

高 | 等 | 学 | 校 | 教 | 材

化工测量及仪表

第三版

	陈忱先	主 编
左 锋	董爱华	副主编
	范玉久	主 审



化学工业出版社

高等 学校 教材

化工测量及仪表

第三版

陈忱先 主 编
董爱华 副主编
范玉久 主 审



化学工业出版社
· 北京 ·

本教材讲述了测量的基础知识、传感器的基本原理和构成。强调了对压力、温度、物位、流量、成分等五大重要参数的自动测量。同时还分析了检测仪表的组成、最新的发展和涌现的测量成果。

本书是为高等院校有关石油、石化、化工、化纤以及化学制药等自动化信息类专业编写的教材。书中所阐述的内容，同样适合冶金、生物制药、粮食食品加工以及现代农业栽培等专业学生的需要。本书除作为高等学校教材外，也可供有关工程技术人员和仪表工人阅读参考。

图书在版编目 (CIP) 数据

化工测量及仪表/陈忱先主编. —3版. —北京: 化学工业出版社, 2010. 1
高等学校教材
ISBN 978-7-122-07332-7

I. 化… II. 陈… III. 化工仪表-教材 IV. TQ056.1

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2009) 第 228478 号

责任编辑: 廉 静 王丽娜

文字编辑: 孙凤英

责任校对: 王素芹

装帧设计: 杨 北

出版发行: 化学工业出版社 (北京市东城区青年湖南街 13 号 邮政编码 100011)

印 刷: 北京永鑫印刷有限责任公司

装 订: 三河市万龙印装有限公司

787mm×1092mm 1/16 印张 21¼ 字数 569 千字 2010 年 2 月北京第 3 版第 1 次印刷

购书咨询: 010-64518888 (传真: 010-64519686) 售后服务: 010-64518899

网 址: <http://www.cip.com.cn>

凡购买本书, 如有缺损质量问题, 本社销售中心负责调换。

定 价: 40.00 元

版权所有 违者必究

第三版前言

《化工测量及仪表》一书自 1982 年出版以来，被许多院校所采用。2002 年《化工测量及仪表》第二版问世，对第一版教材进行了较大的修改，采用了当时最新的国家标准。第二版前后共印刷了 16 次之多。

随着科学技术的迅猛发展，检测理论与测量技术都发生了巨大的变化，为此，本书对第二版进行了重大的增删和修改，书的结构也进行了重建，共分成三个模块（三大篇）。第 1 篇含第 1、2 两章，主要讲述测量的基础知识、误差的处理以及检测系统的动静态特性。第 2 篇包括第 3、4、5、6、7 共五章，主要介绍各种传感器的基本原理，强调对压力、温度、物位、流量、成分等五大重要参数的自动测量。第 8、9 两章为第 3 篇，主要讲述各类显示仪表的构成（重点分析微机化仪表和虚拟仪器两类）以及近年来涌现出的主要的测量新技术。

第一版教材参加编写的人员有：石油大学（华东）、华东理工大学以及东华大学的教师奚立明、曹文举、范玉久、章先楼、沈关梁、严隽道。第二版教材参加编写的人员有：石油大学（华东）和东华大学的教师杜鹃、范玉久、罗万象、陈忧先以及左锋通力合作完成。

本次修订由东华大学（原中国纺织大学）负责，陈忧先编写了第 1、2、9 章，左锋编写了第 3、4、5 章，董爱华编写了第 6、7 章，第 8 章由陈忧先、崔正刚、顾斌合作编写，并敬请范玉久先生主审。

本书配有电子教案，需要者可登录 www.cipedu.com.cn，免费下载。

在编写过程中得到了河北理工大学智能仪器厂等单位不少专家的指点，美国 NI 公司技术市场工程师倪斌先生也帮助审阅了相关章节，特此表示感谢。

现代检测技术是一门日新月异的多学科交叉的技术，虽然本书编者长期从事大学本科和研究生的教学、科研与实验，对工程检测有深刻的理解，但毕竟编者知识有限以及时间仓促，书中不足之处，真诚欢迎读者批评、指正。

编者

2009. 10

第二版前言

《化工测量及仪表》一书自 1982 年出版以来，被许多院校所采用。随着科学技术的不断发展和与国际接轨，测量技术与仪表都有了很大的发展与变化，国内所接触的仪表品种范围更加扩大，部分标准和规定也发生了变化。为此，本书对第一版教材进行较大的修改和增删，采用了最新的国家标准。希望通过此书能帮助读者掌握化工测量及仪表的基本原理和特性，用好现有仪表，并能温故知新，进行改进和创新。

第一版教材参加编写的人员有：华东石油学院（现石油大学）奚立明、曹文举、范玉久；上海化工学院（现华东理工大学）章先楼、沈关梁；上海纺织工学院〔现东华大学（原中国纺织大学）〕严隽道。由浙江大学李海青主审、上海化工学院（现华东理工大学）陈彦萼、天津大学张立儒审定。参加本次修订的人员有石油大学（华东）杜鹃（第一、二、四篇），范玉久（概述、第三篇），罗万象（第五篇）；东华大学（原中国纺织大学）陈忧先（第六篇第一、二、四、五章）、左锋（第六篇第三章）。由重庆大学朱麟章审阅。

