

21

世纪
高等医药院校教材

张师愚 主编
杨惠森

物理化学实验



18
064-33
234
21 世纪 高等 医药 院校 教材

物理化学实验

张师愚 杨惠森 主编

科学出版社

2002

内 容 简 介

本套教材是根据教育部对药学、中药、制药工程专业物理化学课程教学大纲的要求,由南京中医药大学、北京中医药大学、黑龙江中医药大学、山东中医药大学、陕西中医学院等全国15所高等中医药院校物理化学专家、教授编写的,供药学、中药、制药工程专业本科及相关专业使用的全国高等中医药院校教材《物理化学》、《物理化学实验》、《物理化学解题指导》系列之二。本书为实验教材。在内容编排上分为两大部分,其中实验部分包括19个配套实验,实验技术和仪器部分讲述的是物理化学中必需的实验技术和实验仪器。本书一个特点是实用性强。目的是培养学生自我动手和独立思考能力,方便自学和提高学习水平。

本书可供全国高等中医药院校药学、中药、制药工程专业等各专业本科生使用,也可作为成人教育药学、中药、制药工程等各专业学生、自学考试应试人员、广大中医药专业工作者及中医爱好者的学习参考书。

图书在版编目(CIP)数据

物理化学实验/张师愚,杨惠森主编. —北京:科学出版社,2002.8

(21世纪高等医药院校教材)

ISBN 7-03-010617-2

I. 物… I. ①张… ②杨… III. 物理化学-化学实验-医学院校-教材

IV. 064-33

中国版本图书馆CIP数据核字(2002)第052912号

科学出版社 出版

北京东黄城根北街16号

邮政编码:100717

<http://www.sciencep.com>

双音印刷厂 印刷

科学出版社发行 各地新华书店经销

*

2002年8月第 一 版 开本:720×1000 1/16

2002年8月第一次印刷 印张:8 1/2

印数:1—8 000 字数:150 000

定价:12.00元

(如有印装质量问题,我社负责调换〈环伟〉)

《物理化学实验》编委会名单

主 编 张师愚 杨惠森

副主编 周庆华 程世贤 刘幸平

李维峰 李 红

编 委 (按学校名称笔画顺序排序)

李 伟 山东中医药大学

张晓薇 山西中医学院

程世贤 广西中医学院

张师愚 天津中医学院

魏泽英 云南中医学院

李维峰 北京中医药大学

刘 雄 甘肃中医学院

鲁传华 安徽中医学院

韩修林 江西中医学院

胡润淮 河南中医学院

杨惠森 陕西中医学院

刘幸平 南京中医药大学

杜 薇 贵阳中医学院

周庆华 黑龙江中医药大学

李 红 湖南中医学院

前 言

物理化学实验在中医药各院校的教学中各不相同,没有统一的实验教材,2001年8月的南京物理化学教材编写会议上,与会的各院校物理化学教师考虑到现代技术对中药现代化发展的影响,基础理论教学也应不断适应现代高新技术发展的要求,提出编写一部统一的物理化学实验教材,以利于各校的相互促进、联系交流、共同提高,这就是本书的由来。

本实验教材选择了由各院校提出的近年来现行教学中有代表性、较成熟的物理化学实验作为中医药院校的主要实验,并选择了部分稍有难度、带提高性的实验作为备选实验,但教学中的具体安排,各院校可自行取舍,不必拘泥,可根据各校具体的仪器、条件进行调整、修改。除实验本身内容,还介绍了本书实验中涉及的各种仪器的原理、相应的技术,另外介绍了误差分析及数据处理,旨在学生能在物化实验教学中对物理化学学科有更深入的理解,并且树立良好的科学作风。编写本实验教材的目的还在于促进各院校重视物理化学实验教学的改进,并在此基础上丰富发展物理化学实验教学,因此也希望各院校在今后的教学中,针对本教材的不足,加强相互交流,不断总结提高,为将来重新编写更高水平的教材做好准备。

