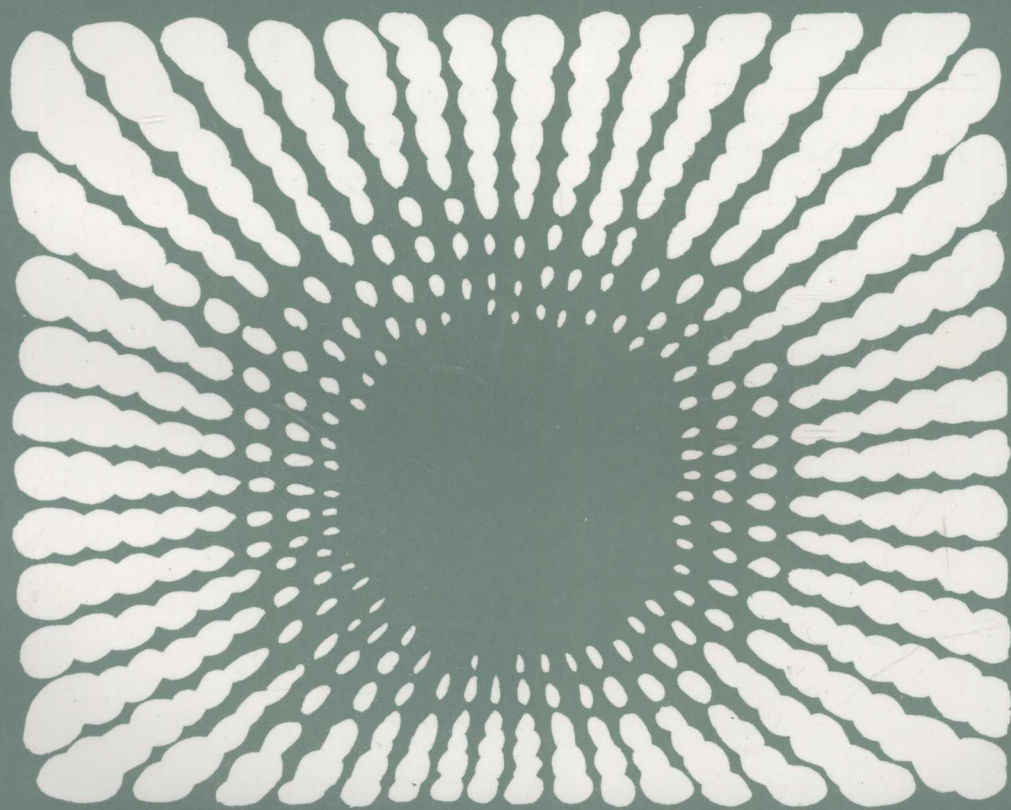


中等专业学校试用教材

# 物理化学及 硅酸盐物理化学实验

崔惠玲 编



武汉工业大学出版社

**(鄂)新登字 13 号**

**图书在版编目(CIP)数据**

物理化学及硅酸盐物理化学实验/崔惠玲编. —武汉:武汉工业大学出版社,1996.7重印  
ISBN 7-5629-0379-4

I. 物… II. 崔… III. 硅酸盐-物理化学-化学实验 IV. ①064②TQ170.1

**内 容 简 介**

本书是供中等专业学校硅酸盐工艺类专业使用的物理化学及硅酸盐物理化学实验用教材,它与《物理化学及硅酸盐物理化学》一书配合使用。

根据该门课程的要求及学生毕业后工作的实际需要,全书共选编了包括化学热力学、化学平衡、相平衡、表面现象和胶体化学、固相反应等方面内容的学生实验十二个。书中介绍了一些常见仪器设备的使用和部分实验技术以及物理化学及硅酸盐物理化学实验中常用的误差分析和测量结果的处理方法,明确了计算和绘图的要求。起到了培养训练学生基本实验技能、深化物理化学及硅酸盐物理化学基本概念、提高对所学知识灵活运用能力的作用。

本书还可供其它中专学校相关专业及职工培训参考选用。

武汉工业大学出版社出版发行

(武汉市洪山珞狮路 14 号 邮编 430070)

各地新华书店经销

武汉工业大学出版社印刷厂印刷

\*

开本:787×1092 1/16 印张:5.75 字数:130 千字

1991 年 7 月第一版 1997 年 7 月第三次印刷

印数:20001—30000

定价:5.00 元

(如有印装质量问题,请与承印厂调换)

## 前 言

本书是根据1988年5月在天津召开的全国建材中专教材编审委员会硅工基础组会议上修订的《物理化学及硅酸盐物理化学》教学大纲而编写的。本书与姜进义主编的《物理化学与硅酸盐物理化学》一书配套使用。

《物理化学及硅酸盐物理化学》是建材类各工艺专业必不可少的专业基础课之一,作为该门课的实验教材旨在对学生进行一些基本技能的训练和培养,并加深对物理化学、硅酸盐物理化学基本理论和重要概念的理解,将其所学知识转化为技能,从而增强学生解决实际问题的能力。

