

21 世纪 高 职 高 专 规 划 教 材

电 气 、 自 动 化 、 应 用 电 子 技 术 系 列



电气控制与PLC 技术基础

向晓汉 主编 陆彬 副主编

陆金荣 主审

清华大学出版社



21 世纪 高 职 高 专 规 划 教 材

电 气 、 自 动 化 、 应 用 电 子 技 术 系 列

电气控制与PLC 技术基础

向晓汉 主编 陆彬 副主编
陆金荣 主审



清华大学出版社
北京

内 容 简 介

本书共分三部分。第一部分主要介绍常用低压电器的种类、工作原理及选型;电气系统图;电气控制的基本规律;异步交流电动机的启动、正/反转、制动和调速控制;直流电动机的启动、正/反转、制动和调速控制;典型设备电气控制。第二部分主要介绍了 PLC 的工作原理;三菱 FX 系列 PLC 和西门子 S7—200 PLC 的指令系统;特别介绍了 PLC 在工程中的应用。第三部分是提高篇,主要介绍了三菱编译软件的使用;PLC 的通信;PLC 特殊模块的使用;PLC 与触摸屏的联合使用;最后完整地介绍了一个 PLC 控制系统设计的实例。

本书内容丰富,重点突出,强调知识的实用性,重视对学生实践技能的培养,每章都配有大量实用的例题,另外每章还配有习题供读者训练之用。

本书可以作为高职高专院校机械类、电气类专业的教材,也可以作为中专、成人教育等有关专业的教材,还可以供工程技术人员参考。

本书封面贴有清华大学出版社防伪标签,无标签者不得销售。

版权所有,侵权必究。侵权举报电话:010-62782989 13501256678 13801310933

图书在版编目(CIP)数据

电气控制与 PLC 技术基础/向晓汉主编. —北京:清华大学出版社,2007.12

21 世纪高职专规划教材. 电气、自动化、应用电子技术系列

ISBN 978-7-302-15974-2

I. 电… II. 向… III. ①电气设备—自动控制—高等学校:技术学校—教材 ②可编程程序控制器—程序设计—高等学校:技术学校—教材 IV. TM762 TP332.3

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2007)第 129981 号

责任编辑:朱怀永

责任校对:李 梅

责任印制:何 芊

出版发行:清华大学出版社 地 址:北京清华大学学研大厦 A 座

<http://www.tup.com.cn> 邮 编:100084

c-service@tup.tsinghua.edu.cn

社 总 机:010-62770175 邮购热线:010-62786544

投稿咨询:010-62772015 客户服务:010-62776969

印 装 者:北京鑫海金澳胶印有限公司

经 销:全国新华书店

开 本:185×230 印 张:15.5 字 数:310 千字

版 次:2007 年 12 月第 1 版 印 次:2007 年 12 月第 1 次印刷

印 数:1~4000

定 价:22.00 元

本书如存在文字不清、漏印、缺页、倒页、脱页等印装质量问题,请与清华大学出版社出版部联系调换。联系电话:(010)62770177 转 3103 产品编号:025191-01

出版说明

高职高专教育是我国高等教育的重要组成部分,担负着为国家培养并输送生产、建设、管理、服务第一线高素质技术应用型人才的重任。

进入 21 世纪后,高职高专教育的改革和发展呈现出前所未有的发展势头,学生规模已占我国高等教育的半壁江山,成为我国高等教育的一支重要的生力军;办学理念上,“以就业为导向”成为高等职业教育改革与发展的主旋律。近两年来,教育部召开了三次产学研交流会,并启动四个专业的“国家技能型紧缺人才培养项目”,同时成立了 35 所示范性软件职业技术学院,进行两年制教学改革试点。这些举措都表明国家正在推动高职高专教育进行深层次的重大改革,向培养生产、服务第一线真正需要的应用型人才的方向发展。

为了顺应当前我国高职高专教育的发展形势,配合高职高专院校的教学改革和教材建设,进一步提高我国高职高专教育教材质量,在教育部的指导下,清华大学出版社组织出版了“21 世纪高职高专规划教材”。

