

全国中等卫生学校教材

供药剂士、检验士、临床检验士、卫生检验士专业用

# 无机化学

第二版

丁 苗 主 编

人民卫生出版社

全国中等卫生学校教材

(供药剂士、检验士、临床检验士、卫生检验士专业用)

# 无机化学

第 二 版

徐丁苗 主编

徐丁苗 (上海第二医科大学附属卫生学校)

缪德如 (四川省重庆药剂学校)

王宗韩 (浙江省卫生学校)

朱安安 (上海第二医科大学附属卫生学校)

编写

人 民 卫 生 出 版 社

**(京)新登字081号**

**图书在版编目 (CIP) 数据**

无机化学/徐丁苗主编. —2版. —北京: 人民卫生出版社, 1994  
ISBN 7-117-00108-9

I. 无…

II. 徐…

III. 无机化学-医药院校-教材

IV. 061-43

**无 机 化 学**

**第 二 版**

徐丁苗 主编

人民卫生出版社出版

(北京市崇文区天坛西里10号)

四川新华印刷厂印刷

新华书店北京发行所发行

787×1092毫米 16开本  $19\frac{3}{4}$ 印张 5插页 459千字

1985年6月第1版 1994年6月第2版第10次印刷

印数: 268 281—303 380

ISBN7-117-00108-9/R·109 定价: 9.40 元

## 二 版 前 言

根据1992年11月在北京召开全国中等卫生学校教材修订工作会议的精神，二版教材是在新教学计划颁布前的过渡性教材。并规定了这次修订教材的原则：保持原教材体系和章节基本不变的前提下，凡在书中提法上有不妥当的或有错误的地方，必须予以修订。但对整个教材不作全面的修改。这次《无机化学》修订的重点：遵照1984年2月27日国务院颁布的“关于在我国统一实行法定计量单位的命令”及“中华人民共和国法定计量单位”规定的文件，在现在用的教材中凡国家规定废除的非法定计量单位，必须删去或修改。但目前由于初中化学教材中仍有百分浓度的内容，为了便于教材内容的衔接，将附录二“酸、碱溶液的密度与百分浓度对照表”仍然保留着。

《无机化学》二版教材是在征求了全国许多卫生学校老师和同学的意见后在分析总结的基础上进行修订编写的。在此对曾支持这项工作的单位和个人一并表示致谢。

二版《无机化学》仍然共分16章，总学时数不变，理论时数和实验时数没有多大变动。限于编者的水平，书中有可能出现不妥或错误之处，敬希批评指正。

编者

1993年5月

# 目 录

|                             |     |
|-----------------------------|-----|
| <b>第一章 摩[尔]</b> .....       | 1   |
| 第一节 摩[尔].....               | 1   |
| 第二节 气体摩尔体积.....             | 5   |
| <b>第二章 溶液</b> .....         | 10  |
| 第一节 溶液的概念.....              | 10  |
| 第二节 溶解度.....                | 12  |
| 第三节 溶液的浓度.....              | 16  |
| 第四节 溶液的配制和浓度的换算.....        | 19  |
| 第五节 稀溶液的依数性.....            | 24  |
| <b>第三章 原子结构和元素周期律</b> ..... | 32  |
| 第一节 原子的组成.....              | 32  |
| 第二节 核外电子的运动状态.....          | 34  |
| 第三节 原子核外电子的排布.....          | 37  |
| 第四节 元素周期律.....              | 40  |
| 第五节 元素周期表.....              | 45  |
| 第六节 同位素.....                | 50  |
| <b>第四章 分子结构</b> .....       | 55  |
| 第一节 离子键 离子晶体.....           | 55  |
| 第二节 共价键.....                | 58  |
| 第三节 极性分子和非极性分子.....         | 61  |
| 第四节 分子间的作用力和氢键.....         | 63  |
| <b>第五章 卤族元素</b> .....       | 68  |
| 第一节 卤素的通性.....              | 68  |
| 第二节 卤素的单质.....              | 69  |
| 第三节 卤化氢.....                | 72  |
| 第四节 卤化物.....                | 75  |
| 第五节 卤素的含氧酸及其盐.....          | 78  |
| 第六节 类卤化合物.....              | 79  |
| 第七节 离子反应 离子方程式.....         | 81  |
| <b>第六章 氧化还原反应</b> .....     | 86  |
| 第一节 氧化还原反应的基本概念.....        | 86  |
| 第二节 氧化还原反应方程式配平.....        | 91  |
| 第三节 氧化还原反应的应用.....          | 94  |
| <b>第七章 氧族元素</b> .....       | 99  |
| 第一节 通性.....                 | 99  |
| 第二节 氧的氢化物.....              | 100 |

