

· 工学结合
· 理实一体
· 强化技能
· 面向就业

高等职业教育自动化类专业规划教材·技能实训系列

电气控制 及 变频技术应用

◎ 宁秋平 马宏蹇 主 编

◎ 时敬波 徐 宁 副主编

<http://www.phei.com.cn>



电子工业出版社
PUBLISHING HOUSE OF ELECTRONICS INDUSTRY

高等职业教育自动化类专业规划教材·技能实训系列

电气控制及变频技术应用

宁秋平 马宏骞 主 编
时敬波 徐 宁 副主编

電子工業出版社

Publishing House of Electronics Industry

北京·BEIJING

内 容 简 介

《电气控制及变频技术应用》是高职电气自动化技术专业的一门专业核心课，除了介绍电气控制技术以外，还介绍了当今流行的 PLC 技术和变频器技术等，重在使学生掌握多学科的综合知识与基本技能，具备电气控制系统的设计、安装与调试的综合应用能力。本书以多个实用项目为例，详细介绍了电气控制技术及其应用，内容包括常用低压电器的认识、电气控制基本环节训练、典型机床电气控制训练、PLC 的认识、PLC 编程训练、PLC 应用实践、变频器的认识、变频器操作训练和变频器应用实践。

本书突出了工程实用性，力求降低教材内容的难度，做到通俗易懂，图文并茂，使教材既适合高职学生使用，也可供相关专业工程技术人员参考。

未经许可，不得以任何方式复制或抄袭本书之部分或全部内容。

版权所有，侵权必究。

图书在版编目 (CIP) 数据

电气控制及变频技术应用/宁秋平, 马宏骞主编. —北京: 电子工业出版社, 2012.8

高等职业教育自动化类专业规划教材·技能实训系列

ISBN 978-7-121-17694-4

I. ①电… II. ①宁… ②马… III. ①电气控制—高等职业教育—教材②变频器—高等职业教育—教材
IV. ①TM921.5②TN773

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2012) 第 166077 号

策划编辑: 王昭松

责任编辑: 王昭松

印 刷: 北京季蜂印刷有限公司

装 订: 三河市鹏成印业有限公司

出版发行: 电子工业出版社

北京市海淀区万寿路 173 信箱 邮编 100036

开 本: 787×1 092 1/16 印张: 17 字数: 435.2 千字

印 次: 2012 年 8 月第 1 次印刷

印 数: 4 000 册 定价: 32.00 元

凡所购买电子工业出版社图书有缺损问题, 请向购买书店调换。若书店售缺, 请与本社发行部联系, 联系及邮购电话: (010) 88254888。

质量投诉请发邮件至 zltz@phei.com.cn, 盗版侵权举报请发邮件至 dbqq@phei.com.cn。

服务热线: (010) 88258888。

前 言

秉承新加坡南洋理工学院创建的教学工厂理念，以“工作过程导向”为主线，采取项目式的教学方法来编写《电气控制及变频技术应用》教材，在教学过程中努力构建技能培养体系，训练内容按照国家职业技能鉴定规范执行，是高职教育在专业教材建设方面的尝试，是符合现代高职教育理念、提高高职教育水平的积极创新。

《电气控制及变频技术应用》作为高职电气自动化技术专业核心课的教材，从高职教育的实际出发，注重理论联系实际，力求通俗易懂、深入浅出，突出实际应用环节。本书以常用低压电器为载体，以基本电气控制线路为核心，力求使学生懂得电气设备的结构和原理，会选用和使用常用低压电器，能维修和维护电气设备。

本教材依据维修电工职业技能鉴定规范编写，力图反映电气控制领域的新技术和新产品，在内容取材及安排上具有以下特点：

(1) 本教材以常用低压电器、可编程控制器及变频器作为项目式教学的内容，注重每一种电器的分析与应用，强化学生的工程意识，既让学生懂得工作原理，又培养学生解决实际问题的能力。

(2) 为便于学生理解，对电气控制系统的故障和排除均配以典型实例。每个项目的开篇均提出了知识目标与技能目标；正文中的“课堂（现场）讨论”、“工程经验”、“工程要求”、“工程实际问题”及“实训故障现象及分析”等具有很高的工程实用性。

(3) 在教学内容上，以“实际、实用、实践”为原则，“讲、练、考”相结合，重在对器件的认识和操作；以能力为本位，注重技术应用训练，以应用为特色。

(4) 在实训内容的安排上，以“重基础、快上手、强能力”为原则，以电气控制基本环节和典型产品为操作对象，进行单项技能训练，培养学生实际工作能力。每个项目实训都是相对完整的工作过程，着重突出工艺要领与操作技能，以保证学生真正掌握技能。

