



目 录

第一章 绪 论	(1)
第一节 无机化学的发展及研究内容	(1)
第二节 化学元素与人体健康	(3)
第三节 无机化学与医学检验、药学的关系	(5)
第二章 化学基本概念和定律	(7)
第一节 物质的组成	(7)
第二节 物质的分类	(9)
第三节 相关的化学计量知识	(12)
第四节 化学方程式	(14)
第三章 分散系	(19)
第一节 分散系概述	(19)
第二节 溶液的组成量度及换算	(21)
第三节 稀溶液的依数性	(26)
第四节 胶体溶液	(37)
第五节 高分子化合物溶液	(42)
第六节 粗分散系统	(44)
第四章 化学反应速率和化学平衡	(50)
第一节 化学反应速率及表示方法	(50)
第二节 化学平衡	(57)
第五章 酸碱平衡	(67)
第一节 酸碱质子理论	(67)
第二节 弱电解质的解离平衡	(69)
第三节 溶液的酸碱性和溶液的 pH 值	(75)
第四节 缓冲溶液	(79)
第五节 盐类水溶液的酸性	(85)
第六章 沉淀—溶解平衡	(91)
第一节 溶度积和溶解度	(91)
第二节 沉淀与溶解	(96)
第七章 氧化还原与电极电势	(105)
第一节 氧化还原的基本概念	(105)
第二节 电极电势	(110)



第三节 电极电势的应用	(119)
第八章 原子结构	(128)
第一节 原子的组成	(128)
第二节 原子核外电子的运动状态	(129)
第三节 原子核外电子的排布	(134)
第四节 元素周期律	(137)
第五节 元素周期表及其应用	(139)
第九章 分子结构	(146)
第一节 离子键	(146)
第二节 共价键	(148)
第三节 分子间作用力和氢键	(154)
第十章 配位化合物	(161)
第一节 配合物的基本概念	(161)
第二节 配合物在水溶液中的稳定性	(166)
第三节 配合物在医药学中的应用	(169)
第十一章 非金属元素及其化合物	(172)
第一节 卤素	(172)
第二节 氧族元素	(178)
第三节 氮族元素	(184)
第四节 碳硅硼	(189)
第十二章 碱金属与碱土金属元素	(197)
第一节 碱金属	(197)
第二节 碱土金属	(200)
第三节 水的硬度与净化	(203)
第四节 s 区元素化合物在医药学中的应用	(205)
第十三章 过渡元素及其重要化合物	(209)
第一节 过渡元素概述	(209)
第二节 铬(Cr)、锰(Mn)及其重要化合物	(211)
第三节 铁(Fe)、钴(Co)、镍(Ni)及其重要化合物	(215)
第四节 铜(Cu)、银(Ag)及其重要化合物	(217)
第五节 锌(Zn)、镉(Cd)、汞(Hg)及其重要化合物	(219)
第六节 过渡金属在医药学中的应用	(223)
附录	(270)
参考文献	(282)



第一章 绪 论

学习要点

- (1) 了解无机化学的发展史。
- (2) 了解无机化学及研究内容。
- (3) 熟悉无机元素对人体健康的影响。
- (4) 了解无机化学在医学检验、药学中的地位。

化学(chemistry)是一门以实验为基础,在原子、分子或离子水平上研究物质的组成、结构、性能、变化及应用的自然科学。在 19 世纪就分化形成了无机化学、有机化学、分析化学和物理化学四大分支学科,至今,我国及世界许多国家的高等学校仍为化学、化工及医学类的药学、检验等专业的学生开设这四门化学课作为传统的化学基础课。随着生产和科学技术的发展,人类对客观世界认识的不断深入,化学科学也不断发展、扩大,每个分支学科又形成多种相对独立的新学科。由于化学与其它学科的相互交叉、相互渗透,使得化学的研究和应用也愈来愈广泛;当今世界,化学更是与人类的衣食住行、医药卫生、文化生活、环境保护、国防科技等方面密切相关;目前,能源的开发和综合利用、环境的生态平衡、功能材料的研究、生命奥秘的探索等重大倍受关注的问题都与化学紧密相关。



第一节 无机化学的发展及研究内容

一、无机化学的发展概述

无机化学是化学学科发展最早的一个分支学科,化学发展史从根本来说就是无机化学发展史。根据化学发展的特征可分为四个阶段。

第一是无机化学的萌芽阶段。在 17 世纪中叶以前,人类就有制陶、炼丹、制火药、冶炼金属等无机化学实践活动,在 17 世纪的《天工开物》中详细记述了中国古代几十种无机物的生产过程,在“本草纲目”中就有无机药物的种类(266 种)和制备的记载,如轻粉是由水银、白矾、食盐等无机物经升华法制成的氯化亚汞结晶性粉末。由此可见,在化学学科建立前,人类已掌握了大量无机化学的知识和技术。

第二是无机化学的建立阶段。从 17 世纪后半叶到 19 世纪末,英国科学家玻意耳提出了化学元素的概念,将化学这门科学的研究引上了正确的路线;法国化学家拉瓦锡推翻了当时公认的燃素说,确立了燃烧是氧化作用的正确理论;英国化学家、物理学家道尔顿创立了“原子学说”,阿佛加德罗定律和分子学说的建立,使化学这门科学宣告成立;俄国化学家门捷列夫提出了元素周期律,极大地推动了无机化学的研究和应用,成为现代物质结构理论发展的基础,是化



学发展史上的一个里程碑。这一时期,原子论使人类对物质的认识深入到原子结构水平,元素周期律证明了各原子之间不是孤立的,而是存在紧密的内在联系。元素周期律确定后,化学研究者又发现了不少元素和化合物,同时,大规模的制酸、制碱、火药、无机盐工业的兴起和发展,推动了无机化学的发展。随着化学理论体系的创立,化学也因此分化出了无机化学、有机化学、分析化学和物理化学四个分支学科。后来飞速发展的有机化学、分析化学、物理化学、高分子化学超越了无机化学,无机化学相对沉默了一段时期。

第三是无机化学的复兴阶段。20 世纪初量子力学建立到 20 世纪 80 年代,随着原子能、电子、宇航、激光等新型尖端科技的发展,对特殊性能的无机材料需求增多,无机化学的发展重新获得巨大的推动力,结构理论的发展、现代物理方法的引入,使得一个完整的具有雄厚的实验和理论基础的现代无机化学新体系建立起来。X 射线、放射性元素、电子等的相继发现,打开了人类认识原子的大门。原子有核模型和原子结构模型的建立,初步揭示了原子的内部结构和微观粒子的运动规律。尔后科塞尔的离子键理论,路易斯的共价键电子理论;薛定谔建立的微粒运动波动方程;海特勒和伦敦的化学键的观点,这些建立在量子力学基础上的现代原子结构模型及化学键理论,揭示了分子结构的本质。化学热力学,可以判断化学反应的方向;定量讨论化学平衡和相平衡理论;量子化学和化学键理论、结构和性能关系的初步规律;化学动力学研究和分子反应动态及合成化学的建立等等,这些使化学理论向前迈进了一大步,用量子力学定性于处理化学问题取得了辉煌的成果。

第四是无机化学的既高度分化又高度综合阶段。20 世纪 80 年代开始至今,随着现代化学内容的拓宽和加深,无机化学一方面加速分化,形成如普通元素化学、稀有元素化学、无机高分子化学、无机合成化学、配位化学、稀土化学等分支学科。另一方面与各分支学科之间相互融合和渗透,形成了许多新兴的边缘学科,如与有机化学相互渗透,形成元素有机化学和金属有机化学;与物理化学交叉而形成物理无机化学;与材料科学结合,形成固体无机化学和材料无机化学;与生物化学渗透,形成生物无机化学;与农业科学结合,形成丰产元素化学。在现代无机化学研究中,广泛采用物理学、计算机技术、物理化学的实验手段和理论方法,深入到原子、分子层次去弄清物质的结构与性能的关系,探求化学反应的微观历程和宏观化学规律的微观依据,实验与理论并重的无机化学已不限于简单地观察宏观反应现象和总结一些唯象规律,而是把基础性研究深入至微观世界,形成一个比较完整的、理论化的、定量化的、微观化的现代化的无机化学新体系。现代无机化学已构建成为一个庞大的学科群,交叉渗透到各个研究领域,推动了医学、生物学、环境科学、食品科学、地质科学及其领域的发展。

二、无机化学的研究内容

无机化学(inorganic chemistry)是以元素周期系和近代化学理论为基础,研究元素的单质及其无机化合物的组成、结构、性质和反应的一门学科。无机化合物是指除碳氢化合物及其衍生物以外的所有元素所形成的化合物。无机化学的研究内容涵盖了整个元素周期表中的所有元素及其无机化合物。

无机化学是对所有元素及其化合物的制备、组成、结构、反应实验测试和理论阐明。研究原子核外电子尤其是价电子的排布及它们与元素、化合物的性质之间的关系、规律;研究化学键形成的各种理论学说、化学键与化合物性质的关系,分子间作用力及其分子间作用力与晶体结构的关系;研究化学平衡原理以及平衡移动的一般规律;对无机化合物的性质、制备方法和应用,在元素周期律的基础上,研究重要元素及其化合物的结构、性质的变化规律、制备方法及在有关领域中的应用。现代无机化学研究已经渗透到各个领域,当今与新兴技术有关的科学,如能源、



信息、材料、激光、空间技术、计算机技术、生命科学等几乎都涉及无机化学,一个比较完整的、理论化的、量化的和微观化的现代无机化学新体系正在建立起来。



知识拓展

21 世纪的四大化学难题

21 世纪是信息科学、环境科学、合成化学和生命科学共同繁荣的世纪,化学的发展特点是各学科纵横交叉解决实际问题。即化学学科的自身继续发展和相关学科融合发展相结合,对化学研究有着更高的期望,化学也将面临四大难题,一是化学反应理论(化学的第一根本规律,建立即精确有效又普遍适用的化学反应的含时多体量子理论和统计理论);二是结构和性能的数量关系(化学的第二根本规律);三是生命现象的化学机理(生命化学难题);四是纳米尺度难题。

经过 50~100 年的努力,如果解决了化学四大难题,不难设想人们美好的远景:(1)在解决第一和第三难题,充分了解光合作用、固氮作用机理和催化理论的基础上,可以期望实现农业的工业化,在工厂中生产粮食和蛋白质,大大缩减宝贵的耕地面积,使地球能养活人口的数目成倍增加。(2)在解决第二和第四难题的基础上,我们可以期望得到比现在性能最好的合金钢材强度大十倍,但质量轻几倍的合成材料。(3)在充分了解结构与性能关系的基础上,能合成出高效、稳定、廉价的太阳能光电转化材料。太阳投射到地球上的能量,是当前全世界能耗的一万倍。如果光电转化效率为 10%,只要利用 0.1% 的太阳能,就能满足当前全世界能源的需要。(4)未来的化工企业将是绿色的,零排放的,原子经济的,物质在内部循环的企业。(5)在合成了廉价的可再生的储氢材料和能转换材料的基础上,街上行走的汽车将全部是零排放的电动汽车。人们穿的将是空调衣服。(6)海水淡化将成为重要工业,从而解决人类生存最严重的挑战——淡水资源紧缺问题。



第二节 化学元素与人体健康

人类早已认识到生命机体的构成和活动与有机物质息息相关,然而随着人类对生命奥秘探索的不断深入,已认识到了无机物质在生命活动中的重要作用,无机化学与人类健康的关系日益被关注。在已发现的 118 种元素中,组成人体自身的化学元素约有 60 多种,维持生命所必需的元素有近 30 种,人体中含量较多的元素有 11 种,约占人体质量的 99.95%,其中,人体中氧是含量最多的非金属元素,钙是含量最多的金属元素,碳、氢、氧、氮等几种元素以水、糖类、油脂、蛋白质和维生素的形式存在,其它元素主要以无机盐的形式存在(总量不超过人体的质量的 4%)。在人体中含量高于万分之一的元素为宏量元素又称主要元素,低于万分之一的则称为微量元素或痕量元素。宏量元素和微量元素都能够调节人体的新陈代谢,促进身体健康。

宏量元素共有 11 种,它们是氧、碳、氢、氮、钙、磷、钾、硫、钠、氯、镁,是构成人类器官、组织的主要元素,对人体生命活动起着重要作用。微量元素共有 18 种,它们是铁、铜、锌、钴、锰、铬、硒、碘、镍、氟、钼、钒、锡、硅、锶、硼、铷、砷。

微量元素在人体内含量极小,但与生命活力密切相关,它们通过与蛋白质和其他有机基团结合,形成了酶、激素、维生素等生物大分子,发挥着重要的生理生化功能,它们的摄入过量、不足、或缺乏都会不同程度地引起人体生理的异常或发生疾病。一旦缺少了这些必需的微量元素,人体就会出现疾病,甚至危及生命。如缺锌可引起口、眼、肛门或外阴部发红、丘疹、湿疹。



