

高职高专机电专业规划教材



电气控制及PLC应用技术

● 主编 王玉中



河南科学技术出版社

内 容 简 介

本书从工程应用的角度出发,围绕构成 PLC 应用控制系统的充分性、必要性、先进性、实用性、主流性来选择编写内容,力求做到语言简洁、通俗易懂、内容全面、重点突出、理论浅显、实例丰富、图文并茂、易学好用。本书重点以目前全球最大的 PLC 生产厂家——SIEMENS 公司的 S7—200 系列 PLC 为样机,详细介绍了其结构、工作原理、指令系统、编程方法、系统组态、网络通信和应用设计等内容。每章后面附有适量的习题。

本书主要内容包括:常用低压电器、电气控制电路的基本控制环节、可编程控制器概述、S7—200 的结构和工作原理、S7—200 的基本指令系统及编程、S7—200 的应用指令及编程、S7—200 的网络及通信基础、PLC 控制系统的应用设计、S7—200 的编程软件、实验与实训。

本书主要作为大专院校电气工程及自动化、机械设计制造及自动化、计算机应用等相关专业的教学用书,也可作为广大电气工程技术人员的参考书和技术手册。

图书在版编目 (CIP) 数据

电气控制及 PLC 应用技术/王玉中主编. —郑州:河南科学技术出版社, 2006. 9
(高职高专机电专业规划教材)

ISBN 7 - 5349 - 3469 - 9

I. 电… II. 王… III. ①电气控制 - 高等学校:技术学校 - 教材②可编程序
控制器 - 高等学校:技术学校 - 教材 IV. ①TM762②TP332.3

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2006) 第 076214 号

出版发行:河南科学技术出版社

地址:郑州市经五路 66 号 邮编:450002

电话:(0371) 65737028

责任编辑:刘 嘉

责任校对:王艳红

封面设计:李 冉

版式设计:栾亚平

印 刷:黄委会设计院印刷厂

经 销:全国新华书店

幅面尺寸:185mm×260mm 印张:22.25 字数:511千字

版 次:2006年9月第1版 2006年9月第1次印刷

印 数:1—3 000

定 价:33.00元

如发现印、装质量问题,影响阅读,请与出版社联系。

《高职高专机电专业规划教材》编审委员会名单

主任 李 华

副主任 (按姓氏笔画排序)

王林鸿	王朝庄	田 坤	苏海青	李学雷
杨星钊	张 勤	郝小会	侯继红	顾文明
陶 昆	彭志宏	薛培军		

委 员 (按姓氏笔画排序)

王玉中	王丽霞	王林鸿	王朝庄	田 坤
史艳红	宁玉伟	刘好增	刘静香	苏海青
李 华	李传军	李学雷	杨星钊	肖 珑
吴振亭	张 勤	张洪峰	张淑贤	苗志毅
郝小会	侯继红	顾文明	陶 昆	常家东
康宝来	梁南丁	彭志宏	熊运昌	薛培军

《电气控制及 PLC 应用技术》编委名单

主 编 王玉中

副主编 张咏梅 张传斌

编 委 (按姓氏笔画排序)

王玉中 牛 鑫 吕 莉 吴 镝 张传斌

张咏梅 郝文玲 郭继红 穆亚辉

主 审 余发山

序

高等职业技术教育是我国高等教育体系的重要组成部分。从 20 世纪 90 年代末开始, 伴随我国高等教育的快速发展, 高等职业技术教育也进入了快速发展时期。在短短的几年时间内, 我国高等职业技术教育的规模, 无论是在校生数量还是院校的数量, 都接近于占高等教育总规模的半壁江山。自 2002 年 10 月以后, 教育部连续召开了三次全国高等职业教育产学研合作研讨会, 明确指出高等职业技术教育要“以服务为宗旨, 以就业为导向, 走产学研结合的发展道路”, 为高等职业技术教育的发展指明了方向。2005 年 11 月, 全国职业教育工作会议召开, 会议提出要大力发展中国特色的职业教育, 国务院印发了《关于大力发展职业教育的决定》。根据会议的精神, 到 2010 年, 我国高等职业教育招生规模要占高等教育招生规模的一半以上。

