






国家示范性高职院校建设项目成果
高等职业教育教学改革系列规划教材

电气控制与PLC

杨林建 主编

-  理论与实践一体化教学，突出职业能力培养
 -  注重重要知识点提醒与总结，增加拓展资源
突出职业能力培养
 -  增 总结，增加拓展资源
总结，增加拓展资源
- 能力培养
能力培养
加起重机线路分析
源
源

随书有配套的教学资源，获取多媒体电子课件可登录

www.hxedu.com.cn 免费下载 

高等职业教育教学改革系列规划教材
国家示范性高职精品课程配套教材

电气控制与 PLC

杨林建 主编

電子工業出版社

Publishing House of Electronics Industry

北京 • BEIJING

内 容 简 介

本书主要基于“1221 人才培养模式”和电气控制的基本要求和实践需要编写,介绍了机床继电器—接触器控制系统中电器元件的结构、原理和符号及元件的选用、机床电气控制的基本环节、典型机床设备电气控制线路分析、控制线路设计、电气故障诊断的基本方法及桥式起重机控制线路分析,以及可编程序控制器,由于 PLC 在国内应用的型号较多,考虑工作过程的实际情况,本书主要介绍了 FX_{2N} 系列和 SIMATIC S7-200 系列的可编程序控制器,随着数控技术的不断应用,本书也专门介绍了数控机床的电气控制线路的特点并进行了分析。

本书可作为高职高专机电类、电气电子类、计算机类、智能楼宇类等专业的教材,也可供从事机床设备电气控制的工程技术人员参考。

未经许可,不得以任何方式复制或抄袭本书之部分或全部内容。
版权所有,侵权必究。

图书在版编目(CIP)数据

电气控制与 PLC / 杨林建主编. —北京: 电子工业出版社, 2011.1
高等职业教育教学改革系列规划教材
ISBN 978-7-121-12676-5

I. ①电… II. ①杨… 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. ①TM571.2 ②TM571.6

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2010) 第 256750 号

策划编辑: 田领红

责任编辑: 田领红 特约编辑: 孙志明

印 刷: 北京丰源印刷厂

装 订: 三河市鹏成印业有限公司

出版发行: 电子工业出版社

北京市海淀区万寿路 173 信箱 邮编 100036

开 本: 787×1092 1/16 印张: 21.5 字数: 550 千字

印 次: 2011 年 1 月第 1 次印刷

印 数: 4 000 册 定价: 36.00 元

凡所购买电子工业出版社图书有缺损问题, 请向购买书店调换。若书店售缺, 请与本社发行部联系, 联系及邮购电话: (010) 88254888。

质量投诉请发邮件至 zlts@phei.com.cn, 盗版侵权举报请发邮件至 dbqq@phei.com.cn。

服务热线: (010) 88258888。

前 言

本书是根据一般工程技术人员的工作实际需要,考虑机床设备自动控制的要求,按照“必需够用”的理论需要和“1221 人才培养模式”思路编写,教材编写过程中注重学生职业能力培养、职业技能训练,同时注重学生解决实际问题的能力自学能力的培养,结合工程实际,介绍机床电气设备和一般设备控制技术工程人员的专业需求,介绍机床设备电气控制过程设计、安装、调试中所用的电工工具和控制环节及机床电气控制中常见的故障现象。

针对高职教育的特点,高职类教材在实用性、通用性和新颖性方面有其特殊的要求,即教材的内容要基于学生在毕业后的工作需要,注重与工作过程相结合,教材内容要实用,容易理解,能反映当前机床类设备电气控制状况和发展趋势,要有利于学生技能培养,本书主要基于这种思路编写。

全书包括机床常用电器及选择、机床电气控制的基本环节、典型普通机床电气控制线路、交直流电动机调速、可编程序控制器和数控机床电气控制线路等内容,共 6 章。

本书特点:

① 基于“1221 模式”编写教材,注重理论知识培养的同时,增加了技能训练的内容。为建立一个毕业生培训机制,在教材每章最后增加了相关的拓展知识。

② 内容选择:内容易懂,注意由简单到复杂,内容的取舍上,理论知识以必需和够用为原则,力求简单实用,全书配有工业应用图例和现在大量使用的机床控制线路,学生易学,教师容易教会学生。

③ 考虑工业应用实际,在 PLC 部分介绍了国内应用广泛的型号,主要以三菱公司的 PLC 为主,同时介绍了西门子公司的 PLC,便于工厂技术人员和学生触类旁通。

④ 综合性强,为适应企业对机电复合人才的需要,根据当今自动化技术的发展现状,本教材以继电器、接触器和可编程序控制器为主,同时介绍了液压系统的电气控制的设计和电液控制技术。在机床电气控制设计部分介绍了逻辑设计方法和经验设计方法。根据学生职业需要增加了机床电气故障诊断的基本知识,考虑工矿企业实际,增加桥式起重机电气线路分析的部分内容。

