



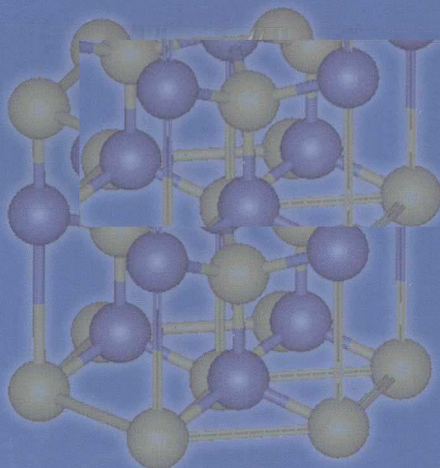
普通高等教育“十一五”精品课程建设教材

# 普通

PUTONGHUAXUE

# 化学

曲宝涵 主编



中国农业大学出版社

06-43

Q781

普通高等教育“十一五”精品课程建设教材

# 普通化学

曲宝涵 主编

中国农业大学出版社

## 图书在版编目(CIP)数据

普通化学/曲宝涵主编. —北京:中国农业大学出版社,2009.8  
ISBN 978-7-81117-712-1

I. 普… II. 曲… 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(2009)第 150351 号

书 名 普通化学  
作 者 曲宝涵 主编

策划编辑 张秀环

封面设计 郑 川

出版发行 中国农业大学出版社

社 址 北京市海淀区圆明园西路 2 号

电 话 发行部 010-62731190,2620

编辑部 010-62732617,2618

网 址 <http://www.cau.edu.cn/caup>

经 销 新华书店

印 刷 涿州市星河印刷有限公司

版 次 2009 年 8 月第 1 版 2009 年 8 月第 1 次印刷

规 格 787×980 16 开本 25 印张 460 千字

印 数 1~4 000

定 价 35.00 元

责任编辑 孟 梅

责任校对 王晓凤 陈 莹

邮政编码 100193

读者服务部 010-62732336

出 版 部 010-62733440

e-mail [cbsszs@cau.edu.cn](mailto:cbsszs@cau.edu.cn)

图书如有质量问题本社发行部负责调换

# 内 容 提 要

本书是山东省高等学校基础学科建设专项—普通化学课程建设的成果之一。全书共 13 章,主要介绍了气体和溶液、胶体、化学反应速率、化学热力学基础、化学平衡及平衡移动、酸碱反应、沉淀-溶解反应、原子结构与元素周期律、化学键与分子结构、氧化还原反应、配位反应、同农业生产有关的重要元素及其化合物等基本内容。各章配有适量的习题供使用者参考。

本书可作为高等农林牧院校水产类、生命科学类、食品科学类、资源与环境类等各专业本科生使用的普通化学教材。

# 前 言

本书是“山东省高等学校基础学科建设专项—普通化学”课程建设课题研究内容,属于“青岛农业大学精品课程建设项目”的研究成果。适用于高等农林牧院校水产类、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,也可作为科研、生产部门有关科技人员的参考用书。

化学科学是现代农学生物学的基础,化学系列课程是农林牧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。为此,编者查阅了大量资料,吸收了各高等农林牧院校长期积累的教学和改革经验,在内容处理上有以下特点:

(1) 为学生提供必要普通化学知识基础,注重化学学科的发展和化学在农学生物学学科的渗透和应用,增加了无机分子的生物知识。

(2) 在章节安排上强调了理论和概念的连贯性,强化学生对化学基本理论的理解,便于掌握。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、元素、化合物的应用及在农业生物科学中的作用,编排更好地符合学生认知规律。

(3) 在教材深度和广度上,教材充分考虑了大学扩招下学生的基本理论水平 and 知识的接受能力,在满足教学基本要求的前提下,充分考虑到不同层次和不同专业学生的学习需要,增加了一些内容,书中以楷体字表示。

(4) 本书每章后增加了现代化学的最新研究成果及新兴交叉学科的最新进展的科普、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,有利于帮助学生树立正确的科学观和世界观。

(5) 本书力求做到语言简练,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。

本书由曲宝涵教授担任主编,马传利、宋祖伟、吕海涛、代辉担任副主编。参加编写的有曲宝涵、马传利、宋祖伟、吕海涛、代辉、惠妮、于专妮、孔祥平、白玉兰、李琳、杨登峰、张钊、梁爱琴、蓝靖、薛长晖、王修中、王秀霞、任春艳、孙新枝等。

全书由主编提出编写大纲,并对书稿通读、修改,最后定稿。由中国农业大学



赵士铎教授主审。

由于编写时间仓促以及编者的水平所限,书中存在的错误和不妥之处,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

