



高等学校教材

简明工科基础化学

李秋荣 谢丹阳 乔玉卿 编
高发明 主审



化学工业出版社

高等学校教材

简明工科基础化学

李秋荣 谢丹阳 乔玉卿 编

高发明 主审



化学工业出版社

· 北京 ·

本书是为工科各非化学化工类专业开设较少学时工科化学课编写的教材，密切联系现代工程技术中遇到的如材料的选择和寿命、环境的污染与保护、能源的开发与利用、信息传递、生命科学发展等有关化学问题，深入浅出、生动有趣地介绍工科化学基础理论知识。每章末附有科学家的贡献和科学发现的启示，可读性强，激发学生学习兴趣的同时给以科学创新的启发。将工程化学实验内容作为一章，减轻学生负担。全书共7章：物质的聚集状态，化学反应原理，水溶液中的离子平衡，氧化还原反应与电化学基础，物质结构基础，化学与人类的进步，工程化学实验。每章中思考与练习题在各节之后列出，习题在每章末列出，书后附录汇集了相关的资料和数据。

本书可作为高等院校本专科工程类专业学生的教材，也可供工程技术人员参考。

图书在版编目 (CIP) 数据

简明工科基础化学/李秋荣, 谢丹阳, 乔玉卿编.
北京: 化学工业出版社, 2011.1
高等学校教材
ISBN 978-7-122-10382-6

I. 简… II. ①李…②谢…③乔… III. 化学-
高等学校-教材 IV. 06

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2011) 第 004900 号

责任编辑: 刘俊之

文字编辑: 杨欣欣

责任校对: 洪雅姝

装帧设计: 周 遥

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: 三河市延风印装厂

787mm×1092mm 1/16 印张 13 $\frac{3}{4}$ 字数 340 千字 2011 年 7 月北京第 1 版第 1 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: 25.00 元

版权所有 违者必究

前 言

随着 21 世纪科学技术的飞速发展，化学已深入到生命、材料和信息等各个领域，与人类生活休戚相关，成为信息时代科技发展的重要基础学科之一。在高等学校，化学与数学、物理等同属于自然科学基础课。工程化学是高等工程教育中实施素质教育的必备基础课程，是高等工科大学大多数专业不可缺少的一门公共基础课，是化学与工程技术间的桥梁，是造就“基础扎实、知识面宽、能力强、素质高”的迎接新世纪挑战的高级科技人才所必需的课程。

本书从物质的化学组成、化学结构和化学反应出发，密切联系现代工程技术中遇到的如材料的选择和寿命、环境的污染与保护、能源的开发与利用、信息传递、生命科学等有关化学问题，深入浅出地介绍有现实应用价值和潜在应用价值的基础理论和基本知识，使学生在今后实际工作中能有意识地运用化学观点去思考、认识和解决问题。

针对非化学化工专业的化学课学时数少的特点及教师和学生教材提出的反馈意见，我们在《工科基础化学》的基础上进行了修改，希望在有限的学时内，使学生学到更多的知识，拓宽视野、增强运用多学科知识解决问题的能力。

本书增加了实验内容（第 7 章为工程化学实验）。工程化学实践性教学环节分为基础实验、开放实验和课外科技活动，旨在通过实践性教学环节，让学生在化学实验过程中，验证教学过程中学到的理论知识，加深对理论知识的理解，借助仪器试剂观察在通常条件下难于发现和理解的自然现象和规律，培养学生的化学安全观念、基本仪器的操作能力，为化学在工程中的应用打下坚实的基础。工程化学实验的开设激发了学生的创新意识，工程化学课程结束以后，仍有部分学生与工程化学课程组教师联系，积极地参与到教师的科研活动中来，还有的学生请工程化学课程组的教师帮助分析解决他们在工程实践中遇到的疑难问题。

每章末附有科学家的贡献和科学发现的启示，学生在阅读过程中通过了解本章中一些定律或定理的发现过程，不仅可以加深对内容的理解，而且对其创新能力的培养非常有益。这部分内容告诉学生，一个人要在所研究领域有所发现和发明，除了天资和对科学研究的热爱外，还要有百折不挠和坚韧不拔的毅力。

附录中 1901~2010 年诺贝尔化学奖的获奖科学家的介绍也会激发学生阅读的兴趣，本书更便于学生自学、自练和自检等。学生只有主动去读书，才会自觉接受教师所传授的知识和思维方法。

全书共分 7 章，内容包括物质的聚集状态，化学反应原理，水溶液中的离子平衡，氧化还原反应与电化学基础，物质结构基础，化学与人类的进步，工程化学实验。其中第 1 章、第 3 章和第 7 章由谢丹阳编写，第 2 章、第 5 章和第 6 章由李秋荣编写，第 4 章由乔玉卿编写。全书由李秋荣教授统稿，高发明教授主审。由于编者的水平有限，书中的缺点在所难免，恳请读者批评指正。

