

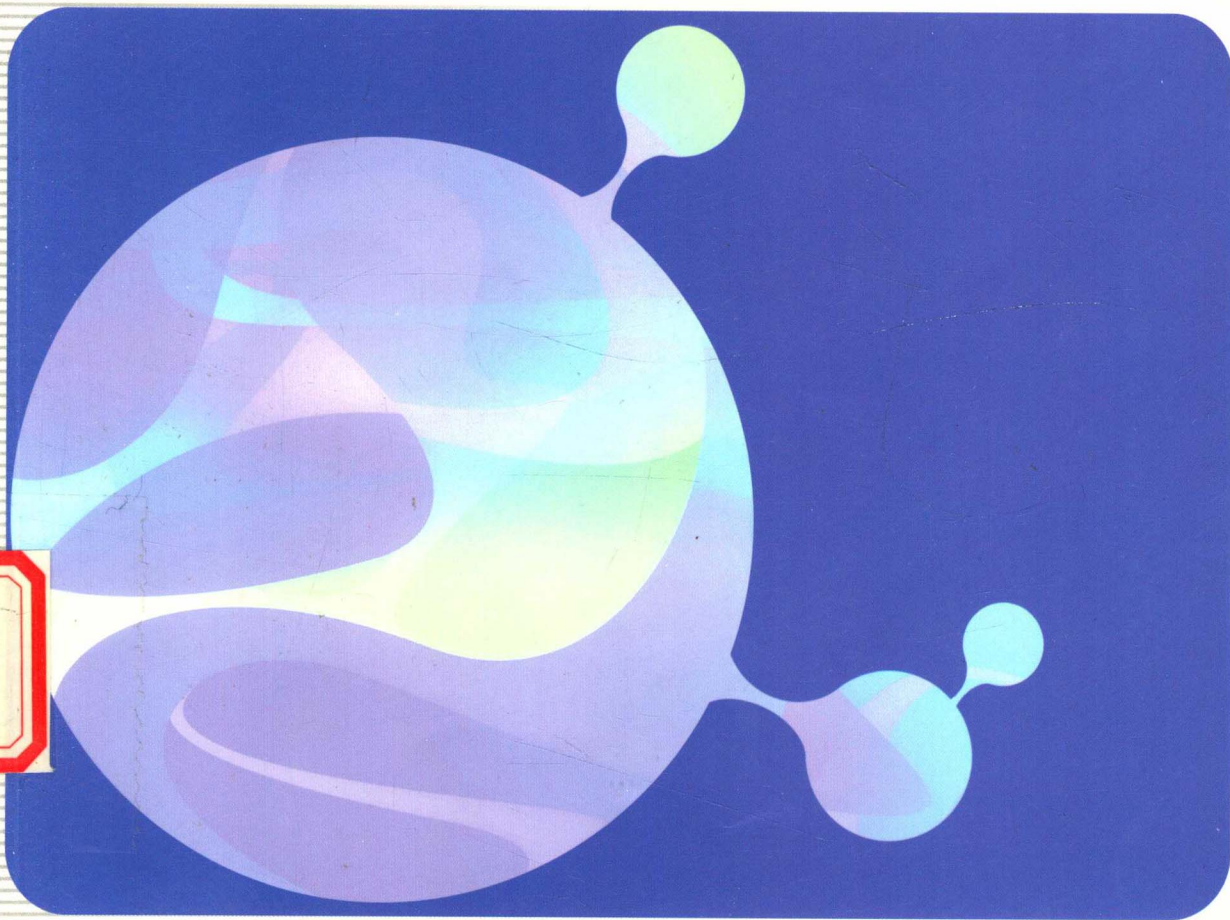


普通高等教育农业部“十二五”规划教材
全国高等农林院校“十二五”规划教材

普通化学

P U T O N G H U A X U E

■ 曲宝涵 马传利 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

曲宝涵 马传利 主编

中国农业出版社

图书在版编目(CIP)数据

普通化学 / 曲宝涵, 马传利主编. —北京: 中国农业出版社, 2012.8 (2017.6 重印)