本书共编选了十二个实验,概括了物化及硅物化教材中的八个主要章节的内容。各校可根据具体情况,选做其中五个即可完成大纲要求。

全书由绪论、实验部分、仪器的原理与使用及附录等四部分组成,每个实验的编写均按实验目的、实验原理、仪器与药品、实验步骤、数据处理及要求、操作注意事项、实验前考题、实验后思考题等层次编写,以期学生在教师指导下独立地进行实验,并获得实验技能的初步训练。各实验中提出的误差要求,各校可根据具体情况予以修正,不必强求一致。

本书可供建材中专学校硅工类各专业使用,其它学校学生、职工培训和从事化学实验的人员也可参考选用。

本书由天津建材工业学校崔惠玲编写,北京建材工业学校高级讲师姜进义及天津经济技术开发区嘉泰陶瓷工业有限公司高级工程师丁颂嘉主审。

由于编者水平有限,在实验内容编选的深度、广度、文字叙述等方面的缺点和错误在所难免,恳请广大师生和读者批评指正。

编 者

1990年3月

# 目 录

## 绪 论

一、实验目的与要求 .....	1
二、测量误差与数据处理 .....	2

## 实验部分

实验一 恒温槽的调节及粘度的测定 .....	11
实验二 反应热效应的测定 .....	17
实验三 流体饱和蒸气压的测定 .....	23
实验四 二元合金相图 .....	27
实验五 差热分析 .....	30
实验六 流体表面张力的测定 .....	35
实验七 粘土泥浆 $\zeta$ -电位的测定 .....	39
实验八 沉降分析 .....	42
实验九 胶体的聚沉 .....	47
实验十 固态物质间的反应转化率测定 .....	50
实验十一 燃烧热的测定 .....	52
实验十二 碳酸钙分解压的测定 .....	56

## 仪器的原理与使用

一、福廷式气压计的构造与使用 .....	61
二、水银温度计的种类与校正 .....	62
三、贝克曼温度计的特点与调节方法 .....	64
四、热电偶温度计的原理与校正 .....	66
五、电位差计的原理与使用 .....	68
六、自动平衡记录仪的原理与使用 .....	70
七、差热分析仪的基本原理与使用 .....	72
八、机械真空泵的构造与使用 .....	75

## 附 录

一、实验室安全常识 .....	77
二、部分物理化学常数 .....	79
三、常用数据表 .....	80
1. 水的饱和蒸气压 .....	80
2. 乙醇的饱和蒸气压 .....	81
3. 汞的蒸气压 .....	81
4. 不同温度下液体的密度 .....	82

5. 几种液体的粘度 .....	83
6. 水和空气界面上的表面张力 .....	83
7. 乙醇和空气界面上的表面张力 .....	84
8. 不同温度下 1mol 氯化钾溶于 200mol 水中的积分溶解热 .....	84
9. 盐酸密度与质量分数的关系 .....	84
10. 热电偶在不同温度下的电动势 .....	85

# 绪 论

## 一、实验目的与要求

物理化学及硅酸盐物理化学实验是建材类硅工专业中专学生继无机化学、物理和分析化学等实验之后必须进行的一门基础实验课。它以测量物系的物理量为基本内容,对所测得的实验数据进行科学处理,从而得到物系的物理化学性质与化学反应之间的某些重要规律。物化及硅物化实验对今后进行的各专业课实验和培养学生的独立工作能力有很大关系,学生必须认真做好每一个实验。

### (一)物化及硅物化实验的目的

1. 通过实验中对各种基本仪器的使用,使学生掌握科学实验的基本方法及技能,并培养学生具有观察实验现象、正确记录数据和处理数据,以及分析问题和解决问题的能力。

2. 验证所学的理论,巩固、加深对物化及硅物化原理的理解,提高学生对所学知识灵活运用能力。

3. 培养严肃认真、实事求是的科学态度和作风。

### (二)物化与硅物化实验的要求

#### 1. 实验前的预习

学生应事先认真仔细阅读实验内容,了解实验的目的要求,熟悉仪器设备和操作步骤,在此基础上写出预习报告,报告包括实验所依据的简明原理和实验技术、实验操作的计划、做好实验的注意点、数据记录的格式以及预习中产生的疑难问题等。教师应检查学生的预习情况,进行必要的提问,并解答疑难问题。学生达到预习要求后才能进行实验。

#### 2. 实验过程

(1) 进入实验室后,按编号到指定的实验台,先按仪器使用登记本核对仪器。

(2) 不了解仪器使用方法时,不得乱试;不得擅自拆卸仪器。实验装置安装好后,必须经过教师检查无误后,方能进行实验。遇有仪器损坏,应立即报告,检查原因,并登记损坏情况。

(3) 严格按照实验操作步骤进行实验,不得随意改动。实验中应严格遵守各项规章制度,遵守教师提出的安全事项。

(4) 实验过程中要有严谨的科学态度,仔细地观察现象、记录数据,分析和思考问题。

(5) 记录数据要求完全、准确、整齐、清楚。尽量采用表格形式记录数据,所有数据应记在记录本上,不得将数据记在纸片上,不要只拣好的记,不得拼凑实验数据。注意养成良好的记录习惯。

