

科学版学习指导系列

# 基础化学

# 学习指导

王金玲 主编



科学出版社

[www.sciencep.com](http://www.sciencep.com)

## 内 容 简 介

本书是《基础化学》的配套辅助教材;是学习基础化学、无机化学、分析化学、大学化学等大学一年级学生的良师益友。其重点内容提要和学习指导覆盖了各章重点,并对学生易出现的问题、难点、注意事项交待较细致,便于学生理解和掌握有关知识。本书言语朴实、通俗易懂,便于学生自学。

本书不仅适用于学习以上各门化学的本科生,也适用于学习以上各门化学的电大、夜大、函授、高职等各类学生。本书可作为刚刚走上教学第一线的青年教师的参考书。

### 图书在版编目(CIP)数据

基础化学学习指导/王金玲主编. —北京:科学出版社,2004  
(科学版学习指导系列)

ISBN 7-03-012125-2

I. 基… II. 王… III. 化学-高等学校-教学参考资料 IV. O6

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2003)第 076632 号

策划编辑:刘俊来 / 文案编辑:吴伶伶 / 责任校对:宋玲玲  
责任印制:安春生 / 封面设计:陈 敬

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>

深海印刷有限责任公司印刷

科学出版社发行 各地新华书店经销

\*

2004年2月第 一 版 开本:720×1000 1/16

2004年2月第一次印刷 印张:14 1/2

印数:1—5 000 字数:273 000

定价:19.00 元

(如有印装质量问题,我社负责调换〈路通〉)

## 前 言

从高中到大学是一个质的飞跃,无论从教学内容,教学方法以及老师的讲课速度,大学一年级学生都有一个从不适应到适应的过渡阶段。为了帮助学生顺利完成这个过渡,并能很好地、牢固地掌握进入大学后的第一门化学课的知识,特编写本学习指导。

本书是大学一年级学生学习《基础化学》的入门指导,良师益友。

(1) 本书内容符合“基础化学课程教学基本要求”,是编写教师多年教学实践经验的结晶。

(2) 本书重点内容覆盖了各章的重点。对学生学习中易出现的问题、难点、注意事项交待较细致,便于学生理解、掌握有关知识。例题覆盖面宽,少而精,概括了解题类型、规范了解题格式。

(3) 本书的综合练习部分着眼于学生系统地、扎实地、灵活地掌握当代化学的基本知识,并着眼于基本理论和基本技能的培养,同时注意强化学生素质和能力的培养。这部分内容是在编写教师多年教学实践经验的基础上,并广泛参阅各种同类参考书的基础上编写而成。它包括选择题、填空题、是非题、综合应用题,同时每章均有 1~2 题为英文原题。

(4) 元素化学部分根据其特点,简述元素及化合物的重要性质,着重归纳总结重要的化学反应,并结合性质和反应选编综合应用题。

本书可以作为大四考研学生的复习指导书。本书也可作为学习无机化学、基础化学、分析化学、大学化学等各专业的电大、夜大、函授、高职等各类学生的学习指导书。本书又可作为青年教师的教学参考书。

本书共 13 章。参加本书编写的有:王金玲(第三章、第四章、第六章、第八章以及第五章的第一部分);董淑莲(第十二章、第十三章及第十一章的第一部分);王桂花(第一章及第五章、第七章、第十一章三章中的第二部分);韩春英(第二章、第十章、第七章的第一部分);陈咏梅(第九章)。全书由王金玲统稿并修改。

本书得到了“北京化工大学化新教材建设基金”的资助,在此表示感谢。

本书已在本校试用两年。在试用期间深受大学一年级学生、考研学生及青年教师的好评。试用老师及学生对其中的某些错误和不当之处提出了修改意见,从而使本书得以进一步完善,在此表示感谢。

