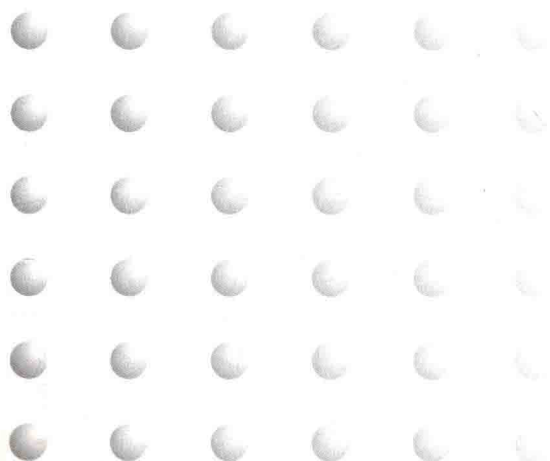
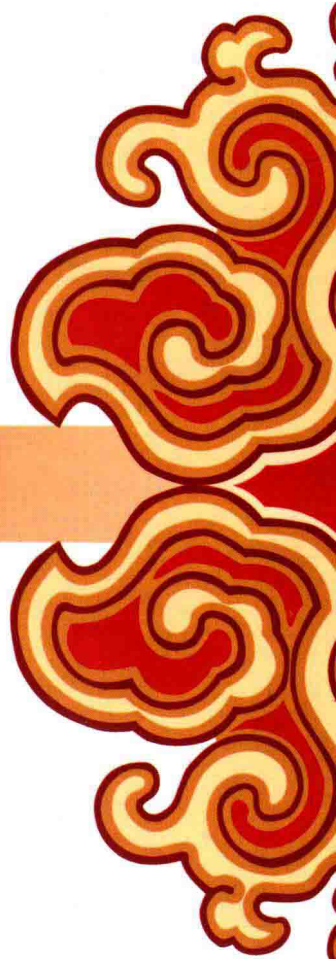




高等学校电子与电气工程及其自动化专业“十三五”规划教材

电气控制与PLC 原理及应用 (第二版)

周亚军 张 卫 岳伟挺 编著
颜钢锋 主审



西安电子科技大学出版社
<http://www.xduph.com>

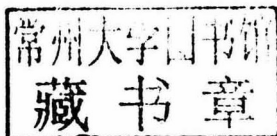
高等学校电子与电气工程及其自动化专业“十三五”规划教材

电气控制与PLC原理及应用

(第二版)

周亚军 张 卫 岳伟挺 编著

颜钢锋 主审



西安电子科技大学出版社

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智能低压开关电器;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。

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, 岳伟挺编著. —2 版. —西安:

西安电子科技大学出版社, 2018.8

高等学校电子与电气工程及其自动化专业“十三五”规划教材

ISBN 978-7-5606-4848-4

I. ①电… II. ①周… ②张… ③岳… III. ①电气控制 ②PLC 技术

IV. ①TM571.2 ②TM571.6

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2018)第 024412 号

策 划 毛红兵

责任编辑 买永莲

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

网 址 www.xduph.com 电子邮箱 xdupfxb001@163.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 2018 年 8 月第 2 版 2018 年 8 月第 6 次印刷

开 本 787 毫米×1092 毫米 1/16 印张 16.75

字 数 395 千字

印 数 14 001~17 000 册

定 价 39.00 元

ISBN 978-7-5606-4848-4 / TM

XDUP 5150002-6

*** 如有印装问题可调换 ***

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,并融入作者多年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、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、标准化能力。书中的图标、符号基本符合国家标准。第 3 章介绍的继电器接触器控制系统设计和第 8 章的 PLC 控制系统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,对典型生产机械电气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智能低压电器、现场总线、PLC 网络通信等较先进的自动化技术。

根据低压电器和 PLC 技术与应用的发展,我们对本书的第 1 版(2008 年出版)进行了一些修订。修订内容为:第 4 章“可通信的低压电器与现场总线”

