



教育部 高职高专规划教材

无机化学 学习指导

● 胡伟光 李弘 主编

化学工业出版社
教材出版中心



教育部高职高专规划教材

无机化学学习指导

胡伟光 李 弘 主编



化学工业出版社
教材出版中心

· 北京 ·

(京)新登字 039 号

图书在版编目 (CIP) 数据

无机化学学习指导/胡伟光,李弘主编. —北京:化学工业出版社, 2005.6

教育部高职高专规划教材

ISBN 7-5025-7261-9

I. 无…… II. ①胡…②李… III. 无机化学-高等学校: 技术学院-教学参考资料 IV. O61

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2005) 第 068093 号

教育部高职高专规划教材

无机化学学习指导

胡伟光 李 弘 主编

责任编辑: 陈有华

文字编辑: 颜克俭

责任校对: 李 林

封面设计: 郑小红

*

化学工业出版社
出版发行
教材出版中心

(北京市朝阳区惠新里 3 号 邮政编码 100029)

购书咨询: (010) 64982530

(010) 64918013

购书传真: (010) 64982630

<http://www.cip.com.cn>

*

新华书店北京发行所经销

北京云浩印刷有限责任公司印装

开本 787mm×1092mm 1/16 印张 14 $\frac{1}{4}$ 字数 346 千字

2005 年 7 月第 1 版 2005 年 7 月北京第 1 次印刷

ISBN 7-5025-7261-9

定 价: 22.00 元

版权所有 违者必究

该书如有缺页、倒页、脱页者, 本社发行部负责退换

全国高等职业教育化工专业教材编审委员会

- 主任：赵杰民
- 副主任：张鸿福 李顺汀 田 兴 黄永刚 任耀生
- 基础化学组：李居参 赵文廉 宋长生
苏 静 胡伟光 初玉霞
丁敬敏 王建梅 张法庆
徐少华
- 数理基础组：于宗保 王绍良 王爱广
金长义 陈 泓 朱芳鸣
高 松 刘玉梅 杨 凌
董振珂 李元文 丛文龙
傅 伟
- 化工基础组：唐小恒 周立雪 秦建华
王小宝 张柏钦 张洪流
邢鼎生 张国铭 徐建良
周 健
- 化工专业组：刘德铮 陈炳和 杨宗伟
王文选 文建光 田铁牛
李贵贤 梁凤凯 卞进发
杨西萍 舒均杰 郑广俭
- 人文社科组：曹克广 霍献育 徐沛林
刘明远 曾悟声 马 涛
侯文顺 曲富军 高玉萍
史高锋 赵治军
- 工程基础组：丁志平 刘景良 姜敏夫
魏振枢 律国辉 过维义
吴英绵 章建民 张 平
许 宁 贺召平

出版说明

高职高专教材建设工作是整个高职高专教学工作中的重要组成部分。改革开放以来，在各级教育行政部门、有关学校和出版社的共同努力下，各地先后出版了一些高职高专教育教材。但从整体上看，具有高职高专教育特色的教材极其匮乏，不少院校尚在借用本科或中专教材，教材建设落后于高职高专教育的发展需要。为此，1999年教育部组织制定了《高职高专教育专门课课程基本要求》（以下简称《基本要求》）和《高职高专教育专业人才培养目标及规格》（以下简称《培养规格》），通过推荐、招标及遴选，组织了一批学术水平高、教学经验丰富、实践能力强的教师，成立了“教育部高职高专规划教材”编写队伍，并在有关出版社的积极配合下，推出一批“教育部高职高专规划教材”。

“教育部高职高专规划教材”计划出版500种，用5年左右时间完成。这500种教材中，专门课（专业基础课、专业理论与专业能力课）教材将占很高的比例。专门课教材建设在很大程度上影响着高职高专教学质量。专门课教材是按照《培养规格》的要求，在对有关专业的人才培养模式和教学内容体系改革进行充分调查研究和论证的基础上，充分汲取高职、高专和成人高等学校在探索培养技术应用型专门人才方面取得的成功经验和教学成果编写而成的。这套教材充分体现了高等职业教育的应用特色和能力本位，调整了新世纪人才必须具备的文化基础和技术基础，突出了人才的创新素质和创新能力的培养。在有关课程开发委员会组织下，专门课教材建设得到了举办高职高专教育的广大院校的积极支持。我们计划先用2~3年的时间，在继承原有高职高专和成人高等学校教材建设成果的基础上，充分汲取近几年来各类学校在探索培养技术应用型专门人才方面取得的成功经验，解决新形势下高职高专教育教材的有无问题；然后再用2~3年的时间，在《新世纪高职高专教育人才培养模式和教学内容体系改革与建设项目计划》立项研究的基础上，通过研究、改革和建设，推出一大批教育部高职高专规划教材，从而形成优化配套的高职高专教育教材体系。

