



“十三五”普通高等教育本科规划教材

DIANQI YU KEBIANCHENG KONGZHIQI

电器与可编程控制器

王大虎 张新良 苏波 主编



中国电力出版社
CHINA ELECTRIC POWER PRESS



“十三五”普通高等教育本科规划教材

电器与可编程控制器

主编 王大虎 张新良 苏 波
编写 仝兆景 余琼芳 黄凯征
 赵运基 李新伟
主审 周美兰



中国电力出版社
CHINA ELECTRIC POWER PRESS

内 容 提 要

本书为“十三五”普通高等教育本科规划教材。

本书共八章，首先简要介绍了常用低压电器的基本知识，系统地讲述了西门子 S7-300 系列可编程控制器的特点、基本结构、工作原理、指令系统（包括基本指令、功能指令和梯形图）、编程规则和典型编程环节；详细叙述了简易编程器的应用及可编程控制器系统的设计、调试和维护方法；最后介绍了上位机软件 WinCC 的特点和开发设计思路。书中各章后附有习题，以便读者自学。

本书可作为高等院校电气信息类等工科专业的本科教材，也可作为工程技术人员的参考用书。

本书配有授课电子教案，读者可以登录中国电力出版社教材服务网注册后免费下载。

图书在版编目 (CIP) 数据

电器与可编程控制器/王大虎主编. —北京：中国电力出版社，2016.2

“十三五”普通高等教育本科规划教材

ISBN 978-7-5123-7793-6

I. ①电… II. ①王… III. ①电气控制器-高等学校-教材②可编程序控制器-高等学校-教材 IV. ①TM571.2②TP332.3

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2015) 第 169596 号

中国电力出版社出版、发行

(北京市东城区北京站西街 19 号 100005 <http://www.cepp.sgcc.com.cn>)

北京丰源印刷厂印刷

各地新华书店经售

*

2016 年 2 月第一版 2016 年 2 月北京第一次印刷

787 毫米×1092 毫米 16 开本 14.25 印张 344 千字

定价 29.00 元

敬告读者

本书封底贴有防伪标签，刮开涂层可查询真伪
本书如有印装质量问题，我社发行部负责退换

版权专有 翻印必究

前 言

可编程控制器、机器人和 CAD/CAM (工业辅助设计/工业辅助制造) 三者共同构成现代工业自动化的三大支柱。其中的可编程控制器 (简称 PLC) 是以微处理器为基础, 综合了计算机技术、自动控制技术和通信技术发展起来的一种新型、通用的工业自动控制装置。它具有高可靠性、配置扩充灵活性等特点, 且具有易于编程、使用维护方便等优点, 在工业自动化控制的各个领域得到了广泛应用, 它代表着控制技术的发展方向。

本书以实际工程应用和便于教学使用为出发点, 以西门子 S7-300 系列 PLC 为对象, 以基于工作过程的思想组织与编写内容, 注重过程性知识讲解, 适度介绍概念和原理, 突出技能训练和能力培养。

全书共八章, 第一章介绍 PLC 的发展历史、国内外发展现状、特点和应用、分类及发展趋势; 第二章介绍常用低压电器的基本结构和原理, 对接触器、继电器、熔断器、低压断路器、低压隔离器和主令电器等进行了阐述; 第三章介绍典型的电气控制系统制图与典型电气控制线路分析; 第四章阐述 PLC 原理及 S7-300 PLC 硬件体系架构; 第五章介绍 PLC S7-300 编程语言和指令系统; 第六章分析中断高速计数及模拟量的输入/输出; 第七章阐述 S7-300 PLC 通信及其应用; 第八章介绍 WinCC 组态软件技术基础与仿真。

本书尽可能做到语言简捷、内容丰富、理论联系实际, 本书适合作为电气自动化、电子信息技术、楼宇智能化、机电一体化、机械设计与制造及相关专业“可编程控制器”课程的教学用书, 也可作为电气技术人员的参考书和培训教材。

本书由河南理工大学王大虎、张新良、苏波担任主编, 并分别编写第一、八、三章, 参编人员全兆景编写第六章, 余琼芳编写第二章, 黄凯征编写第四章, 赵运基编写第七章, 李新伟编写第五章, 周美兰主审。

本书的编写中参考了一些文献, 在此对有关文献的作者致以诚挚的感谢!

限于编者水平, 书中难免存在疏漏之处, 恳请广大读者批评指正。

编 者
2015 年 12 月

目 录

前言	
第一章 概述	1
第一节 可编程序控制器的产生和现状	1
第二节 可编程序控制器的特点和应用	2
第三节 可编程序控制器国内外产品简介	3
第四节 可编程序控制器的分类及发展趋势	5
第二章 常用低压电器 (电气控制系统常用器件)	8
第一节 概述	8
第二节 电磁式低压电器的基本结构和原理	9
第三节 接触器	15
第四节 继电器	19
第五节 熔断器	27
第六节 低压断路器	30
第七节 低压隔离器	33
第八节 主令电器	35
第三章 电气控制系统制图与典型电气控制线路分析	39
第一节 电气控制系统制图	39
第二节 典型电气控制线路分析	53
第四章 PLC 原理及 S7 - 300 PLC 硬件体系架构	63
第一节 PLC 的组成与原理	63
第二节 标准 S7 - 300 硬件体系架构	75
第五章 PLC S7 - 300 编程语言和指令系统	93
第一节 PLC 编程语言及程序结构	93
第二节 S7 - 300 PLC 指令系统的基本知识	95
第三节 S7 - 300 的指令系统	104
第四节 编程举例	159
第六章 中断高速计数及模拟量的输入/输出	165
第一节 模拟量数值表示及调试	165
第二节 模拟量输入/输出模块	169
第三节 S7 - 300 系列中断高速计数	176
第七章 S7 - 300 PLC 通信及其应用	183
第一节 S7 - 300MPI 通信及其应用	183
第二节 S7 - 300 Profibus 通信及其应用	191