通过本课程的学习将使学生具备电气控制及变频技术领域的相关知识，具备从事相关岗位的基本技能。

本教材既强调基础知识，又力求体现新知识、新技术和新产品，教学内容与国家职业技能鉴定规范相结合。在编写体例上采用新的形式，简洁的文字表述加上大量的实物图片，直观明了。书中注重理论和实践的结合，为学生提供了有实用价值的技能和技巧训练，相信会对提高学生的技能和开拓学生的视野有所帮助。

本课程的教学时数为 60 学时，各项目的参考教学课时如下：

项 目	项 目 内 容	课 时 分 配	
		讲 授	实 践 训 练
1	常用低压电器的认识	2	3
2	电气控制基本环节训练	2	12

续表

项 目	项 目 内 容	课 时 分 配	
		讲 授	实践训练
3	典型机床电气控制训练	3	6
4	PLC 的认识	1	2
5	PLC 编程训练	2	10
6	PLC 应用实践	1	4
7	变频器的认识	1	2
8	变频器操作训练	2	3
9	变频器应用实践	1	3
合计		15	45

本书由辽宁机电职业技术学院的宁秋平、马宏骞担任主编，辽宁机电职业技术学院的时敬波、沈阳航空职业技术学院的徐宁担任副主编。全书共包括 9 个项目，其中项目 1、项目 3 由宁秋平老师编写，项目 2、项目 4 由徐宁老师编写，项目 5、项目 6 由马宏骞老师编写，项目 7~项目 9 由时敬波老师编写。

由于作者水平所限，书中不妥之处在所难免，敬请兄弟院校的师生给予批评和指正。请您把对本书的建议告诉我们，以便修订时改进。意见和建议请寄往：E-mail: zkx2533420@163.com。

作 者

2012 年 4 月

目 录

模块一 常规电气控制技术

项目 1 常用低压电器的认识	(1)
1.1 低压电器基础知识	(2)
1.1.1 低压电器的定义及分类	(2)
1.1.2 低压电器的电磁系统	(4)
1.1.3 低压电器的触点系统	(7)
1.1.4 低压电器的电弧	(9)
1.2 刀开关	(12)
1.3 组合开关	(14)
1.4 自动开关	(15)
1.5 熔断器	(19)
1.6 主令电器	(24)
1.7 接触器	(32)
1.7.1 交流接触器	(32)
1.7.2 直流接触器	(33)
1.7.3 接触器的型号和主要技术参数	(34)
1.7.4 接触器的选用	(37)
1.7.5 接触器的运行维护	(38)
1.8 继电器	(39)
1.8.1 电磁式继电器	(39)
1.8.2 时间继电器	(42)
1.8.3 热继电器	(46)
1.8.4 速度继电器	(49)
实训 1 低压电器的认识	(50)
实训 2 交流接触器的拆装	(54)
习题 1	(56)
项目 2 电气控制基本环节训练	(61)
2.1 电气控制系统图	(62)
2.2 电气装配工艺要求	(65)
实训 3 三相笼形异步电动机的直接启动控制	(67)
实训 4 三相笼形异步电动机的减压启动控制	(80)
实训 5 三相笼形异步电动机的制动控制	(84)
习题 2	(89)

项目 3 典型机床电气控制训练	(92)
3.1 机床电气控制系统的分析方法	(93)
3.2 机床电气控制系统的故障检查	(93)
实训 6 CA6140 型车床电气线路的安装训练	(97)
实训 7 X62W 型万能铣床电气线路的安装训练	(103)
习题 3	(113)

模块二 PLC 控制技术应用

项目 4 PLC 的认识	(114)
4.1 PLC 基础知识	(115)
4.1.1 PLC 概述	(115)
4.1.2 PLC 的结构	(115)
4.1.3 PLC 的工作原理	(118)
4.1.4 PLC 的编程语言	(119)
4.1.5 PLC 的性能指标	(120)
4.1.6 PLC 的分类	(121)
4.2 松下 FP1 系列 PLC 的认识	(121)
4.3 FPWIN-GR 编程软件的使用	(126)
4.3.1 FPWIN-GR 编程软件简介	(126)
4.3.2 FPWIN-GR 编程软件的基本操作	(126)
实训 8 PLC 的认识与编程软件的操作训练	(135)
习题 4	(138)
项目 5 PLC 编程训练	(140)
5.1 PLC 的内部资源	(141)
5.2 梯形图的结构规则	(145)
5.2.1 梯形图的特点	(145)
5.2.2 梯形图的绘制规则	(146)
5.2.3 梯形图的常用图形符号	(148)
5.3 PLC 的指令系统	(148)
5.3.1 基本指令	(148)
5.3.2 高级指令	(149)
实训 9 PLC 的基本顺序指令编程	(150)
实训 10 PLC 的基本功能指令编程	(165)
实训 11 PLC 的高级指令编程	(177)
习题 5	(183)
项目 6 PLC 应用实践	(186)
6.1 PLC 的安装	(187)
6.2 PLC 的抗干扰措施	(188)
6.3 PLC 的维护	(188)
6.4 PLC 的故障诊断与排除	(189)