为推动规划教材的建设,清华大学出版社组织并成立了“高职高专教育教材编审委员会”,旨在对清华版的全国性高职高专教材及教材选题进行评审,并向清华大学出版社推荐各院校办学特色鲜明、内容质量优秀的教材选题。教材选题由个人或各院校推荐,经编审委员会认真评审,最后由清华大学出版社出版。编审委员会的成员皆来源于教改成效大、办学特色鲜明、师资实力强的高职高专院校、普通高校以及著名企业,教材的编写者和审定者都是从事高职高专教育第一线的骨干教师和专家。

编审委员会根据教育部最新文件和政策,规划教材体系,比如部分专业的两年制教材;“以就业为导向”,以“专业技能体系”为主,突出人才培养的实践性、应用性的原则,重新组织系列课程的教材结构,整合课程体系;按照教育部制定的“高职高专教育基础课程教学基本要求”,教材的基础理论以“必要、够用”为度,突出基础理论的应用和实践技能的培养。

本套规划教材的编写原则如下:

- (1) 根据岗位群设置教材系列,并成立系列教材编审委员会;
- (2) 由编审委员会规划教材、评审教材;
- (3) 重点课程进行立体化建设,突出案例式教学体系,加强实训教材的出版,完善教学服务体系;
- (4) 教材编写者由具有丰富教学经验和多年实践经历的教师共同组成,建立“双师

型”编者体系。

本套规划教材涵盖了公共基础课、计算机、电子信息、机械、经济管理以及服务等大类的主要课程,包括专业基础课和专业主干课。目前已经规划的教材系列名称如下:

• 公共基础课

公共基础课系列

• 计算机类

计算机基础教育系列

计算机专业基础系列

计算机应用系列

网络专业系列

软件专业系列

电子商务专业系列

• 电子信息类

电子信息基础系列

微电子技术系列

通信技术系列

电气、自动化、应用电子技术系列

• 机械类

机械基础系列

机械设计与制造专业系列

数控技术系列

模具设计与制造系列

• 经济管理类

经济管理基础系列

市场营销系列

财务会计系列

企业管理系列

物流管理系列

财政金融系列

国际商务系列

• 服务类

艺术设计系列

本套规划教材的系列名称根据学科基础和岗位群方向设置,为各高职高专院校提供“自助餐”形式的教材。各院校在选择课程需要的教材时,专业课程可以根据岗位群选择系列;专业基础课程可以根据学科方向选择各类的基础课系列。例如,数控技术方向的专业课程可以在“数控技术系列”选择;数控技术专业需要的基础课程,属于计算机类课程的可以在“计算机基础教育系列”和“计算机应用系列”选择,属于机械类课程的可以在“机械基础系列”选择,属于电子信息类课程的可以在“电子信息基础系列”选择。依此类推。

为方便教师授课和学生学习,清华大学出版社正在建设本套教材的教学服务体系。本套教材先期选择重点课程和专业主干课程,进行立体化教材建设;加强多媒体教学课件或电子教案、素材库、学习盘、学习指导书等形式的制作和出版,开发网络课程。学校在选用教材时,可通过邮件或电话与我们联系获取相关服务,并通过与各院校的密切交流,使其日臻完善。

高职高专教育正处于新一轮改革时期,从专业设置、课程体系建设到教材编写,依然是新课题。希望各高职高专院校在教学实践中积极提出意见和建议,并向我们推荐优秀选题。反馈意见请发送到 E-mail: gzgz@tup.tsinghua.edu.cn。清华大学出版社将对已出版的教材不断地修订、完善,提高教材质量,完善教材服务体系,为我国的高职高专教育出版优秀的高质量的教材。

高职高专教育教材编审委员会

前言

电气控制与 PLC 技术基础

本书是为适应高职高专机电类专业教学改革的需要,将“电气控制”与“可编程控制器”两门专业课程的核心内容有机地整合起来,以培养技术应用能力为目标而编写成的一门机电专业基础课教材。编者在编写过程中力求突出以下特点:

- ◆ 淡化理论,注重知识的实用性。针对高职高专院校培养“应用型人才”的特点,编写时,对繁杂的理论知识作了淡化处理,尽量少讲理论,注重实用知识的讲解。除了第 4 章外,每章都有工程应用实践举例,便于读者应用时移植;此外,为了力求本书的“实用性”,本书编者或是工程技术人员,或是具备工程背景的教师。
- ◆ 内容力求简洁,尽可能做到少而精。本书用了较多的图片说明问题,图片多达 300 余张。并注重难易结合。
- ◆ 力求紧跟当前技术潮流。如,本书中讲解了变频器、PLC 的通信、触摸屏和 PLC 的特殊模块的使用等,都是目前比较流行的技术。

