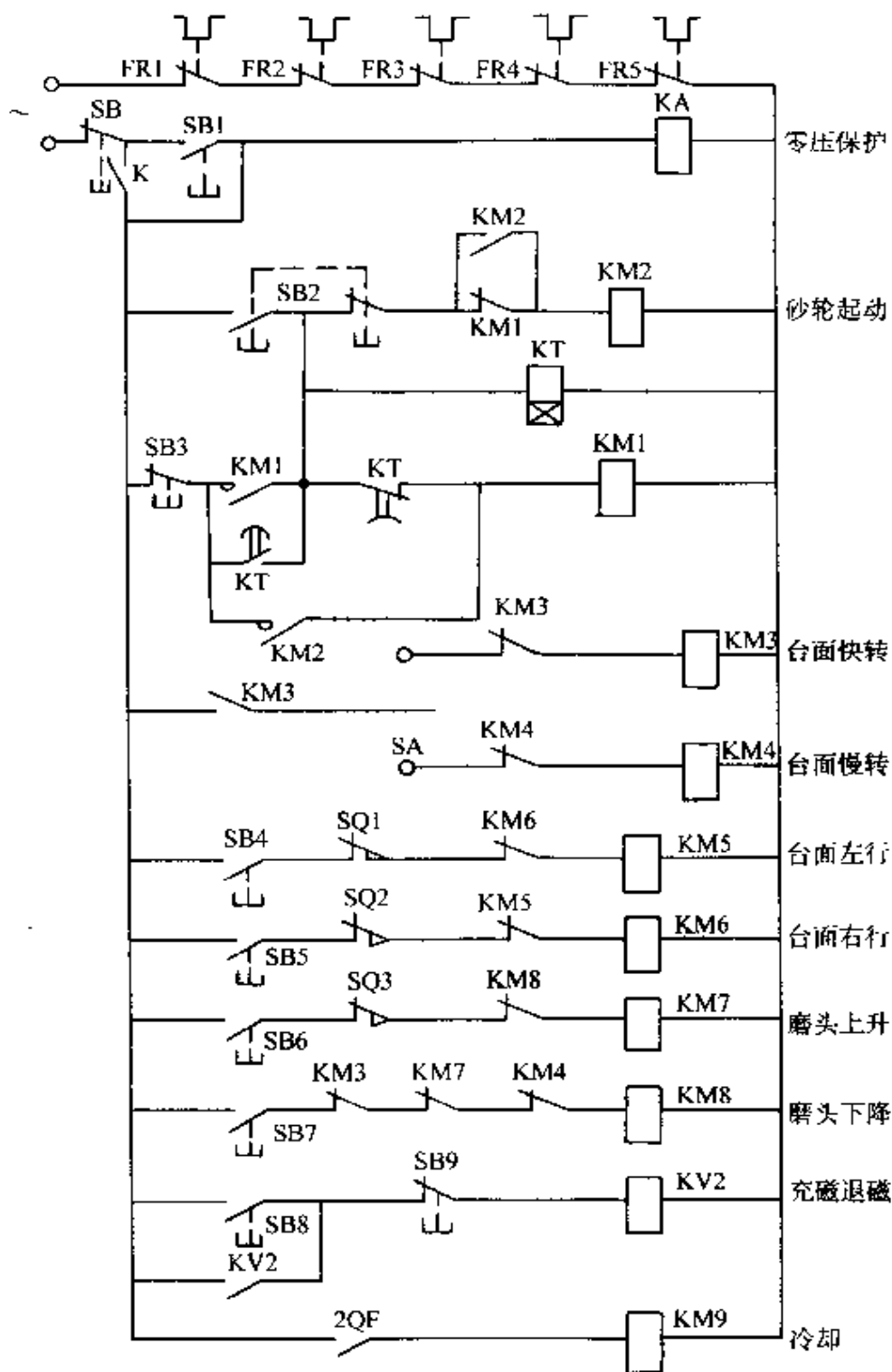


图 11-6 M-7475B 磨床的电气控制电路图



1) 平面磨床的快、慢转与冷却泵电动机是用手动开关操纵，为防止停止后再通电时发生自起动，电路设置了中间继电器 K 作零压保护。

按 SB1→K (自锁) →提供控制电源 (如果断电解除自锁切断控制电源，起零压保护作用)。

2) 砂轮电动机的起动，Y-△延时换接起动，利用接触器 KM2 的常闭主触点，将电动机绕组接成 Y 形，KM2 的常开主触点将电动机绕组接成△形。

具体步骤：按下 SB2，KM1 动作，禁止 KM2 动作。KM2 常闭主触点将绕组接成 Y 形，与此同时，KT 得电，其常闭延时触点延时断开，使 KM1 失电，但 KT 的常开延时闭合触点闭合，使 KT 仍得电，所以砂轮机以 Y 形起动若干秒后，因 KM1 失电而短时断电，KM2 则由 SB3、KT、SB2、KM1 通路得电并自锁，此时它的常开辅助触点闭合，使 KM1 再次通电，电动机以△接法运行。这种电动机 Y 形起动后短时停电，再转△形运行，可有效地防止两接触器的电弧引起的相间短路。

按 SB2→KM1⁺、KT⁺→M 接 Y 起动 (延时)→KM1⁻→KM2⁺→KM1⁺→M 以△运行

3) 任一台电动机过载，使相应热继电器动作都能切断控制电路电源，使各接触器断电，所有电动机停车，熔断器 FU1、FU2 作短路保护。由变压器提供局部照明及指示灯电源，限位开关 SQ1、SQ2、SQ3 控制台面左行、右行，磨头上升的极限位置，作限位保护。

4) 台面的快移与慢移用 SA 操纵。SA 接通 KM4，调速电动机接的每相绕组中两个线圈串线，Y 绕组呈两对磁极，电动机慢速旋转。若 SA 接通 KM3，电动机的每相绕组中两个线圈并联，绕组接成双星 (一对磁极)，电动机高速旋转。

5) 按钮 SB8 与 SB9 控制 KV2 的通与断，其触点去控制机床附件—晶体管的电磁吸盘，实现充磁与退磁。

6) SB4、SB5、SB6、SB7 分别控制台面左行、台面右行、磨



头上升、磨头下降。KM3、KM4 的常闭触点串接于 KM8 线圈电路中，可保证台面快、慢速时，磨头不能下降。台面左行与右行、磨头上升与下降间的互锁关系，读者可以自行理解。

第四节 摇臂钻床的电气控制 (Z-3040)

钻床是一种孔加工机床，可以钻孔、扩孔绞孔及攻螺纹等。从机床的结构型式可分为：立式钻床、卧式钻床、深孔钻床及多头钻床。而立式钻床中的摇臂钻床应用更广，在钻床中有一定的典型性。现以 Z-3040 摇臂钻床为例，如图 11-7 所示为摇臂钻床结构及运动示意图。

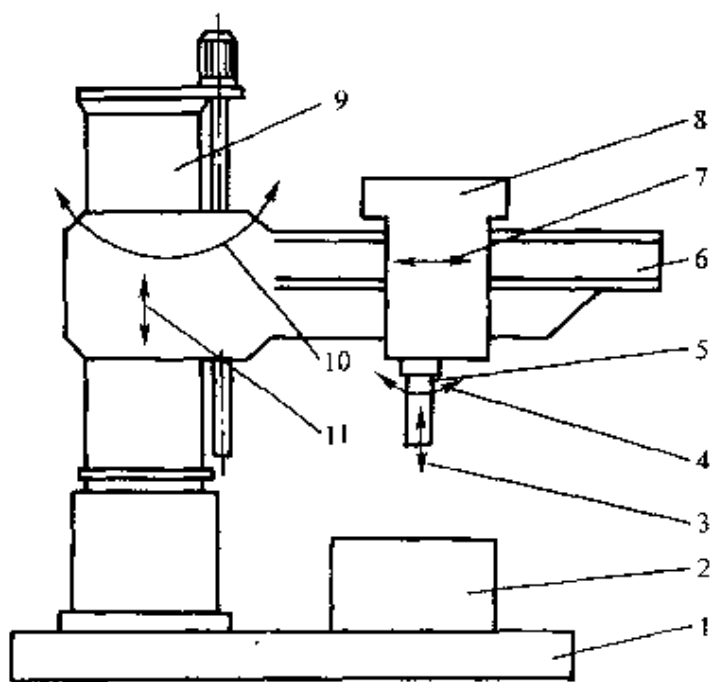


图 11-7 摇臂钻床结构及运动示意图

- 1—底座 2—工作台 3—主轴纵向进给
- 4—主轴旋转主运动 5—主轴 6—摇臂
- 7—主轴箱沿摇臂径向运动 8—主轴箱
- 9—内外立柱 10—摇臂回转运动
- 11—摇臂垂直移动



一、机床的主电路

机床总电源开关由组合开关 QS 控制，SA1 控制冷却电动机 M4，主电动机 M1、摇臂升降电动机 M2、液压泵电动机 M3 分别由按钮控制。FU1 作电源及主电动机短路保护用。FU2 对 M2、M3 电动机实行短路保护。主电动机 M1 及液压电动机 M3 需用热继电器保护。摇臂升降电动机因工作时间短，无过载可能，不设过载热保护。电路图如图 11-8 所示。

二、控制电路

电压分配：控制电路的电压为 110V，局部照明电源的电压为 36V，信号指示灯电压为 6.3V。

1. 主轴电动机的起停控制

起动：按下 SB2，KM1 得电，其主触点吸合，电路自锁，其辅助常开触点接通“主电动机在工作”的指示灯 HL3 亮，KM1 的主触头接通主拖动电动机电源，主电动机旋转。按 SB1，KM1 线圈失电，主触点释放，主电动机断电，停止工作，KM1 辅助触点断开，指示灯 HL3 熄灭。

2. 摇臂升降的控制

当摇臂升降指令发出后，先使摇臂松开，尔后摇臂上升或下降，待摇臂升降到位时，又重新夹紧。由于摇臂松开与夹紧是由液压系统实现的，所以摇臂升降控制须于夹紧机构液压系统紧密配合。

摇臂升降的起动：按下 SB3，KT 线圈通电，瞬时常开触点 KT (13-14) 闭合，KM4 线圈通电，由 KM4 控制的液压泵电动机 M3 旋转，液压泵送出压力油，同时常开延时断开触点 KT 使电磁阀 YV 通电动作，于是液压泵送出压力油经二位六通阀进入摇臂夹紧机构的松开油腔，推动活塞及菱形块，使摇臂松开，到位压动 SQ2 (6-13) 断开，SQ2 (6-7) 闭合，前者断开 KM4 线圈电路，液压泵电动机 M3 停止工作，液压泵停止供油，摇臂维持在松开状态；后者使 KM2 通电，升降电动机 M2 接通电源，带动摇臂上升。



当摇臂上升到所需位置时，松开点动按钮 SB3，KM2 与 KT 线圈同时断电，M2 电动机依惯性旋转，摇臂停止上升。而 KT 线圈断电其断电延时闭合触点 KT (17-18) 经延时 1 ~ 3s 后才闭合，断电延时断开触点 KT (1 ~ 17) 经延时后才断开。在 KT 断电延时的 1 ~ 3s 时间内 KM5 线圈仍处于断电状态，电磁阀 YV 仍处于通电状态。确保摇臂升降电动机 M2 在断开电源后到完全停止运转才开始摇臂的夹紧动作，所以 KT 延时长短依 M2 电动机切断电源至完全停止旋转的惯性大小来调整。

KT 断电延时时间到，触点 KT (17-18) 闭合，KM5 线圈通电吸合，液压泵电动机 M3 反向起动，拖动液压泵，供出压力油。同时触头 KT (1-17) 断开，电磁阀 YV 线圈断电，这时压力油经二位六通阀进入摇臂夹紧油腔，反方向推动活塞和菱形块，将摇臂夹紧。同时，活塞杆通过弹簧片压下行程开关 SQ3，使触头 SQ3 (1-17) 断开，KM5 线圈断电，M3 停止旋转，摇臂夹紧完成。SQ3 为摇臂夹紧信号开关。

摇臂升降中各器件的作用：极限保护开关由 SQ1 来实现。检查摇臂自动夹紧程度由 SQ3 控制。时间继电器 KT 为保证升降电动机断电后完全停止。即摇臂升降完全结束，才能夹紧摇臂限位开关 SQ1 作摇臂升降的限位保护。

3. 主轴箱与立柱的夹紧与放松

主轴箱与立柱的夹紧与放松是同时进行的，操作过程：当按下 SB5 (或 SB6)，KM4 (或 KM5) 线圈通电，触点闭合。液压泵电动机 M3 正转 (反转)，推动活塞和菱形块 (电磁阀 YV 处于断电状态)，使立柱与主轴箱分别松开 (夹紧)，而由于电磁阀 YV 处于断电状态，压力油不会进入摇臂松开油腔，摇臂仍处于加紧状态。当立柱与主轴箱分别松开 (夹紧)，行程开关 SQ4 在松开时复位 (夹紧时动作)，触头 SQ4 (101-102) 闭合 (夹紧时 (101-103) 闭合)，指示灯 HL1 (HL2) 亮，表示主轴箱与立柱已松开 (已夹紧)。也可以手动操作主轴箱在摇臂的水平导轨上移动。



三、摇臂钻床的电气控制特点

- 1) 摇臂钻床运动部件较多，为简化传动装置，采用多电动机拖动。
- 2) 摇臂钻床主轴正反转采用机械方法来实现。
- 3) 摇臂的移动严格按照摇臂松开→移动→摇臂夹紧的程序进行。因此，摇臂夹紧放松与摇臂升降按自动控制进行。
- 4) 主轴箱与立柱的夹紧与放松、内外立柱的夹紧与放松采用液压装置来完成，由液压泵电动机，拖动液压泵供出压力油来实现。
- 5) 具有相应的联锁和保护环节。

第五节 铣床的电气控制 (X62W)

铣床主要是用于加工零件的平面、斜面、沟槽等型面的机床，装上分度头以后，可以加工齿轮或螺旋面，装上回转圆工作台则可以加工凸轮和弧形槽。铣床用途广泛，在金属切削机床中使用数量仅次于车床。有卧铣、立铣、龙门铣、仿形铣以及各种专用铣床。X62W 万能升降台铣床结构如图 11-9 所示。主要由底座、床身、悬梁、刀杆、支架、工作台、溜板和升降台等部分组成。控制电路（如图 11-10 所示）。

一、主电路分析

M1 为主轴拖动电动机。M1 由 KM1 控制，由转向选择开关 SA3 预选转向。M2 为工作台进给拖动电动机。M2 由接触器 KM3、KM4 的主触点进行正反转控制。由电磁铁 YC2、YC3 决定工作台移动速度，KM2 接通为快速，断开为慢速。M3 为冷却泵拖动电动机。M3 由手动开关 QS2 控制。FU1 是三台电动机共有的短路保护，FR1、FR2、FR3 分别为电动机 M1、M2、M3 的过载保护。

二、主轴电动机控制电路分析

为操作方便，采用两地控制方式，有两组起动按钮 SB1、SB2 并联，两组停止按钮 SB5-1 和 SB6-1 串联。YC1 是主制动用



的电磁离合器，SQ1 位置开关用作主轴变速冲动开关，SA1-2 为换刀制动开关。

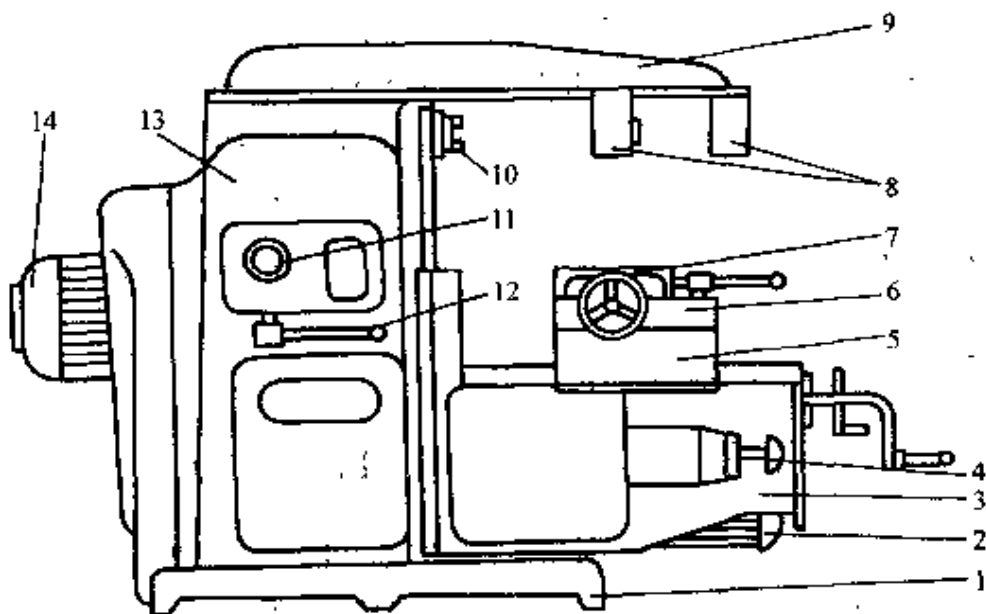


图 11-9 X 62W 卧式万能升降台铣床结构

- 1—底座 2—进给电动机 3—升降台
4—进给变速手柄及变速盘 5—溜板 6—转动部分 7—工作台
8—刀杆支架 9—悬梁 10—主轴 11—主轴变速盘
12—主轴变速手柄 13—床身 14—主轴电动机

1. 主轴起动控制

按下 SB1 或 SB2 → KM1⁺ (自锁) → M1 直接起动。

2. 主轴停止控制

按下 SB5-1 或 SB6-1 → KM1 → M1 断电 → SB5-2 或 SB6-2 闭合 → YC1⁺ → M1 制动 → 放松 SB5-1 或 SB6-1 → SB5-2 或 SB6-2 复位 → YC1⁻，制动结束。(SB5-1 和 SB5-2; SB6-1 和 SB6-2 为联动按钮)。

3. 主轴变速控制

通过冲动变速手柄退回原位，短时压动行程开关 SQ1-2 先断开(切断 KM1 控制电路) → SQ1-1 闭合 → KM1⁺ → M1 起动 → (带动

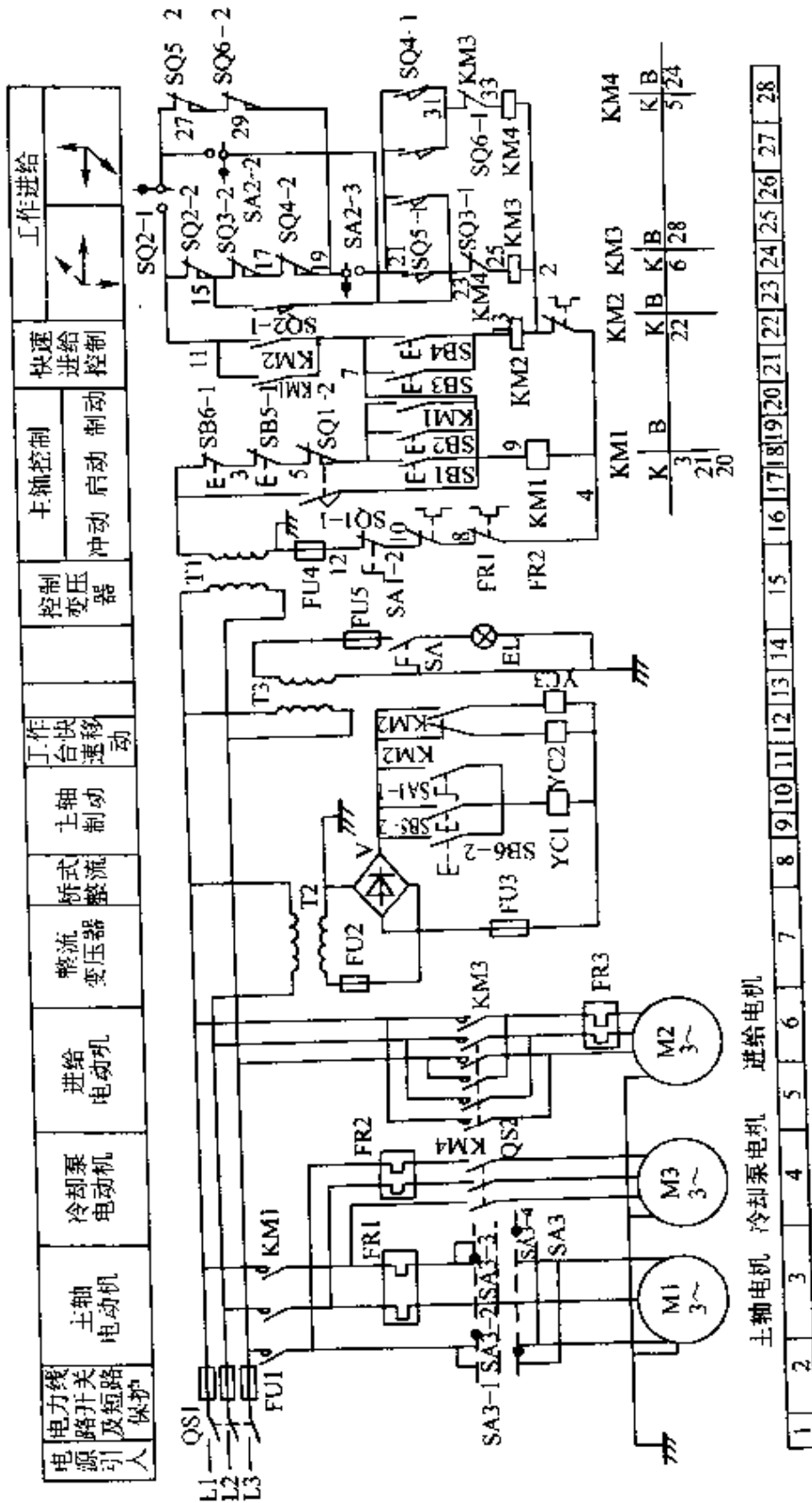


图 11-10 X62W 万能升降铣床电气控制电路图



机械凸轮放开弹簧杆，使 SQ1-1、SQ1-2 复位) → KM1 → M1 停止。M1 短时冲动一下，而使传动齿轮顺利啮合。主轴变速冲动联锁控制示意图如图 11-11 所示。

