



普通高等教育“十一五”国家级规划教材

自动检测和过程控制

(第4版)

刘玉长 主编

**ZIDONG JIANCE HE
GUOCHENG KONGZHI**



冶金工业出版社
Metallurgical Industry Press

普通高等教育“十一五”国家级规划教材

自动检测和过程控制

(第4版)

主 编 刘玉长
副主编 黄学章
主 审 朱麟章

北 京
冶 金 工 业 出 版 社
2010

内 容 提 要

本书为高等院校“热能动力工程”、“建筑环境与设备工程”、“环境科学与工程”、“冶金工程”、“材料科学与工程”、“粉体材料”等专业的教学用书,主要内容系统地叙述了工业生产中的温度、压力、流量、物位、成分以及长度等机械量的检测方法与原理,相关检测仪表的工作原理以及选型和过程控制系统的组成、工作原理、设计方法及常见控制系统等。

本书也可作为冶炼类、材料类等相关专业技术人员的参考书。

本书附赠光盘一张,其内容为本书的电子课件,以便于师生、读者使用。

图书在版编目 (CIP) 数据

自动检测和过程控制/刘玉长主编.—4版.—北京:
冶金工业出版社,2010.7

普通高等教育“十一五”国家级规划教材

ISBN 978-7-5024-4975-9

I. ①自… II. ①刘… III. ①自动检测—高等学校—
教材 ②过程控制—高等学校—教材 IV. ①TP27

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2010)第 101466 号

出 版 人 曹胜利

地 址 北京北河沿大街嵩祝院北巷 39 号,邮编 100009

电 话 (010)64027926 电子信箱 yjcs@cnmip.com.cn

责任编辑 俞跃春 美术编辑 李 新 版式设计 葛新霞

责任校对 王贺兰 责任印制 牛晓波

ISBN 978-7-5024-4975-9

北京兴华印刷厂印刷;冶金工业出版社发行;各地新华书店经销

1980 年 10 月第 1 版,1987 年 6 月第 2 版,2005 年 8 月第 3 版,

2010 年 7 月第 4 版,2010 年 7 月第 1 次印刷

787mm×1092mm 1/16;26.5 印张;706 千字;404 页

50.00 元

冶金工业出版社发行部 电话:(010)64044283 传真:(010)64027893

冶金书店 地址:北京东四西大街 46 号(100711) 电话:(010)65289081

(本书如有印装质量问题,本社发行部负责退换)

第4版前言

为了适应人才培养以及学科发展教学改革的需要，并广泛征求兄弟院校和使用单位意见，总结多年教学实践经验基础上，本着吐故纳新、与时俱进原则，对《自动检测和过程控制（第3版）》进行了修订再版。本次修订的内容主要有：

(1) 为便于教学，对全书篇幅进行了较大的调整，新增加两章内容，有的章节合并，全书分上下两篇共15章，各章节内容分工明确，自成体系，又相辅相成。

(2) 为适应当前自动检测与过程控制技术的发展，增加了光纤光栅传感器、新型检测技术与仪表等内容，将有关过程控制仪表的内容合并成为一章，对智能控制器、新型控制阀、智能控制系统以及计算机控制系统（包括PLC、DCS、FCS等类型）等内容进行了扩充。

(3) 按照最新国家标准进行了修订。

(4) 本次修订还制作了电子课件光盘附在书中，以便读者选用和参考。

本书修订工作由中南大学能源科学与工程学院组织，中南大学刘玉长担任主编、黄学章担任副主编，重庆大学朱麟章担任主审。

参加本次修订工作的有：中南大学黄学章（第1、10、13章，第14.1、14.2、14.5节）、宁练（第2、3、7章）、孙志强（第8、9章，第15.3节）、张建智（第10章，第14.3、14.4、15.1节）、刘玉长（第12、13章，第15.2节），重庆大学朱钢（第4、5、6章）。

