

湖南省高等教育面向 21 世纪教材

# 化学与人类社会

主 编	蔡炳新	王玉枝	汪秋安
编 者	蔡炳新	湖南大学	
	王玉枝	湖南大学	
	汪秋安	湖南大学	
	肖晓明	湖南师范大学	
	周毅刚	中南大学	
	王学业	湘潭大学	
	柳一鸣	湖南理工学院	

湖南大学出版社

2005 年 · 长沙

## 内 容 简 介

本书全面阐述化学与人类社会生活的关系,具体论述了化学与环境、化学与能源、化学与材料、化学与生命、化学与医药营养、化学与生活、化学与法学、化学与哲学、化学与信息等问题。涵盖化学的基础知识、经典知识、前沿知识和应用知识。每章后设有思考题。

本书可作为高等学校中文、财经、政治类专业学生的素质教育教材,也可供相关科技人员和自学者阅读参考。

### 图书在版编目(CIP)数据

化学与人类社会/蔡炳新,王玉枝,汪秋安主编.

—长沙:湖南大学出版社,2005.8

(湖南省高等教育面向21世纪教材)

ISBN 7-81053-985-X

I.化... II.①蔡... ②王... ③汪... III.化学—

高等学校—教材 IV.O6

中国版本图书馆CIP数据核字(2005)第091157号

## 化学与人类社会

Huaxue Yu Renlei Shehui

作 者:蔡炳新 王玉枝 汪秋安 主编

责任编辑:卢宇

封面设计:吴颖辉

出版发行:湖南大学出版社

社 址:湖南·长沙·岳麓山 邮 编:410082

电 话:0731-8821691(发行部),8821315(编辑室),8821006(出版部)

传 真:0731-8649312(发行部),8822264(总编室)

电子邮箱:press@hnu.net.cn

网 址: <http://press.hnu.net.cn>

总 经 销:湖南省新华书店

印 装:国防科技大学印刷厂

开本:787×1092 16开

印张:17.25

字数:400千

版次:2005年9月第1版

印次:2005年9月第1次印刷

印数:1~3000册

书号:ISBN 7-81053-985-X/O·62

定价:26.00元

版权所有,盗版必究

湖南大学出版社凡有印装差错,请与发行部联系

# 前 言

科学与政治、科学与经济、科学与社会有着紧密的联系,一个国家和地方的某些法律、法令、法规及政策的制定与修订也都有着明显的科技背景。作为高等学校,主要任务是为社会输送未来能够引导社会并发展社会的高级人才,因此,高校应该着力注重大学生的综合素质培养,使文理知识进行适当的交叉与渗透。

在自然科学中,化学是研究物质在原子、分子层次上变化的学科,人类社会的进步,人类的衣、食、住、行、用无不依赖于化学元素及其所组成的万千化合物和无数制剂、材料。没有钢铁,人类的近代文明不可想象;没有原子核裂变反应的发现,就不会有现代的原子能工业体系;没有硅的开发与利用,也就没有以半导体为主导的电子时代,更不可能有当今的信息时代;没有新反应及其条件的研究,就不会有各种能源的开发与利用。可以说,化学现在已经是,将来仍然是一门“中心科学”。因此,国际国内都十分重视高校的化学教育。1983年,在巴黎召开的第7届国际化学教育会议认为:“化学教育不仅是学科本身的教学工作,也是提高人们文化水平的必要途径,化学教育要向一个渗透着化学的新教育体系发展。”20世纪90年代后,曾以“化学是通向未来的钥匙”、“化学在演变之中”、“把化学带到生活中去”、“化学教育文化”、“化学与新时代”和“扩展化学视野”作为几届国际化学教育会议的主题。1994年,我国国家教委高教司也曾召开过关于高等学校文科、财经、政治类专业学生开设化学选修课的教学和教材建设研讨会。

1996年以来,在“国家工科(化学)基础课程教学基地”建设中,我们不仅把培养化学专业学生的能力作为重点,建立了理工融合的基础化学教学新体系和基础化学实验“三级教育”新体系,而且也注重文科、财经、政治类专业学生的化学素质教育,曾在1998年编写了“化学通论”讲义并开设过选修课,本书《化学与人类社会》就是在总结教学经验的基础上重新编写而成,旨在使大学生了解化学与人类社会的关系,提高他们的社会责任感和社会适应能力,提高科学素养,能够用化学的观点、化学的思维方法和化学的手段去分析、解决其他学科的有关问题,增强综合实践能力。在其他学科中的相互交叉与渗透,能培养科学思维和创新能力,通过化学这一窗口使大学生加深理解科学技术与第一生产力的关系。

本书共11章,1~2章主要是在高中化学和物理知识的基础上,较系统地介绍化学基本知识 with 原理,3~11章介绍化学与环保、哲学、信息、材料、生命、医药、营养、法庭、能源关系等内容。在编写方式上,力图做到循序渐进、简明扼要、通俗易懂。在编辑内容上,既要使学生的化学基础知识有所充实和提高,又要使学生能窥视到化学在推进人类精神文明和物质文明建设中的核心作用。

参加本书编写的人员有:蔡炳新教授(1、2、4章)、王玉枝教授(3、8、10、11章)汪秋安教授(5、6、7、9章),吴朝阳副教授编写了第11章第4节。湖南师范大学肖晓明教授、中

南大学周毅刚副教授、湘潭大学王学业教授、湖南理工学院柳一鸣副教授参与了本书的编写。湖南大学化学化工学院副院长旷亚非教授和陈贻文教授曾多次参加编写工作研讨会,并提出了许多建设性意见,编写过程中还得到了化学化工学院院长郭灿城教授的大力支持和关心,在此一并致谢。本教材无论是在内容取舍,还是在难易程度的把握等方面都具有一定的试探性,不当之处,敬请专家批评斧正。

