

高等学校十二五规划教材·基础科学类

大学化学

DAXUE HUAXUE

贾 瑛 王煊军 许国根 崔 虎 吴婉娥 编



西北工业大学出版社

大学化学

贾 瑛 王煊军 许国根
崔 虎 吴婉娥 编

西北工业大学出版社

【内容简介】 本书是理工科军事院校大学化学基础教材。全书将化学基本原理与国防军事应用密切联系,具有内容简明、理论联系实际、军事应用特色突出的特点。全书共分7章:化学反应基本规律、溶液中的化学反应、氧化还原反应及电化学、物质的结构基础、化学与军用材料、化学与推进剂、化学与军事武器等。

本书可作为理工科军事院校或工科高等院校国防生教育非化工类各专业的大学化学课程的教材或教学参考书,也可供地方院校学生参考、使用。

图书在版编目(CIP)数据

大学化学/贾瑛等编. —西安:西北工业大学出版社,2012.1
ISBN 978-7-5612-3286-6

I. ①大… II. ①贾… III. ①化学—高等学校—教材 IV. ①06

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2012)第 003306 号

出版发行:西北工业大学出版社

通信地址:西安市友谊西路 127 号 邮编:710072

电 话:(029)88493844 88491757

网 址:www.nwpup.com

印 刷 者:陕西宝石兰印务有限责任公司

开 本:787 mm×1 092 mm 1/16

印 张:13.75

字 数:332 千字

版 次:2012 年 1 月第 1 版 2012 年 1 月第 1 次印刷

定 价:28.00 元

前 言

化学是研究物质的组成、结构和性质及其变化规律的科学。化学与各学科都有着千丝万缕的联系,在国防军事领域,也是如此。

作为一名合格的国防军事人才,必须具备一定的化学素养,能用化学的思路分析问题、解决问题。例如,导弹的设计需要化学热力学和化学动力学知识;制造导弹和军事装备需要特殊的功能材料,如耐高温、质轻、强度大的结构材料;导弹或其他军事装备的隐身需要吸波材料;材料的合成与选择需要材料化学知识;发射导弹的动力之源是推进剂;控制导弹飞行需要化学电源的相关知识;军事武器击毁目标需要炸药或核反应的相关知识;军事装备的维护保养需要金属腐蚀与防护方面的知识等。因此,现代战争所需的材料、动力以及隐身效果都依赖于化学技术,都离不开化学家的发明和贡献。理工科军事院校的毕业生必须要掌握相关的化学基础知识,如化学热力学和动力学知识、材料宏观结构和微观结构知识、电化学、军事化学知识等,这样才能更好地解决实际工作中遇到的与化学相关的问题。

作为军事院校大多数理工科专业唯一的一门化学课程,“大学化学”担负着为学员提供必需的化学理论、适当的化学知识和一定的化学技能的任务。“大学化学”的教学目的的一方面是使学员了解现代化学语言,明确化学的思维,对国防军事领域普遍遇到的化学问题能进行分析,并具备从化学的角度进行思考及解决问题的能力;另一方面使学员具备一定的实验操作能力,引领学员逐步树立辩证唯物主义的世界观和方法论。但在全国理工科军事院校中,“大学化学”课程的教材普遍使用的是地方院校统编的《普通化学》或通用的《工程化学基础》教材。这些教材的军事应用特色不明显,基础理论部分内容较多,需要的学时相对较多,不适合军队院校的教学要求。鉴于此,我们编写了这本《大学化学》教材。

依据“大学化学”教学大纲,本书是以现代化学基本理论为经,以其在国防军事中的应用为纬编织而成的。本书对“大学化学”的结构重新进行了梳理,筛选了教学内容,不再过分强调理论计算,而更多关注知识的介绍,增加了许多与军事密切相关的化学知识内容以扩大学员的视野,使之更加适应于军队院校的教学,军事应用特色鲜明。

本书第1章由吴婉娥编写,第2章由崔虎编写,绪论、第3~4、7章以及附录由贾瑛编写,第5~6章由许国根编写。全书由贾瑛、王煊军统稿。

本书参考了众多的相关教材及资料,有些未能一一列出,书后只是列出了主要的参考书目,在此,向所有参考书和参考资料的作者表示衷心的感谢!另外,衷心感谢第二炮兵工程学院训练部机关,正是他们的大力支持和资助,才使得本书得以顺利出版。

由于水平有限,书中难免有许多不足,敬请读者批评指正。

编 者

2011年1月

目 录

绪论	1
第 1 章 化学反应基本规律	13
§ 1.1 化学变化的能量关系	13
§ 1.2 化学反应的方向和限度	23
§ 1.3 化学反应的速率	30
习题	35
第 2 章 溶液中的化学反应	40
§ 2.1 溶液的通性	40
§ 2.2 弱酸弱碱溶液及其应用	47
§ 2.3 沉淀与溶解反应及其应用	52
§ 2.4 配位反应及其应用	55
§ 2.5 水质与水体保护	59
习题	64
第 3 章 氧化还原反应及电化学	66
§ 3.1 氧化还原反应和原电池	66
§ 3.2 电极电势	68
§ 3.3 金属的腐蚀及其防止	75
§ 3.4 电化学腐蚀的利用	84
§ 3.5 化学电源及能源的开发利用	87
习题	91
第 4 章 物质的结构基础	93
§ 4.1 原子核外电子运动的特征	93
§ 4.2 元素的性质与周期律	99
§ 4.3 化学键、分子间力与晶体类型	105
§ 4.4 晶体结构	110
习题	118
第 5 章 化学与军用材料	121
§ 5.1 概述	121

