

科学版学习指导系列

工程化学

学习指导

刘祥萱 王煊军 编著

-42



科学出版社

www.sciencep.com

科学版学习指导系列

工程化学学习指导

刘祥萱 王煊军 编著

科学出版社

北 京

内 容 简 介

本书是根据《工程化学》课程教学要求编写的。全书共分5章24节,内容包括:元素周期律和原子、分子结构理论,化学反应的热力学、动力学原理和材料化学、环境化学、生命化学基础知识。本书由内容提要、学习目的、疑难问题解答、例题分析、自我检查题等部分组成。

本书可作为高等工科院校本、专科学生的学习指导书及教师的教学参考书。

图书在版编目(CIP)数据

工程化学学习指导/刘祥萱,王煊军编著. —北京:科学出版社,2003
(科学版学习指导系列)

ISBN 7-03-011280-6

I. 工… II. ①刘…②王… III. 工程化学-高等学校-教学参考资料
IV. TQ02

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2003)第 020541 号

责任编辑:刘俊来 黄 海 杨向萍 / 责任校对:包志虹

责任印制:安春生 / 封面设计:槐寿明

科学出版社 出版

北京东黄城根北街16号

邮政编码:100717

<http://www.sciencep.com>

双青印刷厂 印刷

科学出版社发行 各地新华书店经销

*

2003年6月第 一 版 开本:720×1000 1/16

2003年6月第一次印刷 印张:22 3/4

印数:1—7 000 字数:420 000

定价:25.00 元

(如有印装质量问题,我社负责调换〈环伟〉)

前 言

《工程化学》课程是一门应用性基础课,是化学学科与非化工类工程技术之间的桥梁。本课程从物质的化学组成、结构和化学反应出发,密切联系现代工程技术中与化学相关的材料、能源、环境、生命学科的知识,使学生具备一定的化学理论基础和应用化学知识来解决工程实际中与化学有关的问题。

作者从事大学基础化学教学十余年,亲历了从普通化学到工程化学教学改革的一步步历程。但是,由于目前《工程化学》课程教学时数少,对于理论部分,教师在课堂上难以深入,而知识部分完全由学生课后自学,学生又感到有一定的困难。为解决这些问题,作者编写了这本《工程化学学习指导》。

本书以节来划分共分 24 节。对于重点节包括有内容提要、学习目的、疑难问题解答、阅读材料、例题分析、自我检查题、附加题 7 个部分,对非重点节没有例题分析、阅读材料(或疑难问题解答)、附加题。每部分功能介绍如下:

内容提要 给出本节的基本知识要点、基本概念和基本公式,浓缩本节的核心内容,点破论述的最终观点。对照学习,有助于读者把握教学内容的中心和实质。

学习目的 对知识要点进行扩充和延伸,既给读者提出具体的目标,又点出本节重要内容。对照学习,对于学生,可以明确已掌握和未掌握的部分;对于教师,可以从中找到出考题的角度和思路。

疑难问题解答 每节中提出的问题多数属于本节的重点和难点问题,研读后可加深对教学内容的理解。它还包含了作者个人教学研究中发现的一些问题。

阅读材料 疑难问题解答的重点在概念、原理的分析,而阅读材料主要针对知识的介绍,这些知识是从杂志、教科书中汇集编写而成的,力求简洁、浅显易懂。

例题分析 例题分析是本书特色之一,这里的例题经精心设计,突出了本节的重点内容,以实例形式,打开学生的思路。这部分题作为课堂例题和考题都是很好的素材。

自我检查题 按照考试的形式出了一套考题,每节考题的难易和份量并不完全相同。这里力求将所学内容的知识要点都有所兼顾,对教师和学生都有参考价值。

附加题 主要从国外教材中选了一些练习题汇集于此,从中可以发现它与国内出题思路有很大差异,并由此获得很多有实际意义的启示。此外,个别章节如 § 3.2、§ 3.3 节将可作为自我检查题的一些题目也放在这一部分了。

