

# 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

王仁祥 编著



机械工业出版社

本书详细地介绍了电气工程中常用低压电器、智能电器的基本结构、工作原理和选用方法；固态软起动器、变频器、可编程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网络技术等。系统地介绍了电气控制系统的基本原理、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、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。

本书可供从事电气工程及自动化、生产过程自动化领域的工程技术人员阅读，也可作为高等学校电气工程、工业自动化、自动控制类等专业的教材和教学参考书及企业电气工程技术人员培训教材，中等工业学校类似专业也可选用。

#### 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. —北京：机械工业出版社，2001.8

ISBN 7-111-08994-4

I. 常... I. 王... III. ①低压电器—理论②低压电器—控制  
IV. TM52

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2001) 第 035436 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：贾玉兰 版式设计：张世琴 责任校对：张 媛

封面设计：姚 毅 责任印制：路 琳

北京机工印刷厂印刷·新华书店北京发行所发行

2001 年 8 月第 1 版·第 1 次印刷

787mm×1092mm<sup>1</sup>/<sub>16</sub>·15.25 印张·374 千字

0 001—4 000 册

定价：25.00 元

凡购本书，如有缺页、倒页、脱页，由本社发行部调换

本社购书热线电话(010)68993821、68326677-2527

# 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的许多部门都得到了广泛的应用,是实现工业自动化的重要手段。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、微机应用技术和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,例如工业方面的各种现代化生产流水线、各种现代生产机械、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,家用电器的更新换代速度也令人难以想象。所有这些都体现了当代工业现代化的技术进步。因此,现代意义上的电气控制系统与传统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,其机械传动系统也就越来越复杂,各种生产过程的非电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,一些电器元件采用了新技术成为智能化、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方式。这标志着现代电气控制技术将产生巨大的变革和飞跃,与传统的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现状而编写的。编写中注意精选内容,将传统过时或将要过时的部分删除,增加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基本结构原理及应用方法,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作者在这一领域的技术研究成果与其工业应用情况,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,那末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,可以是继电器—接触器逻辑控制方法、可编程逻辑控制方法及计算机控制(单片机、可编程控制器等)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,继电器—接触器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(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,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。同时感谢青岛大学刘湘波同志、青岛建筑工程学院王小曼同志,在本书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、打字、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

