中等专业学校教材

水力学实验

成都水力发电学校 龙孝谦 主编

中等专业学校教材

水力学实验

成都水力发电学校 龙孝谦 主编

中国水利水电出版社

内 容 提 要

本书是为中等专业学校水利水电类专业所编写的水力学实验课程教材。全书共分三部分，第一部分(包括第一、二、三章)着重阐述了水力学实验的有关基础理论，对实验数据的认识、表达和处理；第二部分(第四章)着重介绍了当前我国水力学实验中常用的仪器设备的工作原理和测量方法；第三部分(第五章)根据各校水力学实验室设备的一般状况和水利水电类各专业水力学教学大纲的要求，编写了12个实验及5个演示实验的指导书，以满足各有关专业的需要。

本书除可作为中专水利水电类专业的水力学实验的教材外，也可供有关工程技术人员、实验人员参考。

中等专业学校教材

水 力 学 实 验

成都水力发电学校 龙孝谦 主编

*

中国水利水电出版社 出版
(原水利电力出版社)

(北京三里河路6号 100044)

新华书店北京发行所发行・各地新华书店经售

三河市艺苑印刷厂印刷

*

787×1092毫米 16开本 5印张 104千字

1993年10月第一版 1999年5月北京第三次印刷

印数13811—18840册

ISBN 7-80124-293-9/TV・157

(原ISBN 7-120-01814-0/TV・651)

定价 5.30元

前　言

科学实验在水力学的发展中起着重要作用，也是水力学的一个组成部分。为了配合理论教学，进一步培养学生的动手能力和分析能力，提高教学质量，根据水利部1990～1995年中等专业学校水利水电类专业教材选题和编审出版规划，编写了这本教材。

本书由成都水力发电学校龙孝谦主编，广西水电学校朱绍宗主审。参加编写的有：陕西省水利学校卢泰山（第一、二、三章）；成都水力发电学校龙孝谦（第四章）；江苏水利工程专科学校窦永明（第五章）。

由于编者水平有限，书中难免存在缺点和错误，欢迎读者批评、指正。

编　者

1991年1月

目　　录

第一章　绪　　论

第一节　水力学实验课的任务

科学实验是一切自然科学发展的基础，而水流运动又是一种非常复杂的自然现象，因此，水力学的研究和发展就更加离不开科学实验。

在水力学研究中，水力学实验通常是检验理论分析和数值计算的基础。人们通过水力学实验，观察到许多重要的水流现象，经过总结提高而发展了水力学理论，而理论又进一步指导着实践，并通过水力学实验来加以检验。目前在许多水力计算问题中经常使用的一些经验公式、计算图表以及各种经验系数，都直接体现了水力学实验研究的成果。

由于科学技术发展水平的限制，人们对水流运动中的某些水力现象至今尚不能完全了解，在水利水电工程建设中，仍有许多水力学问题还不能用理论分析和数值计算的方法加以解决，但通过水力学实验（水力学模型试验）的分析和研究，可以找到一些经验性的规律来指导水利水电工程建设，以满足实际应用的需要，而这些水力学实验的成果，又通过水利水电工程建设的实践来加以验证和不断完善。现代计算机数值计算的发展，又为水力学研究提供了一个新的途径。计算机既可以直接计算一些水力学问题，也可以进行某些模拟性实验。在现代水力学的研究和发展中，水力学理论分析、数值计算和水力学实验三者互为补充，相互促进，形成研究水力学的几个重要方面。

通过水力学实验课的学习和实践，一方面可以密切配合水力学理论教学，学生不仅能在水力学实验中观察到典型的水流现象，在对水流现象进行观察和分析的过程中增加感性认识，而且又可通过水力学实验来验证和巩固已学到的水力学理论知识，进一步提高学生分析问题、解决问题的能力。另一方面，通过水力学实验，使学生受到水力学基本实验技能的训练，在实验过程中学习和掌握各种常规测量仪器的基本工作原理和操作技能，掌握一般水力学实验的方法和步骤，并且使学生在实验数据的采集和处理、实验误差的分析以及实验成果的整理等方面的综合实验能力得到培养，进一步提高中等专业学校学生的动手能力，为今后进一步从事科研、生产和教学工作中的水力学实验（水力学模型实验）打下良好基础。