在编写过程中得到了长期从事计量和仪表工作的专家们的帮助，特此表示感谢。

由于编者水平有限，书中尚有不足及错误之处，欢迎读者批评、指正。

编 者
2001.5

目 录

第 1 篇 测量的基础知识、误差的处理以及检测系统的动静态特性

第 1 章 绪论	2	2.2.2 测量误差的分类	13
1.1 测量的含义和地位	2	2.3 随机误差的处理与测量不确定度的表示	15
1.2 发展中的测量技术	3	2.3.1 随机误差的处理	15
1.3 自动检测技术就在我们身边	3	2.3.2 测量结果的置信度	17
1.4 关于我们这本书	4	2.4 系统误差以及粗大误差的处理	19
思考题和习题	5	2.4.1 系统误差的分类	19
附录 仪器仪表的测量控制现状与国际的差距	5	2.4.2 系统误差的判断方法	20
第 2 章 检测技术基础	6	2.4.3 消除系统误差的经验方法	21
2.1 检测的基本概念	6	2.4.4 粗大误差的处理	21
2.1.1 传感器与测量系统的组成	6	2.5 检测技术的新发展概述	23
2.1.2 测量方法及其分类	7	2.5.1 检测理论和技术的新扩展	23
2.1.3 测量系统或仪表的基本技术性能和术语	9	2.5.2 计算机技术和测量技术的融合	23
2.2 测量误差概述	12	思考题和习题	24
2.2.1 测量误差客观存在	12		

第 2 篇 传感器基本原理及五大重要参数的自动测量

第 3 章 压力测量	26	3.5.1 自感式传感器	50
3.1 压力检测概述	26	3.5.2 互感式差动传感器	55
3.1.1 压力定义及单位	26	3.6 霍尔式压力计	60
3.1.2 压力的几种表示方法	26	3.6.1 霍尔传感器的工作原理	60
3.2 弹性压力计	27	3.6.2 霍尔式压力计	62
3.2.1 弹性元件	27	3.7 其他压力测量方法	64
3.2.2 弹性元件在压力测量中的应用	29	3.7.1 液柱式压力计	64
3.3 电阻式压力计	31	3.7.2 压电式压力计	66
3.3.1 应变效应和压阻效应的原理	31	3.7.3 振动式压力计	69
3.3.2 金属应变片与应变式压力传感器	32	3.8 压力表的选择、校验和安装	72
3.3.3 压阻元件和压阻式压力传感器	33	3.8.1 压力仪表的选择	72
3.3.4 电阻信号的测量电路	34	3.8.2 压力仪表的校验	73
3.4 电容式压力计	41	3.8.3 压力表的安装	74
3.4.1 电容传感器的原理	41	思考题和习题	75
3.4.2 电容式压力传感器	42	第 4 章 物位测量	77
3.4.3 电容信号的变送处理	45	4.1 浮力式液位计	77
3.5 电感式压力计	50	4.1.1 浮子式液位计	77
		4.1.2 浮筒式液位计	79
		4.2 静压式液位计	81
		4.2.1 静压法液位测量的原理	81