2009年6月



# 目 录

<b>第 1 章 气体与溶液</b> .....	1
1.1 气体 .....	1
1.2 液体 .....	5
1.3 稀溶液的依数性 .....	8
1.4 电解质溶液理论.....	22
阅读材料 .....	24
思考题与习题 .....	25
<b>第 2 章 胶体</b> .....	28
2.1 分散系和表面能.....	28
2.2 表面吸附现象.....	30
2.3 溶胶的基本性质.....	31
2.4 溶胶粒子的结构.....	35
2.5 溶胶的稳定性和聚沉.....	38
2.6 表面活性剂和乳状液.....	40
阅读材料 .....	42
思考题与习题 .....	43
<b>第 3 章 化学反应速率</b> .....	45
3.1 化学反应速率的基本概念.....	45
3.2 浓度对化学反应速率的影响.....	47
3.3 温度对化学反应速率的影响.....	51
3.4 反应速率理论简介.....	54
3.5 催化剂对反应速率的影响.....	56
阅读材料 .....	59
思考题与习题 .....	60



<b>第4章 化学热力学基础</b> .....	64
4.1 热力学基本概念 .....	65
4.2 热力学第一定律及焓 .....	71
4.3 盖斯定律及反应热的计算 .....	73
4.4 反应的自发性及熵 .....	85
4.5 吉布斯自由能和反应方向的判断 .....	89
阅读材料 .....	97
思考题与习题 .....	98
<b>第5章 化学平衡及平衡移动</b> .....	103
5.1 平衡状态与平衡常数 .....	103
5.2 标准平衡常数与吉布斯自由能变 .....	107
5.3 多重平衡系统 .....	111
5.4 化学平衡的移动 .....	112
阅读材料 .....	116
思考题与习题 .....	117
<b>第6章 酸碱反应</b> .....	119
6.1 酸碱质子理论 .....	120
6.2 水的解离平衡和 pH .....	125
6.3 酸碱溶液中氢离子浓度的计算 .....	128
6.4 酸碱平衡的移动 .....	137
6.5 缓冲溶液 .....	141
阅读材料 .....	149
思考题与习题 .....	150
<b>第7章 沉淀-溶解反应</b> .....	154
7.1 难溶电解质的溶度积 .....	154
7.2 沉淀的生成和溶解 .....	157
7.3 沉淀反应在分析检测中的应用 .....	165
阅读材料 .....	165
思考题与习题 .....	166
<b>第8章 原子结构</b> .....	168
8.1 氢原子光谱和波尔理论 .....	168
8.2 微观粒子的运动特性 .....	171





8.3 核外电子运动状态的近代描述 .....	173
8.4 多电子原子的结构与周期律 .....	181
8.5 元素基本性质的周期性变化 .....	187
阅读材料 .....	191
思考题与习题 .....	192
<b>第9章 化学键与分子结构</b> .....	<b>194</b>
9.1 离子键 .....	194
9.2 共价键 .....	203
9.3 金属键 .....	225
9.4 分子间力和氢键 .....	229
9.5 晶体结构简介 .....	237
阅读材料 .....	240
思考题与习题 .....	242
<b>第10章 氧化还原反应</b> .....	<b>245</b>
10.1 基本概念 .....	245
10.2 原电池 .....	249
10.3 电极电势 .....	254
10.4 电极电势的应用 .....	263
10.5 元素标准电势图及其应用 .....	268
阅读材料 .....	271
思考题与习题 .....	272
<b>第11章 配位反应</b> .....	<b>275</b>
11.1 配合物的基本概念 .....	275
11.2 配合物的化学键理论 .....	286
11.3 配合物在水溶液中的稳定性和配位平衡 .....	302
11.4 配合物的应用 .....	311
阅读材料 .....	315
思考题与习题 .....	316
<b>第12章 与农业生产有关的非金属元素简介</b> .....	<b>319</b>
12.1 非金属元素概述 .....	319
12.2 卤素 .....	322
12.3 氧与硫 .....	326