改为“智能低压电器与现场总线”，并在内容上做了些调整；三菱 FX 系列 PLC 介绍中，用第三代 FX3U PLC 替代第二代 FX2N PLC，以适应实际应用需求；第 10 章为系统应用实例，增加了“基于 PLC 的直角坐标机械手的运动控制设计”的综合性应用案例。

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；研究生伍胡平、张毅、刘玉成等人参与了本书的插图绘制和书稿整理工作，在此对以上人员一并表示感谢。

由于编者水平有限，书中难免存在疏漏和不足之处，请广大读者予以指教。

作 者

2018 年 4 月

目 录

第 1 章 常用低压电器 1	思考与习题..... 19
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..... 5	
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..... 8	
1.4.1 接触器的结构和工作原理..... 8	
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..... 10	
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..... 13	
1.6.3 时间继电器..... 14	
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	
第 2 章 电气控制线路基础 21	
2.1 电气控制线路图基础知识..... 21	
2.1.1 常用电气图的图形符号和 文字符号..... 21	
2.1.2 电气控制线路图的绘制规则..... 22	
2.2 继电器控制线路基本环节..... 26	
2.2.1 启停、自锁环节和连续控制..... 26	
2.2.2 点动控制..... 27	
2.2.3 可逆控制与互锁(或联锁)环节..... 28	
2.3 三相笼型异步电动机的基本控制电路..... 29	
2.3.1 电动机降压启动的控制电路..... 29	
2.3.2 三相异步电动机的制动控制..... 30	
2.3.3 电动机可逆运行自动往返 控制电路..... 32	
2.3.4 电气控制系统的保护环节..... 33	
2.4 典型生产机械电气设备电气电路分析..... 36	
2.4.1 电气控制电路分析基础..... 36	
2.4.2 C650 型普通卧式车床电气控制 电路分析..... 37	
2.4.3 摇臂钻床..... 40	
思考与习题..... 42	
第 3 章 继电器控制线路系统设计 44	
3.1 控制系统设计基础..... 44	
3.1.1 控制系统设计的基本任务与内容..... 44	
3.1.2 控制系统设计原则..... 44	
3.1.3 控制系统设计的基本步骤..... 48	
3.2 继电器控制线路系统原理图的设计..... 49	
3.2.1 原理图的基本设计方法..... 49	

3.2.2 原理图的基本设计步骤.....	51	5.2.2 PLC 的标准 IEC 61131——开放的 平台.....	81
3.3 控制工艺设计基础.....	54	5.2.3 PLC 的应用领域.....	82
3.3.1 电气设备总体布局设计.....	54	5.3 PLC 的系统构成.....	83
3.3.2 电气元件布置图的设计与绘制.....	54	5.3.1 PLC 系统的基本组成.....	83
3.3.3 绘制电器部件接线图.....	55	5.3.2 PLC 的结构形式.....	86
3.3.4 电气控制柜(箱)及非标准零件图 设计.....	56	5.4 PLC 的工作原理.....	87
3.3.5 各类元器件、材料清单的汇总及 技术文档的编写.....	57	5.4.1 可编程控制器的工作方式.....	87
思考与习题.....	57	5.4.2 输入/输出滞后时间.....	90
第 4 章 智能低压电器与现场总线.....	59	5.5 可编程控制器的外部接线.....	90
4.1 智能低压电器数据通信概述.....	59	5.5.1 开关量输入/输出的外部接线方式.....	90
4.1.1 低压电器通信的特点和功能.....	59	5.5.2 开关量输入模块电路结构.....	91
4.1.2 基于现场总线的低压电器数据 通信.....	60	5.5.3 开关量输出模块电路结构.....	92
4.2 现场总线(Fieldbus)基础.....	61	思考与习题.....	94
4.2.1 现场总线概述.....	62	第 6 章 PLC 程序设计基础.....	95
4.2.2 Profibus 现场总线的拓扑结构及 传输机制.....	64	6.1 PLC 编程语言.....	95
4.2.3 执行器/传感器接口——AS-i 网络.....	65	6.1.1 梯形图.....	95
4.2.4 DeviceNet 现场总线.....	66	6.1.2 指令表.....	96
4.3 可通信的智能低压电器及应用系统 结构示例.....	69	6.1.3 功能块图.....	96
4.3.1 可通信智能低压断路器.....	69	6.1.4 顺序功能图.....	97
4.3.2 智能化低压开关柜.....	70	6.1.5 结构文本.....	97
4.3.3 可通信智能电器的 AS-i 网络应用.....	71	6.2 PLC 编程元件.....	98
思考与习题.....	73	6.2.1 输入/输出器件.....	98
第 5 章 可编程控制器概述.....	74	6.2.2 内部器件.....	98
5.1 可编程控制器的产生及发展.....	74	6.3 西门子 S7-200 系列 PLC 指令系统及 编程方法.....	100
5.1.1 可编程控制器的产生.....	74	6.3.1 西门子 S7-200 系列 PLC 编程 元件.....	100
5.1.2 可编程控制器与其他工业控制 系统的比较.....	75	6.3.2 西门子 S7-200 系列 PLC 基本 逻辑指令及其应用.....	105
5.1.3 可编程控制器的发展趋势.....	77	6.4 三菱 FX 系列 PLC 指令系统及编程 方法.....	121
5.1.4 PLC 的特点.....	78	6.4.1 三菱 FX 系列 PLC 编程元件.....	121
5.2 PLC 的应用.....	79	6.4.2 FX 系列 PLC 基本逻辑指令 及其应用.....	125
5.2.1 PLC 的性能指标.....	79	6.4.3 应用指令简介.....	133
		6.5 常用基本程序设计范例.....	139

