



圣才考研网

www.100exam.com

- ✓ 扫一扫 送本书 **手机版**
- ✓ 摇一摇 找学友互动学习
- ✓ 播一播 看名师直播答疑



国内外经典教材辅导系列·理工类

# 大连理工大学无机化学教研室《无机化学》

(第5版)

## 笔记和课后习题 (含考研真题) 详解

主编：圣才考研网  
www.100exam.com

**买一  
送四**



**150元大礼包**

- 送1** 3D电子书 (价值25元)
- 送2** 3D题库【名校考研真题+课后习题+章节题库+模拟试题】 (价值40元)
- 送3** 手机版【电子书/题库】 (价值65元)
- 送4** 圣才学习卡 (价值20元)

详情登录：圣才考研网 (www.100exam.com) 首页的【购书大礼包】，刮开本书所贴防伪标的密码享受购书大礼包增值服务。

特别提醒：本书提供名师考前直播答疑，手机电脑均可观看，**扫一扫**本书右上角二维码下载电子书学习。

本书提供  
名师考前  
直播答疑

中国石化出版社

HTTP://WWW.SINOPEC-PRESS.COM

教·育·出·版·中·心

圣才考研网  
www.100exam.com

网络课程·题库·光盘·图书  
购书送大礼包

密码

国内外经典教材辅导系列·理工类

大连理工大学无机化学教研室《无机化学》  
(第5版)

笔记和课后习题(含考研真题)详解

主编：圣才考研网

www.100exam.com



中国石化出版社

## 内 容 提 要

国内外经典教材辅导系列是一套全面解析当前国内外各大院校权威教科书的辅导资料。本书是大连理工大学无机化学教研室《无机化学》(第5版)的学习辅导书。本书基本遵循第5版的章目编排,共分18章,每章由三部分组成:第一部分为复习笔记,总结本章的重难点内容;第二部分是课(章)后习题详解,对第5版的所有习题都进行了详细的分析和解答;第三部分为考研真题详解,精选近年考研真题,并提供了详细的解答。

圣才考研网([www.100exam.com](http://www.100exam.com))提供大连理工大学无机化学教研室《无机化学》网授精讲班【教材精讲+考研真题串讲】、3D电子书、3D题库(详细介绍参见本书书前彩页)。随书赠送大礼包大礼包增值服务【80元3D电子书(题库)+80元手机版电子书(题库)+20元圣才学习卡】。扫一扫本书封面的二维码,可免费下载本书手机版;摇一摇本书手机版,可找所有学习本书的学友,交友学习两不误;本书提供名师考前直播答疑,手机电脑均可观看,直播答疑在考前推出(具体时间见网站公告)。

### 图书在版编目(CIP)数据

大连理工大学无机化学教研室《无机化学》(第5版)  
笔记和课后习题(含考研真题)详解/圣才考研网主  
编. —北京:中国石化出版社,2015.6  
(国内外经典教材辅导系列)  
ISBN 978-7-5114-3354-1

I. ①大… II. ①圣… III. ①无机化学-研究生-入  
学考试-自学参考资料 IV. ①O61

中国版本图书馆CIP数据核字(2015)第106967号

未经本社书面授权,本书任何部分不得被复制、抄袭,或者  
以任何形式或任何方式传播。版权所有,侵权必究。

### 中国石化出版社出版发行

地址:北京市东城区安定门外大街58号

邮编:100011 电话:(010)84271850

读者服务部电话:(010)84289974

<http://www.sinopec-press.com>

E-mail: [press@sinopec.com](mailto:press@sinopec.com)

保定华泰印刷有限公司印刷

全国各地新华书店经销

\*

787×1092毫米16开本15印张4彩页378千字

2015年6月第1版 2015年6月第1次印刷

定价:36.00元

# 《国内外经典教材辅导系列·理工类》

## 编 委 会

主编：圣才考研网(www.100exam.com)

编委：邱亚辉 娄旭海 肖 萌 段瑞权 赵芳微  
涂幸运 黄 顺 谢盼盼 陈敬龙 胡文杰  
张宝霞 倪彦辉 黄前海 万军辉 李昌付

# 序 言

我国各大院校一般都把国内外通用的权威教科书作为本科生和研究生学习专业课程的参考教材,这些教材甚至被很多考试(特别是硕士和博士入学考试)和培训项目作为指定参考书。为了帮助读者更好地学习专业课,我们有针对性地编著了一套学习国内外教材的复习资料,并提供配套的名师讲堂、3D电子书和3D题库。

大连理工大学无机化学教研室主编的《无机化学》是我国高校采用较多的无机化学权威教材之一。作为该教材的学习辅导书,本书具有以下几个方面的特点:

1. 整理名校笔记,浓缩内容精华。本书每章的复习笔记均对本章的重难点进行了整理,并参考了国内名校名师讲授该教材的课堂笔记。因此,本书的内容几乎浓缩了该教材的所有知识精华。

2. 解析课后习题,提供详尽答案。本书参考大量无机化学相关资料对大连理工大学无机化学教研室《无机化学》的课(章)后习题进行了详细的分析和解答,并对相关重要知识点进行了延伸和归纳。

3. 精选考研真题,巩固重难点知识。为了强化对重要知识点的理解,本书精选了部分名校近几年的无机化学考研真题,这些高校大部分以该教材作为考研参考书目。所选考研真题基本涵盖了各个章节的考点和难点,特别注重联系实际,凸显当前热点,同时精选了大量现实案例并进行了分析。