全书共分 7 章。第 3 章、第 5 章由无锡雷华科技有限公司的陆彬编写,第 6 章由无锡职业技术学院的刘炼编写,第 2 章由无锡职业技术学院的陈胡兴编写,第 1 章、第 4 章和第 7 章由无锡职业技术学院的向晓汉编写。本书由向晓汉任主编,陆彬任副主编。陆金荣高级工程师任主审。

另外,在编写过程中倪森寿教授、奚小网副教授和机电教研室的教师都提出了许多宝贵的意见,在此深表感谢!

由于编者水平有限,不足在所难免,敬请读者批评指正,编者将不胜感激!

编 者

2007.3.10

目 录

电气控制与 PLC 技术基础

第一部分 电气控制

绪论·····	3
第 1 章 常用低压电器·····	8
1.1 接触器 ·····	8
1.2 继电器·····	13
1.3 开关电器·····	25
1.4 主令电器·····	33
1.5 熔断器·····	37
1.6 电子式电器·····	41
1.7 其他电器·····	48
习题 1 ·····	53
第 2 章 电气控制电路基本环节 ·····	54
2.1 电气控制系统图·····	54
2.2 电气控制电路及基本控制规律·····	59
2.3 三相异步电动机的启动控制·····	64
2.4 三相异步电动机的调速控制·····	69
2.5 三相异步电动机的制动控制·····	74
2.6 直流电动机的电气控制·····	78
2.7 单相异步电动机的控制·····	81
2.8 电气控制系统常用的保护环节·····	83

习题 2	85
第 3 章 典型设备电气控制电路	87
3.1 电气控制电路分析基础	87
3.2 普通车床的电气控制	88
3.3 液压机的电气控制	91
3.4 镗床的电气控制	94
3.5 组合机床的电气控制	98
3.6 数控铣床的电气控制	104
习题 3	109
 第二部分 可编程控制器基础 	
第 4 章 可编程控制器的工作原理	113
4.1 概述	113
4.2 可编程控制器的软、硬件组成和工作原理	117
习题 4	124
第 5 章 FX 系列可编程控制器	125
5.1 三菱可编程控制器简介	125
5.2 三菱可编程控制器的软元件的作用和功能	127
5.3 FX 系列 PLC 的基本顺控指令	134
5.4 FX 系列 PLC 的步进梯形图指令	144
5.5 FX 系列 PLC 的功能指令	148
5.6 可编程控制的禁忌和编程方法	159
习题 5	167
第 6 章 S7—200 系列可编程控制器	170
6.1 S7—200 系列可编程控制器简介	170
6.2 S7—200 可编程控制器的基本逻辑指令	173
6.3 S7—200 可编程控制器的程序控制指令	184
6.4 S7—200 可编程控制器逻辑指令应用实例	187
6.5 S7—200 可编程控制器功能指令	189

习题 6	199
------------	-----

第三部分 可编程控制器应用

第 7 章 可编程控制器的工程应用	205
7.1 编译软件 SWOPC_FXGP_WIN-C 的使用方法	205
7.2 可编程控制器特殊功能模块的应用	213
7.3 可编程控制器的联网通信	218
7.4 HMI 与可编程控制器的应用	223
7.5 基于可编程控制器的控制系统设计	230
习题 7	236
参考文献	238