# 目 录

前言	
绪论 .....	1
<b>第一章 常用低压电器的基本原理 .....</b>	<b>5</b>
1.1 概述 .....	5
1.1.1 常用低压电器的分类 .....	5
1.1.1.1 按用途分类 .....	5
1.1.1.2 按电气传动控制系统常用低压电器分类 .....	5
1.1.2 我国低压电器的发展概况 .....	6
1.1.3 国内外低压电器的发展趋势 .....	7
1.1.3.1 相关新技术的发展与应用 .....	7
1.1.3.2 我国主要低压电器产品总体发展方向 .....	9
1.2 常用低压电器的基本问题 .....	10
1.2.1 电器的触头和电弧 .....	10
1.2.1.1 电器的触头系统 .....	10
1.2.1.2 电弧的产生及灭弧方法 .....	12
1.2.2 电磁机构 .....	16
1.2.2.1 电磁机构的结构形式 .....	16
1.2.2.2 电磁机构的工作原理 .....	16
1.2.3 低压电器的主要技术性能指标和参数 .....	20
1.2.3.1 开关电器和控制电器 .....	20
1.2.3.2 有关低压电器的主要技术性能、参数的概念 .....	21
1.2.4 电气控制技术中常用的图形、文字符号 .....	30
<b>第二章 常用低压电器 .....</b>	<b>38</b>
2.1 隔离器、刀开关 .....	39
2.1.1 开启式刀开关 .....	40
2.1.2 封闭式负荷开关 .....	41
2.1.3 开启式负荷开关 .....	41
2.1.4 熔断器式隔离器 .....	41
2.1.5 隔离器、刀开关的选用原则 .....	41
2.2 低压断路器 .....	43
2.2.1 低压断路器结构和工作原理 .....	44
2.2.2 常用典型低压断路器简介 .....	46
2.2.2.1 万能框架式断路器 .....	46
2.2.2.2 塑料外壳式断路器 .....	47
2.2.2.3 模数化小型断路器 .....	50
2.2.2.4 剩余电流动作(漏电)保护装置 .....	52
2.2.2.5 智能化断路器 .....	55
2.2.3 低压断路器、漏电断路器的选用原则 .....	60
2.2.3.1 低压断路器的选用 .....	60
2.2.3.2 漏电断路器的选用 .....	61
2.2.4 关于系统接地型式的说明 .....	62
2.2.4.1 系统符号说明 .....	62
2.2.4.2 各种接地型式的系统 .....	63
2.3 接触器 .....	64
2.3.1 接触器的结构及工作原理 .....	64
2.3.2 常用典型交流接触器简介 .....	65
2.3.2.1 空气电磁式交流接触器 .....	65
2.3.2.2 机械连锁(可逆)交流接触器 .....	70
2.3.2.3 切换电容器接触器 .....	70
2.3.2.4 真空交流接触器 .....	71
2.3.2.5 直流接触器 .....	72
2.3.2.6 智能化接触器 .....	75
2.3.3 接触器的主要特性和参数 .....	75
2.3.4 接触器的选用原则 .....	76
2.3.5 接触器常见故障分析 .....	77
2.4 热继电器 .....	78
2.4.1 热继电器的工作原理 .....	78
2.4.2 常用热继电器产品简介 .....	80
2.4.3 三相异步电动机断相运行分析 .....	81
2.4.4 热继电器的选用 .....	84
2.5 熔断器 .....	86
2.5.1 熔断器的结构及工作原理 .....	87
2.5.1.1 熔断器的结构及熔断体的特性 .....	87
2.5.1.2 熔断器的工作原理及技术	

参数 .....	88	3.1.1 电气控制逻辑函数的定义 .....	127
2.5.2 熔断器的使用类别和分类 .....	90	3.1.2 三种基本逻辑运算(与、或、非) .....	128
2.5.3 常用典型熔断器简介 .....	91	3.1.2.1 逻辑“与”——触头串联 .....	128
2.5.3.1 插入式熔断器 .....	91	3.1.2.2 逻辑“或”——触头并联 .....	128
2.5.3.2 螺旋式熔断器 .....	91	3.1.2.3 逻辑“非”——动断触头 .....	129
2.5.3.3 有填料高分断能力熔断器 .....	92	3.2 三相异步电动机的基本控制环节 .....	129
2.5.3.4 半导体器件保护熔断器 .....	93	3.2.1 起停、自锁环节和点动控制 .....	129
2.5.3.5 自复熔断器 .....	94	3.2.2 可逆控制与互锁环节 .....	131
2.5.4 熔断器的选用 .....	95	3.2.3 联锁控制与互锁控制 .....	132
2.5.4.1 选用的一般原则 .....	95	3.2.4 多地点控制 .....	133
2.5.4.2 熔断体额定电流的确定 .....	95	3.2.5 自锁、互锁和联锁的逻辑关系 .....	133
2.6 继电器 .....	98	3.3 三相交流电动机的起动控制 .....	134
2.6.1 继电器的结构原理 .....	98	3.3.1 星—三角形降压起动控制线路 .....	134
2.6.2 常用典型继电器简介 .....	100	3.3.2 自耦变压器降压起动控制线路 .....	135
2.6.2.1 电磁式继电器 .....	100	3.3.3 三相绕线转子异步电动机的起动控制 .....	136
2.6.2.2 通用直流电磁继电器 .....	100	3.3.3.1 转子回路串接电阻起动控制线路 .....	136
2.6.2.3 小型电磁继电器 .....	101	3.3.3.2 转子回路串频敏变阻器起动控制线路 .....	138
2.6.2.4 时间继电器 .....	102	3.3.4 固态降压起动器 .....	139
2.6.2.5 温度继电器 .....	106	3.3.4.1 固态降压起动器的工作原理 .....	139
2.6.2.6 固态继电器 .....	107	3.3.4.2 软起动控制器的工作特性 .....	139
2.6.3 可编程通用逻辑控制继电器 .....	108	3.3.4.3 固态降压起动器的应用 .....	140
2.6.3.1 可编程通用逻辑控制继电器(模块)的特点 .....	109	3.3.4.4 软起动器的发展现状 .....	141
2.6.3.2 可编程通用逻辑控制继电器的内部功能简介 .....	109	3.4 三相异步电动机的制动控制 .....	142
2.6.4 继电器的选用 .....	112	3.4.1 反接制动控制 .....	142
2.7 主令电器 .....	113	3.4.2 能耗制动控制 .....	143
2.7.1 控制按钮 .....	113	3.4.2.1 单向能耗制动控制线路 .....	144
2.7.2 行程开关 .....	114	3.5 三相异步电动机的转速控制 .....	145
2.7.3 接近开关 .....	114	3.5.1 变压调速 .....	145
2.7.4 转换开关 .....	116	3.5.2 转子串电阻调速 .....	145
2.7.5 主令控制器 .....	119	3.5.3 电磁转差离合器调速 .....	145
2.7.6 指示灯 .....	120	3.5.4 变极调速 .....	145
2.7.7 主令电器的一般选用原则 .....	120		
2.8 电磁执行机构 .....	120		
2.8.1 电磁铁 .....	120		
2.8.2 电磁阀 .....	121		
2.8.3 电磁制动器 .....	122		
2.9 电气安装附件 .....	123		
2.9.1 接线座与接插件 .....	123		
2.9.2 安装附件 .....	124		
<b>第三章 电气控制的基本原理</b> .....	<b>126</b>		
3.1 电气控制的逻辑函数 .....	127		