购买本书享受大礼包增值服务,登录圣才考研网([www.100exam.com](http://www.100exam.com)),刮开所购图书封面防伪标的密码,即可享受大礼包增值服务:①本书3D电子书(价值25元);②3D题库【名校考研真题+课后习题+章节题库+模拟试题】(价值40元);③手机版【电子书/题库】(价值65元);④圣才学习卡(价值20元),可在圣才学习网旗下所有网站进行消费。扫一扫本书封面的二维码,可免费下载本书手机版;摇一摇本书手机版,可找所有学习本书的学友,交友学习两不误;本书提供名师考前直播答疑,手机电脑均可观看,直播答疑在考前推出(具体时间见网站公告)。

与本书相配套,圣才考研网提供大连理工大学无机化学教研室《无机化学》网授精讲班【教材精讲+考研真题串讲】、3D电子书、3D题库(免费下载,送手机版)(详细介绍参见本书书前彩页)。

要深深牢记:考研不同一般考试,概念题(名词解释)要当作简答题来回答,简答题要当作论述题来解答,而论述题的答案要像是论文,多答不扣分。有的论述题的答案简直就是一份优秀的论文(其实很多考研真题就是选自一篇专题论文,完全需要当作论文来回答)!

圣才考研网([www.100exam.com](http://www.100exam.com))是圣才学习网旗下的考研考博专业网站,提供考研公共课和全国500所院校考研考博专业课辅导【一对一辅导、网授精讲班等】、3D电子书、3D题库(免费下载,免费升级)、全套资料(历年真题及答案、笔记讲义等)、国内外经典教材名师讲堂、考研教辅图书等。

考研辅导: [www.100exam.com](http://www.100exam.com) (圣才考研网)

官方总站: [www.100xuexi.com](http://www.100xuexi.com) (圣才学习网)

圣才学习网编辑部

# 目 录

第1章 气体 .....	( 1 )
1.1 复习笔记 .....	( 1 )
1.2 课后习题详解 .....	( 2 )
1.3 名校考研真题详解 .....	( 8 )
第2章 热化学 .....	( 9 )
2.1 复习笔记 .....	( 9 )
2.2 课后习题详解 .....	( 12 )
2.3 名校考研真题详解 .....	( 18 )
第3章 化学动力学基础 .....	( 20 )
3.1 复习笔记 .....	( 20 )
3.2 课后习题详解 .....	( 22 )
3.3 名校考研真题详解 .....	( 29 )
第4章 化学平衡 焓和 Gibbs 函数 .....	( 31 )
4.1 复习笔记 .....	( 31 )
4.2 课后习题详解 .....	( 34 )
4.3 名校考研真题详解 .....	( 47 )
第5章 酸碱平衡 .....	( 51 )
5.1 复习笔记 .....	( 51 )
5.2 课后习题详解 .....	( 56 )
5.3 名校考研真题详解 .....	( 70 )
第6章 沉淀溶解平衡 .....	( 75 )
6.1 复习笔记 .....	( 75 )
6.2 课后习题详解 .....	( 77 )
6.3 名校考研真题详解 .....	( 87 )
第7章 氧化还原反应 电化学基础 .....	( 91 )
7.1 复习笔记 .....	( 91 )
7.2 课后习题详解 .....	( 95 )
7.3 名校考研真题详解 .....	( 108 )
第8章 原子结构 .....	( 112 )
8.1 复习笔记 .....	( 112 )
8.2 课后习题详解 .....	( 116 )
8.3 名校考研真题详解 .....	( 121 )
第9章 分子结构 .....	( 123 )
9.1 复习笔记 .....	( 123 )

9.2	课后习题详解	(125)
9.3	名校考研真题详解	(130)
<b>第10章</b>	<b>固体结构</b>	(134)
10.1	复习笔记	(134)
10.2	课后习题详解	(138)
10.3	名校考研真题详解	(142)
<b>第11章</b>	<b>配合物结构</b>	(146)
11.1	复习笔记	(146)
11.2	课后习题详解	(148)
11.3	名校考研真题详解	(154)
<b>第12章</b>	<b>s区元素</b>	(156)
12.1	复习笔记	(156)
12.2	课后习题详解	(158)
12.3	名校考研真题详解	(163)
<b>第13章</b>	<b>p区元素(一)</b>	(165)
13.1	复习笔记	(165)
13.2	课后习题详解	(169)
13.3	名校考研真题详解	(175)
<b>第14章</b>	<b>p区元素(二)</b>	(178)
14.1	复习笔记	(178)
14.2	课后习题详解	(182)
14.3	名校考研真题详解	(187)
<b>第15章</b>	<b>p区元素(三)</b>	(189)
15.1	复习笔记	(189)
15.2	课后习题详解	(191)
15.3	名校考研真题详解	(196)
<b>第16章</b>	<b>d区元素(一)</b>	(199)
16.1	复习笔记	(199)
16.2	课后习题详解	(203)
16.3	名校考研真题详解	(213)
<b>第17章</b>	<b>d区元素(二)</b>	(217)
17.1	复习笔记	(217)
17.2	课后习题详解	(220)
17.3	名校考研真题详解	(228)
<b>第18章</b>	<b>f区元素</b>	(230)
18.1	复习笔记	(230)
18.2	课后习题详解	(231)
18.3	名校考研真题详解	(234)

# 第1章 气体

## 1.1 复习笔记

### 一、气体的两个基本特性

气体具有扩散性和可压缩性，主要表现在：

- (1) 气体没有固定的体积和形状；
- (2) 不同的气体能以任意比例相互均匀地混合；
- (3) 气体是最容易被压缩的一种聚集状态。

### 二、理想气体状态方程

#### 1. 理想气体状态方程

人们将符合理想气体状态方程的气体称为理想气体。

理想气体是一种假想气体，其分子本身不占有空间，分子之间没有相互作用力。实际上这种气体并不存在，只是人们研究气体状态变化时提出的一种理想模型。

理想气体状态方程为：

$$pV = nRT$$

式中， $R = 8.314 \text{ J} \cdot \text{mol}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$ ，称为摩尔气体常数； $p$ 、 $V$ 、 $T$  和  $n$  分别为压力、体积、温度和物质的量，单位分别为 Pa、 $\text{m}^3$ 、K 和 mol。

