



高等学校电子与电气工程及其自动化专业“十一五”规划教材



电气控制与 PLC原理及应用

主编 周亚军
主审 颜钢铎



西安电子科技大学出版社
<http://www.xduph.com>

内 容 简 介

本书以三菱FX系列和西门子S7系列的可编程控制器(PLC)作为目标机型,结合工程应用和教学要求,介绍了电气控制和PLC的基础知识、设计基础及应用设计。全书共分10章。第1~4章介绍常用低压电器、电气控制线路基础、继电器接触式电气控制系统设计和可通信的低压开关电器。第5~7章是PLC基础部分,介绍PLC的构成、工作原理、编程元件与指令系统、程序设计基础和设计方法。第8~10章从应用角度出发,讨论PLC控制系统综合设计及设计规范、网络技术,并且列举了工程应用实例。

书中图文并茂,列举了大量的例子,有利于学生掌握原理和工程设计方法。

本书可作为本科学生学习低压电器和PLC技术的教材,也可供工程技术人员自学,还可作为培训教材使用。

★ 本书配有电子教案,需要者可与出版社联系,免费提供。

图书在版编目(CIP)数据

电气控制与PLC原理及应用/周亚军,张卫主编. —西安:西安电子科技大学出版社,2008.2

高等学校电子与电气工程及其自动化专业“十一五”规划教材

ISBN 978-7-5606-1953-8

I. 电… II. ①周… ②张… III. ①电气控制—高等学校—教材

②可编程序控制器—程序设计—高等学校—教材 IV. TM921.5 TP332.3

中国版本图书馆CIP数据核字(2007)第193364号

策 划 毛红兵

责任编辑 寇向宏 毛红兵

出版发行 西安电子科技大学出版社(西安市太白南路2号)

电 话 (029)88242885 88201467 邮 编 710071

<http://www.xduph.com> E-mail: xdupfb@pub.xaonline.com

经 销 新华书店

印刷单位 陕西华沐印刷科技有限责任公司

版 次 2008年2月第1版 2008年2月第1次印刷

开 本 787毫米×1092毫米 1/16 印张17.25

字 数 400千字

印 数 1~4000册

定 价 25.00元

ISBN 978-7-5606-1953-8 / TM·0044

XDUP 2245001-1

*** 如有印装问题可调换 ***

本社图书封面为激光防伪覆膜,谨防盗版。 8005

高等学校

自动化、电气工程及其自动化、机械设计制造及其自动化专业

“十一五”规划教材编审专家委员会名单

主任：张永康

副主任：姜周曙 刘喜梅 柴光远

自动化组

组长：刘喜梅（兼）

成员：（成员按姓氏笔画排列）

韦力 王建中 巨永锋 孙强 陈在平 李正明
吴斌 杨马英 张九根 周玉国 党宏社 高嵩
秦付军 席爱民 穆向阳

电气工程组

组长：姜周曙（兼）

成员：（成员按姓氏笔画排列）

闫苏莉 李荣正 余健明
段晨东 郝润科 谭博学

机械设计制造组

组长：柴光远（兼）

成员：（成员按姓氏笔画排列）

刘战锋 刘晓婷 朱建公 朱若燕 何法江 李鹏飞
麦云飞 汪传生 张功学 张永康 胡小平 赵玉刚
柴国钟 原思聪 黄惟公 赫东锋 谭继文

项目策划：马乐惠

策划：毛红兵 马武装 马晓娟

前 言

低压电器技术、可编程控制器(PLC)技术、现场总线及网络通信技术是现代电气控制技术的基础,在工业企业自动化中有着广泛的应用,社会对这方面技术人才的需求也非常大。本书通过参考多种已有教材和应用论文,结合工程应用和教学要求,并融入作者的教学经验和科研成果,以三菱 FX 和西门子 S7 两个系列的可编程控制器作为目标机型,介绍了电气控制和可编程控制器的原理及应用。

本书从基础知识、设计基础、应用设计三个内容层次,系统性地、由浅入深地引导学生掌握基础知识和应用知识。书中通过大量例子和图文,如指令编程举例、每一章节的设计举例等,来帮助读者理解和掌握所学内容。在第 10 章系统应用实例中,结合 PLC、低压电器和工业网络,按工程设计步骤和规范要求给出设计过程,对前面所学知识进行综合应用。

