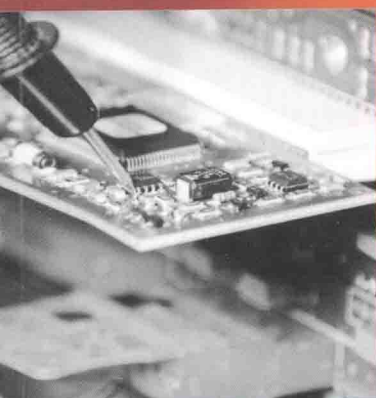




普通高等教育“十一五”国家级规划教材
普通高等教育机电类规划教材



Electrical Control and PLC

电气控制及PLC

第③版

周军 © 主编



机械工业出版社
CHINA MACHINE PRESS

普通高等教育“十一五”国家级规划教材
普通高等教育机电类规划教材

电气控制及PLC

第3版

主 编 周 军
副主编 王文红 史中权
参 编 李 奎



机械工业出版社

本书是普通高等教育“十一五”国家级规划教材。本书从工程实践的角度出发,强调宽基础、重应用,力争为学生今后的持续创造性学习打好基础。

全书内容分三大部分:第一部分主要介绍继电器—接触器控制系统的组成、工作原理及控制系统设计,内容涉及常用低压电器元件、电气控制系统电路图的构成及工作原理,典型设备电气控制系统分析,简单电气控制系统设计;第二部分介绍可编程控制器(PLC)及其在机械设备控制中的应用,内容涉及 PLC 的系统构成和工作原理,PLC 应用程序的设计与编制,应用计算机编程软件编制 PLC 应用程序的方法及应用,以及 FX_{IN}系列 PLC 和 PLC 控制系统的开发应用;第三部分简要介绍电动机调速系统,内容涉及直流调速系统和交流调速系统的构成及工作原理,分别介绍单闭环调速系统、无静差调速系统两类调速系统应用以及异步电动机的调速方法。

本书可作为普通高等院校机械设计制造及其自动化专业以及相近专业的教材,也可供相关专业工程技术人员参考。

图书在版编目(CIP)数据

电气控制及 PLC/周军主编. —3 版. —北京:机械工业出版社, 2015. 5
普通高等教育“十一五”国家级规划教材
ISBN 978-7-111-49729-5

I. ①电… II. ①周… 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(2015)第 056707 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:贡克勤 责任编辑:贡克勤 徐 凡