第一部分 电气控制

绪论

第1章 常用低压电器

第2章 电气控制电路基本环节

第3章 典型设备电气控制电路

绪 论

1. 常用低压电器的分类

低压电器通常是指工作在交流电压小于 1200V、直流电压小于 1500V 的电路中起通、断、保护、控制或调节作用的电器设备。

低压电器种类繁多,结构各异,用途广泛,功能多样。其分类方法很多,下面介绍低压电器常用的分类方法。

(1) 按其在电路中的作用分

① 控制类电器 包括接触器、开关电器、控制继电器、主令电器等。其在电路中主要起控制、转换作用。

② 保护类电器 包括熔断器、热继电器、过电流继电器、欠电压继电器、过电压继电器等。其在电路中主要起保护作用。

(2) 按其控制的对象分

① 低压配电电器 包括刀开关、熔断器和断路器等。主要用于低压配电系统中,要求在系统发生故障的情况下动作准确、工作可靠,有足够的热稳定性和动稳定性。

② 低压控制电器 包括接触器、控制继电器、启动器、主令电器等。主要用于电气传动系统中,要求使用寿命长、工作可靠、维修方便。

(3) 按其动作方式分

① 自动切换电器 电器在完成接通、分断或使电动机启动、反向以及停止等动作时,依靠其本身的参数变化或外来信号而自动进行动作。例如,接触器、继电器、熔断器等。

② 非自动切换电器 通过人力动作(用手或通过杠杆)直接扳动或旋转换作手柄来完成切换的电器。例如,刀开关、转换开关、按钮等。

(4) 按电器的执行机构分

可分为有触点电器(如交流接触器)和无触点电器(如固态继电器)。

当然还有其他的分类方法,在此不再详述。

2. 低压电器的发展与趋势

我国低压电器产品大致可分为四代。

第一代产品：20 世纪 60 年代至 70 年代初，主要产品以 DW10、DZ10、CJ10 等系列产品为代表的 17 个系列产品，性能水平相当于国外 20 世纪 50 年代的水平，其性能指标低、体积大、耗材、耗能、保护特性单一、规格及品种少，现有市场占有率为 20%~30%（以产品台数计算）。

第二代产品：20 世纪 70 年代末至 80 年代，主要产品以 DW15、DZ20、CJ20 为代表，共 56 个系列；技术引进产品以 3TB、B 系列为代表，共 34 个系列；达标攻关产品 40 个系列。相对第一代产品，第二代产品的技术指标明显提高，保护特性较完善，体积缩小，结构上适应成套装置的要求，现有市场占有率为 50%~60%。

第三代产品：20 世纪 90 年代，主要产品为 DW45、S、CJ45(CJ40)等系列产品。第三代电器产品具有高性能、小型化、电子化、智能化、模块化、组合化、多功能化等特征。但由于通信能力的限制，不能很好地发挥智能产品的作用。现有市场占有率为 5%~10%，如智能断路器、软启动器等。

第四代产品：20 世纪 90 年代末至今，具有现场总线低压电器产品。这种产品除了具有第三代低压电器产品的特征外，其主要技术特征是可通信，能与现场总线系统连接。

我国从 20 世纪 90 年代起开发的第三代产品已带有智能化功能，但是单一智能化电器在传统的低压配电、控制系统中很难发挥其优越性，产品价格相对较高，难以全面推广。预计今后 5~10 年内，随着通信电器的开发应用，我国第三代、第四代高档低压电器产品市场占有率将从目前的 5%增加到 30%以上，从而大大促进我国低压电器总体水平的提高。

3. 电气控制技术的发展概况

19 世纪末，直流发电机、交流发电机和直流电动机、异步电动机相继问世，揭开了电气控制技术的序幕。20 世纪初，电动机逐步取代蒸汽机用来驱动生产机械，最初沿用集中拖动的方式，由一台电动机拖动若干台机器，这种方式能量传递路径长，损耗大，操作不便，安全性差。后来改由一台电动机拖动一台机器，称为单独拖动方式，它克服了集中拖动的缺点。随着生产技术的发展，机器功能增多，结构更加复杂，为了简化机械传动系统，出现了一台机器的几个运动部件分别由一台电动机拖动，这种方式称为多电机拖动。在这种情况下，机器的电气控制系统不但可对各台电动机的启动、制动、反转、停车等进行控制，还具有对各台电动机之间实行协调、联锁、顺序切换、显示工作状态的功能。对生产过程比较复杂的系统还要求对影响产品质量的各种工艺参数如温度、压力、流量、速度、时间等能够自动测量和自动调节，这样就构成了功能相当完善的电气自动化系统。到 20 世纪 30 年代，电气控制技术的发展，推动了电器产品的进步，继电器、接触器、按钮、开关等元