编 者

2005 年 7 月

# 目 次

<b>1 化学基础知识与化学反应</b>	
1.1 气体、固体、液体和等离子体——物质的聚集状态 .....	1
1.2 化学反应快慢与限度——速率和平衡 .....	11
1.3 化学反应平衡种类——四大平衡 .....	19
<b>2 物质的结构和一些元素的性质</b>	
2.1 原子内的微观世界——原子结构 .....	34
2.2 化学元素的指南针——元素周期表 .....	40
2.3 原子间的结合——化学键与杂化轨道 .....	44
2.4 分子间相互作用——分子间力与氢键 .....	47
2.5 某些常见元素及其化合物 .....	49
<b>3 化学与环境</b>	
3.1 人类与环境 .....	70
3.2 生态系统的物质循环 .....	75
3.3 保护环境 .....	77
3.4 绿色化学化工 .....	86
<b>4 化学与能源</b>	
4.1 能源概述与能源的分类 .....	93
4.2 煤能高效、清洁化燃烧的使者——化学转化 .....	95
4.3 石油综合利用的使者——催化转化 .....	97
4.4 攻克天然气综合利用的使者——偶联与控制氧化 .....	98
4.5 核能造福于人类的使者——衰变、裂变与聚变的控制 .....	99
4.6 氢能和化学电源 .....	101
<b>5 化学与材料</b>	
5.1 材料——人类社会进步的物质基础与先导 .....	105
5.2 金属材料 .....	107
5.3 无机非金属材料 .....	115
5.4 高分子材料 .....	120
5.5 复合材料 .....	128

## 6 化学与生命

6.1 糖、蛋白质与核酸——构成生命的基本物质	131
6.2 基因与遗传信息	145
6.3 生物膜	148
6.4 脑与神经递质的化学基础	149
6.5 氧自由基与人体健康	151

## 7 化学与医药营养

7.1 中药化学	154
7.2 化学合成药物	156
7.3 新药的开发	160
7.4 生命元素	161
7.5 维生素	164
7.6 脂肪	166
7.7 营养与健康	167

## 8 化学与生活

8.1 厨房中的化学	170
8.2 照相中的化学	179
8.3 日用品中的化学	185
8.4 涂料和染料化学	203

## 9 化学与法庭

9.1 法庭化学——应用于法律事务的化学	207
9.2 法庭分析化学	208
9.3 爆炸物证分析鉴定	212
9.4 毒物、毒品及其分析鉴定	214
9.5 法庭生物化学	216

## 10 化学与哲学

10.1 化学哲学概述	221
10.2 化学发展	227
10.3 化学方法及化学前沿的哲学问题	234

## 11 化学与信息

11.1 研究化学信息的科学意义	240
11.2 化学物质与信息	241

11.3	化学结构与信息.....	242
11.4	传感器技术与信息获取.....	243
11.5	电子信息化学品.....	244
附录 1	诺贝尔化学奖得主名单 .....	256
参考文献	.....	262
附录 2	元素周期表	

# 1 化学基础知识与化学反应

## 1.1 气体、固体、液体和等离子体——物质的聚集状态

人类总是生活在变化万千的物质世界中,古希腊人认为由土、木、气、火四元构成了世界万物,这恰恰对应于现代物质观,即物质有固态、液态、气态与等离子体态。随着温度升高,物质的聚集态可由固态变为液态,再变为气态。气态物质在温度上升到几千或几万摄氏度时,失去电子成为带正电的离子,被失去的电子成为自由电子,其正、负电荷总数相等而仍为中性,成为等离子体状态。由于化学反应一般不会对在非常高的温度下进行,往往只伴随着物质三态的变化。因此,我们通常关心的仅是物质的固、液、气三种状态。

### 1.1.1 气体

#### 1.1.1.1 气体的特征与气体的计量

与固体或液体相比较,气体的分子或原子之间的距离要大得多。其相互作用力也非常小,正因为如此,形成了气体的一些特征。气体注入密闭刚性容器时,它将充满整个容器空间,且不论该容器原来是否存在他种气体,这就说明气体具有扩散性、渗透性和无限掺混性。气体能呈现其盛装容器的形状,即气体本身无一定形状。同样量的气体分别盛装在大小不同的刚性容器时均能充满整个容器,即气体具有无限膨胀性和压缩性。

称出物质的质量是直接而又直观的计量方法,对气体来说由于它受温度、压力等环境条件的影响,且对于一定量的气体,其温度  $T$ 、压力  $p$  及体积  $V$  之间存在一定的关系,故气体往往用一定温度  $T$  及体积  $V$  时的相应压力  $p$  计量,或用一定温度  $T$  及压力  $p$  时的相应体积  $V$  计量。

#### 1.1.1.2 理想气体和分压定律

符合下列特点的气体为理想气体。

① 气体分子只有位置而不占体积,只是一个“质点”;

② 气体分子间没有相互作用力;

③ 气体分子在不停地运动,它们之间及它们与器壁之间的碰撞不造成气体分子动能的损失。

在高温、低压下,实际气体分子的间距大,作用力相当小,分子或原子的体积与气体体积相比可以忽略,此时,可视为理想气体。

理想气体所处状态遵循如下关系,

$$pV = nRT. \quad (1.1)$$

此式为理想气体状态方程,式中  $p$  是压力, $V$  是体积, $n$  是气体的物质的量, $T$  是开尔文绝对温度, $T$  与摄氏温度  $t$  ( $^{\circ}\text{C}$ ) 的关系为  $T = t + 273$ , $R$  为气体常数。在国际单位制(SI)中, $p$ , $V$ , $n$  和  $T$  的单位分别为 Pa(或 kPa), $\text{m}^3$ , mol 和 K,常数  $R = 8.314 \text{ J} \cdot \text{mol}^{-1} \cdot$

