

# 實驗室常用儀器及 基本實驗技術

趙鳳章 主編



白求恩醫科



# 实验室常用仪器及基本实验技术

白求恩医科大学

1979.7.1

# 前 言

医学是一门实践性很强的科学。随着医学科学事业的飞速发展，实验科学占有的地位也日益重要起来。当前，它已成为基础医学深入发展时必不可少的重要途径和手段之一。为了进一步提高医学实验技术，促进医学院校的教学、医疗、科研工作的不断进展，我部承校教务处暨附设卫生学校的委托，以实验技术人员为主，编写了一套《基础医学实验技术》，共分六册：

1. 实验室常用仪器及基本实验技术……………赵凤章 主编
2. 解剖标本制作技术……………王景德 主编
3. 组织学实验技术……………陈佛痴 主编
4. 病理标本制作技术……………于洪藻 李成库 主编
5. 微生物学免疫学及寄生虫学实验技术……………毕无邪 陈敏生 主编
6. 生理、药理常用实验技术……………陈 羽 钟国干 主编

插图绘制：郑宇 陈国兴 常晓峰 孙平 陈平

全书内容从实践出发，既考虑到常用、正规，也编入了我们自己的经验和体会。因时间仓促、水平所限，错误与不足之处在所难免，诚望批评指正。

编写过程中曾蒙各有关学科的老师热心帮助和各级领导的支持关怀，特此深表谢意。

愿本书能为实验技术的交流、实验队伍的茁壮成长及四个现代化的早日实现，贡献出棉薄之力。

白求恩医科大学

基础医学部

1979 . 7 . 1

# 《实验室常用仪器及基本实验技术》

## 目 录

<b>第一章 误差和有效数字的基本概念</b> ..... (高德奎 白秀起)	1
第一节 绝对真误差与相对真误差.....	1
第二节 允许误差和最大相对误差.....	2
第三节 误差产生原因及减小误差的方法.....	4
第四节 有效数字的应用原则.....	6
<b>第二章 基本计量电表</b> ..... (高德奎)	9
第一节 磁电式电表的结构原理.....	9
(一) 普通磁电式表头的结构原理.....	9
(二) 磁电式检流计.....	12
(三) 冲击式检流计.....	15
(四) 检流计的使用和保管.....	18
第二节 基本电参数测量.....	19
(一) 直流电流的测量.....	19
(二) 直流电压的测量.....	21
(三) 直流电阻的测量.....	21
(四) 交流电压的测量.....	23
(五) 交流电流的测量.....	24
(六) 音频功率及电平的测量.....	25
(七) 电感和电容的测量.....	25
(八) 电表内阻对测量结果的影响.....	27
第三节 万用电表.....	27
一、电路介绍.....	27
二、使用方法和注意事项.....	31
第四节 直流电桥和电位计.....	32
一、直流电桥.....	32
二、半导体温度计.....	34
三、电位计.....	34
第五节 电子管伏特计.....	36
(一) GB—9型电子管伏特计.....	38
(二) GB—1型电子管繁用表.....	39
(三) 电子管伏特计的应用和注意事项.....	41
第六节 DF—1型晶体管繁用表介绍.....	42

(一) 直流放大器	44
(二) 测量变换器	44
<b>第三章 电冰箱</b> (白秀起)	46
一、封闭式电冰箱的构造	46
二、电冰箱的工作原理	47
三、电冰箱的使用方法	48
四、电冰箱简单、常见故障与检修方法	50
五、低温冰箱	51
六、常用的几种国产电冰箱	52
<b>第四章 离心机</b> (白秀起)	53
一、手摇式离心机	53
二、电动式离心机	53
三、电动离心机常见的故障与检修方法	54
四、几种普通常用的离心机	56
<b>第五章 显微镜</b> (张淑坤)	57
第一节 构造	57
第二节 显微镜工作原理	60
第三节 显微镜的分辨能力	61
<b>第六章 细胞激光显微仪</b> (数理激光组)	66
<b>第七章 示波器及超声波诊断仪</b> (辛志林)	70
第一节 示波器	70
(一) 示波器的结构	70
(二) 示波器的使用	73
第二节 超声波诊断仪	77
一、超声波及其性质	77
二、超声波诊断仪的结构原理	78
三、超声波诊断仪的使用方法	79
<b>第八章 常用仪器电路分析</b> (张淑坤 赵凤章)	81
第一节 电热类仪器及恒温自控装置	82
1. 电炉线路分析	82
2. 烘箱水浴类的恒温自控电路	83
3. 电子管与晶体管温控继电器	83
4. 高温炉的恒温自控电路	87
第二节 光电比色计与分光光度计	89
1. 581-G 型光电比色计线路分析	89
2. 72型分光光度计线路分析	91
3. 72-1 型分光光度计主线路分析	92
第三节 雷磁25型 pH 计电路分析	93

