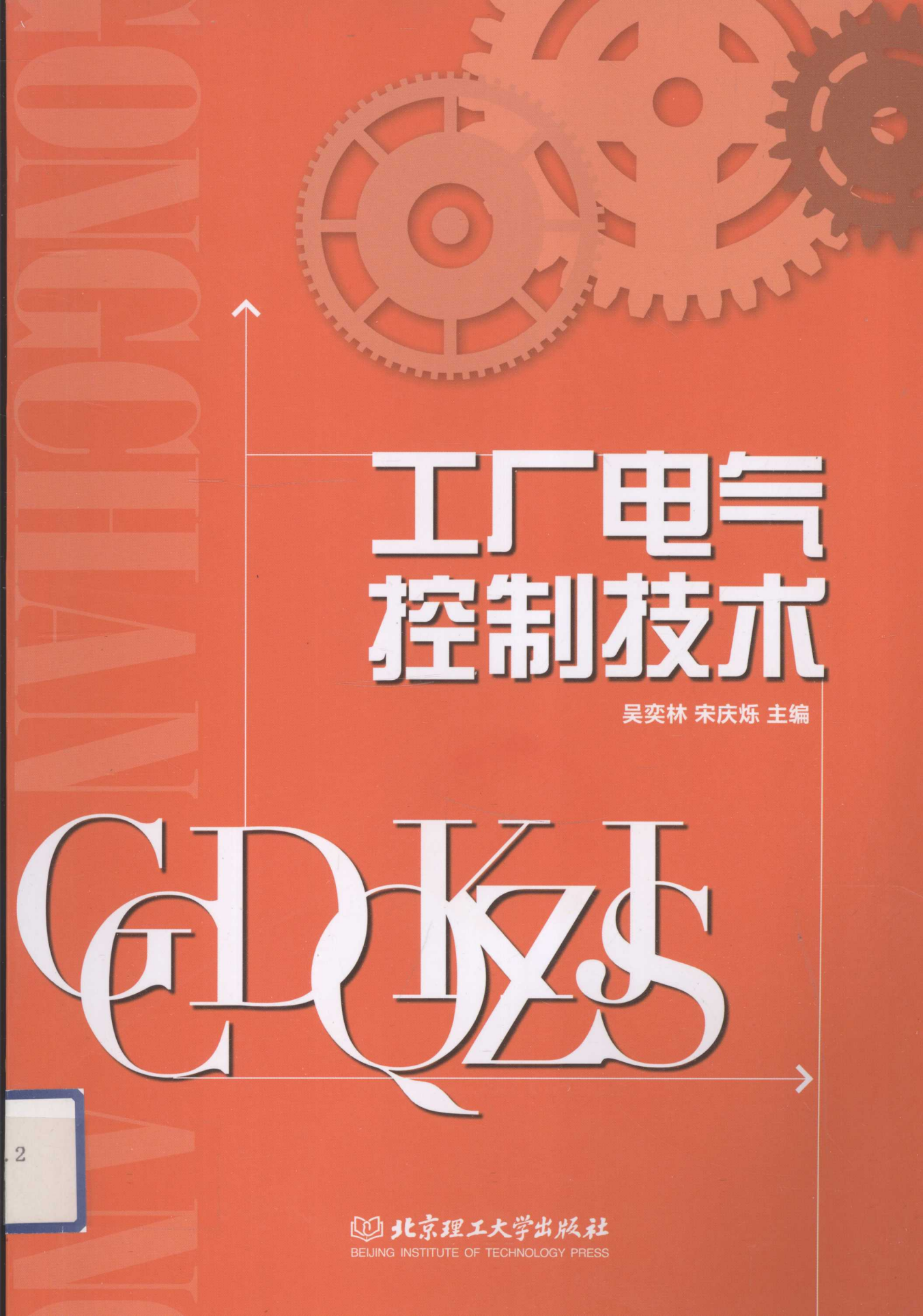


The background is a solid orange-red color. In the top right corner, there are three interlocking gears of different sizes, rendered in a lighter shade of the background color. A white coordinate system is overlaid on the page, consisting of a vertical line with an upward-pointing arrow at the top and a horizontal line with a rightward-pointing arrow at the right end. The title '工厂电气控制技术' is written in large, bold, white Chinese characters with a slight 3D effect, positioned in the upper right quadrant of the page.

