# 测量与数据处理

### 一、测量与误差

在探索物质世界时，科学家们设法寻求物理量之间的关系。做物理实验必须要进行各种物理量的测量。测量分为两种：由仪器直接读出测量结果的叫直接测量；由直接测量结果经过公式计算才能得出结果的叫间接测量。每一个待测物理量在一定条件下所具有的客观实在值，称为该物理量的真值。当我们进行测量时，由于理论的近似性、实验仪器分辨率或灵敏度的局限性、环境条件的不稳定性等因素的影响，测量结果总不可能绝对准确。我们的测量值同待测物理量的真值之间总会存在某种差异，这种差异就称为测量误差。

由测量所得的一切数据，都毫无例外地包含有一定的测量误差。没有误差的测量结果是不存在的。随着科学技术水平的不断提高，测量误差可以被控制得越来越小，但是却永远不会降低到零。

产生测量误差的原因是来自测量仪器的有限精度和无法精确读取超出仪器分度值的数值。例如，如果我们使用分度值为 0.1 cm 的刻度尺测量物体的宽度，其结果可以精确到刻度尺的分度值，即 1 mm 左右。虽然这个值的一半也可以是有效的，但是我们很难在两刻度线之间进行估值，从而得到精确的数值。此外，刻度尺本身也可能存在刻度不够准确等缺陷。

为使测量结果尽可能接近真值，通常采取多次测量的方法，即在保持实验条件不变的情况下，重复测量某一个物理量的数值，然后取所有测量值的算术平均值，并认为该算术平均值是比任何一个实际测量值都接近真值的测量结果。从原则上说，测量值越多，所得到的平均值就越逼近真值。

### 二、有效数字

任何一个物理量的测量结果既然都包含误差，那么该物理量的数值位数就不应该无限制地延续下去。通常测量结果只写到开始有误差的那一位数，即把测量结果中可靠的几位数字加上有误差的末位数字称为测量结果的有效数字。或者说，有效数字中最后一位数字是不确定的。可见有效数字是表示误差的一种粗略方法。

有效数字的位数与小数点的位置无关，如 1.23 与 123 都是三位有效数字。关于“0”是不是有效数字，可以这样来判别：从左往右数，以第一个不为零的数字为标准，它左边的“0”不是有效数字，它右边的“0”是有效数字。例如，0.012 3 是三位有效数字，0.012 30 是四位有效数字。也就是说，当“0”只是用来表示小数点的位置时，它便不是有效数字，反之它便是有效数字。作为有效数字的“0”，不可以省略不写。例如，不能将 1.350 0 cm 写作 1.35 cm。因为它们的准确程度是不同的。有效数字位数的多少，大致反映误差的大小。有效数字位数越多，则误差越小，测量结果的准确度越高。

有效数字的运算需遵循一定的规则。例如，2.2＋0.214 3，可以认为第一个数的误差在0.1 这位上，它远大于第二个数的误差，结果就不应该写成 2.414 3，而应写成2.4。

对于加减类型的运算，运算结果的末位应与具有最大误差位的数值的末位取齐。例如，432.3＋0.126 3 – 2≈430。对于乘除类型的运算，运算结果的有效数字位数应与有效数字位数最少的对象（数值）相同。例如，。

### 三、数据处理的基本方法

开展科学实验的目的是找出事物的内在规律性、检验某种理论的正确性，或者作为以后实践工作的一个依据。因而对实验测量收集的大量数据资料必须进行正确的处理，数据处理是指对实验所得数据的加工过程，这里介绍两种常用的数据处理方法。

#### 1．列表法

在记录和处理数据时，将原始数据列成表格形式，既有条不紊，又简明扼要。它有助于表示出相关物理量之间的关系，便于随时对比、检查测量与运算结果是否合理，以减少或避免错误出现。同时，便于发现问题，有助于找出有关物理量之间规律性的联系，找出经验公式等，对于初学者而言，要设计出项目清楚、行列分明的表格来，虽不是很难，但需要不断地训练，逐渐形成良好的习惯。

数据在列表处理时，应该遵循下列原则：

（1）列入表格中的数据主要应是原始测量数据，在需要时也可以是基于原始数据获得的中间结果；将处理过程中的一些中间结果列入表中，可以从对比中发现是否有误，利于计算和分析。

（2）最好采用竖式表格记录实验数据，即按列记录不同待测量在不同次测量时的测量结果。其优点是容易看出在重复测量某一物理量时，发生变化的数位。

（3）各项目（纵或横）均应标明符号所代表的物理意义，并写明单位。单位或测量值的数量级要写在标题栏内，不要重复记在每个测量值的后面。

（4）表中数据要正确反映测量结果的有效数字。

（5）对于两个待测量间存在一定函数关系的数据表，则应按照自变量由小到大或由大到小的顺序排列。

（6）为了清楚地说明表格的意义，还应为表格加上名称及编号。

例如，在用伏安法测电池电动势和内阻的实验中，一位同学记录了6组数据（表1）。

**表1 电流*I*与电压*U*关系**

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| 实验序号 | *I*/A | *U*/V |
| 1 | 0.12 | 1.37 |
| 2 | 0.20 | 1.32 |
| 3 | 0.31 | 1.25 |
| 4 | 0.32 | 1.19 |
| 5 | 0.44 | 1.13 |
| 6 | 0.57 | 1.05 |

