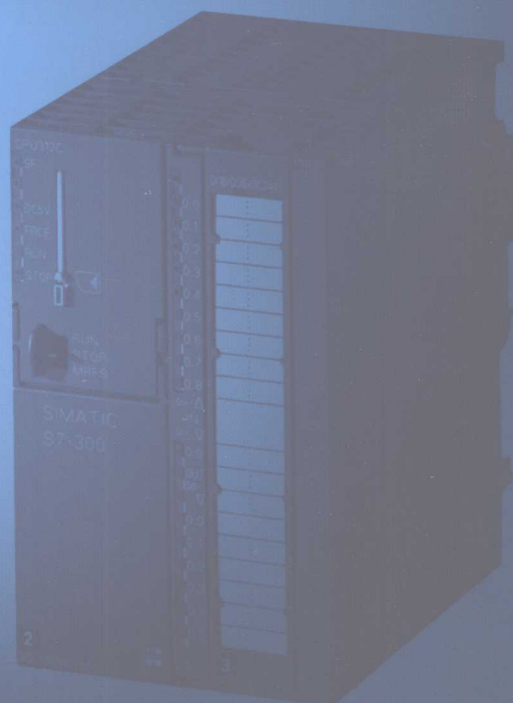
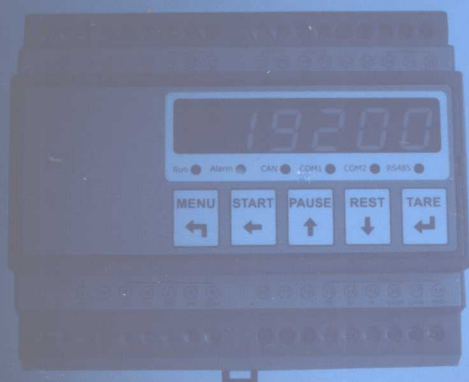


21 世纪

普通高等教育电气信息类
应用型规划教材

可编程控制器原理与应用

程宪平 主编



化学工业出版社

21 世纪普通高等教育电气信息类应用型规划教材

可编程控制器原理与应用

主 编 程宪平

副主编 刘 辉 熊轶娜 刘德玲

参 编 陈 艳 杨 智 周北明



化学工业出版社

· 北京 ·

本书从可编程控制器的基本原理与工程应用出发,以国内广泛使用的三菱公司 FX2N 系列 PLC 为主线,系统介绍了可编程控制器的基本原理、特点、硬件结构、编程元件与指令系统;详细介绍了梯形图程序的常用设计方法、PLC 系统设计和调试方法,并且提供了 PLC 在传统控制系统改造、开关量控制系统、模拟量控制系统中的应用实例,同时突出了 PLC 的网络通信、现场总线技术及其在控制系统中的应用。

为了便于学习理解,本书增加了电气控制的基础知识及其典型电气控制线路。另外,每章均附有适量的习题与思考题,并有常用电气图形符号表、PLC 功能指令表供查阅。

本书可作为应用型院校电气工程及其自动化、自动化、机械设计制造及其自动化等相关专业的教材,也可供工程技术人员参考或作为培训教材使用。

图书在版编目 (CIP) 数据

可编程控制器原理与应用/程宪平主编. —北京:化学工业出版社, 2009. 8

21 世纪普通高等教育电气信息类应用型规划教材

ISBN 978-7-122-05748-8

I. 可… II. 程… III. 可编程控制器-高等学校-教材 IV. TP332.3

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2009) 第 121539 号

责任编辑: 郝英华 唐旭华

装帧设计: 尹琳琳

责任校对: 陈 静

出版发行: 化学工业出版社 (北京市东城区青年湖南街 13 号 邮政编码 100011)

印 装: 大厂聚鑫印刷有限责任公司

787mm×1092mm 1/16 印张 14 $\frac{1}{4}$ 字数 360 千字 2009 年 8 月北京第 1 版第 1 次印刷

购书咨询: 010-64518888 (传真: 010-64519686) 售后服务: 010-64518899

网 址: <http://www.cip.com.cn>

凡购买本书, 如有缺损质量问题, 本社销售中心负责调换。

定 价: 26.00 元

版权所有 违者必究

前 言

可编程控制器（简称 PLC）是以微处理器为核心，综合了计算机技术、电气控制技术、自动控制技术和通信技术而发展起来的一种新型、通用的自动控制装置。它不仅可以取代继电器控制系统，还可以进行复杂的生产过程控制，在机电一体化设备、工业生产过程自动控制领域得到广泛的应用，它已成为现代工业生产自动化的支柱。所以，PLC 是培养当代机电类、电类专业学生成为应用型人才所必修的课程。

“可编程控制器原理与应用”是一门实践性强的专业课程，从培养应用型人才出发，在编写本书时，我们力求做到以下几点。

1. 在内容上，由浅入深，简明扼要，有利于教学和自学。

2. 做到有基础理论知识，又有教学实例，并尽可能与实际生产和应用紧密结合。

3. 实践性强，突出应用，提供了较多的应用实例。在 PLC 的应用实例中，都有编者从事科研成果。

4. 以教学用书为主，不增加过多篇幅。本书以适合教学及实验的机型（日本三菱公司的 FX2N 系列）为例进行介绍，考虑到各种型号 PLC 的基本原理、基本组成、基本逻辑指令都是相似的，故不再介绍其他机型的 PLC，缩减了篇幅。

