

现代电气控制与

PLC应用教程

XIANDAI DIANQI KONGZHI YU
PLC YINGYONG JIAOCHENG

王仁祥◎编著



现代电气控制与 PLC 应用教程

王仁祥 编著



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、工业控制器的基本结构、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；简要介绍了西门子博途（TIA Portal）集成化工程软件平台，以及基于 TIA Portal 软件平台的 PLC 编程；可通信低压电器的基本原理等。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。另外，书中还介绍了现代工业自动化技术、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。

本书适宜作为高等学校电气工程、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，高等职业学校的类似专业也可选用。

图书在版编目（CIP）数据

现代电气控制与 PLC 应用教程/王仁祥编著. —北京：机械工业出版社，2012. 4

ISBN 978-7-111-37326-1

I. ①现… II. ①王… III. ①电气控制—教材②plc 技术—教材
IV. ①TM571. 2②TM571. 6

中国版本图书馆 CIP 数据核字（2012）第 016450 号

机械工业出版社（北京市百万庄大街 22 号 邮政编码 100037）

策划编辑：付承桂 责任编辑：付承桂

版式设计：霍永明 责任校对：张媛

封面设计：陈沛 责任印制：乔宇

北京机工印刷厂印刷（三河市南杨庄国丰装订厂装订）

2012 年 5 月第 1 版第 1 次印刷

184mm×260mm·18 印张·441 千字

0 001—3 000 册

标准书号：ISBN 978-7-111-37326-1

定价：49.80 元

凡购本书，如有缺页、倒页、脱页，由本社发行部调换

电话服务

网络服务

社服务中心：(010)88361066

门户网：<http://www.cmpbook.com>

销售一部：(010)68326294

教材网：<http://www.cmpedu.com>

销售二部：(010)88379649

读者购书热线：(010)88379203

封面无防伪标均为盗版

前 言

《常用低压电器原理及其控制技术》、《常用低压电器原理及其控制技术 第2版》自2001年出版以来,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。由于教学改革的需要,许多学校将原来分属两门课程(两本书)的电气控制技术和可编程序控制器技术合二为一,授课学时大幅缩减,内容也大大缩水,这样学习者原本应汲取的专业基础知识不得不瘦身。另一方面,现代工业自动化技术迅速发展,已进入全面集成化、智能化、网络化时代,物联网技术、智能电网技术和数字信息化技术正在渗透着现代电气技术,促使其日新月异的发展。因此,决定在前书基础上编写一个教程版本。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技术应用的参考书,尤其是生产现场的工程技术人员。

与前书相比,全书内容有较大改动,比较重要的改动是,本书根据现代电气工程中应用广泛的各类智能化电器、装置和控制器的结构原理和特点,提出了“控制器”的概念,并给出了一个现代工业自动化控制系统的最小模型,全书以此为主线讨论现代电气控制技术,预期给读者一个现代工业自动化系统的整体概念,理顺对现代工业自动化技术概念的理解,这也许会对教学改革起到一定的作用。书中仍然包括电气工程中的常用低压电器、智能化电器、可通信低压电器的基本结构、工作原理和选用方法,固态软起动机、通用变频器、可编程序控制继电器等新型低压电器的基本原理及应用,逻辑控制系统的基本原理等,并充实了物联网、智能电网、数字信息化和全面集成化技术等方面的内容。新增加了西门子博途(TIA Portal)软件平台的内容,简要介绍了平台操作的一些基础知识,以及基于TIA Portal软件平台的可编程序控制器的编程方法。系统地介绍了电气控制系统的基本原理、基本问题、基本控制环节、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、电气工艺设计原理与方法的基本知识。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,本书仍然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,核心内容应该是网络控制技术的应用,遗憾的是,这方面的内容在教材中很难全面反映,这就难免使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。本书将这些概念总结为“控制器”，概念统一，具有通用性，这就是编著本书的中心思路。

本书适宜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，也适合从事电气工程及自动化、生产过程自动化领域工作的工程技术人员阅读，亦可作为企业电气工程技术人员培训教材。