3.5.5 串级调速 .....	147	则 .....	180
3.5.6 变频调速 .....	148	4.1.2 电气设计中应注意的问题 .....	184
3.5.6.1 异步电动机在变频调速时的 机械特性 .....	150	4.2 电气传动形式的选择 .....	186
3.5.6.2 负载的转矩特性 .....	151	4.2.1 电气传动方式 .....	186
3.5.6.3 变频器的基本结构原理 .....	152	4.2.2 调速性能 .....	186
3.5.6.4 变频器的主要控制功能 .....	156	4.2.3 典型生产机械的工艺要求及 电气传动系统方案选择 .....	187
3.5.6.5 通用变频器简介 .....	158	4.2.3.1 风机和泵类机械 .....	187
3.6 电气控制系统的控制与保护环节 .....	159	4.2.3.2 提升机械类 .....	188
3.6.1 电流型保护 .....	160	4.2.3.3 球磨机和滚筒磨类 .....	188
3.6.1.1 短路保护 .....	160	4.2.3.4 张力控制类机械 .....	188
3.6.1.2 过电流保护 .....	161	4.2.3.5 多分部(单元)速度协调 类 .....	189
3.6.1.3 过载保护 .....	161	4.2.3.6 宽调速类 .....	189
3.6.1.4 断相保护 .....	162	4.2.3.7 快速正反转类 .....	189
3.6.2 电压型保护 .....	163	4.3 电气控制线路的设计方法 .....	189
3.6.2.1 失压保护 .....	163	4.3.1 电气控制经验设计法 .....	189
3.6.2.2 欠电压保护 .....	164	4.3.1.1 通用变频器外部电气控制线 路设计 .....	190
3.6.2.3 过电压保护 .....	164	4.3.1.2 设备运转模式控制 .....	192
3.6.3 位置控制与保护 .....	164	4.3.1.3 高层建筑消防水泵控制系 统 .....	193
3.6.4 温度、压力、流量、转速等物理 量的控制与保护 .....	165	4.3.2 电气控制线路的逻辑分析设计 方法 .....	195
3.7 电气控制线路分析基础 .....	166	4.3.2.1 继电器-接触器控制线路的 逻辑函数 .....	195
3.7.1 电气控制的基本控制方法 .....	166	4.3.2.2 举例 .....	197
3.7.1.1 电气控制系统的一般功能 原理 .....	167	4.4 电气控制工艺设计基础 .....	201
3.7.1.2 PID 控制 .....	168	4.4.1 电气设备总体配置设计 .....	201
3.7.2 电气控制线路分析的内容 .....	171	4.4.1.1 组件的划分 .....	201
3.7.3 电气原理图阅读分析的方法与 步骤 .....	172	4.4.1.2 电气控制设备各部分及组 件之间的接线方式 .....	202
<b>第四章 电气控制系统设计 .....</b>	<b>177</b>	4.4.2 电器元件布置图的设计与绘 制 .....	202
4.1 电气控制设计基础 .....	177	4.4.3 电器部件接线图的绘制 .....	202
4.1.1 电气控制系统设计的基本方 法 .....	177	4.4.4 电气柜、箱及非标准零件图的 设计 .....	203
4.1.1.1 电气控制系统设计的基本任 务与内容 .....	178	4.4.5 各类元器件及材料清单的汇 总 .....	203
4.1.1.2 电气设计的技术条件 .....	178	4.4.6 编写设计说明书 .....	203
4.1.1.3 电气控制设计的一般原 则 .....	179	4.4.7 设计示例 .....	204
4.1.1.4 电气控制设计的一般程 序 .....	179	4.4.7.1 设计任务书 .....	204
4.1.1.5 电气控制原理图设计的基 本步骤与方法 .....	180	4.4.7.2 设计过程 .....	205
4.1.1.6 电气控制设计的若干规			