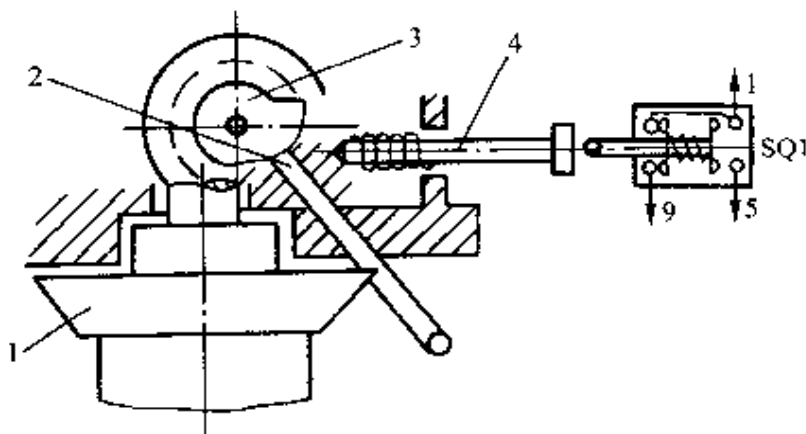


图 11-11 主轴变速冲动联锁控制示意图

1—变速盘 2—变速手柄 3—凸轮 4—弹簧杆

4. 主轴换刀制动

将 SA1 拨向换刀位置 → SA1-1 闭合 → YC1⁺ → M1 制动，克服了主轴自由转动；SA1-2 断开 → 切断了 M1 的控制电路，确保人身安全。

三、工作台移动控制

工作台移动有六个方向，即纵向（左、右）、横向（前、后）、垂直方向（上、下）。控制电路的电源是从 7 点引出，串入了 KM1 的自锁触点，以保证主轴旋转与工作台进给的联锁要求。进给电动机 M2 由 KM3、KM4 控制，实现正反转。工作台移动方向由各自的操作手柄来选择。

1. 工作台左右（纵向）移动

工作台纵向进给是由纵向操作手柄控制的，此手柄有左和右两个位置，各位置对应的限位开关 SQ5 和 SQ6。

(1) 工作台向右移动 将操作手柄扳向右边，压下限位开关 SQ5，同时将电动机传动链和左、右移动丝杆相连，电动机正



转，工作台向右移动。

按下 SB1 或 SB2 起动主轴后，KM1 常开闭合接通 7 和 11，提供了进给控制电源。将操作手柄扳向右边→压下位置开关 SQ5→SQ5-1 常开闭合（SQ5-2 常闭断开）→KM3⁺→M2 正转→工作台右移→当进给达到预定位置→手柄和工作台上挡块相碰，手柄恢复零位→SQ5-1 恢复常开→KM3⁻→M2 停止向右工作进给。

(2) 工作台向左移动 控制及操作过程和向右进给相似，将操作手柄扳向左边→压下限位开关 SQ6→SQ6-1 常开闭合（SQ6-2 常闭断开）→KM4⁺→M2 反转→工作台左移→当进给达到预定位置→手柄和工作台上挡块相碰，手柄恢复零位→SQ6-1 恢复常开→KM4⁻→M2 停止向左工作进给。

2. 工作台横向（前后）和升降（上下）进给控制

工作台四个方向的移动是通过一个十字复式操纵手柄来控制的。该手柄有五个位置，即上、下、前、后和中间零位。在扳动十字操纵手柄的时候，通过联动机构，将控制运动方向的机械离合器合上，同时压下相应的行程开关 SQ3 和 SQ4。

工作台向前工进的条件：主轴电动机 M1 先起动，纵向手柄置于零位。将操作手柄扳到向前位置，压下位置开关 SQ3，机械传动方向必需同时通过机构将电动机 M2 传动链和溜板下面丝杆相连电动机正转，工作台向前进给。

(1) 工作台向前运动 将十字手柄扳向前→压下 SQ3→SQ3-1 常开闭合→KM3⁺→M2 正转→工作台向前移动，当进给达到预定位置→手柄和工作台上挡块相碰，手柄恢复零位→SQ3-1 恢复常开→KM3⁻→M2 停止向前工作进给。

(2) 工作台向后运动 控制过程与向前类似，只需将十字手柄扳向后，则 SQ4 被压下，KM4 线圈得电，M2 反转，工作台向后运动，电气控制与向前一样。

(3) 工作台向上运动 工作台向上工进的条件和向前一样，机械传动部分和向下移动一样，只是将十字手柄扳向上→压下 SQ4→SQ4-1 常开闭合→KM4⁺→M2 反转→工作台向上运动→移



动到预定位置→手柄边杆和导轨上的档块相碰，手柄恢复中间位置放松 SQ4→SQ4-1 常开复位→KM4⁻→M2 停止向前工作进给。

(4) 工作台向下运动 向下工进的条件与向前一样，只是要将十字手柄扳向下位置，压住 SQ3，则 KM3 线圈得电，使 M2 正转即可，其控制过程与上升类似。

3. 工作台快速移动

每个方向的移动都有两种速度，上面介绍的六个方向的进给都是慢速移动。需要快速移动时，但必须在主轴停车后进行。先由手柄决定移动方向。按下 SB3 或 SB4，则 KM2 得电吸合，快速电磁铁 YC3 通电，工作台快速移动。快速移动为点动，放松 SB3 或 SB4，快速移动停止。

4. 进给变速冲动控制

进给变速冲动在铣削加工时，若需要改变进给速度时，将变速盘往外拉，进给齿轮松开，选择好速度时，将变速盘往里推，此时挡块压住 SQ2 位置开关，进给电动机起动。

压住 SQ2→SQ2-1 常开闭合→KM3⁺→KM3 主触点闭合(KM3 常闭断开)→M2 反转控制电路→电动机刚一起动，SQ2 就复位放松→SQ2-1 恢复常闭→KM3⁻→电动机 M2 停止转动，这样一来齿轮产生了一次抖动，使齿轮顺利啮合。

5. 圆工作台控制

万能铣床设置了圆工作台，将圆工作台安装在工作台上，可加工螺旋槽、弧形面等，在使用圆工作台时，所有进给系统不能动，只让圆工作台绕轴心回转。

SA2 置于圆工作台→(SA2-1 和 SA2-3 断开)SA2-2 闭合，起动圆工作台控制电路。路径为：电源→SQ2-2→SQ3-2→SQ4-2→SQ6-2→SQ5-2→SA2-2→KM4 常闭→KM3 线圈→电源。KM3⁺→电动机 M2 正转使圆工作台绕轴心回转。

圆工作台开动时，其余进给一律不准拖动，两个进给手柄必须放在零位。若扳动其中一个，则必然使 SQ3 ~ SQ6 中的任意一个被压断开触点，使电动机停止转动，圆工作台从而得到保护。



四、X62W 万能铣床电气控制电路特点

- 1) 电气控制电路与机械紧密配合，因此分析中要详细了解机械结构与电气控制的关系。
- 2) 运动速度的调整主要是通过机械的方法，因此简化了电气控制系统中的调节器速控制电路，但机械结构就相对比较复杂。
- 3) 控制电路中设置了变速冲动控制，从而使变速能顺利进行。
- 4) 采用两地控制方式，操作方便。
- 5) 具有完善的电气联锁，并且有短路、零压、过载及超行程限位保护环节，工作可靠。

五、X62W 万能铣床电器元件明细

电路中元件名称及作用见表 11-1。

表 11-1 X 62W 万能铣床电器元件名称及作用

| 符 号 | 元件名称 | 型号 | 规格 | 件数 | 作用 |
|-----|------|-----------|-------------------|----|--------------|
| M1 | 电动机 | JO2-51-4 | 7.5 kW 1450r/min | 1 | 驱动主轴 |
| M2 | 电动机 | JO2-22-4 | 1.5kW 1410r/min | 1 | 驱动进给 |
| M3 | 电动机 | JCB-22 | 0.125kW 2790r/min | 1 | 驱动冷却泵 |
| QS1 | 开关 | HZ1-60/3J | 60A 500V | 1 | 电源总开关 |
| QS2 | 开关 | HZ1-10/3J | 10A 500V | 1 | 冷却泵开关 |
| SA1 | 开关 | HZ1-10/3J | 10A 500V | 1 | 换刀开关 |
| SA2 | 开关 | HZ1-10/3J | 10A 500V | 1 | 圆工作台 转换开关 |
| SA3 | 开关 | HZ3-133 | 60A 500V | 1 | M1 换相开关 |
| FU1 | 熔断器 | RL1-60 | 60A | 3 | 电源总保险 |
| FU2 | 熔断器 | RL1-15 | 5A | 1 | 整流电路保护 |
| FU3 | 熔断器 | RL1-15 | 5A | 1 | 直流电路保护 |
| FU4 | 熔断器 | RL1-15 | 5A | 1 | 控制回路保护 |
| FU5 | 熔断器 | RL1-15 | 1A | 1 | 照明保护 |



(续)

| 符 号 | 元件名称 | 型号 | 规格 | 件数 | 作用 |
|---------|-------|----------|----------|----|-------------------|
| FR1 | 热继电器 | JRO-60/3 | 16A | 1 | 主轴电动机 M1 过载保护 |
| FR2 | 热继电器 | JRO-60/3 | 0.5A | 1 | 冷却泵电动机 M3 过载保护 |
| FR3 | 热继电器 | JRO-60/3 | 1.5 | | 进给电动机 M2 过载保护 |
| T1 | 变压器 | BK-50 | 380/24V | 1 | 照明电源 |
| T2 | 变压器 | BK-100 | 380/36V | 1 | 整流电源 |
| TC | 变压器 | BK-150 | 380/110V | 1 | 控制回路电源 |
| VC | 整流器 | 4X2ZC | | 1 | 整流器 |
| KM1 | 接触器 | CJO-20 | 20A 110V | 1 | 主轴电动机起动 |
| KM2 | 接触器 | CJO-10 | 10A 110V | 1 | 快速进给 |
| KM1 | 接触器 | CJO-10 | 10A 110V | 1 | M2 正转 |
| KM1 | 接触器 | CJO-10 | 10A 110V | 1 | M2 反转 |
| SB1、SB2 | 按钮 | LA2 | | 2 | M1 起动 |
| SB3、SB4 | 按钮 | LA2 | | 2 | 快速进给点动 |
| SB5、SB6 | 按钮 | LA2 | | 2 | 停止、制动 |
| YC1 | 电磁离合器 | | | 1 | 主轴制动 |
| YC2 | 电磁离合器 | | | 1 | 正常进给 |
| YC3 | 电磁离合器 | | | 1 | 快速进给 |
| SQ1 | 行程开关 | LX1-11K | | 1 | 主轴变速 冲动开关 |
| SQ2 | 行程开关 | LX3-11K | | 1 | 进给变速 冲动开关 |
| SQ3 | 行程开关 | LX2-11K | | 1 | 工作台向前进给 |
| SQ4 | 行程开关 | LX2-11K | | 1 | 工作台向上进给 |
| SQ5 | 行程开关 | LX2-11K | | 1 | 工作台向右进给 |
| SQ6 | 行程开关 | LX2-11K | | 1 | 工作台向左进给 |



第六节 桥式起重机的电气控制

起重机是专门用来起吊短距离搬移重物的一种生产机械，通常也称为吊车或天车。它广泛应用于工矿企业、车站、港口、仓库及建筑工地等场所。

一、桥式起重机的结构及运行情况

桥式起重机一般用在车间内部或露天装卸场所。桥式起重机总体结构示意图如图 11-12 所示。由横跨车间并沿车间长度铺设的轨道上纵向移动的桥架（俗称大车）、沿桥架上轨道横向移动的引车（俗称小车）以及装在引车上的起升机构组成。

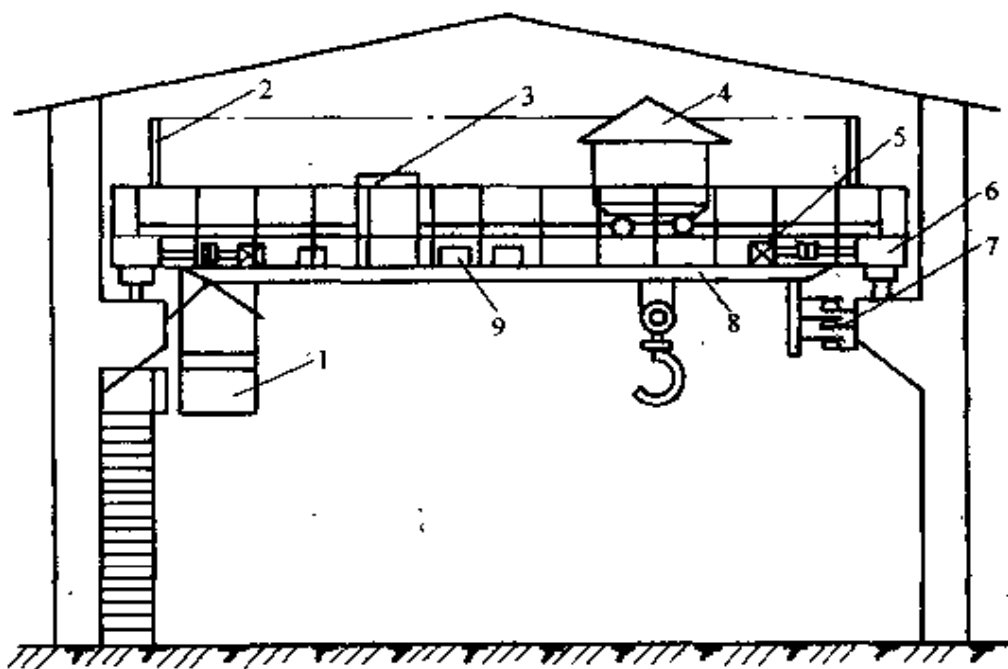


图 11-12 桥式起重机总体结构示意图

- 1—驾驶室 2—辅助滑线架 3—控制盘 4—小车
5—大车电动机 6—大车端梁 7—主滑线 8—大车主梁 9—电阻箱

运动形式有大车拖动电动机的前后运动；小车拖动电动机驱动的左右以及由提升电动机驱动的重物升降运动。每种运动都要有极限位置保护。



二、桥式起重机对电力拖动和电气控制的要求

工作条件十分恶劣，其工作负载属于短时重复工作制。要求电动机能频繁起动、制动、调速、反向，同时能承受较大的过载和机械冲击。为此，专门设计了起重用电动机，它分为交流和直流两种。交流电动机一般用在中小型起重机上，直流电动机一般用在大型起重机上。为提高起重机的效率及可靠性，对提升机构、电力拖动与制动控制有如下要求：

1) 空载能快速升降，以减少辅助工时，轻载的提升速度应大于额定负载时的提升速度。

2) 应具有一定的调速范围，对普通的起重机调速范围一般为2~3；要求较高的地方可达到2~10。

3) 提升开始时或重物接近预定位置时，都需要低速运行，所以速度应分为几档，以便灵活操作。

4) 提升第一挡的作用是为了消除传动间隙，使钢丝张紧，为避免过大的机械冲击，这一挡电动机的起动转矩不能过大，一般限制在额定转矩的一半以下。

5) 在负载下降时，拖动电动机发出的转矩，可以是电动的或是制动的，两者之间的转换是自动进行的。

6) 为确保安全，要采用电气和机械双重制动，既可减小机械抱闸的磨损，又可防止突然断电而使重物自由下落造成设备和人身事故。由于起重机使用很广泛，所以控制设备已趋标准。根据拖动电动机容量的大小，常用的控制方式有两种：一是采用凸轮控制器直接控制电动机的起停、正反转、调速和制动，这种控制方式由于受到控制器触点容量的限制，故只适用于中小容量起重电动机的控制；另一种采用主令控制器与磁力控制屏配合的控制方式，适用于容量较大、调速要求较高的起重电动机和工作十分繁重的起重机。

三、凸轮控制器控制电路

凸轮控制器控制电路具有电路简单，维护方便，价格便宜等优点，普遍用于中小型的平移机构和小型提升机构电动机的控

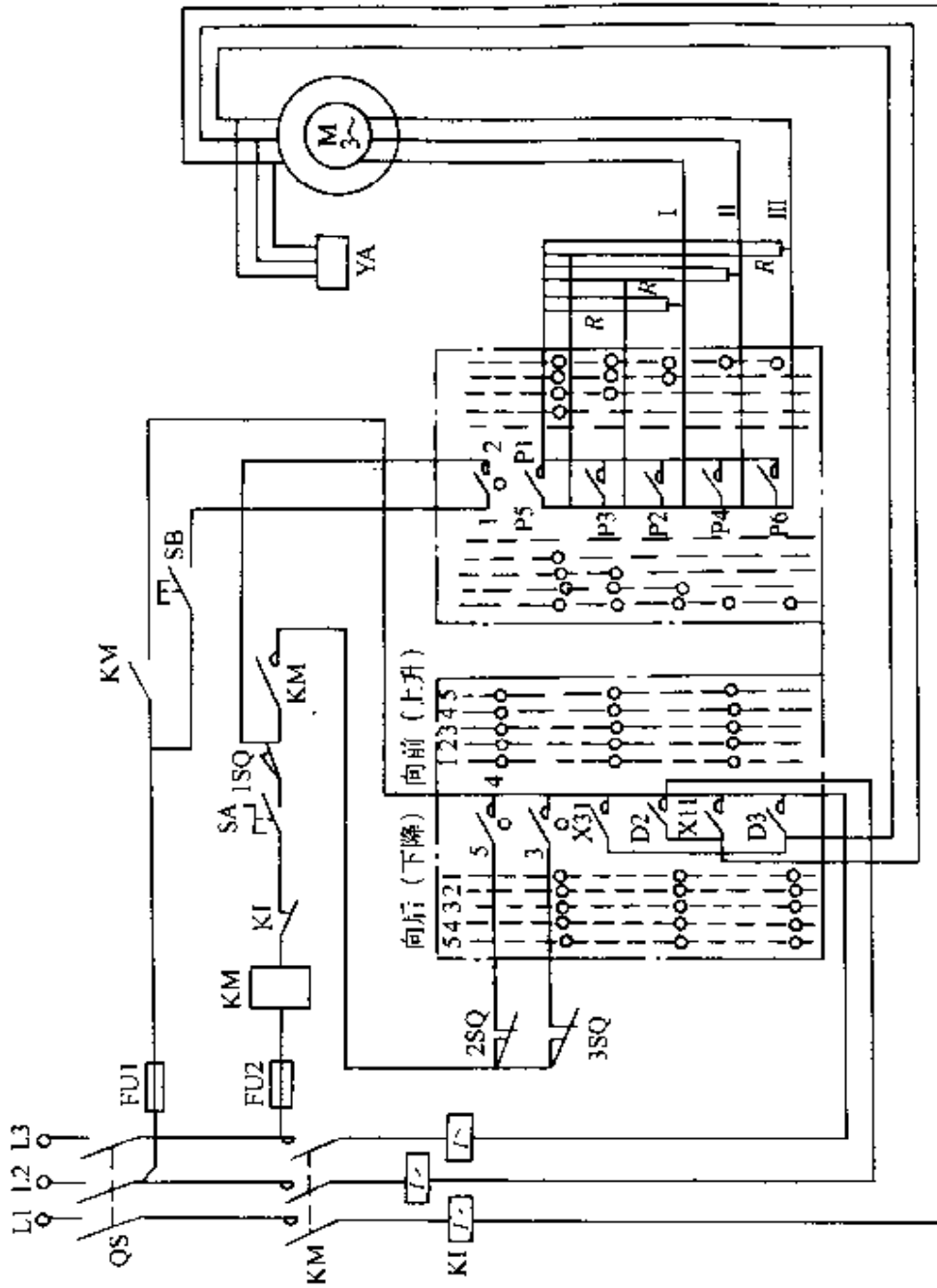


图 11-13 凸轮控制器电气控制电路图

制。如图 11-13 所示是用凸轮控制器直接控制起重机平移或提升机构的起停、正反转、调速与制动的电路原理图。

1. 控制电路特点

1) 采用了可逆对称控制方式，凸轮控制左右各有五个控制位置，采用对称接法，即左右对应正反转的各控制位置，电动机工作情况完全相同，区别仅在于电源进线两相互换。

2) 被控制的绕线式异步电动机转子串接不对称电阻，以减少转子电阻的段数及触头的数目。

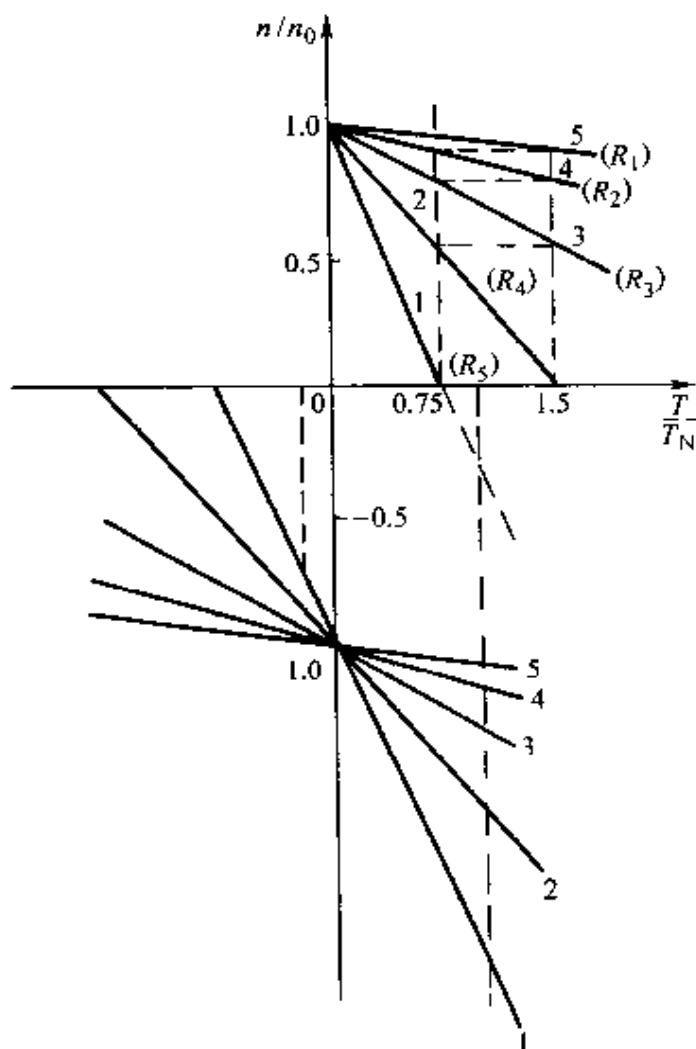


图 11-14 凸轮控制器控制的电动机机械特性



3) 用于控制提升机构电动机时,提升与下放重物,电动机处于不同的工作状态。提升重物时,控制器的第一挡为预备级,用于张紧钢丝绳,在二、三、四、五挡时提升速度逐渐提高。下放重物时,由于负载较重,电动机工作在发电制动状态,为此下降时应将控制器从零位迅速扳至第五挡,中间不允许停留。往回操作时应从下降第五挡快速扳至零位,以免引起重物的高速下落而造成事故。对于轻载提升,第一挡为起动力,第二、三、四、五挡提升速度逐渐提高,但提升速度变化不大。下降时若吊物太轻,不足以克服摩擦转矩时,电动机工作在强力下降状态,即电磁转矩和重物力矩方向一致帮助下降。见图 11-14 为凸轮控制器控制的电动机机械特性。从特性曲线上工作点的变化,也能充分反映其控制特点。

