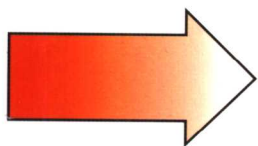


“十一五”上海重点图书

材料科学与工程专业
应用型本科系列教材



材料工程测试技术

主 编 陈景华 副主编 张长森 邓育新

ATERIAL



华东理工大学出版社

EAST CHINA UNIVERSITY OF SCIENCE AND TECHNOLOGY PRESS

“十一五”上海重点图书

材料科学与工程专业应用型本科系列教材

材料工程测试技术

主 编 陈景华

副主编 张长森 邓育新

 华东理工大学出版社

图书在版编目(CIP)数据

材料工程测试技术/陈景华主编. —上海:华东理工大学出版社,2006.10
(材料科学与工程专业应用型本科系列教材)
ISBN 7-5628-1995-5

I. 材... II. 陈... III. 工程材料-测试-高等学校-教材
IV. TB302

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2006)第 112745 号

“十一五”上海重点图书

材料科学与工程专业应用型本科系列教材

材料工程测试技术

.....

主 编 / 陈景华

副 主 编 / 张长森 邓育新

责任编辑 / 胡 景

封面设计 / 王晓迪

责任校对 / 张 波

出版发行 / 华东理工大学出版社

地 址:上海市梅陇路 130 号,200237

电 话:(021)64250306(营销部)

传 真:(021)64252707

网 址:www.hdlgpress.com.cn

印 刷 / 江苏通州市印刷总厂有限公司

开 本 / 787mm×1092mm 1/16

印 张 / 14.75

字 数 / 358 千字

版 次 / 2006 年 10 月第 1 版

印 次 / 2006 年 10 月第 1 次

印 数 / 1—4050 册

书 号 / ISBN 7-5628-1995-5/TB·9

定 价 / 22.00 元

(本书如有印装质量问题,请到出版社营销部调换)

前 言

材料工程测试技术涉及材料生产过程两个环节的测试技术,即粉体工程测试技术与热工过程测试技术。

粉体工程是材料生产的基础性过程,它影响产品的产量和质量、能量消耗、生产过程的效率和对周围环境的污染。因此测试粉体制备过程相关设备(系统)的工作参数和效率,测试粉体的各种性能,对测试结果进行分析、找出问题所在,对改进设备结构、调整操作参数、优化过程管理、提高过程效率具有十分重要的意义。

物料高温煅烧(熔制)过程是材料生产的核心过程,煅烧(熔制)设备被称之为生产过程的“心脏”,也是材料制备过程最大的耗能设备。窑炉的结构是否合理、热工制度是否合适、操作控制过程自动化程度都直接影响生产的质量、产量和能耗。因此对热工过程涉及的燃料,烟气的组成、性质,窑炉的温度、压力等工作参数及传热过程等进行测试是对热工设备热平衡计算的基础,而热工设备热平衡测试和计算又是改进窑炉结构和操作过程、提高热效率的必要性手段。

为了加强对专业知识的应用和综合,掌握必要的工程测试技术,提高工程实践动手能力,推进材料生产过程的技术进步,我们在多年理论教学和实践教学积累经验的基础上,参考了相关的资料,编写本教材。本书是为材料科学工程专业应用型本科编写的教材,由于侧重于应用性,因此,本教材也可作为相关工程技术人员的参考用书。

本书由陈景华主编。具体编写分工是:第1~6章由张长森编写;第7、8、10、11章由陈景华编写,第9、12章由邓育新编写。在部分章节编写过程中,得到了徐风广、李玉华、阎晓波等人的帮助,非常感谢。

在编写过程中,本书参考了大量的资料文献,在此向这些文献的作者们表示衷心感谢。

在出版过程中,得到了盐城工学院领导的大力支持,在此表示衷心感谢。

由于工程测试技术涉及面广,加之编者经历和水平有限,书中编写错误或不当之处,请读者和专家批评指正。

编 者

2006年6月

内 容 提 要

本书主要介绍材料生产过程两个环节的测试技术,即粉体工程测试技术与热工过程测试技术。

对于粉体工程测试技术,主要测试粉体的各种性能,对测试结果进行分析,找出问题所在,对改进设备结构、调整操作参数、优化过程管理、提高过程效率等具有十分重要的意义;热工测试主要是对热工过程设计的燃料,烟气的组成、性质,窑炉的温度、压力等操作参数及传热过程等进行测试,这是改进窑炉结构和操作过程、提高热效率的必要性手段。