编者

2011 年 2 月于秦皇岛

目 录

第 1 章 物质的聚集状态	1	2.3 化学反应的速率	46
1.1 化学的基本概念	1	2.3.1 反应速率与浓度的关系	46
1.1.1 分子、原子及团簇	1	2.3.2 温度对化学反应速率的影响	49
1.1.2 元素	3	2.3.3 催化剂对反应速率的影响	52
1.1.3 系统、环境和相	3	科学家的贡献和科学发现的启示	53
1.1.4 状态与状态函数	4	习题	55
1.1.5 物质的量	5	第 3 章 水溶液中的离子平衡	57
1.2 气体和等离子体	5	3.1 可溶弱电解质的单相离子平衡	57
1.2.1 理想气体和实际气体	5	3.1.1 酸碱理论概述	57
1.2.2 大气相对湿度	7	3.1.2 水溶液中单相离子平衡	60
1.2.3 等离子体	8	3.2 难溶强电解质的多相离子平衡	66
1.2.4 大气污染及其防治	9	3.2.1 溶度积	67
1.3 液体	13	3.2.2 溶度积规则	69
1.3.1 水的结构和性质	13	3.3 配位化合物的离子平衡	72
1.3.2 稀溶液的依数性	16	3.3.1 配位化合物的基本概念	73
1.3.3 水污染及其防治	19	3.3.2 配位化合物的组成	74
1.4 固体	20	3.3.3 配合物的命名	74
1.4.1 晶体和非晶体	20	3.3.4 配合物在水溶液中的稳定性	75
1.4.2 晶体的基本类型	21	3.3.5 配位反应的应用	77
1.4.3 过渡型晶体	23	科学家的贡献和科学发现的启示	78
1.4.4 混合键型晶体	24	习题	80
1.4.5 固体废物的污染及治理	25	第 4 章 氧化还原反应与电化学基础	81
科学家的贡献和科学发现的启示	26	4.1 氧化还原反应	81
习题	27	4.1.1 氧化数	81
第 2 章 化学反应原理	29	4.1.2 氧化剂与还原剂	82
2.1 化学反应的能量变化	29	4.1.3 氧化还原电对	82
2.1.1 热力学第一定律	29	4.1.4 氧化还原反应方程式的配平	83
2.1.2 化学反应中的能量变化	30	4.2 原电池	84
2.1.3 反应热效应的测量	32	4.2.1 原电池的组成	85
2.1.4 反应热效应的计算	32	4.2.2 电极反应	85
2.1.5 能源的开发与应用	36	4.2.3 原电池的符号表示式	86
2.2 化学反应的方向与限度	38	4.2.4 常用电极类型	86
2.2.1 自发过程	38	4.3 电极电势及应用	88
2.2.2 熵变与反应的方向	38	4.3.1 双电层理论	88
2.2.3 吉布斯函数变与反应自发性的判断	41	4.3.2 标准电极电势	88
2.2.4 化学反应进行的程度——化学平衡	44	4.3.3 原电池的电动势与电池反应的摩尔吉布斯函数变	89
		4.3.4 能斯特方程式	90

4.3.5 电极电势的应用	92	6.2 化学与材料科学	150
4.4 电解及应用	94	6.2.1 金属和合金材料	150
4.4.1 分解电压和超电势	94	6.2.2 无机非金属材料	156
4.4.2 电解产物的判断	96	6.2.3 合成高分子材料	161
4.4.3 电解的应用	97	6.2.4 复合材料	166
4.5 金属的腐蚀与防护	99	6.2.5 生态环境材料	168
4.5.1 腐蚀机理	99	科学家的贡献和科学发现的启示	170
4.5.2 金属腐蚀的防护	101	第7章 工程化学实验	172
4.6 化学电源	103	实验1 水质检验及自来水硬度的测定	172
4.6.1 概述	103	实验2 固体氯化铵生成焓的测定	176
4.6.2 原电池(一次电池)	103	实验3 混合碱液中组分含量的测定(双指示剂法)	178
4.6.3 蓄电池(二次电池)	104	实验4 氧化还原反应与电化学	180
4.6.4 燃料电池	106	实验5 乙酰水杨酸(阿司匹林)的制备	182
4.6.5 太阳能电池	107	附录	184
科学家的贡献和科学发现的启示	107	附录1 国际单位制	184
习题	108	附录2 常见物质的标准摩尔生成焓、标准摩尔生成吉布斯函数、标准摩尔熵的数据	185
第5章 物质结构基础	110	附录3 水溶液中某些水合物质的标准摩尔生成焓、标准摩尔生成吉布斯函数、标准摩尔熵的数据	187
5.1 核外电子的运动状态	110	附录4 常见弱电解质在水溶液中的解离常数(298K)	188
5.1.1 玻尔的氢原子结构理论	110	附录5 常见难溶电解质的溶度积常数(298K)	189
5.1.2 电子运动的特性	112	附录6 常见配离子在标准状态的稳定常数(298K)	190
5.1.3 波函数	114	附录7 常见氧化还原电对的标准电极电势(298K)	190
5.1.4 电子云	117	附录8 常用化学试剂的等级标准	191
5.2 多电子原子结构和周期系	119	附录9-1 常用酸碱指示剂	192
5.2.1 多电子原子轨道的能级	119	附录9-2 常用金属指示剂	192
5.2.2 核外电子分布与周期系	120	附录10 元素符号的中英文名称	192
5.3 化学键和分子间相互作用力	124	附录11 1901~2010年诺贝尔化学奖获奖情况表	196
5.3.1 化学键及其类型	124	工程化学综合测试题	202
5.3.2 分子的极性	129	部分习题参考答案	210
5.3.3 分子间相互作用力	130	参考文献	213
科学家的贡献和科学发现的启示	132		
习题	135		
第6章 化学与人类的进步	137		
6.1 化学与人们的工作生活	137		
6.1.1 衣	137		
6.1.2 食	138		
6.1.3 住	141		
6.1.4 行	142		
6.1.5 颜色化学	145		
6.1.6 洗涤剂和化妆品	147		

第 1 章 物质的聚集状态

内容提要

本章主要介绍化学的基本概念；物质的聚集状态；大气污染、水污染、固体废弃物及其处理方法。

学习要求

- ① 掌握一些化学的基本概念，如分子、原子、相及物质的量等；理解状态函数的特点和反应进度的含义。
- ② 熟悉理想气体和实际气体的差别，掌握大气相对湿度的计算方法；了解大气中的主要污染物的危害及防治办法。
- ③ 掌握浓度对稀溶液蒸气压下降、沸点上升、凝固点下降和渗透压的影响；了解生活污水和工业废水的治理方法。
- ④ 掌握晶体的四个基本类型和过渡型晶体；理解晶体和非晶体的差别；了解固体废弃物的污染和处置方法。

物质的聚集状态 (the collective state of matter) 是指在一定的温度和压力下，物质所处的相对稳定的状态。

在自然界中，物质总是以一定的聚集状态存在的，通常认为物质聚集状态为气态 (gas)、液态 (liquid)、固态 (solid) 和等离子态 (plasma)。不同的聚集状态在一定的条件下可以相互转化。若把物质的聚集状态与物质内在的分子、原子的特征联系在一起思考，有助于人们更加深入地理解物质的性质，也有助于解决生活和工程中的一些实际问题。