$K^{-1}$ 。

如果实验时保持  $n$  与  $T$  不变,式(1.1)的右边将为一常数,获得:

$$pV = \text{常数},$$

即压力与体积成反比,这就是波义耳定律。如果实验时保持  $n$  和  $p$  不变,从式(1.1)又可获得

$$V/T = \text{常数},$$

即体积与温度成正比,为查理-盖吕萨克定律。

如果有 A 和 B 两种气体,当它们的体积、温度与压力均相同时,据式(1.1)有  $n_A = n_B$ ,即两气体所含物质的量相等,称其为阿伏加德罗定律。由此可见,理想气体状态方程实际上是上述三个定律的组合关系式。值得指出的是:在实际中,严格符合理想气体条件的气体并不存在,但高温低压下气体可近似视为理想气体,非高温低压下的气体应使用理想气体状态方程的校正式。

在混合气体中存在着各气体对整个体系的某些性质的贡献大小问题。实验结果表明,在温度一定时,低压混合气体的总压力  $p$  等于气体单独占有与混合气体同样体积时各压力的总和:

$$p(T, V) = p_1(T, V) + p_2(T, V) + p_3(T, V) + \dots \quad (1.2)$$

称为道尔顿分压定律。

因为 
$$p_B = \frac{n_B RT}{V},$$

所以 
$$p = p_1 + p_2 + p_3 + \dots = \frac{n_1 RT}{V} + \frac{n_2 RT}{V} + \frac{n_3 RT}{V} + \dots$$
$$= (n_1 + n_2 + n_3 + \dots) \frac{RT}{V} = \frac{nRT}{V},$$

则 
$$n = n_1 + n_2 + n_3 + \dots,$$

显然还存在:

$$\frac{p_B}{p} = \frac{n_B \frac{RT}{V}}{n \frac{RT}{V}} = \frac{n_B}{n} = x_B, \quad (1.3)$$

式中  $x_B$  是第 B 种气体的物质量的分数。

实验结果还表明,温度一定时,低压混合气体的总体积等于气体单独占有与混合气体同样压力时的各体积的总和:

$$V(T, p) = V_1(T, p) + V_2(T, p) + V_3(T, p) + \dots \quad (1.4)$$

称为阿马格分体积定律。

因为 
$$n = \frac{pV}{RT} = n_1 + n_2 + n_3 + \dots$$
$$= \frac{pV_1}{RT} + \frac{pV_2}{RT} + \frac{pV_3}{RT} + \dots$$
$$= (V_1 + V_2 + V_3 + \dots) \frac{p}{RT},$$

故有

$$V = V_1 + V_2 + V_3 + \dots,$$

显然还存在:

$$\frac{V_B}{V} = \frac{\frac{n_B RT}{p}}{\frac{n RT}{p}} = \frac{n_B}{n} = x_B, \quad (1.5)$$

式中  $x_B$  为第 B 种气体的体积分数。

### 1.1.1.3 实际气体

在温度恒定条件下,对理想气体来说, $pV_m$  ( $V_m$ :摩尔体积)乘积是一个常数( $RT$ )。但对任何实际气体而言,却不是这样。图 1.1 列出了几种气体的  $pV_m - p$ ,由图可见,实际气体在相应的温度下随压力变化都会出现  $pV_m = RT$ ,  $pV_m < RT$ ,  $pV_m > RT$  的情况,即压力变化时  $pV_m$  不为常数。这是因为实际气体分子本身具有一定的体积和分子之间的作用力而偏离了理想气体的条件。实际气体  $p - V - T$  在中压范围内遵循理想气体状态方程的压力和体积校正后的关系式:

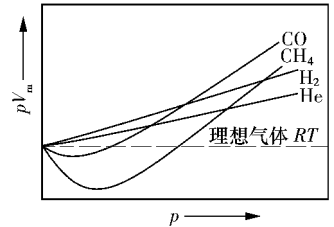


图 1.1 几种气体的  $pV_m - p$

$$\left(p + \frac{an^2}{V^2}\right)(V - nb) = nRT, \quad (1.6)$$

对  $n = 1\text{mol}$  的实际气体有

$$\left(p + \frac{a}{V_m^2}\right)(V_m - b) = RT. \quad (1.7)$$

上述两式称为范德华方程式,式中  $a$  是与分子间引力有关的常数, $b$  是与分子自身体积有关的常数,统称为范氏常数,其值可在化学手册上查得。

### 1.1.1.4 空气

空气是天然的宝库,动物可从中吸取氧气进行新陈代谢,植物通过光的作用吸取所需的二氧化碳和氮气,生命离不开空气。空气中某些组分还能用于一些特殊场合,给人类生活或生产带来方便。

空气是一种由近 20 种组分构成的混合物,其中主要成分为氮和氧,还有 1%(体积)的稀有气体。空气中的单质氮占 78%(体积),在常温下它不显示化学活性,只有在高温下能与极活泼的金属(如 Li, Mg)发生反应,可与氧和氢两种非金属元素作用。正因为其化学惰性,它可用于某些食品(如速溶咖啡、花生等)的保存,以防氧化变味。用加压的氮气将易燃液体燃料及氧化剂送入火箭推进器。氮与氢在催化剂作用下能合成氨,而氨可通过一系列反应制得一些如硝酸等的化学试剂、农药、化肥和炸药等。某些植物通过根部细菌中的酶,在常温下可将单质氮转化为氨,将氨固定下来,这就是所谓的植物固氮,科学家们用化学方法模仿生物固氮酶来实现温和条件下固定氮的研究已取得了很大的进展,我国科学工作者在这方面已做了大量有益的工作。