第四节	雷磁27型电导仪电路分析	94
1.	电导池的电源	94
2.	桥式测量线路	96
3.	电眼指示器	96
第五节	半导体致冷器的线路分析	97
1.	致冷电堆	97
2.	直流电源	97
(1)	可控硅桥式正流线路	98
(2)	阻容移相触发线路	98
(3)	致冷线路工作要点	99
3.	单结晶体管触发线路分析	99
(1)	单结管的特点	99
(2)	单结管振荡触发线路	99
(3)	线路工作要点	99
第六节	电泳仪电路分析	100
(1)	可控硅正流部分	100
(2)	直流电源部分	100
(3)	触发线路	100
第七节	直流电机调速电路分析	102
1.	YZJ型牙科钻直流电机调速电路分析	102
2.	amicon超滤装置蠕动泵调速电路分析	103
3.	YD系列牙钻电路分析	104
第八节	光电黑度计	105
第九节	多用自动控制器	108
第十节	电冰箱线路分析	111
<b>第九章</b>	<b>实验室的药品管理</b> (何玲)	113
一、	需密封紧盖的药物	113
二、	应避免见光的药物	114
三、	需要冷藏和保温的药物	115
四、	需要安全保管和使用的药物	115
五、	化学试剂的分级	116
<b>第十章</b>	<b>天平与称量</b> (何玲)	118
第一节	天平的简单原理	118
第二节	分析天平的结构	119
一、	摇摆式分析天平的结构	119
二、	双盘电光天平的结构	121
三、	单盘电光天平	121
第三节	分析天平必须具备的条件	122

一、灵敏性	123
二、稳定性	123
三、准确性	124
第四节 称量方法及注意事项	128
一、称量方法	128
二、注意事项	131
<b>第十一章 溶液的配制</b> (马兴元)	133
第一节 百分浓度	133
一、重量——重量百分浓度	133
二、体积——重量百分浓度	134
三、体积——体积百分浓度	134
第二节 比例浓度	136
一、比例浓度	136
二、ppm 浓度	136
第三节 克分子浓度	137
一、克分子量、克分子数	137
二、重量克分子浓度	137
三、体积克分子浓度	138
第四节 当量浓度	139
一、当量概念	139
二、克当量、毫克当量、克当量数、毫克当量数	141
三、当量浓度	142
四、当量浓度溶液的配制和计算	142
五、离子毫克当量浓度及其有关计算	144
六、氧化还原反应中的当量	147
<b>第十二章 化学实验基本技术</b> (马兴元 何玲)	150
第一节 高纯水的制备与检测 (白秀起)	150
第二节 几种器材的使用方法	155
(一) 上皿天平的使用	155
(二) 煤气灯的使用	155
(三) 乳钵的使用	156
(四) 量筒的使用	156
第三节 容量仪器的使用与校正	157
一、容量仪器的使用	157
二、容量仪器的校正	164
第四节 过滤与蒸发	167
第五节 蒸馏、分馏、水蒸气蒸馏	169
(一) 蒸 馏	169

(二) 分 馏	170
(三) 水蒸气蒸馏	172
第六节 液——液萃取	173
1. 原 理	173
2. 操 作	174
第七节 色谱分离	174
(一) 色谱分离的基本原理及其应用	174
(二) 纸色谱	175
(三) 薄层色谱	180
(四) 柱色谱	182
第十三章 比色分析及其仪器的应用 (张培因 张贵田)	184
第一节 基本原理——朗伯——比尔定律推导	184
第二节 比色分析仪器的基本结构	188
第三节 比色计使用方法	193
第四节 计算方法的选择及各种因素	195
第五节 分光光度计	201
第六节 原子吸收分光光度法简介	206
第十四章 火焰光度计 (张培因)	214
一、火焰光度计工作原理	214
二、火焰光谱与燃料温度	214
三、基本结构	215
四、试 剂	216
五、安装及注意事项	217
六、计算公式	218
七、使用方法	219
第十五章 pH 计的原理与用法 (马兴元)	220
一、pH 的原理与用法	220
二、雷磁25型 pH 计主要调节器图示	224
三、操作步骤	224
四、玻璃电极的使用与维护	226
第十六章 pH 值的计算与缓冲溶液 (孙国光)	227
第一节 氢离子浓度及 pH 值	227
一、水的电离和离子积	227
二、pH 值的意义	228
第二节 缓冲机理和 pH 值计算	231
一、同离子效应	231
二、缓冲溶液的组成及其作用机制	232
三、缓冲溶液的 pH 值	
——亨德森——哈塞尔巴赫方程	234