本书由首批全国 28 所示范院校之一的四川工程职业技术学院杨林建副教授担任主编,全书由吴先文副教授担任主审。第 1 章由徐化文编写,第 2 章由张丹编写,第 3 章由刘春兰编写,绪论、第 4 章、第 5 章由杨林建编写,第 6 章由钟铃编写。

书中参考了部分专业资料和书籍,在此对其作者表示感谢。

由于编者水平有限,加之编写时间仓促,书中不足和错误之处在所难免,恳请广大工程技术人员和读者批评指正。如有意见和建议请发到邮箱: yanglin7410@scetc.net 以便再版时改进,谢谢。

编者

2010 年 10 月

目 录

绪论	(1)
第1章 机床常用电器	(5)
1.1 开关电器	(5)
1.1.1 刀开关	(5)
1.1.2 组合开关	(6)
1.1.3 低压断路器	(8)
1.2 主令电器	(10)
1.2.1 按钮	(10)
1.2.2 行程开关	(12)
1.2.3 万能转换开关	(13)
1.3 熔断器	(14)
1.3.1 熔断器的结构及类型	(14)
1.3.2 熔断器的主要参数及选择	(16)
1.3.3 熔断器安装方法	(17)
1.4 接触器	(18)
1.4.1 交流接触器结构及工作原理	(18)
1.4.2 接触器的基本技术参数及选择	(20)
1.5 继电器	(21)
1.5.1 电磁式继电器	(22)
1.5.2 时间继电器	(23)
1.5.3 热继电器	(25)
1.5.4 速度继电器	(28)
1.6 低压电器常见故障分析	(29)
1.6.1 开关电器和主令电器常见故障分析	(29)
1.6.2 熔断器和接触器常见故障分析	(30)
1.6.3 继电器常见故障分析	(30)
技能训练1 低压电器的认识与拆装	(32)
拓展知识 常用电工工具及低压电器的知识	(32)
习题	(36)
第2章 机床电气控制的基本环节	(37)
2.1 机床电气原理图及绘制	(37)
2.1.1 电气原理图中的图形符号和文字符号	(37)
2.1.2 电气原理图	(38)
2.1.3 电器元件布置图	(40)

2.1.4	电气安装接线图	(40)
2.2	三相异步电动机的启动控制线路	(41)
2.2.1	直接启动控制线路	(41)
2.2.2	减压启动控制线路	(43)
2.3	三相异步电动机的正、反转控制线路	(46)
2.3.1	电动机的正、反转控制线路	(46)
2.3.2	正、反转行程控制线路	(47)
2.3.3	双速电动机的高低速控制线路	(48)
2.4	三相异步电动机的制动控制线路	(49)
2.4.1	能耗制动控制线路	(50)
2.4.2	反接制动控制线路	(51)
2.5	直流电动机控制线路	(52)
2.5.1	直流电动机启动控制线路	(52)
2.5.2	直流电动机的正、反转控制线路	(53)
2.5.3	直流电动机的制动控制线路	(54)
2.5.4	电动机的保护环节	(55)
	技能训练 1 三相电动机正、反转控制接线与调试	(57)
	技能训练 2 三相电动机 Y— Δ 减压启动接线与调试	(58)
	拓展知识 电液控制	(58)
	习题	(60)
第 3 章	典型机床设备电气控制线路	(62)
3.1	普通车床电气控制线路	(62)
3.1.1	电气控制线路分析的主要内容	(62)
3.1.2	卧式车床的主要结构、运动形式及控制要求	(63)
3.1.3	C650 型车床控制线路分析	(64)
3.2	普通铣床电气控制线路	(66)
3.2.1	X6132 型铣床的主要结构和运行情况	(67)
3.2.2	X6132 型铣床控制线路分析	(67)
3.3	普通钻床的电气控制	(75)
3.3.1	Z3040 型摇臂钻床的主要结构及运动情况	(76)
3.3.2	Z3040 型摇臂钻床的电力拖动特点及控制要求	(76)
3.3.3	Z3040 型钻摇臂床的电气控制线路	(77)
3.4	普通镗床电气控制电路	(80)
3.4.1	镗床主要结构、运动形式及控制要求	(80)
3.4.2	T68 型卧式镗床电气控制线路分析	(81)
3.5	M7130 型平面磨床电气控制线路	(85)
3.5.1	主要结构、运动形式及控制要求	(85)
3.5.2	M1730 型磨床电气控制线路分析	(86)
3.6	起重机的电气控制	(89)

