



普通高等教育“十二五”创新型规划教材

无机及分析化学

WUJI JI FENXI HUAXUE

主 编 吕述萍



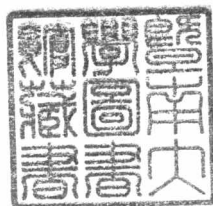
 **北京理工大学出版社**
BEIJING INSTITUTE OF TECHNOLOGY PRESS

061
20135

普通高等教育“十二五”创新型规划教材

无机及分析化学

主 编 吕述萍
 副主编 王曙光 李继萍 陶柏秋
 张 瑄 李晓燕
 主 审 冯立军



北京理工大学出版社

BEIJING INSTITUTE OF TECHNOLOGY PRESS

内 容 简 介

本书是普通高等教育“十二五”创新型规划教材,是根据高等院校无机化学、分析化学、无机及分析化学教学大纲的基本要求编写而成的。主要内容包括化学反应速率与化学平衡、分析化学概论、酸碱平衡和酸碱滴定法、沉淀滴定法、氧化还原反应和氧化还原滴定法、原子结构和元素周期表、化学键与物质结构、配位平衡和配位滴定法、金属元素及非金属元素等。本书将无机化学及分析化学课程内容合并,既继承了无机化学理论知识的基础性和科学性,又突出了分析化学实验技能的应用性;本书减少教学中的重复和脱节现象,不过分强调化学学科知识的系统性;本书适当降低理论难度,强化实践技能的培养,使教学内容简捷、自然、流畅,更利于教与学,并体现高等教育的特点。

本书适合作为高等院校无机化学、分析化学类专业的教材,也可作为滴定分析等技术科研人员的参考用书。

版权专有 侵权必究

图书在版编目(CIP)数据

无机及分析化学/吕述萍主编. —北京:北京理工大学出版社, 2013. 5

ISBN 978 - 7 - 5640 - 7183 - 7

I. ①无… II. ①吕… III. ①无机化学 - 高等学校 - 教材②分析化学 - 高等学校 - 教材 IV. ①O61②O65

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2012) 第 311697 号

出版发行 / 北京理工大学出版社有限责任公司

社 址 / 北京市海淀区中关村南大街 5 号

邮 编 / 100081

电 话 / (010) 68914775 (总编室)

82562903 (教材售后服务热线)

68948351 (其他图书服务热线)

网 址 / <http://www.bitpress.com.cn>

经 销 / 全国各地新华书店

印 刷 / 保定市中国画美凯印刷有限公司

开 本 / 710 毫米 × 1000 毫米 1/16

印 张 / 22.25

插 页 / 1

字 数 / 417 千字

版 次 / 2013 年 5 月第 1 版 2013 年 5 月第 1 次印刷

定 价 / 54.00 元

责任编辑 / 陈莉华

文案编辑 / 赖绳忠

责任校对 / 陈玉梅

责任印制 / 王美丽

图书出现印装质量问题, 请拨打售后服务热线, 本社负责调换



前言

本书是普通高等教育“十二五”创新型规划教材，是根据高等院校无机化学、分析化学、无机及分析化学教学大纲的基本要求编写而成的。主要包括：化学反应速率与化学平衡、分析化学概论、酸碱平衡和酸碱滴定法、沉淀滴定法、氧化还原反应和氧化还原滴定法、原子结构和元素周期表、化学键与物质结构、配位平衡和配位滴定法、非金属元素及金属元素等。本书将无机化学及分析化学课程内容合并，既继承了无机化学理论知识的基础性和科学性，又突出了分析化学实验技能的应用性，减少教学中的重复和脱节现象；不过分强调化学学科知识的系统性，适当降低理论难度，强化实践技能的培养，使教学内容简捷、自然、流畅，更利于教与学，体现应用型普通高校教育的特点；以分析方法为主要内容，系统介绍无机及分析化学的基本知识、基本概念；综合应用已学过的化学知识，重视基本技能的训练，理论联系实际。另外还有与本书配套的实验教材。

本书注重新旧知识的衔接，适当精简了理论内容，删掉基础理论中部分复杂的公式推导、计算和较深奥的理论知识。例如，元素部分只介绍重点常见元素，其余元素简单集中介绍。本书在教材编写中注重知识准确、内容实用、结构合理、图文规范，在每章都列出本章的学习要求、本章小结，便于读者掌握知识点。在本书中，如未有特殊说明，则浓度都指的是物质的量浓度。

