



面向“十二五”高等教育课程改革项目研究成果



过程检测及仪表

GUOCHENG JIANCE JI YIBIAO

◎ 主 编 丁 炜 于秀丽

◎ 副主编 刘慧敏 陈文涛 王 伟

◎ 主 审 赵光宙

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

面向“十二五”高等教育课程改革项目研究成果

过程检测及仪表

主 编 丁 炜 于秀丽

副主编 刘慧敏 陈文涛 王 伟

主 审 赵光宙

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

内 容 简 介

本书突出人才应用能力和创新素质的培养,融理论教学与实践训练为一体,介绍了过程检测及测量误差的概念,检测仪表的组成、分类与基本技术性能等必需的基础知识;重点介绍了热工参数(压力、物位、流量、温度)的检测方法及其检测仪表的安装、校验、使用维护技术和相应显示仪表(模拟式、数字式和无纸记录仪)的配套使用方法;系统地阐述了生产过程中成分量的检测方法及仪表(包括红外线式气体分析仪、氧化锆氧分析仪、气相色谱分析仪等分析仪表),应用案例分析涉及石油、化工、冶金、电力、医药等行业。

本书理论联系实际,工学结合,内容丰富,实用性强。可作为高等院校自动化技术类专业及相关专业教材,也可作为成人教育生产自动化及相关专业的教材,还可供从事生产自动化技术工作的人员参考。

版权专有 侵权必究

图书在版编目(CIP)数据

过程检测及仪表/丁炜,于秀丽主编. —北京:北京理工大学出版社, 2010. 7

ISBN 978 - 7 - 5640 - 3263 - 0

I. ①过… II. ①丁…②于… III. ①自动检测-高等学校-教材②自动化仪表-高等学校-教材 IV. ①TP274②TH86

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2010)第 106269 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>

经 销 / 全国各地新华书店

印 刷 / 北京燕旭开拓印务有限公司

开 本 / 710 毫米×1000 毫米 1/16

印 张 / 21

字 数 / 393 千字

版 次 / 2010 年 7 月第 1 版 2010 年 7 月第 1 次印刷

责任编辑 / 张慧峰

印 数 / 1~1 500 册

责任校对 / 陈玉梅

定 价 / 39.00 元

责任印制 / 边心超

图书出现印装质量问题,本社负责调换

前 言

本教材立足于高等教育培养目标,遵循主动适应社会发展需要、突出应用性和针对性、加强实践能力培养的原则,融入国内著名学校先进的教学成果,借鉴国外教育思想以及教材建设思路,从高等院校的实际出发,精选内容,突出重点,力求教材本身的实用性和教材对学生的适用性。

过程检测仪表是自动化系统中不可缺少的组成部分;生产过程变量的自动检测是实现自动控制的前提条件;自动控制系统的控制精度在很大程度上取决于检测系统的精度,通过检测获取生产过程中的各种信息,方可控制和研究生产过程。近年来,由于微电子技术、计算机技术的发展,特别是新材料、新技术的出现,以及微处理机的广泛应用,极大地加快了检测仪表的发展,在提高检测系统的测量精度、扩大测量范围、延长使用寿命、提高可靠性的同时,使检测技术向智能化的方向发展,检测仪表的应用领域得到拓展。因此,重组教学内容,去掉陈旧的,提炼有用的,加强有效的,引入先进的,努力使课程内容体现该领域的先进技术,以提高高等教育的针对性和适应性。具体做法是:摒弃了已经过时的气动远传仪表,引入新型的一体化传感器和智能化仪表,引入具有发展潜力的成分量的检测方法及仪表(包括红外线式气体分析仪、气相色谱分析仪等分析仪表)。

本书具有以下特点:

- 以技能培养、技术应用为主线,使相关知识与技能训练有机地融为一体。理论以“够用为度”;实践以“实用为主”。
- 将知识点与技能点紧密结合,并注重经验技能和技术技能的结合。理论联系实际,掌握知识与培养能力并行,注重培养学生实际动手能力和解决工程实际问题的能力,突出了应用特色和能力本位。
- 每章以知识点和能力点的掌握为主线,以工作任务为驱动,结构清晰,深入浅出,便于学生学习。
- 提出了训练装置的标准配置或最低配置,以方便各校选用。
- 案例分析内容覆盖面宽,选择性强,可满足不同行业的需求。

