

高职高专“十二五”

无机化学

WUJI HUAXUE

张国升 靳学远 主编



化学工业出版社

高职高专“十二五”规划教材

无机化学

张国立 靳学远 主编

丁瑞华 (亳州职业技术学院)

丁润梅 (宁夏医科大学高等卫生职业技术学院)

靳学远 (淮南联合大学)

李喜凤 (安徽新华学院)

李万强 (安徽职业技术学院)

廖秀英 (泰山职业技术学院)

刘巧英 (河南科技职业学院)

刘自平 (安徽新华学院)

权春梅 (亳州职业技术学院)

王丽

王梅莉

王静

王静

王静



化学工业出版社

北京

内 容 提 要

本教材按照高职高专教学的基本要求,充分反映无机化学的基本概念、基本知识和基本技能,贴近学生,贴近生活、贴近岗位。书中设计了精致的“读一读”、“想一想”、“做一做”的链接,既能拓展学生的知识视野、理论与实际紧密联系,又能增加教材的趣味性。

本书内容包括溶液、胶体与表面化学、化学反应动力学、酸碱平衡、沉淀-溶解平衡、氧化还原反应、原子结构、化学键与分子结构、配位化合物、元素化学、生物无机化学简介及无机化学实验的基本知识和九个无机化学实验项目。各校可根据专业的需要选择使用。

本书可作为高职高专院校无机化学课程配套教材,也可供从事化学、化工技术的工作人员参考。

图书在版编目(CIP)数据

无机化学/张国升,靳学远主编. —北京:化学工业出版社, 2013.8(2018.9重印)
高职高专“十二五”规划教材
ISBN 978-7-122-17288-4

I. ①无… II. ①张…②靳… III. ①无机化学-高等职业教育-教材 IV. ①O61

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2013) 第 160134 号

责任编辑:梁静丽 胡全胜 李植峰
责任校对:吴 静

文字编辑:汲永臻
装帧设计:孙远博

出版发行:化学工业出版社(北京市东城区青年湖南街13号 邮政编码100011)

印 装:三河市万龙印装有限公司

787mm×1092mm 1/16 印张12 彩插1 字数291千字 2018年9月北京第1版第6次印刷

购书咨询:010-64518888(传真:010-64519686) 售后服务:010-64518899

网 址: <http://www.cip.com.cn>

凡购买本书,如有缺损质量问题,本社销售中心负责调换。

定 价:24.00 元

版权所有 违者必究

《无机化学》编写人员名单

主 编 张国升 靳学远

副主编 王萍萍 陈 卓 刘巧灵 张少云 刘自平

编 者 (按照姓名汉语拼音排列)

陈 卓 (安顺职业技术学院)

丁瑞苹 (亳州职业技术学院)

丁润梅 (宁夏医科大学高等卫生职业技术学院)

靳学远 (淮南联合大学)

李启照 (安徽新华学院)

李小梅 (雅安职业技术学院)

廖秀英 (乐山职业技术学院)

刘巧灵 (湖南科技职业学院)

刘自平 (安徽新华学院)

权春梅 (亳州职业技术学院)

王 丽 (重庆医药高等专科学校)

王海豹 (枣庄科技职业学院)

王萍萍 (九江学院)

王 烨 (漯河医学高等专科学校)

杨小丽 (长治医学院)

尹 伟 (安徽新华学院)

于 莉 (枣庄科技职业学院)

张国升 (安徽新华学院)

张航航 (永州职业技术学院)

张少云 (廊坊卫生职业学院)

钟先锦 (合肥职业技术学院)

邹惠静 (南阳医学高等专科学校)

前言

无机化学是高等专科教育药学、医学等专业的基础课之一，为使学生能较好地掌握无机化学的基本理论、基本技能，培养学生分析问题、解决问题的能力，以及为学习后继课程及今后工作奠定基础，我们在编写过程中本着“够用、实用、适用”的原则，精选理论内容，以基础知识和基础理论为主，力求做到少而精、简明扼要、深入浅出、循序渐进，理论联系实际，同时为拓展学生的知识面，增设了连接知识点，以适合高等学校专科教学需要。全书内容上分基本化学理论、实验技术两部分内容。在基本化学理论上删掉了复杂的计算和一些较深的理论知识，在元素化学部分删掉了不常用的元素和化合物知识，重点介绍每一族元素中的常见元素，其他元素根据其应用性只做简单介绍。在实验的编排上注重基本操作和技能训练，以提高学生实践动手能力，具有较强的可读性、启发性和适用性。