4.2.2 压力式液位计	81	5.8 涡街式流量计	152
4.2.3 差压式液位计	82	5.8.1 应用卡曼漩涡测量的原理	152
4.3 电容式液位计	85	5.8.2 涡街流量计的结构	153
4.3.1 非导电介质的液位测量	85	5.8.3 涡街信号的检测	154
4.3.2 导电介质的液位测量	86	5.8.4 涡街流量计的特点	155
4.3.3 固体料位的测量	87	5.9 容积式流量计	156
4.4 非接触式物位测量	87	5.9.1 测量原理	156
4.4.1 辐射式物位计	87	5.9.2 转子式容积流量计	156
4.4.2 超声波物位计	89	5.9.3 活塞式容积流量计	158
4.4.3 光电式物位计	92	5.9.4 其他形式的容积式流量计	159
思考题和习题	95	5.9.5 容积式流量计的特性	161
第5章 流量测量	96	5.9.6 容积式流量计的选型、安装和使用	164
5.1 流量的定义和流体流动状态	96	5.10 质量流量计	165
5.1.1 流量的定义	96	5.10.1 量热式质量流量计	166
5.1.2 流动状态与流量测量	97	5.10.2 科氏力流量计	167
5.1.3 流体流动中的能量状态转换	97	5.10.3 其他常用的直接式质量流量测量方法	169
5.2 节流式流量计	98	5.10.4 推导式质量流量测量方法	171
5.2.1 测量原理	99	5.11 超声波流量计	173
5.2.2 标准节流装置	101	5.11.1 传播速度法测量原理	173
5.2.3 流量公式和参数的确定	108	5.11.2 多普勒法测量原理	175
5.2.4 节流装置流量测量不确定度的估算	113	思考题和习题	176
5.2.5 标准节流装置的设计计算	115	第6章 温度测量	178
5.2.6 节流装置的安装	122	6.1 概述	178
5.3 动压式流量计	125	6.1.1 温度测量方法	178
5.3.1 靶式流量计	125	6.1.2 温标	178
5.3.2 挡板流量计	128	6.1.3 温度测量仪表的分类	180
5.3.3 动压管流量计	129	6.2 膨胀式测温方法及仪表	180
5.3.4 皮托管和均压管	130	6.2.1 双金属温度计测温原理	180
5.4 浮子式流量计	132	6.2.2 双金属温度计的结构	181
5.4.1 传感器的结构和测量原理	132	6.3 热电偶温度计	181
5.4.2 浮子流量计的工作特性	134	6.3.1 测量原理	182
5.4.3 刻度换算	134	6.3.2 热电偶材料与结构	185
5.4.4 金属管转子流量计	135	6.3.3 热电偶冷端温度的处理方法	191
5.5 电磁式流量计	136	6.3.4 热电偶测温线路及误差分析	194
5.5.1 测量原理	136	6.3.5 热电偶的安装	196
5.5.2 变送器的结构及特性	137	6.4 热电阻温度计	198
5.5.3 变送器的信号处理	138	6.4.1 热电阻的测温原理	198
5.5.4 电磁流量计的特点和注意事项	142	6.4.2 热电阻材料与结构	199
5.6 离心式流量计	143	6.5 非接触式测温方法及仪表	205
5.6.1 测量原理	144	6.5.1 热辐射基本定理	205
5.6.2 弯管流量计的特性	146	6.5.2 光学高温计	207
5.7 叶轮式流量计	147	6.5.3 光电高温计	208
5.7.1 涡轮流量计的结构	147	6.5.4 辐射温度计	209
5.7.2 涡轮变送器的工作原理	149	6.5.5 比色温度计	211
5.7.3 涡轮旋转信号的测量	151	6.6 温度测量新技术综述	212
5.7.4 涡轮流量计的特点	151	6.6.1 光纤测温技术	212

6.6.2 半导体硅 PN 结温度传感器测温技术	216	7.3 氧分析器	241
6.6.3 集成温度传感器	217	7.3.1 热磁式氧分析器	241
6.6.4 石英振荡器温度传感器	220	7.3.2 氧化锆氧分析器	244
思考题和习题	221	7.4 pH 值的自动测量	249
附录一 常用热电偶分度表	222	7.4.1 概述	249
附录二 常用热电阻分度表	228	7.4.2 电极电位与原电池	251
第 7 章 工业分析仪表	232	7.4.3 参比电极与指示电极	254
7.1 概述	232	7.5 湿度的自动测量	259
7.1.1 工业分析仪表的概念及其应用	232	7.5.1 湿度的表示方法	259
7.1.2 工业分析仪表的分类	232	7.5.2 干湿球湿度计	260
7.1.3 工业分析仪表的组成	233	7.5.3 露点式湿度计	261
7.1.4 成分分析仪器的主要性能指标	234	7.5.4 电解式湿度计	262
7.2 热导式气体分析器	235	7.5.5 电容式湿度计	265
7.2.1 热导分析的基本原理	235	7.6 密度的自动测量	265
7.2.2 热导式气体分析器的检测器	237	7.6.1 浮力式密度计	265
7.2.3 热导式气体分析器的检测桥路	239	7.6.2 压力式密度计	268
		7.6.3 重力式密度计	268
		7.6.4 振动式密度计	269
		思考题和习题	271

第 3 篇 检测系统显示仪表的构成及日新月异的测量技术

第 8 章 测量显示仪表	274	组成	304
8.1 概述	274	8.5.4 虚拟仪器体系结构中的软件组成	306
8.2 模拟显示仪表	275	8.5.5 虚拟仪器的设计	307
8.2.1 动圈式模拟显示仪表概述	275	8.5.6 虚拟仪器的技术优势	310
8.2.2 动圈仪表的组成和工作原理	275	思考题和习题	311
8.2.3 测量线路	278	第 9 章 日新月异的测量技术及应用	312
8.2.4 自动平衡显示仪表	281	9.1 红外传感器原理及应用	312
8.3 数字式显示仪表	284	9.1.1 红外辐射的基本知识	312
8.3.1 数字显示仪表与模拟式仪表的比较	284	9.1.2 红外传感器的原理与结构	313
8.3.2 数字显示仪表的组成	285	9.1.3 红外传感器的应用	313
8.3.3 模数转换	285	9.2 仿生传感器	316
8.3.4 信号的标准化及标度变换	290	9.2.1 综述	316
8.3.5 非线性补偿	290	9.2.2 视觉传感器	316
8.3.6 数字式显示仪表的显示器件	291	9.2.3 听觉传感器	317
8.4 微机化检测仪表	294	9.2.4 触觉传感器	317
8.4.1 微机化仪表综述	294	9.2.5 接近觉传感器	319
8.4.2 微机化仪表硬件	295	9.3 一体化测量技术	320
8.4.3 微机化仪表软件	299	9.3.1 综述	320
8.4.4 微机化仪表标度变换和线性化	300	9.3.2 一体化传感器结构模式	320
8.4.5 微机化仪表实例分析	301	9.3.3 三位一体传感器实例	321
8.5 虚拟仪器	302	9.4 软测量技术	322
8.5.1 从传统仪器到虚拟仪器	302	9.4.1 概述	322
8.5.2 软件就是仪器	303	9.4.2 软测量技术的实现步骤	323
8.5.3 虚拟仪器体系结构中的硬件		9.4.3 软测量技术的应用	325
		9.4.4 软测量技术的发展趋势	325