4.5 电气控制线路CAD辅助设计 .....	210	5.2.4 低压电器数据通信的特点 .....	224
4.5.1 Protel99简介 .....	213	5.2.5 低压电器数据通信规约 .....	224
4.5.2 Protel99的功能特点 .....	214	5.3 现场总线基础 .....	225
4.5.3 Protel99在电器控制线路中的 应用 .....	216	5.3.1 现场总线控制系统的结构、 特点 .....	225
4.5.3.1 进入Protel99 .....	216	5.3.2 现场总线控制系统的基本概 念 .....	227
4.5.3.2 用Protel99绘制电器控制 线路图 .....	220	5.4 现场总线PROFIBUS .....	228
<b>第五章 可通信低压开关电器与现场   总线 .....</b>	<b>222</b>	5.4.1 PROFIBUS的结构 .....	229
5.1 概述 .....	222	5.4.2 PROFIBUS在工厂自动化系统 中的位置 .....	229
5.2 低压电器数据通信的特点和技术 基础 .....	223	5.4.3 PROFIBUS控制系统组成 .....	230
5.2.1 网络控制的内容 .....	223	5.5 可通信低压开关电器简介 .....	230
5.2.2 通信方式 .....	223	5.5.1 可通信低压断路器 .....	230
5.2.3 数据通信网络结构 .....	223	5.5.2 AS—I网络及其电器元件 .....	232
		<b>参考文献 .....</b>	<b>234</b>

# 绪 论

电气(传动)控制技术是用以实现生产过程电气化及其自动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力传动控制(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)自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,其特征是:它能自动地完成能量变换和控制所需的信息处理。其结果就是改善人们在生产及生活过程中工作的条件,并且大幅度提高全社会生产和再生产的效率。因此,电气传动系统自动化是提高劳动生产率的合理手段和促进国民经济不断增长的重要因素。将电能变换为机械能或其它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 是生产机械的联接及传动环节,位于电动机与工作机械之间,如减速箱、皮带、连轴器等。

通常由动力电器和过程自动控制设备构成电气控制系统。电气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。电气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,“通”也称“开”,“断”也称“关”。因此,“开”和“关”,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。

电气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。所谓工业上的自动控制是指在无人直接参与的情况下,利用控制系统使被控制对象或生产过程自动地按照预先设置的规律和动作进行工作。自动控制所用的技术手段是多种多样的,电气控制自动化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。电气传动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(电气控制范畴)。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,是本书涉及的主要的内容。

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多是模拟量控制,目前典型的控制技术是基于模糊控制的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,是通过接线构成一套装置。