全书体现以下特点：在思想水平上，注重教材的思想性与职业导向性；在科学水平上，注重教材的知识正确性与内容先进性；在教学水平上，注重教材的教学适应性、内容的实用性、结构的合理性与使用的灵活性；在图文水平上，注重内容的可读性与规范性；链接注重理论与实际的联系，分为“想一想”、“做一做”、“读一读”。“想一想”一般是思考性问题，扩展知识的作用；“做一做”一般指的是实验性内容，一般为具有动手操作的形式。

本书由 17 所高等院校从事多年教学工作或在该领域从事一线教学的老师共同编写而成，全书由张国升和刘自平统稿。

由于时间仓促和编者的水平有限，书中如有不妥之处，欢迎各位同行和广大读者批评指正。

编者
2013 年 3 月

目 录

第一章 溶液	1
【学习目标】	1
第一节 物质的量	1
一、物质的量及单位	1
二、摩尔质量	2
三、摩尔体积	4
第二节 分散系	5
一、基本概念	5
二、分散系分类	6
第三节 溶液	6
一、浓度的表示方法	7
二、浓度之间的转换关系	8
第四节 稀溶液的依数性	9
一、溶液的蒸气压下降	9
二、溶液的沸点升高	10
三、溶液的凝固点降低	10
四、溶液的渗透压	10
【目标检测】	13
第二章 胶体与表面化学	14
【学习目标】	14
第一节 溶胶	14
一、溶胶的性质	14
二、溶胶的稳定性和聚沉	16
第二节 高分子化合物溶液	16
一、高分子化合物的概念	16
二、高分子化合物溶液的形成和特征	17
三、高分子溶液对溶胶的保护作用	17
第三节 凝胶	18
一、凝胶的形成	18
二、凝胶的主要性质	18
第四节 物质的表面现象	19
一、表面张力与表面能	19
二、表面吸附	19
三、表面活性物质	20

【目标检测】	22
第三章 化学反应动力学	23
【学习目标】	23
第一节 化学反应速率	23
一、化学反应速率的概念和表示方法	23
二、影响化学反应速率的因素	25
第二节 化学平衡	27
一、不可逆反应与可逆反应	27
二、化学平衡与化学平衡常数	28
三、多重平衡规则	31
第三节 化学平衡的移动	31
一、浓度对化学平衡的影响	31
二、压力对化学平衡的影响	31
三、温度对化学平衡的影响	32
四、催化剂对化学平衡的影响	32
五、平衡移动的原理——吕·查德里原理	33
【目标检测】	33
第四章 酸碱平衡	36
【学习目标】	36
第一节 酸碱质子理论	36
一、酸碱的定义	36
二、酸碱反应	37
三、酸碱强度	38
第二节 溶液的酸碱平衡	39
一、水的电离平衡	39
二、溶液的酸度	39
三、酸碱指示剂	40
第三节 电解质溶液	41
一、弱酸弱碱的电离平衡及其计算	41
二、多元弱酸、弱碱的电离平衡	43
三、同离子效应和盐效应	44
第四节 缓冲溶液	44
一、缓冲溶液的概念	44
二、缓冲作用原理	45
三、缓冲溶液的 pH 值	46
四、缓冲溶液的缓冲能力	47
五、缓冲溶液的选择与配制	48
六、缓冲溶液在医学上的意义	49
【目标检测】	50
第五章 沉淀-溶解平衡	52
【学习目标】	52