第二节　实验成果的整理

水力学实验结束后，一般都要求写出实验报告，通过实验报告来反映实验数据及实验结论。实验报告内容大体包括以下几方面：

1）实验目的；

2）实验设备（包括实验设备简图及测量仪器等）；

3）实验原理及公式；

4 ）记录和计算表格；

5 ）实验数据处理；

6 ）实验成果分析及结论；

7 ）需要说明的问题。

整理实验成果必须本着严谨、认真的科学态度，忠实于原始记录数据，严禁涂改原始数据或者抄袭他人成果。如果发现错误，应当及时加以改正，必要时应重做实验。实验报告要求文字简明通顺，书写工整，计算及绘图应符合要求。

第三节　水力学实验室简介

中等专业学校的水力学实验室，主要是承担水力学实验课的教学任务，有条件的也可承担一些水工、水力学模型试验等生产或科研方面的任务。

水力学实验室主要由实验大厅、实验设备及水流循环系统等几部分组成。

实验大厅是安放实验设备和开展水力学实验的场所，一般布置成长条形，其面积大小应根据教学、生产和科研等方面的具体要求来加以确定。

实验用水一般采用自循环形式，水流的循环系统由供水系统、回水系统和蓄水池组成。

一、供水系统

供水系统包括水泵、平水塔及输水管道。供水系统的主要任务是保证水力学实验用水的连续循环供给。由水泵从蓄水池抽水并输送到具有一定高度的平水塔，利用平水塔以保持固定的水头和稳定水流，再由平水塔通过各输水管配水，为各实验设备供水。

平水塔一般为钢或钢筋混凝土结构，由进水仓、平水仓及回水仓三部分组成。进入平水塔的水流在进水仓内消除大部分多余能量并匀化流态。平水仓的顶部装设多条薄壁堰型溢水槽，当平水塔水位高于溢水槽顶时，多余的水便由溢水槽排出，以确保平水塔以恒定的水头供水。回水仓的作用是容纳从溢水槽排出的水。排出的水又经回水管流回蓄水池。

平水塔的高度一般不低于 5 m，平水塔的容积可按最大供水量乘以75～100s计算。例如实验室的总用水量为280l/s，则平水塔的容积为21～28m^3。

实验室配置的水泵可以根据实验用水流量的大小，设置数台规格不同的水泵，例如设置大、中、小型各一台，这样既可根据各实验设备不同的用水量灵活地供水，节约用电，又利于维修与保养。

二、回水系统

经实验设备使用后的水经回水渠再返回蓄水池，便完成了水流的循环过程。回水渠的布置，应便于实验室内不同位置的实验设备使用后的水返回蓄水池。回水渠一般为砖砌或钢筋混凝土结构，渠道顶部应加设盖板，并在盖板上预留一定尺寸的孔洞，以便于安设排水管，排走滞留在实验设备中的水和实验室地面的积水。

三、蓄水池

蓄水池可建设在室内或室外，一般为钢筋混凝土结构。确定蓄水池的容积时，应考虑

到水流循环系统的路线长短以及平水塔、实验设备，回水渠中的滞水量大小。蓄水池的容积应当满足循环总流量的要求，一般可以按实验室总供水流量乘以抽水时间（5～15min）计算，例如实验室总供水流量为280l/s，则蓄水池容积为84～252m³。蓄水池和集水井可以分建，也可合建在一起。分建时，水泵在靠近蓄水池的集水井内抽水，集水井的底部应低于蓄水池底部。在集水井通道的进口处还应有拦污栅等设施，以防止水流中的泥沙或其他污物进入集水井和水泵中。蓄水池和集水井合建时，则在水泵吸水管进口附近一定范围内将蓄水池底部降低以加大深度，并采取措施，防止污物入池，以保证水质清洁。在寒冷地区的室外蓄水池，还应采取措施防止池内的水结冰以致影响抽水。

