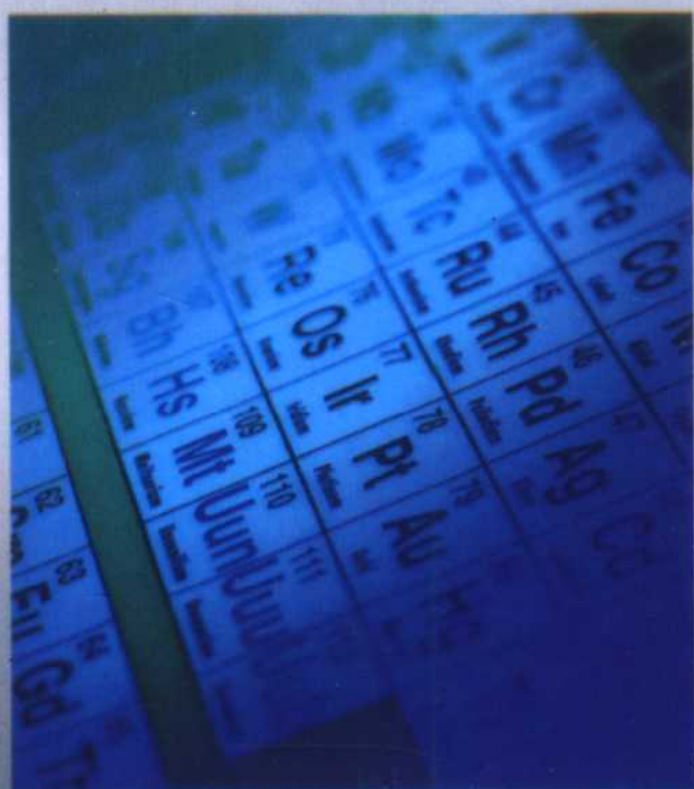




普通化学

任丽萍 主编



教育科学“十五”国家规划课题研究成果



高等教育出版社

教育科学“十五”国家规划课题研究成果

普通化学

任丽萍 主编

高等教育出版社

内容提要

本书是全国高等学校教学研究中心立项课题“21 世纪中国高等学校农林/医药类专业数理化基础课程的创新与实践”研究成果之一。全书共分 11 章,介绍了物质的聚集状态、溶液和胶体、原子结构、化学键与物质结构基础、化学动力学基础、化学平衡原理、化学反应速率、酸碱反应和酸碱平衡、沉淀反应和沉淀平衡、配位反应和配位平衡、氧化还原反应和氧化还原平衡、重要元素及其化合物等基本内容。各章后配有适量的习题供使用者参考。本书可作为高等院校农林水产类各专业本科生教材。

图书在版编目(CIP)数据

普通化学/任丽萍主编. —北京:高等教育出版社,
2006. 4

ISBN 7-04-018460-5

I. 普... II. 任... III. 普通化学—高等学校—
教材 IV. O6

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2006)第 004169 号

策划编辑 郭新华 责任编辑 朱 仁 封面设计 李卫青 责任绘图 吴文信
版式设计 胡志萍 责任校对 杨雪莲 责任印制 朱学忠

出版发行 高等教育出版社
社 址 北京市西城区德外大街 4 号
邮政编码 100011
总 机 010-58581000

经 销 蓝色畅想图书发行有限公司
印 刷 临沂银光印刷包装有限公司

开 本 787×960 1/16
印 张 18.25
字 数 340 000
插 页 1

购书热线 010-58581118
免费咨询 800-810-0598
网 址 <http://www.hep.edu.cn>
<http://www.hep.com.cn>
网上订购 <http://www.landraco.com>
<http://www.landraco.com.cn>
畅想教育 <http://www.widedu.com>

版 次 2006 年 4 月第 1 版
印 次 2006 年 4 月第 1 次印刷
定 价 20.00 元

本书如有缺页、倒页、脱页等质量问题,请到所购图书销售部门联系调换。

版权所有 侵权必究

物料号 18460-00

编写委员会委员

主 编：任丽萍

副 主 编：廖家耀 陈媛梅 王春娜 虎玉森 张春荣

编写人员：（按姓氏笔画排序）

王春娜 石绍会 任丽萍 陈媛梅

张春荣 吴昆明 虎玉森 胡唐华

蒲陆梅 蔡 红 廖家耀

主 审：赵士铎 董元彦

前 言

本书是全国高等学校教学研究中心“21 世纪中国高等学校农林类专业数理化基础课程的创新与实践”国家级课题研究内容,属于“中国农业大学精品课程建设项目”的研究成果。

生命科学发生的巨大变化和飞速发展缘于化学等基础学科的广泛的渗入,现在生命科学研究已进入分子水平研究领域,因此,生命科学工作者需要有坚实的化学基础。普通化学是高等农林院校本科生必修的一门基础课,课程开设的目的是为高等农林院校的学生提供必需的化学基础。为此,编者对于高等农林院校普通化学课程做了大量的教学改革和研究工作。本书在吸收了各高等农林院校长期累积的教学及改革的实践经验,经过有关教师的反复讨论的基础上,并结合教育科学“十五”国家规划课题的研究成果编写而成。在内容处理上具有如下的特点:

