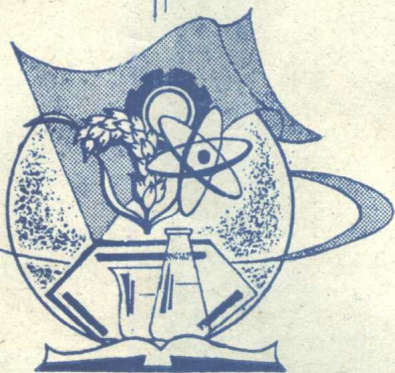


中等专业学校试用教材



化工测量及仪表

熊德仙 李政学 编

化学工业出版社

056

中等专业学校试用教材

化工测量及仪表

熊德仙 李政学 编

化学工业出版社

内 容 简 介

本书主要讲述化工生产中压力、物位、流量、温度等物理量的常用测量方法和仪表。侧重介绍了常用典型仪表的结构、原理、主要特点和某些主要计算，对仪表的选型、调校、使用、维修等也作了适当介绍。由于常用的显示仪表具有广泛的通用性，故将其单列一篇专门作了讨论。

本书是中等专业学校“化工仪表及自动化”专业的试用教材。每章末均附有思考题与习题，附录中列有做习题时必须选用的主要数据与有关资料，以便学生对本课程的掌握与巩固。本书也可供从事仪表和自动化工作的技术人员和工人参考。

中等专业学校试用教材 化工测量及仪表

熊德仙 李政学 编

责任编辑：李涌雪

封面设计：任 辉

*

化学工业出版社出版

(北京和平里七区十六号楼)

化学工业出版社印刷厂印刷

新华书店北京发行所发行

*

开本787×1092¹/₁₆ 印张26¹/₂ 字数627千字印数1—20,170

1985年12月北京第1版1985年12月北京第1次印刷

统一书号15063·3778(K·291) 定价3.30元

前 言

本书是根据化工部教育司教材出版规划，依据1982年8月审定的化工中专“化工仪表及自动化”专业教学计划（招初中生、四年制）和同年10月制订的《化工测量及仪表》教学大纲（讨论稿），在部教育司和化工中专仪表专业教材编审委员会（兰州化校为负责学校）的具体组织和领导下编写的，可作化工中专“化工仪表及自动化”专业的试用教材。

全书共分五篇，前四篇主要讲述化工生产中压力、物位、流量、温度的测量，教学时数约80学时（包括绪论）；第五篇专门讲授常用的显示仪表，教学时数约60学时。

本书以常见的测量方法和常用的典型仪表为重点，略微兼顾了一下新的、特殊的测量方法和仪表。在分析仪表工作原理时，以定性地讲清物理概念为主。为了突出中专特色，注意了加强实践性的内容。

本书的绪论和前三篇由泸州化工学校熊德仙同志编写，后两篇由湖南省化工学校李政学同志编写。

在本书的编写过程中，曾得到兰化公司有关单位、四川仪表厂、重庆工业自动化仪表研究所、四川省计量测试研究所、上海自动化仪表二厂、三厂、五厂、重庆长江仪表厂、江苏江都电子仪器厂、国家计量总局、中国计量科学研究院等单位的大力支持和帮助，在此一并表示衷心的感谢！

