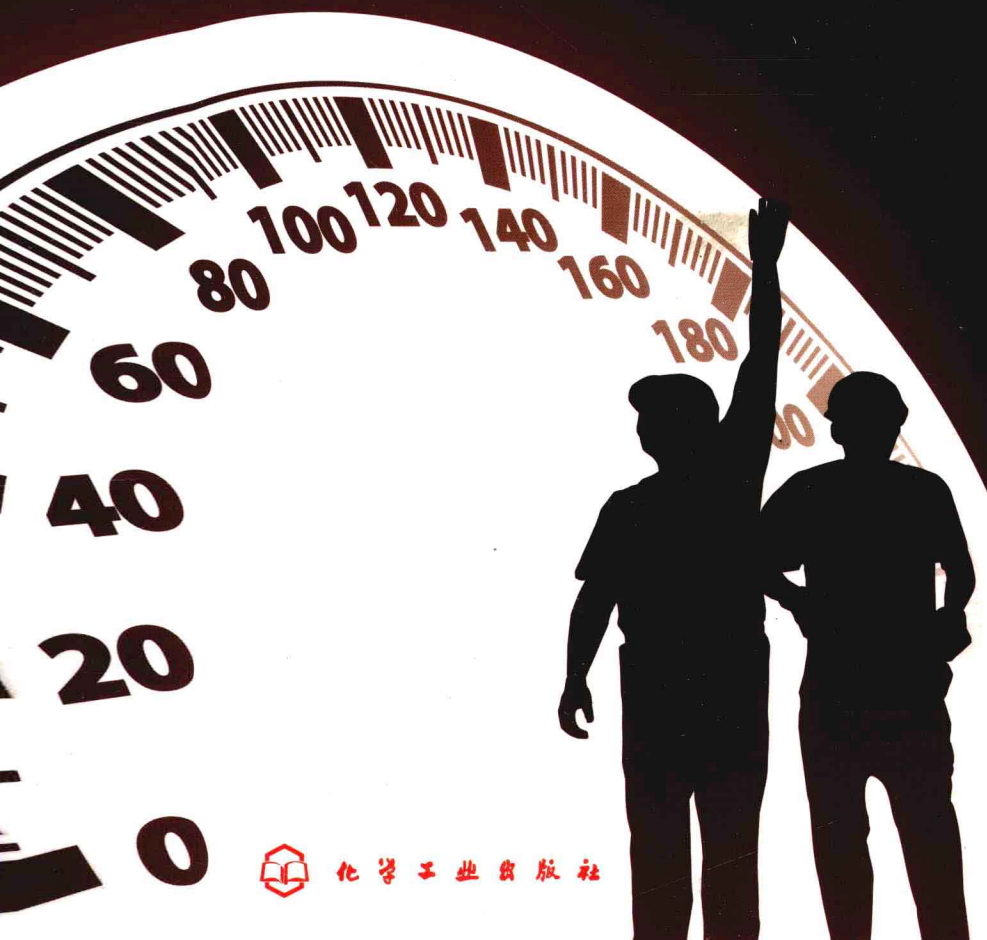


YIBIAO GONG

仪表工

周明昌 主编



化学工业出版社

YIBIAO GONG

仪表工

周明昌 主编



化学工业出版社

· 北 京 ·

本书针对化工、石油化工企业对仪表工的技术、知识在培训和考核方面的要求,介绍了误差理论与数据处理知识、化工仪表性能与计算、测量与检测仪表、自动化控制系统知识、在线分析仪表、仪表防护与维修等内容。

本书内容围绕生产实际,适用面广,实用性强,可供企业仪表自动化技术工人培训、学习使用,也可供相关技术人员、管理人员参考。

图书在版编目 (CIP) 数据

仪表工/周明昌主编. —北京:化学工业出版社,
2011.8

ISBN 978-7-122-11460-0

I. 仪… II. 周… III. 工业仪表 IV. TH7

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2011) 第 104976 号

责任编辑:李玉晖

文字编辑:咎景岩

责任校对:边涛

装帧设计:尹琳琳

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 装:大厂聚鑫印刷有限责任公司

850mm×1168mm 1/32 印张11 字数292千字

2011年10月北京第1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:25.00 元

版权所有 违者必究



随着近代超大规模集成电路的普及和微处理器及其外围芯片的迅速发展,电子仪器仪表的应用趋于数字化、智能化。仪表工在企业里属于“智能”型工种,没有智能化的技术水平,就不能胜任仪表工作。掌握相关的技术理论和操作技能,对新参加工作的仪表工尤其重要。本书从仪表工入门的目的出发,全面地介绍了新标准、新技术、新方法在企业生产中的应用。

本书知识面较宽,让仪表工由浅入深地了解和掌握误差理论与数据处理知识、化工仪表性能与计算、测量与检测仪表、自动化控制系统知识、在线分析仪表、仪表防护与维修等内容。

本书第1章由张兴伟编,第2章由张国城编,第3章由刘敬威编,第4章由黄红岩编,第5章、第6章由朱惠新编;全书由周明昌统稿。在此对本书的全体老作者,参考文献的作者及对该书编写过程给予热情帮助的所有同志,表示诚挚的感谢!

