

21
Century

21世纪高等院校电气信息类系列教材

Electrical Information ·
Science and Technology

电气控制与 PLC 应用技术

梅丽凤 主 编

郑海英 副主编



附赠电子教案

[http:// www.cmpedu.com](http://www.cmpedu.com)



机械工业出版社
CHINA MACHINE PRESS

21 世纪高等院校电气信息类系列教材

电气控制与 PLC 应用技术

梅丽凤 主 编

郑海英 副主编

戴永彬 屈 丹 江明颖 参 编



机械工业出版社

本书从教学和工程实际应用出发,在介绍低压电器、电气控制典型电路的设计与分析的基础上,系统地介绍了西门子公司 S7-200 系列 PLC 的系统结构、工作原理和设计方法,结合大量实例详细介绍了 S7-200 PLC 的基本指令、功能指令和功能模块的用法,并介绍了 PLC 的网络与通信、PLC 控制系统的设计方法等内容。本书内容由浅入深、通俗易懂,例题典型,可读性好,实用性强。例题和习题均结合工程实际,注重了工程应用的训练。

本书可作为普通高等工科院校自动化、电气过程及其自动化、机械过程及其自动化、机电一体化等相关专业及高专、高职相关专业的教材,并可作为电气技术人员的培训教材和参考书。

图书在版编目 (CIP) 数据

电气控制与 PLC 应用技术/梅丽凤主编. —北京:机械工业出版社, 2011. 12
21 世纪高等院校电气信息类系列教材
ISBN 978-7-111-36785-7

I. ①电… II. ①梅… III. ①电气控制—高等学校—教材②plc 技术—高等学校—教材 IV. ①TM571. 2②TM571. 6

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2011) 第 262072 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: 时 静 责任编辑: 时 静 王 荣

版式设计: 常天培 责任校对: 樊钟英

责任印制: 李 妍

北京诚信伟业印刷有限公司印刷

2012 年 3 月第 1 版第 1 次印刷

184mm×260mm 21 印张·518 千字

0 001—3500 册

标准书号: ISBN 978-7-111-36785-7

定价: 39.80 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

销售二部: (010) 88379649

教材网: <http://www.cmpedu.com>

读者购书热线: (010) 88379203

封面无防伪标均为盗版

出版说明

随着科学技术的不断进步，整个国家自动化水平和信息化水平的长足发展，社会对电气信息类人才的需求日益迫切、要求也更加严格。在教育部颁布的“普通高等学校本科专业目录”中，电气信息类（Electrical and Information Science and Technology）包括电气工程及其自动化、自动化、电子信息工程、通信工程、计算机科学与技术、电子科学与技术、生物医学工程等子专业。这些子专业的人才培养对社会需求、经济发展都有着非常重要的意义。

在电气信息类专业及学科迅速发展的同时，也给高等教育工作带来了许多新课题和新任务。在此情况下，只有将新知识、新技术、新领域逐渐融合到教学、实践环节中去，才能培养出优秀的科技人才。为了配合高等院校教学的需要，机械工业出版社组织了这套“21世纪高等院校电气信息类系列教材”。

本套教材是在对电气信息类专业教育情况和教材情况调研与分析的基础上组织编写的，期间，与高等院校相关课程的主讲教师进行了广泛的交流和探讨，旨在构建体系完善、内容全面新颖、适合教学的专业教材。

本套教材涵盖多层次专业课程，定位准确，注重理论与实践、教学与教辅的结合，在语言描述上力求准确、清晰，适合各高等院校电气信息类专业学生使用。

机械工业出版社

前 言

可编程序控制器（PLC）是一种以微处理器为核心，综合了计算机技术、自动控制技术和网络通信技术等现代科技而发展起来的一种新型工业自动控制装置，具有功能强、可靠性高、使用灵活方便、易于编程及适应工业环境下应用等一系列优点，在工业自动化、机电一体化、传统产业技术改造等方面的应用越来越广，已成为现代工业控制的四大支柱之一。

