

WUJI

HUAXUE



高职高专“十一五”规划教材

无机化学

周晓莉 时懂宇 主编

化学工业出版社



WUJI

HUAXUE

高职高专“十一五”规划教材

★ 食品类系列

无机化学

周晓莉 时憧宇 主编



化学工业出版社

· 北 京 ·

本书是高职高专“十一五”规划教材★食品类系列之一。教材的基础理论内容由10章组成,主要包括化学反应的基本理论、物质结构、元素及其化合物等知识。为加强高职学生实验操作能力的培养,教材还专门设计了相应的实验指导作为单独一章。除了11项基本实验外,实验指导中还针对食品类专业、轻化类专业和医药类专业各配套了一项设计性实验,各学校可根据培养方向选用。

本书主要适用于高职高专食品类、轻化类和医药类专业,材料、环境等相关专业也可选用。

图书在版编目(CIP)数据

无机化学/周晓莉,时憧宇主编. —北京:化学工业出版社, 2009.8

高职高专“十一五”规划教材★食品类系列

ISBN 978-7-122-06244-4

I. 无… II. ①周…②时… III. 无机化学-高等学校: 技术学院-教材 IV. O61

中国版本图书馆CIP数据核字(2009)第114846号

责任编辑:李植峰 梁静丽

装帧设计:尹琳琳

责任校对:吴 静

出版发行:化学工业出版社(北京市东城区青年湖南街13号 邮政编码100011)

印 装:大厂聚鑫印刷有限责任公司

787mm×1092mm 1/16 印张12¼ 彩插1 字数300千字 2009年9月北京第1版第1次印刷

购书咨询:010-64518888(传真:010-64519686) 售后服务:010-64518899

网 址: <http://www.cip.com.cn>

凡购买本书,如有缺损质量问题,本社销售中心负责调换。

定 价:24.00元

版权所有 违者必究

高职高专食品类“十一五”规划教材建设 委员会成员名单

主任委员：贡汉坤 逯家富

副主任委员：杨宝进 朱维军 于 雷 刘 冬 徐忠传

朱国辉 丁立孝 李靖靖 程云燕 杨昌鹏

委 员(按姓名汉语拼音排列)

边静玮	蔡晓雯	常 锋	程云燕	丁立孝	贡汉坤
顾鹏程	郝亚菊	郝育忠	贾怀峰	李崇高	李春迎
李慧东	李靖靖	李伟华	李五聚	李 霞	李正英
刘 冬	刘 靖	娄金华	陆 旋	逯家富	秦玉丽
沈泽智	石 晓	王百木	王德静	王方林	王文焕
王宇鸿	魏庆葆	翁连海	吴晓彤	徐忠传	杨宝进
杨昌鹏	杨登想	于 雷	臧凤军	张百胜	张 海
张奇志	张 胜	赵金海	郑显义	朱国辉	朱维军
祝战斌					

高职高专食品类“十一五”规划教材编审 委员会成员名单

主任委员：莫慧平

副主任委员：魏振枢 魏明奎 夏 红 翟玮玮

赵晨霞 蔡 健 蔡花真 徐亚杰

委 员(按姓名汉语拼音排列)

艾苏龙	蔡花真	蔡 健	陈红霞	陈月英	陈忠军
初 峰	崔俊林	符明淳	顾宗珠	郭晓昭	郭 永
胡斌杰	胡永源	黄卫萍	黄贤刚	金明琴	李春光
李翠华	李东风	李福泉	李秀娟	李云捷	廖 威
刘红梅	刘 静	刘志丽	陆 霞	孟宏昌	莫慧平
农志荣	庞彩霞	邵伯进	宋卫江	隋继学	陶令霞
汪玉光	王立新	王丽琼	王卫红	王学民	王雪莲
魏明奎	魏振枢	吴秋波	夏 红	熊万斌	徐亚杰
严佩峰	杨国伟	杨芝萍	余奇飞	袁 仲	岳 春
翟玮玮	詹忠根	张德广	张海芳	张红润	赵晨霞
赵晓华	周晓莉	朱成庆			

高职高专食品类“十一五”规划教材建设单位

(按汉语拼音排列)