图1-1所示即为某校水力学实验室和水流循环系统的平面布置图。

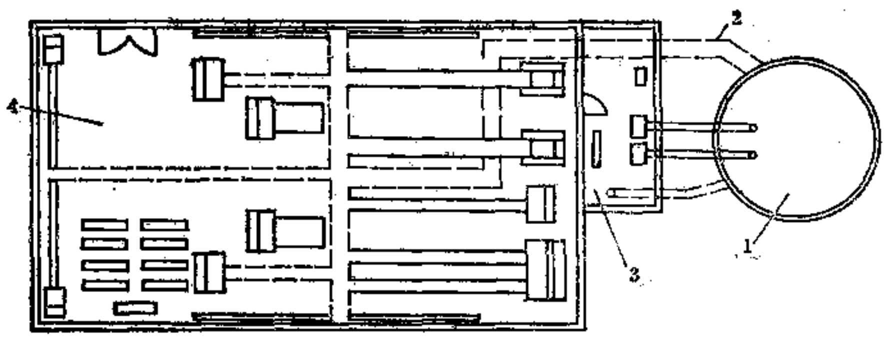

图 1-1 水力学实验室布置图

1—蓄水池；2—回水渠；3—水泵房；4—实验大厅

第二章 实 验 误 差

第一节 测 量 的 分 类

水力学实验除了要观察水流现象，对水流的运动作定性的分析之外，更重要的是要定量地测量水流中的各种水力要素，以便根据测量数据研究水力要素之间的内在规律。

在水力学实验中，可以从不同的角度来对测量进行分类。

按照获得测量结果的方式，可以分为直接测量和间接测量。

（1）直接测量 使用测量仪器直接测量某一未知物理量的测量方式即为直接测量。例如在水力学实验中，利用测针直接测读水位，用压力表直接测量压力等都是直接测量。

（2）间接测量 根据直接测量所得到的数据，再按照一定的函数关系，通过一定的计算才能确定某一物理量的测量方式为间接测量。例如在水力学实验中利用量水堰测定流量时，首先要用测针测读堰上水头，然后再根据堰上水头和流量之间的函数关系，确定通过量水堰的流量。

按照被测的物理量在测量过程中的状态，又可将测量分为静态测量和动态测量。

（1）静态测量(重复测量) 被测的物理量在测量过程中不随时间变化或变化极为缓慢，基本上保持为一恒定值。例如在一般水力学实验中，对恒定流的水位、流速、压强等的测量，在不考虑脉动的影响时，都属于静态测量。

（2）动态测量(过程测量) 被测的物理量在测量过程中，随着时间发生不规则的变化或随着时间发生周期性的变化。例如测量紊动水流中的脉动流速、脉动压强等，都属于动态测量。

第二节 研 究 误 差 的 目 的

由于人们对问题认识的局限性和科学技术水平的限制，在一切测量过程中，误差总是存在的。无论是直接测量还是间接测量，静态测量还是动态测量，所取得的实验数据都存在着误差。误差的大小将直接影响实验成果的精确度。因此，有必要研究实验误差。

在水力学实验中，因受到实验设备条件、周围的环境条件和实验人员技术水平的限制，所测到的实验数据与其真实值总不是完全一致的，在数值上即表现为误差。随着科学技术的发展，人们认识能力的提高和实验经验的累积，可以将实验误差控制得愈来愈小，但却不能使误差完全消除，误差总是存在于一切科学实验中。因此，任何水力学实验的测量结果也都存在误差。通过对误差的分析研究，一方面可以帮助人们正确认识误差的性质，分析产生误差的原因，以便进一步寻求减小实验误差的方法；另方面也可以充分利用和正确处理实验数据，以便在一定的条件下取得接近于真实值的较为可靠的结果。通过对误差的研究，还可以帮助实验人员正确地组织实验，合理地选择测量仪器和测量方法，以

减小误差，提高精度，用较为简便的方法，得到较为理想的测量结果。

第三节 误差的基本概念

一、真值

被测的物理量在一定的条件下本身所具有的真实大小称为该物理量的真值。测量的最终目的是要求得被测量的真值。但真值是一个理想的概念，是无法测得的，不过在特定的条件下，可以把某一数值看作是某一被测量的真值。真值可知的情况有以下几种：

（1）理论真值 用数学方法推导出来的理论公式的计算值。例如，平面三角形三内角之和恒等于180°，即为理论真值。

（2）指定真值 高一级标准仪器的误差与低一级标准仪器或普通仪器的误差之比值为1/5左右时，可认为前者的测量值是后者的相对真值。

误差理论指出：在等精确度测量中，在没有系统误差（详见本章第四节）的前提下，当测量次数无限多时，测量结果的算术平均值近似于真值，因此可将其视为被测量的真值。但实际上测量的次数总是有限的，故所求得的算术平均值只能是近似的真值。