由于编者水平所限，书中定有不少缺点和错误，恳请广大师生和读者提出宝贵意见。

编者

一九八四年二月

本书使用的主要符号说明

一、基本符号

A	面积、放大倍数	T_D	同步电机
B	磁感应强度	T_r	对比温度、变压器
C	电容、流出系数、刚度、阻力系数、声速	V	测量单位、体积、电压
C_p	定压热容	V_i	输入电压
C_v	定容热容	V_o	输出电压
D	直径、二极管	W	重量
D_w	稳压管	X	被测量、位移量、体积百分数、质量百分数
E	弹性模数、电源电势、热电势、渐近速度系数、孔板厚度	Z	阻抗、压缩系数
F	力	Z_L	负载阻抗
G	重量	a	长半轴、宽度
H	长度、高度、距离、厚度、磁场强度	b	短半轴、宽度
I	电流、辐射强度	d	直径、厚度、距离
IC	集成电路	e	电势、自然对数的底、孔板圆筒形部分长度
J	转动惯量	f	频率、环室环隙厚度、绝对湿度
K	各种系数、常数、管道绝对平均粗糙度	g	重力加速度
L	长度、自感(电感)	h	高度、深度
ΔL	线位移	i	交流电流、桥路电阻比
M	示值、互感、质量流量、力矩	l	长度
M_r	分子量	m	比例系数
N	标准状态	r	半径、电阻
ND	可逆电机	r_{re}	管道粗糙度修正系数
P	压力、电功率	t	时间、温度
P_a	大气压力	u	圆周速度、交流电压瞬时值
P_c	临界绝对压力	v	速度
P_r	对比压力	Δ	绝对误差、变化量、增量
P_x	被测压力	Δ	膨胀系数
ΔP	压力差	ϕ	直径
δ_p	压力损失	α	各种系数(膨胀、流量、电阻温度)
Q	体积流量、热量、品质因素	α_c	修正值
R	半径、电阻、气体常数	$\Delta\alpha$	角位移
Re, Re_D	雷诺数	β	各种系数、直径比
R_L	负载电阻	γ	相对误差、重度、中心角
R_t	热电阻	$\Delta\gamma$	中心角变化量
R_w	电位器	δ	引用误差、厚度
S	灵敏度、面积	$\Delta\delta$	位移
T	真值、晶体管、场效应管、温度、周期	ϵ	线应变、介电常数、膨胀系数
T_c	临界绝对温度	η	动力粘度
		θ	角度

κ 几何参数、绝热指数
 μ 泊松系数、介质吸收系数、平均体膨胀系数
 ν 运动粘度
 π 圆周率
 ρ 电阻率、密度
 ρ_d 干气体密度
 ρ_w 湿气体密度
 σ 标准误差

τ 剪应力、极限误差、延迟时间
 φ 相对湿度
 ω 对比状态下的膨胀系数、角频率
 max 最大
 min 最小
 com 常用
 SJT 石英晶体

二、单 位

A, mA, μ A 安(培)、毫安、微安
 V, mV, μ V 伏(特)、毫伏、微伏
 Ω , K Ω , M Ω 欧(姆)、千欧、兆欧
 F, μ F, pF 法(拉)、微法、皮法
 db 分贝
 Hz 赫(兹)
 W, mW 瓦(特)、毫瓦
 T 特斯拉(韦伯/米²)
 N 牛顿
 dyn 达因
 Pa 帕斯卡
 bar 巴
 atm 物理大气压
 kgf/cm² 工程大气压

mmH₂O 毫米水柱
 mmHg 毫米汞柱
 h, min, s, ms, μ m 时、分、秒、毫秒、微秒
 Torr 托
 lbf/in 磅力/英寸²
 $\mu\epsilon$ 微应变
 °C 摄氏度
 °F 华氏度
 K 凯氏度
 rad 弧度
 r/min 转数
 m 米
 mm 毫米

目 录

绪论	1
一、测量的基本知识	1
二、测量误差的基本知识	3
三、测量仪表的基本知识	4
思考题与习题	8

第一篇 压力测量

概述	10
一、压力测量的意义	10
二、压力的基本概念	10
三、压力测量单位	10
四、大气压力、表压力、绝对压力、负压力	12
五、压力量值的传递	12
六、压力测量的一般方法和压力测量仪表的分类	13
第一章 液柱式压力测量仪表	15
第一节 U形管液柱压力计	15
第二节 单管液柱压力计	16
第三节 斜管微压计	17
思考题与习题	17
第二章 弹性式压力测量仪表	19
第一节 膜式压力计	20
第二节 波纹管式压力计	21
第三节 弹簧管式压力计	21
一、弹簧管的测压原理	21
二、弹簧管压力表	22
三、多圈弹簧管压力计	23
四、具有特殊用途的压力表	24
第四节 弹性式压力计的使用与维修	25
一、弹性式压力计的使用	25
二、弹性式压力计的维修	25
思考题与习题	26
第三章 电测型压力计	27
第一节 霍尔式远传压力表	27
一、霍尔效应与霍尔元件	27