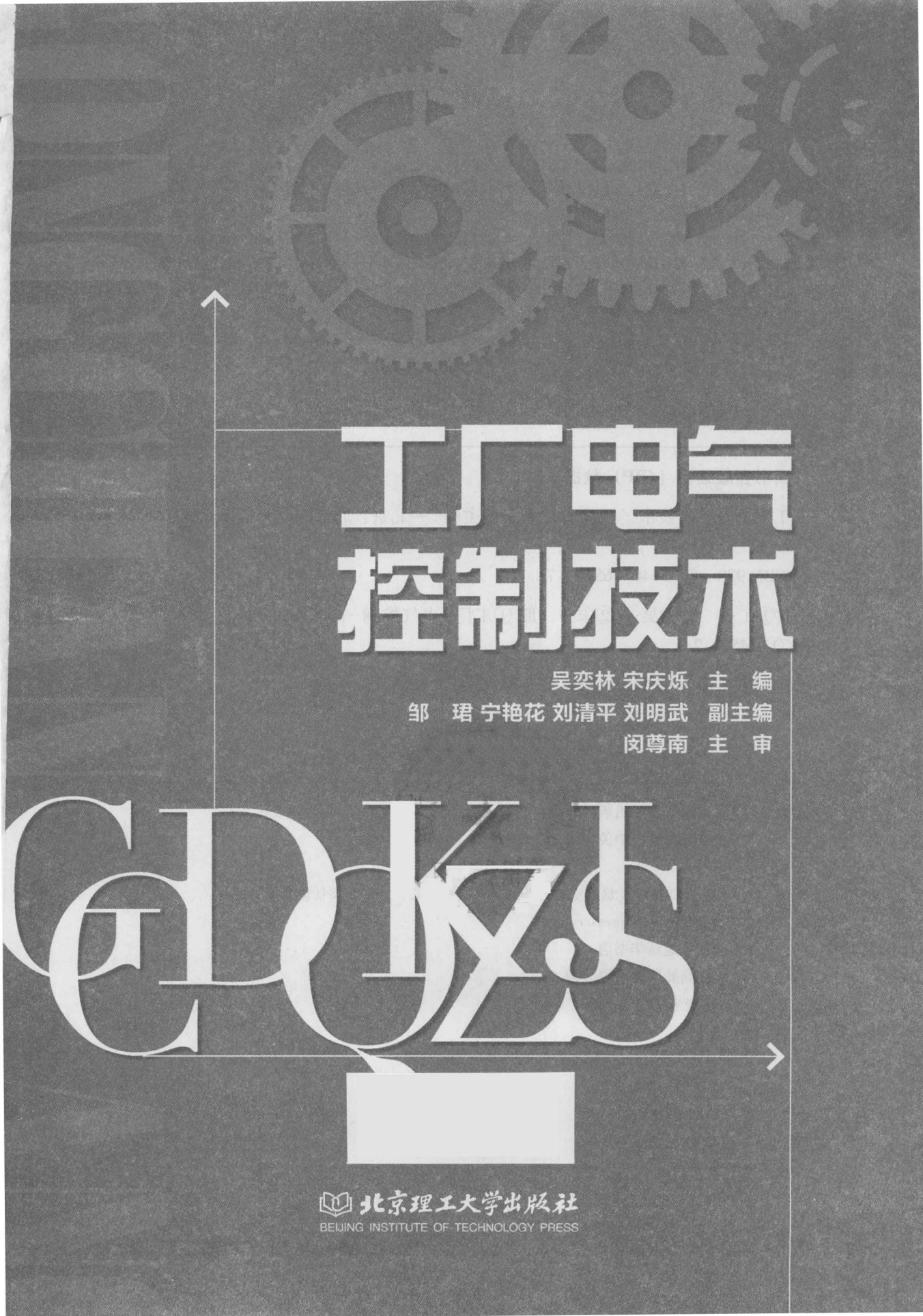
工厂电气 控制技术

吴奕林 宋庆烁 主编

GDQZ

2

 北京理工大学出版社
BEIJING INSTITUTE OF TECHNOLOGY PRESS



工厂电气 控制技术

吴奕林 宋庆烁 主 编

邹 珺 宁艳花 刘清平 刘明武 副主编

闵尊南 主 审

CD-ROM

 北京理工大学出版社
BEIJING INSTITUTE OF TECHNOLOGY PRESS

内 容 简 介

本书紧密结合现场实际,以任务驱动教学法为基础,采用“教、学、做”一体化的教学模式,将基本理论知识、实践操作与设备和电气控制系统的常见故障现象及处理方法等维护操作三者相结合,充分体现了应用特色和能力本位,突出人才实践技能、应用能力及创新素质的培养。

本书内容丰富,重点突出,实用性强,主要内容有常用低压电器的拆装、检修及调试,典型电气控制系统和电动机变频调速系统的安装、调试及故障处理,典型生产机械电气控制线路分析、检查及故障处理和电气控制系统的设计。

本书为高等院校电类相关专业的教学用书,也可用作电气从业人员和电工培训教材或自学用书,亦可供有关专业师生和从事现场工作的工程技术人员参考。

版权专有 侵权必究

图书在版编目(CIP)数据

工厂电气控制技术 / 吴奕林, 宋庆烁主编. —北京: 北京理工大学出版社, 2012. 8

ISBN 978 - 7 - 5640 - 6544 - 7

I. ①工… II. ①吴… ②宋… III. ①工厂—电气控制—高等学校—教材
IV. ①TM571. 2

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2012) 第 186685 号

出版发行 / 北京理工大学出版社

社 址 / 北京市海淀区中关村南大街 5 号

邮 编 / 100081

电 话 / (010) 68914775 (总编室) 68944990 (批销中心) 68911084 (读者服务部)

网 址 / [http://www. bitpress. com. cn](http://www.bitpress.com.cn)