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 978-7-109-16830-5

I. ①普… II. ①曲… ②马… III. ①普通化学-高等学校-教材 IV. ①O6

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2012) 第 164759 号

中国农业出版社出版

(北京市朝阳区农展馆北路 2 号)

(邮政编码 100125)

责任编辑 王芳芳

北京通州皇家印刷厂印刷 新华书店北京发行所发行

2012 年 8 月第 1 版 2017 年 6 月北京第 4 次印刷

开本: 787mm×1092mm 1/16 印张: 20 插页: 1

字数: 478 千字

定价: 36.50 元

(凡本版图书出现印刷、装订错误, 请向出版社发行部调换)

内 容 提 要

本教材是根据教育部高等农林院校农学生物类各专业普通化学教学基本要求和全国农科类研究生化学考试的大纲要求而设计编写的示范性教材,也是山东省高等学校普通化学精品课程建设教材。全书共5部分13章,第1部分物质的状态,包括气体与溶液、胶体;第2部分化学反应基本原理,包括化学热力学基础、化学反应速率、化学平衡及平衡移动;第3部分物质结构基础,包括原子结构与元素周期律、化学键与分子结构;第4部分水溶液中的化学反应及其规律,包括酸碱反应、沉淀-溶解反应、氧化还原反应、配位反应;第5部分化学与社会,包括化学与生命、化学与环境。全书以化学物质为主线,详述了物质化学变化的基本原理及其应用。同时为了加强学生对化学学科知识的全面认识,了解化学知识对社会的贡献,补充了化学与生命科学、环境科学等有关的化学成就,体现了化学与农业等专业的联系。与本教材配套的还有《普通化学学习指导》。

本教材可作为高等农林水产类、生命科学类、食品科学类、资源与环境类等各专业本科生普通化学教材使用。

主 编 曲宝涵 马传利

副主编 宋祖伟 胡晓娟 尹洪宗

敖特根 王修中

编写人员 (按姓名汉语拼音排序)

敖特根 白玉兰 代 辉 丁立军

胡晓娟 惠 妮 梁爱琴 吕海涛

马传利 曲宝涵 盛 锋 宋祖伟

孙晓波 王 磊 王修中 魏丽娜

尹洪宗 张晓松 赵智洪

主 审 兰叶青

前 言

普通化学 (General Chemistry) 是高等农林院校本科生的一门重要的基础课程, 也是一门承前启后的重要化学理论基础课。其任务是在学生中学阶段掌握的化学知识基础上, 为后续的化学课程和专业课程提供必备的化学基础知识。

化学科学是现代农学、生物学的基础, 化学系列课程是高等农林院校本科生的重要基础课程。普通化学作为本科生的第一门化学课程, 其目的是给学生提供必要的化学基础知识, 为了便于学生自学, 在教材内容处理上有以下特点:

(1) 教材章节安排上强调了理论和概念的连贯性, 以物质结构为主线, 强化学生对化学基本理论的理解和应用。在介绍物质的状态后, 从化学热力学、动力学和平衡到物质微观结构, 最后到化学理论在各类化学反应的应用, 安排了化学与生命科学、环境科学的有关知识, 以便更好地符合学生认知规律。

(2) 在教材深度和广度上, 充分考虑了大学扩招下学生的基本理论水平和知识的接受能力, 在满足教学基本要求的前提下, 适当扩大学生不同层次和专业学生的需要, 增加了一些内容, 书中以小 5 号字表示。

(3) 章后增加了现代化学的最新研究成果及新兴交叉学科最新进展的科普、学科前沿等知识的阅读材料, 增加了教材的可读性和趣味性, 以有利于帮助学生树立正确的科学观和世界观。

