

普通高等教育“十二五”规划教材

Technology
实用技术

电气控制与 PLC应用技术

■ 刘长青 编著



科学出版社

内 容 简 介

本书采用项目引导式的讲解方式,首先介绍电气控制对象,使读者明确控制任务,然后应用随后介绍的指令及编程方法,按照工程步骤,逐步实现任务。书中所有实例均与实际生产紧密结合,且通过实验验证。

本书的内容主要包括三个方面:传统电气控制部分、PLC控制部分和控制系统设计部分。书中内容既有基础知识也有复杂指令及应用,不仅侧重于数字量控制,也包含模拟量控制内容。注重以具体实例来传授方法,使读者快速提高专业知识的应用能力。

本书适合作为各大中院校机电专业师生的参考用书,同时也适合相关工程技术人员参考阅读。

图书在版编目(CIP)数据

电气控制与 PLC 应用技术/刘长青 编著. —北京:科学出版社,2012
ISBN 978-7-03-033554-8

I. 电… II. 刘… III. ①电气控制-高等学校-教材 ②PLC技术-高等学校-教材 IV. ①TM571.2 ②TM571.6

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2012)第 023722 号

责任编辑:孙力维 杨 凯 / 责任制作:董立颖 魏 谨

责任印制:赵德静 / 封面设计:赵志远

北京东方科龙图文有限公司 制作

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

科 学 出 版 社 出版

北京东黄城根北街 16 号

邮政编码:100717

<http://www.sciencep.com>

北京天利彩色印刷有限公司 印刷

科学出版社发行 各地新华书店经销

*

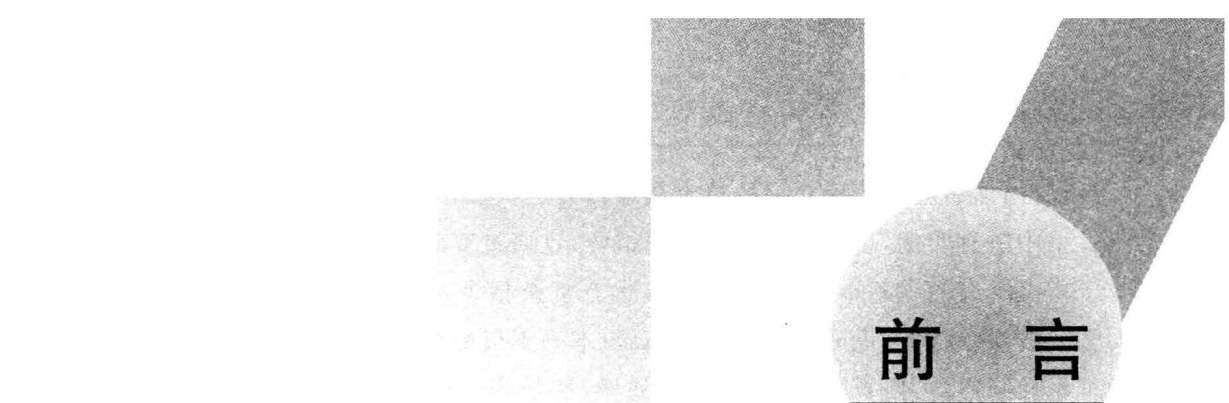
2012 年 4 月第 一 版 开本: B5(720×1000)

2012 年 4 月第一次印刷 印张: 20 1/2

印数: 1—4 000 字数: 395 000

定 价: 42.00 元

(如有印装质量问题,我社负责调换)



前 言

现代制造业是以高新技术产业为先导、现代制造业为支撑,是我国经济结构调整过程中提出的新的产业概念。大力振兴现代制造业,是首都经济战略在新世纪的延伸和拓展。要实现现代制造业这项战略目标,需要大量的应用性技术人才。本书以培养此类人才为目标,突出实用性和先进性,与工程实际紧密结合,图文并茂,通俗易懂,实例丰富,内容由浅入深,由局部到系统,从而提高读者动手实践能力、应用能力和系统解决实际工程问题能力。