经 销 / 全国各地新华书店

印 刷 / 北京高岭印刷有限公司

开 本 / 787 毫米 × 1092 毫米 1/16

印 张 / 17.5

字 数 / 404 千字

版 次 / 2012 年 8 月第 1 版 2012 年 8 月第 1 次印刷

印 数 / 1 ~ 2000 册

定 价 / 48.00 元

责任校对 / 周瑞红

责任印制 / 王美丽

图书出现印装质量问题, 本社负责调换

本书根据教育部的教育教学改革精神,按照企业用人岗位职业需求对课程内容进行组织和重构,以学生就业为导向,任务驱动教学法为基础,淡化理论、加强应用、联系实际、突出特色,在内容和编写思路力求体现培养生产一线高技能人才的要求,力争做到重点突出、概念清楚、层次清晰、深入浅出、学以致用目的。

本书最大的特点是以项目为载体,每个项目中都以实际的工作任务引入,讲述与之对应的相关基础理论知识,然后进行相关的实训操作,最后进行设备和电气控制系统的常见故障现象及处理方法等维护操作,将基础知识、实际操作和维护三者相结合,既有实训操作内容和维护操作内容,又有为之服务的基础知识,有利于学生牢固掌握常用低压电器和电气控制系统的安装与调试及线路故障排除的实践技能和必需的理论知识。

本书是编者在多年从事电气控制技术的教学、培训以及科研的基础上编写的,知识内容新颖、丰富,重点突出,应用技能针对性强。可作为高等院校电类相关专业的教学用书,也可用作电气从业人员和电工培训教材或自学用书,亦可供有关专业师生、从事现场工作的工程技术人员参考。全书共分为五个项目,包括常用低压电器的拆装、检修及调试,典型电气控制系统的安装、调试及故障处理,电动机变频调速系统的安装、调试及故障处理,典型生产机械电气控制线路分析、检查及故障处理和电气控制系统的设计共五个项目。

本书由吴奕林、宋庆烁共同担任主编,邹珺、宁艳花、刘清平和刘明武担任副主编,闵尊南担任主审,万南平、罗培文参加编写。

在本书的编写过程中,作者参考了多位同行专家的著作和文献,在此向这些同志和参考文献的作者们表示衷心的感谢。限于篇幅及编者的业务水平,加之时间仓促,书中难免存在缺点和不足之处,竭诚希望同行和读者提出宝贵的意见。

编者

项目 1 常用低压电器的拆装、检修及调试	1
任务 1.1 低压电器的基础知识	1
【任务目标】	1
【知识储备】	1
【实训操作】	16
【维护操作】	18
任务 1.2 开关电器的认知与检测	20
【任务目标】	20
【知识储备】	20
【实训操作】	26
【维护操作】	28
任务 1.3 主令电器的认知与检测	29
【任务目标】	29
【知识储备】	30
【实训操作】	35
【维护操作】	37
任务 1.4 熔断器的认知与检测	38
【任务目标】	38
【知识储备】	38
【实训操作】	44
【维护操作】	45
任务 1.5 接触器的认知与检测	46
【任务目标】	46
【知识储备】	46
【实训操作】	51
【维护操作】	55
任务 1.6 低压断路器的认知与检测	58

【任务目标】	58
【知识储备】	58
【实训操作】	62
【维护操作】	64
任务 1.7 继电器的认知与检测	65
【任务目标】	65
【知识储备】	65
【实训操作】	81
【维护操作】	87
思考与练习	89
项目 2 典型电气控制系统的安装、调试及故障处理	91
任务 2.1 电气控制电路图的绘制与识读	91
【任务目标】	91
【知识储备】	91
【实训操作】	96
任务 2.2 三相交流异步电动机点动、连续运转控制与检修	97
【任务目标】	97
【知识储备】	98
【实训操作】	101
【维护操作】	106
任务 2.3 两台三相异步电动机的顺序控制与检修	107
【任务目标】	107
【知识储备】	107
【实训操作】	110
【维护操作】	113
任务 2.4 三相异步电动机的自动循环控制与检修	114
【任务目标】	114
【知识储备】	114
【实训操作】	117
【维护操作】	122
任务 2.5 三相交流异步电动机正反转控制与检修	123
【任务目标】	123
【知识储备】	123

【实训操作】	127
【维护操作】	130
任务 2.6 三相交流异步电动机降压启动控制与检修	131
【任务目标】	131
【知识储备】	131
【实训操作】	139
【维护操作】	143
任务 2.7 三相交流异步电动机的电气制动与检修	143
【任务目标】	143
【知识储备】	143
【实训操作】	153
【维护操作】	157
任务 2.8 绕线转子异步电动机启动控制与检修	158
【任务目标】	158
【知识储备】	158
【实训操作】	162
【维护操作】	168
任务 2.9 直流电动机的电气控制与检修	169
【任务目标】	169
【知识储备】	169
【实训操作】	173
【维护操作】	175
思考与练习	176
项目 3 电动机变频调速系统的安装、调试及故障处理	178
任务 3.1 变频调速的基本原理	178
【任务目标】	178
【知识储备】	178
【实训操作】	181
【维护操作】	184
任务 3.2 变频调速系统的调试	189
【任务目标】	189
【知识储备】	189
【实训操作】	192
【维护操作】	196