本书是为应用型本科材料工程专业编写的教材,也可作为相关工程技术人员参考用书。

目 录

1 误差与数据处理基础知识	1
1.1 测量的基本概念	1
1.1.1 测量	1
1.1.2 测量结果	1
1.1.3 测量方法	1
1.2 测量误差的基本概念	2
1.2.1 误差的定义	2
1.2.2 误差的类型	3
1.2.3 误差的表示方法	3
1.2.4 测量误差的来源	4
1.3 有效数的修约与运算	5
1.3.1 近似值	5
1.3.2 修约规则	5
1.3.3 近似数的运算	6
1.4 实验数据的处理	7
1.4.1 列表法	7
1.4.2 作图法	7
思考题	8
2 粉体粒度测试技术	9
2.1 粒径的定义	9
2.1.1 颗粒粒径	9
2.1.2 平均粒径	10
2.2 颗粒的形状	11
2.2.1 颗粒的形状	11
2.2.2 形状系数	12
2.3 显微镜法	13
2.3.1 原理	13
2.3.2 粒径测量	14
2.3.3 光学显微镜测量粒径步骤	15
2.4 筛分法	16
2.4.1 原理	16

2.4.2 标准筛	16
2.4.3 仪器设备	17
2.4.4 筛分析操作步骤	18
2.4.5 数据处理及分析	18
2.5 光透沉降法	20
2.5.1 原理	20
2.5.2 仪器设备	22
2.5.3 准备工作	22
2.5.4 操作步骤	23
2.6 激光法	26
2.6.1 原理	26
2.6.2 仪器设备	27
2.6.3 操作步骤	27
2.6.4 误差来源与诊断	30
思考题	31
3 比表面积测试技术	32
3.1 透气法	32
3.1.1 基本原理	32
3.1.2 测试方法	34
3.1.3 仪器设备	34
3.1.4 操作步骤	35
3.1.5 测试结果处理	36
3.2 气体吸附法	38
3.2.1 基本原理	38
3.2.2 吸附方法	41
3.2.3 连续流动色谱仪	42
3.2.4 测试步骤	42
3.2.5 结果分析	43
思考题	43
4 粉体堆积和流动性能测试技术	45
4.1 粉体密度测定	45
4.1.1 测量原理	45
4.1.2 测试方法	46
4.1.3 结果分析	48
4.2 粉体流动性能测定	48
4.2.1 流动性指数测定	49
4.2.2 粉体摩擦角的测定	51

思考题	56
5 粉磨测试技术	57
5.1 Bond 球磨功指数的测定	57
5.1.1 基本原理	57
5.1.2 仪器设备	57
5.1.3 测试步骤	58
5.1.4 结果与分析	60
5.2 粉磨速度测定	62
5.2.1 基本原理	62
5.2.2 仪器设备	63
5.2.3 测定步骤	63
5.2.4 数据处理	64
思考题	64
6 除尘系统测试技术	66
6.1 流量测定	66
6.1.1 通过测定气体压力计算流量	66
6.1.2 根据管道弯头处的压差测定流量	67
6.1.3 在管道入口测流量	68
6.1.4 局部气流的流量测量	69
6.2 气体含尘量的测定	71
6.2.1 测量仪器及设备	71
6.2.2 测量方案及计算	73
6.3 旋风除尘器性能的测定	75
6.3.1 设备装置	75
6.3.2 步骤与操作	75
6.3.3 处理与分析	76
思考题	77
7 燃料测试技术	78
7.1 煤的组成、种类及性质	78
7.1.1 煤的组成	78
7.1.2 煤的种类	79
7.1.3 煤的性质	79
7.2 煤的工业分析组成的测试	81
7.2.1 煤的工业分析法原理	81
7.2.2 测试仪器设备	82
7.2.3 测试步骤	82

