

全国普通医药中专教材
全国普通医药中专教材建设委员会 组织编写

无机化学

Wu Ji Hua Xue

主编 陆永诚 主审 汤启昭

中国医药科技出版社

全国普通医药中专教材

无机化学

全国普通医药中专教材建设委员会 组织编写

主 编 陆永诚 (安徽省医药学校)

主 审 汤启昭 (中国药科大学)

参编人员 (按姓氏笔画排序)

库雪晶 (北京市医药器械学校)

陈 艳 (广州市医药学校)

张 霞 (河南省医药学校)

中国医药科技出版社

全国普通医药中专教材建设委员会名单

- 主任委员** 苏怀德 (中国医药教育协会常务副会长、原国家医药管理局科技教育司)
- 常务副主任委员** 王书林 (四川省医药学校)
- 副主任委员** 林锦兴 (山东省医药工业学校)
贾景华 (辽宁省医疗器械学校)
周晓明 (山西省中药材学校)
- 顾问** 齐宗韶 (广州市医药中等专业学校)
路振山 (天津市药科中等专业学校)
竺芝芬 (浙江省医药学校)
- 委员** 左淑芬 (河南省医药学校)
缪立德 (湖北省制药工业学校)
夏海云 (湖南省医药学校)
谢淑俊 (北京市医药器械学校)
贾江峰 (江西省医药学校)
唐介眉 (江苏省医药学校)
周琦 (安徽省医药学校)
周慧君 (上海市医药学校)
徐文强 (江苏省药科学校)
沃联群 (浙江省医药学校)
梁向东 (广州市医药中等专业学校)
汤浚溪 (天津市药科中等专业学校)
杨群华 (广东省医药学校)
缪存信 (福建省医药学校)
- 秘书** 刘佳 (四川省医药学校)

前 言

我国普通医药中等专业教育兴起于 20 世纪 50 年代。以后历经曲折，有一定进步。80 年代以来，在改革开放国策的指引下始获得巨大发展。历年来所培养的大量人才在推动全国医药事业的持续发展中起到了重要作用。

但是，几十年来医药中专教育一直缺少自己的规范化教材，长期存在着靠借用其他专业或其他层次教材应付教学急需的尴尬被动局面。原国家医药管理局科技教育司履行“指导全国药学教育”和“为基层服务”的职责，应各省普通医药中专学校的要求，于 80 年代后期开始组织各校共同编写教材，以解决各校之急需。经过几年实践，有关普通医药中专教材建设的规章制度日趋完善，遂于 1998 年正式成立全国普通医药中专教材建设委员会。该委员会隶属于中国医药教育协会的二级组织——职业技术教育委员会。本系列教材编写的基本依据是原国家医药管理局科技教育司颁布的全日制普通医药中等专业学校“指导性教学大纲汇编”（医药类各专业，1997 年 7 月），同时根据中等职业教育的改革发展和各地区的办学条件及对人才需求的差别，体现了一定的灵活性。

全国普通医药中专教材建设委员会的指导思想是：认真贯彻党的教育方针和职业教育法，面向 21 世纪，根据中等职业教育教学改革精神，搞好医药中专教材建设工作。教材建设的基本过程是：各校根据教学需要提出急需编写的教材建议；委员会从各校建议中确定分阶段编写的教材品种；各校根据委员会制订的对主编和参编人员的要求，申报主参编人员；经教材建设委员会审定，择优组成各门教材编写队伍。编写过程实行主编负责制，同时每门教材特聘主审一人，其主要职责是审定教材业务内容以保证质量。各校对教材工作均高度重视，纷纷派出优秀教师参加编写，中国医药科技出版社也给予了大力支持，才使得本系列教材建设能在较短时间内完成。

经各校的共同努力，第一阶段编写的 12 门教材、第二阶段编写的 14 门教材进展顺利，均将按计划供应教学使用。今后还将按实际需要组织第三阶段教材建设和若干教学参考书的编写，使新编写的中等教材形成较为完整的系列。这些工作在医药中等教育发展历史上具有首创意义，它对规范教材规格、确保教学质量、提高师资水平以及促进校际交流和团结都将会发挥重要作用。但本系列教材建设缺乏经验，时间又紧，因此某些部分略显粗糙是很难避免的，其质量如何也有待教学实践检验。教材建设委员会将组织制订教材质量评估体系，逐步开展教材评估和评优工作，以利于进一步的修订。

