



普通高等教育农业部“十二五”规划教材  
全国高等农林院校“十二五”规划教材


# 普通化学

## 学习指导

第二版

王春娜 石 军 贾临芳 主编



 中国农业出版社

普通高等教育农业部“十二五”规划教材  
全国高等农林院校“十二五”规划教材

# 普通化学学习指导

第二版

王春娜 石 军 贾临芳 主编

中国农业出版社

## 图书在版编目 (CIP) 数据

普通化学学习指导 / 王春娜, 石军, 贾临芳主编. —2 版.  
—北京: 中国农业出版社, 2014. 12

普通高等教育农业部“十二五”规划教材 全国高等  
农林院校“十二五”规划教材

ISBN 978-7-109-19951-4

I. ①普… II. ①王… ②石… ③贾… III. ①普通化学-高  
等学校-教学参考资料 IV. ①O6

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2014) 第 299385 号

中国农业出版社出版

(北京市朝阳区麦子店街 18 号楼)

(邮政编码 100125)

张丹雷

北京通州皇家

2010 年

2C

行发行

开本:

.75

定价: 23.

(凡本版图书出现印刷、装订错误, 请向出版社发行部调换)

普通化学“十二五”普通高等教育规划教材  
普通化学“十二五”普通高等教育规划教材

## 内 容 提 要

本书是普通高等教育农业部“十二五”规划教材、全国高等农林院校“十二五”规划教材《普通化学》(王春娜、石军主编,第二版)的配套教材。章节顺序与教材一致,共分11章。每章分为四部分:重点内容概述、例题解析、自测题及答案和与教材配套的思考题与习题解答。还配有数套模拟试题及答案。全书所有计算题都给出了较详细的解答过程。本书可作为高等农林院校学生学习普通化学课程的参考书及教师教学参考书,也可用作硕士研究生入学考试复习用书。

中国农业大学出版社

## 第二版前言

### 第二版编者名单

主 编 王春娜 石 军 贾临芳 主  
副主编 尹立辉 吴昆明 蔡 红 梁 丹  
参 编 李 萍 明 媚 潘 虹 曲江兰  
朱 洪 司艳玲 周锦燕 张大伟  
郑 冉 赵欣宇 于立红

## 第一版编者名单

主 编 王春娜 (北京农学院)

石 军 (天津农学院)

副主编 吴昆明 (北京农学院)

尹立辉 (天津农学院)

贾临芳 (北京农学院)

次仁德吉 (西藏农牧学院)

参 编 李 萍 (天津农学院)

明 媚 (天津农学院)

潘 虹 (天津农学院)

蔡 红 (北京农学院)

梁 丹 (北京农学院)

周锦燕 (北京农学院)

张大伟 (吉林大学农学部)

## 第二版前言

本书是普通高等教育农业部“十二五”规划教材、全国高等农林院校“十二五”规划教材《普通化学》(王春娜、石军主编,第二版)的配套教材,是北京市引导教学项目(北京农学院2013年规划教材项目)的研究成果。可作为高等农、林、水产类各专业学生学习普通化学课程的参考用书,也可作为高等农林院校教师教学参考书及硕士研究生考前复习用书。

全书共11章,每章4个模块,分为重点内容概述、例题解析、自测题及答案、思考题与习题解答,书后附有模拟试题。书中许多内容是编者多年教学经验的积累。本次修订保持了第一版教材的特点,并在此基础上对全书的例题与习题进行精选和改编,使其紧密结合每一章的重点和难点,达到举一反三的效果。自测题有判断题、选择题、填空题、计算题等题型,难度适中,便于学生检验学习效果,使学生深入理解和掌握教材内容,更有利于学生自学。

参加本书修订的有:天津农学院石军、尹立辉、李萍、明媚、潘虹(第1、2、3、5、6章);吉林农业大学司艳玲、郑冉、赵欣宇(第4章);吉林大学张大伟、黑龙江八一农垦大学于立红(模拟试题);北京农学院王春娜、贾临芳、吴昆明、蔡红、梁丹、曲江兰、朱洪、周锦燕(第7、8、9、10、11章)。

本书修订过程中得到了各编者所在学校院、部、教务处的领导和有关教师的支持,在此向他们表示衷心的感谢!

