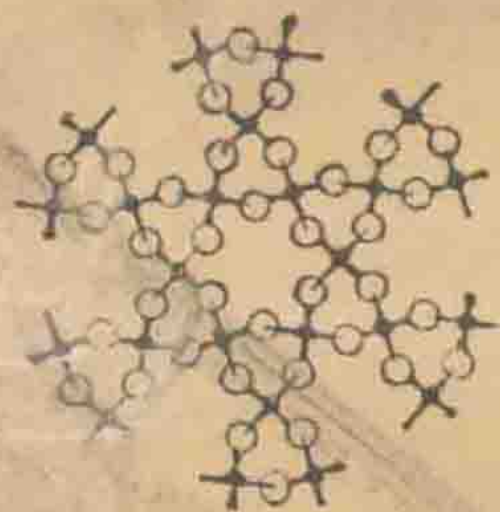
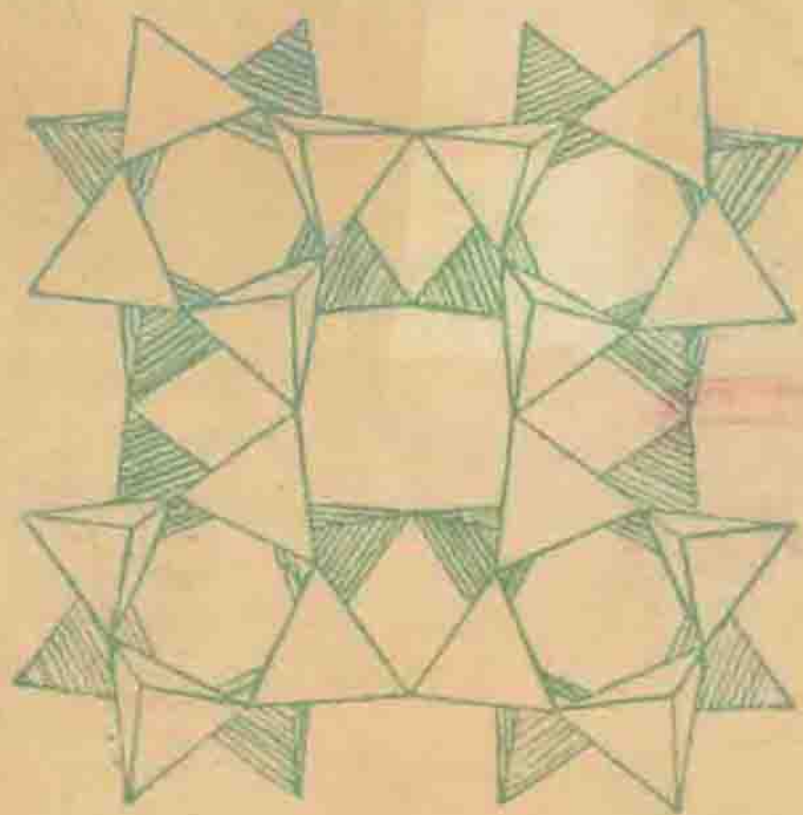




建筑工程化学

邹友忠



西北大学出版社

建 筑 工 程 化 学

邹友忠

西 北 大 学 出 版 社

(陕)新登字第 011 号

建筑工程化学

邹友忠

西北大学出版社出版发行

(西安市太白路)

新华书店经销 西安美术学院印刷厂印刷

850×1168 毫米 1/32 开本 13.75印张 字数: 366千

1993 年 3 月第 1 版 1993 年 3 月第 1 次印刷

印数: 1—1000

ISBN7-5604-0423-5/O·26

定价: 8.80 元

内容提要

本书是为土木建筑类专业师生编写的一本基础化学教材。前四章着重于基础理论的介绍,后五章主要讨论应用化学知识,每章之后都有思考题和练习题,最后还附有实验部分,可供土木建筑专业的本科、专科师生及有关工程技术人员使用。

