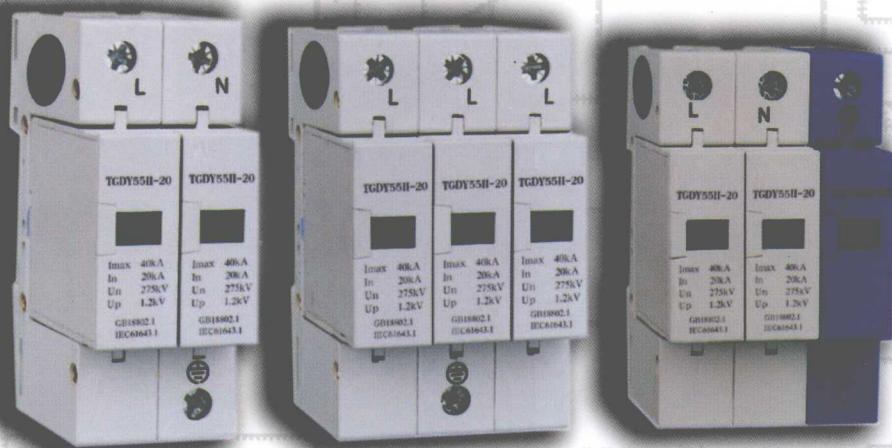


第2版

常用 低压电器原理 及其控制技术

王仁祥 编著



 机械工业出版社
CHINA MACHINE PRESS



常用低压电器原理及其控制技术

第2版

王仁祥 编著

机械工业出版社

北京 2008

ISBN 978-7-111

中国标准出版社

机械工业出版社

责任编辑：王

封面设计：王

北京机械工业出版社

2008年1月第2版

16开 320mm

001-4 000 0



机械工业出版社

本书详细地介绍了现代电气工程中的常用低压电器、智能化电器的基本结构、工作原理和选用方法；固态软起动器、通用变频器、可编程逻辑控制继电器等新型低压电器的基本原理及应用；可通信低压电器的基本原理及现场总线技术等。本书还系统地介绍了电气控制系统的基本原理、基本控制环节、控制线路分析、数字化逻辑控制系统及电气控制系统的设计原理与方法、电气工艺设计的基本知识，并简要介绍了应用计算机绘制电气工程图的基本知识。书中介绍了国内外低压电器的最新技术、新产品及其应用和发展方向。全书图文并茂，理论联系实际，侧重于实际应用，便于自学。

本书适宜于从事电气工程及自动化和生产过程自动化领域工作的工程技术人员阅读，也适于用作高等学校电气工程、工业自动化、自动控制类等专业的本科生、研究生教材和教学参考书，亦可作为企业电气工程技术人员培训教材，高等职业、中等职业学校的类似专业也可选用。

图书在版编目 (CIP) 数据

常用低压电器原理及其控制技术/王仁祥编著. —2版. —北京: 机械工业出版社, 2008. 8

ISBN 978-7-111-24874-3

I. 常… II. 王… III. 低压电器 - 基本知识 IV. TM52

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2008) 第 124801 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: 付承桂 版式设计: 霍永明 责任校对: 李秋荣

封面设计: 马精明 责任印制: 乔宇

北京机工印刷厂印刷 (北京樱花印刷厂装订)

2009 年 1 月第 2 版第 1 次印刷

184mm × 260mm · 29.25 印张 · 724 千字

0 001—4 000 册

标准书号: ISBN 978-7-111-24874-3

定价: 49.00 元

凡购本书, 如有缺页、倒页、脱页, 由本社发行部调换

销售服务热线电话: (010) 68326294

购书热线电话: (010) 88379639 88379641 88379643

编辑热线电话: (010) 88379764

封面无防伪标均为盗版

第2版前言

自从2001年《常用低压电器原理及其控制技术》出版以来,该书在指导电气控制技术的教学和应用方面起到了应有的作用,受到了广大读者的普遍欢迎,许多学校选用该书作为教材。由于现代工业自动化技术的迅速发展,原书的某些内容已显陈旧,因此决定编写第2版。其目的仍是希望向广大读者提供一本能体现现代电气控制技术发展和应用技术的参考书,尤其是对生产现场的工程技术人员。

与第1版相比,全书内容有较大变动,但仍然包括电气工程中的常用低压电器、智能化电器的基本结构、工作原理和选用方法;固态软起动机、通用变频器、可编程逻辑控制继电器等新型低压电器的基本工作原理及应用;可通信低压电器的基本原理及现场总线技术等。但这次修订时充实了新型电器、智能化电器、可通信低压电器及现场总线技术等方面的内容;新增加了逻辑控制系统方面的内容;系统地介绍了电气控制系统的基本工作原理、单元控制环节、控制线路分析、电气控制系统的设计原理与方法,逻辑控制系统的基本原理和分析、设计原理与方法的基本知识,并简要介绍了应用计算机绘制电气工程图的基本知识。书中介绍了国内外低压电器的最新技术、新产品及其应用和发展方向。