7.2.4 数据整理及分析	82
7.3 煤的发热量的测试	83
7.3.1 氧弹法测煤的发热量的原理	83
7.3.2 测试装置	85
7.3.3 测试步骤	86
7.3.4 测试结果及数据处理	87
7.4 煤中硫含量的测定	88
7.4.1 燃烧-碘量法测定硫含量的原理	88
7.4.2 HT-4A 型微机定硫分析仪测试原理	89
7.4.3 主要仪器设备	89
7.4.4 试剂及其配制方法	90
7.4.5 分析步骤	91
7.4.6 测试结果及计算	91
7.5 油黏度的测定	92
7.5.1 重油的黏度	92
7.5.2 重油黏度测试基本原理	93
7.5.3 测试装置	93
7.5.4 标准时间的测定	93
7.5.5 测试步骤	94
7.5.6 测试数据及处理	94
7.6 重油发热量的测试	94
思考题	95
8 烟气成分测试技术	96
8.1 化学分析法	96
8.2 热导式分析法	97
8.3 红外线分析法	98
8.3.1 测试原理	98
8.3.2 仪器的工作原理	99
8.4 二氧化锆分析法	100
8.4.1 测试原理	100
8.4.2 仪器的工作原理	100
8.5 热磁式分析法	101
8.6 奥氏气体分析器测试烟气组成	102
8.6.1 测试装置	102
8.6.2 测试步骤	103
8.6.3 测试数据及处理	104
思考题	105

9 温度测试技术	106
9.1 温度测试基础	106
9.1.1 温度及测温基本原理	106
9.1.2 温度测量方法	106
9.1.3 温度计的分类	107
9.2 热电偶测温技术	108
9.2.1 热电偶测温原理	108
9.2.2 冷端补偿常用的方法	108
9.2.3 用热电偶测试炉内气体温度	109
9.3 流动气体的温度测试	110
9.3.1 测温原理	110
9.3.2 测量误差及误差校正	111
9.3.3 热电偶的安装和使用注意事项	114
9.3.4 流动气体温度测试	114
9.4 固体表面温度的测试	115
9.4.1 固体表面测温仪表	116
9.4.2 红外测温仪测物体表面温度	117
9.5 高温火焰温度的测试	121
9.5.1 火焰亮度与亮度温度	121
9.5.2 光学高温计的测试原理	121
9.5.3 测试设备	123
9.5.4 测试步骤	123
9.5.5 测试数据及处理	123
9.6 物料温度的测试	124
9.6.1 玻璃液温度的测量	124
9.6.2 水泥窑内物料温度的测量	125
9.6.3 隧道窑内物料温度的测量	127
思考题	130
10 压力测试技术	131
10.1 压力的基本概念	131
10.1.1 压力的表示方法	131
10.1.2 常用压力单位	131
10.2 常用测压仪表及测试原理	132
10.2.1 液柱式压力计	132
10.2.2 弹性式压力计	135
10.2.3 气压计	136
10.3 气流压力的测试	136
10.3.1 测试原理	136

10.3.2 测试装置	137
10.3.3 测试步骤	138
10.3.4 测试数据及处理	138
思考题	139
11 传热过程测试技术	140
11.1 热流量测试技术	140
11.2 导热系数测试技术	141
11.2.1 导热系数	141
11.2.2 圆球法测试散状物料的导热系数	141
11.2.3 平板导热系数的测定	144
11.3 对流换热系数测试技术	146
11.3.1 对流换热及对流换热系数	146
11.3.2 对流换热系数的求解方法	147
11.3.3 自然对流换热系数的测定	147
11.3.4 强制对流平均换热系数的测定	150
11.4 物体表面辐射率测试技术	153
11.4.1 热辐射及辐射率测试方法	153
11.4.2 固体中温法向辐射辐射率的测定	154
思考题	158
12 硅酸盐工业窑炉热平衡测量	159
12.1 硅酸盐工业窑炉热平衡测量的目的和意义	159
12.2 硅酸盐工业窑炉热平衡测量的要求	159
12.3 硅酸盐窑炉热平衡测量的主要内容	160
12.3.1 有关流体参数的测定	160
12.3.2 有关物料和燃料参数的测量	160
12.3.3 其他参数的测定	160
12.3.4 计算及分析	160
12.4 硅酸盐工业窑炉热平衡测量的步骤	161
12.4.1 选择热平衡的对象	161
12.4.2 明确热平衡体系	161
12.4.3 进行热平衡测试	161
12.4.4 数据整理	161
12.4.5 计算各项技术经济指标	162
12.4.6 综合指标	162
12.5 热平衡测量的组织	162
12.5.1 热工测量的计划	162
12.5.2 热工测量的准备工作	163