12.4 氮、磷和砷	331
12.5 碳、硅和硼	335
阅读材料	339
思考题与习题	341
<b>第13章 与农业生产有关的金属元素简介</b>	<b>343</b>
13.1 金属元素通性	343
13.2 s区金属元素	344
13.3 p区金属元素	346
13.4 过渡金属元素	348
阅读材料	362
思考题与习题	363
<b>附表</b>	<b>365</b>
附表1 国际单位制(SI)基本单位	365
附表2 常用换算关系	365
附表3 常见的物理常数	365
附表4 常见物质的 $\Delta_f H_m^\ominus$ 、 $\Delta_f G_m^\ominus$ 和 $S_m^\ominus$ (298.15 K)	366
附表5 物质的标准燃烧焓 $\Delta_c H_m^\ominus$	374
附表6 弱电解质的标准解离常数	375
附表7 常见难溶电解质的溶度积 $K_{sp}^\ominus$ (298.15 K)	377
附表8 常见配离子的稳定常数 $K_f^\ominus$ (298.15 K)	378
附表9 EDTA 配合物的稳定常数 ( $\lg K_f^\ominus$ )	379
附表10 标准电极电势 ( $\varphi^\ominus$ , 298.15 K)	379
附表11 不同温度时水的饱和蒸气压	383
附表12 一些化合物的摩尔质量	384
<b>参考文献</b>	<b>388</b>



# 气体与溶液

## 【教学目标】

1. 了解气体性质,掌握理想气体状态方程式、理想气体分压定律及应用。
2. 理解液体重要性质,熟悉溶液的组成标度及相互换算。
3. 熟练掌握稀溶液的依数性及应用。
4. 了解电解质溶液理论。

本章主要介绍日常生活中常见到的物质聚集状态(气态、液态、溶液)的性质、规律、相关理论和应用。

## 1.1 气体

通常条件下,物质的聚集状态有气态、液态和固态,这 3 种聚集状态各有其特点,在一定条件下可以互相转化。气态时物质的性质最为简单,也最早被人们所认识。许多化学变化和生理生化过程,如物质燃烧、生物呼吸、植物光合作用、生物固氮等,都离不开气体的参与;科学研究和生产实践中也常遇到气体参与的化学反应,因此,了解气体的基本性质具有重要意义。

气体最显著的特征是扩散性和可压缩性,因此气体没有固定的体积和形状,所谓气体的体积是指气体所占有的容器的容积。一定温度下,无规则运动的气体分子碰撞器壁产生了气体的压力。气体的状态常用 4 个物理量来描述,即物质的量  $n$ 、体积  $V$ 、压力  $p$ 、热力学温度  $T$ 。

17 世纪中期,波义尔(R. Boyle)、盖-吕萨克(J. Gay-Lussac)和阿伏伽德罗(A. Avogadro)研究低压下气体的性质规律,从中抽象出理想气体的概念。理想气体是指其分子是没有体积的质点、分子间也没有任何作用力的气体,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的情况下的行为接近理想气体,因此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

将波义尔、盖-吕萨克和阿伏伽德罗总结出的 3 个低压气体的经验规律加以总结得出描述理想气体状态的 4 个物理量之间的关系,即理想气体状态方程式:

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

式中:  $p$  为压力;  $V$  为体积;  $n$  为物质的量;  $T$  为热力学温度;  $R$  为摩尔气体常数。使用理想气体状态方程式时,注意各个物理量单位的匹配,如表 1-1 所示。

表 1-1  $R$  的数值及单位

$p$	$V$	$n$	$T$	$R$
帕(Pa)	立方米(m <sup>3</sup> )	摩尔(mol)	开尔文(K)	8.314 Pa·m <sup>3</sup> ·mol <sup>-1</sup> ·K <sup>-1</sup> 或 J·mol <sup>-1</sup> ·K <sup>-1</sup>
千帕(kPa)	升(L)	摩尔(mol)	开尔文(K)	8.314 kPa·L·mol <sup>-1</sup> ·K <sup>-1</sup> 或 J·mol <sup>-1</sup> ·K <sup>-1</sup>

在应用理想气体状态方程式时,还常有以下几种变换形式:

$$p \frac{V}{n} = RT \quad \text{即} \quad pV_m = RT; pV = \frac{m}{M}RT; pM = \rho RT; p = \frac{n}{V}RT \quad \text{即} \quad p = c_B RT$$

式中:  $V_m$  为气体的摩尔体积;  $M$  为气体的摩尔质量;  $\rho$  为气体的密度;  $c_B$  为气体的物质的量浓度。

**例 1-1** 当温度为 288 K, 压力为  $2.53 \times 10^5$  Pa 时, 200 L 容器中能容纳 CO<sub>2</sub> 气体的物质的量是多少?

解: 由理想气体状态方程  $pV = nRT$  可得

$$n = \frac{pV}{RT} = \frac{2.53 \times 10^5 \text{ Pa} \times 200 \times 10^{-3} \text{ m}^3}{8.314 \text{ Pa} \cdot \text{m}^3 \cdot \text{mol}^{-1} \cdot \text{K}^{-1} \times 288 \text{ K}} = 21.1 \text{ mol}$$