§ 5.2 材料的组成、结构与性能的关系	124
§ 5.3 复合材料	126
§ 5.4 军用新材料	129
习题	139
第 6 章 化学与推进剂	140
§ 6.1 推进剂概论	140
§ 6.2 液体火箭推进剂之氧化剂	146
§ 6.3 液体火箭推进剂之燃烧剂	151
§ 6.4 固体推进剂	156
习题	161
第 7 章 化学与军事武器	163
§ 7.1 燃烧反应与爆炸反应	163
§ 7.2 火炸药	168
§ 7.3 几种非常规军事武器	175
§ 7.4 化学武器	177
§ 7.5 核武器	187
§ 7.6 军事武器对自然环境的影响	195
习题	202
附录	203
附录 1 国际单位制(SI)	203
附录 2 不同温度下水的蒸气压(p^*/Pa)	203
附录 3 无机化合物的标准溶解热*	205
附录 4 25℃时的燃烧焓(产物 N_2 , $\text{H}_2\text{O}(\text{l})$ 和 CO_2)	206
附录 5 某些物质的标准生成焓、标准生成吉布斯函数、标准熵(25℃)	206
附录 6 标准电极电势(298.15 K)	211
参考文献	213

绪 论

基本要求

- (1)了解化学的研究对象、研究内容以及化学与人类、与现代化的密切关系,理解化学是人类进步的关键。
- (2)理解工科大学生(尤其是国防军事人才)学习化学的重要性与必要性。
- (3)了解物质层次的概念,掌握物质的存在状态以及固态物质、液态物质和气态物质的一些常见特性。

一、物质及其存在状态

(一)物质的层次性

世界是物质的。物质是不以人的意志为转移的客观存在,是可以直接或间接地感知的事物。物质形态万千,大至天体、日月星辰,小到原子、电子等微粒,具有层次性,一般被分为微观、宏观和宇观三个层次。随着人类认识水平和实验技术的不断进步,人们发现在上述三个层次间和层次外还有不少层次和亚层次,我国著名科学家钱学森于1989年对其进行了归纳总结。表0-1列出了各物质层次的尺度范围和相适应的理论解释。一般认为宏观物体的运动规律可用牛顿力学加以描述,而微观粒子的运动规律则需要量子力学来阐释。

表 0-1 有关物质层次的一些情况

层 次	典型尺度/m	过渡尺度/m	实 例	理 论
胀 观	10^{40}	3×10^{30}		
宇 观	10^{21}		银河星系	广义相对论
宏 观	10^2	3×10^{-8}	篮球场	经典力学
微 观	10^{-17}		基本粒子	量子力学
渺 观	10^{-36}	3×10^{-27}		超 弦

每个层次又可分成无数个亚层次,而人对物质的认识在深度和广度上是可无限发展的。也就是说,尽管人类对物质及其运动的认识是不可穷尽的,但客观存在的物质是能够被逐步认识的。化学从原子、分子层次上来研究与认识物质的组成、结构、性质及其变化规律,在现代科技人员认识物质运动中有着不可取代的作用。因此,化学是我国高等工科大学课程结构中的一门基础课。工科学生应当学习化学,并在实际工作中懂得运用化学。学习包括化学在内的任何一门自然科学,都应当用正确的哲学思想作指导。

(二)物质的存在状态

物质处于永恒的运动和变化之中。物质的种类繁多,运动形式纷呈,它们使世界多彩多姿,充满活力。物质的运动形式多样,它们既服从共同的普遍规律,又各具特征。作为自然科学之一的化学,就是研究物质化学运动和变化规律的科学,亦即研究那些具有一定质量、占有一定空间的实物的组成、结构、性质和变化规律,以及伴随这些变化过程的能量关系的科学。

各种物质总是以一定的聚集状态而存在着。通常认为物质有4种不同的物理聚集状态,即气态、液态、固态和等离子态。物质处于什么状态与外界条件密切相关。在通常的压力和温度条件下,物质主要呈现气态、液态或固态。

物质处于不同状态时,在界面、密度、分子间距离、分子间吸引力、分子运动情况、能量等方面的差别,使其各具特征。就目前而言,人们对物质状态性质的认识,气体较为充分,固体次之,液体最差,等离子体正处于探索研究之中。

对任何物质来说,当改变外界条件(如温度、压力等)时,其存在状态亦发生变化。尽管这种变化是物理变化,但它常与化学变化相伴随,进而对物质的化学行为产生影响。因此,学习和了解物质各种存在状态的内在规律,不仅可以说明许多物理现象,而且可以解决众多的化学问题。

1. 等离子体

随着温度的升高,物质的聚集状态由固态变为液态,再变为气态。若再进一步升高温度,部分粒子将发生电离,当电离部分超过一定限度(大于0.1%)时,这种状态物质的行为主要取决于离子和电子间的库仑力。由于带电离子的运动受电子磁场的影响,而使其成为导电率很高的流体,这种流体与固态、液态、气态的性质完全不同,而被称为物质的第四态。这种状态的物质中负电荷总数等于正电荷总数,宏观上呈电中性,因而又称为等离子体。