宝鸡职业技术学院	江西工业贸易职业技术学院
北京电子科技职业学院	焦作大学
北京农业职业学院	荆楚理工学院
滨州市技术学院	景德镇高等专科学校
滨州职业学院	开封大学
长春职业技术学院	漯河医学高等专科学校
常熟理工学院	漯河职业技术学院
重庆工贸职业技术学院	南阳理工学院
重庆三峡职业学院	内江职业技术学院
东营职业学院	内蒙古大学
福建华南女子职业学院	内蒙古化工职业学院
广东农工商职业技术学院	内蒙古农业大学职业技术学院
广东轻工职业技术学院	内蒙古商贸职业学院
广西农业职业技术学院	宁德职业技术学院
广西职业技术学院	平顶山工业职业技术学院
广州城市职业学院	濮阳职业技术学院
海南职业技术学院	日照职业技术学院
河北交通职业技术学院	山东商务职业学院
河南工贸职业学院	商丘职业技术学院
河南农业职业学院	深圳职业技术学院
河南商业高等专科学校	沈阳师范大学
河南质量工程职业学院	双汇实业集团有限责任公司
黑龙江农业职业技术学院	苏州农业职业技术学院
黑龙江畜牧兽医职业学院	天津职业大学
呼和浩特职业学院	武汉生物工程学院
湖北大学知行学院	襄樊职业技术学院
湖北轻工职业技术学院	信阳农业高等专科学校
湖州职业技术学院	杨凌职业技术学院
黄河水利职业技术学院	永城职业学院
济宁职业技术学院	漳州职业技术学院
嘉兴职业技术学院	浙江经贸职业技术学院
江苏财经职业技术学院	郑州牧业工程高等专科学校
江苏农林职业技术学院	郑州轻工职业学院
江苏食品职业技术学院	中国神马集团
江苏畜牧兽医职业技术学院	中州大学

《无机化学》编写人员

- 主 编** 周晓莉 (中州大学)
时懂宇 (中州大学)
- 副 主 编** 刘丹赤 (日照职业技术学院)
李亚声 (济宁职业技术学院)
赵晓华 (滨州职业技术学院)
- 参编人员** (按姓名汉语拼音排列)
范洪琼 (重庆三峡职业学院)
黄文华 (永城职业技术学院)
李红利 (漯河职业技术学院)
李亚声 (济宁职业技术学院)
刘丹赤 (日照职业技术学院)
时懂宇 (中州大学)
陶玉霞 (黑龙江畜牧兽医职业学院)
王花丽 (河南质量工程职业学院)
张根明 (河南质量工程职业学院)
张艳君 (信阳农业高等专科学校)
赵晓华 (滨州职业技术学院)
周晓莉 (中州大学)

序

作为高等教育发展中的一个类型,近年来我国的高职高专教育蓬勃发展,“十五”期间是其跨越式发展阶段,高职高专教育的规模空前壮大,专业建设、改革和发展思路进一步明晰,教育研究和教学实践都取得了丰硕成果。各级教育主管部门、高职高专院校以及各类出版社对高职高专教材建设给予了较大的支持和投入,出版了一些特色教材,但由于整个高职高专教育改革尚处于探索阶段,故而“十五”期间出版的一些教材难免存在一定程度的不足。课程改革和教材建设的相对滞后也导致目前的人才培养效果与市场需求之间还存在着一定的偏差。为适应高职高专教学的发展,在总结“十五”期间高职高专教学改革成果的基础上,组织编写一批突出高职高专教育特色,以培养适应行业需要的高级技能型人才为目标的高质量的教材不仅十分必要,而且十分迫切。

教育部《关于全面提高高等职业教育教学质量的若干意见》(教高[2006]16号)中提出将重点建设好3000种左右国家规划教材,号召教师与行业企业共同开发紧密结合生产实际的实训教材。“十一五”期间,教育部将深化教学内容和课程体系改革、全面提高高等职业教育教学质量作为工作重点,从培养目标、专业改革与建设、人才培养模式、实训基地建设、教学团队建设、教学质量保障体系、领导管理规范化等多方面对高等职业教育提出新的要求。这对于教材建设既是机遇,又是挑战,每一个与高职高专教育相关的部门和个人都有责任、有义务为高职高专教材建设做出贡献。