责任校对:张玉琴 封面设计:张 静

责任印制:李 洋

三河市宏达印刷有限公司印刷

2015 年 5 月第 3 版第 1 次印刷

184mm×260mm·12.75 印张·318 千字

标准书号:ISBN 978-7-111-49729-5

定价:28.00 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

服务咨询热线:010-88379833

机工官网:www.cmpbook.com

读者购书热线:010-88379649

机工官博:weibo.com/cmp1952

教育服务网:www.cmpedu.com

封面无防伪标均为盗版

金书网:www.golden-book.com

普通高等教育机电类规划教材编审委员会

主任委员：邱坤荣

副主任委员：左健民 周骥平

林 松 戴国洪

王晓天 丁 坤

秘 书：秦永法

委 员：（排名不分先后）

秦永法 朱龙英

丁 坤 余 皞

叶鸿蔚 李纪明

左晓明 郭兰中

乔 斌 刘春节

王 辉 高成冲

侯志伟 杨龙兴

张 杰 舒 恬

赵占西 黄明宇

序

进入 21 世纪以来,在社会主义经济建设、社会进步和科技飞速发展的推动下,在经济全球化、科技创新国际化、人才争夺白炽化的挑战下,我国高等教育迅猛发展,跨入了高等教育大众化阶段,使高等教育理念、定位、目标和思路等发生了革命性变化,逐步形成了以科学发展观和终身教育思想为指导的新的高等教育体系和人才培养工作体系。本套教材第 1 版就是在大批应用型本科院校和高等职业技术学院异军突起、超常发展之际,由我们组织扬州大学、南京工程学院、河海大学常州校区、淮海工学院、南通大学、盐城工学院、淮阴工学院、常州工学院、江南大学等 12 所高校编写的。据调查,用户反映良好,并反映这套教材基本上体现了我在序中提出的四个特点,符合地方应用型本科工科院校的教学实际,较好地满足了一般应用型本科工科院校的教学需要。用户的评价使我们很高兴,但更是对我们的鞭策和鼓励,我们应当为过去取得的进步和成绩而高兴,同样,我们更应当为今后这些进步和成绩的进一步发展而正视自己。我们并不需要刻意去忧患,但如果存在值得忧患的现实而不去忧患,就很难有更美好的明天。因此,我们在总结前一阶段经验教训的新起点上,坚持以国家新时期教育方针和科学发展观为指导,坚持高标准、严要求,坚持“质量第一、多样发展、打造精品、服务教学”的方针,坚持高标准、严要求,把下一轮机电类教材修订、编写、出版工作做大、做优、做精、做强,为建设有中国特色的高水平的地方应用型本科工科院校做出新的更大贡献。

一、坚持用科学发展观指导教材修订、编写和出版工作

应用型本科院校是我国高等教育在推进大众化过程中崛起的一种重要的办学类型,它除应恪守大学教育的一般办学基准外,还应有自己的

个性和特色，就是要在培养具有创新精神、创业意识和创造能力的工程、生产、管理、服务一线需要的高级技术应用型人才方面办出自己的特色和水平。应用型本科人才的培养既不能简单“克隆”现有的本科院校，也不能是原有专科培养体系的相似放大。应用型人才的培养，重点仍要思考如何与社会需求的对接。既要从学生的角度考虑，以人为本，以素质教育的思想贯穿教育教学的每一个环节，实现人的全面发展；又要从经济建设的实际需求考虑，多类型、多样化地培养人才，但最根本的一条还是坚持面向工程实际，面向岗位实务，按照“本科学历+岗位技术”的标准，有针对性地进行人才培养。根据这样的要求，“强化理论基础，提升实践能力，突出创新精神，优化综合素质”应当是工作在一线的本科应用型人才培养的基本特征，也是本科应用型人才培养的总体质量要求。

培养应用型人才的关键在于建立应用型人才培养模式，而培养模式的核心是课程体系与教学内容。应用型人才必须依靠应用型的课程和内容，用学科型的教材难以保证培养目标的实现。课程体系与教学内容要与应用型人才的知识、能力、素质结构相适应。在知识结构上，科学文化基础知识、专业基础知识、专业知识、相关学科知识等四类知识在纵向上应向应用前沿拓展，在横向上应注重知识的交叉、联系和衔接。在能力结构上，要强化学生运用专业理论解决实际问题的实践能力、组织管理能力和社会活动能力，还要注重思维能力和创造能力的培养，使学生思路清晰、条理分明，有条不紊地处理头绪纷繁的各项工作，创造性地工作。能力培养要贯彻到教学的整个过程之中。如何引导学生去发现问题、分析问题和解决问题应成为应用型本科教学的根本。

探讨课程体系、教学内容和培养方法，还必须服从和服务于大学生全面素质的培养。要通过形成新的知识体系和能力延伸促进学生思想道德素质、文化素质、专业素质和身体心理素质的全面提高。因此，要在素质教育的思想指导下，对原有的教学计划和课程设置进行新的调整和组合，使学生能够适应社会主义现代化建设的需要。我们强调培养“三创”人才，就应当用“三创教育”、人文教育与科学教育的融合等适应时代的教育理念，选择一些新的课程内容和新的教学形式来实现。

研究课程体系，必须看到经济全球化与我国加入世界贸易组织以及高等教育的国际化对人才培养的影响。如果我们的课程内容缺乏国际性，那么我们所培养的人才就不可能具备参与国际事务、国际交流和国

际竞争的能力。应当研究课程的国际性问题,增设具有国际意义的课程,加快与国外同类院校的课程接轨。要努力借鉴国外同类应用型本科院校的办学理念和培养模式、做法来优化我们的教学。

