

21 世纪 高 职 高 专 规 划 教 材

电 气 、 自 动 化 、 应 用 电 子 技 术 系 列



过程检测与控制

王 燕 方景林 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

过程检测与控制

王 燕 方景林 主编



清华大学出版社
北京

内 容 简 介

本书以过程控制系统为体系,全面系统地介绍了过程检测装置和过程控制装置的原理及应用,过程控制系统的组成、原理、设计、分析等知识,并附有典型的应用实例。

全书共分12章,内容包括温度、压力、流量、物位的测量,过程分析仪器,过程控制仪表与装置,过程控制系统的基本概念,单回路、串级、比值、前馈、均匀、选择性控制系统,计算机过程控制系统和典型控制系统应用实例。

本书可作为高职高专电气自动化技术专业及相关专业仪表与自动控制类课程的教材,也可供从事过程控制工作的工程技术人员参考。

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

过程检测与控制/王燕,方景林主编. —北京:清华大学出版社,2006.7

(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 7-302-12853-7

I. 过… II. ①王…②方… III. ①自动检测—高等学校:技术学校—教材②过程控制—高等学校:技术学校—教材 IV. TP27

中国版本图书馆CIP数据核字(2006)第034359号

出 版 者: 清华大学出版社
http://www.tup.com.cn
社 总 机: 010-62770175

地 址: 北京清华大学学研大厦
邮 编: 100084
客户服务: 010-62776969

组稿编辑: 刘 青

文稿编辑: 朱怀永

印 刷 者: 北京密云胶印厂

装 订 者: 北京市密云县京文制本装订厂

发 行 者: 新华书店总店北京发行所

开 本: 185×230 印张: 19.5 字数: 402 千字

版 次: 2006年7月第1版 2006年7月第1次印刷

书 号: ISBN 7-302-12853-7/TP·8172

印 数: 1~4000

定 价: 24.00元

前言

过程检测与控制

过程检测与控制技术即生产过程自动化技术,作为自动化技术的重要组成部分,已经广泛应用于石油、化工、冶金、电站、造纸、建材、陶瓷、酿造、制药、热处理等众多领域。过程控制是通过采用各种检测仪表、控制仪表及计算机等自动化技术工具,对整个生产过程进行自动检测、监督和控制,以实现各种最优的技术经济指标,提高经济效益和劳动生产率、节约能源、改善劳动条件、保护环境。

过程检测与控制离不开生产过程,工业生产过程需要自动化。确定自动化方案或对现有的工艺过程进行技术改造,必须深入了解工业生产的工艺过程,熟悉生产过程的基本原理和主要的工艺流程,分析各种干扰因素,了解工艺对自动控制的要求,掌握变量间的相互关系,找出影响生产过程的关键因素等。可见,要实现生产过程自动化,不仅需要自动化人员,还需要各类工艺专业人员和设备设计与管理人員的相互配合。因此,自动化人员必须有扎实的专业知识,同时工艺和设备人员也必须具备一定的自动化基础知识,以便能与自动化人员协商合作,使生产过程控制在最佳工况,从而改善生产条件,达到优质、高产、安全、低耗的目的。

本书主要作为高职高专学生教材。根据高职高专学生的特点,依据教学的基本要求,在以往教材的基础上,本着“少而精、够用、适度、实用”的原则,从满足生产工艺要求出发,按照从过程检测仪器到检测系统,再从过程控制装置到控制系统,逐步深入地认识各种过程检测和控制系统,并删减了一些不必要的数学推导,问题的论述与说明尽可能清晰流畅并适应高职高专的教学要求。根据工业生产应用的实际需要,给出了过程检测系统的应用实例,并介绍了过程分析仪器。此外,还介绍了集散控制系统和现场总线控制系统。

本书共分12章,第1~5章分别为温度测量、压力测量、流量测量、物位测量、过程分析仪器。第6章介绍过程控制仪表及装置,第7~12章分别介绍过程控制系统概述、单回路控制系统、高品质控制系统(串级、前馈控制系统)、特殊控制系统(比值、均匀、选择性和分程控制系统)、计算机过程控制系统(直接数字控制、集散控制、现场总线控制系统)、典型控制系统应用实例。

本书由王燕、方景林担任主编。具体分工为：第1~4章由王燕编写，第5、6章由李红编写，第7~11章由方景林编写，第12章由刘震编写。

本书在编写过程中，参考了大量的文献；本书的编审和出版得到了清华大学出版社的诚挚帮助。在此一并向参考文献的作者及关心和支持本书出版的所有单位和个人表示衷心感谢！

由于编者水平有限，书中难免出现疏漏，恳请使用本书的各方人士批评指正。

编 者

2005年12月

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了“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了“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和政策,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