在本书修订过程中，本书前三版的主编刘元扬教授生前给予了大力支持，并提出了许多宝贵意见，本次修订再版是对他最好的纪念。

由于编者水平有限，书中不妥之处，敬请读者批评指正。

编者
2010年2月

第3版前言

本书自1980年第1版出版后，曾于1987年进行了修订再版，至今已有25年。为了提高教材质量，适应教育改革的需要，以及跟上科学技术发展的步伐，我们在认真总结教学经验，广泛征求了兄弟院校和使用单位意见的基础上，本着吐故纳新、与时俱进的精神，再次对本书进行了修订。本次修订的内容主要有如下几方面：

(1) 对全书总篇幅进行了较大的调整。由第2版的12章增加到14章，全书字数由40余万字增加到约50万字，各个章节内容分工明显，便于教学。

(2) 对原有内容作了充实提高，去掉了与当前形势不相符的旧内容，并补充了新内容，以适应当前过程检测与自动控制技术的发展。例如上篇删除了机械式差压变送器与动圈表等内容，增加了新型热电偶、红外温度计、新型物位计、特殊节流装置、威尔巴流量计、质量流量计、应变测量仪表、数字显示仪表等内容；下篇去掉了所有的DDZ-II型仪表章节，对智能控制器、新型控制阀、智能控制系统以及计算机控制系统（包括PLC、DCS、FCS等类型）等内容进行了扩充。

(3) 加强了基础理论的叙述。例如测量误差与数据处理、仪表工作原理、控制规律、仪表控制系统、计算机控制系统等。

(4) 注意采用国家有关标准。例如对热电偶、节流装置、堰式流量计、专业术语等，本书按照国家有关标准进行了修订。

本次修订工作由中南大学能源与动力工程学院组织，中南大学刘元扬任主编，刘玉长、黄学章任副主编，重庆大学朱麟章任主审。

参加本次修订工作的有：中南大学杨莺（第1、7章）、宁练（第2、10章）、彭好义（第3、11章）、易正明（第8章）、黄学章（第9、13章）、刘玉长（第12、14章，邓胜祥参与了第14章部分内容编写）；重庆大学朱钢（第4、5、6章）。

昆明理工大学曾祥镇同志因故没参加本书第3版编写，但对本书的编写大纲和内容提出了许多宝贵意见。在编写过程中，得到了广州万德威尔自动化系统有限公司龚德君同志的大力支持，在此表示衷心感谢。

由于编者水平所限，书中不当之处，敬请广大读者批评指正。

编者
2005年2月

第 2 版前言

本教材自 1980 年出版以来，已经使用了六年。为了提高教材质量，适应教学改革的需要，按照 1984 ~ 1988 年冶金高等院校教材编写、出版规划，对本教材第一版进行了修订。在修订过程中，我们认真总结了几年来的教学经验，广泛征求了兄弟院校及使用单位的意见，对本教材第一版的内容作了较大的调整、充实与提高。主要有如下几个方面：

1. 对全书总篇幅进行了调整。增加了下篇在全书中的比重，由原来约占全书的 $1/3$ 增加到 $1/2$ ，以适应过程控制技术发展的需要。全书字数有所减少。

2. 精选了内容。按照教学要求，对重点的典型仪表进行了较大修改或重新编写，例如节流式流量计以及基本控制作用与模拟调节器等章节，使原有内容得到充实提高。对某些次要内容则进行了删减，例如全辐射高温计及控制系统的稳定性等等。

3. 增加了新的内容。例如增加了国际标准型热电偶与热电阻、热流计、气相色谱仪、数字显示仪表及数字调节器等内容；此外还新增加了一章微型电子计算机在过程控制中的应用，以适应当前技术发展的需要。

4. 采用了国家法定计量单位以及有关的国家专业标准，对教材中的计量单位及公式图表进行了整理和换算，并按国家的规定统一了控制流程图中的图形及文字符号。

本书修订版上篇（自动检测）由刘元扬主编，下篇（过程控制）由刘德溥主编。第一、二、六章由昆明工学院曾祥镇编写，第三、四、五章由重庆大学朱麟章编写，第七、十二章由中南工业大学刘德溥编写，第八、九章由中南工业大学张壮辉编写，上篇概述及第十、十一章由中南工业大学刘元扬编写。在本书修订及审稿过程中，兄弟单位有关同志提供了不少资料与宝贵意见，在此表示衷心的感谢。由于编者水平所限，错误或不当之处在所难免，敬希读者批评指正。