该方程适用于理想气体，近似地适用于温度不太低、压力不太高的真实气体。

#### 2. 理想气体状态方程的应用

- (1) 计算  $p$ 、 $V$ 、 $T$ 、 $n$  中的任意物理量
- (2) 确定气体的摩尔质量

根据  $pV = nRT = \frac{m}{M}RT$ ，得出：

$$M = \frac{mRT}{pV}$$

其中， $M$  单位为  $\text{g} \cdot \text{mol}^{-1}$ 。

- (3) 确定气体的密度

根据  $M = \frac{mRT}{pV} = \frac{\rho RT}{p}$ ，得出：

$$\rho = \frac{pM}{RT}$$

### 三、分压定律

理想气体状态方程式不仅适用于单一组分的气体，也适用于多组分的混合气体或其中某一种组分气体。在理想气体混合物中，若各组分之间不发生化学反应，也没有任何其他相互作用，则它们之间互不干扰，如同各自单独存在一样。

分压定律：混合气体的总压等于混合气体中各组分气体分压之和，这一定律被称为 Dal-



ton 分压定律。

$$p = p_1 + p_2 + \cdots \text{ 或 } p = \sum_B p_B$$

混合气体中某组分气体 B 对器壁产生的压力称为该组分气体的分压力  $p_B$ 。组分气体即理想气体混合物中的每一种气体。

对于理想气体来说,某组分气体 B 的分压力  $p_B$  等于相同温度下该组分气体单独占有与混合气体相同体积时所产生的压力,即:

$$p_B V = n_B RT$$

$$p_B = \frac{n_B RT}{V}$$

$$p_B = x_B p$$

式中,  $x_B = \frac{n_B}{n}$ , 为 B 组分气体的物质的量分数, 即摩尔分数。

#### 四、分体积定律

混合气体体积等于各组分气体的分体积之和:

$$V = V_1 + V_2 + \cdots = \sum_B V_B$$

理想气体混合物中某一组分 B 的分体积  $V_B$  是该组分气体单独存在并具有与混合气体相同温度和压力时所占有的体积。

$$V_B = \frac{n_B RT}{p}$$

$$p_B = \varphi_B p$$

式中,  $\varphi_B = \frac{V_B}{V}$ , 为 B 组分气体的体积分数。

$$\frac{p_B}{p} = \frac{n_B}{n} = \frac{V_B}{V} = x_B = \varphi_B$$

#### 五、Van der Waals 气体状态方程

理想气体状态方程式仅在足够低的压力和较高的温度下才适用于真实气体。实际气体与理想气体相比总有一定的偏差, 偏差的大小除与气体本身性质有关外, 还与温度、压力有关。

当压力较低、温度较高时的实际气体可近似看成理想气体。一般在常温常压下的实际气体与理想气体的偏差较小(在 5% 之内)。

荷兰物理学家 Van der Waals 考虑体积和压力因素, 对理想气体状态方程式进行修正, 提出了 Van der Waals 气体状态方程:

$$\left(p + a \frac{n^2}{V^2}\right)(V - nb) = nRT$$

式中,  $a$  是压力校正中的比例常量, 单位为  $\text{Pa} \cdot \text{m}^6 \cdot \text{mol}^{-2}$ ;  $b$  是与分子自身体积有关的常数, 单位为  $\text{m}^3 \cdot \text{mol}^{-1}$ ;  $a$ 、 $b$  与气体本身性质相关。

## 1.2 课后习题详解

1. 有多个用氦气填充的气象探测气球, 在使用过程中, 气球中氦的物质的量保持不变,

它们的初始状态和最终状态的实验数据如下表所示。试通过计算确定表中空位所对应的物理量，以及由(2)的始态求得  $M(\text{He})$  和(3)的始态条件下  $\rho(\text{He})$ 。

	$n$ 或 $m$	始 态			终 态		
		$p_1$	$V_1$	$t_1$ 或 $T_1$	$p_2$	$V_2$	$t_2$ 或 $T_2$
(1)	$n = ( ) \text{ mol} \cdot \text{L}$	110.0 kPa	$5.00 \times 10^5 \text{ L}$	47.00 °C	110.0 kPa		17.00 °C
(2)	637 g	1.02 atm	$3.50 \text{ m}^3$	0.00 °C		$5.10 \text{ m}^3$	0.00 °C
(3)	—	0.98 atm	$10.0 \text{ m}^3$	303.0 K	0.60 atm	$13.6 \text{ m}^3$	

解：(1) 根据题意可知， $p_1 = p_2 = 110.0 \text{ kPa}$ ， $V_1 = 5.00 \times 10^3 \text{ L}$ ， $T_1 = 273.15 + 47 = 320.15 \text{ K}$ ， $T_2 = 17 + 273.15 = 290.15 \text{ K}$

由于  $n$ ， $p$  恒定， $V_1/V_2 = T_1/T_2$ ，因此

$$V_2 = \frac{V_1 T_2}{T_1} = \frac{5.00 \times 10^3 \times 290.15}{320.15} = 4.53 \times 10^3 \text{ L}$$

$$n = \frac{p_1 V_1}{RT} = \frac{110 \times 10^3 \times 5.00 \times 10^3 \times 10^{-3}}{8.314 \times 320.15} = 207 \text{ mol}。$$

(2) 已知  $p_1 = 1.02 \text{ atm} \times \frac{101.325 \text{ kPa}}{1 \text{ atm}} = 103.4 \text{ kPa}$ ， $V_1 = 3.5 \times 10^3 \text{ L}$ ， $V_2 = 5.0 \times 10^3 \text{ L}$ ， $T_1 = T_2 = 273.15 \text{ K}$