关于逻辑控制系统,本书倾向于从逻辑控制角度介绍“以软代硬”的逻辑控制原理、逻辑思维方法和设计方法,强调继电逻辑(硬逻辑)与可编程逻辑(软逻辑)两者逻辑上的统一性。事实上,从逻辑控制理论角度看,两者是一致的,只是实现的物理载体不同而已,前者用的是接触器、继电器,后者用的是存储器上的存储位,逻辑上都是“1”或“0”及其组合。现在,许多教材将原来分属两本书(两门课程)的电气控制技术和可编程序控制器技术的内容合二为一,说来这也没有什么不妥,但从书的内容上看,只是将两者简单地一前一后合并,内容上还是相互孤立存在的,并且只是介绍了可编程序控制器的最基础的内容,授课学时大幅缩减,这样的合二为一是值得商榷的。事实上,现在的可编程序控制器控制技术是一个十分复杂的系统工程,从实际应用来看,核心内容应该是可编程序控制器网络控制技术的应用,遗憾的是,这方面的内容在教材中涉及的极少,甚至未被提到,这就难免学习者面对实际应用时束手无策。鉴于上述思考,本书所述的逻辑控制系统的内容是期望使读者能够从逻辑控制角度学习掌握电气控制技术,从逻辑控制概念上“软硬融合”,而不是简单地“以软代硬”,这一部分内容就是为此打基础的。另外,从现代工业自动化控制技术来看,逻辑控制、过程控制和运动控制等是相互融合的,并没有严格的界限,但其核心都是计算机及其网络控制技术,网络是诸多控制方式的统一(同一)的载体,是一种数字化控制技术。从这一角度来说,现代电气控制技术是一种数字化的逻辑控制技术,现代电气控制系统是一种数字化的逻辑控制系统,那么我们的思维方法应该是数字化的逻辑思维方法,这就是本书第2版修订的中心思路。

本书适宜于从事电气工程及自动化和生产过程自动化领域工作的工程技术人员阅读,也适于用作高等学校电气工程、工业自动化、自动控制类等专业的教材和教学参考书,亦可作为企业电气工程技术人员的培训教材,中等工业学校类似专业也可选用。

本书第2版编写过程中曾参考和引用了国内外许多专家与学者发表的论文与著作,以及一些厂商的网站资料和产品说明书,由于各种因素不能一一预告、面谢,作者在此一并致谢。同时感谢上海交通大学王小曼同志、青岛大学刘湘波老师等以及电气工程专业的多位同学,在编写过程中,他们对全部书稿进行了逐字逐句的审查,提出了详细的审稿意见,在校稿、录入、绘图等工作中做了大量工作,给予了热情的帮助、支持和启迪。

由于作者水平及时间所限,书中难免存在不妥、缺点和谬误,热忱欢迎广大读者批评指正,将不胜感谢。

编者

2008年4月于青岛

第1版前言

电气控制技术是用以实现生产过程自动化的控制技术，以各类电动机为动力的传动装置与系统为对象，电气控制系统是其中的主干部分，在国民经济各行业中都得到了广泛的应用，是实现工业生产自动化的重要技术手段。电气控制技术是一门实用性很强的技术科学，也是一门多学科交叉比较活跃的专门技术，几乎每种技术出现的新进展都使它向前迈进一步，其技术进步是日新月异的。

随着科学技术的进步，特别是计算机技术应用、新型控制策略的出现，不断改变着电气控制技术的面貌，使它正向着集成化、智能化、信息化、网络化方向发展，目前它已成为三大“运动控制”之一，即电气运动控制。电气运动控制体现了电机控制技术、传感器技术、电力电子技术、微电子技术、自动控制技术、计算机控制技术和网络通信技术的有机结合及最新发展成就，并在各个领域大显身手，应用领域十分广泛。例如，工业自动化方面的各种现代化生产流水线、生产机械、加工中心、工业机器人等，无不体现着现代电气控制技术的飞速发展，甚至家用电器的更新换代速度也令人难以想象。所有这些都体现了现代工业自动化技术的进步。因此，现代意义上的电气控制系统都与传统上的有本质上的区别和不同。

另外，随着生产机械自动化程度的提高，其机械传动系统也越来越复杂，生产过程中的各种物理量越来越多地被要求自动控制，这就促使电气控制技术必须强电与弱电结合，以适应新的要求。同时，电器元件本身也朝着新的领域发展，不断涌现出新型产品，一些电器元件被电子化、集成化、智能化，一些电器元件采用了新技术成为网络化、可通信电器，有些甚至完全改变了传统电器的观念，从传统的现场开关量、模拟量信号控制方式，转为现场级的数字化网络控制方式。这标志着现代电气控制技术的巨大变革和飞跃，与传统概念有本质上的区别。

鉴于上述，本书是在充分考虑现代电器及其控制技术的发展及应用特点而编写的。编写中，精选了新型电器和控制技术的内容，将传统过时或将要过时的部分删除，大幅增加了最新产品及先进技术的内容，力求与现代生产实际相结合，突出实际应用。对常用低压电器着重叙述其基本结构原理及应用方法，通过图文并茂，尽可能做到通俗易懂，使读者能与实际相联系，缩短理论与实际的差距。有关智能化电器方面的新理论及其工程应用，近年来已有大量的论文发表，为了系统地总结并论述国内外及作者在这一领域的技术研究成果与工业应用情况，以及教学实践，为促进现代电气控制技术的进步，并使广大工程技术人员能了解、掌握和应用这一领域的最新技术，本书中以较大篇幅给予介绍，抛砖引玉，供读者学习参考。