第一节 溶度积和溶解度	52
一、沉淀-溶解平衡	52
二、溶度积常数	52
三、溶度积规则	53
四、溶度积和溶解度的关系	54
第二节 沉淀的生成和溶解	54
一、沉淀的生成	54
二、分步沉淀	57
三、沉淀的溶解	58
四、沉淀的转化	59
【目标检测】	60
第六章 氧化还原反应	62
【学习目标】	62
第一节 氧化还原反应基本概念	62
一、氧化数	62
二、氧化还原反应式配平	64
第二节 电极电势	65
一、原电池	65
二、电极电势(或位)产生	66
三、标准电极电势的测定	67
第三节 影响电极电势的因素	69
一、能斯特方程式	69
二、浓度和酸度的影响	70
三、沉淀生成对电极电势的影响	70
第四节 电极电势的应用	71
一、比较氧化剂和还原剂的相对强弱	71
二、判断氧化还原反应进行的方向	71
三、判断氧化还原反应进行的限度	72
四、元素标准电极电势图及其应用	73
【目标检测】	75
第七章 原子结构	77
【学习目标】	77
第一节 原子的组成和同位素	77
一、原子的组成	77
二、同位素	78
第二节 核外电子的运动状态	79
一、核外电子运动的特殊性	79
二、核外电子运动状态的描述	79
第三节 原子核外电子的排布	83
一、基态原子中电子的排布原理	83
二、多电子原子轨道的能级	84

三、基态原子中电子的排布	85
四、简单基态阳离子的电子分布	87
第四节 元素周期律和元素周期表	87
一、元素周期律	87
二、元素周期表	91
【目标检测】	97
第八章 化学键与分子结构	99
【学习目标】	99
第一节 共价键理论	99
一、现代价键理论	99
二、杂化轨道理论	102
三、键参数	103
第二节 分子间作用力和氢键	104
一、分子的极性	104
二、分子间作用力	105
三、氢键	105
【目标检测】	106
第九章 配位化合物	108
【学习目标】	108
第一节 配位化合物的基本概念	108
一、配位化合物及其组成	109
二、配位化合物的类型	110
三、配位化合物的化学式和命名	110
第二节 配位化合物的价键理论	111
一、价键理论的基本要点	111
二、内轨型配合物和外轨型配合物	113
三、配位化合物的空间结构	114
第三节 配位化合物在水溶液中的稳定性	116
一、配离子的解离平衡及标准解离平衡常数	116
二、稳定常数的应用	116
三、配位平衡的移动	116
第四节 配位化合物的应用	119
一、配位化合物在生物学中的应用	119
二、配位化合物在医药学中的应用	119
三、配位化合物在分析化学中的应用	120
【目标检测】	120
第十章 元素化学	122
【学习目标】	122
第一节 s 区元素及其化合物	122
一、碱金属元素	122
二、碱土金属元素	123

第二节 P 区元素及其化合物	124
一、卤素	124
二、氧族元素	125
三、氮族元素	126
四、碳族和硼族元素	127
第三节 过渡元素	129
一、过渡元素的通性	129
二、重要过渡元素及其化合物	129
【目标检测】	131
第十一章 生物无机化学简介	133
【学习目标】	133
第一节 生物无机化学研究的内容和方法	133
第二节 生物元素	134
一、生物元素的分类	134
二、最适营养浓度定律	135
三、生物金属元素的存在形式	135
四、生物元素的生理功能	135
第三节 生物矿化	135
一、生物矿物与生物矿化	135
二、生物矿物的分类	136
三、基质	137
第四节 矿物药	137
一、矿物药的分类	138
二、矿物药作用的化学基础	138
三、矿物药的特点	138
四、矿物药研究方向	139
第五节 生物无机化学的应用	140
一、生物无机化学与现代医学	140
二、化学模拟生物过程	140
【目标检测】	142
第十二章 无机化学实验的基本知识	143
一、无机化学实验目的	143
二、化学实验室的一般规则	143
三、实验室意外事故的处理	143
四、无机化学实验常用仪器、试剂的使用方法	144
第十三章 无机化学实验部分	154
实验一 溶液的配制	154
实验二 缓冲溶液的配制及性质	155
实验三 胶体溶液的制备及性质	158
实验四 药用氯化钠的制备	160
实验五 硫酸亚铁铵的制备	162

实验六	配位化合物的生成和性质	164
实验七	醋酸离解常数的测定——pH计的使用	166
实验八	难溶电解质 (PbI_2) 溶度积常数的测定	168
实验九	碱式碳酸铜的制备	170
附录		172
附录 I	常见酸碱溶液的相对密度、浓度	172
附录 II	弱电解质的电离常数	172
附录 III	难溶化合物的溶度积常数	173
附录 IV	一些电对的标准电极电势 (298K)	175
附录 V	一些常见配离子的标准稳定常数	177
附录 VI	配合物的稳定常数	178
参考文献		182