6.5 PLC 的选择	(196)
6.6 节省 PLC 输入/输出点数的方法	(197)
6.5.1 减少 PLC 输入点数的方法	(198)
6.5.2 减少 PLC 输出点数的方法	(202)
实训 12 四层站电梯的 PLC 控制	(203)
习题 6	(210)

模块三 变频调速技术应用

项目 7 变频器的认识	(212)
7.1 变频技术概述	(213)
7.1.1 变频技术的应用	(213)
7.1.2 变频器的发展过程及发展方向	(213)
7.2 变频器的结构	(214)
7.2.1 外形结构	(214)
7.2.2 接口结构	(215)
7.2.3 变频器的面板	(220)
7.3 变频器的额定值和频率指标	(221)
7.4 变频器的分类及应用	(222)
实训 13 变频器的认识实训	(223)
习题 7	(225)
项目 8 变频器操作训练	(227)
8.1 变频器的工作原理	(228)
8.2 PWM 控制技术	(230)
8.3 变频器的功能与预置	(232)
8.3.1 变频器的功能码	(232)
8.3.2 变频器的功能预置	(237)
实训 14 变频器的设置实训	(238)
实训 15 变频器的操作实训	(239)
习题 8	(245)
项目 9 变频器应用实践	(247)
9.1 变频器的安装	(248)
9.2 变频调速系统的调试	(249)
9.3 变频器的抗干扰措施	(250)
9.4 变频器的检查与维修	(251)
9.4.1 变频器的检查	(251)
9.4.2 变频器的维修	(254)
实训 16 工业变频洗衣机的控制实训	(257)
习题 9	(262)
参考文献	(263)

模块一 常规电气控制技术

项目 1 常用低压电器的认识

知识目标

- (1) 了解常用低压电器的基础知识。
- (2) 掌握低压电器的工作原理及用途。
- (3) 掌握常用低压电器的参数、图形符号及文字符号。

技能目标

- (1) 认识低压电器的外形结构，能正确识读铭牌。
- (2) 能对低压电器进行检测、校验及接线。
- (3) 能排除低压电器的简单故障。

我们要学些什么？

电能的利用是第二次工业革命的主要标志，从此人类社会进入了电气时代。在电气技术领域，低压电器作为基本器件，广泛应用于输配电系统和电力拖动系统中，它对电能的生产、输送、分配及应用起着控制、检测、调节和保护的作用。随着科学技术的发展，机电设备的自动化程度不断提高，低压电器的使用范围也日益扩大，其品种规格不断增加，同时，电子技术也广泛应用于低压电器中。作为电气技术人员必须熟练掌握低压电器的结构和工作原理，并能正确选用和维护低压电器。

本项目主要介绍低压电器的分类、结构、工作原理、型号、接线及用途，学习并掌握这些知识，便可正确选择、使用及维护各种低压电器。

1.1 低压电器基础知识

1.1.1 低压电器的定义及分类

1) 低压电器的定义

电器是一种能根据外界的信号和要求,手动或自动地接通或断开电路,实现断续或连续地改变电路参数,以达到对电路或非电对象的控制、切换、保护、检测、变换和调节作用的电气设备。按国家标准规定,低压电器通常是指用于交流电压 1200V、直流电压 1500V 及以下的电路中起通断、保护、控制或调节作用的电器。

2) 低压电器的分类

低压电器种类繁多,尤其近年来随着科技的不断发展,制造工艺的不断提高,出现了许多功能强大、用途广泛、工作原理各异、构造各异的低压电器,因而有很多的分类方法,最常用的分类方法是按用途和工作原理分类。

(1) 按用途分类。

① 低压配电电器。低压配电电器指的是用于低压配电电路中,对电路及设备进行保护及通断、转换电源和负载的电器,包括隔离开关、刀开关、转换开关和自动开关等。其主要技术要求是工作可靠,有足够的热稳定性和动稳定性,在系统发生故障的情况下保护动作准确。