从电气控制技术的基本理论来看，电气控制的基本思路是一种逻辑思维，只要符合逻辑控制规律、能保证电气安全、并满足生产工艺的要求，就可认为是一种好的设计。如果再选用比较先进的电器元件实现设计功能，那么这种设计就具备一定的先进性和技术进步。一项好的设计，在很大程度上取决于设计者对新型电器的熟悉程度，以及选用的电器元件的合理性。电气控制线路的实现，可以是继电逻辑控制方法、可编程序控制器控制方法及计算机控

制方法等,而现代电气控制技术已将这些方法融为一体,生产现场已难以将其严格区分,尽管如此,继电逻辑控制方法还是基本的方法,是各种控制方法的基础。不同的生产机械或自动控制装置的控制要求是不同的,所要求的控制线路也是千变万化、多种多样,但是它们都是由一些具有基本规律的基本环节、基本单元按一定的控制原则和逻辑规律,由基本的控制环节组合而成的,熟悉这些基本的控制环节是掌握电气控制技术的基础。在长期实践中,人们已经将这些控制环节总结成最基本的单元电路,只要能深入地掌握这些基本的单元电路及其逻辑关系和特点,再结合具体的生产工艺要求,就不难掌握控制线路的基本分析方法和设计方法。基于这些考虑,作者在电气控制线路理论基础部分强调“理顺思路”,具有通用性和普遍性,而不是某一具体的线路,因此,本书的编写方法和内容与传统有关电气控制方面的专著中,多以机床控制线路为主讨论的方法不同,而以单元电路为重点,以带有普遍意义的简单明晰的实例为例,阐述电气控制技术的基本理论与方法。

本书内容具有下列特点:①内容切合实际,取材先进、新颖。②联系工程实际,引入学科交叉内容,介绍一些新思想、新方法和新技术。③较系统地论述了各种新型电器的基本理论和技术,取材着重于基本概念和基本方法。④着重从工程实际应用出发,突出理论联系实际,具有面向广大工程技术人员的特点,因而具有很强的工程性、实用性。⑤内容系统、结构合理、深入浅出、便于自学。

本书适宜于从事电气工程及自动化和生产过程自动化领域工作的工程技术人员阅读,也可作为大专院校电气工程、工业自动化、自动控制等专业的教材和教学参考书。

本书编写过程中曾参考和引用了国内外许多专家与学者发表的论文与著作,以及一些产品的说明书,由于各种因素不能一一预告、面谢,作者在此一并致谢。同时感谢上海交通大学王小曼同志、青岛大学刘湘波老师等以及电气工程专业的多位同学,在编写过程中对全部书稿进行了逐字逐句的审查,提出了详细的审稿意见,在校稿、录入、绘图等工作中作了大量工作,给予了热情的帮助、支持和启迪。

由于作者水平及时间所限,书中难免存在不妥、缺点和谬误,热忱欢迎广大读者批评指正,将不胜感谢。

编者

2001年8月于青岛

目 录

第 2 版前言	
第 1 版前言	
绪论	1
第 1 章 常用低压电器的基本原理	5
1.1 概述	5
1.1.1 常用低压电器的分类	5
1.1.2 我国低压电器的发展概况	9
1.1.3 国内外低压电器的发展趋势	10
1.2 常用低压电器的基本问题	16
1.2.1 电器的触头和电弧	16
1.2.2 电磁机构	23
1.3 低压电器的主要技术性能指标和参数	27
1.3.1 主电路电器和控制电器	27
1.3.2 有关低压电器的主要技术性能、参数的概念	28
1.3.3 电气控制中的颜色标志	36
1.4 电气制图规则	38
1.4.1 电气制图标准	38
1.4.2 电气工程图及技术文件	40
1.4.3 电气控制技术中常用的图形、文字符号	43
第 2 章 常用低压电器	59
2.1 概述	59
2.2 隔离器、刀开关	60
2.2.1 隔离器、刀开关的基本概念	60
2.2.2 开启式刀开关	64
2.2.3 熔断器式刀开关	65
2.2.4 负荷-隔离开关	66
2.2.5 隔离开关熔断器组	67
2.2.6 负荷开关	67
2.2.7 隔离器、刀开关的选用、安装与操作	69
2.3 低压断路器	70
2.3.1 低压断路器的结构与工作原理	70
2.3.2 塑料外壳式断路器	78
2.3.3 万能式断路器	82
2.3.4 智能型万能式断路器	85
2.3.5 智能型塑料外壳式低压断路器	95
2.3.6 模数化小型断路器	98
2.3.7 剩余电流动作保护装置	100
2.3.8 低压断路器的选择与应用	105
2.3.9 配电系统接地型式	113
2.4 接触器	118
2.4.1 接触器的结构与工作原理	119
2.4.2 常用典型交流接触器简介	121
2.4.3 机械联锁交流接触器	125
2.4.4 切换电容器接触器	126
2.4.5 低压交流真空接触器	127
2.4.6 直流接触器	128
2.4.7 接触器的主要特性参数与选用原则	130
2.4.8 接触器常见故障分析	133
2.5 热继电器	135
2.5.1 热继电器的工作原理	135
2.5.2 常用热继电器简介	139
2.5.3 三相异步电动机断相运行分析	142
2.5.4 热继电器的选用	145
2.6 熔断器	146
2.6.1 熔断器的结构与工作原理	147
2.6.2 常用典型熔断器简介	154
2.6.3 熔断器的选用	160
2.7 继电器	163
2.7.1 继电器的结构原理与分类	164
2.7.2 小型电磁式继电器	168
2.7.3 时间继电器	170
2.7.4 温度继电器	174
2.7.5 固态继电器	175
2.7.6 可编程逻辑控制继电器	181
2.7.7 继电器的选用	186
2.8 主令电器	187
2.8.1 控制按钮和指示灯	188
2.8.2 行程开关	190

