

21 世纪 高 职 高 专 规 划 教 材

电 气 、 自 动 化 、 应 用 电 子 技 术 系 列



工厂电气控制技术

熊幸明 主编 陈有卿 曹才开 副主编

清华大学出版社



21 世纪高职高专规划教材

电气、自动化、应用电子技术系列

工厂电气控制技术

熊幸明 主编 陈有卿 曹才开 副主编

清华大学出版社
北京

内 容 简 介

本书从便于教学和工程应用出发,系统地介绍了工厂电气控制设备的电气控制原理、典型控制线路及设计方法。以当今最具代表性的日本三菱 FX_{2N} 系列超小型可编程控制器为例,介绍了可编程控制器的原理及应用。内容包括:常用低压电器、电气控制线路的基本环节、生产机械电气控制系统分析、电气控制线路的设计及元器件选择、可编程控制器的组成及工作原理、可编程控制器的指令、可编程控制器的应用、可编程控制器的通信及网络。每章后附有适量的思考题和习题。

本书在内容处理上,既注意反映电气控制领域的最新技术,又注意专科学生的知识和能力结构。强调理论联系实际,注重培养学生的动手能力、分析和解决实际问题的能力,以及工程设计能力和创新意识。本书具有保证基础、体现先进、加强应用的特点。

本书是在作者多年从事本课程及相关课程的教学、教改及科研的基础上编写的,可作为高职高专院校工业自动化、电气技术、机电一体化等相近专业教材,也可供从事电气控制方面工作的工程技术人员和技术工人参考。

版权所有,翻印必究。举报电话:010-62782989 13501256678 13801310933

本书封面贴有清华大学出版社防伪标签,无标签者不得销售。

本书防伪标签采用特殊防伪技术,用户可通过在图案表面涂抹清水,图案消失,水干后图案复现;或将表面膜揭下,放在白纸上用彩笔涂抹,图案在白纸上再现的方法识别真伪。

图书在版编目(CIP)数据

工厂电气控制技术/熊幸明主编. —北京:清华大学出版社,2005.10

(21世纪高职高专规划教材. 电气、自动化、应用电子技术系列)

ISBN 7-302-11430-7

I. 工… II. 熊… III. 工厂—电气控制—高等学校:技术学校—教材 IV. TM571.2

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2005)第 082654 号

出 版 者: 清华大学出版社 地 址: 北京清华大学学研大厦

<http://www.tup.com.cn> 邮 编: 100084

社 总 机: 010-62770175 客户服务: 010-62776969

责任编辑: 束传政

印 装 者: 北京鑫海金澳胶印有限公司

发 行 者: 新华书店总店北京发行所

开 本: 185×230 印张: 20.75 字数: 422 千字

版 次: 2005 年 10 月第 1 版 2005 年 10 月第 1 次印刷

书 号: ISBN 7-302-11430-7/TM·64

印 数: 1~4000

定 价: 26.00 元

出版说明

高职高专教育是我国高等教育的重要组成部分,担负着为国家培养并输送生产、建设、管理、服务第一线高素质技术应用型人才的重任。

进入 21 世纪后,高职高专教育的改革和发展呈现出前所未有的发展势头,学生规模已占我国高等教育的半壁江山,成为我国高等教育的一支重要的生力军;办学理念上,“以就业为导向”成为高等职业教育改革与发展的主旋律。近两年来,教育部召开了三次产学研交流会,并启动四个专业的“国家技能型紧缺人才培养项目”,同时成立了 35 所示范性软件职业技术学院,进行两年制教学改革试点。这些举措都表明国家正在推动高职高专教育进行深层次的重大改革,向培养生产、服务第一线真正需要的应用型人才的方向发展。

为了顺应当前我国高职高专教育的发展形势,配合高职高专院校的教学改革和教材建设,进一步提高我国高职高专教育教材质量,在教育部的指导下,清华大学出版社组织出版“21 世纪高职高专规划教材”。