高等职业技术教育承担着为我国走新型工业化道路, 调整经济结构和转变增长方式, 提供高素质技能型人才的任 务。随着我国经济建设步伐的加快, 特别是随着我国由制造大国向制造强国的转变, 现代制造业急需高素质高技能的专业人才。面对这一形势, 高职高专院校的机电类专业根据市场和社会需要, 不断更新教学内容, 改进教学方法; 大力推进精品专业、精品课程和教材建设; 高度重视实践和实训环节教学; 与企业紧密联系, 加强学生的生产实习和社会实践, 取得了许多成功的经验。近几年来, 河南省的高职高专院校抓住机遇, 主动面向社会, 服务经济建设与社会发展, 积极推进教学改革, 加强教学基本建设, 探索新的人才培养模式, 取得了许多在全国具有重要影响的高等职业技术教育教学成果, 许多高职高专院校在全国具有较高的知名度。

但是高等职业技术教育的发展并不平衡。由于发展速度快, 一部分新创办的院校对高等职业技术教育的本质规律仍在认识过程中, 对专业建设、教学内容改革还在逐步探索之中。因此, 总结成功的经验, 把高等职业技术教育发展的成果以教材的形式固化, 在更多的院校得以推广, 无疑是一件非常有意义的事情。服务于地方经济建设, 人才培养模式多样化是高等职业技术教育的特征之一, 编写符合地方人才培养特色要求的高职高专教材也是高等职业技术教育发展的需要。教育部在《关于申报“普通高等教育‘十一五’国家级教材规划”选题的通知》中也明确提出了教材规划制定的四个原则: (1) 坚持分类指导的原则。编写适应不同层次、不同类型院校的教材。(2) 坚持多样性的原则。鼓励编写具有不同风格和特色的教材。(3) 坚持新编与修订相结合的原则。鼓励根据学科的发展、社会对人才的需要和人才培养的实践编写新教材。(4) 坚持突

出重点的原则。基础课、专业基础课是提高质量的关键，应当加强教材建设。根据这一精神，河南科学技术出版社抓住这一时机，组织编写高职高专机电类教材，对于高等职业技术教育将起到展示成果和实力，推动教学改革与教学基本建设，促进发展的重要作用。

这一系列教材共 16 种，涵盖了机电类专业的专业基础课和主干课，在编写过程中，贯彻了高等职业技术人才培养的基本要求，对传统的课程体系进行了有效的整合，突出了技能培养和理论知识的应用能力的培养，精简了理论内容；对专业技术内容进行了及时的更新，反映了技术发展的水平，同时结合行业的特色，缩短了学生专业技术技能与生产一线要求的距离，具有鲜明的高等职业技术教育人才培养特色。参加系列教材编写的各位作者都是长期从事高职高专教学工作的教师，在教学实践中积累了丰富的经验，对高等职业技术人才的培养和机电类专业的课程体系、教学内容的改革具有深刻的理解，形成了自己的特色。这些经验和成果必定能在教材中得到反映。我们期待着有特色、高质量的高职高专机电类系列教材的诞生。相信经过不断的完善，这一系列教材将能够成为高职高专教材的精品。

李 华

2006 年 1 月 6 日

前 言

本书是在河南省高等专科学校机械制造类专业教材编审委员会的组织和指导下，根据其制订的电气控制及 PLC 应用技术课程教学大纲而编写的。本书的特点是删减了大量传统电气控制技术的内容，大大增加了新型电气控制技术——PLC 技术的内容，并且把实验内容单独列为一章。在内容选择上，从工程应用的角度出发，围绕构成 PLC 应用控制系统的充分性、必要性、先进性、实用性、主流性来选择编写内容；在编写形式上，力求做到语言简洁、通俗易懂、内容全面、重点突出、理论浅显、实例丰富、图文并茂、易学好用。