2.8.3 接近开关	192	3.6.3 顺序功能图 (SFC) 程序设计语言	290
2.8.4 转换开关	198	3.6.4 布尔逻辑指令	297
2.8.5 主令控制器	201	3.6.5 西门子 SIMATIC S7 PLC 简介	327
2.8.6 主令电器的一般选用原则	203	3.7 电气控制系统的控制与保护环节	335
2.9 电磁执行机构	204	3.7.1 电气系统故障与电气安全	336
2.9.1 电磁铁	205	3.7.2 电流型保护	338
2.9.2 电磁阀	206	3.7.3 电压型保护	342
2.9.3 电磁制动器	210	3.7.4 位置控制与保护	343
2.10 电气安装附件	211	3.7.5 温度、压力、流量、转速等物理量的控制与保护	343
2.10.1 接线座与接插件	212	3.8 电气控制线路分析基础	345
2.10.2 安装附件	214	3.8.1 电气控制系统的一般功能原理	345
第3章 电气控制的基本原理	216	3.8.2 PID 控制	347
3.1 逻辑控制的基本概念	217	3.8.3 电气控制线路分析的内容	355
3.1.1 数字逻辑与继电器逻辑	217	第4章 电气控制系统设计	361
3.1.2 电气控制的逻辑函数	219	4.1 电气控制设计基础	361
3.1.3 继电器逻辑控制线路的逻辑函数	228	4.1.1 电气控制系统设计的基本方法	361
3.1.4 逻辑控制线路的逻辑设计方法	233	4.1.2 电气控制设计的若干规则	364
3.1.5 梯形图逻辑	234	4.2 电气传动基础	372
3.2 三相异步电动机的基本控制环节	239	4.2.1 电气传动系统的概念	372
3.2.1 起停、自锁和点动控制环节	240	4.2.2 电气传动方式	377
3.2.2 可逆控制与互锁环节	242	4.2.3 典型生产机械传动方案的选择	380
3.2.3 联锁控制与互锁控制	243	4.3 电气控制线路的设计方法	387
3.2.4 多地点控制	243	4.3.1 电气控制设计方法	388
3.2.5 自锁、互锁和联锁的逻辑关系	244	4.3.2 电气控制线路的逻辑表达式	394
3.3 三相交流电动机的起动控制	244	4.4 电气工艺设计基础	397
3.3.1 星-三角减压起动控制线路	244	4.4.1 电气工艺设计的主要内容	398
3.3.2 自耦变压器减压起动控制线路	245	4.4.2 电气设备总体配置设计	398
3.3.3 三相绕线转子异步电动机的起动控制	247	4.4.3 电气柜、箱及非标准零件的设计	401
3.3.4 固态减压软起动控制	251	4.4.4 设计示例	402
3.4 三相异步电动机的制动控制	259	4.5 电气控制线路计算机辅助设计	418
3.4.1 反接制动控制	260	4.5.1 Protel 99 简介	418
3.4.2 能耗制动控制	261	4.5.2 Protel 99 的功能特点	419
3.4.3 速度继电器简介	262	4.5.3 Protel 99 在电气控制线路设计中的应用	420
3.5 三相异步电动机的调速控制	263	第5章 可通信低压电器与现场总线	428
3.5.1 变压调速	264	5.1 概述	428
3.5.2 变极调速	264	5.2 低压电器数据通信的技术基础	429
3.5.3 变转差率调速	266	5.2.1 低压电器数据通信的概念	429
3.5.4 通用变频器调速	269	5.2.2 网络控制的内容	432
3.6 逻辑控制系统	286	5.3 OSI 参考模型简介	433
3.6.1 逻辑控制系统的原理	287		
3.6.2 顺序控制的原理	288		

5.4 现场总线基础	436	5.4.7 现场总线 PROFIBUS + PROFINet ...	445
5.4.1 现场总线技术特点和优点	436	5.4.8 现场总线 DeviceNet	451
5.4.2 现场总线通信协议模型	438	5.4.9 MODBUS 通信协议	452
5.4.3 现场总线控制系统的访问方法 ...	441	5.5 可通信低压开关电器简介	453
5.4.4 现场总线的网络拓扑	441	5.6 智能化配电系统简介	455
5.4.5 现场总线的主要产品	442	参考文献	457
5.4.6 现场总线控制系统的类型	444		