二、霍尔式压力传感器的结构和工作原理.....	28
三、霍尔式压力传感器的使用.....	29
第二节 应变式远传压力表.....	29
一、应变效应与应变片.....	29
二、应变片的测压原理.....	30
三、应变式压力传感器.....	31
第三节 电感式远传压力表.....	32
一、电感式传感器的基本原理.....	32
二、BYM型电感式压力传感器.....	33
第四节 电容式压力测量仪表.....	34
一、电容式压力测量仪表的基本工作原理.....	34
二、差动电容式差压变送器.....	35
第五节 振弦式压力测量仪表.....	38
一、基本原理.....	38
二、振弦式差压变送器.....	38
思考题与习题.....	39
第四章 压力表的选择、校验与安装.....	40
第一节 压力表的选择.....	40
一、仪表量程的确定.....	40
二、仪表精度的确定.....	40
三、仪表种类和型号的选择.....	40
第二节 压力表的校验.....	41
一、常用的压力校验仪器.....	41
二、压力表的校验.....	42
三、用活塞压力计校验弹簧管压力表.....	42
第三节 压力表的安装.....	42
一、测压点的选择.....	43
二、导压管的敷设.....	43
三、压力表的安装.....	43
思考题与习题.....	44

第二篇 物位测量

概述.....	46
一、物位测量的意义.....	46
二、物位测量的概念.....	46
三、物位测量的特点.....	46
四、物位测量的方法和物位测量仪表的分类.....	47
第一章 直读式液位计.....	48
第一节 玻璃管液位计.....	48

第二节 玻璃板液位计	48
一、透光式玻璃板液位计	48
二、折光式玻璃板液位计	49
第三节 玻璃液位计的使用	49
第二章 浮力式液位计	50
第一节 恒浮力式液位计	50
一、带有钢丝绳（或钢带）的浮子式液位计	50
二、杠杆带浮子式液位计	51
三、依靠浮子电磁性能传递信号的液位计	52
第二节 变浮力式液位计	52
一、浮筒式液位计的检测部分——浮筒	52
二、BYD-III型电动液位变送器	55
三、浮筒式液位计的校验	55
思考题与习题	57
第三章 静压式液位计	58
第一节 压力式液位计	58
一、利用压力表测量液位	58
二、吹气式液位计	59
第二节 差压式液位计	59
思考题与习题	61
第四章 其他物位测量仪表	62
第一节 电极式水位计	62
第二节 电容式液位计	62
一、电容传感器的测量原理	63
二、电容量的检测	64
第三节 核辐射式物位计	68
一、核辐射式物位计的基本原理	68
二、FGL-3型 γ 射线料位计简介	69
思考题与习题	70

第三篇 流量测量

概述	71
一、流量测量的意义	71
二、流量测量的概念	71
三、流量测量的单位及流量标准的传递	72
四、流量测量的方法和流量测量仪表的分类	72
第一章 差压式流量计	74
第一节 差压式流量计的测量原理	74
一、节流装置及节流原理	74

二、流量基本方程式	75
三、节流装置的种类和取压方式	79
第二节 标准节流装置	81
一、标准节流件	81
二、标准取压装置及其应用范围	84
三、测量管	87
四、标准节流装置的管道和使用条件	88
五、标准节流装置的压力损失 δ_p 与节流装置的选择	89
第三节 实用流量公式及其有关系数的确定方法	91
一、实用流量公式	91
二、实用流量公式中有关系数的确定方法	92
三、材质的热膨胀系数	96
第四节 被测流体的物理参数的确定方法	96
一、流体的密度	96
二、具有可压缩性流体的压缩系数	98
三、可压缩流体的等熵指数	100
四、被测流体的粘度 η 或 ν	100
第五节 标准节流装置流量测量误差	103
一、流量系数 α_0 和 α 的基本相对误差 $\frac{\sigma_\alpha}{\alpha}$	104
二、流束膨胀系数 ϵ 的基本相对误差 $\frac{\sigma_\epsilon}{\epsilon}$	105
三、管道内径的基本相对误差 $\frac{\sigma_D}{D}$	105
四、节流件开孔直径的基本相对误差 $\frac{\sigma_d}{d}$	105
五、差压值的基本相对误差 $\frac{\sigma_{\Delta P}}{\Delta P}$	105
六、被测流体密度的基本相对误差 $\frac{\sigma_{\rho_1}}{\rho_1}$	106
第六节 标准节流装置的计算	107
一、第一类命题的计算	107
二、第二类命题的计算	108
第七节 特殊节流装置	123
一、低雷诺数情况下的流量测量	123
二、脏污介质的流量测量	124
第八节 双波纹管差压计	125
一、测量部分的结构及其工作原理	125
二、显示部分的结构及其工作原理	126