本书以现在流行的有较高性价比的 SIEMENS S7-200 系列 PLC 为对象，系统、全面地介绍 PLC 的组成、工作原理、指令系统、通信技术和系统设计方法等知识。全书共分 9 章。第 1 章介绍了常用低压电器、电气控制的基本电路，电气控制典型电路的设计方法和分析方法；第 2 章介绍了 PLC 的产生、发展、定义、特点及应用；第 3 章讲述了 PLC 的基本结构、工作原理、编程语言及分类；第 4 章介绍了 S7-200 系列 PLC 的主机结构、I/O 扩展模块和功能模块及内部资源分配；第 5 章介绍了 S7-200 PLC 指令中的数据类型、寻址方式、基本指令、顺序控制指令及 STEP 7 编程软件的使用；第 6 章介绍了 PLC 功能指令及应用；第 7 章介绍了 PLC 通信与网络、PLC 的通信指令及典型应用；第 8 章介绍了 PLC 控制系统中的应用实例；第 9 章全面介绍了 PLC 控制系统的设计方法。

本书立足于本科应用型人才培养目标，在编写过程中，遵循以下编写原则：

（1）充分考虑到学生的自学能力及基础知识，所有内容都立足于实际应用和教学。在内容的选择上注意系统性和实践性的统一；在内容安排上，注意由浅入深循序渐进，在内容的论述上；做到语言简明、叙述清楚、讲解细致、通俗易懂。

（2）结构安排上，以 PLC 原理介绍和实例设计为主，在讲清原理的基础上，结合大量实例讲解其指令系统及应用，对具体设计实例和重点、难点内容进行细致讲解，通过大量的实例演练达到快速掌握 PLC 技术的目的。

（3）与 PLC 应用技术发展相结合，在系统设计实例中，融入作者的实际经验和科研成果，给出完整的 PLC 控制系统应用实例，每个实例均从工程应用的角度出发，既介绍编程方法，又介绍工程应用，使读者通过学习本书，能很快掌握 PLC 技术，并具备应用系统设计的能力。

本书实例丰富，所有程序均经过上机调试，具有较强的实用性和参考性，每章后均配有思考题和习题，便于读者掌握和巩固所学知识。本书不仅适用于初学者了解、掌握 PLC 的

原理和应用技术，也能满足对 PLC 控制系统设计及连网有更高要求的读者深入研究的需要。

本书由辽宁工业大学梅丽凤教授主编，郑海英任副主编，其中第 1 章由屈丹编写，第 2 章、第 7 章由江明颖编写，第 3 章、第 4 章和第 9 章由戴永彬编写，第 5 章、第 6 章由郑海英编写，第 8 章由梅丽凤编写。参加本书程序调试的工作人员还有张廷丰、董玉林、郑春娇及研究生刘杰，全书由梅丽凤统稿。

编者在编写过程中，参考了不少专家和学者的著作及国内外相关的参考文献，在此对参考文献的作者表示衷心的感谢。

由于编者水平有限，书中的错误及疏漏之处在所难免，敬请读者批评指正。

编 者

目 录

出版说明

前言

第1章 电气控制基础	1
1.1 电器的基本知识	1
1.1.1 电器的定义及分类	1
1.1.2 电磁式电器的工作原理与结构特点	2
1.2 常用低压电器	8
1.2.1 开关电器	8
1.2.2 熔断器	15
1.2.3 主令电器	18
1.2.4 接触器	25
1.2.5 继电器	28
1.2.6 信号电器	38
1.2.7 电磁执行机构	39
1.3 电气控制系统图的类型及有关规定	42
1.3.1 电气控制系统图的图形符号和文字符号	42
1.3.2 电气控制系统图的绘制原则	42
1.4 电气控制的基本电路	51
1.4.1 全压起动控制电路	51
1.4.2 三相交流电动机的减压起动控制电路	56
1.4.3 三相笼型异步电动机的制动控制电路	58
1.5 三相异步电动机速度控制电路	61
1.5.1 概述	61
1.5.2 变极调速控制电路	62
1.5.3 变压调速	63
1.6 变频调速控制电路	64
1.6.1 变频调速概述	64
1.6.2 变频器的类型	64
1.6.3 变频器的组成	67
1.6.4 变频器的额定值和技术指标	68
1.6.5 变频器的选择	69
1.6.6 变频器的主要功能	70
1.6.7 变频器的应用举例	71