本教材中使用了一些非法定计量单位,因照顾到习惯用法,仍然保留,在第一次出现时注释其与法定计量单位的换算关系。

参加本教材编写的有北京中医药大学、南京中医药大学、甘肃中医学院、广西中医学院、贵州中医学院、河南中医学院、黑龙江中医药大学、湖南中医学院、江西中医学院、天津中医学院、陕西中医学院、云南中医学院、山西中医学院、安徽中医学院。由于水平所限,难免有错漏之处,各院校在实验中发现任何问题,请随时指正,以便进一步改进。

编 者

2002年1月

致 学 生

物理化学实验是物理化学教学、学习的必要环节,通过实验可以了解物理化学实验的原理、方法和测试手段,熟悉有关仪器的构造、原理和使用方法,巩固、加深、验证和补充物理化学课堂教学中的基本理论知识,从而更深入和更全面地理解物理化学的原理和概念。此外,物理化学实验还可以培养学生运用某些实验理论和手段的能力,培养学生严谨的科学态度。

物理化学实验课要求每一个学生在实验时做到:

实验前 应认真阅读实验讲义,简要写出预习报告,做好实验准备。

实验中 应仔细观察实验现象,严格控制实验条件,详细记录实验数据,认真进行实验操作。

实验后 要认真书写实验报告,包括实验目的,简明的实验原理、步骤,对原始数据要进行整理,计算时所用的公式、数据要有交待,需要用图、表来说明的,要按照要求做好图表,图、表要有名称,要注意图、表中的有效数字及表示方法。同时要认真解答实验思考题。对实验中的特殊现象和个人的见解、思考要进行讨论。实验中记录的原始数据也应附在实验报告后。

物理化学实验很多是运用物理学的原理、方法来设计安排实验的,因而实验中要养成寻找可观测物理量的习惯,并加以总结,争取做到融会贯通,如化学中的浓度测量是常见问题,除化学实验中常用的滴定等方法外,本教材实验五(二组分气-液平衡体系)中通过使用阿贝折射仪测定折射率来确定浓度、实验十(电导法测定弱电解质电离平衡常数)、实验十二(乙酸乙酯皂化反应速度常数的测定)中通过测定电导来确定浓度、实验十一(蔗糖转化速率的研究)中通过测定旋光度来确定浓度等等,都是利用测定可观测物理量来确定物质浓度的。在实验中,应问自己,换一个可观测物理量测量可以吗?选哪一个可观测物理量进行测量?依据是什么呢?

物理化学实验重在实验观测,因此物理量测量的误差及有效数字的问题在实验中是非常重要的,如实验一、二中使用贝克曼温度计(1°C)目的是什么呢?有关计算的精度及有效数字该如何呢?考虑一下,有没有更精确的温差测量方法呢?

实验中的观察、记录及实验后的数据处理,反映的是科学习惯和科学作风,大学本科阶段的学习应养成严肃认真、尊重实验事实的好作风,也要训练自己善于观察、分析实验事实。认真记录的同时,也要问自己,观察到的一定是真实的吗?要提

倡对实验中的任一步操作都应问自己为什么要这样做,如实验十六(溶胶的制备、净化与性质)中测量胶体的电泳速度时,电极为什么不能直接插在胶体溶液中,而要插在辅助液(稀盐酸)中?稀盐酸的浓度是多大?根据什么确定这个浓度呢?对实验中的各种现象也要进行分析思考,要善于从实验中发现问题和总结规律。