化学工业出版社为中央级综合科技出版社,是国家规划教材的重要出版基地,为我国高等教育的发展做出了积极贡献,被新闻出版总署领导评价为“导向正确、管理规范、特色鲜明、效益良好的模范出版社”,最近荣获中国出版政府奖——先进出版单位奖。依照教育部的部署和要求,2006年化学工业出版社在“教育部高等学校高职高专食品类专业教学指导委员会”的指导下,邀请开设食品类专业的60余家高职高专骨干院校和食品相关行业企业作为教材建设单位,共同研讨开发食品类高职高专“十一五”规划教材,成立了“高职高专食品类‘十一五’规划教材建设委员会”和“高职高专食品类‘十一五’规划教材编审委员会”,拟在“十一五”期间组织相关院校的一线教师和相关企业的技术人员,在深入调研、整体规划的基础上,编写出版一套食品类相关专业基础课、专业课及专业相关外延课程教材——“高职高专‘十一五’规划教材★食品类系列”。该批教材将涵盖各类高职高专院校的食品加工、食品营养与检测和食品生物技术等专业开设的课程,从而形成优化配套的高职高专教材体系。目前,该套教材的首批编写计划已顺利实施,首批60余本教材将于2008年陆续出版。

该套教材的建设贯彻了以应用性职业岗位需求为中心,以素质教育、创新教育为基础,以学生能力培养为本位的教育理念;教材编写中突出了理论知识“必需”、“够用”、“管用”的原则;体现了以职业需求为导向的原则;坚持了以职业能力培养为主线的原则;体现了以常规技术为基础、关键技术为重点、先进技术为导向的与时俱进的原则。整套教材具有较好的系统性和规划性。此套教材汇集众多食品类高职高专院校教师的教学经验和教改成果,又得到了相关行业企业专家的指导和积极参与,相信它的出版不仅能较好地满足高职高专食品

类专业的教学需求，而且对促进高职高专课程建设与改革、提高教学质量也将起到积极的推动作用。希望每一位与高职高专食品类专业教育相关的教师和行业技术人员，都能关注、参与此套教材的建设，并提出宝贵的意见和建议。毕竟，为高职高专食品类专业教育服务，共同开发、建设出一套优质教材是我们应尽的责任和义务。

贡汉坤

前 言

本书是按照全国高职高专食品类、化工类、医药卫生类课程建设的要求，根据高职高专教育培养高素质技能型人才的目标，并结合当前的教学实际，以够用为度编写的。

无机化学为大学一年级开设的基础课程，应起到承上启下的作用。因此，在编写中，注意了本教材与高中教材的衔接，同时考虑到与后续课程及生产实际的联系。教材在内容的选择上，始终把握“必需、够用”的原则，侧重无机化学基本原理和基本知识；考虑到目前高职高专的教学实际，元素部分的编写注重基本原理基本反应的介绍，同时也注意到学生自我拓展知识能力的培养。

全书基本理论由 10 章内容组成。为了加强高职学生实验操作能力培养，本书还专门设计了相应的实验指导作为单独一章。除了 11 项基本实验外，实验指导中还针对食品类专业、化工类专业和医药类专业各配套了一项设计性实验，不仅可有效引导学生体会基础课程与专业课程的结合，对基础课程的教改也是一种有益的尝试，这是现行的无机化学教材中较鲜见的。第一章、第九章由黄文华编写，第二章由张艳君编写，第三章由李红利编写，第四章由陶玉霞编写，第五章由赵晓华编写，第六章由周晓莉编写，第七章由王花丽编写，第八章由刘丹赤编写，第十章由范洪琼编写，实验指导由李亚声编写。全书由周晓莉、时懂宇和张根明统稿。