限于作者知识面和水平,书中可能存在不妥之处,欢迎读者批评指正。

编者

2011年5月

第 1 章 误差理论与数据处理知识	1
1.1 误差的概念与分类	2
1.1.1 误差的概念	2
1.1.2 测量误差的分类	6
1.2 测量误差、测量系统误差和测量随机误差及粗大误差	7
1.2.1 测量误差	7
1.2.2 系统误差	8
1.2.3 随机误差	8
1.2.4 测量误差、测量系统误差和测量随机误差的关系	10
1.2.5 粗大误差	11
1.3 测量不确定度与测量准确度	14
1.4 绝对误差、相对误差和引用误差	14
1.4.1 绝对误差	14
1.4.2 相对误差	15
1.4.3 引用误差	17
1.4.4 绝对误差、相对误差、引用误差之间的换算	19
1.5 误差的合成	20
1.5.1 误合成的概念	20
1.5.2 误差合成的方法	20
1.5.3 微小误差准则的概念	20
1.6 有效数字的基本概念和近似数的修约原则	23
1.6.1 有效数字的基本概念	23
1.6.2 近似数的修约原则	23

1.7 数据有效数字位数的确定	24
1.7.1 误差有效数字位数的确定原则	24
1.7.2 测量数据有效数字位数的确定方法	25
1.8 数据处理程序	26
1.8.1 确定检测方法	26
1.8.2 根据规定确定测量数据读取有效数字的位数	26
1.8.3 按规定读取测量数据, 填写测量记录	26
1.8.4 按记录的测量数据进行各类误差的计算	26
1.9 测量结果的处理方法	28
1.9.1 微小误差准则	28
1.9.2 微小误差准则的应用	28
1.9.3 测量结果是否合格的判断方法	28
思考题	29

第 2 章 化工仪表性能与计算 30

2.1 仪表常用基本概念与术语	31
2.1.1 有关量、值的术语	31
2.1.2 有关信号的术语	32
2.1.3 相关范围的术语	32
2.1.4 有关校准、控制的术语	33
2.1.5 有关试验的术语	34
2.1.6 相关条件的术语	35
2.1.7 有关误差、性能的术语	36
2.2 仪表误差、性能分类	38
2.2.1 精确度限的组成:	38
2.2.2 与精确度有关的误差	39
2.2.3 与影响量有关的误差	40
2.2.4 误差的表示方式	41
2.3 与准确度有关的误差、性能的计算	41
2.3.1 基本误差、回差的定义与计算	41

2.3.2	与报警有关的误差的定义与计算	42
2.3.3	静差的定义与计算	44
2.4	环境误差的计算	45
2.4.1	示值变化计算	45
2.4.2	输出变化计算	46
2.4.3	输出下限值变化的计算	46
2.4.4	输出量程变化的计算	46
2.4.5	残余误差的计算	46
2.5	安全技术特性的概念与计算	46
2.5.1	安全技术特性的依据标准与特性的分类	46
2.5.2	绝缘电阻的相关概念	47
2.5.3	绝缘强度的相关概念	48
2.6	防爆安全性能基本知识	49
2.6.1	防爆安全性能与依据标准	49
2.6.2	防爆安全性能基本概念	49
2.6.3	本质安全仪表和安全栅的防爆参数认证	51
2.7	稳定特性的概念与计算	52
2.7.1	稳定特性的性能概念与分类	52
2.7.2	偏移的计算	53
2.8	流量检测性能的概念与计算	53
2.8.1	节流件基本概念	53
2.8.2	节流装置总不确定度的计算（按概率为 95% 进行计算）	56
思考题		57