附录 I	常见酸碱溶液的相对密度、浓度	172
附录 II	弱电解质的电离常数	172
附录 III	难溶化合物的溶度积常数	173
附录 IV	一些电对的标准电极电势 (298K)	175
附录 V	一些常见配离子的标准稳定常数	177
附录 VI	配合物的稳定常数	178
参考文献		182
附录 I	常见酸碱溶液的相对密度、浓度	172
附录 II	弱电解质的电离常数	172
附录 III	难溶化合物的溶度积常数	173
附录 IV	一些电对的标准电极电势 (298K)	175
附录 V	一些常见配离子的标准稳定常数	177
附录 VI	配合物的稳定常数	178
参考文献		182

第一章 溶 液

学习目标

掌握：物质的量及其单位，物质的量浓度概念及有关计算，摩尔质量的概念，掌握溶液的组成标度及其计算。

熟悉：分散系的分类，渗透压在医学上的意义，质量摩尔浓度的概念及有关计算。

了解：气体摩尔体积；稀溶液的依数性。

第一节 物质的量

物质是由分子、原子、离子、电子等微粒构成的，对这些极其微小的粒子，按个数计算不仅很困难，而且没有实际意义。在化学反应中，参加反应的分子、原子或离子虽然是按一定个数进行，但在生产实践中，这些物质往往用质量来计量。为了化学计算上的方便，需要建立物质的粒子数与其质量之间的关系，科学上引入了一个新的物理量——物质的量。

一、物质的量及单位

1. 物质的量

物质的量是国际单位制中 7 个基本物理量之一（7 个基本的物理量分别为：长度、质量、时间、电流强度、发光强度、温度、物质的量），它和“长度”，“质量”，“时间”等概念一样，是一个物理量的整体名词。其符号为 n ，书写物质的量 n 时，应在 n 的右下角或用括号的形式标明微粒的基本单元。例如：

氢原子的物质的量 记为 n_{H} 或 $n(\text{H})$

氧分子的物质的量 记为 n_{O_2} 或 $n(\text{O}_2)$

钙离子的物质的量 记为 $n_{\text{Ca}^{2+}}$ 或 $n(\text{Ca}^{2+})$

氢氧化钠的物质的量 记为 n_{NaOH} 或 $n(\text{NaOH})$

微粒 B 的物质的量 记为 n_{B} 或 $n(\text{B})$

物质的量只适用于微观粒子或它们的特定组合，用于宏观世界则无意义。

2. 物质的量的单位

1971 年第十四届国际计量大会（CGPM）正式通过决议，规定了物质的量的基本单位是摩尔。摩尔的符号为 mol。摩尔是国际单位制（SI）的 7 个基本单位之一。摩尔是一系统的物质的量，该系统中所包含的基本单元数与 $0.012\text{kg } ^{12}\text{C}$ 的原子数目相等。在使用摩尔为单位时，应指明基本单元，基本单元可以是微观粒子中的原子、分子、离子、电子或其它粒子，也可以是这些微观粒子的特定组合。

$0.012\text{kg } ^{12}\text{C}$ 所含的碳原子个数称为阿伏伽德罗常数。最新测定的数据为 $6.0221367 \times 10^{23}/\text{mol}$ ，阿伏伽德罗常数的符号为 N_{A} ，通常取近似值为 $6.02 \times 10^{23}/\text{mol}$ ，即， $N_{\text{A}} =$

$6.02 \times 10^{23} / \text{mol}$ 。所以说, 含有阿伏伽德罗常数个微粒(分子、原子、离子、电子等)集体称为 1 摩尔, 近似的认为 1mol 任何物质都含有 6.02×10^{23} 个基本单元。例如:

1mol C 含有 6.02×10^{23} 个碳原子

1mol H_2 含有 6.02×10^{23} 个氢分子

1mol $\left(\frac{1}{2} \text{H}_2\text{SO}_4\right)$ 含有 6.02×10^{23} 个 $\left(\frac{1}{2} \text{H}_2\text{SO}_4\right)$ 基本单元或含有 $\frac{1}{2} \times 6.02 \times 10^{23} =$