本书在编写过程中,曾参阅了某些公开出版的教材和书,在此向有关作者一并

表示感谢。

由于编写人员水平有限,加之时间仓促,错误及不当之处在所难免,希望各位同行、参阅教师及学生多提宝贵意见,以便再版时修改。

编 者

2003年9月于北京化工大学

## 目 录

第一章	实验数据的误差与结果处理	(1)
第二章	气体和溶液	(10)
第三章	化学热力学基础	(18)
第四章	化学反应速率与化学平衡	(34)
第五章	酸碱平衡	(52)
第六章	沉淀溶解平衡	(77)
第七章	氧化还原反应	(95)
第八章	原子结构	(119)
第九章	分子结构	(138)
第十章	晶体结构	(150)
第十一章	配位化合物及配位平衡	(158)
第十二章	主族元素	(181)
第十三章	过渡元素	(194)
	综合练习参考答案	(212)

# 第一章 实验数据的误差与结果处理

## 基本要求

(1) 掌握以下基本概念:误差、偏差、准确度和精密度及其相互关系、系统误差、系统误差的分类及其减免方法、随机误差及其减免方法。

(2) 会计算中位数、极差、绝对误差、相对误差、绝对偏差、相对偏差、平均偏差、相对平均偏差、标准偏差、相对标准偏差、平均值的标准偏差、置信区间。

(3) 掌握  $t$  检验、 $Q$  检验。

(4) 掌握有效数字的修约及其运算规则。

## 重点内容与学习指导

### 一、分析结果的表示方法

1. 用  $n$  次测定数据的算术平均值( $\bar{x}$ )表示

$$\bar{x} = \frac{1}{n}(x_1 + x_2 + \cdots + x_n) = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i$$

2. 用中位数( $\tilde{x}$ )表示

首先将数据由大到小顺序排列,当  $n$  为奇数时,居中者即为中位数,而当  $n$  为偶数时,则正中间的两个数的平均值为中位数。

### 二、准确度与精密度

1. 准确度

测定结果与被测组分的真实值的接近程度。用误差来衡量。分析结果与真实值之间差别越小,则分析结果的准确度越高。

2. 精密度

几次平行测定结果相互接近的程度。用偏差来衡量。平行测定所得数据越接近,则分析的精密度越高。

3. 准确度与精密度之间的关系

(1) 精密度是保证准确度的先决条件。精密度差,所得结果不可靠,就失去了衡量准确度的前提。

(2) 精密度高准确度不一定高。

### 三、误差的分类

误差按其性质的不同可分为两大类:系统误差和随机误差。

#### 1. 系统误差

系统误差是由某种固定的原因造成的,它具有单向性,即正负、大小都有一定的规律性,当重复进行测定时会重复出现。若能找出产生的原因并加以测定,就可以消除,所以又称为可测误差。系统误差的大小决定分析结果的准确度,而对精密度的影响不大。

系统误差的分类及其减免的方法如下。

- (1) 方法误差。可通过方法的选择或做对照试验的方法加以减免。
- (2) 仪器误差。可通过仪器的校准加以减免。
- (3) 试剂误差。可通过空白试验及使用纯度高的水等方法加以减免。
- (4) 操作误差。可通过加强训练的方法加以减免。

#### 2. 随机误差

随机误差是由某些难以控制、无法避免的偶然因素造成的,其大小、正负都不固定。粗看似乎没有规律性,但经过大量实践发现,当测量次数很多时,随机误差的分布满足正态分布。

随机误差的规律性如下。

- (1) 大小相近的正误差和负误差出现的概率相等。
  - (2) 小误差出现的频率较高,而大误差出现的频率较低。
- 随机误差的大小决定分析结果的精密度。  
随机误差的减免方法为多次测定取平均值。