从上述分析可知,该控制电路不能获得或轻载的低速下降。在下降操作中需要准确定位时(如装配中),可采用点动操作方式,即控制器手柄扳至下降第一挡后立即扳回零位,经多次点动,并配合电磁抱闸便能实现准确定位。

2. 控制电路分析

(1) 主电路分析 QS 为电源开关, KI 为过电流继电器,用于过载保护, YA 为三相电制动抱闸电磁铁, YA 断电时,在强力弹簧作用下制动器抱闸紧紧抱住电动机转轴进行制动; YA 通电时,电磁铁吸动抱闸使之松开。电动机转子回路串入了几段三相不对称调速电阻。在控制器的不同控制位置,凸轮控制器控制转子各相电路接入不同的电阻,以得到不同的转速,实现一定范围的调速。在电动机的定子与转子回路中共同使用了凸轮控制器的九对触点,其中四对触点用于定子回路电源的倒相控制,五对触点接在转子回路中,用于转子电阻的接入与切除以实现调速。电动机定子回路的三相电源线中的一相直接引入,其他两相经凸轮控制器控制,由图 11-13 可知,当控制器手柄位于左边 1~5 挡或位于右边 1~5 挡的区别是两相电源位置更换,实现正转与反转控制目的。电磁制动器 YA 与电动机同时得电或失电,从而实现



停电制动的目的。凸轮控制器操作手柄使电动机定子和转子电路同时处在左边或右边对应挡控制位置。左右边 1~5 挡转子回路接线完全一样。当操作手柄处于第一挡时,由图 11-13 可知,各对触点都不接通,转子电路电阻全部接入,电动机转速最低。而处在第五挡时,五对触点全部接通转子电路电阻全部短接,电动机转速最高。由此可见,凸轮控制器控制触点串联在电动机的定子、转子回路中,用来直接控制电动机的工作状态。

(2) 控制电路分析 凸轮控制器的另外三对触点串联在接触器 KM 的控制回路中,当操作手柄处于零位时,触点 1-2、3-4、4-5 接通,此时若按下 SB,则接触器得电吸合并自锁,电源接通路是: FU2→KM→KI→SA→1SQ→1-2→SB→FU1; 自锁路径是: KM 的常开触点→2SS/3SQ→4-5 或 4-3→KM 的常开触点→2-1。电路图整理之后如图 11-15 所示,电动机运行状态由凸轮控制器控制。

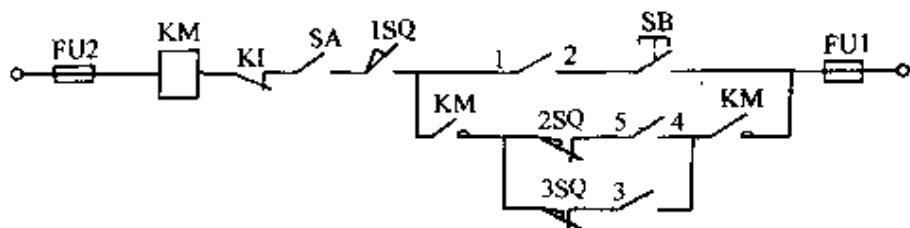


图 11-15 凸轮控制器局部电气控制电路图

(3) 保护连锁环节分析 本控制电路有过流、失压、短路、安全门极限位置及紧急操作等保护环节。其中主电路的过电流保护由串接在主电路中的过电流继电器来实现,其控制触点串接在接触器 KM 的控制回路中,一旦发生过电流,KA 动作, KM 释放而切断控制回路电源,起重机便停止工作。由接触器辅助触点 KM 来实现失压保护。操作中一旦断电,接触器释放,必须将操作手柄扳回零位,并重新按起动按钮方能工作。控制电路的短路保护是由 FU 实现的,串联在控制电路中的 SA、1SQ、2SQ、3SQ 分别是紧急操作、安全门开关的提升机构上极限位置与下极限位



置保护开关。

第七节 电力变压器绕线机控制电路

一、绕线机的工作原理及功能

输配电网中使用的电力变压器为三相变压器，其三相绕组使用专用的绕线机绕制。在实际生产中需要将变压器铁心固定在绕线机上，依次将变压器三相绕组绕制完成。根据实际生产的工艺要求，绕线机要能实现以下功能：

1) 主电动机 M1 拖动线圈齿轮转动的传动过程如图 11-16 所示。主电动机 M1 通过减速器，带动主动齿轮转动，主动齿轮再带动与其啮合的从动齿轮转动。其中从动齿轮和线圈骨架做成一体成两半套在铁心上，并可以绕铁心转动，以实现在骨架上绕制线圈。生产中要求主电动机 M1 能实现正、反转，并根据线圈导线的粗细，要求主电动机可以实现调速，以改变线圈绕制速度。三相电动机使用变频器实现调速。

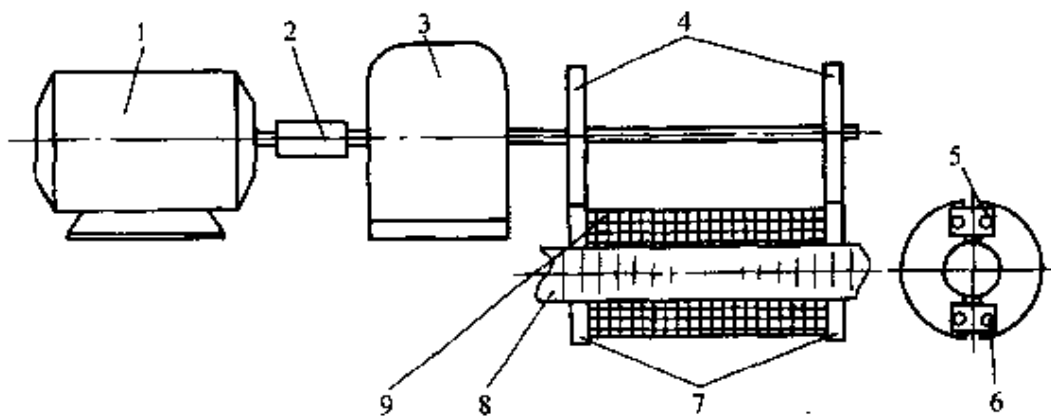


图 11-16 线圈骨架转动的传动过程

1—主电动机 2—联轴器 3—减速器 4—主动齿轮
5—连接片 6—紧固螺钉 7—从动齿轮 8—铁心 9—线圈

2) 变压器铁心使用机械装置固定在上、下移动的小车上。绕制线圈前上、下移动小车使装在铁心上的线圈骨架的从动齿轮和主动齿轮啮合。小车由三相电动机 M2 拖动实现上、下行，并



且具有上、下限位控制。

3) 线圈绕满一层需加层间绝缘, 此时使用液压装置压紧线圈骨架, 同时切断主电动机 M1 和小车电动机 M2 的控制电路, 以防止在加层间绝缘时误操作发生事故。液压装置由三相异步电动机 M3 拖动液压泵加压, 其压紧和放松通过液压控制实现。

4) 绕线机起动时要求液压泵电动机 M3 先起动, 才能起动主电动机和小车电动机, 主电动机要求用脚踏开关实现正、反转控制。

5) 整个电气控制电路要求对电气设备有短路保护, 对电动机有过载保护。

二、绕线机控制电路

1. 主电路

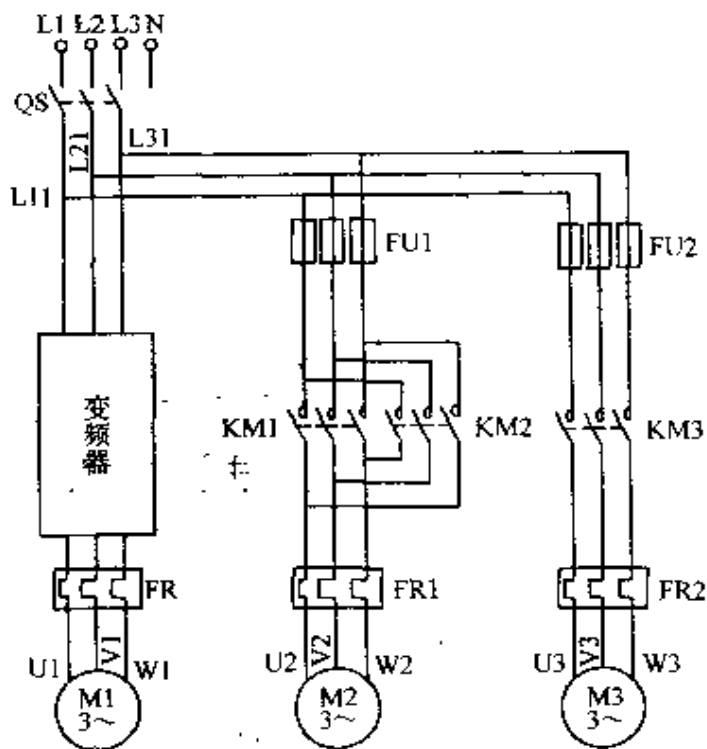


图 11-17 绕线机主电路图



主电路如图 11-17 所示。三极带漏电保护器 QS 控制主电路、控制电路电源的通断及实现漏电保护；熔断器 FU 起短路保护作用，热继电器 FR 起过载保护作用。

2. 控制电路

控制电路如图 11-18 所示。图中 SB 为按钮开关，SQ 为行程开关、ST 为脚踏开关、KA 为中间继电器、YA 为换向阀电磁线圈。其中 KM1 用于小车电动机 M2 的正转控制，KM2 用于小车电动机的反转控制，KA1 用于变频器起动信号控制，KA2 用于变频器正反转信号控制，KM3 用于液压泵电动机 M3 的起停控制，KA 和 KA3 用于切断或接通小车控制电路及变频器起动和正反转信号的控制。

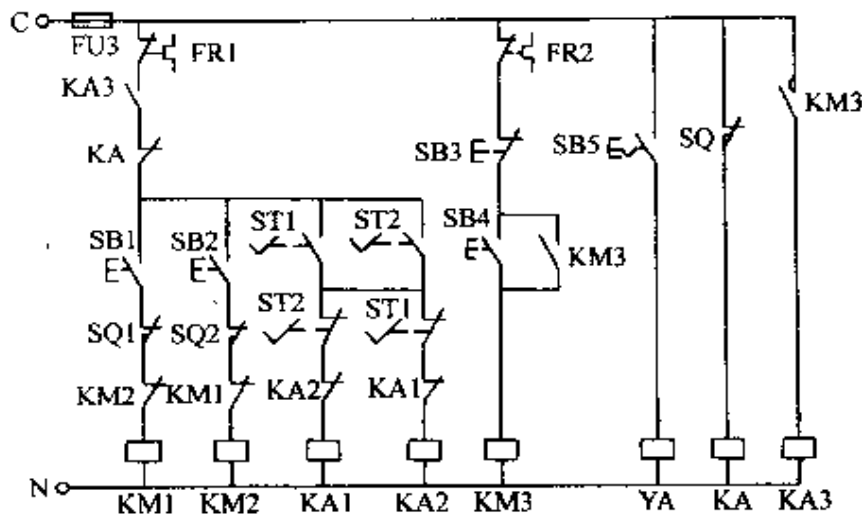
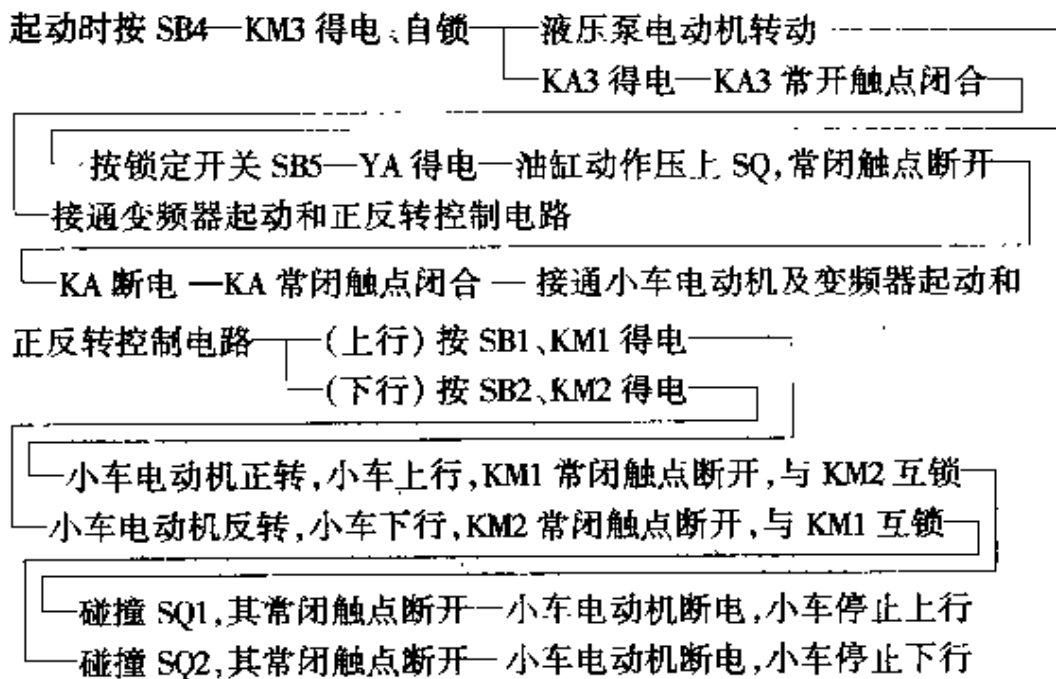


图 11-18 绕线机控制电路图

绕线机工作过程如下：

合上电源总开关 QS —— 接通控制电源和变频器电源
 └─ KA 得电 — KA 常闭触 — 断开小车电动机及
 点断开 变频器起动和正反
 转控制电路



三、变频器控制电路

绕线机控制电路使用的变频器采用 ABB 公司生产的 ACS140 型变频器。变频器的运行需要预先设置控制参数，才能使变频器控制的电动机运转性能满足生产实际的要求。ACS140 型变频器有多种控制参数集（称为应用宏），每一种控制参数集的选择，将使变频器控制端子具有不同的作用。为满足绕线机的控制要求，在使用变频器时选择了标准控制参数集（标准宏）。变频器的运行控制方式有控制盘控制方式（内部控制方式），外部端子控制方式和通信控制方式（变频器的运行由可编程序控制器或单片机控制）。绕线机用变频器采用外部端子控制方式。

1. 控制端子及控制盘

变频器的外接控制端子用于从外部电路输入频率给定信号，启动信号，正反转信号等其他信号。ACS140 型变频器的控制端子及作用如图 11-19 所示。图中未用端子是其他控制参数集所用端子。

变频器控制盘及控制盘上各按钮的作用如图 11-20 所示，控制盘用于控制模式切换，内部控制（外部控制方式失效），设置



控制参数集，显示电动机运行参数（频率、转速及电流等）。

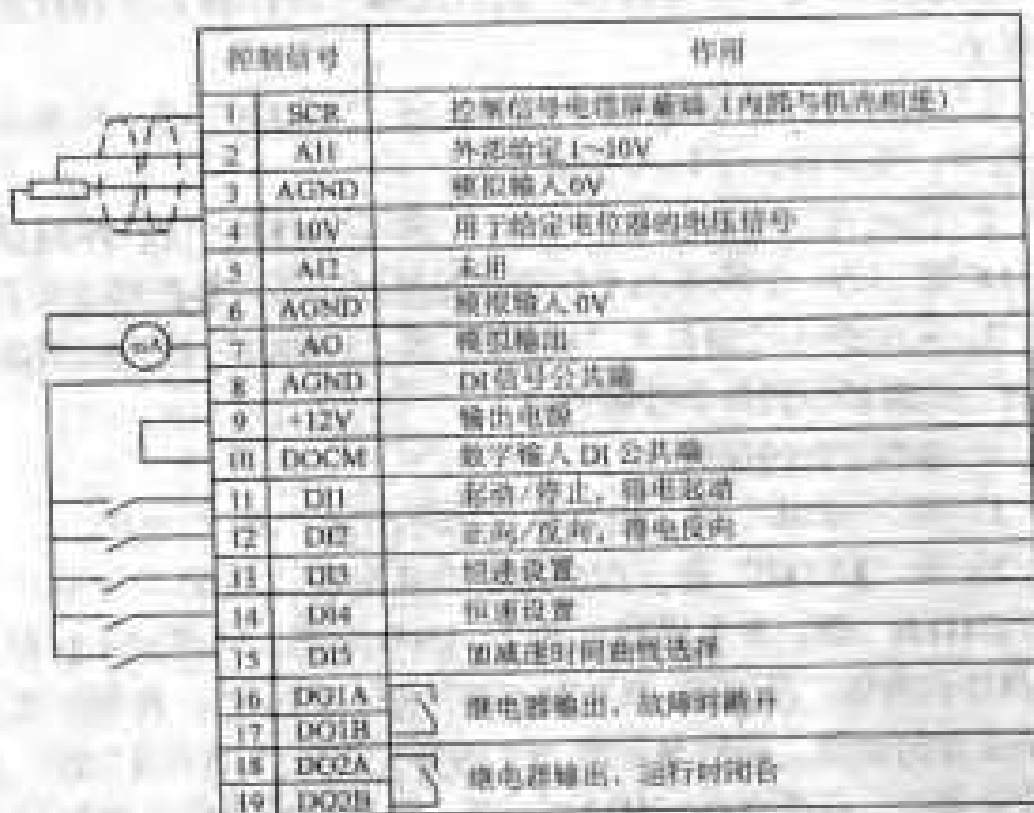


图 11-19 变频器外部控制端子

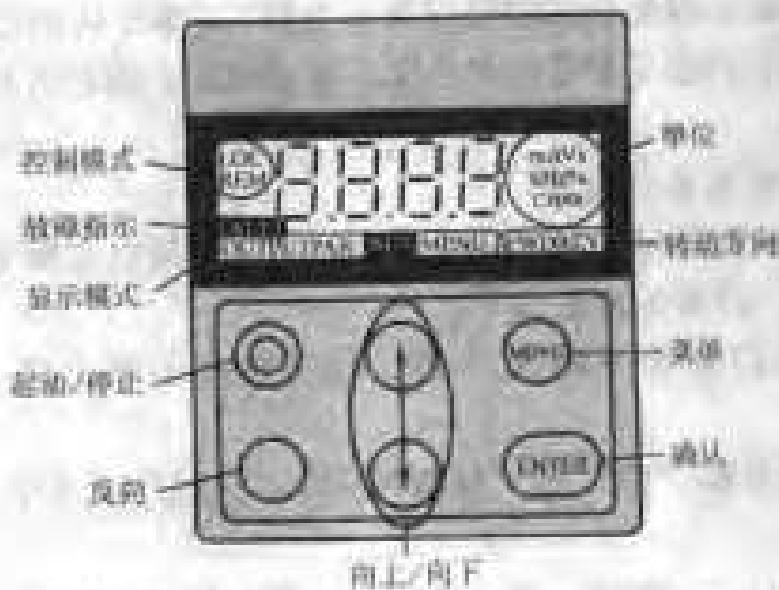


图 11-20 变频器控制盘



2. 变频器控制方式的调整

ACS140 型变频器的内部控制方式和外部控制方式的转换步骤如下：

1) 同时按住控制盘上“MENU”和“ENTER”键，控制盘显示 REW，变频器处于外部控制方式。

2) 同时按住控制盘上“MENU”和“ENTER”键，控制盘显示 LOC 或 LCR，变频器处于控制盘控制方式（内部控制方式）。

3) 同时按住控制盘上“MENU”和“ENTER”键，控制盘显示 rE，变频器回到外部控制方式。

3. 基本参数的设置

1) 按“MENU”键，控制盘显示屏出现“-99-”字样。

2) 按“ENTER”键，控制盘显示屏出现“-9902-”字样。再按“ENTER”键，显示屏显示 SET、LWD 闪烁，同时显示控制参数 9902 的数值，反复按“UP/DOWN”键，（上/下）找到需要的控制参数的数值，同时显示屏 SET 闪烁。再按“ENTER”键，参数设置完毕。再按 2 次“MENU”键，控制盘显示输出电压的频率。

3) 在控制盘出现参数“9902”后，反复按“UP/DOWN”键，从控制参数集找到需要设置的参数，（参数从 0102-9908，每个参数表示的意义参看用户手册）按照前面介绍的方法设置每个参数数值。

4. 完整参数的设置

完整参数提供变频器特殊功能的参数，用以实现变频器特殊控制要求。设置的方法如下：

1) 按控制盘“MENU”键，控制盘显示屏出现“-99-”字样。

2) 反复按“UP”或“DOWN”键，直到显示屏出现“-LG-”字样。

3) 按住“ENTER”键，直到显示屏出现“=IG=”字样。

4) 按“DOWN”键，显示屏出现“=99=”字样。



5) 按“UP”或“DOWN”键，找出需要设置的参数。

5. 绕线机用变频器需要设置的参数

1) 参数 9902 表示选择控制参数，该参数设定 ACS140 应用不同的控制参数。选择不同的控制参数，变频器控制端子具有不同的作用。参数 9902 数值范围为 0 ~ 7。绕线机用变频器选择 9902 的值为 1，此时变频器控制端子的作用参看图 1-24。

2) 参数 9905 设定 ACS140 输出到电动机的最大电压值。当变频器的输出频率等于参数 9907 设定的额定频率时，输出电压同时达到额定电压值。ACS140 输出到电动机的电压无法大于电源电压。

3) 参数 9906 设定 ACS140 输出给电动机的电流，其值为使用的电动机铭牌上的额定电流值。

4) 参数 9907 调整变频器输出电压的频率为电动机铭牌所标示的频率，此频率值应和参数 1105 和 2008 调整的频率值相等。

5) 参数 1003 表示方向控制参数，选 1 电动机正转，选 2 电动机反转，选 3 电动机双向转动。

6) 参数 0102 表示电动机的转速。

7) 参数 0104 表示电动机的电流值。

8) 参数 0105 表示电动机轴的输出转矩，以额定转矩的百分数表示。

9) 参数 1201 表示恒速参数，其数值范围为 0 ~ 9，当选择 7 时，变频器外控电路接控制端子 DI3，DI4 的开关状态，决定电动机能以三种恒速转动，而且不受频率调整电位器 R 的控制。