本套教材适用于各级各类举办高职高专教育的院校使用。希望各用书学校积极选用这批经过系统论证、严格审查、正式出版的规划教材，并组织本校教师以对事业的责任感对教材教学开展研究工作，不断推动规划教材建设工作的发展与提高。

教育部高等教育司

2001年4月3日

前 言

本书与教育部高职高专规划教材《无机化学》(三年制, 化学工业出版社) 配套使用。在编写中力求体现高职教学的要求, 体现理论知识与生产、生活的紧密联系, 突出基本概念、基本知识和基本计算及应用。

在取材上, 着重问题的典型性、代表性和应用性, 题型具有多样性和新颖性, 各类习题力求充实, 覆盖面广, 深浅适宜, 并富有启发性。同时注意例题解题思路的整理和提炼, 可帮助学生提高学习能力, 使学生思维能力得到锻炼, 对知识的应用得到强化。

学生从高中到高职的学习是一个质的飞跃, 高中与高等职业学校的办学层次不同, 培养目标也不同。高等职业教育的主要任务是培养高技能人才, 高技能人才对企业的技术创新和实现科技成果向现实生产力的转化起着重要作用。因此, 高等职业教育是直接为经济建设服务的教育, 是一种就业教育。高等职业教育的理念、教学内容、教学方法和教学手段与高中是不同的。无机化学课程是化工类专业在一年级开设的课程, 是一门专业基础课。为了帮助学生顺利地由高中到高等职业学习的过渡, 使其掌握本门课程的知识, 为学习后续课程奠定良好的基础, 我们特编写此书。

本书第一章、第二章由李弘(常州工程职业技术学院)编写, 第三章、第四章、第九章由胡伟光、田凡(辽宁石化职业技术学院)编写, 第五章由李素婷(徐州工业职业技术学院)编写, 第六~八章由王宝仁(辽宁石化职业技术学院)编写, 第十~十四章由史宝萍、胡建水(太原科技大学化学与生物工程学院)编写。全书由胡伟光统稿, 由李居参(辽宁石化职业技术学院)主审。

由于时间紧, 限于作者的水平, 本书不妥之处在所难免, 敬请同行和读者提出批评, 给予指教。

编者

2005年4月

内 容 提 要

本书与教育部高职高专规划教材《无机化学》(三年制, 化学工业出版社) 配套使用, 内容包括物质的聚集状态、化学反应速率和化学平衡、酸碱平衡和酸碱滴定法、沉淀溶解平衡和沉淀滴定法、氧化还原平衡和氧化还原滴定法、原子结构、分子结构、晶体结构、配位平衡和配位滴定法、p 区元素 (一) (二)、s 区元素、ds 区元素、d 区元素。本书取材上着意问题的典型性、代表性和实用性, 各类习题力求充实、覆盖面广、深浅适宜, 并且具有启发性, 同时注意例题解题思路的整理和提炼, 使学生的思维能力得到锻炼。

本教材适合高职化工专业及相关专业学生参考使用。

目 录

第一章 物质的聚集状态	1
知识要点.....	1
例题解析.....	3
思考题与习题.....	6
第二章 化学反应速率和化学平衡	10
知识要点.....	10
例题解析.....	14
思考题与习题.....	19
第三章 酸碱平衡和酸碱滴定法	25
知识要点.....	25
例题解析.....	29
思考题与习题.....	35
第四章 沉淀溶解平衡和沉淀滴定法	42
知识要点.....	42
例题解析.....	46
思考题与习题.....	51
第五章 氧化还原平衡和氧化还原滴定法	57
知识要点.....	57
例题解析.....	60
思考题与习题.....	66
第六章 原子结构	72
知识要点.....	72
例题解析.....	76
思考题与习题.....	78
第七章 分子结构	81
知识要点.....	81
例题解析.....	85
思考题与习题.....	88