1.7 电气控制电路分析基础	73
1.7.1 电气控制分析的内容与要求	73
1.7.2 电气原理图阅读分析的方法与步骤	74
1.7.3 C650 卧式车床电气控制电路分析	75
1.8 思考题与练习题	78
第2章 可编程序控制器概述	80
2.1 PLC 的产生和发展	80
2.1.1 PLC 的产生	80
2.1.2 PLC 的发展	81
2.1.3 目前 PLC 的主流产品	82
2.2 PLC 的定义及特点	84
2.2.1 PLC 的定义	84
2.2.2 PLC 的特点	84
2.3 PLC 的主要应用	86
2.4 PLC 与微机及继电器控制系统的区别	87
2.4.1 PLC 与微型计算机的区别	87
2.4.2 PLC 与继电器控制系统的比较	87
2.5 思考题与练习题	88
第3章 PLC 的结构和工作原理	89
3.1 PLC 的分类	89
3.1.1 按 I/O 点数分类	89
3.1.2 按结构形式分类	89
3.2 PLC 的基本结构和控制系统的组成	90
3.2.1 PLC 的基本结构	90
3.2.2 PLC 控制系统的组成	94
3.3 PLC 的主要性能指标	95
3.4 PLC 的工作原理	95
3.5 PLC 的编程语言	96
3.5.1 梯形图	97
3.5.2 语句表	97
3.5.3 功能块图	98
3.5.4 顺序功能图	98
3.5.5 结构化文本	98
3.6 思考题与练习题	99
第4章 S7-200 PLC 的硬件配置	100
4.1 主机结构及特性	100

4.2	I/O 扩展模块和功能扩展模块	102
4.3	PLC 内部资源分配	105
4.4	思考题与练习题	108
第 5 章	S7-200 PLC 的基本指令及应用	109
5.1	数据类型和寻址方式	109
5.1.1	数据类型	109
5.1.2	指令格式	110
5.1.3	寻址方式	112
5.2	S7-200 PLC 的基本指令	115
5.2.1	PLC 的基本逻辑指令及编程方法	115
5.2.2	梯形图的编程格式与规则	130
5.2.3	典型环节的编程应用	132
5.3	程序结构	138
5.4	程序控制指令	138
5.5	顺序控制指令及编程应用	144
5.6	STEP 7 编程软件	157
5.6.1	编程软件概述	158
5.6.2	软件功能	160
5.6.3	软件的编程	162
5.6.4	程序的调试及运行监控	167
5.6.5	状态表监控和趋势图监控	168
5.6.6	运行模式下编辑程序	168
5.6.7	程序监控	169
5.7	思考题与练习题	170
第 6 章	S7-200 PLC 功能指令	172
6.1	数据处理指令	173
6.1.1	传送类指令	173
6.1.2	移位与循环指令	174
6.1.3	字节交换指令	178
6.1.4	填充指令	178
6.2	数学运算指令	178
6.2.1	加法指令	179
6.2.2	减法指令	179
6.2.3	乘法指令	179
6.2.4	除法指令	180
6.2.5	增/减指令	180
6.2.6	数学功能指令	181