- 提供生物、农、林科学研究人才所必备的普通化学基础,注重化学对生物、农、林等科技领域的推动作用,并密切关注当代化学科学的发展。如书中增加了基本粒子介绍、分子轨道理论简介、配位化合物的类型及异构现象、无机化合物的定性分析等内容。在每个重要原理介绍中强调化学在生命科学中的渗透和应用,如增加了一些无机小分子的生物学作用等内容。

- 章节安排强调理论和概念的连贯性,以强化学生对基本原理的理解,便于掌握。在介绍了物质的存在状态后,将普通化学中的基本理论从微观(原子结构、分子结构)到宏观(热力学基础、化学平衡),最后到原理的基本应用(化学平衡中的四大平衡、无机定性分析)。这样安排能更好地符合学生认知规律。为适应不同学校和学生的需要,书中小字内容可根据实际选用。

- 书中例题和习题安排注重培养学生的应用能力。列举例题和课后作业是教学的一个重要环节,本书每章都有例题和适量的习题。例题和习题的选择原则除了促进学生对书中基本原理和知识的理解外,增加了实用性、研究性及启发性,激发学生学习兴趣,培养学生的对知识的综合和应用能力。

- 融入部分化学史的内容,进行科学方法和科学研究思维的教学内容的渗透,激发学生从事科学研究的兴趣。

- 本书编写力求语言简练、通俗易懂,便于培养学生的自学能力。基本理论部分以定性介绍为主,避免复杂的公式推导。



II 前言

● 书中概念、理论叙述力求准确。符号、计量单位符合国家标准。

全书共分 11 章,第 1、7 章分别由甘肃农业大学蒲陆梅和虎玉森编写;第 2、3 章由西南大学廖家耀编写;第 4、5、11 章分别由中国农业大学任丽萍、胡唐华和张春荣编写;第 6、10 章由北京农学院王春娜、蔡红和吴昆明编写;第 8、9 章分别由北京林业大学陈媛梅和石绍会编写。教材初稿经副主编修改,最后由主编统稿、定稿。

编者非常荣幸的邀请到中国农业大学赵士铎教授和华中农业大学董元彦教授为本书审稿,两位专家对书稿进行精心的审阅并提出了许多极为宝贵的意见,在此向他们表示衷心地感谢!

特别感谢高等教育出版社的岳延陆和郭新华老师,他们为本书的顺利出版给予了大力的支持并付出了许多辛苦。

由于编者水平所限,书中错误和不妥之处,恳请同行专家和使用此书的同学批评指正,以期改进,编者不胜感激!

编 者

2005 年 5 月 30 日

郑重声明

高等教育出版社依法对本书享有专有出版权。任何未经许可的复制、销售行为均违反《中华人民共和国著作权法》，其行为人将承担相应的民事责任和行政责任，构成犯罪的，将被依法追究刑事责任。为了维护市场秩序，保护读者的合法权益，避免读者误用盗版书造成不良后果，我社将配合行政执法部门和司法机关对违法犯罪的单位和个人给予严厉打击。社会各界人士如发现上述侵权行为，希望及时举报，本社将奖励举报有功人员。