序

科学与技术总是相互影响、协同发展的。

在本世纪 50 年代,人们开始认识到客观事物的信息属性与物质、能量一起组成了事物的三大基本要素。科学上这一重大认识的飞跃,为人们认识客观世界开辟了一条新的途径,为科学研究建立了一种崭新的思维方法,并形成加快认识事物的模式。在技术上,人们亦深刻地认识到:材料、能源和信息已成为现代工程技术的三大支柱。因此,不管致力于何种工程技术的工程师,在他们的毕生事业中都要付出相当大的精力和时间,用于学习、研究和解决这三大支柱课题中的许多问题。例如,美国曾作过统计,每个工程师一生中平均有 $1/6$ 的时间用于解决材料问题。未来的事业要求工程师们必须具有相当水平的扎实的基础科学知识。

化学是从原子、分子的水平研究物质的结构和物理、化学行为及其能量变化的科学。它是认识事物三大基本属性的一个十分重要的方面,与工程技术的三大支柱课题有着紧密的联系。

邹友忠同志编著的《建筑工程化学》一书,从土建类专业实际出发,精选有关理论化学与应用化学内容,既注重基础化学,又密切结合专业的需求,削枝强干,自成体系,颇具匠心。教材内容丰富,处理新颖,叙述严谨,文字流畅,各章分量均衡,深度、广度适宜,便于学生阅读自学。每章后附有大量思考题与练习题,还有部分讨论题,在引导学生更深入地思考、探索问题,培养学生开发、运用科学知识能力等方面,都是十分恰当的。

该教材已在几所院校多次试用，反复修改，反映良好。实践证明这是一本有特色、质量较好的基础化学教材，是工科化学教学改革中一种有益的探索和成功的尝试。

该书除了适宜作为土建类专业本科试用教材外，对同类专业的专科教师、学生以及从事土木建筑设计与施工的工程技术人员来说，也是一本很好的参考书。

陈佩珩

1992年3月于西大

前 言

在建筑工程技术中，化学起着非常重要的作用。例如，建筑材料的选择与使用，金属的腐蚀与防腐，地基的电化学加固和化学灌浆，水泥水化速度的调节与控制，混凝土腐蚀与防止，混凝土化学外加剂、建筑胶粘剂、建筑涂料、建筑用水的选用等等，都需要有化学知识。

特别应该指出的是，目前，在工程技术中大显身手的复合材料、高分子合成材料正在以惊人的速度向各个经济技术领域渗透。有人预计，到本世纪末，合成高分子材料将占全部材料的3/4，材料结构将起根本的变化。这些材料也正在深刻地影响着建筑业的变革。因此，从事建筑工程技术的人员，也应该掌握一定的纯化学和应用化学的知识，拓宽化学的知识面。

《建筑工程化学》是为土木建筑类专业编写的一本基础化学教材。本课程的目的：使学生掌握一些与专业结合紧密，既有一定的普通性，又有明显的针对性的化学基本理论、基本知识和基本技能；培养学生独立分析和解决一些工程中化学问题的能力；培养辩证唯物主义观点；为今后学习和工作打下一定的化学基础。

教材前四章着重于理论化学知识，后五章偏重应用化学知识的讨论。全书以结构—结构形成—性质—应用为主线，辅以宏观的热力学理论讨论。力争做到宏观理论与微观理论相为论证，互为补充；理论化学与应用化学相容于专业工程的化学课题中，理论与实践紧密相结合。教材总体结构贯以基础化学知识，其应

用方面亦是着重阐述应用技术的化学原理、思路和方法,启迪学生对所学知识的开发应用和进一步探讨提高。为此,教材中还有目的地编写了一些有关应用方面的习题、讨论题和阅读材料,以加强这方面的训练。

教材中的小字部分,为选讲内容或学生自学、阅读内容。

本书中所有物理量的符号和单位,均来自国家标准局1986-05-19发布的《中华人民共和国国家标准》(这个标准参照采用了国际单位制(SI))。单位的换算是一项复杂艰巨的工作,对许多符号也还不太习惯,但国家公布的法定计量单位必须采用,不容忽视。本书编者虽作了很大努力,但仍不免有疏忽或错误之处,希望读者随时指出,以便重印时改正。