### 2. 按电器开关元件分类

1) 有触头逻辑元件系统 如继电器—接触器自动控制系统,或称继电逻辑控制系统,属上述开关量控制系统。

2) 无触头逻辑元件系统 由半导体分立元件和集成电路组成的逻辑电路构成的控制系统。由工业上常用的HTL、CMOS、PMOS等逻辑数字集成电路逻辑门组成的系统,它不能独立构成开关量自动控制系统,而常常出现在顺序控制的逻辑运算和控制部分。这一类现已由新型元件或系统取代,如智能电器、智能仪表、可编程控制器(PLC)或计算机控制系统等。

### 3. 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受输入信号的顺序有关,因此它是一种顺序控制模式。

2) 可编程控制系统 这种系统中的工艺过程很容易根据工艺要求更改。在工业电气自动控制技术中,根据工艺要求按照预先规定的程序和条件,对控制过程各阶段的控制顺序,顺序地进行自动控制的方式称顺序控制。所谓顺序,就是在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。顺序控制一般是指用于顺序控制生产过程的,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的自动控制装置。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工艺要求改变控制程序。在现代自动控制系统中,上述功能可由各种智能仪器仪表、可编程序控制器、变频器或计算机控制系统等来完成。

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迅速发展的。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,由单一的有触头硬接线继电器逻辑控制系统转向以微处理器或微计算机为中心的网络化自动控制系统。随着新的控制理论和新型电器及电子器件的出现,不断地推动着电气控制技术的继续发展。正向着集成化、智能化、信息化、网络化方向发展。随着生产机械功能需求增多、自动化程度的提高,其机械传动系统也就越来越复杂,其电气控制线路进一步复杂化。此外,各种生产过程参数也要求

自动调整（例如温度、压力、流量、时间、速度、转矩、功率等的自动调整），这就促使电气自动控制技术必须迅速向前发展，以适应新的要求。由于微电子技术、电力电子技术、自动控制技术、计算机控制技术以及网络通信技术新技术被引入应用到电气控制系统，智能型电气控制模式应运而生。如低压配电系统具有了四通功能，采用 PLC 技术、CRT 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，实现了把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，来实现集中数据处理、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。

随着现代设计技术、微电子技术、自动控制技术、智能化技术、通信技术、可靠性技术、测试技术、计算机技术和网络技术的迅速发展，工业现代化的技术进步，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。这就促使电气控制技术也产生了巨大的变革和飞跃，带来了划时代的进步。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可能。智能化电器是根据传统电器的工作原理和微处理器或微计算机相结合而构成的，它充分利用微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，是使智能电器在现场级实现 Internet/Intranet/Ethernet 功能，其技术核心是实现 TCP/IP 协议。把 TCP/IP 协议嵌入到智能电器的 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电器的新时代。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主干 Ethernet、Intranet 和 Internet 等通信，下端延伸到工业控制现场区域。

低压电器是现代工业过程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，在国民经济中有着不可替代的重要地位与作用。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、交换作用。在电力输配电系统和电气传动控制系统中都是由用途不同的各种类型的电器元件组成的。由发电厂生产的电能，80%以上是以低压电能形式付诸使用。一套生产自动线的电器设备中，可能需使用成千品种、规格和几万件低压电器，其投资费用可能接近或超过主机的投资。

鉴于上述，可以预言在 21 世纪的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）控制系统将与传统的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器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，尽可能多地了解最新技术的内容，为今后学习和掌握最新技术、最新产品打下良好基础。

# 第一章 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,它们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 DC1200V、交流 AC1500V 及以下的电路,以实现电路中被控制对象的控制、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,为电器控制线路设计打下基础。

### 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,其结构各异。其分类方法亦很多,常用分类方法有以下几种。

#### 1.1.1.1 按用途分类

1. 控制电器 用于各种控制电路和控制系统的电器。如手动电器有转换开关、按钮开关等,自动电器有接触器、继电器、电磁阀等;自动保护电器有热继电器、熔断器等。

2. 配电电器 用于电能输送和分配的电器。如刀开关、熔断器、低压断路器等。

3. 终端电器 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,包括各种智能单元、信号指示、防护外壳和附件等。