本书由从事多年教学、实践工作的教师共同编写而成。吕述萍担任主编，王曙光、李继萍、陶柏秋、李晓燕、张瑄担任副主编工作。其中吕述萍、王曙光编写第一、二、九章，李继萍、陶柏秋编写第三、五、六章，张瑄编写第四、八章，李晓燕编写第七章及本书附录。

感谢冯立军作为本书主审，为本书所做出的贡献。

由于编者的编写时间仓促和水平有限，不足之处在所难免，敬请各位专家、同行及其他各读者提出宝贵意见！

编者



目 录

第一章 化学基本概念与基本计算	1
第一节 物质的分类及相互反应	1
一、无机物的分类	1
二、无机反应类型	4
三、无机物之间的关系	5
第二节 物质的量、摩尔质量和气体摩尔体积及有关计算	6
一、基本概念	6
二、有关离子方程式的计算	9
本章小结	10
习题	11
第二章 化学反应速率和化学平衡	15
第一节 化学反应速率	15
一、化学反应速率的表示	15
二、影响化学反应速率的因素	16
第二节 化学平衡	18
一、可逆反应与化学平衡	18
二、化学平衡常数	19
三、有关化学平衡的计算	22
四、多重平衡的平衡常数	23
第三节 化学平衡的移动	23
一、影响化学平衡的因素	23
二、化学反应速率和化学平衡的综合利用	26
本章小结	27
习题	28
第三章 分析化学基础知识	32
第一节 分析化学的任务和方法	32

一、分析化学的任务	32
二、分析化学方法的分类	33
三、定量分析结果的表示	36
四、定量分析过程	37
第二节 定量分析的误差	38
一、误差的表示方法	39
二、误差的分类和来源	43
三、提高分析结果准确度的方法	44
第三节 有效数字及运算规则	46
一、有效数字及运算法则	47
二、有效数字修约规则	47
三、有效数字运算规则	48
四、有效数字运算规则在分析测试中的应用	49
五、异常值的检验与取舍	50
第四节 滴定分析概述	51
一、滴定分析的基本术语	51
二、滴定分析法	52
三、滴定分析法对化学反应的要求及滴定方式	53
四、标准溶液的配制与浓度表示	54
五、标准溶液的配制	55
六、滴定分析计算	55
本章小结	62
习题	65
第四章 酸碱平衡与酸碱滴定法	73
第一节 酸碱理论	73
一、酸碱电离理论	73
二、酸碱质子理论	74
第二节 酸碱平衡与酸碱的相对强度	76
一、酸碱解离平衡与解离平衡常数	77
二、影响酸碱解离平衡的主要因素	82
三、溶液酸度的计算	84
第三节 缓冲溶液	87
一、酸碱缓冲溶液的作用原理	87
二、缓冲能力与缓冲范围	88

三、酸碱缓冲溶液的分类及选择	89
四、缓冲溶液的计算与配制	89
第四节 酸碱指示剂	91
一、酸碱指示剂的作用原理	91
二、酸碱指示剂的变色范围及其影响因素	93
三、混合指示剂与 pH 试纸	94
第五节 酸碱滴定法	96
一、强碱滴定强酸或强酸滴定强碱	96
二、强碱滴定一元弱酸或强酸滴定一元弱碱	99
* 三、多元酸（或多元碱）、混酸的滴定	100
四、酸碱滴定法的应用	103
本章小结	106
习题	108
第五章 沉淀溶解平衡和沉淀滴定法	114
第一节 沉淀溶解平衡	114
一、沉淀溶解平衡的概念	114
二、溶度积常数	114
三、溶度积和溶解度的相互换算	117
第二节 溶度积规则及其应用	118
一、溶度积规则	118
二、溶度积规则的应用	118
第三节 沉淀滴定法	123
本章小结	129
习题	130
第六章 氧化还原平衡与氧化还原滴定法	133
第一节 氧化还原反应	133
一、基本概念	133
二、氧化还原反应方程式的配平	135
第二节 原电池与电极电势	138
一、原电池	138
二、电极电势	140
* 三、条件电极电势	145
四、电极电势的应用	147
第三节 氧化还原滴定法	152

