声　明

本电子书由中国轻工业出版社出版，相关权利归中国轻工业出版社所有。读者、著作权人和（或）依法可以行使著作权的权利人如有疑问，请与中国轻工业出版社联系：

地址：北京市东长安街 6 号

邮编：100740

电话：85119838

Email: xnxltm@yahoo.com.cn

中国轻工业出版社

中等专业学校轻工专业试用教材

轻化工仪表及自动化

陈宽　李洛　任玉珍　编

中国轻工业出版社

内容提要

本书共分九章，主要讲述轻化工生产过程常用的温度、压力、流量、物位测量仪表的工作原理、构造、性能特点、使用以及生产过程自动化方面的基本知识。

本书注意结合轻化工行业的实际，并对具有跨世纪应用价值的新型仪表及自动化装置作相应的介绍。

本书是经全国轻工中专装备专业教材委员会审定并推荐的轻化工工艺及轻工机械装备类专业教材，也可供有关方面的技术人员和工人作为参考书籍。

图书在版编目（CIP）数据

轻化工仪表及自动化/陈宽等编．—北京：中国轻工业出版社，1994.10（1997.1 重印）
中等专业学校轻工专业试用教材
ISBN 7-5019-1642-X

Ⅰ．轻… Ⅱ．陈… Ⅲ．轻工业-化工仪表自动化-专业学校-教材 Ⅳ．①TQ056②TS04

中国版本图书馆 CIP 数据核字（94）第 07395 号

责任编辑 孟寿萱
中国轻工业出版社出版
（北京市东长安街 6 号）
河北省三河市宏达印刷厂印刷
新华书店北京发行所发行
各地新华书店经售
*
787×1092 毫米 1/16 印张：13 字数：301 千字
1994 年 10 月 第 1 版第 1 次印刷
1997 年 1 月 第 1 版第 2 次印刷
印数：4,001—7,000 定价：18.00 元

前　言

本书是根据原轻工业部中等专业学校“轻化工仪表及自动化”课程教学大纲要求编写的。

我国制糖、造纸、食品、工业发酵、日用化工等轻化工行业发展不平衡，生产规模及技术水平相差悬殊。整个行业生产自动化水平低于基本化工、石油化工等行业。在我国现有的大部分轻化工生产厂中，许多主要工艺参数的检测手段尚未完善；有的工厂甚至近乎空白。这种情况严重影响了生产技术水平和管理水平的提高。因此，建立和完善生产过程检测、计量系统是我国多数轻化工企业的当务之急。针对这种实际情况，在编写本教材时，按照“以讲述常用热工参数（温度、压力、流量、物位等）测量仪表为主，适当介绍生产过程自动化基本知识”的总体安排进行编写。在保持学科体系完整性的前提下，尽量结合我国轻化工生产实际选择具体内容。例如考虑到轻化工行业使用气动仪表较少，因此除气动执行器及电气转换器外，略去气动仪表的其他内容，而增加了目前大部分轻化工企业已广泛使用的电子皮带秤等内容，并较多地介绍了具有跨世纪应用价值的计算机集散控制系统等内容。同时，限于学时及篇幅，本书没有列入成分分析仪表的内容。建议这部分内容由各专业根据实际需要安排在专业课或分析化学等有关课程中作适当的介绍。

编写大纲规定本课程学时数为60～80，由于各地区及不同专业对本课程的要求不尽相同，因此，采用本教材时可以根据具体情况适当增删。

本书由广东轻工业高等专科学校陈宽主编并编写绪论、第一章及第六至第九章；该校李洛编写第二、三章；内蒙古轻工业学校任玉珍编写第四、五章。全书由南京机电学校何焕山主审。

本书在编写过程中得到全国轻工中专轻机装备专业教材委员会的指导和帮助，在这里谨向该委员会及对本书编写、出版给予支持的单位和个人表示衷心感谢。由于编写时间仓促，编者水平有限，书中缺点、错误在所难免，敬请读者批评指正。

编者

1993年10月

本书主要符号说明

一、英文字母

A　面积、[放大器]*放大倍数

B　磁感应强度

C　电容、容量系数(容量因子)**、常数、[调节阀的]流量系数

D、d　直径、微分[调节]作用

E　电[动]势

e　电[动]势、偏差

F　力、面积

f　力、频率、干扰作用

g　测量结果、重力加速度

H、h　高度、磁场强度

I、i　电流、积分[调节]作用

K、k　比例常数、放大系数、放大倍数、修正系数

L、l　长度、导线

M.　质量、质量流量

n　转速

P、p　压力、调节器输出、比例[调节]作用

Q　体积流量

g　调节作用、调节参数

R、r　电阻、阻力系数(阻力因子)