为推动规划教材的建设,清华大学出版社组织并成立“高职高专教育教材编审委员会”,旨在对清华版的全国性高职高专教材及教材选题进行评审,并向清华大学出版社推荐各院校办学特色鲜明、内容质量优秀的教材选题。教材选题由个人或各院校推荐,经编审委员会认真评审,最后由清华大学出版社出版。编审委员会的成员皆来源于教改成效大、办学特色鲜明、师资实力强的高职高专院校、普通高校以及著名企业,教材的编写者和审定者都是从事高职高专教育第一线的骨干教师和专家。

编审委员会根据教育部最新文件政策,规划教材体系,比如部分专业的两年制教材;“以就业为导向”,以“专业技能体系”为主,突出人才培养的实践性、应用性的原则,重新组织系列课程的教材结构,整合课程体系;按照教育部制定的“高职高专教育基础课程教学基本要求”,教材的基础理论以“必要、够用”为度,突出基础理论的应用和实践技能的培养。

本套规划教材的编写原则如下:

- (1) 根据岗位群设置教材系列,并成立系列教材编审委员会;
- (2) 由编审委员会规划教材、评审教材;
- (3) 重点课程进行立体化建设,突出案例式教学体系,加强实训教材的出版,完善教学服务体系;
- (4) 教材编写者由具有丰富教学经验和多年实践经历的教师共同组成,建立“双师型”编者体系。

本套规划教材涵盖了公共基础课、计算机、电子信息、机械、经济管理以及服务等大类的主要课程,包括专业基础课和专业主干课。目前已经规划的教材系列名称如下:

• 公共基础课

公共基础课系列

• 计算机类

计算机基础教育系列

计算机专业基础系列

计算机应用系列

网络专业系列

软件专业系列

电子商务专业系列

• 电子信息类

电子信息基础系列

微电子技术系列

通信技术系列

电气、自动化、应用电子技术系列

• 机械类

机械基础系列

机械设计与制造专业系列

数控技术系列

模具设计与制造系列

• 经济管理类

经济管理基础系列

市场营销系列

财务会计系列

企业管理系列

物流管理系列

财政金融系列

• 服务类

旅游系列

艺术设计系列

本套规划教材的系列名称根据学科基础和岗位群方向设置,为各高职高专院校提供“自助餐”形式的教材。各院校在选择课程需要的教材时,专业课程可以根据岗位群选择系列;专业基础课程可以根据学科方向选择各类的基础课系列。例如,数控技术方向的专业课程可以在“数控技术系列”选择;数控技术专业需要的基础课程,属于计算机类课程的可以在“计算机基础教育系列”和“计算机应用系列”选择,属于机械类课程的可以在“机械基础系列”选择,属于电子信息类课程的可以在“电子信息基础系列”选择。依此类推。

为方便教师授课和学生学习,清华大学出版社正在建设本套教材的教学服务体系。本套教材先期选择重点课程和专业主干课程,进行立体化教材建设:加强多媒体教学课件或电子教案、素材库、学习盘、学习指导书等形式的制作和出版,开发网络课程。学校在选用教材时,可通过邮件或电话与我们联系获取相关服务,并通过与各院校的密切交流,使其日臻完善。

高职高专教育正处于新一轮改革时期,从专业设置、课程体系建设到教材编写,依然是新课题。希望各高职高专院校在教学实践中积极提出意见和建议,并向我们推荐优秀选题。反馈意见请发送到 E-mail: gzg@tup.tsinghua.edu.cn。清华大学出版社将对已出版的教材不断地修订、完善,提高教材质量,完善教材服务体系,为我国的高职高专教育出版优秀的高质量的教材。

