



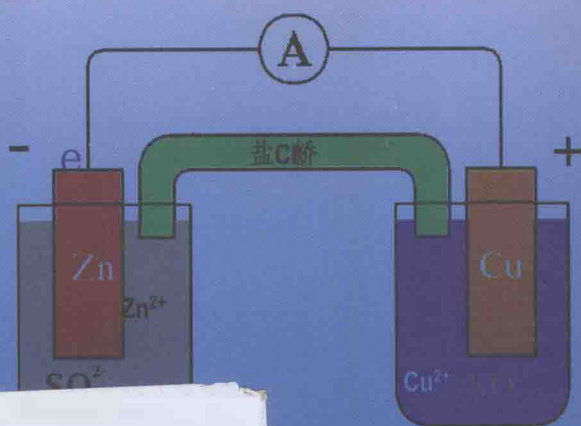
普通高等教育“十二五”规划教材

PUTONG GAODENG JIAOYU "12·5" GUIHUA JIAOCAI

# 无机化学

WU J I H U A X U E

主编◎刘梯楼 余金明



冶金工业出版社  
Metallurgical Industry Press



普通高等教育“十二五”规划教材

# 无机化学

主 编 刘梯楼 余金明

副主编 孙双姣 张运良 邹明静

编 者 (以姓氏笔画为序)

王英玲(山东菏泽医学专科学校)

王 娜(商丘医学高等专科学校)

刘梯楼(邵阳医学高等专科学校)

孙双姣(邵阳医学高等专科学校)

余金明(常德职业技术学院)

张运良(邵阳医学高等专科学校)

张志力(台州学院)

李海叶(广西师范大学)

邹明静(山东菏泽医学专科学校)

北 京

冶金工业出版社

2014

## 内 容 简 介

本书主要包括:分散系、化学反应速率和化学平衡、酸碱平衡、沉淀—溶解平衡、氧化还原与电极电势、原子结构、分子结构、配位化合物、元素及其重要化合物等无机化学基本内容。实验教学内容的重点在于无机化学基本操作,同时也穿插了一些设计性实验,以巩固学生的实验操作技能,培养学生综合设计能力和应用知识能力。力求为后续有机化学、分析化学及专业课程打好基础。

本书适合于普通高等院校、部分高职院校的分析化学,无机化学,医用化学及相关专业学生,研究人员参考阅读。

## 图书在版编目(CIP)数据

无机化学 / 刘梯楼等主编. —北京:冶金工业出版社, 2014. 6

普通高等教育“十二五”规划教材

ISBN 978-7-5024-6628-2

I. ①无… II. ①刘… III. ①无机化学—高等学校—教材 IV. ①061

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2014)第 083484 号

出 版 人 谭学余

地 址 北京北河沿大街嵩祝院北巷 39 号, 邮编 100009

电 话 (010)64027926 电子信箱 yjcbcs@cnmip.com.cn

ISBN 978-7-5024-6628-2

冶金工业出版社出版发行;各地新华书店经销;北京明兴印务有限公司印刷

2014 年 6 月第 1 版, 2014 年 6 月第 1 次印刷

787mm×1092mm 1/16; 18 印张; 435 千字; 286 页

36.00 元

冶金工业出版社投稿电话:(010)64027932 投稿邮箱:tougao@cnmip.com.cn

冶金工业出版社发行部 电话:(010)64044283 传真:(010)64027893

冶金书店 地址:北京东四西大街 46 号(100010) 电话:(010)65289081(兼传真)

(本书如有印装质量问题,本社发行部负责退换)

# 前言

本书是根据我国高职高专教育人才培养目标,结合当前高职高专教育发展趋势和教学实际,以及后续专业课程对无机化学课程需求的基础上,依据无机化学课程标准,以“必需为准,够用为度,实用为本”编写的。在编写过程中力求做到:

(1)在注意科学性、系统性和实用性的前提下,精简了部分偏深、应用性不强的化学理论知识,元素化学突出了“典型”和“应用”,并将一些与无机化学相关的专业知识,或与后续课程学习紧密相关的内容,以知识拓展的形式融入教材,同时还注意了教材内容与现行高中化学教材内容及生源已有的知识体系进行衔接,课程内容力求为相关医学专业服务、为后续专业课和基础课服务,体现以理论知识必备和够用为度、以培养思维能力和应用知识能力为本的特色。

(2)本书包括理论教学和实验教学两部分,理论教学内容由无机化学基本理论和元素化学两个知识板块组成,共 13 章,主要介绍了分散系、化学反应速率和化学平衡、酸碱平衡、沉淀—溶解平衡、氧化还原与电极电势、原子结构、分子结构、配位化合物、元素及其重要化合物等无机化学基本内容。实验教学内容的重点在于无机化学基本操作,同时,也穿插了一些设计性实验,以巩固学生的实验操作技能,力求为后续有机化学、分析化学及专业课程打好基础。

(3)在各章的开头列出了“学习要点”,方便学生预习和听课。在各章的结尾列出了“本章内容提要”和“巩固练习”,“巩固练习”均配有参考答案,便于教学。为了开阔学生视野,扩大知识面,提高学生学习兴趣,结合专业需要和现代无机化学的发展,有些章节编写了“知识拓展”。

(4)本书是按 80 学时(理论 56 学时、实验 24 学时)编写的,各学校可根据生源特点、培养方向和专业特色,对教材内容及教学课时进行设定。为了方便教学,教材各章配有 PPT 课件。

鉴于编者水平有限,书中不妥之处在所难免,敬请使用本书的同行专家及广大师生批评指正。

编者

2014 年 3 月



# 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、量化的、微观化的现代化的无机化学新体系。现代的无机化学已构建成一个庞大的学科群,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、定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);二是结构和性能的定量关系(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,

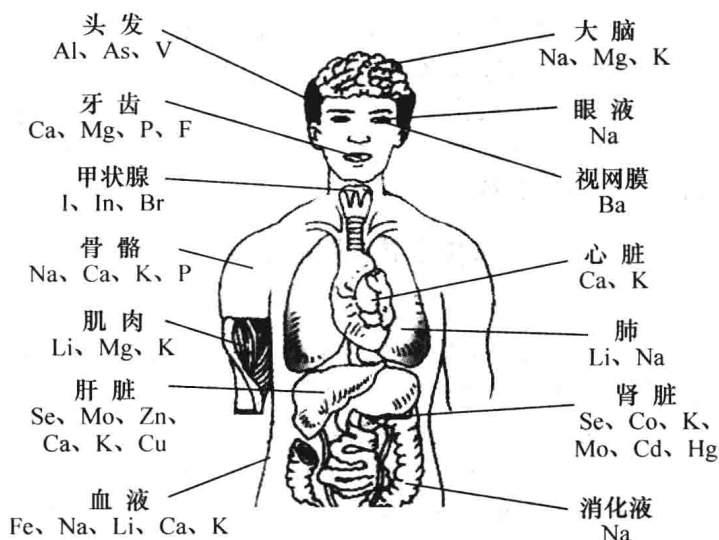


图 1-1 某些元素在人体中富集情况示意图

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、钼、硒、锗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,分子质量最小的是气,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  $5 \times 10^{12}$  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: $^{16}\text{O}$ 核素、 $^{17}\text{O}$ 核素、 $^{18}\text{O}$ 核素。将含有多种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 $^{12}\text{C}$ 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:

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

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 $^{12}\text{C}$ 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 $^{12}\text{C}$ 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 $^{12}\text{C}$ 核素的丰度(原子百分比)为98.89%,原子质量为12.00 u; $^{13}\text{C}$ 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:

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



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  $^{12}\text{C}$  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  $^{12}\text{C}$  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  $\text{u}$  表示)。如钠元素的相对原子质量为  $22.98977$ ,  $^{23}\text{Na}$  核素的原子质量等于  $22.98977\text{u}$ 。

(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  $^{12}\text{C}$  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  $\text{CO}$  分子是由一个  $\text{C}$  原子与一个  $\text{O}$  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  $M_r(\text{NaCl}) = 22.99 + 35.45 = 58.44$