绪 论

随着现代科学技术的进步和发展,目前现代工业自动化控制系统已是一种以先进控制技术和智能控制技术为核心的综合自动化系统,其内涵不断扩充和深化,其特征是信息化、数字化、智能化、网络化和集成化。现代工业自动化技术融合了信息集成技术、自动化技术、现代控制技术、网络通信技术、图像/视频技术、无线电遥控技术、嵌入式微控制器技术、机电一体化技术、数控技术、先进制造技术及现代管理等诸多学科的先进技术,内容十分广泛,包括工业计算机控制及系统、可程序控制器及其网络控制系统、集散控制系统(DCS)、通用变频器与伺服控制、智能工业控制器、现场总线技术、通信网络、工业机器人、工控软件、传感器与自动测量装置、仪器仪表、人机界面、精密微电机、真空设备、光电元器件、执行器、液压与气动元件、接插件、编码器、低压电器、电线和电缆、开关电源、机箱柜及传动和输送装置等。各种现代技术相互关联、渗透与融合,使传统机械产品的结构、运动、检测、控制、驱动等趋于信息化、数字化、智能化和网络化。

1. 电气传动控制技术

电气传动控制技术是用以实现生产过程自动化及其控制的电气设备及系统的控制技术,以各类电动机为动力的传动装置与系统。电气控制系统是其中的主干部分。电气传动系统主要包括普通电气传动控制(速度、位置、压力、张力、流量等)系统、综合(分级)自动化系统以及自动生产线。它们是现代化生产的重要组成部分和基石。

电气传动控制系统广泛应用于各个工业部门及凡是需要动力的场合中,该系统是由电动机及供电、检测、控制装置组成的反馈控制系统,是把电能转换成非电能量的装置。将电能变换为机械能或其他形式能量的设备有多种,如电动机、电磁阀、电热器等。而电动机是现代生产过程中的主要动力机械,生产过程的运行、控制、调节等,几乎都是通过对电动机的控制来实现的,这种过程通常称为电气传动。电气传动系统通常包括以下三个主要环节:

1) 动力部分,是整个系统的电源供给环节,是整个系统的主干,是电能转换为其他能量的通道部件,包括动力电源开关、电器控制部件、电动机等。

2) 生产过程自动控制部分,是生产过程自动化的核心,也是间接控制、指挥动力电器及系统工作的部件。包括继电逻辑控制电器及各种控制仪表、智能仪器仪表等。

3) 传动装置,是生产机械的连接及传动环节,位于电动机与工作机械之间,如减速箱、传动带、联轴器等。

工业生产设备广泛使用电气传动,而电气传动又离不开调速,通用变频器使交流电动机调速不但比传统的直流电动机调速优越,而且也比调压调速、变极调速、串级调速等调速方式优越。它的特点是调速平滑、调速范围宽、运行平稳、安全可靠、效率高、特性好、结构简单、机械特性硬、保护功能齐全,在生产过程中能获得最优速度参数,是理想的调速方式,并且是节能降耗的重要措施。应用实践证明,交流电动机变频调速一般能节电30%左右,被誉为绿色节电新技术。

2. 电器控制系统

通常由动力电器和过程自动控制设备构成电器控制系统。电器控制系统中常用的控制电器主要是低压电器元件、电工仪表及控制仪表等。电器控制系统是一种能根据外界的信号和要求,手动或自动地接通、断开电路,断续或连续地改变电路参数,以实现电路或非电对象的切换、控制、保护、检测、交换和调节用的一种电气控制成套设备。电器的控制作用就是“自动”或“手动”接通或者断开电路,因此,“通”和“断”,对应于逻辑“1”或“0”,是电器最基本、最典型的功能。由此定义:根据生产过程的工艺要求,由这些电器组成的、能满足生产过程工艺要求的控制系统称电器控制系统。早期,因其主要由开关电器、继电器、接触器等组成,故称继电器-接触器控制系统,至今一直沿用这一说法。又因为它是一种逻辑控制,所以又称它是一种继电逻辑控制系统。

电器控制系统是电气传动控制系统的核心。现代化的机电设备、生产线、生产车间甚至整个工厂都实现了生产过程控制自动化。它由各种电动机、电器元件、电子器件或装置、检测器件以及各种仪器仪表、工业计算机等设备按一定的逻辑规律组成控制系统,对生产过程进行自动控制。自动控制所用的技术手段是多种多样的,电器控制是应用最为普遍的方法,也是最基本的方法,在诸方法中起链接作用。