**例 1-2** 一学生在 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: 由理想气体状态方程的变换形式  $pV = \frac{m}{M}RT$  可得

$$M = \frac{mRT}{pV} = \frac{0.670 \text{ g} \times 8.314 \text{ kPa} \cdot \text{L} \cdot \text{mol}^{-1} \cdot \text{K}^{-1} \times 303.15 \text{ K}}{106 \text{ kPa} \times 0.500 \text{ L}} = 31.8 \text{ g} \cdot \text{mol}^{-1}$$

由于氧气的摩尔质量与其接近, 故该气体可能是氧气。

**例 1-3** 某种碳氢化合物的蒸气, 在 100 °C, 101.325 kPa, 测得其密度



$\rho = 2.55 \text{ g} \cdot \text{L}^{-1}$ ; 化学分析结果表明化合物中碳氢原子个数比为 1, 确定该化合物的化学式。

解: 由理想气体状态方程的变换形式  $pM = \rho RT$  可得

$$M = \frac{\rho RT}{p} = \frac{2.55 \text{ g} \cdot \text{L}^{-1} \times 8.314 \text{ kPa} \cdot \text{L} \cdot \text{mol}^{-1} \cdot \text{K}^{-1} \times 373.15 \text{ K}}{101.325 \text{ kPa}} \\ = 78.1 \text{ g} \cdot \text{mol}^{-1}$$

因化合物中碳氢原子个数比为 1, 所以设该化合物的分子式为  $\text{C}_x\text{H}_x$ , 得

$$M(\text{C}_x\text{H}_x) = x[M(\text{C}) + M(\text{H})] = x(12.0 \text{ g} \cdot \text{mol}^{-1} + 1.01 \text{ g} \cdot \text{mol}^{-1})$$

解得  $x = 6$ , 所以该化合物的分子式为  $\text{C}_6\text{H}_6$ 。

### 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, 则称之为理想气体混合物。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) 根据实验得出结论: 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, 这一规律称道尔顿分压定律, 其数学表达式为

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

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:  $x_i$  为某组分气体的摩尔分数; 式(1-5)是道尔顿分压定律的另一种表达形式, 即理想气体混合物中某组分气体分压等于该组分气体的摩尔分数与总压力的乘积。

分压定律对于研究混合气体非常重要, 实验室用排水集气法收集气体时, 常含有饱和水蒸气, 在计算有关气体的压力和物质的量时, 必须排除水蒸气的影响。

**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

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

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

**例 1-5** 某容器中有  $\text{NH}_3$ 、 $\text{O}_2$  和  $\text{N}_2$  的混合气体, 在 20 °C 取样分析得知  $\text{NH}_3$ 、 $\text{O}_2$  和  $\text{N}_2$  的物质的量分别为 0.32 mol、0.18 mol 和 0.70 mol, 混合气体总压为 133 kPa。计算各组分气体的分压是多少? 该容器的体积是多少?

**解:** 根据分压定律可知

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

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

容器体积可以用某一组分气体计算  $p_i V = n_i RT$ , 也可用混合气体总量计算  $p_{\text{总}} V = n_{\text{总}} RT$

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

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。



## 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,在某些方面接近气体,如流动性,但更多方面类似于固体,如具有确定的体积,很难被压缩等。一定温度、压力条件下,物质的气、液、固三态可以相互转化,液体气化(蒸发和沸腾)、气体液化(凝聚)、液体凝固、固体熔化、固体升华、气体凝华。

### 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。蒸发是液体气化的一种方式,发生在液体表面。液体气化的另一方式是沸腾,是液体内部和表面分子同时气化的现象。在敞口容器中,蒸发可以一直进行到液体全部消失,这是因为液体蒸发时需要一定能量克服分子间的引力,只有具有足够动能的分子才能克服其他分子的吸引从表面逸出,按照麦克斯韦(Maxwell)-波尔兹曼(Boltzmann)分子动能分布定律,动能大于某最小值  $E$  (分子脱离液体表面所需要的最低动能)的分子个数与液体分子总数的比值  $f=e^{-\frac{E}{RT}}$ ,式中,  $R$  为摩尔气体常数,  $T$  为热力学温度。一定温度下,由于  $f$  恒定且不为零,所以液体的蒸发会一直进行下去,直到液体蒸干为止。

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,所产生的压力叫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。例如,  $20\text{ }^\circ\text{C}$  时水的蒸气压为  $2.34\text{ kPa}$ ,而  $100\text{ }^\circ\text{C}$  时则有  $101.325\text{ kPa}$ 。通常条件下,蒸气压较高的物质称为易挥发性物质,如苯、碘、乙醚等,蒸气压较低的物质称为难挥发性物质,如甘油、食盐等。与液体相似,固体也可以蒸发,但蒸气压一般都很小。一定温度下,固体与其蒸气平衡时蒸气的压力称为固体的饱和蒸气压。