全书共分为7章,其中,绪论、第1、第2、第5章及附录由丁炜编写;第3章王伟编写;第4、第7章于秀丽编写;第6章陈文涛编写;书中自测练习和综合练习及部分参考答案刘慧敏编写,技能训练3、4刘超美编写;丁炜负责全书统稿工作。

本书由丁炜、于秀丽任主编,刘慧敏、陈文涛、王伟任副主编。全书由浙江大

学博士生导师赵光宙教授任主审,赵教授从百忙中抽出时间提出很多非常好的建议,在此深表感谢。

本书在编写过程中,先后得到了许多单位和个人的大力支持和帮助,亦在此表示诚挚的谢意!

由于编者水平有限,书中错漏在所难免,恳请广大读者批评指正。

编 者

目 录

第 0 章 绪论	1
0.1 生产过程自动化与检测仪表	1
0.1.1 生产过程自动化的概念	1
0.1.2 过程检测仪表	2
0.2 过程检测的内容与过程检测仪表的发展	2
0.2.1 过程检测的内容	2
0.2.2 过程检测仪表的发展	2
0.3 本课程的特点及学习方法	3
第 1 章 过程检测技术基础	4
1.1 测量的概念	4
1.1.1 测量的定义	4
1.1.2 测量方法	4
1.2 测量误差及处理	6
1.2.1 测量误差的概念	6
1.2.2 测量误差的分类	6
1.2.3 测量误差的分析与处理	7
1.3 检测仪表的组成与分类	10
1.3.1 检测仪表的基本组成	10
1.3.2 检测仪表的分类	12
1.4 检测仪表的性能指标	12
1.4.1 量程	12
1.4.2 精确度	12
1.4.3 线性度	13
1.4.4 灵敏度及与灵敏限	13
1.4.5 检测仪表的恒定度	13
1.4.6 检测仪表的反应时间	14
1.4.7 可靠性	15
自测练习	16
第 2 章 压力检测及仪表	18
2.1 概述	18

2.1.1	压力的基本概念	18
2.1.2	压力仪表的分类	20
2.2	液柱式压力计	21
2.2.1	U形液柱压力计	21
2.2.2	单管液柱压力计	22
2.2.3	斜管液柱压力计	22
2.3	弹性式压力计	22
2.3.1	弹性元件	22
2.3.2	弹簧管压力表	23
2.3.3	膜式压力表	25
2.4	电测式压力仪	25
2.4.1	电容式差压变送器	25
2.4.2	扩散硅压阻式压力传感器	26
2.5	压力表的选择与安装	28
2.5.1	压力表的选用	28
2.5.2	压力表的安装	28
	技能训练1 弹簧管压力表的认识与校验	31
	技能训练2 压力变送器的认识与校验	34
	自测练习	36
第3章	物位检测及仪表	39
3.1	物位测量概述	39
3.1.1	基本概念	39
3.1.2	物位检测仪表的种类	39
3.2	差压式液位检测仪表	40
3.2.1	基本测量原理	40
3.2.2	带有正负迁移的差压法液位测量原理	41
3.2.3	静压式液位计的应用	42
3.3	浮力式液位计	45
3.3.1	浮子式液位计	45
3.3.2	浮球式液位计	46
3.3.3	浮筒式液位计	47
3.3.4	磁翻板式液位计	48
3.4	雷达液位测量系统	49
3.4.1	工作原理	50
3.4.2	雷达液位计的构成和特点	51