第八章 晶体结构	90
知识要点	90
例题解析	92
思考题与习题	94
第九章 配位平衡和配位滴定法	96
知识要点	96
例题解析	103
思考题与习题	107
第十章 p 区元素 (一)	113
知识要点	113
例题解析	117
思考题与习题	126
第十一章 p 区元素 (二)	132
知识要点	132
例题解析	137
思考题与习题	146
第十二章 s 区元素	152
知识要点	152
例题解析	153
思考题与习题	158
第十三章 ds 区元素	160
知识要点	160
例题解析	163
思考题与习题	169
第十四章 d 区元素	175
知识要点	175
例题解析	180
思考题与习题	188
思考题与习题参考答案	193
参考文献	216

第一章 物质的聚集状态

知识要点

一、基本概念

1. 系统和环境

化学上所称的系统是指人们研究的特定对象，其中包括对象中所含的一切物质及其能量，而系统以外的其他有关部分则为环境。而系统的大小是根据研究问题的需要而人为划分的。例如，研究一个杯子中的溶液，则溶液就是系统，杯子及其外部均为环境。

根据性质的不同，系统可分为三种类型：封闭系统、敞开系统、隔离系统。

2. 相

系统中具有相同的物理性质和化学性质的均匀部分称为一个相，相与相之间存在明显的界面。

根据相数的不同，系统可分为单相系统和多相系统。例如，饱和食盐水、糖水、空气都是单相系统；冰和水、油和水、固体混合物等都属于多相系统。

3. 物质的标准状态

为了便于对物质的各种参数进行比较及计算，国际上统一规定了物质的标准状态，标准态的符号用上标“ \ominus ”表示。

气体的标准态——温度 T 、压力 $p^\ominus = 10^5 \text{ Pa}$ 条件下，表现出纯理想气体性质的状态，这实际上是一种假想态；

液体和固体的标准态——温度 T 、外压力 $p^\ominus = 10^5 \text{ Pa}$ 条件下的纯液体、固体状态。

从以上标准态的规定中可以看到，由于温度没有指定，因此，每个温度下有一套气体、液体、固体的标准态。不过，通常查表所得的热力学标准态的有关数据大多是在 298.15K 时的数据。

需要特别注意的是，以上规定的标准状态是热力学上的标准态，它与“气体的标准状况”的概念并不一致。“气体的标准状况”是指 0°C 、 101.325kPa ，在此条件下， 1mol 气体的体积为 22.4L 。

二、物质的聚集状态

自然界中，任何一种物质都必定以某一种聚集状态存在。常见的主要是以下四种。

1. 气体

构成气体的分子之间作用力较弱，分子做无规则运动，能自动扩散而均匀地充满整个容器。

气体的特征是：无一定体积和形状，具有扩散性和可压缩性。

2. 液体

液体分子间的距离比气体小得多，故分子间作用力较强。

液体的特征是：无固定形状，具有流动性，在一定条件下体积一定。

3. 固体

构成固体的粒子之间作用力最强，粒子不能自由运动。

固体的特征是：具有一定的体积和形状，无流动性和压缩性。

4. 等离子体

等离子体是一种温度极高的气态物质，主要由可自由运动的电子和正离子组成，不存在电中性的原子或分子。

等离子体的特征是：具有几千度的高温，无一定体积和形状，具有流动性和导电性。

三、理想气体定律

理想气体是一种假想的气体，其分子本身没有体积且分子之间没有任何作用力。因此，它在任何情况下都能遵守理想气体定律。

1. 理想气体状态方程

(1) 理想气体状态方程 理想气体状态方程确定了在热动平衡状态下，理想气体的体积、压力和温度三者之间的相互关系。

$$pV = nRT$$

(2) 理想气体状态方程的应用

a. 计算气体的质量

$$m = \frac{MpV}{RT}$$

b. 计算气体的相对分子质量

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

c. 计算气体的密度

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

(3) 理想气体状态方程的适用范围 严格来说，理想气体状态方程只适用于理想气体。对于真实气体，只能在压力不太大、温度不太低的范围内使用。在一般的实验室常温常压条件下，理想气体状态方程能应用于描述多数实际气体的性质。