第八章 WinCC 组态软件技术基础与仿真	200
第一节 WinCC 组态软件概述	200
第二节 WinCC 的项目管理器	200
第三节 WinCC 画面组态实例	202
第四节 VBS 脚本及 WinCC 与 PLC 的串口通信	211
参考文献	219

第一章 概 述

本章对可编程序控制器的出现进行了简要的介绍,给出了其主要特点和应用场合;阐述了主流 PLC 厂家和产品;对 PLC 进行了分类和趋势分析。

第一节 可编程序控制器的产生和现状

美国科学家 Joseph Henry 为了改进 1831 年发明的电报机性能,在 1835 发明了继电器。人类将继电器用到生产过程才开始真正意义的自动化。最初的生产机械自动控制系统都是由继电器和接触器组成的控制系统,简称为继电控制系统。继电控制系统是用导线把传感器、继电器、接触器、开关及其触点按一定的逻辑关系连接起来构成的控制系统。这种连线方式又称为布线逻辑,具有结构简单、价格低廉、容易操作和对维护技术要求不高的优点,特别适用于工作模式固定、控制要求比较简单的场合,如建筑照明、控制数量很少的电机或水泵风机等设备的场合。

随着工业生产的迅速发展,市场竞争激烈,产品更新换代的周期日趋缩短,新产品不断涌现,生产机械、加工规范和生产加工线也必须随之改变,控制系统经常需要做新的配置。但继电控制系统的布线连接不易更新、功能不易扩展已成为生产发展的障碍,当控制对象较多、要求较复杂时,由于系统的器件多、体积庞大、可靠性差、功耗高、检修维护改造困难而不能满足生产的要求。因此,迫切需要新型先进的自动控制装置。20 世纪 60 年代出现了半导体逻辑元件装置,它是利用半导体二极管、三极管和中小规模集成电路构成的逻辑式顺序控制器,具有体积小、无触点、可靠性较高、动作顺序变更比较方便等优点,但是控制规模较小、编制程序不够灵活。当时,还曾用小型计算机来实现工业控制装置。但由于当时计算机对使用环境要求较高,现场的输入/输出信号与计算机不匹配,计算机程序的编制复杂,一般工程技术人员不容易运用自如,且造价高,所以没有得到广泛应用。

20 世纪 60 年代,汽车生产流水线的自动控制系统基本都是由继电器控制装置构成的。当时汽车的每一次改型都直接导致继电器控制装置的重新设计安装。随着生产的发展,汽车型号更新的周期越来越短,这样,继电器控制装置就需要经常的重新设计和安装,十分费时、费工和费料,甚至阻碍了更新周期的缩短。为了改变这一现状,美国通用汽车公司在 1968 年公开招标,要求用新的控制装置取代继电器控制装置,并提出了十项招标指标,要求编程方便,现场可修改程序,维修方便,采用模块化结构,成本不能太高等。有四家公司参与了招标,以模块化的数字控制系统为核心的方案中标。中标公司于 1969 年 6 月开始出售型号为“084”的第一批商用控制器。1969 年美国的 AB 公司也开始研发这种控制器并且将其命名为可编程控制器。其核心思想是采用软件编程方法代替继电控制的硬接线方式,并备有生产现场大量使用的输入传感器和输出执行器的接口,以便于进行大规模生产线的流程控制。20 世纪 70 年代 PLC 开始崛起,80 年代 PLC 走向成熟并且开始全面采用微电子及微处理器技术。在此阶段 PLC 销售始终以两位数百分点的速度增长,前六年的增长率超过 35%,后四年稳定发展,年增长率约为 12%。

这种新型的工业控制装置以其简单易懂、操作方便、可靠性高、通用灵活、体积小、使用寿命长等一系列优点，很快在美国其他工业领域推广应用，不久便成功地应用于食品、饮料等工业领域。这一新型工业控制装置的出现，也受到其他国家的高度重视。1971年日本从美国引进这项新技术，很快研制出日本第一台 PLC。1973年西欧国家也研制出第一台 PLC。我国从 1974 年开始研制，于 1977 年开始进入工业应用。

进入 20 世纪 80 年代以来，随着大规模和超大规模集成电路等微电子技术的迅猛发展，以 16 位和少数 32 位微处理器构成的 PLC 得到了惊人的发展，使得 PLC 在设计、性能、价格及应用方面都有了新的突破，不仅控制功能增强、功耗和体积减小、成本下降、可靠性提高、编程和故障检测更为灵活方便，而且远程 I/O 和通信网络、数据处理及图像显示的发展，还包括方便的调试和测试工具、仿真工具等，已经使 PLC 普遍用于控制复杂的连续生产过程。目前，可编程序控制器已成为工厂自动化的三大支柱之一。