本书重视培养学生工程设计的规范化、标准化。书中的图标、符号基本符合国家标准。第 3 章继电器—接触器控制系统设计和第 8 章 PLC 控制系统的设计严格按照工程设计步骤和要求进行,引导学生加强设计的规范意识,注重掌握设计方法。

目前在电气控制系统中,继电器—接触器控制系统大多已被基于 PLC 的控制系统代替,而低压电器在控制系统中侧重于主电路、输入/输出外围电路、物理信号的转换和匹配、系统机电和电气保护等方面的应用。因此本书在内容安排中,前 3 章重点介绍低压电器原理、继电器接触式电气控制线路的基本环节和基本设计方法,对典型生产机械电器控制电路的内容仅在读图部分给出了两个例子。本书还引入了在自动化中已广泛应用的可通信低压电器、现场总线、PLC 网络通信等较先进的自动化技术。

本书由浙江大学颜钢锋教授主审,颜教授对本书提出了许多宝贵意见和建议。在本书的编写过程中,研究生伍胡平、张毅、刘玉成参加了插图绘制和书稿整理工作。

由于编者水平有限,书中难免存在错误和不足之处,请予指教。

编 者

2007 年 10 月

目 录

第 1 章 常用低压电器	1
1.1 低压电器概述	1
1.1.1 低压电器的分类和主要用途	1
1.1.2 低压电器的发展趋势	2
1.1.3 电磁机构	3
1.2 低压隔离器	4
1.2.1 低压刀开关	4
1.2.2 熔断器式刀开关	5
1.2.3 组合开关	6
1.3 低压断路器	6
1.3.1 低压断路器的结构及工作原理	6
1.3.2 低压断路器的常用类型	7
1.3.3 低压断路器的选用	8
1.4 接触器	9
1.4.1 接触器的结构和工作原理	9
1.4.2 接触器的种类	9
1.4.3 接触器的主要技术参数	10
1.4.4 接触器的选用	11
1.5 低压熔断器	11
1.5.1 熔断器的结构和特点	11
1.5.2 熔断器的特性	12
1.6 继电器	13
1.6.1 继电器的输入/输出特性及主要技术参数	13
1.6.2 普通电磁式继电器	14
1.6.3 时间继电器	15
1.6.4 热继电器	15
1.6.5 固态继电器	17
1.7 主令电器	18
1.7.1 控制按钮	18
1.7.2 行程开关	19
1.7.3 万能转换开关	20
1.7.4 主令控制器	20
思考与习题	20

第2章 电气控制线路基础	22
2.1 电气控制线路图基础知识.....	22
2.1.1 常用电气图的图形符号和文字符号.....	22
2.1.2 电气控制线路图的绘制规则.....	23
2.2 继电器—接触器控制线路基本环节.....	27
2.2.1 启停、自锁环节和连续控制.....	27
2.2.2 点动控制.....	28
2.2.3 可逆控制与互锁(或联锁)环节.....	29
2.3 三相笼型异步电动机的基本控制电路.....	30
2.3.1 电动机降压启动的控制电路.....	30
2.3.2 三相异步电动机的制动控制.....	31
2.3.3 电动机可逆运行自动往返控制电路.....	33
2.3.4 电气控制系统的保护环节.....	34
2.4 典型生产机械设备电气电路分析.....	37
2.4.1 电气控制电路分析基础.....	37
2.4.2 C650型普通卧式车床电气控制电路分析.....	38
2.4.3 摇臂钻床.....	41
思考与习题.....	43
第3章 继电器—接触器控制系统设计	45
3.1 控制系统设计基础.....	45
3.1.1 控制系统设计的基本任务与内容.....	45
3.1.2 控制系统设计原则.....	45
3.1.3 控制系统设计的基本步骤.....	49
3.2 继电器—接触器控制系统原理图的设计.....	50
3.2.1 原理图的基本设计方法.....	50
3.2.2 原理图的基本设计步骤.....	52
3.3 控制工艺设计基础.....	55
3.3.1 电气设备总体布局设计.....	55
3.3.2 电器元件布置图的设计与绘制.....	55
3.3.3 绘制电器部件接线图.....	56
3.3.4 电气柜(箱)及非标准零件图的设计.....	57
3.3.5 各类元器件及材料清单的汇总.....	58
3.3.6 编写技术文档.....	58
思考与习题.....	58
第4章 可通信的低压电器与现场总线	60
4.1 低压电器数据通信概述.....	60
4.1.1 低压电器通信的特点和功能.....	60
4.1.2 基于现场总线的低压电器数据通信规约.....	61
4.2 现场总线(Fieldbus)基础.....	63

