

高等职业技能操作与实训教材

电气技术工程

陆 晋 主编



Chemical Industry Press



化学工业出版社
教材出版中心

高等职业技能操作与实训教材

电气技术工程

陆 晋 主编

李金伴 主审



化学工业出版社
教材出版中心

· 北 京 ·

本书主要包括低压电器、电动机及其拖动控制、可编程控制器、变压器和用电系统的配线与安装,同时结合企业中中级工岗位的实际需求,着重加强实际动手能力、应用理论分析问题和解决问题能力的培养。

本书在内容上力求做到理论与实际相结合,从实际出发,结合生产实践,加强基础,面向工程,突出实用性,注重能力培养。在编写过程中,力求由浅入深,通俗易懂,概念清楚,注重针对性和系统性,反映了电工专业的新技术、新内容。

本书可作为高等院校、中等职业学校、技工学校学生的学习用书,也可作为中级电工培训用书,还可供有关工程技术人员自学用。

图书在版编目(CIP)数据

电气技术工程/陆晋主编. —北京:化学工业出版社,
2006.3

高等职业技能操作与实训教材
ISBN 7-5025-8464-1

I. 电… II. 陆… III. 电气设备 IV. TM

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2006)第 025638 号

高等职业技能操作与实训教材

电气技术工程

陆 晋 主编

李金伴 主审

责任编辑:张建茹 陈 丽

责任校对:李 林

封面设计:潘 峰

*

化学工业出版社 出版发行

教材出版中心

(北京市朝阳区惠新里3号 邮政编码 100029)

购书咨询:(010)64982530

(010)64918013

购书传真:(010)64982630

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

*

新华书店北京发行所经销

大厂聚鑫印刷有限责任公司印刷

三河市前程装订厂装订

开本 850mm×1168mm 1/32 印张 12 字数 349 千字

2006 年 5 月第 1 版 2006 年 5 月北京第 1 次印刷

ISBN 7-5025-8464-1

定 价:22.00 元

版权所有 违者必究

该书如有缺页、倒页、脱页者,本社发行部负责退换

前 言

为了配合全面开展的中职培训,提高电工队伍的技术素质和实际操作能力,便于在工作中理论与实际相结合,根据2000年3月国家劳动和社会保障部发布的就业准入的相关职业(工种),组织编写了职业技能操作与实训教材。

本教材在内容上力求做到理论与实际相结合,从实际出发,结合生产实践,加强基础,面向工程,突出实用性,在能力培养等方面下功夫。在教材的编写过程中,力求由浅入深,通俗易懂,概念清楚,注意针对性和系统性,反映了电工专业的新技术、新内容。

本教材的主要内容包括低压电器、电动机、可编程控制器、变压器和用电系统的配线与安装,结合企业中级工岗位的实际,加强实际动手能力、应用理论分析问题和解决问题能力的培养。

本教材可选作中级电工培训用书,也可作为高等职业技术学院、中等职业学校、技工学校学生的学习参考书,还可供有关工程技术人员自学用。

本书由陆晋任主编。第一章由汪建敏编写,第二章由陆晋、朱爱国编写,第三章由陆晋编写,第四章由陆晋、王绍娟编写,第五章由陆晋编写。江苏大学电气工程学院李金伴教授担任主审,主审对本教材的大纲、内容进行了仔细的指导和审阅,提出了许多宝贵的修改意见。同时,在编写的过程中得到了许多同志的关心和支持,特在此向他们表示衷心的感谢。

本教材在编写中,编者参考了大量的书刊和相关资料,在书后列出了一些主要参考文献,在此向这些书刊的作者和资料的提供者表示衷心的感谢。

由于编者水平有限，加之时间仓促，书中的内容难免有不妥之处，恳请读者提出批评和改进意见。

编 者
2006 年 5 月

目 录

第一章 低压电器	1
第一节 概述.....	1
第二节 低压电器的基本知识.....	3
第三节 常用低压电器	16
第四节 常用低压电器的故障及检修	61
第二章 电动机及其拖动控制	73
第一节 电力拖动系统的动力学基础	73
第二节 直流电动机	86
第三节 三相异步电动机	95
第四节 常用电动机的安装运行.....	113
第五节 电动机的保护、常见故障及检修.....	120
第六节 电动机的基本控制电路.....	131
第三章 可编程序控制器	152
第一节 概述.....	152
第二节 PLC 的特点和主要功能	158
第三节 PLC 的基本组成和各部分的作用	161
第四节 PLC 的基本工作原理	163
第五节 PLC 的输入/输出单元	168
第六节 PLC 的几种编程语言	171
第七节 FX 系列 PLC 系统.....	175
第八节 FX 系列 PLC 编程软件 (Fxpwin)	204
第九节 PLC 系统的设计、安装维护及应用举例	211
第十节 PLC 控制系统应用举例	216
第四章 变压器	222
第一节 变压器的基础知识.....	222
第二节 变压器的构造.....	227