在地球上,自然界的等离子体比较少见,这是因为地球表面温度太低,不具备等离子体产生的条件。不过在特殊条件下,地球上也能产生等离子体。例如夏天的闪电就是空气被电离而产生的瞬时等离子体在发光。又如人工放电、加热、辐射,也可以引起分子或原子电离而形成等离子体。

在日常生活中也常遇到等离子体,如日光灯中的放电,霓虹灯中的放电等。此外,受控核聚变产生的高温等离子体,某些化学反应燃烧中产生的燃气等离子体,紫外线和X-射线、辐射电离以及气体激光等产生的等离子体都属于人工产生的等离子体。

与地球上的情况完全相反,在宇宙中约有99.9%以上的物质处于等离子态。在恒星内部,电离由高温产生;在稀薄的星云和星际气体内,电离由恒星的紫外辐射所引起。地球大气上层受太阳辐射的作用而形成的电离层也是由等离子体组成的,远距离的无线电通信就依靠这个电离层。由此可见等离子体是宇宙中物质存在的普遍形式。

一般来说,等离子体含有离子(主要为正离子)、自由电子、激发态原子和分子,以及自由基等极活泼的化学反应物种,这使其性质与前面介绍的“三态”物质有本质的区别,表现出许多自身的特点。比如,等离子体具有极强的导电性能,在磁场作用下,等离子体的粒子可以做有规律的运动,这种运动可通过磁场进行控制,近几十年来,研究和应用等离子体的科学有了迅速的发展。

等离子体的化学反应行为有两个特点:第一个特点是反应的能量水平高。根据等离子体

中离子温度与电子温度是否达到热平衡,可把等离子体分为热平衡等离子体和非平衡等离子体。在热平衡等离子体中,各种离子的温度几乎相等,约可达 $5 \times 10^3 \sim 2 \times 10^4$ K。如此高的温度既可作为热源进行高熔点金属的熔炼提纯,难熔金属、陶瓷的熔射喷涂,也可以使等离子体中的活性物质进行超高温化学反应。第二个特点就是能够使反应体系显热力学非平衡态。在辉光放电条件下,物质只部分电离,存在大量的气体分子。又由于电子质量远比离子的小,整个体系的温度取决于分子、离子等重离子的温度。这样一来,尽管电子的能量很高,可激活高能量水平的化学反应,反应器却处于低温。此原理已应用于高温材料的低温合成、单晶的低温生长等过程。

等离子体化学就是利用上述两个特点来研究和应用于化学领域中,它给我们提供了新的化合物合成手段,制造出许多新的材料,并在金属加工、通信、空间技术、电光源和医学等领域中得到广泛的应用。

最后应当指出一点,把等离子体看做电离气体,其实并未包括等离子体的全部。实际上,像电解质溶液里面包含有能自由运动的正、负离子,能导电,因而是等离子体;金属具有固定在晶格中的正离子和自由电子,应该说是典型的固体等离子体。只不过气体等离子体被研究得最多,应用得最广泛。

高温可导致等离子体,同时,人们发现在高压下,物质的结构也会发生很大的、根本的变化。根据理论计算,当压力达到常压的 10^8 倍时,原子的电子壳层将显著地变形,外层电子将变成各核共有而自由运动。压力更大时,电子为原子核所俘获,使质子转变成中子,最终中子的数量超过电子,此时,物质将成为一种基本上是由中子气和自由电子气组成的超高密度的物质,其密度之大是我们难以想象的。在地球上我们接触不到这样的物质,宇宙中存在,如白矮星(一种晚期恒星,其内部压力可达常压的 10^{19} 倍)就可能是一个中子星,其密度可达 10^{19} g/cm³。

由于超高密度物质的存在,它们必将有许多特殊的性能,因此,有人把这种超高密度体叫做物质的第五态,由于人们对这种状态的研究还很不充分,既有的理论无法解释,是否将其称为第五态还存在争议。

2. 气体

气体的基本特征是其具有无限的可膨胀性、无限的掺合性和外界条件(温度、压力)对其体积影响的敏感性。当将一定量的气体引入任何容器中时,气体分子无规则的运动将使其向各个方向扩散,并均匀地充满整个容器。因此,气体既没有固定的体积,又无确定的形状,气体的体积实为容器的容积。在常温常压下,气体分子相距甚远,分子间作用力就小,不同气体可无限均匀地混合,也极易压缩或膨胀。

在一定温度下,气体分子具有一定能量,在无规则的运动中,气体分子彼此之间及气体分子与器壁之间产生碰撞,而使气体表现出一定的压力。气体的这些性质在高温、低压的情况下表现得比较充分。此时,用来描述气体状态的压强(p)、体积(V)、热力学温度(T)之间有着简单的定量关系,这个关系称为理想气体状态方程。

(1)理想气体状态方程。设想有一种气体,其分子本身不占有空间,分子间也没有相互作用力,这种假想的气体称为理想气体。实际上气体分子本身占有一定的体积,相互之间也有作用力,不过在通常条件(压强不太大、温度不太低)下,可把实际气体近似看做理想气体。对含有物质的量为 n 的理想气体,在密闭的容器中其体积(V)、压强(p)和热力学温度(T)之间服