氧在空气中含量约为 21%(体积)。富氧空气或纯氧常用于医疗和高空飞行,大量的纯氧用于钢铁生产,除去铁中碳。在金属切割和焊接过程中也少不了氧。液体氧常用作

火箭发动机的氧化剂。氧比氮活泼得多,氧与金属、非金属反应生成相应的氧化物,而这些氧化物可通过一系列反应制得许许多多的化学试剂、催化剂、电子器件原料、医药、农药和化肥等。氧气吸收太阳光线中波长小于 185nm 的紫外线生成臭氧,而波长 25nm 左右的紫外线照射臭氧时则可使其分解为氧,高层大气中就是因为存在着臭氧与氧相互转化的动态平衡( $3\text{O}_2 \xrightleftharpoons{h\nu} 2\text{O}_3$ ),消耗了大量的紫外线,而使地球上的生物免遭了紫外线的伤害。若空气中臭氧浓度下降,则皮肤癌病例将呈较大幅度的增加。通常借无声放电作用于氧气制备臭氧。因臭氧比氧的氧化能力强得多,故常用臭氧氧化替代催化氧化和高温氧化,提高产率。冶金过程使用的剧毒氰化钾若被  $\text{O}_3$  替代,可避免氰化物对人体和环境的危害。臭氧还可用于纤维织物的漂白剂、皮毛的脱臭剂、结核菌的灭杀剂,空气中微量的臭氧也能消毒杀菌,并刺激人体中枢神经,加速血液循环。

空气中有一定的水蒸气,其浓度用相对湿度( $R \cdot H$ )表示,定义式为

$$R \cdot H = \frac{p_{\text{H}_2\text{O}}}{p_{\text{H}_2\text{O}}^0} \times 100\% \quad (1.8)$$

式中  $p_{\text{H}_2\text{O}}$  为空气中水蒸气分压,  $p_{\text{H}_2\text{O}}^0$  是在同温下水的饱和蒸气压(即某温度下液态水与其蒸气呈平衡时的蒸气压),它随温度上升而上升。冷空气升温时,相对湿度下降;相反热空气骤然降温时,相对湿度就要上升,将有液态水凝结出来,形成云层,若有适当的凝聚核心,小水滴就形成雨点而降落。人工降雨和火山爆发后,总是继以倾盆大雨,这都是给空气中提供了凝聚核心之故。

空气中含有氦(He)、氖(Ne)、氩(Ar)、氪(Kr)、氙(Xe)五种稀有气体,其中氩是含量最多的一种,占空气中稀有气体总量的 99.7% 以上,氦与氢还常与放射性矿物伴生在一起。由于稀有气体缺乏化学活泼性,很难与其他元素化合,且自身也是以单个原子的形式存在,因而有“惰性气体”之称。这些气体的熔点、沸点都很低。除氢以外,氦是最轻的一种元素,所以将其混入塑料、纤维中,可制成轻盈的泡沫塑料、泡沫纤维,将氦气与氧气混合制成“人造空气”,这种“空气”密度小,可用于医治支气管哮喘和窒息等病,减少病人的呼吸困难,也可供潜水员呼吸,以防潜水员出水时压力猛降使血液中氧气逸出阻塞血管。氦是现在已知所有物质中沸点最低的物质,故常应用于超低温技术领域,当温度降至 2.178K 时的液态氦具有超流动性,其黏度几乎为零。氖在电场激发下,能产生红光,霓虹灯就是利用氖的这种性质做成,在港口、机场、水陆交通线的灯标上采用氖灯也就是利用了氖灯发出的红光在空气中透射力很强的性质。氩的传热系数很小,它能广泛用于电灯泡的填充气体,从而延长灯泡的寿命和增加亮度。在焊接和冶炼高温下很活泼的金属时,为防止金属与空气接触被氧化,往往使冶炼过程在氩作为保护气的条件下进行。氪和氙的同位素在医学上用来测量脑血流量、研究肺功能等。氙在电场的激发下能发出强烈的白光,一盏 60 000W 的氙灯的亮度相当于 900 支 100W 的普通灯泡。高压长弧氙灯可用于舞台照明、工业照明及广场、运动场的照明等。

### 1.1.2 固体

固体也是物质聚集状态的一种形式,与气体不同,固体本身具有一定的形状,外界条件不变时,其体积具有不变性,其压缩性和扩散性也很小。自然界的固体物质有晶体与非晶体之分。由 X 射线研究的结果可知,晶体是由结构单元(原子、离子或分子)按照一定

的周期性规则在空间重复排列而具有多面体外形的均匀物质(如蔗糖、食盐等)。非晶体是其原子或分子的排列没有明确的规则性和没有一定外形的物质(如沥青、玻璃等)。改变固化条件,即使是同一物质,它既可形成晶体,亦可形成非晶体,两者可相互转换(如自然界中的二氧化硅等)。

### 1.1.2.1 晶体的特征

晶体中结构单元排列的具体形式称之为晶体格子,简称晶格。它是由最小单元晶胞(晶体的最小单元)在三维空间内无数次的重复而获得,晶胞是一个平行六面体,不同晶胞其形状大小不同,用晶胞三条边的长度( $a, b, c$ )和三条边之间的夹角( $\alpha, \beta, \gamma$ )来描述,如图 1.2 所示,这些长度与夹角称为晶胞参数。如 NaCl 是最简单的立方体晶胞,  $a = b = c = 562.8 \text{Pm}$ ,  $\alpha = \beta = \gamma = 90^\circ$ 。晶体中沿不同方向,原子、离子或分子排列的情况不同,导致在不同方向上呈现不同的性质,称其为晶体的各向异性(如在晶体的不同方向上具有不同的电导率,不同的热膨胀系数,不同的折光率和不同的机械强度等)。而非晶体则各具向同性。加热晶体至液态出现时,均有一确定的温度,即晶体具有一定的熔点,而非晶体只有软化温度范围。由于晶体呈规则排列,使其外形和内部结构均具有对称轴、对称面和对称中心等性质,称其为晶体的对称性。显然,非晶体没有这些对称性。