6.3	逻辑运算指令	184
6.4	转换指令	184
6.4.1	数据类型转换指令	185
6.4.2	编码和译码指令	187
6.4.3	段码指令	187
6.4.4	ASCII 码转换指令	188
6.4.5	字符串转换指令	192
6.5	字符串指令	194
6.6	表功能指令	196
6.7	特殊指令	200
6.7.1	时钟指令	200
6.7.2	中断	202
6.7.3	高速计数器指令	207
6.7.4	高速脉冲输出指令	212
6.7.5	PID 回路指令	220
6.8	思考题与练习题	225
第7章	S7-200 PLC 的通信与网络	227
7.1	通信及网络的基础知识	227
7.1.1	串行通信的基本概念	227
7.1.2	串行通信的接口标准	230
7.1.3	网络概述	231
7.2	S7-200 PLC 的通信协议与典型网络配置	231
7.2.1	西门子工业网络结构	232
7.2.2	S7-200 PLC 支持的通信协议	233
7.2.3	S7-200 PLC 的几种典型网络配置	236
7.3	S7-200 PLC 通信接口及网络部件	239
7.3.1	S7-200 PLC 通信接口	239
7.3.2	网络连接器	240
7.3.3	通信电缆	240
7.3.4	中继器	242
7.4	S7-200 PLC 的通信指令及应用	242
7.4.1	网络读/写指令及 PPI 通信实例	243
7.4.2	发送/接收指令及自由口通信实例	246
7.4.3	USS 通信指令	254
7.4.4	Modbus 指令	255
7.5	思考题与练习题	256
第8章	PLC 控制系统设计实例	257
8.1	三相异步电动机的 PLC 控制	257

8.1.1	三相异步电动机的正、反转控制	257
8.1.2	三相异步电动机的星形—三角形减压起动控制	259
8.2	十字路口交通信号灯的 PLC 控制	261
8.2.1	控制要求	261
8.2.2	PLC 的选型及外部接线	262
8.2.3	控制程序设计	262
8.3	液体混合装置的 PLC 控制	263
8.3.1	控制要求	263
8.3.2	PLC 的选型及外部接线	264
8.3.3	PLC 控制程序设计	264
8.4	货物传输带及机械手臂控制系统	268
8.4.1	控制要求	268
8.4.2	PLC 的选型及外部接线	268
8.4.3	顺序功能图设计	269
8.4.4	梯形图设计	271
8.5	电镀专用行车 PLC 控制系统	273
8.5.1	控制要求	273
8.5.2	电镀行车电动机的主电路设计	274
8.5.3	PLC 的选型及外部接线	274
8.5.4	电镀行车 PLC 控制程序设计	276
8.6	温、湿度监测与数据处理	278
8.6.1	控制要求及系统构成	278
8.6.2	PLC 的选型及外部接线	279
8.6.3	PLC 程序设计	280
8.6.4	文本显示界面设计	284
8.7	思考题与练习题	286
第 9 章	PLC 控制系统的设计	287
9.1	PLC 控制系统的设计内容及步骤	287
9.1.1	PLC 控制系统的设计内容	287
9.1.2	PLC 控制系统的设计步骤	288
9.2	PLC 控制系统的硬件设计	289
9.3	PLC 控制系统的软件设计	296
9.3.1	PLC 软件设计过程	296
9.3.2	PLC 软件设计方法	299
9.4	人机界面设计	300
9.4.1	人机界面的功能及分类	300
9.4.2	人机界面设计的有关注意事项	301
9.4.3	人机界面的设计步骤和原则	303

9.5 PLC 在工程应用中的注意事项	304
9.5.1 PLC 的安装	304
9.5.2 PLC 的抗干扰措施	305
9.5.3 PLC 的故障诊断与维护	309
9.6 思考题与练习题	312
附录	313
附录 A S7-200 PLC 的 CPU 规范和特性速查.....	313
附录 B S7-200 PLC 指令集简表	316
附录 C S7-200 PLC 的特殊存储器 (SM) 标志位	319
附录 D S7-200 PLC CPU224 外围典型接线	321
参考文献	323

第 1 章 电气控制基础

可编程序逻辑控制器（PLC）的出现，标志着电气控制原理从硬连接方式的继电器接触式控制系统发展到以计算机为核心的“软”控制系统。但是继电器接触控制在电气控制中仍然是非常重要的一部分。一方面，它是掌握现代先进电气控制技术的基础；另一方面，由于这种控制系统结构简单、价格低廉，至今仍在许多小型的电气控制系统中普遍应用，而且即使是在现代电气控制系统中，信号采集和驱动输出部分仍然由电气元器件及控制电路完成。因此，它是电气工作人员必须掌握的一门技术。