在教材编、修、审全过程中,必须始终坚持以人的全面发展为本,紧紧围绕培养目标和基本规格进行活生生的“人”的教育。一所大学使得师生获得自由的范围和程度,往往是这所大学成功和水平的标志。同样,我们修订和编写教材,提供教学用书,最终是为了把知识转化为能力和智慧,使学生获得谋生的手段和发展的能力。因此,在修订、编写教材过程中,必须始终把师生的需要和追求放在首位,努力提供教的方便和学的便捷,努力为教师和学生留下充分展示自己教和学的风格和特色的发展空间,使他们游刃有余,得心应手,还能激发他们的科学精神和创造热情,为教和学的持续发展服务。教师是课堂教学的组织者、合作者、引导者、参与者,而不应是教学的权威。教学过程是教师引导学生,和学生共同学习、共同发展的双向互促过程,因此,修订、编写教材对于主编和参加编写的教师来说,也是一个重新学习和思想水平、学术水平不断提高的过程,决不能丢失自我,决不能将“枷锁”移嫁别人,这里“关键在自己战胜自己”,关键在自己的理念、学识、经验和水平。

二、坚持质量第一,努力打造精品教材

教材是教学之本。大学教材不同于学术专著,它既是学术专著,又是教学经验的理性总结,必须经得起实践和时间的考验。学术专著的错误充其量只会贻笑大方,而教材之错误则会贻害一代青年学子。有人说:“时间是真理之父”,对于我们所编写的教材来说,时间是最严厉的考官。教材的再次修订,我们坚持高标准、严要求,用航天人员“一丝不苟”“一秒不差”的精神严格要求自己,确保教材的质量和特色。为此,必须采取以下措施:第一,高等教育的核心资源是一支优秀的教师队伍,必须重新明确主编和参加编写教师的标准和要求,实行主编负责制,把好质量第一关;第二,教材要从一般应用型本科工科院校实际出发,强调实际、实用、实践,加强技能培养,突出工程实践,内容适度简练,跟踪科技前沿,合理反映时代要求,这就要求我们必须严格把好教材修订计划的评审关,择优而用;第三,加强教材修订的规范管理,确保参编、主编、主审以及交付出版社等各个环节的质量和要求,实行环节负责制和责任追究制;第四,确保出版质量;第五,建立教材评价制度,奖优罚劣。对经过实践检验,用户反映好的教材要

不断修订再版, 切实培育一批名师编写的精品教材。出版的精品教材必须配有多媒体课件, 并逐步建立在线学习网站。

三、坚持“立足江苏、面向全国、服务教学”的原则, 努力扩大教材使用范围, 不断提高社会效益

下一轮教材修订工作, 必须加快吸收有条件、有积极性的外省市同类院校、民办本科院校、独立学院和有关企业参加, 以集中更多的力量, 建设好应用型本科教材。同时, 要相应调整编审委员会的人员组成, 特别要注意吸收省内外的优秀“双师型”教师和有关企业专家。

四、建立健全用户评价制度

要在使用这套教材的有关高校进行教材使用质量跟踪调查, 并建立网站, 以便快速、便捷、实时地听取各方面的意见, 不断修改、充实和完善教材编写和出版工作, 实实在在地为教师和学生提供精品服务, 实实在在地为培养高质量的应用型本科人才服务。同时也努力为造就一批应用型本科工科院校高素质、高水平的教师提供优良服务。

本套教材的编审和出版一直得到机械工业出版社、江苏省教育厅和各主编、主审和参加编写院校的大力支持和配合, 在此, 一并表示衷心感谢。今后, 我们应一如既往地更加紧密地合作, 共同为应用型本科工科院校的教材建设做出新的贡献, 为培养高质量的应用型本科人才做出新的贡献, 为建设有中国特色社会主义的应用型本科教育做出新的努力。