思考与习题.....	144	第 9 章 PLC 网络通信	197
第 7 章 可编程控制器程序设计方法	147	9.1 网络通信基本知识.....	197
7.1 梯形图的编程方法.....	147	9.1.1 数据通信基础.....	197
7.1.1 经验设计法的编程思路.....	147	9.1.2 工业控制局域网简介.....	202
7.1.2 编程举例.....	148	9.2 三菱 FX 系列 PLC 通信.....	206
7.2 顺序控制设计法基础.....	149	9.2.1 FX 系列 PLC 通信模式及系统 构成.....	206
7.2.1 顺序控制设计法概念.....	150	9.2.2 FX 系列 PLC 与计算机专有 协议的通信.....	208
7.2.2 步与动作.....	150	9.3 西门子 PLC 网络.....	212
7.2.3 转换条件和有向连线.....	151	9.3.1 SINEC 网络的分类与性能比较.....	212
7.2.4 顺序功能图的结构.....	152	9.3.2 S7-300 PLC 多点接口网络(MPI).....	213
7.2.5 顺序功能图中转换实现的基本 规则.....	153	9.3.3 CP340 点对点通信的应用.....	217
7.3 顺序控制梯形图编程技术.....	154	9.3.4 利用 Profibus 协议进行网络通信.....	221
7.3.1 使用启-保-停电路的编程方式.....	154	9.4 组态软件的概念.....	224
7.3.2 使用步进顺控指令的编程方式.....	158	思考与习题.....	225
7.3.3 以转换为编程方式.....	164	第 10 章 PLC 控制系统应用实例	226
7.3.4 仿步进顺控指令的编程方式.....	167	实例一 基于 PLC 的控制系统在污水 处理中的应用.....	226
7.3.5 具有多种工作方式的系统的 编程方式.....	170	一、工艺介绍.....	226
思考与习题.....	181	二、控制系统构成.....	227
第 8 章 PLC 控制系统设计	184	三、电气设计.....	229
8.1 PLC 控制系统设计概论.....	184	四、主要控制系统设计.....	230
8.2 PLC 的选型.....	186	实例二 PLC 在灯泡行业中的应用.....	232
8.2.1 PLC 的机型选择.....	186	一、设计任务描述.....	232
8.2.2 PLC 的容量选择.....	186	二、控制系统的特点及基本功能.....	232
8.2.3 各种模块的选择.....	187	三、系统分析及硬件构成.....	233
8.2.4 电源模块的选择.....	188	四、系统硬件图纸设计.....	234
8.3 PLC 控制系统硬/软件详细设计.....	188	五、系统软件设计.....	235
8.4 系统的冗余设计.....	190	六、调试与编写技术文档.....	238
8.5 系统供电电源设计.....	191	实例三 PLC 在电梯自动控制系统中的 应用.....	238
8.6 系统接地设计.....	194	一、电梯的基本结构简介.....	238
8.6.1 系统接地的概念.....	194	二、五层电梯的逻辑控制设计.....	239
8.6.2 各种不同接地的处理.....	194	实例四 基于 PLC 控制的自动门系统.....	243
8.6.3 接地设计的安装.....	195	一、自动门简介.....	243
8.7 设计文件的编制.....	195	二、输入/输出要求分析及分配.....	243
思考与习题.....	196		