S　灵敏度、[调节阀的]阀阻比

T　时间常数、温度、绝对温度

t　时间、温度、摄氏温度

U、u　电压

V　测量单位、体积

v　体积、速度

X、x　被测参数(被测量)、测量值

---

* 方括号[ ]内的文字为可酌情增加或省略的文字。正文内用法相同。

** 圆括号( )内的文字为括号前词语的同义词或补充说明。正文内用法相同。

y 被调参数

二、希腊字母

α 仪表指针的角位移或线位移、流量系数
Δ 绝对误差
δ 相对误差、比例度(比例带)
ε 介电常数、膨胀校正系数
ρ 密度
τ 滞后时间
Φ [转子流量计]流量系数

三、脚码(下标)

1. 英文字母
C 容量、周期、临界、冷[流体]
D、d 微分、[塔]顶、衰减
f 反馈、闭环、流体
g 气体
h 高位
I 积分
i 积分、输入、内部
l 导线、低位
m 质量、测量
O 输出、外部、开环
P、p 比例
r 重复、回流
S 标准、敏感、稳定[状态]、设定
T 真实、变换
t 时间、温度、热[流体]
v 蒸汽
W 水
2. 汉语拼音字母
B 并[联]
b 变[差]、补[偿]
ch 串[联]
d 动[圈]
f 反
j 基[本]
r 热电偶

T 调[整]

y 引[用]

Z 正

3. 阿拉伯数字

0 初态、标准状态、纯粹[的]

注：凡国家制图标准规定的文字代号意义不另加说明。

目　录

绪论 …… 1
一、什么是轻化工生产过程自动化 …… 1
二、生产过程自动化的意义 …… 1
三、轻化工生产过程自动化的发展概况 …… 2
四、本课程的性质、目的和任务 …… 2
第一章　测量概述 …… 4
第一节　测量过程和测量误差 …… 4
一、测量过程 …… 4
二、测量方法 …… 4
三、测量误差 …… 5
第二节　测量仪表的品质指标 …… 6
一、引用误差 …… 7
二、基本误差 …… 7
三、精度等级 …… 7
四、变差 …… 8
五、灵敏度和灵敏限 …… 9
六、反应时间 …… 10
第三节　工业仪表的分类 …… 11
一、按仪表使用的能源分类 …… 11
二、按信息传递过程中的作用分类 …… 11
三、按仪表的组合形式分类 …… 12
复习题 …… 12
第二章　压力测量 …… 14
第一节　压力的基本概念 …… 14
第二节　液柱式压力计 …… 16
第三节　弹性式压力表 …… 16
一、弹性元件 …… 17
二、弹簧管压力表 …… 17
第四节　电气式压力表 …… 19
一、霍尔片式远传压力表 …… 19

二、应变片式压力变送器 …… 20
第五节　压力表的选择与安装 …… 21
一、压力表的选用 …… 21
二、压力表的安装 …… 22
复习题 …… 23
第三章　流量测量 …… 25
第一节　概述 …… 25
一、速度式流量仪表 …… 26
二、容积式流量仪表 …… 26
三、质量流量仪表 …… 26
第二节　差压式流量计 …… 26
一、节流装置的流量测量原理 …… 26
二、差压计 …… 29
三、差压变送器 …… 31
四、差压式流量计的安装 …… 32
第三节　转子流量计 …… 34
一、转子流量计的工作原理 …… 35
二、转子流量计的结构与类型 …… 36
三、电远传转子流量计 …… 36
四、转子流量计的选用与指示值的修正 …… 37
第四节　其他流量计简介 …… 38
一、靶式流量计 …… 38
二、椭圆齿轮流量计 …… 40
三、电磁流量计 …… 41
四、涡轮流量计 …… 42
五、旋涡流量计 …… 43
六、冲量式流量计 …… 44
七、电子皮带秤 …… 45
复习题 …… 47
第四章　物位测量 …… 48
第一节　概述 …… 48
第二节　玻璃液位计 …… 48
第三节　浮力式液位计 …… 49
一、浮标式液位计 …… 49
二、浮球式液位计 …… 49
第四节　差压式液位计 …… 50
一、差压式液位计测量原理 …… 50
二、液位测量的零点迁移问题 …… 51