4. 执行电器 用于完成某种动作或传送功能的电器,如电磁铁,电磁离合器,等。

5. 可通信低压电器 带有计算机接口和通信接口,可与计算机网络连接,如智能化断路器、智能化接触器及电动机控制器等

6. 其它电器 包括变频调速器、可编程序控制器、软起动器、稳压与调压电器等。

上述电器按应用系统、应用场合又可分为:电力系统、电力网配用电电器、电气传动自动控制系统用电器、通信系统用电器、一般工业用电器、特殊工矿用电器、航空用电器、船舶用电器、建筑用电器、农用电器等。

#### 1.1.1.2 按电气传动控制系统常用低压电器分类

1. 低压断路器(俗称自动空气开关) 有万能框架式低压断路器、装置式(塑壳式)低压断路器、模数化小型低压断路器、智能化断路器等类型。

2. 接触器 有交流接触器、直流接触器、切换电容器接触器、真空接触器、智能化接触

器等类型。

3. 刀开关（隔离器）、转换开关 分为单极、双极、三极等型式，并有多种安装型式。

4. 熔断器 有插入式熔断器、螺旋式熔断器、有填料密封式熔断器、无填料密封式熔断器、快速熔断器、自复熔断器等类型。

5. 主令电器 包括按钮、指示灯、微动开关、接近开关、行程开关、主令控制器、转换开关等。

6. 继电器

1) 电磁式 根据控制信号不同可分为电压、电流、信号、温度、压力、时间、中间等继电器。

2) 电子式 固态继电器、电动机保护继电器、电子漏电保护器等。

3) 双金属片式 热继电器、温度继电器、时间继电器等。

4) 可编程控制继电器（模块） 如德国西门子公司的 LOGO、金钟-默勒公司的 easy 等。

5) 特种继电器 干簧继电器、磁电式继电器、极化继电器、磁保持继电器等。

7. 执行电器 如电磁铁、电磁阀、电磁离合器、电磁抱闸等。

8. 电器安装附件 包括各种工业用插头插座、端子排、母线排、接线端子、连接器；行线槽、缠绕管、导轨、连接导线等。

9. 成套电器 主要有低压控制屏（柜）、低压配电屏（柜）、动力配电箱（柜）、照明配电箱（柜）等四大类。

10. 电工仪表 如电流表、电压表、功率表、智能仪表等。

### 1.1.2 我国低压电器的发展概况

解放前，我国的低压电器工业基本上是空白。解放后，从 1953 年开始，经过近 50 年至今，我国低压电器工业的发展经过全面仿苏、自行设计、更新换代、技术引进、跟踪国外新产品等几个阶段，在品种、水平、生产总量、新技术应用、检测技术与国际标准接轨等方面都取得了巨大成就。至“七五”末（1987 年前后），我国共开发了各类低压电器产品约 600 多个系列，实际生产的约 400 多个系列（其中 100 多个系列产品目前已经淘汰），1200 多个品种，几万种规格。“八五”期间，我国的低压电器产品一方面对“七五”及以前期间形成的更新换代产品和技术引进产品进行推广应用，另一方面对其进行二次开发，使其进一步完善和提高，为开发新一代产品奠定了基础。“九五”期间，我国的低压电器产品开发主要是跟踪国外新技术、新工艺、新产品，自行开发、设计、试制，是我国低压电器产业突飞猛进的时期。目前已有大批新产品、新品种面市，有的产品已达到国外同类产品的先进水平，并出口国外。新型电器包括可通信低压电器，如智能化框架断路器、智能化塑壳断路器、智能配电装置、智能化接触器，模数化终端保护电器等，并已批量投入生产，推广应用。综合上述，我国的低压电器产品主要经历了三代。

第一代产品，在 20 世纪 60 年代初至 70 年代初，自行开发设计的统一设计产品，以 CJ10、DZ10、DW10 为代表，约 29 个系列。这代产品总体技术性能相当于国外 50 年代水平，有的是 40 年代水平，现已被淘汰。但这一代产品为我国低压配电和控制系统的发展起了重要作用。