**普通高等教育机械工程及自动化专业
机电类规划教材编审委员会
主任 教授 邱坤荣**

本书是普通高等教育“十一五”国家级规划教材，适合作为普通高等工科院校机械设计制造及其自动化专业以及相近专业的教材。本书强调宽基础、重应用，按照应用型人才培养目标，突出实践能力的培养，力争为学生今后的持续创造性学习打好基础。本书内容由三大部分组成：第一部分为继电器-接触器控制系统，包括常用低压电器、控制电路基本环节和典型系统的分析及基本设计方法；第二部分为可编程序控制器（PLC）的原理、系统及编程，这部分增加了 PLC 介绍以及 PLC 控制系统开发应用的内容；第三部分为直流及交流调速系统简介。本书在内容上注意循序渐进，由浅入深，便于读者掌握基本控制原理和控制方法。本书注重概念的阐述，重视实用性，力求与实际相结合。本书前两部分属传统的“电气控制”和“PLC”，编写时注重了两者之间的联系。与同类教材相比，增加了第三部分，这部分内容简要介绍了有关直流、交流调速系统的基本知识，以便为后继课程打下基础，但由于学时的限制，内容只能尽量压缩，不足之处请读者指正。

本书由河海大学周军教授主编，并编写第九章、十章。第一、三章由王文红编写，第二、四章由李奎编写，第五~八章由史中权编写。张超、郝达飞等为本书的编写提供了帮助，在此表示衷心感谢。

由于编者水平有限，书中难免有遗漏和错误之处，敬请读者批评指正。

本书配有免费电子课件，欢迎选用本书作教材的老师登录 www.cmpedu.com 注册下载。

编 者

第2版

前 PREFACE

言

本书是普通高等教育“十一五”国家级规划教材，适合作为普通高等工科院校机械设计制造及其自动化专业以及相近专业生的教材。本书强调宽基础、重应用，按照应用型人才培养目标，突出实践能力的培养，力争为学生今后的持续创造性学习打好基础。本书内容由三大部分组成：第一部分为继电器—接触器控制系统，包括常用低压电器、控制电路基本环节和典型系统的分析及基本设计方法；第二部分为可编程序控制器（PLC）的原理、系统及编程，与初版相比，这部分增加了PLC介绍以及PLC控制系统开发应用的内容；第三部分为直流及交流调速系统简介。本书在内容上注意由浅入深，循序渐进，便于读者掌握基本控制原理和控制方法。本书注重概念的阐述，重视实用性，力求与实际相结合。本书前两部分属传统的“电气控制”和“PLC”，编写时注重了两者之间的联系。与同类教材相比，增加了第三部分，这部分内容简单介绍了有关直流、交流调速系统的基本知识，以便为后继课程打下基础，但由于学时的限制，内容只能尽量压缩，不足之处请读者指正。

本书配有电子教案，欢迎选用本书作教材的老师索取，索取邮箱13911506625@139.com

本书由江苏大学朱伟兴教授、南京航空航天大学赵东标教授主审，由河海大学周军教授担任主编，南京工程学院海心教授担任副主编。第一、二章由王文红编写，第四章由李奎编写，第三、五、六、七、八章由海心编写，第九、十章由史中权编写，第十一、十二章由周军编写。主审朱伟兴教授对本书提出了许多宝贵意见。此外，张超、郝达飞等为本书的编写提供了帮助，在此表示衷心感谢。

由于编者水平有限，书中肯定有遗漏和错误之处，敬请读者批评指正。

编 者



CONTENTS

序

第3版前言

第2版前言

第一章 常用低压电器	1
第一节 概述	1
第二节 常用控制类电器	6
第三节 常用保护类电器	23
习题与思考题	28
第二章 继电器—接触器控制电路基本环节	29
第一节 电路图的基本概念及绘制	29
第二节 三相异步电动机的基本结构、工作原理和机械特性	33
第三节 三相笼型异步电动机的直接起动与正反转控制电路	43
第四节 三相笼型异步电动机减压起动控制电路	47
第五节 三相笼型异步电动机的制动控制电路	51
第六节 三相笼型异步电动机有级变速控制电路	55
第七节 电液组合控制电路	58
第八节 其他功能控制电路	61
习题与思考题	66
第三章 典型机械设备电气控制系统分析	68
第一节 卧式车床的电气控制电路	69
第二节 组合机床的电气控制电路	73
习题与思考题	78
第四章 继电器—接触器控制系统设计	79
第一节 电气设计的主要内容	79
第二节 电动机的选择	81