1.1 化学的基本概念

1.1.1 分子、原子及团簇

1.1.1.1 分子

分子是保持物质化学性质的最小粒子，也就是说，在保持物质化学性质的前提下，物质分割的极限被称为分子，任何物理变化都不能使分子的组成发生改变。

要正确理解分子的概念，分子是构成物质的最小微粒，是以保持物质的化学性质为前提的，离开了这个重要的前提，分子就不再是构成物质的最小微粒了，因为分子还能继续再分成更小的微粒——原子，而原子已不再具有原物质的化学性质了，如将一个 NH_3 分子分解后，生成 N 原子和 H 原子，它们的性质与原来 NH_3 分子性质完全不同了。

1.1.1.2 原子

分子还可以再分割生成原子，化学反应的发生有力地证明了这一点。在化学反应中，原子只是发生了新的组合，而原子本身并没有变成其他的原子。因此，可以说原子是物质进行化学反应的基本微粒。

分子和原子是构成物质的微粒，它们在不断地运动着。但这两种微粒有着本质的区别：分子能独立存在，它保持物质的化学性质，在化学反应中，一种分子能变成另一种或几种分子；原子一般是不能独立存在的，在化学反应中，一种原子不能变成另一种原子。分子和原子是构成物质的不同层次的微粒。

现代化学观点认为，孤立的原子是原子微粒，由它所衍生的（即由原子电离或激发所产生的）微粒，也被认为是原子微粒，如能独立存在的原子（如 Ar、He）、离子（如 K^+ 、 S^{2-} ）及原子自由基（如 $Cl\cdot$ 、 $H\cdot$ ）等。

1.1.1.3 团簇

团簇（cluster）是由几个至上千个原子或其结合单元相互作用结合在一起而形成的相对稳定的化学单元。它的尺寸介于原子、分子和宏观物体之间。它一般有化学成分和结构比较简单的单元重复结合而成，包括金属簇，如 Li_n 、 Cu_n ；非金属簇，如 C_n 、 Ar_n ；分子簇，如 $(H_2O)_n$ 、 $(NaCl)_n$ 等

20 世纪 70 年代后由于化学模拟生物固氮、金属原子簇化合物的催化功能、生物金属原子簇、超导及新型材料等方面研究的需要，促进了团簇化学的快速发展。1985 年英国科学家 H. W. Kroto (1939—) 等发现了稳定的碳原子簇 C_{60} （巴氏球），这一发现是人类对碳认识的新阶段，使人们了解到一个全新的碳世界。为此美国科学家 R. F. Carl (1933—) 教授、R. E. Smalley (1943—) 教授和英国科学家 Kroto 教授荣获 1996 年诺贝尔化学奖。 C_{60} 分子是一种闭合的碳笼结构，由 12 个正五边形和 20 个正六边形组成球形 32 面体，具有很高的对称性，特别像美国著名设计师（Buckminster）所设计的加拿大 1967 年蒙特利尔世界博览会网格球体主建筑，而把 C_{60} 命名为 Buckminster fullerene。此后人们便将这一类化合物命名为 fullerene。“fuller” 谐音为“富勒”，“ene” 译为“烯”，富勒烯是由碳原子形成的一系列笼分子的总称，它是碳单质除了石墨和金刚石以外的第三种稳定存在形式。 C_{60} 是富勒烯（fullerene）系列全碳分子的代表（见图 1-1）。

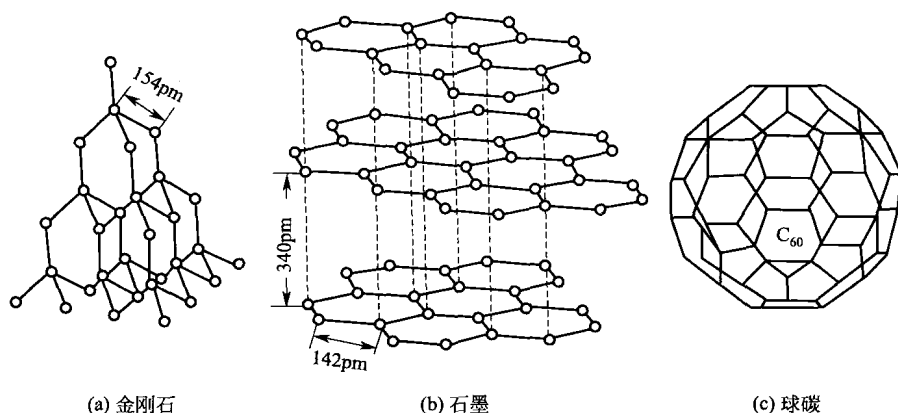


图 1-1 碳单质的三种同素异形体的结构示意图

从 C_{60} 被发现以来，富勒烯已经广泛地影响到物理、材料科学、生命及医药科学等众多领域，极大丰富和提高了科学理论，同时也显示出其潜在的巨大应用前景。如 C_{60} 是纳米级材料，可用作记忆元件，超级耐高温润滑剂，可制造高能蓄电池、燃料、太空火箭推进剂等。纯 C_{60} 是绝缘体，但钾嵌入的 C_{60} 具有超导体性质。 C_{60} 与某些磷脂的复合物能与某些癌细胞结合，从而为摧毁和杀灭癌细胞提供了条件。

1.1.2 元素

化学元素的概念经历了两次重大的转折，从古代元素的概念到近代化学元素的概念，再到现代化学包含同位素的元素概念，这样的发展对化学具有革命性的重大意义。

19世纪原子分子论建立后，人们逐步认识到一切物质都是由原子通过不同方式结合而构成的，元素是在原子水平上表示物质组成的化学分类名称。

原子核组成的奥秘被揭开后，人们通过科学实验发现：同种元素的原子核里所含质子数目是一样的，但中子的数目可以不同。即同一元素可以有质子数相同而中子数不同的几种原子（即同位素），但决定元素性质的主要因素是质子数（即核电荷数），也就是说质子数相同的一类原子的化学性质基本上相同。

现代化学观点认为，元素就是原子核中的质子数（即核电荷数）相同的一类原子的总称。这样，人们进一步了解了元素的本质，元素就是以核电荷为标准对原子进行的分类。

迄今为止，人类已经发现了化学元素118种，其中金属元素96种，非金属元素22种，正是它们组成了目前已知的几百万种不同的物质，即宇宙万物是由这些元素的原子构成的。

但应注意，原子是微观的概念，而元素是某一种类原子的总称。元素符既能表示一种元素，也可表示该种元素的一个原子；原子有量的涵义，而元素却没有。若将分子说成是由两个氢元素和一个氧元素组成，这是错误的。