本书编写过程中曾参考和引用了国内外许多专家、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。同时感谢青岛大学刘湘波老师、上海交通大学王小曼，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、打字、绘图等方面做了大量工作，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。

编著者

2011年8月于青岛

目 录

前言

第 1 章 常用低压电器的基本原理 1

- 1.1 概述 1
 - 1.1.1 常用低压电器的分类 1
 - 1.1.2 关于现代电气技术的一些新概念 5
- 1.2 常用低压电器的基本问题 8
 - 1.2.1 电器的触头和电弧 8
 - 1.2.2 电磁机构 14
- 1.3 低压电器的主要技术性能指标和参数 17
 - 1.3.1 主电路电器和控制电器 17
 - 1.3.2 有关低压电器的主要技术性能、参数的概念 18
 - 1.3.3 电气控制中的颜色标志 26
- 1.4 电气制图规则 28
 - 1.4.1 电气制图标准 28
 - 1.4.2 电气工程图及技术文件 30
 - 1.4.3 电气控制技术中常用的图形、文字符号 33

第 2 章 常用低压电器 49

- 2.1 概述 49
- 2.2 隔离器、刀开关 50
 - 2.2.1 隔离器、刀开关的产品种类 50
 - 2.2.2 开启式刀开关 52
 - 2.2.3 熔断器式刀开关 53
 - 2.2.4 负荷-隔离开关 53
 - 2.2.5 隔离器、刀开关的选用、安装与操作 54
- 2.3 低压断路器 55
 - 2.3.1 低压断路器的分类 56
 - 2.3.2 塑料外壳式低压断路器 56
 - 2.3.3 万能式低压断路器 62
 - 2.3.4 智能型断路器 64
 - 2.3.5 模数化小型断路器 73
 - 2.3.6 剩余电流动作（漏电）保护装置 74

- 2.3.7 低压断路器的选择与应用 78
- 2.3.8 配电系统接地型式 82
- 2.4 接触器 87
 - 2.4.1 接触器的结构及工作原理 87
 - 2.4.2 常用交流接触器产品简介 88
 - 2.4.3 机械联锁（可逆）交流接触器 89
 - 2.4.4 切换电容器接触器 89
 - 2.4.5 低压交流真空接触器 90
 - 2.4.6 接触器的主要特性参数与选用原则 91
- 2.5 热继电器 94
 - 2.5.1 热继电器的工作原理 94
 - 2.5.2 常用热继电器产品简介 96
 - 2.5.3 热继电器的选用 97
- 2.6 熔断器 99
 - 2.6.1 熔断器的结构及工作原理 99
 - 2.6.2 常用典型熔断器简介 102
 - 2.6.3 熔断器的选用 105
- 2.7 继电器 109
 - 2.7.1 继电器的结构原理与分类 109
 - 2.7.2 时间继电器 111
 - 2.7.3 固态继电器 114
- 2.8 主令电器 116
 - 2.8.1 控制按钮和指示灯 117
 - 2.8.2 行程开关 119
 - 2.8.3 接近开关 120
 - 2.8.4 转换开关 125

第 3 章 常用工业控制器 128

- 3.1 现代工业自动化控制技术概述 128
 - 3.1.1 现代工业自动化技术涵盖的主要内容 128
 - 3.1.2 控制器的概念 132
- 3.2 可编程逻辑控制继电器 133
 - 3.2.1 可编程逻辑控制继电器的结构和功能 133
 - 3.2.2 “easy”控制继电器的应用 137
- 3.3 可编程序控制器 137