从以下关系式:

$$pV=nRT$$

此式称为理想气体状态方程。式中 R 叫做摩尔气体常数,其值等于 1 mol 任何理想气体的 pV/T 值,其数值可根据阿伏加德罗定律来求得,在标准状态下, $R = 8.314 \text{ J} \cdot \text{mol}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$ 。

使用理想气体状态方程时,要注意各物理量的量纲与 R 数值及其单位的一致,即 $R = 8.314 \text{ J} \cdot \text{mol}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$ 时,式中 n, p, V, T 等物理量只能用它们的基本单位 mol, Pa, m^3 和 K。

理想气体状态方程可表示为另外一些形式,如:

$$pV = \frac{m}{M}RT$$

或

$$\frac{\rho}{p} = \frac{M}{RT}$$

式中 p ——压强;
 V ——体积;
 m ——质量;
 M ——摩尔质量;
 T ——温度;
 ρ ——密度。

针对不同的实际气体,人们总结出许多经验和半经验规律,主要有:①范德华方程;②贝塞罗方程;③培太-勃里其曼方程;④维利型方程;等等。

(2)混合气体分压定律。由于理想气体分子之间没有作用力,一种气体的压力不因其他气体的存在与否而改变,因此,理想气体状态方程与气体的分子组成无关。1801年,道尔顿(J. Dalton)提出:“混合气体的总压等于各组分气体的分压之和。”这就是混合气体的分压定律。所谓分压,就是指在混合气体中每一种组分气体单独占有与整个混合气体相同体积时的压力,即

$$p = \sum p(i)$$

式中 p ——混合气体的总压强;

$p(i)$ ——组分气体的分压。

分压定律可由理想气体状态方程直接导出。

如果将理想气体状态方程分别应用于整个混合气体的 i 组分气体,则有

$$p(i) = x(i)p$$

其中, $x(i)$ 为 i 组分气体物质的量分数。混合气体中组分的分压等于该组分的物质的量分数与总压力的乘积,这是分压定律的另一种表达形式。

在实际应用中,混合气体的组成常用各组分气体的体积分数来表示。在恒温下,把混合气体分离成各个单独组分,并使其与混合气体具有相同的压力,此时该组分气体所占有的体积称为该组分的分体积,可用下式表示。

$$x(i) = \frac{V(i)}{V} = \frac{n(i)}{n}$$

$$V(i) = \sum V(i)$$

3. 液体

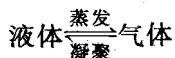
液体没有固定的形状,但有一定的体积、一定的流动性、一定的掺混性、一定的表面张力和沸点。液体能像气体那样流动,故两者合称为流体。液体与气体相比,它的密度要高得多,这说明物质处于液态时分子间的距离要比气态时小得多。液体分子相互间靠得很近,分子间的相互作用不能忽略。这种相互作用使液体具有一定的体积,但不能保持一定的形状。液体的可压缩性比气体差得多而又略大于固体。由于液体的体积随压力或温度的变化而引起的改变很小,因此它们的状态方程可近似认为 $V \approx \text{常数}$ 。

若要计算质量为 m 的液体或固体的体积,只需查得它们在某温度下的密度 ρ ,即可由体积和密度的关系式求出。

不同种液体相互混合时,有的可以完全互溶,有的只能部分互溶,有的甚至基本不互溶,这说明不同种液体分子间的相互作用很不相同。一般来说,在不发生化学反应的情况下,不同的两类液体混合时,它们之间的分子相互作用愈相近(似),则互溶得愈好,反之,则不互溶。显然,液体的性质介于气体与固体之间。因为对液体的结构了解甚少,所以对液体性质的研究还有待深入。

(1)气-液平衡。当对某一气体逐步增大压力时,气体分子间的距离不断减小,分子间力(见后面有关章节)不断增大,最后当分子间力超过由于分子热运动使分子相互离开的趋势时,气体就转化成液体,这个过程叫做凝聚(或液化)。对于一定的物质而言,分子间力是有一定大小的,因此分子间力能否克服分子热运动的逃逸能力,不仅取决于施加压力的大小以使分子间距离缩短的程度,而且还取决于温度的高低。只有当气体冷却到某一温度 T_c 或更低时,才能用加压的办法使气体液化。每一种气体都有一特征的 T_c ,称为临界温度。例如氨(NH_3)的 T_c 是 405.6 K,二氧化碳的 T_c 是 304.2 K,氧气的 T_c 是 154.8 K,氮的 T_c 是 5.2 K。

在临界温度以下,气体转化为液体,但分子的热运动并未停止,处于液体表面的少数分子能克服分子间力,重新飞逸出液面变成气体,此过程称为液体的蒸发(或汽化)。如果把液体放置于密闭的容器中,蒸气分子则不致逃走,已形成的蒸气分子又可能重新撞到液面上而凝聚为液态。蒸发与凝聚两个过程同时进行,但开始时前者居优势,所以气相中分子逐渐增多,随后分子返回液相的机会增大,到了一定程度,单位时间内分子的出入数目相等,此时两个过程达到平衡:



此时,液体的蒸发和气体的凝聚似乎已经停止,但实际上这两个过程仍在不断进行,只是它们的速度相等而已,因此,这是一种动态平衡。处于动态平衡的气体叫做饱和蒸气,饱和蒸气对密闭容器的器壁所施加的压力称为饱和蒸气压,简称蒸气压。