在本书编写的过程中，得到了编者所在院校的大力支持和帮助，中州大学的吴博老师、王丽老师、丁勇老师和赵明老师等为此书的完成付出了不少心血，在此深表谢意。

由于作者水平有限，书中难免会有疏漏和不当之处，诚望使用本教材的师生予以指正，不胜感谢。

编者

2009 年 6 月

目 录

第一章 物质及其变化	1	二、多元弱电解质的电离	29
第一节 物质的聚集状态	1	三、缓冲溶液	29
一、气体	1	第五节 盐类水解	31
二、液体	3	一、盐的水解	32
第二节 化学反应中的能量关系	4	二、水解常数及水解度	33
一、反应的热效应	4	三、盐溶液的 pH	33
二、热化学方程式	4	四、分步水解	34
三、反应热的计算	5	五、影响水解的因素	35
习题	6	习题	35
第二章 化学反应速率和化学平衡	9	第四章 沉淀溶解平衡	37
第一节 化学反应速率的意义及表示法	9	第一节 溶度积与溶解度	37
第二节 反应速率理论简介	9	一、溶度积常数	37
一、碰撞理论	10	二、溶度积常数与溶解度	37
二、过渡状态理论	10	三、溶度积规则	39
第三节 影响反应速率的因素	11	第二节 沉淀的生成、溶解及转化	39
一、浓度对化学反应速率的影响	11	一、沉淀的生成	39
二、温度对化学反应速率的影响	12	二、沉淀的溶解	42
三、催化剂对化学反应速率的影响	12	三、沉淀的转化	44
第四节 化学平衡	13	习题	44
一、平衡的建立	13	第五章 氧化还原与电化学	46
二、平衡常数	14	第一节 基本概念	46
三、平衡计算	16	一、氧化数	46
第五节 化学平衡的移动	17	二、氧化还原反应的特征	46
一、浓度对平衡的影响	17	三、氧化剂、还原剂及氧化还原电对	47
二、压力对平衡的影响	18	第二节 氧化还原反应式的配平	47
三、温度对平衡的影响	19	一、配平原则	47
习题	19	二、配平方法	47
第三章 溶液中的离子平衡	22	第三节 原电池与电极电势	49
第一节 酸碱理论	22	一、原电池与电极电势介绍	49
一、水-离子理论	22	二、影响电极电势的因素	51
二、酸碱质子理论	22	三、电极电势的应用	52
第二节 强电解质溶液	24	第四节 元素的电势图及应用	53
第三节 水的电离与溶液的 pH	25	一、求标准电极电势	54
一、水的电离	25	二、判断能否发生歧化反应	54
二、溶液的 pH	25	习题	54
三、酸碱指示剂	26	第六章 原子结构与元素周期律	57
第四节 弱电解质的电离	27	第一节 原子的玻尔模型	57
一、一元弱电解质的电离	27		

一、氢原子光谱	57	一、配合物的组成	102
二、量子论	58	二、配合物的命名	104
三、玻尔模型	58	第二节 配合物的结构	105
第二节 核外电子运动状态的近代描述	59	一、配合物的空间构型	105
一、核外电子的运动特征	59	二、配合物的价键理论	106
二、波函数与原子轨道	60	第三节 配合物在水溶液中的稳定性	108
三、概率密度与电子云	61	一、配位平衡	108
四、四个量子数	62	二、配位平衡的移动	110
第三节 原子中核外电子的分布	65	习题	113
一、基态原子中电子分布原则	65	第九章 元素通性	115
二、多电子原子体系轨道的能级	65	第一节 元素概论	115
三、基态原子中核外电子的分布	68	一、元素单质性质递变规律	115
四、核外电子分布与元素周期系	68	二、元素在自然界中的存在形态	116
第四节 元素基本性质的周期性变化	71	第二节 元素通性	118
一、有效核电荷数	72	一、主族元素的通性	118
二、原子半径的周期性变化	72	二、副族元素通性	119
三、电离能	74	第三节 化合物的性质	120
四、电子亲和能	76	一、氧化物水合物的酸碱性	120
五、元素的电负性	76	二、含氧酸盐的热稳定性	121
习题	77	三、含氧酸盐的氧化性	123
第七章 化学键与分子结构	79	四、卤化物的水解	124
第一节 离子键	79	五、硫化物的溶解性	125
一、离子键的形成	79	习题	126
二、离子键的特征	79	第十章 重要的元素	128
三、离子的特征	80	第一节 p 区元素	128
四、离子晶体	81	一、氯	128
第二节 共价键	82	二、硫	129
一、价键理论	82	三、氮、磷	132
二、键参数	85	四、碳族元素	134
三、杂化轨道理论	86	第二节 过渡元素	136
第三节 分子间作用力	90	一、铬、锰、铁、钴及镍	136
一、分子的极性	90	二、铜、锌副族	140
二、几种分子间作用力	91	第三节 常见毒物	142
三、氢键	94	一、毒物的分类和对机体的作用	143
四、离子极化	95	二、常见毒物的中毒	143
五、分子晶体及原子晶体	97	习题	146
第四节 金属键理论	98	实验指导	148
一、金属键	98	实验一 基本操作	148
二、金属晶体	98	实验二 密度法测二氧化碳的摩尔质量	150
三、混合型晶体	99	实验三 化学反应速率和化学平衡	153
习题	100	实验四 酸度计的使用	155
第八章 配位化合物	102	实验五 离子平衡	157
第一节 基本概念	102		