### 四、误差的表示方法

(1) 极差  $R$  表示一组平行测定的数据中最大值与最小值之差,即

$$R = x_{\max} - x_{\min}$$

$$\text{相对极差} = \frac{R}{\bar{x}} \times 100\%$$

(2) 绝对误差( $E_a$ )表示测定值( $x$ )与真实值( $T$ )之差,即

$$E_a = x - T$$

相对误差( $E_r$ )表示绝对误差在真实值中所占的百分率,即

$$E_r = \frac{E_a}{T} \times 100\%$$

误差大,表示准确度低;反之,误差小,则准确度高。

(3) 绝对偏差( $d$ )表示个别测定值与平均值之差,即

$$d_i = x_i - \bar{x}$$

相对偏差( $d_r$ )表示个别偏差在平均值中所占的百分率,即

$$d_r = \frac{d_i}{\bar{x}} \times 100\%$$

偏差大,表示精密度低;反之,偏差小,则精密度高。

(4) 平均偏差和相对平均偏差

平均偏差为

$$\bar{d} = \frac{|d_1| + |d_2| + \cdots + |d_n|}{n} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n |d_i|$$

相对平均偏差为

$$\bar{d}_r = \frac{\bar{d}}{\bar{x}} \times 100\%$$

(5) 标准偏差和相对标准偏差

标准偏差为

$$s = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}{n-1}} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n d_i^2}{n-1}}$$

式中, $f = n - 1$ 表示自由度。

相对标准偏差(或称变异系数),以  $CV$  或  $RSD$  表示

$$CV = \frac{s}{\bar{x}} \times 100\%$$

标准偏差比平均偏差更灵敏地反映出较大偏差的存在,而且比极差更充分地引用了全部的数据,因此标准偏差能较好地反映测定结果的精密度。

**【例 1-1】** 用草酸钠标定高锰酸钾标准溶液的浓度,4 次标定结果(单位: $\text{mol} \cdot \text{L}^{-1}$ )为:0.2041,0.2049,0.2039,0.2043,计算测定结果的平均值,平均偏差,相对平均偏差,标准偏差,相对标准偏差。

$$\text{解 平均值 } \bar{x} = \frac{\sum x_i}{n} = 0.2043(\text{mol} \cdot \text{L}^{-1})$$

$$\begin{aligned} \text{平均偏差 } \bar{d} &= \frac{\sum |x_i - \bar{x}|}{n} = \frac{0.0002 + 0.0006 + 0.0004 + 0}{4} \\ &= 0.0003(\text{mol} \cdot \text{L}^{-1}) \end{aligned}$$

$$\text{相对平均偏差 } \bar{d}_r = \frac{\bar{d}}{\bar{x}} \times 100\% = \frac{0.0003}{0.2043} \times 100\% = 0.2\%$$



$$\text{标准偏差} \quad s = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}{n-1}} = 4.3 \times 10^{-4} (\text{mol} \cdot \text{L}^{-1})$$

$$\text{相对标准偏差} \quad CV = \frac{s}{\bar{x}} \times 100\% = \frac{4.3 \times 10^{-4}}{0.2043} \times 100\% = 0.2\%$$

(6) 平均值的标准偏差,以  $s_{\bar{x}}$  表示。平均值的精密度要比单次测定的精密度更好。统计学已证明,对于有限次测定,平均值的标准偏差为

$$s_{\bar{x}} = \frac{s}{\sqrt{n}}$$

上式表明,平均值的标准偏差与测定次数的平方根成反比,增加测定次数可以提高测定的精密度,但增加测定次数所取得的效果是有限的。当  $n < 5$  时  $s_{\bar{x}}/s$  随着  $n$  的增加而很快减少,当  $n > 5$  时变化就慢了,而当  $n > 10$  后变化已经很小了。因此实际工作中测定次数无需太多,通常 4~6 次已足够了。

**【例 1-2】** 用 Karl-Fischer 法测定冰醋酸中的微量水分。其结果(单位:%)是:0.762, 0.746, 0.738, 0.738, 0.753, 0.747, 计算测定结果的平均值、标准偏差、平均值的标准偏差各是多少?