1987 年 2 月，国际电工委员会（IEC）对可编程控制器作了如下的定义：可编程控制器是一种数字运算操作的电子系统，专为在工业环境下的应用而设计。它采用一类可编程的存储库，用于其内部存储程序，执行逻辑运算、顺序控制、定时、计数和算术操作等面向客户的指令，并通过数字式或模拟式输入/输出，控制各种类型的机械或生产过程。可编程控制器及其有关外围设备，都按易于系统组成一个整体、易于扩充功能的原则设计。

20 世纪 80 年代国外工业界把引进了微处理器的可编程序逻辑控制器正式命名为可编程序控制器（programmable controller, PC）。在我国一部分技术人员为了与个人计算机（personal computer, PC）区别开来，仍把可编程序控制器简称为 PLC。本教材中为了叙述方便简称为 PLC。

第二节 可编程序控制器的特点和应用

一、可编程控制器的特点

可编程序控制器专为在工业环境下应用而设计，以用户需要为主，又采用了先进的微型计算机技术，所以具有以下几个显著特点。

1. 可靠性高

PLC 由于选用了大规模集成电路和微处理器，使系统器件数大大减少，并且在硬件和软件的设计制造过程中采取了一系列隔离和抗干扰措施，使它能适应恶劣的工作环境，所以具有很高的可靠性。PLC 控制系统平均无故障工作时间可达 2 万 h 以上，美国 GE 公司带冗余系统的 PLC 无故障工作时间高达 4 万~5 万 h，高可靠性是 PLC 成为通用自动控制设备的首选条件之一。

2. 编程简单、使用方便

PLC 的编程采用类似继电控制系统电气原理的梯形图，用串联、并联、定时、计数等概念，使计算机语言大众化，只要是比较熟练的电工和熟悉工艺知识的人员在几天内就能学会，这是 PLC 得到推广的重要原因之一。

3. 通用性好、具有在线修改能力

PLC 的硬件采用模块化结构，可以灵活地组态以适应不同的控制对象、控制规模和控制功能的要求，给组成各种系统带来极大的方便，同一台 PLC 装置用于不同的受控对象时，

只是输入/输出组件、功能模块和应用软件不同。同时, PLC 控制系统中的控制电路是由软件编程完成的, 只要对应用程序进行修改就可以满足不同的控制要求, 因此 PLC 具有在线修改能力, 功能易于扩展, 给生产带来了“柔性”, 具有广泛的工业通用性。

4. 缩短设计、施工、投产试制周期, 维护容易

目前 PLC 产品已实现了系列化、标准化, 正朝着通用化方向发展, 设计人员只需要根据控制系统的需要, 选用相应的模块进行组件设计即可。同时, 用软件编程代替了继电控制的硬连线, 大大地减轻了繁重的安装和接线工作, 这不仅提高了可靠性, 还极大地缩短了施工周期。此外, PLC 还具有故障检测及显示的功能, 可使故障处理时间缩短为 10min, 对维护人员的技术水平要求也不太高。

5. 体积小

由于采用了微型计算机技术, 使 PLC 达到了小型和超小型化, 因此很容易装入机械设备内部, 便于实现机电一体化。

由于上述特点, PLC 作为通用自动控制设备, 可用于单一机电设备的控制, 也可用于工艺过程的控制, 而且控制精度相当高, 操作简便, 又具有很大的灵活性和可扩展性, 使得 PLC 广泛应用于机械制造、冶金、化工、交通、电子、电力、纺织、印刷及食品等行业。

二、PLC 的应用

PLC 的应用可以归纳为以下几方面。

1. 逻辑控制

逻辑控制是 PLC 最基本的应用, 它可以取代传统的继电器控制装置, 可实现组合逻辑控制、定时控制和顺序逻辑控制等功能。PLC 的逻辑控制功能已相当完善, 可用于单机控制, 也可用于多机群控制及自动生产线控制, 其应用领域已普及各行各业。

2. 运动控制

PLC 使用专用的运动控制模块, 可对直线运动或圆周运动的位置、速度和加速度进行控制, 实现单轴、双轴和多轴位置控制, 并使顺序控制和运动控制有机结合在一起。

3. 闭环过程控制

过程控制是指对温度、压力、流量等连续变化的模拟量的闭环控制。PLC 通过其模拟量 I/O 模块及数据处理运算功能, 实现对模拟量的闭环控制。现代的大中型 PLC 一般都有 PID 闭环控制功能, 这一功能可以用 PID 子程序或专用的 PID 模块进行控制。

4. 数据处理

现代 PLC 具有数学运算、数据传送转换排序和查表功能, 可以完成数据的采集、分析、处理等操作。这些数据可以与存储在存储器中的参考值进行比较, 也可以用通信功能传送到其他智能装置, 或将他们打印制表。

5. 通信网络

PLC 的通信包括主机与远程 I/O 之间的通信、多台 PLC 之间的通信、PLC 与其他智能设备之间的通信。PLC 与其他智能设备一起可以组成“集中管理, 分散控制”式的分布式控制系统。

第三节 可编程序控制器国内外产品简介

德国西门子公司: 它有 S5 系列的产品。有 SS-95U、100U、115U、135U 及 155U。

135U、155U 为大型机，控制点数可达 6000 多点，模拟量可达 300 多路。S7 系列机，有 S7-200（小型）、S7-300（中型）及 S7-400 机（大型）。性能比 S5 大有提高。