(4) 注重化学学科的发展和化学在农学生物学科的渗透和应用, 增加了无机分子的生物知识。

(5) 力求做到语言简练, 重点突出, 联系实际, 强调的是理论的应用。使用国际计量单位和权威数据手册, 力求数据准确可靠。

参加本教材编写工作的有: 东北农业大学魏丽娜、张晓松; 河南农业大学胡晓娟、王磊; 内蒙古农业大学敖特根、赵智洪、丁立军; 青岛农业大学曲宝涵、马传利、宋祖伟、代辉、惠妮、吕海涛、白玉兰、梁爱琴、王修中、孙晓波; 山

东农业大学尹洪宗、盛锋。这些教师长期工作在教学第一线，教学经验丰富，教材充分体现了各校教学改革的经验 and 成果。

全书由主编提出编写大纲，并对书稿通读、修改，最后定稿。由南京农业大学兰叶青主审。

由于编写时间仓促以及编者的水平所限，难免存在错误和不妥之处，恳请读者在使用本教材的过程中提出修改意见并反馈给我们，以便下次修订时完善。

编 者

2012 年 4 月

目 录

前言

第 1 部分 物质的状态

第 1 章 气体与溶液	3
1.1 气体	3
1.2 液体	5
本章小结	16
阅读材料	18
习题	19
第 2 章 胶体	21
2.1 分散系和表面能	21
2.2 表面吸附现象	22
2.3 溶胶的基本性质	23
2.4 溶胶粒子的结构	25
2.5 溶胶的稳定性和聚沉	27
2.6 表面活性剂和乳状液	29
本章小结	30
阅读材料	32
习题	33

第 2 部分 化学反应基本原理

第 3 章 化学热力学基础	37
3.1 热力学基础知识	37
3.2 热化学	42
3.3 反应的自发性及熵	51
3.4 吉布斯自由能和化学反应方向	54
本章小结	60
阅读材料	61

习题	62
第4章 化学反应速率	65
4.1 化学反应速率的概念	65
4.2 浓度对化学反应速率的影响	67
4.3 温度对化学反应速率的影响	70
4.4 反应速率理论简介	72
4.5 催化剂对反应速率的影响	74
本章小结	77
阅读材料	78
习题	79
第5章 化学平衡及平衡移动	82
5.1 化学平衡状态	82
5.2 多重平衡系统	87
5.3 化学平衡的移动	88
本章小结	91
阅读材料	92
习题	93

第3部分 物质结构基础

第6章 原子结构与元素周期律	97
6.1 氢原子光谱和玻尔理论	97
6.2 微观粒子特征和运动规律	99
6.3 多电子原子的结构与周期律	106
6.4 元素基本性质的周期性变化	111
本章小结	114
阅读材料	115
习题	116
第7章 化学键与分子结构	118
7.1 离子键理论	118
7.2 共价键理论	124
7.3 分子间力和氢键	142
7.4 晶体结构简介	147
本章小结	150
阅读材料	151
习题	152

第 4 部分 水溶液中的化学反应及其规律

第 8 章 酸碱反应	157
8.1 酸碱质子理论	157
8.2 水溶液中的酸碱平衡	164
8.3 酸碱平衡的移动	169
8.4 缓冲溶液	171
本章小结	178
阅读材料	179
习题	179
第 9 章 沉淀-溶解反应	182
9.1 难溶电解质的溶度积	182
9.2 沉淀的生成和溶解	185
9.3 沉淀反应在分析检测中的应用	191
本章小结	191
阅读材料	191
习题	192
第 10 章 氧化还原反应	194
10.1 氧化还原反应基本概念	194
10.2 原电池	197
10.3 电极电势	200
10.4 电极电势的应用	206
10.5 元素标准电势图及其应用	210
本章小结	213
阅读材料	213
习题	214
第 11 章 配位反应	217
11.1 配位化合物的基本概念	217
11.2 配位化合物的化学键理论	225
11.3 配位化合物在水溶液中的稳定性和配位平衡	236
11.4 配位化合物在生物中的应用	242
本章小结	244
阅读材料	244
习题	246