12.5.3 热工测量数据的汇总工作	164
12.5.4 热工计算的程序	164
12.5.5 热工测量报告的内容	164
12.6 硅酸盐工业窑炉热平衡测量方案	164
12.6.1 煤油(气)玻璃池窑热平衡测量方案	164
12.6.2 陶瓷工业隧道窑热平衡测量方案	168
12.6.3 水泥回转窑热平衡测量方案	173
思考题	177
附录	178
附录 1 实验报告的格式和要求	178
附录 2 法定计量单位制的单位	179
附录 3 常用计量单位换算表	181
附录 4 水的密度和黏度	184
附录 5 常用热电偶分度表	184
附录 6 标准化热电偶技术数据及常用补偿导线	210
附录 7 常见气体的物理参数	211
附录 8 液体燃料的物理参数	213
附录 9 固体材料的物理参数	214
附录 10 某些材料的辐射率	218
参考文献	220

1 误差与数据处理基础知识

科学技术的发展与实验测量密切相关。在进行实验测量时,由于测量资源的不完善,测量环境的影响,加之测量人员的认识能力等因素的限制,测量误差自始至终存在于一切科学实验和测量活动中。而测量数据是否准确、数据处理方法是否科学,直接影响科学实验的结果。因此,有必要对测量误差与数据处理方法进行研究。

1.1 测量的基本概念

1.1.1 测量

测量被定义为以确定量值为目的的一组操作,该操作可以通过手动的或自动的方式进行。从计量学的角度讲,测量就是利用实验手段,把待测量与已知的同类量进行直接或间接的比较,以已知量为计量单位,求得比值的过程。

1.1.2 测量结果

由测量所得的赋予被测量的值叫做测量结果。显然,测量结果由比值和测量单位两部分组成,故测量结果多具有单位。如 $L(\text{长度}) = 100 \text{ mm}$ 。但也有某些物理量不含单位,如相对密度。

1.1.3 测量方法

在测量活动中,为满足各种被测对象的不同测量要求,依据不同的测量条件有着不同的测量方法。测量方法是实施测量中所使用的、按类别叙述的一组操作逻辑次序。常见的测量分类方法有以下几种。

1. 直接测量和间接测量

直接测量是指被测量与该标准量直接进行比较的测量。它是指该被测量的测量结果可以直接由测量仪器输出得到,而不再经过量值的变换与计算。例如,用游标卡尺测量小尺寸轴工件的直径、用天平称量物质的质量、用温度计测量物体的温度等。

间接测量是指直接测量值与被测量值有函数关系的量,通过函数关系或者通过图形的计算方能求得被测量值的测量方法。例如,用模拟万用表测量电功率,是先根据万用表指示的电压(电流)和电阻值,再通过功率与电压(电流)和电阻值的数学关系式计算得出被测功率。

2. 静态测量和动态测量

静态测量是指在测量过程中被测量可以认为是固定不变的,因此,不需要考虑时间因素对测量的影响。在日常测量中,大多接触的是静态测量。对于这种测量,被测量和测量误差可以当作一种随机变量来处理。

动态测量是指被测量在测量期间随时间(或其他影响量)发生变化。如弹道轨迹的测量、环境噪声的测量等。对这类被测量的测量,需要当作一种随机过程的问题来处理。

材料的某些性质可以用动态法测量,也可以用静态法测量。例如,材料弹性模量的测定方法就有动态法和静态法两种,其性质的定义和测量数值是不同的,因此,在材料测量方法的选择和性质的解释中应当注意。

3. 等权测量和不等权测量

等权测量是指在测量过程中,测量仪器、测量方法、测量条件和操作人员都保持不变。因此,对同一被测量进行的多次测量结果可认为具有相同的信赖程度,应按同等原则对待。

不等权测量是指测量过程中测量仪器、测量方法、测量条件或操作人员中某一因素或某几个因素发生变化,使得测量结果的信赖程度不同。对不等权测量的数据应按不等权原则进行处理。

4. 工程测量和精密测量

工程测量是指对测量误差要求不高的测量。用于这种测量的设备或仪器的灵敏度和准确度比较低,对测量环境没有严格要求。因此,对测量结果只需给出测量值。

精密测量是指对测量误差要求比较高的测量。用于这种测量的设备和仪器应具有一定的灵敏度和准确度,其示值误差的大小一般需经计量检定或校准。在相同条件下对同一个被测量进行多次测量,其测得的数据一般不会完全一致。因此,对于这种测量往往需要基于测量误差的理论和方法,合理地估计其测量结果,包括最佳估计值及其分散性大小。有的场合,还需要根据约定的规范对测量仪器在额定工作条件和工作范围内的准确度指标是否合格作出合理判定。精密测量一般是在符合一定测量条件的实验室内进行,其测量的环境和其他条件均要比工程测量严格,所以又称为实验室测量。