美国 AB (Allen-Bradley) 公司创建于 1903 年，在世界各地有 20 多个附属机构，10 多个生产基地。可编程控制器也是它的重要产品。它的 PLC-5 系列很有名，其下有 PLC-5/10、PLC-5/11、…、PLC-5/250 多种型号。另外，它也有微型 PLC，SLC-500 即为其中一种。有 20、30 及 40 I/O 三种配置选择，I/O 点数分别为 12/8、18/12 及 24/16。

美国 GE 公司、日本 Fanuc 合资的 GE-FANUC 的 90-70 机具有 25 个特点，如用软设定代硬设定、结构化编程、多种编程语言等，它有 914、781/782、771/772、731/732 等多种型号。另外，还有中型机 90-30 系列，其型号有 344、331、323、321 多种；还有小型机 90-20 系列，型号为 211。美国莫迪康公司（施耐德）的 984 机也很有名，其中 E984-785 可安 31 个远程站点，总控制规模可达 63535 点。小的为紧凑型的，如 984-120，控制点数为 256 点，在最大与最小之间，共 20 多个型号。

Omron 公司：它有 CPM1A 型机，P 型机，H 型机，CQM1、CVM、CV 型机，Ha 型、F 型机等，大、中、小、微均有，特别在中、小、微方面更具特长，在中国及世界市场，都占有相当的份额。

日本三菱公司的 PLC 也是较早推广到我国来的。其小型机 FI 前期在国内用得很多，后又推出 FXZ 机，性能有很大提高。它的中、大型机为 A 系列，如 AIS、AZC、A3A 等。日本日立公司也生产 PLC，其 E 系列为箱体式的，基本箱体有 E-20、E-28、E-40、E-64。其 I/O 点数分别为 12/8、16/12、24/16 及 40/24。另外，还有扩展箱体，规格与主箱体相同，其 EM 系列为模块式的，可在 16~160 之间组合。日本东芝公司也生产 PLC，其 EX 小型机及 EX-PLUS 小型机在国内也得用得很多。它的编程语言是梯形图，其专用的编程器用梯形图语言编程。另外，还有 EX100 系列模块式 PLC，点数较多，也是用梯形图语言编程。日本松下公司也生产 PLC，FPI 系列为小型机，结构也是箱体式的，尺寸紧凑；FP3 为模块式的，控制规模也较大，工作速度也很快，执行基本指令仅 0.1 μ s。日本富士公司也有 PLC，其 NB 系列为箱体式的，小型机；NS 系列为模块式。美国 IPM 公司的 IP1612 系列机，由于自带模拟量控制功能，自带通信口，集成度又非常高，虽然点数不多，仅 16 入、12 出，但性价比较高，很适合于系统不大但有模拟量需控制的场合。新出的 LP3416 机，I/O 点数扩大到 34 入、12 出，而且还自带一个简易小编程器，性能又有所改进。Keyence 的 PLC 进入市场较晚，但在日本已占有相当的市场份额，产品包括 CPU、各种附加模块，以及实现人机操作的触摸屏操作产品，型号包括 KV5000/3000，KV1000，以及专门应对中国市场的 KV-M 等。

国内厂家规模多不大，最有影响的是无锡的华光，它也生产多种型号与规格的 PLC，如 SU、SG 等，发展也很快，在价格上很有优势。

国内市场上 PLC 用得最多的是西门子 PLC 和三菱 PLC，其特点如下：

西门子 PLC 功能强大，系统稳定，性能质量好，市场占有率最高。主要基于西门子结构化的可编程方式，开放性好，支持多种通信协议。另外西门子 PLC 适用多种人机界面和监控组态软件，有利于多厂家设备的通信与集成，西门子做了很多功能块，减少了设计人员的负担。三菱 PLC 和西门子 PLC 主要是编程理念不同，三菱是日系品牌，编程直观易懂，学习起来较轻松，而西门子是德国品牌，指令比较抽象，学习难度较大，但指令较少，而三

菱的指令较多,所以学习三菱和学习西门子的周期是一样的;三菱的优势在于离散控制和运动控制,三菱的指令丰富,有专用的定位指令,控制伺服和步进容易实现,要实现某些复杂的动作控制也是三菱的强项,而西门子在这块就较弱,没有专用的指令,做伺服或步进定位控制不是不能实现,而是程序复杂,控制精度不高。过程控制与通信控制是西门子的强项,西门子的模拟量模块价格便宜,程序简单,三菱在这块功能较弱。所以针对不同的设备、不同的控制方式,要合理地选用 PLC,用其长处,避其短处。例如某设备只是些动作控制,如机械手,可选择三菱的 PLC,某设备有伺服或步进要进行定位控制,也选三菱的 PLC;像中央空调、污水处理、温度控制等这类有很多模拟量要处理的,选西门子的 PLC 比较合适,某设备现场有很多仪表的数据要用通信进行采集,选用西门子的 PLC 比较好控制。学习选择某种品牌,要结合实际情况,在中小企业、日资企业、台资企业中三菱用得比较广泛;大企业是西门子用得较多。本教材以西门子 S7-300 系列为学习对象。