三、法兰式差压变送器简介 …… 53
第五节 其他液位计 …… 53
一、电容式液位计 …… 53
二、电极式液位计 …… 54
三、超声波式液位计 …… 55
四、吹气式液位计 …… 55
五、核辐射式液(物)位计 …… 55
复习题 …… 56
第五章 温度测量 …… 58
第一节 概述 …… 58
一、温度的概念 …… 58
二、温标的概念 …… 58
三、测温仪表的分类 …… 59
第二节 热电偶 …… 59
一、热电偶测温的基本原理 …… 60
二、常用热电偶的种类 …… 62
三、热电偶的结构 …… 63
四、补偿导线的选用 …… 65
五、热电偶的自由端温度补偿 …… 65
第三节 热电阻 …… 67
一、热电阻的测温原理 …… 67
二、热电阻的结构 …… 68
三、铂热电阻和铜热电阻的性能及适用范围 …… 68
第四节 动圈式显示仪表 …… 69
一、动圈式仪表测量机构作用原理及组成 …… 69
二、XCZ－101型动圈式仪表的测量线路 …… 71
三、XCZ－102型动圈式仪表的测量线路 …… 72
第五节 自动平衡显示记录仪表 …… 73
一、电子自动电位差计 …… 73
二、电子自动平衡电桥 …… 76
第六节 电动温度变送器 …… 77
一、测量桥路 …… 77
二、电压-电流转换器 …… 78
第七节 数字式显示仪表 …… 79
一、数字式显示仪表的原理 …… 79
二、模-数转换(A/D转换) …… 79
三、数字显示仪表基本组成 …… 81
第八节 测温仪表的选用及安装 …… 82

一、测温仪表选用原则 …… 82
二、测温元件安装注意事项 …… 82
三、连接导线与补偿导线安装注意事项 …… 83
复习题 …… 83
第六章　生产过程自动化基本概念 …… 85
第一节　生产过程自动化的主要内容 …… 85
一、自动检测系统 …… 85
二、自动保护系统 …… 85
三、自动操纵系统 …… 86
四、自动调节系统 …… 86
第二节　自动调节系统概述 …… 86
一、人工调节和自动调节 …… 86
二、自动调节系统的组成 …… 88
三、自动调节系统的方块图 …… 89
四、自动调节系统的分类 …… 91
第三节　自动调节系统的过渡过程和品质指标 …… 92
一、调节系统的静态和动态 …… 92
二、调节系统的过渡过程 …… 93
三、调节系统的品质指标 …… 95
第四节　调节对象的特性 …… 97
一、研究调节对象特性的意义 …… 97
二、描述对象特性的基本参数 …… 98
三、多容对象特性的简化处理和对象特性参数的实验测定方法 …… 106
复习题 …… 108
第七章　基本调节规律和调节器 …… 111
第一节　双位调节 …… 111
第二节　比例调节 …… 115
一、比例调节规律及其特点 …… 116
二、比例度及其对调节过程的影响 …… 116
第三节　积分调节 …… 120
一、积分调节的物理意义 …… 120
二、积分调节规律及其特点 …… 121
三、比例积分调节规律及其特点 …… 122
四、积分时间对过渡过程的影响 …… 123
第四节　微分调节 …… 123
一、微分调节的物理意义 …… 123
二、理想微分调节和实际微分调节规律 …… 124
三、比例微分调节及微分时间对过渡过程的影响 …… 125

四、比例积分微分调节 …… 126
第五节 电动单元组合仪表的调节单元 …… 127
一、调节器的作用和分类 …… 127
二、DDZ—Ⅱ型调节单元 …… 128
三、DDZ—Ⅲ型调节单元 …… 133
第六节 可编程序调节器简介 …… 135
复习题 …… 137
第八章 调节阀 …… 139
第一节 气动调节阀 …… 139
一、气动调节阀的结构和分类 …… 139
二、执行机构和调节机构的组合形式 …… 142
三、调节阀气开式和气关式的选择 …… 142
四、调节阀的流量特性 …… 143
五、调节阀的控制能力和流通能力 …… 144
第二节 电动调节阀 …… 145
第三节 电-气转换器及电-气阀门定位器 …… 146
一、电-气转换器 …… 146
二、电-气阀门定位器 …… 146
复习题 …… 147
第九章 自动调节系统 …… 148
第一节 简单调节系统 …… 148
一、确定调节方案的基本问题 …… 149
二、调节器参数的工程整定 …… 153
三、调节系统的投运 …… 155
四、调节系统运行中常见的问题 …… 158
第二节 复杂调节系统简介 …… 159
一、串级调节系统 …… 160
二、比值调节系统 …… 161
三、前馈调节和复合调节系统 …… 162
第三节 电子计算机控制系统 …… 164
一、概述 …… 164
二、计算机控制系统的基本组成 …… 165
三、计算机在过程控制中的典型应用方式 …… 167
复习题 …… 171
附录 …… 173
附录一 常用压力表规格及型号 …… 173
附录二 电动压力及差压变送器规格型号 …… 174
附录三 铂铑$_{10}$-铂热电偶分度表 …… 174