1.1.3 系统、环境和相

1.1.3.1 系统与环境

在客观世界中，任何事物都不会孤立存在，都会与其周围的其他事物有机地联系在一起。为了科学研究的需要，必须把待研究物质与周围其他的物质隔离开来。一般将被研究的对象叫做系统（system，也称为体系），系统以外的周围物质叫做环境（environment）。系统可以通过一个边界（范围）与其环境区分开来；这个边界可以是具体的，也可以是假想的。例如，锌与稀硫酸在容器中反应，此反应产生的氢气逸出液面而扩散到空气中。若该容器是完全密闭的，则可以将密闭在容器中的空气以及产生的氢气包括在系统内，则该系统有具体的边界与环境区分开。若该容器不是密闭的，则系统与环境的边界只能是假想的。如果把人类和生物作为系统来研究，则与人类和生物相关的大气、水等周围其他的物质即为环境。一般环境科学中所指的环境是泛指以人类为中心的整个生物圈周围的所有的物质。如果把人体作为系统来研究，那么人体周围的一切皆为环境。

系统的确定是根据研究的需要人为划分的。例如，为了研究方便，通常把化学反应中所有的反应物和生成物作为系统。根据系统与环境间有无物质交换和能量的传递，将系统大致划分为以下三类。

- ① 敞开系统 系统与环境之间既有物质交换又有能量交换。
- ② 封闭系统 系统与环境之间只有能量交换而无物质交换。
- ③ 孤立系统 系统与环境之间既无物质交换又无能量交换。

系统的选择是根据人们研究的需要而确定的。比如在室内某一温度下，有一个盛水的瓶子，以此瓶作为一个系统进行研究，则该系统与环境间既有物质交换又有能量传递，那么该系统为敞开系统；若将瓶子加盖子密封，则该系统与环境间只有能量传递而无物质交换，那么该系统为封闭系统；若将瓶子用石棉布包裹，以确保绝对隔热（事实上这是无法做到的），此时该系统与环境间既无物质交换也无能量传递，则该系统为孤立系统。在自然界中真正意

义上的孤立系统是不存在的，它是一种理想的假设。

由于通常把反应中所有的反应物和生成物选作系统，因此化学反应属于封闭系统。

1.1.3.2 相

在系统中化学组成均匀，且物理和化学性质相同的部分被称为相 (phase)，不同的相之间存在着明确的相界面。

多种气态物质，只要它们之间不发生化学变化，由于气体的无限扩散性，使得这些气体最终会形成一个均匀的单相系统。对于液态物质，根据它们彼此能否互溶，来判断能否形成单相系统。例如水和乙醇组成的系统，由于水与乙醇之间可以以任何比例互溶，所以该系统为单相系统；而水和油，由于它们彼此不互溶，即使将它们混合在一起，也将形成两个不同的液相，其间存在着明显的界面，水和油成为液-液两相系统。若将 K_2CrO_4 溶液加入到 $Pb(NO_3)_2$ ，有黄色的 $PbCrO_4$ 沉淀从溶液中析出，此时组成的体系为固-液两相系统。对于固态物质，只要它们之间不形成固溶体合金（所谓的固溶体合金，是指两种或多种金属不仅在熔融时能够互相溶解，而且在凝固时也能保持互溶状态的固态溶液，它是一种均匀的组织），有几种固体物质，就是几相系统。但应注意的是，即使是同一种物质，如果结构不同，物理和化学性质不同，仍不能作为同一相，例如纯铁在不同温度下是两种不同的结构，即 α -Fe 和 γ -Fe，虽然它们的聚集状态相同，但它们属于不同的相。对于相的概念，要分清以下两种情况：

① 同一种物质可因聚集状态不同而形成多相系统。例如水和水面上的冰就是两个相。系统只有一个相，叫单相系统，单相不一定是一种物质。例如气体混合物虽然是由几种物质混合成的，各成分都是以分子状态均匀分布的，没有界面存在，仍属于单相系统。

② 要注意“相”和“聚集状态”的区别。聚集状态相同的物质在一起，并不一定是单相系统。例如，一个油水分层的系统，虽然都是液态，但却含有两个相（油相和水相）。又如，碳酸钙和氧化钙混合在一起的固态混合物，即使肉眼看来很均匀，但在显微镜下还是可以观察到相的界面，这样的系统就有两个相。含有两个相或多于两个相的系统叫多相系统。

1.1.4 状态与状态函数

要了解系统变化和所发生的能量转换关系，就需要确定系统的状态——始态和终态。系统的状态是由它的性质确定的。例如，要描述某系统中气体的状态，通常可用给定压力 p 、体积 V 、温度 T 和物质的量 n 来描述。这些性质都有确定值时，气体的“状态”就确定了。

系统的状态 (state) 是系统所有化学性质和物理性质的综合表现。系统的这些化学性质和物理性质即热力学性质属于宏观物理量。例如温度、压力、体积、密度及蒸气压等。当系统处于一定状态时，系统的所有性质就确定了，反之，当系统的性质一定时，系统的状态也就随之确定了。用来描写系统状态的这些热力学参数或物理量叫做状态函数 (state function)。它们决定于状态本身，而与变化过程的具体途径无关。状态函数有两个主要性质：①系统的状态一定，状态函数就具有确定值；②当系统的状态发生变化时，状态函数的改变量只取决于系统的始态和终态，而与变化的途径无关。

例如 100mL H_2O 在标准状态下，始状态温度 $t_1 = 10^\circ C$ ，当它经历了一系列变化之后，末状态温度改变至 $t_2 = 25^\circ C$ 。由于温度、压力均是系统的性质，是状态函数，所以当计算温度的变化时，可以只考虑末状态与始状态温度的差值 $\Delta t = t_2 - t_1 = 15^\circ C$ ，而不必考虑其具体途径。

状态函数分为两类。若状态函数数值的大小与系统物质的数量成正比，这类状态函数称

为容量性质，例如体积、质量及热力学能等。容量性质具有加和性，当状态函数值的大小与系统物质的数量无关时，这类状态函数称为强度性质，它取决于系统自身的特性，不具有加和性，例如温度、压力及黏度等。