② 低压控制电器。低压控制电器指的是用于控制受电设备使其达到预期要求的工作状态的电器,包括接触器、控制继电器、启动器和电磁铁等。其主要技术要求是工作可靠、寿命长及操作频率高等。

③ 主令电器。主令电器指的是用于自动控制系统中发送控制指令的电器,包括控制按钮、行程开关和万能转换开关等。

④ 保护电器。保护电器指的是用于保护电路、电源及负载的电器,如熔断器、热继电器、过电流继电器和欠电流继电器等。

(2) 按工作原理分类。

① 电磁式电器。电磁式电器主要依据电磁感应原理来工作,其核心部件是电磁线圈和触点,属于自动电器,依靠本身的参数变化或外来信号的作用自动完成电路的接通、分断等动作,包括接触器、继电器等。

② 电子式电器。电子式电器是全部或部分由电子器件构成的电器,包括各种电量与非电量的信号检测电器,可实现软启动和综合保护的电动机启停控制器,电动机的短路、断相、漏电保护继电器,自动开关半导体脱扣器,按电动机电流值控制的 Y-D 自动转换器及各种晶闸管开关等。

③ 非电量控制电器。非电量控制电器主要依靠外力或某些非电物理量的变化而动作,从而完成电路的接通、分断等动作,包括速度继电器、压力继电器、温度继电器、按钮、刀开



关和转换开关等。

3) 低压电器的主要技术参数

(1) 额定电压。额定电压分为额定工作电压 U_e 、额定绝缘电压 U_i 和额定脉冲耐受电压 U_{imp} 3 种。

① 额定工作电压 U_e 。额定工作电压是与额定工作电流共同决定使用类别的一种电压。对于多相电路，此电压指的是相间电压，即线电压。

② 额定绝缘电压 U_i 。额定绝缘电压是与介电性能试验、爬电距离（电器中具有电位差的相邻两导电物体间沿绝缘体表面的最短距离，也称漏电距离）相关的电压，在任何情况下都不低于额定工作电压。

③ 额定脉冲耐受电压 U_{imp} 。额定脉冲耐受电压是反映电器当其所在系统发生最大过电压时所耐受的能力。额定绝缘电压和额定脉冲耐受电压共同决定了电器的绝缘水平。

(2) 额定电流。额定电流分为额定工作电流 I_e 、约定发热电流 I_{th} 、约定封闭发热电流 I_{the} 和额定不间断电流 I_u 。

① 额定工作电流 I_e 。额定工作电流是指在规定的条件下保证电器正常工作的电流值。

② 约定发热电流 I_{th} 和约定封闭发热电流 I_{the} 。约定发热电流和约定封闭发热电流是电器处于非封闭和封闭状态下，按规定条件试验时，其部件在 8h 工作制下的温升不超过极限值所能承载的最大电流。

③ 额定不间断电流 I_u 。额定不间断电流是指电器在长期工作制下，各部件温升不超过极限值所能承载的电流值。

(3) 操作频率与通电持续率。开关电器每小时内可能实现的最高操作循环次数称为操作频率。通电持续率是电器工作于断续工作制时，有载时间与工作周期之比，通常以百分数表示。

(4) 通断能力和短路通断能力。通断能力是开关电器在规定的条件下，能在给定电压下接通和分断的预期电流值。短路通断能力是开关电器在规定的条件下，包括其出线端短路在内的接通和分断能力。此外，接通能力和分断能力可能相等，也可能不相等。

(5) 机械寿命和电寿命。开关电器的机械部分在需要修理或更换机械零件前所能承受的无载操作循环次数称为机械寿命。在规定的正常工作条件下，开关电器的机械部分无须修理和更换零件的负载循环操作次数称为电寿命。

4) 低压电器的主要技术指标

为保证电器设备安全可靠地工作，国家对低压电器的设计、制造规定了严格的标准，合格的电器产品符合国家技术标准规定的技术要求，在使用电器元件时，必须按照产品说明书规定的技术条件选用。低压电器的主要技术指标有以下几项。

(1) 绝缘强度。绝缘强度是指电器元件的触点处于分断状态时，动、静触点之间耐受的电压值（无击穿或闪络现象）。低压电器应能承受所规定的各项相关条件，如使用场所的海拔高度、电器的使用电压、电器触点的开距及交流 50Hz 耐压试验。