一、氧化还原滴定概述	152
二、氧化还原滴定曲线	153
三、氧化还原滴定中的指示剂	156
四、氧化还原滴定前的预处理	158
第四节 常见的氧化还原滴定法	162
一、高锰酸钾法	162
二、重铬酸钾法	166
三、碘量法	169
四、其他氧化还原滴定法简介	175
第五节 氧化还原滴定计算示例	176
本章小结	181
习题	184
第七章 物质结构	191
第一节 核外电子的运动状态	191
一、原子组成	191
二、核外电子的运动特征	192
三、量子数	196
四、多电子原子轨道能级	198
第二节 原子核外电子的排布与元素周期律	199
一、原子中电子的排布规律	199
二、元素周期律	201
第三节 元素基本性质的周期性变化	204
一、原子半径	204
二、电离能	206
三、电负性	206
四、元素的金属性与非金属性	208
第四节 化学键	208
一、离子键	209
二、共价键	213
三、杂化轨道的理论	217
第五节 分子间作用力与氢键	221
一、分子的极性	221
二、分子间力对物质性质的影响	222
三、氢键的形成对物质性质的影响	225

本章小结	228
习题	231
第八章 配位化合物与配位滴定	237
第一节 配位化合物	237
一、配合物的概念	237
二、配合物的组成	238
三、配合物的命名	239
第二节 配位平衡	241
一、配位平衡常数	241
二、配位平衡移动	243
第三节 螯合物	247
一、螯合物的组成	247
二、螯合物的特性	248
三、EDTA 及其配合物	248
第四节 配位滴定法	252
一、配位滴定的基本原理	252
二、配位滴定的方法	259
第五节 提高配位滴定选择性的方法	261
一、选择合适的酸度	261
二、使用掩蔽的方法	261
三、解蔽法	262
四、其他滴定剂的应用	263
第六节 配位滴定法的应用	263
一、EDTA 标准溶液的配制与标定	263
二、水中钙、镁离子总含量的测定	264
三、铝盐中 Al^{3+} 含量的测定	265
四、配位滴定的计算示例	265
本章小结	267
习题	268
第九章 重要元素及其化合物	271
第一节 非金属元素	271
一、非金属元素的通性	271
二、非金属元素单质及其化合物	273
第二节 金属元素	298

一、金属元素的分类	298
二、金属元素的通性	298
三、重要的金属及其化合物	301
本章小结	315
习题	317
附录	323
附录 1 常见弱电解质的标准解离平衡常数 (298.15K)	323
附录 2 常见难溶电解质的溶度积 (298.15K)	325
附录 3 相对分子质量	327
附录 4 常用的基准物质	330
附录 5 原子量相对质量表 (1995 年国际原子量)	331
附录 6 常用酸碱溶液的浓度 (15℃)	332
附录 7 氧化还原电对的标准电极电势 (298.15K)	333
附录 8 部分氧化还原电对的条件电极电势 (298.15K)	341
附录 9 一些配离子的标准稳定常数 (298.15K)	342
附录 10 化学元素周期表	插页
参考文献	343

第一章

化学基本概念与基本计算

【学习目标】

1. 掌握物质的分类及各类物质的标准概念。
2. 明确物质之间发生的化学反应。
3. 掌握物质的量及与物质的量有关的各种计算。
4. 能正确书写离子方程式。

在化学理论、实践及化工生产中，我们不仅要认识各种物质及物质之间发生的化学反应，还要对物质之间的反应进行定量的计算和研究。比如，从原料的用量计算出产品的理论产量，从实际产量及原料用量判断生产过程的合理性，进而改进生产流程，加强管理等，都必须正确地掌握化学反应原理，准确地进行化学计算。由于无机与分析化学的学习需要扎实的无机化学的基础知识，因此为了便于学习，首先简单回顾所需的无机化学基础知识。

第一节 物质的分类及相互反应

一、无机物的分类

物质之间的化学反应是化工生产和实验的基础。通过回顾物质的组成和分类，我们可以学习各类物质的性质。本节只复习简单的无机物，并在以后的章节中将系统介绍各族元素。无机物的分类如图 1-1 所示。