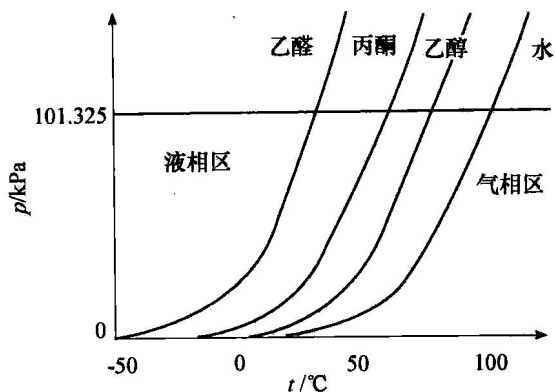


图 1-1 几种液体的蒸气压曲线

## 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,气化不仅在液面进行,而且在液体内部也进行,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。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(101.325 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)。

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,这就是高山上水的沸点低于 100 °C 以及实验中采用减压蒸馏热稳定性差的液体的原因。

## 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,液体的凝固点也随外压变化而改变。在  $p=101.325$  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 水的相图\*

在科学研究中,往往将研究讨论的对象称为系统(体系)。在一个系统中,物理性质和化学性质完全相同并且组成均匀的部分称为相,不同相之间具有明显的界面。只有一个相的系统叫做单相系统,含有两个或两个以上相的系统则称为多相系统。通常任何气体均能无限混合,所以系统内不论有多少种气体,都只有一个气相,如空气,合成氨的混合气体等是单相系统。液体则按其互溶程度可以是单相、多相系统,如酒精和水混合、NaCl 水溶液都是单相系统,油和水构成两相系统等。





对于固体,一般有一种固体就有一个相,如一整块  $\text{CaCO}_3$  结晶是一个相,将其粉碎成小颗粒,它依然是一个相,又如花岗岩是由石英、云母、长石等多种矿物组成的多相系统。但是固体溶液是一个单相系统。

相和态是两个不同的概念,态是指物质的聚集状态,如上述由油和水所构成的系统,只有一个状态——液态,却包含有两个相。

相和组分也不是一个概念。例如,同时存在水蒸气、液态水和冰的系统是三相系统,但这个系统中只有一个组分——水。 $\text{NaCl}$  水溶液是单相系统,却有两个组分——水和  $\text{NaCl}$ 。

在多相系统中,一定条件下,不同相之间可以互相转化,称为相变,相变达到平衡状态时称为相平衡,相平衡是一种动态平衡。物质在不同的温度、压力下可以处于不同的状态,表示系统状态与温度、压力间关系的图称为相图或平衡状态图。通过相图可以了解一定温度和压力条件下,系统处于何种相态。

图 1-2 就是根据实验结果绘制的水的相图。

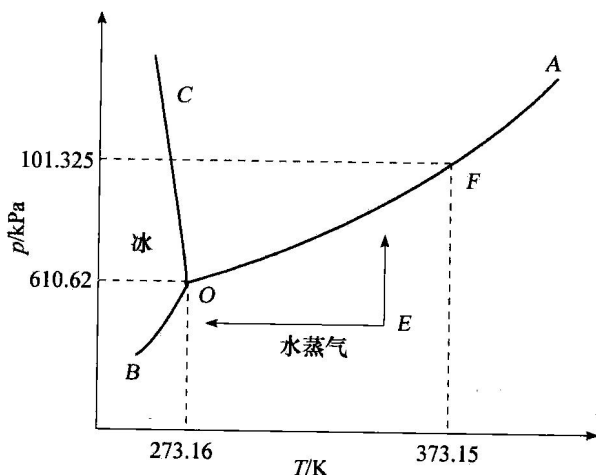


图 1-2 水的相图

水的相图由 3 条线、3 个区域和 1 个点组成。 $OA$  线是水和水蒸气两相平衡线,称为水的饱和蒸气压曲线, $OA$  线不能无限延长,终止于临界点  $A$  点,该点对应的温度和压力分别是  $647\text{ K}$  ( $374\text{ }^\circ\text{C}$ )、 $2.21 \times 10^4\text{ kPa}$ ,分别称临界温度、临界压力,高于此温度时,水即成为超临界水,不论多大的压力也不能使水蒸气液化。

$OB$  线是冰与水蒸气两相平衡线,称为冰的蒸气压曲线(又称为冰的升华曲线)。