1.2 测量误差的基本概念

1.2.1 误差的定义

误差是指测得值与被测量真值之差。可用下式表示:

$$\text{测量误差} = \text{测得值} - \text{真值} \quad (1.1)$$

真值是指一个特定的物理量在一定条件下所具有的客观量值,又称为理论值或定义值。显然,该特定量的真值一般是不能确定的,但在实际应用时,在统计学上,当测量的次数 n 非常大时(趋于无穷大),测得值的算术平均值(数学期望)才接近于真值。故常以测量次数足够大时的测得值的算术平均值,近似代替真值;实用中还常用量值精度足够高的实物近似值代替真值,这些都称之为约定真值。

计量学中的约定真值是指对于给定目的具有适当不确定度的、赋予特定量的值。例如,由国家建立的实物标准(或基准)所指定的千克原器质量的约定真值为 1 kg,其复现的不确定度为 0.008 mg,当今保存在国际计量局的铂铱合金千克原器的最小不确定度为 0.004 mg。

1.2.2 误差的类型

按其性质和特点,误差可以分为系统误差、随机误差和粗大误差。

1. 随机误差

随机误差又称为偶然误差,定义为测得值与在重复性条件下对同一被测量进行无限多次测量所得结果的平均值之差。其特征是在相同测量条件下,多次测量同一量值时,绝对值和符号以不可预定的方式变化。

随机误差产生于实验条件的偶然性微小变化,如温度波动、噪声干扰、电磁场微变、电源电压的随机起伏、地面震动等。由于这些因素互不相关和每个因素出现与否,以及这些因素所造成的误差大小,人们都难以预料和控制,所以,随机误差的大小和方向均随机不定,不可预见,不可修正。虽然一次测量的随机误差没有规律,不可预见,也不能用实验的方法加以消除,但是,经过大量的重复测量可以发现,它是遵循某种统计规律的。因此,可以用概率统计的方法处理含有随机误差的数据,对随机误差的总体大小及分布做出估计,并采取适当措施减小随机误差对测量结果的影响。

2. 系统误差

系统误差定义为在重复性条件下,对同一被测量进行无限多次测量所得结果的平均值与被测量的真值之差。其特征是在相同条件下,多次测量同一量值时,该误差的绝对值和符号保持不变,或者在条件改变时,按某一确定规律变化。例如,用天平计量物体质量时,砝码的质量偏差属于系统误差。

在实际估计测量器具示值的系统误差时,常常用适当次数的重复测量的算术平均值减去约定真值来表示,又称其为测量器具的偏移或偏倚。

由于系统误差具有一定的规律性,因此可以根据其产生原因,采取一定的技术措施,设法消除或减小。

3. 粗大误差

粗大误差又称为疏忽误差、过失误差或简称粗差,是指明显超出统计规律预期值的误差。其产生原因主要是某些偶然突发性的异常出现或疏忽所致,如测量方法不当或错误,测量操作疏忽和失误(未按规程操作、读错读数或单位、记录或计算错误等),测量条件的突然变化(电源电压突然增高或降低、雷电干扰、机械冲击和震动)等。由于该误差很大,明显歪曲了测量结果,故应按照一定的准则进行判别,将含有粗大误差的测量数据(称为坏值或异常值)予以剔除。

1.2.3 误差的表示方法

误差可用绝对误差和相对误差两种基本方式来表示。

1. 绝对误差

绝对误差就是某量值的测得值与真值(或约定真值)之差。一般所说的误差,就是绝对误差,其表达式为:

$$\Delta x = x - x_0 \quad (1.2)$$

式中 Δx ——绝对误差;

x ——测得值;