本书的内容主要包括三个方面:传统电气控制部分、PLC 控制部分和控制系统设计部分。传统电气控制部分侧重于目前常用的电器和设备,以及简单的传统电气控制(即继电器接触器控制系统)线路,具体介绍时从机电设备应用实例开始,引出常用低压电器和继电器接触器控制系统;PLC 控制部分侧重 PLC 基本知识、指令系统和程序设计方法——首先从基本概念和一个简单的 PLC 控制系统入手,引出 PLC 控制系统的各个组成部分、工作原理及 S7-200 系列的 PLC,然后通过丰富该简单 PLC 控制系统的功能,来介绍 PLC 的指令系统及应用,在 PLC 控制部分,还介绍了逻辑控制和过程控制的简单编程方法,S7-200PLC 特殊指令和网络通信,编程及仿真软件;控制系统设计部分简单介绍了控制系统设计步骤、注意事项,并给出了设计实例。

传统的教材从课程的知识体系结构出发,以理论介绍为主,老师授课时将知识点划分出层次结构传授给学生。这种教材不利于当前的教学改革,难以激发学生学习的积极性和主动性,学生对知识点的掌握仅仅停留于理论理解的层面,缺乏实际操作能力,项目设计过程不够明确,不能将所学知识应用以解决实际问题。当前的教学模式已在不断进行改革,如项目引导式教学,即围绕实际工程项目为中心组织课程内容并应用课程内容完成工程项目。这种教学模式使得学生“在做中学”,全面提高学生的知识应用能力和解决问题的能力。

本书以项目引导式教学模式为理念,首先介绍电气控制对象,使读者明确

控制任务,然后应用随后介绍的指令及编程方法,按照工程的步骤,逐步实现任务。书中所有实例,均与实际生产紧密结合,且通过实验验证。

本书既有简单基本的内容和实例,也有复杂指令及应用等内容,既适合不同学时要求的教学,也适合学生课后拓展;本书不仅侧重于数字量控制,也包含模拟量控制内容,内容循序渐进,浅显易懂,所使用实例均来自工程实际,为学生快速适应现代制造业打下基础;本书注重方法传授,并以具体实例来应用所传授的方法,使学生在解决工程实例的过程中掌握方法,从而快速提高专业知识的应用能力;本书既可以作为机电类应用型本科教材,也可以作为高职类学生的参考教材和相关工程人员的参考资料。

本书由北京联合大学机电学院刘长青老师主编,由李晶老师任副主编,席巍老师参编,并得到了北京信息职业技术学院的大力支持。刘长青老师负责1~6章的编写和全书的统稿及修改,李晶老师负责第7章和第8章的编写,席巍老师负责第9章和附录的编写。

本书在编写过程中参考了已有电气控制与PLC方面的教材和资料,一并在书后的主要参考文献中列出,在此表示衷心的感谢。鉴于作者的学识水平有限,书中不妥之处在所难免,希望同行专家和使用本书的教师及读者提出宝贵意见,以期将此书进一步完善。

作者

2011年11月

目 录

| | |
|------------------------------|----|
| 绪 论 | 1 |
| 第 1 章 电气设备及低压电器 | 3 |
| 1.1 电气设备的构造和控制举例 | 4 |
| 1.1.1 电动机设备 | 4 |
| 1.1.2 电炉设备 | 6 |
| 1.1.3 压力控制设备 | 6 |
| 1.1.4 传送带设备 | 7 |
| 1.1.5 泵设备 | 8 |
| 1.2 常用低压电器 | 9 |
| 1.2.1 低压电器的型号 | 10 |
| 1.2.2 开关电器与熔断器 | 12 |
| 1.2.3 主令电器 | 18 |
| 1.2.4 接触器与继电器 | 24 |
| 习题与思考题 | 39 |
| 第 2 章 继电器控制线路 | 41 |
| 2.1 电气控制的基本知识 | 42 |
| 2.1.1 电气控制原理图的绘制原则 | 44 |
| 2.1.2 电气控制原理图的表示方法 | 44 |
| 2.2 继电器控制系统实例 | 49 |
| 2.2.1 电动机启停控制电路 | 49 |
| 2.2.2 电动机正反转控制电路 | 52 |
| 2.2.3 电动机点动与连续运转控制 | 56 |