9.5 网络化仪表及网络化传感器	326	9.5.3 面向 Internet 的网络化仪表测控系统	328
9.5.1 网络化仪表及网络化传感器概述	326	9.5.4 网络化传感器	329
9.5.2 基于现场总线技术的网络化仪表测控系统	327	9.5.5 小结	330
		思考题和习题	330

参考文献

第 1 篇

测量的基础知识、误差的

处理以及检测系统的动静态特性

第1章 绪 论

1.1 测量的含义和地位

人类自古就在学着测量。古时候人们往往直接用自己的脚来丈量土地的面积，久而久之，“foot”便成为一些国家或地域的长度单位（英尺）。测量作为人类探知自然界的主要手段之一，不仅被广泛应用于现代科技社会，在人文社会领域也有其充分实践的空间。人类依靠测量来了解自然、认识世界，人类文明就是这样一步一步发展起来了。

(1) 测量的含义

当今世界各学科领域对于测量的定义不胜枚举，许多学科都从各自的角度赋予测量以不同的定义，例如计量学上测量的含义是“以确定量值为目的的一组操作”。

从工程检测角度，我们认为：测量是按照某种规律，用数据来描述观察到的现象，即对事物作出量化描述。测量是对非量化事物的量化过程，是人类认识事物本质的不可缺少的过程，是人类对事物获得定量概念以及事物内在规律的过程。

测量和检测基本上是同义语，而具体的仪器仪表则是专门用于“测量”或“检测”某一参数或对象的工具。

(2) 测量的地位

一生两度获诺贝尔奖（第一次获得诺贝尔物理奖，第二次获得诺贝尔化学奖）的居里夫人有一句名言：“人类看不见的世界，并不是空想的幻影，而是被科学的光辉照射的实际存在。”

放射性现象人类的肉眼看不见，要靠某些仪器的测量来证明它的实际存在。居里夫人历时四载，从近9t的沥青铀矿的矿渣中提炼出100mg镭，并初步测量出镭的相对原子质量是225。这个数字凝聚着居里夫妇的心血和汗水，更证实了这样一句名言——“没有测量就没有科学”。

一切科学都建立在精确的数据上，自然科学是如此，人文科学也是如此。而精确数据的获得依靠的就是测量。正如著名科学家钱学森先生曾指出的，“信息技术包括测量技术、计算机技术和通信技术。测量技术是关键和基础。”

测量水平的高低直接反映一个国家科学水平的高低。

据美国国家标准技术研究院（NIST）的统计，美国为了质量认证和控制、自动化及流程分析，每天完成2.5亿个数据的测量，占国民生产总值的3.5%。要完成这些检测，需要大量的、种类繁多的分析检测仪器。仪器仪表与测试技术的普及与发展是当代提高生产效率、保证产品质量的一个关键环节。美国的科学技术非常发达，精密仪器仪表的生产、自动检测控制技术的开发等一批高新技术已成为其国家的支柱产业。

近20年来，我国自动检测技术有了长足的进步和发展。检测仪表和自动化系统广泛应用于炼油、化工、冶金、电力、电子、轻工、纺织、食品加工等行业。据悉，现代化宝山钢铁集团的技术装备投资，三分之一的经费用于购置仪器和自控系统。即使原来认为可以土法生产的制酒工业，今天也需通过精密的仪器仪表来严格测控各个生产流程，才能创出世界名牌。

精密的仪器仪表的应用是现代生产从粗放型经营转变为集约型经营必须采取的措施，是改造传统工业必备的手段，也是让产品具备竞争能力、打入国际市场的必由之路。只有检测

技术的不断发展才能促进我国各行各业自动化技术的进步以及科学实验的进步，然而和发达国家相比，我们还有很大的差距，真可谓任重而道远（参见本章后的附录）。

1.2 发展中的测量技术

(1) 科学技术发展突飞猛进

当今在激光技术、远红外技术、半导体集成技术、超导技术、同位素技术、超声技术、光纤技术、微波技术、仿生技术等方面新的研究成果不断涌现，科学技术的发展呈现突飞猛进之状态。