又如铁是构成血红蛋白的主要成分之一,缺铁可引起缺铁性贫血。国外曾有报道:机体内含铁、铜、锌总量减少,均可减弱免疫机制,降低抗病能力,助长细菌感染,而且感染后的死亡率亦较高。每种微量元素都有其特殊的生理功能,在抗病、防癌、延年益寿等方面起着不可忽视的作用。人类的生存和发展绝对离不开这些必要的微量元素的吸收、传输、分布和利用。表 1-1 是常见微量元素对人体健康的影响,图 1-1 所示为元素在人体中富集情况。

表 1-1 常见微量元素对人体健康的影响

元素	主要功能	缺乏症	过量症	含量较多的食物
Fe	存储、输送氧,参与多种新陈代谢过程,维持正常脑功能	贫血,免疫力低,无力,头痛,口腔炎,易感冒,肝癌	影响胰腺和性腺,心衰,糖尿病,肝硬化	动物肝脏、蛋黄、瘦肉、木耳、红糖、菠菜
Cu	参与造血过程及铁的代谢,参与多种酶和黑色素合成	贫血、白癜风、骨质疏松、胃癌食道癌	肝硬化、类风湿	肉、蟹类、干果、葡萄干、葵花子、肝、茶
Zn	控制代谢酶的活性部位,参与多种新陈代谢过程,抗菌,消炎	贫血、克山病、早衰、侏儒症、动脉硬化等	高血压、头昏、胃肠炎、肾病、糖尿病	肉、鱼、蟹、蛋、奶、谷物
Ca	参与传递神经脉冲,触发肌肉收缩,释放激素,血液的凝结以及正常的心律调节	软骨畸形、痉挛	胆结石、粥样硬化、	虾米、蟹、鱼、海藻、海带、骨头汤、大豆、核桃、花生
Mg	在蛋白质生物合成中必不可少	惊厥	麻木症	日常正常饮食
F	长牙骨,防龋齿,促生长,参与氧化还原和钙磷代谢	龋齿,骨质疏松,贫血	氟斑牙,氟骨症,骨质增生	小麦、水果、茶叶、肉、青菜、西红柿、土豆、鲤鱼、牛肉
I	组成甲状腺和多种酶,调节能量,加速生长	甲状腺肿大、地方性呆小病	甲状腺肿大	海带、紫菜、海鱼、海盐、肉、水果、加碘食盐



知识拓展

化学元素性地方病

某些在特定地域内经常发生并相对稳定,与地理环境中化学元素性因素密切相关的疾病。疾病因为当地水或土壤中某种(些)元素或化合物过多、不足或比例失常,再通过食物和饮水作用于人体所。

环境中的地球化学元素不仅是构成人体基本组成的物质基础,而且也是生命活动的营养物质来源,在人的生长发育、衰老、疾病和死亡中起着重要作用。这些元素按照生命活动的需要,

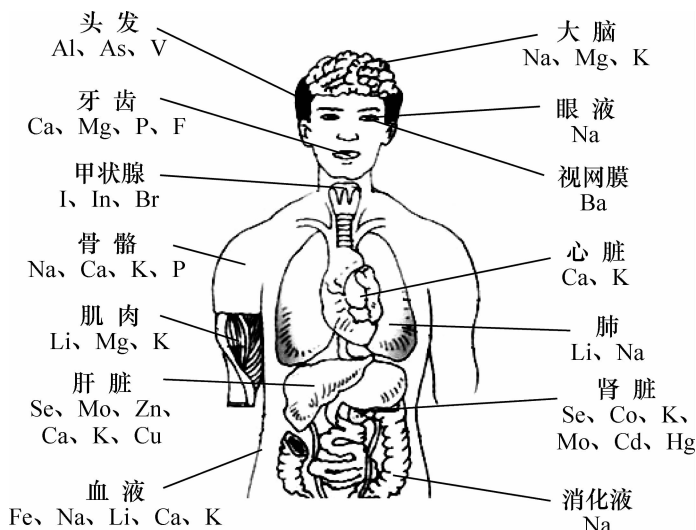


图 1-1 某些元素在人体中富集情况示意图

分布在人体各部位,以维持机体和环境之间的平衡。由于地球化学元素在地球上的分布并不均匀,致使平衡受到破坏,最终导致地方病的发生。如缺碘地区多出现甲状腺肿和克汀病,碘过量地区则出现高碘性甲状腺肿;缺氟地区可出现龋齿、老年骨质疏松症增多,氟过量地区则引起斑釉齿和氟骨症患病率高等。

第三节 无机化学与医学检验、药学的关系

无机化学是高等医学院校的医学检验和药学等专业的一门重要必修课,也是医学检验和药学专业的第一门化学基础课,是培养医学检验和药学应用型人才的知识体系和能力结构的重要组成部分。是学习后续有机化学、分析化学等课程的必需基础知识,也是今后学习专业课程如临床检验、免疫检验、生化检验、药物化学、药物分析等的重要基础。

医学检验是以化学和生物学为基础,运用现代物理化学方法对病因进行确认并做出准确评价的学科。在检验诊断过程中,化学起着核心作用,经常运用化学原理和化学方法对人体各种体液和组织进行分析检验,为诊断疾病提供科学依据。如血液、尿液、体液的检测是诊断疾病的不可缺少的常规项目,应用的就是化学原理和化学技能。现代的检验技术如金标记免疫分析、核磁共振成像技术、荧光免疫分析、化学发光免疫分析、时间分辨荧光免疫分析、磁性微球免疫化学技术等都是现代化学技术的应用渗透到医学检验的结果。因此,只有掌握了一定的化学知识,才能更好地理解检验技术中原理,做出准确的诊断报告,为治疗疾病事实依据。

药学是研究药物与机体之间相互作用的一门学科。药物对药物,药物对机体,机体对药物的作用,都与化学有着密切的关系,都是通过化学途径来实现的。例如,碳酸氢钠、乳酸钠在水溶液中水解呈碱性,是临床上常用的抗酸药,用于治疗糖尿病及肾炎等引起的代谢性酸中毒;铂、锑、锡、钒、硒、锆等的配合物具有抗癌作用,能破坏癌细胞 DNA 的复制能力,抑制癌细胞的生长。新药的研发、合成、使用更离不开化学,例如,比顺铂和卡铂疗效更好铂类抗癌药物的研制,化学工作者们反复对铂配合物中的一些基团进行取代、重组,药效性和副毒性试验,药物的分离和提纯等都得以化学原理作基础。随着无机化学领域研究的扩展,无机化学与药物的关系



越来越密切,形成了一个新兴生物无机化学分支,即无机药物化学。无机药物化学主要研究含无机离子的药物在生物体内的分布、吸收、转化、排代及治病机理。可以说,一门长期以来为有机化学所主宰的药物化学,正在向无机化学打开门户,目前用钒化合物治疗糖尿病、用锌化合物预防治疗流感,都已在临床试用。新药物的开发和使用,为人类的健康和生命的延续提供了物质基础,也拓宽了无机化学的研究领域。

本章内容提要

化学是以实验为基础一门自然科学,它是在原子、分子水平上研究物质的组成、结构、性能、变化及应用。无机化学研究的对象是无机物质,是对所有元素及其化合物的性质和他们的反应进行实验研究和理论解释的科学。化学的发展史本质就是无机化学发展史,根据发展的特征,可分为四个阶段。现代无机化学研究已经渗透到各个领域,建立了一个比较完整的、理论化的、定量化的和微观化的现代无机化学新体系。无机化学是医学检验、药学等医学专业的基础课,无机化学教学包括理论教学和实践教学两部分,通过学习要求学生能获得无机化学的基本知识和基本技能,为专业服务。

巩固练习

简答题:

1. 什么是无机化学? 无机化学研究内容是什么?
2. 简述化学元素与人类健康的关系。
3. 简述无机化学与医学检验、药学的关系。



第二章 化学基本概念和定律

学习要点

掌握分子、原子、元素、核素、相对原子质量、相对分子质量、物质的量、气体摩尔体积、质量守恒等概念。

熟悉物质的分类、化学反应的类型及化学反应方程式的相关知识,能利用物质的量、阿伏加德罗常数、气体摩尔体积和化学方程式进行相关的计算。

化学基本概念和定律是人们以许多化学现象、化学事实等感性认识为基础,经过归纳、概括而得到的理性认识。在医药、化工等方面经常要运用化学基本概念和定律来解决问题,进行相关计算。因此,在中学化学知识的基础上,对一些重要的化学基本概念、基本定律进行探讨,以促进对本课程的学习。



第一节 物质的组成

世界是物质的,它们在不停地运动变化。宏观上宇宙万物是由各种不同的元素构成,微观上物质是由分子、原子等基本粒子构成。化学就是研究物质“基本粒子”之间变化的一门科学。

一、分子与原子

(一)分子

分子是能够独立存在并保持物质化学性质的最小微粒,任何物理变化都不能使分子组成发生改变。分子在不停地运动,分子间有一定的间隔和作用力。分子有一定的大小和质量,分子质量最小的是氢,是没有中子的氢分子,大分子其相对分子质量可高达几百万以上,相对分子质量在数千以上的称为高分子。按照组成分子的原子个数,可分为单原子分子、双原子分子及多原子分子。分子是构成物质的最小微粒,是以“保持物质化学性质”为前提的,在化学变化中可以被分成更小的微粒——原子,而原子已不再具有原物质的化学性质。例如,将一个氧气分子分解成两个氧原子,氧气分子和氧原子的性质就完全不同了。

(二)原子

分子虽小,但它可以分割成更小的原子。化学反应是分子再分的有力证据。例如,在二氧化锰的催化作用下,氯酸钾加热分解成氯化钾和氧气。在化学变化中,原子只是发生了重新组合,原子本身并没有变成其他原子。所以说,原子是物质发生化学反应的基本微粒。原子具有两个显著的特点:一是原子的大部分质量集中于原子核内部,且原子核的密度非常大(约为金属铀密度($19.07 \text{ g} \cdot \text{cm}^{-3}$)的 5×10^{12} 倍)。二是原子核的体积很小,约为整个原子体积的 10^{-15} ,



因此原子核外有较大的空间。

分子和原子都是构成物质的微粒,它们都在不断地运动,但二者存在本质差别:分子保持原物质的化学性质,能独立存在,在化学反应中一种分子能变成另外一种或几种分子;而原子一般不能独立存在,不一定保持原物质的化学性质,在化学反应中,一种原子不会变成另外的原子。分子、原子和其他“基本粒子”是构成物质的不同层次。

二、元素

(一)元素与核数

元素是核电荷数(即核内质子数)相同的同一类原子的总称。也就是说,原子的核电荷是决定元素内在联系的关键。到2012年为止,共发现了118种元素。

每种元素以一定的符号来表示,称之为元素符号。元素符号均采用其拉丁文名称的第一个字母(大写)表示,若第一个字母与其他元素相同,则附加第二个或其后一个字母(小写)表示。例如:氧 O(Oxygenium)、氢 H(Hydrogenium)、钠 Na(Natrium)、氖 Ne(Neonum)等。

原子核由质子与中子构成。具有一定数目质子和一定数目中子的一种原子称为核素。例如,天然存在的钠元素,钠原子($^{23}_{11}\text{Na}$)中含有11个质子和12个中子,称为钠-23核素。象这种只有一种核素的元素称为单核元素。实际上,有许多元素的原子核里含有不同的中子数,例如氧原子中质子数为8,但中子数可能是8、9或10,它们的质量数分别是16、17、18,于是就构成了氧-16核素、氧-17核素和氧-18核素,分别简记为: ^{16}O 核素、 ^{17}O 核素、 ^{18}O 核素。将含有多核素的元素称为多核元素(简称多核素)。在多核素元素中,由于它们的质子数相同,所以它们在元素周期表中占据同一个位置。像这种具有相同质子数(即核电荷数)而中子数不同的同种元素(多核元素)中的不同原子,互称为同位素。有关同位素的相关内容将在第九章原子结构中学习。

(二)相对原子质量和相对分子质量

1. 相对原子质量

原子的质量很小,一个氢原子的实际质量为 $1.674 \times 10^{-27} \text{ kg}$,一个氧原子的质量为 $2.657 \times 10^{-26} \text{ kg}$,如果用它们的实际质量来计算就会非常麻烦。国际原子量委员会对衡量元素的原子质量给出了一个适宜的对照标准。即采用 ^{12}C 核素中一个碳原子质量的 $1/12$ 作为“原子质量单位”,用 u 表示:

$$1 u = \text{一个}^{12}\text{C} \text{ 原子质量} \times 1/12 = 1.993 \times 10^{-26} \times 1/12 \text{ kg} = 1.661 \times 10^{-27} \text{ kg}$$