071	第三节 缓冲溶液的配制	236
571	一、缓冲溶液离子强度的计算	236
671	二、常用缓冲溶液的配制	237
8	<b>第十七章 电泳技术</b> (孙国光)	247
111	第一节 基本原理	247
171	一、蛋白质的带电性	247
271	二、电场强度和电流强度	249
371	三、质点颗粒本身和迁移率的关系	250
081	四、胶体质点颗粒的特性	250
581	五、缓冲溶液的离子强度	251
181	六、缓冲容量和pH值	251
481	七、电渗	252
88	第二节 几种常见电泳的具体方法	253
99	一、血清蛋白纸上电泳	253
291	二、血清蛋白醋酸纤维素薄膜电泳	254
102	三、血清蛋白琼脂凝胶电泳	256
302	四、交叉免疫电泳	257
412	五、聚丙烯酰胺凝胶电泳	258
8	<b>第十八章 等电点聚焦电泳技术</b> (王玉琛 赵凤章)	267
114	一、原理	267
212	1. 等电点与等电点	267
312	2. “人工pH梯度”与“天然pH梯度”	267
712	3. 载体两性电解质	268
812	4. 分辨力	268
012	二、操作方法	269
022	(一) 密度梯度法	269
032	(二) 凝胶法	274
422	(三) 区带对流法	277
8	<b>第十九章 放射自显影技术</b> (李章 赵凤章)	279
022	一、基本原理和方法	279
722	二、基本条件与要求	280
722	三、基本操作程序	281
722	四、应注意的问题	284
8	<b>第二十章 录音机的原理与使用</b> (赵凤章)	285
122	一、录音机的工作原理	285
122	1. 磁头	285
222	2. 录音原理	286
422	3. 抹音原理	286

4. 收音原理.....	286
二、盒式录音机的使用与维护.....	287
1. 盒式录音机常用功能键、选择开关、插孔等的用途.....	287
2. 磁    带.....	288
3. 使用录音机时注意事项.....	290
三、衰减线与消磁器的制作和使用.....	291
(一) 自制几种常用转录衰减线.....	291
(二) 消磁器的制作与使用.....	292
四、几种国产盒式录音机简介.....	293
第二十一章 电子计算器的使用方法..... (孟宪涛)	294
一、电子计算器的组成.....	294
二、按键的标注及功能.....	295
三、常用运算举例.....	297
四、正确操作方法与注意事项.....	303

# 第一章 误差和有效数字的基本概念

在任何实际的测量中，因为测量仪器的不准确，测量方法不完善，化学反应不太完全以及各种因素的影响，都会使测量结果失真，这种失真叫误差。即使我们使用最精确的仪器极精细地进行测量，所得结果也永远不一定是被测量的真实值，而只是它的近似值。有下述公理成立：

一切实验结果都具有误差，误差自始至终存在于所有科学实验中。

## 第一节 绝对真误差与相对真误差

### (一) 绝对真误差

绝对真误差简称真误差，它等于给出值与其真值之差，即

真误差 = 给出值 - 真值

$$\Delta X = X - X_0 \quad (1-1)$$

式中的给出值  $X$  是指：在检定仪器时它为被检刻度点的示值；在测量时它为测定值；在近似计算中它为近似值等等。式中  $X_0$  是在指定的时间空间内测定值的真实大小。

例 1 检定某电压表，其示值为 100 伏，实际值为 101.2 伏，则被检表在示值为 100 伏的真误差为

$$\Delta U = U - U_0 = 100 - 101.2 = -1.2 \text{ (伏)}$$

在一般测量中，往往并不需要绝对准确的真实值。在测得某物理量的测定值以后，可以分析出真误差的变化范围。例如用 25 毫升滴定管读取 20.24 毫升溶液时，其真实值必然是在 20.24 毫升  $\pm 0.02$  毫升之间，测量时的极限真误差为  $\pm 0.02$  毫升。