$$\text{解 平均值} \quad \bar{x} = \frac{\sum x_i}{n} = 0.747\%$$

$$\text{标准偏差} \quad s = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}{n-1}} = 9.2 \times 10^{-3}\%$$

$$\text{平均值的标准偏差} \quad s_{\bar{x}} = \frac{s}{\sqrt{n}} = 3.8 \times 10^{-3}\%$$

## 五、平均值的置信区间

在选定的置信度下,总体平均值( $\mu$ )在以测定平均值为中心的多大范围内出现,这个范围就是平均值的置信区间。总体平均值的计算公式如下

$$\mu = \bar{x} \pm \frac{ts}{\sqrt{n}}$$

若置信水平固定,测定次数越多,测定精密度越高,求得的置信区间越窄,即测定的平均值与总体平均值越接近。

**【例 1-3】** 分析某矿石中钨的质量分数,得如下数据:25.01%, 25.03%, 25.05%, 25.04%, 估计在 90% 和 95% 的置信度时平均值的置信区间。

$$\text{解 平均值} \quad \bar{x} = \frac{\sum x_i}{n} = 25.03\%$$

$$\text{标准偏差} \quad s = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}{n-1}} = 0.017\%$$

查表,置信度为 90%,  $n=4$  时,  $t=2.353$

$$\mu = \bar{x} \pm \frac{ts}{\sqrt{n}} = 25.03 \pm \frac{2.353 \times 0.017}{\sqrt{4}} = 25.03 \pm 0.020(\%)$$

查表,置信度为 95%,  $n=4$  时,  $t=3.182$

$$\mu = \bar{x} \pm \frac{ts}{\sqrt{n}} = 25.03 \pm \frac{3.182 \times 0.017}{\sqrt{4}} = 25.03 \pm 0.027(\%)$$

通过此题可以看出置信度越高,真值所在的范围越大。

## 六、 $t$ 检验

$t$  检验时,计算值  $t_{\text{计}}$  为

$$t_{\text{计}} = \frac{|\bar{x} - \mu|}{s} \sqrt{n}$$

若  $t_{\text{计}} > t_{\text{表}}$ , 则  $\bar{x}$  与  $\mu$  之间存在显著性差异。

**【例 1-4】** 某药厂生产维生素片,要求铁含量为 4.800%, 分析人员进行 5 次抽样测定,其结果(单位:%)为 4.744, 4.790, 4.790, 4.798, 4.822, 试问此产品是否合格?(置信度为 95%)

解  $\bar{x} = 4.789\%$ ,  $s = 0.028\%$

$$t_{\text{计}} = \frac{|\bar{x} - \mu|}{s} \sqrt{n} = \frac{|4.789\% - 4.800\%|}{0.028\%} \times \sqrt{5} = 0.87$$

查表 95% 置信度,  $n=5$  时,  $t_{\text{表}}=2.776$ , 有

$$t_{\text{计}} < t_{\text{表}}$$

所以,维生素片的含铁量的平均值与要求值无显著性差异,产品合格。

## 七、测定结果离群值(异常值)的取舍

$Q$  检验时,计算值  $Q_{\text{计}}$  为

$$Q_{\text{计}} = \frac{\text{离群值} - \text{相邻值}}{\text{最大值} - \text{最小值}}$$

**【例 1-5】** 用络合滴定法测定水泥中铁的质量分数,测定结果(单位:%)如下:6.12, 6.82, 6.32, 6.22, 6.02, 6.32。试用  $Q$  检验法判断 6.82 是否应当舍弃?(置信度 90%)。

解

$$Q_{\text{计}} = \frac{6.82 - 6.32}{6.82 - 6.02} = 0.625$$

查表,置信度 90%,  $n=6$  时,  $Q_{0.90}=0.56$ , 有

$$Q_{\text{计}} > Q_{0.90}$$

则 6.82 是离群值,应当舍弃。

应该指出,离群值的取舍是一项十分重要的工作。在实验过程中得到一组数据后,如果不能确定个别离群值确系由于“过失”引起的,则不能轻易地舍弃这些数据,而要用上述统计检验方法进行判断之后,才能确定其取舍。如果测定次数比较少,如  $n=3$ ,而且  $Q_{\text{计}}$  值与  $Q_{\text{表}}$  值相近,这时为了慎重起见,最好再补做一两个数据,然后确定离群值的取舍。