反盗版举报电话：(010) 58581897/58581896/58581879

传 真：(010) 82086060

E - mail: dd@hep.com.cn

通信地址：北京市西城区德外大街 4 号

高等教育出版社打击盗版办公室

邮 编：100011

购书请拨打电话：(010)58581118

族 周期	1																		18	电子层	18 族 电子数		
	I A																		0				
1	1 H 氢 1.00794(7) 1s ¹		2																		2 He 氦 4.002602(2) 1s ²	K	2
2	3 Li 锂 6.941(2) 2s ¹		4 Be 铍 9.012182(3) 2s ²																				
3	11 Na 钠 22.989770(2) 3s ¹		12 Mg 镁 24.3050(6) 3s ²		3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13 Al 铝 26.981538(2) 3s ² 3p ¹	14 Si 硅 28.0855(3) 3s ² 3p ²	15 P 磷 30.973761(2) 3s ² 3p ³	16 S 硫 32.065(5) 3s ² 3p ⁴	17 Cl 氯 35.453(2) 3s ² 3p ⁵	18 Ar 氩 39.948(1) 3s ² 3p ⁶	M L K	8 8 2	
4	19 K 钾 39.0983(1) 4s ¹		20 Ca 钙 40.078(4) 4s ²		21 Sc 钪 44.955910(8) 3d ¹ 4s ²	22 Ti 钛 47.867(1) 3d ² 4s ²	23 V 钒 50.9415(1) 3d ³ 4s ²	24 Cr 铬 51.9961(6) 3d ⁵ 4s ¹	25 Mn 锰 54.938049(9) 3d ⁵ 4s ²	26 Fe 铁 55.845(2) 3d ⁶ 4s ²	27 Co 钴 58.933200(9) 3d ⁷ 4s ²	28 Ni 镍 58.6934(2) 3d ⁸ 4s ²	29 Cu 铜 63.546(3) 3d ¹⁰ 4s ¹	30 Zn 锌 65.39(2) 3d ¹⁰ 4s ²	31 Ga 镓 69.723(1) 4s ² 4p ¹	32 Ge 锗 72.64(1) 4s ² 4p ²	33 As 砷 74.92160(2) 4s ² 4p ³	34 Se 硒 78.96(3) 4s ² 4p ⁴	35 Br 溴 79.904(1) 4s ² 4p ⁵	36 Kr 氪 83.80(1) 4s ² 4p ⁶	N M L K	8 18 8 2	
5	37 Rb 铷 85.4678(3) 5s ¹		38 Sr 锶 87.62(1) 5s ²		39 Y 钇 88.90585(2) 4d ¹ 5s ²	40 Zr 锆 91.224(2) 4d ² 5s ²	41 Nb 铌 92.90638(2) 4d ⁴ 5s ¹	42 Mo 钼 95.94(1) 4d ⁵ 5s ¹	43 Tc 锝 (98) 4d ⁵ 5s ²	44 Ru 钌 101.07(2) 4d ⁷ 5s ¹	45 Rh 铑 102.90550(2) 4d ⁸ 5s ¹	46 Pd 钯 106.42(1) 4d ¹⁰	47 Ag 银 107.8682(2) 4d ¹⁰ 5s ¹	48 Cd 镉 112.411(8) 4d ¹⁰ 5s ²	49 In 铟 114.818(3) 5s ² 5p ¹	50 Sn 锡 118.710(7) 5s ² 5p ²	51 Sb 锑 121.760(1) 5s ² 5p ³	52 Te 碲 127.60(3) 5s ² 5p ⁴	53 I 碘 126.90447(3) 5s ² 5p ⁵	54 Xe 氙 131.293(6) 5s ² 5p ⁶	O N M L K	8 18 18 8 2	
6	55 Cs 铯 132.90545(2) 6s ¹		56 Ba 钡 137.327(7) 6s ²		71 Lu 镥 174.967(1) 4f ¹⁴ 5d ¹ 6s ²	72 Hf 铪 178.49(2) 5d ² 6s ²	73 Ta 钽 180.9479(1) 5d ³ 6s ²	74 W 钨 183.84(1) 5d ⁴ 6s ²	75 Re 铼 186.207(1) 5d ⁵ 6s ²	76 Os 锇 190.23(3) 5d ⁶ 6s ²	77 Ir 铱 192.217(3) 5d ⁷ 6s ²	78 Pt 铂 195.078(2) 5d ⁹ 6s ¹	79 Au 金 196.96655(2) 5d ¹⁰ 6s ¹	80 Hg 汞 200.59(2) 5d ¹⁰ 6s ²	81 Tl 铊 204.3833(2) 6s ² 6p ¹	82 Pb 铅 207.2(1) 6s ² 6p ²	83 Bi 铋 208.98038(2) 6s ² 6p ³	84 Po 钋 (210) 6s ² 6p ⁴	85 At 砹 (210) 6s ² 6p ⁵	86 Rn 氡 (222) 6s ² 6p ⁶	P O N M L K	8 18 32 18 8 2	
7	87 Fr 钫 (223) 7s ¹		88 Ra 镭 (226) 7s ²		103 Lr 铹 (260) 5f ¹⁴ 6d ¹ 7s ²	104 Rf 𬬻 (261) 6d ² 7s ²	105 Db 𬬺 (262) 6d ³ 7s ²	106 Sg 𬬻 (263) 6d ⁴ 7s ²	107 Bh 𬬼 (264) 6d ⁵ 7s ²	108 Hs 𬬽 (265) 6d ⁶ 7s ²	109 Mt 𬬾 (268) 6d ⁷ 7s ²	110 Uun * (269)	111 Uuu * (272)	112 Uub * (277)									

原子序数

元素符号
(红色指放射性元素)

元素名称
(注* 的是人造元素)

19
K
钾

39
40
41

39.0983(1)

4s¹

稳定同位素的质量数
(底线指丰度最大的同位素)

放射性同位素的质量数

外围电子的构型
(括号指可能的构型)

相对原子质量 (括号内数据为放射性元素最长寿命同位素的质量数)

金属

稀有气体

非金属

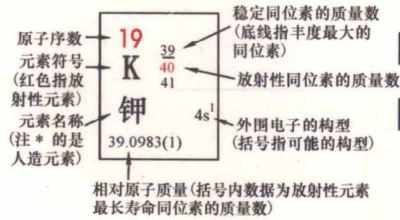
过渡元素

注:

1. 相对原子质量录自1999年国际相对原子质量表, 以¹²C=12为基准, 元素的相对原子质量末位数的准确度加注在其后括号内。

2. 商品Li的相对原子质量范围为6.939-6.996。

3. 稳定元素列有天然丰度的同位素; 天然放射性元素和人造元素同位素的选列与国际相对原子质量标的有关文献一致。



注:

1. 相对原子质量录自1999年国际相对原子质量表,以¹²C=12为基准,元素的相对原子质量末位数的准确度加注在其后括弧内。
2. 商品Li的相对原子质量范围为6.939-6.996。
3. 稳定元素列有天然丰度的同位素;天然放射性元素和人造元素同位素的选列与国际相对原子质量标的有关文献一致。

镧系	57 La 镧 138.9055(2) 5d ¹ 6s ²	58 Ce 铈 140.116(1) 4f ¹ 5d ¹ 6s ²	59 Pr 镨 140.90765(2) 4f ³ 6s ²	60 Nd 钕 144.24(3) 4f ⁴ 6s ²	61 Pm 钷 (145) 4f ⁵ 6s ²	62 Sm 钐 150.36(3) 4f ⁶ 6s ²	63 Eu 铕 151.964(1) 4f ⁷ 6s ²	64 Gd 钆 157.25(3) 4f ⁷ 5d ¹ 6s ²	65 Tb 铽 158.92534(2) 4f ⁹ 6s ²	66 Dy 镝 162.50(3) 4f ¹⁰ 6s ²	67 Ho 铥 164.93032(2) 4f ¹¹ 6s ²	68 Er 铒 167.259(3) 4f ¹² 6s ²	69 Tm 铥 168.93421(2) 4f ¹³ 6s ²	70 Yb 镱 173.04(3) 4f ¹⁴ 6s ²
锕系	89 Ac 锕 (227) 6d ¹ 7s ²	90 Th 钍 232.0381(1) 6d ² 7s ²	91 Pa 镤 231.03588(2) 5f ² 6d ¹ 7s ²	92 U 铀 238.02891(3) 5f ³ 6d ¹ 7s ²	93 Np 镎 (237) 5f ⁴ 6d ¹ 7s ²	94 Pu 钚 (244) 5f ⁶ 7s ²	95 Am 镅 (243) 5f ⁷ 7s ²	96 Cm 锔 (247) 5f ⁷ 6d ¹ 7s ²	97 Bk 锫 (247) 5f ⁹ 7s ²	98 Cf 锿 (251) 5f ¹⁰ 7s ²	99 Es 镱 (252) 5f ¹¹ 7s ²	100 Fm 镆 (257) 5f ¹² 7s ²	101 Md 钿 (258) 5f ¹³ 7s ²	102 No 诺 (259) 5f ¹⁴ 7s ²

目 录

第 1 章	物质的状态、溶液和胶体	1
1.1	物质的存在状态	1
1.2	溶液	6
1.3	强电解质溶液简介	15
1.4	胶体	16
1.5	表面活性剂和乳状液	21
	本章小结	23
	思考题与习题	24
第 2 章	原子结构	26
2.1	原子结构理论的发展	26
2.2	核外电子运动状态的描述	33
2.3	原子结构与元素周期律	46
	本章小结	55
	思考题与习题	55
第 3 章	化学键与物质结构基础	58
3.1	离子键与离子型化合物	58
3.2	共价键	62
3.3	分子和离子极化	76
3.4	分子间力和氢键	80
3.5	晶体结构简介	84
	本章小结	89
	思考题与习题	91
第 4 章	化学热力学基础	93
4.1	热力学的基本概念	93
4.2	热化学	98
4.3	化学反应的方向	106
	本章小结	119
	思考题与习题	119
第 5 章	化学平衡	122



II 目录

5.1	化学平衡状态	122
5.2	化学平衡常数	124
5.3	多重平衡原理	127
5.4	化学平衡的移动	128
	本章小结	133
	思考题与习题	133
第 6 章	化学反应速率	135
6.1	化学反应速率的概念	135
6.2	浓度对化学反应速率的影响	136
6.3	温度对化学反应速率的影响	139
6.4	化学反应速率理论简介	140
6.5	催化剂对化学反应速率的影响	143
	本章小结	145
	思考题与习题	146
第 7 章	酸碱反应与酸碱平衡	148
7.1	酸碱质子理论	148
7.2	水的质子自递反应及水溶液的 pH	153
7.3	水溶液中的酸碱平衡	153
7.4	酸碱解离平衡的移动	159
7.5	缓冲溶液	164
	本章小结	168
	思考题与习题	168
第 8 章	沉淀反应与沉淀溶解平衡	171
8.1	难溶电解质的溶度积	171
8.2	溶度积规则及其应用	175
	本章小结	182
	思考题与习题	183
第 9 章	配位化合物与配位平衡	185
9.1	配位化合物的基本概念	185
9.2	配位化合物的价键理论	194
9.3	配位化合物在水溶液中的稳定性和平衡	200
9.4	配位化合物的应用	208
	本章小结	210
	思考题与习题	211
第 10 章	氧化还原反应	214