5. 在章节安排上体现知识的系统性及内在的联系。首先介绍了继电器-接触器控制的基础知识及典型控制线路，在此基础上再介绍 PLC 的原理与应用，内容上循序渐进。

本书重点介绍小型机，并侧重于编程用逻辑指令、梯形图和应用，突出 PLC 通信技术及应用实例。在应用实例中，突出 PLC 的网络通信、现场总线等新技术以及模拟量过程控制的应用成果。

通过本书的学习，希望使读者能系统掌握可编程控制器的基本原理、基本指令及其应用、程序设计方法和编程技巧；希望能为培养生产自动化应用型人才、为从事生产自动化的工作打下良好基础。

为方便教学，本书配套的电子教案可免费提供给采用本书作为教材的相关院校使用。如果需要，请发电子邮件至 haoyinghua@cip.com.cn 索取。

本书由程宪平教授（编写绪论、第七章第四节、附录一）担任主编，由刘辉（编写第三章、第四章）、熊轶娜（编写第二章）、刘德玲（编写第五章）担任副主编，参加编写的人员还有陈艳（编写第六章、第七章第一、第三节）、杨智（编写第一、二、八章）、周北明（编写第五章、第七章第二节、附录二）。全书由程宪平教授修改和统稿。

在全书的编写过程中，参阅了国内外许多优秀的教材和论著，在此表示衷心的感谢。

由于编者水平有限，书中不足之处和错误在所难免，恳请读者批评指正。

编 者
2009.7

目 录

绪论	1	第一节 概述	47
一、可编程控制器的产生与发展	1	一、可编程控制器的特点	47
二、可编程控制器的发展趋势	2	二、可编程控制器的性能指标	48
三、主要内容与安排	3	三、可编程控制器的类型	49
第一章 电气控制基础	5	四、可编程控制器的基本功能	50
第一节 低压电器概述	5	第二节 PLC的基本构成	51
一、低压电器分类	5	一、PLC控制系统与电气控制系统的比较	51
二、电磁式电器	6	二、PLC的硬件组成	53
第二节 低压电器的结构和工作原理	7	第三节 PLC的工作原理	57
一、隔离器	7	一、循环扫描工作方式	57
二、断路器和熔断器	8	二、PLC的工作过程	58
三、接触器	12	三、PLC执行程序的过程	59
四、继电器	14	四、PLC的I/O响应时间	60
五、主令电器	18	习题与思考题	60
六、其他低压电器	22	第四章 FX系列可编程控制器简介	62
第三节 电气控制电路图的基本知识	22	第一节 国内外PLC产品简介	62
一、电气控制系统图中的图形符号	23	一、美国PLC产品	62
二、电气原理图	23	二、欧洲PLC产品	62
三、电气元件布置图	25	三、日本PLC产品	63
四、电气安装接线图	25	四、我国PLC产品	64
第四节 基本控制电路	26	第二节 FX系列PLC硬件配置及性能指标	64
一、启停和连续控制	26	一、FX系列PLC型号的基本格式及命名方式	64
二、点动控制	27	二、FX系列PLC硬件配置	65
三、异地控制与正反转控制	27	三、FX系列PLC的性能指标	67
习题与思考题	28	第三节 FX系列PLC的编程元件	68
第二章 典型电气控制线路	29	一、输入继电器X(X0~X267)	69
第一节 三相异步电动机的基本控制电路	29	二、输出继电器Y(Y0~Y267)	69
一、电动机降压启动电路	29	三、辅助继电器M	70
二、三相异步电动机的制动控制	29	四、状态器S(S0~S999)	71
三、电动机自动往返控制电路	32	五、定时器T(T0~T255)	71
四、电气控制系统的保护环节	33	六、计数器C(C0~C255)	73
第二节 典型生产机械电气控制线路	35	七、数据寄存器D(D0~D8195)	75
一、电气控制电路分析基础	35	八、指针	76
二、普通车床电气控制电路	36	九、常数	76
三、C650型卧式车床电气控制电路	37	习题与思考题	76
四、10t桥式起重机电气控制电路	40	第五章 FX系列可编程控制器指令系统	78
习题与思考题	46		
第三章 可编程控制器基本结构与工作原理	47		