401 4.2.1	现场总线概述	63
401 4.2.2	Profibus 现场总线的拓扑结构及传输机制	65
401 4.2.3	执行器/传感器接口——AS-i 网络	67
401 4.2.4	DeviceNet 现场总线	69
404.3	可通信的低压电器及应用系统结构示例	72
411 4.3.1	可通信的低压断路器	72
421 4.3.2	智能化低压开关柜	73
421 4.3.3	Bulletin825 型智能化电动机控制器	74
421 4.3.4	可通信电器的 AS-i 网络应用	74
04	思考与习题	76
第 5 章 可编程控制器概述		77
05.1	可编程序控制器的产生及发展	77
421 5.1.1	可编程序控制器的产生	77
421 5.1.2	可编程序控制器与其他工业控制系统的比较	78
421 5.1.3	当前流行的 PLC	80
421 5.1.4	可编程序控制器的发展趋势	81
421 5.1.5	PLC 的特点	83
45.2	PLC 的应用	84
421 5.2.1	PLC 的性能指标	84
421 5.2.2	PLC 的标准 IEC61131——开放的平台	86
421 5.2.3	PLC 的应用领域	88
05.3	PLC 的系统构成	88
421 5.3.1	PLC 系统的基本组成	88
421 5.3.2	PLC 的结构形式	92
45.4	PLC 的工作原理	93
421 5.4.1	可编程序控制器的工作方式	93
421 5.4.2	输入/输出滞后时间	96
45.5	可编程序控制器的外部接线	96
421 5.5.1	开关量输入/输出的外部接线方式	96
421 5.5.2	开关量输入模块电路结构	97
421 5.5.3	开关量输出模块电路结构	98
04	思考与习题	100
第 6 章 PLC 程序设计基础		101
06.1	PLC 编程语言	101
421 6.1.1	梯形图	101
421 6.1.2	指令表语言	102
421 6.1.3	功能块图语言	102
421 6.1.4	顺序功能图	103
421 6.1.5	高级语言	103

6.2	PLC 编程元件	104
6.2.1	输入/输出器件	104
6.2.2	内部器件	104
6.3	西门子 S7-200 系列 PLC 指令系统及编程方法	106
6.3.1	西门子 S7-200 系列 PLC 编程元件	106
6.3.2	西门子 S7-200 系列 PLC 基本逻辑指令及其应用	111
6.4	三菱 FX 系列 PLC 指令系统及编程方法	127
6.4.1	三菱 FX 系列 PLC 编程元件	127
6.4.2	FX 系列 PLC 基本逻辑指令及其应用	130
6.4.3	应用指令简介	140
6.5	常用基本程序设计范例	146
	思考与习题	150
第 7 章 可程序控制器程序设计方法		154
7.1	梯形图的编程方法	154
7.1.1	经验设计法的编程思路	154
7.1.2	编程举例	155
7.2	顺序控制设计法基础	156
7.2.1	顺序控制设计法概念	157
7.2.2	步与动作	157
7.2.3	转换条件和有向连线	158
7.2.4	顺序功能图的结构	159
7.2.5	顺序功能图中转换实现的基本规则	160
7.3	顺序控制梯形图编程技术	161
7.3.1	使用启保、停电路的编程方式	161
7.3.2	使用步进顺控指令的编程方式	165
7.3.3	以转换为中心的编程方式	170
7.3.4	仿步进顺控指令的编程方式	173
7.3.5	具有多种工作方式的系统的编程方式	175
	思考与习题	186
第 8 章 PLC 控制系统的设计		188
8.1	PLC 控制系统设计概论	188
8.2	PLC 的选型	190
8.2.1	PLC 的机型选择	190
8.2.2	PLC 的容量选择	190
8.2.3	各种模块的选择	191
8.2.4	电源模块的选择	192
8.3	PLC 控制系统硬/软件详细设计	192
8.4	系统的冗余设计	194
8.5	系统供电电源设计	195