设x_1、$x_2 \cdots x_n$表示各次实验的测量值，n表示测量次数，则被测量的算术平均值为

$$\overline{x}=\frac{x_1+x_2+\cdots\cdots+x_n}{n}=\frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n} x_i \qquad (2\text{-}1)$$

由于系统误差不可能完全消除，故通常只能将更高一级的标准仪器所测得的值视为“真值”。为了表明它并非真正的真值，常把这个被当作“真值”的值称为实际值。用符号X表示。

二、绝对误差

对某一物理量进行测量后，所测得之值x_i与被测物理量的真值X_0的差值称为绝对误差，简称误差，用符号δ表示。误差的大小反映了测量值偏离真值的程度，用公式表示为

$$\delta=x_i-X_0 \qquad (2\text{-}2)$$

或

$$\delta=x_i-X \qquad (2\text{-}3)$$

绝对误差的大小是以被测量的单位表示的，它是一个绝对量，不能作为不同量程的同类仪器或不同类仪器之间测量精度的比较标准。例如在对水深的测量中，当水深为1m时，两次测量的结果分别是1.005m和1.002m，其测量误差分别为0.5cm和0.2cm；又当水深为0.1m时，有另外某两次测量结果分别是0.105m和0.102m，其测量误差也分别是0.5cm和0.2cm。尽管对这两个水深的测量结果其绝对误差相同，但显然两者的测量精度相差很大。因此，仅根据绝对误差的大小，还无法比较不同的被测量的测量精度，为了解决这个问题，需要引入相对误差的概念。

三、相对误差

各次测量的绝对误差与被测量的真值之比值的百分数称为相对误差，用符号γ表示。

即

$$\gamma=\frac{\delta}{X_0}\times 100\% \qquad (2\text{-}4)$$

由于被测量的实际值X与真值X_0相接近，故也可以近似地用绝对误差与被测量的实际值的百分比作为相对误差。

即
$$\gamma=\frac{\delta}{X}\times 100\% \qquad (2\text{-}5)$$

根据相对误差的概念，上述对水深的测量中，相对误差分别为：

当水深为1 m时，测量的相对误差为

$$\gamma_1=\frac{0.5}{100}\times 100\%=0.5\%$$

$$\gamma_2=\frac{0.2}{100}\times 100\%=0.2\%$$

当水深为0.1m时，测量的相对误差为

$$\gamma_3=\frac{0.5}{10}\times 100\%=5\%$$

$$\gamma_4=\frac{0.2}{10}\times 100\%=2\%$$

显然，相对误差为γ_2的那一次测量精度最高，而相对误差为γ_3的那一次测量精度最低。

综上所述，可以这样认为：对于同一个被测量，绝对误差可以用来判断测量精度的高低；但对于不同的被测量，绝对误差就难以判断测量精度的高低，而采用相对误差来判断就较为确切。

第四节 误差的分类

在测量过程中产生的误差，按照其性质可以分成三大类，即系统误差、随机误差和过失误差。

一、系统误差

在相同条件下，对被测量进行多次测量的结果，其误差的绝对值恒定，或者误差随着条件的改变而按某一确定的规律变化，这种误差称为系统误差。

系统误差一般是由于测量仪器不精良、周围环境改变、工作人员的习惯和偏向等原因造成的，产生系统误差的原因往往是可以找到的。减小或消除系统误差的方法，主要是对测量仪器进行认真的检查、校正和采用正确的测量方法等。值得注意的是系统误差是不能通过增加测量次数来减小或消除的。

二、随机误差（偶然误差）

在相同条件下对某一物理量重复测量时，由于各种偶然因素的影响，所测得的数值不尽相同，其误差时大时小，时正时负，无法控制，但经多次测量后，所有误差的平均值趋近于零，其变化完全服从统计规律。即误差的大小和正负误差的出现完全由概率决定，并且符合正态分布规律，可以用概率理论进行处理。这类误差称为随机误差。

三、过失误差（粗大误差）

过失误差是一种明显与事实不符的误差，它是在测量过程中由于读数错误、记录错误、计算错误等原因造成的。正确的测量结果是不应当包含过失误差的。因此，在水力学实验的各种测量中一定要认真细致，力求避免过失误差。在对同一水力要素进行重复测量时，如果发现有明显歪曲测量结果的过失误差，应舍去此测量数据。因此，通常在分析问题时，要估计的误差只有随机误差和系统误差两大类，对于水力学实验，一般只作随机误差分析。