(6) 实验完毕,应将数据交教师审查合格后,再拆实验装置;如不合格需补做或重做。

(7) 整理好仪器,在仪器使用登记本上写明仪器使用情况并签名,经教师检查后方可离开实验室。

#### 3. 实验数据的处理和实验报告的写作

(1)搞清数据处理的原理、方法、步骤及数据应用的单位,仔细地进行计算,正确表达数据结果。实验数据尽可能采用表格形式,如需作图必须用坐标纸。数据处理和作图的要求应按“误差及数据处理”中各项规定进行。处理实验数据应个人单独进行。

(2)认真填写实验报告,内容可分:目的、简单原理、仪器装置示意图、实验数据、结果处理、作图、习题及讨论等项(实验报告的格式见附录)。讨论内容包括:对实验过程中特殊现象的分析和解释、实验结果的误差原因分析、对实验进一步改进的意见和想法以及实验后的心得、体会等。

实验报告是整个实验中的一项重要工作。要求学生开动脑筋、钻研问题、仔细计算、认真写作。

教师对每一个实验,应根据实验所用的仪器、数据及具体操作条件,提出实验结果误差允许范围,学生实验结果如达不到此要求,则该实验必须重作。

附: 物理化学及硅酸盐物理化学实验报告 (示例)

实验名称 \_\_\_\_\_ 班级 \_\_\_\_\_  
实验报告人 \_\_\_\_\_ 同组人 \_\_\_\_\_  
实验日期 \_\_\_\_\_ 室温 \_\_\_\_\_ 大气压 \_\_\_\_\_  
指导教师 \_\_\_\_\_ 评分 \_\_\_\_\_

一、实验目的 } (此两项建议限制在 200 字左右)  
二、实验原理 }

三、实验步骤

1. 主要仪器、药品(实验装置简图)
2. 简述重要实验方法及步骤

四、数据记录及处理

五、实验结果讨论

六、习题

## 二、测量误差与数据处理

### (一)测量的准确度与精密度

在物化与硅物化实验中,由于仪器与感觉器官的限制,反复测定某一物理量的结果总有差异而不可能完全相同。我们把测量值与真实值接近的程度称为准确度,两者越接近则准确度越高。测量的重复性好坏和所测数据有效数字的位数多少称为精密度。重复性越好,有效数字的位数越多则表示测量进行得越精密。一个物理量的真实值往往是不知道的,为了求得真实值,在科学实验中是这样定义的:设测量次数为无限多,根据误差分布定律正负误差出现的几率相等,将各测得值相加,再取平均值,在无系统误差情况下,可得到极近似于真实值的数值。所以真实值是指测量次数无限多时求得的平均值。但我们在实验中测得的次数是有限的,用有限测量次数求出的平均值,只能是近似真实值。若测量值与平均值相差不大,则是一个精密的测量。一个精密的测量不一定是准确的测量,而一个准确的测量必定是精密的测量。一个准确的测量不仅要求有适当的仪器,更重要的是要求正确进行操作。所以科学实验是培养严肃、认真的科学态度的课堂。

## (二) 误差的分类及起因

在任何一类测量中,都存在着误差。一般测量误差可分为系统误差和偶然误差两类。

### 1. 系统误差

系统误差又称恒定误差。它是由于测量过程中某些经常性原因所造成的,它对测定结果的影响比较固定,且总是偏向于某一方,即总是偏大或偏小。系统误差产生的因素有:

(1) 仪器的误差:由于仪器不准确引起的,如刻度不准、仪器漏气、指示的数量不够正确、天平的砝码不准等等。

(2) 试剂引起的误差:由于试剂中含有其它杂质所引入的误差。

(3) 计算的误差:这是受所用公式条件限制或由于实验理论探讨不够充分或未考虑到影响结果的全部因素所致。

(4) 测量者个人习惯性的误差:这是因为测量者的操作不正确引起的。例如在观察有视差的指针时,老是把头偏向一边,从而引起误差。

从系统误差形成的主要原因可以看出,采取校正仪器、改进实验方法、制定标准操作规程等方法,可使这类误差减小到可以忽略的程度。

### 2. 偶然误差

这类误差是由于实验条件的波动和测定者对数据每次判断的不一致所造成的。例如恒温槽温度的波动,使得所测物系的温度可能在这个范围内的任意值上;在估计仪器上最小分度的分数时,因测定者一时辨别的差异使几次读数不一致。

偶然误差在实验中是不可避免的,这正是同一物理量的多次测量结果总有差异的基本原因。

偶然误差的大小和正负都不一定,但是当测量次数很多时,便可发现它一般服从正态分布规律(见图 1),可采用多次测量取平均值的办法来消除,而且测量次数越多(在没有系统误差存在的情况下),平均值就越接近于真实值。

除了上述两类误差之外,还有所谓“过失误差”。这种误差是由于实验者犯了某种不应犯的的错误所引起的,如标度看错、记录写错等。这种错误在测量中应尽力避免。

实验前后了解误差的起因和性质并进行误差分析,对提高实验质量是有帮助的。首先可以帮助我们抓住提高实验质量的关键,集中精力在实验的难点上;其次可以帮助我们选择最合适的实验方法、最合适的仪器精密度和量程;第三可以发现误差的主要来源,提出改进方法。