与已有的一些普通化学学习指导书相比,本书包含了对环境污染与治理,金属、陶瓷和高分子材料结构与性能等方面内容的学习指导,收集、撰写了 801 道自我检查题、67 道例题和 191 道附加题。本书可作为《工程化学》、《普通化学》、《大学化学》学习以及教学参考用书。

由于作者水平有限,书中疏漏之处,敬请读者指正。

作 者

2003 年 2 月

目 录

绪论	(1)
一、内容提要	(1)
二、学习目的	(2)
三、疑难问题解答	(3)
四、例题分析	(6)
自我检查题	(6)
第1章 物质的化学组成和聚集状态	(8)
§ 1.1 物质的化学组成(一)	(8)
一、内容提要	(8)
二、学习目的	(9)
三、疑难问题解答	(10)
四、例题分析	(13)
自我检查题	(15)
附加题	(16)
§ 1.2 物质的化学组成(二)	(17)
一、内容提要	(17)
二、学习目的	(19)
三、疑难问题解答	(20)
四、例题分析	(25)
自我检查题	(26)
§ 1.3 固体	(28)
一、内容提要	(28)
二、学习目的	(30)
三、疑难问题解答	(31)
四、例题分析	(35)
自我检查题	(37)
附加题	(39)
§ 1.4 液体(一)	(40)
一、内容提要	(40)

二、学习目的	(41)
三、疑难问题解答	(42)
四、例题分析	(46)
自我检查题	(47)
附加题	(49)
§ 1.5 液体(二)	(49)
一、内容提要	(49)
二、学习目的	(50)
三、疑难问题解答	(51)
自我检查题	(54)
§ 1.6 气体和等离子体	(55)
一、内容提要	(55)
二、学习目的	(57)
三、疑难问题解答	(58)
四、阅读材料	(60)
五、例题分析	(64)
自我检查题	(67)
附加题	(68)
第 2 章 物质的结构和材料的性质	(70)
§ 2.1 核外电子运动的状态	(70)
一、内容提要	(70)
二、学习目的	(72)
三、疑难问题解答	(73)
四、例题分析	(78)
自我检查题	(79)
附加题	(81)
§ 2.2 元素周期律、金属材料	(82)
一、内容提要	(82)
二、学习目的	(83)
三、疑难问题解答	(84)
四、例题分析	(95)
自我检查题	(97)
附加题	(99)
§ 2.3 化学键、分子间力、高分子材料(一)	(100)

一、内容提要	(100)
二、学习目的	(102)
三、疑难问题解答	(104)
四、例题分析	(116)
自我检查题	(118)
附加题	(120)
§ 2.4 化学键、分子间力、高分子材料(二)	(121)
一、内容提要	(121)
二、学习目的	(122)
三、疑难问题解答	(122)
自我检查题	(128)
§ 2.5 晶体缺陷、陶瓷和复合材料	(130)
一、内容提要	(130)
二、学习目的	(131)
三、疑难问题解答	(132)
自我检查题	(136)
第 3 章 化学反应与能源	(138)
§ 3.1 热化学与能量转化	(138)
一、内容提要	(138)
二、学习目的	(140)
三、疑难问题解答	(141)
四、例题分析	(148)
自我检查题	(150)
附加题	(154)
§ 3.2 化学反应的方向和限度	(157)
一、内容提要	(157)
二、学习目的	(159)
三、疑难问题解答	(160)
四、例题分析	(165)
自我检查题	(170)
附加题	(173)
§ 3.3 化学平衡和反应速率	(177)
一、内容提要	(178)
二、学习目的	(180)

三、疑难问题解答	(182)
四、例题分析	(191)
自我检查题	(197)
附加题	(200)
§ 3.4 氧化还原反应和能源的开发利用	(203)
一、内容提要	(203)
二、学习目的	(206)
三、疑难问题解答	(207)
四、例题分析	(217)
自我检查题	(221)
附加题	(225)
第 4 章 水溶液中的化学反应和水体保护	(227)
§ 4.1 弱酸弱碱溶液及其应用	(227)
一、内容提要	(227)
二、学习目的	(229)
三、疑难问题解答	(230)
四、例题分析	(234)
自我检查题	(236)
附加题	(240)
§ 4.2 沉淀与溶解反应及其应用	(241)
一、内容提要	(241)
二、学习目的	(243)
三、疑难问题解答	(243)
四、例题分析	(248)
自我检查题	(252)
§ 4.3 配位反应及其应用	(254)
一、内容提要	(254)
二、学习目的	(256)
三、疑难问题解答	(256)
四、例题分析	(260)
自我检查题	(264)
§ 4.4 水质与水体保护	(265)
一、内容提要	(265)
二、学习目的	(267)