本套教材虽为中专教材，但也注意到与全国执业药师资格考试有关内容的衔接，不仅适合于普通医药中专教学之需，也适合对在职人员进行中等职业培训及有志自学者学习之需。

竭诚欢迎广大读者提供宝贵意见。

全国普通医药中专教材建设委员会

1999 年 2 月

编 写 说 明

随着科学技术的进步，医药事业也在迅速发展。为了培养跨世纪医药中等专业人员的需要，教材建设已迫在眉睫。为此，全国普通医药中专学校成立了教材建设委员会。《无机化学》是首批规划教材之一。

本书根据全日制普通医药中专的培养目标和原国家医药管理局一九九七年七月颁布的《无机化学》指导性教学大纲的具体要求进行编写。本教材充分体现中等医药教育立足于培养实用型人才的特点；理论联系实际，体现医药中专无机化学的特色；内容上力求做到有科学性、思想性、先进性、启发性和实用性；着重培养学生的自学能力、动手能力，提高他们分析问题和解决问题的能力；突出“应知”、“应会”。全书语言流畅，文字简练，通俗易懂。

教材中所用数据的单位均采用国家法定计量单位。

参加本教材编写的有安徽省医药学校高级讲师陆永诚（第一、三、四、七、八、十三章和实验五、六、十六），北京市医药器械学校讲师库雪晶（第二、五、六章和实验一、二、三、四、十一），广州市医药学校讲师陈艳（第十二、十四、十五章和实验十二、十三、十四、十五），河南省医药学校高级讲师张霞（第九、十、十一章和实验七、八、九、十）。全书由陆永诚统稿，中国药科大学汤启昭教授主审。

本文在编写过程中受到各兄弟学校和有关单位的大力支持和帮助，刘富林同志为本书的插图做了大量的工作，在此我们表示衷心感谢。

由于编者经验不足，水平有限，加上时间仓促，书中难免有错误及不当之处，敬请读者批评指正。

编 者
1999年1月

目 录

第一章 物质的量	(1)
第一节 物质的量的单位——摩尔	(1)
一、摩尔	(1)
二、摩尔质量	(2)
三、有关计算	(2)
第二节 气体摩尔体积	(4)
一、气体摩尔体积	(4)
二、有关计算	(5)
第三节 等物质的量规则	(6)
一、等物质的量规则	(6)
二、有关计算	(6)
习 题	(7)
第二章 溶液	(9)
第一节 溶液的概念	(9)
一、溶液的组成	(9)
二、溶解过程	(9)
三、溶解度	(10)
第二节 溶液的浓度	(12)
一、溶液浓度的表示方法	(12)
二、溶液浓度的换算	(14)
三、溶液的配制和稀释	(16)
第三节 稀溶液的依数性	(18)
一、溶液的蒸气压降低	(18)
二、溶液的沸点升高	(18)
三、溶液的凝固点降低	(18)
四、溶液的渗透压	(19)
习 题	(21)
第三章 原子结构和元素周期律	(22)
第一节 原子的组成	(22)
一、原子的组成	(22)
二、同位素	(23)
第二节 核外电子运动状态	(24)
一、电子云	(24)

二、核外电子运动状态	(25)
第三节 原子中电子的分布	(27)
一、泡利不相容原理	(27)
二、能量最低原理	(27)
三、洪德规则	(28)
第四节 元素周期律与元素周期表	(30)
一、元素周期律	(30)
二、元素周期表	(31)
三、元素某些性质在周期表中的递变规律	(33)
习 题	(36)
第四章 化学键与分子结构	(38)
第一节 离子键和离子化合物	(38)
一、离子键的形成	(38)
二、离子键的特征	(39)
三、离子型化合物	(39)
四、离子的结构特征对离子型化合物性质的影响	(40)
第二节 共价键和共价化合物	(41)
一、共价键的形成	(41)
二、共价键的特征	(43)
三、共价键的键型	(43)
四、杂化轨道理论	(44)
五、共价型物质	(47)
六、配位键	(47)
七、键的极性和分子的极性	(47)
第三节 金属键	(49)
第四节 分子间的作用力和氢键	(50)
一、分子间作用力	(50)
二、氢键	(51)
习 题	(52)
第五章 卤族元素	(54)
第一节 通性	(54)
第二节 卤素单质和卤化氢	(55)
一、卤素单质	(55)
二、卤化氢	(57)
第三节 常见的含卤化合物	(59)
一、卤化物	(59)
二、卤素的含氧酸盐	(62)
第四节 拟卤化合物	(63)
一、拟卤素	(63)