## (三) 误差的表示法

### 1. 算术平均值 $\bar{x}$

$$\bar{x} = \frac{x_1 + x_2 + x_3 + \cdots + x_n}{n}$$

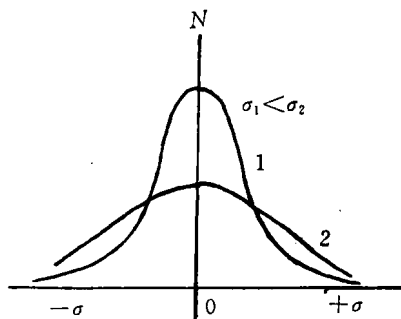


图 1 偶然误差分布曲线

$N$ —偶然误差出现次数;

$\sigma$ —偶然误差



式中： $x_1, x_2 \dots x_n$  为测量值， $n$  为测量次数。

## 2. 平均误差

$$\delta = \frac{\sum |d_i|}{n}$$

式中： $d_i$  为测量值与平均值  $\bar{x}$  的偏差：

$$d_1 = x_1 - \bar{x}, d_2 = x_2 - \bar{x}, \dots, d_n = x_n - \bar{x}$$

## 3. 标准误差

标准误差又称均方根误差，其定义为：

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum d_i^2}{n-1}}$$

式中： $\sum d_i^2 = (x_1 - \bar{x})^2 + (x_2 - \bar{x})^2 + \dots + (x_n - \bar{x})^2$

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和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。

测量结果的精密度可表示为：

$$\bar{x} \pm \sigma \quad \text{或} \quad \bar{x} \pm \delta$$

$\sigma, \delta$  越小，表示测量的精密度越高。也可用相对误差来表示：

$$\sigma_{\text{相对}} = \frac{\sigma}{\bar{x}} \times 100\% \quad \text{或} \quad \delta_{\text{相对}} = \frac{\delta}{\bar{x}} \times 100\%$$

测量结果表示为：

$$\bar{x} \pm \sigma_{\text{相对}} \quad \text{或} \quad \bar{x} \pm \delta_{\text{相对}}$$

### (四) 可靠值与可靠程度的估计

一般在物化及硅物化实验中，我们不可能做到无限多次测量，而总是有限次的。假定系统误差已消除，只存在偶然误差，那么得到的算术平均值是测量结果的最佳值，它比各次观测值更接近于真实值，所以又称它为可靠值。显然，可靠值并不完全等于真实值，故我们还希望知道这个可靠值的可靠程度如何。当然，我们可以通过计算平均误差  $\delta$  与标准误差  $\sigma$  来得到，但对只进行一二次测量的物理量，其各直接观测值的可靠程度可通过预先了解其最大误差范围来确定。当系统误差已被消除，操作步骤又相当精密时，通常可用仪器的精密度来表示测量误差范围。

下面是物化及硅物化实验中常用仪器的估计精密度：

#### 1. 容量仪器(用平均误差表示)

(1) 移液管	一等	二等
25ml	$\pm 0.04\text{ml}$	$\pm 0.1\text{ml}$
10ml	$\pm 0.02\text{ml}$	$\pm 0.04\text{ml}$
5ml	$\pm 0.01\text{ml}$	$\pm 0.03\text{ml}$
2ml	$\pm 0.006\text{ml}$	$\pm 0.015\text{ml}$
(2) 容量瓶	一等	二等
1000ml	$\pm 0.30\text{ml}$	$\pm 0.60\text{ml}$
500ml	$\pm 0.15\text{ml}$	$\pm 0.30\text{ml}$
250ml	$\pm 0.10\text{ml}$	$\pm 0.20\text{ml}$
100ml	$\pm 0.10\text{ml}$	$\pm 0.20\text{ml}$
50ml	$\pm 0.05\text{ml}$	$\pm 0.10\text{ml}$
2. 质量仪器	一等	二等
(1) 分析天平	$\pm 0.0001\text{g}$	$\pm 0.0004\text{g}$
(2) 工业天平		$\pm 0.001\text{g}$
(3) 台秤	称量 1kg	称量 100g
	$\pm 0.1\text{g}$	$\pm 0.01\text{g}$

### 3. 温度计

一般取最小读数值的  $1/10$  (也有采用  $1/5$ ) 作为其精密度。例如普通温度计, 其精密度可估计为  $\pm 0.1^\circ\text{C}$  (或  $\pm 0.2^\circ\text{C}$ )。

### 4. 电表

新的电表, 可按其说明书中所述精密度来估计, 例如 1.0 级电表的精密度为其最大量程的 1%; 0.5 级电表的精密度为其最大量程的 0.5%。电表新旧程度对电表精密度的影响十分显著, 因此, 其精密度最好每次测量时测定。

#### (五) 测量结果的正确记录与有效数字

测量的误差与正确记录测量结果密切相关。由于测量的物理量或多或少都有误差, 那么一个物理量的数值和数学上的数值就有着不同的意义。例如:

数学上  $26.7 = 26.70000\dots$

物理上  $(26.7 \pm 0.1)^\circ\text{C} \neq (26.70 \pm 0.01)^\circ\text{C}$

因为物理量的数值不仅能反映出量的大小、数据的可靠程度, 而且还反映了仪器的精密度和实验方法。如  $(26.7 \pm 0.1)^\circ\text{C}$  可用普通温度计测量, 而  $(26.70 \pm 0.01)^\circ\text{C}$  就得用更精密的温度计才能测量。因此物理量的每一位都是有实际意义的。有效数字的位数就指明了测量精确的程度, 它包括测量中可靠的几位和最后估计的一位数。

现将与有效数字有关的概念和规则综述如下:

1. 有效数字的位数与十进制单位的变换无关, 与小数点的位置无关。“0”在非零数字的前面, 只表示小数点的位置, 不包括在有效数字的位数中; “0”如果在非零数字的中间或末端, 则表示一定的数值, 应该包括在有效数字的位数中; 采用指数表示法时,  $10^n$  不包括在有效数字中, 对于很大或很小的数字, 采用指数表示数, 更简便合理。

有效数字的位数可用以下几例来说明：

有效数字	5.08	50.8	0.68	0.0068	$6.8 \times 10^{-3}$	1850	$1.850 \times 10^{-3}$
位数	三位	三位	二位	二位	二位	四位	四位

2. 误差(绝对误差和相对误差)一般只有一位有效数字,至多不超过两位。

3. 任何一物理量的数据,其有效数字的最后一位,在位数上应与误差的最后一位划齐,如:

1.84 ± 0.01	正确
1.841 ± 0.01	夸大了结果的精密度
1.8 ± 0.01	缩小了结果的精密度

#### 4. 有效数字运算

加减运算时,保留各小数点后的数字位数与最小者相同。多余的数字,采用四舍五入法。

$$\begin{array}{r}
 0.25 \\
 21.2 \\
 +) 1.23 \\
 \hline
 \end{array}
 \quad
 \begin{array}{l}
 \text{四舍五入法} \\
 \text{舍去多余数字} \rightarrow
 \end{array}
 \quad
 \begin{array}{r}
 0.3 \\
 21.2 \\
 +) 1.2 \\
 \hline
 22.7
 \end{array}$$

当数值的第一位等于8或大于8,则有效数字位数可以多计一位。例如:9.36,在运算时可看作是四位有效数字,而不应看成是三位有效数字。

乘除运算时,所得的积或商的有效数字,应以各值中有效数字位数最少的值为标准。如:

$$\begin{aligned}
 2.2 \times 0.464 &= 1.0 \\
 \frac{1.751 \times 0.0191}{91} &= 3.68 \times 10^{-4}
 \end{aligned}$$

在比较复杂的计算中,要按先乘除后加减的方法,计算中间各步可保留各数值位数较以上规则多一位,以免由于多次四舍五入引起误差的积累,而对计算结果带来较大影响。但最后结果仍只保留其应有的位数。

用对数作运算时,所取对数位数(对数首数除外)应与真数的有效数字位数相同。

运算中的常数如  $\pi$ 、 $e$ 、 $R$  等和一些取自手册的常数,可以按需要取有效数字。

#### (六) 间接测量结果的误差计算

在大多数情况下,要对几个物理量进行测量,通过函数关系加以运算,才能得到所需的结果,这就称为间接测量。在间接测量中每个直接测量值的精密度都会影响最后结果的精密度。下面将分别讨论从直接测量的误差来计算间接测量的平均误差和标准误差。

##### 1. 间接测量结果的平均误差

设直接测量的数据  $x$  及  $y$ ,其绝对误差为  $dx$ 、 $dy$ ,最后结果为  $N$ ,其函数关系为:

$$N = F(x, y)$$

微分得: 
$$dN = \left(\frac{\partial N}{\partial x}\right)_y dx + \left(\frac{\partial N}{\partial y}\right)_x dy$$

因此在运算过程中,误差  $dx$  和  $dy$  就会影响最后结果  $N$ ,使其产生  $dN$  的误差。对于各种运算过程所受影响的规律见表 1。

运算过程中造成的误差

表 1

函数关系	绝对误差( $\Delta N$ )	相对误差( $\frac{\Delta N}{N}$ )
$N=x+y$	$\pm( dx + dy )$	$\pm(\frac{ dx + dy }{x+y})$
$N=x-y$	$\pm( dx + dy )^*$	$\pm(\frac{ dx + dy }{x-y})$
$N=xy$	$\pm(x dy +y dx )$	$\pm(\frac{ dx }{x}+\frac{ dy }{y})$
$N=x^m$	$\pm(mx^{m-1}dx)$	$\pm(m\frac{dx}{x})$
$N=\frac{x}{y}$	$\pm(\frac{y dx +x dy }{y^2})$	$\pm(\frac{ dx }{x}+\frac{ dy }{y})$
$N=\ln x$	$\pm(\frac{dx}{x})$	$\pm(\frac{dx}{x\ln x})$