第三节	变压器的工作原理	232
第四节	变压器的运行特性	237
第五节	几种常见变压器	240
第六节	变压器的极性、联结组别和测量	256
第七节	变压器的运行	262
第八节	变压器油的作用及主要性能	266
第九节	变压器的容量选择、运行检查与检修	268
第十节	电力变压器的试验	271
第十一节	小型变压器的制作	278
第十二节	配电变压器的安装	287
第十三节	变压器常见故障的查找	297
第五章	用电系统的配线与安装	304
第一节	导线及电缆	304
第二节	室内外配线的方式和要求	313
第三节	室内外配线施工的一般要求	322
第四节	导线的施工工艺	327
第五节	绝缘子、线夹、铝片线卡配线	336
第六节	槽板、电缆配线	342
第七节	线管配线	354
第八节	常用电气设备的配线	365
附录	三菱 FX 系列 PLC 指令一览表	370
参考文献		376

第一章 低压电器

第一节 概 述

电器是所有电工器械的简称。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路参数，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械称为电器。

按中国现行标准规定，低压电器通常是指工作在交流 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、低压电器的发展概况

中国低压电器是从 20 世纪 50 年代开始起步的，至今已有近 50 年的历史。期间经历了全面仿苏（前）、自行设计、更新换代、技术引进和跟踪国外新产品等几个时期。在设计水平、新技术应用和检测技术等方面取得了巨大的成就。

20 世纪 50 年代初，中国低压电器行业基本上是生产仿前苏联的产品，50 年代末期至 60 年代中期才逐步转为生产自行设计产品，设计生产出低压断路器、接触器等 12 大类几百种产品，这一代产品为中国低压配电和控制系统的发展起了重要的作用。

改革开放以来，低压电器制造工业的发展迅速。至“七五”末（1987 年前后），低压电器已发展到 600 多个系列，1200 多个品种，数万种规格。1981 年开始，上海人民电器厂、上海电器陶瓷厂和上海华通开关厂等从德国 BBC 公司、AEG 公司和美国西屋公司引进了 ME 系列低压断路器、B 系列交流接触器、K 系列中间继电器、T 系列继电器和 MSB 系列电磁启动器等产品制造技术，基本上实现了国产化，甚至有的产品还远销到国外。

目前，中国低压电器的发展正向着更高层次迈进，按照国际标准积极开发、研制新产品，提高传统电器产品的性能，发展机电一体化产品，并提出了高性能、高可靠、小型化、多功能、组合化、模块化、电子化和智能化的要求，这将是今后相当时间内，低压电器的重要发展方向之一。

二、低压电器的应用

在由低压供电系统和用电设备等组成的电路中，低压电器起着控制、调节、转换、通断和保护的作用。无论是工矿企业、农林牧副渔和交通运输业，还有国防军事部门，都需要大量的各种各样的低压电器。随着科学技术的发展，生产过程中电气自动化水平在不断提高，电能的应用越来越广泛。对电能的生产、输送、分配及使用起控制、调节、检测、转换和保护作用的电器也越来越多，性能也越来越好，应用也日益广泛。

低压电器是电力拖动控制系统的基本组成元件，主要用于对电动机进行控制、调节和保护。在低压配电电路中或动力装置中，低压电器主要用于对电路和设备进行保护以及通断、转换电源或负载。