这些科学技术的飞速发展都离不开测量技术，同时它们的发展也进一步促进了各种测量工具和测量理论的发展。信息论的深入研究、基础数学研究的新成果以及各种新算法的提出对测量理论的提升作用是显而易见的。尤其要指出的是，计算机和网络技术的普及与提高更让现代检测技术如虎添翼。

(2) 测量领域的扩展以及测量精度的提高

检测技术新发展的成果主要表现在两个方面。

一是大大提高了被测参数的精度。现代宇航陀螺仪制造，误差控制在“纳米级”以内。超大规模集成电路内部线路间距、物理光栅的刻划，其误差控制级别要求更高。检测技术的新发展为被测参数实现超高精度测量提供了技术保证。

二是极大地扩展了测量的对象和领域。在传统工业、农业、商务物流以及科学实验中，大型复杂的对象面临多输入参数和多输出参数的综合测量与控制，这离不开新型测量工具和现代测量理论的支持。此外，航空航天、遥感遥测、海洋开发、环境保护、现代化战争的演习等，都离不开新型检测技术的支持。

(3) 测量系统的变革趋势

近年来，基于新型检测技术和检测理论而开发研制的测量系统或新型仪器仪表广泛采用高新科学技术研究的成果、跨学科的综合设计、高精尖的制造技术以及严格的科学管理，从而使得测量系统或仪器仪表领域发生了根本性的变革——现代仪器仪表产品已成为典型的高科技产品。它不但完全突破了传统的光、机、电的框架，向着计算机化、网络化、智能化、多功能化的方向迅速发展，而且还正朝着更高速、更灵敏、更可靠、更简捷地获取对象全方位信息的方向阔步前进。

纵观历史，剖析现状，展望未来，我们可以预见：①传统的仪器仪表将仍然朝着高性能、高精度、高灵敏、高稳定、高可靠、高环境适应和长寿命的“六高一长”的方向发展；②新型的仪器仪表则将朝着微型化、集成化、电子化、数字化、多功能化、智能化、网络化、计算机化、综合自动化、光机电一体化、家庭化、个人化、无维护化以及组装生产自动化、规模化的方向发展。

总之，随着微电子技术、计算机技术、软件技术、网络技术的高度发展及其在仪器仪表中的应用，仪器仪表结构将不断发生新的质的变化。冲破传统思维方式，发展新的测量理论已是测量系统技术革命的大势所趋。

1.3 自动检测技术就在我们身边

我们马上要学习工程检测技术了。不少学生会认为我们所学的工程检测技术很神秘，其实，传统的、经典的自动检测技术离我们并不遥远，它就在我们身边。

我们出行要乘车，许多家庭也已拥有私家车。殊不知，我们熟悉的小轿车实际上正是一个完整的自动检测控制系统。参见图 1-1，其中减震传感器用于汽车的引擎控制；振动传感器用于控制安全气囊的打开；超声波传感器用于汽车的倒车系统；陀螺传感器用于汽车的导航……

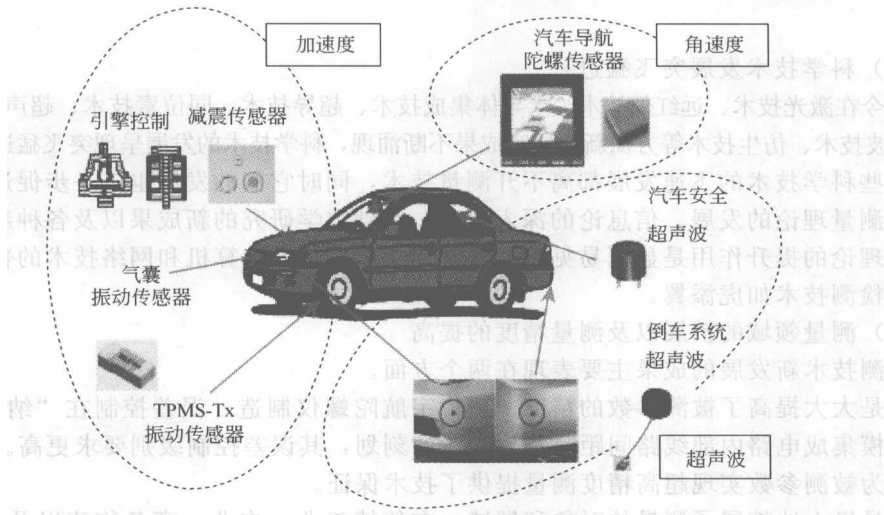


图 1-1 小轿车的自动检测控制系统

再比如，以几乎每家每户都在使用的能自动烧饭熬粥的电饭煲为例，我们所熟悉的是：一旦饭煮好了，电饭煲便会停止加热。而实现这一目标的关键在于电饭煲的底部有一个温度磁敏开关，当温度上升到某一温度点时，该温度磁敏开关便会失去磁性，电源就自动断开。温度磁敏开关的工作原理为“居里-韦斯”定律，系 100 多年前比埃尔·居里和韦斯共同建立。

