

物理化学实验

首都师范大学化学系
物理化学实验教学研究组 编著

首都师范大学出版社

前 言

物理化学实验课程是理科化学专业本科教学的一门重要的基础实验课程。物理化学实验课程是在学习物理化学基本理论的基础上,训练、培养学生运用物理方法及相关的仪器进行实验的一门学科,目的在于学习、掌握科学实验的方法,培养科学的思维方法和分析问题、解决问题的能力。

近几年来,我们在物理化学实验课程的教学一直探索、积累,试图对传统的物理化学实验课程的教学方法进行改革,尝试在压缩课时的同时丰富教学内容。本书作为我们工作的总结奉献给读者。

一个完整的物理化学实验教学内容,包括实验的基本原理,实验技术、技能的运用,对所使用的实验仪器的基本构造、原理、安全维护的了解,以及数据的采集、记录、处理、分析等等。物理化学实验使用的仪器较多,如何使学生在实验预习阶段就对即将使用的实验仪器的基本构造有所了解,掌握各部分仪器之间正确的组装方法,是安全、有效地进行实验的前提。在以往传统的物理化学实验教学中,只能利用挂图、模型或现场对仪器进行实物操作、演示等手段进行讲解。但这种方法由于时间和空间的限制有很大的局限性,难以使学生对实验中所用仪器的动态使用方法有所了解。

20世纪90年代,随着微机技术的发展而出现的多媒体技术给我们改革物理化学实验教学的实践提供了契机。利用多媒体的技术平台,将文本、图片、语音、动画有机的组合起来,对物理化学实验中的有关问题用适当的多媒体手段予以表达。尤其是动画和语音的结合,能形象地向学生介绍实验的步骤,仪器的构造、原理、配置、组装及安全正确的操作技能、技巧。

基于以上考虑,近几年以来,在具有多年物理化学实验教学经验教师的指导下,我们共制作完成了5个基本技术实验和20个物理化学基础实验多媒体教学课件,并编写了与之配套的《物理化学实验》(多媒体版)教材。

本教材实验内容包括两部分:基本技术实验和基础实验。

物理化学基本技术实验内容包括 5 个实验，但考虑到各院校在这部分内容的教学安排上差异较大，普适性不强，所以该部分的多媒体课件没有纳入随书所附的光盘中，只在教材文本中做了介绍。

物理化学基础实验部分为 20 个实验。这部分包括：热力学实验 7 个；电化学实验 5 个；动力学实验 3 个；胶体化学和表面化学实验 3 个；物质结构实验 2 个。上述实验的多媒体课件辑录于一张光盘，与实验讲义组成一套完整的多媒体物理化学实验教材。

本教材（多媒体版）的主要适用对象是高等师范和综合性大学化学系学生。物理化学实验课程的教师也可以将其作为教学参考。考虑到我国各高校物理化学实验设备的现状，本教材中所使用的仪器的型号大多为普及程度较高的型号，以使本教材能适用于更多的院校。

本套物理化学实验多媒体教材的编写与制作历时六年，几经修改。其中，李大印老师负责编写制作了实验十一、实验十五、实验二十一、实验二十二、实验二十三等实验及课件；邸静老师负责编写制作了实验八、实验十、实验十七、实验十八、实验十九等实验及课件；马洁老师负责编写制作了实验七、实验九、实验十三、实验十四、实验十六等实验及课件；萧岭梅老师负责编写制作了实验六、实验十二、实验二十、实验二十四、实验二十五等实验及课件；初一鸣老师在文稿的编辑、图表的绘制中做了大量工作；屠淑洁老师负责完成了文稿的校对、整理等工作。

本教材在编写及多媒体教学课件的制作过程中得到了广大师生的支持与帮助。在本书了行之际特此鸣谢：首都师范大学教务处和条件装备处的大力支持。赵振丰、张述、李犇以及所有参与“物理化学实验多媒体课件小组”的同学，均为本书的多媒体部分的制作作出了巨大的贡献，他们年轻活跃的思维与精湛的编程技术使本书增色不少。