张师愚

2002年7月

目 录

物理化学实验中的误差分析与数据处理	1
第一章 实验部分	9
实验一 燃烧热的测定	9
实验二 溶解热的测定	13
实验三 凝固点降低法测定摩尔质量	16
实验四 液体饱和蒸气压的测定	19
实验五 二组分气-液平衡体系	22
实验六 二组分液-液平衡体系	26
实验七 三组分液-液平衡体系	28
实验八 分配系数的测定	31
实验九 化学平衡常数及分配系数的测定	33
实验十 电导法测定弱电解质的电离平衡常数	35
实验十一 蔗糖转化速率的研究	38
实验十二 乙酸乙酯皂化反应速率常数的测定	41
实验十三 最大气泡法测定溶液的表面张力	43
实验十四 乳状液的制备与性质	48
实验十五 固液界面上的吸附	51
实验十六 溶胶的制备、净化与性质	53
实验十七 黏度法测定高聚物摩尔质量	56
实验十八 黏度法测定动物胶的等电点	60
实验十九 中药的离子透析	62
第二章 实验技术与仪器	65
一、温度、温标与温度计	65
二、热效应的测量方法	83
三、温度控制技术	86
四、压力测量技术及仪器	91
五、液体黏度的测定	101
六、折射率的测定	105
七、旋光度的测定	109
八、电导的测量及仪器	114
九、常用电气仪表	119
附录 物理化学常数	125
参考文献	126

物理化学实验中的误差分析与数据处理

物理化学实验是研究物质的物理性质以及这些物理性质与其化学反应间关系的一门实验科学。由于仪器和感觉器官的限制,实验研究中测得的数据只能达到一定程度的准确性,因此要求实验者必须在实验前了解测量所能达到的准确度,拟定可行的实验方案,选择合理的实验方法和合适的仪器量程,寻找有利的测量条件;在实验后能对所测得的数据进行归纳、整理,科学地分析各物理量间的关系、规律。这就要求实验者必须具有正确的误差概念,并通过误差分析,实现上述要求。下面简要介绍有关误差分析与数据处理的一些基本概念。

(一) 测量与误差

物理化学实验对某一体系的物理化学性质与其化学反应间的关系进行研究,是以测量体系的某些物理量为基本内容,然后对所测出的数据加以处理,从而得到某些重要的规律。

测量一个物理量,通常是将这一物理量与规定的标准单位或标准量相比较。标准单位均有国际规定,由各个国家统一管理和执行。用于进行科学测量的仪器,在生产厂家制造它时,都必须与标准单位作对比,进行检验或校正。

测量的结果称为测量值。

一切物理量的测量可分为直接测量和间接测量两种。测量结果可直接用测量的实验数据表示的称为直接测量。例如用天平称量物质的量,用温度计测量物体的温度等,均属于直接测量。测量结果要由若干直接测量的数据,应用某种公式通过计算才能得到的称为间接测量。例如某物质的燃烧热,某化学反应的平衡常数等,均属于间接测量。

在任何一种测量中,无论所用的测量仪器多么精密,方法多么完善,实验者多么细心,所得结果常常不能完全一致,总有一定的误差或偏差。严格地说,误差是测量值与真值之间的差值,偏差是测量值与平均值之间的差值。

(二) 误差的分类及特点

根据误差的性质和来源,可以将误差分为系统误差和偶然误差,此外还有所谓的过失误差。

系统误差是测量过程中,由某种未发觉或未确认的影响因素在起作用而产生的误差。这些影响因素使测量结果永远朝一个方向偏移,其大小及符号在同一实验中完全相同。系统误差的来源有:

(1) 仪器误差:它是由于仪器不良,或校正与调节不适当所引起的。这种误差可以通过一定的检定方法发现,并可以进行改正。

(2) 试剂误差:试剂中存在的杂质常会给测量结果带来极其严重的影响,使测量结果不准确。因此试剂的纯制是科学测量中的一件十分重要的工作。

(3) 环境误差:由于仪器使用环境不适当,或外界条件(温度、大气压、湿度及电磁场等)发生恒向变化,则会引起这种误差。

(4) 方法误差:测量方法所依据的理论不完善会产生这种误差,它可以通过不同测量方法的对比实验来进行检核。

(5) 人身误差:它产生于测量者的感觉器官的不同,或个人的不恰当的视读习惯及偏向。

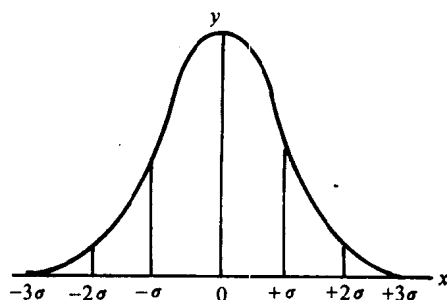


图 0-1 误差正态分布曲线

偶然误差是某些无法发觉,无法确认和无法控制的影响因素所引起的。偶然误差有时大,有时小,有时正,有时负,但如果多次测量,便会发现数据的分布符合一般统计规律。这种规律可由图 0-1 中的典型曲线来表示,此曲线称为误差的正态分布曲线。此曲线的函数形式为