3.3.1 可编程序控制器的结构	137	4.6.3 变频调速	205
3.3.2 可编程序控制器的工作原理	139	第5章 电气控制线路分析与设计	206
3.3.3 可编程序控制器的编程语言	140	5.1 电气控制线路分析的内容	206
3.3.4 西门子 SIMATIC S7 PLC 简介	140	5.1.1 分析电气控制线路的具体内容和要求	206
3.3.5 西门子 TIA 博途 (TIA Portal) 软件平台	145	5.1.2 电气原理图阅读分析的方法与步骤	207
3.4 人机界面	153	5.2 电气控制线路设计方法	212
3.4.1 人机界面产品的结构原理和功能	153	5.2.1 电气控制线路设计的基本概念	212
3.4.2 西门子 SIMATIC HMI 精简系列面板	154	5.2.2 通用变频器外部电气控制线路设计示例	213
3.5 通用变频器	155	5.2.3 高层建筑消防水泵控制系统设计示例	214
3.5.1 通用变频器的结构原理	155	5.3 电气工艺设计基础	217
3.5.2 通用变频器的控制方式	158	5.3.1 电气工艺设计的主要内容	217
3.5.3 异步电动机变频调速时的特性	159	5.3.2 电气设备总体配置设计	217
3.5.4 通用变频器的主要控制功能	160	5.3.3 电气柜、箱及非标准零件图的设计	220
3.6 PID 控制器	164	5.3.4 通用变频器与 PLC 控制柜的设计示例	221
第4章 电气控制基本原理	171	5.3.5 某企业金属表面处理生产线电气控制装置设计	225
4.1 电气控制系统的一般功能原理	171	第6章 基于西门子 TIA Portal 软件平台的 PLC 编程	238
4.2 逻辑控制的基本概念	173	6.1 STEP 7 的逻辑块与程序结构	238
4.2.1 继电器逻辑	174	6.1.1 逻辑块类型	238
4.2.2 数字逻辑	176	6.1.2 S7 程序结构与调用层次	240
4.2.3 梯形图逻辑	176	6.2 块编程	243
4.3 电气控制的基本控制环节	178	6.2.1 程序编辑窗口	243
4.3.1 三相异步电动机起停和点动控制	179	6.2.2 代码块编程的基本步骤	244
4.3.2 可逆控制与互锁控制	180	6.2.3 梯形图 LAD 编程语言编程	246
4.3.3 联锁控制	183	6.3 基本指令	249
4.3.4 自锁、互锁和联锁的逻辑控制关系	183	6.3.1 位逻辑指令	249
4.3.5 多地点控制	185	6.3.2 定时器指令	259
4.4 三相交流电动机的起动控制	186	6.3.3 计数器指令	263
4.4.1 星-三角减压起动控制线路	186	6.3.4 比较指令	265
4.4.2 自耦变压器减压起动控制线路	188	6.3.5 移动指令	267
4.4.3 三相绕线转子异步电动机的起动控制	189	6.3.6 程序控制指令	268
4.4.4 固态减压软起动控制	191	6.3.7 算数指令	269
4.5 三相异步电动机的制动控制	199	第7章 可通信智能化低压电器与现场总线	271
4.5.1 反接制动控制	199	7.1 低压电器数据通信的概念	271
4.5.2 能耗制动控制	200		
4.6 交流电动机的转速控制	201		
4.6.1 变极调速	202		
4.6.2 变转差率调速	202		

7.1.1 现场总线	271	7.2 网络控制的内容	274
7.1.2 通信规约	271	7.3 可通信低压开关电器简介	274
7.1.3 低压电器的数据交换接口形式	273	7.4 智能化配电系统简介	276
7.1.4 使用通信适配器连接上层现场 总线系统的规定	273	参考文献	278

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：应用于额定电压在 DC1200V、AC1500V 及以下的电路中，能实现各种电气控制功能的基本电器元件。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；根据低压电器的结构原理及用途，又有终端组合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，功能和结构多样，用途广泛，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，主要用于开关设备中作线路控制、信号传递和联锁等。
- 2) 配电电器，主要用于低压配电电路中，作为电源开关、保护元件等。
- 3) 开关电器，主要用于控制一个或几个电路的通断。
- 4) 终端电器，是配电线路末端的一种小型化、模数化的组合式开关电器，可根据需要组合成具有配电、保护、控制等功能的配电设备。
- 5) 执行元件，执行元件又称为执行机构或执行器，主要用于完成某种控制动作。在现代电气控制系统中，控制线路或控制器的输出需要通过执行元件驱动受控对象来实现控制功能。执行器按动力源可分为电气式、液压式、气动式及其他方式。
- 6) 智能电器，以微处理器为核心，集成多种功能，具有感知、运算、分析、判断和执行的能力，可实现多个电器产品的功能。
- 7) 可通信电器，带有通信接口的智能电器，可与工业控制网络连接，以进行网络化控制。