编者

2014年10月

# 第一版前言

本书是全国高等农林院校“十一五”规划教材《普通化学》(王春娜、石军主编)的配套教材。

普通化学是高等农林院校本科生第一学期必修的一门重要基础课,也是培养农林科技人才必备的化学知识的基础,也是招收生物类、动植物生产类、食品科学等专业硕士研究生时必考的基础课。为了使学生在有限的时间内掌握课程的基本概念和基本理论,我们组织了一批长期在一线教学的骨干教师编写了本书。本书可作为高等农林院校学生学习普通化学课程的参考书及教师教学参考书,也可用作硕士研究生入学考试复习用书。本书编写有以下特点:

1. 解析教学的重点与难点。根据普通化学教学的基本要求,阐述了各章的重点和难点,并对容易混淆的问题做了进一步的分析。对各章的重点和难点进行了归纳和总结,具有指导意义。

2. 解析典型例题。这部分针对各章课程教学的要求、重点、难点等内容,精心选择了典型例题,给出了较详细的解答分析过程,通过学习可使学生掌握各章的基本概念和基本原理,学习解题方法和解题技巧。

3. 自测题与教学进度同步。学生在学完每一章之后,进一步深入学习,查缺补漏,巩固拓展。自测题中分为判断题、选择题、填空题、简答题和计算题,有助于学生对该章内容的消化理解,力求做到举一反三。

4. 为教材的思考题与习题提供配套答案。计算题都给出了较详细的答案,方便学生学习。

5. 教材编写出若干套模拟试题。模拟试题分为期末考试模拟试题

和研究生入学考试模拟试题, 试题分量合适, 难度适中, 方便学生检查自己的复习效果, 学生可根据自己的实际情况选做。

参加本书编写的有: 石军(第2章、模拟试题), 尹立辉(第1章、模拟试题), 李萍(第3章), 明媚(第6章), 潘虹(第5章), 次仁德吉、张大伟、周锦燕(第4章、模拟试题), 王春娜(第10章), 吴昆明(第8章), 贾临芳(第7章), 蔡红(第9章), 梁丹(第11章)。教材初稿经副主编修改, 最后由主编统稿、定稿。

本书编写过程中参考了很多普通化学方面的参考资料, 在此对这些参考资料的作者表示感谢。

由于编者水平有限, 书中不当之处, 敬请广大读者提出宝贵意见, 编者不胜感激!

编者

2010年6月

# 目 录

第二版前言

第一版前言

1	物质的状态、溶液与胶体	1
1.1	重点内容概述	1
1.2	例题解析	5
1.3	自测题及答案	8
1.4	思考题与习题解答	11
2	化学热力学基础	15
2.1	重点内容概述	15
2.2	例题解析	17
2.3	自测题及答案	22
2.4	思考题与习题解答	27
3	化学平衡原理	34
3.1	重点内容概述	34
3.2	例题解析	36
3.3	自测题及答案	40
3.4	思考题与习题解答	49
4	化学反应速率	58
4.1	重点内容概述	58
4.2	例题解析	60
4.3	自测题及答案	63
4.4	思考题与习题解答	66

<b>5 酸碱平衡</b> .....	70
5.1 重点内容概述 .....	70
5.2 例题解析 .....	73
5.3 自测题及答案 .....	77
5.4 思考题与习题解答 .....	83
<b>6 沉淀溶解平衡</b> .....	90
6.1 重点内容概述 .....	90
6.2 例题解析 .....	92
6.3 自测题及答案 .....	101
6.4 思考题与习题解答 .....	106
<b>7 原子结构</b> .....	112
7.1 重点内容概述 .....	112
7.2 例题解析 .....	115
7.3 自测题及答案 .....	119
7.4 思考题与习题解答 .....	124
<b>8 化学键与分子结构</b> .....	128
8.1 重点内容概述 .....	128
8.2 例题解析 .....	130
8.3 自测题及答案 .....	132
8.4 思考题与习题解答 .....	135
<b>9 氧化还原反应与原电池</b> .....	139
9.1 重点内容概述 .....	139
9.2 例题解析 .....	142
9.3 自测题及答案 .....	147
9.4 思考题与习题解答 .....	150
<b>10 配位化合物</b> .....	158
10.1 重点内容概述 .....	158
10.2 例题解析 .....	160

10.3 自测题及答案 .....	164
10.4 思考题与习题解答 .....	170
<b>11 元素概述</b> .....	176
11.1 重点内容概述 .....	176
11.2 例题解析 .....	177
11.3 自测题及答案 .....	178
11.4 思考题与习题解答 .....	181
<b>模拟试题</b> .....	183
期末考试模拟试题 (一) .....	183
期末考试模拟试题 (二) .....	189
期末考试模拟试题 (三) .....	195
期末考试模拟试题 (四) .....	202
研究生入学考试模拟试题 (一) .....	208
研究生入学考试模拟试题 (二) .....	216
<b>主要参考文献</b> .....	222