在有关百分误差的运算上,可参考上表进行运算,例如: $N=\frac{x}{y}$

相对误差为:  $\frac{\Delta N}{N} = \frac{\Delta x}{x} + \frac{\Delta y}{y}$

百分误差则为:

$$\frac{\Delta N}{N} \times 100 = \frac{\Delta x}{x} \times 100 + \frac{\Delta y}{y} \times 100$$

## 2. 间接测量结果的标准误差

设直接测量的数据为  $x$  和  $y$ , 其函数关系为:  $N=F(x, y)$

则函数  $N$  的标准误差为:

$$\sigma_N = \sqrt{(\frac{\partial N}{\partial x})^2 \sigma_x^2 + (\frac{\partial N}{\partial y})^2 \sigma_y^2}$$

对于部分函数的标准误差列于表 2。

### (七) 实验数据表示法

为了阐明和分析某些规律,需将实验数据归纳、处理。常用列表法、作图法和数字方程式法建立数值间的相互关系。现分述如下,重点讨论作图法。

#### 1. 列表法

作完实验后,所获得的大量数据,应该尽可能整齐地、有规律地列表表达出来,使得全部数据能一目了然,便于运算处理、容易检查而减少差错。

列表时应注意:每一表格都应有简明的名称;需注明表示内容及量纲;纵项和横项分别表示自变量和因变量;表中最好让数值依递增或递减的次序来排列;同一行中数字排列要按小数点对齐,有效数字位数要表达清楚。

部分函数的标准误差

表 2

函数关系	绝对误差( $\sigma_N$ )	相对误差( $\frac{\sigma_N}{N}$ )
$N = x \pm y$	$\pm \sqrt{\sigma_x^2 + \sigma_y^2}$	$\pm \frac{1}{ x \pm y } \sqrt{\sigma_x^2 + \sigma_y^2}$
$N = x \cdot y$	$\pm \sqrt{y^2 \sigma_x^2 + x^2 \sigma_y^2}$	$\pm \sqrt{\frac{\sigma_x^2}{x^2} + \frac{\sigma_y^2}{y^2}}$
$N = \frac{x}{y}$	$\pm \frac{1}{y} \sqrt{\sigma_x^2 + \frac{x^2}{y^2} \sigma_y^2}$	$\pm \sqrt{\frac{\sigma_x^2}{x^2} + \frac{\sigma_y^2}{y^2}}$
$N = x^m$	$\pm m x^{m-1} \sigma_x$	$\pm \frac{m}{x} \sigma_x$
$N = \ln x$	$\pm \frac{\sigma_x}{x}$	$\pm \frac{\sigma_x}{x \ln x}$

列表法简单,但不能表示出各数值间连续变化的规律和取得实验数值范围内任意的自变量和因变量的对应值,故常采用作图法。

## 2. 作图法

作图法可以把实验数据间的相互关系表现得更为直观。例如,可表示出图形是否是线性的;有无极大值、极小值、转折点等。在中专物化及硅物化实验范围内,常见的应用有:

**求内插值:**根据实验所得的数据,作出函数间相互关系曲线,然后找出与某函数相应的物理量的数值。例如在“二元合金相图”实验中可用内插值找出步冷曲线拐点相应的温度值。

**求外推值:**在某些情况下,测量数据间的线性关系可外推至测量范围以外,求某一函数的极限值,此种方法称为外推法。例如在“反应热效应的测定”实验中就利用外推法来校正物系与环境热交换的影响。

由于作图法应用广泛,因此要求学生必须熟练地掌握绘图技术。这里把作图的有关要求扼要地介绍如下:

### (1) 坐标纸及比例尺的选择

最常用的坐标纸为直角坐标纸,其它如对数坐标纸、半对数坐标纸和三角坐标纸也常用到。作图时以横轴表示自变量,纵轴表示因变量。纵、横轴不一定由“0”开始,应视实验具体要求的数值范围而定。

比例尺的选择非常重要,坐标刻度要能表示出全部有效数字,使从图中得出的精密度与测量的精密度相当;图纸中每小格所对应的数值应便于读数。一般采用 1、2、4、5 最方便。要充分利用图纸的全部面积,使全图分布均匀合理。

### (2) 作代表点

代表点是指测得的各数据在图上的点。代表点除了要表示测得数据的正确数值外,还要表示它的精密度。若纵轴与横轴上两测量值的精密度相近,可用点圆符号( $\odot$ )表示代表点,圆心小心表示测得数据的正确值,圆的半径表示精密度值。若纵、横两轴的精密度相差较大,则代表点需用矩形符号( $\square$ )来表示,此时矩形两边的半长度表示两变量各自的精密度值,

矩形的心是数据的正确数值。在一张图纸上有数组不同的测量值时,则各测量值应用不同的等号表示,以便区别,并在图上说明。

### (3)连曲线

作出各点后,用曲线板作出尽可能接近于各实验点的曲线,曲线应光滑均匀,细而清晰,曲线不必通过所有点,但各点应在曲线两旁分布,在数量上应近似相等,点和曲线间的距离表示测量的误差,曲线与点间的距离应尽可能小,并且曲线两侧各点与曲线间距之和亦应近于相等。