思考与练习	197
项目 4 典型生产机械电气控制线路分析、检查及故障处理	198
任务 4.1 CA6140 型卧式车床电气控制线路的分析与检修	198
【任务目标】	198
【知识储备】	198
【实训操作】	202
【维护操作】	204
任务 4.2 M7130 型平面磨床电气控制线路的分析与检修	207
【任务目标】	207
【知识储备】	207
【实训操作】	211
【维护操作】	213
任务 4.3 Z3040 型摇臂钻床电气控制线路的检修	216
【任务目标】	216
【知识储备】	216
【实训操作】	221
【维护操作】	222
任务 4.4 X62W 型万能铣床电气控制线路的分析与检修	224
【任务目标】	224
【知识储备】	224
【实训操作】	230
【维护操作】	232
任务 4.5 T68 型卧式镗床电气控制线路的分析与检修	234
【任务目标】	234
【知识储备】	234
【实训操作】	241
【维护操作】	243
任务 4.6 桥式起重机电气控制线路的分析与检修	244
【任务目标】	244
【知识储备】	244
【实训操作】	248
【维护操作】	250
思考与练习	254
项目 5 电气控制系统的设计	255
任务 5.1 电气控制系统设计的基本内容、基本原则和方法	255

【任务目标】	255
【知识储备】	255
【实训操作】	260
任务 5.2 电气控制线设计举例	261
【任务目标】	261
【知识储备】	261
【实训操作】	262
思考与练习	267
附录 电气控制电路中常用图形符号和文字符号	268
参考文献	269

项目 1

常用低压电器的拆装、检修及调试

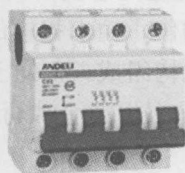
任务 1.1 低压电器的基础知识

【任务目标】

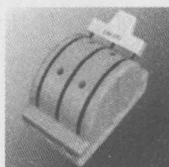
- (1) 理解电器及低压电器的概念。
- (2) 熟悉电磁式低压电器的基本知识。
- (3) 熟练掌握电磁机构的常见故障现象、故障原因及维修方法。

【知识储备】

低压电器一般是指在交流 50 Hz, 额定电压 1200 V, 直流额定电压 1500 V 及以下的电路中起通断、保护、控制或调节作用的电器产品。由于在大多数用电行业及人们的日常生活中一般都使用低压设备, 采用低压供电, 而低压供电的输送、分配和保护以及设备的运行和控制是靠低压电器来实现的, 因此低压电器的应用十分广泛。常见的低压电器如图 1.1.1 所示。



低压断路器



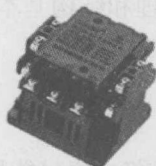
开启式负荷开关



低压熔断器



按钮



交流接触器



中间继电器

图 1.1.1 低压电器的认识

一、低压电器概述

1. 低压电器的分类

低压电器种类繁多, 可按其动作方式、用途及执行机构进行分类。

1) 按动作方式分类

按动作方式分，低压电器可分为以下两类：

(1) 手动电器。依靠外力（如人工）直接操作才能完成任务的电器称为手动电器。如刀开关、按钮和转换开关等。

(2) 自动电器。依靠指令或电器本身参数变化或外来信号（如电、磁、光、热等）变化就能自动完成接通、分断电路任务的电器称为自动电器。如接触器、继电器等。

2) 按用途分类

按用途分，低压电器可分为以下两类：

(1) 低压保护电器。这类电器主要在低压配电系统及动力设备中起保护作用，以保护电源、线路或电动机。如熔断器、热继电器等。

(2) 低压控制电器。这类电器主要用于电力拖动控制系统中，要求在系统发生故障的情况下能及时可靠地动作，而且寿命要长。如接触器、继电器、控制按钮、行程开关、主令控制器和万能转换开关等。

有些电器具有双重作用，如低压断路器既能控制电路的通断，又能实现短路、欠压及过载保护。

3) 按执行机构分类

按执行机构分，低压电器可分为以下两类：

(1) 电磁式电器。利用触点的接通和分断来通断电路的电器称为电磁式电器。如接触器、低压断路器等。

(2) 非电量控制电器。靠外力或非电物理量的变化而动作的电器称为非电量控制电器。如刀开关、行程开关、按钮、速度继电器、压力继电器和温度继电器等。

2. 低压电器的基本组成

低压电器一般由两个基本部分组成。一是感受部分，其功能是感受外界输入的信号，做出有规律的反应，并通过转换、放大、判断，使执行部分动作，输出相应的指令，实现控制的目的。对于自动控制电器来说，感受部分大都由电磁机构组成，而对于手动控制电器来说，感受部分通常是操作手柄。二是执行部分，其功能是根据指令执行电路的接通、切断等任务，如触点系统、灭弧系统。

由于电磁式电器在低压电器中占有非常重要的地位，在电气控制线路中应用广泛，类型较多，而且各类电磁式电器的工作原理和结构基本相同，因此，下面重点介绍电磁式低压电器的基础知识。