二、常见拟卤化合物	(63)
第五节 离子反应、离子方程式	(64)
一、离子反应和离子方程式	(64)
二、离子反应的类型	(65)
习 题	(66)
第六章 碱金属和碱土金属	(67)
第一节 金属的通性	(67)
一、物理性质	(67)
二、化学性质	(67)
第二节 碱金属和碱土金属的单质	(68)
一、概述	(68)
二、碱金属和碱土金属的性质和用途	(69)
第三节 碱金属和碱土金属的化合物	(71)
一、氧化物	(71)
二、氢氧化物	(71)
三、盐类	(72)
第四节 水的净化	(74)
一、饮用水的净化	(75)
二、硬水及其软化	(75)
三、纯水的制备	(76)
习 题	(77)
第七章 氧化还原反应	(78)
第一节 氧化还原的基本概念	(78)
一、氧化数	(78)
二、氧化与还原	(79)
三、氧化剂和还原剂	(80)
第二节 氧化还原反应式的配平	(82)
一、氧化数法	(82)
二、离子-电子法	(84)
第三节 电极电势与氧化还原	(85)
一、原电池	(85)
二、电极电势	(87)
三、金属的电化腐蚀与防腐	(94)
第四节 氧化还原反应在医药上的应用	(96)
一、在药物生产上的应用	(96)
二、在药物检验方面的应用	(96)
三、增强药物的稳定性	(97)
四、在消毒、杀菌和净水方面的应用	(97)
习 题	(98)

第八章 氧族元素	(100)
第一节 通性.....	(100)
第二节 过氧化氢.....	(101)
一、过氧化氢的结构和制备.....	(101)
二、过氧化氢的性质和用途.....	(101)
三、过氧化氢的鉴定.....	(102)
第三节 硫及硫化物.....	(103)
一、硫.....	(103)
二、硫化氢和氢硫酸.....	(103)
三、金属硫化物.....	(104)
第四节 硫的含氧化合物.....	(105)
一、二氧化硫、亚硫酸及其盐.....	(105)
二、三氧化硫、硫酸及其盐.....	(106)
三、硫代硫酸钠.....	(107)
习 题.....	(108)
第九章 化学反应速率和化学平衡	(110)
第一节 化学反应速率.....	(110)
第二节 影响化学反应速率的因素.....	(111)
一、活化能对反应速率的影响.....	(111)
二、浓度对反应速率的影响.....	(113)
三、压强对反应速率的影响.....	(114)
四、温度对反应速率的影响.....	(114)
五、催化剂对反应速率的影响.....	(115)
第三节 化学平衡.....	(116)
一、可逆反应与化学平衡.....	(116)
二、化学平衡常数 (K_c).....	(117)
三、有关化学平衡的计算.....	(119)
第四节 化学平衡移动.....	(120)
一、浓度对化学平衡的影响.....	(120)
二、压强对化学平衡的影响.....	(121)
三、温度对化学平衡的影响.....	(122)
四、化学平衡移动原理及应用.....	(123)
习 题.....	(124)
第十章 氮族元素	(126)
第一节 通性.....	(126)
第二节 氮、氨及铵盐.....	(127)
一、氮气.....	(127)
二、氨.....	(128)
三、铵盐.....	(129)