3.6.1	桥式起重机的概述	(90)
3.6.2	桥式起重机的控制线路	(96)
3.7	机床电气控制线路设计	(103)
3.7.1	机床电气控制线路设计方法	(104)
3.7.2	机床电气线路设计举例: CW6163 型卧式车床电气原理图的设计	(105)
3.8	机床电气控制线路故障分析与维修	(111)
3.8.1	检查电路故障的一般方法	(111)
3.8.2	C616 型车床电路故障与检修	(115)
	技能训练 1 X6132 型铣床电气控制线路的安装与调试	(117)
	技能训练 2 机床电气控制线路故障检查与维修	(117)
	拓展知识 机床电气的逻辑表示及逻辑运算	(119)
	习题	(121)
第 4 章	交直流电动机及调速	(123)
4.1	交流电动机及调速	(123)
4.1.1	三相异步电动机的工作原理	(123)
4.1.2	三相异步电动机的调速方法	(134)
4.1.3	变频调速	(135)
4.2	直流电动机及调速	(157)
4.2.1	直流电动机的基本工作原理	(157)
4.2.2	直流电动机的速度控制	(167)
	技能训练 运用变频器改造桥式起重机控制线路	(168)
	拓展知识 变频器的基本知识	(171)
	习题	(174)
第 5 章	可编程控制器	(175)
5.1	PLC 概述	(175)
5.1.1	PLC 的特点和应用	(175)
5.1.2	PLC 的结构及工作原理	(180)
5.2	三菱 FX _{2N} 系列 PLC 的基本指令系统	(189)
5.2.1	FX _{2N} 系列 PLC 的内部资源	(189)
5.2.2	FX _{2N} 系列 PLC 的基本指令	(192)
5.2.3	PLC 的基本指令应用举例	(203)
5.3	三菱 FX _{2N} 系列 PLC 的步进指令及功能指令	(215)
5.3.1	顺序控制的基本概念及状态转移图	(215)
5.3.2	步进指令	(218)
5.3.3	步进指令综合运用举例	(220)
5.3.4	功能指令及应用	(232)
5.4	三菱 FX _{2N} 系列的 PLC 特殊功能模块及通信	(253)
5.4.1	FX _{2N} 系列的 PLC 特殊功能模块	(253)
5.4.2	PLC 通信技术	(259)

技能训练 1 PLC 基本操作：编程软件的使用	(263)
技能训练 2 PLC 的编程与调试	(267)
拓展知识 S7—200PLC 的基本知识	(268)
习题	(281)
第 6 章 数控机床电气控制线路	(288)
6.1 数控机床概述	(288)
6.1.1 数控机床的组成	(288)
6.1.2 数控系统	(289)
6.2 数控机床电气控制线路	(290)
6.2.1 数控机床的组成	(290)
6.2.2 数控机床控制线路分析	(291)
6.3 数控铣床电气控制线路	(296)
6.3.1 数控铣床的组成	(296)
6.3.2 数控铣床电气控制线路分析	(297)
6.4 加工中心电气控制线路分析	(300)
技能训练 数控机床的安装与调试	(309)
拓展知识 数控加工程序编制基础	(310)
习题	(321)
附录 A 电气图常用文字、图形符号	(322)
附录 B 常见 Y 系列电动机技术数据	(328)
附录 C S7—200 的 SIMATIC 的指令集简表	(330)
参考文献	(336)

绪 论

本节主要知识点：

1. 电气控制系统研究。
2. 机床电气拖动的发展：基本思路是电动机通过传动装置带动丝杆实现工作台的直线运动；电动机通过机械装置传动实现旋转运动。
3. PLC: Programmable Logic Controller; 可编程序控制器。

各工业生产部门的生产机械设备，基本上都是通过金属切削机床加工生产出来的，因此机床是机械制造业中的主要加工设备，机床的质量、数量及自动化水平，都直接影响到整个机械工业的发展。机床工业发展的水平是一个国家工业水平的重要标志。

一、电气自动控制在现代机床中的地位

过去，生产机械由工作机构、传动机构、原动机三部分组成。自从电器元件与计算机应用在机械上后，现代化生产机械已包含第四个组成部分——以电气为主的自动控制系统，它使机器的性能不断提高，使工作机构、传动机构的结构大为简化。

所谓“自动控制”是指在没有人直接参与（或仅有少数人参与）的情况下，利用自动控制系统，使被控对象（或生产过程）自动地按预定规律工作。导弹能准确地命中目标，人造卫星能按预定轨道运行并返回地面指定的地点，宇宙飞船能准确地月球上着陆并安全返回，都离不开自动控制技术。在工业上，机器按照规定的程序自动地启动与停止；在微型计算机控制的数控机床上，依照计算机发出的程序指令，自动按预定的轨迹进行加工，自动退刀、自动换工件，再自动加工下一个工件；在轧钢机上，用电子计算机计算出轧制速度与轧辊压下量，并通过晶闸管可控整流电路控制电动机来实现这些指令；在自动化仓库中，由可编程序控制器自动控制货物的存放与取出；利用可编程序控制器，按照预先编制的程序，使机床实现各种自动加工循环，所有这些都是电气自动控制的应用。

实现自动控制的手段是多种多样的，可以用电气的方法来实现，也可以用机械的、液压的、气动的等方法来实现自动控制。由于现代化的金属切削机床均用交、直流电动机作为动力源，因而电气自动控制是现代机床的主要控制手段。即使采用其他控制方法，也离不开电气控制的配合。本书就是以机床作为典型对象来研究电气自动控制技术的基本原理、方法和应用，这些基本控制方法自然也适用于其他机器设备及生产过程。