本章主要介绍电器的基本知识、各种常用低压电器工作原理及其选用方法，以及由这些常用低压电器组成的基本电气控制电路的功能与工作原理。本章内容有助于了解和正确使用各种常用低压电器，有助于分析和设计常用电气控制电路，既可作为学习资料，也可作为工作中的参考。

1.1 电器的基本知识

1.1.1 电器的定义及分类

1. 电器的定义

根据外界特定的信号和要求，自动或手动接通和断开电路，实现对电路或非电对象的切换、控制、保护、检测、变换和调节用的电气元件统称为电器。

2. 电器的分类

电器的用途十分广泛，功能多样，分类方法很多，常用的分类方法有以下几种。

(1) 按工作电压等级分类

低压电器：工作电压低于交流 1200V 或直流 1500V 以下的各种电器，如低压断路器、刀开关、接触器及按钮等。

高压电器：工作电压高于交流 1200V 或直流 1500V 以上的各种电器，如高压断路器、高压隔离开关等。

(2) 按用途分类

控制电器：用于各种控制电路和控制系统的电器，如接触器、继电器、起动机及主令电器等。

配电电器：用于配电系统中，对电路及设备进行保护及通断、转换电源或负载，如断路器、熔断器及刀开关等。

执行电器：用于完成某种动作或传动功能的电器，如电磁铁、电磁阀及电磁离合器等。

(3) 按工作原理分类

电磁式电器：利用电磁感应原理工作的电器，如接触器、各种电磁式继电器及电磁阀等。

非电量控制电器：这类电器是靠外力或某种非电物理量的变化而动作的，如主令电器、压力继电器及温度继电器等。

(4) 按工作方式分类

机械式电器：传统意义上的电器，把接收到的指令信号转化为相应的执行动作，以触点作为执行部件。

电子式电器：近几年发展起来的电子式无触点电器，以检测与控制电路功能块或微处理器系统作为感测和控制部件，以半导体电子功率开关作为执行部件。

1.1.2 电磁式电器的工作原理与结构特点

在电气控制电路中使用最多的是电磁式电器，虽然电磁式电器的类型很多，但是其结构特点和工作原理基本相同。下面介绍电磁式电器的结构和工作原理。

电磁式电器主要由电磁机构、触点和灭弧装置组成。

1. 电磁机构

(1) 结构与工作原理

电磁机构由吸引线圈、铁心和衔铁等几部分组成。它是电磁式电器的信号检测部分。它的主要作用是将电磁能量转换为机械能量并带动触点动作，完成电路接通和分断。当线圈通过工作电流时，产生足够的磁动势，在磁路中形成磁通，使衔铁获得足够的电磁力，克服反作用力与铁心吸合，由连接机构带动相应的触点动作。

1) 吸引线圈。吸引线圈的作用是将电能转换成磁场能量。按通入电流种类不同，可分为直流线圈和交流线圈。

2) 磁路。磁路包括铁心、衔铁、铁轭和空气隙。衔铁在电磁力的作用下与铁心吸合，当电磁力消失后复位。常用的磁路结构有3种，如图1-1所示。

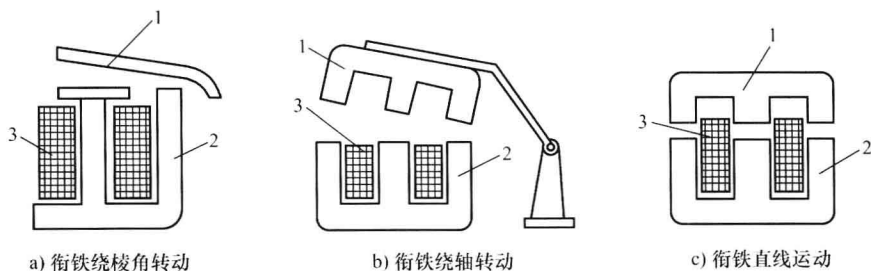


图1-1 电磁机构常用的磁路结构

1—衔铁 2—铁心 3—吸引线圈

图1-1a所示结构中，衔铁绕棱角转动，磨损较小，铁心用软铁，适用于直流接触器、继电器。图1-1b所示结构中，衔铁绕轴转动，铁心形状有E形和U形两种，多用于交流接触器。图1-1c所示结构中，衔铁直线运动，衔铁在线圈内做直线运动，多用于交流接触器、继电器。