| | | |
|--------------|-------------------------|-----------|
| 2.2.4 | 电动机多地控制 | 57 |
| 2.2.5 | 电动机顺序控制 | 58 |
| 2.2.6 | 电动机降压启动控制 | 60 |
| 2.2.7 | 电动机制动控制 | 62 |
| 2.2.8 | 电动机调速控制 | 63 |
| 2.2.9 | 直流电动机启停控制 | 66 |
| 2.2.10 | 电炉设备的三相加热器温度控制电路 | 68 |
| 2.2.11 | 泵的反复运转控制 | 69 |
| 2.2.12 | 传送带的顺序控制 | 71 |
| 2.3 | 继电器接触器控制系统常用的保护环节 | 73 |
| 2.3.1 | 短路保护 | 73 |
| 2.3.2 | 过电流保护 | 74 |
| 2.3.3 | 过载保护 | 74 |
| 2.3.4 | 零电压和欠电压保护 | 75 |
| 2.3.5 | 弱磁保护 | 75 |
| 2.4 | 电气控制原理图的读图方法及应用 | 76 |
| 2.4.1 | 电气线路图标识符 | 78 |
| 2.4.2 | 分析电气线路图的方法 | 78 |
| 2.4.3 | C650 卧式车床电气控制线路分析 | 80 |
| | 习题与思考题 | 84 |
| 第 3 章 | PLC 的基本知识 | 85 |
| 3.1 | PLC 的概念与工作原理 | 86 |
| 3.1.1 | 一个简单的 PLC 控制系统 | 88 |
| 3.1.2 | PLC 的输入/输出设备 | 89 |
| 3.1.3 | PLC 的硬件构成 | 97 |
| 3.1.4 | PLC 的接线 | 102 |
| 3.1.5 | PLC 的工作原理 | 106 |
| 3.2 | PLC 的数据表示 | 107 |
| 3.2.1 | 数制与编码 | 108 |
| 3.2.2 | 常数的表示 | 111 |

| | | |
|--------------|----------------------------------|------------|
| 3.3 | S7-200 系列 PLC | 113 |
| 3.3.1 | S7-200 系列 PLC 系统 | 113 |
| 3.3.2 | PLC 的用户数据存储器 | 114 |
| 3.3.3 | PLC 的编址方式 | 117 |
| 3.4 | S7-200 的用户程序结构 | 119 |
| | 习题与思考题 | 120 |
| 第 4 章 | PLC 的基本指令与应用 | 123 |
| 4.1 | PLC 的编程语言 | 124 |
| 4.1.1 | 梯形图及符号 | 124 |
| 4.1.2 | 设备、信号与触点值的关系 | 126 |
| 4.1.3 | PLC 的其他编程语言 | 127 |
| 4.2 | 饮料灌装控制系统 | 127 |
| 4.3 | 基本位逻辑指令 | 131 |
| 4.3.1 | 系统运行控制与标准触点指令 | 131 |
| 4.3.2 | 模式选择控制与置位/复位指令 | 132 |
| 4.3.3 | 其他基本逻辑指令 | 134 |
| 4.4 | 手/自动运行功能与程序控制指令 | 136 |
| 4.4.1 | 模块化编程结构 | 136 |
| 4.4.2 | 子程序与调用指令 | 137 |
| 4.4.3 | 跳转与标号指令 | 139 |
| 4.5 | 计时操作与定时器指令 | 140 |
| 4.5.1 | 通电延时定时器指令 | 141 |
| 4.5.2 | 有记忆接通延时定时器指令和断开延时定时器 指令 | 143 |
| 4.6 | 产量统计与计数器指令 | 146 |
| 4.6.1 | 加计数器指令 | 146 |
| 4.6.2 | 减计数器指令和可逆计数器指令 | 148 |
| 4.7 | 数据输入和显示与基本功能指令 | 150 |
| 4.7.1 | 数据输入与显示控制 | 151 |
| 4.7.2 | 其他功能指令 | 152 |