能将这部有特色、有创意的教材奉献给读者是上述同志、同仁、同学共同努力的结果。

首都师范大学化学系物理化学实验教学研究组

2006 年 12 月

目 录

第 I 部分 绪论	1
一 物理化学实验的目的、地位和作用	1
二 物理化学实验的总体要求	2
第 II 部分 误差理论	4
一 实验测量误差	4
二 实验数据表达	10
第 III 部分 实验	14
A. 基本技术实验	14
实验一 水银—玻璃温度计的校正	14
实验二 贝克曼温度计的调节和使用	17
实验三 热电偶温度计	20
实验四 恒温水浴的组装及其性能测试	23
实验五 液体密度的测定	25
B. 热力学	30
实验六 溶解热的测定	30
实验七 纯液体饱和蒸气压的测量	35
实验八 凝固点降低法测定摩尔质量	39
实验九 双液系的气—液平衡相图	44
实验十 碘和碘离子反应平衡常数的测定	49
实验十一 分光光度法测定弱电解质的电离常数	53
实验十二 差热分析	60
C. 电化学	66
实验十三 电导法测定弱电解质的电离常数	66
实验十四 原电池电动势的测定	72
实验十五 电势—pH 曲线的测定	78
实验十六 线性电势扫描法测定镍在硫酸中的钝化行为	85
实验十七 循环伏安法研究亚铁氰化钾的电化学行为	89

D. 动力学	92
实验十八 旋光法测定蔗糖转化反应的速率常数	92
实验十九 电导法测定乙酸乙酯皂化反应的速率常数	97
实验二十 丙酮碘化反应的速率方程	102
E. 胶体化学和表面化学	107
实验二十一 最大泡压法测定溶液的表面张力	107
实验二十二 溶液吸附法测定固体比表面积	113
实验二十三 静态重量法测定固体比表面积	117
F. 物质结构	121
实验二十四 络合物的磁化率测定	121
实验二十五 X 射线粉末衍射图的测定	127
第Ⅳ部分 物理化学实验常用数据表	133

第 I 部分 绪论

物理化学实验是大学本科的一门重要的基础实验课程,是继无机化学实验、有机化学实验、分析化学实验之后的一门重要基础实验课程。该实验课程的主要目的是使学生在学习了基础物理化学理论的基础上,通过实验了解相关物理化学的研究方法,掌握物理化学实验的基本技能、技巧,了解相关仪器设备的性能及正确、安全的操作方法。学会对物理化学实验中实验条件的选择,实验现象的观察,实验仪器的配置、组装,实验数据的正确记录、归纳和分析,进而培养分析问题和解决问题的能力,培养严谨的学术作风。

一、物理化学实验的目的、地位和作用

1. 物理化学实验的目的

物理化学实验是化学实验学科的一个重要分支,它是借助于物理学的原理、技术和仪器,借助于数学运算工具来研究物质的物理性质、化学性质和化学反应规律的一门学科。

化学过程总是包含或伴有物理过程。例如化学反应时常伴有体积、压力的变化、热效应、电效应、光效应等;同时温度、压力、浓度的变化、光的照射、电磁场等物理因素的作用也都可能引起化学变化或影响化学变化的进行。另一方面,分子中电子的运动、原子的转动、振动,分子中原子相互间的作用力等微观物理运动形态,则直接决定了物质的性质及化学反应能力。物理化学实验就是从物质的物理现象和化学现象的联系入手来探求化学变化基本规律的一门学科,在实验方法上也主要是采用物理学中的方法。

2. 物理化学实验的地位和作用

物理化学实验是继无机化学实验、分析化学实验、有机化学实验之后,在学生进入专业课程学习和做毕业论文之前的一门基础实验课程。这一特定的地位,使它起着承前启后的桥梁作用。所谓承前就是使学生在学习了先行教材中大量的感性认识