控制系统的优劣与所用低压电器性能有直接关系。作为电气工程技术人員，必须熟悉常用低压电器的结构、原理，掌握其使用与维护等方面的知识，为后续内容的学习奠定基础。

三、低压电器的发展趋势

随着国民经济、电力事业和现代工业自动化的发展，对低压电器提出了更多、更新的要求，这些要求就决定了中国低压电器的发展趋势。

1. 实现低压电器产品智能化

将微处理器技术运用于低压电器中，可以实现低压电器的高性能、多功能和智能化。

2. 实现低压电器产品通信化

低压配电系统的网络化，要求大力发展有通信功能的低压电器。

3. 实现低压电器产品模块化、组合化

模块化使电器制造过程简化，这种电器可根据需要任意组

合，拆装迅速。组合化使不同功能的电器组合于一体，电器结构变得紧凑，减少线路中所需元件品种，并使保护特性得到良好配合。

4. 提高低压电器产品分断能力和限流性能

新的灭弧系统和限流技术，将会实现低压开关电器“无飞弧”。

5. 提高低压电器产品的可靠性

随着自动控制系统的大型化，一个系统所用的元件越来越多，所以元件的可靠性就越来越重要。

6. 开展基础理论研究，应用计算机辅助设计、制造和试验新产品

基础理论研究有电触头、电弧、电磁系统计算方法和电磁系统结构等。要求新产品具有较高的综合性、可靠性和智能化，在设计时可借助计算机选出最佳方案。

第二节 低压电器的基本知识

一、低压电器的分类

低压电器种类繁多，功能各样，构造各异，用途广泛。分类方法很多，通常有如下分类。

(一) 按控制对象分

1. 低压配电电器

主要用于低压配电系统中，它对电路及设备进行保护以及通断、转换电源或负载。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，使电器不致被损坏。属于这一类的电器有刀开关、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，在电力拖动、自动控制系统和用电设备中，它控制设备使其达到预期的工作状态。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。

(二) 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、继电器等。

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。

（三）按电器执行功能分

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，即电器通断电路的执行功能由触点来实现。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，即电器通断电路的执行功能根据输出信号的逻辑电平来实现。如接近开关、霍尔开关、电子式时间继电器等。

3. 混合电器

有触点和无触点结合的电器。

（四）按应用场合分

1. 一般用途低压电器

也称为基本系列低压电器，在正常工作条件下工作。这类电器用于电力系统、冶金企业、机器制造业以及其他工业的配电系统、电力拖动系统及自动控制系统。

2. 矿用低压电器

具有防爆功能，适用于含煤尘、甲烷等爆炸性气体的环境。

3. 化工用低压电器

具有防腐功能，适用于有腐蚀性气体和粉尘的场所。

4. 船用低压电器

具有耐颠簸、振动和冲击功能，能在很大的倾斜条件下工作，而且耐潮湿，能抵抗盐雾和霉菌的侵蚀。

5. 牵引低压电器

常用于电力机车、其工作环境温度较高，能耐倾斜、振动和冲击。

6. 航空低压电器

能在任何位置上可靠地工作，耐冲击和振动，而且体积小、重量轻。

（五）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、直流接触器，各种电磁式继电器、电磁铁等。

2. 非电量控制电器

依靠外力或非电量信号（如速度、压力、温度等）的变化而动作的电器。如转换开关、行程开关、速度继电器、压力继电器、温度继电器等。

（六）按用途分

1. 控制电器

用于各种控制电路和控制系统的电器。例如，接触器、控制器、启动器等。

2. 主令电器

用于自动控制系统中发送控制指令的电器。例如，控制按钮、主令控制器、行程开关等。

3. 保护电器

用于保护电路及用电设备的电器。例如，熔断器、热继电器、避雷器等。

4. 配电电器

用于电能输送和分配的电器。例如，隔离开关、刀开关、低压断路器。

5. 执行电器

用于完成某种动作或传动功能的电器。例如，电磁铁、电磁离合器等。

二、低压电器额定工作制及正常工作条件

（一）额定工作制

正常情况下，电器的额定工作制有以下几类。

1. 8h 工作制

电器的导电电路通以一稳定电流（对有触点的电器，其触点保持闭合；具有操作线圈的电器必须通电），通电时间足够长以达到

热平衡，但超过 8h 必须分断。

2. 不间断工作制（又称长期工作制）

没有空载期的工作制，电器的载流回路通以稳定电流，而且通电时间超过 8h 也不分断。

3. 短时工作制

有载时间与空载时间互相交替，且前者比后者短的工作制，其通电时间不足以使电器达到热平衡，而两次通电时间间隔却足以使电器温度恢复到等于环境温度。

4. 断续周期工作制（又称反复短时工作制）

有载时间与空载时间循环交替，且有一定比值。由于循环周期很短，以至于使电器不能达到热平衡。

（二）正常工作条件

① 周围空气温度为 $-5 \sim +40^{\circ}\text{C}$ （有外壳的电器，是指外壳周围的空气温度），24h 内其平均值不超过 $+35^{\circ}\text{C}$ 。