第五节　随　机　误　差

一、随机误差的特性

在水力学实验中，由于自然环境条件、实验设备和测量仪器等众多因素的综合作用，即使在相同条件下重复测量，所得到的实验数据相互之间仍然存在着差异。其误差的大小和正负都无法预测而具有随机性。但实验结果表明，大量随机误差的出现是服从一定的统计规律的。理论和实践证明，测量中的大多数随机误差服从正态分布，误差的正态分布曲线如图2-1所示。其中 δ 为误差，$p(\delta)$为误差的概率密度函数。

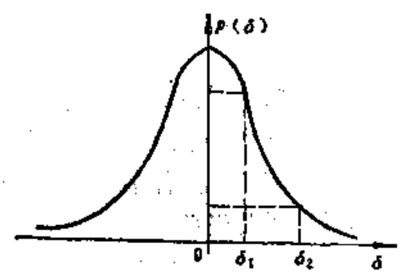

图 2-1　误差正态分布曲线

由图2-1可知，随机误差具有以下特性：

1.有界性

在一定的测量条件下的有限次测量中，随机误差的绝对值实际上不会超过一定的范围，因为绝对值很大的误差出现的概率近于零。根据概率论的有关知识，当误差服从正态分布时，可得到表2-1所示规律。

表 2-1　　随机误差的概率

随机误差δ的变化范围	1 σ	2 σ	3 σ
δ不超出范围的概率	68.26%	95.44%	99.73%
δ超出范围的概率	31.74%	4.56%	0.27%

注　σ为测量的标准误差，按式(2-8)计算。

由表2-1可以看到，若一组测量值的标准误差为 σ，则任一测量值的误差出现在 $\pm\sigma$ 区间内的概率为68.26%，而超出 $\pm\sigma$ 区间的概率为31.74%，也就是说平均每三次测量中可能有一次的误差的绝对值超出 σ 的范围。误差 δ 之值出现在 $\pm 2\sigma$ 区间内的概率为95.44%，而超出 $\pm 2\sigma$ 区间的概率为4.56%，也就是平均每22次测量中只有一次测量的误差超出 2σ 的范围。误差 δ 之值出现在 $\pm 3\sigma$ 区间的概率为99.73%。由于误差超出 $\pm 3\sigma$ 的概率仅为0.27%，即约每370次测量中才可能有一次测量的误差超出 $\pm 3\sigma$ 的范围；对于一般的测量，测量次数最多也只有几十次，因此可以认为随机误差的绝对值超过 3σ 的情况实际上

是不可能的。超过$\pm 3\sigma$的误差实际上已不属于随机误差，而为系统误差或过失误差。故可以把3σ作为极限误差。在一般工程测量中也常把2σ作为极限误差。

2.单峰性

随机误差正态分布曲线只有一个峰值，出现在$\delta=0$的纵轴上。由于绝对值较小的误差出现在峰值附近，因此，绝对值较小的误差出现的机会较多，绝对值较大的误差出现的机会较少。

3.对称性

由于随机误差正态分布曲线与纵坐标轴对称，所以绝对值相同的正误差和负误差出现的次数大致相等。

4.抵偿性

由于随机误差正态分布曲线的对称性，在相同的条件下对同一物理量进行测量时，其随机误差的算术平均值随着测量次数的无限增加而趋近于零，即随机误差平均值的极限为零：

$$\lim_{n\to\infty}\frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n}\delta_i=0 \tag{2-6}$$

二、随机误差的表示方法

若在相同条件下进行多次测量，其误差为$\delta_i(i=1, 2, 3\cdots, n)$，因为单个误差可大可小，为了表明该条件下的测量精度，引入以下误差概念。

1.算术平均误差

算术平均误差是指各次测量误差绝对值的算术平均值。

即
$$\overline{\delta}=\frac{\sum_{i=1}^{n}|\delta_i|}{n} \tag{2-7}$$

式中
$$\delta_i=x_i-\overline{x}$$

$|\delta_i|$为测量值与其算术平均值间的绝对误差，采用绝对值可以避免正误差和负误差相互抵消。算术平均误差的计算简单方便，但以算术平均误差作为误差的代表，它只能反映随机误差的大小与测量次数的关系，而不能全面地对测量数据系列之间的误差情况进行比较。例如有两组测量数据系列，其中一组数据所组成的系列中各误差的绝对值较为接近，为