2. 分压定律

(1) 分压定律的内容 混合气体的总压力等于各组分气体的分压之和；而一組分的分压等于其单独存在且具有混合物相同体积和温度时所产生的压力；分压的大小与它在气体混合物中的体积分数（或摩尔分数）成正比。

(2) 分压定律的数学表达式

a.
$$p_{\text{总}} = \sum_B p_B$$

b.
$$p_B = p_{\text{总}} x_B \quad \left(x_B = \frac{n_B}{n_{\text{总}}} = \frac{V_B}{V_{\text{总}}} \right)$$

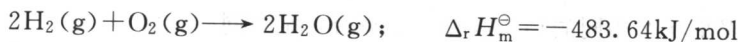
c.
$$p_B = \frac{n_B RT}{V}$$

(3) 分压定律的适用范围 严格来说,分压定律只适用于理想气体混合物。对于低压下的真实气体也可近似适用,但要求气体之间不能发生化学反应。

四、化学反应中的能量关系

1. 化学反应热效应和热化学方程式

(1) 热化学方程式 标明反应物、生成物的聚集状态及反应热效应的化学方程式称为热化学方程式。例如,298K时的反应



(2) 化学反应热效应 化学反应过程总是伴随着能量的变化,如果能量变化是以热量的形式出现,此种能量变化就称为反应的热效应。

绝大多数化学反应均是在恒压条件下进行的,其热效应亦称为恒压热效应,以 Q_p 表示。在恒温、恒压条件下,反应热 Q_p 等于反应的焓变 ΔH 。 $\Delta H < 0$ 时,为放热反应; $\Delta H > 0$ 时,为吸热反应。

(3) 标准摩尔反应焓 $\Delta_r H_m^\ominus$ 表示反应系统各物质均处于标准状态且反应进度 $\xi = 1 \text{ mol}$ 时的焓变。

(4) 标准摩尔生成焓 $\Delta_f H_m^\ominus$ 表示由指定的稳定单质生成 1mol 纯物质的反应焓变。

标准摩尔生成焓主要用于标准摩尔反应焓的计算。计算公式如下

$$\Delta_r H_m^\ominus = \left(\sum_B \nu_B \Delta_f H_{m,B}^\ominus \right)_{\text{生成物}} - \left(\sum_B \nu_B \Delta_f H_{m,B}^\ominus \right)_{\text{反应物}}$$

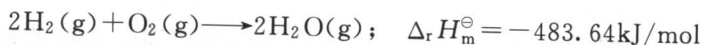
式中 ν_B ——反应组分 B 的化学计量系数,无量纲;

$\Delta_f H_{m,B}^\ominus$ ——反应组分 B 的标准摩尔生成焓, kJ/mol。

2. 反应进度 ξ

$$\text{反应进度的定义式为 } \xi = \frac{n_B(\xi) - n_B(0)}{\nu_B} = \frac{\Delta n_B}{\nu_B}$$

对于一个具体的热化学方程式来说,



当 2mol H_2 和 1mol O_2 完全消耗而生成 2mol H_2O 时,反应进度 $\xi = 1 \text{ mol}$,其热效应为 -483.64 kJ 。很显然,这个反应在中途的某个时刻会正好生成 1mol H_2O ,这时的反应进度 $\xi = 0.5 \text{ mol}$,则其热效应必为 $\frac{1}{2} \Delta_r H_m^\ominus = -241.82 \text{ kJ}$ 。

由此可见,反应进度 ξ 是用于描述反应进行程度的一项指标,实际反应热效应的数值与 ξ 有关。

3. 盖斯定律

盖斯定律的文字表述为:任一化学反应,不论是一步完成,还是分几步完成,其总的热效应是完全相同的。

例题解析

【例 1-1】理想气体状态方程式为什么只能在温度不太低、压力不太大的条件下适用?