| | | |
|------------|----------------------------------|------------|
| 4.8 | 典型程序段 | 158 |
| 4.8.1 | 延时接通控制 | 158 |
| 4.8.2 | 延时断开控制 | 158 |
| 4.8.3 | 延时接通延时断开控制 | 159 |
| 4.8.4 | 脉冲发生器 | 160 |
| 4.8.5 | 闪烁信号(脉宽和周期可调的脉冲发生器) | 161 |
| 4.8.6 | 定时器定时时间扩展 | 161 |
| 4.8.7 | 计数器计数值扩展 | 163 |
| 4.8.8 | 二分频 | 164 |
| | 习题与思考题 | 165 |
| 第5章 | PLC 程序设计 | 169 |
| 5.1 | 一般编程法的应用 | 170 |
| 5.1.1 | 电动机正反转控制 | 171 |
| 5.1.2 | 故障报警控制 | 172 |
| 5.2 | 顺序控制功能图法的应用 | 174 |
| 5.2.1 | 顺序控制功能图及结构 | 176 |
| 5.2.2 | 冲压成型机控制系统 | 177 |
| 5.2.3 | 机械手的控制系统 | 181 |
| 5.3 | 简单的模拟量处理 | 187 |
| | 习题与思考题 | 191 |
| 第6章 | S7-200 PLC 的特殊指令及应用 | 193 |
| 6.1 | 中断指令 | 194 |
| 6.2 | 高速计数器指令 | 198 |
| 6.2.1 | 增量式编码器与高速计数器 | 198 |
| 6.2.2 | 高速计数器的特殊标志位存储器 | 200 |
| 6.2.3 | 高速计数器指令 | 201 |
| 6.2.4 | 高速计数器应用举例 | 202 |
| 6.3 | 高速脉冲输出指令 | 206 |
| 6.3.1 | 高速脉冲输出 | 206 |

| | | |
|--------------|-----------------------------|------------|
| 6.3.2 | 特殊标志位存储器 | 208 |
| 6.3.3 | 高速脉冲指令 | 210 |
| 6.3.4 | 高速输出应用举例 | 210 |
| 6.4 | PID 指令 | 216 |
| 6.4.1 | PID 控制参数的含义 | 216 |
| 6.4.2 | PID 指令 | 218 |
| 6.4.3 | PID 应用举例 | 219 |
| 6.4.4 | PID 指令向导 | 220 |
| | 习题与思考题 | 225 |
| 第 7 章 | PLC 的网络通信技术及应用 | 227 |
| 7.1 | PLC 工业网络概述 | 228 |
| 7.1.1 | 通信基础知识 | 229 |
| 7.2 | S7-200 的网络通信协议 | 231 |
| 7.2.1 | 自由口通信协议 | 231 |
| 7.2.2 | PPI 通信协议 | 232 |
| 7.2.3 | MPI 通信协议 | 232 |
| 7.2.4 | PROFIBUS-DP 通信协议 | 232 |
| 7.2.5 | 工业以太网通信协议 | 233 |
| 7.2.6 | USS 协议 | 233 |
| 7.3 | S7-200 网络通信指令及应用实例 | 234 |
| 7.3.1 | 自由口通信 | 234 |
| 7.3.2 | PPI 通信 | 237 |
| 7.3.3 | PROFIBUS-DP 通信 | 241 |
| | 习题与思考题 | 248 |
| 第 8 章 | PLC 系统设计 | 249 |
| 8.1 | PLC 控制系统的设计流程 | 250 |
| 8.1.1 | 分析控制要求、确定 I/O 点数 | 250 |
| 8.1.2 | 选择 PLC 型号、确定输入/输出模块 | 251 |
| 8.1.3 | I/O 地址分配 | 251 |