第一节 PLC 的编程语言	78	第三节 PLC 在开关量控制系统中的 应用	155
一、顺序功能图	78	一、PLC 在机械手控制系统中的应用	156
二、梯形图	78	二、PLC 在自动化立体仓库中的应用	161
三、功能图块	79	第四节 PLC 在模拟量控制系统中的 应用	165
四、指令语句表	79	一、PLC 模拟量闭环控制系统的基本 原理	166
五、结构文本	80	二、模拟量输入模块与输出模块介绍	166
第二节 FX 系列 PLC 基本指令系统	80	三、PLC 在模拟量控制系统中应用 举例	171
一、FX 系列 PLC 的基本逻辑指令	80	习题与思考题	174
二、FX 系列 PLC 的步进指令	86	第八章 可编程控制器通信技术	175
第三节 FX 系列 PLC 功能指令	89	第一节 通信与网络基础	175
一、概述	89	一、数据传输方式	175
二、FX 系列 PLC 功能指令介绍	90	二、线路通信方式	178
习题与思考题	107	三、传输速率	178
第六章 可编程控制器的程序设计	109	四、差错控制	178
第一节 PLC 程序设计基础	109	五、传输介质	180
一、程序设计的基本要求	109	六、串行通信接口标准	181
二、梯形图的编程规则	109	第二节 现场总线技术	184
三、程序设计的一般步骤	111	一、基于现场总线的低压电器数据通信 规约	185
第二节 典型单元的梯形图程序	111	二、现场总线 (Fieldbus) 基础	186
一、启保停电路程序	111	三、执行器/传感器接口——AS-i 网络	188
二、三相异步电动机正反转控制程序	112	四、DeviceNet 现场总线	190
三、产生脉冲的程序	113	第三节 PC 与 PLC 的通信	192
四、延时程序	114	一、基本概念	192
五、分频程序	116	二、通信链接	193
第三节 PLC 程序设计的常用方法	117	三、通信协议	194
一、PLC 程序的经验设计法	117	四、计算机与多台 PLC 的连接	196
二、PLC 程序的替代设计法	118	五、PLC 与 PLC 之间的通信	199
三、PLC 程序的逻辑设计法	120	六、PLC 的网络简介	202
第四节 PLC 程序的顺序控制设计法	122	第四节 网络技术在 PLC 控制系统中的 应用	204
一、顺序功能图的绘制	123	一、系统构成	205
二、顺序控制梯形图的编程方式	127	二、三菱 FR-A500 系列变频器	205
第五节 PLC 复杂程序设计及调试说明	140	三、通信程序设计	210
习题与思考题	142	习题与思考题	212
第七章 可编程控制器的应用	144	附录一 常用电器图形符号	213
第一节 PLC 应用中的一些问题	144	附录二 FX 系列功能指令	217
一、PLC 控制系统的设计调试步骤	144	参考文献	220
二、PLC 的选择	145		
三、PLC 输入输出电路的设计	148		
第二节 PLC 在传统控制系统改造中的 应用	152		
一、C620 型普通车床 PLC 控制程序	153		
二、CA6140 型普通车床控制程序	154		

绪 论

可编程控制器是以微处理器为核心的自动控制装置，能在工业现场可靠地进行各种工业控制。可编程控制器与其他类型的控制器相比，最突出点特点是使用方便、工作可靠。它可以进行开关量控制和模拟量的控制。目前被广泛地运用在钢铁、冶金、机械、化工、纺织等行业。

一、可编程控制器的产生与发展

可编程控制器是在继电器控制技术和计算机控制技术基础上迅速发展起来的工业控制器。早期的可编程控制器主要用于开关量逻辑控制，称为可编程逻辑控制器（Programmable Logic Controller, PLC）。它主要用来代替继电器实现逻辑运算、计算、定时等处理，以开关量的形式输出，控制各种类型的生产机械或生产过程。随着大规模集成电路和计算机技术的迅速发展，其功能不仅限于开关量逻辑控制，还增加了算术运算、数据处理、通信与联网等各种强大的功能，所以被称之为可编程控制器（Programmable Controller, PC）。但是为避免与个人计算机（Personal Computer）的简称相混淆，近年来，人们倾向于把可编程控制器简称为 PLC。

随着大规模集成电路和计算机技术的迅速发展，1969年美国数字设备公司（DEC）研制出了第一台可编程控制器，并在美国通用汽车公司（GM）生产线上首次应用成功。PLC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、体积小和使用寿命长等一系列优点，很快在美国其他工业领域得到推广应用。自从美国研制出世界上第一台可编程控制器以后，日本、德国、英国、法国也相继开发出了各类可编程控制器，并广泛推广应用。

尽管 PLC 问世时间不长，但发展迅速。目前这种以微处理器为核心，集自动化技术、计算机技术、通信技术为一体的控制器已被广泛应用于自动化控制的各个领域。为了使其生产和发展标准化，1987年国际电工委员会 IEC 通过了对它的定义：可编程控制器是一种数字运算操作的电子系统，专为在工业环境下应用而设计的。它采用可编程的存储器，用于在其内部存储程序，执行逻辑运算、顺序控制、定时、计数与算术操作等面向用户的指令，并通过数字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设备都应按照易于与工业控制系统形成一个整体、易于扩充其功能的原则设计。

20世纪70年代末和80年代初，可编程控制器已成为工业控制领域内占主导地位的基础自动化设备。在美国，可编程控制器的销售额的年增长率大于20%，在石油化工、冶金、机械等行业中应用相当普及。日本自1972年开始研制可编程控制器，几十年来发展很迅速。日本主要发展中、小型可编程控制器。日本的小型可编程控制器产品性能先进、结构紧凑、价格便宜，因而在世界市场上占有重要地位，使得美国不得不转向发展大型可编程控制器。日本三菱电机公司是日本目前可编程控制器销售量最大的厂家。国内外专家预言，作为工业自动化三大支柱（可编程控制器、机器人、计算机辅助设计和分析）之一的可编程控制器技术，将跃居主导地位。

目前，可编程控制器已广泛应用于钢铁、冶金、机械加工、汽车制造、石油化工、轻工

食品、能源交通等几乎所有的工业领域。在机械制造中，可编程控制器不但使用在单台数控机床床上，还应用在柔性制造模块中和 FMC 控制器中。

我国从 20 世纪 80 年代初开始使用可编程控制器。随着成套设备、专用设备引进了不少国外的可编程控制器。如宝钢一期工程从原料码头到钢管厂的整个钢铁生产线上使用近 200 台可编程控制器。最近几年美国、日本、德国等国的可编程控制器产品大量进入我国市场。目前我国已有多条引进的可编程控制器生产线和各种自行研制的可编程控制器产品。