第5部分 化学与社会

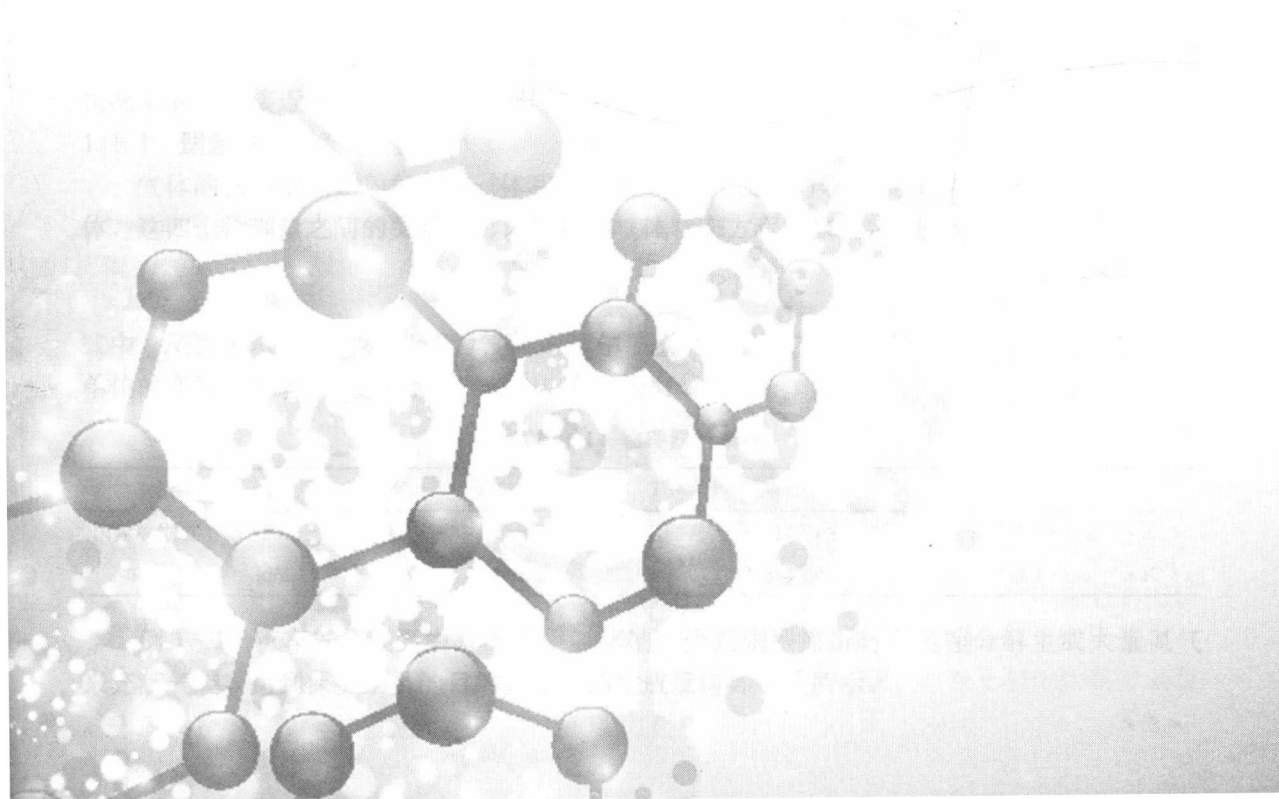
第12章 化学与生命	251
12.1 生命中的重要元素	251
12.2 常量元素与人类健康	255
12.3 微量元素与人类健康	259
阅读材料	264
习题	265
第13章 化学与环境	267
13.1 大气污染与防治	267
13.2 水污染与防治	271
13.3 土壤污染与防治	276
阅读材料	279
习题	282
附录	283
附录1 国际单位制 (SI) 基本单位	283
附录2 常见的物理常数	283
附录3 常用换算关系	284
附录4 常见物质的 $\Delta_f H_m^\ominus$ 、 $\Delta_f G_m^\ominus$ 和 $S_m^\ominus$ (298.15 K)	284
附录5 物质的标准摩尔燃烧焓 $\Delta_c H_m^\ominus$	293
附录6 弱电解质的标准解离常数	294
附录7 常见难溶电解质的溶度积 $K_{sp}^\ominus$ (298.15 K)	296
附录8 常见电对的标准电极电势 ($\varphi^\ominus$, 298.15 K)	297
附录9 常见配离子的稳定常数 $K_f^\ominus$	301
附录10 EDTA 配合物的稳定常数 $\lg K_f^\ominus$ (298.15 K)	301
附录11 不同温度时水的饱和蒸气压	302
附录12 一些化合物的相对分子质量	303
主要参考文献	306