由于  $n$ ， $T$  恒定， $p_1 V_1 = p_2 V_2$ ，因此

$$p_2 = \frac{p_1 V_1}{V_2} = \frac{103.4 \times 3.5 \times 10^3}{5.10 \times 10^3} = 71 \text{ kPa}$$

因为  $M = \frac{mRT}{\rho V}$ ，所以

$$M(\text{He}) = \frac{637 \text{ g} \times 8.314 \text{ J} \cdot \text{mol}^{-1} \cdot \text{K}^{-1} \times 273.15 \text{ K}}{103.4 \text{ kPa} \times 3.5 \times 10^3 \text{ L}} = 4.0 \text{ g} \cdot \text{mol}^{-1}。$$

(3) 已知  $p_1 = 101.325 \text{ kPa} \times 0.98 = 99.30 \text{ kPa}$ ， $V_1 = 10^4 \text{ L}$ ， $T_1 = 303 \text{ K}$ ， $p_2 = 60.80 \text{ kPa}$ ， $V_2 = 1.36 \times 10^4 \text{ L}$

由于  $n$  一定， $p_1 V_1/T_1 = p_2 V_2/T_2$ ，因此

$$T_2 = \frac{60.8 \text{ kPa} \times 1.36 \times 10^4 \text{ L} \times 303 \text{ K}}{99.30 \text{ kPa} \times 10^4 \text{ L}} = 252.3 \text{ K}$$

$$\rho(\text{He}) = \frac{p_1 M(\text{He})}{TR_1} = \frac{99.30 \text{ kPa} \times 4.00 \text{ g} \cdot \text{mol}^{-1} \cdot \text{L}^{-1}}{8.314 \text{ J} \cdot \text{mol}^{-1} \cdot \text{K}^{-1} \times 303.0 \text{ K}} = 0.158 \text{ g} \cdot \text{L}^{-1}。$$

2. 某气体化合物是氮的氧化物，其中含氮的质量分数以  $\omega(\text{N}) = 30.5\%$ ；某一容器中充有该氮氧化物的质量是  $4.107 \text{ g}$ ，其体积为  $0.500 \text{ L}$ ，压力为  $202.65 \text{ kPa}$ ，温度为  $0^\circ \text{C}$ 。试求：

(1) 在标准状况下，该气体的密度；(2) 该氧化物的相对分子质量  $M_r$  和化学式。

解：(1) 根据题意可知，标准状况下的气体体积为

$$V = \frac{202.65 \text{ kPa} \times 0.500 \text{ L}}{101.32 \text{ kPa}} = 1.00 \text{ L}$$

由密度的定义, 可得  $\rho = \frac{m}{V} = \frac{4.017 \text{ g}}{1 \text{ L}} = 4.017 \text{ g} \cdot \text{L}^{-1}$ 。

(2) 该气体的物质的量为  $n = \frac{\rho V}{RT} = \frac{202.65 \text{ kPa} \times 0.5 \text{ L}}{8.314 \text{ J} \cdot \text{mol}^{-1} \cdot \text{K}^{-1} \times 273.15 \text{ K}} = 0.0446 \text{ mol}$

该气体的摩尔质量为  $M = \frac{m}{n} = \frac{4.017 \text{ g}}{0.0446 \text{ mol}} = 92.0 \text{ g} \cdot \text{mol}^{-1} \cdot \text{L}^{-1}$

则氮的原子数为  $(\text{N}) = \frac{92 \times 35\%}{14} = 2$

氧的原子数为  $(\text{O}) = \frac{92 \times (1 - 30.5\%)}{16} = 4$

所以该气体的化学式为  $\text{N}_2\text{O}_4$ 。

3. 在  $0.237 \text{ g}$  某碳氢化合物中, 其  $\omega(\text{C}) = 80.0\%$ ,  $\omega(\text{H}) = 20.0\%$ 。  $22 \text{ }^\circ\text{C}$ ,  $756.8 \text{ mmHg}$  下, 体积为  $191.7 \text{ mL}$ 。确定该化合物的化学式。

解: 该化合物的物质的量为

$$n = \frac{\rho V}{RT} = \frac{756.8 \times 101.325 \text{ kPa} \times 191.7 \times 10^{-3} \text{ L}}{760 \times (273 + 22) \text{ K} \times 8.314 \text{ J} \cdot \text{mol}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}} = 7.89 \times 10^{-3} \text{ mol}$$

碳的物质的量为  $n(\text{C}) = \frac{m\omega(\text{C})}{M(\text{C})} = \frac{0.237 \text{ g} \times 0.8}{12 \text{ g} \cdot \text{mol}^{-1} \cdot \text{L}^{-1}} = 0.0158 \text{ mol}$

氢的物质的量为  $n(\text{H}) = \frac{m\omega(\text{H})}{M(\text{H})} = \frac{0.237 \text{ g} \times 0.2}{1 \text{ g} \cdot \text{mol}^{-1} \cdot \text{L}^{-1}} = 0.0474 \text{ mol}$

则碳的数目为  $(\text{C}) = \frac{n(\text{C})}{n} = \frac{0.0158}{7.89 \times 10^{-3}} = 2$

氢的数目为  $(\text{H}) = \frac{n(\text{H})}{n} = \frac{0.0474}{7.89 \times 10^{-3}} = 6$

所以此化合物的化学式为  $\text{C}_2\text{H}_6$ 。

4. 在容积为  $50.0 \text{ L}$  的容器中, 充有  $140.0 \text{ g}$  的  $\text{CO}$  和  $20.0 \text{ g}$  的  $\text{H}_2$ , 温度为  $300 \text{ K}$ 。试计算: (1)  $\text{CO}$  与  $\text{H}_2$  的分压; (2) 混合气体的总压。