3. 电磁机构的作用、组成及分类

1) 电磁机构的作用

电磁机构的主要作用是将电磁能量转换成机械能量，将电磁机构中吸引线圈的电流转换成电磁力，带动触点动作，完成通断电路的控制。常用低压电器的作用如表 1.1.1 所示。

表 1.1.1 常用低压电器的作用

编 号	类 别	作 用
1	刀开关	主要用于不频繁地接通和分断电路
2	主令电器	主要用于发布控制命令，改变控制系统的工作状态

续表

编 号	类 别	作 用
3	熔断器	主要用于电路短路保护,也用于电路的过载保护
4	接触器	主要用于远距离频繁控制负载,切断带负荷电路
5	断路器	主要用于电路的过载、短路、欠压和失压保护,也可用于不需要频繁接通和断开的电路
6	继电器	主要用于控制电路中,将被控量转换成控制电路所需电量或开关信号
7	转换开关	主要用于电源切换,也可用于负荷通断或电路切换
8	启动器	主要用于电动机的启动
9	电磁铁	主要用于起重、牵引、制动等场合
10	控制器	主要用于控制回路的切换

2) 电磁机构的组成

电磁机构由吸引线圈、铁芯(静铁芯)、衔铁(动铁芯)、铁轭、空气隙等组成,其中吸引线圈和铁芯是静止不动的,只有衔铁是可动的。

3) 电磁机构的分类

根据磁路形状、衔铁运动方式以及线圈接入电路的方式不同,电磁机构可分成多种形式和类型。不同形式和类型的电磁机构可构成多种类型的电磁式电器。

(1) 按磁路形状和衔铁运动方式分

按磁路形状和衔铁运动方式分,电磁机构可分为以下五类:

① U形拍合式。其结构特点是:铁芯制成U形,而衔铁的一端绕棱角或转轴做拍合运动。U形拍合式电磁机构若如图1.1.2(a)所示,则主要用于直流电磁式电器(如直流接触器和直流继电器),其铁芯和衔铁均由工程软铁制成;U形拍合式电磁机构若如图1.1.2(b)所示,则主要应用于交流电磁式电器中,其铁芯和衔铁均由电工钢片叠成,而衔铁绕转轴转动。

② E形拍合式和E形直动式。其结构特点是:铁芯和衔铁均制成E字形,线圈套装在中间铁芯柱上,且均由电工钢片叠成。这两种形式的电磁机构均用于交流电磁式电器中。E形拍合式电磁机构如图1.1.2(c)所示,主要用于60 A及以上的交流接触器中;E形直动式电磁机构如图1.1.2(d)所示,主要用于40 A及以下的交流接触器和交流继电器中。

③ 空心螺旋式。其结构特点是:电磁机构中没有铁芯,而只有线圈和圆柱形衔铁,且衔铁在空心线圈内做直线运动,如图1.1.2(e)所示。这种形式的电磁机构主要用于交流电流继电器和交流时间继电器中。

④ 装甲螺管式。其结构特点是:在空心线圈的外面罩以用导磁材料制成的外壳,而圆柱形衔铁在空心线圈内做直线运动,如图1.1.2(f)所示。这种电磁机构常用于交流电流继电器中。