|             |                    |            |
|-------------|--------------------|------------|
| 第三节         | 硫                  | 103        |
| 第四节         | 硫化氢和金属硫化物          | 105        |
| 第五节         | 硫的含氧化合物            | 107        |
| <b>第八章</b>  | <b>碱金属和碱土金属</b>    | <b>117</b> |
| 第一节         | 金属的通性              | 117        |
| 第二节         | 碱金属和碱土金属的性质和用途     | 121        |
| 第三节         | 碱金属和碱土金属的氧化物和氢氧化物  | 123        |
| 第四节         | 碱金属和碱土金属的盐类        | 125        |
| 第五节         | 水的净化               | 127        |
| <b>第九章</b>  | <b>化学反应速度和化学平衡</b> | <b>131</b> |
| 第一节         | 化学反应速度             | 131        |
| 第二节         | 影响化学反应速度的因素        | 132        |
| 第三节         | 化学平衡               | 136        |
| 第四节         | 化学平衡的移动            | 140        |
| <b>第十章</b>  | <b>电解质溶液</b>       | <b>145</b> |
| 第一节         | 电解质和电离             | 145        |
| 第二节         | 电离度和强弱电解质          | 147        |
| 第三节         | 弱电解质的电离平衡          | 149        |
| 第四节         | 酸碱理论发展的简介          | 153        |
| 第五节         | 水的电离和溶液的pH值        | 157        |
| 第六节         | 酸碱指示剂              | 159        |
| 第七节         | 盐类的水解              | 162        |
| 第八节         | 难溶电解质的沉淀溶解平衡       | 165        |
| <b>第十一章</b> | <b>缓冲溶液</b>        | <b>173</b> |
| 第一节         | 同离子效应              | 173        |
| 第二节         | 缓冲溶液               | 174        |
| <b>第十二章</b> | <b>胶体溶液</b>        | <b>189</b> |
| 第一节         | 分散系                | 189        |
| 第二节         | 胶体溶液的制备            | 190        |
| 第三节         | 胶体溶液的性质及胶团结构       | 191        |
| 第四节         | 胶体溶液的稳定性和聚沉        | 196        |
| 第五节         | 高分子化合物溶液           | 198        |
| <b>第十三章</b> | <b>氮族元素</b>        | <b>202</b> |
| 第一节         | 通性                 | 202        |
| 第二节         | 氮                  | 203        |
| 第三节         | 氨和铵盐               | 204        |
| 第四节         | 氮的含氧酸及其盐           | 207        |
| 第五节         | 磷、磷酸及其盐            | 210        |
| 第六节         | 砷、锑、铋及其重要化合物       | 212        |

|                       |     |
|-----------------------|-----|
| <b>第十四章 碳族元素和硼族元素</b> | 218 |
| 第一节 通性                | 218 |
| 第二节 碳及其氧化物            | 219 |
| 第三节 碳酸及其盐             | 223 |
| 第四节 硅及其重要化合物          | 225 |
| 第五节 铅及其重要化合物          | 228 |
| 第六节 硼及其重要化合物          | 229 |
| 第七节 铝及其重要化合物          | 230 |
| <b>第十五章 配位化合物</b>     | 236 |
| 第一节 配合物的基本概念          | 236 |
| 第二节 配合物的结构            | 239 |
| 第三节 螯合物的概念            | 240 |
| 第四节 配合物的性质            | 241 |
| <b>第十六章 过渡元素</b>      | 245 |
| 第一节 过渡元素概述            | 245 |
| 第二节 铜和银及其重要的化合物       | 248 |
| 第三节 锌和汞及其重要化合物        | 251 |
| 第四节 铬及其化合物            | 256 |
| 第五节 锰及其化合物            | 259 |
| 第六节 铁及其化合物            | 260 |
| <b>实验部分</b>           | 265 |
| 实验室规则                 | 265 |
| 实验一 化学实验基本操作          | 266 |
| 实验二 硫酸铜晶体的制取和结晶水含量测定  | 274 |
| 实验三 溶液的基本概念           | 276 |
| 实验四 溶液浓度的配制           | 278 |
| 实验五 强酸强碱的中和滴定         | 279 |
| 实验六 卤族元素              | 281 |
| 实验七 氧化还原反应            | 283 |
| 实验八 氧族元素              | 285 |
| 实验九 碱金属和碱土金属          | 287 |
| 实验十 化学反应速度和化学平衡       | 288 |
| 实验十一 电解质溶液            | 291 |
| 实验十二 同离子效应和缓冲溶液       | 293 |
| 实验十三 胶体溶液             | 296 |
| 实验十四 氮族元素             | 297 |
| 实验十五 碳族元素和硼族元素        | 299 |
| 实验十六 配合物的生成和性质        | 301 |
| 实验十七 过渡元素             | 302 |

|                                 |     |
|---------------------------------|-----|
| 实验十八 实验考查.....                  | 304 |
| 附录一 国际原子量表(1973).....           | 305 |
| 附录二 酸、碱溶液的密度与百分浓度对照表.....       | 306 |
| 附录三 无机酸、碱在水中的电离常数.....          | 308 |
| 附录四 难溶化合物的溶度积 ( $K_{sp}$ )..... | 309 |