x_0 ——被测量的真值,常用约定真值代替。

绝对误差的特点:绝对误差是一个具有确定的大小、符号及单位的量值。绝对误差不能完全说明测量的准确度。

2. 相对误差

相对误差是绝对误差 Δx 与被测量真值 x_0 的比值,即

$$r = \Delta x / x_0 \quad (1.3)$$

在实际中,由于难以得到真值,故常用约定真值代替。为估计相对误差方便起见,当约定真值也难以得到时,也可以近似用测量值 x 来代替 x_0 。

相对误差的特点:相对误差具有大小和符号,其量纲为 1,一般用百分数来表示。相对误差常用来衡量测量的相对准确程度。

1.2.4 测量误差的来源

测量误差的来源是多方面的,主要可归纳为以下几种。

1. 标准器具的误差

作为在测量中提供标准量的标准器具,它们本身所体现的量值,不可避免地含有一定的误差(一般误差值相对较小)。

2. 测量装置的误差

测量装置误差包括计量器具的原理误差、制造装调误差,被测件在测量仪器上安置时的定位误差,附件误差,以及接触测量中测量力与测量力变化引起的误差等。

3. 方法误差

由于测量方法的不完善所引起的误差。如采用近似的计算方法,用钢卷尺测出大尺寸轴的圆周长 S ,然后由公式 $d = S/\pi$,计算出轴的直径 d 所引起的误差等。

4. 测量者的误差

由于测量者的固有习惯、分辨能力的限制、工作疲劳引起的视觉器官生理变化、精神因素引起的一时疏忽等原因所引起的误差,如瞄准误差与读数误差。

5. 客观环境引起的误差

由于各种环境因素与规定的标准状态不一致而引起标准量器、测量装置和被测件本身的变化所造成的误差。这些环境因素有:温度、湿度、气压、振动、照明、电磁场等,其中温度尤为重要。

1.3 有效数的修约与运算

1.3.1 近似值

在实验过程中,物理量大多由观测所确定,任何测量的准确度都是有限的,即测得值是一代表真值的近似值。我们只能以一定的近似值来表示测量结果。因此,测量结果数值计算的准确度就不应该超过测量的准确度,如果任意地将近似值保留过多的位数,反而会歪曲测量结果的真实性。在测量和数字运算中,确定该用几位数字来代表测量值或计算结果,是一件重要的事情。测量某被测量得到的近似值往往是实验结果的根据,是实际工作的基础。

在运用近似算法进行计算时,所得结果亦为近似值,通常在保证能达到所要求的近似程度的前提下,应使计算工作合理简化,即一方面应避免盲目追求不切实际、没有必要的精确计算;另一方面又要保证达到要求的精确程度。

有效数字和有效位数

任何测量仪器都有一定的读数分辨率。在读数分辨率以下,测量量的数值是不确定的。它通常是仪器标尺的最小分度或它的十分之一。多取数据的位数,并不能减小测量误差,相反,会使计算复杂,并造成误解。因此,测量数据的位数,应与其测量误差相适应。例如用分度值为 0.01 mm 的外径千分尺测一圆柱体的外径,测得尺寸为 74.986 mm,这里 0.01 mm 就是分辨率的最小单位,最后一位“6”是估读的,只保留一位估读的数字。

一个数据,从第一个非“0”的数字开始,到(包括)最后一位唯一不准确的数字为止,都是有效数字,有效数字的位数,叫做有效位数。如上面的 74.98 是准确数字,0.006 是不准确数字,74.986 都是有效位数。一个近似数有 n 个有效数字,也叫这个近似数有 n 个数位。

小数点的位置不影响有效数字的位数,1.23、0.123、0.012 3 三个数都是三位有效数字。

在判断有效数字时,要特别注意“0”这个数字,它可以是有效数字,也可以不是有效数字。如 0.002 86 的前面 3 个“0”均不是有效数字,因为这 3 个“0”与 0.002 86 的精确度无关,只与测量单位有关。然而 280.00 的后面 3 个“0”,均为有效数字,因为这 3 个“0”与 280.00 的精确度有关。对待近似数时,不可像对待准确数那样,随便去掉小数点部分右边的“0”,或在小数点部分右边加上“0”。因为这样做的结果,虽不会改变这个数的大小,却改变了它的精确度。

有效数字的科学表示法 工程上对近似数右边带有若干个“0”的数字,常写成“ $a \times 10^n$ ”形式($1 \leq a < 10$),这时有有效位数由 a 确定。如 4.60×10^3 和 4.6×10^3 分别表示为有 3 位和 2 位有效数字,两者的精度是不同的。

1.3.2 修约规则

有效位数后面的数字,即多余的位数,应按数据修约的国家标准(GB 8107—87)的规定,作修约处理。有效数字位数确定之后,其余数字一律舍去。简单地说就是按“四舍六入