三、阅读材料	(267)
自我检查题	(273)
第 5 章 化学反应和材料保护	(275)
§ 5.1 金属腐蚀的发生	(275)
一、内容提要	(275)
二、学习目的	(277)
三、疑难问题解答	(277)
自我检查题	(281)
§ 5.2 金属腐蚀与防护	(283)
一、内容提要	(283)
二、学习目的	(285)
三、阅读材料	(285)
自我检查题	(291)
§ 5.3 生命体及高分子材料的老化	(293)
一、内容提要	(293)
二、学习目的	(294)
三、疑难问题解答	(294)
自我检查题	(297)
§ 5.4 高分子材料的保护	(299)
一、内容提要	(299)
二、学习目的	(300)
三、阅读材料	(301)
自我检查题	(302)
模拟试题(一)	(305)
模拟试题(二)	(308)
模拟试题(三)	(311)
自我检查题和附加题参考答案	(315)
模拟试题参考答案	(340)
参考文献	(344)
附录	(345)

绪 论

绪论中所讨论的内容是以后各章的基础。本章的目的之一是从原子、分子层次上来研究与认识物质的组成、结构、性质及变化规律,而另一个目的是介绍化学家在解决化学问题中所使用的基本概念和术语,如物质的量、系统、反应进度等。

一、内 容 提 要

1. 基本概念

微观与宏观;系统与环境;敞开系统、封闭系统与孤立系统;聚集状态;相;物质的量;反应进度。

2. 系统的分类

根据系统和环境之间有无物质交换和能量传递,可将系统分为:敞开系统、封闭系统和孤立系统三类。

3. 聚集状态与相

物质常见的聚集状态有固态、液态和气态三种。系统中具有相同物理性质和化学性质的部分称为一相。

气体:只有一相。液体:液体之间若能完全互溶时,只有一相;部分互溶或完全不互溶时,可以有两相或三相。固体:相同组成的物质,结构相同为一相(如三块冰),而结构不同的为两相或三相(如金刚石与石墨);不同组成的物质一般属于不同的相,但形成互溶的固溶体时为一相(如黄铜,Cu-Zn 合金)。

4. 物质的量

物质的量是 7 个基本物理量之一,物质的量的符号记为 n (单位为 mol)。使用物质的量时,必须将其基本单元指明,如 $n(\text{H})$,括号内“H”表示基本单元。

$$n = N / N_A$$

式中: n ——物质的量(单位 mol);

N ——粒子数;

N_A ——阿伏伽德罗常量, $6.022 \times 10^{23} \text{mol}^{-1}$ 。

$$n = m / M$$

式中: m ——物质的质量(单位 kg);

M ——物质的摩尔质量(单位 $\text{kg} \cdot \text{mol}^{-1}$)。

5. 反应进度

反应进度是用来描述和表征化学反应进行程度的物理量,用符号 ξ 表示,SI 单位为 mol。

反应进度可用下式表示

$$\xi = \Delta n_{\text{B}} / \nu_{\text{B}}$$

式中: Δn_{B} ——反应过程 B 物质的物质的量的变化量(单位 mol);

ν_{B} ——B 物质的化学计量数(规定反应物为负值,产物为正值);

ξ ——反应进度(单位 mol)。

反应进度 ξ 的大小与化学反应方程式的写法有关,而与采用反应方程式中何种物质来表达无关。

二、学 习 目 的

1. 明确化学研究的范围和目标

2. 掌握系统的概念

- (1) 系统与环境的区别;
- (2) 指明属于哪一类的系统——封闭、敞开或孤立;
- (3) 三种系统的各自特征;
- (4) 孤立系统是一种理想化的抽象。