的实验材料之后,需要在认识上有个飞跃,上升到理性认识的高度;所谓启后就是进一步严格的、定量的实验,研究物质的物理性质、化学性质和化学反应规律。使学生即具备坚实的实验基础,又要具有初步的科研能力,实现学生由学习知识、技能到进行科学研究的初步转变。

3. 物理化学实验的特点

物理化学实验既是主要使用精密仪器进行实验的一门实践性很强的课程,又是重演“发现”化学反应基本规律的一门理论性很强的课程。因而它不仅要求学生会动手组装和正确使用实验装置和仪器,而且要求学生能设计实验并对实验结果做出正确的处理。它不仅培养学生会做精密实验的本领,而且培养学生会对实验数据进行处理,对实验结果进行分析和讨论的能力。本课程的这一特点,不但决定了学生在学习中培养较强的动手能力和综合分析的思维能力,而且可以起到与日后从事科学研究、发表科研论文的接轨作用。

二、物理化学实验的总体要求

物理化学实验要求以智能开发、能力培养为核心。具体地说就是物理化学实验教学在重视知识、技能学习的同时,更要重视研究能力的培养。

1. 实验预习

(1) 实验课之前,结合实验教材中附带的课件,自行预习。要认真阅读实验内容,仔细了解实验目的和要求,熟悉所用仪器的性能和操作方法。

(2) 写出预习报告。主要包括测量所依据的实验原理、实验操作步骤、做好实验的注意事项。拟定好实验数据记录格式。

(3) 教师检查预习报告。没有预习报告者,不得进行实验。

2. 实验操作

(1) 先做好各种准备工作,记录实验条件,如室温、大气压等。

(2) 实验开始后,要仔细观察实验现象,严格控制实验条件,详细记录实验数据。

(3) 要有良好的实验作风和严谨的科学态度。做到仪器摆放合理,实验台清洁整齐,实验操作有条有理,数据记录一丝不

苟;还要积极思维,善于发现和解决实验中出现的各种问题。出现异常情况时应及时与指导教师讨论解决。

(4) 实验结束后,原始实验数据交指导教师审查,经签字同意后,方可拆除实验装置、洗净仪器,整理好各自实验台面。

(5) 实验结束后,值日生要认真负责,将实验室打扫干净后方可离开。

3. 实验报告

(1) 及时对实验数据进行处理,写出实验报告。报告要求独立完成。

(2) 注意如下几点:数据记录精度能否反映出测量精度;数学运算是否符合有效数字运算规则;图表是否符合要求;实验结果是否在允许的误差范围内。达不到要求者,必须重做。

(3) 表头部分要逐项填写。书面整洁,字迹工整,不得涂改。

(4) 认真完成实验讨论内容并对实验中出现的问题进行分析。

第 II 部分 误差理论

物理化学实验中的误差及数据的表达

一、实验测量误差

在实验中,任何一种测量结果总是不可避免地会有一定的误差(或者说偏差)。为了得到合理的结果,要求实验工作者运用误差的概念,将所得到的数据进行不确定计算,正确表达测量结果的可靠程度。另一方面,可根据误差分析去选择最合适的仪器,或对实验方法进行改进。下面介绍有关误差及不确定度的一些概念。

1. 误差的分类

误差按其性质可分为三种:

1.1 系统误差(恒定误差)

系统误差是指在相同条件下,多次测量同一物理量时,所得结果的平均值与被测量的真值之差。系统误差的特点是误差的绝对值和符号保持恒定,或在条件改变时,按某一确定规律变化的误差。产生的原因有:

- (1)实验方法。例如使用了近似公式。
- (2)仪器、药品。如仪器零点偏差,药品纯度不高等。
- (3)操作者的习惯。如观察视线偏高或偏低。

改变实验条件可以发现系统误差的存在,针对产生原因可采取措施将其消除。

1.2 偶然误差(随机误差)