| | | |
|--------------|---------------------------------|------------|
| 8.1.4 | 程序设计和调试 | 252 |
| 8.2 | PLC 控制系统的设计实例 | 252 |
| 8.2.1 | 全自动洗衣机控制系统 | 252 |
| 8.2.2 | 自动混料装置控制系统 | 256 |
| 8.3 | PLC 在工程应用中应注意的一些实际问题 | 271 |
| 8.3.1 | PLC 的安装 | 271 |
| 8.3.2 | 电源的使用 | 271 |
| 8.3.3 | 系统的接地 | 272 |
| 8.3.4 | 电缆的设计与铺设 | 273 |
| 8.3.5 | PLC 输出端的保护 | 273 |
| | 习题与思考题 | 274 |
| 第 9 章 | S7-200 PLC 编程及仿真软件 | 275 |
| 9.1 | 编程软件的安装与启动 | 276 |
| 9.2 | 硬件的连接 | 277 |
| 9.3 | 通信的建立 | 278 |
| 9.4 | 编程软件功能 | 279 |
| 9.4.1 | 菜单条 | 280 |
| 9.4.2 | 工具条、状态条和输出窗口 | 281 |
| 9.4.3 | 指令树和浏览条窗口 | 281 |
| 9.5 | 编程软件使用举例 | 282 |
| 9.5.1 | 新建项目、确定主机类型 | 282 |
| 9.5.2 | 建立符号表 | 283 |
| 9.5.3 | 编辑程序 | 284 |
| 9.5.4 | 编译及下载 | 285 |
| 9.5.5 | 调试及运行监控 | 285 |
| 9.5.6 | 打开及上载 | 287 |
| 9.6 | S7-200 PLC 仿真软件的使用 | 287 |
| 9.6.1 | 硬件设置 | 288 |
| 9.6.2 | 下载及运行程序 | 289 |
| 9.6.3 | 模拟调试程序 | 291 |

| | |
|-------------------------------------|-----|
| 习题与思考题 | 292 |
| 附录 A SAC-PLC 教学实验设备简介 | 293 |
| 附录 B 实验指导书 | 295 |
| 附录 C S7-200 PLC 的 CPU22x 性能数据 | 303 |
| 附录 D S7-200PLC 常用 SM 存储位功能 | 305 |
| 附录 E 饮料灌装系统符号表及程序清单 | 307 |
| 主要参考文献 | 313 |

绪 论

在利用工具提高生产效率的初期,人类主要依靠双手来进行工作。随着生产工具越来越复杂,为了提高操作的准确性、安全性和经济性,人们开始意识到自动化的重要性。尤其是在工业生产领域,需要安全、可靠和高效的自动化控制方式,来实现生产过程。

19世纪末,随着发电机和电动机的产生,作为控制电力拖动系统的电气控制系统得到发展。电气控制系统是根据生产过程的工艺要求,由控制电器组成的能满足生产过程工艺要求的控制系统。在电气控制系统领域,自动化控制方式主要包括继电器接触器控制系统和 PLC 控制系统。

20世纪70年代以前,电气控制系统主要是由开关电器、继电器、接触器等组成,故称继电器接触器控制系统,也称传统电气控制系统。这种控制方式结构简单、价格低廉、抗干扰能力强,取代了传统的手动控制方式,在当时使用十分广泛。但这种控制方式采用固定的硬接线实现各种逻辑控制功能,灵活性差;另外,该系统使用的控制电器采用的是机械触点,工作频率低,也易损坏,因此可靠性低。

随着社会的发展进步,工厂企业所生产的产品需要不断地更新换代,同时相应的控制系统也需要随之进步。1968年,美国通用汽车公司提出生产一种适应工业环境的通用控制装置的设想,该装置同时应具有计算机的完备功能和灵活性、通用性好的优点,以及继电器接触器控制系统的结构简单、操作方便、价格便宜等优点。在这种设想下 PLC 于 1969 年应运而生,并在通用汽车公司的自动装配线上试用成功。从此,PLC 逐渐开始成为电气自动控制系统中应用最为广泛的核心装置。

《电气控制与 PLC 应用技术》是一门实用性很强的专业课。本课程的主要内容是以电动机或其他执行电器为控制对象,介绍继电器接触器控制系统和 PLC 控制系统。目前,PLC 控制系统在工业上应用十分普遍,但是 PLC 仅仅可取代继电器接触器控制系统的逻辑控制部分,无法取代其全部;另外,继电器接触器控制系统在小型电气控制系统中还在使用,而且低压电器正向小型化、长寿命的方向发展,出现了功能多样的电子式电器,使得继电器接触器控制系统的性能不断