3. 电气控制技术

电气控制技术是随着科学技术的不断发展、生产工艺的提高和发展不断提出新的要求而不断发展的。在控制方法上,主要从手动控制到自动控制;在控制功能上,是从简单控制到智能化控制;在操作上由笨重到信息化处理;从控制原理上,由单一的有触点硬接线继电器逻辑控制系统转向以微处理器为核心的网络化控制系统。随着现代工业生产技术的发展,生产机械功能需求越来越多,要求自动化程度越来越高,其机械传动系统也就越来越复杂,使电气控制系统进一步复杂化。此外,各种生产过程参数也要求自动调整,如温度、压力、流量、时间、速度、转矩、功率等的自动调整。这也促使了电气控制技术的迅速发展。由于微电子技术、电力电子技术、自动控制技术、计算机控制技术及网络通信技术等新技术被引入应用到电气控制系统,智能化、网络化电气控制技术不断得到普及应用。如,低压配电系统具有了“四遥”功能,采用可编程序控制器(PLC)技术、阴极射线管(CRT)显示技术、通信技术和网络技术对电气控制装置的集中控制与操作,实现了强电控制与弱电控制相结合,构成由计算机进行智能化管理,实现集中数据处理、集中监控、集中分析及集中调度的电气控制和低压配电系统。目前,电气控制技术在智能电器、通用变频器、PLC、工业计算机、现场总线及通信技术的支撑下,正向着集成化、智能化、信息化、网络化方向发展。

电气控制系统通常按下列方法分类。

(1) 按输入、输出信号的状态特征分类

1) 以开关状态变化为特征的开关量,其控制系统称为开关量自动控制系统或断续控制系统(电器控制范畴),即通常说的继电逻辑控制系统。开关量控制系统的理论基础是基于逻辑控制原理,其理论核心是逻辑代数。按控制原理,开关量控制技术也就是逻辑控制技术,其中包含了数字控制,可称为继电(数字)逻辑控制技术,是本书涉及的主要内容。

2) 以连续状态变化为特征的连续量,其控制系统称为连续控制系统,可以是开环控制,也可以是闭环控制。连续量控制技术在工业现场就是以标准工业信号为控制对象的模拟量控制,目前典型的控制技术是基于模糊控制的比例、积分、微分(PID)控制技术,已有众多的系统采用智能化控制和计算机控制技术。

在工业现场,开关量控制和模拟量控制通常是联系在一起的,就电器控制而言,是按照逻辑组合通过接线构成一套装置,以一定的逻辑规律和标准工业信号进行控制。这一类控制装置中已包含智能电器、智能仪表、PLC和计算机控制系统等。

(2) 按控制程序特征分类

1) 固定程序控制系统,这种系统是通过硬接线方式构成继电逻辑控制电路,从而实现控制系统的所需功能。这种系统的工艺过程的控制逻辑是固定不变的。根据现场生产工艺的要求,继电逻辑控制电路又分为组合电路和时序电路两大类。电路的工作状态只取决于当时各输入信号取值状态的逻辑电路,称为组合电路。电路的工作状态是指电路中各被控电器的取值状态。电路的工作状态不仅取决于电路当时输入信号的状态,而且还与电路原先的工作状态有关,这样的逻辑电路称为时序电路。时序电路原先的工作状态又与电路过去接收输入信号的顺序有关,是工业电气控制中应用最广泛的控制方式。

2) 顺序控制系统,这种系统中的工艺过程很容易根据工艺要求更改。在工业自动控制技术中,根据生产工艺要求,按照预先规定的程序和条件对控制过程各阶段顺序地进行自动控制,这种方式称顺序控制。所谓顺序,就是在生产工艺控制过程中,由逻辑功能所决定的信息传递与转换所具有的次序。一般开关量自动控制系统都具有顺序控制的特征,但各类开关量控制系统并不都称顺序控制。顺序控制一般具有确定的动作程序,并且可根据需要设定和更改程序内容。早期实现顺序控制的电器称为顺序控制器,其特征是可以根据不同的生产工艺要求改变控制程序。在现代工业自动化控制系统中,上述功能一般由各种智能仪器仪表、可编程序控制器、通用变频器等承担主控制器来完成。电器控制系统起链接作用。从整个系统来看,它是一种数字化继电逻辑控制系统。

4. 低压电器

低压电器是现代工业自动化的重要基础件,是组成电气成套设备的基础配套元件,包括配电电器和控制电器,它是低压用电系统可靠运行、安全用电的基础和重要保证,在国民经济各部门及人民生活中应用广泛、量大面广、品种繁多。低压电器对电能的生产、输送、分配与应用起着控制、调节、检测、保护和交换作用。

随着现代控制技术的迅速发展,工业生产技术的进步,计算机网络已渗透到各行各业乃至家庭,给低压电器产品的发展注入了新的活力;一些电器元件被电子化、集成化,一些电器元件采用了新技术成为智能化电器,使得电器元件本身也朝着新的领域发展,不断涌现出新型产品;有些甚至完全改变了传统电器的观念,从传统的现场开关量、模拟量信号控制方式,转为现场级的数字化网络方式,即生产过程现场级的数字化网络方式。Internet/Intranet/Ethernet技术促使了智能化电器的发展,智能化电器使电气控制技术网络化成为现实。智能化电器是根据传统电器的工作原理和微处理器或微型计算机相结合而构成的,它充分利用微型计算机的计算和存储能力,对电器的数据进行处理,并能对它的内部行为进行调理,使采集的数据最佳。智能化电器具有双向通信功能,可以与外界数据网络进行双向数据交换和传输。智能化电器进一步实现信息化,使智能化电器在现场级实现Internet/Intranet/Ethernet功能,其技术核心是实现传输控制协议/网际协议(TCP/IP)。把TCP/IP嵌入到智能型电器的ROM中,使得信号的收发以TCP/IP方式进行,进一步发展智能型电器的信息化功能。利用Internet/Intranet/Ethernet功能,不但使企业的网络授权用户,并且在任何开通了Internet的地区都可通过浏览,共享现场信息,并对现场的智能型电器进行远程在线控制、