$$+2,\ -3,\ 0,\ +2,\ +3,\ -2$$

另一组数据系列中各误差的绝对值彼此相差较大，为

$$-5,\ +1,\ 0,\ -1,\ +5,\ 0$$

但这两组测量数据系列的平均误差却是相等的

即
$$\overline{\delta_1}=\frac{2+|-3|+0+2+3+|-2|}{6}=2$$

$$\overline{\delta}_2=\frac{|-5|+1+0+|-1|+5+0}{6}=2$$

由此可知，算术平均误差还不能说明这两组数据系列在测量精度上的差异。为了更好地反映出这种差异，需要引入标准误差的概念。

2.标准误差（均方根误差）

标准误差是将测量数据系列中各误差之平方和的平均值再开平方后所得之值，用σ表示。

即
$$\sigma=\sqrt{\frac{\delta_1^2+\delta_2^2+\cdots\cdots+\delta_n^2}{n}}=\sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{n}\delta_i^2}{n}} \qquad (2\text{-}8)$$

由式（2-8）可以看到，采用标准误差，不仅可以避免正、负误差互相抵消，而且较大的误差经平方后，可得到更为明显的反映，它能够把对测量结果影响大的大误差值充分显示出来。例如上例中两组测量数据系列的标准误差分别为

$$\sigma_1=\sqrt{\frac{(+2)^2+(-3)^2+0^2+(+2)^2+(+^3)^2+(-2)^2}{6}}=2.236$$

$$\sigma_2=\sqrt{\frac{(-5)^2+(+1)^2+0^2+(-1)^2+(+5)^2+0^2}{6}}=2.944$$

第一组的标准误差小于第二组的标准误差，说明第一组测量数据的离散程度小于第二组测量数据的离散程度，其测量精度显然高于第二组。

由于在实际测量中，测量次数总是有限的，被测量的真值不可能测得，故真值误差也是不可能求到的。但是，如果用有限次测量数据的算术平均值来代替被测量的真值时，利用贝塞尔公式，标准误差可按下式计算：

$$\sigma=\sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{n}(x_i-\overline{x})^2}{n-1}}=\sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{n}\delta_i^2}{n-1}} \qquad (2\text{-}9)$$

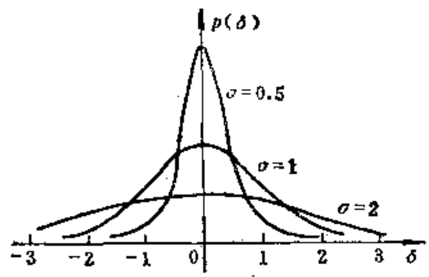

图 2-2　σ值对正态分布曲线的影响

标准误差σ是表征概率分布的一个特征值，是测量精密度的代表值。σ值越大，则随机误差正态分布曲线越平坦，随机误差的极限范围越大，可靠性越差，测量误差也越大。σ值相等的测量可以称为等精度测量。通过对标准误差的计算，不仅可以判定测量精度，而且可以检验测量中是否存在过失误差或系统误差。不同标准误差的正态密度函数曲线如图2-2所示。

第六节　精密度、准确度和精确度

一、精密度

精密度表示在同一条件下对同一量进行多次重复测量时，所测得数据的重复性或离散程度。精密度反映随机误差的大小，**测量数据越集中**，说明随机误差越小，测量的重复性

好，精密度也越高。

二、准确度

准确度表示测量结果与被测量的真值之间的偏离程度，准确度反映系统误差的大小，系统误差小，准确度就高。

三、精确度

精确度又称精度，它是测量结果精密度和准确度的综合反映。显然，精密度高而准确度不一定高；反之，准确度高而精密度不一定高。如果精确度高，意味着随机误差和系统误差都小，也就是说，精确度高则精密度和准确度都高。

图2-3可用来对精密度、准确度进行说明，例如对某一水力要素进行测量，根据测量情况可能有图2-3中所示的四种情况：(*a*)精密而不准确；(*b*)准确而不精密；(*c*)既精密又准确；(*d*)既不精密又不准确。