上述电器按应用场合又可分为一般工业用电器、通用电器、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。专供安装在建筑物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

低压电器按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、电工仪表、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。表 1-1 总结了常用的低压电器的主要种类及用途。

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	开启式刀开关	主要用于电源隔离和短路保护
		负荷开关	
		熔断器式刀开关	
		隔离器	
		隔离开关熔断器组	
2	熔断器	有填料熔断器	主要用于电路短路保护
		无填料熔断器	
		半封闭插入式熔断器	
		快速熔断器	
		自复熔断器	
3	断路器	万能式断路器	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
		智能型（可通信）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	
4	接触器	交流接触器	主要用于远距离频繁操作控制，以实现自动控制
		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	
5	热继电器	带断相保护热继电器	专用于对三相异步电动机过载保护
		热继电器	
6	继电器	电流继电器	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
		电压继电器	
		时间继电器	
		中间继电器	
		温度继电器	
		压力继电器	
		速度继电器	
		电磁继电器	

(续)

序号	类别	主要品种	用途
7	主令电器	按钮	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、负荷通断等
		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	
8	传感器	物理量传感器	检测压力、温度、流量等各种物理量
		电学量传感器	检测电流、电压等电量, 并转换为标准值
		变送器	将检测的量输出为规定标准工业信号
		微机电系统 (MEMS)	用于任何控制器的一体化微器件系统
8	执行器	制动电磁铁	用于逻辑执行, 起重、牵引、制动等
		起重电磁铁	
		牵引电磁铁	
		执行电机	
		电阻器、电抗器	
9	成套装置	自耦减压起动器	用于电动机、电气控制线路操作, 实现控制功能
		星-三角起动器	
		无功补偿装置	
		配电箱、照明箱、计量箱、插座箱	
		开关柜	
		控制柜	
		电力电子装置	
10	电气附件	接线端子、母线排、接插器、塑料护套、尼龙扎带、行线槽、母线槽、电缆桥架、电缆分支箱、绝缘端头、插头插座、连接器、缠绕管、导轨、连接导线等	用于电气装置安装
11	自动化装置	通用变频器	实现自动控制系统和网络化控制
		软起动器	
		可编程序控制器	
		伺服控制器	
		步进控制器	
		人机界面	
		直流调速器	

(续)

序号	类别	主要品种	用途
12	保护与 避雷装置	接地棒	用于线路保护, 实现各种保护功能
		避雷器	
		消谐器	
		浪涌保护器	
		滤波器	

3. 传感器

传感器是能感受被测量（外界信号）并按照一定的规律转换成可用输出信号（通常是电信号）的器件或装置，通常由敏感器（敏感元件）和转换器（转换元件）组成。敏感器是传感器中能直接感受或响应被测量的部分。转换器是传感器中能将敏感元件感受或响应的被测量转换成适合于传输或测量的电信号部分。典型的转换器模拟敏感器的变化并输出模拟电信号（标准工业信号），或通过数字化 A/D 转换器输出数字电信号。当输出为规定的标准工业信号时，则称为变送器。在电气控制系统中，过程控制用传感器是一种前置部件，它将工业过程中的被测物理量信号，如压力、温度、流量、位移等信号转换成标准工业控制信号，如 0~10V、4~20mA、0~20mA 等，从而得到所需的测量数据和控制信号。在物联网中，各类传感器将利用射频识别（RFID）技术和通信技术被镶嵌到任何需要联网通信的“物体”中。

传感器的类别繁多，按其感知外界信号的原理，主要有物理量传感器、热学量传感器、化学量传感器、光（学量）传感器、生物量传感器、磁（学量）传感器、电学量传感器、声（学量）传感器、结构型传感器、物性型传感器、复合传感器、模拟式传感器、数字式传感器、集成传感器、多功能传感器、智能化传感器、微传感器、微机电系统（Micro Electro Mechanical Systems, MEMS）等类别。每一类别又包括若干种类的传感器。