事实证明,以这种“原子质量单位”为基准,将使有关原子量、分子量的计算简单化。因此国际原子量与同位素丰度委员会将原子量重新定义为:一种元素的相对原子质量是该元素1摩尔的质量对核素 ^{12}C 1摩尔的质量 $1/12$ 的比值。由于1摩尔任何元素都含有相同的原子数,因此相对原子质量也就是表示一种元素一个原子的平均质量对 ^{12}C 核素中一个原子质量 $1/12$ 的比值。所谓一个原子的平均质量,是针对一种元素含有多种天然同位素来说的,平均原子质量可根据这些同位素的原子质量和丰度来计算。现以碳元素为例来说明。在自然界中 ^{12}C 核素的丰度(原子百分比)为98.89%,原子质量为12.00 u; ^{13}C 核素的丰度为1.11%,原子质量为13.00 u,因此,碳元素的平均原子质量为:

$$\begin{aligned} & ^{12}\text{C} \text{ 核素的原子质量} \times \text{丰度} + ^{13}\text{C} \text{ 核素的原子质量} \times \text{丰度} \\ & = 12.00 u \times 98.89\% + 13.00 u \times 1.11\% \\ & = 12.01 u \end{aligned}$$



相对原子质量用符号 $A_r(E)$ 表示, A 代表原子, r 表示相对的含义, E 代表某种具体的元素。根据元素相对原子质量定义, 碳元素相对原子质量为:

$$A_r(C) = \frac{C \text{ 的平均原子质量}}{^{12}\text{C 的原子质量} \times 1/12} = \frac{12.01\text{u}}{12.00\text{u} \times 1/12} = 12.01$$

从上面的讨论可知, 元素的“相对原子质量”与核素的“(平均)原子质量”, 虽然它们都是以 ^{12}C 为基准, 但它们是两个不同的概念:

(1) 相对原子质量是某元素一个原子的平均质量对 ^{12}C 核素一个原子质量的 $1/12$ 之比, 而原子质量是某种核素一个原子的质量。前者是讨论某元素天然存在的所有核素原子的平均质量, 后者只讨论某元素一种核素原子的质量。

(2) 从数字来比较, 一种元素只有一个原子量, 即相对原子量。除单一核素元素外, 同种元素各核素的原子质量不同。

(3) 对单一核素元素而言, 其相对原子质量与原子质量数值相等, 但前者无单位, 后者有单位(常用 u 表示)。如钠元素的相对原子质量为 22.98977 , ^{23}Na 核素的原子质量等于 22.98977u 。

(4) 多核元素的相对原子质量及平均原子质量与丰度有关, 而单核元素的相对原子质量及原子质量与丰度无关。

2. 相对分子质量

分子由原子构成, 根据分子的组成元素及原子个数, 可写出分子式并计算出其相对分子质量。因此, 物质的相对分子质量是指该物质分子的平均质量与 ^{12}C 核素原子质量 $1/12$ 的比值。或者说分子式中各个原子的相对原子质量(A_r)的总和, 即物质的相对分子质量, 用符号 M_r 表示。例如, 一个 CO 分子是由一个 C 原子与一个 O 原子组成的, 其相对分子质量为:

$$M_r(\text{CO}) = 12.01 + 16.00 = 28.01$$

如果物质只有化学式而没有分子式, 通过化学式计算出的物质的相对质量就称为化学式量, 简称式量。如氯化钠的式量为 $M_r(\text{NaCl}) = 22.99 + 35.45 = 58.44$

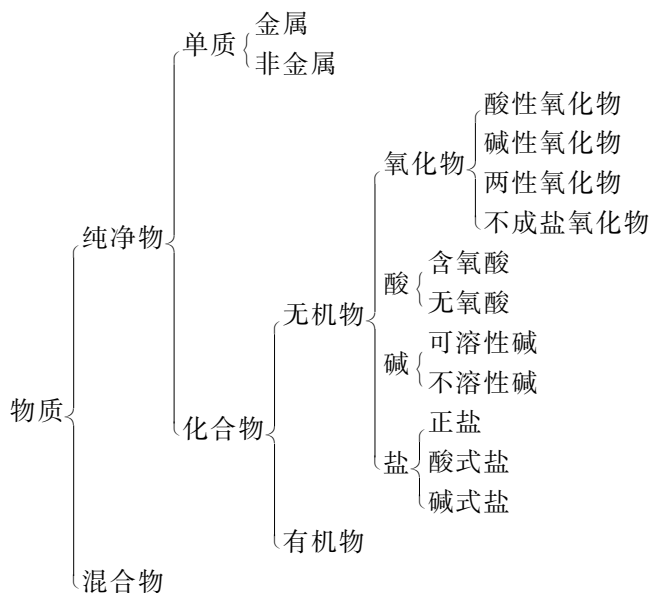
与相对原子量及原子质量相似, 要正确理解相对分子量及分子质量的含义。

第二节 物质的分类

科学分类是学习化学的一种重要方法, 它会使复杂的问题简单化。根据物质的组成和性质可将物质分为各种不同的类型。

一、纯净物与混合物

根据组成物质的种类多少, 通常将自然界的物质分成纯净物与混合物两大类。



(一) 纯净物

由同种物质构成,具有一定的组成和性质(如固定的熔点、沸点),可以用一种化学式来表示。例如,金属镁(Mg)、干冰(CO_2)、阿司匹林($\text{C}_9\text{H}_8\text{O}_4$)等。

(二) 混合物

由两种或两种以上的物质混合而成,没有固定的组成,各物质保持其原有性质(如没有固定的熔点、沸点),不能用一种化学式表示。例如,矿泉水、维生素C注射液、复方阿司匹林等。

通常提到的纯净物是一种理想状态,现实中没有绝对的纯净物存在。只要纯度比较高,而且杂质不影响质量要求,就可以称之为纯净物。区分纯净物与混合物要从物质的本质入手。例如,冰醋酸是纯净物,食醋是混合物。

二、单质与化合物

根据组成物质的元素种类多少,将纯净物分成单质与化合物两大类。

(一) 单质

由同种元素组成的纯净物称为单质。根据它们物理性质的差异将其分为金属单质与非金属单质。如氢气(H_2)、氦气(He)属于非金属单质,而铁(Fe)、铜(Cu)等都属于金属单质。

金属和非金属的区别:金属一般具有导电性、金属光泽、延展性等,并且大多数是固体(常温下汞是液体)。而非金属大多是绝缘体,只有少数非金属是导体(碳)或半导体(硅)。金属是由金属键连接的,而非金属是靠离子键或共价键连接的;由于科学技术的高速发展,它们之间的区别也越来越不明显。纳米技术的发展使金属和非金属之间的区别越来越小。

(二) 化合物

由不同种元素组成的纯净物称为化合物。例如,水(H_2O)、氢氧化钠(NaOH)、无水酒精($\text{CH}_3\text{CH}_2\text{OH}$)、蔗糖($\text{C}_6\text{H}_{10}\text{O}_5$)等都属于化合物。



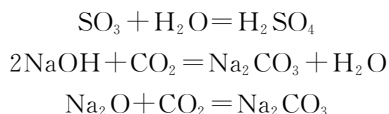
三、无机物与有机物

(一) 无机物

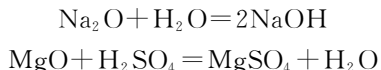
无机化合物简称无机物,指除碳、氢化合物及其衍生物以外一切元素及化合物,如水、食盐、硫酸、一氧化碳、二氧化碳、碳酸盐、氧化铝、氢氧化钠、硫酸铜等都属于无机物。绝大多数的无机物可以归入氧化物、酸、碱、盐等四大类。无机物多数是电解质,易溶于水,化学反应简单。

1. 氧化物

(1)酸性氧化物:能与水作用生成酸,或与碱作用生成盐和水,或与碱性氧化物反应生成盐的氧化物。



(2)碱性氧化物:能与水反应生成碱,或与酸反应,或与酸性氧化物反应生成一种盐和水的氧化物叫碱性氧化物。



(3)两性氧化物:既可以与酸反应生成盐和水,又可以与碱反应生成盐和水的氧化物称为两性氧化物。如 Al_2O_3 、 BeO 、 Cr_2O_3 、 ZnO 等。

(4)不成盐氧化物:不能与酸或碱反应生成相应价态的盐和水的氧化物称为不成盐氧化物。如 NO 、 CO 、 N_2O 等属于不成盐氧化物。

2. 酸与碱

对于酸碱的认识,人们经历了一个由浅入深,从低级到高级的认识过程。中学阶段学习的酸碱定义,即电离时产生的阳离子全部是 H^+ 的化合物称为酸;电离时产生的阴离子全部是 OH^- 的化合物称为碱。随着认识的不断深入,酸碱电离理论受到了局限,在后续章节中将学习酸碱质子理论与酸碱电子理论。

(1)含氧酸与无氧酸:根据酸中是否含氧,分为含氧酸和无氧酸。

酸根中含有氧原子的酸称为含氧酸,一般命名为某酸。如:高氯酸 HClO_4 、氯酸 HClO_3 、亚氯酸 HClO_2 、次氯酸 HClO 、原硅酸 H_4SiO_4 、偏硅酸 H_2SiO_3 、重铬酸 $\text{H}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$ 等。

无氧酸,或称氢某酸,即溶于水所得溶液显酸性的氢化物。这类物质在未溶于水时,通常命名为某化氢,溶于水后,不管它以何种微粒形式存在,都命名为氢某酸。例如:氢氯酸 HCl (俗称盐酸)、氢溴酸 HBr 、氢硫酸 H_2S 、氢氟酸 HF 、氢碘酸 HI 、氢氰酸 HCN 等。

酸还可以根据它在水溶液中的电离程度的大小分为强酸与弱酸;根据酸在水溶液中电离出的氢离子个数,可将酸分为一元酸、二元酸、多元酸等。

(2)可溶性碱与不溶性碱:根据碱在水中的溶解性不同,分为可溶性碱和不溶性碱。在常见的碱中, NaOH 、 KOH 、 $\text{Ba}(\text{OH})_2$ 、 $\text{NH}_3 \cdot \text{H}_2\text{O}$ 等属于可溶性碱;其他可溶性碱有: RbOH 、 CsOH 、 LiOH ;其他微溶性碱有: $\text{Sr}(\text{OH})_2$ 、 $\text{Ca}(\text{OH})_2$;其他属于不溶性碱,如 $\text{Mg}(\text{OH})_2$ 、 $\text{Cu}(\text{OH})_2$ 、 $\text{Fe}(\text{OH})_3$ 等。

与酸的分类相似,碱还可以根据它在水溶液中的电离大小分为强碱与弱碱;根据碱在水溶液中电离出的氢氧根离子个数,将碱分为一元碱、二元碱、多元碱等。

3. 盐



(1)正盐:既不含能电离的氢离子,又不含有氢氧根离子的盐。大多数盐类为正盐,如 NaCl 、 KCl 、 NH_4NO_3 等。

(2)酸式盐:电离时生成的阳离子除金属离子(或 NH_4^+)外还有氢离子,阴离子为酸根离子的盐。如 NaHSO_4 、 NaHCO_3 等。

(3)碱式盐:电离时生成的阳离子除金属离子(或 NH_4^+)外还有氢氧根离子,阴离子为酸根离子的盐。酸与碱反应时,弱碱中的氢氧根离子部分被中和,生成的盐为碱式盐。一元碱不能形成碱式盐,二元碱或多元碱才有可能形成碱式盐。碱式盐的组成及性质复杂多样,如碱式碳酸铜 $\text{Cu}_2(\text{OH})_2\text{CO}_3$ 和碱式氯化镁 $\text{Mg}(\text{OH})\text{Cl}$ 等都属于碱式盐。

(4)复盐:由两种或两种以上的简单盐类组成的同晶型化合物,称为复盐。复盐又称为重盐,复盐中含有大小相近、适合相同晶格的一些离子,如十二水硫酸铝钾 $\text{KAl}(\text{SO}_4)_2 \cdot 12\text{H}_2\text{O}$ (俗称明矾)。

(二)有机物(留待有机化学中介绍)

有机物即有机化合物,是指碳氢化合物及其衍生物,主要含有碳、氢两种元素,此外也常含有氧、氮、硫、卤素、磷等元素。有机物的相关知识将在有机化学中学习。



第三节 相关的化学计量知识

科学规范的计量在国民经济、医药卫生、国防科技等领域中都占有十分重要的地位。我国的法定计量单位是以国际单位制(SI)为基础,根据我国的实际情况,制定了《中华人民共和国法定计量单位》。在此基础上介绍相关的化学计量知识:物质的量与阿伏加德罗定律。