国际商务系列

• 服务类

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:gzgz@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

目 录

过程检测与控制

第 1 章 温度测量	1
1.1 概述	1
1.1.1 温度测量	1
1.1.2 测温方法及测量仪表的分类	1
1.1.3 温标	3
1.2 热电偶测温	4
1.2.1 热电偶的测温原理	4
1.2.2 热电偶的基本定律及其应用	7
1.2.3 热电偶材料	8
1.2.4 热电偶结构	11
1.2.5 热电偶冷端补偿问题	12
1.2.6 热电偶的检定	15
1.3 热电阻温度计	17
1.3.1 测量原理	17
1.3.2 工业用热电阻	18
1.3.3 热电阻的结构	21
1.4 辐射测温	22
1.4.1 辐射测温的基本概念和定律	22
1.4.2 光学高温计	24
1.4.3 全辐射高温计	26
1.5 小结	28
思考题与习题	28
第 2 章 压力测量	30
2.1 压力与单位	30

2.1.1 压力的概念	30
2.1.2 压力测量仪表的分类	31
2.2 液柱式压力计	32
2.3 活塞式压力计	35
2.3.1 结构及测量原理	35
2.3.2 产生误差的影响因素	36
2.4 弹性压力计	37
2.4.1 弹性元件	37
2.4.2 弹簧管压力表	39
2.4.3 膜盒式微压计	41
2.5 小结	41
思考题与习题	42
第3章 流量测量	43
3.1 差压式流量计	43
3.1.1 差压式流量计测量流量的基本原理	43
3.1.2 差压式流量计组成	46
3.1.3 标准节流装置	47
3.2 容积式流量计	51
3.2.1 容积式流量计概述	51
3.2.2 椭圆齿轮流量计	52
3.2.3 腰轮流量计	53
3.2.4 旋转活塞式流量计	53
3.2.5 刮板式流量计	54
3.3 转子流量计	55
3.3.1 转子流量计的特点及分类	55
3.3.2 转子流量计的工作原理	55
3.4 质量流量计	59
3.4.1 概述	59
3.4.2 直接式质量流量计	60
3.4.3 间接式质量流量计	61
3.5 电磁流量计	64
3.5.1 概述	64
3.5.2 电磁流量计的测量原理	64

3.5.3 电磁流量变送器的结构	65
3.5.4 电磁流量计的干扰	67
3.5.5 电磁流量转换器	70
3.5.6 电磁流量计的安装和使用	71
3.6 靶式流量计	71
3.6.1 靶式流量计的工作原理	71
3.6.2 靶式流量计的安装	72
3.7 涡轮流量计	73
3.7.1 概述	73
3.7.2 涡轮流量计的结构	74
3.7.3 涡轮流量计的工作原理	75
3.7.4 涡轮流量计的显示仪表	76
3.7.5 涡轮流量计的使用	77
3.8 小结	77
思考题与习题	79
第4章 物位测量	80
4.1 物位测量概述	80
4.1.1 物位测量的概念	80
4.1.2 物位测量仪表的分类	80
4.2 静压式液位计	81
4.2.1 静压式液位计的测量原理	81
4.2.2 压力式液位计	82
4.2.3 差压式液位计	83
4.3 浮子式液位计	84
4.3.1 恒浮力式液位计	84
4.3.2 变浮力式液位计	85
4.4 电容式物位计	86
4.4.1 电容物位传感器的测量原理	86
4.4.2 非导电介质电容液位计	87
4.4.3 导电液体电容液位计	87
4.5 核辐射式物位计	88
4.5.1 核辐射式物位计的原理与特点	88
4.5.2 γ 射线物位计的几种类型	89