物理量传感器是能感受规定物理量并转换成可用输出信号的传感器，如压力传感器、流量传感器、液位传感器、湿度传感器、速度传感器、位置传感器、称重传感器等。

热学量传感器是能感受热学量并转换成可用输出信号的传感器，如带有各种感温元件的温度传感器。化学量传感器是能感受规定化学量并转换成可用输出信号的传感器，如各种气体传感器。光（学量）传感器是能感受光并转换成可用输出信号的传感器，如红外光传感器、光纤传感器等。生物量传感器是能感受规定生物量并转换成可用输出信号的传感器，如微生物传感器、生理量传感器等。

磁（学量）传感器是能感受磁学量并转换成可用输出信号的传感器，如磁场强度传感器、光纤磁场传感器等。电学量传感器是能感受电学量并转换成可用输出信号的传感器，如电流和电压传感器、光纤电流和电压传感器等。声（学量）传感器是能感受声学量并转换成可用输出信号的传感器，如噪声传感器等。

结构型传感器利用机械构件（如金属膜片等）的变形检测被测量的传感器。物性型传感器是利用材料的物理特性及其各种物理、化学效应检测被测量的传感器。复合传感器是由多种不同类型的敏感元件或传感器组合而成、具有多种功能的传感器。

模拟式传感器是输出信号为模拟量的传感器。数字式传感器是输出信号为数字量或数字

编码的传感器。集成传感器是将敏感元件连同信号处理电路集成在一起的传感器。多功能传感器是能感受两种或两种以上被测量的传感器。智能化传感器是能对传感器自身状态具有一定自诊断、自补偿、自适应及双向通信功能的传感器。

微传感器是采用微加工技术制造的传感器。微机电系统 (MEMS) 是由微传感器、微执行器、信号处理和控制电路、通信接口和电源等部件组成的一体化微器件系统。它把信息获取、处理和执行集成在一起,组成多功能微型系统,集成于大尺寸系统中,从而可大幅度地提高系统的自动化、智能化和可靠性。可以说,任何控制器或传感器都可以使用这一技术,目前典型的应用有数字光处理器、电子墨水、数码纸、微型陀螺仪和没有弹簧的体重计等。MEMS 将在物联网中广泛应用。

4. 电工仪表、过程仪表

电工仪表、过程仪表在电气控制系统中应用广泛,如电流表、电压表、功率表、智能配电仪表、变送器、温度仪表、压力仪表、物位仪表、智能数字显示控制仪表等。

1.1.2 关于现代电气技术的一些新概念

现在关于什么是“现代电气技术”尚没有明确的定义,但是现代电气技术跨领域地采用了新材料、新产品、新技术及新应用的特征,是有别于传统电气技术的。它具有高性能、高可靠性、智能化、可通信、模块化、组合化和环保的时代特征。在即将来临的物联网、智能电网和智慧地球时代,“现代电气技术”将融合“智能感知与识别技术”、“智能处理技术”与“智能终端技术”,一些低压电器将成为智能电网中的智能配电终端设备和元件,“电气技术”将发生翻天覆地的变化。

1. 智能化电器

智能化电器是一种带微处理器的集控制、保护、自诊断、故障记录、显示、通信等功能于一体的电器。智能化电器以微处理器为核心,集成多种功能,具有感知、运算、分析、判断和执行的能力,可实现多个电器产品的功能。如智能化断路器的主要特征是装有智能脱扣器,可实现长延时、短延时、瞬时过电流等全电流范围多段选择性保护,以及接地故障、欠电压保护等。可显示电压、电流、频率、有功功率、无功功率、功率因数等运行参数,还可派生电量监控及电能分析等功能。