一、物质的量及其单位——摩尔

“物质的量”是用来表示组成物质的基本单元数目多少的物理量,是国际单位制中7个基本物理量之一(它们分别为:长度、质量、时间、电流强度、发光强度、温度、物质的量)。“物质的量”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 ,单位为摩尔(mol),简称摩。这是1971年10月,由41个国家参加的第14届国际计量大会正式通过的“物质的量”的单位。

在“物质的量”中规定,以 $0.012 \text{ kg } ^{12}\text{C}$ 中所含的原子数目(1 mol,阿伏加德罗常数)作为标准来衡量其他微粒集体所含的微粒数目。由于 $0.012 \text{ kg } ^{12}\text{C}$ 中所含的碳原子数目约为 6.02×10^{23} 个,将这个数值称为阿伏加德罗常数,符号为 N_A 。因此, 6.02×10^{23} 常用来近似表示阿伏加德罗常数的数值。

1 mol ^{12}C 含有约 6.02×10^{23} 个 ^{12}C 原子。

1 mol O_2 含有阿伏加德罗数个 O_2 分子。

0.5 mol Cl^- 含有 $0.5 N_A$ 个 Cl^- 离子。

采用“摩尔数”来代替物质的量是不对的,就象不宜用“米数”来代替“长度”一样。正确理解基本单元的含义,对正确运用物质的量及其单位摩尔是一个关键,基本单元不仅包括由原子、分子、电子等微粒构成的物质中存在的复杂结构单元,如络离子、大分子等,也包括根据研究需要想象其存在的单元。因此,在使用物质的量时,必须用化学式指明微粒和种类,一般不用该微粒的中文名称,以免引起混淆。如 1 mol H 或 1 mol H_2 ,而不用“1 mol 氢”这样的表述。



在讨论物质的量时,应分清物质的量与质量的关系。物质的量与质量是两个不同的概念,质量是代表物质惯性大小的物理量,它与物质的量是两个完全具有不同量纲的物理量。例如,1 mol H_2 与 1 mol O_2 ,从物质的量来说,它们之间的比为 1 : 1,但它们的质量比为 1 : 16,显然二者是不相等的。

二、摩尔质量

我们知道,1 mol 不同物质中所含的分子、原子或离子的数目是相同的,但由于不同粒子的质量不同,因此 1 mol 不同物质的质量也不同。那么 1 mol 不同物质的质量究竟是多少呢?

一种元素的相对原子质量是以 0.012 kg ^{12}C 质量的 1/12 作为标准,其他元素的原子质量跟它相比较后所得到的。通过对物质的量概念的学习,1 mol ^{12}C 的质量为 0.012 kg,即 0.012 kg 是 6.02×10^{23} 个 ^{12}C 的质量。利用 1 mol 任何粒子集体中都含有相同数目的粒子这个关系,就可以推知 1 mol 任何粒子的质量。例如,1 个 ^{12}C 与 1 个 ^1H 的质量比约为 12 : 1。因此,1 mol ^{12}C 与 1 mol ^1H 的质量比也约为 12 : 1。由于 1 mol ^{12}C 的质量为 0.012 kg。所以,1 mol ^1H 的质量也就为 0.001 kg。

对于原子来说,1 mol 任何原子的质量以克为单位,在数值上就等于该种原子的相对原子质量。例如,N 的相对原子质量为 14,1 mol N 的质量为 14 g。

对于分子来说,1 mol 任何分子的质量以克为单位,在数值上就等于该种分子的相对分子质量(或式量)。例如, O_2 的相对分子质量为 32,1 mol O_2 的质量为 32 g; NaCl 的式量为 58.5,1 mol NaCl 的质量为 58.5 g。

离子是原子得到或失去电子形成的。由于电子的质量很小。因此,原子在得到或失去电子后的质量仍然近似等于原子的质量。所以对简单离子来讲,1 mol 任何离子的质量以克为单位,在数值上等于形成该种离子对应原子的相对原子质量。例如, Na^+ 的相对原子质量为 23,1 mol Na^+ 的质量为 23 g。

综上所述,以克为单位,1 mol 任何原子、分子或离子的质量在数值上都与该粒子相对原子质量或相对分子质量相等。将单位物质的量的物质所具有的质量称为摩尔质量。也就是说,物质的摩尔质量是该物质的质量与对应物质的量之比。摩尔质量的符号为 M ,常用的单位为 $\text{g} \cdot \text{mol}^{-1}$ 或 $\text{kg} \cdot \text{mol}^{-1}$ 。

对于上面所举例子来说,它们的摩尔质量分别为:

N 的摩尔质量为 $14 \text{ g} \cdot \text{mol}^{-1}$;

O_2 的摩尔质量为 $32 \text{ g} \cdot \text{mol}^{-1}$;

NaCl 的摩尔质量为 $58.5 \text{ g} \cdot \text{mol}^{-1}$;

Na^+ 的摩尔质量为 $23 \text{ g} \cdot \text{mol}^{-1}$ 。

物质的量(n)、物质的质量(m)和物质的摩尔质量(M)之间存在着如下关系:

$$n = m/M \quad (1-1)$$

例 1-1 计算 215 g NaCl 中的 Na^+ 数目。

解: $M(\text{NaCl}) = 58.5 \text{ g} \cdot \text{mol}^{-1}$ $N_A = 6.02 \times 10^{23}$

$n = m/M = 215/58.5 = 3.68 \text{ mol}$

所以,NaCl 中的 Na^+ 数目为: $N_A \times n = 6.02 \times 10^{23} \times 3.68 \approx 2.22 \times 10^{24}$ 个。

三、气体摩尔体积

在标准状况(STP; 273K、 $1.01 \times 10^5 \text{ Pa}$)下,单位物质的量的理想气体(1 mol)所占的体积



都约为 22.4 L , 这个体积称为气体的摩尔体积, 单位是 $\text{L} \cdot \text{mol}^{-1}$ (升每摩尔), 即标准状况下, 记为: $V_m = 22.4 \text{ L} \cdot \text{mol}^{-1}$ 。气体摩尔体积不是固定不变的, 它决定于气体所处的温度和压强, 在运用气体摩尔体积时一定要注意条件。

利用气体摩尔体积可求出未知化学式的气体摩尔质量和相对分子质量, 也可求出 1 L 气体的质量即气体密度。反之也可由气体密度求摩尔质量。其基本计算公式如下。

$$V_m = V/n \quad (1-2)$$

例 1-2 在标准状况时, 0.5 L 的容器中含有氧气的质量为 0.7143 g , 计算氧气的相对分子质量。

解: 根据气体的摩尔体积可以计算出氧气的摩尔质量, 再由摩尔质量的数值得到氧气的分子量。

$$M_{\text{O}_2} = \rho_{\text{O}_2} \times V_{m(\text{O}_2)} = \frac{0.7143}{0.5} \times 22.4 = 32 \text{ g} \cdot \text{mol}^{-1}$$

答: 氧气的相对分子质量为 32。

四、阿伏加德罗定律及其推论

(1) 阿伏加德罗定律: 指在同温同压下, 相同体积的任何气体含有相同的分子数。这是一条有关气体的普遍规律。气体的体积是指所含分子占据的空间, 通常条件下, 气体分子间的平均距离约为分子直径的 10 倍。因此, 当气体所含分子数确定后, 气体的体积主要决定于分子间的平均距离而不是分子本身的大小。

(2) 阿伏加德罗定律的推论: 在求算气态物质分子式、相对分子质量时, 恰当使用阿伏加德罗定律的一些推论, 将很方便地解决问题。阿伏加德罗定律及推论都可由理想气体状态方程及其变形推出, 得到如下推论:

1) 在同温同压的条件下, 相同体积任何气体的质量比等于其摩尔质量(相对分子质量)之比, 同时等于密度比。即: $m_1 : m_2 = M_1 : M_2 = \rho_1 : \rho_2$

2) 在同温同压的条件下, 两气体的体积之比等于其分子数之比, 等于其物质的量之比。即: $V_1 : V_2 = N_1 : N_2 = n_1 : n_2$

3) 在同温同体积的条件下, 两气体的压强之比等于其分子数之比, 等于其物质的量之比。即: $P_1 : P_2 = N_1 : N_2 = n_1 : n_2$

4) 在同温同压的条件下, 两气体的密度之比等于其摩尔质量(相对分子质量)之比。即: $\rho_1 : \rho_2 = M_1 : M_2$

5) 在同温同压同质量的条件下, 两气体的体积与其摩尔质量(相对分子质量)成反比。即: $V_1 : V_2 = M_2 : M_1$

6) 在同温同分子数(或等物质的量)的条件下, 两气体的压强与其体积成反比。即: $V_1 : V_2 = P_2 : P_1$

7) 在同温同体积同质量的条件下, 两气体的压强与其摩尔质量(相对分子质量)成反比。即: $P_1 : P_2 = M_2 : M_1$



第四节 化学方程式

化学方程式, 即化学反应方程式, 是用化学式表示不同物质之间化学反应的式子。化学方



程式反映的是客观事实。因此书写化学方程式要遵守两个原则：一是必须以客观事实为基础，绝不能凭空想象、臆造事实上不存在的物质和化学反应；二是要遵守质量守恒定律，等号两边各原子种类与数目必须相等。

质量守恒定律是第一个关于化学变化的基本定律，它表示参加化学反应的各物质的质量总和，等于反应后生成的各物质的质量总和。因为在化学反应中，原子不生不灭，只是相互间结合的关系发生改变。

一、化学反应基本类型

(一)化合反应

由两种或两种以上物质反应生成另一种物质的反应， $A+B\rightarrow AB$ 。

- (1)金属与氧气反应，如： $2Cu+O_2\longrightarrow 2CuO$
- (2)非金属与氧气反应，如： $4P+5O_2\longrightarrow 2P_2O_5$
- (3)非金属氧化物+水 $\rightarrow$ 酸，如： $CO_2+H_2O\longrightarrow H_2CO_3$
- (4)金属氧化物+水 $\rightarrow$ 可溶性碱，如： $Na_2O+H_2O\longrightarrow 2NaOH$

(二)分解反应

由一种反应物生成2种或2种以上其他物质的反应， $AB\rightarrow A+B$ 。

- (1)含氧化合物分解产生氧气，如： $2KClO_3(MnO_2\text{作催化剂})\longrightarrow 2KCl+3O_2\uparrow$
- (2)其它分解反应，如： $NH_4HCO_3\longrightarrow NH_3\uparrow+H_2O+CO_2\uparrow$

(三)置换反应

由一种单质和一种化合物反应生成另一种单质和另一种化合物， $A+BC\rightarrow B+AC$ 。

- (1)氢气+金属氧化物 $\rightarrow$ 金属+水，如： $H_2+CuO\longrightarrow Cu+H_2O$
- (2)碳+金属氧化物 $\rightarrow$ 金属+二氧化碳，如： $3C+2Fe_2O_3\longrightarrow 4Fe+3CO_2\uparrow$
- (3)活泼金属+酸 $\rightarrow$ 盐+氢气，如： $Zn+H_2SO_4\longrightarrow ZnSO_4+H_2\uparrow$
- (4)金属+盐溶液 $\rightarrow$ 新金属+新盐，如： $Fe+CuSO_4\longrightarrow Cu+FeSO_4$

(四)复分解反应

由两种化合物相互交换成分生成另外两种化合物的反应， $AB+CD\rightarrow AD+CB$ 。

- (1)金属氧化物+酸 $\rightarrow$ 盐+水，如： $Fe_2O_3+6HCl\longrightarrow 2FeCl_3+3H_2O$
- (2)酸+碱 $\rightarrow$ 盐+水(中和反应)，如： $Al(OH)_3+3HCl\longrightarrow AlCl_3+3H_2O$
- (3)酸+某些盐反应 $\rightarrow$ 新酸+新盐，如： $CaCO_3+2HCl\longrightarrow CaCl_2+H_2O+CO_2\uparrow$
- (4)碱+盐 $\rightarrow$ 新碱+新盐，如： $Na_2CO_3+Ca(OH)_2\longrightarrow 2NaOH+CaCO_3\downarrow$
- (5)盐+盐 $\rightarrow$ 新盐+新盐，如： $NaCl+AgNO_3\longrightarrow NaNO_3+AgCl\downarrow$

二、根据化学方程式计算

根据化学方程式的计算是从量的方面研究物质变化的一种方法，它是化学计算中最重要的形式之一。这种形式的计算主要是根据化学方程式提供的各物质之间的物质的量比来计算有关物质的质量。因此在进行计算时必须注意以下几点：(1)化学方程式必须书写正确，尤其是要重视化学式中的角码和化学方程式的配平。(2)有关物质的相对原子质量及物质之间的质量计算要准确，特别是在物质的化学式前有系数时，必须要用物质的相对原子质量去乘以系数得出的相对原子质量的总和后再代入化学方程式进行计算。(3)遇到某物质是混合物的质量、微粒



数或气体体积时,要充分利用物质的量、摩尔质量、阿伏加德罗常数、气体摩尔体积、阿伏加德罗定律及其推论等知识。

例 1-3 利用铝热法还原 Fe_2O_3 生成熔融的铁,其反应方程式为: $2\text{Al} + \text{Fe}_2\text{O}_3 = \text{Al}_2\text{O}_3 + 2\text{Fe}$,求用铝热法还原 100 g 含 80% Fe_2O_3 的铁矿粉,可以得到多少铁?