8.6 系统接地设计	198
8.6.1 系统接地的概念	198
8.6.2 各种不同接地的处理	198
8.6.3 接地设计的安装	199
8.7 设计文件的编制	199
思考与习题	200
第 9 章 PLC 网络通信	201
9.1 网络通信基本知识	201
9.1.1 数据通信基础	201
9.1.2 工业控制局域网简介	207
9.2 三菱 FX 系列 PLC 的通信	211
9.2.1 FX 系列 PLC 通信模式及系统构成	211
9.2.2 FX 系列 PLC 与计算机专有协议的通信	213
9.3 西门子 PLC 网络	217
9.3.1 SINEC 网络的分类与性能比较	217
9.3.2 S7-300 PLC 多点接口网络(MPI)	219
9.3.3 CP340 点对点通信的应用	222
9.3.4 利用 PROFIBUS 协议进行网络通信	227
9.4 组态软件概念	229
思考与习题	231
第 10 章 PLC 控制系统应用实例	232
10.1 基于 PLC 的控制系统在污水处理中的应用	232
10.2 PLC 在灯泡行业中的应用	238
10.3 PLC 在电梯自动控制系统中的应用	244
10.4 基于 PLC 控制的自动门系统	253
附录 A 常用电气图用图形符号	258
附录 B 常用基本文字符号	262
参考文献	263

第1章 常用低压电器

自动控制系统和电力输配电系统中广泛使用的各类高低压电器，在电能的生产、输送、分配及使用环节中起到控制、能量调节、电压转换、信号检测、电气保护等作用，并逐渐侧重于控制系统的配电、电压匹配、信号检测及电气保护等外围电气线路中。

随着自动控制技术的发展，在控制策略、控制手段、执行器件等方面都体现出其控制上的优越性，并逐渐取代了传统的以高低压电器为主的控制方式，如集散控制系统(DCS)、可编程控制系统(PLC)、嵌入式控制系统等，但由于控制对象在电压、电流、功率等许多参数上差异很大，控制系统无法对种类繁多的执行器件直接进行控制，而必须通过必要的电器元件在能量上、速度上进行转换和匹配。控制系统和执行器件本身也需要工作电源，它需要通过电网经电器元件组成的配电线路实现配送。此外，也必须为控制系统提供必要的电气保护措施以避免因控制失效或器件损坏等因素而造成的短路、过流、过压、失压、弱磁等现象以及由此导致的更大的损失或危害。因此掌握低压电器知识和继电器控制技术是更为有效的运用 DCS、PLC 等先进控制设备所必需的。

1.1 低压电器概述

电器的功能种类繁多，根据工作电压等级可将其分为两类：

高压电器：用于交流电压 1200 V、直流电压 1500 V 及以上电路中的电器，通常用于电能的输送和分配，如高压断路器、高压隔离器、高压熔断器等。

低压电器：用于交流 50 Hz(60 Hz)、额定电压 1200 V 以下或直流额定电压 1500 V 以下的电路内起电能分配、通断、保护、控制、调节或检测作用的电器，如接触器、继电器、断路器等。

根据课程特点，本书只讨论低压电器的结构特点、工作原理和技术应用等方面的内容。

1.1.1 低压电器的分类和主要用途

根据使用目的和动作类型不同，可将低压电器作如下分类。

1) 按使用目的分类

(1) **控制电器：**用于组成各类控制电路和控制系统，实现特定控制目的的电器，例如接触器、继电器、电动机软启动器等。这类电器自身可以实现简单的控制系统，也可以作为高级控制设备完成控制目的不可或缺的组成部分，实现逻辑解算结果(弱电信号)对控制对象

(强电设备)的控制或由现场设备工况(如主回路电压、电流)到控制系统识别的特征信息(控制系统工作电压)之间的转换。控制电器要求工作准确可靠、寿命长、操作频率高。

(2) 配电电器: 用于电能的输送和分配的电器, 例如低压断路器、刀开关等。根据容量、规格为电气控制设备提供正常工作运行的电源, 是低压电器的主要应用领域。配电电器要求有足够的热稳定性和电稳定性, 在系统故障的情况下, 动作准确、可靠。

(3) 主令电器: 用于控制系统发送动作指令、实现位置检测等功能的电器, 例如按钮、主令控制器、行程开关等, 它为系统提供了人机交互的手段。

(4) 保护电器: 用于保护线路、电气设备和人身安全的电器, 如熔断器、漏电保护器、热继电器等。为了避免或减少因突发事件(如断电、机构损坏、控制器失效等)对生产设备和操作人员造成的危害, 必须重视安全保护措施的应用。