4.6 小结.....	91
思考题与习题	91
第5章 过程分析仪器	92
5.1 概述.....	92
5.1.1 过程分析仪器的概念及分类	92
5.1.2 过程分析仪器的组成	92
5.2 氧化锆氧分析器.....	93
5.2.1 氧化锆固体电解质导电机理	93
5.2.2 氧化锆氧分析器检测器	94
5.2.3 氧化锆氧分析器的调校	96
5.3 红外线气体分析器.....	96
5.3.1 红外分析的基本原理	96
5.3.2 红外线气体分析器的主要结构元件	97
5.3.3 红外线气体分析器	99
5.4 气相色谱仪	101
5.4.1 色谱分析原理.....	102
5.4.2 气相色谱仪的结构特点.....	103
5.4.3 检测器.....	104
5.5 小结	105
思考题与习题.....	106
第6章 过程控制仪表及装置.....	107
6.1 过程控制仪表及装置概述	107
6.1.1 控制仪表及装置的分类.....	107
6.1.2 信号传输与供电方式.....	109
6.1.3 安全防爆.....	112
6.2 变送器	114
6.2.1 变送器的基本知识.....	114
6.2.2 差压变送器.....	115
6.2.3 温度变送器.....	122
6.3 调节器	130
6.3.1 调节器的调节规律.....	130
6.3.2 DDZ—Ⅲ型调节器.....	137

6.3.3 可编程调节器.....	148
6.4 执行器	152
6.4.1 概述.....	152
6.4.2 电动执行器.....	153
6.4.3 气动执行器.....	157
6.4.4 智能执行器.....	173
6.5 小结	176
思考题与习题.....	178
第7章 过程控制系统概述.....	181
7.1 过程控制系统的结构与分类	181
7.1.1 控制系统的结构.....	181
7.1.2 控制系统的分类.....	184
7.2 过程控制系统的品质指标	186
7.2.1 自动控制系统的性能.....	186
7.2.2 控制系统的性能指标.....	187
7.3 管道仪表流程图	189
7.3.1 文字代号.....	190
7.3.2 仪表位号.....	192
7.3.3 图形符号.....	193
7.3.4 管道仪表流程图实例.....	195
7.4 过程控制对象的动态特性	196
7.4.1 过程对象动态特性的类型.....	196
7.4.2 有自衡能力对象的动态特性.....	198
7.4.3 无自衡能力对象的动态特性.....	203
7.5 对象动态特性的辨识	205
7.5.1 数学模型的建立方法.....	205
7.5.2 对象动态特性的辨识方法.....	206
7.6 小结	210
思考题与习题.....	211
第8章 单回路控制系统.....	213
8.1 概述	213
8.1.1 单回路控制系统的组成.....	213

8.1.2 过程控制系统设计的主要内容	214
8.2 单回路控制系统的设计原则	215
8.2.1 被控量的选择与检测变送	215
8.2.2 操纵量的选择与控制阀	217
8.2.3 控制器的选择	218
8.3 控制系统的投运与控制器参数整定	220
8.3.1 控制系统的投运	220
8.3.2 控制器的参数整定	221
8.4 小结	226
思考题与习题	227
第9章 高品质控制系统	228
9.1 串级控制系统	228
9.1.1 串级控制系统的组成	228
9.1.2 串级控制系统的特点	229
9.1.3 串级控制系统的应用	230
9.1.4 串级控制系统的设计	232
9.1.5 串级控制系统的运行	235
9.2 前馈控制系统	239
9.2.1 前馈控制的基本原理	239
9.2.2 前馈控制系统的典型结构形式	241
9.2.3 前馈控制器类型及参数整定	244
9.3 小结	247
思考题与习题	248
第10章 特殊控制系统	249
10.1 比值控制系统	249
10.1.1 概述	249
10.1.2 比值控制系统的类型	249
10.1.3 比值控制系统的设计与实施	251
10.2 均匀控制系统	254
10.2.1 均匀控制的概念	254
10.2.2 均匀控制的特点	255
10.2.3 均匀控制系统的结构形式	255

10.2.4 均匀控制系统的参数整定	257
10.3 选择性控制系统	257
10.3.1 概述	257
10.3.2 选择性控制系统类型	258
10.3.3 选择性控制系统的设计	260
10.4 分程控制系统	261
10.4.1 分程控制的概念	261
10.4.2 分程控制阀	262
10.4.3 分程控制系统的应用	264
10.5 小结	266
思考题与习题	267
第 11 章 计算机过程控制系统	268
11.1 概述	268
11.1.1 计算机控制系统的概念	268
11.1.2 计算机控制系统的分类	268
11.2 直接数字控制系统	269
11.2.1 直接数字控制系统的基本概念及组成	269
11.2.2 直接数字控制系统的特点	270
11.3 集散控制系统	270
11.3.1 集散控制系统(DCS)的特点	271
11.3.2 集散控制系统的结构	272
11.3.3 DCS 的发展及典型产品	272
11.4 现场总线控制系统	275
11.4.1 现场总线概述	275
11.4.2 几类有影响的现场总线	277
11.4.3 几个具体问题的分析	281
11.5 小结	282
思考题与习题	282
第 12 章 典型控制系统应用实例	283
12.1 煤气回收控制系统应用实例	283
12.1.1 煤气回收系统的组成和控制	283
12.1.2 微差压控制	286