⑤ 回转式。其结构特点是:铁芯用电工钢片叠成后制成C形,衔铁是Z形转子,两个可串联或并联的线圈分别绕在铁芯开口侧的铁芯柱上,如图1.1.2(g)所示。这种电

项目1 常用低压电器的拆装、检修及调试

磁机构主要应用于供电系统中的交流电流继电器上。

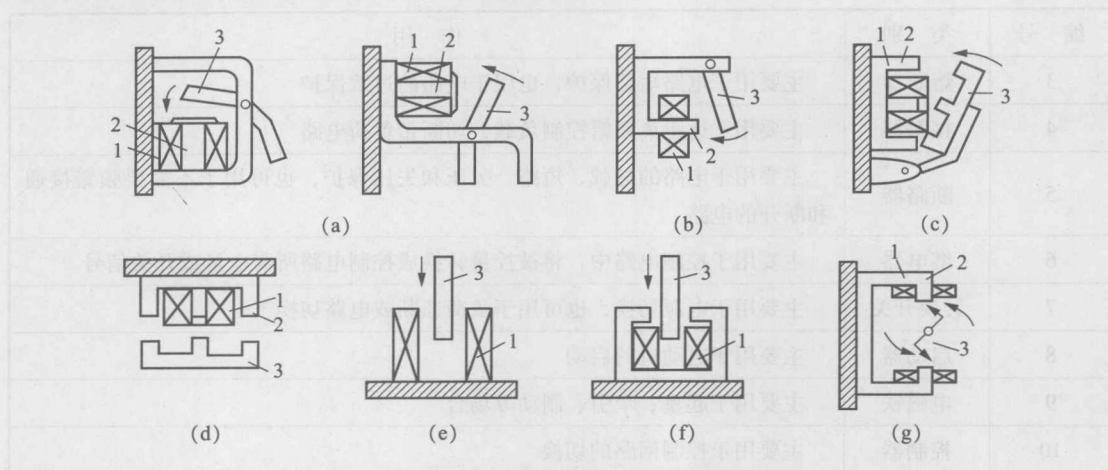


图 1.1.2 常用电磁机构的形式

1—线圈；2—铁芯；3—衔铁

(2) 按线圈在电路中的接入方式分类

按线圈在电路中的接入方式分类，电磁机构可分为以下两类：

① 串联电磁机构。电磁机构的线圈是串联在电路中的，这种接入方式的线圈称为电流线圈，具有这种电磁机构的电器都属于电流型电器，如图 1.1.3 (a) 所示。串联电磁机构的特点是：衔铁动作与否取决于线圈中电流的大小，而线圈中电流的变化不会引起衔铁的动作。按电路中电流的种类分，又可把串联电磁机构分为直流串联电磁机构和交流串联电磁机构。为了不影响电路中负载的端电压和电流，通常要求串联电磁机构的线圈匝数少，导线截面积大，以取得较小的线圈内阻。

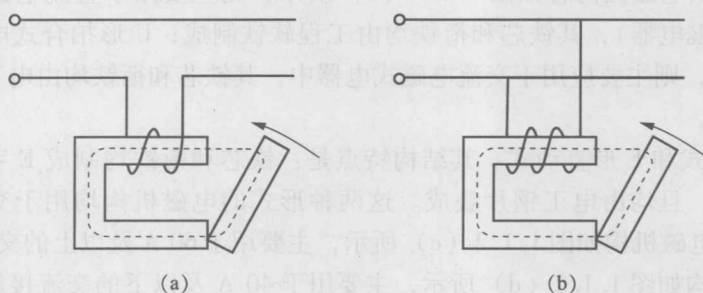


图 1.1.3 电磁机构中线圈接入电路的方式

(a) 串联电磁机构；(b) 并联电磁机构

② 并联电磁机构。电磁机构的线圈是并联在电路中的，这种接入方式的线圈又称为电压线圈，具有这种电磁机构的电器均属于电压型电器，如图 1.1.3 (b) 所示。并联电磁机构的特点是：衔铁动作与否取决于线圈两端电压的大小，直流并联电磁机构衔铁的动作不会引起线圈中电流的变化，但对于交流并联电磁机构，衔铁的动作会引起线圈阻抗的变化，从而会引起线圈中电流的变化。实验证明，对于 U 形电磁机构，衔铁打开时线圈中的电流值为衔铁闭合后的 6~7 倍，E 形电磁机构电流值可达 10~15 倍。而线圈中的允许

电流值通常是按衔铁闭合后的电流值设计的,因此线圈一旦有电而衔铁由于某种原因不能闭合或操作频繁时,极易引起线圈过热甚至烧坏,这也是交流电压型电器比直流电压型电器易损坏的原因之一。

4. 电磁机构的特性

电磁机构的工作状态常用吸力特性和反力特性来衡量,二者间的配合关系将直接影响电磁式电器的工作可靠性。

1) 电磁机构的吸力特性

电磁机构的吸力特性是指吸力与气隙的关系曲线如图 1.1.4 所示。

电磁吸力由电磁机构产生,衔铁在吸合时,电磁吸力必须始终大于反力,衔铁复位时要求反力大于电磁吸力。因此,电磁吸力是决定其能否可靠工作的一个重要参数。

当电磁机构的气隙 δ 较小,磁通分布比较均匀时,电磁机构的吸力 F 吸力可近似地按式 (1.1.1) 求得,即

$$F_{\text{吸力}} = \frac{1}{2\mu_0} B^2 S \delta \quad (1.1.1)$$

式中, $\mu_0 = 0.4\pi \times 10^{-6} \text{H/m}$ (空气磁导率);

B ——气隙磁感应强度;

S ——极靴面积,当 S 为常数时, $F_{\text{吸力}}$ 与 B^2 成正比。

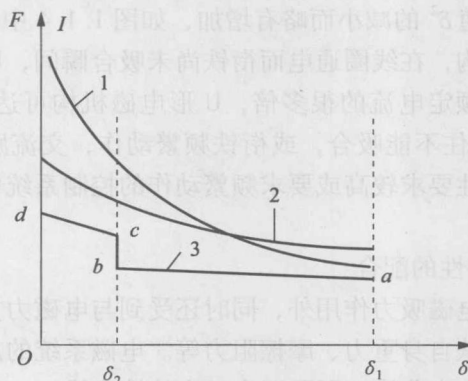


图 1.1.4 吸力特性和反力特性

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

2) 电磁机构的反力特性

电磁机构的反力特性是指转动部分的静阻力与气隙的关系曲线。它与阻力的大小、作用弹簧、摩擦阻力以及衔铁重量有关。

(1) 直流电磁机构的电磁吸力特性

对于具有电压线圈的直流电磁机构,因为外加电压和线圈电阻不变,故流过线圈的电流为常数,与磁路的气隙大小无关。根据磁路定律 $\Phi = \frac{IN}{R_m} \propto \frac{1}{R_m}$, 可得

$$F_{\text{吸力}} \propto \Phi^2 \propto \left(\frac{1}{R_m}\right)^2 \quad (1.1.2)$$