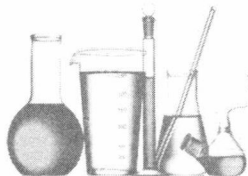
第1部分

物质的状态

Part 1 States of Matter

本部分包括气体与溶液、胶体两章。在常温下物质常以气态、液态和固态三种聚集状态存在。物质状态的改变与外界条件（温度、压力）密切相关，在一定条件下物质三态可以相互转化，且每种物质的状态具有不同的性质。物质三态中气体研究最早，形成了气体状态理论；对固体的研究形成了固体化学及固体物理等分支及理论，应用于固体材料的解释；液态的性质最复杂，研究得不够全面。胶体是分散体系中胶粒在1~100 nm范围内的多相分散体系，它具有独特的性质和应用领域。





第1章 气体与溶液

Gas and Solution



教学目标

1. 掌握理想气体状态方程式、理想气体分压定律及应用。
2. 了解溶液的浓度及相互换算。
3. 掌握稀溶液的通性、有关计算及应用。

气态、液态、固态是物质在常温常压下的三种主要聚集状态。本章主要介绍气体、液体的性质、规律、相关理论和应用。

1.1 气体

气体最显著的特征是扩散性和可压缩性，物质燃烧、生物呼吸、植物光合作用、生物固氮等化学变化和生理生化过程，都离不开气体的参与，因此对气体基本性质的认识与了解十分重要。

气体有理想气体和实际气体之分。我们通常遇到的气体均为实际气体，理想气体是设定气体分子本身不占空间、分子间也没有任何作用力的假想情况，它是人们对低压、高温下气体行为的简化而建立的一种理想模型。按照这一模型，实际气体在压力不太高和温度不太低情况下的行为接近理想气体，此时可以按照理想气体的有关规律近似处理实际气体。

1.1.1 理想气体状态方程

气体的状态常用物质的量 n 、体积 V 、压力 p 以及热力学温度 T 来描述。对于理想气体，这四个物理量之间的关系，可以用理想气体状态方程式来确定：

$$pV = nRT = \frac{m}{M}RT \quad (1-1)$$

式中， R 为摩尔气体常数， M 为气体的摩尔质量。使用该方程式时，应当注意各个物理量单位的匹配，如表 1-1 所示。

表 1-1 物理量的单位

物理量	p	V	n	T	R
国际单位制	Pa	m^3	mol	K	$8.314 \text{ Pa} \cdot \text{m}^3 \cdot \text{mol}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$ 或 $\text{J} \cdot \text{mol}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$
单位	kPa	L	mol	K	$8.314 \text{ kPa} \cdot \text{L} \cdot \text{mol}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$ 或 $\text{J} \cdot \text{mol}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$

例 1-1 汽车安全气囊中有固体叠氮化钠，受到剧烈撞击时会迅速分解生成大量氮气来充满气袋，达到保护乘员的目的。氮气的生成反应如下式所示：



在 25 °C、99.73 kPa 下, 要产生 75.0 L 的 N_2 , 需要多少叠氮化钠?