高职高专教育教材编审委员会

前言

工厂电气控制技术

本书是根据高职高专工业电气自动化专业《工厂电气控制技术》课程的教学大纲,并充分考虑到电气技术的实际应用和发展情况而编写的。

本书在内容处理上,既注意反映电气控制领域的最新技术,又注意专科学生的知识和能力结构,强调理论联系实际,注重学生动手能力、分析和解决实际问题的能力,以及工程设计能力和创新意识的培养。如精选传统电器及继电器—接触器控制内容,删除应用越来越少的电机放大机、磁放大器和顺序控制器的内容,增加继电器—接触器控制线路故障分析与检查等内容,并将加工业自动化三大支柱之一的可编程控制器单独列为1篇进行介绍。全书具有保证基础、体现先进、加强应用的特点。

全书分为2篇8章。第1篇共4章,主要介绍常用低压电器的结构、原理、用途,电气控制线路的基本环节,典型生产机械电气控制线路的分析,电气控制线路设计的一般原则与方法,以及元器件的选择。第2篇也分4章,以当今最新、最具特色、极有代表性的日本三菱FX_{2N}系列超小型可编程控制器作为目标机型,介绍了可编程控制器的组成及工作原理、指令系统(包括功能指令)、编程方法与技巧、可编程控制系统的设计及应用实例、可编程控制器的通信及网络。其中第8章采用“※”标记方式进行分类,教学时可根据实际情况灵活选取。每章末尾都附有适量的思考题和习题。

本书由熊幸明担任主编,陈有卿、曹才开(以姓氏笔划为序)担任副主编。其中前言、绪论、第3章、第7章、附录由熊幸明编写;第1章由曹才开编写;第2章由熊幸明、王新辉、盛旺编写;第4、6、8章由刘湘澧编写;第5章由陈有卿编写。张跃勤、张志钢、石成刚、邓居祁、殷科生、张文希、张明、雷敏、邓亚平等为本书编写提供了部分资料并参加资料整理工作,谭敏、熊一舟对一些电路、程序进行了调试验证。在本书编写过程中,得到了长沙学院(原长沙大学)的大力支持,在此一并表示衷心的感谢。

由于编者水平有限,书中难免有缺点和错误之处,敬请读者批评指正。

作者

2005年5月

绪 论

工厂电气控制技术

1. 电气控制技术的发展概况

电气控制技术是以各类电动机为动力的传动装置与系统为对象,以实现生产过程自动化的控制技术。电气控制系统是其中的主干部分,在国民经济各行业中的许多部门得到广泛应用,是实现工业生产自动化的重要技术手段。

随着科学技术的不断发展、生产工艺的不断改进,特别是计算机技术的应用,新型控制策略的出现,不断改变着电气控制技术的面貌。在控制方法上,从手动控制发展到自动控制;在控制功能上,从简单控制发展到智能化控制;在操作上,从笨重发展到信息化处理;在控制原理上,从单一的有触头硬接线继电器逻辑控制系统发展到以微处理器或微计算机为中心的网络化自动控制系统。现代电气控制技术综合应用了计算机技术、微电子技术、检测技术、自动控制技术、智能技术、通信技术、网络技术等先进的科学技术成果。

作为生产机械动力的电机拖动,经历了漫长的发展过程。20 世纪初,电动机直接取代蒸汽机。开始是成组拖动,用一台电动机通过中间机构(天轴)实现能量分配与传递,拖动多台生产机械。这种拖动方式电气控制线路简单,但机构复杂,能量损耗大,生产灵活性也差,不适应现代化生产的需要。20 世纪 20 年代,出现了单电机拖动,即由一台电动机拖动一台生产机械。单电机拖动相对成组拖动,机械设备结构简单,传动效率提高,灵活性增大,这种拖动方式在一些机床中至今仍在使⽤。随着生产发展及自动化程度的提高,又出现了多台电动机分别拖动各运动机构的多电机拖动方式,进一步简化了机械结构,提高了传动效率,而且使机械的各运动部分能够选择最合理的运动速度,缩短了工时,也便于分别控制。