(2) 吸力特性与反力特性

衔铁是否能够正常工作，是由电磁机构的吸力特性与反力特性决定的。电磁机构使衔铁吸合的力与气隙长度的关系曲线称为吸力特性。它随励磁电流种类（交流或直流）、线圈连接方式（串联或并联）的不同而有所差异。电磁机构使衔铁释放（复位）的力与气隙长度

的关系曲线称为反力特性。反力的大小与作用弹簧、摩擦阻力以及衔铁质量有关。下面分析吸力特性、反力特性和两者的配合关系。

1) 吸力特性。电磁机构的吸力 F 可近似地按式 (1-1) 求得：

$$F = \frac{1}{2\mu_0} B^2 S = \frac{10^7}{8\pi} B^2 S \quad (1-1)$$

式中， $\mu_0 = 4\pi \times 10^{-7} \text{H/m}$ ， B 为气隙磁通密度，单位为 T； S 为吸力处的铁心截面积，单位为 m^2 。当 S 为常数时， F 与 B^2 成正比，也可认为 F 与气隙磁通 Φ 的二次方成正比，即

$$F \propto \Phi^2 \quad (1-2)$$

由于励磁电流的种类对吸力特性的影响很大，所以对交、直流电磁机构的吸力特性分别进行讨论。

① 直流电磁机构的吸力特性：对于具有直流电压线圈的电磁机构，在稳态时磁路对电路没有影响，可以认为线圈电流与磁路气隙 δ 的大小无关，只与线圈电阻和外加电压有关。因外加电压和线圈电阻不变，则通过线圈的电流为常数，根据磁路定律

$$\Phi = \frac{IN}{R_m} = \frac{IN}{\delta/(\mu_0 S)} = \frac{IN\mu_0 S}{\delta} \quad (1-3)$$

$$F \propto B^2 \propto \Phi^2 \propto \frac{1}{\delta^2} \quad (1-4)$$

即直流电磁机构的吸力 F 与气隙 δ 的二次方成反比，故吸力特性为二次曲线形状。吸力 F 与气隙 δ 的关系曲线，即函数 $F=f(\delta)$ 的曲线如图 1-2 所示。它表明衔铁闭合前后吸力变化很大，气隙越小吸力越大。

由于衔铁闭合前后励磁线圈的电流不变，所以直流电磁机构适用于动作频繁的场所，且吸合后电磁吸力大，工作可靠性高。

需要指出的是，当直流电磁机构的励磁线圈断电时，磁通势就由 IN 急速变为接近于零，电磁机构的磁通也发生相应的急剧变化，这会在励磁线圈中感生很大的反电动势。此反电动势可达到线圈额定电压的 10~20 倍，易使线圈因过电压而损坏。为此必须增加线圈放电回路，一般采用反并联二极管并加限流电阻来实现。

② 交流电磁机构的吸力特性：对于具有交流电压线圈的电磁机构，其吸力特性与直流电磁机构有所不同。设外加电压不变，交流吸引线圈的阻抗主要决定于线圈的电抗（电阻相对很小可忽略），则

$$U \approx E = 4.44f\Phi N \quad (1-5)$$

$$\Phi = \frac{U}{4.44fN} \quad (1-6)$$

当频率 f 、匝数 N 和电压 U 均为常数时， Φ 为常数，由式 (1-2) 可知， F 亦为常数，说明 F 与 δ 的大小无关。实际上由于漏磁通的存在， F 随着 δ 的减小略有增加。 F 与 δ 的变化关系如图 1-3 所示。