编 者
1986 年 9 月

前 言

随着现代科学技术的进步，生产自动化的水平在不断提高。生产过程自动化不仅能保证产品质量，提高产量，降低成本，改善劳动条件，而且能保证安全生产。生产过程自动化，实际上就是用一些技术工具——自动控制装置来代替人工操作或人们的重复劳动。

从生产过程自动化的发展情况来看，首先是应用一些自动检测仪表来监视生产；进一步就是应用自动控制仪表及一些控制机构，代替部分人工操作，按工艺要求自动控制生产过程正常进行；在此基础上又进一步发展，使用电子计算机以实现生产过程的全部自动化。可见，要全部实现生产过程自动化，首先就要使用各种自动化仪表，对生产过程实现仪表控制。

编写本书的目的就是重点介绍自动检测与过程控制的基本知识，作为冶炼类及材料类专业设置仪表控制方面有关课程的通用教材，使学生掌握常用检测与控制仪表的原理和性能，以及一般使用、维护知识，对如何实现生产过程自动化的问题，有一定程度的了解。关于电子计算机应用于过程控制方面的知识，则由另一课程“电子计算机原理”讲授。由于各专业要求与课程学时存在较大差别，在使用本教材时，各校可根据各专业的具体要求加以选择。

本书第一、二、六章由昆明工学院曾祥镇编写，第三、四、五章由重庆大学朱麟章编写，第七章由中南矿冶学院刘德溥编写，第八、九、十章由中南矿冶学院张壮辉、刘元扬编写，第十一章由刘德溥、朱麟章、曾祥镇编写。全书由刘元扬、刘德溥共同主编，由朱麟章主审。在本书编写过程中，兄弟单位有关同志提供了不少资料与宝贵意见，在此一并表示感谢。由于编者水平的限制，本书难免有错误或不当之处，敬希读者批评指正。

编 者

1979年9月

目 录

上篇 自动检测

1 自动检测技术基础	1
1.1 自动检测的基本概念	1
1.1.1 检测	1
1.1.2 检测的基本方法	1
1.1.3 检测仪表的组成	2
1.1.4 检测仪表的分类	3
1.1.5 检测仪表的主要性能指标	3
1.2 测量误差及处理方法	5
1.2.1 测量误差	5
1.2.2 误差的分析与处理	6
1.3 测量不确定度	10
1.3.1 测量不确定度的基本概念	10
1.3.2 测量不确定度的分类与表达	10
1.3.3 标准不确定度的评定	11
1.4 检测技术及仪表的发展	14
复习思考题	14
2 温度检测与仪表	15
2.1 温标及测温方法	15
2.1.1 温标	15
2.1.2 测温方法及其分类	16
2.2 热电偶温度计	16
2.2.1 热电偶测温原理	17
2.2.2 热电偶的基本定律	19
2.2.3 热电偶的结构	21
2.2.4 热电偶的分类	21
2.2.5 热电偶的冷端补偿	24
2.2.6 测温线路	26
2.3 电阻温度计	28
2.3.1 热电阻测温原理	28

2.3.2	热电阻的结构	29
2.3.3	特殊热电阻	30
2.3.4	热电阻测温线路	31
2.4	辐射温度计	32
2.4.1	辐射测温原理	33
2.4.2	亮度高温计	33
2.4.3	比色温度计	36
2.4.4	辐射高温计	37
2.4.5	红外测温	38
2.5	测温仪表的选择及安装	40
2.5.1	温度计的选择原则	40
2.5.2	接触式测温元件的选型	40
2.5.3	非接触式测温元件的选型	41
2.5.4	感温元件的安装	41
2.5.5	布线要求	41
2.6	新型温度传感器	42
2.6.1	热流计	42
2.6.2	光纤光栅温度传感器	42
2.6.3	集成电路温度传感器	44
2.7	工业特殊测温技术	45
2.7.1	高温金属熔体的温度测量	45
2.7.2	高温烟气温度测量	46
2.7.3	真空炉温度测量	46
	复习思考题	47
3	压力检测与仪表	48
3.1	概述	48
3.1.1	压力的概念及单位	48
3.1.2	压力表示方法	48
3.1.3	压力检测的基本方法	49
3.2	弹性式压力计	49
3.2.1	弹性元件	49
3.2.2	弹簧管压力计	50
3.3	压力(差压)传感器	51
3.3.1	霍尔压力传感器	51
3.3.2	电容式压力传感器	52
3.3.3	压电式压力传感器	53
3.3.4	应变式压力传感器	54
3.3.5	压阻式压力传感器	55