# 1 物质的状态、溶液与胶体

## 1.1 重点内容概述

### 1.1.1 物质的 67 聚集状态

一般认为物质有四种不同的聚集状态，即气态、液态、固态和等离子态。

(1) 气体 气体有实际气体和理想气体之分。实际气体分子本身占有一定的体积，分子之间也有作用力存在。若假设气体分子本身没有体积，气体分子之间也没有相互作用力，这种假想的气体称为理想气体。在通常条件（压力不太高、温度不太低）下，可把实际气体近似看作理想气体。在高温、低压的情况下，对含有物质的量为  $n$  的理想气体，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。

$$pV = nRT$$

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  $p = \frac{\rho}{M}RT$ 。

混合理想气体的总压等于各组分气体分压之和，这个规律称为道尔顿 (J. Dalton) 分压定律。

$$p = p_1 + p_2 + \cdots + p_n = \sum p_i$$

分压定律的另一种表达形式为  $\frac{p_i}{p} = \frac{n_i}{n} = x_i$

混合理想气体的体积等于组成该混合气体的各组分气体的分体积之和，这就是阿马格 (Amagat) 分体积定律。

$$V = V_1 + V_2 + \cdots + V_n = \sum V_i$$

分体积定律的另一种表达形式为  $\frac{V_i}{V} = \frac{n_i}{n} = x_i$

(2) 液体 把液体放置于密闭的容器中，处于气液两相平衡时的蒸气叫作饱和蒸气，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。将蒸气压对温度作图，则可得到一条曲线，叫作蒸气压曲线。

液体的蒸气压等于外界大气压时的温度称为液体的沸点。当外界压力为标准压力 101.325 kPa 时，液体的沸点称为正常沸点。

(3) **固体** 内部结构中的原子、离子或分子都在空间呈有规则的三维重复排列而组成一定形式的晶格，具有规则几何形状的固体称为晶体。原子或离子不是作有规律排列的固态物质称为非晶体。

### 1.1.2 溶液

(1) **分散系** 一种或几种物质分散在另一种物质里所形成的系统称为分散系统，简称分散系。常温常压下物质一般有气态、液态、固态三种聚集状态，若按分散质和分散剂的聚集状态进行分类，可以把分散系分为九类。若按分散质粒子直径大小进行分类，则可以将分散系分为三类：分子、离子分散系，胶体分散系，粗分散系。

#### (2) 溶液的组成标度

**物质的量浓度**：单位体积溶液中所含溶质 B 的物质的量，称为溶质 B 的物质的量浓度，以符号  $c(\text{B})$  表示。 $c(\text{B})$  的 SI 单位为摩尔每立方米 ( $\text{mol} \cdot \text{m}^{-3}$ )，常用单位为摩尔每升 ( $\text{mol} \cdot \text{L}^{-1}$ )。

$$c(\text{B}) = \frac{n(\text{B})}{V}$$

**质量摩尔浓度**：1 000 g 溶剂中所含溶质 B 的物质的量，称为溶质 B 的质量摩尔浓度，用符号  $b(\text{B})$  表示，单位为  $\text{mol} \cdot \text{kg}^{-1}$ 。

$$b(\text{B}) = \frac{n(\text{B})}{m(\text{A})}$$

**物质的量分数**：某物质  $i$  的物质的量  $n_i$  占整个物系的物质的量  $n$  的分数称为该物质  $i$  的物质的量分数，符号为  $x_i$ ，其量纲为 1。

$$x_i = \frac{n_i}{n}$$

**质量分数**：混合系统中，某组分 B 的质量  $m(\text{B})$  与混合物总质量  $m$  之比，称为组分 B 的质量分数，用符号  $\omega(\text{B})$  表示，其量纲为 1。

$$\omega(\text{B}) = \frac{m(\text{B})}{m}$$

(3) **稀溶液的依数性** 溶液的某些性质仅与溶液的浓度有关，而和溶质的本性无关，这类性质称为依数性。当溶质是难挥发的非电解质时，所形成的稀溶液的这类性质表现得更有规律，故称之为稀溶液的依数性。