第三节 电器控制电路的设计	83
第四节 电气控制系统设计实例	88
习题与思考题	92
第五章 可编程序控制器 (PLC) 基本原理	94
第一节 概述	94
第二节 可编程序控制器硬件构成及工作原理	102
习题与思考题	111
第六章 可编程序控制器应用程序	112
第一节 编程概述	112
第二节 可编程序控制器的指令系统	118
第三节 功能图、步进梯形图及步进指令	130
第四节 功能指令应用	141
习题与思考题	146
第七章 FX_{1N} 系列 PLC 及其编程软件	148
第一节 FX _{1N} 系列 PLC 介绍	148
第二节 FX _{1N} 系列 PLC 联机软件 SWOPC - FXGP/WIN - C 操作说明	152
第三节 GX Developer 编程软件	160
习题与思考题	162
第八章 PLC 控制系统的开发应用	163
第一节 PLC 控制系统设计的一般方法	163
第二节 PLC 控制系统开发应用举例	167
习题与思考题	174
第九章 直流调速系统	176
第一节 直流电动机的调速方法	176
第二节 性能指标	177
第三节 单闭环调速系统	179
第四节 无静差调速系统	180
第十章 交流调速系统	184
第一节 全控型功率电子器件	184
第二节 交流调速原理	185
第三节 异步电动机调速方法	186
参考文献	190

第一章

常用低压电器

第一节 概 述

一、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，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、起动器、主令电器等。主要用于电气传动系统，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：在完成接通、分断或使电动机起动、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的电器，如接触器、继电器、熔断器等。

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

4. 按其执行的机能分

按电器的执行机能可分为有触点电器和无触点电器。

二、低压电器的发展概况

低压电器的产生和发展是和电的发明和广泛应用分不开的，从按钮、刀开关、熔断器等最简单的低压电器开始，到多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。

建国以来,随着我国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。低压电器的品种也从少到多,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(International ElectroTechnical Commission, IEC)标准仍有一定的差距。

改革开放后,我国低压电器制造工业有了飞速的发展。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等都是国内 20 世纪 80 年代的更新换代产品,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 ABB 公司、AEG 公司及西门子公司、美国西屋公司、日本寺崎公司等引进了接触器、热继电器、起动器、断路器等先进的产品制造技术,并基本实现了国产化,使我国低压电器的产品质量有较大的提高。

当前,我国低压电器的发展仍在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。

本章主要介绍机械设备电气控制中经常用到的低压电器,着重介绍部分技术先进、符合 IEC 标准的电器产品,了解其结构、工作原理、用途、型号、图形符号及文字符号,为阅读和理解电气控制电路以及正确选择、使用这些器件打下基础。

三、电磁式低压电器的基本原理

低压电器按其工作原理可分为两大类:一类是非电量控制电器,其主要是通过外力做功直接作用于电器的操纵手柄,完成电路功能的切换;另一类是电磁式低压电器,其主要是利用电磁机构原理进行工作,由电磁机构(检测部分)、触点系统(执行部分)和灭弧装置三部分组成。低压电器中大部分为电磁式电器。

1. 电磁机构

(1) 电磁机构的结构形式

电磁机构由电磁线圈、铁心和衔铁三部分组成。按照衔铁的运动方式,电磁机构可分为直动式和拍合式两种,如图 1-1 所示。其中,图 c 为直动式,图 a、图 b 为拍合式。

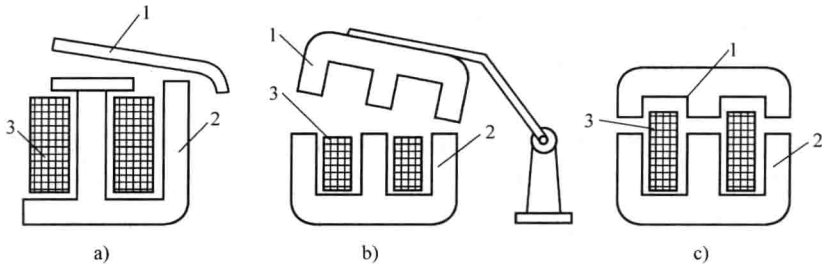


图 1-1 电磁机构示意图

1—衔铁 2—铁心 3—电磁线圈

电磁线圈通电后产生电磁吸力,衔铁在电磁吸力的作用下产生机械位移,与铁心吸合,从而带动触点系统吸合与断开。根据通入电磁线圈的电流种类不同,可分为直流电磁线圈和交流电磁线圈。