3.01×10^{23} 个 H_2SO_4 分子

1mol Na^+ 含有 6.02×10^{23} 个钠离子

1mol CO_2 含有 6.02×10^{23} 个二氧化碳分子

其基本单元可以是实际存在的, 也可以是根据需要而组合的实际不存在的粒子。例如:

$\frac{1}{3} \text{Al}^{3+}$ 、 $\frac{2}{5} \text{KMnO}_4$ 等。

由此可知, 凡与物质的量 n 相等的任何物质, 它们所包含的基本单元数目一定相同。若要比 较几种物质所含的粒子数多少, 只需比较它们的物质的量 n 的大小即可。 n 值大的所包含的基本单元个数多。基本单元数用符号 N 表示。

物质的量 n 、基本单元数 N 和阿伏伽德罗常数 N_A 之间的关系如下:

$$N = n_B N_A$$

$$n_B = \frac{N}{N_A}$$

应用摩尔来衡量物质的量, 给生产和科研带来了极大的方便。例如, 化学反应式中反应物和生成物之间的分子、原子等微粒的比值, 就等于它们之间的物质的量之比。

在实际应用中, 有时摩尔这个单位显得太大, 还常采用毫摩尔 (mmol)、微摩尔 (μmol) 等单位。

$$1 \text{ mol} = 1000 \text{ mmol}$$

$$1 \text{ mmol} = 1000 \mu\text{mol}$$

二、摩尔质量

1. 摩尔质量的概念

单位物质的量的物质所具有的质量叫摩尔质量。摩尔质量的符号为 M , 摩尔质量的 SI 单位是 $\text{kg} \cdot \text{mol}^{-1}$, 化学上常用 $\text{g} \cdot \text{mol}^{-1}$ 来表示, 它的中文符号是“克·摩尔 $^{-1}$ ”。摩尔质量的定义方程式为:

$$M_B = \frac{m_B}{n_B}$$

书写摩尔质量 M 时, 要在 M 的右下角或用括号标明基本单元。例如,

水的摩尔质量记为 $M_{\text{H}_2\text{O}}$ 或 $M(\text{H}_2\text{O})$

氢氧化钠的摩尔质量记为 M_{NaOH} 或 $M(\text{NaOH})$

1mol 任何物质所含的基本单元数虽然相同, 但由于不同的基本单元其质量不同, 因此不同物质的摩尔质量各不相同。例如,

1mol C 的质量是 12g, C 的摩尔质量记为 $M(\text{C}) = 12 \text{ g} \cdot \text{mol}^{-1}$

1mol H_2 的质量是 2g, H_2 的摩尔质量记为 $M(\text{H}_2) = 2 \text{ g} \cdot \text{mol}^{-1}$

1mol H_2O 的质量是 18g, H_2O 的摩尔质量记为 $M(\text{H}_2\text{O}) = 18 \text{ g} \cdot \text{mol}^{-1}$

1mol OH^- 的质量是 17g, OH^- 的摩尔质量记为 $M(\text{OH}^-) = 17\text{g} \cdot \text{mol}^{-1}$

1mol $\left(\frac{1}{2}\text{H}_2\text{SO}_4\right)$ 的质量是 49g

$\frac{1}{2}(\text{H}_2\text{SO}_4)$ 的摩尔质量记为 $M\left(\frac{1}{2}\text{H}_2\text{SO}_4\right) = 49\text{g} \cdot \text{mol}^{-1}$

可见, 任何原子的摩尔质量 M , 如果以 $\text{g} \cdot \text{mol}^{-1}$ 作单位, 其数值就等于该原子的原子量。任何分子或离子的摩尔质量 M , 如果以 $\text{g} \cdot \text{mol}^{-1}$ 作单位, 其数值就等于该分子或离子的化学式量。

物质的量 n 、质量 m 和摩尔质量 M 之间存在下列关系:

$$n_{\text{B}} = \frac{m_{\text{B}}}{M_{\text{B}}}$$

只要知道其中任意两个量, 就可以求出第三个量。

$$m_{\text{B}} = n_{\text{B}} M_{\text{B}}$$

通过物质的量 n 、摩尔质量 M 和阿伏伽德罗常数 N_{A} , 就可以把物质的粒子数 N 与可称量的物质质量 m 联系起来, 这给化学研究带来了极大的方便。

$$N = n_{\text{B}} N_{\text{A}}$$

$$n_{\text{B}} = \frac{N}{N_{\text{A}}}$$

$$N = \frac{m_{\text{B}}}{M_{\text{B}}} N_{\text{A}}$$

2. 有关物质的量的计算

【例 1-1】 60g NaOH 的物质的量是多少?