2. 可通信电器

可通信电器是一种具有双向通信功能的智能化电器,主要由智能化电器、智能控制器和通信适配器组成,带有内部总线,内置开放式通信协议,通过标准串行通信接口 RS485 或 RS232 或以太网通信接口等与适配器连接,通信规约标准化,可实现不同通信协议与 TCP/IP 协议的转换,具有智能控制、网络化控制、区域选择性保护、区域联锁和负载监控、故障预警、维护、运行管理等功能。能与多种现场总线(如 PROFIBUS-DP、DeviceNet、Modbus 和 AS-i)通信,形成统一的监控、保护与信息网络系统。

智能配电网 (Smart Distribution Grid, SDG) 中的智能配电终端装置的基本特征是具有双向通信和远程测控功能,能实现自治和可观测,实现保护、测量、控制、计量、通信一体化,能实现电网安全自愈。通过光纤高速网络、电力载波和无线通信技术可实现广域测控技术,通过实时同步采集运行信息可对电网进行动态实时监控。

例如,西门子公司的 SENTRON 3WL 系列断路器通过 3WL 内部系统总线可与电子脱扣

器 ETU45B、ETU55B 和 ETU76B 连接通信，通过 COM15 通信模块可实现 PROFIBUS-DP 通信。SENTRON 3VL 系列断路器通过 COM10 通信模块或 SEMEAS PAC3200 多功能测量设备可实现 PROFIBUS-DP 通信。SIMOCODE-DP 3UF5 系列电机保护与控制设备通过配置 SIMOCODE-DP 软件可对电机进行可视化在线参数分配、操作、监控和测试、数字化保护、智能控制和网络化管理和控制，包括电动机的直接起动、可逆起动、Y/△转换起动和自耦变压器减压起动、电磁阀起动、软起动器起动、换相控制等。

3. 模数化、模块化和组合化电器

模数化使电器外形尺寸标准化，便于安装和组合，不同额定值或不同类型电器可实现部件通用化，例如以 C45 为代表的各种品牌的小型化高分断能力低压断路器，按 9mm 模数宽度使产品外形标准化，不同系列不同额定值的均可安装在统一的 35mm 安装轨上，并可与模数化的熔断器、隔离器和电源插座等组合安装在一个安装平面上。

模块化电器通过不同的功能模块积木式组合，可使电器获得不同的功能，如新型小容量接触器都设计成多功能组合模块式结构，在接触器主体的上下左右侧可按需要加装机械联锁、延时元件、辅助触头和瞬态过电压抑制元件等模块，以实现不同的功能要求。

组合化是实现电器产品多功能化的重要途径，一般有功能组合和组合功能两种方式，可使不同功能的电器组合在一起，有利于使电器结构紧凑，减少线路中所需元件品种，并使保护特性得到良好配合。功能组合是由产品结构上采用独立功能的组件进行积木式拼装结构。组合功能是把两种及以上的电器组合在一起。功能协调是组合电器和成套电器的基础。如刀开关-熔断器组合电器、熔断器-接触器组合电器、熔断器-断路器组合电器等。

4. 智能终端元件或设备

智能电网 (Intelligrid; Smart Grid) 是一种由电源框架和信息框架构筑的一种系统、高效、智能的电网体系框架，这个体系框架中的电源以火电、水电、核电等传统能源为骨干，以平衡方式接入新能源发电系统，并有充足的分布式存储系统；整个体系框架中遍布着各种传感器和测量设备、智能控制装置，具有先进的数据通信、计算和能源信息管理系统。中国发展智能电网的目标是以特高压电网为骨干网架，各级电网协调发展，形成坚强可靠、经济高效、清洁环保、透明开放、友好互动的统一坚强智能电网 (Strong Smart Grid)，其中的重要目标之一是建立以电力为中心的能源优化利用、经济、信息综合、优质服务的智能配电网与用电系统，在低压配电系统中实行电力需求侧管理，适应分布式发电和微电网的接入，支持可再生能源的接入，使电力需求侧管理功能更加完善和提高，实现与用户交互，用户可根据需求和供电能力来调整、平衡自身消费，从而优化资源，提高电网运行效率，提升服务水平。可通信电器将成为智能电网中的重要智能终端元件或设备。