10.1 基本概念	214
10.2 氧化还原反应方程式的配平	216
10.3 氧化还原反应与原电池	217
10.4 原电池的电动势及电极电势	221
10.5 能斯特方程及其应用	227
10.6 元素标准电势图及应用	232
本章小结	234
思考题与习题	235
第 11 章 重要元素及其化合物	238
11.1 重要的营养元素及其化合物	238
11.2 重要的污染元素及其化合物	243
11.3 常见阴阳离子定性分析	246
本章小结	257
思考题与习题	258
附录	259
附录 I 国际单位制	259
附录 II 原子半径	261
附录 III 元素的第一电离能	262
附录 IV 主族元素的第一电子亲和能	263
附录 V 元素的电负性	263
附录 VI 常见物质的热力学数据	264
附录 VII 常见酸碱的解离常数	274
附录 VIII 难溶化合物的溶度积	275
附录 IX 配离子的稳定常数	277
附录 X 标准电极电势表	277
主要参考书	281
元素周期表	

第 1 章 物质的状态、溶液和胶体

物质的聚集状态通常有气态、液态和固态,这三种聚集状态各有其特点,且在一定条件下可以相互转化。

溶液是两种或两种以上物质组成的均匀液态分散系。它与日常生活和生产实践有着密切的联系,比如农药的使用、组织培养液的配制、土壤的改良、工业废水的净化处理等无不与溶液有关。

胶体分散系在自然界尤其是生物界普遍存在,与人类的生活及环境有着非常密切的关系。工农业生产、医学、气象科学等都与胶体分散系有关。

1.1 物质的存在状态

1.1.1 气体

气态物质的基本特征是它的扩散性和可压缩性。组成气体的分子处在永恒的无规则的运动中。气体既没有固定的体积又没有固定的形状。所谓气体的体积就是指它们所占有的容器的容积。

在一定温度下,无规则运动的气体分子具有一定的能量,在运动中分子彼此间发生碰撞,气体分子也碰撞器壁产生了气体的压力。气体的状态常用四个物理量描述,即物质的量(n)、体积(V)、压力(p)和热力学温度(T)。

1.1.1.1 理想气体状态方程

从 17 世纪中期开始,经过百余年的努力,人们最终确立了描述理想气体●状态的四个物理量之间的关系,即

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

式中, p 为气体的压力; V 为气体体积; T 为气体温度; n 是气体物质的量; R 为摩尔气体常数。 $R=8.314 \text{ kPa}\cdot\text{L}\cdot\text{mol}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}=8.314 \text{ J}\cdot\text{mol}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}$ 。

例题 1-1 某氮气钢瓶体积为 50.0 L, 20 °C 时,压力为 100 kPa,计算钢瓶中氮气的质量。

解: 已知 $V=50.0 \text{ L}$ $T=293 \text{ K}$ $p=100 \text{ kPa}$

● 理想气体是假设分子本身不占有体积、分子间没有相互作用力的气体,是一种理想的气体模型。



根据式(1-1)

$$n = \frac{pV}{RT}$$

$$n = \frac{50.0 \text{ L} \times 100 \text{ kPa}}{8.31 \text{ kPa} \cdot \text{L} \cdot \text{mol}^{-1} \cdot \text{K}^{-1} \times 293 \text{ K}} = 2.05 \text{ mol}$$

N_2 摩尔质量为 $28.0 \text{ g} \cdot \text{mol}^{-1}$, 钢瓶中的 N_2 质量为 $m = 28.0 \text{ g} \cdot \text{mol}^{-1} \times 2.05 \text{ mol} = 57.4 \text{ g}$ 。

例题 1-2 一学生在 30°C 及 106 kPa 下实验中, 将干燥纯净的某气体 0.670 g 收集于容积为 500 mL 的容器中, 计算此种气体的摩尔质量, 并判断可能是何种气体?

解: 根据 $pV = nRT$

$$pV = \frac{m}{M}RT$$

$$M = \frac{mRT}{pV} = \frac{0.670 \text{ g} \times 8.31 \text{ kPa} \cdot \text{L} \cdot \text{mol}^{-1} \cdot \text{K}^{-1} \times 303 \text{ K}}{106 \text{ kPa} \times 0.500 \text{ L}} = 31.8 \text{ g} \cdot \text{mol}^{-1}$$

由于氧气的摩尔质量与其相近, 故该气体可能为氧气。

1.1.1.2 理想气体分压定律

在实际生活中常常会遇到气体的混合物。如果将几种彼此不发生化学反应的气体放在同一容器中, 则各种气体如同单独存在时一样充满整个容器, 某一组分气体所产生的压力不会因其他组分气体的存在而改变。在恒温条件下, 混合气体中某一组分气体单独占有整个混合气体体积时所产生的压力, 称为该组分气体的分压力。