3. 掌握聚集状态与相的概念

- (1) 聚集状态的分类和表示符: g, l, s;
- (2) 指明系统含有几相;
- (3) 弄清相同聚集态拥有多个相的情况;
- (4) 水的三相点含义。

4. 学会使用“物质的量”的概念

- (1) “物质的量”是 7 个基本物理量之一;
- (2) “物质的量”与阿伏伽德罗常量的关系;
- (3) “物质的量”的单位是 mol;

- (4)使用物质的量必须注明化学基本单元;
- (5)“物质的量”的有关计算。

5. 掌握反应进度的计算

- (1)反应进度的物理意义;
- (2)反应进度的计算;
- (3)反应进度与化学方程式写法有关。

本节重点:2,3,5。

三、疑难问题解答

1. 系统与环境

任何物质都是与它周围的其他物质相互关联的,为了便于研究,常常根据不同的研究目的为地选取一定数量、一定种类的物质作为研究对象。化学上把作为研究对象的那一部分物质或者空间称为系统。系统之外与之相关的周围物质或空间称为环境。例如,研究合成氨时,在合成塔中的三种气体(H_2 , N_2 , NH_3)和催化剂就作为一个系统,合成塔是环境。系统与环境的联系包括物质的交换和能量的传递两个方面,根据系统与环境联系方式的不同,把系统分成三类:敞开系统、封闭系统和孤立系统。

在一个敞口的玻璃杯中盛水,盛水的玻璃杯是一敞开系统,因为杯内外既有热量传递,且水蒸发进入外部环境又有物质交换,系统与环境没有明确的分界面;如在杯口盖一玻璃片,水不再进入周围环境,成为一个封闭系统;如果将上述的玻璃杯换成带塞的杜瓦瓶(保温瓶),瓶内外既无物质交换又无能量传递,是一个孤立系统。

将系统分为敞开系统、封闭系统和孤立系统,是为了理论研究的需要而做的一种假想,真正的孤立系统是不存在的。

化学热力学通常是以封闭系统为研究对象的。

2. 物质的聚集状态

物质的三种聚集状态:固态、液态、气态的特征见表0.1。

表 0.1 不同聚集状态与物理特性

聚集状态	组成粒子的间距	组成粒子的排列	物理特性
气态	大	无规则	压缩性、扩散性、各向同性
液态	↑	较有规则	扩散性、各向同性
固态 {	小	有规则	各向异性
		较无规则	各向同性

3. 相与聚集状态

按照系统中所含“相”的数目,可分为单相系统(只包含一个相的系统)和多相系统(两相或多于两相的系统)。相是与聚集状态密切相关的一个重要概念,在分析系统中所包含的相的数目时,应注意以下问题:

(1)不同聚集状态的物质各自为一相。

如:在 273.16K 和 610.62Pa 的条件下,存在的冰(固态)、水(液态)、水蒸气(气态)系统,是三相系统。这里冰、水、水蒸气虽然是同一种物质,但三者的聚集状态不同,三者的物理性质不同,因此各自为一相。

(2)相同聚集状态的物质混合时,呈两种情况。

①两物质完全互溶为一相,如 N_2 和 O_2 混合,水与酒精混合。

②两物质不完全互溶,分为两相,如水和苯的混合。

(3)同组成物质不同晶型的固体混合物属于不同的相。

如:碳元素可形成三种不同形式晶态物质:石墨、金刚石和 C_{60} ,含三者混合物的系统为三相系统。

(4)物质混合时,可能发生溶解或沉淀现象,也可能发生化学反应而生成新的物质,遇到这些情况,根据上述原理仔细分析,即可确定系统所含相的数目。

4. 使用物质的量的概念时,应注意的问题

使用物质的量的概念时,应注意以下问题:

(1)使用物质的量时,必须指明基本单元。

例 含 0.98kg 硫酸的溶液中, $n(H_2SO_4)$ 和 $n(\frac{1}{2}H_2SO_4)$ 各为多少?