实验六 氧化还原反应	159	取碘	176
实验七 硫酸铜的制备与提纯	160	实验十三 设计性实验——从废电池中回	
实验八 配位化合物的生成和性质	161	收锌皮制备硫酸锌	176
实验九 氯、硫、氮与磷	164	实验十四 设计性实验——离子的鉴定和	
实验十 铬、锰、铁、钴与镍	168	未知物的鉴定	178
实验十一 铜、锌副族	172	附录 标准电极电势表	180
实验十二 设计性实验——从海带中提		参考文献	183

第一章 物质及其变化

第一节 物质的聚集状态

纷繁的自然界中，物质总是以一定的状态存在，物质的存在状态称为物质的聚集状态。常温常压下，物质一般表现为气、液、固三种状态。气态物质中分子间的距离较大，分子与分子间的引力很小，故气态物质没有固定的形状和固定的体积，它的形状和体积取决于存放它的容器。构成固态物质的微粒有规则的排列，彼此间的引力较大，故固态物质有固定的形状和一定的体积。液态物质则介于气态物质和固态物质之间，液态物质有一定的体积，但没有固定的形状。液态物质和气态物质均具有流动性。

在物质三态中，气体的运动行为最为简单，研究气体的运动行为得到的规律、定律经适当的修正，可用于物质其他聚集状态运动行为的描述。

一、气体

气体的性质受温度和压力的影响特别大，尤其气体的体积，直接与温度和压力有关。

1. 理想气体状态方程式

理想气体状态方程式是包含气体体积 (V)、压力 (p)、温度 (T) 和物质的量 (n)，之间关系的近似经验定律。

$$pV=nRT \quad (1-1)$$

式中， p 为气体压力，Pa； V 为气体体积， m^3 ； n 为气体的物质的量，mol； T 为气体的热力学温度，K； R 为摩尔气体常数（简称气体常数）。

在标准状况下，1mol 气体的摩尔体积 $V_m=22.4\times 10^{-3}\text{m}^3$ ，代入式(1-1) 得

$$R=\frac{pV}{nT}=\frac{101.325\times 10^3\text{Pa}\times 22.414\times 10^{-3}\text{m}^3}{1\text{mol}\times 273.15\text{K}}=8.314\text{Pa}\cdot\text{m}^3/(\text{mol}\cdot\text{K})=8.314\text{J}/(\text{mol}\cdot\text{K})$$

R 的数值与气体性质无关，因此也称为通用气体常数，但在使用时需注意 p 、 V 的单位。若 p 的单位为 Pa，则 V 的单位应为 m^3 ； p 的单位为 kPa 时， V 的单位应选 dm^3 。

由理想气体状态方程式知， p 、 V 、 T 、 n 之间的关系。在恒温恒压下，理想气体的体积只与气体物质的量有关，即，与气体的本性——气体分子的大小、分子的极性性质无关。这对实际气体来说是不可思议的。因此，理想气体状态方程式只适用于理想气体。理想气体是为研究气体的行为而建立的模型，该模型认为理想气体分子本身不占体积，分子间无作用力，分子间相互碰撞或分子与器壁碰撞时不损失能量。实际气体本身有一定的体积，且分子间有作用力，彼此碰撞或与器壁碰撞时有能量损失。一般地，当压力趋近于零时，各种气体才具有理想气体的性质。实验表明，当实际气体温度不太低（不低于 273K）、压力不太高（不高于 10^5Pa ）时，实际气体用理想气体方程计算时较接近实际情况。

【例 1-1】 在容器为 10.0dm^3 的真空钢瓶内充入氯气，当温度为 298K 时，测得瓶内气体的压强为 $1.01\times 10^7\text{Pa}$ 。计算钢瓶内氯气的质量，以 kg 表示。

解： 气体为理想气体，满足理想气体状态方程

由 $pV=nRT$ 推出 $pV=\frac{m}{M}RT$ 变形为 $m=\frac{MpV}{RT}$

$$m=\frac{71.0 \times 10^{-3} \times 1.01 \times 10^7 \times 10.0 \times 10^{-3}}{8.314 \times 288} = 2.99 \text{ (kg)}$$

答：钢瓶内氯气的质量为 2.99kg。

【例 1-2】 在 373K 和 100kPa 压强下， UF_6 （密度最大的一种气态物质）的密度是多少？是 H_2 的多少倍？

解：据 $pV=nRT$

$$\text{则 } p \frac{m}{\rho} = \frac{m}{M} RT$$

$$\text{化简为 } \rho_{\text{UF}_6} = \frac{pM}{RT} = \frac{100 \times 10^3 \times 352 \times 10^{-3}}{8.314 \times 373} = 11.4 \text{ (kg/m}^3\text{)}$$

$$\text{同理 } \rho_{\text{H}_2} = \frac{pM}{RT} = \frac{100 \times 10^3 \times 2.02 \times 10^{-3}}{8.314 \times 373} = 0.0651 \text{ (kg/m}^3\text{)}$$

$$\text{则有 } \frac{\rho_{\text{UF}_6}}{\rho_{\text{H}_2}} = \frac{11.4}{0.0651} = 175 \text{ (倍)}$$