(5) 执行电器: 用于执行某种动作, 实现某种功能的电器, 如电磁阀、制动器等。

2) 按动作特点分类

(1) 手动动作电器: 由操作人员手动发出控制指令或设备在生产过程中经外力触发的电器, 如按钮、行程开关等。

(2) 自动开关: 利用电磁吸力自动完成动作的电器, 如接触器、继电器、电磁阀等。

3) 按工作原理分类

(1) 电磁式: 利用电磁感应原理工作, 如接触器、电磁式继电器等。

(2) 非电量控制: 利用外力或某种非电物理量的变化而动作, 如刀开关、行程开关、按钮等。

此外, 也可按照低压电器的使用场合简单地分为民用电器、工业用电器、农业用电器、建筑电器、汽车电器等类型。

1.1.2 低压电器的发展趋势

低压电器在电能的输配、控制和设备保护中的重要作用使得国内外对其新产品的研发非常重视, 这给低压电器产品的发展带来了深远的影响。

随着新技术的出现和应用, 如计算机辅助设计(CAD)、计算机辅助制造(CAM)、计算机辅助分析(CAE)、微电子技术、自动化技术、网络技术、通信技术等的不断发展, 推动着低压电器产品朝着小型化、智能化、网络化、电子化、模块化、功能集成化、节能化的方向发展, 同时, 也更注重研究限流新技术和电磁兼容技术(EMC), 提高分断能力和限流性能。

1) 低压电器小型化

先进的生产工艺、加工工艺和新材料为低压电器产品小型化提供了可能。在提高性能、增强可靠性的同时, 追求小型化是当今生产设备的发展趋势, 能够有效地降低设备体积和减少材料损耗, 节银、节铜, 也易于安装维护。

2) 低压电器智能化

智能化低压电器带有微处理器, 能准确监测和显示配电线路的运行情况, 并能准确地切除过载、短路等各种故障; 能按运行人员的设置要求进行各种操作; 具有运行监测和内部故障自诊断及故障显示功能, 并将智能控制理论(如模糊理论、神经网络等)逐渐应用到低

压电器的控制上。目前,智能化低压电器的发展主要在万能式断路器、塑壳式断路器及电机启动控制、保护器等产品上,如“八五”期间开发的智能化断路器 DW40、DZ40。

3) 低压电器网络化

现今的生产过程在信息化方面提出了更多更高的要求,全局监控、信息共享同样也体现在低压电器产品的发展上,如 Internet 协议、现场总线协议(如 Profibus、DeviceNet、Modbus、ASI-bus 等)、楼宇自动化总线协议(如 European Installation BUS、Lonwork、IQBUS、BACnet 等)等在低压电器上的应用。具有通信功能和现场总线技术的智能化低压电器带有通信接口,能和系统通信,构成整个智能化控制系统。这些智能化产品以现场总线为纽带,把各个智能化终端联通,可以信息共享,共同完成控制任务,从而实现电器产品四遥功能(遥控、遥测、遥训、遥调),提高了配电系统供电可靠性,实现了区域连锁,改善了低压配电、控制系统的自动化程度。

4) 低压电器电子化

将电力电子技术与微电子技术应用在低压电器产品中,从晶体管式发展到集成电路式,特别是随着电力电子器件 GTO、IGBT 质量可靠性不断提高,应用越来越广泛,如固态断路器、混合式接触器、接近开关、固态继电器等。尤其是电子式过载保护器的产生体现了当今世界过载保护继电器的一种发展趋势。它与传统双金属型过载保护继电器相比,具有安装方便、脱扣动作快而且准确、误差小、重复性好、参数调节方便、节能等优点,是一种更为理想的电动机保护装置。

5) 低压电器模块化、组合理化

目前,低压电器产品朝着功能多样化发展,产品结构上采用具有独立功能的组件进行装配,形成模块化的积木拼装式结构,每一种模块相对独立,便于功能分割和组合,是实现电器产品多功能化的重要途径。例如,多功能的组合电器就是一个典型。20 世纪 80 年代中后期发展起来的模块化终端电器,具有统一的外型尺寸、导轨化安装,为发展组合电器和成套设备创造了条件。