(2)蒸气压。上述密闭容器的盖子若是一个活塞,在恒温条件下用它来调节容器的体积,可发现蒸气压是不随容器体积的变化而变化的,也不随液体量的多少而变化。这是因为当体积增大时,单位体积中气体分子数减少(即气体密度减小),破坏了平衡,此时会有更多的分子从液体中逸出,以达到新的平衡,故蒸气压仍维持原值。反之,当容器体积减小时,单位体积中气体分子数目增加,就会有更多的气体分子凝聚,达到平衡时蒸气压也和原来一样。液体犹如一个气体分子的“大仓库”,它随时调节气体密度的大小,因此在一定温度下,液体的蒸气压是一个定值,而与气体的体积和液体的量无关。

蒸气压是液体的重要特性之一,它是温度的函数。液体蒸气压随温度有明显的变化,当温度升高时,分子的动能增加,表面层分子逸出液面的机会增加,随之气体分子返回液面的数目也逐渐增多,直到建立起一个新的平衡状态,这个过程的总结果是蒸气压增大。若将蒸气压对温度作图,则可得到一条曲线,叫做蒸气压曲线。

(3)液体的表面张力。液体内部的分子与表层分子所受的作用力是不相同的。在液体内部,分子受周围其他分子的吸引力是对称的,而表层分子受周围其他分子的吸引力是不对称的。因为表面层分子是处在气体与液体的界面上,气相分子对它吸引力较小,而液体内部分子对它的吸引力较大,因此,表层分子有朝液体内部迁移的趋势,因而液体表面常显示出自动收缩的现象。

液体的表面张力是液体的基本物理性质之一。它与温度、压力等因素有关。一般来说,液体表面张力随温度升高而降低。而不同种液体的表面张力差异很大,说明表面张力是液体分子间作用力的结果。

气、液表面存在表面张力,同样,液-液、液-固、固-固的两种不同物质接触时,也存在界面,在界面上的分子同样受到不对称的吸引力,也存在使界面缩小的趋势,即界面张力。

表面张力或界面张力的存在产生了许多界面现象:把液态农药喷在固态的植物叶面上时,农药常呈球状而滴落,失去其作用;玻璃管中的水显凹月形;防雨布上不沾雨水;再光滑的固体表面总是布满尘埃;活性炭可以吸附脱色;等等。人们可以利用对表面现象的研究成果,为工、农业生产和日常生活服务。如降低表面张力可以增强农药的药效,增强洗涤效果;而增强表面张力可以使防雨布真正地防水;增大活性炭的脱色能力。

4. 固体

固体不仅具有一定的体积和形状,而且不能流动。固体可由分子、离子或原子等粒子组成,这些粒子靠得很近,彼此间有着相当强的作用力,致使固体表现出一定程度的刚性和很小的可压缩性。固体内部的粒子不能自由移动,只能在一定位置上做热振动。固体物质可分为晶体和非晶体(或无定形体)两大类。通常所说的固体是指晶体而言的,非晶体可看成是一种不流动的“过冷液体”。

晶体与非晶体有些相似之处,但有更多的不同特征:

(1)晶体具有规则的几何形状,非晶体则没有。

(2)晶体具有固定的熔点,晶体在熔点以上呈流体,熔点以下是固态,在熔点时液态和固态共存。非晶体无固定的熔点,如玻璃受热时只是慢慢软化而成液体,没有固定的熔点。

(3)晶体显各向异性,非晶体显各向同性。

在容器中加热晶体,温度的升高使晶体中的粒子能量增大,振动加剧。在一定的温度和压力下,粒子的动能增大到足以克服它们之间的相互作用、粒子能够自由移动时,固体开始变成液体,达到液、固态动态平衡。这时温度不再升高,一直到全部固体变成液体,这一过程叫做固体的熔化,而相反的过程则称为凝固。在一定条件下,固体与其气体也可达到动态平衡。例如把冰放入密闭容器中,可测得一定温度下的冰与水蒸气平衡时的蒸气压。温度升高,冰的蒸气压增大。在一定条件下,固体越过熔化阶段直接变成气体的现象叫做升华,如寒冬的冰雪也可直接变成水蒸气,而气体不经过液化阶段直接变为固体的过程叫做凝华,如晚秋初冬时的降霜即为一例。固体的性质与其晶体结构密切相关。

有些物质因其具有很大的有序排列特征,以致其结晶受热变成液体的过程分为两个阶段:

第一阶段只失去晶体的周期性,但仍保持其各向异性,这个中间状态叫做液晶(简称液晶);第二阶段失去各向异性后变成各向同性的真正液体。液晶在外观上看是半透明或混浊的流体,它的力学性质像液体,可以自由流动,但其光学性质却像晶体有各向异性。液晶有一些奇特性质,如向列型液晶随电压变化透明性不同,加电压后变成透明,液晶数码显示器就是利用了它的这种性质。现在已发现几千种有机化合物能呈液晶态,它们多为芳香族化合物。

5. 物质聚集状态的相互转化

通常条件下,物质以固、液、气三态存在。在一定条件下,固、液、气三态具有平衡关系,而改变条件则发生三种状态的相互转化,下面以纯水为例说明纯水的固、液、气三态在温度和压力改变时的相互转化规律。