当气隙 δ 变化时，根据式 (1-3)， Φ 、 N 均为常量，则吸引线圈的电流 I 与气隙 δ 成正

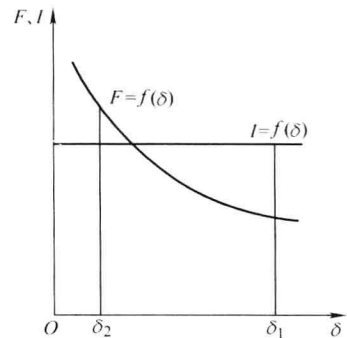


图 1-2 直流电磁机构的吸力特性

比。如忽略线圈电阻，则可近似地认为 I 与 δ 呈线性关系，图 1-3 给出了 $I=f(\delta)$ 的关系曲线。

从上述结论还可以看出：对于一般的交流电磁机构，在线圈通电而衔铁尚未吸合瞬间，电流将达到吸合后额定电流的几倍甚至十几倍。如果衔铁卡住不能吸合，或者频繁开合动作，就可能烧毁线圈。这就是可靠性高或频繁动作的控制系统采用直流电磁机构，而不采用交流电磁机构的原因。

2) 反力特性。电磁机构使衔铁释放的力主要是弹簧的反力（忽略衔铁自身质量），弹簧的反力 F 与气隙 δ 的关系曲线如图 1-4 中的曲线 3 所示。图中， δ_1 为电磁机构气隙的初始值； δ_2 为动、静触点开始接触时的气隙长度。由于超程机构的弹力作用，反力特性在 δ_2 处有一突变。

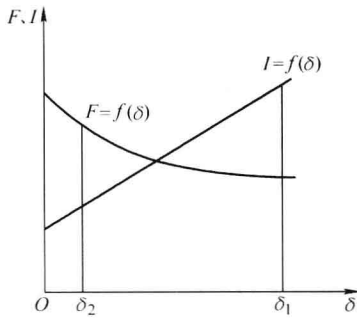


图 1-3 交流电磁机构的吸力特性

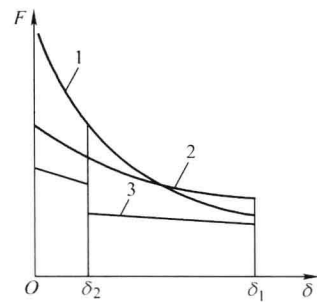


图 1-4 反力特性与吸力特性的配合关系

1—直流电磁机构的吸力特性

2—交流电磁机构的吸力特性 3—反力特性

3) 反力特性与吸力特性的配合。反力特性与吸力特性的配合关系如图 1-4 所示。欲使电磁衔铁可靠吸合，在整个吸合过程中，吸力需大于反力，这样才能保证执行机构可靠动作。反力特性曲线如图 1-4 中的曲线 3 所示，直流与交流电磁机构的吸力特性分别如曲线 1 和 2 所示。在 $\delta_1 \sim \delta_2$ 的区域内，反力随气隙减小略有增大。到达 δ_2 位置时，动触点开始与静触点接触，这时触点上的初压力作用到衔铁上，反力骤增，曲线突变。其后在 δ_2 到 0 的区域内，气隙越小，触点压得越紧，反力越大，线段较 $\delta_1 \sim \delta_2$ 段陡。为了保证吸合过程中衔铁能正常闭合，吸力在各个位置上必须大于反力，但也不能过大，否则衔铁吸合时运动速度过大，产生很大的冲击力，使衔铁与铁心柱面造成严重的机械磨损。此外，过大的冲击力有可能使触点产生弹跳现象，导致触点的熔焊磨损，会影响触点的使用寿命。反映在图 1-4 上就是要保证吸力特性在反力特性的上方且彼此靠近。上述特性对于有触点电磁式电器都适用。在使用中，常常调整反力弹簧或触点初压力以改变反力特性，就是为了让其与吸合特性良好配合。