二、可编程控制器的发展趋势

可编程控制器的发展趋势如下所示。

1. 向高速度、多功能、适应多级分布控制系统的方向发展

大型的可编程控制器采用多微处理器系统，有的还采用 32 位微处理器，可同时进行多任务操作，如由一个 CPU 分管逻辑运算及专用的功能指令，另一个 CPU 专与输入输出模块通信，还可单独用一个 CPU 作故障处理及诊断等，这增加了可编程控制器工作速度及功能；采用多种多功能编程语言和先进指令系统，增加了过程控制和数据处理的功能，如多 PID 回路和用户组态模拟、报警编程、数据文件传送、浮点运算等；提高了联网通信能力，实现可编程控制器与可编制控制器，可编程控制器与计算机的通信网络，构成由计算机集中管理，用可编程控制器进行分散控制的集散控制管理系统。

2. 向小型化、低成本、功能更强、可靠性更高方向发展

小型微型的可编程控制器（I/O 总数小于 128 点）除应具有开关型逻辑控制、定时器、计数器、逻辑运算功能外，还应具有处理模拟量 I/O，增加字运算的功能；同时增加通信功能，能与其他可编程控制器、调速装置、智能现场设备和各种网络连接，并和个人计算机连接，构成分布式控制系统。可编程控制器的发展趋势要求具有更高集成化的微处理器，即包括 I/O、定时/计数、A/D、D/A、转换、存储器为一体的单片可编程控制器。

3. 向开放性转变

PLC 的软、硬件体系结构是封闭的而不是开放的，绝大多数的 PLC 是专用总线、专用通信网络及协议，编程虽多为梯形图，但各公司的组态、寻址、语句结构不一致，使各种 PLC 互不兼容。国际电工协会（IEC）在 1992 年颁布了 IEC1131-3《可编程序控制器的编程软件标准》，为各 PLC 厂家编程的标准化铺平了道路。现在开发以 PC 为基础，在 WINDOWS 平台下，符合 IEC1131-3 国际标准的新一代开放体系结构的 PLC 正在规划中。

4. 开发智能模块，加强网络化方面发展

为满足各种控制系统的要求，不断开发出许多智能功能模块，如高速计数模块、温度控制模块、远程 I/O 模块、通信和人机接口模块等。

计算机与 PLC 之间，以及各个 PLC 之间的联网和通信能力的不断增加，使工业网络可以有效地节省资源、降低成本、提高系统可靠性和灵活性，使网络的应用有普遍化的趋势。工业中普遍采用金字塔结构的多级工业网络。与可编程序控制器硬件技术的发展相适应。随着工业软件的迅速发展，它使系统应用更加简单易行，大大方便了 PLC 系统的开发人员和操作使用人员。

5. 增强外部故障的检测和处理能力

根据统计资料表明：在 PLC 控制系统故障中，CPU 占 5%，I/O 接口占 15%，输入设备占 45%，输出设备占 30%，线路故障占 5%。前两项属于 PLC 的内部故障（占 20%），可以通过 PLC 本身的软硬件实现检测、处理；而其他的都属于 PLC 的外部故障，因此 PLC

厂家均致力于研制、发展用于检测外部故障的专用功能模块，以进一步提高系统的可靠性。

近几年来在冶金、机械、石油、化工、纺织、轻工、建筑、运输、电力等行业，可编程控制器都得到了广泛的应用。近代微机控制系统种类繁多，并各有其特点，现列出几种供分析与选择，如表 0-1 所示。

表 0-1 各种微机控制系统性能对比表

控制装置 比较项目	普通微机系统		工业控制机		可编程序控制器	
	单片(单板)系统	PC 扩展系统	STD 总线系统	工业 PC 系统	小型 PLC (256 点以内)	大型 PLC
控制系统的组成	自行研制(非标准化)	配置各类功能接口板	选购标准化 STD 模板	整机已成系统, 外部另行配置	按使用要求选购相应的产品	
系统功能	简单的逻辑控制或模拟量控制	数据处理功能强, 可组成功能完整的控制系统	可组成从简单到复杂的各类测控系统	本身已具备完整的控制功能, 软件丰富, 执行速度快	逻辑控制为主, 也可组成模拟量控制系统	大型复杂的多点控制系统
通信功能	按需自行配置	已备 1 个串行口, 再多, 另行配置	选用通信模板	产品已提供串行口	选用 RS-232C 通信模块	选取相应的模块
硬件制作工作量	多	稍多	少	少	很少	很少
程序语言	汇编语言	汇编语言和高级语言均可	汇编语言和高级语言均可	高级语言为主	梯形图编程为主	多种高级语言
软件开发工作量	很多	多	较多	较多	很少	较多
执行速度	快	很快	快	很快	稍慢	很快
输出带负载能力	差	较差	较强	较强	强	强
抗电干扰能力	较差	较差	好	好	很好	很好
可靠性	较差	较差	好	好	很好	很好
环境适应性	较差	差	较好	一般	很好	很好
应用场合	智能仪器, 单机简单控制	实验室环境的信号采集及控制	一般工业现场控制	较大规模的工业现场控制	一般规模的工业现场控制	大规模工业现场控制, 可组成监控网络
价格	最低	较高	稍高	高	低	高