系统中各状态函数间是相互制约的，若确定了其中的部分状态函数，其余的往往也可随之而定。例如，对于理想气体来说，如果知道了它的压力、体积、温度及物质的量这四个状态函数中的任意三个，就能用理想气体状态方程式($pV=nRT$)确定第四个状态函数。

1.1.5 物质的量

物质的量是国际单位制（见附录1）中的七个基本量之一，是微观粒子与宏观可称量物质间的桥梁，是用来描述系统基本单元数目多少的物理量，符号为 n ，单位为摩尔（mol）。摩尔与“打”相似，“打”这个单位常用来指 12 件特定的物品。若某物系中所含基本单元数是阿伏加德罗常数 ($N_A=6.022\times 10^{23}\text{ mol}^{-1}$) 的多少倍，则该物系中“物质的量”就是多少摩尔。

正确理解基本单元的涵义极为重要，它是正确运用物质的量及相关量的关键，基本单元包括由原子、分子及电子等微粒构成的物质中存在的复杂结构单元，如 H_2SO_4 、 SO_4^{2-} 、 $[\text{Ag}(\text{NH}_3)_2]^+$ 等，也包括根据研究需要想象其存在的单元，如食盐是以反映晶体化学组成的 NaCl 作为基本单元来计量它的物质的量。基本单元不限于整数原子的组合，也可以是分数的原子组合，如 $\text{Fe}_{0.91}\text{S}$ 、 $\frac{1}{2}\text{Ca}^{2+}$ 、 $\frac{1}{5}\text{KMnO}_4$ 等。

在使用“物质的量”时，基本单元一定要用化学式表示，否则表达就会含混不清或引起混乱。如“ 1mol O_2 ”和“ 1mol O ”表示的基本单元分别为 O_2 和 O 。如果用“ 1mol 氧 ”则表达的意义不清楚。

思考与练习题

1-1 “ 1mol 氢 ”这种说法正确吗？

1-2 在 0°C 时，一只烧杯中盛有水，水面上浮着三块冰，问水和冰组成的系统中有几相？如果撒上一把食盐，并设法使其全部溶解，若此时系统的温度仍维持 0°C 不变而冰点下降，系统为几相？如果再加入一些 AgNO_3 溶液，又有什么现象发生，此时系统为几相？如果又加入一些 CCl_4 ，系统又为几相？

1.2 气体和等离子体

气态是人们了解得较为全面的物质的一种聚集状态，气态物质的最基本特征是它的无限膨胀性和明显的可压缩性。组成气体的分子处在永恒、无规则的运动中，若将一定量气体引入容器中，不管容器的大小及气体量的多少，气体分子立即向容器内各方向扩散，并均匀地充满整个容器，且不同的气体能以任意比例互相混合。

1.2.1 理想气体和实际气体

如果把气体分子看成几何学上的一个点，只有位置而不占有体积，并且分子间没有相互作用力，我们称这样的气体为理想气体。事实上，一切气体分子本身都占有一定的体积，而

且分子间存在相互作用力，理想气体只不过是人为的一种假想，研究它是为了将问题简单化，而实际问题是在此基础上进行必要的修正而得以解决。

1.2.1.1 理想气体状态方程式

气体既没有固定体积，又没有确定形状，所谓气体的体积是指气体所在容器的容积。对于一定量的理想气体，可通过测量其压力 (p)、体积 (V) 及温度 (T)，来确定该理想气体物质的量 (n) 或质量 (m)，通常将理想气体状态方程式写成：

$$pV = nRT \quad (1-1)$$

或

$$pV = \frac{m}{M}RT \quad (1-2)$$

式中， R 为摩尔气体常数； M 为气体摩尔质量。在国际单位制中， p 以 Pa 为单位， V 以 m^3 为单位， T 以 K 为单位，则 R 为 $8.314\text{J}/(\text{mol} \cdot \text{K})$ 。

例 1-1 在容积为 10.0dm^3 的真空钢瓶内充入氧气，在 25°C 时，测得瓶内气体压力为 $1.01 \times 10^7\text{Pa}$ ，试计算钢瓶内充入氧气的质量。

解 由式(1-2) 得

$$m = \frac{pVM}{RT} = \frac{1.01 \times 10^7 \times 10.0 \times 10^{-3} \times 32.0}{8.314 \times (273.2 + 25)} = 1.30 \times 10^3 (\text{g})$$

答：钢瓶内充入氧气 $1.30 \times 10^3\text{g}$ 。

1.2.1.2 理想气体分压定律

实际工作中，我们所遇到的气体通常是两种或两种以上的气体混合物，若在某温度下，不同的气体混合在一起，只要不发生化学变化，它们之间就互不干扰，即混合气体中某组分气体对容器壁所产生的压力不受其他组分存在的影响，如同单独存在于该容器中对容器壁所产生的压力（即该组分分压），该组分气体遵循理想气体状态方程式：

$$p_i V = n_i RT \quad (1-3)$$

英国物理学家、化学家道尔顿 (Dalton) 通过对大气中水蒸气压力变化的研究，于 1807 年提出了有关混合气体分压的经验定律——Dalton 分压定律。

容器内混合气体总压 ($p_{\text{总}}$) 等于各组分气体分压 (p_i) 之和。其数学表达式为：

$$p_{\text{总}} = p_1 + p_2 + \cdots + p_i = \sum_{i=1}^n p_i \quad (1-4)$$

$$p_{\text{总}} = \sum_{i=1}^n p_i = \sum_{i=1}^n \frac{n_i RT}{V} = \frac{RT}{V} \sum_{i=1}^n n_i = n_{\text{总}} \frac{RT}{V} \quad (1-5)$$

式中， $n_{\text{总}}$ 表示混合气体总的物质的量。

将式(1-3) 除以式(1-5) 得：

$$\frac{p_i}{p_{\text{总}}} = \frac{n_i}{n_{\text{总}}} \quad (1-6)$$

式(1-6) 即为分压定律，它表明了组分分压与混合气体总压之间的关系。

例 1-2 若 1.0L 容器中混有 64.0g 氧气与 40.0g 氮气，求在 400K 时氧气的分压及混合气体总压。

解 设在容器中氧气的物质的量分别为 n_{O_2} 、 n_{He} ，

$$n_{\text{O}_2} = \frac{m_{\text{O}_2}}{M_{\text{O}_2}} = \frac{64.0}{32.0} = 2.0 \text{ (mol)}$$