3.4 真空计	56
3.4.1 压缩式真空计	56
3.4.2 热电偶式真空计	57
3.4.3 电离式真空计	57
3.5 压力检测仪表选用	58
3.5.1 压力检测仪表的选择	58
3.5.2 压力计的安装	59
3.5.3 压力计的校验	60
复习思考题	61
4 流量检测与仪表	62
4.1 节流式流量计	62
4.1.1 节流装置测量原理	62
4.1.2 标准节流装置	64
4.1.3 标准节流装置的使用条件	69
4.1.4 节流装置的安装	70
4.1.5 节流流量计的不确定度	72
4.1.6 非标准节流装置	73
4.1.7 节流式流量计的选用	80
4.1.8 标准节流装置计算	82
4.2 均速管流量计	84
4.2.1 阿牛巴流量计	85
4.2.2 热线均速管流量计	85
4.2.3 威尔巴流量计	87
4.3 电磁流量计	88
4.3.1 工作原理	88
4.3.2 电磁流量传感器	89
4.3.3 电磁流量转换器	91
4.3.4 电磁流量计的选用	91
4.4 容积式流量计	92
4.4.1 椭圆齿轮流量计	92
4.4.2 腰轮流量计	93
4.4.3 容积式流量计的选用	93
4.5 质量流量计	93
4.5.1 科里奥利质量流量计	94
4.5.2 热式质量流量计	96
4.5.3 推导式质量流量计	96
4.6 其他流量计	97
4.6.1 转子流量计	97

4.6.2	涡轮流量计	98
4.6.3	涡街流量计	100
4.6.4	弯管流量计	101
4.6.5	超声波流量计	102
4.6.6	冲板式流量计	104
4.6.7	明渠流量计	105
	复习思考题	108
5	物位检测仪表	109
5.1	浮力式液位计	109
5.1.1	浮子式液位计	109
5.1.2	磁翻转浮标液位计	110
5.1.3	浮筒式液位计	111
5.2	差压式液位计	111
5.2.1	敞口容器的液位检测	111
5.2.2	密闭容器的液位检测	112
5.3	电容式物位计	113
5.3.1	电容物位计工作原理	114
5.3.2	电容物位传感器	114
5.3.3	射频导纳电容物位计	116
5.4	电导物位传感器	116
5.4.1	电接点液位传感器	116
5.4.2	超导液位计	117
5.4.3	电感式液位传感器	117
5.4.4	阻力式料位传感器	118
5.5	音叉物位计	118
5.6	微波物位计	119
5.6.1	脉冲微波物位计	119
5.6.2	调频微波物位计	121
5.6.3	导波式微波物位计	123
5.7	光纤液位计	123
5.7.1	单光纤液位传感器	123
5.7.2	传光型光纤液位计	124
5.7.3	吸收型光纤液位计	124
5.8	核辐射物位检测	126
5.8.1	检测原理	126
5.8.2	物位检测方法	127
5.9	磁致伸缩液位计	128
5.10	超声波液位计	129