三、程序设计.....	244	四、软件设计.....	248
实例五 基于 PLC 的直角坐标机械手的		附录 A 常用电气图图形符号.....	255
运动控制设计.....	245	附录 B 常用基本文字符号.....	259
一、控制任务描述.....	245	参考文献.....	260
二、系统硬件分析及主要硬件构成.....	246		
三、系统硬件原理图设计.....	247		

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、分配及使用环节起着控制、能量调节、电压转换、信号检测、电气保护等重要作用,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。

随着自动控制技术的发展,自动化智能化控制系统在控制策略、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继电接触器为主的控制方式,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、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,即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有效地运用 DCS、PLC 等先进控制设备所必须具备的。

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:

(1) 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。

(2) 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 以下电路中起电能分配、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。

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,低压电器可作如下分类:

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,如断路器、熔断器、漏电保护器、热继电器等。

(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) 自动开关电器: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) 电磁式电器:利用电磁感应原理工作的电器,如接触器、电磁式继电器等。

(2) 非电量控制电器:利用外力或某种非电物理量的变化而动作的电器,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。

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智能化、网络化、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,并能准确地解决过载、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。

2. 低压电器网络化

现今的自动化系统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起来,共享信息,共同完成控制任务,从而实现电器产品“四遥”(遥控、遥测、遥训、遥调)功能,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。

3. 低压电器模块化、组合化

目前,低压电器产品朝着多功能化的方向发展,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,而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,具有统一的外形尺寸,安装导轨化,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,依靠它带动触头的闭合和断开。其结构分为直动式和拍合式,图1-1为直动式结构。

执行机构包括主触头和辅助触头,用来接通和分断控制电路。主触头用于电流较大的主回路,辅助触头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。

灭弧系统是用来保证在触头断开电路时,产生的电弧能够可靠熄灭,从而减少电弧对触头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 $12\sim 20\text{ V}$,电流达到 $0.25\sim 1\text{ A}$,则在触头间隙内产生的高温弧光。由于电弧温度非常高,会导致触头烧损或熔焊,因此对采用换接触头式接触方式的触头非常有害,一般采用半封闭式纵缝陶土灭弧罩。

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作周期变化,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

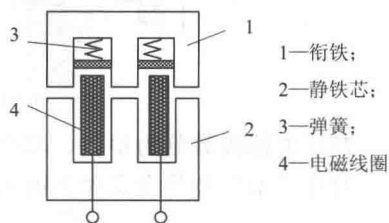


图 1-1 电磁线圈和铁芯

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。

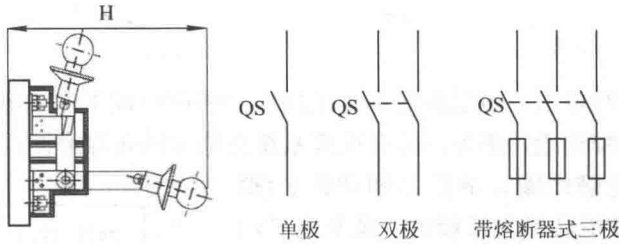
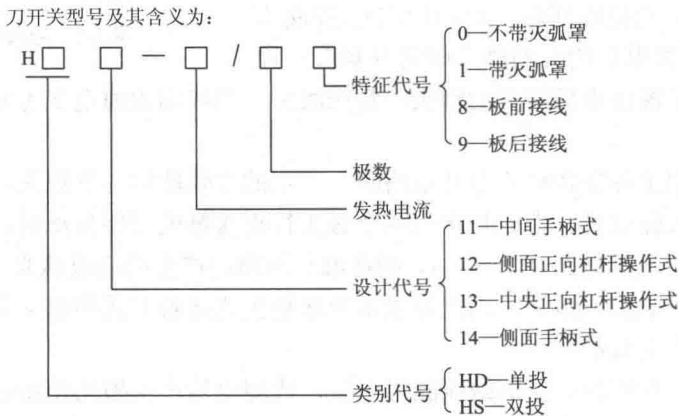