1.1.3 电磁机构

接触器、电磁式继电器、电磁阀等都是采用电磁感应原理工作的电磁式电器。其机构由电磁机构和触头系统构成,部分还带有灭弧系统及绝缘外壳等附件。

电磁机构包括电磁线圈、静铁芯和动铁芯(衔铁),其作用是将电磁能转换为机械能,依靠它带动触点的闭合和断开。其结构分为直动式和拍合式。如图 1-1 为直动式结构。

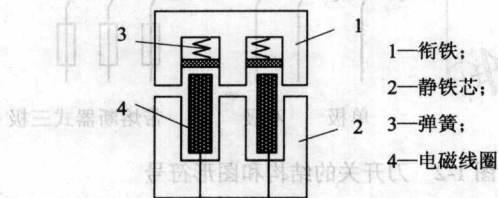


图 1-1 电磁线圈和铁芯

执行机构包括主触点和辅助触点，用来接通和分断控制电路。主触点用于电流较大的主回路，辅助触点则用于电流较小的控制回路。原始状态时(线圈未通电)断开，线圈通电后闭合的触头叫常开触头；原始状态时闭合，线圈通电后断开的触头叫常闭触头。当线圈由通电变为断电时，所有触头恢复为原始状态。

灭弧系统是指用来保证在触点断开电路时，产生的电弧能够可靠熄灭，从而减少电弧对触点造成损伤的灭弧装置。电弧是指当两个触头行将接触或开始分离时，若它们之间的电压达到 12~20 V，电流达到 0.25~1 A，则在触头间隙内产生的高温弧光。由于电弧温度非常高，会导致触头烧伤或熔焊，因此对采用换接触头式接触方式的触头非常有害，一般采用半封式纵缝陶土灭弧罩。

电磁机构的工作原理：当电磁线圈通电后，线圈电流产生磁场使铁芯产生电磁吸力作用于衔铁，电磁吸力克服弹簧反力使得衔铁吸合，使其产生机械位移，带动触头系统动作。当线圈断电或线圈两端电压显著降低时，电磁吸力小于弹簧反力，衔铁释放，触头系统复位。

当线圈通过直流电时，电磁吸力为恒值；当线圈通过交流电时，电磁吸力随着电源电压做周期变化，并且在一个周期里，衔铁吸合两次，释放两次，会导致电磁机构产生强烈震动和噪声而无法正常工作。因此在设计时铁芯端面都安装有一个铜制的短路环，短路环内会产生感应电动势和感应电流，这样将通过极面的磁通分为大小接近、相位相差约 90° 的环外磁通和环内磁通，其合成电磁吸力在通电期间始终大于弹簧反力，保证铁芯吸合。

1.2 低压隔离器

低压隔离器也称刀开关，主要用于低压配电设备中隔离电源和小容量负载非频繁启动的操作开关。目前，低压隔离器主要有低压刀开关、熔断器式刀开关和组合开关三种。

1.2.1 低压刀开关

低压刀开关由操作手柄、触刀、触刀插座和绝缘底板组成，其结构和图形符号如图 1-2 所示。带有熔断器的刀开关称为熔断器式刀开关。

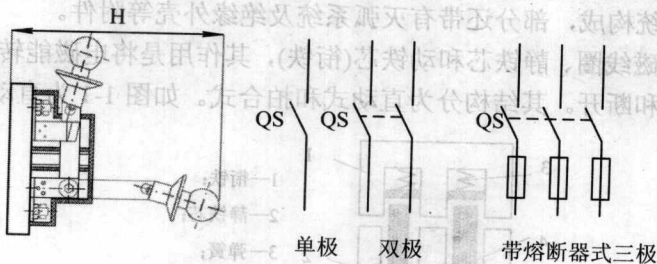
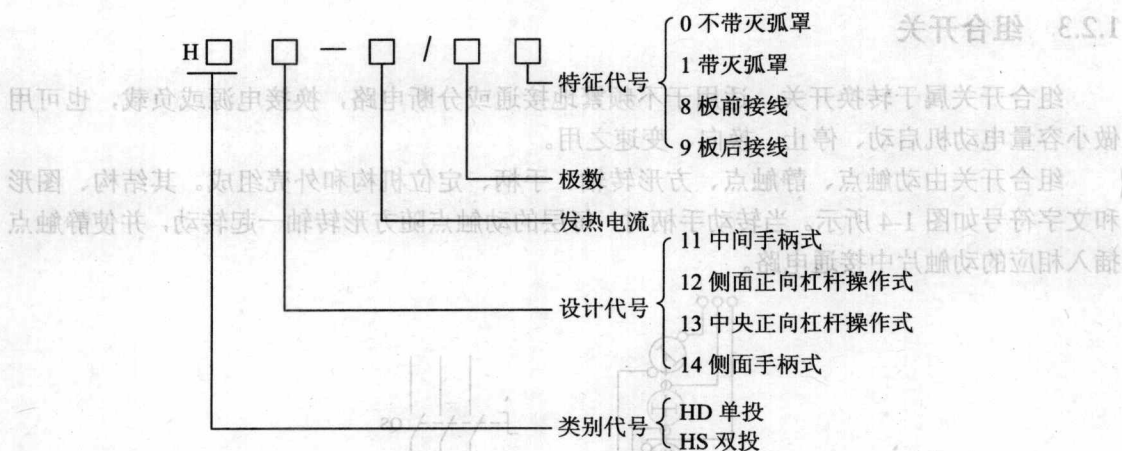