答： UF_6 的密度是 H_2 的 175 倍。

2. 混合气体的分压定律

在日常生活和实际生产中，常接触到的是混合气体。如空气为氮气、氧气和稀有气体的混合气体，合成氨的原料气是氮气、氢气的混合气体。混合气体中各组分的含量常用其分压表示。

分压是指在相同的温度下，组分气体单独占据混合气体总体积时对容器器壁所产生的压力。1801 年，道尔顿（Dalton John）从实验中得到：混合气体的总压等于各组分气体的分压之和，其数学表达式为：

$$p_{\text{总}} = p_1 + p_2 + p_3 + \cdots + p_n = \sum_{i=1}^n p_i \quad (1-2)$$

设混合气体中，各组分气体均为理想气体，则：

$$p_i V = n_i RT$$

$$p_{\text{总}} V = n RT$$

$$\text{得：} \frac{p_i}{p_{\text{总}}} = \frac{n_i}{n} = x_i$$

式中 x_i ——组分 i 的摩尔分数。

则混合气体中，每种组分气体的分压力与混合气体的总压力间有如下关系：

$$p_i = x_i p_{\text{总}} \quad (1-3)$$

道尔顿分压定律严格地讲，只适用于彼此不起化学反应的理想气体混合物，对低压高温下彼此不反应或反应达平衡的气体混合物近似地适用。

【例 1-3】 用排水集气法收集 0.245 dm^3 氧气， $T = 298 \text{ K}$ ，大气压力为： $101.06 \times 10^5 \text{ Pa}$ ，收集氧气时，瓶内外水面相齐。

已知： $p(\text{H}_2\text{O}) = 3.173 \times 10^3 \text{ Pa}$

求：（1）混合气体中氧气的分压

（2）干燥后氧气的体积

解：（1）根据道尔顿分压定律

$$p_{\text{总}} = p(\text{O}_2) + p(\text{H}_2\text{O})$$

$$p(\text{O}_2) = p_{\text{总}} - p(\text{H}_2\text{O}) = 101.06 \times 10^5 - 3.173 \times 10^3 = 101.03 \times 10^5 \text{ (Pa)}$$

(2) 由于干燥前后气体的温度不变, 则

$$p(\text{O}_2) \cdot V = p_{\text{总}} \cdot V(\text{O}_2)$$

$$V(\text{O}_2) = p(\text{O}_2) \cdot V / p_{\text{总}} = 101.03 \times 10^5 \times 0.245 / (101.06 \times 10^5) = 0.245 \text{ (dm}^3\text{)}$$

二、液体

气体经过降温和加压可凝聚成液体, 液体像气体一样, 是流体。液体分子间的相互作用远强于气体分子间的作用, 这种强的相互作用可以使液体保持一定的体积, 但不足以使其保持固定的形状。液体的可压缩性比气体差得多, 略大于固体。X 射线衍射表明, 液态分子存在着局部有序而整体无序的状态, 即液体分子的排列从局部看有一定的规则; 在一个分子的周围其他分子有规则的围绕着, 距离稍大 (1000~2000pm), 这种规则排列就渐渐消失了。

不同的液体相互混合时, 液体分子间的相互作用越相似, 液体间的互溶性越好。因此, 液体间有些可以互溶, 有的却不能互溶。

1. 液体的蒸气压

液体置于敞口容器中会蒸发变成蒸气, 蒸发过程将一直进行直到液体全部蒸发掉。在密闭容器中, 液体的蒸发却是有限度的。

把液体置于抽成真空的耐高温玻璃罩内, 液体就会开始蒸发, 蒸气分子占据液面上方空间, 与任何气体相似, 它在这个空间中作无序运动, 当液体分子运动到接近液体表面且具有一定的运动方向和足够大的动能时, 就可以挣脱邻近分子的引力逃逸到液面上方的空间变为蒸气分子, 此过程叫蒸发。蒸气分子与液面撞击时, 会被捕获进入液体, 此过程叫凝聚。凝聚过程和蒸发过程是互不相干, 独立进行的两个过程, 两者之间没有直接的定量关系, 当凝聚速度和蒸发速度相等时, 体系达到蒸发平衡, 液面上单位空间里的蒸气分子数目不再增多, 也不再减少, 此时的蒸气我们称之为饱和蒸气。饱和蒸气所产生的压力叫饱和蒸气压, 简称蒸气压。