3.4.3 雷达液位计的使用	52
3.5 电容式物位计	53
3.5.1 工作原理	53
3.5.2 UYB-11A 型电容液位计	54
3.6 超声波物位计	55
3.6.1 超声波物位计的主要特点	55
3.6.2 检测原理	55
3.7 光导式液位计	56
3.7.1 基本结构	56
3.7.2 工作原理	57
3.7.3 特点	58
3.8 磁致伸缩液位计	58
3.8.1 基本结构	58
3.8.2 工作原理	59
技能训练 3 UTD 系列电动浮筒液位变送器的调校	60
技能训练 4 CTS-DLQ 型射频电容式物位变送器的调校	64
自测练习	67
第 4 章 流量检测及仪表	70
4.1 流量检测概述	70
4.1.1 单相流与多相流	70
4.1.2 流量的基本概念	71
4.1.3 管流和雷诺数	71
4.1.4 流量检测仪表的分类	72
4.2 差压式流量计	73
4.2.1 测量原理	74
4.2.2 流量基本方程式	75
4.2.3 节流装置的取压方式	76
4.2.4 标准节流元件	76
4.2.5 安装使用注意事项	78
4.2.6 差压式流量计的投运	84
4.3 容积式流量计	84
4.3.1 椭圆齿轮流量计	85
4.3.2 腰轮流量计	86
4.3.3 安装注意事项	86
4.3.4 使用注意事项	88

4.4	旋涡流量计	90
4.4.1	检测原理	90
4.4.2	结构	91
4.4.3	8800 型智能旋涡流量计	94
4.4.4	安装使用注意事项	95
4.5	电磁流量计	101
4.5.1	电磁流量计的测量原理	101
4.5.2	电磁流量计的特点与应用	102
4.5.3	安装使用注意事项	102
4.6	超声波流量计	106
4.6.1	测量原理	107
4.6.2	安装使用注意事项	110
4.6.3	SP-2 系列智能型超声波流量计简介	113
4.7	转子流量计	114
4.7.1	转子流量计的工作原理	114
4.7.2	转子流量计的种类及结构	115
4.7.3	安装使用注意事项	116
4.7.4	故障和处理	118
4.8	涡轮流量计	119
4.8.1	涡轮流量计的结构	119
4.8.2	涡轮流量计工作原理	120
4.8.3	安装使用注意事项	122
4.8.4	故障处理	125
4.9	质量流量计	126
4.9.1	直接式质量流量计	127
4.9.2	科氏力质量流量计	127
4.9.3	推导式质量流量计	132
技能训练 5	流量计的结构认识与操作	133
技能训练 6	差压式流量计的流量系数测定	133
自测练习		135
第 5 章	温度检测及仪表	139
5.1	温度与温标	139
5.1.1	温度的概念	139
5.1.2	温标	140
5.1.3	温度检测的主要方法	142

5.2 热电偶温度仪表	143
5.2.1 热电偶工作原理	143
5.2.2 热电极材料及常用热电偶	146
5.2.3 热电偶的结构形式	150
5.2.4 热电偶冷端温度补偿	152
5.2.5 一体化热电偶温度变送器	157
5.2.6 热电偶测温仪表的应用需要注意的几个问题	158
5.3 电阻式测温仪表	160
5.3.1 热电阻温度传感器	160
5.3.2 热敏电阻传感器	165
5.4 非接触式测温	169
5.4.1 辐射测温原理	169
5.4.2 辐射测温方法	170
5.4.3 光学高温计	170
5.4.4 辐射温度计	171
5.4.5 比色温度计	172
5.5 温度检测仪表的选用	173
5.5.1 常用测温仪表的测量范围及特点	173
5.5.2 常用测温仪表的选用	173
技能训练 7 热电偶的校验	175
技能训练 8 热电阻测温度系统操作	177
自测练习	181
第 6 章 显示仪表	185
6.1 概述	185
6.2 动圈式显示仪表	186
6.2.1 动圈式显示仪表简介	186
6.2.2 与热电偶配套的 XCZ-101 动圈式温度指示仪	186
6.2.3 与热电阻配套的 XCZ-102 动圈式温度指示仪	187
6.3 自动平衡式显示仪表	187
6.3.1 电子电位差计	187
6.3.2 电子自动平衡电桥	193
6.3.3 ER180 显示仪	196
6.4 数字式显示仪表	201
6.4.1 数字式显示仪表的主要技术指标	201
6.4.2 数字显示仪表的组成	203