比埃尔·居里（法国物理学家，后成为居里夫人的丈夫）研究物质的磁性与温度的关系，1891 年建立了居里定律——顺磁物质的磁化系数与热力学温度成反比。1907 年经法国物理学家韦斯进一步研究，予以精确量化，提出方程： $X=C/(T-Q)$ 。该方程后被命名为居里-韦斯定律，式中的“Q”为铁磁物质的转变温度，又称为居里点。磁性材料一旦达到此温度点，它就会失去磁性，呈顺磁性状态。

1950 年日本人井深大工程师长期研究有关的基础理论如何开发和利用，发现铁磁物质的转变温度和饭煮熟时的温度相当，随后研制出世界上第一台电饭煲。

如今的电饭煲当然是今非昔比，它能对食品进行蒸、煮、炖、煨等多种操作功能，连微电脑控制的电饭煲都有了。

另外，现在已经成为日常家用电器的燃气热水器，它要测量水温、流量、水压等；高级全自动洗衣机会测量水位、洗衣粉的浓度、各道工序的时间等；还有冰箱、空调等，哪一样离开了测量技术呢？！

所以说，只要我们带着一双善于发现的眼睛，就会发现，自动检测在我们身边几乎无处不在。

1.4 关于我们这本书

我们这本教材名为《化工测量及仪表》，它讲述了测量的一般原理、传感器的基本构成以及仪器仪表的动静态特性，更强调了对压力、温度、物位、流量、成分等五大参数的自动

测量，因为这五大参数在石油、化工、化纤以及化学制药工业中是最重要的参数！本书同时还分析讲述了检测仪表的组成、最新的发展和涌现的测量成果。

虽然我们定名为化工测量及仪表，但书中所阐述的内容，也适合冶金、生物制药、粮食食品加工以及现代农业栽培等专业学生的需要。

衷心希望本教材对上述专业的理工科学生有实实在在的帮助和提高。

思考题和习题

1. 获得定量概念以及内在规律是否是测量的含义中关键点？为什么？
2. “没有测量就没有科学”，你是否认同这样的评价？为什么？
3. 在我们学习生活的校园里，你是否发现也有不少参数正在测量着？

附录 仪器仪表的测量控制现状与国际的差距

2009/7/23/08: 55 来源：中国化工仪器网

【慧聪教育网】我国仪器仪表与测量控制现状同国际先进水平相比，同我国经济和社会发展的实际需要相比，还存在着很大的差距。差距是全方位的，最要害的有三点。

第一，我国仪器仪表产业规模小，产值低，企业同样是规模小，产值低。2007年我国仪器仪表产业总产值3000亿元人民币，只占工业总产值的2.5%。10年前，美国仪器仪表产业总产值已达到4千亿美元，占工业总产值的4%。目前，美国仪器仪表企业年产值超过20亿美元的不少于50家，我国最大的仪器仪表企业，京仪集团年产值80亿元人民币，川仪集团60亿元人民币。两相比较，差距实在太太大。产业和企业的规模和产值直接影响到产业的活力与发展。要缩小和消除这个差距，需要我们努力奋斗10~20年。

第二，我国仪器仪表产品质量上、品种上还存在不少问题。产品的可靠性和稳定性，长期以来没有得到根本解决，严重影响到市场销售和正常使用。许多大型精密仪器我们还生产不出来，国内需求几乎全部依赖进口。2007年我国仪器仪表产品出口创下了88亿美元，可是进口却达到了172亿美元，逆差84亿美元，成为装备制造业之最。这个问题不解决，我国仪器仪表与测量控制学科和产业的发展将无法摆脱落后被动的局面。

第三，我国仪器仪表产业创新能力不强，还无法承担起科技创新主体的责任。国际上仪器仪表科技创新发展极快，产品更新换代的周期只需2~4年，多数企业销售额一半以上几乎都来自5年内上市的新产品。而我国仪器仪表产品不少还沿自于20世纪80年代技术引进的产物，相当多企业产品是10年一贯制，靠吃老本为生。自主创新能力不强的原因是多方面的，影响最大的不外乎两条：一是科技创新开发投入资金太少；二是创新人才匮乏。提高自主创新能力，建设创新型国家是国家发展战略的核心，是提高综合国力的关键。企业提升科技创新能力，已经成为刻不容缓的历史使命。

第2章 检测技术基础

2.1 检测的基本概念

2.1.1 传感器与测量系统的组成

(1) 传感器 (transducer) 的构成

在测量过程中一般都会用到传感器，或选用相应的变送器。国家标准是这样定义“传感器”的：能感受规定的被测量并按照一定的规律转换成可用输出信号的器件或装置。通常由敏感元件和转换元件组成，参见图 2-1。