# 第一章 摩〔尔〕

摩〔尔〕是国际单位制(SI制)的一种基本单位,它用来表示物质的量。摩尔广泛地应用于科学研究、工农业生产、医药卫生等方面。

我们要重视摩尔的学习,理解它们的意义及应用。

## 第一节 摩〔尔〕

### 一、摩〔尔〕(mol)

在初中化学里,学习过原子、分子、离子等构成物质的微粒,知道单个这样的微粒是肉眼看不见的,也是难于称量的。但是在实验室里取用的物质,不论是单质还是化合物,应是看得见的,可以称量的。在生产上,物质的用量当然更大,常以吨计。而物质之间的反应,是按照一定个数、肉眼看不见的原子、分子或离子来进行的。在实践上,也总是以可称量的物质进行反应。所以,很需要把微粒跟可称量的物质联系起来。

怎样联系起来呢?就是要建立一种物质的量的基本单位,这个单位应是含有同数的原子、分子、离子等等的集体。科学上已经建立把微粒跟微粒集体联系起来的单位,这个单位是摩尔。那末采取多大的集体作为物质的量的单位呢?

近年来,科学上应用0.012kg碳-12( $^{12}\text{C}$ )来衡量碳原子集体。碳-12就是原子核里有6个质子和6个中子的碳原子。0.012kg碳-12里含有多少个碳原子呢?根据实验测定0.012kg碳-12中所含原子数目是: $6.02 \times 10^{23}$ (个), $6.02 \times 10^{23}$ 这个数叫做阿佛加德罗(Avogadro, 1776~1856,意大利物理学家)常数。它可以通过多种实验及计算得到,但目前所测得的数值只是近似值。随着科学的发展,这个近似值会越来越精确。

**摩〔尔〕是表示物质的量的单位,每摩尔物质含有阿佛加德罗常数个微粒。**

“物质的量”是七个国际单位制的一种基本物理量,它和“长度”、“质量”、“时间”等一样,也是基本物理量。“物质的量”是表示物质所含微粒的多少,是专门研究微观世界中微粒的多少。对于“物质的量”不能把“量”和“物质的”分开,“物质的量”是一个整体,它是一个专有名词。“长度”单位为“米”(m),“质量”单位为“千克”(kg),“时间”单位为“秒”(s),国际上规定把“物质的量”的单位定为“摩〔尔〕”mol。所以“摩尔”是“物质的量”的单位。物质的量符号用n表示,它的单位符号用mol表示。

那么含多少微粒便是1mol呢?凡含有 $6.02 \times 10^{23}$ 个微粒集体的物质都称为1mol。也就是每摩尔物质均含有阿佛加德罗常数个微粒。例如:

1mol的碳原子含有 $6.02 \times 10^{23}$ 个碳原子,

1mol的氢原子含有 $6.02 \times 10^{23}$ 个氢原子,

1mol的氧分子含有 $6.02 \times 10^{23}$ 个氧分子,

1mol的水分子含有 $6.02 \times 10^{23}$ 个水分子,

1mol的二氧化碳分子含有 $6.02 \times 10^{23}$ 个二氧化碳分子,

1mol的氢离子含有 $6.02 \times 10^{23}$ 个氢离子,

1mol 的氢氧根离子含有  $6.02 \times 10^{23}$  个氢氧根离子。

阿佛加德罗常数是个很大的数值，但摩尔作为物质的量的单位应用极为方便。如实验测得 1mol 碳-12 的质量是 0.012kg (12g)，即含有  $6.02 \times 10^{23}$  个碳原子的质量。首先，我们来推算 1mol 任何原子的质量。

一种元素的原子量是以碳-12 的的质量的  $1/12$  作为标准，该元素一个原子的质量跟它相比较所得的数值，如氧的原子量是 16，氢的原子量是 1，铁的原子量是 55.85 等等。1 个碳原子的质量跟 1 个氧原子的质量之比是 12:16，1mol 碳原子跟 1mol 氧原子所含有的原子数相同，都是  $6.02 \times 10^{23}$  个。1mol 碳原子是 12g，那么 1mol 氧原子就是 16g。同理，1mol 任何原子的质量，就是以克为单位，数值上等于该种原子的原子量。由此我们可以直接推知：

氢的原子量是 1，1mol 氢原子的质量是 1g，

铁的原子量是 55.85，1mol 铁原子的质量是 55.85g。

其次，我们用摩尔来衡量 1mol 双原子分子或多原子分子构成各种物质的质量。那么同样地可以推知，1mol 任何分子的质量，就是以克为单位，数值上等于该种分子的分  
子量。例如：

氢气的分子量是 2，1mol 氢气的质量是 2g，

氧气的分子量是 32，1mol 氧气的质量是 32g，

二氧化碳的分子量是 44，1mol 二氧化碳的质量是 44g，

水的分子量是 18，1mol 水的质量是 18g。

当摩尔应用于表示离子的质量的时候，由于电子的质量过于微小，失去或得到的电子的质量可以略去不计。所以 1mol 任何离子（或根）的质量，就是以克为单位，数值上等于该种离子的原子量（或根中各原子量的总和）。例如：