解: $6\text{NaN}_3 + \text{Fe}_2\text{O}_3(\text{s}) \longrightarrow 3\text{Na}_2\text{O}(\text{s}) + 2\text{Fe}(\text{s}) + 9\text{N}_2(\text{g})$



$$n(\text{NaN}_3) = \frac{2}{3} n(\text{N}_2) = \frac{2}{3} \frac{p(\text{N}_2) \cdot V(\text{N}_2)}{RT}$$

$$m(\text{NaN}_3) = n(\text{NaN}_3) \cdot M(\text{NaN}_3)$$

$$= \frac{2 \times 99.73 \text{ kPa} \times 75.0 \text{ L}}{3 \times 8.314 \text{ kPa} \cdot \text{L} \cdot \text{mol}^{-1} \cdot \text{K}^{-1} \times 298 \text{ K}} \times 65 \text{ g} \cdot \text{mol}^{-1} = 131 \text{ g}$$

例 1-2 学生在 30 °C、106 kPa 下实验, 将干燥纯净的某气体 0.670 g 收集于容积为 500 mL 的容器中, 计算该气体的摩尔质量, 并判断可能是何种气体。

解: 由 $pV = \frac{m}{M}RT$ 可得

$$M = \frac{mRT}{pV} = \frac{0.670 \text{ g} \times 8.314 \text{ kPa} \cdot \text{L} \cdot \text{mol}^{-1} \cdot \text{K}^{-1} \times 303 \text{ K}}{106 \text{ kPa} \times 0.500 \text{ L}} = 31.8 \text{ g} \cdot \text{mol}^{-1}$$

由于氧气的摩尔质量与其接近, 故该气体可能是氧气。

1.1.2 气体分压定律

实际工作中常常遇到混合气体, 若多种相互不发生反应的气体混合后, 分子本身的体积和相互作用力均可忽略不计, 则称为理想气体混合物。

理想气体混合物中各种组分气体如同单独存在一样, 均充满整个容器, 任一组分所产生的压力不会因其他气体的存在而有所改变。该压力称为理想气体混合物中某组分气体的分压力 p_i , 简称分压, 其与该组分独占整个容器时所产生的压力相同:

$$p_i V = n_i RT \quad (1-2)$$

1801 年, 英国物理学家、化学家道尔顿 (J. Dalton) 根据实验指出, 同温同体积时混合气体的压力等于混合气体中各组分气体分压力之和:

$$p_{\text{总}} = p_1 + p_2 + \cdots + p_N = \sum_{i=1}^N p_i \quad (1-3)$$

该规律称道尔顿分压定律, 式中, $p_{\text{总}}$ 为总压力, p_i 为混合气体中各组分气体分压力。

根据式 (1-2) 和式 (1-3) 可得

$$p_{\text{总}} V = \sum_{i=1}^N p_i V = \sum_{i=1}^N n_i RT = n_{\text{总}} RT \quad (1-4)$$

式中, $n_{\text{总}}$ 为混合气体总的物质的量。

结合式 (1-2) 和式 (1-4) 得

$$\frac{p_i}{p_{\text{总}}} = \frac{n_i}{n_{\text{总}}} = x_i \text{ 或 } p_i = x_i p_{\text{总}} \quad (1-5)$$

式中, x_i 为某组分气体的物质的量分数。式 (1-5) 表明, 理想气体混合物中某组分气体分压等于该组分气体的物质的量分数与总压力的乘积。

与理想气体状态方程一样, 只有理想气体才严格遵守分压定律, 实际气体混合物只有在低压、高温条件下才能近似遵守分压定律。

例 1-3 某容器中有 NH_3 、 O_2 和 N_2 的混合气体, 在 20°C 取样分析得知 NH_3 、 O_2 和 N_2 的物质的量分别为 0.32 mol 、 0.18 mol 、 0.70 mol , 混合气体总压为 133 kPa 。计算各组分流体的分压和该容器的体积。

解: 根据分压定律可知

$$p_{\text{NH}_3} = \frac{n_{\text{NH}_3}}{n_{\text{总}}} \cdot p_{\text{总}} = \frac{0.32\text{ mol}}{(0.32+0.18+0.70)\text{ mol}} \times 133\text{ kPa} = 35.5\text{ kPa}$$