编程和组态等,这使智能化电器进入了信息化时代。基于现场总线技术、具有通信功能的电器称为可通信电器。目前,现场总线技术正向上、下两端延伸,其上端和企业网络的 Ethernet、Intranet 和 Internet 等通信,下端延伸到工业控制现场区域。

随着新技术的发展,特别是电子、微电子技术和计算机技术的迅速发展,新型低压电器产品主要具有以下几个特征:

1) 低压电器产品智能化。智能化电器是具有自检、自动测量、自动控制、自动调节与通信功能的电气设备。智能型电器的智能包括传感器部分、信号处理部分、信号输出部分、执行部分的实现。如自动数字显示电压、电流、功率、功率因数等;断路器的智能脱扣器可实现短路瞬时开断、三段式保护功能等。在现代工业企业中,已广泛采用计算机监控系统,对低压电器提出了高性能、智能化的要求,并要求产品具有保护、监测、试验、自诊断、显示等功能。智能化断路器将进一步完善系列、实现产业化,并在重要电力系统中得到应用与推广。目前,对智能化电器的研究主要集中在设备的在线监测,新的信号采集及处理方法、机理的研究,电器本体的研究,智能化电器可靠性及控制部分抗干扰能力的研究,通信方法等。

2) 低压电器产品组合化、模块化。新型低压电器产品可根据需要将不同功能的模块按不同的需求组合成模块化组合电器,如在接触器的本体上加装辅助触头组件、延时组件、自锁组件、接口组件、机械联锁组件及浪涌电压组件等,可以适应不同场合的要求,扩大产品适用范围,简化生产工艺,方便安装、使用与维修。

鉴于上述,可以预言,在 21 世纪,新型电气控制技术领域必定是一个数字化、信息化、网络化的时代。低压电器产品及其应用必将发生一场新的变革,因此现代意义上的电气传动控制系统、电器控制系统,都将与传统的控制系统有本质上的区别和不同。但目前有些电器元件有其特殊性,不可能完全改变其传统用途,并会在今后相当长的时间内沿用。

本书主要研究电气工程中常用低压电器及一些新型低压电器的基本原理、结构、用途及其应用,系统地介绍继电(数字)逻辑控制技术的基本原理、分析方法与设计方法,以及利用新型电器的最新控制技术,另外还介绍低压电器的通信网络和协议。并简要介绍用计算机绘图软件设计和绘制电气控制线路的基本原理和方法。在编写时,注重基本原理、基本方法的阐述,强调实用性、现时性。对过时或将要淘汰的内容将不涉及,使读者在掌握传统继电逻辑控制技术的基本理论和技能的同时,能尽可能多地了解最新控制技术的内容,为今后学习和掌握最新技术、最新产品打下良好基础。

第1章 常用低压电器的基本原理

1.1 概述

低压电器包括配电电器和控制电器两大类，是组成成套电气设备的基础配套元件。本书将“低压电器”定义为：根据使用要求及控制信号，通过一个或多个器件组合，能手动或自动分合额定电压在直流（DC）1200V、交流（AC）1500V及以下的电路，以实现电路中受控制对象的控制、调节、变换、检测、保护等作用的基本件称为低压电器。采用电磁原理构成的低压电器元件，称为电磁式低压电器；利用集成电路或电子元件构成的低压电器元件，称为电子式低压电器；利用现代控制原理构成的低压电器元件或装置，称为自动化电器、智能化电器或可通信电器；根据电器的控制原理、结构原理及用途，又可有终端组合式电器、智能化电器和模数化电器等。

本书主要介绍常用低压电器及一些新型电器的结构、工作原理、用途及其应用，不涉及元件的设计、制造。另外，介绍它们的图形符号及文字符号，为电气控制电路设计打下基础。

1.1.1 常用低压电器的分类

低压电器的种类繁多，功能多样，用途广泛，结构各异，其分类方法亦很多，通常按下列方法分类。

1. 按用途和功能分类

(1) 控制电器 控制电器是指主要用于控制受电设备，使其达到预期要求的工作状态的电器元件。如转换开关、按钮、接触器、继电器、熔断器及控制设备等。用于开关设备的控制设备中作控制、信号、联锁用的电器称为控制电路电器。控制设备是指主要用来控制受电设备的开关电器及这些开关电器和相关联的控制、测量、保护及调节设备的组合的通称，也指由这些电器和设备及相关联的内连接线、辅助件、外壳和支持结构件的组合件。