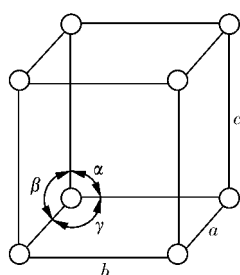


图 1.2 晶胞参数

### 1.1.2.2 晶体的分类

(1) 按晶体的对称性分 可将自然界存在的晶体和人工培养的晶体划分为 7 种类型,即 7 个晶系。有关晶系名称、晶胞参数的特征和实例列于表 1.1。

表 1.1 七大晶系有关参数与实例

晶 系	晶 胞 类 型	实 例
立方晶系	$a = b = c, \alpha = \beta = \gamma = 90^\circ$	NaCl, CsCl, CaF <sub>2</sub> , ZnS, Cu
六方晶系	$a = b \neq c, \alpha = \beta = 90^\circ, \gamma = 120^\circ$	AgI, 石英(SiO <sub>2</sub> ), ZnO, 石墨, CuS
四方晶系	$a = b \neq c, \alpha = \beta = \gamma = 90^\circ$	SnO <sub>2</sub> , TiO <sub>2</sub> , NiSO <sub>4</sub> , Sn, MgF <sub>2</sub>
三方晶系	$a = b = c, \alpha = \beta = \gamma \neq 90^\circ$	CaCO <sub>3</sub> , Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> , As, Bi
正交晶系	$a \neq b \neq c, \alpha = \beta = \gamma = 90^\circ$	HIO <sub>3</sub> , K <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> , 斜方硫, I <sub>2</sub>
单斜晶系	$a \neq b \neq c, \alpha = \beta = 90^\circ \neq \gamma$	KClO <sub>3</sub> , KNO <sub>2</sub> , 单斜 S, Na <sub>2</sub> B <sub>4</sub> O <sub>7</sub>
三斜晶系	$a \neq b \neq c, \alpha \neq \beta \neq \gamma \neq 90^\circ$	CuSO <sub>4</sub> · 5H <sub>2</sub> O, K <sub>2</sub> Cr <sub>2</sub> O <sub>7</sub> , 高岭土

7 个晶系单元晶胞在保持  $a, b, c$  和  $\alpha, \beta, \gamma$  不改变的情况下,可有 14 种晶格。

下面以简单立方、体心立方、面心立方晶格为例(如图 1.3),讨论规则排列情况。晶格上的质点代表分子、原子或离子。在简单立方晶格中,每个顶角都有一个质点,且彼此相互接触;体心立方晶胞中的中心质点与对角上的质点相互接触。面心立方晶胞中的面上质点与面对角上的质点接触。它们在进行规律排列时,其质点并非只属于一个晶胞,而

是与另一晶胞所共有,三种立方体顶角上的质点均属八个立方体所共有,面心立方体中的面上质点为与此接触的另一个晶胞所共有,这样,如图 1.3 所示的每个晶胞的质点数为:

简单立方:  $8 \text{ 个质点} \times 1/8 = \text{每个晶胞 } 1 \text{ 个质点};$

体心立方:  $8 \text{ 个质点} \times 1/8 + 1 \text{ 个质点} = \text{每个晶胞 } 2 \text{ 个质点};$

面心立方:  $8 \text{ 个质点} \times 1/8 + 6 \text{ 个质点} \times 1/2 = \text{每个晶胞 } 4 \text{ 个质点}.$

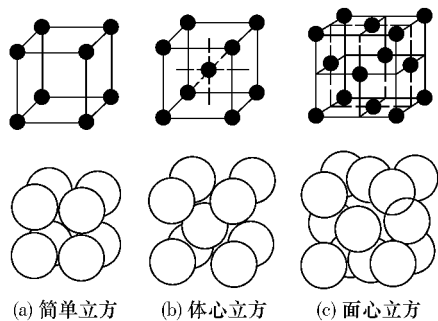


图 1.3 三种立方晶格

(2) 按组成晶体的结构单元间作用力分 可分为离子晶体、原子晶体、分子晶体及金属晶体 4 种。离子晶体靠正、负离子间静电引力按结构单元交替排列而成。如氯化钠、氯化铯晶体等属于此类晶体。因为离子间的静电引力较大,离子都处在固定位置上而不能自由运动,所以离子晶体的熔点较高,硬度较大,导电性差。但熔化后的离子晶体,其离子可自由运动,而成为良好的导体。原子晶体的结构单元是原子,原子间存在强的共价键,如金刚石(C)、石英(SiO<sub>2</sub>)、SiC 等属于此类晶体。原子晶体具有很高的熔点和硬度,即使熔融的原子晶体其导电性也很差,不能被大多数溶剂所溶解。分子晶体的结构单元是分子,分子间存在分子间力。如硫、磷、非金属硫化物、卤化物等属于此类晶体。由于分子间力较分子内化学键力小得多,电子不能在其晶体中自由运动,所以分子晶体熔点和硬度均很低,大多数分子晶体导电性差。金属晶体中排列的质点是原子或金属正离子,以金属键相联。金属单质都是此类晶体。金属形成晶体过程中倾向于使每个原子拥有尽可能多的相邻原子而成为紧密结构。因金属晶体内拥有自由电子,所以其导电与导热能力均较大。一般来说,金属的熔点、沸点均较高,熔点最高的金属钨达 3 410℃,但也有低熔点的金属,熔点最低的是金属汞,其值仅为 -38.84℃。金属的硬度一般不太大。

### 1.1.2.3 缺陷晶体及其应用

自然界发现或在实验室制备的晶体都不完美,总是包含一些缺陷,晶体缺陷有许多种,如质点缺陷、排列错位缺陷、面缺陷和体缺陷。在此仅介绍质点缺陷,该缺陷可有三种情况,如图 1.4 所示。