液体的饱和蒸气压与液体的本质和温度有关, 与液体的量以及液面上方空间的体积无关, 是液体的重要性质。同一液体, 如果温度高, 液体中动能大的分子数目多, 逸出液面的分子数目也会多些, 蒸气压就大; 如果温度低, 蒸气压就低。相同温度下, 如果液体分子间的吸引力强, 液体分子逸出液面困难, 蒸气压就低; 如果液体分子间的引力弱, 则蒸气压就高。图 1-1 为几种液体的蒸气压曲线。

2. 液体的沸点

在敞口容器中加热液体, 开始时, 蒸发只在液体表面进行。随着温度的升高, 液体的蒸气压不断增大, 当液体的饱和蒸气压与外界压强相等时, 蒸发不仅在液体表面进行, 也在液体内部发生, 此时液体的温度, 称为液体的沸点。即, 液体的蒸气压等于外压时的温度为液体的沸点。液体在外压恒定时有固定的沸点, 增大外压, 液体的沸点升高。通常, 不指明外压时, 液体的沸点指的是外压为 101.325kPa 时液体的沸点, 也称正常沸点。液体沸点随外界气压而变化的特性可以应用于实际生产过程中。例如, 可以采用减压蒸馏的方法 (如图 1-2 所示) 去实现分离和提纯沸点很高和那些在正常沸点下易分解或易被空气氧化的物质。

液体的沸点除受外压影响外, 还与液体的本性有关。在相同的外压下, 易挥发液体的沸

点低，难挥发液体的沸点高。

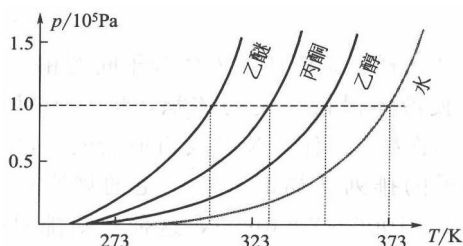


图 1-1 几种液体的蒸气压曲线

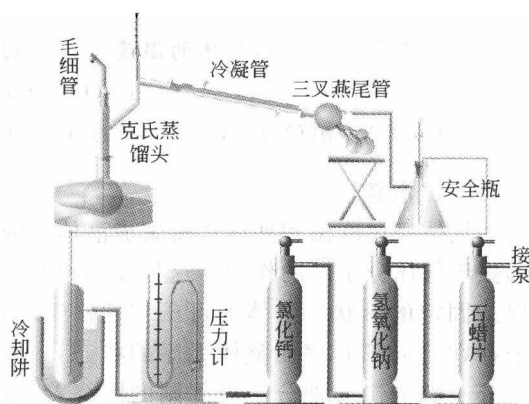


图 1-2 减压蒸馏装置

第二节 化学反应中的能量关系

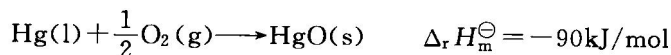
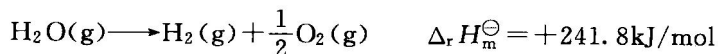
物质的化学变化是化学研究的中心内容。物质通过化学变化变为新的物质，化学变化过程中，原子间旧的化学键断裂形成新的化学键。化学键的断裂需吸收能量，化学键的形成会释放能量，因此，化学变化必然伴有能量变化，这种变化的能量以热的形式吸收或释放。

一、反应的热效应

在一定条件下，某反应吸收或放出的热量称为反应的热效应，也称反应热。反应热与反应条件有关，如果反应在密闭容器中进行，此时的反应热称为恒容反应热。化工生产和科学实验中，多数反应都是在敞口容器中进行的，反应系统的压力和外压相等，此时的反应热称为恒压反应热，用 Q_p 表示。恒压反应热与物质的某一重要性质有关，该性质称为物质的焓，用 H 表示。若反应前后温度相等，恒压反应的热效应等于生成物与反应物焓的差值，即反应的焓变，用 ΔH 表示。焓变的单位为能量单位，其数值与物质的量有关，故其单位为 kJ/mol 或 J/mol 。规定，反应吸热， $\Delta H > 0$ ，反应放热， $\Delta H < 0$ 。