图 1-2 刀开关的结构和图形符号

刀开关按极数分为单极、双极和三极；按转换方式分为单投方式和双投方式。刀开关型号及其含义如下所示：



刀开关的主要技术参数包括：

- (1) 额定电流：长期通过的最大允许电流。
- (2) 额定电压：长期工作所承受的最大电压。
- (3) 机械寿命：刀开关在不带电的情况下所能承受的操作次数。
- (4) 电寿命：刀开关在额定电压下能可靠地分断额定电流的工作次数。
- (5) 短时耐受电流：当发生短路时，刀开关在指定时间内通以某一短路电流而未发生熔焊现象，则称该短路电流为短时耐受电流，通常时间设为 1 s。
- (6) 动态稳定电流峰值：当发生短路时，刀开关不产生变形、破坏或触刀自动弹出的现象时的最大短路电流峰值。

1.2.2 熔断器式刀开关

熔断器式刀开关适用于有高短路电流的配电电路和电动机电路，用做电源开关、隔离开关和应急开关，作为短路保护和电缆、导线的过载保护之用，但一般不用于单台电动机的接通、分断。在正常情况下，可供不频繁地手动接通和分断正常负载电流与过载电流，在短路情况下，由熔断器分断电流。熔断器式刀开关的结构如图 1-3 所示。

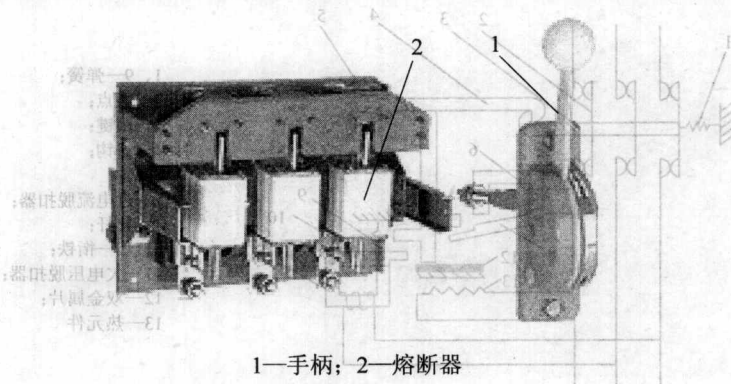


图 1-3 熔断器式刀开关

1.2.3 组合开关

组合开关属于转换开关，适用于不频繁地接通或分断电路，换接电源或负载，也可用做小容量电动机启动、停止、换向、变速之用。

组合开关由动触点、静触点、方形转轴、手柄、定位机构和外壳组成。其结构、图形和文字符号如图 1-4 所示。当转动手柄时，每层的动触点随方形转轴一起转动，并使静触点插入相应的动触片中接通电路。

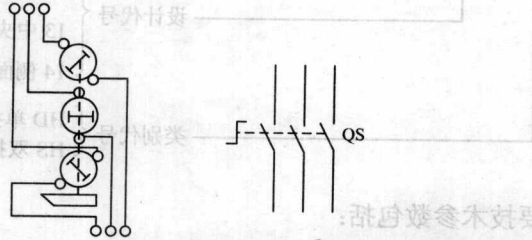


图 1-4 组合开关结构图及图形符号

1.3 低压断路器

低压断路器也称为自动空气开关，用来接通和分断负载电路，也可用来控制不频繁启动的电动机。低压断路器的功能相当于闸刀开关、过电流继电器、失压继电器、热继电器及漏电保护器等电器部分或全部的功能总和，是低压配电网中一种重要的保护电器。