三、主要内容与安排

全书共分八章。首先介绍了可编程控制器的产生和发展, 简述了可编程控制器的发展趋势。由于继电器-接触器控制技术是 PLC 控制的基础, 尤其是在开关量信号控制方面, 而 PLC 的编程方法大多是采用类似继电器控制线路的梯形图。所以在介绍 PLC 之前, 首先在第一章介绍了继电器-接触器控制系统中常用的低压电器及基本控制电路。第二章举例分析了典型设备的电气控制系统。在此基础上, 在第三、四章介绍 PLC 的基础知识, 包括 PLC 的基本结构与工作原理, 并重点介绍了 FX 系列可编程控制器的硬件配置、性能和编程元件。第五章重点介绍了 FX 系列的基本逻辑指令, 同时也介绍了部分常用的功能指令。基于已掌握 FX 系列的编程元件及基本指令, 第六章介绍了经验设计法、逻辑设计法、顺序控制设计法等, 并对每一种设计法都以单序列、选择序列、并列序列编程并进行分析说明。由于

可编程控制器的迅速发展，已在各个领域的自动化生产中广泛应用，在第七章专门介绍了可编程控制器的应用，不但介绍了有开关量控制、也有模拟量控制的应用实例；不但有 FX 系列 PLC 的应用，也有欧姆龙 PLC 的应用实例。目前，由 PLC 组成的多级分布式控制系统正逐渐成为现代自动控制的主流，多台 PLC 之间的同位连接与通信，PLC 与上位机的联网通信，就显得非常必要。在第八章对 PLC 的通信及网络技术作了较全面的介绍，并对 FX 系列 PLC 网络的应用实例进行了分析。

本教材是按课程学时为 48 学时而编写的。除了课堂讲授的基本内容以外，有些内容可作为学生自学完成。教师可根据教学需要，灵活掌握，选择教材内容。

本书各章后面均附有习题与思考题，也有配套的实验及实验说明书。

第一章 电气控制基础

随着自动控制技术的发展，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高低压电器为主的控制方式，如集散控制系统（DCS）、可编程控制系统（PLC），嵌入式控制系统等，但由于控制对象的电压、电流、功率等许多参数差异很大，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气元件在能量上、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，它需要通过电网电气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为有效地运用 DCS、PLC 等先进控制设备所必需的。

第一节 低压电器概述

电器是所有电工器具的简称，即凡是根据外界特定的信号和要求自动或手动接通与断开电路，断续或连续地改变电器参数，实现对电路或非电对象的切换、控制、保护、检测和调节的电工器具称为电器。

低压电器通常指工作在交流 1200V 以下、直流 1500V 以下电路中的电器。常用的低压电器主要有：接触器、继电器、刀开关、断路器（空气自动开关）、转换开关、行程开关、按钮、熔断器等。

一、低压电器分类

低压电器种类繁多，功能各异，用途广泛。分类方法很多，通常有如下分类。

1. 按用途或控制对象分

(1) 低压配电电器 主要用于低压配电系统中。要求系统发生故障时准确动作、可靠工作，在规定条件下具有相应的动稳定性与热稳定性，使电器不会被损坏。如刀开关、转换开关、熔断器、断路器等。

(2) 低压控制电器 主要用于电气传动系统中。要求寿命长、体积小、重量轻且动作迅速、准确、可靠。如接触器、继电器、启动器、主令电器、电磁铁等。

2. 按动作方式分

(1) 自动切换电器 依靠自身参数的变化或外来信号的作用，自动完成接通或分断等动作。如接触器、断路器等。

(2) 非自动切换电器 主要是用外力（如人力）直接操作来进行切换的电器。如刀开关、转换开关、按钮等。

3. 按执行功能分

(1) 有触点电器 有可分离的动触点、静触点，并利用触点的接通和分断来切换电路。如接触器、刀开关、按钮等。

(2) 无触点电器 无可分离的触点。主要利用电子元件的开关效应，即导通和截止来实

现电路的通、断控制。如接近开关、霍尔开关、电子式时间继电器等。

4. 按工作原理分

(1) 电磁式电器 根据电磁感应原理来动作的电器。如交流、直接接触器，各种电磁式继电器，电磁铁等。

(2) 非电量控制电器 依靠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、速度继电器、温度继电器等。

二、电磁式电器

根据电磁感应原理来实现通、断控制的电器很多，它们的结构相似、原理相同，都是由电磁系统、触点系统及灭弧系统组成。

1. 电磁系统结构及工作原理

电磁系统其作用是将电磁能量转换成机械能量，带动触点动作，实现对电路的通、断控制。

电磁系统由铁芯、衔铁和线圈等部分组成。其工作原理是：当线圈中有电流通过时，产生电磁吸力，电磁吸力克服弹簧的反作用力，使衔铁与铁芯闭合，衔铁带动连接机构运动，从而带动相应触点动作，完成通、断电路的控制作用。接触器常用的电磁系统结构，如图 1-1 所示。