$$y = \frac{1}{\sqrt{2\pi}\sigma} e^{-\frac{x^2}{2\sigma^2}}$$

式中 y 是 n 次测量中偶然误差出现的概率; σ 为标准误差。

由该曲线可以看出:

1) 误差小的比误差大的出现机会多,故误差的概率与误差大小有关。个别特别大的误差出现的次数极少。

2) 由于正态分布曲线与 y 轴对称,因此数值大小相同,符号相反的正、负误差出现的概率近于相等。如以 m 代表无限多次测量结果的平均值,在没有系统误差的情况下,它可以代表真值 σ ,为无限多次测量所得标准误差。由数理统计方法分析可以得出,误差在 $\pm 1\sigma$ 内出现的概率是 68.3%,在 $\pm 2\sigma$ 内出现的概率是 95.5%,在 $\pm 3\sigma$ 内出现的概率是 99.7%,可见误差超过 $\pm 3\sigma$ 的出现概率只有 0.3%。因此如果多次重复测量中个别数据的误差之绝对值大于 3σ ,则这个极端值可以舍去。

偶然误差虽不能完全消除。但基于误差理论对多次测量结果进行统计处理,可以获得被测定的最佳代表值及对测量精密度作出正确的评价。在基础物理化学实验中的测量次数有限,若要采用这种统计处理方法进行严格计算可查阅有关参考书。

过失误差是由于实验过程中犯了某种不应有的错误所引起的,如标度看错、记录写错、计算弄错等。过失误差是一种不应该有的人为错误。此类误差无规则可寻,只要多方警惕,细心操作,过失误差是可以完全避免的。

(三) 准确度和精密度

准确度指观测值与真值的接近程度,表示测量结果的准确性大小,精密度是各观测值相互接近的程度,表示测量结果的重现性大小。精密度高又称再现性好。准确度与精密度的区别,可用以下事例说明。三人同时测定某一溶液的折射率,各测量三次,其测定结果如下:A:1.3684,1.3684,1.3685,平均值为1.3684;B:1.3702,1.3689,1.3694,平均值为1.3695;C:1.3685,1.3687,1.3688,平均值为1.3688。已知此溶液的折射率的真值为1.3687,A的测定结果的精密度很高,但平均值与真值相差较大,说明其准确度较低。B的测定结果的准确度与精密度都较低,而C的准确度与精密度都很高。可见,在一组测量中,尽管精密度很高,但准确度不一定很好,高精密度不能保证高准确度;高准确度必须有高精密度来保障。只有在没有系统误差时,准确度和精密度才是一致的。

这里必须指出,任何测量都不可能得到真值,真值只是理想的数值,但通常可以由通过多次测量所得的算术平均值来代替。在实际应用时,测量准确度的表示通常取测量误差的表示法,而测量精密度的表示也就取测量偏差的表示法。

(四) 绝对误差与相对误差

绝对误差是观测值与真值之差。相对误差是绝对误差与真值的百分比。即

$$\text{绝对误差} = \text{观测值} - \text{真值}$$

$$\text{相对误差} = \frac{\text{绝对误差}}{\text{真值}} \times 100\%$$

绝对误差的单位与被测者是相同的,而相对误差是无单位的。因此不同物理量的相对误差是可以相互比较的。这样,无论是比较各种测量的精密度或是评定测量结果的准确度来说,采用相对误差更为方便。