### (4)写图名

写上清楚完备的图名及坐标轴的比例尺,图上除图名、比例尺、曲线、坐标轴和读数之外,一般不再写其它的字及作其它辅助线,以免使主要部分不清楚。数据也不要写在图上,但在报告上应有相当完整的数据。

### 3. 数学方程式法

数学方程式法就是将实验中各变量间的依赖关系用解析的形式表达出来。这种方法的主要优点是:表达简单清晰,并便于求微分、积分和内插值。而当各变量间的解析依赖关系是已知的情况下,用数学方程式表达可求取方程中的系数,系数常对应于一定的物理量。例如“测定液体饱和蒸气压”的实验中,温度为  $T$  时液体的饱和蒸气压为  $p$ ,则:

$$\lg p = \frac{-\Delta H}{2.303R} \cdot \frac{1}{T} + \text{常数}$$

式中:  $\lg p$  对  $1/T$  图的直线斜率即为系数  $\frac{-\Delta H}{2.303R}$ , 其中  $\Delta H$  即为气化热。

这一步通常在列表、作图以后进行,根据绘出的图形来确定数学方程式。

## 习 题

1. 计算下列各值,注意有效数字

(1)乙醇相对分子质量

$$m_r = 2 \times 12.01115 + 15.999 + 6 \times 1.00797$$

(2)  $(1.2760 \times 4.17) - (0.2174 \times 0.101) + 1.7 \times 10^{-2}$

(3)  $\frac{13.25 \times 0.001100}{9.740}$

2. 下列数据是用燃烧热分析测定碳相对原子质量的结果:

12.0085	12.0101	12.0102
12.0091	12.0106	12.0106
12.0092	12.0095	12.0107
12.0095	12.0096	12.0101
12.0095	12.0101	12.0111
12.0106	12.0102	12.0112

(1)最后一个数据 12.0112 能否舍弃?

(2)求碳相对原子质量的平均值和标准误差。

3. 设一钢球质量为 10mg,钢球密度为  $7.85\text{g/cm}^3$ 。设测定半径时其标准误差为 0.015mm,测定质量时

标准误差为 0.05mg,问测定此钢球密度的精密度(标准误差)是多少?

4. 用凝固点降低法测定相对分子质量,计算公式为:

$$m_r = K_f \frac{m \times 1000}{m_o(T_o^o - T_f)}$$

令溶质质量  $m=0.3\text{g}$ ;在分析天平上称量;其绝对误差  $\Delta m=0.0002\text{g}$ ;溶剂质量  $m_o=20\text{g}$ ,在粗天平上称量,其绝对误差  $\Delta m_o=0.05\text{g}$ 。测量溶剂凝固点三次,其数据分别为  $3.801\text{C}$ 、 $3.790\text{C}$ 、 $3.802\text{C}$ ,测量溶液的凝固点三次,其数据分别为  $3.500$ 、 $3.504$ 、 $3.495$ 。测凝固点用贝克曼温度计,其精密度为  $0.002\text{C}$ 。试求溶质的相对分子质量  $M$  的平均误差应是多少?并讨论引起实验的主要误差是什么?

# 实 验 部 分

## 实验一 恒温槽的调节及粘度的测定

### 一、实验目的

1. 了解恒温槽的构造及恒温原理；
2. 掌握恒温槽的调节和使用技术；
3. 掌握一种测量粘度的方法。

### 二、实验原理

温度对许多物理化学量有着显著的影响,要准确测量这些量的数值,必须在恒温条件下进行。实验室中常用恒温槽来控制温度维持恒温,因此恒温槽是物理化学及硅酸盐物理化学实验室必不可少的一种设备。

#### 1. 恒温槽装置的构造

常用的恒温槽装置(如图 2 所示),一般由下列部件组成:

##### (1)槽体

槽体多用玻璃或金属材料制作,用来放置恒温介质和恒温对象及其它部件。

恒温介质为液体,最常用的是水。恒温范围在  $0\sim 100^{\circ}\text{C}$  之间,但多用于  $0\sim 50^{\circ}\text{C}$  之间。 $50^{\circ}\text{C}$  以上时须往水里加一层石蜡油,防止水分蒸发太快。恒温超过  $100^{\circ}\text{C}$  时,恒温介质可用液体石蜡或甘油等。

##### (2)加热器

如果要求恒温的温度高于室温,需有一个补充能量的设备——加热器。通常采用电热器间歇加热来补偿散失的热量维持恒温。

##### (3)温度调节器

加热器如果一直通电,则恒温介质的温度将不断上升而超出所欲恒定的温度。故需有一设备能随时探测恒温介质的温度,并能随时把信息传到控制器,从而控制加热器开关的通断。起这种作用的部件泛称温度调节器。目前普遍使用的是水银温度调节器,又称水银定温计。