解 理想气体状态方程对于真实气体来说，实际上只是一个近似方程式，只有在分子本身没有体积和分子之间没有引力的情况下，才是准确的。而真实气体分子本身有体积，分子之间有引力，因此只有在较高温度（不低于 0℃）、较低压力（不高于 101kPa）的情况下，这两个因素才可忽略不计，计算所得的结果能接近实际情况，因此，理想气体状态方程适用于温度偏高压力偏低的情况。

如果工程计算中必须涉及中、高压气体，则目前较多使用范德华方程、维里方程或压缩因子等方法。

【例 1-2】 聚集状态相同的物质放在一起是否一定是同一相？

解 不一定。如 Fe 粉与 C 粉混合物，尽管状态相同且混合均匀，但在显微镜下仍可看到两相的界面。但也有聚集状态相同的物质在一起是同一相，如气体混合物——空气。

【例 1-3】 一杯水上浮着两块冰，这个系统是一个相还是三个相？

解 既不是一个相，也不是三个相，而是二个相。

冰和水共存的系统，其组成虽同是 H₂O，但水和冰具有不同的物理性质，并且有界面，所以不是同一相，而是两个相。

那么两块冰之间有明显的界面，为什么却是同一相呢？这是因为每一块冰都具有相同的组成、相同的物理性质和化学性质，所以是一相。同样的道理，如果把大的食盐晶体研碎成无数个小晶体，它们还是一个相。

【例 1-4】 一个装有氮气的钢瓶，瓶内压力为 200kPa，温度为 298K。求瓶中氮气的密度。

分析 这是一个与气体有关的计算，而且是单一组分，因此可运用理想气体状态方程。

解 单位体积中物质的质量就是密度，所以将 $\rho = \frac{m}{V}$ 与 $pV = nRT$ 结合，可得

$$p = \frac{mRT}{V} = \frac{nRT}{MV} = \frac{\rho RT}{M}$$

则
$$\rho = \frac{pM}{RT} = \frac{200 \times 10^3 \times 0.028}{8.314 \times 298} = 2.26 (\text{kg/m}^3)$$

【例 1-5】 某化工厂建造了一个容积为 $2.50 \times 10^3 \text{m}^3$ 的氢气柜，设计的容许压力为 $4.00 \times 10^3 \text{kPa}$ 。若将氢气视为理想气体，则该气柜在 300K 时最多可装多少千克氢气。

分析 这也是一个单一组分气体的计算，可以用理想气体状态方程。只要先求出 H₂ 的物质的量，即可求得其质量。

解
$$n = \frac{pV}{RT} = \frac{4.00 \times 10^6 \times 2.50 \times 10^3}{8.314 \times 300} = 4.01 \times 10^6 (\text{mol})$$

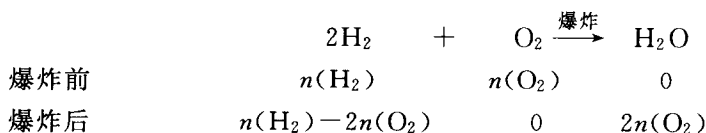
$$m = nM = 4.01 \times 10^6 \times 2.016 \times 10^{-3} = 8.08 \times 10^3 (\text{kg})$$

【例 1-6】 在 100kPa 和 100℃ 下混合 0.300L H₂ 和 0.100L O₂，然后使之爆炸。如果爆炸后压力和温度均不变，则混合气体的体积是多少。

分析 氢气和氧气的爆炸产物是水，从题中可以看出氢气将是过量的，所以爆炸后的产物将是水和氢气。由于题目只要求计算混合物的总体积，那么，原则上只需要求出爆炸后产物的总物质的量即能得到混合气体的体积。

解法一 设爆炸前 H₂ 的物质的量是 $n(\text{H}_2)$ ；O₂ 的物质的量是 $n(\text{O}_2)$ 。

根据反应方程式



所以 $n_{\text{总}} = n(\text{H}_2) - 2n(\text{O}_2) + 2n(\text{O}_2) = n(\text{H}_2)$

由于爆炸前后的温度、压力均未改变，以此可以推定：爆炸后混合物的体积是 0.300L。

解法二 推理分析法

混合气体中各组分的体积与其物质的量成正比。爆炸前的总体积为 0.400L，物质的量之比为 3:1，根据其反应方程式可知，爆炸会消耗 0.100L O₂ 和 0.200L H₂，剩余 0.100L H₂，同时生成 0.200L H₂O。所以，爆炸后混合物的体积是 0.300L（爆炸后压力和温度均不变）。