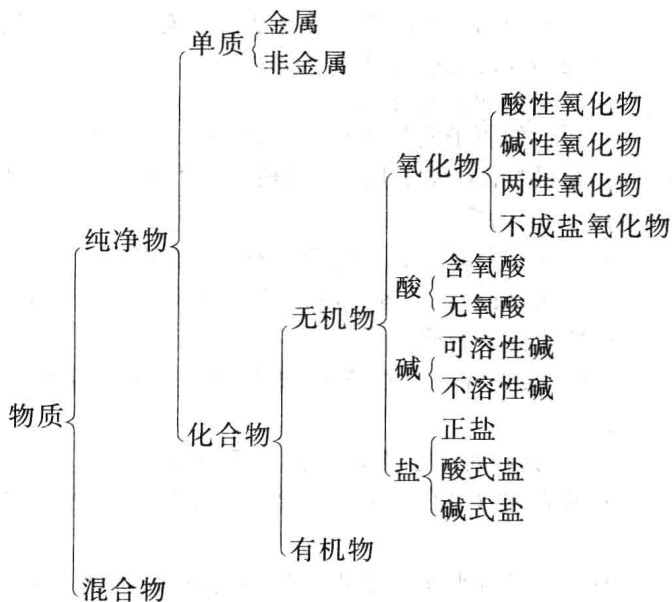
与相对原子量及原子质量相似, 要正确理解相对分子量及分子质量的含义。

## 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( $\text{Mg}$ )、干冰( $\text{CO}_2$ )、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( $\text{H}_2$ )、氦气( $\text{He}$ )属于非金属单质,而铁( $\text{Fe}$ )、铜( $\text{Cu}$ )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( $\text{H}_2\text{O}$ )、氢氧化钠( $\text{NaOH}$ )、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。



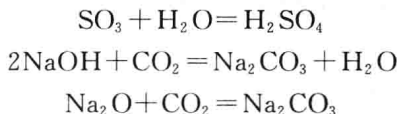
### 三、无机物与有机物

#### (一) 无机物

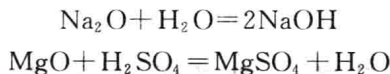
无机化合物简称无机物,指除碳、氢化合物及其衍生物以外一切元素及化合物,如水、食盐、硫酸、一氧化碳、二氧化碳、碳酸盐、氧化铝、氢氧化钠、硫酸铜等都属于无机物。绝大多数的无机物可以归入氧化物、酸、碱、盐等四大类。无机物多数是电解质,易溶于水,化学反应简单。

##### 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  $\text{Al}_2\text{O}_3$ 、 $\text{BeO}$ 、 $\text{Cr}_2\text{O}_3$ 、 $\text{ZnO}$  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  $\text{NO}$ 、 $\text{CO}$ 、 $\text{N}_2\text{O}$  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  $\text{H}^+$  的化合物称为酸;电离时产生的阴离子全部是  $\text{OH}^-$  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  $\text{HClO}_4$ 、氯酸  $\text{HClO}_3$ 、亚氯酸  $\text{HClO}_2$ 、次氯酸  $\text{HClO}$ 、原硅酸  $\text{H}_4\text{SiO}_4$ 、偏硅酸  $\text{H}_2\text{SiO}_3$ 、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  $\text{HCl}$ (俗称盐酸)、氢溴酸  $\text{HBr}$ 、氢硫酸  $\text{H}_2\text{S}$ 、氢氟酸  $\text{HF}$ 、氢碘酸  $\text{HI}$ 、氢氰酸  $\text{HCN}$  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, $\text{NaOH}$ 、 $\text{KOH}$ 、 $\text{Ba}(\text{OH})_2$ 、 $\text{NH}_3 \cdot \text{H}_2\text{O}$  等属于可溶性碱;其他可溶性碱有: $\text{RbOH}$ 、 $\text{CsOH}$ 、 $\text{LiOH}$ ;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  $\text{Mg}(\text{OH})_2$ 、氢  $\text{Cu}(\text{OH})_2$ 、 $\text{Fe}(\text{OH})_3$  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