低压断路器具有保护功能多(过载、短路、欠电压保护等)、动作值可调、分断能力高、操作方便安全等优点，所以目前其应用广泛。

1.3.1 低压断路器的结构及工作原理

低压断路器由操作机构、触头系统、自由脱扣机构(由图 1-5 中锁键、搭钩、杠杆等组成)、各种脱扣器、灭弧系统、辅助触头、框架及外壳等组成。其工作原理如图 1-5 所示。

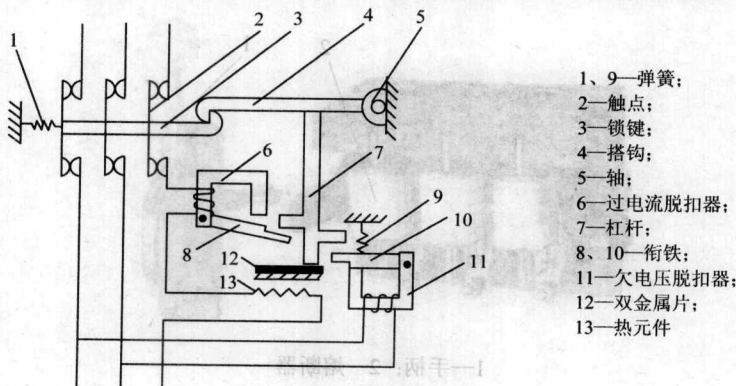


图 1-5 低压断路器工作原理图

低压断路器的主触点是靠手动操作或电动合闸的。主触点闭合后，自由脱扣机构将主触点锁在合闸位置上。过电流脱扣器的线圈和热脱扣器的热元件与主电路串联，欠电压脱扣器的线圈和电源并联。当电路发生短路或严重过载时，过电流脱扣器的衔铁吸合，使自由脱扣机构动作，主触点断开主电路。当电路过载时，热脱扣器的热元件发热使双金属片上弯曲，推动自由脱扣机构动作。当电路欠电压时，欠电压脱扣器的衔铁释放，使自由脱扣机构动作。分励脱扣器则作为远距离控制用，在正常工作时，其线圈是断电的，在需要远距离控制时，按下启动按钮，使线圈通电，衔铁带动自由脱扣机构动作，使主触点断开。

断路器是一种具有多种保护功能的保护电器。当用作过电流保护时，具有短路和过载两种保护功能，并可实现选择性保护，如图 1-6 所示。

图 1-6(a)为二段保护特性：前一段 AB 为长延时反时限特性，用于过载保护；后一段 CD 为瞬时动作特性，用于短路保护。当作为选择性保护时，二段保护特性的短路保护为短延时的定时限动作特性。

图 1-6(b)为三段保护特性，由过载反时限 $A'B'$ 、一般短路短延时 $C'D'$ 和短路电流较大的瞬时短路动作 $E'F'$ 组成三段不连续的保护特性。

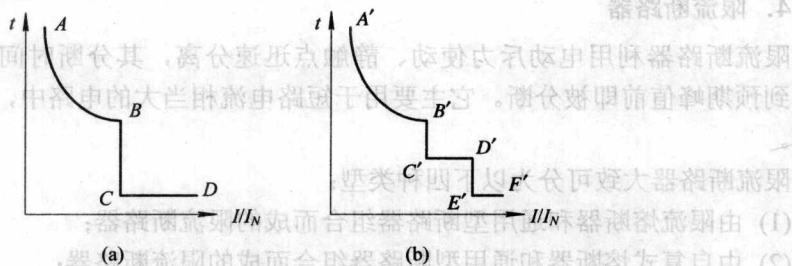


图 1-6 低压断路器的过流保护特性

低压断路器的主要参数包括：额定电压、额定绝缘电压、额定电流、极数、脱扣器类型及其额定电流、脱扣器的电流整定范围、辅助触头、额定分断能力等。其图形、文字符号如图 1-7 所示。

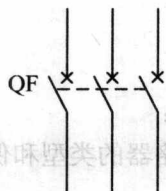


图 1-7 低压断路器图形、文字符号

1.3.2 低压断路器的常用类型

1. 万能式低压断路器

万能式低压断路器具有绝缘衬底的框架机构底座，各部件皆采用敞开式组装方式，便于安装维护。它主要适用于配电网，用来分配电能，保护线路和防止电源设备的过载、欠电压及短路。在正常条件下，它可作为线路的不频繁转换之用。万能式低压断路器主要有以下三种类型：