机床经过一百多年的发展，结构不断改进，性能不断提高，在很大程度上取决于电气拖动与电气控制系统的更新。电气拖动在速度调节方面具有无可比拟的优越性和发展前途。采用直流或交流无级调速电动机驱动机床，使结构复杂的变速箱变得十分简单，简化了机床结构，提高了效率和刚度，也提高了精度。近年研制成功用于数控车床、铣床、加工中心机床的电动机——主轴部件，是将交流电动机转子直接安装在主轴上，使其具有宽广的无级调速范围，且振动和噪声均较小，它完全代替了主轴变速齿轮箱，对机床传动与结构将产生变革性影响。



现代化机床在电气自动控制方面综合应用了许多先进的科学技术成果，如计算技术、电子技术、自动控制理论、精密测量技术及传感技术等，特别是当今信息时代，微型计算机已广泛用于各行各业，机床是最早应用电子计算机的设备之一。早在 20 世纪 40 年代末期，电子计算机就与机床有机结合产生了新型机床——数控机床。现在价廉可靠的微机在机床行业中的应用日益广泛，由微型计算机控制的数控机床与数显装置越来越多地在我国各类工厂中获得使用和推广。这些新科学技术的应用，使机床电气设备不断实现现代化，从而提高了机床自动化程度和机床加工效率，扩大了工艺范围，缩短了新产品试制周期，加速了产品更新换代。现代化机床还可提高产品加工质量，减少工人劳动强度，降低产品成本等。近 20 年来出现的各种机电一体化产品、数控机床、机器人、柔性制造单元及系统等均是机床电气设备实现现代化的硕果。总之，电气自动控制在机床中占有极其重要的地位。

二、机床电气自动控制的发展概况

（一）电气拖动的发展与分类

电气控制与电气拖动有着密切的关系。20 世纪初，由于电动机的出现，使机床的拖动发生了变革，用电动机代替蒸汽机，机床的电气拖动随电动机的发展而发展。

1. 成组拖动

一台电动机经天轴（或地轴）由皮带传动驱动若干台机床工作。由于这种方式存在传动路线长、效率低、结构复杂等缺点，早已被淘汰。

2. 单电动机拖动

一台电动机拖动一台机床。较成组拖动简化了传动机构，缩短了传动路线，提高了传动效率，至今中小型通用机床仍有采用单电动机拖动的。

3. 多电动机拖动

随着机床自动化程度的提高和重型机床的发展，机床的运动增多，要求提高，出现了采用多台电动机驱动一台机床（如铣床）乃至十余台电动机拖动一台重型机床（如龙门刨床）的拖动方式，这样可以缩短机床传动链，易于实现各工作部件运动的自动化。当前重型机床、组合机床、数控机床、自动线等均采用多电动机拖动的方式。

4. 交、直流无级调速

由于电气无级调速具有可灵活选择最佳切削用量和简化机械传动结构等优点，20 世纪 30 年代出现的交流电动机——直流电动机——直流电动机无级调速系统，至今还在重型机床上有所应用。20 世纪 60 年代以后，大功率晶闸管的问世和变流技术的发展，又出现了晶闸管直流电动机无级调速系统，它较之前者，具有效率高、动态响应快、占地面积小等优点，当前在数控机床、磨床及仿形等机床中已得到广泛应用。由于逆变技术的出现和高压大功率管的问世，20 世纪 80 年代以来交流电动机无级调速系统有了迅速发展，它利用改变交流电的频率等措施来实现电动机转速的无级调速。交流电动机无电刷与换向器，较之直流电动机易于维护且寿命长，很有发展前途。



(二) 电气控制系统的发展与分类

1. 逻辑控制系统

又称开关量或断续控制系统，逻辑代数是它的理论基础，采用具有两个稳定工作状态的各种电器和电子器件构成各种逻辑控制系统。按自动化程度的不同分为：

(1) 手动控制

在电气控制的初期，大都采用电气开关对机床电动机的启动、停止、反向等动作进行手动控制，现在砂轮机、台钻等动作简单的小型机床上仍有采用。

(2) 自动控制

按其控制原理与采用电气元件的不同又可分为：

① 继电器接触器自动控制系统。多数通用机床至今仍采用继电器、接触器、按钮开关等电器元件组成的自动控制系统，它具有直观、易掌握、易维护等优点，但功耗大、体积大，并且改变控制工作循环较为困难（如果要改变，需重新设计电路）。

② 顺序控制器。由集成电路组成的顺序控制器具有程序变更容易、程序存储量大、通用性强等优点，广泛用于组合机床、自动线等。20 世纪 60 年代末，又出现了具有运算功能和较大功率输出能力的可编程控制器 PC (Programmable Controller, 又称 PLC—Programmable Logic Controller)，它是由大规模集成电路、电子开关、晶闸管等组成的专用微型电子计算机，用它可代替大量的继电器，且功耗小、质量小，在机床上具有广阔的应用前景。

③ 数字控制。20 世纪 40 年代末，为了适应中小批量机械加工生产自动化的需要，应用电子技术、计算技术、现代控制理论、精密测量等近代科学成就，研制成了数控机床。它是由电子计算机按照预先编好的程序，对机床实行自动化的数字控制。数控机床既有专用机床生产率高的优点，又兼有通用机床工艺范围广、使用灵活的特点，并且还具有能自动加工复杂的成形表面、精度高等优点，因而它具有强大的生命力，发展前景广阔。