直流电磁线圈通电后,铁心中剩磁比较小,铁心不发热,所以线圈一般做成无骨架的瘦高

型,铁心和衔铁的材料为软钢或工程纯铁。交流电磁线圈通电后,铁心中有涡流和磁滞损耗,铁心发热,所以线圈做成有骨架的矮胖型,铁心材料为硅钢片,以减少涡流。

(2) 电磁机构工作原理

电磁线圈通电,线圈产生的磁通作用于衔铁,产生电磁吸力,电磁吸力大于弹性力,使衔铁闭合,复位时由复位弹簧将衔铁拉回原位。电磁机构的工作特性常用吸力特性和反力特性来表示。

吸力特性:电磁机构的电磁吸力 F 与触点气隙 δ 的关系曲线称为吸力特性。

电磁吸力可按下式求得:

$$F = 4 \times 10^5 B^2 S \quad (1-1)$$

式中, B 为气隙磁通密度; S 为磁极截面积。

当 S 为常数时,电磁吸力与气隙磁通密度 B 的二次方成正比,由于 $B = \Phi/S$,即 F 与气隙磁通 Φ 的二次方成正比。

对于交流电磁机构而言,若线圈外加电压 U 不变,则存在下式:

$$U \approx E = 4.44 f \Phi N \quad (1-2)$$

式中, U 为线圈外加电压; E 为线圈感应电动势; f 为电压频率; Φ 为气隙磁通; N 为线圈匝数。

当线圈外加电压 U 、电压频率 f 和线圈匝数 N 均为常数时,气隙磁通 Φ 也为常数,故电磁吸力也为常数,与气隙大小无关。

根据磁路定律

$$\Phi = IN/R_m \quad (1-3)$$

$$R_m = \delta/(\mu_0 S) \quad (1-4)$$

所以

$$\Phi = \mu_0 INS/\delta \quad (1-5)$$

式中, Φ 为气隙磁通; I 为线圈电流; N 为线圈匝数; R_m 为磁阻; δ 为气隙; μ_0 为真空磁导率。

由于气隙磁通保持不变,所以交流电磁机构的线圈电流与气隙大小成正比关系。

交流电磁机构的吸、反力特性和电流曲线如图 1-2 所示。

图 1-2 中 δ_2 为动、静触点起始位置的气隙; δ_1 为动、静触点接触时的气隙,考虑到漏磁通的影响, F 会随着气隙的减小略有增加,而电流随着气隙的减小而按比例减小。

对于直流电磁机构而言,由于外加电压 U 和线圈电阻不变,所以电流 I 为常数,根据磁路定律,磁通 Φ 与气隙 δ 成反比关系,所以 $F \propto \Phi^2 \propto 1/\delta^2$,直流电磁机构的吸、反力特性和电流曲线如图 1-3 所示。