解: (1) 两气体的分压与其物质的量成正比, 所以只要计算其物质的量即可计算出分压。

$$n(\text{CO}) = \frac{m(\text{CO})}{M(\text{CO})} = \frac{140.0 \text{ g}}{28.0 \text{ g} \cdot \text{mol}^{-1} \cdot \text{L}^{-1}} = 5.0 \text{ mol}$$

$$n(\text{H}_2) = \frac{m(\text{H}_2)}{M(\text{H}_2)} = \frac{20.0 \text{ g}}{2.0 \text{ g} \cdot \text{mol}^{-1} \cdot \text{L}^{-1}} = 10.0 \text{ mol}$$

$$p(\text{CO}) = \frac{n(\text{CO})RT}{V} = \frac{5.0 \text{ mol} \times 8.314 \text{ mol}^{-1} \cdot \text{K}^{-1} \times 300 \text{ K}}{50.0 \text{ L}} = 249 \text{ kPa}$$

同理可得到  $p(\text{H}_2) = 499 \text{ kPa}$

(2) 由气体的分压定律  $p = \sum_B p_B$ , 可得

$$p = p(\text{CO}) + p(\text{H}_2) = 249 \text{ kPa} + 499 \text{ kPa} = 748 \text{ kPa}。$$

5. 在激光放电电池中的气体是由  $2.0 \text{ mol CO}_2$ ,  $1.0 \text{ mol N}_2$  和  $16.0 \text{ mol He}$  组成的混合物, 总压为  $0.30 \text{ MPa}$ 。计算各组分分压。

解: 气体总的物质的量为  $n = 2.0 \text{ mol} + 1.0 \text{ mol} + 16.0 \text{ mol} = 19.0 \text{ mol}$

根据分压定律, 气体的分压与其物质的量成正比, 所以  $p_B = p \times \frac{n_B}{n}$ , 则

$$p(\text{CO}_2) = 0.0316 \text{ MPa}; p(\text{N}_2) = 0.0158 \text{ MPa}; p(\text{He}) = 0.2526 \text{ MPa}。$$

6. 在实验室中用排水集气法收集制取的氢气。在  $23^\circ\text{C}$ ,  $100.5 \text{ kPa}$  压力下, 收集了  $370.0 \text{ mL}$  的气体 ( $23^\circ\text{C}$  时, 水的饱和蒸汽压  $2.800 \text{ kPa}$ )。试求: (1)  $23^\circ\text{C}$  时该气体中氢气的分压; (2) 氢气的物质的量; (3) 若在收集氢气之前, 集气瓶中已充有氮气  $20.0 \text{ mL}$ , 其温度也是  $23^\circ\text{C}$ , 压力为  $100.5 \text{ kPa}$ ; 收集氢气之后, 气体的总体积为  $390.0 \text{ mL}$ 。计算此时收集的氢气分压, 与(2)相比, 氢气的物质的量是否发生变化?

解: (1) 在  $23^\circ\text{C}$  时, 水的蒸汽压  $p(\text{H}_2\text{O}) = 2.8 \text{ kPa}$ , 则

$$p(\text{H}_2) = p - p(\text{H}_2\text{O}) = 100.5 \text{ kPa} - 2.8 \text{ kPa} = 97.7 \text{ kPa}。$$

$$(2) n(\text{H}_2) = \frac{p(\text{H}_2)V}{RT} = \frac{97.7 \text{ kPa} \times 0.37 \text{ L}}{8.314 \text{ L} \cdot \text{mol}^{-1} \cdot \text{K}^{-1} \times 296 \text{ K}} = 0.0147 \text{ mol}。$$

(3) 收集气体前后, 系统中  $n(\text{N}_2)$ 、 $p(\text{H}_2\text{O})$ 、 $p$ 、 $T$  不变, 则

$$V_1 = 0.020 \text{ L}, V_2 = 0.390 \text{ L}$$

$$n(\text{N}_2) = \frac{p(\text{N}_2)V_1}{RT} = \frac{(100.5 - 2.800) \text{ kPa} \times 0.020 \text{ L}}{8.314 \text{ J} \cdot \text{mol}^{-1} \cdot \text{K}^{-1} \times (273 + 23) \text{ K}} = 7.94 \times 10^{-4} \text{ mol}$$

收集氢气之后, 混合气体中  $\text{H}_2$  与  $\text{N}_2$  分压之和为:

$$p'(\text{H}_2) + p(\text{N}_2) = p - p(\text{H}_2\text{O}) = (100.5 - 2.800) \text{ kPa} = 97.7 \text{ kPa}$$

$$n(\text{H}_2) = (0.0155 - 7.94 \times 10^{-4}) \text{ mol} = 0.0147 \text{ mol}$$

$$p'(\text{H}_2) = \frac{n(\text{H}_2)}{n(\text{H}_2) + n(\text{N}_2)} [p'(\text{H}_2) + p(\text{N}_2)] = \frac{0.0147}{0.0155} \times 97.7 \text{ kPa} = 92.7 \text{ kPa}$$

与(2)相比较,  $n(\text{H}_2)$  不变。

7. 当  $\text{NO}_2$  被冷却到室温时, 发生聚合反应:



若在高温下将  $15.2 \text{ g NO}_2$  充入  $10.0 \text{ L}$  的容器中, 然后使其冷却到  $25^\circ\text{C}$ 。测得总压为  $0.500 \text{ atm}$ 。试计算  $\text{NO}_2(\text{g})$  和  $\text{N}_2\text{O}_4(\text{g})$  的摩尔分数和分压。

解: 根据题意可知,  $\text{NO}_2$  的物质的量为

$$n(\text{NO}_2) = \frac{m(\text{NO}_2)}{M(\text{NO}_2)} = \frac{15.2 \text{ g}}{46.01 \text{ g} \cdot \text{mol}^{-1}} = 0.330 \text{ mol},$$