数控机床的控制系统，最初是由硬件逻辑电路构成的专用数控装置 NC (Numerical Control)，但其成本昂贵，工作可靠性差，逻辑功能固定。随着电子计算机的发展，又出现了 DNC (Direct Numerical Control)、CNC (Computer Numerical Control)、AC (Adaptive—Control) 等数控系统。

为了充分发挥电子计算机运算速度快的潜力，曾出现过由一台电子计算机控制数台、数十台、甚至上百台数控机床的“计算机群控系统”，又称计算机直接控制系统，这就是 DNC。

随着小型电子计算机的问世，又产生了用小型电子计算机控制的数控系统 (CNC)，它不仅降低了制造成本，还扩大了控制功能和使用范围。

近十年来，随着价格低廉、工作可靠的微型电子计算机的出现，更加促进了数控机床的发展，出现了大量的微型计算机数控系统 MNC (Micro—Computer Numerical Control)，当今世界各国生产的全功能和经济型数控机床均系 MNC 系统。

AC 称为自适应控制系统，它能在毛坯余量变化、硬度不均、刀具磨损等随机因素出现时，使机床具有最佳切削用量，从而始终保证具有高的加工质量和生产效率。

由数控机床、工业机器人、自动搬运车、自动化检测、自动化仓库等组成的统一由中心计算机控制的机械加工自动线称为柔性制造系统 FMS (Flexible Manufacturing System)，它是自动化车间和自动化工厂的重要组成部分与基础。较之专用机床自动线，它具有能同时加工多种工件、能适应产品多变、使用灵活等优点，当前各国均在大力发展数控机床和柔性制造



系统。

随着生产的发展，由单个机床的自动化逐渐发展为生产过程的综合自动化。柔性制造系统 FMS，再加上计算机辅助设计 CAD、计算机辅助制造 CAM、计算机辅助质量检测 CAQ 及计算机信息管理系统构成计算机集成制造系统 CIMS (Computer Integrated Manufacturing System)，它是当前机械加工自动化发展的最高形式。机床电气自动化的水平在电气控制技术迅速发展的进程中将被不断推向新的高峰。

2. 连续控制系统

对物理量（如电压、转速等）进行连续自动控制的系统，又称模拟控制系统。这类系统一般是具有负反馈的闭环控制系统，常伴有功率放大的特点。且有精度高、功率大、抗干扰能力强等优点。例如，直流电动机驱动机床主轴实现无级调速的系统，交、直流伺服电动机拖动数控机床进给机构和工业机器人的系统均属连续控制系统。

3. 混合控制系统

同时采用数字控制和模拟控制的系统称为混合控制系统，数控机床、机器人的控制驱动系统多属于这类控制系统。数控机床由数字电子计算机进行控制，通过数模转换器和功率放大等装置驱动伺服电动机和主轴电动机带动机床执行机构产生所需的运动。

三、本课程的内容及要求

机床电气控制技术就是采用各种控制元件、自动装置，对机床进行自动操纵、自动调节转速、按给定程序和自动适应多种条件的随机变化而选择最优的加工方案，以及工作循环自动化等。

机床电气控制技术课程，就是研究解决机床电气控制的有关问题，阐述机床电气控制原理、实现机床控制线路、机床电气控制线路的设计方法及常用电气元件的选择、可编程控制器等内容，本书只涉及最基本、最典型的控制线路及控制实例。

在学完本课程以后，学生应掌握电气控制技术的基本原理；学会分析一般机床的电气控制电路并具有一定的设计能力；对可编程控制器应具有基本的运用能力。

综上所述，通过本门课程的学习，学生具有对机电一体化产品的综合分析和设计能力。

知识点提醒：

1. 电气控制是采用电器元件构成的电气线路对生产设备、生产过程所进行的控制；继电器—接触器控制系统主要根据控制要求，用导线将一定数量的继电器、接触器连接而成的电路。

2. PLC 主要是通过输入端接收外来信号（输入信号：常见的输入信号包括按钮、行程开关、传感器信号），经过程序运算处理后对输出端（接触器、电磁阀、信号灯等）相连的执行电路进行控制。

第 1 章 机床常用电器

本章主要知识点:

1. 刀开关常用于小功率电动机的不频繁启停。其主要有单极、双极、三极三种形式。
2. 组合开关: 主要用做电源的引入开关, 有单极、双极、多极之分。
3. 低电压断路器: 俗称空气开关, 当电路发生短路、失压、过载、短路等故障时, 能自动切断电路。
4. 中心内容: 机床电器的基本原理是在力的作用下, 触点动作, 常开触点闭合、常闭触点断开; 力消失 (个别没有复位装置电器元件除外, 触点复位。触点复位就是触点回复到原来的工作状态, 常闭触点闭合, 常开触点断开。常开触点也称动合触点, 常闭触点又称动断触点。如按钮在手动施加压力作用下, 常开按钮闭合, 常闭按钮断开, 力消失, 按钮复位。如交流接触器和中间继电器的基本工作原理, 当其线圈通电后产生电磁吸引力, 触点动作; 线圈断电, 力消失, 触点复位。
5. 熔断器: 当线路短路或严重过载时, 它的熔体能自动熔断, 主要起短路保护作用。
6. 热继电器: 利用电流的热效应原理工作, 主要用于对电动机的过载保护和断相保护。
7. 速度继电器: 速度继电器主要由转子、圆环 (笼形空心绕组) 和触点三部分组成, 主要用于对电动机的反接制动, 通常速度继电器的动作转速一般不低于 120r/min, 复位转速约在 100r/min 以下。
8. 时间继电器: 通常有两种类型, 通电延时型和断电延时型, 是本章的难点之一。

1.1 开关电器

开关电器主要做隔离、转换及接通和分断电路用, 多数用做机床电路的电源开关和局部照明电路的控制开关, 有时也用来直接控制小容量电动机的启动、停止和正、反转。

1.1.1 刀开关

刀开关又称闸刀开关, 它是一种手动控制器, 结构最简单, 一般在不经常操作的低压电路中用做接通或切断电源或用来将电路与电源隔离, 有时也用来直接控制小容量电动机的启动、停止和正、反转。

开启式负荷开关, 其结构如图 1-1 (a) 所示, 电气符号如图 1-1 (b) 所示。它由刀开关和熔断器组合而成。包含有瓷底板、静触头、触刀、瓷柄、熔体和胶盖等。

这种开关因其无专门灭弧装置易被电弧烧坏, 不宜用于带负载接通或分断电路, 故不宜频繁分、合电路。但因其结构简单, 价格低廉, 常用做照明电路的电源开关, 也可用于 5.5kW 以下三相异步电动机不频繁启动和停止控制。是一种结构简单而应用广泛的电器。按极数不同刀开关分单极、双极和三极三种。常用的 HK 系列刀开关的额定电压为 220V 或 380V, 额定流为 10~60A 不等。

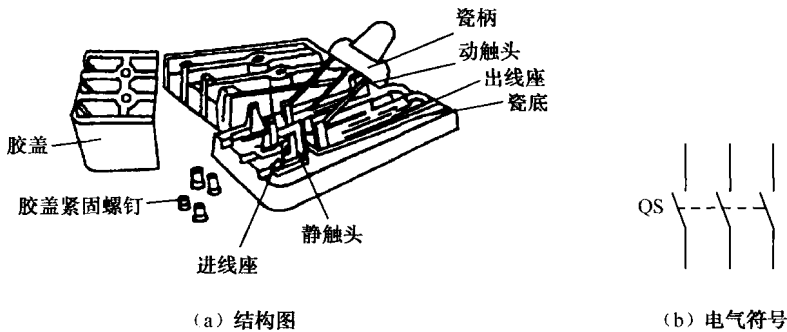


图 1-1 刀开关

安装方法:

① 选择开关前, 应注意检查动刀片对静触点接触是否良好、是否同步。如有问题, 应予以修理或更换。

② 电源进线应接在静触头一边的进线端, 用电设备应接在动触头一边的出线端。这样, 当开关断开时, 闸刀和熔体均不带电, 以保证更换熔体时的安全。

③ 安装时, 刀开关在合闸状态下手柄应该向上, 不能倒装或平装, 以防止闸刀松动落下时误合闸。

注意事项:

- ① 安装后应检查闸刀和静触头是否成直线和紧密可靠。
- ② 更换熔丝时, 必须先拉闸断电后, 按原规格安装熔丝。
- ③ 胶壳刀开关不适合用来直接控制 5.5kW 以上的交流电动机。
- ④ 合闸、拉闸动作要迅速, 使电弧很快熄灭。

1.1.2 组合开关

组合开关包括转换开关和倒顺开关。其特点是用动触片的旋转代替闸刀的推合和拉开, 实质上是一种由多组触点组合而成的刀开关。这种开关可用做交流 50Hz、380V 和直流 220V 以下的电路电源引入开关或控制 5.5kW 以下小容量电动机的直接启动, 以及电动机正、反转控制和机床照明电路控制。额定电流有 6A、10A、15A、25A、60A、100A 等多种。在电气设备中主要作为电源引入开关。

1. 结构

(1) 转换开关

HZ5—30/3 型转换开关的外形如图 1-2(a)所示, 其结构及电气符号分别如图 1-2(b)、图 1-2(c)所示。它主要由手柄、转轴、凸轮、动触片、静触片及接线柱等组成。当转动手柄时, 每层的动触片随方形转轴一起转动, 使动触片插入静触片中, 使电路接通; 或使动触片离开静触片, 使电路分断。各极是同时通断的。为了使开关在切断电路时能迅速灭弧, 在开关转轴上装有扭簧储能机构, 使开关能快速接通与断开, 从而提高开关的通断能力。