三、CW系列双波纹管差压计的应用和调校	127
第九节 差压式流量计的安装	128
一、标准节流装置的安装	128
二、差压信号管路的安装	129
三、差压计的安装	133
第十节 差压式流量计使用中的测量误差	134
一、被测流体工作状态的变动	134
二、节流装置安装不正确	134
三、孔板入口边缘的磨损	134
四、节流装置内表面的结垢和流通截面面积的变化	134
思考题与习题	135
第二章 转子流量计	136
第一节 转子流量计的工作原理	136
一、工作原理	136
二、流量方程式	136
第二节 转子流量计的类型与结构	138
一、玻璃管转子流量计的结构	138
二、电远传转子流量计	140
三、气远传转子流量计	141
第三节 转子流量计的使用	143
一、流量指示值的修正	143
二、转子流量计量程的更改	144
三、转子流量计的安装与使用	145
思考题与习题	145
第三章 涡轮流量计	146
第一节 涡轮流量计的工作原理	146
第二节 涡轮流量变送器	146
一、涡轮流量变送器的结构	147
二、涡轮流量变送器的工作原理	147
第三节 涡轮流量计的显示仪表	149
一、总量积算	149
二、瞬时流量指示	150
第四节 涡轮流量计的安装与使用	151
一、涡轮流量计的安装	151
二、使用涡轮流量计的注意事项	151
思考题与习题	151
第四章 电磁流量计	152
第一节 基本原理和变送器的结构	152
一、电磁流量计的基本原理	152

二、变送器的结构	153
第二节 电磁流量转换器的构成原理	155
一、变送器输出信号的特点及对转换器的要求	155
二、转换器的构成原理	156
第三节 电磁流量计的特点与应用	158
一、电磁流量计的特点	158
二、电磁流量计的使用	159
思考题与习题	159
第五章 椭圆齿轮流量计	160
第一节 椭圆齿轮流量计的测量原理	160
第二节 椭圆齿轮流量计的显示原理	161
一、就地显示	161
二、远传显示	161
第三节 椭圆齿轮流量计的特点和使用	162
思考题与习题	162
第六章 其他流量测量仪表	163
第一节 靶式流量计	163
一、靶式流量计的基本工作原理	163
二、流量方程式	164
三、靶式流量计的管道条件和压力损失	165
四、靶式流量计的使用、校验和安装	166
第二节 应用流体振荡原理测量流量	167
一、卡曼涡街流量计	167
二、旋进式漩涡流量计	169
第三节 超声波流量计	170
一、超声波流量计的测量原理	170
二、超声波流量计的工作原理	171
思考题与习题	172
第七章 流量测量仪表的校验和标定	173
思考题与习题	174

第四篇 温度测量

概述	175
一、温度及温度测量	175
二、温标	175
三、温度测量仪表的分类	177
四、温度量值传递	178
第一章 膨胀式温度计	180
第一节 玻璃管液体温度计	180