第四节 可编程序控制器的分类及发展趋势

一、可编程序控制器的分类

PLC 的分类方法很多,大多是根据外部特性来分类的。以下三种分类方法用得较为普遍。

(1) 按照点数、功能不同分类。根据输入/输出点数、存储器容量和功能分为小型、中型和大型三类。

小型 PLC 又称为低档 PLC。它的输入/输出点数一般为 20~128 点,用户程序存储器容量小于 2K 字节,具有逻辑运算、定时、计数、移位等功能,可以用来进行条件控制、定时计数控制,通常用来代替继电器、接触器控制,在单机或小规模生产过程中使用。由于体积小、价格低廉,一般用在替代 30 个及以上的继电器就比较合算,在国外即使是 10 个左右的继电器控制系统也用小型 PLC 替代。由于用途广泛,小型 PLC 产品是 PLC 中量大而面广的产品,例如立石公司的 C-20 及 C 系列 P 型 PLC,三菱公司的 F、F1、F2 系列,德州仪器公司的 T1-100,通用电气公司的 GE-1,上海香岛机电制造公司的 ACMY-S256 和 ACMY-S80 系列。

中型 PLC 的 I/O 点数一般在 128~512 点之间,用户存储器容量为 2~8K 字节,兼有开关量和模拟量的控制功能。它除了具备小型 PLC 的功能外,还具有数字计算、过程参数调节[如比例、积分、微分(P、I、D)调节]、模拟定标、查表等功能,同时辅助继电器数量增多,定时计数范围扩大,适用于较为复杂的开关量控制,如大型注塑机控制、配料及称重等小型连续生产过程控制等场合,例如立石公司的 C500、C200H,三菱公司的 MELSEC-A1、A2、A3,AB 公司的 484 型 PLC。

大型 PLC 又称为高档 PLC,I/O 点数超过 512 点,最多可达 8192 点,进行扩展后还能增加,用户存储容量在 8K 字节以上,具有逻辑运算、数字运算、模拟调节、联网通信、监视、记录、打印、中断控制、智能控制及远程控制等功能,用于大规模过程控制(如钢铁厂、电站)、分布式控制系统和工厂自动化网络,例如立石公司的 C1000、C2000,AB 公司的 584 型等。

(2) 按照结构形状分类。根据 PLC 各组件的组合结构,可将 PLC 分为整体式和机架模

块式两种。整体式 PLC 是将中央处理机、输入/输出部件和电源部件集中于一体,装在一个金属或塑料外壳之中。输入/输出接线端子及电源进线分别在机箱的两侧,并有相应的发光二极管显示输入/输出状态。这种结构的 PLC 具有结构紧凑、体积小、质量轻、价格低和易于装入工业设备内部的优点,适用于单机控制,小型 PLC 通常采用这种结构。这种机架模块式 PLC,各功能模块独立存在,如主机模块、输入模块、输出模块、电源模块等,各模块做成插件式,在机架底板上有多个插座,使用时将选用的模块插入底板就构成 PLC,这种 PLC 的配置灵活,装配和维修都很方便,也便于功能扩展,大中型 PLC 通常采用这种结构。

(3) 按照使用情况分类。从应用情况又可将 PLC 分为通用型和专用型两类。通用型 PLC 可供各工业控制系统选用,通过不同的配置和应用软件的编制可满足不同的需要,是用作标准工业控制装置的 PLC。专用型 PLC 是为某类控制系统专门设计的 PLC,如数控机床专用型 PLC 就有美国 AB 公司的 8200CNC、8400CNC,德国西门子公司专用型 PLC 等。

二、PLC 的发展趋势

目前 PLC 的发展大致有以下几方面趋势:

(1) 向小型化、专用化方向发展。当前开发出许多简易、经济、超小型 PLC,以适应单机控制和机电一体化,真正成为继电器的替代品。

(2) 向大型化、复杂化、高功能化、分散型、多层分布式工厂自动化网络方向发展。PLC 的输入/输出容量已超过 32K,扫描速度小于 1ms/千步,新增容错功能可适应高可靠控制场合。

(3) 编程语言和编程工具朝着标准化和高级化方向发展。PLC 技术将向开放式控制系统和开放式通信网络技术相融合的趋势发展,将 PLC 融入更加开放的工业控制行业。现在工业现场安装有大量的 PLC 控制设备,同时联合工控软件公司,以便开发基于工业 PC 的工程控制软件。控制软件提供了事实上无限的梯形图逻辑控制步序,同时允许有超过百万字的数据表;许多 OI/SCADA 应用接口;内藏 Java 引擎和 FTP 服务器用于远程维修与管理;支持用户自己编写的 C、C++、Java 程序和设备驱动程序;适用于嵌入式 Web 服务器用;支持程序设计的在线运行模式;具有坚固的 I/O 模块支持能力和许多其他标准 PLC 功能;可以运行所输入的,或者经过转换的 AB 公司的 PLC-5、PLC-2/PLC、PLC-3 和 SLC-500 程序。