根据氮守恒, 可得

$$n(\text{NO}_2) + 2n(\text{N}_2\text{O}_4) = 0.330 \text{ mol} \quad (1)$$

根据分压定律,  $p(\text{NO}_2) + p(\text{N}_2\text{O}_4) = 101.325 \text{ kPa} \times 0.5 = 50.7 \text{ kPa}$ , 即

$$\frac{n(\text{NO}_2)RT}{V} + \frac{n(\text{N}_2\text{O}_4)RT}{V} = 50.7 \text{ kPa}$$

$$n(\text{NO}_2) + n(\text{N}_2\text{O}_4) = \frac{50.7 \text{ kPa} \times 10.0 \text{ L}}{8.314 \text{ J} \cdot \text{mol}^{-1} \cdot \text{K}^{-1} \times 298.15 \text{ K}}$$

$$n(\text{NO}_2) + n(\text{N}_2\text{O}_4) = 0.205 \text{ mol} \quad (2)$$

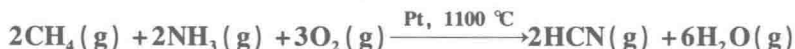
联立解得

$$n(\text{N}_2\text{O}_4) = 0.125 \text{ mol}, n(\text{NO}_2) = 0.077 \text{ mol},$$

$$x(\text{NO}_2) = 0.077/0.205 = 0.38, x(\text{N}_2\text{O}_4) = 0.62$$

$$p(\text{NO}_2) = 50.7 \text{ kPa} \times 0.38 = 19.3 \text{ kPa}, \quad p(\text{N}_2\text{O}_4) = 31.4 \text{ kPa}$$

8. 氰化氢(HCN)气体是用甲烷和氨作原料制造的。反应如下:



如果反应物和产物的体积是在相同温度和相同压力下测定的。计算:(1)与3.0LCH<sub>4</sub>反应需要氨的体积;(2)与3.0LCH<sub>4</sub>反应需要氧气的体积;(3)当3.0LCH<sub>4</sub>完全反应后,生成的HCN(g)和H<sub>2</sub>O(g)的体积。

解:由于是在相同温度和压力条件下测定的,所以其体积之比与其物质的量之比相同。即:

$$(1) V(\text{NH}_3) = \frac{n(\text{NH}_3)}{n(\text{CH}_4)} V(\text{CH}_4) = \frac{2}{2} \times 3.0 \text{ L} = 3.0 \text{ L}$$

$$(2) V(\text{O}_3) = \frac{n(\text{O}_3)}{n(\text{CH}_4)} V(\text{CH}_4) = \frac{3}{2} \times 3.0 \text{ L} = 4.5 \text{ L}$$

$$(3) V(\text{HCN}) = \frac{n(\text{HCN})}{n(\text{CH}_4)} V(\text{CH}_4) = \frac{2}{2} \times 3.0 \text{ L} = 3.0 \text{ L}$$

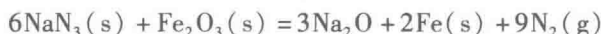
$$V(\text{H}_2\text{O}) = \frac{n(\text{H}_2\text{O})}{n(\text{CH}_4)} V(\text{CH}_4) = \frac{6}{2} \times 3.0 \text{ L} = 9.0 \text{ L}$$

9. 为了行车安全,可在汽车上装备气袋,以便必要时保护司机和乘客。这种气袋是用氮气充填的,所用氮气是由叠氮化钠(NaN<sub>3</sub>, s)与三氧化二铁在火花的引发下反应生成的(其他产物还有氧化钠和铁)。

(1) 写出该反应方程式并配平之;

(2) 在25℃, 748 mmHg下,要产生75.0 L的N<sub>2</sub>需要叠氮化钠的质量是多少?

解:(1)根据题中所给出的产物和生成物,可得方程



(2)所需氮的物质的量为

$$n(\text{N}_2) = \frac{pV}{RT} = \frac{748 \text{ mmHg} \times 101.325 \text{ kPa} \times 75.0 \text{ L}}{760 \text{ mmHg} \times 8.314 \text{ J} \cdot \text{mol}^{-1} \cdot \text{K}^{-1} \times 298.15 \text{ K}} = 3.02 \text{ mol}$$

由反应可知,氮的来源全部为NaN<sub>3</sub>,则根据氮守恒

需NaN<sub>3</sub>的物质的量为

$$n(\text{NaN}_3) = \frac{3.02 \text{ mol} \times 2}{3} = 2.01 \text{ mol}$$

需NaN<sub>3</sub>的质量为

$$m(\text{NaN}_3) = n(\text{NaN}_3) \times M(\text{NaN}_3) = 2.01 \text{ mol} \times 65 \text{ g} \cdot \text{mol}^{-1} \cdot \text{L}^{-1} = 131 \text{ g}$$

10. 一个人每天呼出的CO<sub>2</sub>相当于标准状况下的5.8×10<sup>2</sup> L。在空间站的密闭舱中,宇航员呼出的CO<sub>2</sub>用LiOH(s)吸收。写出该反应方程式,并计算每个宇航员每天需要LiOH的质量。

解:反应方程式为2LiOH + CO<sub>2</sub> = Li<sub>2</sub>CO<sub>3</sub> + H<sub>2</sub>O,则根据题意可得

$$n(\text{CO}_2) = V(\text{CO}_2) / 22.4 \text{ L} \cdot \text{mol}^{-1} = 26 \text{ mol}$$

由方程式的系数比,可知 $\frac{n(\text{LiOH})}{n(\text{CO}_2)} = \frac{2}{1} = 2$ ,故 $n(\text{LiOH}) = 2n(\text{CO}_2) = 52 \text{ mol}$