第 3 章 测量与检测仪表 58

3.1	检测仪表	59
3.1.1	典型检测仪表与控制系统及系统结构分析	59
3.1.2	自动化仪表的分类	61
3.1.3	检测技术及传感器	63

3.2 压力检测仪表	67
3.2.1 压力检测的基本知识	67
3.2.2 弹簧管压力表	72
3.2.3 弹簧管压力表的使用知识	72
3.3 智能变送器	75
3.3.1 智能变送器的概念	75
3.3.2 智能变送器的特点	77
3.3.3 全数字式智能变送器的特点	78
3.3.4 现场总线的特点	78
3.3.5 智能变送器通信原理	79
3.3.6 智能变送器结构原理	81
3.4 物位检测仪表	88
3.4.1 物位检测的基本概念与分类	88
3.4.2 差压式液位计	90
3.4.3 浮力式液位计	93
3.4.4 电容式物位计的工作原理	97
3.4.5 超声波物位检测仪表的工作原理	98
3.5 流量检测仪表	98
3.5.1 流量检测的基本概念	98
3.5.2 各种流量检测元件及流量仪表的选用	101
3.5.3 差压式流量计检测原理	102
3.5.4 电磁流量计测量原理	106
3.6 温度检测仪表	107
3.6.1 温标基本概念	107
3.6.2 温度仪表的分类及性能比较	108
3.6.3 热电偶温度计	109
3.6.4 热电阻温度计	115
3.6.5 膨胀式温度计	117
3.6.6 温度变送器	119
3.7 显示仪表	122

3.7.1	常规显示仪表	122
3.7.2	数字式显示仪表原理	125
3.7.3	智能数字式显示控制仪	129
3.7.4	无纸记录仪	131
3.8	控制仪表	134
3.8.1	基本控制规律	134
3.8.2	电动控制器	149
3.8.3	可编程控制器	152
3.8.4	执行器	154
3.9	安全防爆仪表	161
3.9.1	安全防爆知识	161
3.9.2	安全防爆仪表的种类	163
3.9.3	安全防爆仪表的防爆原理	163
3.9.4	隔离式安全栅（安全保持器）	164
3.9.5	齐纳式安全栅	169
3.9.6	安全栅防爆参数的测试	173
3.9.7	安全栅安装注意事项	174
3.10	FF-现场总线的本质安全防爆知识	175
3.10.1	危险场所中 FF 设备的本质安全防护	175
3.10.2	FF-现场总线本安防爆的参数认证	176
3.10.3	FF-现场总线本安防爆参数认证应用	177
3.10.4	FF-总线隔离栅和总线本安中继器的应用	178
	思考题	180

第 4 章 自动化控制系统知识

4.1	自动化及仪表基础知识	183
4.1.1	自动化概述	183
4.1.2	自动化系统的分类	184
4.1.3	自动检测系统概述	185
4.1.4	自动信号连锁保护系统概述	185
4.2	自动控制系统概述	186

4.2.1	自动控制系统的组成	186
4.2.2	自动控制系统的分类	188
4.3	控制系统过渡过程分析	189
4.3.1	控制系统的过渡过程	189
4.3.2	控制系统的品质指标 (以定值系统为例)	190
4.3.3	影响控制指标的主要因素	194
4.4	控制对象特性	194
4.4.1	控制对象特性的概念	194
4.4.2	控制对象特性的三个参数	195
4.4.3	通道特性对控制质量的影响	198
4.5	简单控制系统	199
4.5.1	简单控制系统基本知识	199
4.5.2	控制系统的投运与操作	206
4.5.3	控制器的参数整定	210
4.6	复杂控制系统知识	214
4.6.1	基本概念	214
4.6.2	串级控制系统	215
4.6.3	均匀控制系统	221
4.6.4	比值控制系统	224
4.6.5	前馈控制系统	228
4.6.6	分成控制系统	231
4.6.7	多冲量控制系统	234
4.7	计算机控制系统	235
4.7.1	计算机控制系统概述	235
4.7.2	集散控制系统 (DCS)	239
4.7.3	现场总线控制系统 (FCS)	245
	思考题	249

第5章 在线分析仪表

5.1	仪器分析方法的分类	251
5.2	在线分析仪表基本概念	252

5.3 常用在线分析仪的分析、测量原理	254
5.3.1 热导式气体分析仪	254
5.3.2 工业电导仪	256
5.3.3 氧分析仪	261
5.3.4 红外线气体分析仪	264
5.3.5 工业气相色谱仪	267
思考题	271
第 6 章 仪表防护与维修	272
6.1 仪表防爆知识	273
6.1.1 仪表防爆基本原理	273
6.1.2 爆炸性物质和危险场所的划分	273
6.1.3 防爆标志	274
6.1.4 防爆措施	275
6.2 仪表防腐蚀知识	276
6.2.1 防腐蚀概念	276
6.2.2 防腐蚀措施	277
6.3 仪表防冻和防热知识	278
6.3.1 保温对象	278
6.3.2 保温方式	279
6.4 仪表防尘和防震知识	282
6.4.1 仪表防尘	282
6.4.2 仪表防震	283
6.5 仪表维修工作内容	284
6.5.1 仪表维护工作	284
6.5.2 仪表检修工作	285
6.6 仪表维修知识	286
6.6.1 工业检测仪表常用的标准器及误差表示方法	286
6.6.2 仪表工的识图基础知识	300
6.6.3 仪表故障判定方法与实例	320
思考题	335
参考文献	336