## 八、有效数字及运算规则

所谓有效数字,就是实际能测到的数字。有效数字保留的位数,取决于分析方法和测量仪器的准确度,应使数值中只有最后一位是可疑的。

### 1. 有效数字的修约

(1) 有效数字的修约多采用“四舍六入五留双”原则,即尾数  $\leq 4$ , 舍去;尾数  $\geq 6$ , 进位;尾数 = 5  $\left\{ \begin{array}{l} \text{前一位是偶数, 则舍去} \\ \text{前一位是奇数, 则进位} \end{array} \right.$ ; 若 5 不是尾数, 均进位。

(2) 在计算中若遇首位数  $\geq 8$ , 可多计一位有效数字, 如 0.0987, 可按四位有效数字计算。

(3) 对 pH、pM、lgK 等对数数值, 其有效数字的位数仅取决于小数部分数字的位数, 如  $\text{pH}=11.20$ , 即  $[\text{H}^+]=6.3 \times 10^{-12} \text{mol} \cdot \text{L}^{-1}$  其有效数字为两位。

### 2. 有效数字的修约规则

分析结果计算时, 对数据要先修约再计算。

(1) 有效数字的加减法运算中, 以小数点后位数最少的(即绝对误差最大的)那个数为根据, 来修约其他各个数据的位数, 然后再计算。

(2) 有效数字的乘除法运算中, 以有效数字位数最少的(即相对误差最大的)那个数为根据, 来修约其他数据的位数, 然后再计算。

## 综合练习

### 一、选择题

1. 减少分析测定中的随机误差的方法是\_\_\_\_\_。

A. 进行对照试验

B. 进行空白试验

C. 进行仪器校正

D. 增加平行测定次数

2. 下述正确的叙述是\_\_\_\_\_。

- A. 精密度高,测定的准确度一定高
- B. 精密度高的测定结果,不一定是正确的
- C. 准确度是表示测定结果相互接近的程度
- D. 系统误差是影响精密度的主要因素

3. 测定试样中 CaO 的质量分数,称取试样 0.908g,滴定消耗 EDTA 标准溶液 20.50mL, 以下结果表示正确的是\_\_\_\_\_。

- A. 10%            B. 10.1%            C. 10.08%            D. 10.077%

## 二、填空题

1. 系统误差按其产生的原因,可分为\_\_\_\_\_, \_\_\_\_\_, \_\_\_\_\_, \_\_\_\_\_。

2. 下列数据包含几位有效数字: pH = 10.76 \_\_\_\_\_ 位,  $5.380 \times 10^{-5}$  \_\_\_\_\_ 位。

3. 平均值的置信区间(一定置信度下)用公式\_\_\_\_\_表示,其中  $t$  随实验测定次数  $n$  的增大而\_\_\_\_\_;  $t$  随置信度  $P$  的增大而\_\_\_\_\_。  $s$  称为\_\_\_\_\_,  $s =$ \_\_\_\_\_。

4. 系统误差消除后,多次测定发现,随机误差遵从一般的\_\_\_\_\_规律,这一规律可用\_\_\_\_\_曲线表示。

5. 分析某物质含量时,10 次测量得的质量分数为: 15.42%, 15.51%, 15.52%, 15.52%, 15.53%, 15.53%, 15.54%, 15.56%, 15.56%, 15.68%。置信度 90% 时 (1) 检验 15.42% 是否可舍去时,  $Q =$  \_\_\_\_\_, 故 15.42% 应 \_\_\_\_\_; (2) 检验 15.68% 是否可舍去时,  $Q =$  \_\_\_\_\_, 故 15.68% 应 \_\_\_\_\_; (3) 在 (2) 的情况下再检验 15.42% 时  $Q =$  \_\_\_\_\_, 故 15.42% 应 \_\_\_\_\_。