因此所需LiOH的质量为

$$m\text{LiOH} = n \times M = 52 \text{ mol} \times 24 \text{ g} \cdot \text{mol}^{-1} = 1243 \text{ g}。$$

11. 地球上物体的逃逸速度为  $11.2 \text{ km} \cdot \text{s}^{-1}$ 。计算 He, Ar, Xe 在  $2000 \text{ K}$  的方均根速度。由计算结果可帮助你了解为什么大气中 He 的丰度(含量)最小。

解: 根据题意可得,  $M(\text{He}) = 4.0026 \text{ g} \cdot \text{mol}^{-1}$ ,  $M(\text{Ar}) = 39.948 \text{ g} \cdot \text{mol}^{-1}$ , 则

$$v_{\text{rms}}(\text{He}) = \sqrt{\frac{3RT}{M}} = \sqrt{\frac{3 \times 8.314 \text{ J} \cdot \text{mol}^{-1} \cdot \text{K}^{-1} \times 2000 \text{ K}}{4.0026 \times 10^{-3} \text{ kg} \cdot \text{mol}^{-1}}} = 3.530 \text{ km} \cdot \text{s}^{-1}$$

同理可得:

$$v_{\text{rms}}(\text{Ar}) = \sqrt{\frac{M(\text{He})}{M(\text{Ar})}} v_{\text{rms}}(\text{He}) = \sqrt{\frac{4.0026}{39.948}} \times 3.530 \text{ km} \cdot \text{s}^{-1} = 1.117 \text{ km} \cdot \text{s}^{-1}$$

$$v_{\text{rms}}(\text{Xe}) = \sqrt{\frac{4.0026}{131.29}} \times 3.53 \text{ km} \cdot \text{s}^{-1} = 0.616 \text{ km} \cdot \text{s}^{-1}$$

由于  $v_{\text{rms}}(\text{He})$  最大, 所以逃离了地球的氦比较多, 其丰度最小。但元素在地壳中的丰度不仅仅决定于逃逸速度, 还与物质衰变等因素有关。

12. 在容积为  $40.0 \text{ L}$  氧气钢瓶中充有  $8.00 \text{ kg}$  的氧, 温度为  $25 \text{ }^\circ\text{C}$ 。

(1) 按理想气体状态方程计算钢瓶中氧的压力;

(2) 再根据 Van der Waals 方程计算氧的压力;

(3) 确定两者的相对误差。

解:  $n(\text{O}_2) = \frac{m(\text{O}_2)}{M(\text{O}_2)} = \frac{8.0 \times 10^3 \text{ g}}{32 \text{ g} \cdot \text{mol}^{-1}} = 250 \text{ mol}$

(1)  $p_1 = \frac{nRT}{V} = \frac{2.50 \times 10^2 \text{ mol} \times 8.314 \text{ J} \cdot \text{mol}^{-1} \cdot \text{K}^{-1} \times 298 \text{ K}}{40.0 \text{ L}} = 1.55 \times 10^4 \text{ kPa}$

(2) 查教材得氧的 Van der Waals 常量:

$$a = 0.1378 \text{ Pa} \cdot \text{m}^6 \cdot \text{mol}^{-2} = 0.1378 \times 10^3 \text{ kPa} \cdot \text{L}^2 \cdot \text{mol}^{-2}$$

$$b = 0.3183 \times 10^{-4} \text{ m}^3 \cdot \text{mol}^{-1} = 0.03183 \text{ L} \cdot \text{mol}^{-1}$$

则根据 Van der Waals 方程

$$\left(p + a \frac{n^2}{V^2}\right)(V - nb) = nRT$$

代入相关数据, 解得

$$p = \left[ \frac{2.50 \times 10^2 \text{ mol} \times 8.314 \text{ J} \cdot \text{mol}^{-1} \cdot \text{K}^{-1} \times 298 \text{ K}}{40.0 \text{ L} - 3.50 \times 10^2 \text{ mol} \times 0.03183 \text{ L} \cdot \text{mol}^{-1}} \right] - \left[ \frac{0.1378 \times 10^3 \text{ kPa} \cdot \text{L}^2 \cdot \text{mol}^{-2} \times (2.50 \times 10^2 \text{ mol})^2}{(40.0 \text{ L})^2} \right]$$

$$= 1.40 \times 10^4 \text{ kPa}$$

(3) 相对偏差:  $d_t = \frac{1.55 \times 10^4 - 1.40 \times 10^4}{1.40 \times 10^4} \times 100\% = 11\%$

13. 不查表, 确定下列气体  $\text{H}_2$ ,  $\text{N}_2$ ,  $\text{CH}_4$ ,  $\text{C}_2\text{H}_6$  和  $\text{C}_3\text{H}_8$  中, 其 Van der Waals 常量  $b$  最大的是哪一种气体?

解: 通常情况下, 摩尔分子量越大的气体, 分子的体积较大, 其气体分子之间的作用力往往较大, 因而 Van der Waals 常量  $b$  较大。题给气体中,  $M(\text{C}_3\text{H}_8)$  最大, 所以其  $b$  最大。

14. 比较  $\text{H}_2$ ,  $\text{CO}_2$ ,  $\text{N}_2$  和  $\text{CH}_4$  的 Van der Waals 常量  $a$ , 预测分子间力最大的是哪一种气体。

解：四种气体中， $\text{CO}_2$  的分子量  $M(\text{CO}_2)$  最大， $a$  最大，故可预测  $\text{CO}_2$  的分子间的作用力最大。

### 1.3 名校考研真题详解

本章内容是为了满足一些学校和专业的需要而增加的，主要介绍了气体的相关理论知识基本上在高校的考研试题里没有作为单独的知识点考查，而是多与其他章节知识点相结合，因此可做大概了解，但不必作为复习重点。故本部分没选用考研真题。