智能电网中的智能配电网以网络化断路器、接触器、继电器、电力仪表、远程 I/O 等智能元件为控制基础，实现对配电回路中的主要电参数远程实时监测、控制和维护。目前，ABB 公司的 i-bus[®] 智能建筑控制系统采用 KNX 协议，涵盖模块化元件、各类传感器和驱动控制设备、信号监视设备、中央控制系统等。它在一个系统内集成了包括照明与百叶窗控制、暖通空调、安防与监控和能源管理等功能。在 i-bus[®] 系统中，状态控制照明传感器在感测到室内和公共区域有一段时间无人活动后，会自动关闭照明设备，而超级光敏传感器可根据楼宇的自然光强度，对照明设备的亮度进行自动调节等。如在办公楼应用中，i-bus[®] 系统可以通过中央控制的图形化界面对整个办公楼的灯光、遮阳、空调等进行集中监视和控

制，还可根据自然光线变化自动控制、调节公共区域和景观的照明。在家居应用中，通过 i-bus®系统可以对家中每一个功能区的灯光、空调、窗帘等各类设施进行智能控制。

5. 物联网

2009年11月3日温家宝总理在《让科技引领中国可持续发展》的讲话中提到：全球互联网正在向下一代升级，传感网和物联网方兴未艾。“智慧地球”简单说来就是物联网与互联网的结合，就是传感网在基础设施和服务领域的广泛应用。我们要着力突破传感网、物联网的关键技术，及早部署后IP时代相关技术研发，使信息网络产业成为推动产业升级、迈向信息社会的“发动机”。

物联网（The Internet of Things）被认为是继计算机、互联网、移动通信网之后的新的里程碑。物联网是将镶嵌了各种信息传感设备的“物体”，按规约化通信协议联网，通过各种有线和无线网络与互联网融合，进行信息交换和通信，实时采集任何联网和监控的“物体”的信息，并进行智能化识别、定位、跟踪、监控和管理的一种“物物相连的互联网”。其中的“物”都具有唯一的标签或标识码（ID）和物理属性，使用智能接口和虚拟网络实现与信息网络的无缝整合。各种信息传感设备包括各种智能传感器、射频识别（RFID）、红外感应器、激光扫描器、无线数据通信、全球定位系统等。由此可见，物联网是对现有网络化、智能化、自动化系统的拓展与提升，其用户端拓展到了任何“物体”与“物体”之间的信息交换和通信，具有互联网、自动识别、通信和智能化特征。

物联网上部署了海量的各种类型的传感器，每个传感器都是一个信息源，获得的数据具有实时性，并不断更新数据，在网络传输中会形成海量信息，物联网从获得的海量信息中分析、加工和处理出有意义的数据，利用云计算、模式识别等智能处理技术，使处理后的数据适应不同的需求和应用。从网络架构上看，物联网可分为感知层、网络层和应用层。感知层由各种传感器及传感器网关构成感知终端，主要功能是识别物体、采集信息。网络层由各种局域网、互联网、有线和无线通信网、网络管理系统和云计算平台等组成，负责传递和处理感知层获取的信息。除有线线缆的通信协议和网络技术外，无线通信协议和网络技术包括RFID（Radio Frequency Identification）、GSM、WLAN、3G、LTE（Long Term Evolution）、WPAN（Wireless Personal Area Network）、WiMax（Worldwide Interoperability for Microwave Access）、Zigbee、NFC（Near Field Communication）、蓝牙等。应用层是物联网和用户（包括人、组织和其他系统）的接口，用于实现不同应用领域的应用。应用领域包括工业监控、公共安全、智能电网、智能物流、智能交通、智能城市、智能家居、智能小区、智能医疗、智能城市、智能农业、智能环保和环境监测等专业网和局域网。