(五) 平均误差与标准误差

测量结果的精密度, 一般用单次测量的平均误差来表示, 即

$$\bar{d} = \frac{|d_1| + |d_2| + \cdots + |d_n|}{n}$$

式中 $d_1, d_2, \cdots, d_n$ 为第 $1, 2, \cdots, n$ 次测量结果的绝对误差。

各次测量结果的相对平均误差为

$$\text{相对平均误差} = \frac{\bar{d}}{\bar{x}} \times 100\%$$

式中 $\bar{x}$ 为算术平均值。

用数理统计方法处理实验数据时, 常用标准误差来衡量测量精密度。标准误差又称为均方根误差。其定义为

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

$i=1, 2, 3, \cdots, n$ 。当测量次数不多时, 单次测量的标准误差可按下式计算

$$\sigma = \sqrt{\frac{d_1^2 + d_2^2 + \cdots + d_n^2}{n-1}} = \sqrt{\frac{\sum d_i^2}{n-1}}$$

式中 $d_i = x_i - \bar{x}$, $\bar{x}$ 是 n 个观测值的算术平均值, 即 $\bar{x} = \frac{x_1 + x_2 + \cdots + x_n}{n}$ 。 $n-1$ 称为自由度, 是指独立测定的次数减去处理这些观测值时所用的外加关系条件的数目。因此在有限观测次数时, 计算标准误差公式中采用 $n-1$ 的自由度就起了除去这个外加关系条件($\bar{x}$ 等式)的作用。

用标准误差表示精密度要比用平均误差好, 因为单次测量的误差平方之后, 较大的误差更显著地反映出来, 这就更能说明数据的分散程度。例如甲乙二人打靶, 每人两次, 甲击中处离靶中心为约 6cm (1 寸) 和约 9cm (3 寸), 乙击中处则为约 6cm (2 寸) 和约 6cm (2 寸)。这两人射击的平均误差都为 2。但乙的射击精密度要比甲的要高些, 因为按照最小二乘法原理, 甲的误差平方和是 $1^2 + 3^2 = 10$, 而乙的是 $2^2 + 2^2 = 8$ 。其甲的标准误差为 $\sqrt{10}$, 而乙的标准误差却为 $\sqrt{8}$ 。因此在精密地计算实验误差时, 大多采用的是标准误差, 而不用以百分数表示的算术平均误差。

(六) 有效数字与运算法则

在实验工作中,对任一物理量的测定,其准确度都是有限的,我们只能以某一近似值表示之。因此测量数据的准确度就不能超过测量所允许的范围。如果任意将近似值保留过多的位数,反而歪曲测量结果的真实性。实际上有效数字的位数就指明了测量准确的幅度。现将有关有效数字和运算法则简述如下:

(1) 记录测量数据时,一般只保留一位可疑数字。有效数字是指该数字在一个数量中所代表的大小。例如,滴定管的读数为32.47,从滴定管上的刻度来看,我们都知道要读到千分位是不可能的,因为刻度只刻到十分之一,百分之一已为估计值。故在末位上,上下可能有正负一个单位出入。这末一位数可认为不准确的或可疑的,而其前边各数所代表的数值,则均为准确测量的。通常测量时,一般均可估计到最小刻度的十分位,故在记录一数量时,只应保留一位不准确数字,其余数均为准确数字。我们称此时所记的数字为有效数字。

在确定有效数字时,要注意“0”这个符号。紧接小数点后的0仅用来确定小数点的位置,并不作为有效数字。例如0.00015克中小数点后三个0都不是有效数字。而0.150g中的小数点后的0是有效数字,至于350mm中的0就很难说是不是有效数字,最好用指数来表示,以10的方次前面的数字说明有效数字的位数。如写成 $3.5 \times 10^2 \text{mm}$,则表示有数数字为两位;写成 $3.50 \times 10^2 \text{mm}$,则有效数字为三位;其余类推。

(2) 在运算中舍去多余数字时采用四舍五入法。凡末位有效数字后面的第一位数大于5,则在其前一位上增加1,小于5则舍去。等于5时,如前一位为奇数,则增加1,如前一位为偶数则舍去。例如,对27.0235取四位有效数字时,结果为27.02,取五位有效数字时,结果为27.024。但将27.015与27.025取为四位有效数字时,则都为27.02。