器件形成了功能齐全的多种系列,基本控制电路亦形成规范,可以实现远距离控制。这种主要用于控制交流电动机的系统通常称为继电器—接触器控制系统。

电力拖动系统按照使用的电动机种类可分为直流拖动和交流拖动两大类。直流电动机的优点是具有良好的启动、制动、调速性能,可以在很宽的范围内平滑调速,能在很短的时间里改变转向。在 20 世纪 30 年代出现的交流电动机—直流发电机—直流电动机的无级调速系统,广泛用于对电力拖动技术性能要求较高的机床等机械设备上。据统计,直流拖动系统约占电力拖动系统的 20% 左右。到 20 世纪 60 年代,大功率晶闸管研制成功,使变流技术发生了根本性的变化,晶闸管—直流电动机的调速系统克服了旋转变流机组体积大、造价高、效率低、运行噪声大、维修困难等缺点,而且系统的调速精度、动态响应等技术性能也有了很大的提高。进入 20 世纪 80 年代以后,由于电力电子技术和微电子技术的迅速发展以及两者的相互融合,使交流电动机调速技术有了很大的突破,出现了鼠笼型电动机的变频调速系统和绕线转子异步电动机的串级调速系统。交流电动机具有制造容易、维修方便、结构牢固、运行可靠、能用于易燃易爆、潮湿、多粉尘、有腐蚀性等恶劣环境的诸多优点。调速技术上的突破,使交流电动机调速系统得到迅速的推广,不仅正在逐步取代直流调速系统,而且应用领域扩大到过去被认为不需要调速的拖动系统中。例如风机、水泵实现调速后,可以按负载变化自动改变电动机转速,使供风量或供水量适应用户需要,而且收到显著的节能效果。由此可见交流调速技术的应用前景非常广阔。

从 20 世纪 30 年代开始,机械加工企业为了提高生产效率,先后采用了机械化流水作业的生产方式,对不同类型的零件分别组成自动生产线。随着产品机型的更新换代,生产线承担的加工对象也随之改变,这就需要改变控制程序,使生产线的机械设备按新的工艺过程运行,而继电器—接触器控制系统是采用固定接线的,很难适应这个要求。大型自动生产线的控制系统使用的继电器数量很多,这种有触点的电器工作频率较低,在频繁动作情况下寿命较短,从而造成系统故障,使生产线的运行可靠性降低。为了解决这个问题,20 世纪 60 年代初期利用电子技术研制出矩阵式顺序控制器和晶体管逻辑控制系统代替继电器—接触器控制系统,对复杂的自动控制系统则采用电子计算机控制,由于这些控制装置本身存在某些不足,均未能获得广泛应用。1968 年美国最大的汽车制造商——通用汽车(GM)公司为适应汽车型号的不断更新,提出把计算机的完备功能以及灵活性、通用性好等优点和继电器—接触器控制系统的简单易懂、操作方便、价格便宜等优点结合起来,做成一种能适应工业环境的通用控制装置,并把编程方法和程序输入方式加以简化,使不熟悉计算机的人员也能很快掌握它的使用技术。根据这一设想,美国数字设备公司(DEC)于 1969 年率先研制出第一台可编程序控制器(简称 PLC),在通用汽车公司的自动装配线上试用获得成功,从此以后,许多国家的著名厂商竞相研制,各自形成系列,而且品种更新很快,功能不断增强,从最初的逻辑控制为主,发展到能进行模拟量控制,具有数据运算、数据处理和通信联网等多种功能。PLC 的另一个突出优点是可靠性很高,平均

无故障运行时间可达 10 万小时以上,可以大大减少设备维修费用和停产造成的经济损失。当前,PLC 已经成为电气自动控制系统中应用最为广泛的核心装置。据报道,世界上 PLC 的总产量占有所有自动化仪表产量的 40% 左右,处于绝对领先地位。

数控技术在电气自动控制中占有十分重要的地位。1952 年,美国麻省理工学院研制成功世界上第一台三坐标数控铣床,它综合应用了当时电子计算机、自动控制、伺服驱动、精密检测与新型机械结构等多方面的最新技术成就,成为一种新型的通用性很强的高效自动化机床,它标志着机械制造技术进入了一个新阶段。随着微电子技术的发展,由小型或微型计算机再加上通用或专用大规模集成电路组成的计算机数控装置(CNC)性能更为完善,几乎所有的机床品种都实现了数控化,出现了具有自动更换刀具功能的数控加工中心机床(MC),工件在一次装夹后可以完成多种工序的加工。数控技术还在绘图机械、坐标测量机、激光加工机、火焰切割机等设备上得到了广泛的应用,取得了良好的效果。