解: 由于 $M(\text{NaOH}) = 40\text{g} \cdot \text{mol}^{-1}$

$$m(\text{NaOH}) = 60\text{g}$$

$$\text{则 } n(\text{NaOH}) = \frac{m(\text{NaOH})}{M(\text{NaOH})} = \frac{60\text{g}}{40\text{g} \cdot \text{mol}^{-1}} = 1.5\text{mol}$$

答: 60g NaOH 的物质的量是 1.5mol。

【例 1-2】 5mol Na^+ 的质量是多少?

解: 由于 $M(\text{Na}^+) = 23\text{g/mol}$ $n(\text{Na}^+) = 5\text{mol}$

$$m_{\text{B}} = n_{\text{B}} M_{\text{B}}$$

$$\text{则 } m(\text{Na}^+) = n(\text{Na}^+) M(\text{Na}^+) = 5\text{mol} \times 23\text{g/mol} = 115\text{g}$$

答: 5mol Na^+ 的质量是 115g。

【例 1-3】 9g H_2O 含有多少个水分子? 含有多少个氧原子? 含有多少个氢原子?

解: 由 $n_{\text{B}} = \frac{m_{\text{B}}}{M_{\text{B}}}$

$$m(\text{H}_2\text{O}) = 9\text{g}, M(\text{H}_2\text{O}) = 18\text{g/mol} \quad N_{\text{A}} = 6.02 \times 10^{23}/\text{mol}$$

$$\text{则 } N(\text{H}_2\text{O}) = n(\text{H}_2\text{O}) N_{\text{A}} = 0.5\text{mol} \times 6.02 \times 10^{23}/\text{mol} = 3.01 \times 10^{23}$$

$$N(\text{O}) = N(\text{H}_2\text{O}) \times 1 = 3.01 \times 10^{23} \times 1 = 3.01 \times 10^{23}$$

$$n(\text{H}_2\text{O}) = \frac{m(\text{H}_2\text{O})}{M(\text{H}_2\text{O})} = \frac{9\text{g}}{18\text{g/mol}} = 0.5\text{mol}$$

$$N(\text{H}) = N(\text{H}_2\text{O}) \times 2 = 3.01 \times 10^{23} \times 2 = 6.02 \times 10^{23}$$

答：9g H_2O 含有 3.01×10^{23} 个水分子，含有 3.01×10^{23} 个氧原子，含有 6.02×10^{23} 个氢原子。

三、摩尔体积

1. 摩尔体积的概念

摩尔体积就是单位物质的量的物质所占的体积。摩尔体积的符号为 V_m 。摩尔体积的 SI 单位是 $\text{m}^3 \cdot \text{mol}^{-1}$ ，化学上常用 $\text{cm}^3 \cdot \text{mol}^{-1}$ 来表示固态或液态物质的摩尔体积，用 L/mol 表示气态物质的摩尔体积。摩尔体积的定义方程式为：

$$V_m = \frac{V}{n_B}$$

影响物质体积大小的因素包括以下三点：

- (1) 构成物质的微粒的大小（物质的本性）。
- (2) 微粒之间距离的大小（温度与压强来共同决定）。
- (3) 微粒的多少（物质的量的大小）。

因此摩尔体积的大小，一方面取决于构成物质的微粒本身的大小，另一方面取决于微粒之间的平均距离。对于固态或液态物质，因微粒之间的距离很小，所以它们的摩尔体积主要取决于微粒本身的大小，由于这些微粒的大小各不相同，因而各种固态或液态物质的摩尔体积差异很大。表 1-1 列出了几种固态和液态物质在常温下的摩尔体积。

表 1-1 几种固态和液态物质在常温下的摩尔体积

物质名称	摩尔质量 $M_B/(\text{g} \cdot \text{mol}^{-1})$	密度 $\rho/(\text{g} \cdot \text{cm}^{-3})$	摩尔体积 $V_m/(\text{cm}^3 \cdot \text{mol}^{-1})$
Al	26.98	2.702	9.985
Pb	207.2	11.35	18.26
NaCl	58.44	2.165	26.99
$\text{Br}_2(\text{液})$	159.8	3.119	51.23
$\text{H}_2\text{O}(\text{液})$	18.02	0.9994	18.03