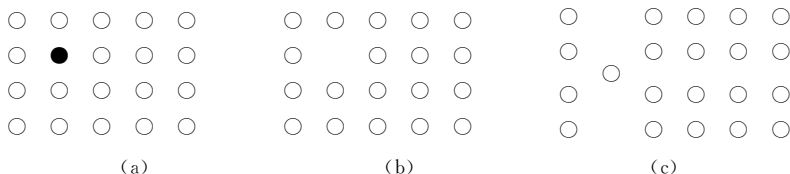


图 1.4 晶体中质点缺陷的类型

图 1.4(a)表示某种杂质的粒子取代了正常微粒的位置,称其为置换缺陷;图 1.4(b)为晶格中出现未被任何粒子占据的空缺位置,称其为空缺缺陷;图 1.4(c)属晶格中的空隙处无规则地被某些同种粒子或异种粒子所填充,称之为填隙缺陷。在同一晶体中可能

同时出现上述两种或三种缺陷。如照相中使用的溴化银和其他银盐,其晶体中就存在空位缺陷和填隙缺陷,当光照射晶体时,空位处  $\text{Br}^-$  离子失去一个电子,该电子穿行晶体与填隙处的  $\text{Ag}^+$  作用产生  $\text{Ag}$ ,生成肉眼所能看见的黑色银粒。即使缺陷数量很少,也能在较大程度上影响固体的物理和化学性质。当离子晶体存在质点缺陷时,在电场作用下,离子通过缺陷空位移动,从而提高离子晶体的导电性,这种缺陷往往是材料的吸附中心,固体催化剂的活性中心和腐蚀中心等;微量杂质元素掺入晶体形成置换缺陷时,可以改变晶体的光学性能。如彩色电视荧光屏中的荧光粉材料,是在  $\text{ZnS}$  中掺入约  $10^{-4}\%$  (原子) 的  $\text{AgCl}$ ,  $\text{Ag}^+$  和  $\text{Cl}^-$  占据了  $\text{Zn}^{2+}$  和  $\text{S}^{2-}$  的位置,该含杂晶体在阴极射线激发下,能发射波长为  $450\text{nm}$  的荧光。在铁中加入少量碳或某些金属可得到各种性能优良的合金钢。五个价电子的砷原子掺入至与其半径相近的镓和硅晶体时,放出一个价电子,在电场作用下该电子能自由穿过晶体运动,产生负电荷载带电流的  $n$  型半导体,如三个价电子的硼或其他元素的原子掺入上述晶体时,由于形成  $\text{B}-\text{Ge}(\text{Si})$  键而少了一个电子,在电场作用下产生正电荷载带电流的  $p$  型半导体。在多电子和缺电子区之间存在结点,形成“ $n-p$ ”结,它能把交流电转变成直流电,起到整流器的作用,也能将辐射能转变为电能,太阳能电池就是应用了这一原理,它被用作空间飞行器的能源。多电子区和缺电子区若交替组成夹层将形成“ $n-p-n$ ”或“ $p-n-p$ ”结,这种晶体用于晶体管、助听器、无线电、电子计算机等方面。金属氧化物中掺入少量价态不同的其他金属时,产生氧离子缺陷,在电场或加热情况下可以导电,如在  $\text{ZrO}_2$  中固溶少量  $\text{CaO}$  即可形成氧缺陷晶体,这类晶体制成的传感器,可用于汽车尾气中氧含量或金属熔融液中氧含量的检测。当然,某些场合所用材料要求纯度极高,不允许掺杂存在,如最近几十年发展起来的光导纤维,是以传光和传像为目的的一种光波传导介质(基质材料为石英),为减少光损耗,应不存在吸收相应光源波长的各种杂质,且要求均匀性和透明性均很高。

### 1.1.3 液体和稀溶液

#### 1.1.3.1 液体的特征与溶液

液体是物质的聚集状态之一,它的物理性质介于气态物质和固态物质之间。在液体中,分子或离子间的距离比气体要小得多,但比固体的大,所以,液体具有一定的掺混性。温度和压力对液体体积的影响不如对气体体积的影响那么大,液态变为气态时需吸收热量,液态的流动性较气态差,等等。纯态液体很少,大多是多组分混在一起的混合物,有些混合物是均一相的,各组分在分子水平上均匀地混合在一起,我们把多组分的液相中一种或几种物质视为溶剂,其他物质视为溶质,溶质与溶剂的均匀混合物称为溶液。把溶质数量很少、溶剂数量很多的溶液称为稀溶液。

#### 1.1.3.2 液体的性质

(1) 液体表面张力 如图 1.5 所示,液体表面分子周围的分子数比液体内部分子周围的分子数少,导致液体表面分子间的吸引力不平衡,这种不平衡力有着将表面分子拉向液体内部的倾向,如果将液体内部分子移至表面,扩大表面积,则需做功。将液体表面膨胀单位面积所需要做的功定义为液体的表面张力  $\delta$ ,其单位是  $\text{J} \cdot \text{m}^{-2}$  ( $\text{N} \cdot \text{m}^{-1}$ )。就是这种表面张力使与气体接触的液体易于获得尽可能小的表面。这就是自由液滴或液体中上升的气泡都呈球状的原因。水的分子间作用力较强,使其具有较大的表面张力,大多数

液体有机物表面张力较小,所以,一些液体有机物在固体表面润湿的倾向比水大,当加入肥皂或洗涤剂时,可明显降低水的表面张力,增加水的润湿能力;汞的表面张力比水更大,其润湿能力很差,当汞散落在固体表面时,总是呈细小球状液滴。表面张力实质上是分子间吸引力的一种度量,温度升高时,分子的动能增加使分子间距离增大,引力减小,所以,温度升高使表面张力下降。