解:可以得到铁 x g。

方法一:根据方程式利用质量进行计算。

$$\begin{array}{rcccl} 2\text{Al} & + & \text{Fe}_2\text{O}_3 & = & \text{Al}_2\text{O}_3 & + & 2\text{Fe} \\ (55.85 \times 2 + 16.00 \times 3) & & & & 55.85 \times 2 & & \\ 100 \text{ g} \times 80\% & & & & x \text{ g} & & \\ (55.85 \times 2 + 16.00 \times 3) : 55.85 \times 2 = 100 \text{ g} \times 80\% : x \text{ g} & & & & & & \\ x = 56.0 \text{ g} & & & & & & \end{array}$$

方法二:根据方程式利用物质的量进行计算。

$$\begin{array}{rcccl} 2\text{Al} & + & \text{Fe}_2\text{O}_3 & = & \text{Al}_2\text{O}_3 & + & 2\text{Fe} \\ & & \frac{80 \text{ g}}{159.7 \text{ g/mol}} & & & & \frac{x \text{ g}}{55.85 \text{ g/mol}} \\ 1 : 2 = \frac{80 \text{ g}}{159.7 \text{ g/mol}} : \frac{x \text{ g}}{55.85 \text{ g/mol}} & & & & & & \\ x = 56.0 \text{ g} & & & & & & \end{array}$$

本章内容提要

1. 物质的组成

分子、原子、元素、核素、单核元素、多核元素、相对原子质量、相对分子质量等基本概念。

2. 物质的分类

纯净物、混合物、单质、氧化物、酸、碱、盐等的定义与分类。

3. 相关的化学计量知识

(1) 物质的量及其单位——摩尔。

(2) 摩尔质量——1 mol 物质所具有的质量称为摩尔质量。常用的单位为 $\text{g} \cdot \text{mol}^{-1}$ 。

(3) 气体摩尔体积——在标准状况下,1 mol 理想气体所占的体积约为 22.4 L。

(4) 阿伏加德罗定律及其推论——在同温同压下,相同体积的任何气体含有相同的分子数。

(5) 两个重要公式: $n = m/M$, $V_m = V/n$ 。

4. 化学方程式

(1) 质量守恒定律。

(2) 化学反应的基本类型。

(3) 根据化学方程式计算。

巩固练习

一、单项选择题

1. 关于氧气和铁的构成,下列说法正确的是()

A. 由氧元素、铁分子构成

B. 由氧分子、铁原子构成

C. 由氧原子、铁原子构成

D. 由氧原子、铁分子构成

2. 下列说法正确的是()



- A. 1 mol H_2 的质量是 1g
 B. 1 mol HCl 的质量是 $36.5 g \cdot mol^{-1}$
 C. Cl_2 的摩尔质量等于它的相对分子质量
 D. 硫酸根离子的摩尔质量是 $96 g \cdot mol^{-1}$
3. 下列叙述中, 正确的是()
 A. 摩尔表示物质的量的单位, 每摩尔物质含有阿伏加德罗常数个微粒
 B. 阿伏加德罗常数没有单位
 C. “物质的量”指物质的质量
 D. 12g 碳所含的原子数就是阿伏加德罗常数
4. 下列各组物质中, 含原子数最多的是()
 A. 0.4 mol 氨气 B. 4 °C 时 5.4 mL 水 C. 10g 氖气 D. 6.02×10^{23} 个硫酸分子
5. 下列说法错误的是()
 A. 6.02×10^{23} 是阿伏加德罗常数的近似值
 B. 1 mol O_2 含有 6.02×10^{23} 个氧原子
 C. 含有阿伏加德罗常数个粒子的物质就是 1 mol
 D. 1 mol ^{12}C 的质量是 12g
6. 某气体物质质量为 6.4 g, 含有 6.02×10^{22} 个分子, 则该气体的相对分子质量为()
 A. 64 B. 32 C. 96 D. 32
7. 下列反应中不是置换反应的是()
 A. $2Na + 2H_2O = 2NaOH + H_2 \uparrow$ B. $C + 2CuO = 2Cu + CO_2 \uparrow$
 C. $2Mg + CO_2 = 2MgO + C$ D. $3CO + Fe_2O_3 = 2Fe + 3CO_2$
8. 在加热的条件下, 用足量的 H_2 还原 8 g CuO, 充分反应后所生成铜的质量为()
 A. 3.2g B. 6.4g C. 4g D. 6g
9. 电解 9g H_2O , 生成氢气的质量为()
 A. 1 g B. 4 g C. 11 g D. 8 g
10. 相同物质的量的各固体或液体的体积并不同, 其主要原因是()
 A. 粒子的大小不同 B. 粒子的质量不同
 C. 粒子间距离不同 D. 粒子间作用力不同

二、填空题

1. 含有相同氧原子数的 CO_2 和 CO 的物质的量之比为()
2. 1999 年, 比利时的“二恶英污染鸡”事件轰动全球, 焚烧生活垃圾也会产生二恶英。二恶英是有机物, 其中毒性较大的是一种化学式为 $C_{12}H_4O_2Cl_4$ 的物质, 该物质的相对分子质量是(), 氧元素与氯元素的质量比是()。
3. 同温同压下, 甲、乙两容器分别盛有甲烷和氨气, 已知他们的所含有原子数相同, 则甲、乙两容器的体积比是()
4. 书写化学方程式要遵守两个原则: 一是必须以客观事实为依据, 二是要遵守()。
5. 实验室用氯酸钾和二氧化锰的混合物共 4 g 制取氧气。加热到不再产生氧气时, 将剩余固体冷却后称量, 质量为 3.04 g, 则原混合物中氯酸钾的质量是()g, 二氧化锰占混合物的质量分数为()。

三、简答题及名词解释

1、1996 年, 科学家在宇宙深处发现了 H^{3+} 离子和 H_3 分子, 请回答:

- (1) 1 个 H^{3+} 含有多少个质子, 多少个电子?
 (2) H_3 属于单质还是化合物?



2. 缺铁性贫血是影响人类健康的一种疾病, 诺贝尔获奖者费舍尔分析卟啉铁($C_{34}H_{32}ClFeN_4O_4$)对缺铁性贫血有显著疗效。问: 卟啉铁中含有多少种元素, 1 个卟啉铁分子含有多少个碳原子?

3. 相对原子质量:

4. 摩尔质量:

5. 气体摩尔体积:

四、计算题

1. 将 $0.5 \text{ mol Al}_2(\text{SO}_4)_3$ 溶于水配成溶液, 溶液中硫酸根离子的物质的量多少? 铝离子数目为多少?

2. 标准状况下, 1 L N_2 中含有 n 个 N_2 分子, 则阿伏加德罗常数为多少?

3. $71 \text{ g Na}_2\text{SO}_4$ 中含有 Na^+ 和 SO_4^{2-} 的数目分别是多少?

4. 将 7.9 g 的 KMnO_4 加热分解, 能得到标准状况下的氧气多少升? (标准状况下氧气的密度是 1.429 g L^{-1})

5. 将 13 g 锌与足量的稀硫酸反应, 计算可制得多少克氢气? 这些氢气在标准状况下占多大体积? (标准状况下氢气的密度为 0.09 g L^{-1})

6. 碳酸钙和盐酸反应的化学方程式为 $\text{CaCO}_3 + 2\text{HCl} = \text{CaCl}_2 + \text{H}_2\text{O} + \text{CO}_2 \uparrow$, 现有 180 g CaCO_3 和足量盐酸反应, 生成二氧化碳多少克?



第三章 分散系

学习要点

(1)掌握物质的量浓度、质量浓度、质量摩尔浓度、质量分数等溶液组成量度的不同表示方法及其相互换算。

(2)掌握难挥发性非电解质稀溶液的依数性及溶液的渗透压与医学之间的关系。熟悉胶体溶液的制备,性质,胶团的结构。

(3)了解分散系的分类、不同分散系的特点,以及高分子溶液和粗分散系的相关性质。



第一节 分散系概述

一、分散系的概念

在进行科学研究时,常把一部分物质与其余的物质划分开来作为研究对象,这种被划分出来的研究对象称为体系。一种物质或几种物质分散在另一种物质中所形成的体系称为分散体系,简称分散系。其中被分散的物质称为分散质或分散相;能容纳分散质的连续介质称为分散介质或分散剂。如葡萄糖氯化钠注射液,是将葡萄糖和氯化钠分散在水中形成的水溶液,其中葡萄糖和氯化钠是被分散的物质,是分散相,水是容纳分散质的物质,是分散剂。常用的生理盐水、氧化锌软膏等药剂以及与生命过程息息相关的各种体液(如血液、淋巴液、胃肠液及胆汁等)都是分散系。

二、分散系的分类

按照分散相微粒的大小,分散系可分为分子或离子分散系、胶体分散系和粗分散系三大类,由于粒子的粒径不同,不同分散系的性质也不同。

(一)分子或离子分散系

分散相是以分子或离子的形式存在,分散相微粒的直径小于 1nm ($1\text{nm}=10^{-9}\text{m}$) 的分散系称为分子或离子分散系,又称为真溶液,简称溶液。如碘酒、生理盐水、葡萄糖水溶液、 CuSO_4 溶液等。这种分散系具有澄清、透明、均匀、稳定的特点,久置,分散相和分散剂不易产生沉淀分离。药典中记载的大部分注射液如碳酸氢钠注射液、氯化钾注射液等都属于这种分散系。严格地说,溶液并不仅限于液态,还可以是气态溶液(如空气),或固态溶液(如合金)。不过常说的溶液是液态溶液。

溶液中的分散质也称为溶质,分散介质称为溶剂。水是最常用的溶剂,一般不指名溶剂的溶液都为水溶液。



(二) 胶体分散系

分散相微粒的直径在 $1\sim 100\text{nm}$ 之间的分散系称为胶体分散系,简称胶体。它包括溶胶和高分子溶液。固态分散相分散于液态分散介质中所形成的胶体称为胶体溶液,简称溶胶。其中分散相粒子称为胶粒,胶粒是由许多低分子、离子或原子聚集而成的,如氢氧化铁胶粒、金胶粒。胶体分散系中分散相的微粒,不能阻挡可见光的通过,也不易受重力的作用和分散剂分离,所以胶体分散系有一定的透明性和稳定性。

高分子化合物溶液的分散相是单个分子,但这个分子的相对分子质量达到几万到几百万,直径达到 $1\sim 100\text{nm}$,恰好在胶体分散系的范围,因此把蛋白质溶液、淀粉溶液等高分子化合物溶液也列入到胶体化学的研究对象。

(三) 粗分散系

分散相微粒的直径大于 100nm 的分散系称为粗分散系。根据分散相的状态不同,粗分散系又可分为悬浊液和乳浊液两种。固体分散在液体中形成的粗分散系称为悬浊液,如泥浆。液体分散在另一种互不相溶的液体中所形成的粗分散系称为乳浊液,如水和油剧烈震荡后所形成的就是乳浊液。

医药上用的悬浊液常称混悬剂,如用于治疗疥疮、痤疮的硫磺洗剂。医药上用的乳浊液常称为乳剂,如鱼肝油乳剂。

粗分散系的分散质颗粒大,用肉眼或普通显微镜都可以看到,能阻挡光线的通过,所以粗分散系不透明、浑浊、不均匀、不稳定。久置,分散相与分散剂会产生沉淀分离。医药上,混悬剂和乳剂在标签上应注明“用前摇匀”

分散系的分类情况及特征见表 3-1。

表 3-1 分散系的分类及特征比较

分散相粒子直径/nm	分散系类型		分散相组成	一般性质	实例
$<1\text{nm}$	分子离子分散系(真溶液)		小分子或离子	均相;稳定系统;扩散快、能透过滤纸和半透膜	氯化钠、氢氧化钾、葡萄糖等水溶液
$1\sim 100\text{nm}$	胶体分散系	溶胶	分子、离子或原子的聚集体	非均相;不稳定系统;扩散慢,能透过滤纸,不能透过半透膜	氢氧化铝、硫化砷、碘化银及金、银等单质溶胶
		高分子溶液	单个高分子	均相,稳定系统,扩散慢、能透过滤纸,不能透过半透膜	蛋白质、核酸等水溶液,橡胶的苯溶液
$>100\text{nm}$	粗分散系	乳浊液	液体小滴	非均相,不稳定系统;不能透过滤纸和半透膜	牛奶
		悬浊液	固体颗粒		泥浆水