(4) Ethernet 的扩展与进一步容纳 Web 技术。当前,在所有过程控制领域,最大的发展趋势之一就是 Ethernet 技术的扩展,PLC 也不例外。现在越来越多的 PLC 供应商开始提供 Ethernet 接口部件。企业正在计划将其所有的自动化控制设备逐步连接到企业范围内的信息系统中去。对于工业用户来说,也许他们已经注意到有关 Ethernet for Control 系列控制解决方案,该技术更加依赖于 Ethernet 和 Internet。几乎所有 PLC 供应商在其部分系列化产品中均提供了 Ethernet 连接特性,而且有些公司已经确定将 Web 服务器彻底嵌入到他们的设备内部,以便充分展现 PLC 的性能特点。利用 PLC 的 Web 连接特性,工业用户不但可以从任何地方监控控制系统的运行状况,而且可以像利用系统手册一样获取所需要的任何数据信息。当系统连接到 Internet 时,必须为此设置安全的信息,为了防止黑客进入到控制系统中去,还必须安装一套安全性能较好的防护墙软件。PLC 供应商在其产品的开发过

程中仍然继续不断改进和提高通信技能，其开发方向主要面向于 Ethernet 技术和基于 Web 技术。

PLC 虽然是近十几年发展起来的一种新型工业控制器，但已步入成熟阶段。这种工业专用微机系统是高精技术普及化的典范，使计算机进入工业各行业，使机械设备和生产线控制更新换代。PLC 将成为工业控制的主要手段和重要的基础控制设备。在未来的工业生产中，作为自动化的三大支柱（PLC 技术、机器人、计算机辅助设计和分析）之一的 PLC 技术将跃居主导地位。

小 结



为了克服继电器在生产过程中布线复杂、可靠性不高、寿命短、维护困难的缺陷，利用计算机技术的成果，开发出了 PLC。目前 PLC 主流厂家依然是西门子为代表的欧洲、三菱为代表的日本、AB 为代表的美国三个主要产地，国内厂家由于起步晚，产量少，市场占有率低。本书以西门子 300 系列作为对象，分析其原理、编程、应用。

习 题



1. 什么叫可编程序控制器？
2. 可编程序控制器的主要特点有哪些？
3. 简述可编程序控制器的应用范围。
4. 可编程序控制器是如何分类的？

第二章 常用低压电器（电气控制系统常用器件）

电器主要指用于对电路进行接通、分断，对电路参数进行变换，以实现电路或用电设备的控制、调节、切换、检测和保护等作用的电工装置、设备和元件。电器是现代工业过程自动化的重要元件，是组成电气成套设备的基础配套元件，在电力输配电和电力拖动自动控制等系统中有着极为广泛的应用。随着电子技术、自动控制技术和计算机应用技术的迅速发展，一些电气元件可能被电子电路所取代，但电气元件本身也在不断地发展，因此电气元件不会完全被取代，仍将具有相当重要的地位。

第一节 概 述

一、电器的定义

电器是根据外界特定的信号和要求，自动或手动接通和断开电路，断续或连续地改变电路参数，实现对电路或非电对象的切换、控制、保护、检测、变换和调节的电气设备。

电器的种类繁多，构造各异。根据其工作电压高低，电器可分为高压电器和低压电器。工作在交流额定电压 1200V 及以下、直流额定电压 1500V 及以下的电器称为低压电器。

二、常用低压电器分类

由于低压电器的职能、品种和规格的多样化，工作原理也各异，所以有多种不同的分类方法。根据其与使用系统间的关系，一般可按用途分为以下几种。

(1) 低压配电电器。主要用于低压供电系统。这类低压电器有刀开关、自动开关、隔离开关、转换开关及熔断器等。对这类电器的主要技术要求是分断能力强，限流效果好，动稳定及热稳定性能好。

(2) 低压控制电器。主要用于电力拖动控制系统。这类低压电器有接触器、继电器、控制器等。对这类电器的主要技术要求是有一定的通断能力，操作频率高，电器和机械寿命长。

(3) 低压主令电器。主要用于发送控制指令的电器。这类电器有按钮、主令开关、行程开关和万能开关等。对这类电器的主要技术要求是操作频率高，抗冲击，电气和机械寿命长。

(4) 低压保护电器。主要用于对电路和电气设备进行安全保护的电器。这类低压电器有熔断器、热继电器、电压继电器、电流继电器和避雷器等。对这类电器的主要技术要求是有一定的通断能力，反应灵敏，可靠性高。

(5) 低压执行电器。主要用于执行某种动作和传动功能的电器。这类低压电器有电磁铁、电磁离合器等。

三、低压电器发展概况

低压电器的生产和发展与电的发明和广泛应用分不开，从按钮、刀开关、熔断器等简单的低压电器开始，到各种规格的低压断路器、接触器以及由它们组成的成套电气控制设备，都是随着生产的需要而发展的。

自新中国成立以来,随着国民经济的恢复和大规模经济建设的进行,国民经济各部门对低压电器的种类、品种、质量提出了越来越高的要求。低压电器的品种从少到多、产品质量从低到高逐渐发展。但产品与电工行业的国际标准 IEC 仍有一定的差距。

改革开放以后,我国低压电器制造工业有了飞速发展。一方面,国产产品如 CJ20 系列接触器、RJ20 系列热继电器、DZ20 系列塑料外壳式断路器都是国内 20 世纪 80 年代更新换代产品,符合国家新标准(参考 IEC 标准制定),有的甚至符合 IEC 标准;另一方面,积极从德国 BBC 公司、AEC 公司及西门子公司,美国西屋公司和日本寺崎公司等引进接触器、热继电器、启动器、断路器等先进的产品制造技术,并基本实现国产化,使我国低压电器的产品质量有了较大的提高。