第三节 氮的含氧酸及其盐	(130)
一、亚硝酸及其盐	(130)
二、硝酸及其盐	(131)
第四节 磷、砷及其重要化合物	(133)
一、单质	(133)
二、磷的重要化合物	(135)
三、砷的重要化合物	(135)
习 题	(136)
第十一章 电解质溶液	(138)
第一节 电解质的分类	(138)
一、电解质和非电解质	(138)
二、电解质的分类	(138)
第二节 弱电解质的电离平衡	(140)
一、一元弱酸、弱碱的电离平衡	(140)
二、多元酸的电离平衡	(144)
第三节 水的电离和溶液的 pH	(145)
一、水的电离及离子积常数	(145)
二、溶液的酸碱性	(146)
三、溶液的 pH 及 pH 的计算	(146)
四、酸碱指示剂	(148)
第四节 盐类的水解	(149)
一、盐类的水解	(149)
二、盐类的水解类型	(150)
三、水解度	(151)
四、影响盐类水解的因素	(152)
第五节 酸碱理论简介	(152)
一、酸碱电离理论	(153)
二、酸碱质子理论	(153)
三、酸碱电子理论	(155)
第六节 缓冲溶液	(155)
一、同离子效应	(156)
二、缓冲溶液的概念及组成	(156)
三、缓冲作用的原理	(157)
四、缓冲溶液的 pH 计算	(158)
五、缓冲溶液的缓冲能力	(160)
六、缓冲溶液的配制	(161)
七、缓冲溶液在医药上的意义	(162)
第七节 难溶电解质的沉淀平衡	(163)
一、溶度积 (K_{sp})	(163)

二、溶度积与溶解度的换算	(165)
三、沉淀与溶解	(166)
四、溶度积规则在医药上的应用	(169)
习 题	(169)
第十二章 胶体溶液	(172)
第一节 分散系	(172)
一、分散系的概念	(172)
二、分散系的分类	(172)
第二节 胶体溶液	(173)
一、溶胶的制备	(173)
二、溶胶的性质	(174)
三、溶胶的稳定性和聚沉	(176)
第三节 高分子化合物	(177)
一、高分子化合物概念	(177)
二、高分子化合物溶液的特点	(177)
三、高分子化合物对胶体的保护作用	(178)
四、凝胶	(179)
习 题	(179)
第十三章 碳族元素和硼族元素	(180)
第一节 通性	(180)
一、碳族元素的通性	(180)
二、硼族元素的通性	(180)
第二节 碳及其重要化合物	(181)
一、碳	(181)
二、碳的氧化物	(182)
三、碳酸及其盐	(183)
第三节 硅、硼的重要化合物	(185)
一、二氧化硅	(185)
二、硅酸及其盐	(185)
三、硼酸及其盐	(186)
第四节 铝、铅及其重要化合物	(187)
一、单质	(187)
二、铝的重要化合物	(188)
三、铅的重要化合物	(189)
习 题	(190)
第十四章 配位化合物	(192)
第一节 配合物的基本概念及命名	(192)
一、配合物的概念	(192)
二、配合物的组成	(193)

三、配合物的结构	(195)
四、配合物的命名	(196)
第二节 配合物的性质	(197)
一、金属离子形成配离子时的性质改变	(197)
二、配合物的稳定性	(197)
第三节 螯合物	(199)
一、螯合物的概念	(199)
二、螯合物的稳定性	(199)
三、螯合物的形成条件	(200)
四、常见的螯合剂	(200)
第四节 配合物在医药上的应用	(201)
习 题	(201)
第十五章 过渡元素	(203)
第一节 过渡元素的主要特征	(203)
一、原子的结构特征	(203)
二、单质的相似性	(204)
三、多数过渡元素具有多种氧化态	(204)
四、氧化物及其水化物的酸碱性	(205)
五、过渡元素的水合离子和酸根离子常呈现一定的颜色	(205)
六、过渡元素的原子或离子容易形成配合物	(206)
第二节 铬、锰、铁的重要化合物	(206)
一、铬的重要化合物	(206)
二、锰的重要化合物	(207)
三、铁的重要化合物	(208)
第三节 铜、银及其重要化合物	(210)
一、单质	(210)
二、重要化合物	(210)
第四节 锌、汞及其重要化合物	(212)
一、单质	(212)
二、重要化合物	(212)
习 题	(214)
实验一、无机化学实验基本操作	(216)
实验二、溶液的配制	(222)
实验三、卤族元素的性质	(223)
实验四、碱金属和碱土金属	(226)
实验五、氧化还原反应	(227)
实验六、氧族元素的性质	(229)
实验七、化学反应速度与化学平衡	(231)
实验八、氮族元素的性质	(233)