本书共分 10 章。常用低压电器主要介绍了低压开关电器、接触器、继电器、熔断器、主令电器的工作原理、用途、使用方法和选用方法。电气控制电路的基本控制环节主要介绍了三相笼型异步电动机的全压启动及运行控制、三相笼型异步电动机的降压启动及运行控制、三相绕线异步电动机的启动及运行控制、感应式双速异步电动机的变速控制、三相笼型异步电动机的电气制动控制、直流电动机的启制动和调速控制等常用基本控制环节的结构、电气原理图、自动调节过程。可编程控制器部分主要介绍了 PLC 的定义、产生背景、分类及发展趋势，小型 PLC 的基本结构及工作原理、编程语言、性能指标和应用场合。其他章节以目前全球最大的 PLC 生产厂家——SIEMENS 公司的 S7—200 系列 PLC 为样机，详细介绍了其结构、工作原理、指令系统、编程方法、系统组态、网络通信、应用设计、实验与实训等内容。附录部分包括电气工程图常用图形及文字符号表、S7—200 PLC 的特殊辅助继电器 SM、S7—200 PLC 的错误代码，方便读者查找。每章后面附有适量的习题。

本书主要作为大专院校电气工程及自动化、机械设计制造及自动化、计算机应用等相关专业的教学用书，也可作为广大电气工程技术人员参考书和技术手册。

本书由焦作大学副教授王玉中任主编，济源职业技术学院的张咏梅和许昌职业技术学院的张传斌任副主编。本书的第 1 章和第 2 章由济源职业技术学院的郭继红编写，第 3 章和第 4 章由济源职业技术学院的张咏梅和牛鑫共同编写，第 5 章由焦作大学的郝文玲编写，第 6 章、附录 2 和附录 3 由许昌职业技术学院的穆亚辉编写，第 7 章和附录 1 由焦作大学的吴镛编写，第 8 章由许昌职业技术学院的张传斌编写，第 9 章和第 10 章由焦作大学的王玉中和吕莉共同编写。全书由王玉中统稿。

本书由河南理工大学的余发山教授任主审，他对本书提出了许多中肯和建设性的意

见，在此表示诚挚的谢意！书中部分内容的编写参考了有关文献，恕不一一列举，在此谨对书后所有参考文献的作者表示衷心的感谢！

由于编者水平有限，书中难免会有错误和不妥之处，敬请读者批评指正。

编者

2006年5月1日

目 录

第 1 章 常用低压电器	1
1.1 低压电器的基本知识	1
1.2 低压开关电器	4
1.3 低压接触器	8
1.4 低压继电器.....	11
1.5 低压熔断器.....	17
1.6 低压主令电器.....	19
本章小结	22
思考与练习	23
第 2 章 电气控制电路的基本环节	24
2.1 三相笼型异步电动机的全压启动及运行控制.....	24
2.2 三相笼型异步电动机的降压启动及运行控制.....	31
2.3 三相绕线异步电动机的启动及运行控制.....	34
2.4 三相感应双速异步电动机的变速控制.....	37
2.5 三相笼型异步电动机的电气制动控制.....	40
2.6 直流电动机的电气控制电路.....	45
本章小结	49
思考与练习	52
第 3 章 可编程控制器概述	54
3.1 PLC 的产生、定义及分类.....	54
3.2 PLC 的结构和工作原理.....	58
3.3 PLC 的特点、主要功能及技术性能指标.....	65
3.4 PLC 的编程语言.....	67
3.5 PLC 的应用与发展趋势.....	70
本章小结	71
思考与练习	72

第 4 章 S7—200 的结构和工作原理	73
4.1 S7—200 的硬件组成及功能特性	73
4.2 S7—200 的工作原理	80
4.3 S7—200 的技术性能指标	81
4.4 S7—200 的编程元件及 CPU 组态	83
本章小结	98
思考与练习	99
第 5 章 S7—200 的基本指令系统及编程	100
5.1 位操作类指令	100
5.2 运算指令	125
5.3 数据处理指令	140
5.4 表功能指令	148
5.5 转换指令	152
本章小结	157
思考与练习	157
第 6 章 S7—200 的应用指令及编程	159
6.1 程序控制类指令	159
6.2 特殊指令	168
本章小结	190
思考与练习	191
第 7 章 S7—200 的网络及通信基础	192
7.1 PLC 的网络及通信基本知识	192
7.2 S7—200 的通信实现	199
7.3 S7—200 的网络通信	207
7.4 S7—200 的自由口通信模式	211
本章小结	220
思考与练习	220
第 8 章 PLC 控制系统的应用设计	222
8.1 PLC 控制系统的设计原则	222
8.2 PLC 控制系统的设计步骤	223
8.3 PLC 控制系统的硬件设计	227
8.4 PLC 控制系统的软件设计	233
8.5 PLC 控制系统设计实例	250