随机误差是指测量结果与在相同实验条件下多次测量同一物理量所得结果的平均值之差。其特点是误差的绝对值时大时小,符号时正时负,它在实验中总是存在,无法完全避免。但随测量次数的增加,其误差可以减小,即具有抵偿性。它产生的原因并不确定,一般是由环境条件的改变(如大气压、温度的波

动), 操作者感官分辨能力的限制(例如对仪器最小分度以内的读数难以读准确等)所致。

1.3 过失误差(粗差)

这是一种因操作者的错误而产生的误差, 其结果明显歪曲实验结果, 它无规律可循。只要加强责任心, 此类误差可以避免。发现有此种误差产生, 所得数据应予以剔除(此类误差是不应该发生的, 所以在误差理论中不讨论此类误差)。

2. 测量的准确度与测量的精密度

准确度是指测量结果的准确性, 即测量结果偏离真值的程度。(真值是指用已消除系统误差的实验手段和方法, 进行足够多次的测量所得的算术平均值或者文献手册中的公认值。)

精密度是指测量结果的可重复性及测量值有效数字的位数。因此测量的准确度和精密度是有区别的, 高精密度不一定能保证有高准确度, 但高准确度必须有高精密度来保证。

3. 误差的表达方法

3.1 误差一般用以下三种方法表达:

(1) 平均误差 $\delta = \frac{\sum |d_i|}{n}$

其中 d_i 为测量值 x_i 与算术平均值 $\bar{x}$ 之差, n 为测量次数, 且 $\bar{x} = \frac{\sum x_i}{n}$, $i=1, 2, \dots, n$ 。

(2) 标准误差(均方根误差) $\sigma = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}{n-1}}$

(3) 或然误差 $P = 0.675\sigma$

平均误差的优点是计算简便, 但用这种误差表示时, 可能会把质量不高的测量掩盖住。标准误差对一组测量中的较大误差或较小误差感觉比较灵敏, 因此它是表示精密度的较好方法, 在近代科学中多采用标准误差。

3.2 为了表达测量的精密度, 又分为绝对误差、相对误差两种表达方法。

(1) 绝对误差 它表示了测量值与真值的接近程度, 即测量的准确度。其表示法为 $\bar{x} \pm \delta$ 或 $\bar{x} \pm \sigma$, 其中 δ 和 σ 分别为平均误差和标准误差, 一般以一位数字(最多两位)表示。

(2) 相对误差 它表示测量值的精密度, 即各次测量值相互

靠近的程度。其表示法为：

$$\text{平均相对误差} = \pm \frac{\delta}{\bar{x}} \times 100\%$$

$$\text{标准相对误差} = \pm \frac{\sigma}{\bar{x}} \times 100\%$$

例：用阿贝折光仪测定水的折光率 15 次，得到 n_D^{20} 数据如下：

1.33293	1.33296	1.33293
1.33295	1.33293	1.33295
1.33291	1.33293	1.33292
1.33294	1.33290	1.33294
1.33292	1.33289	1.33296

由于手册查得 20℃ 时水的折光率文献值为 1.33296，试判别测量的精密度（用平均偏差表示）和准确度，并分析测量的系统误差。

首先应计算折光率的算术平均值：

$$\bar{x} = \frac{\sum_{i=1}^{15} x_i}{15} = \frac{1.33293 + 1.33296 + 1.33293 + \cdots}{15} = 1.33293$$

$$\begin{aligned} \delta &= \frac{\sum |x_i - \bar{x}|}{15} \\ &= \frac{|1.33293 - 1.33293| + |1.33296 - 1.33293| + |1.33293 - 1.33293| + \cdots}{15} \\ &= 0.00002 \end{aligned}$$

$$\text{平均相对误差} = \frac{0.000015}{1.33293} \times 100\% = 0.0011$$

$$\begin{aligned} \sigma &= \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{15} (x_i - \bar{x})^2}{15 - 1}} \\ &= \sqrt{\frac{(1.33293 - 1.33293)^2 + (1.33296 - 1.33293)^2 + (1.33293 - 1.33293)^2 + \cdots}{14}} \\ &= 0.00007 \end{aligned}$$