【例 1-7】 在 290K 和 $1.01 \times 10^5 \text{ Pa}$ 的条件下，用排水集气法收集 N₂ 0.15L。求 N₂ 的质量和体积。已知 290K 时水的饱和蒸气压为 $1.93 \times 10^3 \text{ Pa}$ 。

分析 排水集气法收集的气体实际上是一种气体混合物，其中含有实验温度下的饱和水蒸气。求 N₂ 的体积其实就是要求它的分体积。

解 $p(\text{N}_2) = p_{\text{总}} - p_{\text{水}} = 1.01 \times 10^5 - 1.93 \times 10^3 = 1.0 \times 10^5 \text{ (Pa)}$

根据分压定律公式 $p_B = \frac{n_B RT}{V}$ 可得

$$m(\text{N}_2) = \frac{M(\text{N}_2) p(\text{N}_2) V_{\text{总}}}{RT} = \frac{28 \times 1 \times 10^5 \times 0.15 \times 10^{-3}}{8.314 \times 290} = 0.174 \text{ (g)}$$

N₂ 的分体积就是当 N₂ 具有与混合物相同的温度和压力时，单独存在时所占有的体积，因此下列关系成立

$$\frac{p(\text{N}_2)}{p_{\text{总}}} = \frac{V(\text{N}_2)}{V_{\text{总}}}$$

$$V(\text{N}_2) = \frac{p(\text{N}_2)}{p_{\text{总}}} \times V_{\text{总}} = \frac{1 \times 10^5}{1.01 \times 10^5} \times 0.15 \times 10^{-3} = 0.148 \times 10^{-3} \text{ (m}^3\text{)}$$

【例 1-8】 已知某混合气体的体积分数为：C₂H₃Cl 90%，HCl 8.0%，C₂H₄ 2.0%。在始终保持压力为 101.3kPa 不变的条件下，经水洗除去其中的 HCl 气体，求剩余干气体（不考虑所含水蒸气）中各组分的分压力。

分析 混合气体的体积分数即为气相中各组分的物质的量分数，由于要除去 HCl 气体，所以剩余的两种气体的物质的量分数将会发生改变。本题的关键是要求出剩余气体的物质的量分数。

解 分以下两步计算

(1) 先计算除去 HCl 气体后的各组分物质的量分数 y_B

设混合气体的总体积为 100m³，则

$$V(\text{C}_2\text{H}_3\text{Cl}) = 90\text{m}^3 \quad V(\text{HCl}) = 8.0\text{m}^3 \quad V(\text{C}_2\text{H}_4) = 2.0\text{m}^3$$

除去 HCl 气体后气体的总体积为

$$V = V(\text{C}_2\text{H}_3\text{Cl}) + V(\text{C}_2\text{H}_4) = 90 + 2.0 = 92 \text{ (m}^3\text{)}$$

则
$$y(\text{C}_2\text{H}_4) = \frac{V(\text{C}_2\text{H}_4)}{V} = \frac{2.0}{92} = 0.022$$

$$y(\text{C}_2\text{H}_3\text{Cl}) = 1 - 0.022 = 0.978$$

(2) 求各组分分压

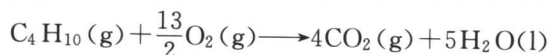
$$p(\text{C}_2\text{H}_4) = y(\text{C}_2\text{H}_4)p = 0.022 \times 101.3 = 2.23 (\text{kPa})$$

$$p(\text{C}_2\text{H}_3\text{Cl}) = y(\text{C}_2\text{H}_3\text{Cl})p = 0.978 \times 101.3 = 99.07 (\text{kPa})$$

【例 1-9】 已知 1mol 正丁烷 $\text{C}_4\text{H}_{10}(\text{g})$ 完全燃烧后的反应热为 -2878.6 kJ/mol ，同时查表得知 $\text{O}_2(\text{g})$ 、 $\text{CO}_2(\text{g})$ 和 $\text{H}_2\text{O}(\text{l})$ 的标准摩尔生成焓分别为 0、 -393.5 kJ/mol 、 -285.83 kJ/mol 。计算正丁烷在 25°C 下的标准摩尔生成焓。