1mol  $H^+$  的质量是 1g，

1mol  $OH^-$  的质量是 17g，

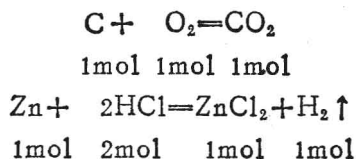
1mol  $SO_4^{2-}$  的质量是 96g，

1mol  $Cl^-$  的质量是 35.5g。

对于离子化合物，也可以同样推知，如 1mol NaCl 的质量是 58.5g。

总之，摩尔象一座桥梁，把单个肉眼看不见的微粒跟很大数值的微粒集体、可称量的物质之间联系起来了。

应用摩尔来衡量物质的量，在科学技术上带来了方便。如从化学反应中反应物和生成物之间的原子、分子等微粒的比值，可以直接知道它们之间物质的量之比。



## 二、关于摩尔质量及其计算

1mol 物质的质量通常也叫做该物质的摩尔质量，摩尔质量的符号用 M 表示，摩尔质量的单位是“g/mol”。物质的量、物质的质量和摩尔质量之间的关系可以用下式表示：

$$\text{物质的量 (mol)} = \frac{\text{物质的质量 (g)}}{\text{摩尔质量 (g/mol)}}$$

或用符号表示:

$$n = \frac{m}{M}$$

式中  $n$  代表物质的量;  $m$  代表物质的质量;  $M$  代表物质的摩尔质量。

〔例 1〕 90 g 水相当于多少摩尔水分子?

解: 水的分子量是 18, 水的摩尔质量是 18g/mol

$$\frac{90 \text{ g}}{18 \text{ g/mol}} = 5 \text{ mol}$$

答: 90 g 水相当于 5mol 水, 也可以说 90 g 水所含的物质的量是 5mol。

〔例 2〕 1.5mol 铜原子的质量是多少克?

解: 铜的原子量是 63.5, 铜的摩尔质量是 63.5g/mol。

$$1.5 \text{ mol 铜的质量} = 63.5 \text{ g/mol} \times 1.5 \text{ mol} = 95.25 \text{ g}$$

答: 1.5mol 铜原子 (或简称 1.5mol 铜) 的质量等于 95.25 g。

〔例 3〕 4.9 g 硫酸里含有多少硫酸分子?

解: 硫酸分子量是 98, 硫酸的摩尔质量是 98g/mol。

$$\frac{4.9 \text{ g}}{98 \text{ g/mol}} = 0.05 \text{ mol}$$

$$4.9 \text{ g 硫酸的分子数} = 6.02 \times 10^{23} / \text{mol} \times 0.05 \text{ mol} = 3.01 \times 10^{22}$$

答: 4.9 g 硫酸里含有  $3.01 \times 10^{22}$  个硫酸分子。

〔例 4〕 多少克铁和 3 g 碳的原子个数相同?

解: 当两种物质的物质的量相同时, 它们的微粒数也相同。

碳的原子量是 12, 碳的摩尔质量是 12g/mol。

$$\frac{3 \text{ g}}{12 \text{ g/mol}} = 0.25 \text{ mol}$$

铁的原子量是 56, 铁的摩尔质量是 56g/mol。

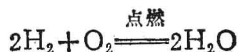
$$0.25 \text{ mol 铁的质量} = 56 \text{ g/mol} \times 0.25 \text{ mol} = 14 \text{ g}$$

答: 14 g 铁和 3 g 碳的原子数相同。

〔例 5〕 8 g 氢气在空气中完全燃烧, 问有多少个氢分子和氧分子参加了反应?

解: 氢气的分子量是 2, 氢气的摩尔质量是 2g/mol。

$$\frac{8 \text{ g}}{2 \text{ g/mol}} = 4 \text{ mol}$$



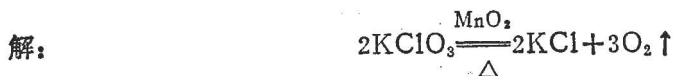
从化学反应方程式来看, 2mol 氢气和 1mol 氧气正好完全反应, 所以 4mol 氢气可以和 2mol 氧气反应。参加反应的氢气和氧气的分子数是:

$$\text{氢气的分子数} = 6.02 \times 10^{23} / \text{mol} \times 4 \text{ mol} = 2.4 \times 10^{24}$$

$$\text{氧气的分子数} = 6.02 \times 10^{23} / \text{mol} \times 2 \text{ mol} = 1.2 \times 10^{24}$$