继电器—接触器控制系统至今仍是许多生产机械设备广泛采用的基本电气控制形式,也是学习更先进电气控制系统的基础。它主要由继电器、接触器、按钮、行程开关等组成,由于其控制方式是断续的,故称为断续控制系统。它具有控制简单、方便实用、价格低廉、易于维护、抗干扰能力强等优点。但由于其接线方式固定,灵活性差,难以适应复杂和程序可变的控制对象的需要,且工作频率低,触点易损坏,可靠性差。

以软件手段实现各种控制功能、以微处理器为核心的可编程控制器(Programmable

Logic Controller, PLC), 是 20 世纪 60 年代诞生并开始发展起来的一种新型工业控制装置。它具有通用性强、可靠性高、能适应恶劣的工业环境,指令系统简单、编程简便易学、易于掌握,体积小、维修工作少、现场连接安装方便等一系列优点,正逐步取代传统的继电器控制系统,广泛应用于冶金、采矿、建材、机械制造、石油、化工、汽车、电力、造纸、纺织、装卸、环保等各个行业的控制中。

在自动化领域,可编程控制器与 CAD/CAM、工业机器人并称为加工业自动化的三大支柱,其应用日益广泛。可编程控制器技术是以硬接线的继电器—接触器控制为基础,逐步发展为既有逻辑控制、计时、计数,又有运算、数据处理、模拟量调节、联网通信等功能的控制装置。它可通过数字量或者模拟量的输入、输出满足各种类型机械控制的需要。可编程控制器及有关外部设备,均按既易于与工业控制系统联成一个整体,又易于扩充其功能的原则设计。可编程控制器已成为生产机械设备中开关量控制的主要电气控制装置。

2. 本课程的性质和任务

《工厂电气控制技术》是工业自动化、电气技术等专业的一门实践性很强的专业课。由于电气控制技术的应用领域很广,本课程主要介绍机械制造过程中所用生产设备的电气控制原理、线路、设计方法,以及可编程控制器的原理、指令、编程方法、系统设计、在生产机械中的应用等有关知识。现代机械设备所用控制方法很多,有电气、液压、气动、机械等,也有几种方法的综合应用,电气控制技术往往起着中枢连接作用,应用最为广泛。

通过本门课程的学习,学生应达到下列基本要求:

- (1) 熟悉常用控制电器的结构、工作原理、用途、型号,并能正确选用。
- (2) 熟悉电气控制线路的基本环节,对一般电气控制线路具有独立分析能力。
- (3) 初步具有对不太复杂的电气控制系统进行改造和设计的能力。
- (4) 初步具有对一般继电器—接触器控制线路的故障分析与检查能力。

(5) 初步掌握可编程控制器的基本工作原理、指令系统、编程方法和技巧,能根据生产工艺过程和控制要求正确选用 PLC 和编制用户程序,经调试应用于生产过程控制。

目 录

工厂电气控制技术

第1篇 电气控制

第1章 常用低压控制电器	3
1.1 主令电器	3
1.1.1 按钮开关	3
1.1.2 行程开关	5
1.1.3 凸轮控制器	7
1.1.4 主令控制器	9
1.2 低压开关类电器	10
1.2.1 刀开关	10
1.2.2 组合开关	13
1.2.3 自动开关	14
1.3 熔断器	16
1.3.1 插入式熔断器	17
1.3.2 螺旋式熔断器	17
1.4 接触器	19
1.4.1 交流接触器	20
1.4.2 直流接触器	24
1.5 继电器	27
1.5.1 热继电器	27
1.5.2 时间继电器	30
1.5.3 速度继电器	37
1.5.4 中间继电器	39
1.5.5 过电流继电器	40