根据理想气体状态方程可得：

$$p_{\text{O}_2} = \frac{n_{\text{O}_2} RT}{V} = \frac{2.0 \times 8.314 \times 400}{1.0 \times 10^{-3}} = 6.7 \times 10^6 \text{ (Pa)}$$

同理可求得： $n_{\text{He}} = 10.0 \text{ mol}$ ， $p_{\text{He}} = 3.3 \times 10^7 \text{ Pa}$ 。

根据 Dalton 分压定律：

$$p_{\text{总}} = p_{\text{O}_2} + p_{\text{He}} = 6.7 \times 10^6 + 3.3 \times 10^7 = 4.0 \times 10^7 \text{ (Pa)}$$

答：在容器中氧气的分压及混合气体总压分别是 $6.7 \times 10^6 \text{ Pa}$ 、 $4.0 \times 10^7 \text{ Pa}$ 。

1.2.1.3 实际气体

随着测量技术的进步，特别是高压技术的发展，人们发现建立在理想气体模型基础上的状态方程式和定律，只有在低压下才适用。当压力升高时，各种气体无例外地都发生了对理想气体规律的显著偏离。

首先，实际气体分子间存在着的作用力不容忽视，其次，实际气体自身的体积必须考虑。在高压、低温下，随着气体分子间距离的缩短和分子平均动能的降低，分子间的作用力及分子自身的体积这两种因素已不能被忽略。

实验证明，通常在低压、温度较高的条件下，实际气体比较接近于理想气体，可近似地认为能够满足理想气体状态方程式对于气体性质的要求，此时采用理想气体状态方程式计算出的结果比较接近于实际情况。

1.2.2 大气相对湿度

水蒸气是由液态水蒸发或冰升华而成的气体。气体也可以向液体、固体转变，其转变过程都称为凝聚。某温度下，液体（或固体）的蒸发（或升华）速度等于凝聚速度时，该气体的压力称为该物质（液体或固体）在该温度下的饱和蒸气压。不同温度时水的饱和蒸气压列于表 1-1 中。

表 1-1 不同温度时水的饱和蒸气压

温度/°C	饱和蒸气压/kPa	温度/°C	饱和蒸气压/kPa	温度/°C	饱和蒸气压/kPa
1	0.657	13	1.498	25	3.167
2	0.705	14	1.599	26	3.361
3	0.757	15	1.705	27	3.564
4	0.814	16	1.817	28	3.779
5	0.872	17	1.937	29	4.004
6	0.934	18	2.064	30	4.242
7	1.001	19	2.197	31	4.505
8	1.073	20	2.339	32	4.754
9	1.148	21	2.487	33	5.030
10	1.228	22	2.644	34	5.319
11	1.312	23	2.809	35	5.624
12	1.402	24	2.984	36	5.941

地球上的海洋江湖充满了水，因此水蒸气是空气中不可忽视的组成成分。水蒸气的含量多少，即通常所说的大气干湿程度，单位体积空气中所含水蒸气的质量称为绝对湿度，一般用每立方米空气中所含水蒸气的质量（g）来表示。空气中实际所含的水蒸气密度 d 和同温度下饱和水蒸气密度的百分比值被定义为**相对湿度**（relative humidity）。根据理想气体状态方程式有：

$$\frac{m}{V} = \frac{PM}{RT} = d \quad (1-7)$$

式中， R 为摩尔气体常数； M 为 H_2O 的摩尔质量，二者均为常数。因此，温度一定时，蒸气密度 d 与蒸气压 p 成正比，也就是说相对湿度等于实际水蒸气压与同温度下饱和水蒸气压的百分比值，即

$$\text{相对湿度} = \frac{p_{\text{H}_2\text{O,实}}}{p_{\text{H}_2\text{O,饱}}} \times 100\% \quad (1-8)$$

例 1-3 已知 25°C 时，某地的实际水蒸气压为 2.154kPa ，此时的相对湿度是多少？若温度上升到 35°C ，相对湿度估计是多少？若温度下降到 20°C ，相对湿度又将如何变化呢？

解 查表 1-1 知， 25°C 时水的饱和蒸气压为 3.167kPa 。按式(1-8) 计算，得相对湿度为

$$\text{相对湿度} = \frac{2.154}{3.167} \times 100\% = 68\%$$

温度的上升或下降，所在的地域不变，所以体积没有变化，总压也视为不变，假如没有风，也无凝聚，物质的量也无变化。 35°C 和 25°C 的实际水的蒸气压分别为：

$$p_{(35^\circ\text{C})} = \frac{2.154 \times 308.2}{298.2} = 2.226\text{kPa}; \quad p_{(20^\circ\text{C})} = \frac{2.154 \times 293.2}{298.2} = 2.118\text{kPa}。$$

查表 1-1 知， 35°C 和 20°C 时水的饱和蒸气压分别为： 5.624kPa 和 2.339kPa 。

$$\text{所以 } 35^\circ\text{C} \text{ 的相对湿度} = \frac{2.226}{5.624} \times 100\% = 39.58\%$$

$$20^\circ\text{C} \text{ 的相对湿度} = \frac{2.118}{2.339} \times 100\% = 90.55\%$$

由计算可知，当实际水蒸气压一定时，温度越低，相对湿度越大。

1.2.3 等离子体

等离子体 (plasma) 是一种以自由电子和带电离子为主要成分的物质形态，广泛存在于宇宙中，被称为等离子态，或者“超气态”，如图 1-2 所示。等离子体具有很高的电导率，

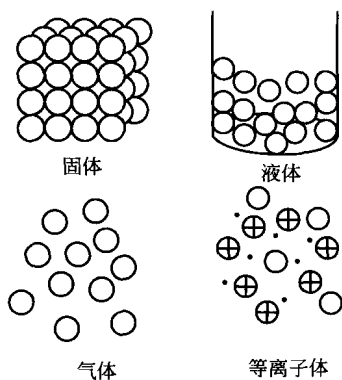


图 1-2 物质的四种聚集状态

与电磁场存在极强的耦合作用。等离子体是由英国的著名化学家、物理学家克鲁克斯（1832—1919）在 1879 年发现的，1929 年美国科学家欧文·朗缪尔（Langmuir）和汤克斯（Tonks）首次将“等离子体”一词引入物理学，用来描述气体放电管里的物质形态。