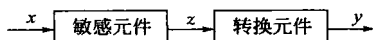


图 2-1 传感器的构成

一般传感器是指借助于敏感元件接受某一物理量形式的信息 x ，并按一定规律将它转换成同种或另一种物理量形式信息 y 的器件或装置。变送器是输出为标准信号的传感器。输出 y 和输入 x 之间有确切的函数关系，即

$$y=f(x)$$

图 2-1 中，敏感元件 (sensor) 是对被测参数 x 敏感，它的输出设为 z ， z 有可能是一种不易处理的物理量形式，不一定能被后继的线路所利用。此时就必须在敏感元件后配一相应的转换元件，该转换元件的输出一定是易于处理的、能被后继的线路所利用的信号。

易于处理的、能被后继线路所利用的信号形式有很多种类，其中电量信号 (例如是电压、电流、电阻等) 是人类最为熟悉的信号形式。电量信号具有精度高、动态响应快、易于运算放大、易于远距离传送、易于和计算机接口等许多其他信号所没有的优点。所以我们往往有目的地选用或研发能输出电信号的转换元件来和敏感元件配合，从而让传感器输出 y 成为电信号。

当以测量为目的，以一定精度把被测量转换为与之有确定关系的、易于处理的电量信号输出时，我们又常常称之为“非电量电测”。

如果进一步对此输出信号进行处理，转换成标准统一信号 (例如：直流 4~20mA 或 1~5V 或其他国家标准规定的信号等) 时，此时的传感器一般称为变送器。

当今信息处理技术取得的进展以及微处理器和计算机技术的高速发展，在传感器的开发方面也日新月异。微处理器现在已经在测量和控制系统中得到了广泛的应用。随着这些系统能力的增强，作为信息采集系统的前端单元，传感器的作用越来越重要。传感器已成为自动化控制系统和机器人等技术中的关键部件，其重要性变得越来越明显。

(2) 自动测量系统 (检测仪表) 的组成

在现代的自动测量系统 (检测仪表) 中，它的各个组成部分可以先借助“信息流的过程”来粗线条地划分。一般可以分为：信息的获得，信息的转换和信息的显示三部分。

因此作为一个完整的自动测量系统，至少应包括传感器 (信息的获得)、测量电路 (信息的运算、放大、处理和转换)、显示装置 (信息的显示) 3 个基本组成部分。它们之间的关系可用图 2-2 来表示。



图 2-2 自动测量系统的组成

传感器是一个获取被测量的装置，是一种获得信息的手段。因此它获得信息的正确与否，关系到整个测量系统的精度。如果传感器的误差很大，后面的测量电路、显示装置等的精度再高也将难以提高整个测量系统的精度。因此传感器在自动测量系统中占有重要的地位。

测量电路的作用是把传感器的输出信号（往往是电信号）放大、处理或转换使信号能在显示仪表上指示或在记录仪中记录下来。测量电路的种类常由传感器的类型而定，如电阻式传感器需采用一个电桥电路把电阻值变换成电流或电压输出，所以它属于信号的转换部分。为了能驱动显示仪表工作或记录机构运动，对测量电路的输出信号有一定的要求，所以在测量电路中一般还带有放大器将信号加以放大。

电阻式应变传感器把被测量“应变”转换为电阻变化，电阻直接就是电量，显然该传感器里的敏感元件和转换元件合二为一了。电阻虽然属电量，但不能像热电偶产生的热电动势那样直接被电压显示仪表所接受。这就需要某种电路来对传感器转换出来的电量进行变换和处理，使之成为便于显示、记录、传输或处理的可用电信号。接在传感器后面具有这种功能的电路，称之为测量电路或传感器接口电路。例如，电阻应变片后面往往接一个电桥，这个就是“测量电路”。将电阻变化转换为电压变化，供后继的电压显示仪显示。

测量的目的是使人们了解要测的数值，所以必须有显示装置，这就是信息的显示。显示的方式，目前常用的有三类：模拟显示、数字显示和图像显示。模拟显示就是利用指针对刻度标尺的相对位置来表示读数；数字显示实际上是直接用数字来表示读数，例如物理实验课上用的数字电压表、数字电流表或数字频率计。图像显示是用屏幕显示读数或者被测参数变化的二维曲线图。在测量过程中，有时不仅要读出被测参数的数值，而且还要了解它的变化过程，特别是动态过程的变化，根本无法用普通的显示仪表来指示，那么就要把信号送至记录仪自动记录下来。传统的自动记录仪有笔式记录仪（如电平记录仪、x-y 函数记录仪、电子电位差计、光线示波器等）以及磁带记录仪等。记录仪起记录信号的作用，在信息流过程中，它仍然属于信息的显示。