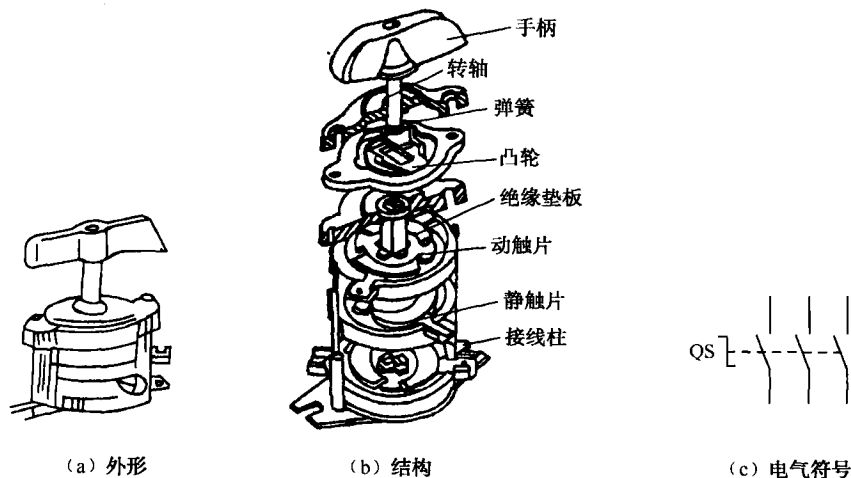


图 1-2 转换开关

(2) 倒顺开关

其外形和结构如图 1-3 (a) 所示, 电气符号如图 1-3 (b) 所示。倒顺开关又称可逆转开关, 是组合开关的一种特例, 多用于机床的进刀、退刀, 电动机的正、反转和停止的控制或升降机的上升、下降和停止的控制, 也可作为控制小电流负载的负荷开关。

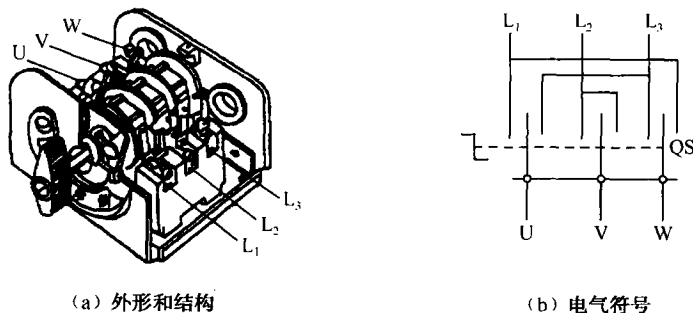


图 1-3 倒顺开关

2. 组合开关的选用

- ① 选用转换开关时, 应根据电源种类、电压等级、所需触点数及电动机容量来选用, 开关的额定电流一般取电动机额定电流的 1.5~2 倍。
- ② 用于一般照明、电热电路, 其额定电流应大于或等于被控电路的负载电流的总和。
- ③ 当用做设备电源引入开关时, 其额定电流应稍大于或等于被控电路的负载电流的总和。
- ④ 用于直接控制电动机时, 其额定电流一般可取电动机额定电流的 2~3 倍。

3. 安装方法

- ① 安装转换开关时应使手柄保持平行于安装面。
- ② 转换开关需安装在控制箱(或壳体)内时, 其操作手柄最好伸出在控制箱的前面或侧面, 应使手柄在水平旋转位置时为断开状态。
- ③ 若需在控制箱内操作时, 转换开关最好装在箱内右上方, 而且在其上方不宜安装其他



电器，否则应采取隔离或绝缘措施。

4. 注意事项

① 由于转换开关的通断能力较低，因此不能用来分断故障电流。当用于控制电动机正、反转时，必须在电动机完全停转后，才能操作。

② 当负载功率因数较低时，转换开关要降低额定电流使用，否则会影响开关寿命。

1.1.3 低压断路器

低压断路器又称自动空气开关，它相当于刀开关、熔断器、热继电器和欠压继电器的组合。是一种即能进行手动操作，又能自动进行欠压、失压、过载和短路保护的控制电器。

断路器结构有框架式（又称万能式）和塑料外壳式（又称装置式）和漏电保护式等。其结构图如图 1-4 所示。框架式断路器为敞开式结构，适用于大容量配电装置。塑料外壳式断路器的特点是各部分元件均安装在塑料壳体内，具有良好的安全性，结构紧凑简单，可独立安装，常用做供电线路的保护开关和电动机或照明系统的控制开关，也广泛用于电器控制设备及建筑物内做电源线路保护及对电动机进行过载和短路保护。