第二节 溶液的组成量度及换算

溶液是由溶质和溶剂组成的分散体系,溶液不仅在日常生活、工农业生产和医疗卫生事业中得到广泛的应用,而且与生命过程密切相关,人体的组织间液、血液、淋巴液及各种分泌腺体都是溶液,体内的许多反应也都是在溶液中进行的。溶液的性质常常与溶液中溶质和溶剂的相对含量有关。给病人输液或用药时,必须规定药液的组成量度和用量。

溶液的组成量度旧称溶液的浓度。从 1983 年 7 月 1 日开始贯彻实施国家法定计量单位以后,单独使用“浓度”一词已有它特定的含义,它不能再作为一般的概念使用,应改称为溶液的组成量度。

一、溶液的组成量度表示方法

溶液的组成量度,表示在一定量溶液或溶剂中所含溶质的量。同一种溶液,其组成量度具有不同的表示方法,一类是用溶质与溶液(或溶剂)的相对量(比值)表示;另一类是用一定体积溶液中所含溶质的量表示。其中,溶质的量可以是质量、物质的量或体积表示。在实际工作中,根据不同的需要,可选择不同的溶液组成量度表示。

(一)物质的量浓度

单位体积溶液中某溶质 B 的物质的量为溶质 B 的物质的量浓度,简称 B 的浓度,用符号 c_B 或 $c(B)$ 表示。其定义为:

$$c_B = \frac{n_B}{V} \quad (3-1)$$

式中: c_B 为溶质的物质的量浓度,单位 $\text{mol} \cdot \text{m}^{-3}$,医学上常用 $\text{mol} \cdot \text{L}^{-1}$ 、 $\text{nmol} \cdot \text{L}^{-1}$ 、 $\mu\text{mol} \cdot \text{L}^{-1}$; n_B 为溶质的物质的量,单位为 mol ; V 为溶液的体积,单位 m^3 ,常用升(L)或毫升(mL); B 为溶质的名称,用化学式表示。

在说明 c_B 时,应同时指明基本单元(B 表示基本单元)。基本单元可以是原子、分子、离子及其他粒子或这些粒子的特定的组合。例如, $c(\text{H}_2\text{SO}_4) = 0.1 \text{mol} \cdot \text{L}^{-1}$; $c(\text{H}^+) = 0.1 \text{mol} \cdot \text{L}^{-1}$ 。又如, $c(1/2\text{H}_2\text{SO}_4) = 0.1 \text{mol} \cdot \text{L}^{-1}$ 等。

必须注意,凡是说到溶质 B 的浓度就是专指 B 的物质的量浓度。

在计算溶质的物质的量 n 时,一般需要知道该物质的质量 m 和摩尔质量 M ,它们三者之间有以下关系:

$$n(\text{mol}) = \frac{m(\text{g})}{M(\text{g} \cdot \text{mol}^{-1})}$$

例 3-1 某 NaOH 溶液 500.0mL 中含有 0.5000mol 的 NaOH,试问该 NaOH 溶液的物质的量浓度为多少?

$$\text{解: } c(\text{NaOH}) = \frac{n(\text{NaOH})}{V} = \frac{0.5000 \text{mol}}{(500.0/1000) \text{L}} = 1.000 \text{mol} \cdot \text{L}^{-1}$$

即 NaOH 溶液的物质的量浓度为 $1.000 \text{mol} \cdot \text{L}^{-1}$ 。

例 3-2 正常人每 100mL 血清中含有 K^+ 19.5mg, Ca^{2+} 10mg, 计算这些离子的物质的量浓度。

$$\text{解: } c(\text{K}^+) = \frac{n(\text{K}^+)}{V} = \frac{m(\text{K}^+)/M(\text{K}^+)}{V}$$



$$= \frac{0.0195/39}{100/1000} (\text{mol} \cdot \text{L}^{-1}) = 0.005 \text{mol} \cdot \text{L}^{-1} = 5 \text{mmol} \cdot \text{L}^{-1}$$

$$c(\text{Ca}^{2+}) = \frac{n(\text{Ca}^{2+})}{V} = \frac{m(\text{Ca}^{2+})/M(\text{Ca}^{2+})}{V}$$
$$= \frac{0.010/40}{100/1000} (\text{mol} \cdot \text{L}^{-1}) = 0.025 \text{mol} \cdot \text{L}^{-1} = 2.5 \text{mmol} \cdot \text{L}^{-1}$$

即正常人血清中 K^{+} 的物质的量浓度为 $5 \text{mmol} \cdot \text{L}^{-1}$, Ca^{2+} 的物质的量浓度为 $2.5 \text{mmol} \cdot \text{L}^{-1}$ 。

(二) 质量浓度

单位体积溶液中某溶质 B 的质量称为溶质 B 的质量浓度, 用符号 ρ_B 表示, 其定义式为:

$$\rho_B = \frac{m_B}{V} \quad (3-2)$$

式中: m_B 为溶质 B 的质量, SI 单位是千克(kg), 常用克(g)或毫克(mg); V 为溶液的体积, SI 单位 m^3 , 常用升(L)或毫升(mL)表示; ρ_B 为溶液的质量浓度, SI 单位是 $\text{kg} \cdot \text{m}^{-3}$, 常用单位 $\text{g} \cdot \text{L}^{-1}$ 、 $\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$ 、 $\mu\text{g} \cdot \text{L}^{-1}$ 等。

世界卫生组织建议: (1) 凡是已知相对分子质量的物质在人体内的含量, 都用物质的量浓度单位取代旧单位制所表示的质量浓度单位。(2) 人体体液中少数相对分子质量还未精确测得的物质, 还不能用物质的量浓度表示其在人体内的含量, 可以仍暂用质量浓度表示。(3) 统一用升(L)作为单位的分母, 以避免过去用其他作不同分母时的混乱。例如人体血液葡萄糖含量的正常值, 过去常表示 $70 \sim 100 \text{mg}\%$, 按照法定计算单位应表示为 $c(\text{C}_6\text{H}_{12}\text{O}_6) = 3.9 \sim 5.6 \text{mmol} \cdot \text{L}^{-1}$ 。

如果是注射液, 则在注射液的标签上同时写明 ρ_B 和 c_B , 如氯化钠注射液, $\rho(\text{NaCl}) = 9.0 \text{g} \cdot \text{L}^{-1}$ 、 $c(\text{NaCl}) = 0.154 \text{mol} \cdot \text{L}^{-1}$ 。

例 3-3 按照我国药典规定, 注射用生理盐水的规格是 0.5L 生理盐水中含 NaCl 4.5g。求生理盐水的质量浓度?

解: 已知 $m(\text{NaCl}) = 4.5 \text{g}$, $V = 0.5 \text{L}$, 故

$$\rho_{\text{NaCl}} = \frac{m_{\text{NaCl}}}{V} = \frac{4.5}{0.5} = 9 \text{g} \cdot \text{L}^{-1}$$

即生理盐水的质量浓度是 $9 \text{g} \cdot \text{L}^{-1}$ 。

(三) 质量摩尔浓度

单位溶剂质量中溶质 B 的物质的量称为溶质 B 的质量摩尔浓度, 用符号 b_B 表示, 其定义式为

$$b_B = \frac{n_B}{m_A} \quad (3-3)$$

式中, n_B 为溶质的物质的量, 单位是摩尔(mol), m_A 为溶剂的质量, 单位是千克(kg), b_B 为质量摩尔浓度, SI 单位是 $\text{mol} \cdot \text{kg}^{-1}$ 。质量摩尔浓度的优点是不受温度的影响。对于极稀的水溶液来说, 其物质的量浓度与质量摩尔浓度的数值几乎相等。

例 3-4 将 0.27g 的 KCl(KCl 的摩尔质量为 $74.5 \text{g} \cdot \text{mol}^{-1}$) 溶于 100g 水中, 所得溶液的质量摩尔浓度为多少?

$$\text{解: } b(\text{KCl}) = \frac{n(\text{KCl})}{m(\text{H}_2\text{O})} = \frac{0.27 \text{g}/74.5 \text{g/mol}}{0.1 \text{kg}} = 0.036 \text{mol} \cdot \text{kg}^{-1}$$



即该溶液的摩尔质量浓度为 $0.036 \text{ mol} \cdot \text{kg}^{-1}$ 。

(四) 质量分数

溶液中溶质 B 的质量分数是溶质 B 的质量与溶液质量之比,用符号 ω_B 表示,其定义式为:

$$\omega_B = \frac{m_B}{m} \quad (3-4)$$

式中, m_B 是溶质质量, m 是溶液质量,由于质量分数是相同物理量之比,为同一量纲的量,单位为 1,例如,市售的浓盐酸的浓度可表示为 $\omega(\text{HCl}) = 0.38$ 。

对于由溶质 B 和溶剂 A 两种物质组成的溶液而言,溶质 B 和溶剂 A 的质量分数分别为:

$$\omega_B = \frac{m_B}{m_A + m_B} \quad \omega_A = \frac{m_A}{m_A + m_B}$$

$$\omega_A + \omega_B = 1$$

例 3-5 如何将 15g 氯化钠配制成 $\omega(\text{NaCl})$ 为 0.25 的氯化钠溶液?

解:

$$\omega_{\text{NaCl}} = \frac{m_{\text{NaCl}}}{m_{\text{NaCl}} + m_{\text{H}_2\text{O}}}$$

$$0.25 = \frac{15\text{g}}{15\text{g} + m_{\text{H}_2\text{O}}}$$

$$m_{\text{H}_2\text{O}} = 45 \text{ g}$$

即将 15g 固体 NaCl 溶于 45g 水中,可配制成 $\omega(\text{NaCl})$ 为 0.25 的氯化钠溶液。

(五) 体积分数

体积分数指同温同压下,混合气体或液体中组分 B 占有的体积(V_B)与混合物总体积(V)之比,用符号 φ_B 表示,其定义式为

$$\varphi_B = \frac{V_B}{V} \quad (3-5)$$

如:95%的乙醇,就表示在 100 体积的乙醇溶液中,乙醇占 95 体积,水占 5 体积(不考虑体积变化)。可表示为 $\varphi(\text{C}_2\text{H}_5\text{OH}) = 0.95$

体积分数也是相同物理量之比,在表达上同样以纯小数表示。将液体试剂稀释时,多采用这种浓度表示方法,体积分数也常用于气体分析中表示其一组分的含量。如空气中含氧 $\varphi_{\text{O}_2} = 0.21$,表示氧的体积占空气的体积的 21%。

例 3-6 20℃时,将 70.0mL 乙醇与 30.0mL 水混合,计算所得乙醇溶液中乙醇的体积分数。

解:乙醇溶液中乙醇的体积分数为:

$$\varphi(\text{C}_2\text{H}_5\text{OH}) = \frac{V(\text{C}_2\text{H}_5\text{OH})}{V(\text{C}_2\text{H}_5\text{OH}) + V(\text{H}_2\text{O})} = \frac{70.0}{70.0 + 30.0} = 0.7$$

即溶液中乙醇的体积分数为 0.7。

(六) 摩尔分数

摩尔分数是溶质 B 的物质的量与混合物总的物质的量之比,用符号 χ_B 表示。其表达式是:

$$\chi_B = \frac{n_B}{\sum_i n_i} \quad (3-6)$$

n_B 表示的是溶质 B 的物质的量, $\sum_i n_i$ 是混合物的总的物质的量。如果溶液由 A 和 B 两种组分组成,它们的量分别 n_A 为和 n_B ,其物质的摩尔分数分别为:



$$\chi_B = \frac{n_B}{n_A + n_B} \quad \chi_A = \frac{n_A}{n_A + n_B}$$

显然 $\chi_A + \chi_B = 1$

例 3-7 将 10g NaCl 和 90g 水配成溶液,问溶液中的 NaCl 和水的摩尔分数各为多少?