若系统内有 A、B 两种气体, 其分压力分别用 $p(\text{A})$ 、 $p(\text{B})$ 表示, V 为系统的总体积, 则

$$p(\text{A})V = n(\text{A})RT \quad p(\text{B})V = n(\text{B})RT \quad (1-2)$$

理想气体混合物的总压力 p 等于混合气体中各组分气体分压之和, 即

$$p = p(\text{A}) + p(\text{B}) \quad (1-3)$$

式(1-3)就是由英国科学家道尔顿(J. Dalton)于 1807 年提出的理想气体分压定律。分压定律对于研究气体混合物非常重要。在实验室中常用排水集气法收集气体, 用这种方法收集的气体中含有饱和的水蒸气, 因此所读出的压力数值是混合气体的总压力。即

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

水的饱和蒸气压仅与温度有关, 可从化学手册中查出, 因此收集的气体的分压力就很容易计算得到。

例题 1-3 23°C 、 100 kPa 条件下, 在水面上收集 400 mL 氧气, 计算收集到干燥氧气的质量。已知氧气的摩尔质量为 $32.0 \text{ g} \cdot \text{mol}^{-1}$, 23°C 时水的饱和蒸气压 $p(\text{H}_2\text{O}) = 2.81 \text{ kPa}$ 。

解:

$$p(\text{H}_2\text{O}) = 2.81 \text{ kPa}$$



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

$$p(\text{O}_2) = 100 \text{ kPa} - 2.81 \text{ kPa} = 97.2 \text{ kPa}$$

由式(1-3)得

$$p(\text{O}_2)V = n(\text{O}_2)RT$$

$$n(\text{O}_2) = \frac{0.400 \text{ L} \times 97.2 \text{ kPa}}{8.31 \text{ kPa} \cdot \text{L} \cdot \text{mol}^{-1} \cdot \text{K}^{-1} \times 296 \text{ K}} = 0.0158 \text{ mol}$$

收集到的干燥氧气的质量为 $m(\text{O}_2) = 0.0158 \text{ mol} \times 32.0 \text{ g} \cdot \text{mol}^{-1} = 0.506 \text{ g}$ 。

1.1.2 液体

同气体一样,液体也是一种流体。液体具有一定的体积而无一定的形状,其可压缩性比气体小得多而略大于固体。

在一定的温度、压力下,物质三态之间可以相互转化,如对气体加压或降温,或同时加压并降温,气体可凝聚为液体,将液体冷却又可凝固为固体;反之,固体受热可熔化为液体,液体受热又可气化为气体。固-液、液-气之间的转化在化学上称相变,相变时两相之间的动态平衡称相平衡。

1.1.2.1 气体的液化

气体转化成液体的过程称为气体的液化或凝聚。对气体降温或加压,或在降温的同时增加压力可使气体液化,这是因为降低温度可减小气体分子的动能,增加分子间的吸引力;增加压力可减小分子之间的距离,有利于增大分子间引力,当气体分子间距达到液体分子间距离时,气体就液化了。实验表明,单纯降温可使气体液化,但对一些气体,单纯加压并不十分奏效,必须先将温度降到某一特定值,再加以足够的压力,才能使气体液化。每种气体液化时各有一特定温度,此温度称**临界温度** T_c (critical temperature),在临界温度以上,不论加多大压力都不能使气体液化。临界温度时,使气体液化所必需的最低压力称为**临界压力** p_c (critical pressure),在 T_c 、 p_c 条件下,1 mol 气态物质占有的体积称为**临界体积** V_c (critical volume)。 T_c 、 p_c 、 V_c 统称为**临界常数**。气体处于 T_c 、 p_c 、 V_c 的状态称为**临界状态**,它是一种不稳定的特殊状态,处于这种状态的气体和液体之间的性质差别将消失。近年来,人们将温度和压力同时高于临界值的流体称为**超临界流体** (supercritical fluid)。超临界流体具有许多独特的性质,如黏度、密度、扩散系数、溶剂化能力等性质随温度和压力变化十分敏感。一些性质接近于气体,而另外一些性质接近于液体。超临界流体在萃取分离、化学反应工程、环境保护与治理、材料科学等方面已经得到一定的应用,并且具有极其广泛的应用前景。超临界流体是国际上公认的绿色技术,此类技术的推广和应用对保护环境具有十分重要的意义。



1.1.2.2 液体的蒸发

液体在一定的温度、压力下,可以转变为气体,液体转变为气体的过程称为液体的气化,蒸发和沸腾是液体气化的两种形式。蒸发是液体表面分子气化的现象,沸腾则是液体内部和表面分子同时气化的现象。