第二节 双金属温度计	181
思考题与习题	182
第二章 压力式温度计	183
第一节 液体压力式温度计	183
第二节 气体压力式温度计	183
第三节 蒸气压力式温度计	184
第四节 压力式温度计的误差分析	184
一、感温部分浸入深度的影响	184
二、环境温度的影响	184
三、液柱高度的影响	185
思考题与习题	185
第三章 热电偶温度计	186
第一节 热电偶测温的基本原理	186
一、热电偶工作原理	186
二、热电偶的基本定律	188
第二节 热电偶的种类及结构型式	190
一、热电极的选择	190
二、标准化热电偶	191
三、非标准化热电偶	192
四、热电偶的结构型式	194
第三节 热电偶冷端的温度补偿	197
一、补偿导线法	197
二、冷端温度校正法	197
三、冰浴法	198
四、补偿电桥法	199
第四节 热电偶的焊接、校验与故障处理	200
一、热电偶的焊接	200
二、热电偶的校验	201
三、热电偶的故障处理	203
第五节 热电偶测温误差分析	203
一、热交换的误差	203
二、热电偶材料不均匀性引起的误差	204
三、分度误差	205
四、补偿导线误差	205
五、冷端温度引起的误差	205
六、动态误差	205
七、绝缘不良引起的误差	205
思考题与习题	206
第四章 热电阻温度计	208

第一节 热电阻材料与结构	208
一、金属导体测温电阻	208
二、半导体热敏电阻	212
第二节 热电阻的校验与故障处理	214
一、热电阻的校验	214
二、热电阻的故障处理	215
第三节 热电阻测温误差分析	216
思考题与习题	216
第五章 接触式温度计的安装	217
第一节 感温元件在管道(设备)上的安装	217
一、感温元件的安装应确保测量的准确性	217
二、感温元件的安装应确保安全、可靠	218
三、感温元件的安装应便于仪表工作人员的维修、校验	220
第二节 电线、电缆与补偿导线的安装	220
一、布线的基本要求	220
二、敷设方式	220
思考题与习题	221

第五篇 显示仪表

概述	222
第一章 动圈式显示仪表	223
第一节 测量机构的工作原理	223
第二节 测量机构的组成	224
一、动圈系统	225
二、支承系统	225
三、磁路系统	225
四、动圈测量机构的串、并联电路	226
五、动圈测量机构的温度补偿	227
第三节 动圈仪表的误差分析	228
一、基本误差分析	228
二、附加误差分析	228
第四节 测量线路	228
一、动圈式指示仪表配接热电偶的测量线路(XCZ—101型)	228
二、动圈式指示仪表配接热电阻的测量线路(XCZ—102型)	232
三、动圈式指示仪表配接毫伏、毫安信号的测量线路	235
第五节 动圈式显示仪表的校验和故障处理	236
一、XCZ—101型动圈指示仪表的校验	236
二、XCZ—102型动圈指示仪表的校验	238
三、动圈指示仪表的故障处理	239

思考题与习题	240
第二章 电子自动平衡式显示仪表	242
第一节 电子电位差计的工作原理与测量电路中的桥路计算	242
一、电子电位差计的工作原理	242
二、配用热电偶的电子电位差计测量电路中所用桥路的分析和计算	244
三、输入为直流毫伏、毫安信号的电子电位差计式的测量电路	251
第二节 电子平衡电桥的工作原理与测量桥路计算	252
一、电子平衡电桥的工作原理	252
二、配用热电阻的电子平衡电桥测量桥路的分析和计算	253
第三节 仪表中的稳压电源	262
一、稳压电源的技术要求	262
二、稳压电源的测试和常见故障的处理	262
第四节 晶体管放大器	264
一、对自动平衡式显示仪表用放大器的基本要求	264
二、JF-12型晶体管放大器的工作原理	266
三、JF-12型放大器主要技术指标的检查测试和故障处理	279
第五节 自动平衡式显示仪表的机械传动机构	284
一、平衡机构	284
二、走纸机构	284
第六节 自动平衡式显示仪表整机介绍	285
一、XWC、XQC型自动平衡式显示仪表	286
二、XWF、XQF型自动平衡式显示仪表	290
三、XWD型电子电位差计	293
第七节 自动平衡式显示仪表的干扰与抗干扰措施	294
一、干扰的来源	295
二、抗干扰的措施	298
第八节 自动平衡式显示仪表的调校与故障处理	303
一、自动平衡式显示仪表的调校	303
二、自动平衡式显示仪表的故障处理	306
思考题与习题	309
第三章 力矩电机式显示仪表	311
第一节 测量电路	311
第二节 放大器	312
一、集成电路放大器	312
二、相敏放大器	315
三、供电电路	316
第三节 力矩电机	317
第四节 越限报警电路	317
第五节 整机工作原理	319