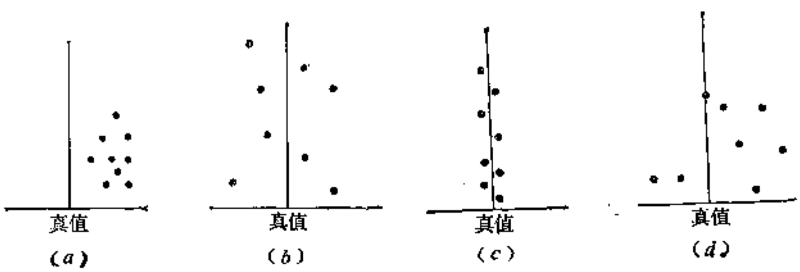

图 2-3 测量的精密度与准确度相互关系示意图

第七节 有效数字与运算

在水力学实验的测量中，由于测量仪器的分辨能力、测量精度的限制，所测读的数值都是近似的，它的末位数往往是估读的。例如用精确到毫米刻度的测针测量水位时，测得水位读数为59.35cm，它的毫米位上数字是准确的，而十分之一毫米位上的读数则是估读的，它可能被读成59.34cm，也可能被读成59.36cm，其末位估读的数字是可疑的或不准确的。在一般实验中记录测量结果时，只允许末一位数是由估读得到的不准确的数字，其余数字均为准确数字。除有特殊规定外，一般认为末位数上、下可能有一个单位的误差，或其下一位的误差不超过±5，即有效数应包括全体准确数字和末一位可疑数字。

有效数是经过测定的数字，有效数的个数称为有效位数。一个有效数字的有效位数指的是最高位数字不为零的位数。例如3.1416、5.0025、150.00均为五位有效数，而0.00309、30.9、309均为三位有效数。有效位数和数的精度有密切关系，必须予以注意。

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。例如16000m，我们很难区别“0”是有效数字还是非有效数字，如果写作16000m，则为五位有效数字，其中所有的“0”都是有效数；但如果将16000m表示为16×10^3m，则有效数字只有二位，其中所有的“0”都不是有效数字。又如0.00304，前面

三个"0"都不是有效数字，而150.00后面三个"0"却都是有效数字，因为前者与测量精度无关，而后者却有关。如果将后者的150.00写成150，对150来说，其真值所在区间为150.5～149.5，其绝对误差为±0.5；但对150.00而言，其真值所在区间却为150.005～149.995，其绝对误差为±0.005。可见，如果去掉150.00小数点右边的两个"0"，将使其绝对误差由0.005增大到0.5，从而使数据原有的精度大大降低。因此绝不可以任意在小数部分后边加上"0"或去掉"0"，因为这样做的结果，虽然不会改变一个数的大小，却改变了这个数所代表的精度。

在实验数据的处理中，经常需要对一些精确度不相同的数据进行运算，因此，需要一定的运算规则，以避免繁琐运算出现的错误，并节约时间。下面是一些常用的基本规则。

一、数字舍、入规则

当有效数字位数确定后，例如为N位，则在$N+1$位以后的数字舍、入规则如下：

（1）如果第$N+1$位的数字小于5，则舍去。例如5.2349，要求三位有效数字，则为5.23。

（2）如果第$N+1$位的数字大于5，则入。例如4.369，要求二位有效数字，则为4.4。

（3）如果第$N+1$位的数字等于5，则舍、入规则如下：

1）第N位若为偶数（0，2，4，6，8）等，则第$N+1$位舍去。例如32.405，要求四位有效数字，则为32.40。

2）第N位若为奇数（1，3，5，7，9），则第N位增加1。例如0.0535要求二位有效数字，则为0.054；又如7.015要求小数点后二位有效，则为7.02。

根据第（3）条舍、入规则处理后的实验数据，其末位均保持偶数。同时，有的5入，有的5舍，使由于5所引起的正、负舍、入误差有互相抵消的机会。

二、加、减法运算规则

在加、减运算的最后结果中，小数点以后所保留的位数，应和所有参与运算的各数中小数点以后位数最少者相同。例如以下各算式所示：

$$2.1+3.81+4.006=9.9;$$

$$15.038+2.0314+3.21=20.28;$$

$$198.643-12.2=186.4。$$

三、乘、除运算规则

在乘、除运算的最后结果中，有效数字的位数，应和参与运算的各数值中有效数字位数最少者相同。例如以下各式所示：

$$3.45\times0.6789=2.34;$$

$$89.39\div0.237=377。$$

思考题

1）为什么要研究误差？科学实验中能否使测量误差完全消除？为什么？

2）随机误差有哪些特性？