物质的聚集状态有时称为相(相与态似乎可以通用,但用相更为严密)。三种物相之间相互转化也存在共同的规律。在讨论相变规律之前先介绍几个专业术语。

当研究物质变化规律时,实际上只能研究物质的有限部分,这种被人为划分出来作为研究对象的一部分物质或空间,称为体系(或系统)。体系以外的其他部分称为环境。例如,一只密闭烧瓶中一半盛水与冰的混合物,空余部分假定空气已全被除去,仅余水蒸气。我们要研究的冰、水、水蒸气的共存体就是一个体系,瓶和瓶外的部分就是体系的环境。体系中物理性质和化学性质完全均匀的部分称为相。例如,上述的体系中,冰、水、水蒸气三者在化学上虽然同属一种物质 H_2O ,但三者的物理性质并不相同,所以体系中分为冰、水、水蒸气三个相。这种由两个或两个以上相组成的体系叫做多相体系或不均匀体系。食盐的水溶液是混合物体系,但它各处的组成和性质是一样的,因此,食盐溶液是一个单相体系或均匀体系。如果是饱和食盐溶液,下面还沉有未溶解的盐粒,则盐粒和盐水各成一相就成多相体系了。在同一体系中不同的相之间通常有界面分开,但有界面分开的不一定是不同的相。例如,上述沉在底下的盐粒不论有多少粒都是盐的一个相,尽管各粒子之间有界面分开,但它们的组成和性质是一样的。

气、液、固三者之间的物态变化不是原物质转变成新物质,而是相变化。物质存在的状态一方面由物质的本性决定,另一方面与温度和压力有关。人们通常用相图来表明温度、压力与各种相变之间的关系,这种表达方法比用数据列表解释更加一目了然。各种物质都有一定的相图,水的相图参见本书第2章2.1.3相关内容。

相变和相平衡是自然界和生产中经常出现的现象。物质都有各自的相图,认识相图有助于观察和了解物质状态的变化规律。

二、化学的研究对象和重要作用

(一)化学的研究对象

简单地说,化学就是研究物质化学变化(变化后有新的物质生成)的科学。例如,煤炭的燃烧,钢铁生锈等。确切地说,化学是研究物质组成、结构、性质及其变化的规律和变化过程中能量关系的科学。化学是一门中心性的、实用的和创造性的科学,与物理等学科都属于自然科学的基础学科。

我们研究化学的目的是为了认识物质化学变化的规律,了解天然能源、资源的形成及特点,以便为人类所用,通过化学反应利用或制备各种人工合成产品,以满足人类社会不断增长的物质生活和精神生活的需要。

(二) 化学的课程内容

从内容上讲,“大学化学”包括基础理论部分和应用化学部分。基础理论部分包括化学的宏观规律以及物质的微观结构理论等内容。其中,“化学反应基本规律”包括化学反应中能量转化的规律、化学反应的方向性和限度、化学平衡理论及移动规律、化学反应速率理论及影响因素等化学原理。“溶液中的化学反应”包括溶液的通性、弱酸弱碱溶液及其应用、沉淀与溶解及其应用、配位反应及应用、水质与水体保护等知识。物质的微观结构理论是元素周期表的基础,也是人们认识大千世界中形形色色物质的形态和性质的钥匙。这部分主要介绍原子结构的近代概念,讨论影响元素性质的各种因素,揭示元素周期律的本质,解析近代化学键的概念,阐明分子内和分子间作用力的实质和物质聚集态的特征及性质等。应用化学部分主要结合军事应用特色,介绍包括推进剂、核武器、化学武器以及特殊功能复合材料在军事上的应用等内容。

(三) 化学与人类社会

化学是研究和创造物质的科学,同工、农业生产和国防现代化以及人民生活和人类社会等都有非常密切的关系。化学既是关于自然的科学,又是关于人的科学。现代化学不仅是认识生命过程和进化的手段,也是人类生存和获得解放的手段。它的各个研究领域无不直接或间接地关系到人类的发展问题。

从 20 世纪遗留下来的五大全球性难题,也可以看出化学的重要性。这五大全球性难题是:

- (1) 人口问题——计划生育与人体保健;
- (2) 资源问题——资源保护与有效利用;
- (3) 能源问题——能源开发与节能;
- (4) 粮食问题——开发新品种,增加产量;
- (5) 环境问题——净化、美化、优化环境。

仔细思考这五大难题,就会发现都与化学有关。

美国加州大学 G. C. 皮门特尔教授(《化学中的机会——今天与明天》一书的作者)和美国斯克里斯普斯研究所医学家 R. 勒那教授都不约而同地作出科学判断:“化学是社会生活中的中心科学。”现在,化学学科与物理学、生命科学、材料科学、环境科学、信息科学甚至社会科学等许多学科,呈现相互协作、交叉、综合、渗透和融合的趋势,出现许多生气勃勃的新学科和交叉学科。

化学与我们的生活密切相关,我们每一个人的衣、食、住、行都离不开化学。

1. “衣”