解 基本单元 (H_2SO_4) 和 $(\frac{1}{2}H_2SO_4)$ 物质的摩尔质量分别为

$$M(H_2SO_4) = 0.098 \text{ kg} \cdot \text{mol}^{-1}$$

$$M(\frac{1}{2}H_2SO_4) = M(H_2SO_4) / 2 = 0.049 \text{ kg} \cdot \text{mol}^{-1}$$

0.98kg 硫酸溶液中 (H_2SO_4) 和 $(\frac{1}{2}H_2SO_4)$ 物质的量分别为

$$n(\text{H}_2\text{SO}_4) = m/M(\text{H}_2\text{SO}_4) = 10\text{mol}$$

$$n\left(\frac{1}{2}\text{H}_2\text{SO}_4\right) = m/M\left(\frac{1}{2}\text{H}_2\text{SO}_4\right) = 20\text{mol}$$

由此可见,含同质量的硫酸系统中,物质的量 $n(\text{H}_2\text{SO}_4)$ 和 $n\left(\frac{1}{2}\text{H}_2\text{SO}_4\right)$ 是不同的,因此使用物质的量时,必须指明基本单元。

(2)基本单元可以是原子、分子、离子,或者是这些粒子的组合。

基本单元一般用分子式表示,分子式前面的系数是整数、分数或小数都符合基本单元的要求。

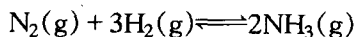
(3)物质的量的单位是 mol,物质的量的概念要与物质质量相区分。

5. 反应进度

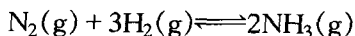
反应进度是用来表征化学反应进行程度的物理量,本书使用公式 $\xi = \Delta n_B/\nu_B$ 来定义反应进度 ξ , ξ 单位为 mol。反应进度随时间的变化率称为反应的转化速率 $\dot{\xi}$, $\dot{\xi} = \Delta\xi/\Delta t$, $\dot{\xi}$ 单位是 $\text{mol}\cdot\text{s}^{-1}$,它反映了化学反应进行的快慢程度。

按照国家标准规定,当反应过程中物质的量发生微小变化时,用公式 $d\xi = dn_B/d\nu_B$ 来定义反应进度,反应进度用 $d\xi$ 表示,相应反应的瞬时转化速率用 $d\xi/dt$ 表示。

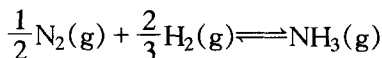
将化学计量数 ν_B 引入反应进度计算公式后,对特定化学反应方程,反应进度的大小与选择何种反应物或生成物来表达无关。如反应



采用 H_2 , N_2 和 NH_3 计算的反应进度值都是相同的。但是反应进度与化学反应方程式的写法有关。如生成 2mol 氨的化学反应过程,对反应



而言,反应进度为 1mol;而对反应



而言,反应进度为 2mol。

6. 溶液浓度的表示

(1)体积摩尔浓度:以每升溶液中所含溶质的物质的量来表示的溶液浓度叫做(体积)物质的量浓度,单位 $\text{mol}\cdot\text{L}^{-1}$ 。

(2)质量摩尔浓度:以 1000g 溶剂中所含溶质的物质的量来表示的溶液浓度,叫做质量摩尔浓度,用符号 $m(\text{B})$ 表示,单位 $\text{mol}\cdot\text{kg}^{-1}$ 。

(3)摩尔分数:溶质的物质的量与溶液中溶质和溶剂总的物质的量的比值叫做该物质的摩尔分数,用 $x(\text{B})$ 表示,没有单位。

四、例题分析

例 指出下列系统中,哪些是单相系统,哪些是多相系统。

(1)带有灰尘的空气;(2)牛奶液;(3)3块冰;(4) $\text{CaCO}_3(\text{s}) \rightleftharpoons \text{CaO}(\text{s}) + \text{CO}_2(\text{g})$