答：有  $2.4 \times 10^{24}$  个氢分子和  $1.2 \times 10^{24}$  个氧分子参加反应。

〔例6〕 1mol 氯酸钾加热完全分解后能产生多少克氧气？



从化学反应方程式可以看出，2mol 氯酸钾分解可以得到 3mol 氧气，所以 1mol 氯酸钾加热可制取 1.5mol 氧气。

氧气的分子量是 32，氧气的摩尔质量是 32g/mol

1.5mol 氧气的质量 =  $32\text{g/mol} \times 1.5\text{mol} = 48\text{g}$

答：1mol 氯酸钾加热完全分解产生氧气 48g。

〔例7〕 完全中和 80g 氢氧化钠需要硫酸多少摩尔？是多少克？

解：氢氧化钠的分子量是 40，氢氧化钠的摩尔质量是 40g/mol；硫酸的分子量是 98，硫酸的摩尔质量是 98g/mol。

$$\frac{80\text{g}}{40\text{g/mol}} = 2\text{mol}$$

80g NaOH 相当于 2mol NaOH。



从化学反应方程式可以看出，中和用去的 NaOH 和  $\text{H}_2\text{SO}_4$  的物质的量之比是 2:1，因此中和 2mol NaOH，需用  $\text{H}_2\text{SO}_4$  是 1mol。

1mol  $\text{H}_2\text{SO}_4$  的质量 =  $98\text{g/mol} \times 1\text{mol} = 98\text{g}$

答：完全中和 80g NaOH 需用  $\text{H}_2\text{SO}_4$  1mol，其质量是 98g。

〔例8〕 在 1mol  $\text{HCl}$ 、 $\text{H}_2\text{SO}_4$ 、NaOH、 $\text{Ba}(\text{OH})_2$  和  $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$  的溶液中，分别有多少摩尔的  $\text{H}^+$ 、 $\text{Cl}^-$ 、 $\text{SO}_4^{2-}$ 、 $\text{Na}^+$ 、 $\text{OH}^-$ 、 $\text{Ba}^{2+}$ 、 $\text{Ca}^{2+}$ ？

解：因为 1 分子物质中离子（或原子）数等于 1mol 物质中离子（或原子）的物质的量。所以：

1mol  $\text{HCl}$  中有 1mol  $\text{H}^+$  和 1mol  $\text{Cl}^-$  数，

1mol  $\text{H}_2\text{SO}_4$  中有 2mol  $\text{H}^+$  和 1mol  $\text{SO}_4^{2-}$  数，

1mol NaOH 中有 1mol  $\text{Na}^+$  和 1mol  $\text{OH}^-$  数，

1mol  $\text{Ba}(\text{OH})_2$  中有 1mol  $\text{Ba}^{2+}$  和 2mol  $\text{OH}^-$  数，

1mol  $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$  中有 1mol  $\text{Ca}^{2+}$  和 2mol  $\text{NO}_3^-$  数。

从上面计算题的解题过程中，可以得出以下几条计算规律：

$$(1) \text{物质的质量} \xrightarrow{\div \text{摩尔质量}} \text{物质的量} \xrightarrow{\times 6.02 \times 10^{23}} \text{微粒数}$$
$$\text{物质的量} \xrightarrow{\times \text{摩尔质量}} \text{物质的质量}$$
$$\text{微粒数} \xrightarrow{\div 6.02 \times 10^{23}} \text{物质的量}$$

(2) 化学反应方程式中分子式前面的系数，既能代表分子数，又能代表物质的量。所以，化学反应方程式中各物质的分子数之比，也等于物质的量之比。

(3) 1 分子中离子（或原子）数等于 1mol 物质中离子（或原子）的物质的量。

在实际应用中，有时摩尔这个单位显得太大，常常还采用毫摩尔 (mmol) 做单位。1mmol 就是 1mol 的千分之一。

即：1mol = 1000mmol

例如：1mmol 的  $\text{H}_2\text{SO}_4$  是 98mg 的  $\text{H}_2\text{SO}_4$ 。

## 第二节 气体摩尔体积

### 一、气体摩尔体积

对于固态或液态的物质来说，1mol 各种物质的体积是不相同的。例如，20℃时，1mol 铁的体积是  $7.1\text{cm}^3$ ，1mol 铝的体积是  $10\text{cm}^3$ ，1mol 铅的体积是  $18.3\text{cm}^3$  (图 1-1)；1mol 水的体积是  $18.0\text{cm}^3$ ，1mol 纯硫酸的体积是  $54.1\text{cm}^3$ ，1mol 蔗糖的体积是  $215.5\text{cm}^3$  (图 1-2)。