如果没有系统误差，理论值应在 $\bar{x} \pm \delta$ 范围内，即 1.33293 ± 0.00002 范围内 (1.33291 ~ 1.33295)。实际理论值为 1.33296，超出误差范围，说明测量中存在系统误差。例题的计算说明：测量有一定的精密度，但准确度较差。

4. 如何提高测量结果的精密度和准确度

4.1 尽量消除或减小可能引进的系统误差。提高所用试

剂的纯度、改进测量方法、引进合适的仪器、对仪器进行校正。

4.2 减小测量过程的偶然误差。在相同的条件下,进行多次重复测量

4.3 置信界限和可疑数据的舍弃。

5. 偶然误差的统计规律和可疑值的舍弃

偶然误差符合正态分布规律,即正、负误差具有对称性。所以,只要测量次数足够多,在消除了系统误差的前提下,测量值的算术平均值趋近于真值

$$\lim_{n \rightarrow \infty} \bar{x} = x_{\text{真}}$$

但是,一般测量次数不可能有无限多次,所以一般测量值的算术平均值也不等于真值。于是人们又常把测量值与算术平均值之差称为偏差,常与误差混用。

如果以误差出现次数 N 对标准误差的数值 σ 作图,得一对称曲线(如图 II-1-1)。统计结果表明测量结果的偏差大于 3σ 的概率不大于 0.3%。因此根据小概率定理,凡误差大于 3σ 的点,均可以剔除。严格地说,这是指测量达到 100 次以上时方可如此处理。对于 10~15 次测量时,可用 2σ ,凡误差大于 2σ 的点,均可以剔除。若测量次数再少,应酌情递减。

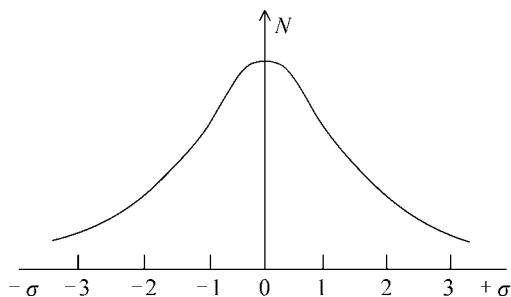


图 II-1-1 正态分布误差曲线

6. 误差的传递

测量分为直接测量和间接测量两种,一切经过直接测量出的物理量,如用米尺量物体的长度,用温度计测量体系的温度等,都称为直接测量。对于较复杂的,直接测得的量再经过数学运算而得到的结果,称为间接测量。例如在溶解热实验中,测得温度变化 ΔT 和样品重量 W ,代入公式

$$\Delta H_m = C \Delta T \frac{M}{W}$$

就可求出溶解热 ΔH_m ，从而使直接测量值 T 、 W 的误差传递给 ΔH_m 。

误差传递符合一定的基本公式。通过间接测量结果误差的求算，可以知道哪个直接测量值的误差对间接测量结果影响最大，从而可以有针对性地提高测量仪器的精度，获得好的结果。

设有函数 $y=F(x_1, x_2, x_3, \cdots)$ ，其中 $x_1, x_2 \cdots$ 为直接测量的量， y 为经过运算所要得到的物理量（间接测量结果）则

$$dy = \left(\frac{\partial y}{\partial x_1}\right)_{x_2, x_3, \cdots} dx_1 + \left(\frac{\partial y}{\partial x_2}\right)_{x_1, x_3, \cdots} dx_2 + \cdots$$

此为误差传递的基本公式。若 $\Delta y, \Delta x_1, \Delta x_2, \cdots$ 为 $y, x_1, x_2, \cdots$ 的测量误差，且设它们足够小，可以代替 $dy, dx_1, dx_2, \cdots$ 间接测量结果的平均误差和相对平均误差，依据不同的函数关系，得到具体的简单函数及其误差的计算公式，列入表 II -1-1。