思考题与习题	321
第四章 数字式显示仪表	322
第一节 数字式显示仪表的原理及组成	322
一、数字式显示仪表的分类	322
二、数字式显示仪表的原理和组成	322
第二节 模-数转换	324
一、双积分型	324
二、逐次比较电压反馈编码型	326
第三节 非线性补偿及标度变换	329
一、非线性补偿	329
二、标度变换	332
第四节 采样电路	334
一、采样切换开关	334
二、采样控制电路	336
第五节 数字仪表的主要技术指标	336
一、显示位数	336
二、分辨率	336
三、准确度	336
第六节 数字式显示仪表实例	337
一、基本工作原理	337
二、前置放大电路	340
三、单积分 $V-t$ 转换系统工作原理	341
四、数字电路工作过程	343
五、报警电路	345
思考题与习题	345
参考文献	345
附录 I 流量测量常用公式及图表	347
I-1 流量测量常用公式	347
I-2 流量测量常用数据表	350
I-3 流量测量常用数据计算图	382
附录 II 常用热电偶、热电阻分度表	390
II-1 常用热电偶分度表	390
II-2 常用热电阻分度表	401
附录 III 动圈仪表与自动平衡式显示仪表的型号命名	408
III-1 动圈仪表型号命名	408
III-2 电子自动平衡显示仪表命名	408

绪 论

化学工业是一生产方法各异，产品种类繁多的工业。其主要特点是，在大多数生产过程中，各物料常以液体或气体的状态，连续地在密闭的容器和设备中，在高压、真空、高温、深度冷冻等不同的条件下，进行各种形式的物理变化或化学变化；此外，不少介质还具有有毒、易燃、易爆、有腐蚀、有刺激性臭味的性质。因此，要使具有这类特点的化工生产过程安全、正常、高效地进行，就必须借助于仪表和自动化技术来对生产过程进行自动检测和自动调节，使各项工艺控制指标维持在某一最佳范围之内。

在化工生产过程中，常常要对过程的压力、温度，物料的物位，流体的流量，物质的性质、成分等被测量进行测量和调节。而化工测量就是依据不同的测量原理，借助各种化工测量仪表来自动地、连续地检测上述各被测量的变化情况，并将测量结果自动地指示或记录下来，以便于操作者根据各被测量的变化情况进行更好的生产操作。因此，人们常说化工测量是化工生产的“眼睛”。

现就有关测量、误差、测量仪表的一些基本知识简介如下。

一、测量的基本知识

测量技术是研究测量原理、测量方法和测量工具的一门科学。它是人类认识事物本质所不可缺少的技术手段。所以在人类的一切活动领域中都离不开测量。

1. 测量的定义

所谓测量，就是通过专门的技术工具，用试验和计算的方法，把要求的被测量与其测量单位（它应该是国际上或国家公认的）进行比较，求出二者的比值，从而得到被测量的量值。被测量的量值等于参与比较的测量单位乘以上述比值。设被测量为 X ，其测量单位为 V ，用实验的方法求得二者的比值为 g ，则被测量的量值为：

$$X \approx gV \quad (0-0-1)$$

此式称为测量的基本方程式。

在式(0-0-1)中，考虑到 gV 是由实验得到的结果，故只能认为它近似地等于被测量 X 。另外，常常将实现上述比较的装置称为测量仪表。

由上可知，当进行测量时，首先要确定测量单位，其次要选用适当的测量方法和测量仪表，最后还应估计实验结果的误差。

值得注意的是：对给定的被测量 X 而言， g 的大小随所采用的单位而定。为了正确反映测量结果，应在测量结果 g 的后面标明测量单位。

2. 测量过程

仔细分析天平称重的过程可知：它可分为调零（即首先检查天平是否平衡）、对比（把重物 and 砝码分别放到天平两侧称盘中）、示差（观察重物和砝码谁重谁轻及指针偏向）、平衡（调整砝码直到与重物平衡）、读数（平衡后读出或算出重物的重量）这样几个动作。因此，整个测量过程可归纳为对比、示差、平衡和读数四个动作。它们将贯穿于一切测量过程中。