图 1-2 刀开关的结构和图形符号

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。

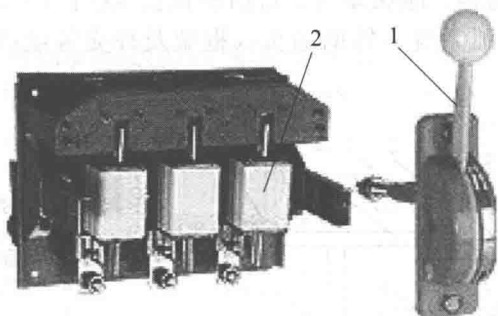
(4) 电寿命：刀开关在额定电压下能可靠地分断额定电流的工作次数。

(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1s。

(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

熔断器式刀开关即带有熔断器的刀开关，适用于有高短路电流的配电电路和电动机电路，用作电源开关、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，它可供非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。



1—手柄；2—熔断器

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，适用于非频繁地接通或分断电路，换接电源或负载，也可用于小容量电动机的启动、停止、换向和变速。

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

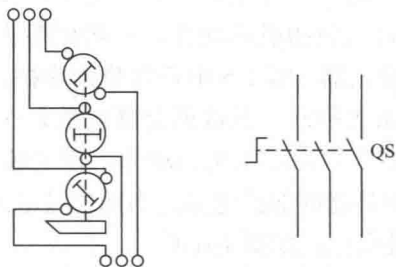


图 1-4 组合开关结构和图形符号

1.3 低压断路器

低压断路器也称为自动空气开关。低压断路器的功能相当于刀开关、熔断器过电流继电器、失压继电器、热继电器及漏电保护器等电器部分或全部功能的组合,可用来非频繁地接触和分断电路与用电设备,能对电源线路及电气设备进行过载、短路、失压和欠压等保护,是低压配电和电力拖动系统网中一种重要的保护电器。

低压断路器具有保护功能多、动作值可调、分断能力高、操作方便安全等优点,所以目前被广泛应用。

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。

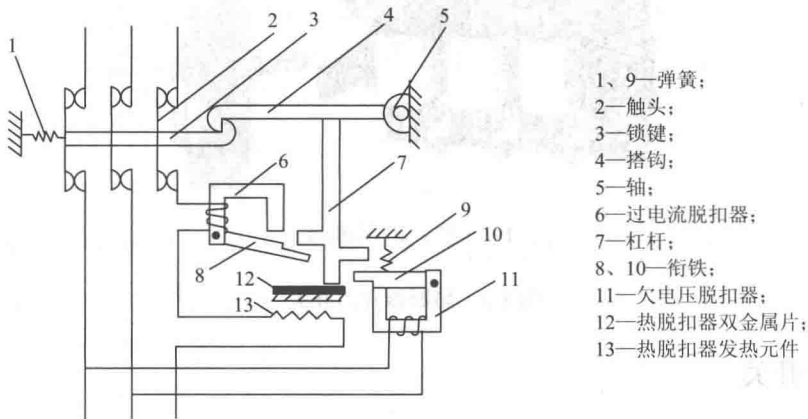


图 1-5 低压断路器工作原理图

低压断路器的主触头是靠手动操作或电动合闸的。主触头闭合后,自由脱扣机构将主触头锁在合闸位置上。过电流脱扣器的线圈和热脱扣器的发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,主触头断开主电路。当电路过载时,热脱扣器的热元件发热使双金属片受热弯曲,推动自由脱扣机构动作。一般框架式断路器具有分励脱扣器,而塑壳断路器也可以配置分励脱扣器,图 1-5 中不含分励脱扣器部分。分励脱扣器是一种远距离操纵分闸的附件,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,使主触头断开。