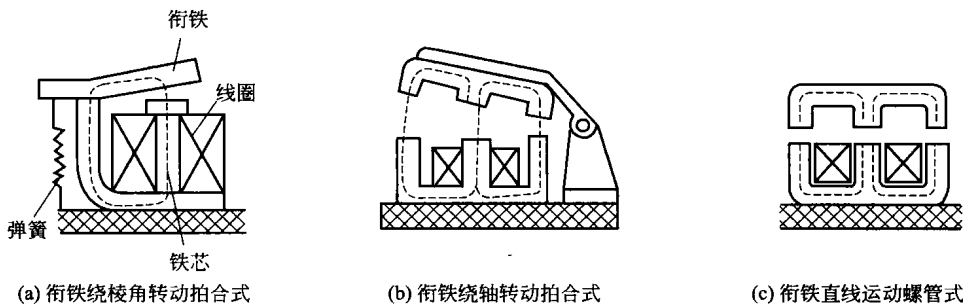


图 1-1 接触器电磁系统的结构图

图 1-1(a) 为衔铁绕棱角转动的拍合式结构，适用于直流接触器。

图 1-1(b) 为衔铁绕轴转动的拍合式结构，适用于触点容量较大的交流接触器。

图 1-1(c) 为衔铁直线运动的螺管式结构，适用于交流接触器、继电器等。

电磁式电器按通入线圈电流性质不同分为直流与交流两大类。直流电磁铁铁芯由整块铸铁铸成，而交流电磁铁的铁芯则用硅钢片叠成。

2. 触点系统

(1) 触点材料 触点是电器的执行机构，起接通和断开电路的作用。若要使触点具有良好的接触性能，通常采用铜质材料制成。由于在使用中，铜的表面容易氧化而生成一层氧化铜，使触点接触电阻增大，容易引起触点过热，影响电器的使用寿命，因此，对于电流容量较小的电器（如接触器、继电器等），常采用银质材料作为触点材料，因为银的氧化膜电阻率与纯银相似，从而避免触点表面氧化膜电阻率增加而造成触点接触不良。

(2) 触点结构型式 触点主要有以下几种结构型式。

① 桥式触点。图 1-2(a)、(b) 为桥式触点，其中图 1-2(a) 为点接触的桥式触点，而图 1-2(b) 为面接触的桥式触点。点接触型适用于电流不大且触点压力小的场合；面接触型适用于电流较大的场合。

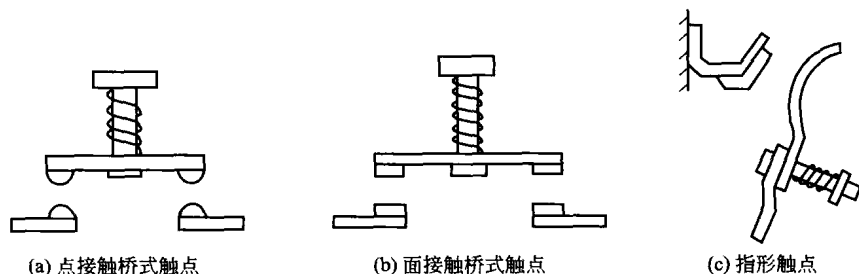


图 1-2 触点系统的结构型式

② 指形触点。图 1-2(c) 为指形触点，其接触区为一直线，触点在接通与分断时产生滚动摩擦，可以去掉氧化膜，故其触点可以用紫铜制造，特别适合于触点分合次数多、电流大的场合。

3. 灭弧系统

(1) 电弧的产生 触点在分断电路时，由于接触电阻引起触点温升，从而引起热电子发射，同时触点间距离极小，电场强度极大，在强电场的作用下，气隙中电子高速运动产生碰撞游离，在游离因素的作用下，触点间的气隙中会产生大量带电粒子使气体导电，形成炽热的电子流，即电弧。

(2) 灭弧方法 电弧的产生，一方面使电路仍旧保持导通状态，延迟了电路的分断，另一方面会烧损触点，缩短电器使用寿命。因此，在电器中应采取措施熄灭电弧。

根据电流性质的不同，电弧分直流电弧和交流电弧。由于交流电弧有自然过零点，所以容易被熄灭；而直流电弧没有薄弱点，故电弧不易熄灭。

熄灭电弧的原理：抑制游离因素，增强去游离因素。在低压电器灭弧中，主要采取的措施有：①迅速增加电弧长度，使得单位长度内维持电弧燃烧的电场强度不足而使电弧熄灭；②使电弧与液体介质或固体介质相接触，加速冷却以增强去游离作用，使电弧迅速熄灭。

第二节 低压电器的结构和工作原理

一、隔离器

低压隔离器是一种最常见的手动电器，又称闸刀，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。

低压刀开关结构图如图 1-3(a) 所示，图形符号如图 1-3(b) 所示。带有熔断的刀开关称为熔断器式刀开关。

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图 1-4 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断现象，则称该短路电流为短时耐受电流，通常时间为 1s。