## 三、是非题

1. ( ) 随机误差是由某些难以控制,无法避免的偶然原因造成的,因而又称偶然误差。

2. ( ) 系统误差是由某些固定的原因造成的。

3. ( ) 由操作者粗心大意或违反操作规程所引起的误差称为偶然误差。

4. ( ) 测量值与测量平均值之差称为绝对误差。

5. ( ) 置信度可以认为是真值  $\mu$  落在置信区间  $\bar{x} \pm \frac{ts}{\sqrt{n}}$  内的概率。

6. ( ) pH = 8.34, 其有效数字的位数为三位。

7. ( ) 若  $\text{pH} = 2.87$ , 则根据有效数字的概念和运算,  $[\text{H}^+] = 1.349 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$ 。
8. ( ) 若滴定管的刻度最小单位是  $0.1 \text{ mL}$ , 某测定结果可记作  $20.1 \text{ mL}$ 。
9. ( )  $t$  检验法, 是检验测量的平均值与标准值或两种分析方法的平均值是否有显著性差异的方法。
10. ( ) 有效数字的位数与实验过程中仪器的准确度有关。

#### 四、计算题

1. 分析铁矿石中铁的质量分数, 分析结果(单位: %) 为:  $37.45, 37.20, 37.50, 37.30, 37.25$ , 试计算分析结果的平均值、中位数、极差、平均偏差、相对平均偏差、标准偏差、相对标准偏差。

2. 测定试样中的  $\text{CaO}$  的质量分数, 得到如下结果(单位: %):  $20.01, 20.05, 20.03, 20.04$ , 问: (1) 分析结果应如何表示? (2) 计算置信度为  $95\%$ 、 $90\%$  时的置信区间。

3. 分析某患者血糖含量, 其结果(单位:  $\text{mmol} \cdot \text{L}^{-1}$ ) 为:  $7.5, 7.4, 7.7, 7.6, 7.5, 7.6, 7.6, 7.5, 7.6, 7.6$ , 计算相对标准偏差及置信度为  $95\%$  时平均值的置信区间, 此结果与正常人血糖含量  $6.7 \text{ mmol} \cdot \text{L}^{-1}$  是否存在显著性差异?

4. 标定某一标准溶液, 结果(单位:  $\text{mol} \cdot \text{L}^{-1}$ ) 为:  $0.1016, 0.1025, 0.1014, 0.1012$ , 当置信度为  $90\%$  时, 问  $0.1025$  可否舍去?

5. 将下列数据修约为两位有效数字:  $4.148, 1.353, 6.3611, 22.5102, 27.5, 16.5$

6. 计算: (1)  $0.213 + 32.24 + 3.06161$  (2)  $0.0332 \times 21.77 \times 2.05633$

7. 确定下列数值的有效数字的位数

(1)  $\text{pH} = 11.40$  (2)  $1000$  (3)  $0.003160$  (4)  $w_{\text{SiO}_2} = 12.40\%$

8. A student obtained the following results for the concentration of a solution:  $0.1031, 0.1033, 0.1032$  and  $0.1040 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$ .

(1) Can the last result be rejected according to the  $Q$ -test ( $90\%$  confidence level)?

(2) What value should be used for the concentration?

(3) Calculate the  $99\%$  confidence interval of the mean.

9. 称取样品 A 的质量为  $1.4567 \text{ g}$ , 该样品的真实值为  $1.4566 \text{ g}$ ; 称取样品 B 的质量为  $0.1432 \text{ g}$ , 该样品的真实值为  $0.1431 \text{ g}$ , 试比较哪一个准确度高?

10. 测定铜合金中铜含量, 5 次测得数据为  $72.32\%$ 、 $72.30\%$ 、 $72.25\%$ 、 $72.22\%$ 、 $72.21\%$ , 求其平均值及相对平均偏差?