二、热化学方程式

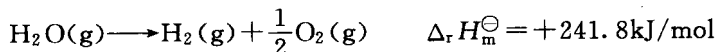
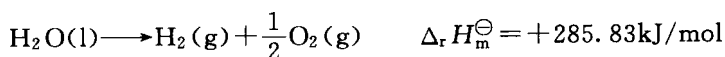
表示化学反应及其热效应的化学方程式称为热化学方程式。其写法是在配平的化学反应式右边加上反应热。如



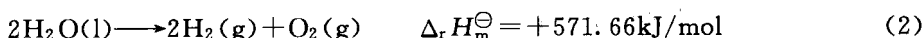
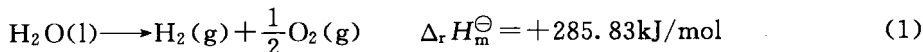
书写热化学方程式时应注意以下问题：

① 注明反应条件，主要指反应的温度、压力。因反应条件不同，物质的焓不同，反应热也不同。如 1g 水在 373K 时的焓比其在 273K 时的焓高 418J 。但在一定的温度范围内，焓变的值随温度的变化甚微。反应在常温 (298K) 常压 (101.325kPa) 下进行，可不注反应条件。

② 注明物质的聚集状态。由于参加反应的物质聚集状态改变时，总是伴随着焓变。如：



③ 正确书写反应的计量数。反应物、产物均相同的反应，若计量数不同，其焓变也不同。如：

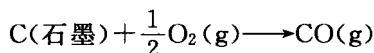


热化学方程式的 $\Delta_{\text{r}}H_{\text{m}}^{\ominus}$ 中，r 表示反应；m 表示发生 1mol 反应，如式(1)中，发生 1mol 反应是指 1mol 的 H_2O 分解，生成 1mol 的 H_2 和 $\frac{1}{2}$ mol 的 O_2 ，而式(2)中，1mol 反应指的是 2mol 的 H_2O 分解，生成 2mol 的 H_2 和 1mol 的 O_2 。因此，反应热一定要和具体的反应相对应。

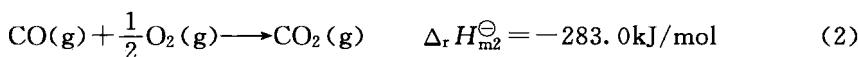
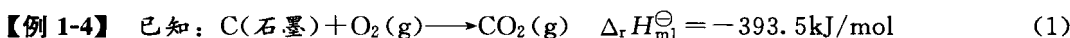
三、反应热的计算

化学反应无论一步完成或分步完成，其总的热效应相同，这是化学家盖斯(G. H. Hess)归纳总结了大量实验数据得出的结论，称为盖斯定律。

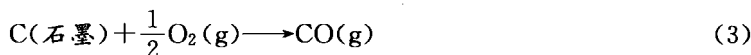
实际上，多数反应热都是由实验测得的，但有些反应热无法测定，如，反应



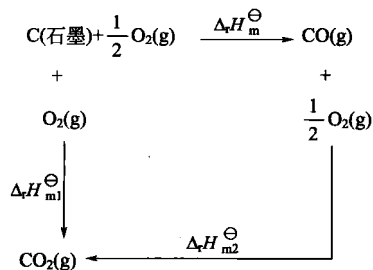
由于石墨燃烧时不可能完全变成一氧化碳，故该反应的反应热只能通过计算间接得到。



求：下述反应式的反应热 $\Delta_{\text{r}}H_{\text{m}}^{\ominus}$



解：



由盖斯定律知， $\Delta_{\text{r}}H_{\text{m}}^{\ominus} + \Delta_{\text{r}}H_{\text{m}2}^{\ominus} = \Delta_{\text{r}}H_{\text{m}1}^{\ominus}$ ，则

$$\Delta_{\text{r}}H_{\text{m}}^{\ominus} = \Delta_{\text{r}}H_{\text{m}1}^{\ominus} - \Delta_{\text{r}}H_{\text{m}2}^{\ominus} = -393.5 + 283.0 = -110.5 \text{ (kJ/mol)}$$

不难看出，式(1) - 式(2) = 式(3)，因此，利用盖斯定律进行计算时，只需要找到欲求的反应式与已知的反应式间的代数关系，而反应式间的代数关系就是反应热间的代数关系。