6.4.3	基本工作原理	204
6.4.4	XMZ 型数字温度显示仪表介绍	210
6.4.5	XMD5000 系列万能信号输入多通道巡检仪	213
6.5	无纸记录仪	215
6.5.1	SmeR 系列无纸记录仪的特点	216
6.5.2	SmeR 系列无纸记录仪的使用	217
技能训练 9	数字显示表的认识与校验	232
技能训练 10	无纸记录仪的认识、组态和操作	234
	自测练习	238
第 7 章	分析仪表	240
7.1	概述	240
7.1.1	作用及特点	241
7.1.2	分类	241
7.1.3	组成	241
7.1.4	主要性能指标	242
7.2	热导式气体分析仪	243
7.2.1	基本原理	243
7.2.2	热导式气体分析仪的检测器	245
7.2.3	热导式气体分析仪的测量电路	248
7.2.4	热导式气体分析器实例—RD 型热导式气体分析器	250
7.3	氧化锆氧分析仪	255
7.3.1	氧化锆固体电解质导电机理	255
7.3.2	氧化锆氧分析仪的工作原理	256
7.3.3	氧化锆氧分析仪的构成	258
7.3.4	DH-6 型氧化锆氧分析仪	261
7.4	红外线气体分析仪	264
7.4.1	红外线的基本知识	264
7.4.2	红外线气体分析仪的结构形式及工作原理	266
7.4.3	红外线气体分析仪的主要部件	269
7.4.4	QGS-08 型红外线分析仪	275
7.5	工业气相色谱仪	278
7.5.1	气相色谱分析原理	280
7.5.2	色谱柱	285
7.5.3	柱切技术	286
7.5.4	检测器	288

7.5.5 取样阀	291
7.5.6 SQG 系列工业气相色谱仪	292
技能训练 11 热导式气体分析仪的校验与投运	299
自测练习	301
综合练习一	303
综合练习二	304
综合练习三	305
参考答案	308
附录 A 常用弹簧管压力表型号与规格	312
附录 B ITS—90 定义固定点	314
附录 C 常用热电偶、热电阻分度表	315
参考文献	320

第 0 章 绪 论

0.1 生产过程自动化与检测仪表

0.1.1 生产过程自动化的概念

生产过程自动化是指在没有人直接参与的情况下,利用外加的设备或装置,使被控对象的工作状态或参数(压力、物位、流量、温度、pH 值等)自动地按照预定的规律运行。自动控制技术是生产过程高效运行的技术保障,对企业生产过程起着明显的提升作用,有助于提高生产效率,保证产品质量,减少生产过程的原材料、能源损耗,提高生产过程的安全性。

自动化系统是实现生产过程自动化的平台,自动化系统分为过程变量的自动检测和过程变量的自动控制两种系统,若在系统中对变量没有控制要求,则该系统为自动检测系统,用于对生产设备和工艺过程进行自动监视。

图 0.1 为一储罐液位控制系统。要求储罐液位保持一定,以满足生产需要;图中液位变送器、控制器和执行器构成了一个单回路控制系统。储罐液位由液位变送器转换成相应的标准信号送到控制器,与给定值相比较,控制器按比较得到的偏差,以一定的控制规律发出控制信号,控制执行器的动作,通过改变储罐液体出料的流量,从而使储罐液位保持在与给定值基本相等的数值上。