当前,我国低压电器的发展总是不断提高其技术参数的性能指标,并在其经济性能上下功夫。其间,使用新材料、新工艺、新技术对产品质量的提高、性能的改善有着十分重要的作用。同时我国大力开发新产品,特别是多功能化产品及机电一体化产品,如电子化的新型控制电器(接近开关、光电开关、固态继电器与接触器、电子式电机保护器等)正不断被研制、开发出来。总之,低压电器正向高性能、高可靠性、多功能、小型化、使用方便等方向发展。

第二节 电磁式低压电器的基本结构和原理

电磁式低压电器在电气控制线路中使用量最大,其类型也很多,各类电磁式低压电器在工作原理和构造上也基本相同。在最常用的低压电器中,接触器、中间继电器、断路器等就属于电磁式低压电器。就其结构而言,大多由触头、灭弧装置和电磁机构三个主要部分组成。

一、触头

触头是一切有触点电器的执行部件。这些电器通过触头的动作来接通或断开被控制电路。触头通常由动、静触点组合而成。

(1) 触点的接触形式。触点的接触形式有点接触(如球面对球面、球面对平面等)、线接触(如圆柱对平面、圆柱对圆柱等)和面接触(如平面对平面)三种,如图 2-1 所示。

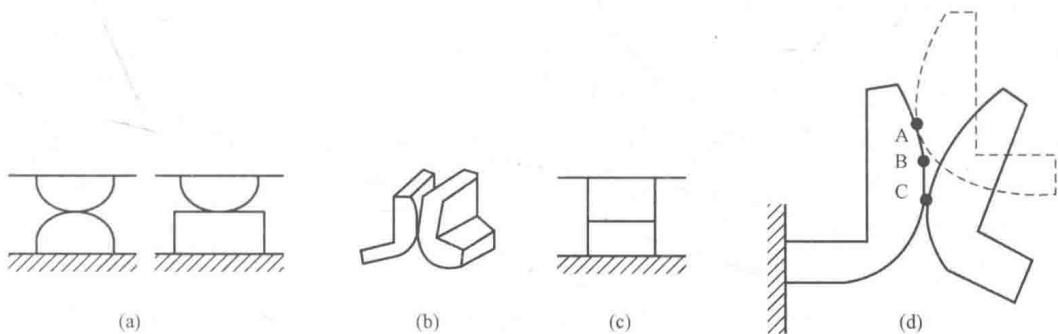


图 2-1 触点的接触形式

(a) 点接触; (b) 线接触; (c) 面接触; (d) 指形触头的接触过程

三种接触形式中,点接触的接触点数最少,其只能用于小电流的电器中,如接触器的辅助触点和继电器的触点;面接触的接触点最多,其触点允许通过较大的电流,一般在接触表面上镶有合金,以减小触点接触电阻和提高耐磨性,多用于较大容量接触器的主触点;线接

触形式的触点接触区域是一条直线，其触点在通断过程中有滚动动作，如图 2-1 (d) 所示。开始接触时，动、静触点在 A 点接触，靠弹簧的压力经 B 点滚到 C 点，断开时做相反运动，这样可以清除触点表面的氧化膜。同时长期工作的位置是在 C 点而不是在易烧灼的 A 点，从而保证了触点的良好接触。这种滚动接触适用于通电次数多、电流大的场合，多用于中等容量的触点，如接触器的主触点。

(2) 触头的结构形式。在常用的继电器和接触器中，触头的结构形式主要有单断点指形触头和双断点桥式触头两种。

图 2-1 (d) 所示为单断点指形触头。该触头的特点是只有一个断口，一般多用于接触器的主触点。其优点为：闭合、断开过程中有滚滑运动，能自动清除表面的氧化物，保证可靠接触，触头接触压力大，电动稳定性高。其缺点是：触头开距大，增大了电器体积；触头闭合时冲击能量大，影响机械寿命。

图 2-2 所示为双断点桥式触头。这种触头的优点是：具有两个有效灭弧区域，灭弧效果很好；触点开距小，使电器结构紧凑、体积小；触头闭合时冲击能量小，有利于提高机械寿命。这种触头的缺点是：触头不能自动净化，触头材料必须用银或银的合金；每个触点的接触压力小，电动稳定性较低。

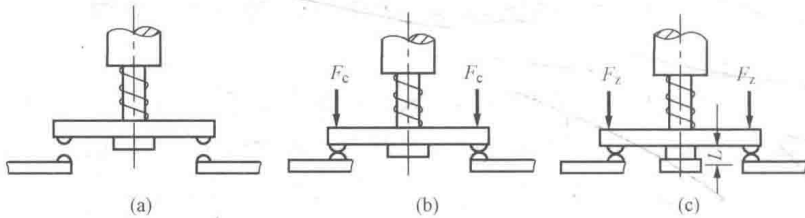


图 2-2 双断点桥式触头的结构

(a) 初始状态；(b) 动静触点接触时；(c) 触点闭合后

(3) 触点的初压力、终压力和超程。为了减小接触电阻及减弱触头接触点的振动，需要在触点间加一定的压力。此压力一般由弹簧产生。当动触点与静触点刚接触时，由于安装时动触点的弹簧已经被预先压缩了一段，因而产生了一个初压力 F_c ，如图 2-2 (b) 所示。初压力的作用是削弱接触振动，它可以通过调节触点弹簧预压缩量来增减。触点闭合后，弹簧在运动机构的作用下被进一步压缩，运动机构运动终止时，弹簧产生的压力为终压力 F_z ，如图 2-2 (c) 所示。终压力的作用是减小接触电阻。弹簧被进一步压缩的距离 L 称作触点的超程，超程越大终压力也越大。