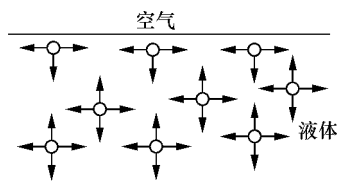


图 1.5 液体表面与内部分子的受力示意

(2) 液体的蒸气压 在一定温度下,液体分子在不断运动着,其中有少数分子因为动能较大,能冲破表面张力的作用进入液面上方空间,成为蒸气分子,这种现象称为蒸发。蒸发的分子在空间作无序运动,有些碰撞液面被液面分子所吸引而进入液体,蒸气变成液体的过程称为凝聚。如果将某液体放在一密闭容器中,恒定温度下,起初由于空间没有其蒸气分子,蒸发速度较大,随着蒸气分子逐渐增多,凝聚的速度也随之加快,当蒸发与凝聚速率相等时,达到了蒸发与凝聚的动态平衡,平衡时蒸气所具有的压力称为液体的饱和蒸气压。每种液体在一定温度下,其饱和蒸气压是一个常数,当温度升高时饱和蒸气压增大,反之下降,如表 1.2 列举了水的饱和蒸气压与温度的关系。

表 1.2 水的饱和蒸气压与温度的关系

温度/°C	0	20	40	60	80	100	120	140
蒸气压/Pa	610.5	2 337.8	7 375.9	19 916	47 343	101 325	198 536	361 426

液体饱和蒸气压与液体数量、液面上方空间体积无关。

(3) 液体的沸点与凝固点 当液体蒸气压等于外界压力时的温度称为沸点,常压的沸点为正常沸点。显然,液体的沸点随外界气压变化而变化。如水在 100°C 时的蒸气压是 101.325kPa(1 大气压),则水在外界压力为 101.325kPa 时,开始沸腾,沸点就为 100°C。倘若在高山上,因为气压低,水不到 100°C 就可以沸腾,故在海拔较高的地区蒸熟马铃薯、鸡蛋和其他食物是较费时间的。化工生产过程或科学研究中,常利用液体沸点随外压变化的特性,对一些在正常沸点下易分解或易被氧化的物质采取减压蒸发,使这些物质在较低温度下就能从其他物质中分离出来。液体降温由液态变为固态;固态在一定温度下也有相应的蒸气压,当该固态和液态的蒸气压相等时所对应的温度称为凝固点或熔点。对大多数固态物质来说,增大压力使凝固点或熔点上升。

### 1.1.3.3 稀溶液及其性质

(1) 溶液浓度的表示方法 一定量溶液或溶剂中所含溶质的量称为溶液的浓度,其表示方法有多种。

①物质 B 的质量百分数浓度 每 100 份质量的溶液中所含物质 B 的质量分数称为该溶液的百分浓度,用  $w_B$  表示,即

$$w_B \% = \frac{\text{溶质的质量 } m_B}{\text{溶液的质量 } (m)} \times 100 \% \quad (1.9)$$

在实际工作中,常常遇到一些极稀的溶液,用百分浓度表示很不方便,此时,可采用百万分之几 ppm( $10^{-6}$ )或十亿分之几 ppb( $10^{-9}$ )表示。对于 ppm,若溶液质量用千克表示

则溶质  $m$  的质量为毫克,如  $10\text{ppm}$ ,表示  $1\text{kg}$  溶液中含溶质  $10\text{mg}$ ;对于  $\text{ppb}$ ,若溶液质量用千克表示,则溶质的质量为微克,如  $10\text{ppb}$ ,表示  $1\text{kg}$  溶液中含溶质  $10\mu\text{g}$ 。

②物质 B 的物质的量浓度  $1\text{m}^3$  溶液中所含物质 B 的物质的量( $\text{mol}$ )称为物质的量浓度,用  $C_B$  表示,即:

$$C_B = \frac{B \text{ 物质的物质的量}(n_B)}{\text{溶液的体积}(V)}, \quad (1.10)$$

其单位为  $\text{mol} \cdot \text{m}^{-3}$ ,但也用  $\text{mol} \cdot \text{dm}^{-3}$  表示。

③物质 B 的物质的量分数 溶液中物质 B 的物质的量( $\text{mol}$ )占溶液中各组分总的物质的量( $\text{mol}$ )的分数称为物质的量分数,用  $x_B$  表示,是无单位的量。

$$x_B = \frac{n_B}{n}. \quad (1.11)$$

④物质 B 的质量摩尔浓度  $1\text{kg}$  溶剂中所含溶质 B 的物质的量( $\text{mol}$ )称为物质 B 的质量摩尔浓度,用  $b_B$  表示,其单位为  $\text{mol} \cdot \text{kg}^{-1}$ 。

(2) 稀溶液的依数性 含难挥发性溶质的稀溶液,其蒸气压、沸点、凝固点等性质主要取决于所含溶质粒子的数目,而与溶质的本性几乎无关,这就叫做稀溶液的依数性。

⑤溶液的蒸气压降低 在两只烧杯里,一只盛装纯水,另一只盛装糖水溶液,两烧杯同放在一个密闭钟罩里(图 1.6),经一段时间后,就会发现糖水溶液的烧杯中液面上升,而装有纯水的烧杯液面下降,水自动地转移到糖水里去了,原因在于:一定温度下,水的饱和蒸气压是一个定值,在密闭钟罩内的水蒸气,对于纯水是饱和蒸气,但糖水溶液表面由于糖分子部分取代溶剂水的位置,同一温度下,溶液表面上单位时间里逸出液面的溶剂水分子数比相应纯溶剂为少,逸出与凝聚达平衡后,致使糖水溶液表面蒸气压降低。因此,钟罩内水蒸气对于糖水溶液来说,是过饱和的,水蒸气将在糖水溶液表面凝聚,使蒸气压降低并逐渐接近糖水的饱和蒸气压,蒸气在糖水溶液表面凝聚后,破坏了纯水蒸发与凝聚的平衡,使蒸发速率大于凝聚速率,导致纯水不断蒸发而在糖水溶液表面不断凝聚。结果使纯水减少,糖水溶液量增大。从理论上讲,纯水应全部自动转移到糖水溶液中为止。