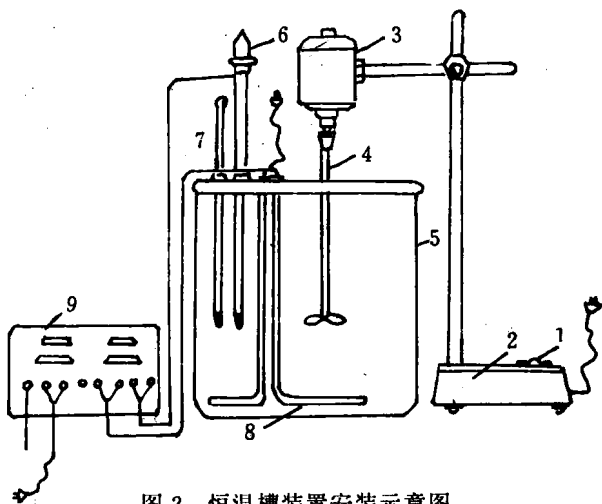


图 2 恒温槽装置安装示意图

- 1—变速开关;2—机座;3—微型电动机;4—搅拌器  
5—玻璃缸;6—水银定温计;7—温度计;8—电热管;  
9—电子继电器



水银定温计的构造如图 3 所示。它的构造与普通温度计类似,只是在水银上面有一个可以上下移动的触针,并利用磁铁的旋转来调节触针的位置。另外,定温计上下两段均有刻度。上段由标铁指示温度,它焊接上一根钨丝,钨丝下端所指的位置与上段标铁所指的温度相同。它依靠顶端上部的一块磁铁来调节钨丝的上下位置。当旋转磁铁时,就带动内部螺旋杆转动,使标铁上下移动。下面水银槽和上面螺旋杆引出两根线作为导电断用电。当恒温槽温度未达到上端标铁所指示的温度时,水银柱与触针(钨丝)不接触;当温度上升并达到标铁所指示的温度时,钨丝与水银柱接触,并使两根导线导通。但是,由于定温计内不允许有大电流通过,所以在定温计与电热器之间又加了一个中间媒介——温度控制器。

#### (4) 温度控制器

温度控制器常用继电器和控制电路组成,故又称电子继电器。从定温计发来的信号,经控制电路放大后,推动继电器去开关电热器。当定温计内电路接通,继电器就断开电热器电路停止加热;当定温计内为断路时,继电器再接通电热器线路,又重新加热。电热器、温度调节器和温度控制器三者配合,才能达到恒温目的。

#### (5) 搅拌器

搅拌器作为搅拌恒温介质,使介质各部分温度均匀。搅拌器通常是由一微型电机和一根搅拌棒组成。

#### (6) 温度计

常用精密温度计作为观察温度用。温度计在使用前须进行校正。

### 2. 恒温槽的恒温原理

如果恒温的温度比室温高,则恒温槽工作过程中自然散热,使恒温介质温度逐渐下降。当温度降到某一数值( $T_1$ )时,定温计中水银柱与触针断开,控制器使加热器加热。搅拌器把热量均匀地分布于恒温介质中,此时温度计数值上升。当温度升高到某一数值( $T_2$ )时,定温计中水银柱与触针接通,于是控制器又使加热器停止加热。随后,恒温介质又因自然散热而温度下降。如此往复,就使恒温槽温度保持恒定。在理想状态下,以温度计的读数  $T$  对时间  $t$  作图,得到的曲线是对称的,如图 4 所示。故恒温温度  $T_0$  可取温度的最低值  $T_1$  和最高值  $T_2$  的算术平均值。

$$T_0 = \frac{T_1 + T_2}{2}$$

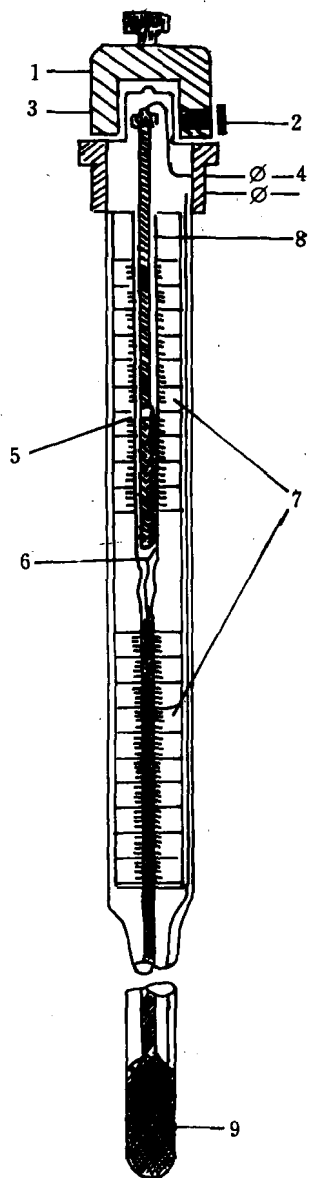


图 3 水银定温计的构造

- 1—调节帽;2—调节帽固定螺丝;3—磁铁;4—螺丝杆引出线;  
4—水银槽引出线;5—标铁;  
6—触针;7—刻度板;8—螺丝杆;9—水银槽