表 II -1-1 部分函数的平均误差

函数关系	绝对误差 (Δy)	相对误差 ($\frac{\Delta y}{y}$)
$y=x_1+x_2$	$\pm (\Delta x_1 + \Delta x_2)$	$\pm \left(\frac{ \Delta x_1 + \Delta x_2 }{x_1 + x_2}\right)$
$y=x_1-x_2$	$\pm (\Delta x_1 + \Delta x_2)$	$\pm \left(\frac{ \Delta x_1 + \Delta x_2 }{x_1 - x_2}\right)$
$y=x_1 x_2$	$\pm (x_1 \Delta x_2 + x_2 \Delta x_1)$	$\pm \left(\frac{ \Delta x_1 }{x_1} + \frac{ \Delta x_2 }{x_2}\right)$
$y=x_1/x_2$	$\pm \left(\frac{x_1 \Delta x_2 + x_2 \Delta x_1 }{x_2^2}\right)$	$\pm \left(\frac{ \Delta x_1 }{x_1} + \frac{ \Delta x_2 }{x_2}\right)$
$y=x^n$	$\pm (n x^{n-1} \Delta x)$	$\pm \left(n \frac{ \Delta x }{x}\right)$
$y=\ln x$	$\pm \left(\frac{\Delta x}{x}\right)$	$\pm \left(\frac{ \Delta x }{x \ln x}\right)$

例：以环己烷为溶剂，用凝固点降低法测定萘的摩尔质量，按下式计算：

$$M_{\text{萘}} = k_f \frac{W_B}{\Delta T W_A}$$

式中： k_f 是环己烷的凝固点降低常数； W_B 是萘的质量； W_A 是溶剂环己烷的质量。

W_A 是通过量取环己烷的体积（吸量管的容量允差为 ± 0.02 mL），再依据环己烷在实验温度下的密度计算而得。其表达式为： $W_A = V_A \cdot \rho$ ； W_B 是用光电天平（称量允差为 ± 0.0002 g）直接

称量得到。 ΔT 是使用贝克曼温度计(测量允差为 $\pm 0.002^\circ\text{C}$)测得。

实验中实际测量值如下:

$$W_A = (25.00 \pm 0.02) \text{ mL} \quad W_B = (0.2945 \pm 0.0002) \text{ g}$$

$$T_f^* = (4.050 \pm 0.02) ^\circ\text{C}$$

$$T_f = (1.700 \pm 0.02) ^\circ\text{C} \quad \Delta T = T_f^* - T_f$$

由测量仪器所传递给间接测量结果的最大相对误差可用下式表示:

$$\begin{aligned} \frac{\Delta M_{\text{萘}}}{M_{\text{萘}}} &= \left| \frac{\Delta W_A}{W_A} \right| + \left| \frac{\Delta W_B}{W_B} \right| + \left| \frac{\Delta (\Delta T)}{\Delta T} \right| \\ &= \left| \frac{\Delta V_A}{V_A} \right| + \left| \frac{\Delta W_B}{W_B} \right| + \left| \frac{\Delta (\Delta T)}{\Delta T} \right| \\ &= \frac{0.02}{25.00} + \frac{0.0002}{0.2945} + \frac{0.002 + 0.002}{4.050 - 1.700} \\ &= 0.0008 + 0.0007 + 0.002 \\ &= 0.0035 (0.35\%) \end{aligned}$$

由各项仪器引进的相对误差数据可以看出,温度测量引进的误差最大。

$$\begin{aligned} \Delta M_{\text{萘}} &= k_f \frac{W_B}{\Delta T \cdot V_A \cdot \rho} \\ &= 20.0 \times \frac{0.2945}{(4.050 - 1.700) \times 25.00 \times 0.7705} \times 0.0035 \\ &= 0.1301 \text{ kg} \cdot \text{mol}^{-1} \times 0.0035 \\ &= 0.00046 \text{ kg} \cdot \text{mol}^{-1} \end{aligned}$$