由图 2-2 可知，传感器只不过是检测系统（检测仪表）的一部分，而绝非全部。因此光有传感器知识还不能使用和设计检测系统。为了适应今后从事相关的工程测量工作，我们不仅要学习检测的基础理论与传感器的工作原理（本教材第 2~7 章），也要学习检测系统（检测仪表）的一些共性的通用原理和应用（本教材第 8 章）。在工程上我们往往称传感器、变送器为“一次仪表”，检测系统或检测仪表叫“二次仪表”。各种检测仪表的用途、名称、型号、性能虽然各不相同，但差别仅在于仪表的前端即配用的传感器和测量线路有所不同，传感器以后的仪器部分及其设计方法基本上都是相同的。

2.1.2 测量方法及其分类

一般所说的测量，其含义是用实验方法去确定一个参数的量值。量值包括“数值”和“单位”两个含义，缺一不可。测量就是通过实验，把一个被测参数的量值（被测量）和作为比较单位的另一个量值（标准）进行比较，确定出被测量的大小和单位。所以测量是以确定量值为目的的一组操作。通过测量可以掌握被测对象的真实状态，测量是认识客观量值的唯一手段。

在测量中，把作为测量对象的特定量，也就是需要确定量值的量，称为被测量。由测量所得到的赋予被测量的值称为测量结果。如果测量结果是一次测量的量值，也称为测得值。

(1) 按测量值获得的方法分类

按数据获得的形式, 可将测量分为直接测量、间接测量和组合测量 3 种方法。

① 直接测量 把被测量与作为测量标准的量直接进行比较, 直接得到被测量的大小和单位。并可用下式表示

$$y=x \quad (2-1)$$

式中, y 为被测量的量值; x 作为标准的器具所给出的量值。

直接测量的特点是简便, 例如用米尺量出一根铜管的长度。

② 间接测量 被测量不直接测量出来, 是通过与它有一定函数关系的其他量的测量来确定。设被测量为 y , 影响测量结果 y 的影响量为 x_i , 则可写出测量模型为

$$y=f(x_1, x_2, \dots, x_n) \quad (2-2)$$

例如, 要确定功率 P 值, 则可按公式 $P=I^2R$ 求得。式中, I 是电流, R 是电阻值, 该电阻值与温度 t 有确切的函数关系 $R=R_0[1+\alpha(t-t_0)]$ 。显然在系数 α 是常数的情况下, 只要通过对电流 I 、电阻 R_0 以及温度 t 的测量, 就能确定出功率 P , 即

$$P=f(I, R_0, t)$$

③ 组合测量 有时候不少参数是无法用直接测量或间接测量来获取的, 比如金属材料的热膨胀系数 α , β 。为此我们可以利用直接测量或间接测量这两种方法测量其他的一些参数, 然后用求解方程的方法求出 α , β 。

金属材料的热膨胀有如下公式

$$L_x=L_0(1+\alpha t+\beta t^2)$$

$t=0^\circ\text{C}$, 测得 L_0 ; $t=t_1$ 时, 测得 L_{t1} ; 同理 $t=t_2$ 时测得 L_{t2} 。

可得下列联立方程组

$$L_{t1}=L_0(1+\alpha t_1+\beta t_1^2)$$

$$L_{t2}=L_0(1+\alpha t_2+\beta t_2^2)$$

建立联立方程组后再求解联立方程可得到系数 α , β 的量值, 这就是组合测量方法。

(2) 按测量工具来分类

按测量工具来分可分成 3 种。

① 偏差法 在测量过程中, 用仪表指针的位移 (即偏差) 来表示被测量的大小。这种测量方法, 不是把标准量具装在测量仪表内部, 而是通过被测量对检测元件的作用, 使仪表指针产生位移, 仪表的刻度标尺是通过标准器具的标定确定的。这种测量方法简单快速, 但其测量精度受到标尺的精度影响, 一般不是很高。偏差法是最基本的方法。在工厂和实验室里有大量的数据是通过各种测量仪表用偏差法来获取的。指针式电压表、电流表、弹簧秤、游标卡尺等都是利用偏差法来获得测量值的。

② 零位法 又称补偿式或平衡式测量方法。在测量过程中, 被测量与已知标准量进行比较, 并调节标准量使之与被测量相等, 通过达到平衡时指零仪表的指针回到零来确定被测量与已知的标准量相等。这种测量方法的精度一般比微差法要高许多, 其误差主要受标准量误差的影响。一个典型的例子就是用天平称物, 砝码就是标准量。它的缺点是每次测量要花很长时间。

③ 微差法 综合了偏差法和零位法的优点, 将被测量的标准量与已知的标准量进行比较, 得到基准值。再用偏差式测量方法测出指针偏离零值的差值。因为此差值很小, 即使差值测量的精度不高, 但整体测量结果仍可以达到较高的精度。我们仍用天平称物为例, 先增减砝码, 在指针回零过程中, 一旦指针已落在零值左右的刻度之内, 就不再调节砝码了 (所花时间不会很多)。然后在获知砝码基准值的基础上再根据指针的偏差进行修正 (加或减), 就能获得准确的数值。