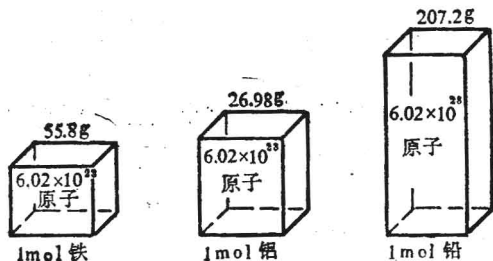


图 1-1 1mol 几种金属的体积比较

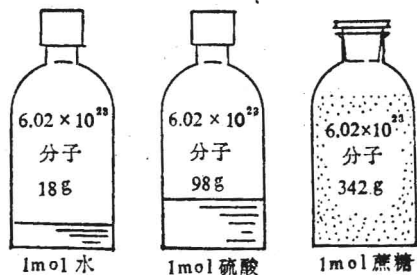


图 1-2 1mol 几种化合物的体积比较

1mol 固态或液态的物质的体积为什么不同呢？这是因为对固态或液态的物质来说，构成它们的微粒间的距离是很小的，1mol 物质的体积主要决定于原子、分子或离子的大小。构成不同物质的原子、分子或离子的大小是不同的，所以它们 1mol 的体积也就有所不同。

但是，对气体来说，情况就不是这样。

我们分别计算 1mol 氢气、氧气和二氧化碳在标准状况 (STP) (压强为  $101.3\text{kPa}$  和温度为  $0^\circ\text{C}$ ) 时的体积。氢气的摩尔质量  $2\text{g/mol}$ ，氧气的摩尔质量是  $32\text{g/mol}$ ，二氧化碳的摩尔质量是  $44\text{g/mol}$ ，同时它们的密度 [国际单位制，密度的单位是千克每立方米 ( $\text{kg/m}^3$ )，在这里，暂按习惯用克每立方厘米 ( $\text{g/cm}^3$ ) 或克每升 ( $\text{g/L}$ ) 为单位。] 分别是  $0.0899\text{g/L}$ 、 $1.429\text{g/L}$  和  $1.977\text{g/L}$ 。这样就可以算出上述气体在标准状况时所占的体积。

$$\text{氢气的摩尔体积} = \frac{2.016\text{g/mol}}{0.0899\text{g/L}} \approx 22.4\text{L/mol}$$

$$\text{氧气的摩尔体积} = \frac{32.0\text{g/mol}}{1.429\text{g/L}} \approx 22.4\text{L/mol}$$

$$\text{二氧化碳的摩尔体积} = \frac{44.0\text{g/mol}}{1.977\text{g/L}} \approx 22.3\text{L/mol}$$

从上面几个例子可以看出，在标准状况时，1mol 三种气体的体积都约是  $22.4\text{L}$ 。而且经过许多实验发现和证实，1mol 的任何气体在标准状况下所占的体积都约是  $22.4\text{L}$  (图 1-3)。

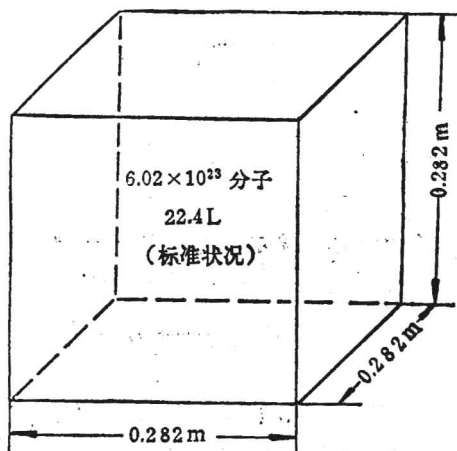


图 1-3 气体摩尔体积

在标准状况下 (STP), 1mol 的任何气体所占的体积都约是 22.4L, 这个体积叫做**气体摩尔体积**。它的符号用  $V_m$  表示。

为什么 1mol 的固体、液体的体积各不相同, 而 1mol 气体在标准状况时所占的体积都相同呢? 这要从气态物质的结构去找原因。气体的分子在较大的空间里迅速地运动着。在通常情况下气态物质的体积要比它在液态或固态时大 1000 倍左右, 这是因为气体分子间有着较大的距离。例如, 1g 水在液态时仅占有 1ml 左右的体积, 但在 100℃, 101.3kPa 下成为气态时, 它的体积约有 1700ml。通常情况下, 一般气体的分子直径约是  $4 \times 10^{-10}m$ , 分子间的平均距离是  $4 \times 10^{-9}m$ , 即平均距离比分子直径大 10 倍左右。这就可以推知, 气体体积主要决定于分子间的平均距离, 而不象液体或固体那样, 体积主要决定于分子的大小。在标准状况下, 不同气体分子间的平均距离几乎是相等的, 所以任何物质的气体摩尔体积都约是 22.4L/mol。

气体摩尔体积约是 22.4L/mol, 为什么一定要加上标准状况这个条件呢? 这是因为气体的体积较大地受到温度和压强的影响。温度升高时, 气体分子间的平均距离增大, 温度降低时, 平均距离减小; 压强增大时, 气体分子间的平均距离减小, 压强减小时, 平均距离增大。各种气体在一定温度和压强下, 分子间的平均距离是相等的。在一定的温度和压强下, 气体体积的大小只随分子数的多少而变化, 相同的体积含有相同的分子数。这是经过生产上和科学实验的许多事实所证明的。

**在相同的温度和压强下, 相同体积的任何气体都含有相同数目的分子, 这就是阿佛加德罗定律。**

要注意的是, 阿佛加德罗定律不适用于液态或固态物质。这是因为它们分子间的距离比气态物质小得多, 所以分子本身的大小不能忽略不计。它们的体积不仅与分子数有关, 而且与分子本身大小有关。

## 二、关于气体摩尔体积的计算

〔例 1〕 5.5g 氨相当于多少摩尔氨, 在标准状况时, 它的体积应是多少升?