1.5.6 欠电压继电器	42
思考题	43
习题	43
第2章 电气控制线路的基本环节	44
2.1 电气控制线路的绘制	44
2.1.1 常用电气图形、文字符号	44
2.1.2 电气原理图	47
2.1.3 电气安装接线图	48
2.2 三相异步电动机直接启动控制	49
2.3 三相笼型电动机降压启动控制	50
2.3.1 定子绕组串电阻降压启动	51
2.3.2 Y- Δ 降压启动	52
2.3.3 自耦变压器降压启动	54
2.3.4 延边三角形降压启动	55
2.4 三相绕线转子电动机启动控制	57
2.4.1 绕线转子电动机串电阻启动控制	57
2.4.2 绕线转子电动机串接频敏变阻器启动控制	58
2.5 三相异步电动机的正反转控制	60
2.5.1 电动机的正反转控制	60
2.5.2 正反转自动循环控制	62
2.6 三相异步电动机的制动控制	63
2.6.1 机械制动	63
2.6.2 电气制动	64
2.7 三相异步电动机的调速控制	72
2.7.1 变极调速控制	72
2.7.2 变更转子外串电阻的调速控制	75
2.7.3 电磁调速控制	76
2.8 其他基本环节	79
思考题	82
习题	82
第3章 生产机械电气控制线路分析	85
3.1 C616 型卧式车床电气控制系统	85

3.1.1 机床结构及控制特点	85
3.1.2 电路工作原理	87
3.2 Z3040 型摇臂钻床电气控制系统	88
3.2.1 机床结构及控制特点	88
3.2.2 电路工作原理	92
3.3 X62W 型万能铣床电气控制系统	94
3.3.1 机床结构及控制特点	94
3.3.2 电路工作原理	99
3.4 M7120 型磨床电气控制系统	102
3.4.1 机床结构及控制特点	103
3.4.2 电路工作原理	106
3.4.3 电磁吸盘充、退磁电路的改进	107
3.5 组合机床电气控制系统	109
3.5.1 机械动力滑台控制线路	110
3.5.2 液压动力滑台控制线路	111
3.5.3 组合机床控制线路举例	114
3.6 30t/5t 桥式起重机电气控制系统	116
3.6.1 桥式起重机结构及控制特点	116
3.6.2 30t/5t 桥式起重机电路工作原理	117
3.7 继电器—接触器控制线路故障分析与检查	126
3.7.1 电压测量法	126
3.7.2 电阻测量法	127
3.7.3 短接法	128
思考题	129
习题	130
第 4 章 电气控制线路的设计及元器件选择	131
4.1 电气控制线路设计的主要内容	131
4.2 电气控制线路的设计	132
4.2.1 电气控制线路设计的基本原则	132
4.2.2 电气控制线路设计的基本规律	140
4.2.3 电气控制线路的设计步骤和方法	142
4.3 常用电器元件的选择	152
4.3.1 按钮、开关类电器的选择	154

4.3.2 熔断器的选择·····	156
4.3.3 交流接触器的选择·····	157
4.3.4 继电器的选择·····	159
4.3.5 控制变压器的选择·····	159
4.3.6 笼型异步电动机有关电阻的计算·····	160
思考题·····	161
习题·····	161

第2篇 可编程控制器

第5章 可编程控制器的组成及工作原理·····	167
5.1 概述·····	167
5.2 可编程控制器的组成及元件·····	170
5.2.1 可编程控制器的组成·····	170
5.2.2 可编程控制器的元件·····	179
5.3 可编程控制器的工作原理·····	193
思考题·····	194
习题·····	194
第6章 可编程控制器的指令·····	196
6.1 概述·····	196
6.2 基本逻辑指令·····	199
6.2.1 逻辑取指令和输出指令·····	199
6.2.2 触点串联指令·····	200
6.2.3 触点并联指令·····	200
6.2.4 串联电路块并联指令·····	201
6.2.5 并联电路块串联指令·····	202
6.2.6 多重输出电路指令·····	204
6.2.7 主控触点指令·····	205
6.2.8 自保持与解除指令·····	206
6.2.9 定时器、计数器指令·····	207
6.2.10 脉冲输出指令·····	209
6.2.11 脉冲式触点指令·····	209
6.2.12 逻辑运算结果取反指令·····	210