若在敞口容器中,液体蒸发变成蒸气过程会不断地进行,一直到全部液体都完全蒸发为气体为止。而在密闭容器中液体的蒸发却是有限度的。在一定温度下,挣脱液体表面引力进入液面上方的分子聚集在容器中不能逸出,随着蒸发的不断进行,液体上方的气体分子增多,当分子在容器内做无规则运动时,这些分子与器壁、液面或其他分子碰撞,其中某些能量低的分子可返回到液体中,从而使蒸气凝聚为液体。

液体蒸发时,要克服分子间的引力,即需要能量。组成液体的分子,其能量有大有小,只有具有足够动能的分子才能克服其他分子的吸引作用而从表面逸出。在一定温度下,这些分子所占的比例一定,所以单位时间内从单位表面上逸出的分子数也是一定的。相反,在单位时间内由气体进入液体的分子数取决于蒸气的压力。设想在上方真空的密闭容器中有足够量的液体,开始蒸发的瞬间,只有逸出液面的分子,而没有进入液体的分子。蒸发开始后,蒸气的压力逐渐增大,进入液体的分子也就逐渐增多。然而,温度不变时,单位时间内从表面逸出的分子数保持恒定,最后必然达到平衡状态,即在单位时间内从表面上逸出的分子数等于在同一表面上进入液体的分子数。换言之,达到动态平衡时,液体的蒸发速率与蒸气的凝聚速率相等。此时,蒸气具有恒定的压力。与液体平衡的蒸气称为饱和蒸气,它的压力就称为饱和蒸气压;简称蒸气压。

蒸气压表示液体分子向外逸出的趋势,蒸气压的大小取决于液体的本性和温度,而与液体的量无关。液体的蒸气压与温度的关系可用蒸气压曲线图来表示。图1-1是几种液体的蒸气压曲线。曲线上的每一点代表相应液体与蒸气呈平衡状态时的温度和压力。由于温度越高,分子的动能越大,所以物质的蒸气压总是随温度的升高而增大。

通常称蒸气压大的物质为易挥发物质,蒸气压小的物质为难挥发物质。

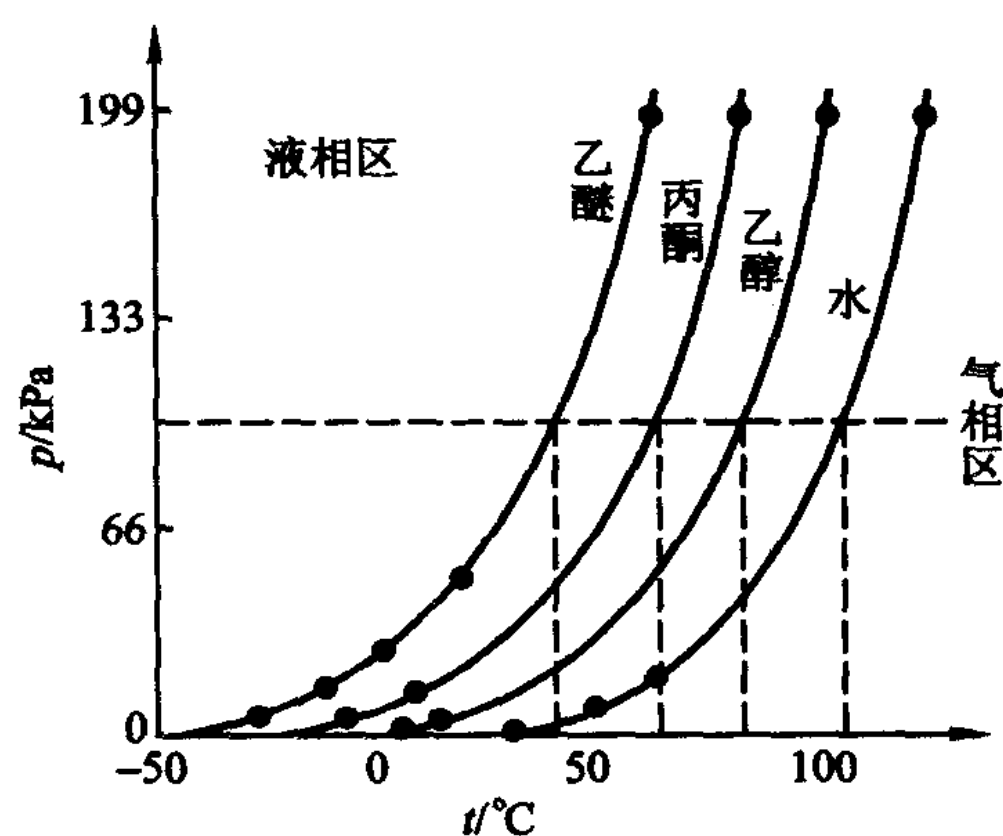


图1-1 几种液体的蒸气压曲线



1.1.2.3 液体的沸腾

加热敞口容器中的液体时,先在液体表面发生气化。随着温度升高,液体的蒸气压将增大;当温度增加到蒸气压等于外界压力时,气化不仅在液面上进行,而且同时在液体的内部也进行。内部液体的气化产生了大量气泡上升到液面,气泡破裂,逸出液体,这种现象叫做沸腾。液体的蒸气压等于外界压力时的温度称为液体的沸点,液体在常压下(101.325 kPa)的沸点,称液体的正常沸点。如水在 101.325 kPa 压力下的沸点(水的正常沸点)为 100°C (373.15 K)。