分析 首先写出正丁烷燃烧反应的方程式，再根据标准摩尔反应焓的计算公式即可求得正丁烷的标准摩尔生成焓。

解 正丁烷燃烧反应方程式为



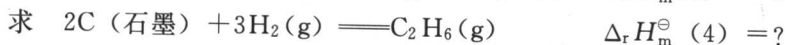
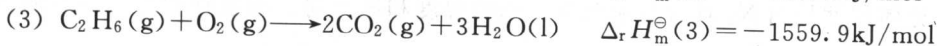
标准摩尔反应焓的计算公式为

$$\Delta_r H_m^\ominus = \left(\sum_B \nu_B \Delta_f H_{m,B}^\ominus \right)_{\text{生成物}} - \left(\sum_B \nu_B \Delta_f H_{m,B}^\ominus \right)_{\text{反应物}}$$

$$-2878.6 = 4 \times (-393.5) + 5 \times (-285.83) - \Delta_f H_{m,\text{C}_4\text{H}_{10}}^\ominus(\text{g})$$

$$\text{得 } \Delta_f H_{m,\text{C}_4\text{H}_{10}}^\ominus(298\text{K}) = -124.6 (\text{kJ/mol})$$

【例 1-10】 已知下列三个化学反应的标准摩尔反应焓，不查表计算第四个反应的标准摩尔反应焓。



分析 根据盖斯定律，热化学方程式可以像代数方程式那样进行加减运算。因此，如果可以由若干个热化学方程式“运算”得到我们所需要的方程式，则此方程式的热效应也可相应地计算得到。

解 因为 $2 \times (1) + 3 \times (2) - (3) = 4$

$$\text{所以 } \Delta_r H_m^\ominus(4) = 2 \times \Delta_r H_m^\ominus(1) + 3 \times \Delta_r H_m^\ominus(2) - \Delta_r H_m^\ominus(3)$$

$$= 2 \times (-393.5) + 3 \times (-285.8) - (-1559.9)$$

$$= -84.5 (\text{kJ/mol})$$

思考题与习题

一、填空题

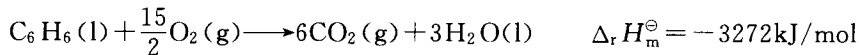
1. 在书写热化学方程式时，通常在方程式后用“ ΔH ”表示_____。
2. $\Delta H < 0$ 表示_____； $\Delta H > 0$ 表示_____。
3. 热化学方程式中必须标明反应物和生成物的_____，否则热化学方程式意义不明。
4. 反应进度 ξ 的单位是_____。

- 将稀 AgNO_3 水溶液加入稀 NaCl 水溶液中，由此形成的系统中共有____相。
- 常温常压下将氧气、氮气、氢气注入一个真空容器中，则此容器中有____相。
- 在 27°C 、 101.3kPa 下测定 1L 某气体的质量为 0.537g ，则此气体的摩尔质量为____ g/mol 。
- 一定温度下，在密闭容器中与液体达成平衡的蒸气称为饱和蒸气，它所产生的压力即为_____。
- 某气体混合物中含有 112g N_2 、 96g O_2 、 44g CO_2 ，则 N_2 的摩尔分数为_____。
- 已知 A、B 两种混合气体的总压力为 101.325kPa ，而 A 的体积分数为 20% ，则 B 的分压为_____ kPa 。