本章小结·····	256
思考与练习·····	257
第9章 S7—200 的编程软件 ·····	259
9.1 编程软件的安装·····	259
9.2 编程软件的功能·····	261
9.3 用户程序的编辑·····	268
9.4 用户程序的调试及运行监控·····	274
本章小结·····	278
思考与练习·····	278
第10章 实验与实训 ·····	279
10.1 基本指令的编程练习·····	280
10.2 装配流水线控制系统的模拟·····	282
10.3 三相异步电动机的星形/三角形降压启动控制·····	284
10.4 LED 数码显示控制·····	286
10.5 五相步进电动机控制系统的模拟·····	287
10.6 十字路口交通灯控制系统的模拟·····	289
10.7 天塔之光控制系统的模拟·····	291
10.8 水塔水位控制系统的模拟·····	293
10.9 液体混合装置控制系统的模拟·····	294
10.10 三层电梯控制系统的模拟·····	296
10.11 机械手动控制系统的模拟·····	303
10.12 四节传送带控制系统的模拟·····	305
10.13 喷泉控制系统的模拟·····	309
10.14 舞台灯光控制系统的模拟·····	310
10.15 轧钢机控制系统的模拟·····	312
10.16 邮件分拣控制系统的模拟·····	313
10.17 霓虹灯饰控制系统的模拟·····	317
10.18 运料小车控制系统的模拟·····	318
附录 ·····	321
附录1 电气工程图常用的图形及文字符号表·····	321
附录2 S7—200 的特殊辅助继电器 SM·····	327
附录3 S7—200 的错误代码·····	338
参考文献 ·····	342

第 1 章

常用低压电器

学习指导

低压电器广泛应用于发电厂、变电所、交通运输等电力输配电领域的控制系统。随着科学技术的飞速发展，工业企业的自动化程度不断提高，低压电器的使用范围日益扩大，品种规格也不断增加。

本章主要内容：

- 低压电器的基本知识
- 低压开关电器
- 低压接触器
- 低压继电器
- 低压熔断器
- 低压主令电器

通过学习，同学们应当重点掌握常用低压电器的工作原理、用途、使用方法和选用方法。随着科学技术的不断发展，为提高系统的可靠性，应尽量选用新型的电器元件。

1.1 低压电器的基本知识

1.1.1 低压电器的分类

凡是对电能的生产、输送、分配和应用能起到切换、控制、调节、检测和保护等作用的电工器械，均称为电器。低压电器通常是指工作电压小于等于交流 1 200V 或直流 1 500V 的电器。

低压电器品种繁多，结构各异，用途不同。常用低压电器的分类如下：

(1) 按低压电器的动作方式可分为低压手动电器和低压自动电器两类。低压手动电器是指需要人工直接操作才能完成指令任务的低压电器，如按钮、刀开关等。低压自动电器是指不需要人工直接操作，而是根据电信号或非电信号的变化自动完成指令任务

的低压电器，如接触器、继电器等。

(2) 按低压电器的作用可分为低压控制电器和低压保护电器两类。低压控制电器是指在电路中起发布命令、通断、调节、检测和执行动作等控制作用的低压电器，如主令电器、刀开关、速度继电器、接触器等。低压保护电器是指在电路中起保障电源、线路、电器及负载安全运行的低压电器，如熔断器、热继电器、过电流继电器等。