实验九、电解质溶液	(235)
实验十、缓冲溶液与沉淀平衡	(237)
实验十一、药用氯化钠的制备与质量检验	(239)
实验十二、胶体溶液	(241)
实验十三、配合物的生成和性质	(242)
实验十四、铬、锰、铁	(244)
实验十五、铜、银、锌、汞	(245)
实验十六、实验考试	(247)
附 录	(248)
一、国际单位制的基本单位	(248)
二、常用计量单位换算	(248)
三、无机酸、碱在水中的电离常数 (298.15K)	(249)
四、难溶电解质的溶度积常数 (298.15K)	(250)
五、常见盐类和氢氧化物在水中的溶解性	(251)
参考文献	(252)

第一章 物质的量

提要 本章主要介绍计量指定的基本单元的物理量——物质的量、物质的量的单位——摩尔、1摩尔物质具有的质量——摩尔质量、在标准状况下，1摩尔气体物质占有的体积——气体摩尔体积及有关计算。

“物质的量”是一个基本物理量，是用于计量指定的微观基本单元，如原子、分子、离子等微观粒子或这些粒子的特定组合的一个物理量，常用符号 n 表示。“物质的量”是一个专用名词，不能分开和任意简化，如不能简化为“物质质量”。“物质的量”的单位是摩尔（符号为 mol）。

第一节 物质的量的单位——摩尔

一、摩尔

我们知道，物质是由原子、分子或离子等微粒构成。一个原子、分子或离子的质量是非常小且难以称量。但在实际应用中，我们所用的物质是可以称量的，也就是说可以称量的物质则一定是数目巨大的微粒集体，而不是几个微粒。因此，微粒集体和可以称量的物质必定存在着联系。为了把这些微粒集体和质量联系起来，1971年国际计量大会决定引入物质的量的单位——摩尔（mol），它是国际单位制中的一个基本单位。

科学上将 1mol 物质体系所包含的基本单元数目与 0.012kg¹²C（即碳原子核里有 6 个质子和 6 个中子的碳原子）的原子数目相等。那么 0.012kg¹²C 里含有多少个碳原子呢？根据实验测定，0.012kg¹²C 中含有碳原子数目是 6.02×10^{23} 个。此数值也可用计算得到，读者可根据 1 个¹²C 原子的质量为 1.993×10^{-26} kg，1mol¹²C 原子的质量为 0.012kg 计算验证），这个数值称为阿佛加德罗常数，用符号 N_A 表示。

综上所述，摩尔是物质的量的单位，1mol 物质体系含有阿佛加德罗常数个基本单元，凡含有阿佛加德罗常数个微粒集体的物质，其物质的量为 1mol。例如：

1mol 碳原子含有 N_A 个碳原子；1mol 氮分子含有 N_A 个氮分子；

1mol 水分子含有 N_A 个水分子；1mol 氢离子含有 N_A 个氢离子；

含有 N_A 个二氧化碳分子的物质体系，其二氧化碳的物质的量是 1mol；

含有 N_A 个氢氧根离子的物质体系，其氢氧根的物质的量是 1mol；

含有 N_A 个氯离子的物质体系，其氯离子的物质的量是 1mol。

不难算出 2mol 的物质体系含有 $2N_A$ 基本单元，含有 $2N_A$ 个基本单元其物质的量为 2mol。物质的微粒数与物质的量的关系如下：

$$\text{物质的微粒数 (个)} = \text{物质的量 (mol)} \times N_A \text{ (个/mol)}$$

在使用摩尔时，应注意以下几方面的问题：

(1) 一般应注明微粒的名称。例如, 1mol 氧分子不能说成 1mol 氧; 对化合物来说一般可以省略微粒的名称。例如, 1mol 水、1mol 硫酸。

(2) 摩尔原子、摩尔分子和摩尔离子不是单位。例如, 1mol 氢原子不能说成 1mol 原子氢; 1mol 水分子不能说成 1mol 分子水; 1mol 氢离子不能说成 1mol 离子氢。