#### 2．作图法

在物理实验中，为了清晰、形象地看到物理量之间的对应关系，或方便地比较不同的物理特性，常用作图法来直观地显示，有时作直线拟合，有时还要作曲线拟合。

作图法是研究物理量之间变化规律的重要手段，也是物理实验课堂教学训练环节的基本内容之一。下面以图1为例介绍实验作图应遵守的规则。

图1

（1）作图用纸一般应采用标准坐标纸。取横坐标代表自变量，取纵坐标代表因变量。根据自变量（及因变量）的最低值与最高值，选取合适的作图标度比例，使图线能够大致占据整张坐标纸。坐标轴起点的取值视需要而定，其标度值不一定从零开始。每一坐标轴要标明物理量的名称及单位。

（2）坐标轴标度值的大小应能反映物理量的有效数字。相邻标度线间的量值变化应以不用计算便能确定各点的坐标为原则，通常只用1、2、5及其十进倍率进行分度，一般不用3、7等进行分度。

（3）用“＋”或“⨀”等符号来表示测量的数据点，使与数据对应的坐标点准确地落在符号的中心。在同一坐标系内作多条曲线时，不同的数据组应使用不同的符号来表示数据点，并在图中适当位置说明不同符号的意义。

（4）根据数据点的分布情况，用直尺或曲线板连成光滑的直线或曲线，井使数据点匀称分布在拟合图线的两侧。数据点符号和图线务必粗细合适且清晰分明。

（5）在作图纸上合适的地方写上实验名称、图名、实验者姓名、日期。一般应使用铅笔作图，便于在必要时进行修改。

利用已经作好的图线，可以求得待测量或得出经验方程（公式）。如当图线为直线时，可以在图线上求出斜率和截距，进而得出相应的线性方程。在利用所作出的直线求斜率时，所取点的位置应靠近直线的两端（即选点的间距尽量大些），以减小计算误差，为计算方便起见，可选取横坐标为整数。取点的符号应有别于测量数据点的符号，如可以用“△”，并在其旁标出其坐标值。

以上规则是针对手工作图的，也可以借助计算机用制图软件作图，此时有些规则（如数据点在符号的中心，线条匀、细、光滑，书写端正等）是自动满足的。虽然计算机可以任意取比例，使曲线（或直线）占满图纸，但相邻标度线间的量值变化仍应取1、2、5及其十进倍率等为佳，因为只有这样，才方便使用者读图。

通过作图得到两个物理量间关系的图线后，可做进一步处理。

若在直角坐标纸上得到的图线为直线，并设直线的方程为*y* = *kx* + *b*，可用如下步骤求直线的斜率、截距和线性关系式。

①在直线上选两点A（*x*1，*y*1）和B（*x*2，*y*2）。为了减小误差，A、B两点应相隔远一些，但仍要在实验范围之内，并且A、B两点一般不选实验点。用与表示实验点不同的符号将A、B两点在直线上标出，并在旁边标明其坐标值。

②将A、B两点的坐标值分别代入直线方程*y* = *kx* + *b*，可解得斜率

*k* =

③如果横坐标的起点为零，则直线的截距可从图中直接读出；如果横坐标的起点不为零，则可用下式计算直线的截距：

*b* =

④将求得的k、b的数值代入方程*y* = *kx* + *b*中，就得到线性关系式。

在实际测量中，许多物理量之间的关系并不都是线性的，通常不能根据曲线的形状直接判断物理量之间的函数关系，但可以通过适当的方法把曲线变换成直线。把曲线转化为直线不仅仅是为了容易描绘，更重要的是可以利用直线的斜率和截距得到所需要的实验结果。

例如，玻意耳定律*pV* = *C*，式中*C*为常量，可变换成*p* = ，*p*是的线性函数，斜率为*C*；匀变速直线运动的位移*x* = *v*0*t* + *at*2，式中*v*0，*a*为常量，可变换成 = ·*t* + *v*0，为*t*的线性函数，斜率为，截距为*v*0。

常见函数关系的处理方法如下：

*y*2 = 2*px*，式中*p*为常量，可变换成*y* = ±$x^{\frac{1}{2}}$，*y*为$x^{\frac{1}{2}}$的线性函数，斜率为±。

*y* = *abx*，式中*a*，*b*为常量，可变换成lg *y* = （lg *b*）*x* + lg *a*，lg *y*为*x*的线性函数，斜率为lg *b*，截距为lg *a*。

*y* = *axb*，式中*a*，*b*为常量，可变换成lg *y* = *b*lg *x* + lg *a*，lg *y*为lg *x*的线性函数，斜率为*b*，截距为lg *a*。

*y* = ，式中*a*，*b*为常量，可变换成 = *a*· + *b*，为 的线性函数，斜率为*a*，截距为*b*。