10) 参数 1105 表示外部给定的最大限幅值，设置时以频率的大小表示。

11) 参数 2008 表示变频器输出频率的最大值。

12) 参数 2202 表示加速时间参数，设置电动机由 0Hz 上升到最高频率所需要的时间。

13) 参数 2203 表示减速时间参数，设置电动机由最高频率降到 0Hz 所需要的时间。按图 11-21 曲线设置加减速时间。



14) 参数 2603 表示转矩补偿参数, 设置变频器低频时输出电压补偿值。

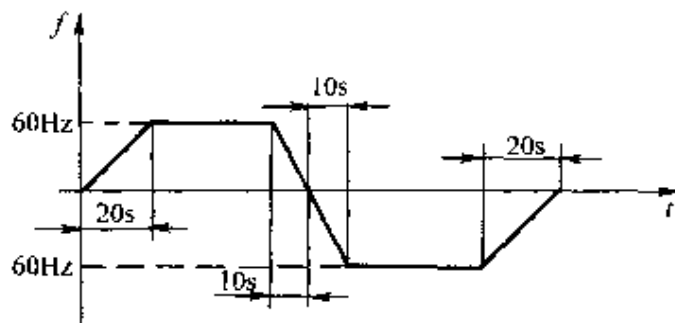


图 11-21 加减速时间曲线

15) 参数 2604 表示转矩补偿参数, 设置变频器补偿范围, 以频率形式给出。

6. 变频器的运行控制

1) 内部控制方式

①按照控制方式的调整方法, 将变频器设置为内部控制方式。

②按控制盘起动/停止按钮, 变频器按照内部设置好的参数控制电动机的运转。

③按控制盘正反向转动按钮, 电动机改变转动方向。

④按控制盘起动/停止按钮, 电动机停止转动。

2) 外部控制方式

①按照图 11-19 接好变频器控制端子的外部控制电路。

②应用控制参数设置的方法, 设置变频器内部控制参数。

③接通外部控制电路中的起动/停止开关, 变频器按照设置好的参数控制电动机转动。

④接通正反向转动开关, 电动机从正向转动变为反向转动。

⑤将两个恒速控制开关分别处于“ON 和 OFF”、“OFF 和 ON”、“ON 和 ON”状态, 使电动机得到三种恒速转动速度。此时调整频率给定电位器 R , 电动机转速不变。

⑥按照图 11-21 设置电动机的起停时间, 接通加减速时间控

制开关，观测电动机起动和停止时间。

⑦将控制盘显示屏设置为运行参数，分别显示电动机的转速、电流和电动机的输出转矩。

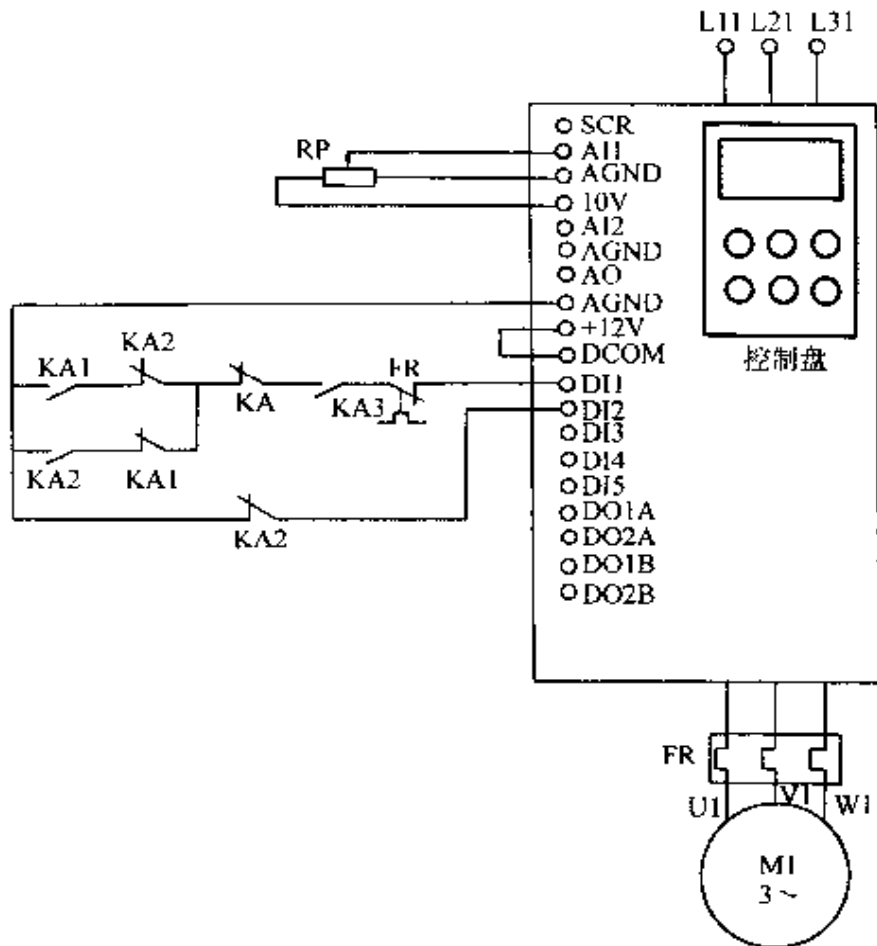


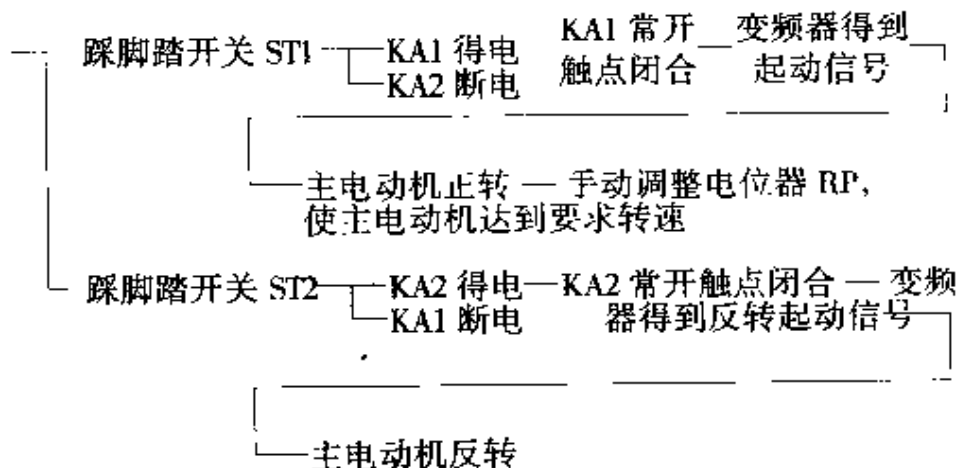
图 11-22 变频器控制电路

7. 变频器运行控制电路

变频器运行控制电路如图 11-22 所示。电源总开关 QS 合上后，变频器接通电源。按起动按钮 SB4，KM3 得电，液压泵起动；再按液压锁定开关 SB5，换向阀电磁线圈 YA 通电，油缸动作压上行程开关 SQ，SQ 常闭触点断开，KA 断电。变频器控制主电动机运行过程如下：



中间继电器 KA 断电，KA 常闭触点闭合，同时 KA3 得电，KA3 常开触点闭合



按钮开关 SB3 为绕线机停止运行按钮，即按动了 SB3 后，小车电动机，油泵电动机，主电动机都停止运行。

四、液压控制电路

液压控制电路如图 11-23 所示。其工作过程如下：

按液压起动按钮 SB4，液压泵电动机转动—液压泵加压—按锁定开关 SB5—YA 得电—液压缸动作压住行程开关 SQ—KA 断电—主电动机、小车电动机控制电路不能起动，主电动机和小车电动机不能转动。

五、绕线机控制电路的安装与调试

1. 安装步骤

- 1) 根据电路图选择各电器元件；
- 2) 确定各电器元件在电路板上的安装位置；

的安装位置；

- 3) 安装导线走线槽；
- 4) 按各原理图连接导线。

2. 工艺要求

- 1) 主电路板与控制电路板元件的连接要经接线端子板。

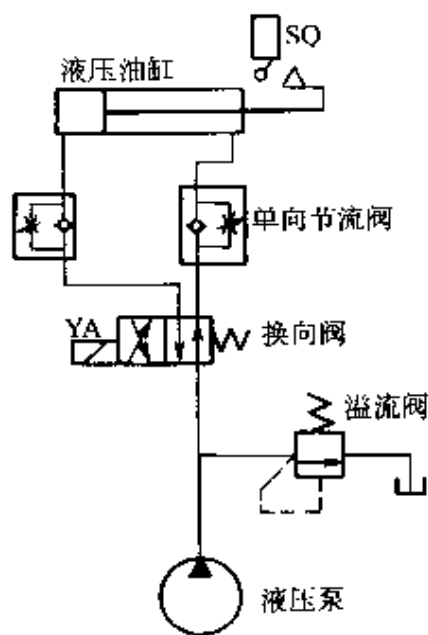


图 11-23 液压控制原理图



- 2) 所有连接导线端头要焊锡。
- 3) 所有导线放入走线槽内。
- 4) 所有接线点必须设置线号。
- 5) 各电路板间连接导线要集成一束。

3. 调试步骤

1) 合上总开关 QS, 按 SB4 闭合, 起动液压泵电动机, 按液压锁定开关 SB5 油缸应压住行程开关 QS, 此时起动主电动机和小车电动机都不能实现。

2) 松开 SB5 后, 按 SB1 闭合, 小车向上移动, 碰上 SQ1 后, 小车停止移动; 松开 SB1, 按 SB2 闭合, 小车向下移动; 碰上 SQ2 后, 小车停止移动。

3) 松开 SB5 后, 踩脚踏开关 ST1, 变频器得到起动信号, 主电动机正向转动。

4) 主电动机转动后, 踩脚踏开关 ST2, 变频器得到反转信号, 主电动机由正向转动变为反向转动。

5) 调整电位器 RP 的大小, 主电动机转速变化。

6) 调整变频器运行参数, 使主电动机起动时经 20s 达到要求转速; 停止时经 10s 钟停止。

7) 调整变频器转距补偿参数, 使补偿频率为 20Hz。

8) 确定变频器运行频率为 60Hz。

第十二章

电子元器件与电子电路

第一节 RLC 元器件

一、电阻器

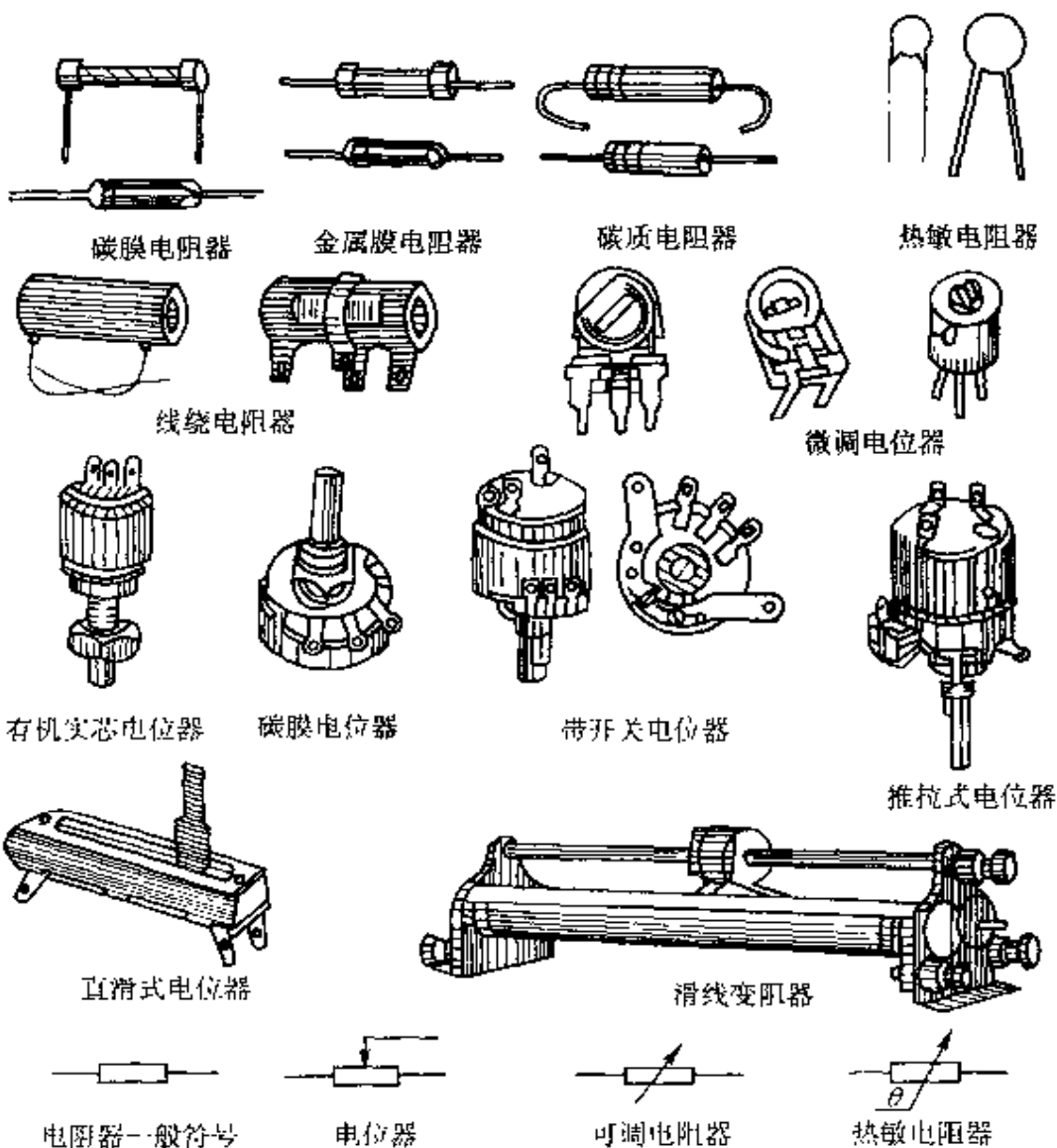


图 12-1 部分电阻器和电位器的外形及图形符号

电阻器（简称电阻）分为固定电阻器、可变电阻器和特种电阻器三大类。部分电阻器和电位器外形及图形符号如图 12-1 所示。电阻器和电位器的特点及用途见表 12-1。

表 12-1 电阻器和电位器的特点及用途

| 名称 | 性能特点 | 用途 |
|---------|---------------------------------|-----------------------|
| 绕线式电阻器 | 阻值精度极高,噪声小,稳定可靠,耐热性好,体积大,阻值较低 | 不能用于高频电路,通常在大功率电路中作负载 |
| 碳膜电阻器 | 稳定性好,高频特性好,噪声低,阻值范围宽,温度系数小,价格低廉 | 广泛应用于一般电子电路中 |
| 金属膜电阻器 | 精密度高,稳定性好,阻值范围和工作频率宽,耐热性好,体积较小 | 应用于质量要求较高的电路中 |
| 块金属膜电阻器 | 平面结构,体积小,响应快,高频特性较好,性能稳定,噪声小 | 适于作精密电阻器 |
| 绕线式电位器 | 体积较小,噪声低,精度高,耐热性好,功率较大,分辨率低,价格高 | 不能用于频率较高的电路 |
| 碳膜电位器 | 分辨率高,阻值范围宽,功率不太高,耐温和耐湿性较差,价格便宜 | 广泛应用于电子仪器中 |

1. 电阻器和电位器的型号命名法

电阻器和电位器的型号组成、符号命名法见表 12-2。

表 12-2 电阻器和电位器的型号命名法

| 第一部分 | | 第二部分 | | 第三部分 | | 第四部分 |
|---------|-----|---------|------|------------|----------|-----------------------------------|
| 用字母表示主体 | | 用字母表示材料 | | 用数字或字母表示特征 | | 用数字表示序号 |
| 符号 | 意义 | 符号 | 意义 | 符号 | 意义 | |
| R | 电阻器 | T | 碳膜 | 1,2 | 普通 | 包括: 额定功率 阻值 允许误差 精度等级 |
| W | 电位器 | P | 硼碳膜 | 3 | 超高频 | |
| | | U | 硅碳膜 | 4 | 高阻 | |
| | | C | 沉积膜 | 5 | 高温 | |
| | | H | 合成膜 | 7 | 精密 | |
| | | I | 玻璃釉膜 | 8 | 电阻器-高压 | |
| | | J | 金属膜 | | 电位器-特殊函数 | |
| | | Y | 氧化膜 | 9 | 特殊 | |
| | | S | 有机实芯 | G | 高功率 | |
| | | N | 无机实芯 | T | 可调 | |
| | | X | 线绕 | X | 小型 | |
| | | R | 热敏 | L | 测量用 | |
| | | G | 光敏 | W | 微调 | |
| | | M | 压敏 | D | 多圈 | |



例 1: RJ71 表示金属精密电阻器。

例 2: WSW1A 表示微调有机实心电位器。

2. 电阻器的主要参数

电阻器的主要参数有标称阻值、允许误差、额定功率、温度系数、噪声、最高工作电压、高频特性等。在选用电阻器时一般只考虑以下三个方面:

(1) 标称阻值 电阻器表面标注的阻值叫标称阻值。标称阻值是按国家规定的电阻器标称阻值系列选定的。其单位为欧姆 (Ω)、千欧 ($k\Omega$)、兆欧 ($M\Omega$)。相邻两单位间是 10^3 的关系。通用电阻器的标称值系列见表 12-3。

表 12-3 通用电阻器的标称值系列

| 系列 | 允许偏差 | 电阻的标称值系列 | | | | | | | | | | | |
|-----|------------------|----------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
| E24 | I 级 $\pm 5\%$ | 1.0 | 1.1 | 1.2 | 1.3 | 1.5 | 1.6 | 1.8 | 2.0 | 2.2 | 2.4 | 2.7 | 3.0 |
| | | 3.3 | 3.6 | 3.9 | 4.3 | 5.1 | 5.6 | 6.2 | 6.8 | 7.5 | 8.2 | 9.1 | |
| E12 | II 级 $\pm 10\%$ | 1.0 | 1.2 | 1.5 | 1.8 | 2.2 | 2.7 | 3.3 | 3.9 | 4.7 | 5.6 | 6.8 | 8.2 |
| E6 | III 级 $\pm 20\%$ | 1.0 | 1.5 | 2.2 | 3.3 | 4.7 | 6.8 | | | | | | |

(2) 允许误差 电阻器的允许误差是指电阻器的实际阻值对于标称阻值的允许最大误差范围, 它标志着电阻器的阻值精度。普通电阻的误差有 $\pm 5\%$ 、 $\pm 10\%$ 及 $\pm 20\%$ 三个等级。精密电阻的允许误差可分为 $\pm 2\%$ 、 $\pm 1\%$ 及 $\pm 0.5\%$ 等十几个等级。

(3) 额定功率 是指在规定的条件下, 在长期连续工作电阻器上允许消耗的最大功率, 功率的单位为瓦 (W)。一般选用额定功率时要有余量 (大 1~2 倍)。常用电阻器额定功率系列见表 12-4。

表 12-4 常用电阻器额定功率

| 种类 | 电阻器额定功率系列/W | | | | | | | | | | | | | | |
|-----|-------------|-------|------|-----|---|---|---|----|----|----|-----|----|----|----|-----|
| 线绕 | 0.05 | 0.125 | 0.25 | 0.5 | 1 | 2 | 4 | 8 | 10 | 16 | 25 | 40 | 50 | 75 | 100 |
| | 150 | 250 | 500 | | | | | | | | | | | | |
| 非线绕 | 0.05 | 0.125 | 0.25 | 0.5 | 1 | 2 | 5 | 10 | 25 | 50 | 100 | | | | |



3. 电阻器和电位器的判别与检测

(1) 电阻阻值的识读方法

1) 直标法：它是直接将电阻器的阻值和允许偏差，用阿拉伯数字和文字符号直接标记在电阻体上。

2) 文字符号法：它是将电阻器的标称阻值用文字符号表示。并规定阻值的整数部分写在单位标志的前面，阻值的小数部分写在阻值单位标志符号的后面。如 R33 表示阻值为 0.33Ω ； 5.1Ω 标志为 5R1； $4.7k\Omega$ 标志为 4K7； $2.2M\Omega$ 标志为 2M2 等。

3) 色标法：它是指用不同颜色表示电阻器的不同的标称阻值和允许偏差（规定见表 12-5），在电阻上用色环标志。常见的色环电阻器表示方法如图 12-2 所示。

表 12-5 电阻器的色环表示意义

| 颜 色 | 有 效 数 字 | 乘 数 | 允 许 偏 差(%) |
|-----|---------|-----------|--------------|
| 银 色 | — | 10^{-2} | ± 10 |
| 金 色 | — | 10^{-1} | ± 5 |
| 黑 色 | 0 | 10^0 | — |
| 棕 色 | 1 | 10^1 | ± 1 |
| 红 色 | 2 | 10^2 | ± 2 |
| 橙 色 | 3 | 10^3 | — |
| 黄 色 | 4 | 10^4 | — |
| 绿 色 | 5 | 10^5 | ± 0.5 |
| 蓝 色 | 6 | 10^6 | ± 0.2 |
| 紫 色 | 7 | 10^7 | ± 0.1 |
| 灰 色 | 8 | 10^8 | — |
| 白 色 | 9 | 10^9 | + 50 - 20 |
| 无 色 | — | — | ± 20 |