(3) 应注意微粒的特定组合。例如, 1mol (2NaOH) 含有 N_A 个 (2NaOH) 基本单元或含有 $2N_A$ 个 NaOH 分子。

在药物分析上, 常用毫摩尔作为物质的量的单位, 二者的关系为 $1\text{mol} = 1000\text{mmol}$ 。

物质的量 n (mol) 能够把物质的微粒数、物质的质量、气体的体积等联系起来, 还能给化学计算带来方便。通过以下的学习, 便可体会到它的作用。

二、摩尔质量

物质的量为 1 摩尔时物质的质量称为摩尔质量, 用符号 M 表示, 单位是 kg/mol , 化学上常用 g/mol 表示。

根据摩尔的含义, 1mol ^{12}C 原子的质量是 12g (或 ^{12}C 原子的摩尔质量是 12g/mol)。由此可以推算任何物质的摩尔质量。例如, 1 个碳原子相对质量和 1 个氮原子的相对质量比是 12:14, 1mol 碳原子和 1mol 氮原子所含有的原子数相同, 其相对质量比也是 12:14。碳原子的摩尔质量是 12g/mol , 那么氮原子的摩尔质量就是 14g/mol 。同理, 1mol 任何原子的摩尔质量就是以 g/mol 为单位, 数值上等于该种原子的相对原子质量。例如:

氢的相对原子质量是 1, 氢原子的摩尔质量是 1g/mol ;

氧的相对原子质量是 16, 氧原子的摩尔质量是 16g/mol 。

用同样的方法可推知: 任何分子的摩尔质量就是以 g/mol 为单位, 数值上等于该分子的相对分子质量; 任何离子的摩尔质量就是以 g/mol 为单位, 数值上等于该离子的相对原子质量或相对原子质量之和 (电子的质量极其微小, 可忽略不计)。例如:

水的摩尔质量是 18g/mol ; 氯化钠的摩尔质量是 58.5g/mol ;

氢离子的摩尔质量是 1g/mol ; 硫酸根的摩尔质量是 96g/mol 。

此外, 也可推知:

2NaOH 的摩尔质量是 80g/mol ; $1/2\text{H}_2\text{SO}_4$ 的摩尔质量是 49g/mol 。

三、有关计算

摩尔把物质的质量和物质的微粒数联系起来, 它们之间的关系如下:

物质的量 n (mol) = 物质的微粒数 (个) / 6.02×10^{23} (个/mol)

物质的量 n (mol) = 物质的质量 m (g) / 摩尔质量 M (g/mol)

例 1 试计算 1.5mol 硫酸的质量是多少克? 含有多少个硫酸分子, 多少个 H、S 和 O 原子? (硫酸的 $M = 98\text{g/mol}$)

解: m (g) = n (mol) \times M (g/mol) = $1.5 \times 98 = 147\text{g}$

硫酸分子数 = $n \times N_A$

= $1.5 \times 6.02 \times 10^{23} = 9.03 \times 10^{23}$ 个

因为 1 个硫酸分子中含 2 个 H 原子、1 个 S 原子和 4 个 O 原子。

所以 1mol 硫酸中含有 2molH 原子、1molS 原子和 4molO 原子。

则 H 原子数 $= 2 \times 1.5 \times 6.02 \times 10^{23} = 18.06 \times 10^{23}$ 个

S 原子数 $= 1 \times 1.5 \times 6.02 \times 10^{23} = 9.03 \times 10^{23}$ 个

O 原子数 $= 4 \times 1.5 \times 6.02 \times 10^{23} = 36.12 \times 10^{23}$ 个

答：1.5mol 硫酸的质量是 147g，含有 9.03×10^{23} 个硫酸分子， 18.06×10^{23} 个原子， 9.03×10^{23} 个 S 原子， 36.12×10^{23} 个 O 原子。

例 2 试计算 160g 氢氧化钠分别以 $(NaOH)$ 、 $(2NaOH)$ 为基本单元的物质的量各为多少 mol?

解：以 $(NaOH)$ 为基本单元的摩尔质量为 40g/mol

则 $n_{(NaOH)} = 160/40 = 4 \text{ mol}$

以 $(2NaOH)$ 为基本单元的摩尔质量为 80g/mol

则 $n_{(2NaOH)} = 160/80 = 2 \text{ mol}$

答：以 $(NaOH)$ 为基本单元的物质的量为 4mol，以 $(2NaOH)$ 为基本单元的物质的量为 2mol。

在化学反应中运用摩尔这个单位进行计算也非常方便。因为化学反应方程式中各物质的分子数之比等于它们的物质的量之比，所以化学反应方程式中分子式（或化学式）前面的系数，既代表分子数，又能代表物质的量。例如：