第 1 章

误差理论与数据处理知识



1.1

误差的概念与分类

1.1.1 误差的概念

1.1.1.1 研究误差的意义

(1) 误差的必然性 某一个量依赖于另外若干个量的情况，在自然界中相当普遍，数学上称这个量是另外若干量的函数。要研究这个函数究竟是何种类型，需要用数学物理或数理统计等方法进行分析，而分析的基础和必要手段是科学实验或测量，依靠测得的准确数据来旁证和进一步发掘新的问题。

科学是从测量开始的，对自然界所发生的量变现象的研究，常常需要借助于各式各样的实验与测量来完成。由于被测量的数值形式常是不可通约的（不能以有限位数表示），又由于认识能力的不足和科学水平的限制，实验中测得的值和它的客观情况并不一致，这种矛盾在数值上的表现即为误差。随着科学水平的提高和人们的经验、技巧、专门知识的丰富，误差可以被控制得愈来愈小，但是不可能使误差降低为零。

例如，有一位顾客到市场去买苹果，卖苹果的人用“木杆盘秤”很随便地一称，1000g，高高的，从卖苹果的人的动作、语言 and 使用的木杆盘秤等方面分析，显然，这个数值是不会准的，即它受着误差的影响。

为了得到更准些的结果，他到市场管理所的公平“电子秤”一称，980g。这个数值比原来的值更准，也证实原来的值确实受着误差的影响，但是980g这个数值也受误差的影响，因为“电子秤”本身也有误差。如果用“天平”去称，为979.4g，就得到比较准确的值。因此，当需要更准确的值时，就会碰到一个重要的问题：在不同位置测量，苹果的质量不一样，即使在同一位置上，测量的值也是变化的，因为在测量过程中，温度、湿度在变化，薄薄的灰

尘也有影响。

这个实例证实误差产生的必然性，也为一切从事科学实验的人们所公认，由此得到误差公理。

误差公理：测量结果都具有误差，误差自始至终存在于一切科学实验和测量的过程之中。

在日常生活中，通常并不苛求误差小到什么程度，但总需要知道误差大体多少。

(2) 研究误差的重要性 例如一个科学工作者在考查他所设计的电子智能变送器的准确度时，需要测量变送器的输出电压 V 的测量误差，而他的助手或协作者为他测得了这个电压 V 的测量值为 $3.005V$ ，并向他作了报告。如果他是一位有经验的科学工作者，他必然不敢立即使用这个测量结果，他需要弄清有多少误差，倘若知道误差是 0.12% ，他会继续弄清一连串的问题：

0.12% 是测量误差还是系统误差，还是随机误差，还是引用误差，还是相对误差，还是其他什么误差，自由度多少，置信水平怎样，等等。所有的问题一一弄清楚了以后，他就会思考，误差能否满足他的设计需要。若能满足设计需要，他就使用这个测量结果，并对误差带来的影响做出论证和估计。若满足不了设计需要，则要进一步弄清：使用何种装置进行测量的，用何种方法，在什么条件下，哪些人去测得的，等等。问题分析清楚后，再进一步找出影响结果不准确的主要因素，采取更换仪器、改变测量方法以致人和环境的各种措施，重新测量，并获得更准确的数据，直到满足他的需要为止。

综上所述，一个没有标明误差的测量结果，几乎是没有实用价值的。尽管误差通常比测量结果要小很多，也可能在计算上很难，但对测量结果的实际应用非常重要。

1.1.1.2 误差的定义

(1) 广义的误差定义 某量值的误差为该量的给出值（包括测量结果、测得值、实验值、标称值、示值、预置值、计算近似值等要研究的量值和给出的非真值）与该量客观的真值之差。其表达