纯液体在一定外压力下有固定的沸点,增大外压力可使液体的沸点升高,相反的,降低外压力可使液体在较低温度下沸腾,这是对于一些热稳定性差的液体常采用减压蒸馏的原理,也是在地势高、气压低的地方水的沸点低于正常沸点的原因。

1.1.3 固体

固体不仅具有一定的体积,而且具有一定的形状。固体可由分子、原子或离子等粒子组成。这些粒子靠得很近,彼此间有着相当强的作用力,使固体表现出一定程度的刚性。固体的可压缩性很小。固体内部的粒子不能自由移动,只能在一定的位置上做热振动。

1.1.4 物质的第四态——等离子体

物质的状态是可以变化的。人们已经非常熟悉在一定温度和压力条件下,固、液、气三态的相互转变。若采取某种手段,如加热、放电等,使气体分子电离,当电离产生的带电粒子密度达到一定数值时,物质状态便会出现新变化,这时的电离气体已不再是原来的气体了。首先在组成上,电离气体与普通气体明显不同,后者是由电中性的分子或原子组成的,前者则是带电粒子和中性粒子组成的集合体。更重要的是在性质上的差别。其一,电离气体是一种导电流体,能在与气体体积相比拟的宏观尺度内维持电中性;其二,作为一个带电粒子系,其运动行为会受到磁场的影响和支配。因此,这种电离气体是有别于普通气体的一种物质聚集态,被称为物质的第四态。鉴于其无论是部分电离还是完全电离,其中的正电荷总数和负电荷总数在数值上总是相等的,故称为等离子体。

一般来说,人们对固、液、气“三态”十分熟悉,对等离子态可能比较陌生。这是因为在地球表面环境中,通常不具备等离子体产生的条件。例如,在地球表面空气里,由于宇宙射线的作用每秒在 1 cm^3 内大约只产生 5 对离子。这相对于标准状态下的气体密度来说实在是微乎其微的,因此只有在特定条件下,才能看到自然界的等离子体现象,如闪电和极光等。与地球上的情况截然不同,在茫茫宇宙中,99%以上的物质都呈等离子态。太阳就是一个灼热的等离子体火球,恒星、星际空间和地球上空的电离层也都是等离子体。因此,就整个宇宙而言,等离子体是物质存在的普遍形式。

其实,实践中也有许多人工发生的等离子体。最常见的是霓虹灯管中的辉光放电。电弧



和荧光灯管中也都存在等离子体。人们在实验室中最早研究的等离子体也是通过气体放电获得的。

对等离子体基本性质的研究涉及到许多学科领域,如物理学、气体动力学、电磁学、化学等等。近几十年来,研究和应用等离子体的科学有了迅速的发展。其中,等离子体化学是等离子体技术应用于化学领域中而形成的一门新兴交叉学科。等离子体化学提供了新的合成手段,用于无机合成制备各种金属氧化物,氮化物、碳化物等超细、超硬材料和化工原料。等离子体技术在工程中的应用越来越受到人们的重视。

1.2 溶液

1.2.1 分散系的概念

在日常生活和生产实践中,经常可以碰到像泥浆、牛奶、海水等这样一些系统,这些系统是由一种或多种物质分散在其他一种物质中所构成的,称这些系统为分散系。分散系由分散质和分散剂两部分构成,所谓分散质就是被分散的物质,容纳(或分散)分散质的物质称为分散剂。分散质处于分割成粒子的不连续状态,而分散剂则处于连续的状态。在分散系内,分散质和分散剂可以是固体、液体或气体,故按分散质和分散剂的聚集状态分类,分散系可以有9种,见表1-1。

表1-1 按聚集状态分类的各种分散系

分散质	分散剂	实例
气	气	空气、家用煤气
液	气	云、雾
固	气	烟、灰尘
气	液	泡沫、汽水
液	液	牛奶、豆浆、农药乳浊液
固	液	泥浆、油漆
气	固	泡沫塑料、木炭
液	固	肉冻、硅胶
固	固	红宝石、合金、有色玻璃

生物体内的各种生理、生化反应都是在液体介质中进行的。按照分散质粒子直径大小不同,常把液态分散系分为三类,见表1-2。

三种液态分散系之间虽然有明显的区别,但没有明显的界线,三者之间的过渡是渐变的,某些系统可以同时表现出两种或者三种分散系的性质,因此以分散质粒子直径的大小作为分散系分类的依据是相对的。