等离子体通常被视为物质除固态、液态及气态之外存在的第四种形态。随着物质系统的温度不断升高，物质分子排列的有序程度就会逐渐降低。如果对气体物质加热到足够高的温度，使得原子的动能远远超过原子的电离能，气体中的部分粒子就会发生电离，形成由大带电粒子（离子、电子）和中性粒子（分子、原子）所组成的系统。此时的系统与普

通气体，无论从组成上还是性质上都有着本质的区别。等离子体实际上是一种导电液体，整体呈现电中性，是由于其中的正、负电荷总数相等的原因。

看似“神秘”的等离子体，其实是宇宙中一种常见的物质，在恒星（例如太阳）、闪电中都存在等离子体，它占整个宇宙的99%。现在人们已经掌握利用电场和磁场来产生和控制等离子体。例如焊工们用高温等离子体焊接金属。

等离子体可分为两种，即高温和低温等离子体。高温等离子体只有在温度足够高时发生，太阳和恒星不断地发出高温等离子体，组成了宇宙的99%。低温等离子体是在常温下发生的等离子体（虽然电子的温度很高）。过去低温等离子体主要被用于氧化、变性等表面处理或有机物和无机物进行沉淀涂层处理上，而现在低温等离子体运用更加广泛。例如，等离子电视、婴儿尿布表面防水涂层、增加啤酒瓶阻隔性，更重要的是在电脑芯片中的蚀刻运用，让网络时代成为现实。

等离子体主要用于以下几个方面：

(1) **等离子体冶炼** 用于冶炼用普通方法难于冶炼的材料，例如高熔点的锆(Zr)、钛(Ti)、钽(Ta)、铌(Nb)、钒(V)、钨(W)等金属；还用于简化工艺过程，用等离子体熔化快速固化法可开发硬的高熔点粉末，如碳化钨-钴、Mo-Co、Mo-Ti-Zr-C等粉末。等离子体冶炼的优点是产品成分及微结构的一致性好，可免除容器材料的污染。

(2) **等离子体喷涂** 许多设备的部件应能耐磨耐腐蚀、抗高温，为此需要在其表面喷涂一层具有特殊性能的材料。用等离子体沉积快速固化法可将特种材料粉末喷入热等离子体中熔化，并喷涂到基体（部件）上，使之迅速冷却、固化，形成接近网状结构的表层，这可大大提高喷涂质量。

(3) **等离子体焊接** 可用于焊接钢、合金钢，铝、铜、钛等及其合金。特点是焊缝平整，可以再加工，没有氧化物杂质，焊接速度快。用于切割钢、铝及其合金，切割厚度大。

(4) **等离子体刻蚀** 在半导体制造技术中，等离子体刻蚀是干法刻蚀中最常见的一种方法，等离子体产生的带能粒子（轰击的正离子）在强电场下，朝硅片表面加速，通过溅射刻蚀作用去除未被保护的硅片表面材料，从而完成一部分的硅刻蚀。王德生[等离子体处理玻璃纤维对其环氧树脂复合材料性能的影响. 化学与粘合, 1990, (4): 216-218]研究了低温等离子体处理对玻璃/环氧树脂复合材料性能的影响。他证明，玻璃纤维放入等离子体发生器内进行处理（用N₂和Ar作载气，功率为240W），随着处理时间的延长（2~25min），玻璃纤维失重由0.28%增至0.82%，这是由于等离子体中高能粒子对纤维表面碰撞所引起的“刻蚀”作用（使表面粗糙度增大）所致。由于粗糙度增大，新生表面积扩大，某些极性基团（羟基）能更多地暴露，故纤维对偶联剂的吸附量大为增加。这必然改善纤维与环氧树脂的润湿性，从而提高了界面粘接性能和复合材料的力学性能。

1.2.4 大气污染及其防治

1.2.4.1 大气污染

在自然状态下，大气是由干燥、清洁的空气、水蒸气及悬浮微粒三部分组成。干燥、清洁的空气组成基本上是不变的，其主要成分O₂、N₂及稀有气体，三者合计占干空气总容积的99.9%以上，其他还有少量的CO₂、H₂及O₃等，总和不超过0.04%。

一个人1天内需要约1kg食物、2kg水和13kg的空气(此空气体积约1万升)。一个人可以7天不进食,5天不饮水,但断绝空气仅5min,就会死亡。这说明正常空气对人类的生存是极为重要的。但由于人类活动和自然过程引起某种物质进入大气,破坏了正常空气原有的组成,当其浓度停留时间超过允许限度时,大气质量出现恶化,并因此而危害到人体、动植物或危害到环境,国际标准化组织(ISO)将此现象定义为**大气污染(atmospheric pollution)**。

大气污染源分为自然源和人为源两大类。自然源是指由火山喷发、森林火灾及土壤风化等自然原因产生的沙尘、 SO_2 及 CO_2 等;人为源是指任何向大气排放一次性污染物的工厂、设备、车辆或行为等,即生活(燃料)污染源、工业生产污染源及交通运输污染源。

1.2.4.2 大气污染物

大气污染物主要是指硫化物(如 SO_2)、氮氧化物(NO_x ,如 N_2O 、 NO 、 NO_2 及 N_2O_5 等)、一氧化碳、烃类化合物(如烷烃、烯烃及芳烃)、光化学烟雾及微粒污染物(如火山灰)等。

在这里我们主要向大家介绍光化学烟雾。

光化学烟雾的成分有一次污染物氮氧化物及烃类化合物,但更重要的是大气中的烃类和 NO_x 在太阳强辐射下发生化学反应产生的二次污染物 O_3 、过氧化硝酸乙酰及醛酮类化合物等。当这些物质混合后浓度达到 $(0.03\sim 0.04)\times 10^6\text{m}^3/\text{m}^3$ 时,即构成了光化学烟雾。