(2) 耐潮湿性能。耐潮湿性能是指保证电器可靠工作的允许环境潮湿条件。低压电器在型式试验中都要按耐潮湿试验周期条件进行考核。电器经过几个周期试验，其绝缘水平应不

低于前项要求的绝缘水平。

(3) 极限允许温升。电器的导电部件通过电流时将引起发热和温升，极限允许温升是指为防止过度氧化和烧熔而规定的最高温升值。低压电器的内部零部件由多种材质制成，电器运行中的温升对这些不同材质的零部件会产生一定的影响，如温升过高会影响正常工作，降低绝缘水平及使用寿命。为此，低压电器要按照零部件的材质、使用场合的海拔高度及不同的工作制，规定电器内各零部件的允许温升。

(4) 操作频率。操作频率是指电气元件在单位时间内（1h）允许操作的最高次数。

(5) 寿命。寿命包括电寿命和机械寿命两项指标。电寿命是指电气元件的触点在规定的电路条件下，正常操作额定负荷电流的总次数。机械寿命是指电气元件在规定的使用条件下，正常操作的总次数。

(6) 安全类别。低压电器安全类别与电气主要接线中使用位置级别有关。低压电器安全类别共分4级，分别是I级信号水平级、II级负载水平级、III级配电及控制水平级和IV级电源水平级。

5) 低压电器选择的基本要求

- ① 低压电器的额定电压与所在回路的额定电压相适应。
- ② 低压电器的额定电流应大于或等于所控制回路的预期工作电流。电器还应承载异常情况下可能流过的电流。保护装置应能在其允许的持续时间内将电器切断。
- ③ 低压电器的额定频率必须与所在电源回路的频率相适应。
- ④ 低压电器应根据所在场所的环境进行选择。
- ⑤ 低压电器应满足短路条件下的动稳定和热稳定。断开短路电流的电器，应满足短路条件下的通断能力。

1.1.2 低压电器的电磁系统

低压电器一般由两个基本部分组成，即感受机构和执行机构。感受机构感受外界信号的变化，做出有规律的反应；而执行机构则是根据指令信号，执行电路的通、断控制。

在各种低压电器中，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，感受机构是电磁系统，执行机构是触点系统及灭弧系统。

电磁系统是电磁式电器的感受机构，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。

1) 电磁系统的结构

电磁系统由线圈、铁芯（静铁芯）和衔铁（动铁芯）3部分组成，常见的电磁系统有3种形式，如图1.1所示。

如图1.1(a)所示为衔铁沿轴转动的拍合式，其铁芯形状有E形和U形两种。这种形式多用于触点容量较大的交流电器中。

如图1.1(b)所示为衔铁沿棱角转动的拍合式。这种形式广泛用于直流继电器和直流接触器中。



如图 1.1 (c) 所示为衔铁直线运动的双 E 形直动式铁芯。这种形式多用于交流接触器、交流继电器及其他交流电磁结构的电磁系统中。

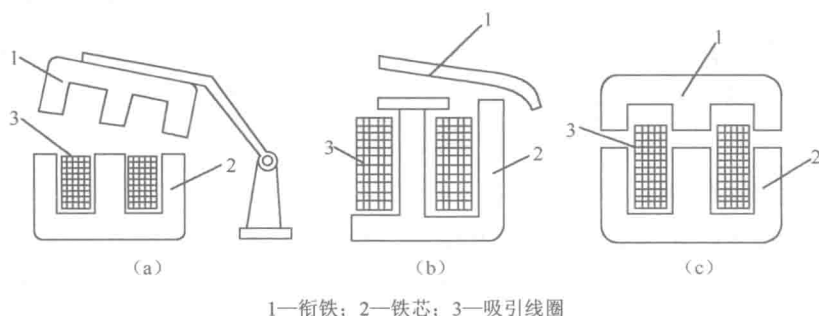


图 1.1 常见的电磁系统结构形式

2) 电磁系统的工作原理

当给线圈通以适当的电流时，就会产生对应的磁场，磁通 Φ 通过铁芯、衔铁和工作气隙形成闭合回路，从而产生电磁吸力，在电磁吸力的作用下将衔铁吸向铁芯。与此同时，衔铁的运动受到反力弹簧的拉力，只有当电磁吸力大于弹簧反力时衔铁才能可靠地被铁芯吸住，称为衔铁吸合。而电磁系统的衔铁是与触点系统连在一起的，当衔铁吸合时，使触点系统一起动作，触点闭合或断开，从而实现对电路控制的目的。当线圈断电时，衔铁在弹簧力的作用下回到初始位置，称为衔铁复位。当衔铁复位时，触点系统也随之复位。