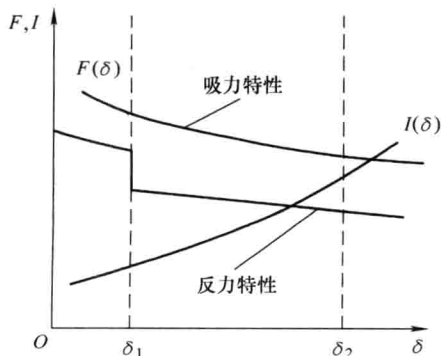


图 1-2 交流电磁机构的吸、反力特性和电流曲线

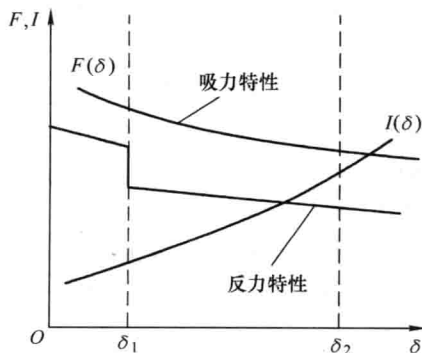


图 1-3 直流电磁机构的吸、反力特性和电流曲线

反力特性：电磁系统的反作用力与气隙的关系曲线称为反力特性。电磁机构的反作用力包括弹簧拉力、衔铁自身重力和摩擦力等。由图 1-2 和图 1-3 可以看出，交直流电磁机构的反力特性基本相同，即由起始位置气隙 δ_2 减小到触点接触时的气隙 δ_1 过程中，反作用力随着气隙减小而增大，到达 δ_1 位置时，反作用力会突然增大。这是由于触点对接铁的初压力造成的，在气隙由 δ_1 到 0 的区域内，气隙越小，触点压得越紧，反作用力越大，其曲线比 δ_2 到 δ_1 阶段要陡。

由图 1-2 中可以看出，交流电磁机构吸合时，起动电流大，吸力大，动作快；吸合后，保持电流小，功耗小，但吸力与反力差值较小，容易受振动等影响。吸合时的电流约为保持时电流的 6~15 倍。

由图 1-3 中可以看出，直流电磁机构在吸合过程中吸力始终大于反力，且气隙越小，吸力越大。保持时，吸力与反力差值较大，因此吸合牢固，但功耗较大。

在快速频繁动作的回路中，一般选用直流电磁机构而不选择交流电磁机构，这是因为从吸力特性分析：在吸合过程中，直流电磁机构电流恒定，而交流电磁机构的起动电流比保持电流大得多（U 形铁心 $I_{吸} = 5 \sim 6I_{保}$ ，E 形铁心 $I_{吸} = 10 \sim 15I_{保}$ ），频繁动作易使平均电流大于额定工作电流，散热条件不满足时，可能烧毁元件，所以选用直流电磁机构。

短路环：在交流电磁机构的铁心截面上，需要设置一个短路环，如图 1-4 所示。

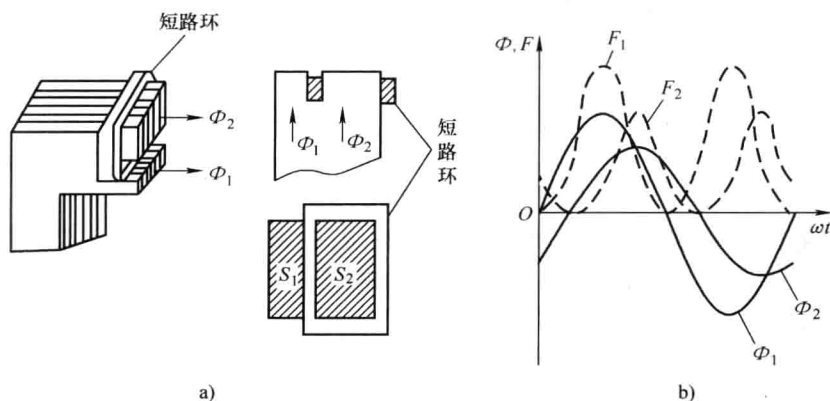


图 1-4 交流电磁机构的短路环

a) 结构示意图 b) 电磁吸力图

由于交流电磁机构中铁心的磁通是交变的，故当磁通为零时，电磁吸力也为零，吸合后的衔铁会在反作用下复位，当磁通过零后，电磁吸力又会慢慢增大，使得衔铁被重新吸合。随着铁心中磁通的交变，电磁吸力也会产生交变，从而使衔铁产生强烈振动和噪声，要想消除振动和噪声，必须使电磁吸力始终大于反力。