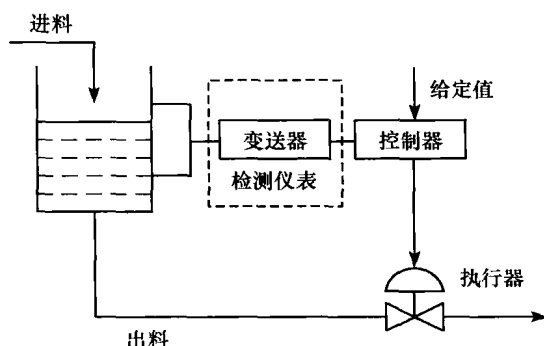


图 0.1 储罐液位自动控制系统

如图 0.2 所示的计算机控制系统,在该系统中,需要解决大量工艺参数的检测和数字量的转换问题,利用计算机的强大计算功能进行巡回检测和数据处理,使之

具有很强的实时性和更强的功能。

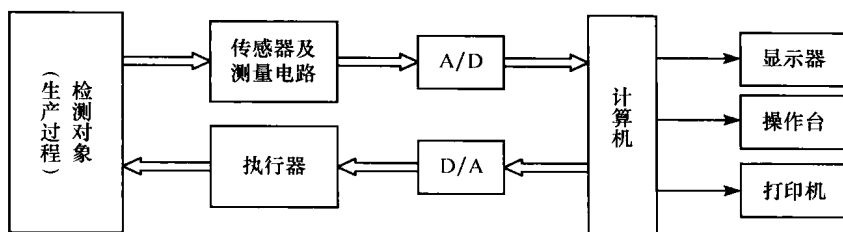


图 0.2 计算机控制系统

从以上可见,过程检测仪表是自动化系统中不可缺少的组成部分;生产过程变量的自动检测是实现自动控制的前提条件;自动控制系统的控制精度在很大程度上取决于检测系统的精度,通过检测获取生产过程中的各种信息,方可控制和研究生产过程。

0.1.2 过程检测仪表

检测是指利用各种物理和化学效应,将物质世界的有关信息通过测量的方法赋予定性或定量结果的过程。检测可以是确定量值,也可以是判定被测参数的“有”或“无”,也可以是一种预报、故障分析。

在生产过程中,完成工艺参数检测处理的仪表称为过程检测仪表。在自动化系统中,所用的检测仪表是自动控制系统的“感觉器官”。只有感知生产过程的状态和工艺参数,才能由控制仪表进行自动控制。

0.2 过程检测的内容与过程检测仪表的发展

0.2.1 过程检测的内容

工业过程检测涉及的内容广泛,一般分为:热工量(温度、压力、流量、物位等),机械量(质量、尺寸、力、速度、加速度等),物位和成分量(介质的成分浓度、密度、黏度、湿度、酸度等),电工量(电压、电流、功率、电阻等)。本书主要介绍在工业生产过程中热工量和成分量的检测方法及仪表。

0.2.2 过程检测仪表的发展

随着生产的发展,不断地提出新的检测任务,而科学技术的发展,特别是新材料、新技术的出现,以及微处理机的广泛应用,极大地加快了检测仪表的发展,在提高检测系统的测量精度、扩大测量范围、延长使用寿命、提高可靠性的同时,使检测

技术向智能化的方向发展,检测仪表的应用领域得到拓展。

目前,检测控制技术、计算机技术、通信技术、图形显示技术已成为反映信息社会的四项要素,由检测控制技术构成的自动化系统是现代化的重要标志之一。在工业生产方面,当前生产设备不断向大型化、高效化方向发展,大规模综合型自动化系统的不断建立,工业生产过程和企业管理调度一体化的要求,更促进了自动化技术不断发展。

0.3 本课程的特点及学习方法

过程检测仪表是生产过程自动化技术专业的一门重要专业课,涉及多门课程的内容。物理概念是讨论各种检测变换的基础;熟悉和掌握相应的物理现象,分析有关物理效应是对检测仪表工作原理和结构进行讨论的前提。电工电子及计算机技术,在完成信号转换、数据处理和显示的基本方法上起着重要的作用。

本课程以技能培养、技术应用为主线,使相关知识与技能训练有机地融为一体。理论以“够用为度”,实践以“实用为主”,强调检测技术应用和检测仪表实践技能的训练,并注重经验技能和技术技能的结合,掌握知识与培养能力并行。在学习过程中,要认真听课,注意老师对问题的分析;通过案例分析和技能训练环节获得过程检测仪表的安装、校验和维护方法;在用眼、用脑的同时还要多动手,只有理论与实际的结合才能学好本课程。