① **溶液的蒸气压下降**：在同一温度下，稀溶液的蒸气压总是低于纯溶剂的蒸气压，这种现象称为溶液的蒸气压下降。

在一定温度下，难挥发非电解质稀溶液的蒸气压  $p$  等于纯溶剂的蒸气压  $p^*$  乘以溶剂在溶液中的摩尔分数  $x(\text{A})$ ，这种定量关系称为拉乌尔定律。

$$p = p^* x(A)$$

由拉乌尔定律可推导出:

$$\Delta p = K_p b(B)$$

上式表明,难挥发非电解质稀溶液的蒸气压下降与溶质的质量摩尔浓度成正比,而与溶质的本性无关。式中  $K_p$  为蒸气压下降常数。

② 溶液的沸点升高:难挥发非电解质稀溶液沸点  $T_b$  总是高于纯溶剂的沸点  $T_b^*$ ,沸点升高的大小与溶液质量摩尔浓度近似成正比,与溶质本性无关,其数学表达式为

$$\Delta T_b = K_b b(B)$$

③ 溶液的凝固点下降:溶液的凝固点  $T_f$  总是低于纯溶剂的凝固点  $T_f^*$ ,  $T_f^*$  与  $T_f$  之差即为溶液的凝固点下降  $\Delta T_f = T_f^* - T_f$ 。

$$\Delta T_f = K_f b(B)$$

④ 溶液的渗透压:为了阻止渗透作用的进行而施加于溶液的最小压力称为溶液的渗透压,用符号  $\Pi$  表示。

$$\Pi V = n(B)RT \quad \text{或} \quad \Pi = c(B)RT$$

对很稀的水溶液来说,  $c(B) \approx b(B)$ , 则  $\Pi = b(B)RT$ 。

### 1.1.3 胶体溶液

(1) 分散度 当一定体积的物质被分割时,分散程度越高,颗粒越小,则比表面积越大。分散系的分散度常用比表面积来衡量,比表面积定义为

$$S_0 = \frac{S}{V}$$

式中:  $S_0$  为分散质的比表面积;  $S$  为分散质的总表面积;  $V$  为分散质的总体积。

(2) 表面能 表面分子比内部分子多出的能量,称为表面能。表面积越大,表面能越高,体系就越不稳定。聚集和吸附是两种降低表面能的途径。

(3) 吸附作用 一种物质自动聚集到另一种物质界面上的过程称为吸附。能够将他种物质聚集到自己表面上,具有显著吸附能力的物质称为吸附剂,而被吸附的物质称为吸附质。吸附可以在固体和气体的界面上进行,也可以在固体和液体的界面上发生。

固体在溶液中的吸附,分为分子吸附和离子吸附两类。吸附剂对非电解质及弱电解质的吸附是分子吸附,对强电解质的吸附是离子吸附,离子吸附包括两种。

① 离子选择吸附:当溶液中含有多种离子时,吸附剂优先吸附与其组成

有关的离子。

② 离子交换吸附：当固体吸附剂从溶液中吸附某种离子的同时，等物质的量地释放出另一种符号相反的离子，即吸附剂与溶液之间进行着离子交换。

(4) 溶胶的制备 通常制备溶胶的方法有分散法和凝聚法两种。

① 分散法：将粗分散系中的粒子通过破碎与研磨，使粒子大小达到胶体分散系的范围，这种方法称为分散法。通常采用胶体磨研磨法、超声波分散法、电弧法等。

② 凝聚法：小分子、原子或离子通过聚集，使其粒子大小符合胶体分散系的要求，这种方法称为凝聚法。通常采用化学反应法、改变溶剂法、物质蒸气凝结法等。

(5) 溶胶的性质

溶胶的光学性质：将一束光照射到溶胶时，在与入射光束垂直的方向上可以观察到一条发亮的光柱，这种现象称为丁达尔 (Tyndall) 现象或丁达尔效应。

溶胶的动力学性质：在超显微镜下观察溶胶，可以看到代表溶胶粒子的发光点在不断地做无规则的运动，这种现象称为布朗 (Brown) 运动。

溶胶的电学性质：在外电场作用下，分散相与分散介质发生相对移动的现象，称为溶胶的电动现象。电动现象主要有电泳和电渗两种，电动现象是溶胶粒子带电的实验证据，溶胶粒子带电的主要原因有吸附带电和电离带电。