解:
$$n_{\text{NaCl}} = \frac{m_{\text{NaCl}}}{M_{\text{NaCl}}} = \frac{10\text{g}}{58.5\text{g/mol}} = 0.17\text{mol}$$

$$n_{\text{H}_2\text{O}} = \frac{m_{\text{H}_2\text{O}}}{M_{\text{H}_2\text{O}}} = \frac{90\text{g}}{18\text{g/mol}} = 5.00\text{mol}$$

则:
$$x_{\text{NaCl}} = \frac{n_{\text{NaCl}}}{n_{\text{NaCl}} + n_{\text{H}_2\text{O}}} = \frac{0.17\text{mol}}{0.17\text{mol} + 5.00\text{mol}} = 0.03$$

$$x_{\text{H}_2\text{O}} = 1 - x_{\text{NaCl}} = 1 - 0.03 = 0.97$$

即溶液中 NaCl 摩尔分数为 0.03,水的摩尔分数为 0.97。

二、溶液组成量度表示方法的换算

溶液组成量度的换算只是单位的变换,而溶质的量和溶液的量均未改变。在进行溶液组成量度表示方法的换算时,要充分理解各种溶液组成的表示方法。换算中,如果涉及质量与体积间的变换时,必须以溶液的密度为桥梁才能实现换算;如果涉及质量与物质的量间的变换时,必须以溶质摩尔质量为桥梁才能进行换算。

(一)物质的量浓度 c_B 与质量摩尔浓度 b_B 及质量浓度 ρ_B 的换算

1. 物质的量浓度与质量浓度的换算

c_B 与 ρ_B 的关系可以根据基本的公式进行推导:

已知 $\rho_B = \frac{m_B}{V}$, $n_B = \frac{m_B}{M_B}$, 则: $c_B = \frac{n_B}{V} = \frac{m_B/M_B}{V} = \frac{m_B}{V \cdot M_B} = \frac{\rho_B}{M_B}$

即 $\rho_B = c_B \times M_B$

例 3-8 输液用葡萄糖($\text{C}_6\text{H}_{12}\text{O}_6$)的浓度为 $c(\text{C}_6\text{H}_{12}\text{O}_6) = 280\text{mmol} \cdot \text{L}^{-1}$,其质量浓度是多少? 已知 $M(\text{C}_6\text{H}_{12}\text{O}_6) = 180\text{g} \cdot \text{mol}^{-1}$ 。

$M(\text{C}_6\text{H}_{12}\text{O}_6) = 180\text{g} \cdot \text{mol}^{-1}$ 解: $\because c(\text{C}_6\text{H}_{12}\text{O}_6) = 280\text{mmol} \cdot \text{L}^{-1} = 0.28\text{mol} \cdot \text{L}^{-1}$

$\therefore \rho(\text{C}_6\text{H}_{12}\text{O}_6) = c(\text{C}_6\text{H}_{12}\text{O}_6) \cdot M(\text{C}_6\text{H}_{12}\text{O}_6)$

$$= 0.28\text{mol/L} \times 180\text{g/mol} = 50.4\text{g} \cdot \text{L}^{-1}$$

即输液用葡萄糖的质量浓度是 $50.4\text{g} \cdot \text{L}^{-1}$ 。

2. 物质的量浓度 c_B 与质量摩尔浓度 b_B 的换算

c_B 与 b_B 的关系可以通过基本公式推导:

$$\begin{aligned} b_B &= \frac{n_B}{m_A} = \frac{n_B}{m - n_B \times M_B} = \frac{c_B \times v}{m - c_B \times v \times M_B} \\ &= \frac{c_B \times v}{1000 \times \rho \times v - c_B \times v \times M_B} = \frac{c_B}{1000 \times \rho - c_B \times M_B} \end{aligned}$$

例 3-9 生理盐水的物质的量浓度为 $0.154\text{mol} \cdot \text{L}^{-1}$,密度 $\rho = 1.0\text{kg} \cdot \text{L}^{-1}$,试计算生理盐水的质量摩尔浓度 b_B 及质量浓度 ρ_B 。

解: 根据推导公式:

$$b_B = \frac{c_B}{1000 \times \rho - c_B \times M_B}$$



$$= \frac{0.154}{1000 \times 1 - 0.154 \times 58.5}$$

$$= \frac{0.154}{991} (\text{mol} \cdot \text{g}^{-1})$$

$$= 0.153 (\text{mol} \cdot \text{kg}^{-1})$$

$$\rho_B = c_B \times M_B = 0.154 \times 58.5 = 9.0 \text{g} \cdot \text{L}^{-1}$$

即生理盐水的质量摩尔浓度 b_B 为 $0.153 (\text{mol} \cdot \text{kg}^{-1})$, 及质量浓度 ρ_B 为 $9.0 \text{g} \cdot \text{L}^{-1}$.

(二) 质量分数 ω_B 与物质的量浓度 c_B 、质量浓度 ρ_B 及质量摩尔浓度 b_B 换算

质量分数 ω_B 与物质的量浓度 c_B 、质量浓度 ρ_B 及质量摩尔浓度 b_B 的换算, 必须知道溶液的体积 V 和密度 ρ

因为 $m_{\text{溶液}} = 1000\rho \times V$ (ρ 的单位: $\text{kg} \cdot \text{L}^{-1}$)

所以

$$c_B = \frac{n_B}{V} = \frac{m_B}{M \cdot V} = \frac{m_{\text{溶液}} \times \omega_B}{M \cdot V} = \frac{1000\rho \times V \times \omega_B}{M \cdot V} = \frac{1000\rho \cdot \omega_B}{M} (\text{mol} \cdot \text{L}^{-1})$$

$$\rho_B = \frac{m_B}{V} = \frac{m_{\text{溶液}} \times \omega_B}{V} = \frac{1000\rho \times V \times \omega_B}{V} = 1000\rho \cdot \omega_B (\text{g} \cdot \text{L}^{-1})$$

$$b_B = \frac{n_B}{m_A} = \frac{m_B/M}{m_A} = \frac{m_{\text{溶液}} \cdot \omega_B/M}{m_{\text{溶液}} \cdot \omega_A} = \frac{\omega_B/M}{(1-\omega_B)} (\text{mol} \cdot \text{g}^{-1})$$

例 3-10 浓度为 $1.19 \text{g} \cdot \text{cm}^{-3}$, 质量分数 $\omega(\text{HCl})$ 为 0.37 的盐酸溶液, 其质量浓度 ρ (HCl), 质量摩尔浓度 $b(\text{HCl})$, 物质的量浓度 $c(\text{HCl})$ 各为多少, 已知 $M(\text{HCl}) = 36.5 \text{g} \cdot \text{mol}^{-1}$?

解: 由各溶液组成量度表示方法的定义及换算关系式得:

$$\rho(\text{HCl}) = (1000 \times 1.19) \times 0.37 = 4.40 \times 10^2 \text{g} \cdot \text{L}^{-1}$$

$$b(\text{HCl}) = \frac{0.37/36.5}{(1-0.37)/1000} = 16.1 \text{mol} \cdot \text{kg}^{-1}$$

$$c(\text{HCl}) = \frac{1.19 \times 0.37}{36.5} \times 1000 \text{mol} \cdot \text{L}^{-1} = 12.1 \text{mol} \cdot \text{L}^{-1}$$

即浓盐酸的质量浓度是 $4.40 \times 10^2 \text{g} \cdot \text{L}^{-1}$, 质量摩尔浓度为 $16.0 \text{mol} \cdot \text{kg}^{-1}$, 物质的量浓度是 $12.1 \text{mol} \cdot \text{L}^{-1}$ 。

三、溶液的配制

配制具有一定组成量度的溶液, 可采取纯物质加入溶剂、浓溶液稀释或不同组成量度的溶液相混合等方法。无论用哪一种方法, 都应遵守“配制前后溶质的量不变”的原则。

(一) 纯溶质溶解法配制溶液

1. 一定质量溶液的配制

称取一定质量的溶质与一定质量的溶剂, 然后将两者均匀混合即可。

例 3-11 如何配制 0.9% 的生理盐水 500g ?

解: 500g 0.9% 的生理盐水中含有溶质 NaCl 的质量:

$$m(\text{NaCl}) = 0.9\% \times 500 \text{g} = 4.5 \text{g}$$

配制该溶液所用溶剂水的质量为:

$$m(\text{H}_2\text{O}) = 500 \text{g} - 4.5 \text{g} = 495.5 \text{g}$$



配制:称量 4.5gNaCl 和 495.5g 水,溶解混合均匀即可得到 500g 的生理盐水。

2. 一定体积溶液的配制

将一定质量的溶质与适量的溶剂混合,待完全溶解后,再加溶剂至所需体积,搅拌均匀即可。

例 3-12 如何配制 $0.10\text{mol} \cdot \text{L}^{-1}$ 的氢氧化钠溶液 250mL?

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

根据题意,所需 NaOH 的质量为:

$$\begin{aligned} m(\text{NaOH}) &= 0.10\text{mol} \cdot \text{L}^{-1} \times \frac{250}{1000} \times 40\text{g} \cdot \text{mol}^{-1} \\ &= 4.0 \text{ g} \end{aligned}$$

配制:准确称量 4g 固体氢氧化钠,放入小烧杯内,加少量蒸馏水溶解后,转移至 250mL 容量瓶内。再用少量蒸馏水冲洗烧杯 2~3 次,冲洗后的液体一并转移至容量瓶内。加水至容量瓶刻度线的 $\frac{2}{3}$ 处时,摇匀。再加水至刻度线附近,改用胶头滴管滴加至刻度线,摇匀即可。

(二)浓溶液稀释法配制稀溶液

1. 计算的基本公式

$$c_1 \times V_1 = c_2 \times V_2 \quad (3-7)$$

$$\rho_1 \times V_1 = \rho_2 \times V_2 \quad (3-8)$$

c_1 、 c_2 分别为溶液稀释前后的溶质的物质的量浓度; ρ_1 、 ρ_2 分别指溶液稀释前后的溶质的质量浓度。 V_1 、 V_2 为稀释前后的体积。

例 3-13 配制 100mL $1.0\text{mol} \cdot \text{L}^{-1}$ 的 HCl 溶液,需质量分数为 37% 的浓盐酸(密度为 $1.19\text{g} \cdot \text{cm}^{-3}$ 多少毫升?

解:设需要浓盐酸体积为 $V(\text{HCl})$ mL,根据配制前后 HCl 的质量不变

$$V(\text{HCl}) \times 1.19\text{g}/\text{cm}^3 \times 37\% = 100\text{mL} \times 1.0 \times M(\text{HCl})$$

已知

$$M(\text{HCl}) = 36.5\text{g} \cdot \text{mol}^{-1}$$

可得

$$V(\text{HCl}) = 8.3\text{mL}$$

即配制 100mL $1.0\text{mol} \cdot \text{L}^{-1}$ 的 HCl 溶液,需质量分数为 37% 的浓盐酸 8.29mL。

配制:在通风橱中,量取浓盐酸 8.29mL 于 100mL 量筒中,加水稀释到 100mL,搅匀后倒入试剂瓶中。

第三节 稀溶液的依数性

当溶质溶于溶剂后,所形成的稀溶液的性质既不同于纯溶质,也不同于纯溶剂。这种变化可分为两类:一类是由溶质本性引起的。如溶液的颜色、密度、体积等的变化。另一类是与溶质的本性无关,只与溶质质点浓度或数量有关。如在溶剂中加入非挥发性溶质,能使溶剂的蒸气压降低,沸点升高,凝固点降低,并呈现渗透压力等。常把这类性质称为稀溶液的依数性。

一、溶液的蒸汽压下降

(一)纯溶剂的蒸气压(p^0)

蒸发是指液体液面上动能较高的分子克服液体分子间的引力自水面逸出的过程。凝结是



指气相的水分子不断运动而被液体分子吸引进入液体中的过程。

在密闭容器中,在纯溶剂的表面上,单位时间里有 N_0 个分子蒸发到上方空间中,随着上方空间里溶剂分子个数的增加,密度的增加,分子凝聚回到液相的机会增加,当密度达到一定数值时,单位时间里凝聚的分子的个数也达到 N_0 个。这时液体上方空间的蒸气密度不再改变,此时,蒸汽产生的压力称为纯溶剂的饱和蒸汽压,简称蒸汽压,用 p^0 表示。

如果蒸气的压力小于 p^0 时,液体继续气化,如图 3-1(a)和(b)所示;当蒸气压力大于 p^0 时,气体将凝结,如图 3-1(d)所示;只有当蒸气的压力等于 p^0 时,才达到气液平衡,如图 3-1(c)所示,此时,蒸气的压强不再改变,在一定的温度下是一个常数。

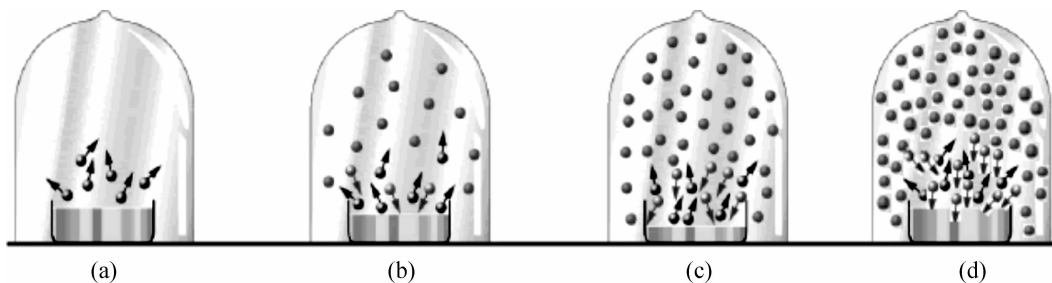


图 3-1 气体蒸汽压示意图

表 3-2 例举了几种液体在 293K 时的蒸汽压。从中可以看出,蒸汽压与液体的本性有关,不同的物质有不同的蒸汽压。

表 3-2 几种液体的饱和蒸汽压(293K)