(2) 配电电器 配电电器是指主要用于低压配电电路，对电路及设备进行保护及通断、转换电源或负载的电器。如刀开关、隔离器、熔断器、低压断路器、负荷开关等。

(3) 终端电器 终端电器是用于线路末端的一种小型化、模数化的组合式开关电器，可根据需要，组合成对电路和用电设备进行配电、保护、控制、调节、报警等功能，包括各种小型化断路器、智能单元、信号指示、防护外壳和附件等。

(4) 执行电器 执行电器是指用于完成某种控制动作的电器，如电动操作机构、电磁铁、电磁离合器等。

(5) 可通信电器 可通信低压电器的基本特征是带有通信接口，如RS232/RS485接口等，可与工业网络连接，进行网络化控制。如智能化断路器、智能化接触器、通用变频器、可编程序控制器、软起动器及各种智能控制器等。

上述电器按应用系统、应用场合，又可分为一般工业用电器、配电电器、牵引电器、防

爆电器、真空电器、矿用电器、航空电器、船舶电器、建筑电器、农用电器等。专供安装在防风、雨、尘土、异常凝露、冰及浓霜的建筑物内或其他房屋内的开关设备和控制设备，称为户内开关设备和控制设备。可供露天安装，耐风、雪、尘土、凝露、冰及浓霜的开关设备和控制设备，称为户外开关设备和控制设备。

2. 按低压电器类别分类

按低压电器类别分类，可分为低压断路器、接触器、刀开关、熔断器、主令电器、继电器、执行电器、安装附件、成套电器、自动装置等。其中，每一类按功能、结构和工作原理又可分为若干类。常用低压电器的分类举例如图 1-1 所示。表 1-1 总结了常用的低压电器的主要种类及用途。

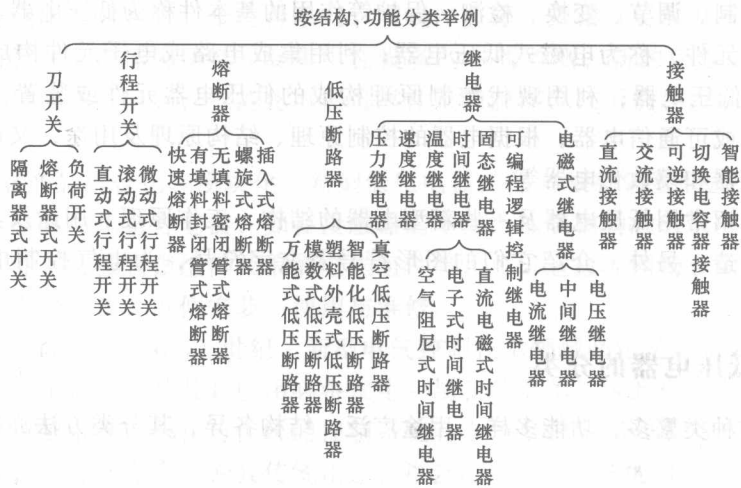


图 1-1 常用低压电器的分类举例

(1) 低压断路器（俗称自动空气开关） 低压断路器主要用在不频繁操作的低压配电线路或开关柜（箱）中作为电源开关，并具有过载、短路、断相、漏电、欠电压等自动保护功能。有万能框架式低压断路器、装置式（塑料外壳式）低压断路器、模块化小型低压

表 1-1 常用的低压电器的主要种类及用途

序号	类别	主要品种	用途
1	刀开关、隔离器	刀开关	主要用于电源隔离和短路保护
		负荷开关	
		熔断器式开关	
		隔离器	
		隔离器熔断器组	
2	熔断器	有填料封闭管熔断器	主要用于电路短路保护
		无填料密封管式熔断器	
		半封闭插入式熔断器	
		快速熔断器	
		自复熔断器	

(续)

序号	类别	主要品种	用途
3	断路器	万能式断路器 智能型断路器 塑料外壳式断路器 模数化断路器 剩余电流保护断路器 真空断路器	主要用于电路的电源开关,不频繁接通和断开的电路,并具有过载、短路、欠电压、漏电流等保护功能
4	接触器	交流接触器 直流接触器 可逆接触器 切换电容器接触器 真空接触器 双电源自动转换开关	主要用于远距离频繁操作控制,以实现自动控制
5	继电器	热继电器 电流继电器 电压继电器 时间继电器 中间继电器 温度继电器 可编程逻辑控制继电器	专用于对三相异步电动机过载保护 用于各种控制电路中,实现逻辑控制,以及将被控量转换成标准的工业信号,实现物理量控制
6	主令电器	按钮 指示灯 限位开关、光电开关 微动开关 接近开关 万能转换开关 组合开关 凸轮控制器	用于发布操作指令和信号,以及位置控制与保护、电源切换、控制回路切换、负载通断等
7	执行器	制动电磁铁 起重电磁铁 牵引电磁铁	用于逻辑执行,起重、牵引、制动等
8	成套装置	自耦减压起动器 电磁起动器 星-三角起动器 软起动器 配电箱、照明箱、计量箱、插座箱 低压开关柜 控制柜	用于电动机、电气控制操作,实现控制功能
9	电气安装附件	接线端子、接插器、塑料护套、尼龙扎带、母线槽、绝缘端头	用于电气装置安装
10	其他	通用变频器 可编程序控制器 伺服控制器	实现自动控制系统和网络化控制