最终结果为 $M_{\text{萘}} = (0.1301 \pm 0.0005) \text{ kg} \cdot \text{mol}^{-1}$ 。与文献值 $128.11 \text{ g} \cdot \text{mol}^{-1}$ 比较,可以认为实验存在系统误差。

7. 有效数字

当我们对一个测量的量进行记录时,所记数字的位数应与仪器的精密度相符合,即所记数字的最后一位为仪器最小刻度以内的估计值,称为可疑值,其他几位为准确值,这样一个数字称为有效数字,它的位数不可随意增减。在间接测量中,须通过一定公式将直接测量值进行运算,运算中对有效数字位数的取舍应遵循如下规则:

- (1) 误差一般只取一位有效数字,最多两位。
- (2) 有效数字的位数越多,数值的精确度也越大,相对误差

越小。

(3) 若第一位的数值等于或大于 8, 则有效数字的总位数可多算一位, 如 9.23 虽然只有三位, 但在运算时, 可以看作四位。

(4) 运算中舍弃过多不定数字时, 应用“4 舍 6 入, 逢 5 尾留双”的法则。

(5) 在加减运算中, 各数值小数点后所取的位数, 以其中小数点后位数最少者为准。

(6) 在乘除运算中, 各数保留的有效数字, 应以其中有效数字最少者为准。

(7) 在乘方或开方运算中, 结果可多保留一位。

(8) 对数运算时, 对数中的首数不是有效数字, 对数的尾数的位数, 应与各数值的有效数字相当。

(9) 算式中, 常数 π , e 及乘子 $\sqrt{2}$ 和某些取自手册的常数, 如阿佛伽德罗常数、普朗克常数等, 不受上述规则限制, 其位数按实际需要取舍。

二、实验数据表达

1. 实验数据的表示方法

物理化学实验数据的表示主要有三种方法: 列表法、作图法和数学方程式法。

1.1 列表法

将实验数据列成表格排列整齐, 使人一目了然, 这是数据处理中最简单的方法。列表时应注意以下几点:

(1) 表格要有名称。

(2) 每行(或列)的开头一栏都要列出物理量的名称和单位, 并把二者表示为相除的形式。因为物理量的符号本身是带有单位的, 除以它的单位, 即等于表中的纯数字。

(3) 数字要排列整齐, 小数点要对齐, 公共的乘方因子应写在开头一栏与物理量符号相乘的形式, 并为异号。

(4) 表格中表达的数据顺序为: 由左到右, 由自变量到因变量, 可以将原始数据和处理结果列在同一表中, 但应以一组数据为例, 在表格下面列出算式, 写出计算过程。

表 II -2-1 CO₂ 的平衡性质

$t/^{\circ}\text{C}$	T/K	$10^3\text{K}/T$	p/MPa	$\ln(p/\text{MPa})$	$V_{\text{m}}^{\text{g}}/\text{cm}^3\text{mol}^{-1}$	n
-56.60	216.5	4.6179	0.5180	-0.6578	3177.6	0.9142
0.00	273.15	3.6610	3.4853	1.2485	456.97	0.7013
31.04	304.19	3.2874	7.382	1.9990	94.060	0.2745

$$n = \frac{pV_{\text{m}}^{\text{g}}}{RT} = \frac{0.5180 \times 10^6 \text{ Pa} \times 3177.6 \times 10^{-6} \text{ m}^3 \cdot \text{mol}^{-1}}{8.314 \text{ J} \cdot \text{K}^{-1} \cdot \text{mol}^{-1} \times 216.5 \text{ K}} = 0.9142$$

1.2 作图法

作图法可更形象地表达出数据的特点,如极大值、极小值、拐点等,并可进一步用图解求积分、微分、外推、内插值。作图应注意如下几点:

- (1) 图要有图名。例如“ $\ln K_p - 1/T$ 图”,“ $V-t$ 图”等。
- (2) 作图必须使用坐标纸,并根据需要选用坐标纸种类:直角坐标纸、三角坐标纸、半对数坐标纸、对数坐标纸等。物理化学实验中一般用直角坐标纸,只有三组分相图使用三角坐标纸。
- (3) 在直角坐标中,一般以横轴代表自变量,纵轴代表因变量,在轴旁须注明变量的名称和单位(二者表示为相除的形式),10 的幂次以相乘的形式写在变量旁,并为异号。

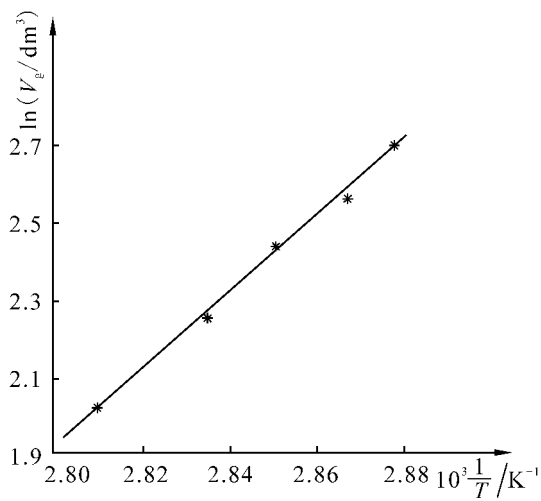


图 II -2-1 $\ln V_{\text{g}} - 1/T$ 图

- (4) 适当选择坐标分度值,以表达出全部有效数字为准,即最小的毫米格内表示有效数字的最后一位。每厘米格代表 1,2,

5 为宜,切忌 3,7,9。如果作直线,应正确选择坐标比例,使直线呈 45° 倾斜为好。

(5) 坐标原点不一定选在零,这样可以合理的使用坐标纸并使所作直线与曲线匀称地分布于图面中。在两条坐标轴上每隔 1cm 或 2cm 均匀地标上所代表的数值,而图中所描的各点具体坐标值不必标出。

(6) 描点时,应用细铅笔将所描的点准确而清晰地标在其位置上,可用 $\odot$ 、 $\triangle$ 、 $\square$ 、 $\times$ 等符号表示,符号总面积表示了实验数据误差的大小,所以不应超过 1mm 格。同一图中表示不同曲线时,要用不同的符号描点,以示区别。

(7) 作曲线要用曲线板,描出的曲线应平滑均匀且清晰;应使曲线尽量多地通过所描的点,但不要强行通过每一个点,对于不能通过的点,应使其等量地分布于曲线两边,且两边各点到曲线的距离之平方和要尽可能相等。

作图示例如图 II-2-1 所示。

1.3 数学方程式法(在此不做介绍)

2. 实验数据的处理

在物理化学实验中,很多实验结果是通过实验得到的图形进行图解而获得。用图解法表示实验数据,能直观地显示出所研究的变量的变化规律,还便于数据的分析比较,确定经验方程式中的常数等。其用途极为广泛,其中最重要的有:

(1) 表达变量间的定量关系

以自变量为横坐标,因变量为纵坐标,在坐标纸上标绘出数据点 (x_i, y_i) , 然后按照作图规则画出曲线,此曲线便可以表示出两变量间的定量关系。在曲线所示的范围内,可求对应于任何自变量数据的应变量数据。

(2) 在图中所示的曲线上可以直接求出极值或转折点。

(3) 求外推值

当需要的数据不能直接或不能测定时,在适当的条件下,常用作图外推法求得。所谓外推法,就是根据变量间的函数关系,将实验数据描述的图像延伸至测量范围以外,求得该函数的极限值。但必须指出,使用外推法必须满足以下三个条件:第一,外推的区间离实际测量区间不能太远;第二,外推的范围,必须满足直线关系;第三,外推所得结果不能违背正确的经验值。