对于单相交流电磁机构，由于磁通是交变的，当磁通过零时吸力也为零，吸合后的衔铁在反力弹簧的作用下将被拉开。磁通过零后吸力增大，当吸力大于反力时，衔铁又吸合。由于交流电源频率的变化，衔铁的吸力随每个周波二次过零，因而衔铁产生强烈振动与噪声，甚至使铁心松散。因此交流接触器铁心端面上都安装一个铜制的分磁环（或称短路环），使铁心通过两个在时间上不相同的磁通 Φ_1 和 Φ_2 ，矛盾就解决了，如图 1-5a 所示。

图 1-5a 中电磁机构的交变磁通穿过短路环所包围的截面，在环中产生电流，根据电磁

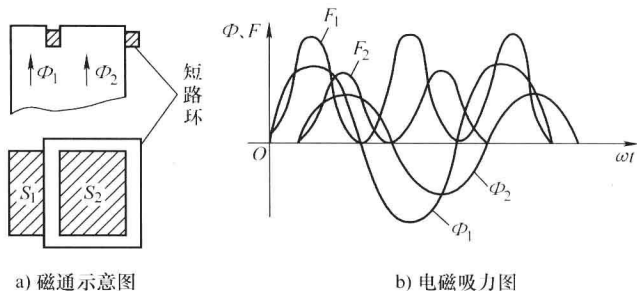


图 1-5 加短路环后的磁通和电磁吸力

感应定律，此电流产生的磁通 Φ_2 在相位上落后于截面 S_1 中的磁通 Φ_1 ，由 Φ_1 、 Φ_2 产生吸力 F_1 、 F_2 ，如图 1-5b 所示。作用在衔铁上的力是 $F_1 + F_2$ 的合力 F ，只要此合力始终超过其反力，衔铁的振动现象就消失了。

2. 触点

触点是电器的执行部分，用于接通和分断电路。触点主要由动触点和静触点组成。

其工作原理如下：当电磁机构中的衔铁与铁心吸合时，动触点在连动机构的带动下动作，动触点和静触点闭合或断开。

(1) 触点的接触形式

触点接触形式可分为 3 种，即点接触、线接触和面接触，如图 1-6 所示。

图 1-6a 所示为点接触，它由两个半球形触点或一个半球形与一个平面形触点构成。它常用于小电流的电器中，如接触器的辅助触点或继电器触点。

图 1-6b 所示为线接触，它的接触区域是一条直线。触点在通断过程中是滚动接触，如图 1-6d 所示。开始接触时静动触点在 A 点接触，靠弹簧压力经 B 点滚动到 C 点，断开时做相反运动。这样，可以自动清除触点表面的氧化膜，同时长期工作的位置不是在易烧灼的 A 点而是在 C 点，保证了触点的良好接触。这种滚动线接触多用于中等容量电器的触点，如接触器的主触点。

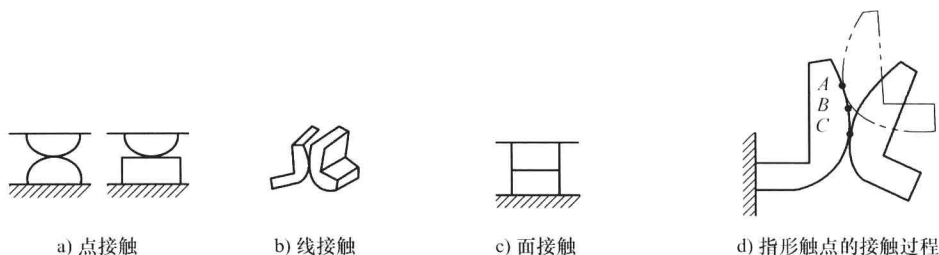


图 1-6 触点的接触形式

图 1-6c 所示为面接触，它可允许通过较大的电流。这种触点一般在接触面上镶有合金，以减小触点接触电阻和提高耐磨性，多用做较大容量接触器或断路器的触点。

(2) 触点的结构形式

触点的结构形式主要有单断点指形触点和双断点桥式触点。单断点式结构的触点是利用图 1-7c 所示的单个触点来分、合电路的。双断点式结构的触点是利用两个触点来分、合电路的，其结构如图 1-7a 和 1-7b 所示。两个动触点通过触桥相连，同时动作。