随着智能电网和物联网的发展，智能配电网中的低压电器或装置将全面应用物联网技术，通过现代通信技术、计算机技术、信号检测与处理技术、自动控制技术及测量技术实现相关的信息采集和传输、智能化决策、控制和服务，成为配电网中各个应用环节中具有高度信息化、智能化的终端设备和装置。利用部署的传感器网络和配电通信网，能实现远程数据采集和视频监控，能全方位监控配电网的运行状态，提高系统安全性、可靠性、稳定性和经济性，以满足智能电网综合服务能力的需要。

6. 3C 认证与广泛采用国际标准

3C 认证（CCC 认证）是中国强制认证制度（China Compulsory Certification）的英文缩写，也是国家对强制性产品认证使用的统一标志。它主要对涉及人类健康和安全、动植物生

命和健康,以及环境保护与公共安全的产品实施强制性认证,确定统一适用的国际标准和国家标准、技术规则和实施程序,制定和发布统一的标志等。

国际标准是指国际标准化组织(ISO)和国际电工委员会(IEC)所制订的标准,以及国际标准化组织(ISO)公布的国际组织所制订的某些标准。还有一些先进国家的产品标准,如欧盟 CE 认证标记、美国 UL 标准、德国 VDE 标准、英国 BS 标准、法国 NF 标准、日本 JIS 标准等。采用国际标准生产是电器工业的重要技术基础,是电器工业科学技术发展的重要组成部分,是提高产品质量、参与国内外市场竞争和增强效益的重要手段,也是打破和减少技术性贸易壁垒的最基本的措施。目前许多国家直接把国际标准作为本国标准使用。近年来,我国电器工业广泛采用国际标准和国外先进标准,以及国家标准组织生产。

1.2 常用低压电器的基本问题

目前,常用低压电器多数属于电磁式电器,基本结构主要由触头系统和电磁机构组成。触头系统存在接触电阻和电弧的物理现象,对电器的安全运行影响较大;而电磁机构的电磁吸力和反力则是决定电器性能的主要因素之一。因此,触头结构、电弧、灭弧装置,以及电磁吸力和反力等是构成低压电器的基本问题,也是研究电器元件结构、应用低压电器的理论基础。低压电器的主要技术性能指标与参数就是在这些基础上制定的,深入了解低压电器的主要技术性能指标与参数,对正确设计、选用和操作低压电器元件、电气安全运行是至关重要的。

1.2.1 电器的触头和电弧

1. 电器的触头系统

(1) 触头的接触电阻 触头是电器的主要执行部分,起接通和分断电路的作用。在有触头的电器元件中,电器元件的基本功能是靠触头来执行的,因此,要求触头导电、导热性能良好,通常用铜、银、镍及其合金材料制成,有时也在铜触头表面电镀锡、银或镍。铜的表面容易氧化而生成一层氧化铜,它将增大触头的接触电阻,使触头的损耗增大,温度上升。所以,有些特殊用途的电器如微型继电器和小容量的电器,其触头常采用银质材料,这不仅在于其导电和导热性能均优于铜质触头,更主要的是其氧化膜电阻率很低,仅是纯铜的十几分之一,甚至还小,而且要在较高的温度下才会形成,同时又容易粉化。因此,银质触头具有较低而稳定的接触电阻。对于大中容量的低压电器,在结构设计上,触头采用滚动接触,可将氧化膜去掉,这种结构的触头,一般常采用铜质材料。

触头之间的接触电阻包括“膜电阻”和“收缩电阻”。“膜电阻”是触头接触表面在大气中自然氧化而生成的氧化膜造成的。氧化膜的电阻要比触头本身的电阻大几十到几千倍,导电性能极差,甚至不导电,并受环境影响较大。“收缩电阻”是由于触头的接触表面不是十分光滑产生的,在接触时,实际接触面积总小于触头原有可接触面积,使有效导电截面减小,当电流流经时,就会产生电流收缩现象,从而使电阻增加及导电性能变差。如果触头之间的接触电阻较大,会在电流流过触头时造成较大的电压降落,这对弱电控制系统影响较严重。另外,电流流过触头时电阻损耗大,将使触头发热而致温度升高,导致触头表面的“膜电阻”进一步增加及相邻绝缘材料的老化,严重时可使触头熔焊,造成电气事故。因