实际测量中常用到修正值（或称校正值）这一概念，它与真误差等数值、反符号，即

$$\zeta_x = -\Delta X = X_0 - X \quad (1-2)$$

如上例，电压表在示值为 100 伏处的修正值

$$\zeta_U = -\Delta U = -(-1.2) = 1.2 \text{ (伏)}$$

在高准确度的仪器中，常给出修正曲线或修正值。因此，当知道了给出值和相应的修正值  $\zeta_x$  以后，即可求出被测量的真值（实际值） $X_0$ 。

$$X_0 = X + \zeta_x \quad (1-3)$$

在例 1 中被检电表在示值 100 伏时，真值为

$$U_0 = U + \zeta_U = 100 + 1.2 = 101.2 \text{ (伏)}$$

综上所述可以看出真误差或修正值，其数值大小表明给出值偏离真值的程度；符号表示偏离的方向；单位表示被测量的量纲。

## (二) 相对真误差

真误差不能确切地反映测量的准确程度。例如，测量两个电阻， $R_1 = 10$ 欧， $\Delta R_1 = 0.1$ 欧， $R_2 = 10000$ 欧， $\Delta R_2 = 1$ 欧。虽然 $\Delta R_1 < \Delta R_2$ ，却不能说明测量 $R_1$ 比测量 $R_2$ 准确度高。不难看出，0.1欧相对于10欧来比为1%，而1欧相对于10000欧来比仅占0.01%，即测量 $R_2$ 反而比测量 $R_1$ 来得准。

相对误差等于真误差与真值之比，通常用百分数表示，即

$$\text{相对误差} = \frac{\text{真误差}}{\text{真值}} (100\%) \approx \frac{\text{真误差}}{\text{给出值}} (100\%)$$

$$\gamma = \frac{\Delta X}{X_0} (100\%) \approx \frac{\Delta X}{X} (100\%) \quad (1-4)$$

例 1：用25毫升滴定管测得溶液为20.24毫升求测量的相对误差最大可能为多少？

【解】因滴定管的最小刻度为0.1毫升，以下可以估计出0.02毫升的数值，即

$$\Delta X_m = 0.02$$

$$\text{则} \quad \gamma = \frac{\Delta X_m}{X} 100\% = \frac{0.02}{20.24} 100\% = 0.0988\%$$

例 2 一只0~10安的电表，指针指在5安培刻度处，若该刻度的实际值为5.02安培，则电表在该刻度的相对误差为

$$\gamma = \frac{I - I_0}{I_0} \times 100\% = \frac{5 - 5.02}{5.02} \times 100\% = -0.398\%$$

$$= \frac{I - I_0}{I} \times 100\% = \frac{5 - 5.02}{5} \times 100\% = -0.4\%$$

相对误差（或称误差率）通常用于衡量测量仪器的准确度，误差率越小，准确度越高；反之，误差率越大，准确度越低。

## 第二节 允许误差和最大相对误差

### (一) 允许误差

仪表是用来测量某一定范围（通常称为量限）内的被测量。当电表测量其给定量限内的不同大小被测量时，由于式（1-4）分母的改变其误差率也随着改变。因此，为了使计算和划分指示电表的准确度级别方便起见，通常选取电表的测量上限作为分母，即所谓允许误差。

允许误差（或称最大引用误差）可定义为仪表各示值的最大真误差与仪表测量上限之比，通常用百分数表示，即

$$\text{允许误差} = \frac{\text{最大真误差}}{\text{测量上限}} 100\%$$

$$\gamma_{nm} = \frac{\Delta X_m}{X_n} 100\% \quad (1-5)$$

允许误差是在国家规定的条件下确定的，它是用来判断仪器是否合格的主要依据。通常电表的准确度级  $a\%$  ( $a = \pm 0.1, \pm 0.2, \pm 0.5, \pm 1.0, \pm 1.5, \pm 2.5, \pm 5.0$ ) 就是用允许误差来标明的。电表刻度盘上标有 2.5 5.0 就是准确度级  $a$ 。允许误差和准确度级有下列关系：