附录四　镍铬-铜镍热电偶分度表 …… 179
附录五　镍铬-镍硅热电偶分度表 …… 179
附录六　铂电阻分度表…… 183
附录七　铜电阻分度表…… 185
附录八　铜电阻分度表…… 186
附录九　动圈式仪表型号命名…… 187
附录十　电子自动平衡显示仪表命名…… 187
附录十一　气动调节阀型号编制说明…… 188
附录十二　气动薄膜调节阀主要技术数据…… 188
附录十三　过程检测、控制常用图形符号 …… 190

绪　论

一、什么是轻化工生产过程自动化

轻工行业中制糖、造纸、食品、工业发酵、日用化工等的生产过程均以化工过程为主，故称为"轻化工"生产过程。它们和其他化工生产过程一样，具有过程连续进行、工艺参数种类繁多并且互相影响的特点。同时这些生产过程往往是在压力容器或高温、有毒的环境中进行的，很难单靠人的感官去直接感知和准确控制工艺参数。因此，有必要配备一定的自动化仪表和装置来代替人工监测和操作。这就是这一类以化工过程为主的轻化工生产过程自动化的基本课题。

二、生产过程自动化的意义

随着生产技术水平、管理水平的提高，生产过程自动化的意义正在逐步为人们所认识。它大体可以归纳为以下几点：

(1)提高劳动生产率，降低生产成本，提高产品的产量和质量。在人工操作的生产过程中，由于人的感官、肢体对外界的感知与控制的速度及精确程度是有限的，而且依靠人的体力所能直接操纵的设备功率也是有限的，如果能够用自动化装置代替人工操作，用自动化仪表代替人的监测与控制，则可使人体的功能得到充分的扩展和延伸，大大提高了人的劳动生产率。同时，自动化仪表、装置与控制对象组成的有机整体——自动控制系统又能使生产过程经常保持在最佳条件下进行，从而大大提高了生产的速度，降低了物料和能源的消耗，保证了优质高产的实现。

(2)减轻劳动强度，改善劳动条件。许多轻化工生产过程中包含有高温(或低温)、高压(或真空)、有毒、有腐蚀性、高粉尘、强噪音、易燃易爆等生产环节。生产过程自动化的实现将使操作人员只须对自动化装置的运转进行监视而不再需要直接进行劳动强度大或危害身体健康的操作。

(3)保证生产安全，防止事故的发生或扩大，延长设备的使用寿命，提高设备利用率。例如，工业锅炉往往由于操作不当，造成汽包水位过高或过低，从而进一步发展成为过热蒸汽带水或者干锅的严重事故。由此引起的锅炉爆炸恶性事故在国内外屡见不鲜。目前，现代化的锅炉普遍配置有汽包水位自动调节及燃烧控制系统。这就大大提高了锅炉运行的安全性及设备的利用率，也延长了设备的使用寿命。

(4)生产过程自动化的实现，能根本改变劳动方式，促进工人文化、技术水平的提高，为逐步消灭体力劳动和脑力劳动的差别创造条件。

三、轻化工生产过程自动化的发展概况

从生产过程自动化的发展历史来看，首先是应用一些自动检测仪表来监视生产过程。在本世纪40年代以前，绝大多数工业生产设备是由人工操作的。操作工人根据反映主要参数的仪表指示，用人工来改变操作条件。生产过程主要凭经验来控制。对于那些连续进行的化工生产过程，主要依靠在各工序中间配备的大型贮槽所起的缓冲作用来保证生产的稳定进行。显然，这时的生产是低效率的，设备和厂房占地面积都很大；经济效益很低。