色标法则也可熟记以下口诀：棕一红二橙三，黄四绿五六蓝，紫七灰八白九，金五银十黑零。

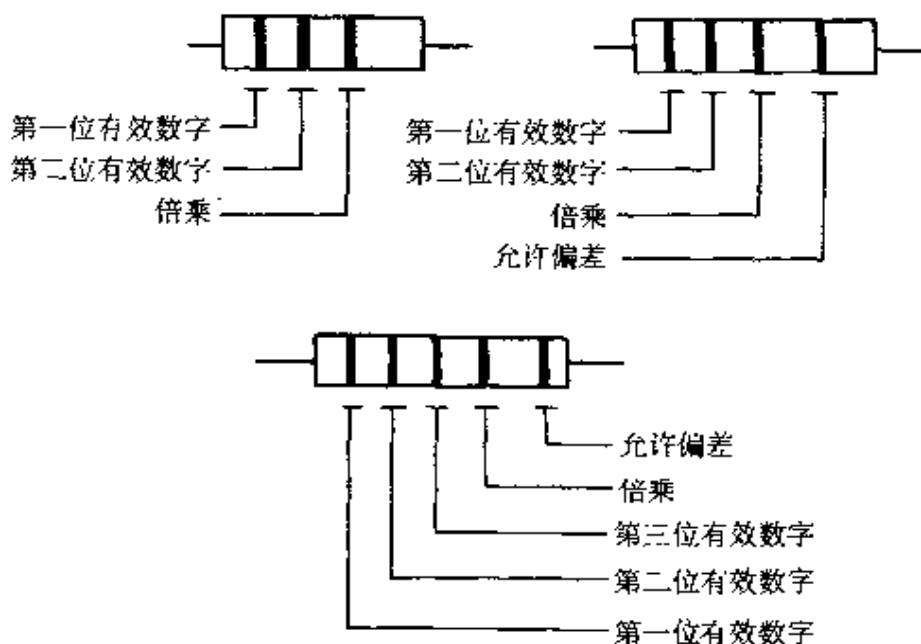


图 12-2 电阻器色环的表示含义

(2) 电阻器的检测 通常在测试 $\pm 5\%$ 、 $\pm 10\%$ 、 $\pm 20\%$ 的电阻器时，可采用万用表的欧姆挡。用万用表欧姆挡测电阻器时，首先要进行调零，然后选择不同挡次，使指针尽可能指示在表盘的中部，以提高测量精度；如果用数字式万用表来测电阻器的电阻值，其测量精度要高于指针式万用表。同时测量方法要正确，对于大阻值电阻，不能用手捏电阻引出线来测量，防止人体电阻与被测电阻并联，而使测量值不正确；对于小电阻值的电阻器，要将引线刮干净，保证表笔与电阻引出线的良好接触；对高精度电阻器，可采用电桥进行测量。电阻器在使用前应应用测量仪表检查一下，看其阻值是否与标称值相符。实际使用时，除了计算总电阻值是否符合要求外，还要注意每个电阻器所承受的功率是否合适，即额定功率要比承受功率大 1 倍以上。还应注意不超过最高工作电压，否则电阻器内部会产生火花引起噪声。

(3) 电位器的检测 使用电位器前先用万用表合适的欧姆



挡挡位，测量电位器两固定端的电阻值是否与标称值相符，然后再测量滑动端与任一固定端之间阻值变化情况，慢慢移动滑动端，如果万用表指针移动平稳，没有跳动和跌落现象，转动转轴或移动滑动端时，应感觉平滑，且松紧适中，听不到“吱吱”声，表明电位器的电阻体良好，滑动端接触可靠。

二、电容器

被绝缘介质隔开的两个导体的组合，称为电容器。常见的电容器外形及符号如图 12-3 ~ 图 12-5 所示。常见电容器的特点及用途见表 12-6。电容器在电路中可起到滤波、移相、隔直流、旁路、选频及耦合等作用。

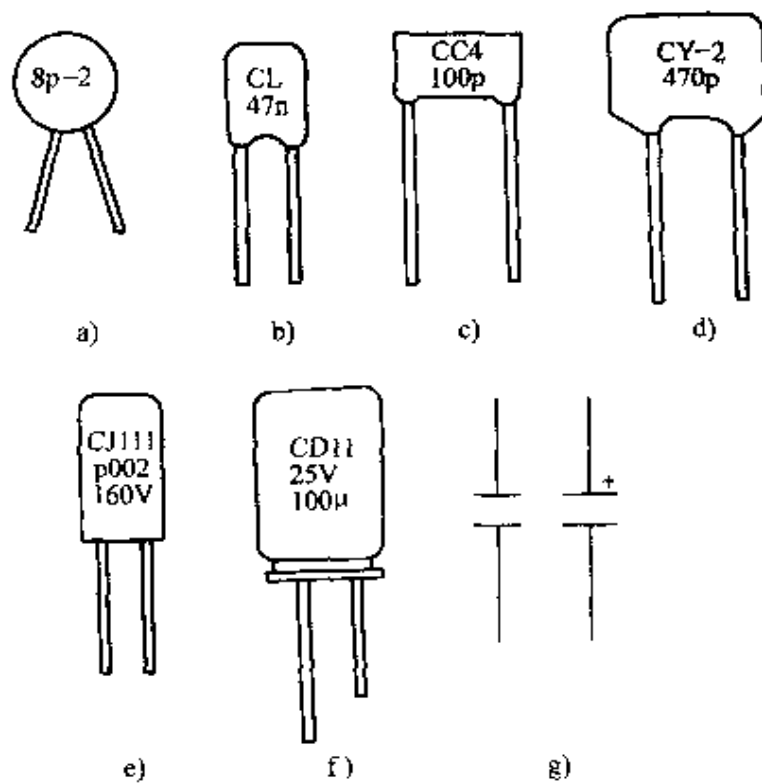


图 12-3 常用固定电容器的外形和图形符号

- a) 瓷介电容器 b) 涤纶电容器 c) 独石电容器
d) 云母电容器 e) 金属化纸介电容器
f) 铝电解电容器 g) 图形符号

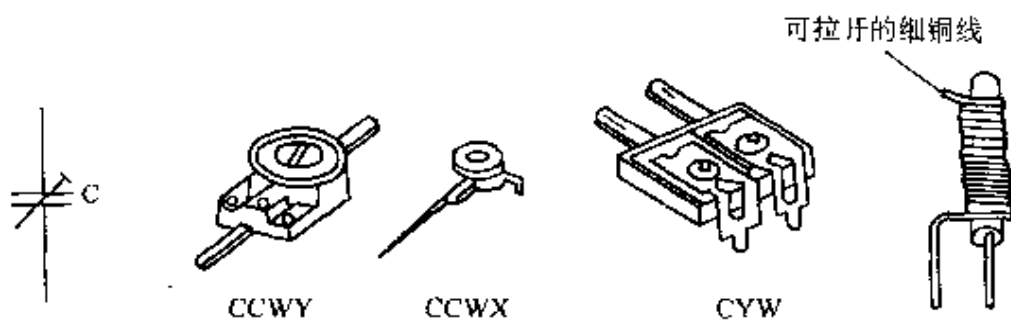


图 12-4 常用可变电容器的图形符号和外形

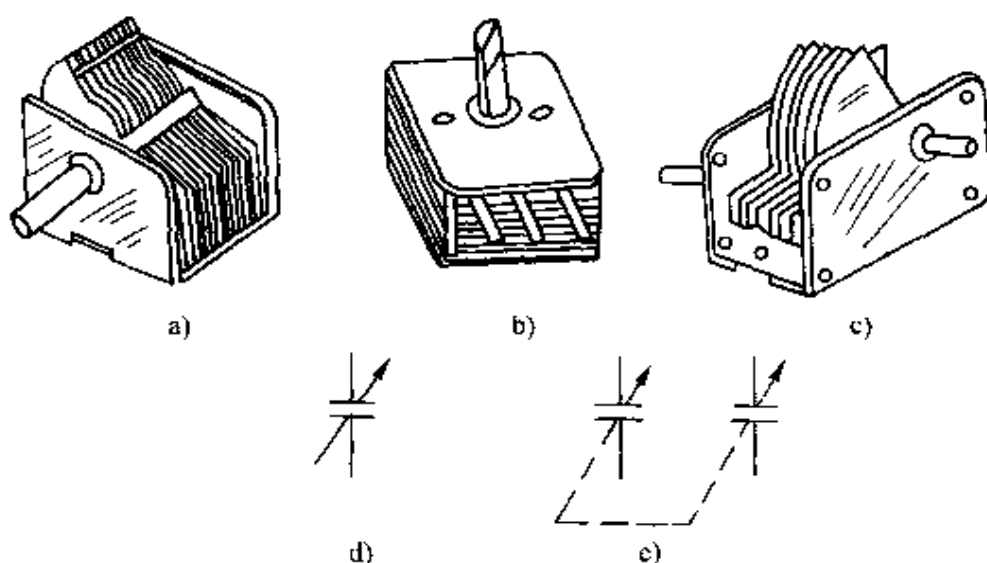


图 12-5 单、双联可变电容器的外形和图形符号

a) 空气双联 b) 密封双联 c) 空气单联
d) 单联符号 e) 双联符号

表 12-6 常见电容器的特点及用途

| 名称 | 特点 | 用途 |
|----------|--|---------|
| 纸介电容器 | 体积小,容量和工作电压范围宽,容量精度不易控制,介质易老化,损耗大,制造工艺简单,成本低 | 用于低频电路 |
| 金属化纸介电容器 | 体积小,容量大,漏电小,有自愈作用,稳定性差 | 不用于高频电路 |



(续)

| 名称 | 特点 | 用途 |
|---------|--|----------------------------|
| 云母电容器 | 稳定性好,耐压高,漏电及损耗小,高频特性好,但容量不大 | 广泛用于无线电设备中的高电压、大功率场合 |
| 瓷介电容器 | 电气性能优异,体积很小,绝缘性好,稳定性好,损耗小,但容量小,机械强度低,易碎易裂 | 用于高频电路、高压电路、温度补偿电路、旁路或耦合电路 |
| 玻璃釉电容器 | 体积小,重量轻,抗潮性好,能在 200~250℃ 高温下工作 | 用于小型电子仪器的交、直流电路和脉冲电路 |
| 聚苯乙烯电容器 | 绝缘电阻大,电气性能好,在很宽的频率范围内性能稳定,损耗小但耐热性较差,制造工艺简单 | 用于谐振回路,滤波、耦合回路等 |
| 电解电容器 | 容量大,正负极不能接错,绝缘性好,漏电及损耗大,允许误差较大 | 用于电源滤波及音频旁路 |

1. 电容器主要参数

(1) 电容器的标称容量和误差 电容器的标称容量和误差与电阻器标称容量和误差一样,见表 12-3。一般标在电容器外壳上。

(2) 额定直流工作电压(耐压值) 电容器的工作电压不允许超出其额定工作电压,否则会出现击穿,严重的会因漏电发热,产生爆裂事故。对有极性电容器(电解电容),不允许反极性使用,否则会产生爆裂事故。

(3) 绝缘电阻 电容器的绝缘电阻是指电容器两极之间的电阻,或称漏电阻。总的来讲越大越好。

2. 电容器判别与选用

(1) 识读方法

1) 直标法:在电容器表面直接标出标称容量的数值和单位,

如 470pF 、 $0.22\mu\text{F}$ 、 $100\mu\text{F}$ 等。大多数电路图中对以 pF 为单位的小容量电容器，仅标出数值而不标出单位，如 10 用来表示 10pF ，1000 表示 1000pF 。而对 μF 为单位，在数值上存在小数点的电容器 μF 也均在电原理图上省略，如 0.22 表示 $0.22\mu\text{F}$ ，0.47 表示 $0.47\mu\text{F}$ 。也有些电容器将小数点用 R 来表示，如 R47 表示 $0.47\mu\text{F}$ 。

2) 全数字表示法：全数字表示法的单位用 pF ，由三位数码构成：第一位、第二位表示容量的有效数字，第三位表示在前两位有效数字后面加“0”的个数。比如 102 表示 1000pF 。224 表示 $22 \times 10^4 \text{pF}$ ，即 $0.22\mu\text{F}$ 。

表示“0”的个数的第三位数字最大只表示到“8”，一旦第三位数字为“9”时，则表示的是 10^{-1} ，如 569 表示 $56 \times 10^{-1} \text{pF}$ ，即 5.6pF 。

3) 字母表示法：这种方法属于国际电工委员会推荐的表示法，使用四个字母：p(皮法)、n(纳法)、 μ (微法)、m(毫法)来表示电容器的容量单位。

$1\text{F}(\text{法}) = 10^3\text{mF}(\text{毫法}) = 10^6\mu\text{F}(\text{微法}) = 10^9\text{nF}(\text{纳法}) = 10^{12}\text{pF}(\text{皮法})$

通常用两个数字和一个字母表示电容器的标称容量，字母前为容量值的整数，字母后为容量值的小数。例如 0.33pF 写为 p33， $4.7\mu\text{F}$ 写为 $4\mu 7$ ， $1500\mu\text{F}$ 写为 1m5。

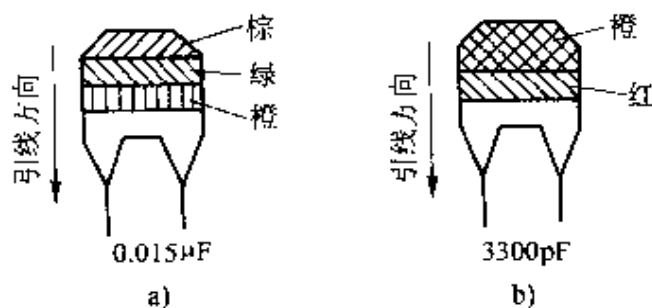


图 12-6 电容量的色码表示法



4) 色标法: 色标与电阻器的色标相似。色标通常有三种颜色, 沿着引线方向, 前两种色标表示有效数字, 第三色标表示有效数字后面零的个数, 单位为 pF 。有时一、二色标为同色, 就涂成一道宽的色标, 如橙橙红, 两个橙色标就涂成一道宽的色标, 表示 3300pF , 如图 12-6 所示。

(2) 电容器的检测

1) 小电容的检测: 对于几百 pF 的小电容器, 可用万用电表 $R \times 10\text{k}$ 挡, 两表笔分别接电容任意两个引脚, 测得的阻值应为无穷大, 若指针有偏转, 说明电容存在漏电或击穿现象。如要测出具体容量, 可采用数字万用电表电容挡测量。

2) 对于 $0.01\mu\text{F}$ 以上的电容器, 可以用万用电表 $R \times 10\text{k}$ 挡直接测试电容器有无充放电现象以及内部有无漏电和短路, 并可根据指针摆动幅度的大小估计出电容容量的大小。如要精确测量则可使用数字万用电表。

3) 判别电解电容器的极性: 根据电解电容器正接时漏电小, 反接时漏电大的现象可判别其极性。用万用表欧姆挡测电解电容器的漏电阻, 并记下该阻值, 然后调换表笔再测一次, 两次漏电阻中, 大的那次, 黑表笔接的是电解电容器的正极, 红表笔接的是负极。

(3) 电容器的选用

1) 选用适当的型号: 根据电路要求, 一般用于低频耦合、旁路去耦等电气要求不高的场合时, 可使用纸介电容器、电解电容器等, 级间耦合选用 $1 \sim 22\mu\text{F}$ 的电解电容器, 射极旁路可采用 $10 \sim 220\mu\text{F}$ 的电解电容器; 在中频电路中, 可选用 $0.01 \sim 0.1\mu\text{F}$ 的纸介, 金属化纸介、有机薄膜电容器等; 在高频电路中, 则应选用云母和瓷介电容器; 在电源滤波和退耦电路中, 可选用电解电容器, 一般只要容量、耐压、体积和成本满足要求就可以。

2) 合理选用标称容量及允差等级: 在旁路、退耦电路及低频耦合电路中, 对电容器的容量要求不严格, 容量偏差可以很大, 选用时可根据设计值, 选用相近容量或容量大些的电容器即



可。但在振荡回路、延时电路、音调控制电路中，电容量应尽量与设计值一致，电容器的允差等级要求就高些。在各种滤波器和各种网络中，对电容量的允差等级有更高的要求。

3) 电容器额定电压的选择：一般应高于实际电压 1~2 倍，以免发生击穿损坏，但对于电解电容器，实际电压应是电解电容器额定工作电压的 50%~70%。如果实际电压低于工作电压一半以下，反而会使电解电容器的损耗增大。

三、电感器

电感器在电路中有阻交流通直流的作用。常见电感线圈外形和图形符号如图 12-7 所示。电感量的单位有亨利，简称亨，用 H 表示；毫亨用 mH 表示；微亨用 μH 表示；其换算关系为：

$$1\text{H} = 10^3\text{mH} = 10^6\mu\text{H}$$

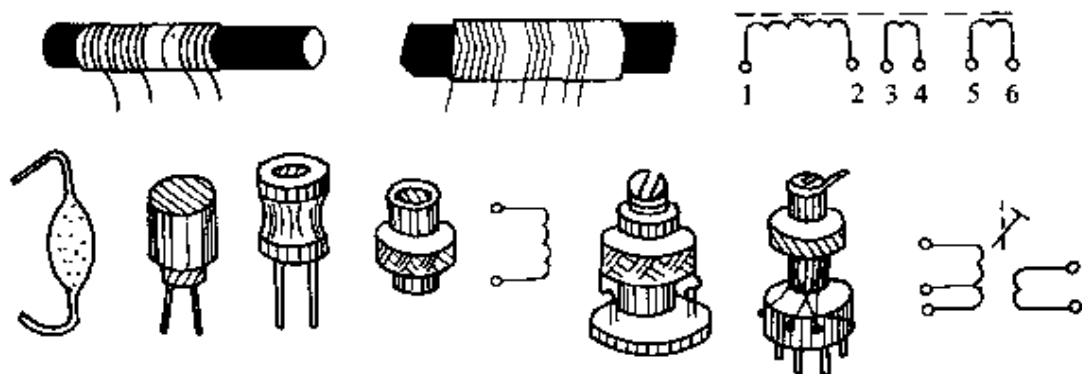


图 12-7 常见电感线圈外形及图形符号

电感一般可用万用表欧姆挡 $R \times 1$ 或 $R \times 10$ 挡来测，若测得阻值为无穷大，表明电感器已断路；如测得阻值很小，说明电感器正常。相同电感量的多个电感，阻值小的品质因数 Q 高。要正确测量电感线圈的电感量和品质因数 Q ，需要专门仪器。

第二节 半导体器件

一、半导体器件手册的查询方法

半导体器件主要是半导体二极管、稳压管、双极型三极管和

晶闸管等。半导体器件的参数是其特性的定量描述，也是实际工作中根据要求选用器件的主要依据。各种器件的参数都可由器件手册查得。而各个国家的分类方式又不尽相同：如国产的3DD15A标为DD15A，日本的2SC1942标为C1942；另一种是只标明数字的：如韩国的9012.9013等。都必须查手册才知其详细参数。

我国半导体器件的命名法见表12-7。

表 12-7 我国半导体器件的命名法

| 第一部分 | | 第二部分 | | 第三部分 | | | |
|---------------|-----|--------------------|-----------|-------------|--|-----|---|
| 用数字表示 电极数目 | | 用汉语拼音字母 表示材料和极性 | | 用汉语拼音字母表示类型 | | | |
| 符号 | 意义 | 符号 | 意义 | 符号 | 意义 | 符号 | 意义 |
| 2 | 二极管 | A | N型, 锗材料 | P | 普通管 | D | 低频大功率管 ($f < 3\text{MHz}$ $P_c \geq 1\text{W}$) |
| | | B | P型, 锗材料 | V | 微波管 | A | 高频大功率管 ($f \geq 3\text{MHz}$ $P \geq 1\text{W}$) |
| | | C | N型, 硅材料 | W | 稳压管 | T | 体效应器件 |
| | | D | P型, 硅材料 | C | 变容管 | B | 雪崩管 |
| 3 | 三极管 | A | PNP型, 锗材料 | Z | 整流管 | J | 阶越恢复管 |
| | | B | NPN型, 锗材料 | L | 整流堆 | CS | 场效应器件 |
| | | C | PNP型, 硅材料 | S | 隧道管 | BT | 半导体特殊器件 |
| | | D | NPN型, 硅材料 | N | 阻尼管 | FH | 复合管 |
| | | E | 化合物材料 | U | 光电器件 | PIN | PIN型管 |
| | | | | X | 低频小功率管 ($f < 3\text{MHz}$ $P < 1\text{W}$) | JG | 激光器件 |
| | | | | G | 高频小功率管 ($f \geq 3\text{MHz}$ $P < 1\text{W}$) | | |

| | | |
|---|--------|--|
| 第四部分 | 第五部分 | |
| 用数字 | 用汉语拼音字 | |
| 表示序号 | 母表示规格号 | |
| 注: 场效应器件、半导体特殊器件、复合管、PIN管和激光器件的型号命名只有第三、四、五部分 | | |

| | | | | | |
|---|---|---|-----|---|----------|
| 3 | D | G | 130 | C | |
| | | | | | 规格号 |
| | | | | | 序号 |
| | | | | | 高频小功率管 |
| | | | | | NPN, 硅材料 |
| | | | | | 三极管 |

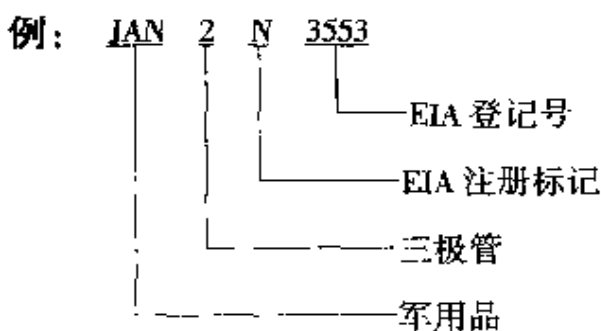


美国半导体器件命名方法见表 12-8。

表 12-8 美国半导体器件命名方法

| 第一部分 | | 第二部分 | | 第三部分 | | 第四部分 | | 第五部分 | |
|---------------|-------------|--------------|---------------|------|--|--------------|---|-----------|-------------------|
| 用符号表示类别 | | 用数字表示 PN 节数目 | | 注册标记 | | 登记号 | | 用字母表示器件分级 | |
| 符号 | 意义 | 符号 | 意义 | 符号 | 意义 | 符号 | 意义 | 符号 | 意义 |
| JNA 或 J | 军用品 非军用品 | 1 | 二极管 | N | 该器 件已在 美国电 子工业 协会 (EIA) 注册登 记 | 多 位数 字 | 该器 件在美 国电子 工业协 会(EIA) 登记 | A | 同一型 号的不同 级别 |
| | | 2 | 三极管 | | | | | B | |
| | | 3 | 三个 PN 结器件 | | | | | C | |
| | | . | n 个 PN 结器件 | | | | | D | |
| | | n | | | | | | . | |

同一型号的不同级别



国际电子联合会半导体器件命名法见表 12-9。德国、法国、意大利、荷兰、比利时、匈牙利、南斯拉夫、罗马尼亚、波兰等许多欧洲国家，都采用国际电子联合会半导体器件命名法。