解: 氨的分子量是 17, 氨的摩尔质量是 17g/mol。

$$\frac{5.5g}{17g/mol} = 0.32mol$$

$$5.5g \text{ 氨的体积} = 22.4L/mol \times 0.32mol = 7.2L$$

答: 5.5g 氨相当于 0.32mol 的氨, 在标准状况时, 它的体积是 7.2L。

〔例 2〕 在标准状况下, 0.224m<sup>3</sup> 的氯化氢气体的质量是多少克?

解: 0.224m<sup>3</sup> = 224L, 氯化氢的分子量是 36.5, 氯化氢的摩尔质量是 36.5g/mol。

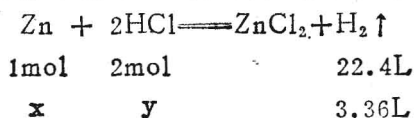
氯化氢气体的摩尔体积是 22.4L/mol。

$$22.4L \text{ 氯化氢的质量} = \frac{224L}{22.4L/mol} \times 36.5g/mol = 365g$$

答: 在标准状况下, 0.224m<sup>3</sup> 氯化氢气体的质量是 365g。

〔例 3〕 在实验室里使稀盐酸跟锌起反应, 在标准状况时生成 3.36L 氢气。计算需要多少摩尔的 HCl 和锌。

解：设  $x$  为所需要多少摩尔的锌， $y$  为所需要多少摩尔的  $\text{HCl}$ 。



$$x = \frac{1\text{mol} \times 3.36\text{L}}{22.4\text{L}} = 0.15\text{mol}$$

$$y = \frac{2\text{mol} \times 3.36\text{L}}{22.4\text{L}} = 0.30\text{mol}$$

答：需要 0.15mol 锌和 0.30mol  $\text{HCl}$ 。

〔例 4〕 在标准状况时，0.20L 的容器里所含一氧化碳的质量为 0.25g，计算一氧化碳的分子量。

解：根据气体摩尔体积可以算出一氧化碳的摩尔质量，而摩尔质量的数值就等于它的分子量。

一氧化碳的摩尔质量

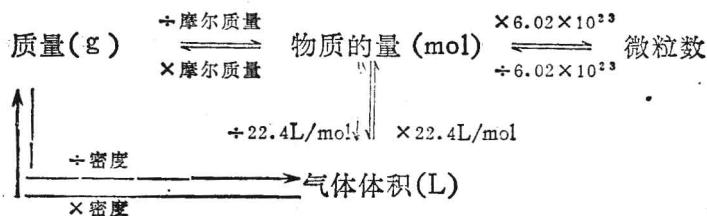
= 一氧化碳的密度  $\times$  一氧化碳的摩尔体积

$$= \frac{0.25\text{g}}{0.20\text{L}} \times 22.4\text{L/mol} = 28\text{g/mol}$$

所以，一氧化碳的分子量 = 28

答：一氧化碳的分子量是 28。

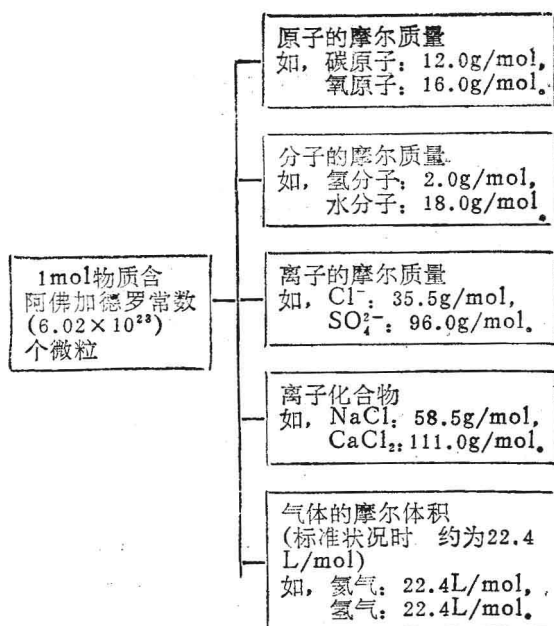
通过上述气体摩尔体积的计算，可以总结出物质的量、摩尔质量、气体摩尔体积、物质的质量、气体体积、微粒数等相互换算的关系式：



## 本章提要

### 摩尔〔尔〕

摩尔〔尔〕是表示物质的量的单位，每摩尔物质含有阿佛加德罗常数个微粒（分子、原子、离子等）。



$$\text{物质的量 (mol)} = \frac{\text{物质的质量 (g)}}{\text{物质的摩尔质量 (g/mol)}}$$

或用符号表示:

$$n = \frac{m}{M}$$

$$\text{气体物质的量 (mol)} = \frac{\text{气体的体积 (L) 标准状况 (STP)}}{\text{气体的摩尔体积 (22.4 L/mol)}}$$

或用符号表示:

$$n(\text{气体}) = \frac{V(\text{气体})(\text{STP})}{V_m}$$

## 习 题

1. 计算下列物质是几个摩尔?