(3) 按低压电器作用的对象可分为低压配电电器和低压控制电器两类。低压配电电器是指在配电系统中起输送电能、分配电能、保护电路及用电设备等作用的低压电器，如刀开关、组合开关、熔断器、自动开关等。

(4) 按低压电器的工作原理可分为低压电磁式电器和低压非电量电器两类。低压电磁式电器是指根据电磁感应原理完成指令任务的低压电器，如接触器、各种电磁式继电器等。低压非电量电器是指根据非电量（压力、温度、时间、速度等）的变化完成指令任务的低压电器，如按钮、行程开关、时间继电器、热继电器、速度继电器等。

1.1.2 电磁式电器

不同的低压电器结构差别很大，但是从功能上看，所有的低压电器都具有感测部分与执行部分，大部分低压电器具有灭弧装置。感测部分用于接收、处理外部信号，为执行部分动作提供条件；执行部分用于响应感测部分的输出，通过动作完成控制任务；灭弧装置用于迅速熄灭触点分断时产生的电弧，确保电器安全可靠工作。感测部分多数是电磁机构，执行部分多数是触点。

1. 电磁机构 电磁式电器的感测部分是电磁机构，它将电磁能转换成机械能，带动触点闭合和分断。电磁机构一般由线圈、铁芯和衔铁三部分组成，其结构形式按动作方式分为直动式和转动式，如图 1.1 所示。

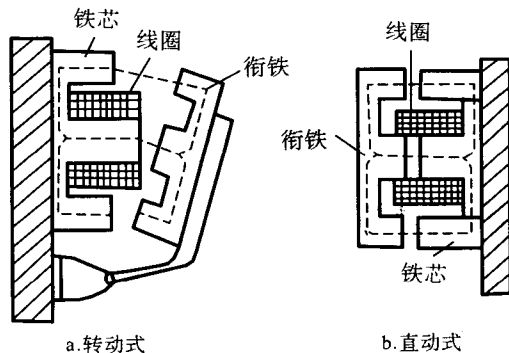


图 1.1 电磁机构的结构形式

当线圈通入电流后产生磁场，磁力线经铁芯、衔铁和气隙形成闭合回路，对衔铁产生电磁吸引力。与此同时，衔铁还受到复位弹簧的反作用力，只有当电磁吸引力大于弹簧反作用力时，衔铁才能可靠地被铁芯吸住。因此电磁机构又称电磁铁。

电磁铁按线圈中通入电流的性质分为直流电磁铁与交流电磁铁两类。直流电磁铁线圈通入直流电流，产生恒定方向磁通，铁芯中没有磁滞损耗与涡流损耗，只有线圈本身



的铜损，所以铁芯用电工纯铁或铸钢制成，线圈无骨架，且成细长形。交流电磁铁线圈通入交流电流，产生交变磁通，铁芯中有磁滞损耗与涡流损耗，线圈本身有铜耗，所以铁芯一般采用冷轧硅钢片叠压后铆成且装有短路环，线圈有骨架，且成短粗形，以减少铁芯中的涡流与磁滞损耗，增加散热面积，减少衔铁吸合时产生的振动和噪声。

交流电磁铁铁芯中的短路环如图 1.2 所示。当线圈中通过交变电流时，穿过铁芯的磁通 Φ 也是交变的，对衔铁的吸力时大时小，有时为零，在复位弹簧的反方向力作用下，衔铁有释放的趋势，造成衔铁振动，产生噪声。装入短路环后，交变磁通的一部分 Φ_1 未穿过短路环，剩余部分穿过短路环，在短路环中产生感应电流，感应电流又产生新的磁通，与穿过短路环的原有磁通合成为磁通 Φ_2 。 Φ_1 与 Φ_2 相位不同，即不同时为零，这样当铁芯磁通 Φ_1 为零时， Φ_2 不为零，其产生的电磁力仍然将衔铁吸住，从而消除了衔铁的振动和噪声。