分子数之比 2 1 1 2

物质的量之比 2 1 1 2

例 3 计算多少克的氢氧化钠才能和 0.05mol 的硫酸完全反应。

解：知道氢氧化钠的物质的量，才能求出其质量。

设需要 x mol 的氢氧化钠。



2mol 1mol

x mol 0.05mol

$$x = 0.1 \text{ mol}$$

$$m = 0.1 \times 40 = 4 \text{ g}$$

答：4g 的氢氧化钠才能和 0.05mol 的硫酸完全反应。

例 4 0.2mol 的氯化铵和足量的氢氧化钠溶液混合加热，再把生成的氨气通入适量的硫酸溶液中，问能得到硫酸铵多少克？（已知硫酸铵的 $M = 132\text{g/mol}$ ）



从两个化学反应方程式可看出：2mol 的 $\text{NH}_4 \text{Cl}$ 通过反应能生成 1mol 的 $(\text{NH}_4)_2 \text{SO}_4$ 。

那么 0.2mol 的 $\text{NH}_4 \text{Cl}$ 通过反应，能生成 0.1mol 的 $(\text{NH}_4)_2 \text{SO}_4$ 。

则 生成 $(\text{NH}_4)_2 \text{SO}_4$ 的质量 $= 0.1 \times 132 = 13.2 \text{ g}$

答：能得到硫酸铵 13.2g。

第二节 气体摩尔体积

一、气体摩尔体积

1mol 物质在一定状况下所具有的体积称为摩尔体积。1mol 气体物质在一定状况下所具有的体积称为气体摩尔体积。“一定状况”指的是一定温度和压强，通常指 273.15K (0℃)、101 325Pa。

我们知道，一定量物质的体积与温度和压强有关。对固体和液体来说，一般只考虑温度对其体积有影响，压强对其体积影响很小，一般可忽略不计。对气体来说，这两个因素对气体的体积影响都很大。下面我们讨论 1mol 物质的体积。

对固体和液体来说，1mol 各种物质在一定温度下的体积是不同的，见表 1-1。

表 1-1 几种 1mol 液体、固体物质在常温下的体积

名称	水	硫酸	蔗糖	铁	氯化钠
质量, g	18	98	342.3	55.85	58.44
体积, cm ³	18	54.1	215.5	7.1	26.99

对气体来说，1mol 物质在一定的温度和压强下，体积则近似相等。下面我们分别计算在标准状况（常用符号 STP 表示，指温度为 273.15K、压强为 101 325Pa）时，1mol 氢气、氧气、二氧化碳的体积。氢气、氧气和二氧化碳的摩尔质量分别是 2.016g/mol、32g/mol 和 44g/mol，在 STP 时它们的密度分别是 0.0899g/L、1.429g/L 和 1.977g/L。则三种气体在 STP 时的体积是：

$$\text{氢气的摩尔体积} = 2.016 / 0.0899 = 22.4 \text{ L/mol}$$

$$\text{氧气的摩尔体积} = 32 / 1.429 = 22.4 \text{ L/mol}$$

$$\text{二氧化碳的摩尔体积} = 44 / 1.977 = 22.3 \text{ L/mol}$$

从以上计算看出，在 STP 时，三种气体的摩尔体积都约是 22.4L/mol。通过多次实验发现和证实，在 STP 时，任何气体的摩尔体积都约是 22.4L/mol。这个体积叫做气体摩尔体积，常用符号 V_m 表示， $V_m = V/n$ ，单位是 L/mol。

为什么 1mol 固体和液体的各种物质，在一定温度下的体积各不相同，而 1mol 气体各种物质在 STP 时所占有的体积都约相同呢？这是因为对固体和液体物质来说，构成它们的微粒是紧密排列或是紧密堆积，微粒间的距离是很小的，1mol 物质的体积主要是由原子、分子或离子的大小来决定。构成不同物质的原子、分子或离子的大小是不同的，所以固体和液体 1mol 各种物质的体积也就不同。而对气体来说，构成气体的分子不是紧密排列或紧密堆积，分子是在较大的空间里运动，分子之间的距离较大。一般情况下，气体分子间的平均距离（约 $4 \times 10^{-9} \text{ m}$ ）是分子直径（约 $4 \times 10^{-10} \text{ m}$ ）的 10 倍左右，这样任何一种气体物质的体积就比它在固体或液体时大 1000 倍左右，也就是说，气体的体积主要是由分子之间的平均距离来决定。分子之间的平均距离又与温度和压强