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)为两段保护特性,前一段 AB 为长延时的反时限特性,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，两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。

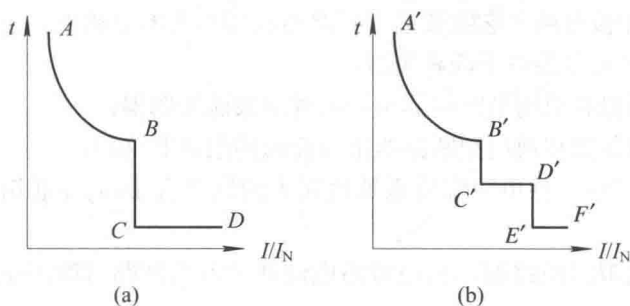


图 1-6 低压断路器的过流保护特性

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。其图形符号如图 1-7 所示。

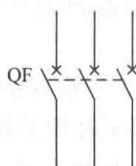


图 1-7 低压断路器的图形符号

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，它可作为线路的非频繁转换之用。万能式低压断路器主要有以下三种类型：

(1) 一般万能式断路器：不具有选择性保护功能，结构简单，维修方便，分断能力相对较弱。

(2) 中级万能式断路器：具有三段保护特性和选择性保护功能，分断能力较强。

(3) 高级万能式断路器：带有各种保护功能的脱扣器，包括智能化脱扣器，可实现计算机网络通信、外部故障记忆、内部故障自诊断等，分断能力强，结构模块化。

2. 塑壳式低压断路器

塑壳式低压断路器的所有组件安装在绝缘材料制成的封闭型外壳内，可用于配电网中接通或分断电路，作线路和电源设备的过载及短路保护之用；亦可作电动机的非频繁启动和转换之用，作为电动机的启动及过载、短路、欠电压保护。

3. 快速断路器

快速断路器具有快速动作和保护装置,用于半导体整流元件和装置的保护。

4. 限流断路器

限流断路器利用电动斥力使动、静触头迅速分离,其分断时间短到足以使电流在尚未达到预期峰值前即被分断。它主要用于短路电流相当大的电路中。

限流断路器大致可分为以下四种类型:

- (1) 由限流熔断器和通用型断路器组合而成的限流断路器;
- (2) 由自复式熔断器和通用型断路器组合而成的限流断路器;
- (3) 由金属限流线(一种电阻温度系数值很大的铁基合金线)和通用型断路器组合而成的限流断路器;
- (4) 电动斥力式限流断路器,利用短路电流通过触头回路时所产生的巨大吸力使触头迅速断开。

1.3.3 低压断路器的选用

低压断路器的选用应考虑以下条件:

- (1) 根据线路对保护的要求确定断路器的类型和保护形式,选用框架式、装置式或限流式等;
- (2) 断路器的额定电压 U_N 应等于或大于被保护线路的额定电压;
- (3) 断路器欠压脱扣器额定电压应等于被保护线路的额定电压;
- (4) 断路器的额定电流及过流脱扣器的额定电流应大于或等于被保护线路的计算电流;
- (5) 断路器的极限分断能力应大于线路的最大短路电流的有效值;
- (6) 配电线路中的上、下级断路器的保护特性应协调配合,下级的保护特性应位于上级保护特性的下方且不相交,避免越级跳闸现象;
- (7) 断路器的长延时脱扣电流应小于导线允许的持续电流。

1.4 接 触 器

接触器是用于远距离频繁接通和分断交直流主回路及大容量用电回路的低压控制电器。其主要控制对象是电动机,实现启停、正反转、制动和调速等控制功能,也可用于电热器、电焊机、电容器等电力负载。它能接通和分断比工作电流大数倍乃至十几倍的电流,但不能分断短路电流,是电力拖动和自动控制系统中最常用的控制电器之一。

1.4.1 接触器的结构和工作原理

接触器内部由电磁机构、主触头、灭弧系统、辅助触头、支架和底座组成,直动式双断点交流接触器结构示意图如图 1-8 所示。