物质	水	乙醇	苯	乙醚	汞
蒸汽压	2.34	5.85	9.96	57.74	0.16

蒸汽压还与温度有关。温度升高,蒸汽压增大。固体也具有一定的蒸汽压,温度升高,蒸汽压增大。通常把室温下蒸汽压大的称为易挥发性物质,如乙醚、乙醇、苯等;把蒸汽压较小的称为难挥发性物质,如蔗糖、食盐、硫磺、甘油等。

(二)溶液的蒸汽压下降

在一定温度下,纯溶剂的蒸汽压是个定值(p^0)。如果在溶剂中加入难挥发的电解质时,进入溶剂中的溶质分子要占据溶液中的部分液面,单位体积溶液中溶剂分子数就会减少,单位时间内逸出液面的溶剂分子数也会减少,当蒸发与凝结的速率达到相等时,溶液中的溶剂会在较低的蒸汽压下达达到气相和液相的平衡,这时蒸气的压力称为溶液的蒸汽压,用 p 表示,显然 $p < p^0$ 。这种现象称为溶液的蒸汽压下降(vapor pressure lowering),如图 3-2 所示。

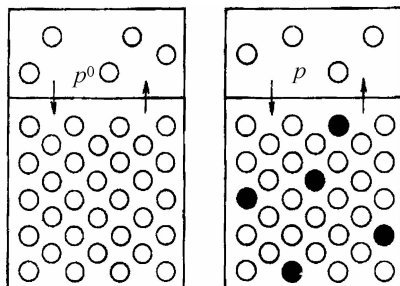


图 3-2 溶剂、溶液的蒸发示意图



显然,在一定的温度下,溶液的浓度越大,其蒸气压下降就越多,如图 3-3 所示。

1887 年法国化学家拉乌尔(Raoult F M.)根据大量实验结果得出下列结论:在一定温度下,难挥发性非电解质稀溶液的蒸汽压下降和溶解在溶剂中的溶质的摩尔分数成正比:

$$p = p^0 x_A \quad (3-9)$$

$$\text{或} \quad \Delta p = p^0 - p = p^0 x_B \quad (3-10)$$

式中, p 为溶液的蒸汽压, p^0 为纯溶剂的蒸汽压, x_A 为溶剂的物质的量分数, x_B 为溶质的物质的量分数。

在稀溶液中,因为 $n_A \gg n_B$, 所以

$$x_B = \frac{n_B}{n_A + n_B} \approx \frac{n_B}{n_A}$$

$$\begin{aligned} \Delta p &= p^0 x_B = p^0 \frac{n_B}{n_A} = p^0 \frac{n_B}{m_A / M_A} \\ &= p^0 \cdot M_A \cdot \frac{n_B}{m_A} = p^0 \cdot M_A \cdot b_B \end{aligned}$$

令 $K = p^0 \cdot M_A$

$$\text{则:} \quad \Delta p = K b_B \quad (3-11)$$

式(3-11)表明,温度一定时,稀溶液的蒸汽压下降值与溶液的质量摩尔浓度成正比,而与溶质的种类无关。

溶液的蒸汽压下降是溶液的依数性之一,可用于测定难挥发性非电解质的摩尔质量。

例 3-14 已知异戊烷 C_5H_{12} 的摩尔质量 $M = 72.15 \text{ g} \cdot \text{mol}^{-1}$, 在 20.3°C 的蒸汽压为 77.31 kPa 。现将一难挥发性非电解质 0.0697 g 溶于 0.891 g 异戊烷中,测得该溶液的蒸汽压降低了 2.32 kPa 。

(1) 试求出异戊烷为溶剂时 Raoult 定律中的常数 K ;

(2) 求加入的溶质的摩尔质量。

解:(1) 因为

$$K = p^0 M_A$$

所以

$$\begin{aligned} K &= p^0 M_A = 77.31 \text{ kPa} \times 72.15 \text{ g} \cdot \text{mol}^{-1} \\ &= 5578 \text{ kPa} \cdot \text{g}^{-1} \cdot \text{mol}^{-1} \\ &= 5.578 \text{ kPa} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{mol}^{-1} \end{aligned}$$

$$\Delta p = K b_B = K \frac{m_B}{M_B m_A}$$

(2) 根据

$$\Delta p = K b_B = K \frac{m_B}{M_B m_A}$$

有

$$\begin{aligned} M_B &= K \frac{m_B}{\Delta p \cdot m_A} \\ &= 5.578 \text{ kPa} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{mol}^{-1} \times \frac{0.0697 \text{ g}}{2.32 \text{ kPa} \times \frac{0.891}{1000} \text{ kg}} \end{aligned}$$

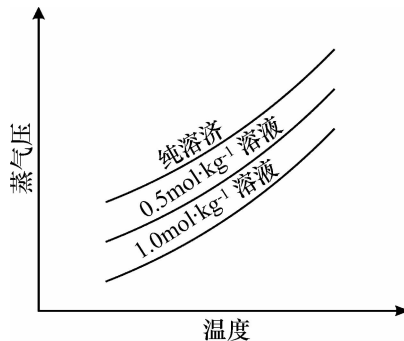


图 3-3 纯溶剂与溶液蒸汽压曲线



$$= 188 \text{ g} \cdot \text{mol}^{-1}$$

即异戊烷为溶剂时 Raoult 定律中的常数 K 为 $5.578 \text{ kPa} \cdot \text{g}^{-1} \cdot \text{mol}^{-1}$, 异戊烷中加入的溶质的摩尔质量 $188 \text{ g} \cdot \text{mol}^{-1}$ 。

二、溶液的沸点升高

(一) 液体的沸点

由于液体的蒸发过程是吸热过程, 所以, 液体的蒸气压将随着温度的升高而增大。当温度升高到液体的蒸气压等于外界大气压时, 液体将产生沸腾现象。因此从蒸气压的角度可将沸点定义为: 当一种液体的蒸气压等于外界大气压时的温度为该液体的沸点。达到沸点时, 继续加热液体, 此时的热能全部用于克服分子间作用力而不断蒸发, 液体的温度将不再上升, 直到液体蒸发完为止。因此, 纯液体的沸点是恒定的。

液体的沸点与外界大气压关系很大, 外界大气压力愈大, 液体的沸点就愈高。外压为 101.3 kPa 时的沸点称为正常沸点, 例如, 水的正常沸点为 373 K 。

液体的沸点随外界压力改变的性质, 已在生产、科学实验中得到广泛应用。例如, 在提取和精制对热不稳定的物质时, 常采用减压蒸馏或减压浓缩的方法以降低蒸发温度, 防止高温加热对这些物质的破坏; 而对热稳定的注射液以及某些医疗器械灭菌时, 常采用高压灭菌法, 即在密闭的高压消毒器内加热, 通过提高水蒸气的温度来缩短灭菌时间并提高灭菌效能。

(二) 溶液的沸点升高

在纯溶剂中加入难挥发性非电解质后, 引起溶液的蒸汽压下降, 这必然导致溶液的沸点升高。例如, 纯水的沸点为 373 K (100°C), 当在纯水中加入一种难挥发的溶质时, 由于溶液的蒸汽压下降, 在 373 K 时溶液的蒸汽压低于 101.3 kPa , 因而水溶液不会沸腾。要使溶液沸腾, 就必须升高温度到 T_b , 如图 3-4。所以溶液的沸点高于纯溶剂的沸点, 这种现象称为溶液的沸点升高 (boiling point elevation)。显然, 溶液浓度越大, 蒸汽压就越低, 溶液的沸点也越高。

注意, 纯溶剂的沸点是恒定的, 而溶液的沸点却不断变动, 因为随着沸腾的进行, 溶剂不断蒸发, 溶液的浓度不断增大, 其蒸气压不断下降, 沸点不断升高。直到形成饱和溶液时, 溶剂的沸点才恒定。因此, 溶液的沸点是指溶液刚开始沸腾时的温度。

溶液沸点升高的根本原因在于溶液的蒸气压下降, 而蒸气压下降的程度仅与溶液的浓度有关。因此, 溶液的沸点升高程度也只取决于溶液的浓度, 而与溶质的本性无关。

根据实验得知, 难挥发非电解质稀溶液的沸点升高也近似地与溶液的质量摩尔浓度成正比。可表示为:

$$\Delta T_b = T_b - T_b^0 = K_b b_B \quad (3-12)$$

式中: ΔT_b 为沸点升高数, 单位为 K ; b_B 为质量摩尔浓度, 单位为 $\text{mol} \cdot \text{kg}^{-1}$; K_b 为沸点升

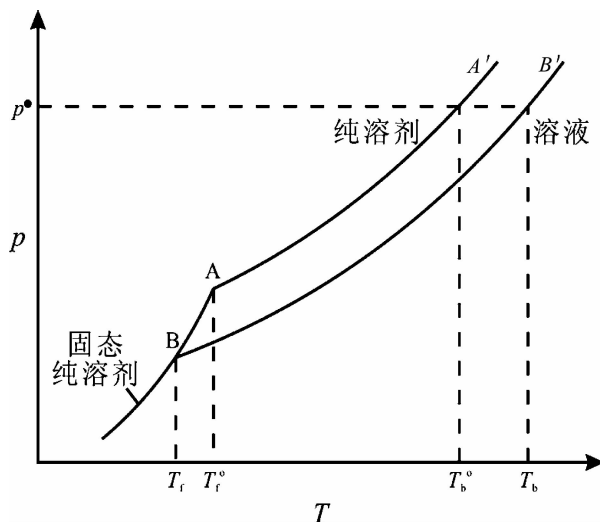


图 3-4 水、冰和溶液的蒸汽压与温度的关系



高常数,取决于溶剂的性质。

溶剂的沸点升高常数 K_b 在数值上相当于 1mol 溶质溶于 1kg 溶剂中,所引起的沸点升高度数,其值可通过实验确定。表 3-3 列出了一些常用溶剂的沸点升高常数。

表 3-3 常见溶剂的沸点(T_b°)及沸点升高常数(K_b)

溶剂	T_b°/K	$K_b/(\text{K} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{mol}^{-1})$
苯	491.0	5.80
樟脑	481.0	5.95
乙酸	391.0	2.93
水	373.0	0.51
环己烷	354.0	2.79
苯	353.0	2.53
乙醇	351.4	1.22
四氯化碳	349.7	5.03
氯仿	334.2	3.63
乙醚	307.7	2.02

例 3-15 在简陋的条件下,位于赤道附近用乙醚作为麻醉剂进行手术是困难的,因为乙醚的沸点低而气温高,加入难挥发性物质可以克服这一困难,如果赤道附近的气温为 38.0°C ,问难挥发性非电解质的乙醚溶液的质量浓度最低应为多少?

解:已知乙醚的沸点为 34.7°C , $K_b = 2.02 \text{ K} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{mol}^{-1}$

则:
$$b_B = \frac{\Delta T_b}{K_b} = \frac{38.0 - 34.7}{2.02} = 1.63 (\text{mol} \cdot \text{kg}^{-1})$$

即 加入乙醚中的难挥发非电解质的浓度最低应为 $1.63 \text{ mol} \cdot \text{kg}^{-1}$,才能达到手术要求。

三、溶液的凝固点降低

(一) 纯液体的凝固点

凝固点是指在一定外压下,物质的液相蒸汽压与固相蒸汽压相等时的温度,即其液相和固相能平衡共存时的温度。若两相蒸汽压不相等,则蒸汽压大的相自发地向蒸汽压小的相转化。因为蒸汽压较小的一相相对稳定。如图 3-4 中,AB 为冰的蒸汽压曲线,当温度为 273K 时,冰和水的蒸汽压均为 0.16kPa(曲线 AA' 和 AB 的交点 A 点),此时冰和水可以平衡共存,故水的凝固点为 273K(T_f°)。即在 273K 时,外压为 101.3KPa,水和冰的蒸汽压相等。

(二) 溶液的凝固点降低

实验表明,难挥发性非电解质稀溶液的凝固点总比纯溶剂的凝固点低,这一现象称为溶液的凝固点降低。

如果在 273K 冰水共存的系统中加入难挥发的非电解质,由于溶质只能溶解在水中,加入溶质只能使溶液中水的蒸气压下降,而对冰的蒸气压则无任何影响。此时溶液的蒸汽压小于冰的蒸汽压,这时溶液和冰就不能平衡共存,冰将不断融化。只有当温度降低至 B 点时,溶液的蒸汽压才与冰的蒸汽压相等,冰和水重新处于平衡状态,此时的温度已降至 T_f 。图 3-4 中的 T_f 便是溶液的凝固点。