11. 已知铁矿石标样含  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  为 50.36%，现由甲、乙、丙 3 位化验员同时测定此铁矿石，各测 4 次，测得结果如下：

甲 50.20%、50.20%、50.18%、50.17%

乙 50.40%、50.30%、50.20%、50.10%

丙 50.36%、50.33%、50.34%、50.35%

试比较甲、乙、丙 3 人的分析结果如何？并指出他们实验中存在的问题。

12. 甲乙两人同时分析一矿样中的硫含量，每次取样均称 3.5g，两人的分析结果分别报告如下：

甲报告的结果为 0.042%、0.041%；乙报告的结果为 0.04199%、0.04201%，问何者报告的结果正确。

13. 重量法测定某样品中水分含量，测得的结果为 1.61%、1.53%、1.54%、1.83%。问 1.83% 是否应该舍去？（置信度为 95%）

14. 用紫外分光光度法测定某样品中抗生素的质量分数，测定结果（单位：%）如下：60.72，60.81，60.70，60.78，60.56，60.84，求：（1）上述结果的平均值、标准偏差和相对标准偏差，并指出上述结果中是否有离群值；（2）若本样品的准确含量为 60.75%，问此方法是否可靠？（置信度为 95%）

15. 某分析人员测定一试样中血铅含量，得到以下结果：6 次测得的平均值为  $16.82\mu\text{g}/100\text{g}$ ，标准偏差为  $0.08\mu\text{g}/100\text{g}$ ，此样品的标准血铅含量为  $16.62\mu\text{g}/100\text{g}$ ，这些结果有无显著性差异（置信度为 95%）？

## 第二章 气体和溶液

### 基本要求

- (1) 掌握理想气体模型及状态方程。
- (2) 掌握气体的分压定律和分体积定律以及相关计算。
- (3) 理解实际气体与理想气体的区别,了解实际气体状态方程式,气体分子运动的速率分布和能量分布曲线。
- (4) 掌握溶液浓度的表示方法及相关计算。
- (5) 理解对基准物质的要求及标准溶液的配制方法。
- (6) 理解非电解质溶液的依数性及定量关系式,了解电解质溶液的依数性质。
- (7) 理解胶体溶液的概念及性质。

本章内容主要包括两大部分。第一部分是气体;第二部分为溶液及其性质。

### 重点内容与学习指导

#### 第一部分 气 体

##### 一、理想气体状态方程

###### 1. 理想气体模型

分子之间没有相互作用、分子本身体积为零的气体,实际上并不存在,常将低压、高温下的气体近似看成理想气体。

###### 2. 理想气体状态方程式

$$pV = nRT$$

式中:  $p$ ——气体的压力, Pa;

$V$ ——气体的体积,  $\text{m}^3$ ;

$n$ ——气体的物质的量, mol;

$T$ ——热力学温度, K;

$R$ ——摩尔气体常量( $8.314 \text{ J} \cdot \text{mol}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$ )。

由于  $n = \frac{m}{M}$ , 代入上式可得

$$pV = \frac{m}{M}RT \Rightarrow pM = \frac{m}{V}RT = \rho RT$$

式中： $M$ ——气体的摩尔质量， $\text{kg}\cdot\text{mol}^{-1}$ ；

$\rho$ ——气体的密度， $\text{kg}\cdot\text{m}^{-3}$ 。

【例 2-1】淡蓝色氧气钢瓶体积一般为 50L，在室温  $25^\circ\text{C}$ ，当其压力为 1.0 MPa 时，估算钢瓶中所剩氧气的质量。

解 由理想气体状态方程  $pV = nRT$  可得

$$n = \frac{pV}{RT} = \frac{1.0 \times 10^6 \text{Pa} \times 50 \times 10^{-3} \text{m}^3}{8.314 \text{J} \cdot \text{mol}^{-1} \cdot \text{K}^{-1} \times (273.15 + 25) \text{K}} = 20.2 \text{mol}$$