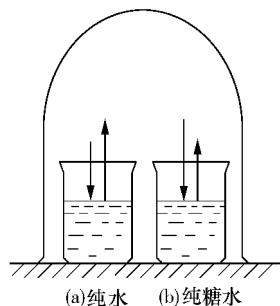


图 1.6 溶液蒸气压降低实验

大量实验结果表明:一定温度下,稀溶液内溶剂 A 的蒸气压等于同温度下纯溶剂 A 的饱和蒸气压  $p_A^0$  乘上它在溶液内的物质的量分数  $x_A$ ,即:

$$p_A = x_A p_A^0 \quad (1.12)$$

如果只有一种溶质 B,则存在  $x_A + x_B = 1$ 。

所以

$$p_A = (1 - x_B) p_A^0,$$

$$p_A^0 - p_A = x_B p_A^0,$$

$$\Delta p_A = x_B p_A^0.$$

上式表明,在一定温度下,稀溶液中溶剂 A 的蒸气压下降值与溶质的物质的量分数成正比,溶质的粒子越多,蒸气压降低则越多。

⑥ 沸点上升 纯液体或者含不挥发性溶质的溶液,其蒸气压均随着温度升高而增大,作为溶液由于溶质存在使溶剂的蒸气压下降,要使溶液处于与纯溶剂相同外压下沸腾,则溶液的沸腾温度必然比纯溶剂的沸腾温度高,所以,有如图 1.7 的结果。由此可见,溶液的蒸气压小于纯溶剂的蒸气压,是溶液沸点升高的原因。

蒸气压下降程度仅与溶液中溶质数目有关,因此,溶液沸点升高的程度也仅与难挥发性溶质数目有关,与其本性无关。稀溶液的沸点升高遵循下述定量关系式:

$$\Delta T_b = K_b b_B, \quad (1.13)$$

式中  $\Delta T$  为溶液沸点升高值; $b_B$  为质量摩尔浓度; $K_b$  为沸点升高常数,只和溶剂的性质有关,如水的  $K_b$  为  $0.51\text{K} \cdot \text{kg} \cdot \text{mol}^{-1}$ ,乙酸为  $3.07\text{K} \cdot \text{kg} \cdot \text{mol}^{-1}$ 。当  $b_B = 1$  时  $\Delta T_b = K_b$ ,即沸点升高常数等于  $1\text{mol}$  溶质溶于  $1\text{kg}$  溶剂中所引起沸点升高的度数。

⑦ 凝固点降低 同温度时,纯液态溶剂的蒸气压大于溶液中该溶剂的蒸气压,两者的蒸气压均随温度升高而增大,而固体纯溶剂蒸气压也是随温度升高而增大,但因固体蒸气压随温度变化更显著而使温度-蒸气压关系曲线的坡度较液态更陡,故有如图 1.8 所示的结果。显见,溶液的凝固点较纯溶剂的凝固点低,其降低值  $\Delta T_f$  遵循下述定量关系:

$$\Delta T_f = K_f \cdot b_B, \quad (1.14)$$

式中  $\Delta T_f$  为凝固点降低值; $b_B$  为质量摩尔浓度; $K_f$  为凝固点下降常数,只和溶剂的性质有关,如水的  $K_f$  为  $1.86\text{K} \cdot \text{kg} \cdot \text{mol}^{-1}$ ,乙酸的  $K_f$  为  $3.90\text{K} \cdot \text{kg} \cdot \text{mol}^{-1}$ 。当  $b_B = 1$  时  $\Delta T_f = K_f$ ,即凝固点下降常数等于  $1\text{mol}$  溶质溶于  $1\text{kg}$  溶剂中所引起的凝固点下降的度数。

在科学研究和化工生产中,有时会利用冰盐体系获得低温,如氯化钙冰体系最低温度可达  $-55^\circ\text{C}$ ,这就是冰表面上由于盐的存在而降低了冰的蒸气压,使冰熔化而吸热,致使体系温度降低。又如向汽车散热器注入难挥发物质乙二醇,使水的凝固点下降,从而达到防止水冻结的目的,同时又提高了水的沸点,减小挥发程度。

⑧ 渗透压 如图 1.9 所示,一支玻管与一半透膜(是一种只能让溶剂分子通过的薄膜,天然存在的有肠衣、膀胱膜、细胞膜;人工制得的有羊皮纸、火棉胶等)袋密合相连,内盛糖水溶液,置入纯水烧杯中,使管内外液面相平,不久,就会观察到管内糖水溶液面上升,到某一高度后停止下来,这就是水分子透过半透膜的结果。像这种现象被称为渗透现象,溶液上升到某一高度后停止,是溶剂水分子向膜内渗透速率与向膜外渗透速率相等,达到了动态平衡的结果。如果要阻止渗透,可在管上端施加外压。把刚刚足以阻止渗透过程进行所施加的外压叫做溶液的渗透压。稀溶液的渗透压也是一种依数性质,其大小

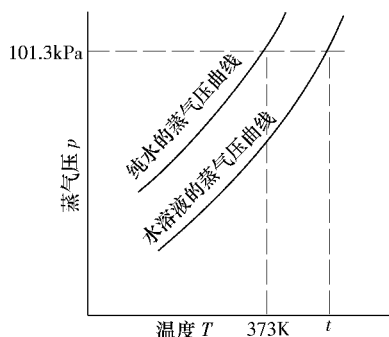


图 1.7 溶液沸点上升原理图

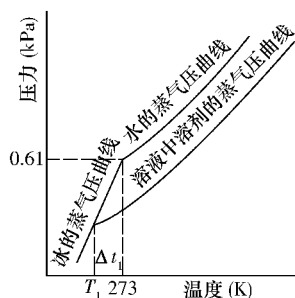


图 1.8 凝固点降低原理图