表 12-9 国际电子联合会半导体器件命名法

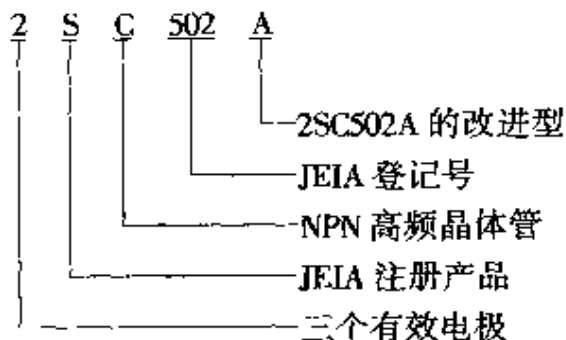
| 第一部分 | | 第二部分 | | | |
|----------------|---------|------------|------------------------------|----|------------|
| 用字母表示材料 | | 用字母表示类型和特性 | | | |
| 符号 | 意义 | 符号 | 意义 | 符号 | 意义 |
| A | 锗材料 | A | 检波二极管、开关二极管混频二极管 | M | 封闭磁路中的霍尔元件 |
| B | 硅材料 | B | 变容二极管 | P | 光敏元件 |
| C | 砷化镓材料 | C | 低频小功率三极管 | Q | 发光器件 |
| D | 铋化镉材料 | D | 低频大功率三极管 | R | 小功率晶闸管 |
| R | 复合材料 | E | 隧道二极管 | S | 小功率开关管 |
| | | F | 高频小功率三极管 | T | 大功率晶闸管 |
| | | G | 复合器件及其他器件 | U | 大功率开关管 |
| | | H | 磁敏二极管 | X | 倍增二极管 |
| | | K | 开放磁路中的霍尔元件 | Y | 整流二极管 |
| | | L | 高频大功率三极管 | Z | 稳压二极管 |
| 第三部分 | | | 第四部分 | | |
| 用数字或字母加数字表示等记号 | | | 用字母对同一型号器件进行分级 | | |
| 符号 | 意义 | 符号 | 意义 | | |
| 三位数字 | 代表通用半导体 | A | 表示同一型号的半导体器件按某一参数进行分级的标志 | | |
| 一个字母 | 器件的等记序号 | B | | | |
| 二位数字 | 代表专用半导体 | C | | | |
| | 器件的等记序号 | D | | | |
| | | E | | | |

日本半导体器件命名法见表 12-10。



表 12-10 日本半导体器件命名法

| 第一部分 | | 第二部分 | | 第三部分 | | 第四部分 | | 第五部分 | | | | | |
|----------------|----------------------|------|----------------------------|----------------|-----------|------|---|------------|------------------|---|----------|--|--|
| 用数字表示有效电极数目或类型 | | 注册标记 | | 用字母表示使用材料极性和类型 | | 登记号 | | 同一型号的改进型标志 | | | | | |
| 符号 | 意义 | 符号 | 意义 | 符号 | 意义 | 符号 | 意义 | 符号 | 意义 | | | | |
| 0 | 光电二极管或三极管及包括上述器件的组合管 | S | 已在日本电子工业协会(JEIA)注册登记的半导体器件 | A | PNP 高频晶体管 | 多位数字 | 器件在日本电子工业协会(JEIA)注册登记号性能相同,但不同厂家生产的器件可以使用同一个登记号 | A | 表示这一器件是原型号产品的改进型 | | | | |
| 1 | 二极管 | | | B | PNP 低频晶体管 | | | | | | | | |
| 2 | 三极管或三个电极的其他器件 | | | C | NPN 高频晶体管 | | | | | | | | |
| 3 | 具有四个有效电极的器件 | | | D | NPN 低频晶体管 | | | | | | | | |
| n | 具有 n+1 个有效电极的器件 | | | F | P 控制极晶闸管 | | | | | | | | |
| | | G | N 控制极晶闸管 | H | N 基极单结晶体管 | | | | | J | P 沟道场效应管 | | |
| | | | | K | N 沟道场效应管 | | | | | | | | |
| | | | | M | 双向晶闸管 | | | | | | | | |



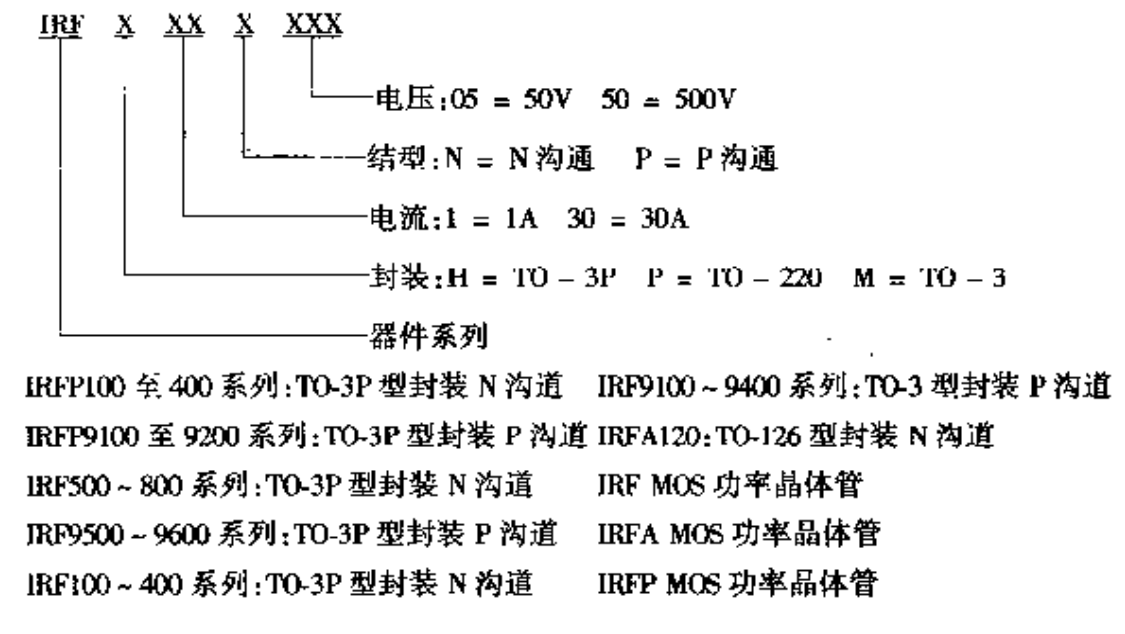
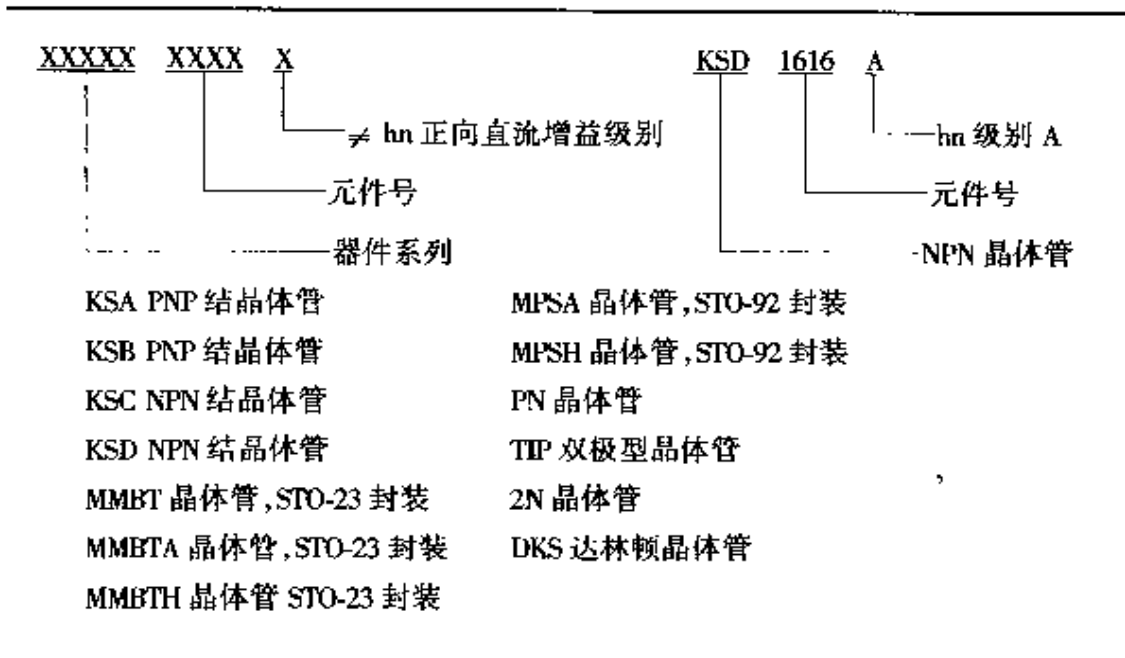
日本半导体器件型号除上述五个基本部分外,有时还附加有后缀字母及符号,以便进一步说明该器件的特点。后缀的第一个字母一般说明器件的特定用途,第二个字母常用来作为器件的某个参数的分挡标志,例如日立公司用 A、B、C、D 等标志说明该



器件 β 值的分挡情况。

韩国半导体器件命名法见表 12-11。

表 12-11 韩国半导体器件命名法



最后还需要从手册中查半导体器件的封装形式和尺寸,了解器件的形状、管脚排列位置,以便于进行工艺设计和正确的使用器件。

二、晶体二极管

1. 结构和性能

晶体二极管就是由一个 PN 结，加上两条电极引线和管壳而制成的，P 区引出线为正极，N 区引出线为负极，二极管的外形及其符号如图 12-8 所示。三角箭头所指方向代表正向电流的方向，即二极管具有单向导电性。常用二极管的特性见表 12-12，外形图及图形符号如图 12-9 所示。

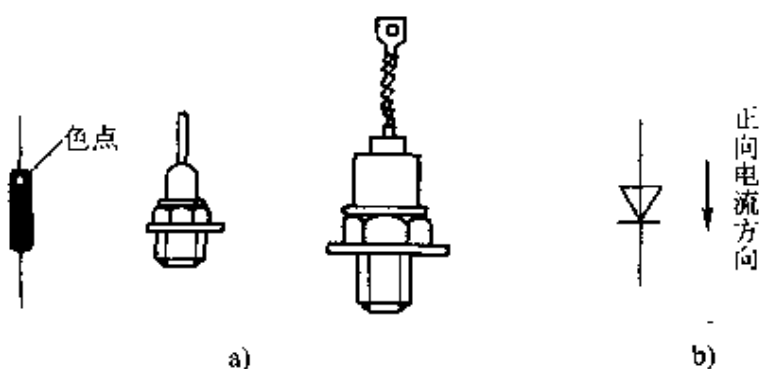


图 12-8 二极管的外形及图形符号

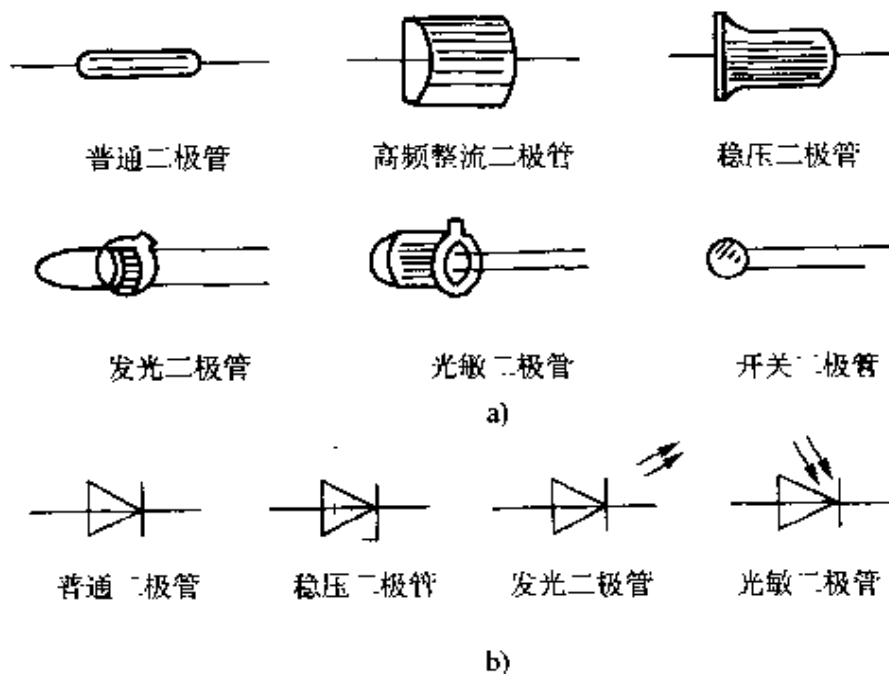


图 12-9 部分二极管的外形及图形符号



表 12-12 常用二极管的特性表

| 名称 | 原理特性 | 用途 |
|-------|-----------------------------------|--------------------------|
| 整流二极管 | 多用硅半导体制成,利用 PN 结单向导电性 | 把交流电变成脉动直流,即整流 |
| 检波二极管 | 常用点接触式,高频特性好 | 把调制在高频电磁波上的低频信号检出来 |
| 稳压二极管 | 利用二极管反向击穿时,二端电压不变原理 | 稳压限幅,过载保护,广泛用于稳压电源装置中 |
| 开关二极管 | 利用正偏压时二极管电阻很小,反偏压时电阻很大的单向导电性 | 在电路中对电流进行控制,起到接通或关断的开关作用 |
| 变容二极管 | 利用 PN 结电容随加到管子上的反向电压大小而变化的特性 | 在调谐等电路中取代可变电容器 |
| 发光二极管 | 正向电压为 1.5 - 3V 时,只要正向电流通过,可发光 | 用于指示,可组成数字或符号的 LED 数码管 |
| 光电二极管 | 将光信号转换成电信号,有光照时其反向电流随光照强度的增加而正比上升 | 用于光的测量或作为能源即光电池 |

常用整流二极管主要参数见表 12-13。

表 12-13 常用整流二极管主要参数

| 型号 | 最高反向击穿电压/V | 额定工作电流/A | 型号 | 最高反向击穿电压/V | 额定工作电流/A |
|--------|------------|----------|--------|------------|----------|
| 1N4001 | 50 | 1.0 | 1N5391 | 50 | 1.5 |
| 1N4002 | 100 | | 1N5392 | 100 | |
| 1N4003 | 200 | | 1N5393 | 200 | |
| 1N4004 | 400 | | 1N5394 | 300 | |
| 1N4005 | 600 | | 1N5395 | 400 | |
| 1N4006 | 800 | | 1N5396 | 500 | |
| 1N4007 | 1000 | | 1N5397 | 600 | |



(续)

| 型 号 | 最高反向 击穿电压/V | 额定工作 电流/A | 型 号 | 最高反向 击穿电压/V | 额定工作 电流/A |
|--------|----------------|--------------|--------|----------------|--------------|
| 1N5398 | 800 | 1.5 | 1N5404 | 400 | 3.0 |
| 1N5399 | 1000 | | 1N5405 | 500 | |
| 1N5400 | 50 | 3.0 | 1N5406 | 600 | |
| 1N5401 | 100 | | 1N5407 | 800 | |
| 1N5402 | 200 | | 1N5408 | 1000 | |
| 1N5403 | 300 | | | | |

2. 晶体二极管的简易测试

普通二极管一般它们的外壳上均印有型号和标记。标记有箭头、色点、色环三种，箭头所指方向或靠近色环的一端为负极，有色点的一端为正极。若遇到型号和标记不清楚时，可用万用表的欧姆挡进行判别二极管有正负两极。还可用万用表来大致测量二极管的质量好坏。在测量时，应把万用表拨到欧姆挡的 $R \times 100\Omega$ 或 $R \times 1k$ 挡。测量的方法见表 12-14。

表 12-14 晶体二极管的简易测试

| 测试项目 | 测 试 方 法 | 电阻正常值 |
|------|---|-----------|
| 正向电阻 | <p style="text-align: center;">正向电阻</p> <p>万用表黑笔(一端)接在二极管的正极,红笔(“+”端)接在二极管的负极</p> | 几百欧 - 几千欧 |



(续)

| 测试项目 | 测试方法 | 电阻正常值 | | |
|------|-------------------------------------|-----------------------|-------|-----------|
| 反向电阻 | <p>反向电阻 黑笔接二极管的负极,红笔接二极管的正极</p> | 大于几千欧~无穷大 (表针基本不动) | | |
| 测试项目 | 极性判断 | 质量判别 | | |
| | | 好 | 损坏 | 不佳 |
| 正向电阻 | 黑表笔“-”连接的一端为二极管的正极(阳极) | 较小 | 0 或 ∞ | 正反向电阻比较接近 |
| 反向电阻 | 黑表笔“-”连接的一端为二极管的负极(阴极) | 较大 | 0 或 ∞ | |

3. 使用常识

1) 晶体二极管的正向电流和反向峰值电压不可超过允许范围, 必须留有余量。

2) 硅管和锗管之间不能互相代替, 对于检波管只要工作频率不低于原来的管子就可以代替; 对于整流管, 只要其正向电流和反向峰值电压不低于原来的管子就可以代替。

3) 大功率二极管必须按规定安装一定尺寸的铝散热片。

4) 大功率二极管必须串联快速熔断器作短路保护或严重过载的保护。快速熔断器的额定电流一般可按二极管额定电流的 1.57 倍选用, 并在二极管的二侧并联阻容过电压保护电路。

三、其他二极管

1. 硅稳压二极管

稳压二极管实质上就是一种特殊的面接触型二极管，与其他二极管的最大区别是稳压管工作于反向击穿区，电流变化可以很大，电压保持基本不变。而且在外加的反向击穿电压撤掉后，仍能恢复单向导电性，这种特性称为可逆性击穿。稳压管图形符号如图 12-10 所示。

稳压二极管的检测方法是：判别稳压二极管的正负电极与普通二极管的判别方法基本相同。即用万用电表 $R \times 1k$ 挡测量稳压二极管的单向导电性，对换两表笔测得两阻值，好的稳压二极管应该是正向电阻在几千欧，反向电阻为无穷大。导通时黑表笔接的为正，红表笔为负。这是因为万用电表在 $R \times 1k$ 挡时电池电压为

1.5V，不足以使稳压二极管反向击穿；另一种方法可以直接从外壳上标注的色环判别，有色环的一端为负极。

2. 快恢复二极管

快恢复二极管和超快恢复二极管是近年来应用非常普遍的半导体器件。与普通二极管相比最大的优点是开关特性好、反向恢复时间短，可作高频整流、续流二极管，在开关电源、高频电器等电子设备中得到了广泛的应用。

(1) 结构：小电流快恢复二极管一般采用 TO-220 封装，如图 12-11 所示，而 30A 以上的管子一般采用金属封装。从内部结构看，可分成单管和双管两种。在对管内部包含两只快恢复二极管，根据两管的接法不同，又有共阴、共阳对管之分。

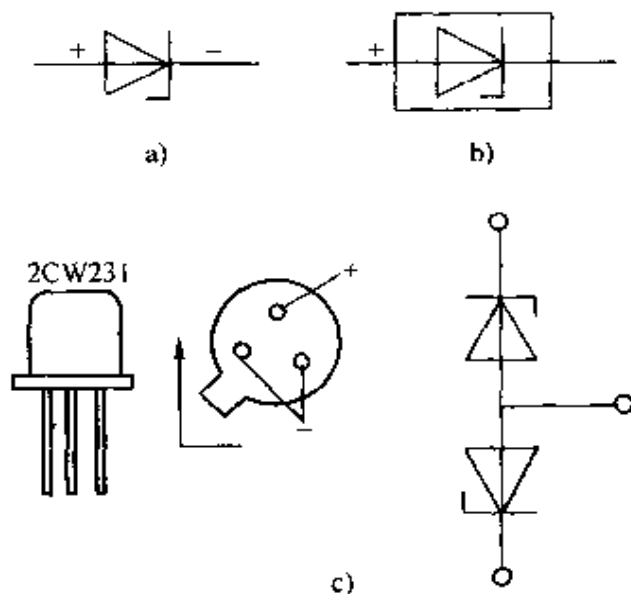


图 12-10 稳压二极管

a) 符号 b) 塑料封装 c) 金属外壳封装

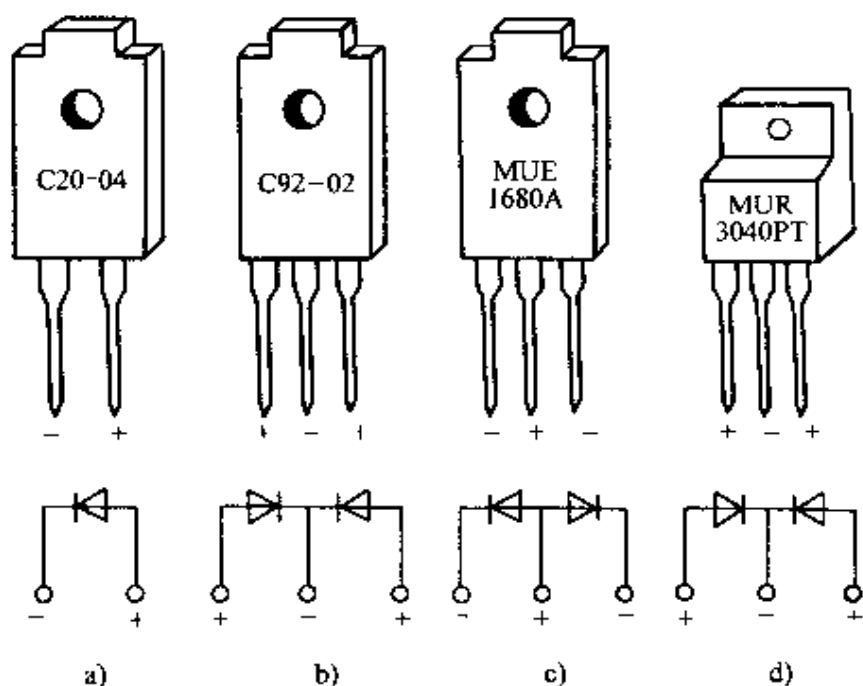


图 12-11 快恢复二极管的外形与图形符号

(2) 快恢复二极管和超快恢复二极管的检测：用万用电表检测快恢复二极管和超快恢复二极管的方法与检测普通整流二极管的方法相同。即用 $R \times 1k$ 挡检测一下其单向导电性，但其正向电阻较普通整流管小，反向电阻为无穷大。需要指出的是，单管中也有三个管脚的，中间为空脚，出厂时一般剪掉，但也有不剪的，若在对管中有一只管子损坏，仍可作为单管使用，不可用普通整流管代替。

常见快恢复二极管和超快恢复二极管主要技术指标见表 12-15。

表 12-15 常见快恢复二极管和超快恢复二极管主要技术指标

| 型号 | 最高反向工作电压/V | 额定整流电流/A | 反向恢复时间/ μs |
|------|------------|----------|-----------------|
| ES1A | 400 | 0.75 | 1.5 |
| EU1 | 400 | 0.35 | 0.4 |
| EU2 | 400 | 1 | 0.3 |
| EU2Z | 200 | 1 | 0.3 |