(3) 加减运算时,计算结果有效数字的末位的位置应与各项中绝对误差最大的那项相同。或者说保留各小数点后的数字位数应与最小者相同。例如13.75, 0.0084, 1.642三个数据相加,若各数末位都有 ± 1 个单位的误差,则13.75的绝对误差 ± 0.01 为最大的,也就是小数点后位数最少的是13.75这个数,所以计算结果的有效数字的末位应在小数后第二位。此式计算列式为 $13.75 + 0.01 + 1.64 = 15.40$ 。

(4) 若第一位有效数字等于8或大于8,则有效数字位数可多计1位。例如9.12实际上虽只三位,但在计算有效数字时,可作四位计算。

(5) 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最低者为标准。

例如 $2.3 \times 0.524 = 1.2$

又如, $1.58 \times 91 \times 0.02541 =$, 其中 91 的有效数字最低, 但由于首位是 9, 故把它看成三位有效数字, 其余各数都保留到三位。因此上式计算结果为 3.65, 保留三位有效数字。

在比较复杂计算中, 要按先加减后乘除的方法, 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, 会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。

(6) 在所有计算式中, 常数 R 、 e 和一些取自手册的常数, 可认为无限制的, 按需要取有效数字的位数。例如当计算式中有效数字最低者为二位, 则上述常数可取二位或三位。

(7) 在对数计算中, 所取对数位数(对数首数除外)应与真数的有效数字相同。

1) 真数有几个有效数字, 则其对数的尾数也应有几个有效数字。如

$$\lg 317.2 = 2.5013; \quad \lg 7.1 \times 10^{28} = 28.85$$

2) 对数的尾数有几位有效数字, 则其反对数也应有几位有效数字。如 $0.652 = \lg 4.49$ 。

(8) 在整理最后结果时, 要按测量的误差进行化整, 表示误差的有效数字一般只取一位, 多也不超过二位, 例如 1.45 ± 0.01 。当误差第一位数为 8 或 9 时, 只需保留一位。

任何一个物理量的数据, 其有效数字的最后一位, 在位数上应与误差的最后一位相对应。例如, 测量结果为 1223.78 ± 0.054 , 化整记为 (1223.78 ± 0.05) 。又如, 测量结果为 14356 ± 86 , 化整记为 $(1.436 \pm 0.009) \times 10^4$ 。

(9) 计算平均值时, 若为四个数或超过四个数相平均, 则平均值的有效数字位数可增加一位。

(七) 间接测量中的误差传递

在物理化学实验数据的测定工作中, 绝大多数是要对几个物理量进行测量, 代入某种函数关系式, 然后加以运算, 才能得到所需要的结果, 这称为间接测量。由于直接测量值总有一定的误差, 因此他们必然引起间接测量值也有一定的误差, 即直接测量误差不可避免地会传递到间接测量值中去, 而产生间接测量误差。下面讨论如何从直接测量的误差来计算间接测量的误差。即得到误差传递公式。

当间接测量值(N)为直接测量值($x, y, z, \dots$)的函数时, 即

$$N = f(x, y, z, \dots)$$

其全微分为

$$dN = \left(\frac{\partial N}{\partial x} \right)_{y,z} dx + \left(\frac{\partial N}{\partial y} \right)_{x,z} dy + \dots$$

$$\frac{dN}{N} = \frac{1}{N} \left[\left(\frac{\partial N}{\partial x} \right)_{y,z} dx + \left(\frac{\partial N}{\partial y} \right)_{x,z} dy + \dots \right]$$

设各变量的直接误差较小,可代替式中的各变量的微分,考虑到最不利的情况,各变量的直接测量的正负误差不能相互抵消,引起误差的积累,故采用他们的绝对值代入上式

$$\Delta N = \left| \frac{\partial N}{\partial x} \right| |\Delta x| + \left| \frac{\partial N}{\partial y} \right| |\Delta y| + \dots$$

$$\frac{\Delta N}{N} = \frac{1}{N} \left(\left| \frac{\partial N}{\partial x} \right| |\Delta x| + \left| \frac{\partial N}{\partial y} \right| |\Delta y| + \dots \right)$$