② 安装地点的海拔不超过 2000m。

③ 安装地点的空气最高温度 $+40^{\circ}\text{C}$ 时，其相对湿度不超过 50%，对由于温度变化而发生在产品上的凝露情况，必须采取措施。

④ 用来确定电气间隙和爬电距离的微观环境污染等级可分为四级。

污染等级 1：无污染或仅有干燥的非导电性的污染。

污染等级 2：一般情况仅有非导电性污染，但必须考虑到偶然由于凝露造成短暂的导电性。

污染等级 3：有导电性污染，或由于预期的凝露使干燥的非导电性污染变为导电性的。

污染等级 4：造成持久性的导电性污染。例如由于导电尘埃或雨雪所造成的污染。

工业用电器一般选取用于污染等级为 3 级的环境，家用和类似用途电器一般选取用于污染等级为 2 级的环境。

三、低压电器的主要技术参数

由于电路工作电压或电流等级不同，通断频繁程度不同，负载的性质不同等原因，必须对电器提出不同的技术要求，从而使电器

有不同的使用类别，保证电器能可靠地接通和分断电路。

（一）使用类别

按国标 GB 2455—85 规定，将控制电路主触点和辅助触点的标准使用类别列于表 1-1 中。

表 1-1 控制电器触点的标准使用类别

触点	电流种类	使用类别	典型用途举例
主触点	交流	AC-1	无感或微感负载、电阻炉；
		AC-2	绕线转子异步电动机的启动、分断；
		AC-3	笼型异步电动机的启动、运转分断；
		AC-4	笼型异步电动机的启动、反接制动、反向、点动
辅助触点	直流	DC-1	无感或微感负载、电阻炉；
		DC-3	并励电动机的启动、点动与反接制动；
		DC-5	串励电动机的启动、点动与反接制动
辅助触点	交流	AC-11	控制交流电磁铁；
		AC-14	控制小容量 $\leq 72\text{VA}$ 的电磁铁负载；
		AC-15	控制容量 $> 72\text{VA}$ 的电磁铁负载
辅助触点	直流	DC-11	控制直流电磁铁；
		DC-13	控制直流电磁铁，即电感与电阻的混合负载；
		DC-14	控制电路中有经济电阻的直流电磁铁负载

（二）额定工作电压和额定工作电流

1. 额定工作电压

额定工作电压是指在规定条件下，能保证电器正常工作的电压值。一般指触点额定电压值。电磁式电器还规定了电磁线圈的额定工作电压。

2. 额定工作电流

额定工作电流是根据电器的具体使用条件确定的电流值，它和额定电压、电网频率、额定工作值、使用类别、触点寿命及防护参数等因素有关，同一个开关电器使用条件不同，工作电流值也不同。

（三）通断能力

通断能力以控制规定的非正常负载时所能接通和断开的电流值来衡量。接通能力是指开关闭合时不会造成触点熔焊的能力。断开能力是指开关断开时能可靠灭弧的能力。

(四) 寿命

低压电器的寿命包括机械寿命和电寿命。机械寿命是电器在无电流情况下能操作的次数；电寿命是指按所规定使用条件不需修理或更换零件的负载操作次数。

四、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，执行机构则是触点系统及灭弧系统。

(一) 电磁系统结构及工作原理

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，从而带动触点动作，实现对电路的通、断控制。

电磁系统由铁芯、衔铁和线圈三部分组成。其作用原理是：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。

电磁式电器分为直流和交流两大类。直流电磁铁铁芯由整块铸铁铸成，而交流电磁铁的铁芯是用硅钢片叠成的，以减小铁损（磁滞损耗加涡流损耗）。

实际应用中，由于直流电磁铁仅有线圈发热，所以线圈匝数多、导线细，制成细长型，且不设线圈骨架，线圈与铁芯直接接触，利于线圈的散热。而交流电磁铁由于铁芯和线圈均发热，所以线圈匝数少、导线粗，制成短粗型，吸引线圈设有骨架，且铁芯与线圈隔离，利于铁芯和线圈的散热。

(二) 电磁系统的吸力特性和反力特性

电磁机构的工作特性常用吸力特性和反力特性来表示。吸力特性是指电磁机构使衔铁吸合的力与气隙的关系曲线。反力特性是指电磁机构使衔铁释放（复位）的力与气隙的关系曲线。

1. 吸力特性

电磁机构的吸力特性随电磁线圈电流种类（交流或直流）、线

圈连接方式（串联或并联）的不同而不同。其近似计算公式为

$$F = [1/(2\mu_0)] B^2 S \quad (1-1)$$

式中 F ——电磁吸力, N;