6.2.13 空操作指令	211
6.2.14 程序结束指令	212
6.3 步进顺控指令	212
6.3.1 状态转移图	213
6.3.2 编程方法	215
6.3.3 选择序列的编程方法	218
6.3.4 并行序列的编程方法	220
6.4 功能指令简介	222
6.4.1 FX 系列 PLC 功能指令的表示方法与数据结构	222
6.4.2 程序流控制指令	224
6.4.3 传送、比较指令	228
6.4.4 循环移位、移位指令	231
6.4.5 数据处理指令	232
附表 功能指令简表	235
思考题	239
习题	239
第 7 章 可编程控制器的应用	245
7.1 可编程控制器应用系统设计	245
7.1.1 可编程控制器应用系统设计的内容和步骤	245
7.1.2 可编程控制器应用系统的硬件设计	247
7.1.3 可编程控制器应用系统的软件设计	252
7.2 可编程控制器应用实例	253
7.2.1 常用控制线路的 PLC 控制	253
7.2.2 抢答显示系统的 PLC 控制	260
7.2.3 机械手运动的 PLC 控制	263
7.2.4 两工位组合机床的 PLC 控制	272
思考题	280
习题	280
第 8 章 可编程控制器的通信及网络	284
※8.1 通信网络的基础知识	284
8.1.1 数据通信基础	284
8.1.2 工业局域网基础	291

8.2 可编程控制器的网络	299
8.2.1 PLC 网络的拓扑结构及其各级子网通信协议配置的原则	299
8.2.2 PLC 网络的通信方法	302
8.2.3 PC 机与 PLC 网络的联网通信	305
8.2.4 可编程控制器的典型网络	307
※8.2.5 三菱公司的 PLC 网络	310
思考题	313
附录 Y 系列三相异步电动机的型号及技术数据	314
参考文献	317

第 1 篇

电 气 控 制

- 第 1 章 常用低压控制电器
- 第 2 章 电气控制线路的基本环节
- 第 3 章 生产机械电气控制线路分析
- 第 4 章 电气控制线路的设计及元器件选择

常用低压控制电器

工作在交流 1000V、直流 1200V 电压及以下的电器,称为低压电器,其用途是对供电、用电系统进行开关、控制、保护和调节。根据其控制对象的不同,低压电器分为配电电器和控制电器两大类。前者主要用于低压配电系统和动力回路,常用的有刀开关、转换开关、熔断器、自动开关等;后者主要用于电力传输系统和电气自动控制系统中,常用的有主令电器、接触器、继电器、启动器、控制器、电阻器、变阻器、电磁铁等。本章主要介绍常用的主令电器、低压开关类电器、熔断器、接触器、继电器等低压控制电器的结构和工作原理。

1.1 主令电器

主令电器是用于自动控制系统中发出指令的操作电器,利用它控制接触器、继电器或其他电器,使电路接通和分断来实现对生产机械的自动控制。常用的主令电器有按钮开关、行程开关、万能转换开关、凸轮控制器、主令控制器等。

1.1.1 按钮开关

按钮开关是一种用来短时接通或分断小电流电路的手动控制电器。在控制电路中,通过它发出“指令”控制接触器、继电器等电器,再由它们去控制主电路的通断。

按钮开关的外形和结构如图 1-1 所示,主要由按钮帽、复位弹簧、常开触点、常闭触点、接线柱、外壳等组成。它的图形符号和文字符号如图 1-2 所示。

按钮开关的种类很多,生产机械上常用的有 LA2、LA10、LA18、LA19、LA20 等系列。其中 LA18 系列按钮是积木式结构,触点数目可按需要拼装;结构形式有掀按式、紧急式、钥匙式和旋钮式。LA19 系列在按钮内装有信号灯,除作为控制电路的主令电器使用外,还可兼作信号指示灯使用。LA 系列按钮的主要技术数据见表 1-1。