(续)

| 型号 | 最高反向工作电压/V | 额定整流电流/A | 反向恢复时间/ μs |
|----------|------------|----------|-----------------------|
| EU3A | 600 | 1.5 | 0.4 |
| RC2 | 600 | 1 | 0.4 |
| RU2 | 600 | 1 | 0.4 |
| RU3 | 800 | 1.5 | 0.4 |
| C20-04 | 400 | 5 | 0.4 |
| C92-02 | 200 | 10 | 0.035 |
| MUR1680A | 800 | 16 | 0.035 |
| S5295J | 600 | 0.5 | 0.4 |
| RGP10 | 600 | 1 | 0.4 |

3. 发光二极管

发光二极管有多种，较常用的有单色发光二极管、变色发光二极管、红外发光二极管和激光二极管等。

(1) 性能 单色发光二极管 (LED) 是一种将电能转化为光能的半导体器件，发光二极管的外形和驱动电路如图 12-12 所示。

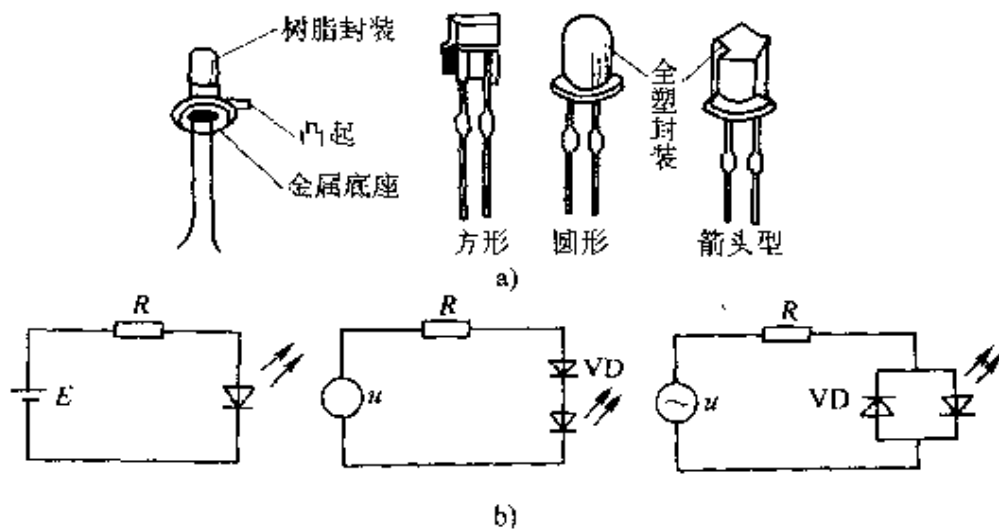


图 12-12 发光二极管的外形及驱动电路

a) 外形图 b) 驱动电路



单色发光二极管的内部结构也是一个 PN 结，除了具有普通二极管的单向导电性外，还具有发光能力。当给 LED 加上一定电压后，就会有电流流过管子，同时向外释放光子。根据半导体材料不同，发出不同颜色的光来。比如：磷化镓 LED 发出绿色、黄色光，砷化镓 LED 发出红色光等。

一般情况下，LED 的正向电流为 10 ~ 20 mA，当电流在 3 ~ 10mA 时，其亮度与电流基本成正比，但当电流超过 25mA 后，随电流的增加，亮度几乎不再加强。超过 30mA 后，就有可能把发光管烧坏。但现在应用广泛的高亮度发光二极管只需很小的电流就能达到很高的亮度。

(2) 单色发光二极管正负极的判断

1) 目测法：发光二极管的管体一般都是用透明塑料制成的，所以可以用眼睛观察来区分它的正、负电极。将管子拿起置较明亮处，从侧面仔细观察两条引出线在管体内的形状，较小的一端便是正极，较大的一端则是负极。

2) 万用表测量法：发光二极管的开启电压为 2V，而万用表置于 $R \times 1k\Omega$ 挡及其以下各电阻挡时，表内电池电压仅为 1.5V，比发光二极管的开启电压低，管子不能导通，因此，用万用表检测发光二极管时，必须使用 $R \times 10k\Omega$ 挡。置此挡时，表内接有 9V 或 15V 高压电池，测试电压高于管子的开启电压，当正向接入时，能使发光二极管导通。检测时，将两表笔分别与发光二极管的两管脚相接，如果万用表指针向右偏转过半，同时管子能发出一微弱光点，表明发光二极管是正向接入，此时黑表笔所接的是正极，而红表笔所接的是负极。接着再将红、黑表笔对调后与管子的两管脚相接，这时为反向接入，万用表指针应指在无穷大位置不动。如果不管正向接入还是反向接入，万用表指针都偏转某一角度甚至为零，或者都不偏转，则表明被测发光二极管已经损坏。

四、晶体三极管

晶体三极管在电子电路中能够起到放大、振荡、调制等多种作用，且具有体积小、重量轻、耗电省、寿命长的优点，因此得



晶体三极管种类繁多，性能各异，外形尺寸也各不相同。常见三极管的封装外形及电路符号如图 12-14 所示。

2. 晶体三极管的检测

判断出三极管的管脚和极性的方法见表 12-16。测试晶体三极管放大倍数 h_{FE} (β) 如图 12-15 所示。用测 C、E 两极间的阻值的变化，来反映管子的放大能力。开关 S 断开与合上时，两次的读数之差越大，说明三极管的 β 值越大。现在大多数万用电表多带有测试三极管 h_{FE} 的挡位，可以直接利用该挡位来测量放大倍数，判断集电极和发射极，放大倍数大的那一次，管脚位置正确。

表 12-16 判别三极管管脚和极性

| 内容 | | 第一步判断基极 | |
|----|--|--|--|
| | | PNP 型 | NPN 型 |
| 方法 | | | |
| 读数 | | 两次读数阻值均较小 | 两次读数阻值均较小 |
| | | 以红笔为准，黑笔分别测另二个管脚，当测得二个阻值均较小时，红笔所接管脚为基极 | 以黑笔为准，红笔分别测另二个管脚，当测得二个阻值均较小时，黑笔所接管脚为基极 |
| 内容 | | 第二步判断集电极 | |
| | | PNP 型 | NPN 型 |
| 方法 | | | |

(续)

| 内容 | 第二步判断集电极 | |
|----|--|--|
| | PNP型 | NPN型 |
| 读数 | 红笔接基极,黑笔连同电阻分别按图示方法测试,当指针偏转角度最大时,黑笔所接的管脚为集电极 | 黑笔接基极,红笔连同电阻分别按图示方法测试,当指针偏转角度最大时,红笔所接的管脚为集电极 |

注:1. 判断基极要反复测几次,直到二次读数均较小为止。

2. 根据上述方法可判断 PNP 型和 NPN 型。

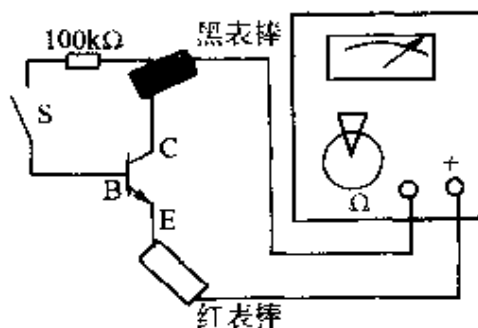


图 12-15 用万用表测量晶体管放大倍数 $h_{FE}(\beta)$

3. 三极管的主要参数

常见三极管的主要技术参数见表 12-17 ~ 12-19。

表 12-17 常见中小功率三极管的参数

| 型号 | 类型 | $U_{BR(CBO)}$ | I_{CM}/A | P_{CM}/W | f_T/MHz | $h_{FE}(\beta)$ | 备注 |
|--------|-----|---------------|------------|------------|-----------|-----------------|----|
| 9011 | NPN | 35 | 20m | 150m | 150 | 40 ~ 270 | |
| 9012 | PNP | 40 | 100m | 500m | 150 | 40 ~ 270 | |
| 9013 | NPN | 40 | 100 m | 500m | 150 | 40 ~ 270 | |
| 9014 | NPN | 30 | 50 m | 300 m | 100 | 40 ~ 1000 | |
| 9015 | PNP | 30 | 50 m | 300 m | 150 | 40 ~ 270 | |
| 9018 | NPN | 30 | 20 m | 200 m | 600 | 40 ~ 270 | |
| 3DG6 | NPN | 25 | 20 m | 100 m | 100 | 30 ~ 270 | |
| 3DG12B | NPN | 45 | 0.3 | 0.7 | 200 | 20 ~ 200 | |

(续)

| 型号 | 类型 | $U_{BR(CBO)}/V$ | I_{CM}/A | P_{CM}/W | f_T/MHz | $h_{FE(\beta)}$ | 备注 |
|---------|-----|-----------------|------------|------------|-----------|-----------------|----|
| 2SA733 | PNP | 60 | 0.1 | 0.25 | 50 | 90 ~ 600 | |
| 2SA1015 | PNP | 50 | 0.15 | 0.4 | 80 | 70 ~ 400 | 对管 |
| 2SC1815 | NPN | | | | | | |
| 2SC945 | NPN | 60 | 0.1 | 0.25 | 150 | 90 ~ 600 | |
| 2N2222 | NPN | 60 | 0.8 | 0.5 | 300 | > 100 | |
| 2N5401 | NPN | 160 | 0.6 | 0.31 | 100 | 60 ~ 240 | 对管 |
| 2N5551 | NPN | | | | | | |
| 2SC2073 | NPN | 150 | 1.5 | 1.5 | 4 | 40 ~ 140 | 对管 |
| 2SA940 | PNP | | | | | | |
| 2SB834 | PNP | 60 | 3 | 30 | | 60 ~ 240 | |
| 2SC1398 | NPN | 70 | 2 | 15 | | 50 ~ 220 | |
| 2SC2166 | NPN | 75 | 4 | 12.5 | | | |
| 2SC2233 | | 200 | 4 | 40 | | | |
| 2SD313 | | 60 | 3 | 30 | | | |
| 2SD401 | | 200 | 2 | 20 | | | |
| 2SD560 | | 150 | 5 | 30 | | | |
| 2SD880 | | 60 | 3 | 30 | | | |
| BD243C | | NPN | 115 | 6 | 65 | | |
| BD244C | PNP | 115 | 6 | 65 | | | |

表 12-18 常见大功率三极管的参数

| 型号 | 类型 | $U_{BR(CBO)}/V$ | I_{CM}/A | P_{CM}/W | f_T/MHz | $h_{FE(\beta)}$ | 备注 | | | |
|---------|-----|-----------------|------------|------------|-----------|-----------------|----|----|------------|--|
| 3DD15A | NPN | 60 | 5 | 50 | | 30 ~ 250 | | | | |
| 3DD15B | | 150 | | | | | | | | |
| 3DD15C | | 200 | | | | | | | | |
| 3DD15D | | 300 | | | | | | | | |
| 3DD200 | NPN | 250 | 3 | 30 | | 30 ~ 120 | | | | |
| 3DD207 | | 40 | | | | 40 ~ 250 | | | | |
| 3DD303C | | 100 | | | | 40 ~ 250 | | | | |
| 2SA1306 | | 160 | | | | 1.5 | | 20 | ≥ 130 | |
| 2SA1037 | | 60 | | | | 5 | | 20 | 70 ~ 240 | |
| 2SA1387 | 60 | 5 | 25 | 150 ~ 400 | | | | | | |
| 2SA1186 | 150 | 10 | 100 | ≥ 30 | | | | | | |



(续)

| 型号 | 类型 | $U_{BR(CBO)}/V$ | I_{CM}/A | P_{CM}/W | f_T/MHz | $h_{FE(β)}$ | 备注 |
|---------|-----|-----------------|------------|------------|-----------|--------------|----|
| 2SB1020 | | 100 | 7 | 40 | | 2000 ~ 15000 | |
| 2SB1370 | | 60 | 3 | 30 | | 60 ~ 320 | |
| 2SC3310 | | 500 | 5 | 40 | | ≥ 12 | |
| 2SC3352 | | 800 | 1.5 | 25 | | ≥ 13 | |
| 2SC3866 | | 900 | 3 | 40 | | ≥ 10 | |
| 2SC3890 | | 500 | 7 | 30 | | ≥ 10 | |
| 2SC3987 | | 50 | 3 | 20 | | ≥ 1000 | |
| 2SC4382 | | 200 | 2 | 25 | | ≥ 60 | |
| TIP122 | NPN | 100 | 5 | 60 | | ≥ 1000 | |
| TIP127 | PNP | | | | | | |
| TIP31C | NPN | 100 | 3 | 40 | | 10 ~ 100 | |
| TIP32C | PNP | | | | | | |
| TIP41C | NPN | 100 | 6 | 65 | | 15 ~ 75 | |
| TIP42C | PNP | | | | | | |

表 12-19 常见高压大功率晶体管

| 型号 | 类型 | $U_{BR(CBO)}/V$ | I_{CM}/A | P_{CM}/W | h_{FE} | |
|---------|-----|-----------------|------------|------------|----------|------|
| 2SC1413 | NPN | 1500 | 5 | 50 | | |
| 2SC1942 | | | 3 | 50 | | |
| 2SD200 | | | 2.5 | 10 | | |
| 2SD820 | | | 5 | 50 | | |
| 2SD869 | | | 3.5 | 50 | | |
| 2SD870 | | | 5 | 50 | | |
| 2SD1403 | | | 6 | 120 | | |
| 2SD1426 | | | 3.5 | 80 | | 带阻尼管 |
| 2SD1427 | | | 5 | 80 | | 带阻尼管 |
| 2SD1454 | | | 4 | 50 | | |
| 2SD1545 | | | 5 | 50 | | |
| 2SD1547 | | | 7 | 50 | | |
| 2SD1555 | | | 5 | 50 | | 带阻尼管 |
| 2SD1556 | | | 6 | 50 | | 带阻尼管 |
| 2SD1651 | | | 5 | 60 | | |
| 2SD1710 | | | 5 | 60 | | |
| 2SD1887 | | | | | 10 | 70 |
| BU208 | | | 8 | 125 | | 带阻尼管 |
| BU208A | | | 8 | 125 | | |



五、晶体闸流管

晶体闸流管简称晶闸管，具有和半导体二极管相似的单向导电性，但它又具有可以控制的单向导电性，所以又称为可控硅，它属于电力半导体器件，主要用于整流、逆变、调压、开关四个方面。目前应用最多的是晶闸管整流电路可广泛用于可控整流器。

1. 晶闸管的结构及主要参数

晶闸管外形及图形符号如图 12-16 所示；是一种 PNP 四层半导体器件，三个引出端分别是阳极 A、阴极 K、门极（又称控制极）G。

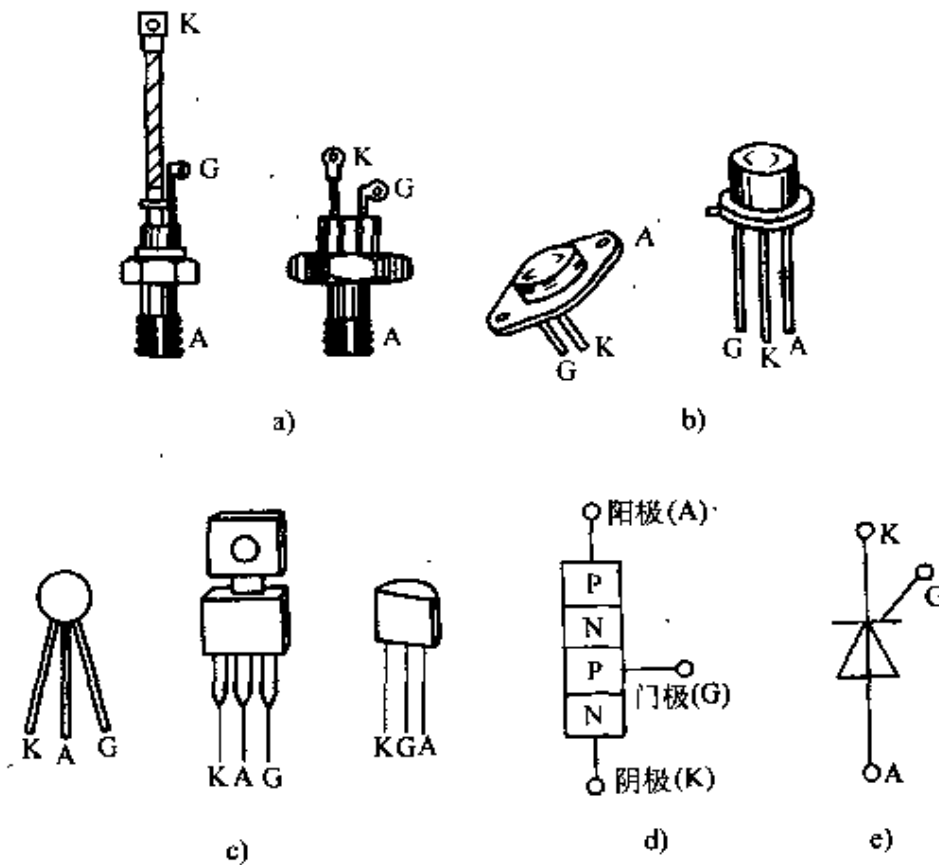


图 12-16 晶闸管的外形及图形符号

a) 螺栓形 b) 金属壳封装 c) 塑封 d) 结构 e) 图形符号

晶闸管由阻断变为导通的条件是：晶闸管阳极和阴极之间加



正向电压；同时控制极加适当的正向电压（实际中控制极上加正脉冲）。一旦晶闸管导通，控制极就失去了控制作用，当阳极电流小于一定的值时（维持电流 I_H ），晶闸管由导通变为关断。

2. 晶闸管主要参数

(1) 额定电压 在额定结温、控制极断开时，允许加在晶闸管阳极和阴极之间的正、反向最大电压。规定此电压是反向击穿电压的 80%。

(2) 额定正向平均电流 在一定条件下，管子全导通，允许通过的工频正弦波电流的平均值（即在半个周期里流过的电流，按一个周期平均）。额定正向平均电流 I_d 和正弦电流有效值 I 之间的数量关系为：

$$I_d = I/1.57$$

例如一个晶闸管元件的额定正向平均电流 I_d 是 100A，则其允许通过的正弦电流有效值 $I = I_d \times 1.57 = 157A$ 。

(3) 门极触发电压 U_g 在规定环境温度及一定的正向电压作用下，使晶闸管从关断变为导通，控制极所需的最小电压。但不得超过它的最大值。

3. 晶闸管的简易测试

在测量时，万用表的量程应取 $R \times 10\Omega$ 或 $R \times 100\Omega$ 挡，以防电压过高将控制极击穿。

用万用表的红表笔和黑表笔交替测量晶闸管的阳极与阴极之间、阳极与门极之间的正向与反向电阻，若阻值都在几百千欧以上时，说明晶闸管的这一部分是好的。门极与阴极之间是一个 PN 结，相当于一个二极管，因此门极到阴极的正向电阻大约是几欧到几百欧的范围，而阴极与门极的反向电阻比正向电阻要大，但由于晶闸管的分散性，因此有时测得的反向电阻即使比较小，也并不说明门极的特性不好。

如出现下述任一情况时，则说明晶闸管已损坏。

- 1) 阳极和阴极间的电阻接近于零。
- 2) 阴极与门极间的电阻接近于零。



3) 门极与阴极间的反向电阻接近于零。

4) 门极与阴极间的电阻为无限大。

4. 晶闸管元件的保护

晶闸管的突出弱点就是它承受过电流、过电压能力差，即使短时间的过电流、过电压都可能造成元件的损坏。所以，在晶闸管装置中必须采取适当的保护措施。保护措施见表 12-20。

表 12-20 常见晶闸管过电流和过电压保护措施

| 现象 | 保护措施 | 位置 | 参数 |
|-----|------------------|-----------------|--|
| 过电流 | 串联快速熔断器 | 在交流侧、直流侧、晶闸管元件侧 | 快速熔断器电流 选择见表 12-22 |
| 过电压 | 并联阻容电路 并联压敏电阻 | 在交流侧、直流侧、晶闸管元件侧 | $C \geq 30S/U^2 \mu F$ S—变压器容量 $R \geq 2.3 U/S U_2$ —工作电压 |

快速熔断器的额定电流数值选用见表 12-21。

表 12-21 选择快速熔断器的参考数值

| | | | | | | | | |
|-----------|---|----|----|----|-----|-----|-----|-----|
| 晶闸管额定电流/A | 5 | 10 | 20 | 50 | 100 | 200 | 300 | 500 |
| 熔断器额定电流/A | 8 | 15 | 30 | 80 | 150 | 300 | 500 | 800 |

六、双向晶闸管

双向晶闸管亦称三端双向交流开关，是目前较理想的交流开关器件。它仅用一个触发电路，即可代替两只反极性并联的单向晶闸管，用来控制交流负载。双向晶闸管可广泛用于交流调压、调速、舞台调光和台灯调光等领域。

1. 结构

小功率双向晶闸管一般采用塑料封装，有的还带小散热片，外形及符号如图 12-17 所示。

它属于 NPNPN 五层器件，三个电极分别为 T1、T2、G。因该器件可以双向导通，故除门极 G 以外的两个电极统称主端子，分别用 T1、T2 表示，不再划分成固定的阳极或阴极。其特点是



当 C 极和 T2 极相对于 T1 的电压均为正时，T2 为阳极，T1 是阴极。反之，当 G 极和 T2 极相对于 T1 的电压均为负时，T1 变为阳极，T2 为阴极。

2. 用万用表 $R \times 1$ 挡判定双向晶闸管电极并检查其触发能力的方法

1) 判定 T2 极 由双向晶闸管内部结构所决定，G 极与 T1 极靠得很近，而距 T2 极较远，因此 G-T1 之间的正、反向电阻都很小。在用 $R \times 1$ 挡测任意两脚之间的电阻时，只有 C-T1 之间呈现低阻，其正、反向电阻仅几十欧。而 T2-G、T2-T1 之间的正、反向电

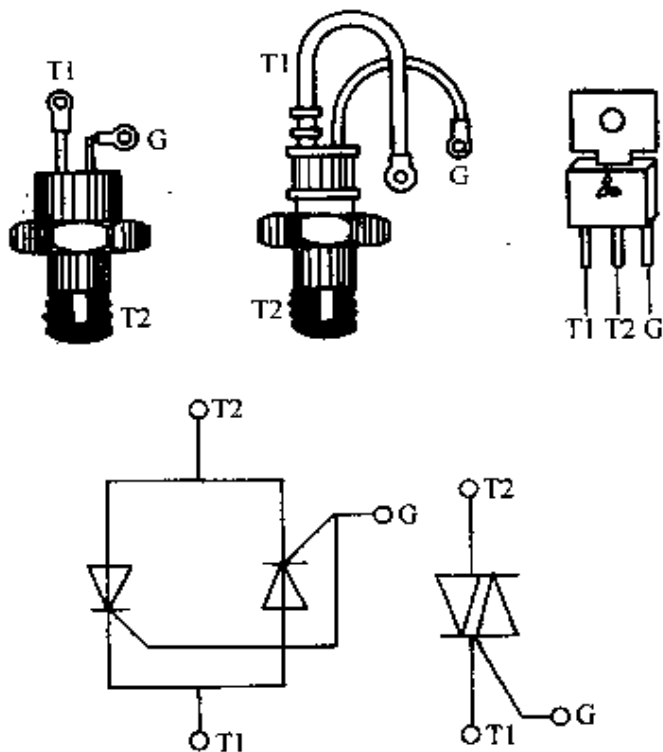


图 12-17 双向晶闸管的外形及图形符号

阻均为无穷大。这表明，若测出某脚与其他两脚都不通，则肯定是 T2 极。另外，采用 TO-220 封装的双向晶闸管，T2 极通常与小散热片连通，据此也能判定 T2 极。