(6) 胶团的结构 以  $\text{Fe}(\text{OH})_3$  溶胶为例：许多  $\text{Fe}(\text{OH})_3$  分子构成胶核， $\text{Fe}(\text{OH})_3$  优先吸附与其组成类似的离子  $\text{FeO}^+$  使  $\text{Fe}(\text{OH})_3$  胶粒带正电，即  $\text{FeO}^+$  是电位离子。胶核的外边是由  $\text{FeO}^+$  和一部分  $\text{Cl}^-$  所形成的吸附层，即  $\text{Cl}^-$  是反离子，胶核和吸附层统称为胶粒。另一部分  $\text{Cl}^-$  借扩散作用而分布于离胶核较远处，形成扩散层。胶粒和扩散层合称为胶团，带有相反电荷的吸附层和扩散层电荷符号相反，电量相等，所以胶团是电中性的。 $\text{Fe}(\text{OH})_3$  胶团的结构可用下式表示：

$$\left\{ [\text{Fe}(\text{OH})_3]_m \cdot n \text{FeO}^+ \cdot (n-x) \text{Cl}^- \right\}^{x+} \cdot x \text{Cl}^-$$

(7) 溶胶的稳定性和聚沉 溶胶的稳定性可以从动力学稳定性和聚结稳定性两方面来考虑。

布朗运动使溶胶具有一定的稳定性。另外，溶胶粒子都带有相同的电荷，同号电荷之间的相互排斥作用阻止了它们的靠近，这是使溶胶稳定存在的最重要原因。同时，溶剂化膜阻止了溶胶粒子之间的直接接触。

只要破坏了溶胶稳定性的因素，溶胶粒子就会聚结变大，最后从分散剂中分离而沉降，这个过程称为溶胶的聚沉。往溶胶中加入少量强电解质就会使溶

胶出现很明显的聚沉现象。电解质负离子对正溶胶的聚沉起主要作用，正离子对负溶胶的聚沉起主要作用，聚沉能力随着离子价数的升高而显著增加，这一规律称为叔采-哈迪规则。加热也可使很多溶胶发生聚沉。当把电性相反两种溶胶以适当比例相互混合时，溶胶也会发生聚沉，这种聚沉称为溶胶的相互聚沉。

### 1.1.4 表面活性剂

(1) **表面活性剂的结构** 表面活性剂分子是同时含有亲水性的极性基团和亲油性的非极性基团的有机化合物。亲水基和亲油基分别占据表面活性剂分子的两端，形成一种不对称的结构，在溶液的表面能定向排列，并能使其表面张力显著下降。

(2) **表面活性剂的分类** 表面活性剂溶于水后，凡能发生电离的称为离子型表面活性剂。

阴离子型：例如，硬脂酸钠  $\text{CH}_3(\text{CH}_2)_{16}\text{COO}^- \text{Na}^+$ 、十二烷基苯磺酸钠  $\text{CH}_3(\text{CH}_2)_{11}\text{C}_6\text{H}_4\text{SO}_3^- \text{Na}^+$ 。

阳离子型：例如，月桂胺基三甲胺  $\text{CH}_3(\text{CH}_2)_{11}\text{NH}_3^+ \text{Cl}^-$  及溴代十六烷基三甲胺  $\text{CH}_3(\text{CH}_2)_{15}\text{N}^+(\text{CH}_3)_3\text{Br}^-$ 。

两性型：例如，十二烷基二甲基甜菜碱  $\text{C}_{12}\text{H}_{25}\text{N}^+(\text{CH}_3)_2\text{CH}_2\text{COO}^-$ 。

非离子型：表面活性剂溶于水后不能电离，如聚氧乙烯类  $\text{C}_{12}\text{H}_{25}\text{O}(\text{CH}_2\text{CH}_2\text{O})_n\text{H}$ 。

(3) **乳浊液** 一种液体以细小液滴分散在另一种互不相溶的液体中所形成的系统，称为乳浊液。根据分散质和分散剂的性质不同，乳浊液又分为两大类：一类是“油”（指有机液体）分散在水里，形成水包油型乳浊液，用“油/水”或“O/W”表示，如牛奶、豆浆、乳化农药等；另一类是水分散在油里，形成油包水型乳浊液，用“水/油”或“W/O”表示，如原油等。

## 1.2 例题解析

【例 1-1】在  $36.5^\circ\text{C}$ 、 $100\text{ kPa}$ ，人呼吸时呼出气体的摩尔分数约为 75%  $\text{N}_2$ ，15%  $\text{O}_2$ ，4%  $\text{CO}_2$ ，6%  $\text{H}_2\text{O}$ 。试计算：

(1) 呼出的气体比空气重还是轻。（ $\rho_{\text{空气}} = 1.14\text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}$ ）

(2) 氧气的分压力。

解：(1) 首先计算平均摩尔质量