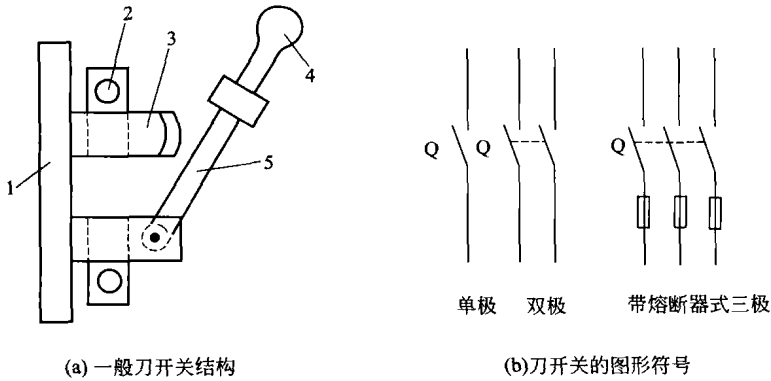


图 1-3 刀开关的结构与图形符号

1—绝缘底板；2,3—触刀插座；4—操作手柄；5—触刀

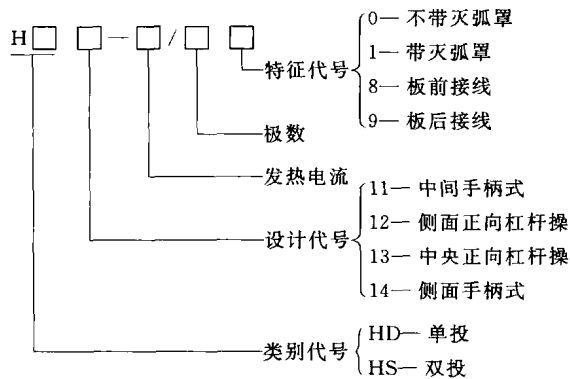


图 1-4 刀开关型号及其含义

(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。

二、断路器和熔断器

(一) 断路器

低压断路器也称为自动空气开关，可用来接通和分断负载电路，也可用来控制不频繁启动的电动机。

低压断路器具有多项保护功能（过载、短路、欠电压保护等）、动作值可调、分断能力高、操作方便安全等优点，低压断路器的功能相当于闸刀开关、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的功能总和，是低压配电网中一种重要的保护电器。所以其应用广泛。

1. 低压断路器的结构及工作原理

低压断路器结构如图 1-5 所示，由操作机构、触头系统、自由脱扣机构（由锁键、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。

低压断路器的主触点是靠手动操作或电动合闸的。主触点闭合后，自由脱扣机构将主触点锁在合闸位置上。过电流脱扣器的线圈和热脱扣器的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，主触点断开主电路。当电路过载时，热脱扣器的热元件发热使双金属片向上弯

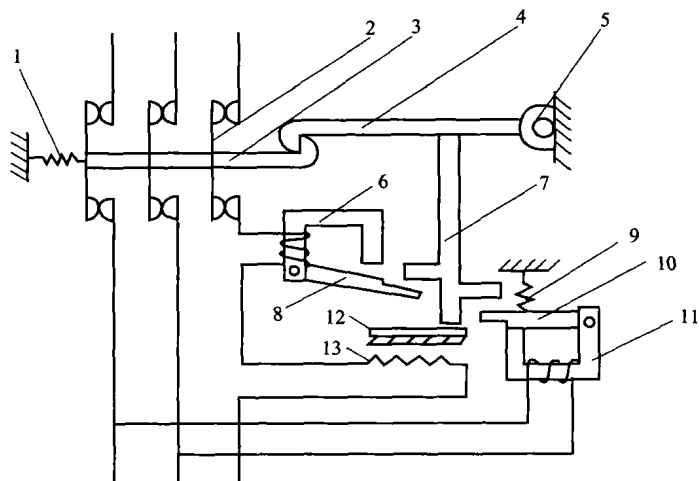


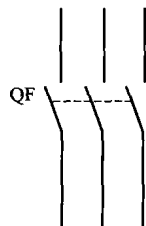
图 1-5 低压断路器结构示意图

1,9—弹簧；2—主触点；3—锁键；4—搭钩；5—轴；6—过电流脱扣器；7—杠杆；
8,10—衔铁；11—欠电压脱扣器；12—双金属片；13—热元件

曲，推动自由脱扣机构动作。当电路欠电压时，欠电压脱扣器的衔铁释放，使自由脱扣机构动作。分励脱扣器则作为远距离控制用，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，使主触点闭合。

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。

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 1-6 所示。

图 1-6 低压断路器
图形符号

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。它主要适用于配电网，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，它可作为线路的不频繁转换之用。

(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，可用于配电线路中接通或分断电路，作线路和电源设备的过载及短路保护之用；亦要用做电动机的不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，如 DZ5、DZ10、DZ15 等型。

(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，如 DS 型。

(4) 限流断路器 限流断路器利用电动斥力使动、静触点迅速分离，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，如 DZX10、DWX15 等型。

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, 确定选用框架式、装置式或限流方式等。

(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。

(二) 熔断器

熔断器是低压配电系统和电力拖动系统中过载和短路保护作用的电器。使用时, 熔体串接于被保护的电路中, 当流过熔断器的电流大于规定值时, 以其自身产生的热量使熔体熔断, 从而自动切断电路, 实现过载和短路保护。

熔断器具有结构简单、体积小、重量轻、使用维护方便、价格低廉、分断能力较高、限流能力良好等优点, 因此在强电系统和弱电系统中得到广泛应用。

1. 熔断器的结构原理及分类

熔断器由熔体和安装熔体的绝缘底座(或称熔管)组成。熔体由易熔金属材料铅、锌、锡、铜、银及其合金制成, 形状常为丝状或网状。由铅锡合金和锌等低熔点金属制成的熔体, 因不易灭弧, 多用于小电流电路; 由铜、银等高熔点金属制成的熔体, 易于灭弧, 多用于大电流电路。

熔断器串接于被保护电路中, 电流通过熔体时产生的热量与电流和电流通过的时间成正比, 电流越大, 则熔体熔断时间越短, 这种特性称为熔断器的保护特性或安秒特性。

熔断器种类很多, 按结构分为开启式、半封闭式和封闭式; 按有无填料分为有填料式、无填料式; 按用途分为工业用熔断器、保护半导体器件熔断器及自复式熔断器等。

2. 熔断器的主要技术参数

熔断器主要技术参数包括额定电压、熔体额定电流、熔断器额定电流、极限分断能力等。其值一般等于或大于电气设备的额定电压。

(1) 额定电压 指保证熔断器能长期正常工作的电压。

(2) 熔体额定电流 指熔体长期通过而不会熔断的电流。

(3) 熔断器额定电流 指保证熔断器(指绝缘底座)能长期正常工作的电流。

实际应用中, 厂家为了减少熔断器额定电流的规格, 额定电流等级比较少, 而熔体的额定电流等级较多。应该注意的是使用过程中, 熔断器的额定电流应大于或等于所装熔体的额定电流。