5.10.1 超声液位计工作原理	130
5.10.2 透射式超声液位开关	130
5.10.3 气介式超声液位计(反射式)	131
5.10.4 液介式超声液位计(反射式)	131
复习思考题	132
6 机械量检测与仪表	134
6.1 转速、转矩与功率测量	134
6.1.1 转速测量	134
6.1.2 转矩测量	138
6.1.3 功率测量	139
6.2 位移与厚度测量	141
6.2.1 位移测量仪表	141
6.2.2 厚度测量	145
6.3 振动与加速度检测	146
6.3.1 振动测量仪表	146
6.3.2 加速度测量仪表	147
6.4 力与电子称量仪表	148
6.4.1 皮带电子秤	149
6.4.2 吊车秤	150
6.4.3 料斗秤	150
复习思考题	151
7 成分分析仪表	152
7.1 红外线气体分析仪	152
7.1.1 工作原理	152
7.1.2 基本组成	153
7.1.3 应用举例	154
7.2 氧量分析仪	155
7.2.1 热磁式氧量分析仪	155
7.2.2 氧化锆氧量分析仪	156
7.2.3 应用举例	158
7.3 其他气体分析仪	159
7.3.1 气相色谱仪	159
7.3.2 激光在线气体分析仪	160
7.4 溶液浓度计	161
7.4.1 电导式浓度仪	161
7.4.2 电磁式浓度计	163
7.4.3 密度式浓度计	163

7.5 工业酸度计	164
7.5.1 参比电极	164
7.5.2 测量电极	165
7.6 湿度检测仪表	165
7.6.1 自动干湿球湿度计	165
7.6.2 金属氧化物陶瓷湿度传感器	166
7.6.3 氯化锂电阻湿度传感器	167
复习思考题	167
8 显示仪表	168
8.1 显示仪表概述	168
8.2 模拟式显示仪表	169
8.2.1 电位差计式显示仪表	169
8.2.2 自动平衡电桥式显示仪表	172
8.3 数字式显示仪表	174
8.3.1 数字式显示仪表概述	174
8.3.2 数字式显示仪表的构成	175
8.3.3 模-数转换	175
8.3.4 非线性补偿	176
8.3.5 信号标准化及标度变换	178
8.4 常用显示仪表简介	180
复习思考题	181
9 新型检测技术与仪表	182
9.1 虚拟仪器技术	182
9.1.1 虚拟仪器技术概述	182
9.1.2 虚拟仪器的构成	183
9.2 图像检测技术	187
9.2.1 图像检测系统的构成	187
9.2.2 图像的描述	190
9.2.3 图像处理技术	192
9.3 软测量技术	193
9.3.1 软测量技术概述	193
9.3.2 软仪表的设计方法	194
9.3.3 软测量的建模方法	196
复习思考题	198
下篇 过程控制	
10 过程控制系统的基本概念	199

10.1	过程控制系统的组成与分类	199
10.1.1	过程控制系统	199
10.1.2	控制系统的组成	200
10.1.3	控制系统方框图	200
10.1.4	过程控制系统的分类	202
10.1.5	过程控制系统的发展概况	202
10.2	过程控制系统的过渡过程和品质指标	203
10.2.1	自动控制系统的静态与动态	203
10.2.2	自动控制系统的过渡过程	204
10.2.3	控制系统的品质指标	204
10.3	被控对象特性	206
10.3.1	对象特性的类型	206
10.3.2	对象特性的参数	208
10.4	被控过程的数学模型	212
10.4.1	机理建模	213
10.4.2	实验建模	216
	复习思考题	218
11	过程控制仪表与装置	221
11.1	概述	221
11.2	基本控制规律与控制器	221
11.2.1	双位控制	222
11.2.2	比例 (P) 控制规律	222
11.2.3	比例积分 (PI) 控制规律	224
11.2.4	比例微分 (PD) 控制规律	225
11.2.5	比例积分微分 (PID) 控制规律	227
11.2.6	PID 控制算式	228
11.2.7	模拟控制器	230
11.2.8	数字控制器	232
11.3	变送器	236
11.3.1	变送器概述	236
11.3.2	温度变送器	243
11.3.3	差压变送器	245
11.3.4	智能变送器	248
11.4	执行器	251
11.4.1	执行器概述	251
11.4.2	执行机构	252
11.4.3	控制阀	259
	复习思考题	270