二、电弧的产生和灭弧方法

电弧实际上是一种气体放电现象。所谓气体放电，就是气体中有大量的带电质点做定向运动。当动、静触点于通电状态下脱离接触的瞬间，动、静触点的间隙很小，电路电压几乎全部降落在触点之间，在触点间形成很高的电场强度，以致发生场致发射。发射的自由电子在电场作用下向阳极加速运动。高速运动的电子撞击气体原子时产生撞击电离。电离出的电子在向阳极运动过程中又将撞击其他原子，又使其他原子电离。撞击电离的正离子则向阴极加速运动，撞在阴极上会使阴极温度逐渐升高，到达一定温度时，会发生热电子发射。热发射的电子又参与撞击电离。这样，就在触头间隙中形成了炽热的电子流即电弧。显然，电压越高，电流越大，电弧功率也越大；弧区温度越高，游离程度越激烈，电弧也越强。

电弧的存在既妨碍了电路及时可靠地分断, 又会使触头受到损伤。为此, 必须采取适当且有效的措施, 以保护触头系统, 降低其损伤, 提高其分断能力, 从而保证整个电器的工作安全可靠。

要使电弧熄灭, 必须降低电弧区的温度和电场强度, 加强消电离作用。当电离速度低于消电离速度时, 电弧即逐渐熄灭。常用的灭弧方法有快速拉长电弧、切断和分隔电弧等。

(1) 多断点灭弧。在交流继电器和接触器中常采用桥式触头 (如图 2-2 所示)。这种触头有两个断点。交流电压在过零后, 若一对断点处电弧重燃需要 $150\sim 250\text{V}$ 电压, 则两对断点就需要 $300\sim 500\text{V}$ 电压。若断点电压达不到此值, 则电弧因不能重燃而熄灭。

当采用双极或三极接触器控制电路时, 可将两个或三个极串联起来作为一个触点使用, 成为多断点触点。多断点灭弧方法效果较弱, 一般交流继电器和小电流接触器采用, 不再加设其他灭弧装置。

(2) 磁吹式灭弧。这种灭弧的原理是使电弧处于磁场中间, 电磁场力“吹”长电弧, 使其进入冷却装置, 加速电弧冷却, 促使电弧迅速熄灭。

图 2-3 是磁吹式灭弧原理。其磁场由与触点电路串联的吹弧线圈 1 产生, 当电流逆时针流经吹弧线圈时, 其产生的磁通经铁芯 3 和导磁夹板 5 引向触点周围。触点周围的磁通方向为由纸面流入, 如图中“ \times ”符号所示。由左手定则可知, 电弧在吹弧线圈磁场中受一向上方力 F 的作用, 电弧向上运动, 被拉长并被吹入灭弧罩 6 中。引弧角 4 和静触点 8 相连接, 引导电弧向上运动, 将热量传递给灭弧罩壁, 促使电弧熄灭。

这种灭弧装置利用电弧电流本身灭弧, 电弧电流越大, 吹弧能力越强, 且不受电路电流方向影响 (当电流方向改变时, 磁场方向随之改变, 电磁力方向不变)。它广泛应用于直流接触器中。

(3) 灭弧栅。灭弧栅的原理如图 2-4 所示。灭弧栅片 1 由镀铜薄钢片组成, 灭弧栅由许多灭弧栅片组成, 片间距离为 $2\sim 3\text{mm}$, 安放在触点上方的灭弧罩内 (图中未画出灭弧罩)。一旦产生电弧, 电弧周围就产生磁场, 导磁的钢片将电弧吸入栅片, 电弧被栅片分割成许多串联的短电弧。交流电压过零时, 电弧自然熄灭。电弧要重燃, 两栅片间必须有 $150\sim 250\text{V}$ 的电弧压降。这样, 一方面电源电压不足以维持电弧, 同时由于栅片的散热作用, 电弧自然熄灭后很难重燃。这是一种常用的交流灭弧装置。

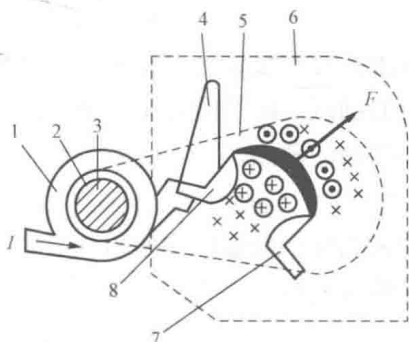


图 2-3 磁吹式灭弧原理

1—吹弧线圈; 2—绝缘套; 3—铁芯; 4—引弧角;
5—导磁夹板; 6—灭弧罩; 7—动触点; 8—静触点

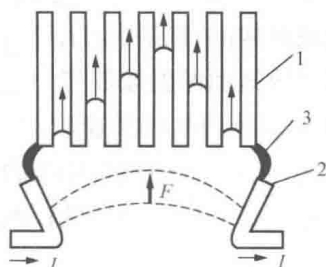


图 2-4 灭弧栅的原理

1—灭弧栅片; 2—触点; 3—电弧