(4) 极限分断能力 指熔断器在额定电压下所能开断的最大短路电流。在电路中出现最大电流一般是指短路电流值。所以, 极限分断能力也反映了熔断器分断短路电流的能力。

3. 常用的熔断器

(1) 插入式熔断器 插入式熔断器如图 1-7 所示, 常用产品有 RC1A 系列, 主要用于低压分支电路的短路保护, 因其分断能力较小, 多用于照明电路中。

(2) 螺旋式熔断器 螺旋式熔断器如图 1-8 所示, 常用产品有 R16、RL7、RLS2 等系列, 该系列产品的熔管内装有石英砂, 用于熄灭电弧, 分断能力强。熔体上的上端盖有一熔断指示器, 一旦熔体熔断, 指示器马上弹出, 可透过瓷帽上的玻璃孔观察到。其中 RL6、

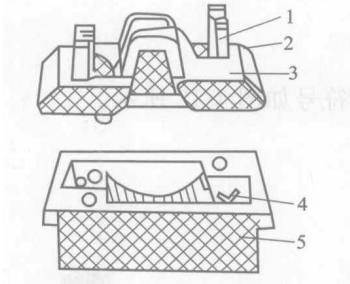


图 1-7 插入式熔断器

1—动触点；2—熔体；3—瓷插件；4—静触点；5—瓷座

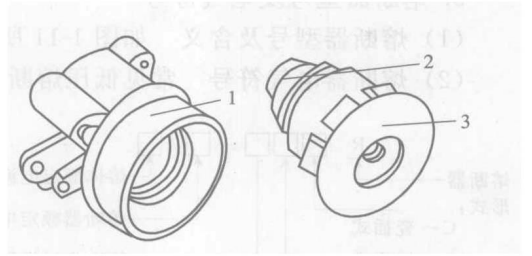


图 1-8 螺旋式熔断器

1—底座；2—熔体；3—瓷帽

RL7 多用于机床配电路中；RLS2 为快速熔断器，主要用于保护半导体元件。

(3) 封闭管式熔断器 该熔断器分为无填料管式（图 1-9）、有填料管式（图 1-10）和快速熔断器三种。常用产品有 RM10、RT12、RT14、RT15、RS3 等系列，其中 RM10 为无填料的，常用于低压电力网或成套配电设备中。RT12、RT13、RT14 系列为有填料的熔断器，填料为石英砂，用来冷却和熄灭电弧，常用于大容量电力网或配电设备中。RS2 系列为快速熔断器，主要用于保护半导体元件。

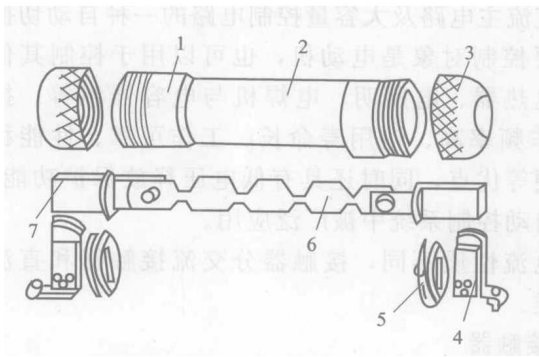


图 1-9 无填料封闭管式熔断器

1—钢圈；2—熔断管；3—管帽；
4—插座；5—特殊垫圈；6—熔体；7—熔片

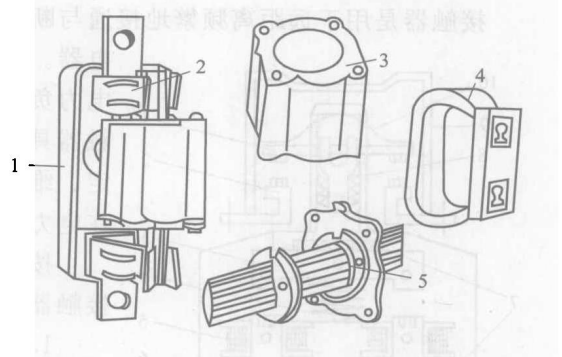


图 1-10 有填料封闭管式熔断器

1—瓷底座；2—弹簧片；3—管体；
4—绝缘手柄；5—熔体

4. 新型熔断器

(1) 自复式熔断器 一种新型熔断器，利用金属钠作熔体，在常温下具有高电导率，允许通过正常工作电流。当电路发生短路故障时，短路电流产生高温使金属钠迅速气化，气态钠呈现高阻态，从而限制了短路电流。当故障消除后，温度下降，金属钠重新固化，金属钠恢复其良好的导电性。其优点是不必更换熔体，能重复使用，但由于只能限流而不能切断故障电路，故一般不单独使用，均与断路器配合使用。常用产品有 RZ1 系列。

(2) 高分断能力熔断器 随着电网供电容量的不断增加，要求熔断器的性能更好，根据德国 AGC 公司制造技术标准生产的 NT 型系列产品为低压高分断能力熔断器，额定电压 660V，额定电流 1000A，分断能力可达 120kA，适用于工业电气设备、配电装置的过载和短路保护。NT 型熔断器规格齐全，具有功率损耗小，性能稳定，限流性能好，体积小等特点。它也可以作为导线的过载和短路保护。另外从该公司引进生产的 NGT 型熔断器为快速熔断器，可作为半导体器件保护。