B ——气隙磁通密度, T;

S ——吸力处的铁芯截面积, m^2 ;

μ_0 ——空气导磁系数。 $\mu_0 = 1.25 \times 10^{-6} \text{ H/m}$ 。

当铁芯截面积 S 为常数时, 电磁吸力 F 与磁通密度 B 的平方成正比, 也可认为电磁吸力 F 与气隙磁通 Φ 的平方成正比, 即

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

(1) 交流电磁机构的吸力特性 对于具有电压线圈的交流电磁机构, 设线圈的外加电压 U 不变, 则

$$U \approx E = 4.44 f N \Phi \quad (1-3)$$

式中 U ——线圈外加电压;

E ——线圈感应电势;

f ——电压频率;

N ——线圈匝数;

Φ ——气隙磁通。

当频率 f 、匝数 N 和外加电压 U 都为常数时, 磁通 Φ 也为常数。由式 (1-2) 知电磁吸力 F 也为常数, 说明电磁吸力 F 与气隙 δ 的大小无关。实际上, 考虑到漏磁通的影响, 吸力 F 随气隙 δ 的减小略有增加。图 1-1 所示为交流电磁机构的吸力特性。

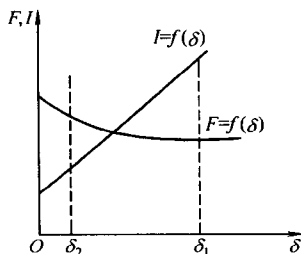


图 1-1 交流电磁机构的吸力特性

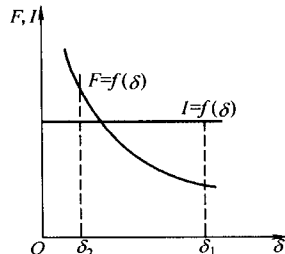


图 1-2 直流电磁机构的吸力特性

通常 U 形交流电磁机构, 在线圈通电而衔铁尚未吸合时, 电流可达到吸合后额定电流的 5~6 倍; E 形电磁机构则可达到额定

电流的 10~15 倍。如果衔铁卡住不能吸合，或者频繁动作，线圈可能因为过电流而烧毁。所以在可靠性要求高或操作频繁的场所，一般不采用交流电磁机构。

(2) 直流电磁机构的吸力特性 对于具有电压线圈的直流电磁机构，因外加电压和线圈电阻不变，则流过线圈的电流为常数，由磁路定律 $\Phi = IN/R_m$ 和式 (1-2) 可知 (式中 R_m 为气隙磁阻)，此时

$$F \propto \Phi^2 \propto 1/R_m^2 \propto 1/\delta^2 \quad (1-4)$$

由式 (1-4) 可知，直流电磁机构的电磁吸力 F 与气隙 δ 的平方成反比。图 1-2 所示为直流电磁机构的吸力特性。它表明衔铁闭合前后电磁吸力变化很大，气隙越小，电磁吸力越大。由于电磁线圈的电流不变，所以直流电磁机构适用于动作频繁的场所，且吸合后电磁吸力较大，工作可靠性好。

当直流电磁机构的电磁线圈断电时，由于磁通急剧变化，因而在线圈中会感应很大的反电动势，其值可达线圈额定电压的 10~20 倍，很容易使线圈因过电压而损坏。为了减小此反电动势，一般在电磁线圈上并联一个放电回路，如图 1-3 所示。这样，当线圈断电时，放电电路使原先储于磁场中的能量消耗在电阻上，而不致产生过电压，通常放电电阻的阻值取线圈直流电阻的 6~8 倍。

2. 反力特性

为了使衔铁在线圈断电后能恢复到原来打开位置，在电磁式电器中都装有释放弹簧。电磁机构的反作用力与气隙的关系曲线称为

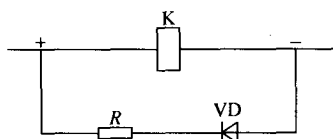


图 1-3 直流线圈的放电回路

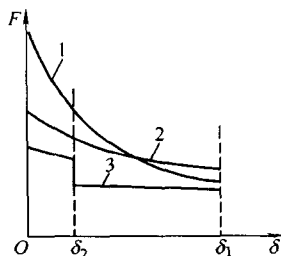


图 1-4 吸力特性和反力特性

1—直流电磁机构吸力特性；2—交流电磁机构吸力特性；3—反力特性