第 1 章 过程检测技术基础

知识目标 >>

- 了解测量误差基本知识
- 理解仪表的基本性能指标
- 掌握系统误差、随机误差和粗大误差的处理方法

能力目标 >>

- 能运用误差知识解决“根据工艺要求选合适仪表”和“已知检定仪表的数据给仪表定级”这两类工程问题
- 能确定检测系统误差

在化工生产过程中,为了对工艺生产中的压力、流量、物位、温度等变量进行自动检测,并尽可能地获取被测量的真实值,需要对检测的基本方法、测量误差、测量数据处理、仪表的基本性能指标等方面的问题和方法进行学习和讨论。只有了解和掌握这些知识,才能有效地实施测量,进行生产操作和自动调节。

1.1 测量的概念

1.1.1 测量的定义

测量就是借助于专用的技术工具,将研究对象的被测变量与同性质的标准量进行比较,并确定出测量结果准确程度的过程,简单地说,测量就是用实验的方法求出某个量的大小。比如用精度为 0.5 级,量程为 0~500 mm 的直尺以 mm 为单位测量容器中液位高度,得到液位高度 $X=300\text{ mm}$,则表示液位的高度约为 300 mm,相应误差不超过 2.5 mm。

上例表明,测量过程包含三个含义:确定基准单位;将被测变量与基准单位比较;估计测量结果的误差。

1.1.2 测量方法

对于测量方法,从不同的角度出发,有不同的分类方法。按被测变量变化速度分为静态测量和动态测量;按测量敏感元件是否与介质接触,可分为接触式测量和

非接触式测量;按比较方式分为直接测量和间接测量;按测量原理分为偏差法、零位法、微差法等。

1. 按比较方式分

(1) 直接测量 是指用事先标定好的测量仪表对某被测变量直接进行比较,从而得到测量结果的过程。例如上例中的容器液位测量。

(2) 间接测量 是指多个仪表(或环节)所组成的一个测量系统。它包含了被测变量的测量、变换、传输、显示、记录 and 数据处理等过程。这种测量方法在工程中应用广泛。例如,用电子皮带秤测量煤的输送量,可通过荷重传感器测出检测点处有效称量段 L_0 上的煤的质量 W ,通过测速传感器测出检测点处煤的传送速度 v ,经信息处理单元对 W/L_0 及 v 进行合成处理后送入显示单元显示瞬时输送量,再送入比例计算器显示输送总量。

2. 按测量原理分

(1) 偏差法 用测量仪表的指针相对于刻度初始点的位移(偏差)来直接表示被测量的大小。指针式仪表是最常用的一种类型。如图 1.1 所示弹簧秤。在用此方法测量的仪表中,分度是预先用标准仪器标定的,如弹簧秤用砝码标定。这种方法的优点是直观、简便,缺点是精度较低、量程窄。

(2) 零位法 将被测量与标准量进行比较,二者的差值为零时,标准量的读数就是被测量的大小。这种方法要求有一灵敏度很高的指零机构。例如,图 1.2 所示天平就是用这个原理。这种方法具有很高的测量精度,但响应慢、测量时间长,不宜测量快速变化的信号。

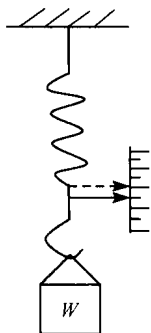


图 1.1 弹簧秤

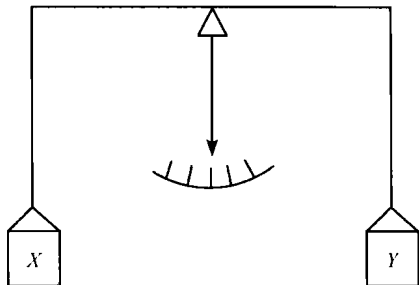


图 1.2 天平

(3) 微差法 是将偏差法和零位法组合起来的一种测量方法。测量过程中将被测量的大部分用标准信号去平衡,而剩余部分采用偏差法去测量。这种方法准