(1) 3.4 g  $\text{OH}^-$

(2) 5.85 g  $\text{NaCl}$

(3) 80 g  $\text{Ca}^{2+}$

(4) 11.2 g 乳酸钠 ( $\text{NaC}_3\text{H}_5\text{O}_3$ )

2. 计算下列物质的质量:

(1) 1.25 mol  $\text{Na}_2\text{CO}_3 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$

(2) 0.2 mol  $\text{HCl}$

(3) 40 mmol  $\text{NaOH}$

(4) 1.5 mol  $\text{H}_2\text{SO}_4$

3. 10 g  $\text{NaOH}$  所含的分子数和多少克  $\text{H}_2\text{SO}_4$  所含的分子数相同?

4. 128 g  $\text{SO}_2$  在标准状况下占多少升体积? 含有多少个分子?

5. 在标准状况下, 1L  $\text{O}_2$ , 1L  $\text{H}_2$ , 1L  $\text{CO}$  各重多少克?

6. 回答下列问题:

(1) 1 mol  $\text{H}_2\text{SO}_4$  是多少克?

(2) 1 mol  $\text{H}_2\text{SO}_4$  含几摩尔H原子, 几摩尔S原子, 几摩尔O原子?

(3)  $1\text{mol H}_2\text{SO}_4$  含多少个  $\text{H}_2\text{SO}_4$  分子, 多少个H原子, 多少个S原子, 多少个O原子?

(4)  $1\text{mol H}_2\text{SO}_4$  含H、S、O元素各多少克?

(5)  $1\text{g H}_2\text{SO}_4$  是几个摩尔?

(6)  $1\text{g H}_2\text{SO}_4$  有多少个  $\text{H}_2\text{SO}_4$  分子, 多少个H原子、S原子、O原子?

7. 下列各种说法对吗? 不对的指出错误之处:

(1)  $1\text{mol H}_2$  占有体积约为  $22.4\text{L}$ 。

(2) 标准状况下,  $1\text{mol}$  水占有体积约为  $22.4\text{L}$ 。

(3) 氧气在标准状况下占有体积  $22.4\text{L}$ 。

(4)  $1\text{mol}$  氧气在标准状况下占有体积约为  $22.4\text{L}$ 。

(5)  $1\text{mol}$  氧气在  $20^\circ\text{C}$  时的体积比  $22.4\text{L}$  小。

(6)  $1\text{mol}$  氧气在  $202.6\text{kPa}$  时所占体积比  $22.4\text{L}$  小。

(7)  $32\text{g}$  氧气在标准状况下所占体积约为  $44.8\text{L}$ 。

(8)  $1\text{LCO}$  和  $1\text{LCO}_2$  在同温同压下, 所含的分子数相同。

(9)  $1\text{g CO}$  和  $1\text{g CO}_2$  在标准状况下, 所含分子数相同。

8. 求下列反应中各反应物的物质的量:

(1)  $2\text{Na} + 2\text{H}_2\text{O} = 2\text{NaOH} + \text{H}_2 \uparrow$

(2)  $\text{Zn} + \text{CuSO}_4 = \text{ZnSO}_4 + \text{Cu} \downarrow$

(3)  $2\text{Al} + 6\text{HCl} = 2\text{AlCl}_3 + 3\text{H}_2 \uparrow$

(4)  $\text{Na}_2\text{HPO}_4 + \text{NaOH} = \text{Na}_3\text{PO}_4 + \text{H}_2\text{O}$

(5)  $\text{NaHCO}_3 + \text{HCl} = \text{NaCl} + \text{CO}_2 \uparrow + \text{H}_2\text{O}$

(6)  $\text{P}_2\text{O}_5 + 3\text{Ba}(\text{OH})_2 = \text{Ba}_3(\text{PO}_4)_2 \downarrow + 3\text{H}_2\text{O}$

9.  $1\text{g NaCl}$  中含  $\text{Na}^+$  和  $\text{Cl}^-$  的物质的量各是多少?

10.  $120\text{g NaOH}$  是几个摩尔  $\text{NaOH}$ ? 含有几个摩尔  $\text{OH}^-$ ? 用  $98\%$  的  $\text{H}_2\text{SO}_4$  溶液来中和该碱需用多少克这种  $\text{H}_2\text{SO}_4$  溶液?