设置短路环后，如图 1-4 所示，铁心截面被分为 S_1 和 S_2 两部分，当交变磁通穿过截面积 S_2 并在环中产生涡流时，根据电磁感应定律，此涡流产生的磁通 Φ_2 在相位上落后于截面积 S_1 中的磁通 Φ_1 ，电磁机构的吸力是由磁通 Φ_1 和 Φ_2 分别产生的吸力 F_1 和 F_2 的合力，如图 1-4b 所示。由于此合力始终大于其反力，所以衔铁的振动和噪声得以消除。

2. 触点系统

触点是电磁式低压电器的执行部分，用以接通或断开被控制电路。

触点按其控制的电路可分为主触点和辅助触点，主触点主要用于控制主电路，允许通过较大的电流，辅助触点用于通断辅助电路或控制电路，只允许通过较小电流。

触点按其原始状态可分为常开触点和常闭触点。所谓原始状态即线圈未通电时触点所处状态,线圈通电后闭合的触点称为常开触点,常用于接通电路。线圈通电后断开的触点称为常闭触点,常用于切断电路。

触点按其接触形式可分为点接触、线接触和面接触,触点的三种位置状态分别为完全断开、恰好接触和完全接触,如图 1-5 所示。

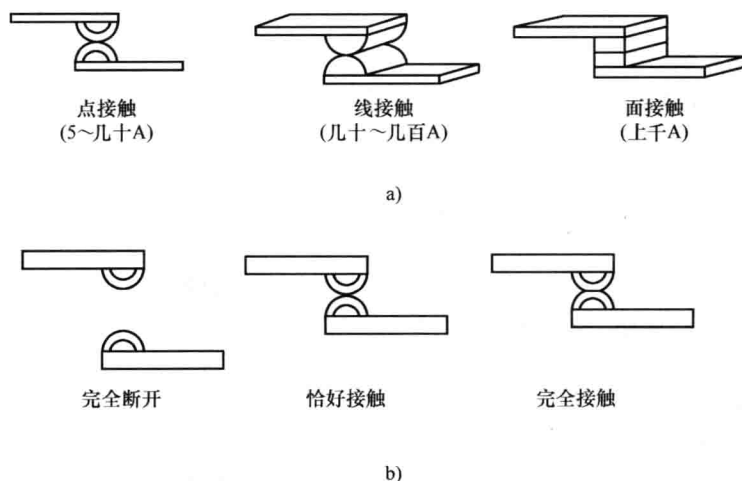


图 1-5 触点的接触形式和位置

a) 触点的形式 b) 触点的三个位置

触点按其结构形式可分为桥式触点和指式触点,其结构如图 1-6 所示,图 a、图 b 为桥式触点,其接触形式可以为点接触或面接触,点接触桥式触点多用于辅助触点或继电器触点,面接触桥式触点适用于大电流,如大容量接触器的主触点。桥式触头的材料主要为银铜合金。图 c 为指式触点,其接触形式为线接触,接触的过程是滚动摩擦,适用于通断中等大小的电流,如接触器主触点。指式触点的材料主要为黄铜。

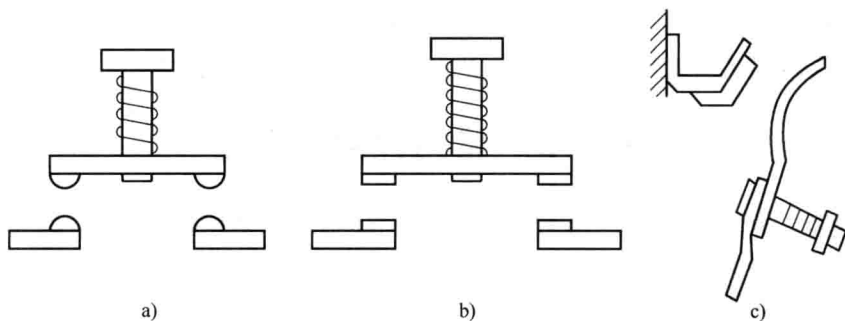


图 1-6 触点的结构形式

a)、b) 桥式触点 c) 指式触点

3. 灭弧系统

电路电压超过 10 ~ 12V、电流超过 80 ~ 100mA 时,断开瞬时,在断开的两个触点之间将出现强烈的电火花,称为电弧。