12 单回路控制系统	272
12.1 被控量和操纵量的选择	272
12.1.1 被控量的选择	273
12.1.2 操纵量的选择	273
12.2 检测及变送环节的考虑	275
12.3 控制阀的选择	276
12.3.1 控制阀流量特性的选择	276
12.3.2 控制阀结构形式的选择	280
12.3.3 控制阀开闭形式的选择	281
12.3.4 控制阀口径的选择	281
12.4 控制器控制规律及作用方向的选择	282
12.4.1 位式控制器	283
12.4.2 比例控制器	283
12.4.3 比例积分控制器	283
12.4.4 比例积分微分控制器	283
12.4.5 控制器作用方向的确定	284
12.5 控制器参数的工程整定	284
12.5.1 经验凑试法	284
12.5.2 临界比例带法	285
12.5.3 衰减曲线法	286
12.5.4 响应曲线法	287
12.5.5 工程整定方法比较	288
12.6 自动控制系统的投运	288
12.6.1 投运的步骤	288
12.6.2 系统运行中的故障判别	289
12.7 单回路控制系统设计实例	290
12.7.1 贮液槽工艺简介	290
12.7.2 系统控制方案设计	290
复习思考题	292
13 复杂控制系统	294
13.1 串级控制系统	294
13.1.1 串级控制系统组成	294
13.1.2 串级控制系统的工作过程	295
13.1.3 串级控制系统的特点及应用	296
13.1.4 串级控制系统设计	297
13.2 前馈控制系统	299
13.2.1 前馈控制基本概念	299

13.2.2	前馈控制系统的主要形式	300
13.2.3	前馈控制的特点和应用	302
13.3	其他复杂控制系统	302
13.3.1	比值控制系统	302
13.3.2	选择性控制系统	307
13.3.3	分程控制系统	308
13.3.4	均匀控制系统	310
13.4	先进控制系统	311
13.4.1	预测控制	311
13.4.2	推断控制	313
13.4.3	自适应控制系统	314
13.5	智能控制	315
13.5.1	概述	315
13.5.2	模糊控制	316
13.5.3	专家控制	323
13.5.4	神经网络控制	324
	复习思考题	331
14	计算机控制系统	333
14.1	概述	333
14.1.1	计算机控制系统的一般概念	333
14.1.2	计算机控制系统的组成	333
14.1.3	计算机控制系统的典型类型	335
14.1.4	计算机控制系统的发展	336
14.2	可编程控制器	338
14.2.1	概述	338
14.2.2	可编程序控制器的基本组成	340
14.2.3	PLC 工作原理	343
14.2.4	PLC 的编程语言与程序结构	345
14.2.5	PLC 典型指令编程应用	347
14.3	集散控制系统	354
14.3.1	集散控制系统体系结构与功能特点	355
14.3.2	集散控制系统产品举例	358
14.3.3	集散控制系统的应用	359
14.4	现场总线控制系统	362
14.4.1	现场总线技术及其通信模型	362
14.4.2	现场总线控制系统及其结构	364
14.4.3	现场总线控制系统的特点	366
14.4.4	现场总线控制系统的应用	366

14.5 工业自动化(组态)软件	369
14.5.1 自动化软件概述	369
14.5.2 组态软件的定义及发展	370
14.5.3 组态(自动化)软件特点	371
14.5.4 组态软件应用	371
14.6 计算机集成制造系统	374
复习思考题	375
15 典型工业过程控制系统	377
15.1 锅炉设备的控制	377
15.1.1 锅炉汽包水位控制系统	378
15.1.2 锅炉燃烧系统的控制	381
15.1.3 蒸汽过热系统的控制	384
15.2 传热设备的控制	385
15.2.1 传热设备的控制概述	385
15.2.2 换热器的控制	387
15.3 加热炉燃烧过程控制	389
15.3.1 加热炉燃烧过程控制概述	389
15.3.2 比值串级控制	390
15.3.3 交叉限幅串级控制	391
15.4 流体输送设备的控制	394
15.4.1 泵的控制	394
15.4.2 压缩机的控制	396
15.4.3 防喘振控制系统	397
复习思考题	398
附 录	400
附录1 常用热电偶分度表	400
附录2 过程检测和控制流程图用图形符号和文字代号摘录	402
参考文献	404