2. 气体摩尔体积

气态物质的体积大小与固态、液态物质不同。气态分子间的距离显著地大于气体分子本身的大小，因此气体的体积大小主要决定于分子之间的平均距离。气体分子之间的距离与温度和压强有着密切的关系。一定量的气体，温度升高，则分子间的距离增大，因而其体积也随之增大；压强增大，则分子间的距离减小，因而其体积也随之减小。事实证明，在相同状况（即同温同压）下，不同气体分子间的平均距离几乎都是相同的。所以，在相同温度和相同压强下，物质的量相等的任何气体，它们的体积也几乎相同。表 1-2 列出了几种气体在标准状况（温度为 0°C ，压强为 1atm 即 101.325kPa ）下的摩尔体积。

表 1-2 几种气体在标准状况下的摩尔体积

物质名称	摩尔质量 $M/(\text{g} \cdot \text{mol}^{-1})$	密度 $\rho/(\text{g} \cdot \text{L}^{-1})$	摩尔体积 $V_{m,0}/(\text{dm}^3 \cdot \text{mol}^{-1})$
O_2	32.00	1.429	22.39
H_2	2.016	0.08987	22.43~22.4
N_2	28.02	1.251	22.40
CO_2	44.01	1.977	22.26

从表中可以看出，在标准状况下，1 摩尔任何气体所占有的体积都约为 22.4L ，记为 $V_{m,0} = 22.4\text{L} \cdot \text{mol}^{-1}$ ，习惯上把这个量值称为气体摩尔体积，即单位物质的量的气体所占

的体积。

在标准状况下, 气体物质的量 n 、气体的体积 V 和气体摩尔体积 $V_{m,0}$ 之间的关系为:

$$n_B = \frac{V}{V_{m,0}}$$

若比较几种气体的物质的量 n 或分子数 N 的大小, 只要比较它们在相同状况下的体积大小即可。所以, 在同温、同压下, 相同体积的任何气体都含有相同数目的分子, 这就是阿伏伽德罗定律。

【例 1-4】 据估算, 成人在平静呼吸时, 每小时呼出 CO_2 约 11.2L (标准状况), 求每小时呼出 CO_2 的质量是多少?

解: 由 $V=11.2\text{L}$ $V_{m,0}=22.4\text{L} \cdot \text{mol}^{-1}$ $M(\text{CO}_2)=44\text{g} \cdot \text{mol}^{-1}$

$$n(\text{CO}_2) = \frac{V}{V_{m,0}} = \frac{11.2\text{L}}{22.4\text{L} \cdot \text{mol}^{-1}} = 0.5\text{mol}$$

则 $m(\text{CO}_2) = n(\text{CO}_2)M(\text{CO}_2) = 0.5\text{mol} \times 44\text{g} \cdot \text{mol}^{-1} = 22\text{g}$

答: 成人在平静呼吸时每小时呼出 CO_2 的质量是 22g。

【例 1-5】 3.4g 氨气在标准状况下的体积是多少?

解: 由 $m(\text{NH}_3)=3.4\text{g}$ $M(\text{NH}_3)=17\text{g} \cdot \text{mol}^{-1}$ $V_{m,0}=22.4\text{L} \cdot \text{mol}^{-1}$

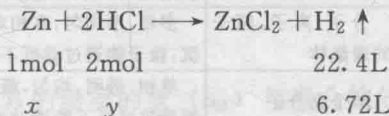
$$n(\text{NH}_3) = \frac{m(\text{NH}_3)}{M(\text{NH}_3)} = \frac{3.4\text{g}}{17\text{g} \cdot \text{mol}^{-1}} = 0.2\text{mol}$$

则 $V(\text{NH}_3) = nV_{m,0} = 0.2\text{mol} \times 22.4\text{L} \cdot \text{mol}^{-1} = 4.48\text{L}$

答: 3.4g 氨气在标准状况下的体积是 4.48L。

【例 1-6】 在实验室里用稀盐酸跟锌反应制氢气, 在标准状况下制取 6.72L 氢气, 需要锌和氯化氢的物质的量各是多少?