20 世纪 70 年代出现了计算机群控系统,即直接数控(DNC)系统,由一台较大型的计算机控制与管理多台数控机床和数控加工中心,能完成多品种、多工序的产品加工。在此基础上增加刀具和工件在加工设备与储存装置之间的装卸输送系统及必要的检测设备,由计算机对整个系统进行控制和管理,这样就构成了柔性制造系统(FMS)。后来又出现了计算机集成制造系统(CIMS),综合运用计算机辅助设计(CAD)、计算机辅助制造(CAM)、智能机器人等多项高新技术,形成了从产品设计与制造的智能化生产的完整体系,将自动制造技术推进到更高的水平。

回顾一个世纪以来电气控制技术的发展概况,不难看出它始终是伴随着社会生产规模的扩大、生产水平的提高而前进的。电气控制技术的进步反过来又促进了社会生产力的进一步提高;从另一方面看,电气控制技术又是与微电子技术、电力电子技术、检测传感技术、机械制造技术等紧密联系在一起。当前科学技术继续在突飞猛进地向前发展,人类已经进入了 21 世纪,电气控制技术必将达到更高的水平。

4. 本课程的性质与任务

本课程是一门实用性很强的机电类专业核心课程,主要内容是以电动机或其他执行电器为控制对象,介绍继电器—接触器控制系统和 PLC 控制系统的工作原理、典型机械的电气控制线路以及电气控制系统的设计方法。当前 PLC 控制系统应用十分普遍,已经成为实现工业自动化的主要手段,把它作为教学重点是毫无疑问的。但是根据我国当前的情况,继电器—接触器控制系统仍然是机械设备最常用的电气控制方式,而且控制系统所用的低压电器正在向小型化、长寿命发展,出现了功能多样的电子式电器,使继电器—接触器控制系统性能不断提高,因此它在今后的电气控制技术中仍然占有相当重要的地位。另外,PLC 是计算机技术与继电器—接触器控制技术相结合的产物,而且 PLC 的输入、输出仍然与低压电器密切相关。因此,掌握继电器—接触器控制技术也是学习和掌握 PLC 应用技术所必需的基础。

本课程的目标是培养技术应用的能力,具体要求是:

- (1) 熟悉常用控制电器的结构原理、用途及型号,能正确使用和选用。
- (2) 熟练掌握继电器-接触器控制线路的基本环节,能够独立分析电气控制线路的工作原理。
- (3) 掌握 PLC 的基本原理及编程方法,能够根据工艺过程和控制要求进行系统设计和编制应用程序。
- (4) 了解 PLC 的网络、通信原理和触摸屏(HMI)与 PLC 联合使用等技术。
- (5) 具有设计和改进一般机械设备电气控制线路的基本能力。

第 1 章

常用低压电器

1.1 接触器

1.1.1 接触器的功能

接触器(Contactor)是一种用来自动接通或断开大电流电路的电器,但不能切断短路电流,其图形符号如图 1-1 所示。它可以频繁地接通或分断交、直流电路,并可实现远距离控制。其主要控制对象是交、直流电动机,也可用于电热设备、电焊机、电容器组等其他负载。它具有低电压释放保护功能,还具有控制容量大、过载能力强、寿命长、结构简单和价格便宜等特点,在电力拖动、自动控制线路中得到了广泛的应用。交流接触器如图 1-2 所示。

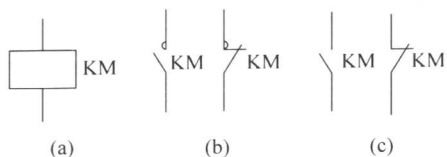


图 1-1 接触器的图形符号

(a) 线圈; (b) 主触点; (c) 辅助触点

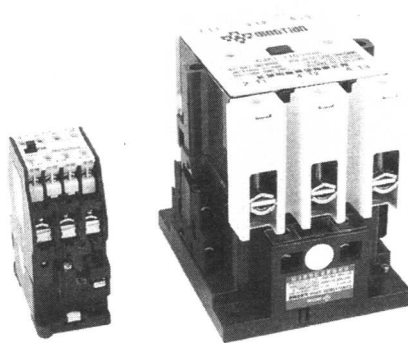


图 1-2 交流接触器

1.1.2 接触器结构及其工作原理

接触器由电磁机构、触头系统、灭弧装置、释放弹簧、触头弹簧、触头压力弹簧、支架及底座等组成,如图 1-3 所示。