式为：

$$\text{误差} = \text{给出值} - \text{真值} \quad (1-1)$$

这就是广义的误差定义。误差与给出值具有同量纲（即同单位），故该误差又称之为绝对误差，如果用语言描述式（1-1），则可以说：

一个量值的给出值的绝对误差等于该量值的给出值与其真值之差。其表达式为：

$$\text{绝对误差} = \text{给出值} - \text{真值} \quad (1-2)$$

误差是正还是负，表征了给出值偏离其真值的方向。

（2）由于给出值的不同而产生不同的误差定义

① 测量误差。如果定义中的给出值是用测量方式获得的被测量的测量结果，则得到测量误差的定义：

$$\text{测量误差} = \text{测量结果} - \text{真值}$$

② 示值误差。如果给出值是指测量仪器的示值，则得到测量仪器的示值误差的定义：

$$\text{示值误差} = \text{示值} - \text{真值}$$

③ 标称误差。如果给出值是指测量仪器的标称值，则得到测量仪器的标称误差的定义：

$$\text{标称误差} = \text{标称值} - \text{真值}$$

④ 刻度误差。如果给出值是指测量仪器的刻度值，则得到测量仪器的刻度误差的定义：

$$\text{刻度误差} = \text{刻度值} - \text{真值}$$

⑤ 预置值误差。如果给出值是指测量仪器的预置值，则得到测量仪器的预置值误差的定义：

$$\text{预置值误差} = \text{预置值} - \text{真值}$$

⑥ 测得值误差。如果给出值是指测量仪器的测得值，则得到测量仪器的测得值误差的定义：

$$\text{测得值误差} = \text{测得值} - \text{真值}$$

⑦ 实验误差。如果定义中的给出值是用实验方式获得的被测量的实验值，则得到实验误差的定义：

实验误差 = 实验值 - 真值

⑧ 计算近似值误差。如果给出值是计算的近似值，则得到计算近似值误差的定义：

计算近似值误差 = 计算近似值 - 真值

(3) 真值 真值是在某一时刻和某一位置或状态下，某量的效应体现出的客观值或实际值。一般说来，真值是未知的，因此误差也就未知。一些情况下认为真值是可以知道的，有如下几种。

① 理论真值

- a. 平面三角形三内角之和恒为 180° 。
- b. 同一量值自身之差为零而自身之比为 1。
- c. 理想电容和电感上，其电压与电流的相位差为 90° 。
- d. 理论设计值和理论公式表达值等等。

② 计量学约定真值

a. 长度单位：米是光在真空中在 $1/299792458\text{s}$ 的时间间隔内行程的长度。

b. 质量单位：保存在法国巴黎国际计量局的铂-铱合金圆柱体（国际千克原器）的质量是 1kg 。

c. 时间单位：铯-133 原子处于特定的状态（原子基态的两个超精细能级之间的跃迁）时，辐射出 9192631770 个周期的电磁波。它所持续的时间为 1s 。

d. 电流强度单位：在真空中两根长而细的平行导线，其间相距 1m ，由于一恒定的电流通过，因而产生磁场。如果在两导线之间产生的力在每米长度的导线上为 $2 \times 10^{-7}\text{N}$ ，其电流即为 1A 。

e. 热力学温度单位：水三相点热力学温度的 $1/273.16$ 为 1K 。 0K 的温度称热力学零度，它等于 -273.15°C ， 1K 温度的间隔等于 1°C 的间隔。

f. 发光强度单位：一个频率为 $540 \times 10^{12}\text{Hz}$ 的单色辐射光源，如果在给定方向上的辐射强度为 $1/633\text{W/sr}$ 时，则光源在该方向上的发光强度为 1cd 。

g. 物质的量单位：摩 [尔] 是一系统的物质的量，该系统内



所包含的基本单元数与 0.012kg 碳-12 的原子数目相等时为 1mol 。基本单元可以是原子、分子、离子、电子及其他粒子，或是这些粒子的特定组合。

③ 约定真值定义 对于给定目的具有适当不确定度的、赋予特定量的值，有时该值是约定采用的。

a. 约定真值有时称为指定值、最佳估计值、约定值或参考值。

b. 常常用某量的多次测量结果来确定约定真值。

④ 标准器相对真值定义 高一级标准器的误差与低一级标准器或普通测量仪器的误差相比，其比值为 $1/5$ 时，则可以认为前者是后者的相对真值。

1.1.2 测量误差的分类

(1) 按误差的性质分

① 系统误差

a. 已知（恒定）系统误差。

b. 未知（变化）系统误差（B类标准不确定度）。

② 随机误差（A类标准不确定度）

③ 粗大误差

a. 视觉误差。

b. 估读误差。

c. 观测误差。

d. 读数误差。

(2) 按误差的表示方式分

① 绝对误差

② 相对误差

a. 实际相对误差。

b. 测量（或标称或额定）相对误差。

③ 引用误差（是相对误差的特定值）

④ 分贝误差（是相对误差的另一种表示方式）

⑤ 实验标准偏差