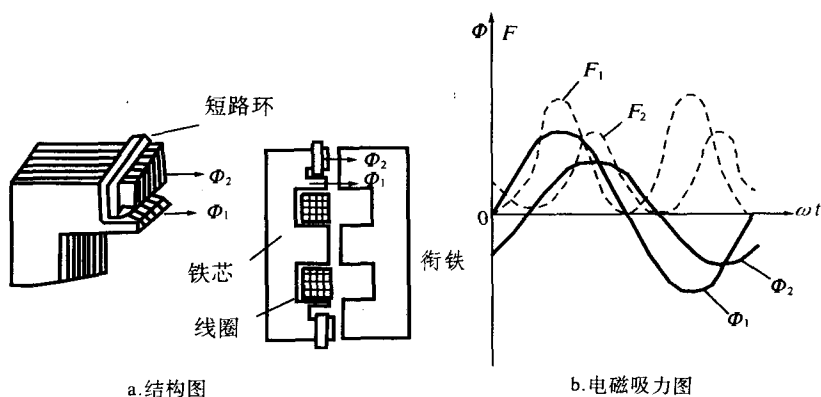


图 1.2 交流电磁铁中短路环的结构和原理

2. 触点系统 触点系统包括静触点、动触点和反作用弹簧，是一切有触点电器的执行部件，用来接通和断开电路。

触点按结构形式分为桥式触点和指式触点两类，如图 1.3 所示。桥式触点分点接触和面接触两种；前者适用于小电流电路，后者适用于大电流电路。指式触点为线接触，

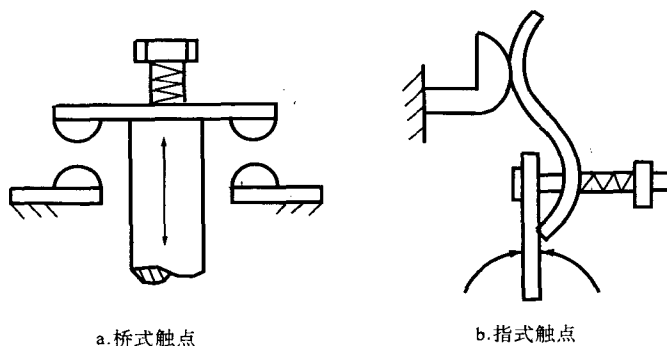


图 1.3 触点的结构形式

在接通和分断时产生滚动摩擦，有利于去除触点表面的氧化膜，适用于大电流且操作频繁的场所。为使触点接触时导电性能良好，减少接触电阻并消除开始接触时产生的振动，在触点上装设了触点弹簧，以增加动静触点间的接触压力。

触点根据用途不同分为动合触点和动断触点两类。动合触点指的是电器元件在没有通电或不受外力作用的常态下处于断开状态的触点，动断触点则正好相反。

3. 电弧及灭弧装置 各种有触点电器都是通过触点的开、合来接通、断开电路的。触点接通电路时存在着接触电阻，引起触点温升；如果触点间电压大于 $10 \sim 20\text{V}$ ，电流超过 80mA ，则触点分断电路时，由于热电子发射和强电场的作用，使气体游离，从而在触点分断瞬间产生电弧。当电弧持续不熄时，会产生许多危害：①使电路仍旧保持接通状态，延迟了电路的断开；②会烧损触点，缩短电器的使用寿命；③形成飞弧造成电源短路事故或人身伤害。为使电器安全可靠工作，必须采用灭弧装置使电弧迅速熄灭。

电动力灭弧筒便且无需专门灭弧装置，多用于 10A 以下的小容量交流电器。容量较大的交流电器一般采用灭弧栅灭弧，对于直流电器则广泛采用磁吹灭弧装置，还有交流直流电器皆可采用纵缝灭弧。实际上，上述灭弧装置有时是综合应用的。

1.2 低压开关电器

开关电器是一种配电电器，用于隔离电源或在规定条件下接通、分断电路，以及转换正常或非正常的电路。常用的低压开关电器包括刀开关、转换开关、自动开关三类。

1.2.1 刀开关

刀开关又称闸刀开关，主要作用是隔离电源，也可用于小功率电路的不频繁通断。刀开关主要由静插座、触刀、操作手柄、外壳和绝缘底板组成。刀开关的种类繁多，按刀的极数分为单极、双极和三极三类。刀开关的图形及文字符号如图 1.4 所示。下面介绍两种常用的刀开关。