第二代产品，在 20 世纪 70 年代后期到 80 年代，完成的更新换代和引进国外技术生产的产品。更新换代产品以 CJ20、DZ20、DW15 系列等为代表，56 个系列。引进技术制造产品以 ME、3WE、B、3TB、LCI—D 系列等为代表，34 个系列。这批产品总体技术性能水平相当

于国外 20 世纪 70 年代末、80 年代初的水平，目前市场占有率约 50%，随着新型电器的出现其市场占有率有下降趋势（注：ME 系列，引进德国 AEC 公司技术，国内型号为 DW17 系列；3WE 系列、3TB 系列，引进德国西门子公司技术；3TB 系列，国内型号为 CJX3 系列；B 系列，引进德国 ABB 公司技术；LCI—D 系列，引进法国 TE 公司技术，国内型号为 CJX4 系列）。

第三代产品，在 20 世纪 90 年代跟踪国外新技术、新产品、自行开发、设计、研制的产品，以 DW40、DW45、DZ40、CJ40、S 系列等为代表的 10 多个系列。与国外合资生产的 M、F、3TF 系列等，约 30 个系列。这些产品总体技术性能达到或接近国外 20 世纪 80 年代末、90 年代初水平，目前市场占有率不足 10%，但逐年有所增长（注：M 系列，法国施耐德公司技术；F 系列，德国 F-G 公司技术；3TF 系列，德国西门子公司技术）。

改革开放以来，我国低压电器制造工业有了飞速发展，新产品已发展到 12 大类，380 个系列，1200 多个品种，几万种规格。特别是先进技术的引进，加快了新产品的问世。从国外公司引进的 ME 系列低压断路器、B 系列交流接触器、T 系列热继电器、NT 和 NGT 系列熔断器、C45 系列小型低压断路器等产品的制造技术，基本上实现了国产化，有的产品还返销到国外。如我国自行生产的 DW15—2500 框架式低压断路器，额定电压 380V 分断能力为 60kA，符合 IEC 国际标准，结构紧凑、新颖、使用维修方便、电动操作方式并附有应急和维修手柄、保护性能齐全。引进先进技术而开发的新产品 B105 系列交流接触器符合 IEC 和 VDE 标准，体积小，重量轻，结构紧凑，使用方便，机械寿命达 1000 万次，在额定电压 380V、使用类别为 AC—3 时，电寿命达到 100 万次。RT20/RT30 系列有填料封闭式熔断器，功耗低，分断能力高达 120kA。DW15C—1000、1600 抽屉式框架断路器主要技术性能指标与引进的同类产品相当，而价格明显低于引进同类产品。

当前，我国低压电器的发展正向着更高层次迈进，按照国际标准进行新产品的研制、开发工作。对传统新一代产品向着提高电器元件的性能，大力发展机电一体化产品方向发展，并提出了高性能、高可靠、小型化、多功能、组合化、模块化、电子化、智能化的要求。随着计算机网络的发展与应用，正在研制开发、生产和推广应用各种可通信智能化电器（带微处理器的智能化电器的共同特点是具有完善的保护功能、智能脱扣功能，试验、测量、自诊断、显示、通信等多项组合功能），模数化终端组合电器（模数化终端组合电器是一种安装式终端电器装置，主要特点是实现了电器尺寸模数化、安装轨道化、外形艺术化和使用安全化，是理想的新一代配电装置）和节能电器等。也将是今后相当时间内，低压电器重要发展方向之一。随着国民经济的发展，我国的低压电器工业将会大大缩短与先进国家的差距，发展到更高的水平，以满足国内外市场的需要。

### 1.1.3 国内外低压电器的发展趋势

#### 1.1.3.1 相关新技术的发展与应用

1. 现代设计技术 现代设计技术的现代化主要表现在如下三个方面：

- 1) 三维计算机辅助设计系统与制造软件系统的引入；
- 2) 电器开关特性的计算机模拟和仿真；
- 3) 现代化的样机测试手段等。

2. 三维计算机辅助设计系统的应用 三维计算机辅助设计系统集成设计、制造和分析于一体（CAD/CAM/CAE），它能实现设计与制造的自动化与优化，从零件设计、装配到产品总