$$\gamma_{nm} \leq a\% \quad (1-6)$$

例：检定某电压表其量程为  $0 \sim 250$  伏，若该表在示值为 100 伏处误差最大， $\Delta U = 3$  伏，试确定该表属于哪一级？

【解】根据式 (1-5) 可求出该表允许误差为

$$\gamma_{nm} = \frac{\Delta U_m}{U_n} 100\% = \frac{3}{250} 100\% = 1.2\%$$

因为  $1.0 < 1.2 < 1.5$ ，所以该表的准确度级为 1.5 级，即  $a = 1.5$ 。

### (二) 最大相对误差

允许误差是判断仪表精度高低，是否合格的依据。但在应用仪表进行测量时，所产生的测量误差可能超过仪表的级别。最大相对误差（亦称最大误差率）是最大真误差与测量值之比，即

$$\gamma_m = \Delta X_m / X \quad (1-7)$$

由公式 (1-5) 和 (1-6) 可推得：

$$\Delta X_m = a\% \cdot X_n \quad \text{代入式 (1-7) 得}$$

$$\gamma_m = \frac{\Delta X_m}{X} = a\% \cdot \frac{X_n}{X} \quad (1-8)$$

例 1：用量限为  $0 \sim 10$  毫安，准确度为 0.5 级的电流表，分别测量 10 毫安和 5 毫安的电流，求测得的最大误差率各为多少？

【解】由式 (1-8) 得

$$\text{测 } 10\text{mA 时} \quad \gamma_{m1} = a\% \cdot \frac{X_n}{X_1} = \pm 0.5\% \times \frac{10}{10} = \pm 0.5\%$$

$$\text{测 } 5\text{mA 时} \quad \gamma_{m2} = a\% \cdot \frac{X_n}{X_2} = \pm 0.5\% \times \frac{10}{5} = \pm 1.0\%$$

由此可知，当仪表的准确度级给定时，则所选仪表的测量上限愈接近被测量的值，测得的误差愈小。

例 2 某被测电压为 100 伏，用 0.5 级  $0 \sim 300$  伏和 1.0 级  $0 \sim 100$  伏两个电压表分别去测量此电压，求测量的最大误差率各为多少？

【解】用 0.5 级 0~300 伏电表测量时

$$\gamma_{m1} = a\% \frac{X_{n1}}{X} = \pm 0.5\% \frac{300}{100} = \pm 1.5\%$$

用 1.0 级 0~100 伏电表测量时，产生的最大误差率

$$\gamma_{m2} = a\% \frac{X_{n2}}{X} = \pm 1.0\% \times \frac{100}{100} = \pm 1.0\%$$

从例 2 可见，若量限选择得当，用 1.0 级仪表进行测量，反而比用 0.5 级仪表来得准确。

综上所述，在选用电表时，不可单纯追求准确度“越高越好”的错误倾向，应根据被测量的大小，兼顾仪表的级别和测量上限，合理的选择仪表。在用高准确度的仪表检定低准确度的仪表时，两种表的测量上限应选得尽可能相等。但是在使用万用电表的电阻挡时，应尽量选用标尺的中央部分，以减小测量误差。其根据可参见有关电阻测量部分的内容。

### 第三节 误差产生的原因及减小误差的方法

直接测量误差主要由下面三种原因产生

1. 测量方法本身的优劣；
2. 测量仪器的精度；
3. 测量者本人的习惯及熟练程度。

根据以上原因，可按误差的性质分为三类。

#### (一) 系统误差

在测量过程中误差是恒定的，或者是遵循一定规律而变化的称为系统误差。这种误差常产生于测量仪器本身不准确，测定方法的错误及外界原因。

例如电表的精度差；天平两臂不等长，砝码不准确；不准确的带刻度离心管、刻度吸量管、滴定管等等；所用化学试剂纯度不够，一批指示剂不准等，这些都会给测量带来规律性的误差。再如利用伏安法测电流电压，化学反应不完全或析出的沉淀物质又再溶解，这些会造成较大的误差。操作工艺不严格、操作者的某种习惯或轻度的感官不完善，也会造成规律性误差。比如仪器未调整零点就用于测量；粘附于吸量管的血液和试剂使加入或转移的剂量不准，洗涤不净，灰尘污染；环境温度，磁场，电源变化对仪器的影响等等。

系统误差的危险以未发现其存在为最甚，所以在测量之前必须预先研究误差的可能来源，采取措施消除或确定其大小。系统误差的种类很多，消除这类误差并没有固定的方法，一般可根据产生误差的原因找出防止对策，有时也可按其出现的性质采用适当的方法消除之。