# 第2章 热化学

## 2.1 复习笔记

### 一、基本概念

#### 1. 系统和环境

系统是指被研究的对象；环境是指系统边界以外与之相关的物质世界，如容器壁、密封盖等都是环境的组成部分。

按照系统与环境之间物质和能量传递情况的不同，系统分为三类：

- (1) 封闭系统：只有能量传递，没有物质传递，该系统的质量守恒；
- (2) 敞开系统：既有物质传递，也有能量传递；
- (3) 隔离系统：既没有物质传递，也没有能量传递。

#### 2. 状态和状态函数

状态：指系统所有宏观性质，包括物理性质和化学性质的综合表现。

状态函数：描述系统热力学状态的宏观性质的物理量，如  $p$ 、 $V$ 、 $T$ 、 $U$ 、 $n$  等。

状态函数随系统状态改变而发生改变，其变化值仅与系统的始终态相关，与系统所经历的途径无关。

注意：状态函数的变化值并不是状态函数。

#### 3. 过程和途径

过程：系统的某些性质发生的改变称为过程。

常涉及到的  $pVT$  过程分为定温过程 ( $T_{\text{始}} = T_{\text{终}}$ ，过程中温度保持此值不变)、定压过程 ( $p_{\text{始}} = p_{\text{终}}$ ，过程中压力保持此值不变)、定容过程 ( $\Delta V = 0$ ) 和循环过程 (始态和终态相同)。

途径：系统由始态到终态所经历的过程的总和称为途径。

#### 4. 相

系统中物理性质和化学性质完全相同而与其他部分有明确界面的任何均匀部分称为相。只含一个相的系统称为单相系统或者均相系统。

#### 5. 化学反应计量式和反应进度

化学反应计量式 (化学反应方程式)：根据质量守恒定律，用规定的化学符号和化学式表示化学反应的式子。

化学反应方程式书写原则：①根据实验事实，正确写出反应物和产物的化学式；②配平：包括原子种类和数量、粒子电荷；③表明物质的状态 ( $g$ ,  $l$ ,  $s$ ,  $aq$ )。

反应进度 ( $\xi$ ) 定义为：

$$\xi = \frac{n_B(\xi) - n_B(0)}{\nu_B}$$

式中， $n_B(0)$  和  $n_B(\xi)$  分别代表反应进度  $\xi = 0$  (反应未开始) 和  $\xi = \xi$  时 B 的物质的量。 $\nu_B$  称为化学计量数，是量纲为一的量，对反应物  $\nu_B$  为负，对产物  $\nu_B$  为正。

反应进度  $\xi$  单位为 mol，其数值与化学反应方程式相对应，与表示进度的物质 B 的选择无关。



## 二、热力学第一定律

热和功是系统与环境之间能量传递的两种形式，能量的传递具有方向性。

热力学上规定：

(1) 系统吸热， $Q > 0$ ；系统放热， $Q < 0$ ；

(2) 环境对系统做功， $W > 0$ ；系统对环境做功， $W < 0$ 。在化学变化和相变化中常伴随着体积的变化，系统因体积变化而对抗外压所做的功称为体积功，其他形式的功统称为非体积功。

热和功都不是状态函数，均与过程有关。

热力学能(内能， $U$ )是系统内部能量的总和，是状态函数，其单位为 J 或 kJ。系统内能( $U$ )的绝对值无法确定，但可通过实验确定其变化值( $\Delta U$ )。热力学能的变化只与系统的始态和终态有关，而与变化所经历的途径无关。

热力学第一定律的实质是能量守恒和转化定律。热力学第一定律可以简述为：系统的热力学能的变化( $\Delta U$ )等于系统与环境之间传递的热和功的总值，其数学表达式为：

$$\Delta U = Q + W$$

隔离系统的过程： $Q = 0$ ， $W = 0$ ，所以  $\Delta U = 0$ 。即隔离系统的热力学能是守恒的。

循环过程： $\Delta U = 0$ 。

## 三、焓与焓变

化学反应中伴随着新物质的生成常发生能量的变化，若使生成物的温度回到反应物的起始温度，并且反应过程中系统只对抗外压做体积功时，反应所吸收或放出的热量称为化学反应的反应热。反应热与系统的组成、状态以及反应条件有关。

### 1. 恒容反应热 $Q_v$

定容过程中完成的反应称定容反应，其热效应称定容反应热  $Q_v$ 。

对于封闭系统，在定容过程中， $\Delta V = 0$ ， $W = 0$ ，非体积功为零，则

$$Q_v = \Delta U$$

即定容反应过程中，体系吸收的热量全部用来改变体系的内能。

反应的定容反应热可以用弹式热量计精确地测量。

### 2. 定压反应热 $Q_p$

焓的定义：

$$H = U + pV$$

$U$ ， $p$ ， $V$  是状态函数， $H$ (焓)是状态函数的组合，也是状态函数，焓与热力学能的单位相同，其绝对值也不能测定。

系统压力与环境压力相等时的反应热称为定压反应热  $Q_p$ 。

在定压和不做非体积功的过程中，封闭系统从环境所吸收的热等于系统焓的增加，即：

$$Q_p = \Delta H$$

规定：吸热反应， $\Delta H > 0$ ；放热反应， $\Delta H < 0$ 。

焓变  $\Delta H$  的单位为  $\text{J} \cdot \text{mol}^{-1}$  或  $\text{kJ} \cdot \text{mol}^{-1}$ 。

反应的定压反应热可以用杯式热量计精确地测量。

## 四、热化学方程式

### 1. 标准状态

气体的标准状态： $p = p^\ominus$ 。混合气体中某组分的标准态是指该组分的分压为  $p^\ominus$  且单独存在的状态。