2) 区分 G 极与 T1 极并检查触发能力 在找出 T2 极之后，首先假定剩下两脚中某一脚为 T1 极，另一脚为 G 极。然后把黑表笔接 T1 极，红表笔接 T2 极，电阻为无穷大。接着用红表笔尖把 T2 与 G 短路，给 G 极加上负触发信号，电阻值应为 10Ω 左右（如图 12-18a 所示），证明管子已经导通，导通方向为 $T1 \rightarrow T2$ 。再将红表笔尖与 G 极脱开（但仍接 T2 极）如电阻值保持不变，就证明管子在触发后能维持导通状态如图 12-18b 所示。最后用红表笔接 T1 极，黑表笔接 T2 极，并使 T2 与 G 短路，给 G 极加上正触发信号，电阻值仍为 10Ω 左右，与 G 极脱开后若阻值不

变,说明管子被触发后在 $T2 \rightarrow T1$ 方向上也能维持导通状态,因此它具有双向触发特性。由此证明上述假定正确。若与实际不符,应重新作出假定,重复上述试验。很显然,在识别 G 极与 T1 极的过程中也就检查了双向晶闸管触发能力。

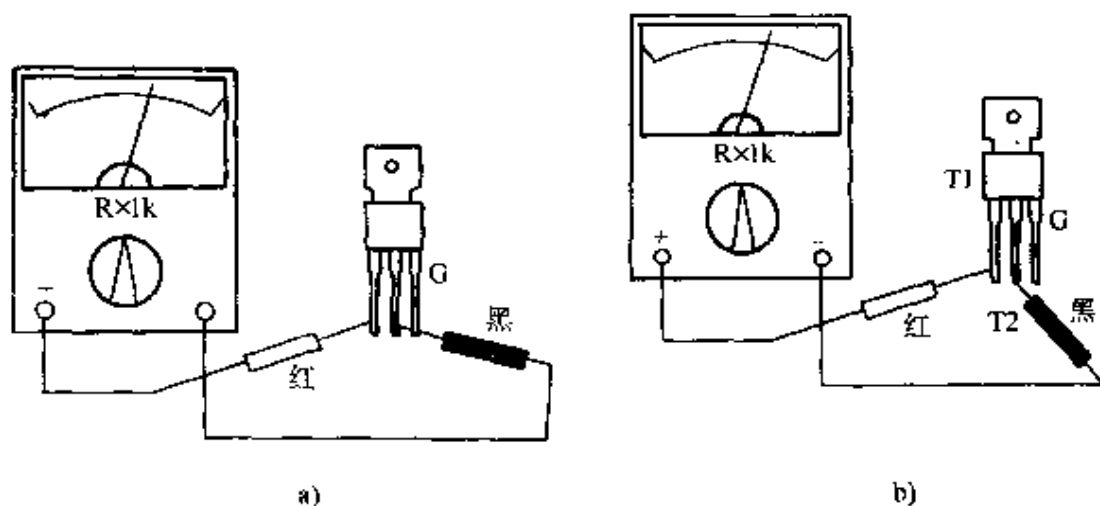


图 12-18 区分 G 和 T1 极的方法

七、组合器件

1. 整流全桥组件

全桥组件是一种把 4 只整流二极管按全波桥式整流电路连接方式封装在一起的整流组合件。

(1) 全桥组件的主要参数 由于整流全桥组件是由二极管组成的,因而选用全桥组件时可参照二极管的参数,其主要参数有两项:额定正向整流电流 I 和反向峰值电压 U 。常见国产全桥的正向电流为 $0.05 \sim 100A$,反向峰值电压为 $25 \sim 1000V$ 。参数的标注方法如下:

1) 直接用数字标注。例如:QL1A/100 或者 QL1A100,表示整流电流为 $1A$,反向峰值电压为 $100V$ 的全桥。

2) 用字母表示反向峰值电压 U ,数字表示电流 I 值。有些全桥组件的型号中, I 值用数字标明, U 不直接用数字表示,而用英文字母 A ~ M 代替,字母和反向峰值电压对照关系见表 12-

22。

表 12-22 反向峰值电压对照表

| 字母 | A | B | C | D | E | F | G | H | J | K | L | M |
|------|----|----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|------|
| 电压/V | 25 | 50 | 100 | 200 | 300 | 400 | 500 | 600 | 700 | 800 | 900 | 1000 |

例如：QL2AF 则表示一个电流为 2A、峰压为 400V 的全桥。

不少型号的全桥组件只标电压的代表字母，而不标明具体的电流值，这些全桥可以去查产品手册。例如：QL2B 查手册后知道是 0.1A、50V 的全桥。

(2) 全桥组件的引脚排列规律

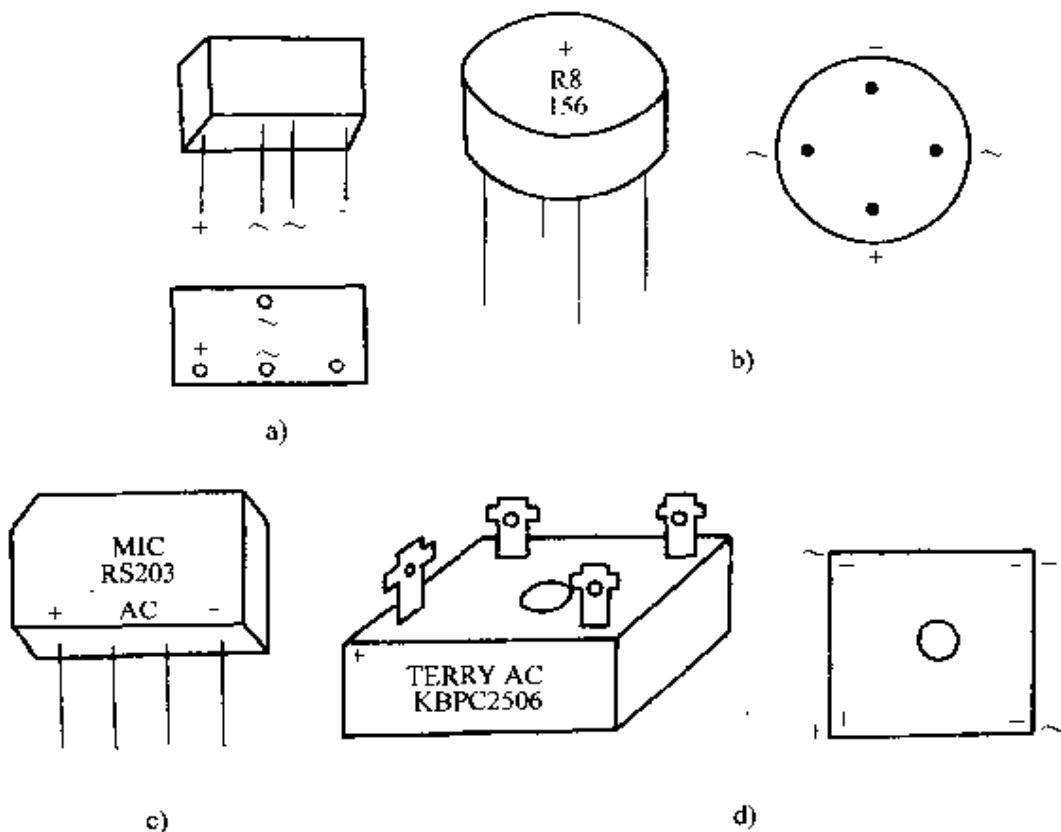


图 12-19 全桥组件的管脚排列

- a) 长方体全桥组件 b) 圆柱体全桥组件
c) 扁形全桥组件 d) 方形全桥组件



1) 长方体全桥组件输入、输出端直接标注在面上,如图 12-19a 所示。“~”为交流输入端,“+”、“-”为直接输出端。

2) 圆柱体全桥组件的表面若只标“+”,那么在“+”的对面是“-”极端,余下两脚便是交流输入端,如图 12-19b 所示。

3) 扁形全桥组件除直接标正、负极与交流接线符号外,通常以靠近缺角端的引脚为正(部分国产为负)极,中间为交流输入端,如图 12-19c 所示。

4) 大功率方形全桥组件,这类全桥由于工作电流大,使用时要另外加散热器。散热器可由中间圆孔加以固定。此类产品一般不印型号和极性,可在侧面边上寻找正极标记,如图 12-19d 所示。正极的对角线上的引脚是负极端,余下两引脚接交流端。

(3) 全桥组件的检测方法 判别极性、若全桥组件的极性未标注或标记不清,可用万用表进行判断,将万用表置于 $R \times 1k$ 挡,黑表笔任意接全桥组件的某个引脚,用红表笔分别测量其余 3 个引脚,如果测得的阻值都为无穷大,则此时黑表笔所接的引脚为全桥组件的直流输出正极;如果测得的阻值都为 $4 \sim 10k\Omega$ 左右,则此时黑表笔所接的引脚为全桥组件的直流输出负极,剩下的两个引脚就是全桥组件的交流输入脚。

2. 集成稳压器

集成稳压器分固定集成稳压器和可调集成稳压器二种,它们又分为正电压输出和负电压输出。由于集成稳压器具有体积小、性能优良、使用方便,并具有良好的保护功能而得到了广泛的应用。下面分别给予介绍:

1) 78xx 系列三端固定集成稳压器为正电压输出的集成稳压器,其中 xx 表示输出电压的值,而电流又分三种规格,78xx 输出电流为 1.5A; 78Lxx 输出电流为 100mA; 78Mxx 输出电流为 0.5A。例如 78M05 表示该集成稳压器输出电压为正 5V,输出电流为 500mA。

78xx 系列三端稳压器封装形式各不相同,常见外形如图 12-20 所示。

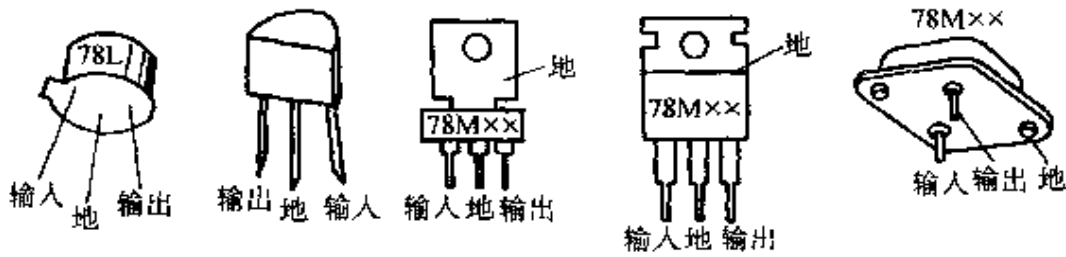


图 12-20 78xx 系列产品外形

2) 79xx 系列三端固定集成稳压器为负电压输出的集成稳压器，它的性能与 78xx 系列类似，主要的不同点是输出电压为负压；封装形式相同，但引脚不同。它的封装和外形引脚如图 12-21 所示，其典型接线如图 12-22 所示。

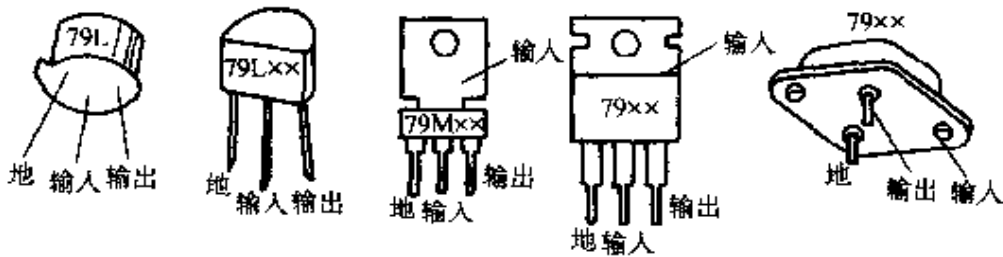


图 12-21 79xx 系列产品外形

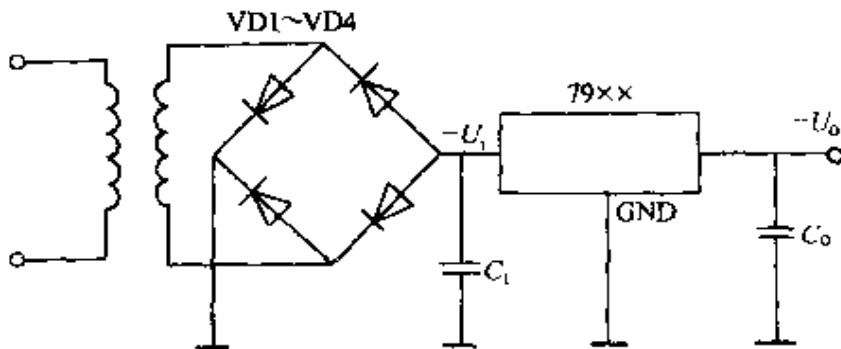


图 12-22 79xx 系列稳压器典型应用电路

3) 正电压三端可调式集成稳压器。三端可调式集成稳压器是一种使用方便、应用广泛的稳压器，与三端固定式稳压器相比



具有更优的稳压性能，且电压连续可调，连接电路也非常方便，并同样具有各种过载保护功能。三端可调式集成稳压器主要参数见表 12-23，其典型应用电路如图 12-23 所示。

表 12-23 三端可调式集成稳压器主要参数 (LM117/217/317 系列)

| 参 数 | LM117 | LM217 | LM317 |
|-----------|---------|---------|--------|
| 最大输出电压/V | 40 | 40 | 40 |
| 输出电压/V | 1.2~37 | 1.2~37 | 1.2~37 |
| 最大输出电流/A | 1.5 | 1.5 | 1.5 |
| 电压调整率(%) | 0.01 | 0.01 | 0.01 |
| 电流调整率(%) | 0.1 | 0.1 | 0.1 |
| 最小负载电流/mA | 3.5 | 3.5 | 3.5 |
| 调整端电压/V | 50 | 50 | 50 |
| 基准电压/V | 1.25 | 1.26 | 1.25 |
| 工作温度/°C | -55~150 | -25~150 | 0~125 |
| 管脚排列 | | | |

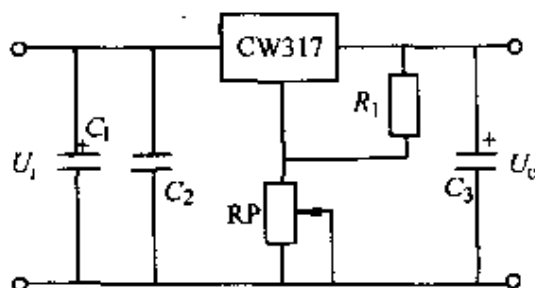


图 12-23 正电压三端可调式集成稳压器典型应用电路



第三节 电子元件的焊接技术

一、手工钎焊的工具和材料

手工钎焊的主要工具是电烙铁。焊接集成电路、CMOS 电路印制电路板一般选用 20W 内热式电烙铁，焊接分立元件、铜铆钉板可选用 35W 内热式电烙铁。烙铁头有多种形状，圆斜面式适用于焊接印刷板上不太密集的焊点，凿式和半凿式多用于电气维修工作，尖锥式适用于焊接高密度的焊点。焊接所用的其他工具有尖嘴钳、斜口钳、镊子、旋具、元件剪、小刀等。

锡钎焊材料有钎料和钎剂两种。钎料是锡钎料或纯锡。常用的有锭状和丝状两种。为提高焊接质量和速度，手工烙铁钎焊，通常采用有松香芯的锡钎焊丝。因此一般在电子产品的焊接中用松香。松香被加热熔化时，呈现较弱的酸性，起到助焊的作用，而常温下无腐蚀作用，绝缘性强，所以电子电路的焊接通常都是采用松香或松香酒精焊剂。

二、电子元器件的引线成形和插装

1. 电子元器件的引线成形要求

电子元器件引线的成形主要是为了满足安装尺寸与印制电路板的配合等要求。手工插装焊接的元器件引线加工形状如图 12-24 所示。需要注意的是：

- 1) 引线不应在根部弯曲，至少要离根部 1.5mm 以上。
- 2) 弯曲处的圆角半径 R 要大于两倍的引线直径。
- 3) 弯曲后的两根引线要与元件本体垂直，且与元件中心位于同一平面内。
- 4) 元器件的标志符号应方向一致，便于观察。

一般元器件的引线成形多采用模具手工成形，另外也可用尖嘴钳或镊子加工元件引线来成形。

2. 元器件在印制电路板上插装的原则

- 1) 电阻、电容、晶体管和集成电路的插装应是标记和色码朝上，易于辨认。元器件的插装方向在工艺图样上没有明确规定

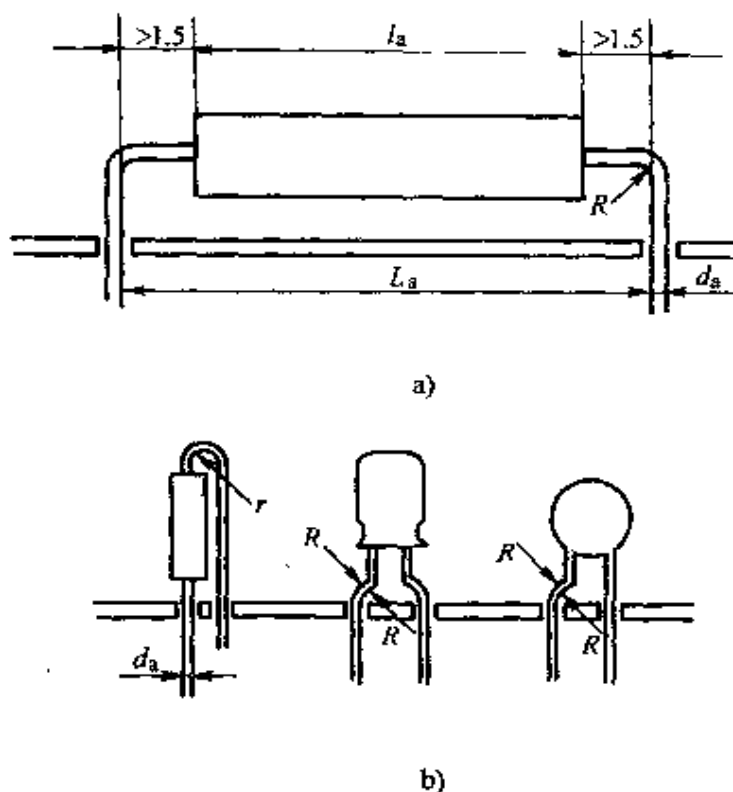


图 12-24 元器件引线加工的形状

a) 轴向引线元件卧式插装方式 b) 竖式

注： L_a —两焊盘的跨接间距

l_a —元件轴向引线元件体的长度

d_a —元件引线的直径或厚度

时，必须以某一基准来统一元器件的插装方向。

2) 有极性的元器件由极性标记方向决定插装方向，如电解电容、晶体二极管等，插装时只要求能看出极性标记即可。

3) 插装顺序应该先轻后重、先里后外、先低后高。如先插卧式电阻、二极管，其次插立式电阻、电容和三极管，再插大体积元器件，如大电容、变压器等。

4) 印制电路上元器件的距离不能小于 1mm，引线间的间隔要大于 2mm，当有可能接触时，引线要套绝缘套管。

5) 特殊元器件的插装方法

特殊元器件是指较大、较重的元器件，如大电解电容、变压

器、扼流圈及磁棒等，插装时必须用金属固定件或固定架加强固定。

三、焊接工艺

1. 焊前准备

电烙铁的准备：烙铁头上应保持清洁，并且镀上一层锡钎料，这样才能使传热效果好，容易焊接。新的烙铁使用前必须先对烙铁头进行处理，按需要将烙铁头锉成一定形状，再通电加热，将烙铁沾上锡钎料在松香中来回摩擦，直至烙铁头上镀上一层锡。如烙铁使用时间长久，烙铁头表面会产生氧化层及凹凸不平，也需先锉去氧化层，修整后再镀锡。

2. 焊接操作方法

如图 12-25 所示，焊接按准备焊接、送烙铁预热焊接、送锡钎焊丝、移开锡钎焊丝、移开烙铁等工序进行。对于热容量小的焊件，例如印制电路板上元器件细引线的焊接，要特别注意焊接时间的掌握，以防损坏电路板及元件。

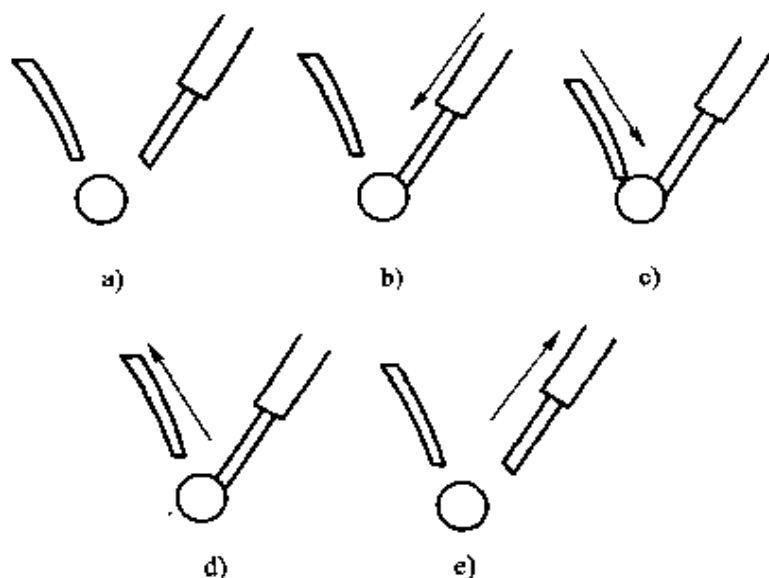


图 12-25 焊接操作步骤

- a) 准备焊接 b) 送烙铁 c) 送焊丝
d) 移焊丝 e) 移烙铁