二、选择题

- 真实气体与理想气体的行为较为接近的条件是 ()。
 - 低压和较高温度
 - 高压和较低温度
 - 高温和高压
 - 低温和低压
- 在温度为 T 时， n 摩尔分子质量为 m 、密度为 ρ 的理想气体，其压力 p 的表示式为 ()。
 - $p = \frac{\rho RT}{nm}$
 - $p = \frac{mRT}{n\rho}$
 - $p = \frac{n\rho RT}{m}$
 - $p = \frac{nmRT}{\rho}$
- 在压力为 p 、温度为 T 时，某理想气体的密度为 ρ ，则它的摩尔质量 M 的表示式为 ()。
 - $M = \frac{\rho RT}{p}$
 - $M = \frac{pRT}{\rho}$
 - $M = \frac{n\rho RT}{p}$
 - $M = \frac{\rho RT}{np}$
- 当压力为 101.325kPa 时，欲使 CO_2 气体的密度为 0.991kg/m^3 ，则其温度应为 ()。
 - 268°C
 - 541°C
 - 5°C
 - 134°C
- 总体积为 15L 的真空容器用隔板分开，左边装入 5L 气体，压力为 900kPa ，右边装入 10L 气体，压力为 600kPa 。在温度不变的情况下将隔板打通，则容器中的压力为 ()。
 - 1500kPa
 - 1050kPa
 - 750kPa
 - 700kPa
- 在标准状况 ($T=273.15\text{K}$ ， $p=101.325\text{kPa}$) 下， 1L 气体质重 1.16g 。该气体的分子式可能是 ()。
 - CO
 - C_2H_2
 - O_2
 - NH_3
- 某容器内装有 0.3mol N_2 、 0.1mol O_2 和 0.2mol CO_2 。如果混合气体的总压为 150kPa ，则 O_2 的分压是 ()。
 - 75kPa
 - 50kPa
 - 25kPa
 - 10kPa
- 对于化学反应 $2\text{H}_2(\text{g}) + \text{O}_2(\text{g}) \longrightarrow 2\text{H}_2\text{O}(\text{g})$ 若反应进度 $\xi=1\text{mol}$ ，则下列选项中的 () 是正确的。
 - 有 1mol 的 H_2 和 0.5mol 的 O_2 转化成了 H_2O ；
 - 反应生成了 1mol 的 H_2O ；
 - 反应生成了 2mol 的 H_2O ；
 - 以上三者都正确。

9. 在 298K 的标准状态下, 有化学反应



如果反应进度 $\xi=0.4\text{mol}$, 则意味着 ()。

- A. 反应已经消耗了 0.4mol C_6H_6 和 3mol O_2 ;
- B. 反应已经生成了 2.4mol CO_2 和 1.2mol H_2O ;
- C. 产生的反应热效应是 $\Delta H = -1308.8\text{kJ}$;
- D. 以上三者都正确。

10. $\Delta_r H_m^\ominus$ 称为标准摩尔反应焓, 单位是 kJ/mol 。其意义是 ()。

- A. 在标准状况下, 化学反应每消耗 1mol 反应物时所产生的热效应;
- B. 在标准状况下, 反应进度 $\xi=1\text{mol}$ 时所产生的热效应;
- C. 在标准状况下, 化学反应每生成 1mol 产物时所产生的热效应;
- D. 在标准状况下, 化学反应最后达成平衡时所产生的热效应。

三、判断题

- 1. 一个化学反应在恒压条件下发生, 则 $Q_p = \Delta H$ 。 ()
- 2. 对于气体、液体和固体三者而言, $T=298.15\text{K}$ 、 $p=100\text{kPa}$ 是国际标准规定的物质的标准状态, 其他状态均为非标准状态。 ()
- 3. 因为 $T=298.15\text{K}$ 、 $p=100\text{kPa}$ 是一种标准状态, 所以任何 1mol 气体的体积在此状态下均为 22.4L ()
- 4. $\Delta_r H_m$ 和 $\Delta_r H_m^\ominus$ 是不同的, 区别在于: 后者表示化学反应在标准状态下发生, 而前者反之。 ()
- 5. 根据标准摩尔生成焓的定义, 稳定单质的标准摩尔生成焓都等于零。因此, 白磷、红磷、黑磷的标准摩尔生成焓都等于零。 ()
- 6. 在水杯中放入少量水, 再放入 4 块冰, 则此水杯中共有 5 相。 ()
- 7. 在温度和压力一定时, 气体混合物中某组分气体的体积分数等于其摩尔分数。 ()
- 8. 在恒温条件下, 某组分气体具有与混合气体相同压力时所占的体积称为该组分气体的分体积。 ()
- 9. 在恒温条件下, 某组分气体占据与混合气体相同体积时所产生的压力称为该组分气体的分压力。 ()
- 10. 在温度一定的条件下, 混合气体的总体积发生改变时, 各组分的摩尔分数也随之而改变。 ()

四、计算题

- 1. 计算在 15°C 和 97kPa 压力下, 15g 氮气所占有的体积。
- 2. 在 20°C 和 97kPa 压力下, 0.842g 某气体的体积是 0.400L, 这气体的摩尔质量是多少?
- 3. 在 25°C 时, 初始压力相同的 5.0L 氮和 15L 氧压缩到体积为 10.0L 的真空容器中, 混合气体的总压力是 150kPa 。试求: (1) 两种气体的初始压力; (2) 混合气体中氮和氧的