课堂讨论

课堂讨论

问题 1: 比较图 1.2 中的 (a) 图和 (b) 图，你能区分出哪一个为直流电磁系统？哪一个为交流电磁系统吗？

结论: 直流电磁系统的衔铁和铁芯均由软钢或工程纯铁制成，因其铁芯不发热，只有线圈发热，所以直流电磁系统的线圈不设线圈骨架，线圈与铁芯直接接触，且把线圈做成高而薄的细长形。图 1.2 (a) 中的线圈没有骨架，且外形细长，据此可判定其为直流电磁系统。而交流电磁系统的线圈多做成短粗形，且用骨架将线圈与铁芯隔开，这是因为，交流电磁系统的铁芯存在铁损耗，铁芯和线圈都发热，据此可判定图 1.2 (b) 为交流电磁系统。

问题 2: 在电磁系统吸合过程中，如果衔铁和铁芯之间（气隙）长时间卡入异物，如图 1.3 所示，对电磁系统有何影响？

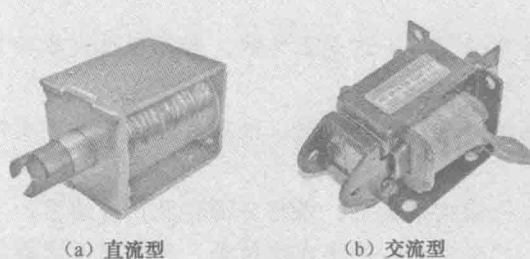


图 1.2 电磁系统实物图

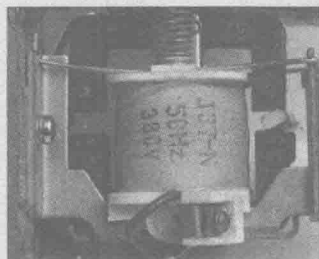
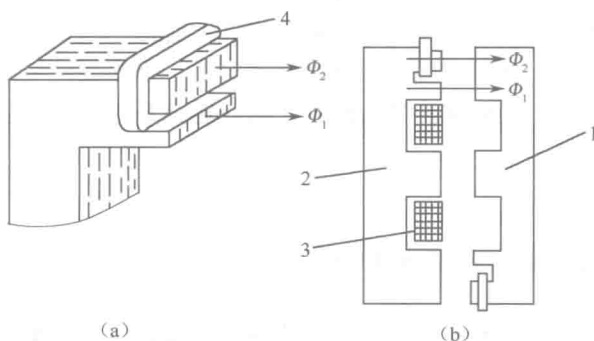


图 1.3 电磁系统卡入异物

结论：对于直流电磁系统，线圈励磁电流的大小仅与线圈的电阻有关，与衔铁的吸合过程无关，所以气隙中卡入异物时对直流电磁系统无影响。对于交流电磁系统，线圈励磁电流的大小主要取决于线圈的感抗，正常情况下在电磁铁吸合过程中，随着气隙的减小，磁阻减小，线圈的感抗增大，励磁电流减小，即励磁电流的大小是随着气隙的改变而变化的。如果气隙中卡入异物，磁阻变大，线圈的感抗减小，励磁电流增大，过电流时间稍长就可能烧毁线圈。

3) 电磁系统的短路环

由于交流电磁系统铁芯中的磁通是交变的，当线圈中通以交变的电流时，在铁芯中产生的磁通 Φ_1 也是交变的，对衔铁的吸力时大时小。当磁通过零时，电磁吸力也为零，吸合后的衔铁在复位弹簧的反力作用下将被拉开；当磁通过零后，电磁吸力又开始增大，当吸力大于反力时，衔铁又被吸合。这样造成衔铁产生振动，同时还产生噪声，甚至使铁芯松散。如果在铁芯端面上安装一个铜制的短路环，如图 1.4 所示，交变磁通 Φ_1 的一部分穿过短路环，在环中产生感应电流，产生磁通，与环中的磁通合成为 Φ_2 。 Φ_1 和 Φ_2 相位不同，也即不同时为零，这样就使得线圈电流和铁芯磁通 Φ_1 为零时，环中产生的磁通不为零，仍然能将衔铁吸住，衔铁就不会产生振动和噪声了。