从而可以推出 $F_{\text{吸力}}$ 与气隙 δ 间的关系为

$$F_{\text{吸力}} = \frac{1}{2}(IN)^2 \mu_0 S \frac{1}{\delta^2} \quad (1.1.3)$$

从式(1.1.3)可以看出,对于固定线圈通以恒定直流电流时,其电磁力 $F_{\text{吸力}}$ 仅与 δ^2 成反比,故吸力特性为二次曲线形状,如图1.1.4曲线1所示。衔铁闭合前后吸力很大,且气隙越小,吸力越大。但衔铁吸合前后吸引线圈励磁电流不变,故直流电磁机构适用于运动频繁的场所,且衔铁吸合后电磁吸力大,工作可靠。

(2) 交流电磁机构的电磁吸力特性

与直流电磁机构相比,交流电磁机构的吸力特性有较大的不同。交流电磁机构多与电路并联使用,当外加电压 U 及频率 f 为常数时,忽略线圈电阻压降,则

$$U(\approx E) = 4.44f\Phi N \quad (1.1.4)$$

式中, U ——线圈电压, V;

E ——线圈感应电动势, V;

f ——线圈电压的频率, Hz;

N ——线圈匝数;

Φ ——气隙磁通, Wb。

当外加电压 U ,频率 f 和线圈匝数 N 为常数时,气隙磁通 Φ 也为常数,由式(1.1.4)可知电磁吸力 $F_{\text{吸力}}$ 也为常数,即交流电磁机构的吸力与气隙无关。实际上,考虑衔铁吸合前后漏磁的变化时, $F_{\text{吸力}}$ 随 δ^2 的减小而略有增加,如图1.1.4中曲线2所示。

对于交流并联电磁机构,在线圈通电而衔铁尚未吸合瞬间,吸合电流随 δ 的变化成正比变化,为衔铁吸合后的额定电流的很多倍,U形电磁机构可达5~6倍,E形电磁机构可达10~15倍。若衔铁卡住不能吸合,或衔铁频繁动作,交流励磁线圈很可能因电流过大而烧毁。所以,在可靠性要求较高或要求频繁动作的控制系统中,一般采用直流电磁机构而不采用交流电磁机构。

3) 吸力特性与反力特性的配合

电磁铁中的衔铁除受电磁吸力作用外,同时还受到与电磁力方向相反的作用力。这些反作用力包括弹簧力、衔铁自身重力、摩擦阻力等。电磁系统的反作用力与气隙的关系曲线称为反力特性,图1.1.4中曲线3所示即为反力特性曲线。

为了使电磁铁能正常工作,在整个吸合过程中,吸力必须始终大于反力,即吸力特性始终处于反力特性的上方,如图1.1.4所示。但不能过大或过小,吸力过大,动、静触头接触时以及衔铁与铁芯接触时的冲击力也大,会使触头和衔铁发生弹跳,导致触头熔焊或烧毁,影响电器的机械寿命。吸力过小,会使衔铁运动速度降低,难以满足高操作频率的要求。因此,吸力特性与反力特性必须配合得当。在实际应用中,可调整反力弹簧或触头初压力以改变反力特性,使之与吸力特性有良好的配合。

4) 短路环

电磁机构在工作中,衔铁始终受到反作用弹簧、触点弹簧等反作用力 $F_{\text{反力}}$ 的作用。在电磁机构的使用过程中,尽管电磁吸力的平均值大于 $F_{\text{反力}}$,但在某些时候 $F_{\text{吸力}}$ 仍会小于 $F_{\text{反力}}$ 。当 $F_{\text{吸力}} < F_{\text{反力}}$ 时,衔铁开始释放;当 $F_{\text{吸力}} > F_{\text{反力}}$ 时,衔铁又被吸合,周而复始,从而使衔铁产生振动,发出噪声,还会造成电器结构松散、寿命降低,同时使触点接触不良,易于熔焊和烧损。因此,必须采取措施抑制振动和噪声。

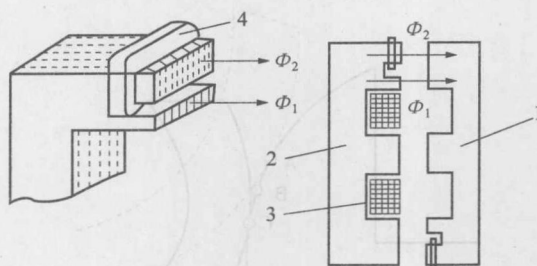


图 1.1.5 交流电磁铁的短路环

1—衔铁；2—铁芯；3—线圈；4—短路环

解决该问题的具体办法是在铁芯端部开一个槽，槽内嵌入铜环，称为短路环（或分磁环），如图 1.1.5 所示。当励磁线圈通入交流电后，在短路环中就有感应电流产生，该感应电流又会产生一个磁通。短路环把铁芯中的磁通分为两部分，即不穿过短路环的 Φ_1 和穿过短路环的 Φ_2 ，由于短路环的作用使 Φ_1 和 Φ_2 产生相移，这两个磁通不会同时过零，而由于这两个磁通产生的合成电磁吸力变化较为平坦，使得合成吸力始终大于反作用力，从而消除了振动和噪声。