1. 单质

由同种元素组成的纯净物叫单质。例如氢气(H_2)、汞(Hg)、石墨(C)等都属于单质。单质可分为以下几类。

(1) 金属。

由金属元素组成的单质叫金属。各种金属的活泼性不相同，它们的活动性顺序如下：

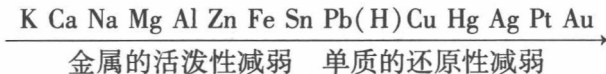




图 1-1 无机物的分类

(2) 非金属。

在常温常压下，由非金属元素组成的单质被称为非金属。在常温常压下非金属的状态不同，分子组成也不相同。常见非金属按物质状态举例如下。

① 气体：氢气(H_2)、氧气(O_2)、氮气(N_2)、氯气(Cl_2)、臭氧(O_3)等。

② 固体：石墨(C)、硫(S)、碘(I_2)等。

③ 液体：溴(Br_2)等。

(3) 稀有气体。

稀有气体有氦(He)、氖(Ne)、氩(Ar)、氪(Kr)、氙(Xe)、氡(Rn)。

2. 化合物

由不同种元素组成的纯净物叫化合物。例如水(H_2O)、二氧化碳(CO_2)、盐酸(HCl)、氢氧化钠(NaOH)、碳酸钙($CaCO_3$)等。

(1) 氧化物。

由氧元素和另一种元素组成的化合物叫作氧化物，例如氧化镁(MgO)、三氧化硫(SO_3)等。根据性质可将氧化物分为以下几类。

① 酸性氧化物。能与碱起反应，生成盐和水的氧化物叫作酸性氧化物。例

如, 二氧化碳与氢氧化钠反应生成碳酸钠和水:



非金属氧化物大多数是酸性氧化物。

②碱性氧化物。能与酸反应, 只生成盐和水的水化物叫作碱性氧化物。例如, 氧化钙与硫酸反应生成硫酸钙和水:



金属氧化物大多数是碱性氧化物。

③两性氧化物。既能跟酸反应生成盐和水, 又能跟碱反应生成盐和水的水化物叫作两性氧化物。例如:



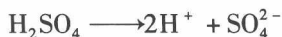
偏铝酸钠

④不成盐氧化物。既不能跟酸反应生成盐和水, 又不能跟碱反应生成盐和水的水化物叫不成盐氧化物, 例如 CO 、 NO 等。

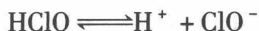
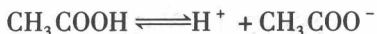
(2) 酸。

在水溶液中, 电离时生成的阳离子全部是氢离子的化合物叫作酸。根据酸的电离程度, 可将酸分为强酸和弱酸。

①强酸。在水溶液中完全电离的酸是强酸, 例如 H_2SO_4 、 HNO_3 、 HCl 等。 H_2SO_4 与 HNO_3 的电离方程为:

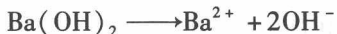
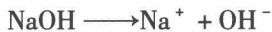


②弱酸。在水溶液中, 部分电离的酸叫作弱酸, 例如 CH_3COOH 、 HClO 、 H_2CO_3 等。部分弱酸的电离方程式为:



(3) 碱。在水溶液中, 电离时生成的阴离子全部是氢氧根离子的化合物叫作碱。

①强碱。在水溶液中完全电离的碱是强碱, 例如 NaOH 、 KOH 、 $\text{Ba}(\text{OH})_2$ 等。部分强碱的电离方程式为:



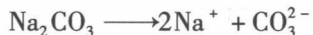
②弱碱。在水溶液中部分电离的碱是弱碱, 例如弱碱 $\text{NH}_3 \cdot \text{H}_2\text{O}$ 的电离方程为:



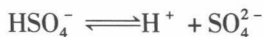
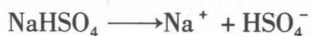
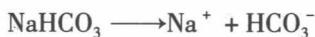
(4) 盐。

由金属离子或 NH_4^+ 等阳离子和酸根离子组成的化合物叫作盐。

①正盐。既不含可以电离的氢离子，又不含氢氧根的盐叫作正盐。或者说：正盐是酸跟碱完全中和的产物，例如 Na_2CO_3 、 K_2SO_4 等。 Na_2CO_3 的电离方程式为：

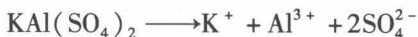


②酸式盐。由金属等阳离子和含有可以电离的氢离子的酸根所组成的盐叫作酸式盐。例如碳酸氢钠(NaHCO_3)、硫酸氢钠(NaHSO_4)、磷酸一氢钙(CaHPO_4)等。相关的电离方程式为：



③碱式盐。除金属等阳离子和酸根以外，还含有一个或几个氢氧根的盐叫作碱式盐。例如碱式碳酸铜 $[\text{Cu}_2(\text{OH})_2\text{CO}_3]$ 、碱式氯化镁 $[\text{Mg}(\text{OH})\text{Cl}]$ 等。