低压断路器一般由触点系统、灭弧系统、操作系统、脱扣器及外壳或框架等组成。各组成部分的作用如下。

(1) 触点系统

触点系统用于接通和断开电路。触点的结构形式有对接式、桥式和插入式三种，一般采用银合金材料和铜合金材料制成。

(2) 灭弧系统

灭弧系统有多种结构形式，采用的灭弧方式有窄缝灭弧和金属栅灭弧。

(3) 操作机构

操作机构用于实现断路器的闭合与断开，有手动操作机构、电动操作结构和电磁操作机构等。

(4) 脱扣机构

脱扣机构是断路器的感测元件，用来感测电路特定的信号（如过电压、过电流等）。电路一旦出现非正常信号，相应的脱扣器就会动作，通过联动装置使断路器自动跳闸而切断电路。

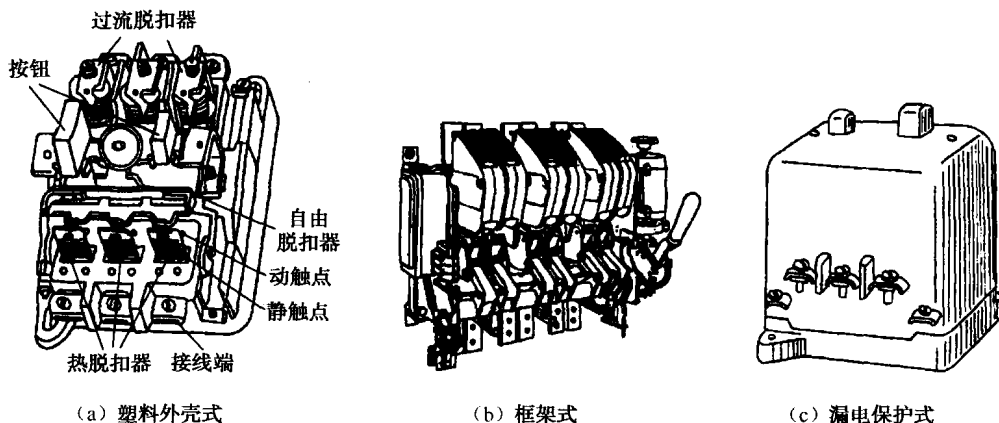


图 1-4 几种常用断路器结构示意图



1. 低压断路器工作原理

低压断路器工作原理的示意图、图形符号和文字符号如图 1-5 所示。

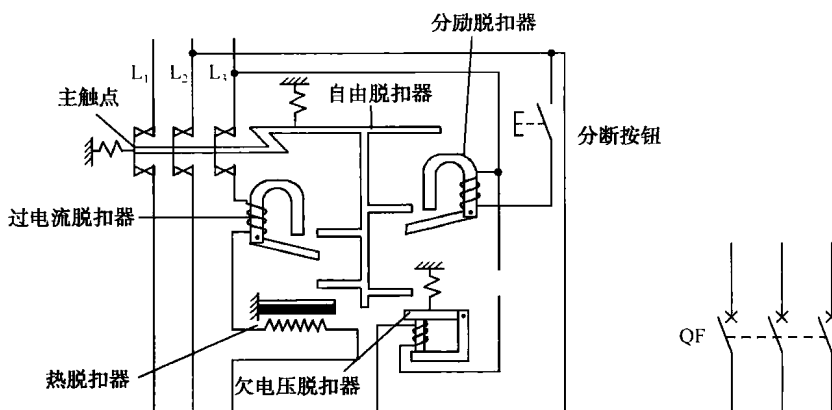


图 1-5 低压断路器工作原理的示意图、图形符号和文字符号

其工作原理分析如下：当主触点闭合后，若电路发生短路或过电流（电流达到或超过过电流脱扣器动作值）事故时，过电流脱扣器的衔铁吸合，驱动自由脱扣器动作，主触点在弹簧的作用下断开；当电路过载时，热脱扣器的热元件发热，使双金属片产生足够的弯曲，推动自由脱扣器动作，从而使主触点断开，切断电路；当电源电压不足（小于欠电压脱扣器释放值）时，欠电压脱扣器的衔铁释放，使自由脱扣器动作，主触点断开，切断电路。分励脱扣器用于远距离切断电路，当需要分断电路时，按下分断按钮，分励脱扣器线圈通电，衔铁驱动自由脱扣器动作，使主触点断开而切断电路。

2. 断路器的选用

① 应根据具体使用条件和被保护对象的要求选择合适的类型。

② 一般在电器设备控制系统中，常选用塑料外壳式或漏电保护式断路器；在电力网主干线路中主要选用框架式断路器；而在建筑物的配电系统中则一般采用漏电保护式断路器。

③ 断路器的额定电压和额定电流应分别不小于电路额定电压和最大工作电流。

④ 脱扣器整定电流的计算。热脱扣器的整定电流应与所控制负载（如电动机等）的额定电流一致。电磁脱扣器的瞬时动作整定电流应大于负载电路正常工作的最大电流。

对于单台电动机来说，DZ 系列自动空气开关电磁脱扣器的瞬时动作整定电流 I_z 可按下式计算：

$$I_z \geq K \times I_q$$

式中， K 为安全系数，可取 1.5~1.7； I_q 为电动机启动电流。

对于多台电动机来说，可按下式计算：

$$I_z \geq K \times I_{q\max} + \text{电路中其他电动机的额定电流}$$

式中， K 也可取 1.5~1.7； $I_{q\max}$ 为最大一台电动机的启动电流。

⑤ 断路器用于电动机保护时，一般电磁脱扣器的瞬时脱扣整定电流应为电动机启动电流的 1.7 倍。