(1) 校正法：对仪器工具的定度不准确造成的误差，可用标准仪器预先校验所有度量衡和仪表，确定其误差，然后在测量中引入相应的修正。大数值的测量准确度主要决定于相对误差，而小数值的测量准确度则决定于绝对真误差。一般容量仪器的校正，大容器用蒸馏水

校正，小容器必须用汞校正。

(2) 规范法：对于实验中因环境条件，操作工艺不同造成误差，只有严格遵守工艺规程和提高实验技巧以避免之。即在测量过程中，所用一切有关的仪器、操作方法、实验条件的细节都规定得具体、严格而且非常合理。

(3) 比较法：初次做某一实验时，可用多种方法做这一实验，然后进行分析比较。要求对实验的全部情况有足够的了解，掌握各种方法的理化性质和特点。从中选出误差最小的实验方法。这可以减少方法误差和理论误差（理论根据有缺点或近似公式误差大）。

(4) 对照法：恒定的误差因素对于所测未知量和对于替代它的已知量发生同样的影响。因此将一标准样品与未知量样品在同一条件下用同一方法进行测定，然后进行推导计算，其所得结果误差极小。常见的比色分析中使空白等于零，是对照法消除误差的特例。

(5) 复测法：在用电桥、电位计测某一电参数，或用天平称物质重量时，先测量一次，然后把标准量（标准电池、电阻或砝码）与被测量的位置互相对换，再测量一次，取两次结果的平均值即为被测量的准确值。这样可以避免仪器元件不对称引起的误差。

## (二) 随机误差

随机误差又称偶然误差，是指那些由于一切偶然因素而杂乱出现的没有任何规律的误差。例如：电压的偶然变动导致读数不应有的改变、砝码的偶然粘污、空气扰动对天平的影响；试剂器材在称量、转移、洗涤、沉淀、干燥过程中造成的原料增减或污染等；恒温不好、大地微震、测量人员感官生理变化等一些互不相关的独立因素对测定值的综合影响，都会造成随机误差。

随机误差的大小，就个别次测量的结果来看，没有规律，不可预定，不可控制，因而不能用实验的方法加以消除。但是随机误差在许多次测量的总体上服从统计学的规律。对某一物理量进行大量的测量，随机误差有下述三条公理：

- (1) 绝对值小的误差比大的误差出现的机会多；
- (2) 绝对值相等、符号相反的误差出现的机会相等；
- (3) 超过某一限度的误差，实际上不出现。

根据这三个公理，在一般情况下，可以通过取多次测量的算术平均值来削弱随机误差对测量结果的影响。

## (三) 粗差

测量时犯了过失或测量条件突变而产生的误差叫粗差。例如，在电表上读数时读到另一刻度线上去了、记错、算错、用了有毛病的仪器、用错试剂等等。显然这种误差应该剔除掉，随时发现随时剔除，直到重新测量或重新实验。用统计判别法可以找出隐藏着的粗差。

在一次实验中可能同时存在多种类型的误差，误差的性质也可以在一定条件下传递、转化。因此有些误差不易区分属于哪一类。除上述直接测量误差外，还有间接误差，误差的累积、合成、运算、数据处理等。

## 第四节 有效数字的应用原则

由于测量只能有一定准确度，因此表示测量结果的数字就产生了有效与无效之分。在实验记录和分析计算中，必须正确运用有效数字。

### (一) 近似数的舍入

不带近似性或不确定性的数是正确数，如 2、 $\frac{1}{2}$ 、70 等等。 $\pi$ 、 $e$ 、 $\sqrt{2}$  等数也是正确数；如果用数字表示时，它们可以写成 3.1416、2.7183、1.414、这些数仅和真实值近似，这种接近正确数的数称为近似数。

严格的近似计算在确定某近似数的舍入时用下述规则：“小于五就舍”；“大于五就入”；“恰好等于五时应用偶数法则”。偶数法则即末位（五的前一位）为奇数时进一，末位为偶数时舍去。从机率方面来看，偶数法则可以减少计算误差。

例如将下列数据舍入到小数第一位

化成  
 $12.344 \rightarrow 12.3$  (舍去 0.044)

化成  
 $12.351 \rightarrow 12.4$  ( $0.051 > 0.05$ , 进一位)

化成  
 $12.450 \rightarrow 12.4$  (按偶数法则舍去 0.050)