同理 $p_{\text{O}_2} = 20.0\text{ kPa}$; $p_{\text{N}_2} = 77.5\text{ kPa}$

$$V = \frac{n_{\text{总}} RT}{p_{\text{总}}} = \frac{1.20\text{ mol} \times 8.314\text{ kPa} \cdot \text{L} \cdot \text{mol}^{-1} \cdot \text{K}^{-1} \times 293.15\text{ K}}{133\text{ kPa}} = 22.0\text{ L}$$

例 1-4 在 25°C 、 99.43 kPa 的实验条件下, 利用排水集气法收集氢气 0.400 L 。计算同样温度和压力下, 用分子筛除去水分后干燥氢气的体积和物质的量。已知 25°C 下水的饱和蒸气压为 3.17 kPa 。

解: 实验所收集到的氢气实际是氢气和水蒸气的混合气体, 根据分压定律可得氢气的分压为

$$p_{\text{H}_2} = p_{\text{总}} - p_{\text{H}_2\text{O}} = 99.43\text{ kPa} - 3.17\text{ kPa} = 96.26\text{ kPa}$$

$$\text{氢气物质的量为 } n_{\text{H}_2} = \frac{p_{\text{H}_2} V}{RT} = \frac{96.26\text{ kPa} \times 0.400\text{ L}}{8.314\text{ kPa} \cdot \text{L} \cdot \text{mol}^{-1} \cdot \text{K}^{-1} \times 298.15\text{ K}} = 1.55 \times 10^{-2}\text{ mol}$$

设干燥氢气的压力和体积分别为 p'_{H_2} 和 V'_{H_2} , 且 $p'_{\text{H}_2} = 99.43\text{ kPa}$

同温度下, 有 $p_{\text{H}_2} V = p'_{\text{H}_2} V'_{\text{H}_2}$, 则

$$V'_{\text{H}_2} = \frac{p_{\text{H}_2} V}{p'_{\text{H}_2}} = \frac{96.26\text{ kPa} \times 0.400\text{ L}}{99.43\text{ kPa}} = 0.387\text{ L}$$

1.2 液体

液体没有固定的形状和显著的膨胀性, 其性质介于气体和固体之间。一定温度、压力条件下, 物质的气、液、固三态可以相互转化, 如液体汽化、气体液化、液体凝固、固体熔化、固体升华、气体凝华等。

1.2.1 液体的蒸气压、沸点和凝固点

1. 液体的蒸气压 液体分子克服分子间引力从液体表面逸出成为气体的过程叫蒸发, 蒸发是液体汽化的一种方式, 发生在液体表面。在敞口容器中, 蒸发可以一直进行到液体全部消失为止。

一定温度下, 将足量的某一纯液体置于密闭、真空容器中, 开始蒸发的瞬间, 只有分子逸出液面, 而没有分子进入液体; 随着蒸发进行, 液体上方气体分子数目逐渐增加, 气体分子与液面撞击时, 则被捕获进入液体中, 这个过程叫凝聚。由于液体在一定温度下蒸发速率是恒定的, 随着时间的推移, 蒸气压力随之增加, 凝聚速率加快, 最终达到蒸发速率和凝聚速率相等, 此时液面上方蒸气的压力不再改变, 体系达到一种动态平衡。此时的蒸气称为液体的饱和蒸气, 所产生的压力称做该温度下液体的饱和蒸气压, 简称蒸气压, 用 p^* 表示。

蒸气压是液体的重要性质, 其大小取决于液体的本性和温度, 而与液体的量无关。图 1-1 为几种液体的蒸气压曲线, 由于温度越高, 分子动能越大, 所以物质的蒸气压总是随温度的升高而增大。苯、碘、乙醚等蒸气压较高的物质称为易挥发性物质, 甘油、食盐等蒸气压较低的物质称为难挥发性物质。