④复盐。由两种或两种以上的简单盐所组成的化合物叫作复盐。复盐通常含有两种或两种以上阳离子和一种阴离子。在溶于水后，复盐能电离出简单盐所具有的离子，例如硫酸铝钾即明矾 $[\text{KAl}(\text{SO}_4)_2 \cdot 12\text{H}_2\text{O}]$ 等，它的电离方程为：

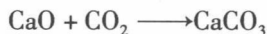
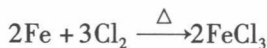


二、无机反应类型

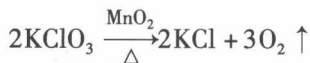
1. 无机反应按形式分类

无机物的反应按形式分类有以下 4 种类型。

(1)化合反应。由两种或两种以上的物质生成另一种物质的反应叫作化合反应。例如：



(2)分解反应。由一种物质生成两种或两种以上其他物质的反应叫作分解反应。例如：

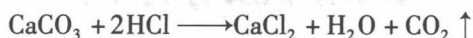
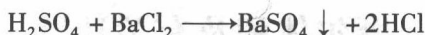


(3)置换反应。由一种单质和一种化合物反应，生成另一种单质和另一种化合物的反应叫作置换反应。例如：



(4)复分解反应。由两种化合物互相交换成分，生成另外两种化合物的反应

叫作复分解反应。例如：



复分解反应以产物中有无气体、沉淀或弱电解质(如水)生成,来判断是否发生。

2. 无机反应根据本质分类

(1) 非氧化还原反应。

非氧化还原反应为：在参加反应的各物质中,元素的化合价(氧化数)在反应前后没有变化的反应。

(2) 氧化还原反应。

氧化还原反应为：在参加反应的各物质中,元素的化合价(氧化数)在反应前后发生变化的反应。

无机反应的形式和本质的关系为：所有的置换反应都是氧化还原反应；有单质参加或生成的化合反应、分解反应一定是氧化还原反应；所有的复分解反应都是非氧化还原反应。

三、无机物之间的关系

无机物之间的关系如图 1-2 所示。

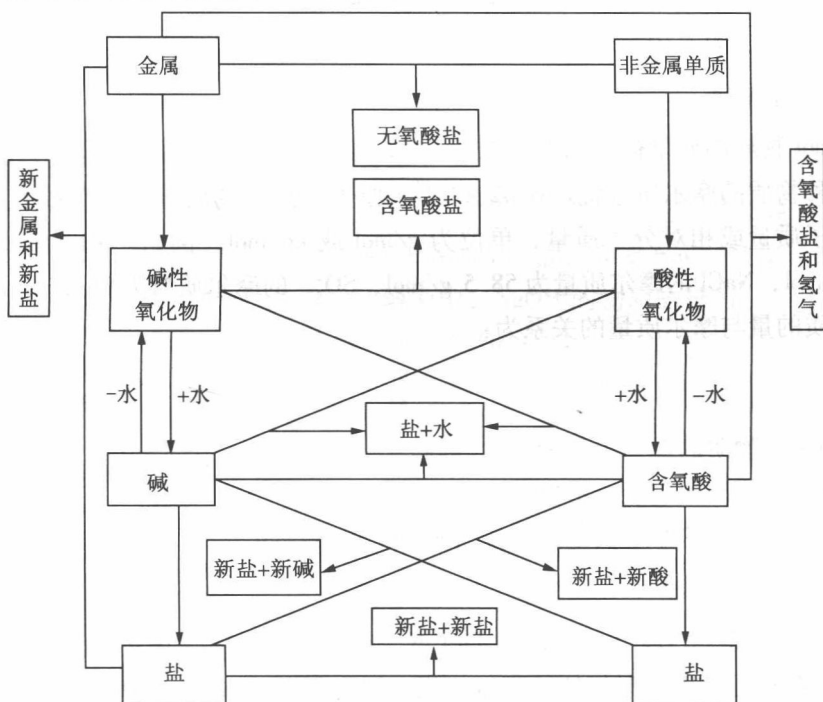


图 1-2 无机物之间的关系

第二节 物质的量、摩尔质量和气体 摩尔体积及有关计算

一、基本概念

1. 摩尔

摩尔是表示物质的量的单位。若某物质含有 6.02×10^{23} 个某种微粒(微粒可以是分子、原子、离子、电子以及其他基本粒子中的某一种), 则该物质的物质的量就是 1 mol。在使用摩尔时, 必须指明是何种微粒。