故估算得钢瓶中所剩氧气的质量为

$$m = M \times n = 32 \text{g} \cdot \text{mol}^{-1} \times 20.2 \text{mol} = 646.4 \text{g}$$

## 二、理想气体的分压定律和分体积定律

### 1. 气体分压定律

分压定律：温度、体积一定时，混合气体的总压力( $p$ )等于各组分气体的分压力( $p_B$ )之和；某组分气体的分压力大小与其在气体混合物中的摩尔分数( $x_B$ )成正比。

$$p = \sum_B p_B \quad p_B = x_B p$$

分压力：在相同温度下，该组分单独存在且占有与混合气体相同体积时所具有的压力。

$$p_B = \frac{n_B}{V} RT$$

摩尔分数：组分气体的物质的量与混合气体的总的物质的量之比。

$$x_B = \frac{n_B}{n}$$

### 2. 气体的分体积定律

分体积定律：温度、压力一定时，混合气体的总体积( $V$ )等于各组分气体的分体积( $V_B$ )之和；某组分气体的分体积大小与其在气体混合物中的摩尔分数( $x_B$ )成正比。

$$V = \sum_B V_B \quad V_B = x_B V$$

分体积：在相同温度下，该组分单独存在且具有与混合气体相同压力时所具有的体积。

$$V_B = \frac{n_B RT}{p}$$

【例 2-2】在室温  $25^\circ\text{C}$  和 101kPa 压力下，已知氨气中含 5.00% (质量) 的氮



气,求二者的分压和分体积。

解 设现有 100g 氨气,则

$$n_{\text{NH}_3} = \frac{100\text{g} \times (1 - 5.00\%)}{17\text{g} \cdot \text{mol}^{-1}} = 5.59\text{mol}$$

$$n_{\text{N}_2} = \frac{100\text{g} \times 5.00\%}{28\text{g} \cdot \text{mol}^{-1}} = 0.179\text{mol}$$

$$n_{\text{总}} = 5.59 + 0.179 = 5.77\text{ mol}$$

$$x_{\text{NH}_3} = \frac{n_{\text{NH}_3}}{n} = \frac{5.59}{5.77} = 0.969$$

$$x_{\text{N}_2} = \frac{n_{\text{N}_2}}{n} = \frac{0.179}{5.77} = 0.031$$

故氨气和氮气的分压分别为

$$p_{\text{NH}_3} = x_{\text{NH}_3} p = 101\text{kPa} \times 0.969 = 97.9\text{kPa}$$

$$p_{\text{N}_2} = x_{\text{N}_2} p = 101\text{kPa} \times 0.031 = 3.13\text{kPa}$$

由理想气体状态方程式可求出

$$V_{\text{总}} = \frac{n_{\text{总}} RT}{p_{\text{总}}} = \frac{5.77 \times 8.314 \times (273.15 + 25)}{101} = 141.6\text{L}$$

故氨气和氮气的分体积分别为

$$V_{\text{NH}_3} = x_{\text{NH}_3} V = 141.6 \times 0.969 = 137.2\text{L}$$

$$V_{\text{N}_2} = x_{\text{N}_2} V = 141.6 \times 0.031 = 4.39\text{L}$$

### 三、实际气体

#### 1. 实际气体状态方程式

实际气体与理想气体产生偏差的两个主要原因:实际气体分子自身的体积和分子间作用力。

1873年,荷兰科学家范德华对理想气体状态方程进行了修正,得出实际气体状态方程式(即范德华方程式)

$$\left(p + \frac{n^2 a}{V^2}\right)(V - nb) = nRT$$

式中, $a$ 和 $b$ 称为范德华常数。常数 $a$ 用于校正压力, $b$ 用于修正体积,均由实验确定。

#### 2. 气体分子运动的速率分布和能量分布

速率分布:由于气体分子在容器内不断地做无规则地运动,并且分子间频繁碰