各种合成纤维的制品琳琅满目。聚丙烯腈制成的人造羊毛和喷镀铝钛金属反射膜制成的絮片(俗称“太空棉”)具有高于鸭绒的保暖性。现在市面上广泛宣传的保暖内衣,实际上是在棉或人造纤维中添加某些元素,使其在吸收人体的热量后,产生电子跃迁,当电子返回基态时,又以红外线的形式将热量释放出来,从而达到保暖的作用。就是棉布衣服制造,也同样离不开化学的作用。棉布的整理和着色都离不开化学。今后的新型面料的制造将依靠化学、生物等技术向健康、阻燃、轻暖以及芳香型发展。

2. “食”

化学一直是解决食物短缺问题的主要学科之一。化工生产提供了数量极大、品种繁多的化学肥料、杀虫剂和植物生长激素等,极大地提高了农业生产水平,深刻地改变了农业生产的面貌。近年来发展起来的无土栽培技术,又为农业的发展带来了一个新面貌。如今人造蛋白、合成糖等就是以小分子单体烃聚合而得到的人工合成的高分子食物,合成的食用奶油就是成功的例子。21 世纪,人造食品将会有大发展。

未来的食品将不仅满足人类生存的需要,还要在提高人类生存质量、健康水平和身体素质等方面起作用。利用化学和生物学的方法,增加动植物食品的防病有效成分,以提供安全、有疾病预防作用的食物和添加剂(特别是抗氧化剂);改进食物的储存加工方法,以减少不安全因素,保持有益成分;等等;这些都是化学研究的重要内容。

3. “住”

在近代的建筑中,从建筑材料的选择、制造到室内外的装饰(如塑料壁纸、地板、家具以及各种化学涂料等)都离不开化学知识。化学正在显著地改变着人们的居住环境,而劣质建材的不合理使用带来的危害,更是屡见不鲜。就是居室的布置也涉及许多化学问题。

4. “行”

“行”也与化学有着重要的关系。飞机、火车、轮船和汽车等重要交通运输工具的制造离不开各种化学材料;在能源的开发与合理使用上也离不开化学。例如,如何提高燃料的燃烧效率、减少环境污染以及寻找新能源等。

(四)化学与现代化

从社会发展来看,化学对实现农业、工业、国防和科学技术现代化具有重要作用。下面仅就现代科技的四大支柱(材料、能源、信息和生命科学),以及 21 世纪具有代表性的主导产业(光电子、信息通信、福利和健康、环境与能源以及国防军事等)为例,简要介绍化学的重要性。

1. 化学与材料

材料被称为发明之母。一种新材料的问世,往往带来科技的突飞发展,具有划时代的意义。而新材料的制备和正确选用都离不开化学。

例如,高纯硅等半导体材料的出现,产生了晶体管、集成电路、大规模集成电路以及超大规模集成电路等,从而带来了计算机的革命。今天电脑不仅广泛地用于各种领域,也深入了家庭。网上通信的实现,也带来了信息的革命。又如超导现象在 20 世纪初就已经发现,但由于使用温度太低,一直没有实用价值。但自从 20 世纪 80 年代 Y-Ba-Cu-O 体系出现以后,高温超导成为了研究的热点,目前高温超导已投入了使用,这也将带来一场革命。如用超导体储存电能,将使发电厂的运转效率从现在的 50% 提高到 80%~90%,从而大大地节省能源。现在大规模集成电路的芯片面积 2/3 为配线所占有。随着微细化技术的发展,配线电阻将进一步提高,这将严重影响计算机的小型化和高速化,而用超导导线,配线电阻为 0,可望实现“一片一机”的理想。

20 世纪 90 年代,出现了 C_{60} 的化合物。这一发现被称为化学领域的重大突破,奠定了碳化学研究的新里程碑。 C_{60} 的结构有多个双键,可以形成更多的化合物,其结构如图 0-1 所示,仅 $C_{60}H_m$ 就可有 10^{16} 种。

C_{60} 分子的直径是 1 nm,球中心有 0.36 nm 的空腔,可以容纳其他原子或离子,形成新的

物质。现在 C_{60} 在超导、电化学、非线性光学以及高温润滑等方面已经有所应用。

纳米材料是由尺寸为纳米级的小晶粒聚集而成的块状或薄膜状的人工固体材料。这是不同于晶态、非晶态的新的结构状态。新的结构形态带来许多新的性质。如 Ag 的熔点是 670°C ，但其纳米粉的熔点可低于 100°C 。

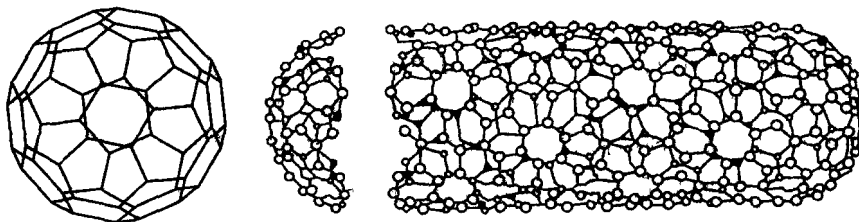


图 0-1 C_{60} 结构及碳纳米管半球端结构

美国的 F-117A 隐形战斗机在海湾战争中有 42 架参战，出动约 1 300 架次，虽然只占整个战争总轰炸次数的 2%，然而却轰炸了战略目标清单中 40% 以上的目标，而自身无一受损，这曾使世界震惊。在对南联盟的空袭中该飞机仍是主力。为什么伊拉克和南联盟的防空系统对这些隐形飞机束手无策呢？一个重要的原因是飞机采用了隐身材料，其中多为纳米材料。纳米材料特有的结构特点，使探测器得到的目标反射信号强度大大降低，使红外探测器和雷达无法正确测定目标位置。