5. 电接触

电磁式电器的执行元件是触点，而电磁式电器正是通过触点的动作来接通和断开被控电路的。电接触是指触点在闭合状态下的动、静触点完全接触，而且有工作电流通过。电接触情况的好坏直接影响触点的工作可靠性和使用寿命，而影响电接触工作情况的主要因素是触点接触电阻的大小。接触电阻大时，易使触点发热而温度升高，从而使触点易产生熔焊现象，这样既影响电器工作的可靠性，又降低了触点的使用寿命。触点的接触电阻不仅与触点的接触形式有关，而且还与接触压力、触点材料及触点表面状况等有关。

1) 触点的接触形式

触点的接触形式有三种，即点接触、线接触和面接触，如图 1.1.6 所示。

(1) 点接触：由两个半球或一个半球与一个平面形触点构成，如图 1.1.6 (a) 所示。其接触区域是一个点或面积很小的面，允许通过电流很小，所以它常用于较小电流的电器中，如接触器的辅助触点和继电器的触点。

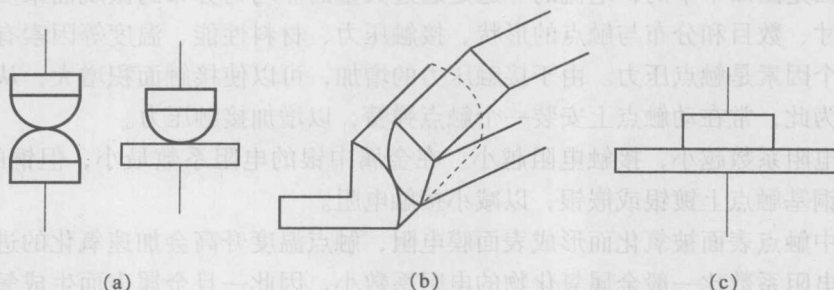


图 1.1.6 触点的三种接触方式

(a) 点接触；(b) 线接触；(c) 面接触

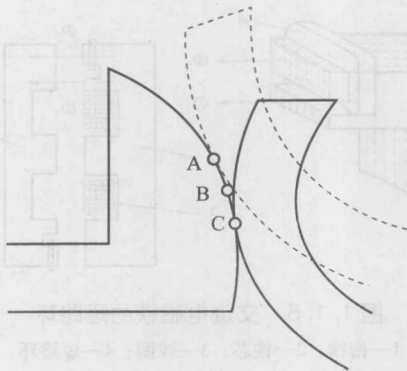


图 1.1.7 指形触点的接触过程

(2) 线接触：由两个圆柱面形的触点构成，也称为指形触点，如图 1.1.6 (b) 所示。其接触区域是一条直线或一条窄面，允许通过的电流较大，常用于中等容量接触器的主触点。由于这种接触形式在通断过程中是滑动接触的（如图 1.1.7 所示），因此在接通时，接触点按 A→B→C 序变化；断开时，接触点则按 C→B→A 序变化，这样能够自动清除触点表面的氧化膜，从而更好地保证触点的良好接触。

(3) 面接触：是两个平面形触点相接触，如图 1.1.6 (c) 所示。其接触区域有一定的面积，允许通过很大的电流，常用于大容量接触器的主触点。

2) 接触电阻

触点有四种工作情形，即闭合状态、断开过程、断开状态和闭合过程。在理想情况下触点闭合时接触电阻为零；触点断开时接触电阻为无穷大；在闭合过程中接触电阻由无穷大瞬时变为零；在断开过程中接触电阻由零瞬时变为无穷大。但实际上，在闭合状态时耦合触点间有接触电阻存在，而且当接触电阻过大时，就可能导致被控电路压降过大或电路不通；在断开状态时要求触点间有一定的绝缘电阻，若绝缘电阻较小，就可能导致触点击穿放电，致使被控电路导通；在闭合过程中有触点弹跳现象，可能破坏触点的可靠闭合；在断开过程中可能产生电弧，进而使触点不能可靠断开。

3) 影响接触电阻的因素及减小接触电阻的方法

触点表面是凸凹不平的，电流的导通是通过大量的非均匀分布的微观面来实现的，而微观面的尺寸、数目和分布与触点的形状、接触压力、材料性能、温度等因素有关，其中最重要的一个因素是触点压力。由于接触压力的增加，可以使接触面积增大，从而使接触电阻减小，为此，常在动触点上安装一个触点弹簧，以增加接触压力。

材料的电阻系数越小，接触电阻越小。在金属中银的电阻系数最小，但铜的价格低，实际中常在铜基触点上镀银或嵌银，以减小接触电阻。

在空气中触点表面被氧化而形成表面膜电阻，触点温度升高会加速氧化的进程。由于金属本身的电阻系数比一般金属氧化物的电阻系数小，因此一旦金属表面生成氧化物，会使接触电阻增大，严重时会使触点间形成绝缘而导致电路不通。银的氧化物电阻系数与纯银的电阻系数较接近，因此，在小容量的电器中常采用银或镀银触点。而在大容量电器中，可采用具有滑动作用的指形触点，因为它能在闭合过程中磨去氧化膜，从而使清洁的金属接触面良好接触，以增强触点的导电性。此外，触点上的尘垢也会影响其导电性，因