分析 (1)气体与气体混合为单相系统,而气体与液体或固体混合时为多相系统,因此带有灰尘的空气是多相系统;(2)液相混合物中,若液体是清晰透明的,为单相系统,而非透明液或有明显相界面的液相系统均属于多相系统,因而牛奶液是多相系统;(3)同种晶体物质,无论破碎为几块,因各块晶体的物理性质和化学性质均相同,因而仍属于同一相,因此含3块冰的系统为单相系统;(4)在含有固体和气体的反应系统中,不同组成的固体各为一相,所有气体为一相,因而 $\text{CaCO}_3(\text{s}) \rightleftharpoons \text{CaO}(\text{s}) + \text{CO}_2(\text{g})$ 系统为三相系统。

解 属于单相系统的是:3块冰系统。属于多相系统的有:带有灰尘的空气、牛奶液、 $\text{CaCO}_3(\text{s})$ 分解反应系统。

自我检查题

一、填空题

1. 在 3.2g 氧气的样品中,氧气分子的物质的量_____mol,氧原子的物质的量_____mol。

2. 某化合物由 20.0g 钙,6.0g 碳和 24.0g 氧所组成,该化合物的最简式为_____。(已知 Ca, C, O 的相对原子质量分别为 40, 12, 16)

3. 乙炔燃烧反应方程式 $\text{C}_2\text{H}_2(\text{g}) + \frac{5}{2}\text{O}_2(\text{g}) \rightleftharpoons 2\text{CO}_2(\text{g}) + \text{H}_2\text{O}(\text{g})$ 中, O_2 和 CO_2 的化学计量数分别为_____和_____,反应生成 1 mol CO_2 气体时反应进度为_____。

4. $\text{H}_2\text{O}(\text{s}) \rightarrow \text{H}_2\text{O}(\text{l}) \rightarrow \text{H}_2\text{O}(\text{g})$ 式中 s 表示_____, l 表示_____, g 表示_____。

二、选择题

1. 含下列混合物的系统中,_____不是单相系统。

A. 澄清的食盐溶液

B. 高山上的清洁空气样品

C. 一瓶溶有二氧化碳的澄清汽水

D. 花岗石样品

2. 氨可以用哈柏法制备。 $\text{N}_2 + 3\text{H}_2 \rightleftharpoons 2\text{NH}_3$, 式中系数“1”, “3”和“2”并不表示_____。

- A. 质量比
B. 物质的量比
C. 摩尔比
D. 体积比
3. 下列_____中的一对物质可混溶。
A. 水和酒精
B. 水和润滑油
C. 酒精和润滑油
D. 松节油和水
E. 水银和水
4. 在下列_____条件下气体最易溶于液体。
A. 高温和高压
B. 低温和低压
C. 高温和低压
D. 低温和高压
5. 下列各系统中,属于单相系统的是_____。
A. 系统中的各部分都是均匀的
B. 系统中各部分的聚集状态都是相同的
C. 系统中各部分的物理性质和化学性质都相同
D. 系统中各部分的物质组成都是相同的
6. 下列物质中,含有原子个数最多的是_____。
A. 2.0g 金属锂
B. 0.30g 氢原子
C. $\frac{1}{6}$ mol 氢分子
D. 2.0×10^{23} 个铜原子
(锂和铜的相对原子质量分别为 6.9 和 63.5)
7. 下列物理量除_____以外,均与粒子的阿伏伽德罗常量有关。
A. 1mol 的质量
B. 1F
C. 标准状态下 22.4L 气体
D. 摩尔
E. 库仑

三、判断题

1. “物质的量”就是物质的质量。 ()
2. “物质的量”是一个基本物理量,其基本单位是摩尔。 ()
3. 系统与环境间没有能量传递的系统称为孤立系统。 ()
4. 不同相的物质之间有明显的界面分开。 ()
5. 系统与环境之间有明显的分界面。 ()

四、简答题

1. 在密闭容器中置有 Fe_3O_4 和 H_2 , 在 227°C 时能发生下列反应



问:(1)此时系统中包括哪几相?

(2)冷却至室温后(25°C)系统中包括哪几相?

2. 说明“敞开系统 + 相应环境 = 孤立系统”的等式是否成立。