2. 液体的沸点 加热敞口容器中的液体,随着温度升高,液体的蒸气压将增大;当温度增加到液体的蒸气压等于外界压力时,汽化在液体表面和液体内部同时进行,产生的大量气泡上升至液面后破裂而逸出液体,这种现象叫沸腾,是液体汽化的另外一种方式。当液体的蒸气压等于外压时的温度,称为液体的沸点。外压等于标准大气压 (100 kPa) 下的沸点,称为液体的正常沸点,如水的正常沸点是 373.15 K (100 °C)。

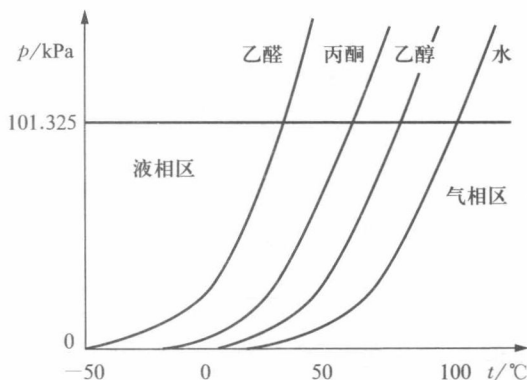


图 1-1 几种液体的蒸气压曲线

纯液体在一定的外压下有固定的沸点,增大外压可使液体的沸点升高,减小外压,可使液体的沸点降低。例如高山上水的沸点低于 100 °C,实验中常采用减压操作来蒸馏热稳定性差的液体。

3. 液体的凝固点 液体的凝固点是指在一定的外压下,纯液体与其固体达成平衡、相互转变时的温度,也称为固体的熔点;改变外压,液体的凝固点也随之改变。在压力为 101.325 kPa 的大气中,液体与其固体达成平衡的温度,称为液体的正常凝固点,此时,液体和固体的蒸气压相等,如水的正常凝固点是 273.15 K (0 °C)。

1.2.2 溶液的浓度

由两种或两种以上的物质组成的均匀稳定的系统称为溶液,其中量较少的物质称为溶质 (用 B 表示),量较多的物质称为溶剂 (用 A 表示)。根据聚集状态的不同,溶液可以分为气态溶液 (如空气)、液态溶液 (如生理盐水、细胞液) 和固态溶液 (如合金)。通常所说的溶液多指液态溶液,最常见的液态溶液是以水为溶剂的水溶液,简称溶液。若没有特别说明溶剂的溶液,均指水溶液。

溶液的浓度是指一定量溶液或溶剂中所含溶质的量,浓度表示方法有多种多样。

1. 物质的量浓度 物质的量浓度是指单位体积溶液中所含溶质基本单元的物质的量,用 c_B 表示,也称摩尔浓度,SI 单位为 $\text{mol} \cdot \text{m}^{-3}$,常用单位为 $\text{mol} \cdot \text{L}^{-1}$ 。

$$c_B = \frac{n_B}{V} \quad (1-6)$$

式中, n_B 表示溶质 B 的物质的量, V 表示溶液的体积。

基本单元可以是电子、原子、分子、离子及其他粒子,或这些粒子的特定组合。使用物质的量浓度时必须注明溶质 B 的基本单元,否则容易引起混乱。例如 KMnO_4 、 $\frac{1}{5} \text{KMnO}_4$ 、 3KMnO_4 、 $\frac{1}{2} \text{KMnO}_4$ 都可以作为基本单元,其物质的量之间的关系为

$$n(\text{KMnO}_4) = \frac{1}{5} n\left(\frac{1}{5} \text{KMnO}_4\right) = 3n(3\text{KMnO}_4) = \frac{1}{2} n\left(\frac{1}{2} \text{KMnO}_4\right)$$

例 1-5 用分析天平称取 1.2346 g 干燥的 $\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$ 基准物质,溶解后转移至 100.0 mL 容量瓶中定容,计算 $c(\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7)$ 和 $c\left(\frac{1}{6} \text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7\right)$ 。