1 mol 任何粒子所含有的粒子数叫作阿伏伽德罗常数, 符号为 N_A , 通常用 $6.02 \times 10^{23} \text{ mol}^{-1}$ 这个近似值。

$$n = \frac{N}{N_A}$$

式中 n ——物质的量, 单位为摩尔(mol);

N ——物质所含的微粒数;

N_A ——阿伏伽德罗常数, 单位为 mol^{-1} , 取 $0.012 \text{ kg } ^{12}\text{C}$ 所含的碳原子数, 数值是 $N_A = (6.022\ 137\ 6 \pm 0.000\ 003\ 6) \times 10^{23} \text{ mol}^{-1}$, 近似值为 $6.02 \times 10^{23} \text{ mol}^{-1}$ 。

2. 摩尔质量

1 mol 物质的质量被称为摩尔质量。如果某种物质是由原子(分子)组成的, 那么这种物质的摩尔质量就是 6.02×10^{23} 个原子(分子)的质量, 并在数值上等于相对原子质量或相对分子质量, 单位为 g/mol 或 kg/mol 。例如: Na 的摩尔质量为 23 g/mol , NaCl 的摩尔质量为 58.5 g/mol , SO_4^{2-} 的摩尔质量为 96 g/mol 。

物质的量与摩尔质量的关系为:

$$n = \frac{m}{M}$$

式中 n ——物质的量, 单位为摩尔(mol);

m ——物质的质量, 单位为 g 、 kg ;

M ——物质的摩尔质量, 单位为 g/mol 或 kg/mol 。

3. 气体的摩尔体积

在标准状态(0°C 、 $1.01 \times 10^5 \text{ Pa}$)下, 1 mol 任何气体所占的体积都约为 22.4 L , 叫作标准状态时气体的摩尔体积, 记为 22.4 L/mol 。物质的量与摩尔体积的关系为:

$$n = \frac{V}{V_m}$$

式中 n ——物质的量, 单位为摩尔 mol;

V ——在标准状态下气体的体积, 单位为 L;

V_m ——在标准状态下气体的摩尔体积, $V_m = 22.4 \text{ L/mol}$ 。

4. 物质的量浓度

用 1 L 溶液中所含溶质的物质的量来表示的溶液浓度, 被称为物质的量浓度, 简称浓度。溶质 B 的物质的量浓度用 c_B 表示, 单位是 mol/L, 并表示为:

$$c_B = \frac{n_B}{V}$$

式中 c_B ——溶质 B 的物质的量浓度, 单位为 mol/L;

n_B ——溶质 B 的物质的量, 单位为 mol;

V ——溶液的体积, 单位为 L。

5. 与物质的量有关的计算

(1) 已知溶液的体积、溶质的质量, 求溶液的物质的量浓度。

【例 1-1】用 28 g KOH 配成 250 mL 溶液, 求溶液的物质的量浓度。

解: 溶质 KOH 的物质的量为:

$$n(\text{KOH}) = \frac{m(\text{KOH})}{M(\text{KOH})} = \frac{28 \text{ g}}{56 \text{ g/mol}} = 0.5 \text{ mol}$$

KOH 溶液的浓度为:

$$c(\text{KOH}) = \frac{n(\text{KOH})}{V} = \frac{0.5 \text{ mol}}{0.25 \text{ L}} = 2 \text{ mol/L}$$

答: 该溶液的 KOH 浓度为 2 mol/L。

(2) 已知溶液的物质的量浓度, 求在一定体积的溶液中溶质的质量。

【例 1-2】配制 500 mL 0.4 mol/L NaOH 溶液, 需要 NaOH 的质量是多少?

解: 在 500 mL 0.4 mol/L NaOH 溶液中, NaOH 的物质的量为:

$$\begin{aligned} n(\text{NaOH}) &= c(\text{NaOH}) \cdot V \\ &= 0.4 \text{ mol/L} \times 0.5 \text{ L} \\ &= 0.2 \text{ mol} \end{aligned}$$

0.2 mol NaOH 的质量为:

$$\begin{aligned} m(\text{NaOH}) &= n(\text{NaOH}) \cdot M(\text{NaOH}) \\ &= 0.2 \text{ mol} \times 40 \text{ g/mol} \\ &= 8 \text{ g} \end{aligned}$$

答: 需要 8 g NaOH。

(3) 溶液中溶质的质量分数 ω 与溶质的物质的量浓度 c_B 的换算。

两种浓度换算的依据是, 首先计算 1 L (即 1 000 mL) 溶液中溶质的质量,