解: 设需要锌的物质的量为 x , 氯化氢的物质的量为 y



$$x = \frac{1\text{mol} \times 6.72\text{L}}{22.4\text{L}} = 0.3\text{mol}$$

$$y = \frac{2\text{mol} \times 6.72\text{L}}{22.4\text{L}} = 0.6\text{mol}$$

答: 在标准状况下制备 6.72L 氢气需要 0.3mol 锌和 0.6mol 的氯化氢。

第二节 分散系

一、基本概念

自然界的物质多以混合物的形式存在, 一种或数种物质以细小微粒的形式分散在另一种物质中所得到的体系称为分散系。其中被分散成微粒的物质称为分散相, 容纳分散相的物质称为分散介质。水滴分散在空气中形成雾, 这个分散系中水滴是分散相, 空气是分散介质。聚苯乙烯分散在水中形成乳胶分散系, 聚苯乙烯是分散相, 水是分散介质。

分散系可以是液态的, 如生理盐水、药用酒精等; 也可以是气态的, 如空气; 甚至是固态的, 如合金。分散系统可分为均相分散系统和多相分散系统, 如酒精、葡萄糖溶液是单相

分散系统，泥浆、烟尘是多相分散系统。

二、分散系分类

由于分散系性质上的差异与分散相粒子大小有关，根据分散相粒子的大小，把分散系分为分子、离子分散系，胶体分散系和粗分散系，如表 1-3 所示。

1. 分子、离子分散系

分散相粒子小，直径小于 1nm，为分子或离子，分散系表现为均匀稳定的单相体系，又称为真溶液（简称溶液），无论放置多久，在密闭容器中分散相都不会从分散系中分离出来。

2. 粗分散系

分散相粒子较大，直径大于 100nm，甚至于肉眼可辨，分散系呈浑浊状态，分散相粒子与分散介质之间有明显的界面存在。其中分散相为固体微粒的为悬浊液，如泥浆水；分散相为液体微粒的为乳浊液，如油水、牛奶。粗分散系属多相不稳定体系，放置一段时间，分散相和分散介质会自动分离。

3. 胶体分散系

分散相粒子的直径介于前两者之间，即在 1~100nm。根据分散相粒子的不同，分为两种。分散相为分子、离子、原子的聚集体称为溶胶，分散相为高分子的称为高分子溶液，两者均是透明的，但由于两者分散相粒子的状态不同，性质也就不同，溶胶是多相、相对稳定的体系，高分子溶液是单相、稳定的体系。

表 1-3 分散系的分类

分散相粒子大小	分散系类型	分散相粒子的组成	性 质	实 例
<1nm	真溶液	小分子、小离子	单相，透明，均匀，稳定，不聚沉，粒子能透过滤纸和半透膜	生理盐水、葡萄糖溶液
1~100nm	溶胶	分子、离子、原子的聚集体	多相，不均匀，有相对稳定性，不易聚沉，粒子能透过滤纸不能透过半透膜	氢氧化铁溶胶、硫化砷溶胶
	高分子溶液	单个高分子	单相，透明，均匀，稳定，不聚沉，粒子能透过滤纸不能透过半透膜	蛋白质溶液
>100nm	悬浊液	固体微粒	多相，不均匀，不稳定，能自动聚沉，粒子不能透过滤纸和半透膜	泥浆水
	乳浊液	液体微粒		油水

做一做

为了更好地理解胶体概念，做如下实验：将一把泥土放到水中，大粒的泥沙很快下沉，浑浊的细小土粒因受重力的影响最后也沉降于容器底部，而土中的盐类则溶解成真溶液。但是混杂在真溶液中还有一些极为微小的土壤粒子，它们既不下沉，也不溶解，人们把这些即使在显微镜下也观察不到的微小颗粒称为胶体颗粒，含有胶体颗粒的体系称为胶体体系。胶体化学，狭义地说，就是研究这些微小颗粒分散体系的科学。

第三节 溶 液

溶液是由溶质和溶剂组成的分散系，它与生命过程的关系极为密切。离开溶液就没有生命。人体内的组织间液、血液及各种腺体分泌液等都是溶液；机体的新陈代谢必须在溶液中