在第二次世界大战中迅速发展起来的自动控制技术，在战后很快向民用工业转化及扩展。从40年代后期到60年代，化工生产规模的日益扩大以及各种单元操作机理的研究和控制对象的数学模型研究工作取得的进展，使得许多化工单元操作的自动控制系统的实际应用逐步增加了必要性和可能性。初期出现的主要是温度、压力、流量、液位的简单调节系统。随后，为了适应生产实际的需要，串级、比值、前馈等复杂调节系统陆续问世。当时所用的自动化技术工具主要是气动和电动的基地式仪表及QDZ* —Ⅰ型气动单元组合仪表。这一时期由于还不能深入了解化工对象的动态特性，因此，主要应用半经验、半理论的设计准则和参数整定方法。这些方法直到现在仍然有很大的实用价值，用来解决轻化工生产中常见的不十分复杂的调节系统设计和参数整定问题是简明有效的。本书将主要介绍这种方法。

70年代以来，生产过程自动化技术迅速发展。在自动化技术工具方面，新产品如雨后春笋，层出不穷。气动Ⅱ型(QDZ—Ⅱ)和电动Ⅱ型(DDZ** —Ⅱ)单元组合仪表刚投入生产不久，气动Ⅲ型(QDZ—Ⅲ)和电动Ⅲ型(DDZ—Ⅲ)单元组合仪表就相继问世。具有更高灵活性和可靠性的组装式电子综合控制装置(俗称"组装式仪表")也开始批量生产，为各种复杂的、特殊的控制规律的实现创造了有利条件。

80年代以来，微型电子计算机的迅速发展和普及带动了自动化仪表一次新的技术革命。各种各样由微机控制的所谓"智能仪表"相继问世并以惊人的速度不断提高其性能价格比。目前，由电子计算机和可编程序调节器组成的集散型控制装置已成为大型化工厂、炼油厂、热电站的主流自动化装置。一些大型轻化工企业也开始使用这类控制装置。与此同时，新的自动控制理论，诸如模糊控制、人工智能控制等也正在迅速发展并开始获得实际应用成果。可以预料，在21世纪到来的时候，随着能够模拟人类智能的"第五代电子计算机"的问世和各种新型传感器的出现，生产过程自动化的水平必将登上一个新的台阶并产生质的飞跃。

四、本课程的性质、目的和任务

生产过程自动化是一门综合性的技术学科。它是综合应用自动控制学科、仪器仪表学科及计算机学科等的理论和技术的一门学科。随着现代科学技术的进步，自动化装置与生

---

* QDZ是汉语拼音字母组合，表示气[动]、单[元]、组[合]的意思。

** DDZ是汉语拼音字母组合，表示电[动]、单[元]、组[合]的意思。其中DDZ—Ⅰ型是以电子管为主体的仪表，问世后不久即已不再使用。

产工艺及设备已结合成为有机的整体。学习仪表及自动化方面的知识对于以后管理、开发生产工艺及设备是十分重要的。为此，轻化工工艺及设备专业设置了本课程。

通过学习本课程，应了解有关自动化仪表及生产过程自动化的基本知识，能够根据生产工艺和设备的需要正确选择自动化仪表和自动调节系统；掌握一些常用的自动化仪表的使用、校验方法。

第一章　测量概述

在工业生产过程中，为了正确地指导生产操作，保证生产安全，提高产品质量，实现生产过程自动化，必须及时地检测出生产过程中各个主要参数*。为了能顺利地完成各种参数的检测，有必要对有关测量和测量仪表的一些基本知识作简要的陈述。

第一节　测量过程和测量误差

一、测量过程

在生产过程中，尽管使用的测量仪表品种很多，所测量的参数类型也各不相同，然而，其测量过程的实质都是将被测量参数与其相应的测量单位进行比较的过程。测量仪表就是实现这种比较的工具。测量过程可以用以下测量基本方程式表示：

$$g=\frac{X}{V} \tag{1-1}$$

式中　X——被测参数（被测量）

V——测量单位

g——测量结果，即被测参数与测量单位的比值

必须指出，对于某一个被测参数来说，只有在测量单位确定之后，它的测量结果才是确定的；一旦测量单位改变，测量结果亦会随之改变。由式（1—1）可以清楚地看出

$$X=gV$$

也就是说，为了确切表示一个被测参数，必须在它的测量结果后面加上测量单位，否则这个测量结果就毫无意义。

二、测量方法

根据获得测量结果的程序不同，测量方法可以分为直接测量和间接测量。

1. 直接测量

这是用测量单位与被测量进行比较，直接获得测量结果的方法。例如用一把直尺丈量一段管子，直接读出管子长度；用一支水银温度计插入某一反应器内部，从温度计刻度标尺上直接读出被测温度。

---

* 参数　对某一过程有直接或间接影响的常量或变量。