装、仿真运行等均可在计算机上完成，并能让设计者在三维空间完成零部件设计和装配，并在此基础上自动生成工程图纸，大幅度缩短开发周期与开发费用，提高产品性能与缩小体积，它的辅助制造部分能自动完成零件的模具设计和加工工艺，并生成相应的数控代码，直接带动数控机床。它的分析仿真部分能进行产品的应力分析，热场甚至电磁场的计算，机构的静态和动态特性分析，并能通过分析使产品的设计达到优化，获得最佳的性能和最小的体积。目前国外一些著名的电气公司已广泛采用三维设计系统来开发产品，国内在 20 世纪 90 年代初首先由常熟开关厂依靠 UG 三维设计系统开发 CMI 系列高分断性能的塑壳断路器获得成功，产品由于优异的性能，加上极短的开发周期，一方面很快占领了市场，使工厂取得显著的经济效益；另一方面也带动其他工厂纷纷引进这种新技术，目前也已广泛采用。

3. 低压电器专用计算机应用软件 上述的 CAD/CAM/CAE 系统一般是指通用软件，为完善设计和提高设计效率，除建立必须的数据、符号、标准元件库外，还需要一些专用分析、计算软件，如磁系统三维分析、计算软件包、电器开关特性的计算机模拟和仿真、低压电器合闸和分断过程动态仿真、电磁机构和触头运动过程动态仿真、电弧产生与熄灭过程的动态仿真、样机测试等软件包。用 ANSYS 有限元分析软件可进行触头灭弧系统和脱扣器的磁场分析及电器机壳的强度分析；用 ADAMS 软件可进行操纵机构的动态特性分析，用 CFX—F3D 三维流体计算软件分析灭弧过程中电弧等离子体微观参数等。

4. 计算机网络系统的应用 微处理机技术和计算机技术的引入及计算机网络技术和信息通信技术的应用，一方面使低压电器智能化；另一方面使智能化电器与中央控制计算机进行双向通信。进入 90 年代，随着计算机通信网络的发展，低压电器与控制系统已统一形成了智能化监控、保护与信息网络。它由智能化电器、监控器、中央计算机包括可编程控制器 (PLC) 及网络元件四部分组成。监控器在网络中起参数测量与显示、某些保护功能、通信接口作用，并代替传统的指令电器，信号电器和测量仪表。网络元件，用于形成通信网络，主要有现场总线、操作器与传感器接口、地址编码器及寻址单元等。

计算机网络系统的应用，不仅提高了低压配电与控制系统的自动化程度，并且实现了信息化，使低压配电、控制系统的调度、操作和维护实现了四遥（遥控、遥信、遥测、遥调），提高了整个系统的可靠性。实现区域联锁，使选择性保护匹配合理。采用新型监控元件，使可提供的信息量大幅度增加，实现信息共享，减少信息重复和信息通道，简化二次控制线路，接线简单，安装方便，提高工作可靠性，随着计算机网络的应用，对低压电器产品提出了新的要求。如：

- 1) 如何实现低压电器元件与网络的连接。
- 2) 用户和设备之间的开放性和兼容性。
- 3) 标准化的通信规约（协议）以及可靠性问题。
- 4) 电磁兼容性 EMC (Electromagnetic Compatibility) 要求等。

在计算机网络中，为了保证数据通信的双方能正确自动地进行通信，必须制定一套关于信息传输的顺序、信息格式和信息内容的约定，称通信协议。国际标准化组织制定了开放系统互连 ISO/OSI 参考模型，共七层，包括传输规程和用户规程等。一些国家和公司按照 ISO/OSI 参考模型相继推出了各自的现场总线标准，如欧洲标准 PROFIBUS，我国的《低压电器数据通信规约 (V1.0)》等。由于现场总线技术的出现，不但为构造分布式计算机控制系统提供条件，并且它即插即用，扩充性好，维护方便。因此由智能化电器与中央计算机通过接