提高。因此继电器接触器控制系统是本课程的基础,PLC 控制技术是本课程的重点。本课程的目标是让学生掌握一门实用的工业控制技术,培养和提高学生的实际应用能力。

第1章

电气设备及低压电器

本章主要介绍目前电气控制系统中常用的电气设备和低压电器。本章内容是学习继电器接触器控制系统的基础。

通过学习本章内容,读者应了解一般电气设备的构造和控制方法,掌握常用低压电器的结构、工作原理和符号,熟悉常用低压电器的型号,了解其选用、安装及使用的原则。

1.1 电气设备的构造和控制举例

在电气控制系统中,要实现对被控对象的控制,首先需要了解被控对象的构造。电气控制系统中的被控对象主要是应用于各种环境下的电动机,同时包括电炉、电磁阀等电气设备。本章以单个电动机、电炉、传送带和泵设备为例,简单介绍几种电气设备的构造和控制方法。

1.1.1 电动机设备

电动机是指利用从电源得到的电力来产生机械动力的旋转机器。电动机种类较多,用于控制机械装置运转的电动机主要有直流他励电动机、三相异步交流电动机、同步电动机、伺服电动机和步进电动机等。

因为电动机的速度容易控制,并且能承受短时间的过负载,同时也容易进行远距离的监控,所以其作为电气控制中的物体移动和加工等过程的动力源而得到了广泛的应用。

一般来说,作为机械和装置的动力源,多数采用三相交流异步电动机,其结构如图 1.1 所示。三相交流异步电动机主要包括定子(固定部分)和转子(旋转部分)两个基本部分。其中,定子包括机座、定子铁心和定子卷线(也称定子绕组);转子包括转子铁心和转子绕组,转子铁心装在转轴上。定子卷线通过端子箱与三相电源相连,当三相电源接通时,在定子卷线周围产生旋转的磁场,对转子产生旋转的力矩,带动转子旋转,从而使转子带动电动机轴旋转。

为了便于控制,三相异步交流电动机通常并不直接与三相电源相连。例如,实现三相异步交流电动机的启动和停止控制的实际布线图如图 1.2

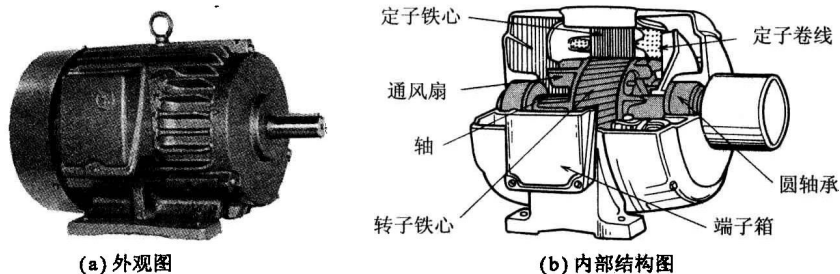


图 1.1 三相交流异步电动机结构

所示。当合上低压断路器,引入三相电源到电磁接触器;电磁接触器为控制电器,由控制柜门上的按钮开关控制电磁接触器通断,从而控制电动机启动或停止;而热继电器串联在电动机电路中,起到对电动机进行过载保护的作用。

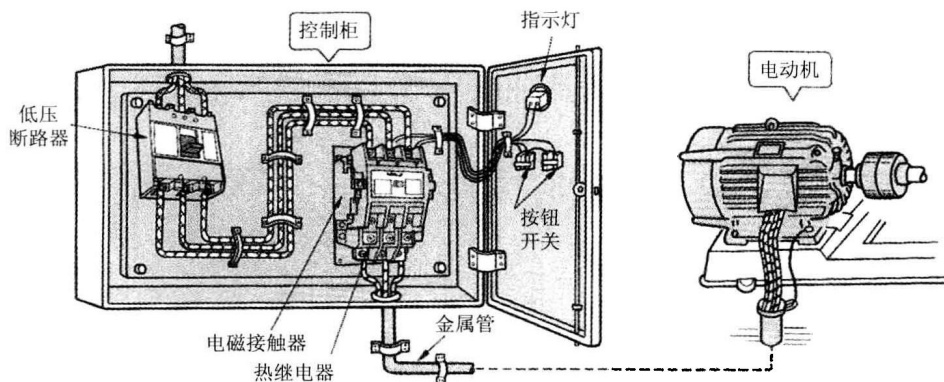


图 1.2 三相异步交流电动机的启动和停止控制的实际布线图

三相异步电动机控制主要有以下几种基本控制电路:

(1) 全压启动控制:这是一种从一开始就把电源电压加到电动机上进行启动的控制,在容量比较小的电动机中得到了广泛应用。

(2) γ - Δ 启动控制:启动时电动机线圈按星形(γ)连接,把量值等于 $\frac{1}{\sqrt{3}}$ 电源电压的较小电压加到电动机线圈上,从而减小了启动电流。启动时的加速部分完成以后,再转换成三角形(Δ)连接进行运转,这种启动方式就称为 γ - Δ 启动控制。

(3) 点动运转控制:只有在按压点动按钮时电动机才旋转,当放开按钮时电动机就会停止,这种控制称为点动运转控制。通常,要使具有旋转运动模式的机械装置进行微小运转时,常采用这种控制方式。

(4) 正反转控制:能够对电动机正反两个方向的旋转进行转换的控制称为正反转控制。

(5) 速度控制:改变电动机线圈的连接方式,变换它的极数或者改变电源的频率,都能对电动机的速度进行控制。

(6) 制动控制:为了使电动机快速停止运转,常对电动机施加静止转矩或相反转矩,从而使电动机迅速地停止下来,这种控制方式称为制动控制。

1.1.2 电炉设备

电炉是利用电流的热效应作为热源而产生高温的一种炉子。由于电炉具有容易得到高温,而且温度调节容易、操作简单、热效率高等特点,因此被应用于金属或合金的加热、溶解和精炼等过程中。利用电炉进行温度控制也在许多领域都得到了广泛的应用。

电炉设备进行温度控制的实际布线图示例如图 1.3 所示。

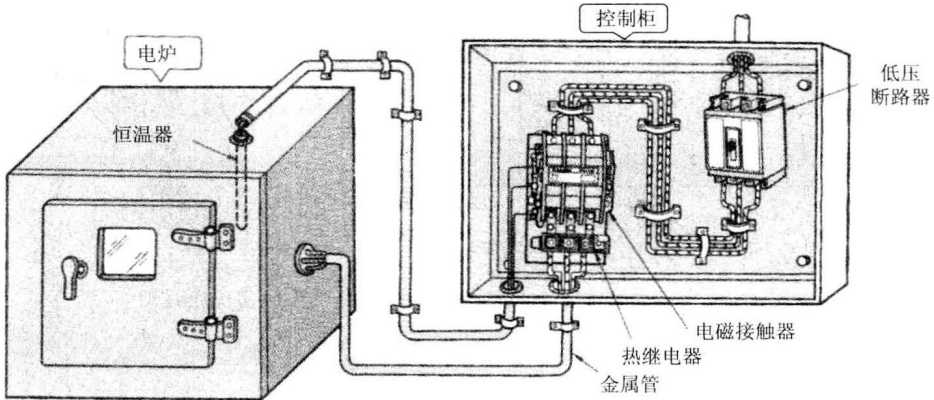


图 1.3 电炉设备进行温度控制的实际布线图示例

温度开关被用来作为温度控制的温度检测器。所谓温度开关,就是相对于温度的某一目标值检测出高于或者低于目标值的数值,然后发出打开或关闭的信号。图 1.3 中的恒温器等就属于这类装置。

关于温度控制的实例有很多,下面介绍三种基本的温度控制线路。

(1) 采用温度开关的报警电路:利用蒸汽进行加热时,当水箱内的温度达到设定值以上时,作为温度控制装置的温度开关运行并发出警报。

(2) 三相加热器的温度控制:利用温度开关接通或断开作为热源三相加热器,从而保持电炉内的温度为一定的数值,同时当温度达到某个设定的温度时将会发出警报。

(3) 冷暖房控制:对于室内冷暖房和恒温室的空调等情况,将加热器和冷却器中的温度开关组合在一起,可以使室内温度保持在某一范围内。

1.1.3 压力控制设备

所谓压力控制,是指对水压、油压等液体压力或者空气压力、瓦斯气压等气