此二式即为由直接误差计算间接误差的计算公式,或称误差传递公式。由此可见,用微分法进行函数相对误差的计算是比较简单,也比较容易记住的。

(1) 加法: 设 $N = x + y + z + \dots$

$$\frac{\Delta N}{N} = \frac{|\Delta x| + |\Delta y| + |\Delta z| + \dots}{x + y + z + \dots}$$

(2) 减法: 设 $N = x - y - z - \dots$

$$\frac{\Delta N}{N} = \frac{|\Delta x| + |\Delta y| + |\Delta z| + \dots}{x - y - z + \dots}$$

(3) 乘法: 设 $N = x \cdot y \cdot z \dots$

$$\frac{\Delta N}{N} = \left| \frac{\Delta x}{x} \right| + \left| \frac{\Delta y}{y} \right| + \left| \frac{\Delta z}{z} \right| + \dots$$

(4) 除法: 设 $N = x/y$

$$\frac{\Delta N}{N} = \left| \frac{\Delta x}{x} \right| + \left| \frac{\Delta y}{y} \right|$$

(5) 方次与根: 设 $N = x^n$

$$\frac{\Delta N}{N} = n \left| \frac{\Delta x}{x} \right|$$

(6) 对数: 设 $N = \ln x$

$$\frac{\Delta N}{N} = \left| \frac{\Delta x}{x \ln x} \right|$$

间接测量的绝对误差可由它的相对误差算出,即

$$\Delta N = N \left(\frac{\Delta N}{N} \right)$$

实验后计算的结果应表示为 $N = N \pm \Delta N$

第一章 实验部分

实验一 燃烧热的测定

(一) 实验目的

- (1) 学会使用氧弹卡计测定燃烧热。
- (2) 了解氧弹卡计主要部分的作用,掌握使用氧弹卡计与贝克曼温度计的实验技术。
- (3) 明确燃烧热的定义,了解恒容燃烧热与恒压燃烧热的差别。
- (4) 学会利用雷诺图解法正确求出温差的方法。

(二) 实验原理

物质完全燃烧的热效应称作燃烧热。本实验测定萘的燃烧热。

燃烧热的测定,是让燃烧反应在恒容条件下进行,用氧弹卡计测出的是恒容燃烧热 $Q_V(\Delta U)$,但常用的数据为恒压燃烧热 Q_p (即 ΔH),对于理想气体,根据热力学推导, Q_p 与 Q_V 的关系是

$$Q_p = Q_V + \Delta nRT$$

Δn 为产物中气体的总物质的量与反应物中气体总物质的量之差。 T 为反应时的温度。

通过实验测得 Q_V 值,根据上述关系可计算出 Q_p 值。

测量热效应的仪器称作量热计(卡计)。量热计的种类很多,一般用氧弹卡计,氧弹卡计和氧弹的结构如图 1-1.1 及 1-1.2 所示。

为了使被测物质能完全燃烧,就需要充足的氧气,本实验使用 $15 \sim 20 \text{atm}^{1)}$ 的氧气。被测物与氧气装在氧弹中,氧弹放入内装一定水的内桶中,内桶外有空气隔热层,再外面是恒定温度的水套。被测物燃烧所放出的热,大部分被内桶中的水吸收,另一部分被氧弹、水桶、温度计、搅拌器等所吸收。通过测定燃烧前后的温度变化就可求出样品的恒容燃烧热,其关系如下:

$$m_{\text{样}} Q_{V_{\text{样}}} + m_{\text{铁}} Q_{V_{\text{铁}}} + m_{\text{线}} Q_{V_{\text{线}}} = C_{\text{卡}} \Delta T$$

1) $1 \text{atm} = 1.01325 \times 10^5 \text{J}$ 。