1—衔铁；2—铁芯；3—线圈；4—短路环

图 1.4 交流电磁系统的短路环

工程经验

CONGCHENGJINGYAN

电磁系统的故障及维修

故障现象 1：铁芯噪声大。

电磁系统在工作时发生一种轻微的“嗡嗡”声，这是正常的，若声音过大或异常，可判断电磁机构出现了故障。

故障原因 1：衔铁与铁芯的接触面接触不良或衔铁歪斜。铁芯与衔铁经过多次撞击后端面会变形和磨损。

处理方法：拆卸电磁结构，用细砂布平铺在平板上，修复变形和磨损的端面。

故障原因 2：衔铁与铁芯的接触面上积有尘垢、油污或锈蚀等，造成相互间接触不良而产生振动和噪声。



处理方法：拆卸电磁结构，清洗铁芯端面。在重新组装时，铁芯中柱和衔铁之间应留有0.1~0.2mm的气隙。

故障原因 3：如图 1.5 所示，铁芯经过多次碰撞后，装在铁芯槽内的短路环可能会出现断裂或脱落，短路环断裂常发生在槽外的转角和槽口部分。

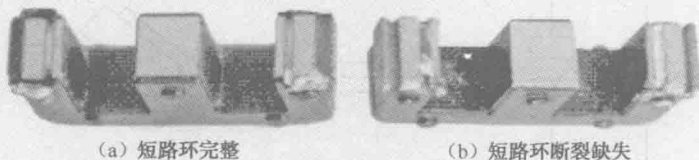


图 1.5 短路环故障

处理方法：将断裂处焊牢，两端用环氧树脂固定；若不能焊接，也可更换短路环或铁芯；当短路环跳出时，可直接将短路环压入槽内。

故障原因 4：触点压力过大或活动部分运动受卡阻，使铁芯不能完全吸合，都会产生较强的振动和噪声。

处理方法：调节触点压力弹簧，检查衔铁运动是否机械受阻。

故障现象 2：线圈烧毁。

故障原因 1：衔铁与铁芯不能完全吸合，使线圈电流增大，线圈过热，甚至烧毁。

处理方法：检查衔铁运动是否机械受阻。

故障原因 2：线圈绝缘损坏或受机械损伤而形成匝间短路，或对地短路，在线圈局部就会产生很大的短路电流，使温度剧增，直至使整个线圈烧毁。

处理方法：如果短路的匝数不多，短路又在接近线圈的端头处，可拆去已损坏的几圈，其余的可继续使用，这时对电器工作性能的影响不会很大。

故障原因 3：线圈电源电压偏低，造成线圈过热而烧毁。

处理方法：更换线圈电源，将其调整为合适的电压等级。

故障原因 4：操作频率过高，造成线圈过热而烧毁。

处理方法：尽可能地降低操作频率。

1.1.3 低压电器的触点系统

触点是直接用来接通或断开被控电路的部件。触点系统中通常有静止不动的静触点和可以运动实现闭合与分断的动触点。在复位状态下，即常态时，静触点和动触点处于断开状态的触点称为常开触点或常开接点；反之，如果静触点和动触点处于闭合状态，则称为常闭触点或常闭接点。

1) 触点的结构

触点的结构有 3 种形式，分别是点接触、线接触和面接触，如图 1.6 所示。

如图 1.6 (a) 所示为点接触结构，它由两个半球形触点或一个半球形触点和一个平面触点构成。触点的通断过程为直线运动，接触区域为一个点。点接触型触点常用于通断小电流。

如图 1.6 (b) 所示为面接触结构，它由两个圆柱体组成，其接触区域是一个平面。触点的通断过程为直线运动。面接触型触点多用于大容量场合。

如图 1.6 (c) 所示为线接触结构，该触点又称为指形触点，其接触区域是一条直线。触点在闭合或打开的过程中是靠弹簧压力实现滚动接触的。

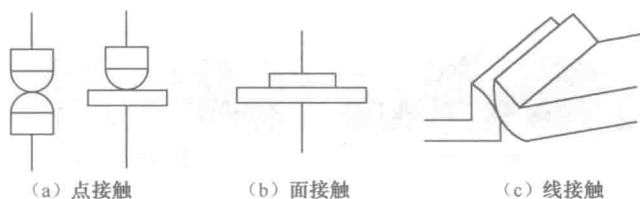


图 1.6 触点的 3 种结构形式

2) 触点的运动

触点系统的运动过程如图 1.7 所示。由于触点表面不平和氧化层的存在，两触点的接触处总有一定的接触电阻，为了减小接触电阻并保证触点能够可靠接触，必须在触点间施加一定的压力。在装配时，使弹簧对动触点先施以一定的压力 F_1 （称为初压力）；当动触点刚刚与静触点接触时，就将初压力传递到静触点上；当衔铁与铁芯完全闭合后，动触点进一步运动并最终与静触点闭合。触点在这一段的运动距离称为触点的超行程。在超行程内，弹簧继续受压变形而产生的压力称为终压力 F_2 。超行程可以保证当触点有振动或触点有些磨损的情况下仍能可靠地接触。