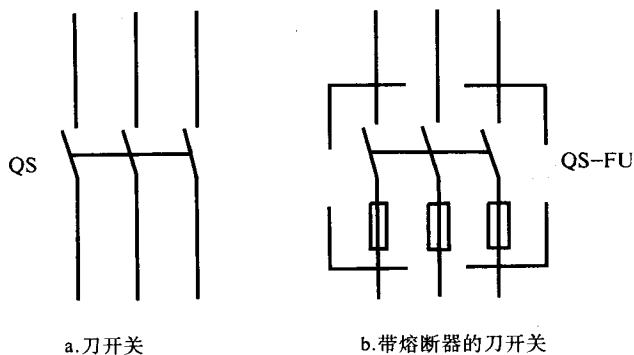


图 1.4 刀开关的图形及文字符号



1. 胶盖闸刀开关 胶盖闸刀开关又叫开启式负荷开关,结构简单,价格低廉,安装、使用、维修方便,广泛用作照明电路和小容量(5.5kW以下)动力电路不频繁启动的控制开关。胶盖闸刀开关安装时,瓷底应与地面垂直,手柄向上推为合闸,不得倒装和平装。因为闸刀带负荷分断电路时,刀片与夹座间将产生电弧。闸刀正确安装时,电弧在电磁力和上升热气流作用下会被拉长,容易冷却,便于灭弧。闸刀倒装和平装时,不但不具备拉长电弧的作用,灭弧困难,容易烧坏触点,而且闸刀断开后,由于刀片的自重或振动,可能导致误合闸,危及人身和设备安全。

闸刀接线时,电源进线必须接闸刀上端,负载接在下端,这样拉闸后刀片与电源隔离,可防止意外事故发生。

胶盖闸刀开关的选型原则:

(1) 根据额定电压和极数选择:用于控制单相负载时,选用220V或250V的两极开关;用于控制三相负载时,选用380V的三极开关。

(2) 根据额定电流选择:用于控制照明电路或其他电阻性负载时,开关额定电流应等于或大于各负载额定电流之和;用于控制多台电动机或其他电感性负载时,开关额定电流是最大一台电动机额定电流的2.5倍加其余电动机额定电流之和;用于控制一台电动机时,开关额定电流为该电动机额定电流的2.5倍。

常用的胶盖闸刀有HK1和HK2系列。

另外,应注意检查各刀片与对应夹座是否直接接触,有无歪扭,有无各刀片与夹座开合不同步的现象,夹座对刀片接触压力是否足够。如有问题,应修理或更换。

2. 铁壳开关 铁壳开关又叫封闭式负荷开关,操作方便,使用安全,通断性能好,可不频繁地接通和分断负荷电路,也可用作15kW以下电动机不频繁启动的控制开关。它的基本结构是在铸铁壳内装有由刀片和夹座组成的触点系统、熔断器和速断弹簧,30A以上的还装有灭弧罩。

铁壳开关的选型可参照胶盖闸刀开关的选型原则进行。安装时,先预埋紧固件,并将木质配电板用紧固件固定在墙壁或柱子上,再将铁壳开关固定在木质配电板上。铁壳开关也应垂直于地面安装,其安装高度以手动操作方便为宜。外壳上的接地螺栓应就近可靠接地。

铁壳开关接线时,电源进、出线应分别穿入铁壳上方进出线孔。100A以下的铁壳开关,电源进线应接开关的下接线桩,出线接开关上接线桩。100A以上的铁壳开关接线则与此相反。

铁壳开关操作时,不得面对铁壳开关拉闸或合闸,一般用左手掌握手柄。若更换熔丝,必须在分闸时进行,而且只能换上同规格熔丝。

常用的铁壳开关有HH3、HH4、HH11等系列。

1.2.2 转换开关

转换开关又称组合开关,主要用于主电路作为电源引入开关,也可用作小容量电动机不频繁启动和停止的控制开关以及控制电路的换接开关等。