光化学烟雾形成的初期可以见到上空出现一片浅蓝色的雾,并逐渐加厚,使晴朗的天空渐渐变为昏暗,空气中烟雾弥漫,能见度降低,同时可以嗅到类似臭氧的气味。这种状况会持续很长时间,直至气象条件允许时才渐渐扩散消失。它刺激人的眼睛和上呼吸道黏膜,使人产生流泪、咳嗽及胸闷等症状,严重时机体缺氧损害中枢神经,甚至死亡。其慢性毒作用可使人体肺部对细菌的抵抗能力降低,还可诱发染色体畸变,加速人体衰老。光化学烟雾经常发生在光照强烈的夏季和初秋季节,它所引发的公害事件时有发生。例如在1952年洛杉矶的光化学烟雾事件中,两天内使65岁以上的老人死亡400余人;在1970年7月13日日日本东京的光化学烟雾事件中,受害人数近6000余人。

在我国为增强人们对环境的关注,较及时准确地反映空气质量状况,采用空气质量日报预报的形式,通过媒体向社会发布环境信息,以提高全民的环境意识,促进人们生活质量的提高。

1.2.4.3 大气污染对大气的影响

大气污染不仅恶化大气质量,而且影响局部天气及全球气候,如 SO_2 和 NO_x 在许多地区形成酸雨, CO_2 引起全球气候变暖,氯氟烃对臭氧层造成破坏等。

(1) 酸雨(acid rain) 正常的雨雪呈弱酸性,这样的降水有利于溶解地壳中的矿物质,供给动植物吸收。受大气污染的降水,若 $\text{pH}<5.6$,则称之为酸雨。

酸雨对环境造成的危害是多方面的。首先,酸雨不仅影响植物生长、繁殖,使森林受害严重,而且酸雨喷淋的土壤由于减少了Ca、Mg及K等营养元素而变得贫瘠,从而波及到赖以生存的人类及野生动物,酸雨还会危害鱼类繁殖和生存,毒害水生物,破坏生态系统。其次,酸雨腐蚀建筑材料及金属制品等,对文物古迹造成不可挽回的损失,如雅典古城堡是举世闻名的历史建筑,它正遭受着酸性污染物的侵蚀,光滑挺拔的大理石柱、精美的大理石

浮雕表面凝结了一层厚厚的石膏层，使之光彩尽失。我国重庆、宜宾、长沙、赣州等南方城市也频降酸雨，1995年重庆市因大气污染造成直接经济损失高达20多亿元，几乎相当于该市全年财政收入。

酸雨主要由于化工燃料燃烧和金属冶炼等排放的污染物 SO_2 和 NO_x ，经过复杂的大气化学、物理过程产生 H_2SO_4 、 HNO_2 及 HNO_3 等多种无机酸溶解在雨水中而形成的。大气粉尘等固体颗粒物（含 Fe、Cu 及 V 等）是上述过程的催化剂，大气中的光化学反应生成 O_3 、 H_2O_2 等是上述过程的氧化剂。酸雨成因中 SO_2 的影响约占 70%， NO_x 约占 30%，大气中的其他污染物对酸雨的形成也有影响，我国酸雨主要是由于 SO_2 造成的。

(2) 温室效应 (the greenhouse effect) 太阳光大部分以短波穿过大气层辐射到地球，被地表面吸收和反射。地表被加热，以长波红外光向外辐射，大气中的 CO_2 等和水蒸气将此波段的辐射大部分吸收，从而阻碍了地球热量向大气层以外扩散，此作用与薄膜等覆盖而使室内产生增温和保温作用相同，故称为温室效应。产生温室效应的气体被称为温室气体， CO_2 是主要的温室气体，已知其他的温室气体多达 39 种，如 CH_4 、 CHCl_3 、 N_2O 及 O_3 等。

随着工业的发展，人类对能源的需要剧增，燃料完全燃烧使得 CO_2 排放量也随之剧增；植被、森林的破坏使植物光合作用消耗 CO_2 也在大量地减少。据估计，20 世纪 60 年代末至 90 年代末大气中 CO_2 浓度年增长约为 0.4%，地球平均气温随之升高，80 年代末出现了历史上地球气温最高的四年。科学家们预言：到 2100 年，全球地表温度可能会上升 $1.6\sim 6.4^\circ\text{C}$ ，多数人认为，全球气候变暖主要是由于大气中 CO_2 浓度升高导致的。

温室效应引起冰雪融化，海平面升高，沿海 60km 范围内居住着的占世界约 1/3 的人口、城镇农田、水产养殖都要受到威胁。气候变暖，使森林、湿地及极地冻土遭到破坏，赖以生存的许多物种将加速灭绝，危害生态系统，破坏人类的食物供应和居住环境，还会造成疾病流行，自然灾害频发等严重问题。

1996 年联合国政府间气候变化专门委员会 (IPCC) 关于全球气候变化的评估报告中再次肯定了温室气体增加将导致全球气候的变化，2009 年 12 月第五次评估报告显示 2009 年地球大气中的浓度达到历史最高值 $387\times 10^{-6}\text{m}^3/\text{m}^3$ (2008 年为 $385.2\times 10^{-6}\text{m}^3/\text{m}^3$ ，2007 年为 $383.2\times 10^{-6}\text{m}^3/\text{m}^3$)，呈增长趋势。国际组织提出全球减排目标，即减少大气温室气体的排放，主要针对 CO_2 气体，只有气体浓度控制在 $450\times 10^{-6}\text{m}^3/\text{m}^3$ 以内，才能长期稳定全球气候，避免巨大的气候生态灾难。

我们都知道气候系统对于大气温室气体浓度的反应具有滞后性，最佳减排时机就在现在。我国在减排问题上实施大量具体的行动，2009 年以来，用于节能减排和生态建设工程的投资高达 2000 亿人民币。2009 年 11 月 26 日在哥本哈根气候变化大会上，我国政府宣布了减排计划，中国到 2020 年比 2005 年温室气体减排 40%~45%。目标是明确的，任务是艰巨的，为此我国每年要支付约 700 多亿美元的增量成本，相当于每个家庭要承担 100 多美元的成本。

你我做些什么？践行低碳生活方式，减排从我做起：及时关闭电灯电脑，减少使用一次性塑料袋，出门多乘公交车，夏天空调调高一度，采用节能电器，用节能方式洗衣服，少用洗衣粉……我们要用实际行动保护我们赖以生存的家園。