纳米材料的许多新的优异性质，已经引起各国材料学者普遍的关注，它将是 21 世纪材料科学研究的热点之一。

当然，材料的使用不当，也会带来危害。如美国航天飞机“哥伦比亚号”的失事，就可能是由于隔热瓦出现问题引起的。

2. 化学与能源

无论是寻找新能源还是节能，都离不开化学。

化学电源将是 21 世纪的重要能源之一。而其中的 Ni-H 电池更被誉为绿色电池，它不像 Cd-Ni 等电池会给环境造成污染。

但在 Ni-H 电池中， H_2 直接作为电极是不行的，必须将其固定在一个极板上。通常是用储氢合金。储氢合金可以和 H_2 形成金属氢化物，从而固定 H_2 ，加热后又可以把 H_2 释放出来。其储氢的密度可以大于氢气瓶。

$LaNi_5$ 是其典型代表。如以 kg/m^3 为单位来表示储氢量，则液态 H_2 的储氢量为 $71 \text{ kg}/\text{m}^3$ ； $LaNi_5$ 的储氢量为 $104.3 \text{ kg}/\text{m}^3$ ； $TiFe$ 的储氢量为 $102.2 \text{ kg}/\text{m}^3$ 。

合金的组成和结构是决定其吸氢量的主要因素。而研究物质的组成和结构正是化学的主要任务。解决了氢气的储存问题，就为理想的无污染的氢能源的使用奠定了基础。

氢作为能源可以发电、供热、提供动力（汽车、飞机、轮船和火车等）。它可以取代几乎所有的现有能源，而且具有这些能源所没有的高效、清洁等优势。

现在受到广泛重视的生物能，更是离不开化学。

在节能方面，化学也在其中起重要作用。如燃油乳化，煤的合理使用（汽化、液化、节煤添加剂）等环节都需要化学学科的支撑。

3. 化学与信息

21 世纪是信息时代,信息技术与化学也是紧密联系的。

因为信息离不开载体和介质,而载体和介质的组成和化学状态对信息有很大影响。通过各种化学合成手段,可以制造出性能各异的信息材料,它主要包括电子材料和光电子材料。

如将超导体用于雷达,可以使其灵敏度大大提高,有效作用距离增加 3~4 倍。

光导通信使信息通信达到一个新的水平,而光导通信离不开光导纤维。

由压电材料制成的声表面波器件在雷达和电视机的制作中起重要作用。

4. 化学与生命

生命过程总是伴随着各种各样的化学反应,因此生命科学研究离不开化学。

正常人的血液应是弱碱性的,pH 为 7.35~7.45。为了保持碱性体系,必须注意均衡膳食。

如果由于偏食而引起血液发生了酸化,人体就会表现出手足冰凉,易患感冒,或伤口迟迟不能愈合等,还会影响大脑和神经功能,使记忆减退、思维能力下降,进而出现神经衰弱等。科学研究表明,要保持血液呈弱碱性,每天要食用蔬菜 2~4 种。

在人体中,许多生理作用都与宏观金属元素及微量金属元素有关。这些金属离子的化学性质决定了它们在人体代谢中所起的作用。

5. 化学与环境

化学工业的发展也带来了对环境的污染,给人类带来很大危害。治理污染同样离不开化学。

发生在日本的“水俣病”,是环境污染的典型事例。“水俣病”是甲基汞中毒,使人的中枢神经系统受到损害。这种危害甚至危及猫、狗,出现疯猫、疯狗。

近年来发展起来的绿色化学,将从根本上消除化工生产给环境带来的污染。“原子经济化学”的提倡将使化学的发展进入一个崭新的阶段。

6. 化学与国防军事

现代战争是以包括化学在内的各种高新技术为基础战争,无论材料、动力,乃至隐身效果等技术都依赖于化学。从武器的核心——炸药,到以化学物质为主的反装备武器,以及制造战机、导弹等现代武器装备的各种新材料,都离不开化学家的发明和贡献。化学在武器和防御物两方面发挥着重要的作用。

古代中国所发明的黑火药的使用彻底改变了战争的模式,由冷兵器时代进入热兵器时代。现代武器所使用的火炸药都是黑火药的改进,它们都是化学药品或其混合物,经过化学反应释放出大量热能。军事四弹——烟幕弹、照明弹、燃烧弹和信号弹——在军事上有着重要的作用;化学武器更是武器家族中的“毒魔”;以化学物质为主的反装备武器是一类对人员不造成杀伤、专门对付敌方武器装备的化学武器(如超强润滑剂、超强黏合剂、金属脆化剂等)。它们都利用了化学物质和化学反应特性。无论是精确制导武器、反辐射导弹,还是隐身飞机、复合装甲导弹,无一例外地与军用新材料的应用分不开。许多国家都十分重视军事领域的化学研究。

三、为什么工科学生要学化学?

化学是研究物质变化及其规律的科学。而物质是现实世界的客观存在,物质运动及变化是它的两个特性。因此,从这个角度讲,无论哪个学科的学生都应该学习化学。对于工科学生