化成  
 $12.350 \rightarrow 12.4$  (按偶数法则进一位)

### (二) 有效数字

在十进制数字中，1、2、3、4、5、6、7、8、9 是有效数字。“0” 是不确定的，在某些场合是有效数字，如 10.607 克，中间两个零都是有效数字。开头零都不是有效数字。如已知定量滤纸其灰分重 0.001 克、0.000045 克等等，在第一个有效数字 1 或 4 前边的几个零都不是有效数字。因为这些零和测量本身的准确与否毫无关系，只要改变单位，开头零就随之消失。

例如 0.001 克 = 1 毫克， 0.000045 克 = 45 微克。

数字末尾上的零，凡是符合前述近似数舍入规则的，即使最末一位零是欠准的近似数（亦称可疑数），也是有效数字。如用较正的 10 毫升刻度移液管量取 6 毫升溶液时，应写为 6.00 毫升，即三位有效数字，说明此测量值的误差为 0.05 毫升。若用以毫升为刻度的量筒计量时，应写为 6.0 毫升，即二位有效数字。

综上所述，可以给有效数字如下定义：

按正确舍入规则所给的近似数，除去最左面第一个非零数字前的零以外，所有数字都叫有效数字。

### (三) 有效数字运算的基本规则

围绕测定值的计算均属于近似计算。一个可疑（欠准）数字与另一些准确数字一起运算，那么所得各数也为可疑数。简单介绍如下。

(1) 加减运算：几个近似数相加减，其结果的有效数字位数与相加减各数的最大项的



有效数字位数相同。例如

$$\begin{array}{r} \textcircled{1} \quad 15.\underline{2}^* \\ \quad 0.\underline{0631} \\ + \quad 3.\underline{542} \\ \hline 18.\underline{8051} \end{array}$$

$$15.\underline{2} + 0.\underline{0631} + 3.\underline{542} = 18.\underline{8}$$

$$\begin{array}{r} \textcircled{2} \quad 3.\underline{25} \\ - \quad 0.\underline{0187} \\ \hline 3.\underline{2313} \end{array}$$

$$3.\underline{25} - 0.\underline{0187} = 3.\underline{23}$$

即所得结果保留到最高一位可疑数（例1的0.8，例2的0.03）以下各位数字按舍入规则处理。为计算简便，在运算过程中保留最大项可疑位数，把多余的位数用竖线隔开，予先舍入同时保留的一位备用数字，然后用普通方法加减，最后舍入即得所求之和。比如前述例1、例2可写成计算式如下：

$$\begin{array}{r} 15.\underline{2} \\ \quad 0.\underline{06} \\ + \quad 3.\underline{54} \\ \hline 18.\underline{8} \end{array}$$

$$\begin{array}{r} 3.\underline{25} \\ - \quad 0.\underline{019} \\ \hline 3.\underline{23} \end{array}$$

应该注意到，当两个近同的近似数相减时，会产生较大的相对误差。例如  $138.\underline{5} - 137.\underline{5} = 1.\underline{0}$ ，原两个四位有效数字之差变为两位有效数字了，两数差的绝对误差  $0.05 + 0.05 = 0.1$ ，而它们的相对误差为  $0.1 / 1.0 = 0.1 = 10\%$ 。

因此，为防止在减法运算中失去准确性起见，应该尽量避免用两个近同的近似数相减来计算未知量。

(2) 乘除运算：近似数乘法与除法的运算进行得越多，计算结果的误差也越大。几个近似数相乘除时，计算结果的有效数字位数应与有效数字位数最少的因子相同。为计算简便，在乘除之前可予先舍入，在因子中保留与有效数字最少的因子具有相同的位数，或再取一位备用数字。

例题 求  $0.121 \times 25.64 \times 1.0572 = ?$

【解】按下面两种方法进行计算均可。不留备用数字时

$$0.121 \times 25.6 \times 1.06 = 3.28$$

留备用数字时

$$0.121 \times 25.64 \times 1.057 = 3.28$$

各因子中有效数字位数最少的是0.121，计算结果取三位有效数字3.28。因3.28的极限误差为  $\pm 0.005$ ，则计算结果的最大误差率为  $\frac{\pm 0.005}{3.28} \times 100\% = \pm 0.152\%$ 。

如果需要得到两个数的积或商具有预先给定的完全可靠的数字位数，那么每一个因子的

式中数字下标有“—”符号的，表示有误差的近似数。