12.1.3 煤气回收控制.....	288
12.2 空气压缩机控制系统的应用实例.....	290
12.2.1 空气压缩机系统的组成.....	290
12.2.2 空气压缩机的控制过程.....	292
12.2.3 空气压缩机的喘振控制.....	293
12.2.4 空气压缩机的输出控制.....	294
12.2.5 冷却水流量的控制.....	295
12.3 小结.....	297
思考题与习题.....	297
参考文献.....	298

温度测量

1.1 概述

1.1.1 温度测量

自然界中,任何物质的物理和化学性质都与温度有着密切的联系,许多物质的物理特性如长度、容积、电导率、热电势和辐射功率等都与温度有关。因而可以利用物质的这些物理特性制造出各种温度传感器,这样可以通过测量某些物理参数的变化量间接地获得温度值。

人们经过长期实践,已经找到一些比较成熟的测温物质,并制造出各种类型的温度计,比较常见的有下列几种:

1) 利用物质热膨胀与温度的关系

固体的膨胀,如双金属温度计;液体的膨胀,如玻璃水银温度计;气体的膨胀,如压力表式温度计。

2) 利用金属或半导体电阻与温度的关系

对于铂、铜等金属导体或半导体,当温度变化时,其电阻值也相应地发生变化,利用这一特性可制成各种电阻温度计。

3) 利用热电效应

两种不同的金属导体在两个端点上相互接触,当其两端点温度不同时,回路内就会产生热电势,热电偶温度计就是应用这一原理制成的。

4) 利用物体的辐射能与温度的关系

物体的辐射能与温度存在着一定的关系,利用这一物理特性制成了各种辐射式测温仪表,如光学高温计及各种红外辐射温度计等。

1.1.2 测温方法及测量仪表的分类

测温方法的分类可以按测温的工作原理来分,也可以根据测温的范围来分或根据仪

表的准确度来划分,还可以根据测量方法来划分。按温度仪表的感温部分是否与被测物体相接触,温度测量方法可分为两大类:接触式测温和非接触式测温。

1) 接触式测温

接触式测温就是测温仪表的传感器直接与被测介质接触,使被测介质与温度传感器充分地进行热交换后达到热平衡而完成温度的测量。其优点是比较直观、可靠,系统结构相对简单,测量准确度高;其缺点是有较大的测量滞后和易改变被测对象的温度场分布,从而引起测量误差。采用接触式方法不能测量移动的物体和太小的物体。

2) 非接触式测温

非接触式测温就是测温仪表的温度传感器不直接与被测介质接触,而是利用物体的热辐射(或其他特性)与温度之间的关系来完成温度测量的。其优点是测温范围广,能测运动的物体,测温过程中不破坏被测对象的温度场,响应速度快。其缺点是所测温度受物体发射率、中间介质、测量距离等因素的影响。

主要测温方法的特点见表 1-1。

表 1-1 主要测温方法的特点

测温方法	测温分类及仪表		测温范围/℃	主要特点
接触式	膨胀式	玻璃液体	-100~600	结构简单、使用方便、准确度较高,测量上限和准确度受玻璃质量的限制,价格低、易碎、不能远传
		双金属	-80~600	结构紧凑、牢固、可靠,测量准确度较低,量程和使用范围有限
	压力式	气体	-270~500	简单、抗震、坚固、防爆、价格低廉,准确度较低、测温范围小、动态性能差、滞后大
		蒸汽	-20~350	
		液体	-100~600	
	热电阻	金属热电阻	-260~850	测量准确度高,便于远距离、多点、集中检测和控制,不能测高温
		半导体热敏电阻	-50~350	灵敏度高、体积小、结构简单、使用方便、互换性较差,测温范围有一定限制
	热电偶	标准	-200~2000	测温范围广、准确度高,易于远距离、多点、集中检测和控制,需要进行冷端温度补偿,易破坏被测对象的温度场分布,易受被测介质影响或腐蚀作用而发生变化
		非标准		
非接触式	辐射高温计 光学高温计 光电高温计 比色高温计		0~3500	测温范围广,不破坏被测介质温度场分布,可测运动物体的温度,易受外界环境的影响,标定和发射率的确定较困难