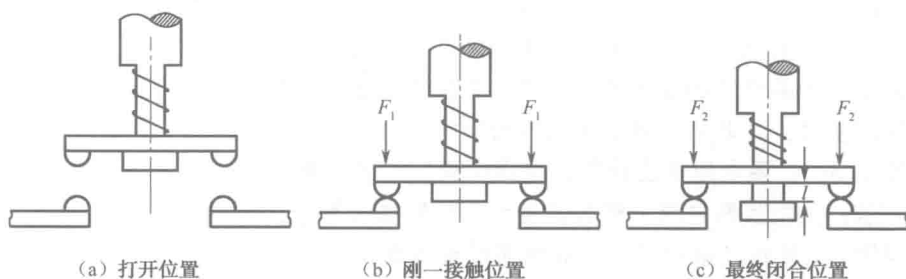


图 1.7 触点系统的运动过程

工程经验

【GONGCHENGJINGYAN】

触点系统的故障及维修

故障现象 1: 触点过热。

当触点有电流通过时便会发热，正常情况下触点是不会过热的。当动、静触点接触电阻过大或通过电流过大时，就会引起触点过热。当触点温度超过允许值时，会使触点特性变坏，甚至产生熔焊。

故障原因 1: 通过触点的电流过大。造成触点电流过大的原因有：系统电压过高或过低、用电设备超载运行、触点容量选择不当和故障运行等。

处理方法: 检查电源电压，监测负载电流；更换大容量的触点；排除系统故障。



故障原因 2: 动、静触点间的接触电阻变大。造成接触电阻变大的原因有：一是因触点压力弹簧失去弹力而造成压力不足或触点磨损变薄；二是触点表面接触不良，例如在运行中，粉尘、油污覆盖在触点表面，加大了接触电阻；再如，触点闭合分断时，因有电弧会使触点表面灼伤，致使接触点触面残缺不平和接触面积减小。

处理方法: 更换弹簧或触点；用棉花浸汽油或四氯化碳清洗触点接触面；用刮刀或细锉修正被灼蚀的触点，去除毛刺和氧化层，使接触面恢复光亮平整。在修磨触点时，切记不要刮削太过，以免影响使用寿命，同时不要使用砂布或砂轮修磨，以免石英砂粒嵌入触点表面，反而影响触点的接触性能。

故障现象 2: 触点磨损。

故障原因 1: 由于触点间电火花或电弧的高温使触点金属气化等原因造成的电气磨损。

处理方法: 采取灭弧措施，减少电气磨损。当剩下厚度为原厚度的 1/2 左右时，应更换新触点。

故障原因 2: 由于触点闭合时的撞击及触点接触面滑动摩擦等原因造成的机械磨损。

处理方法: 减少触点的动作频率；调节触点反力弹簧的压力。

故障现象 3: 触点熔焊。

动、静触点表面被熔化后焊在一起而分断不开的现象，称为触点的熔焊。当触点闭合时，由于撞击和产生振动，在动、静触点间的小间隙中产生电弧，其温度高达 3000~6000℃，可使触点表面被灼伤或熔化，使动、静触点焊在一起。

故障原因: 发生触点熔焊的原因有：触点容量选用太小、负载电流过大、操作频率过高及弹簧压力减小等。

处理方法: 触点熔焊后，只能更换新触点；如果因触点容量不够而产生熔焊，则应选用容量大一些的电器。

1.1.4 低压电器的电弧

1) 电弧的产生

电弧的形成过程是：在高热和强电场（当触点间刚出现断口时，由于两触点间的距离很小，故产生很大的电场强度）的作用下，金属内的自由电子从阴极表面逸出，奔向阳极；同时，这些自由电子在电场中做高速运动时要撞击中性气体分子，使之激励和游离，产生离子和电子，而后者在强电场的作用下继续向阳极移动，并撞击其他中性分子。这样，在触点间隙中产生了大量的带电粒子、正负离子和电子，从而使气体导电，形成了炽热的电子流，即电弧。

2) 电弧的危害

电弧的存在对电器和电路都会造成不良的后果。如果在触点打开时产生电弧，就会使要断开的电路实际上并没有及时断开而影响控制的准确性；电弧产生的高温会使触点氧化和烧灼，严重时，电弧向四周喷溅也会损坏电器和其他设备，甚至造成短路事故。