自1986年以来,本书作为讲义先后在西北建筑工程学院、西安工业学院、青海大学和吉林建筑工程学院多次试用,曾得到本教研室李玉江等老师和校外同行们的大力支持和热情帮助,受到历届学生和专业课教师的关注;并承蒙西北大学[陈运生]教授、陈佩珩教授,西安交通大学何培之教授对讲义的审校,他们提出了许多宝贵的意见;受[陈运生]教授之托,西北大学唐宗薰副教授对本书的出版作了许多深刻入微的审校工作;陈佩珩教授为本书作序;陈煦霞同志为本书绘制了插图;杨菁同志为本书的编辑出版做了大量工作,在此,一并致以诚挚的感谢。

限于编者的水平,书中教材不当、叙述不清或错误之处在所难免,恳请读者批评指正。

编 者

1992年3月

目 录

第一章 水、水溶液和胶体	1
1-1 水	1
1-2 稀溶液的通性	13
1-3 胶体	23
复习思考题与习题	44
第二章 化学热力学与化学动力学初步	47
2-1 热力学第一定律	48
2-2 热化学	53
2-3 自发过程与熵	60
2-4 吉布斯自由能	68
2-5 化学反应速度	77
复习思考题与习题	89
第三章 表面化学基础	93
3-1 表面吉布斯自由能与表面张力	94
3-2 润湿现象	99
3-3 毛细现象	102
3-4 吸附现象	107
3-5 表面活性剂	112
复习思考题与习题	125
第四章 物质结构	127
4-1 原子结构	128
4-2 化学键与分子结构	149

4-3 晶体结构	173
4-4 玻璃态与玻璃结构	189
复习思考题与习题	191
第五章 工程材料化学概论	195
5-1 材料的组成类型和组织结构	196
5-2 物质的结构和力学性能	199
5-3 固体反应及物质传输	207
5-4 相图简介	211
复习思考题与习题	220
应用化学讨论题	221
第六章 无机材料化学	222
6-1 无机建筑材料的组成、结构与性能	222
6-2 无机建筑材料基本化学反应	231
6-3 几种重要的无机建筑材料	37
6-4 混凝土的腐蚀与防腐	254
复习思考题与习题	264
应用化学讨论题	265
第七章 金属材料化学	266
7-1 金属元素在周期表中的位置和分类	266
7-2 金属的结构与物理性质	267
7-3 金属的化学性质	282
7-4 电化学 金属的腐蚀与防腐	283
复习思考题与习题	314
应用化学讨论题	316
第八章 有机材料化学	317
8-1 高分子化合物概述	317
8-2 塑料	339
8-3 粘接剂与涂料	347
8-4 化学灌浆材料	355

复应思考题与习题	368
应用化学讨论题	369
第九章 化学与环境保护	370
9-1 环境保护的重要性	370
9-2 环境污染源与危害	373
9-3 建筑与环境污染的防治	380
复习思考题与习题	384
应用化学讨论题	385
化学实验	
实验一 胶体的制备和性质	386
实验二 化学反应焓变的测定	392
实验三 表面现象与表面性质	398
实验四 电化学与金属的腐蚀	403
实验五 胶粘剂与粘接	410
附表 1 基本热力学数据	416
附表 2 常用的单位换算和常数	419
附表 3 元素的电负性值	420
附表 4 标准电极电位	421
附表 5 化学元素周期表	423

第一章 水、水溶液和胶体

学习要求: 了解水的物理化学特性, 明确建筑用水要求。了解稀溶液的通性及其在工程中的应用。通过学习溶胶的制备、性质、结构和凝聚, 着重理解建筑工程中胶凝材料(水泥、石灰、石膏、水玻璃、涂料等)使用的物理化学原理。

1-1 水

水是地球上分布最广的物质, 江、河、湖、海约占地球表面的四分之三。大气中含有许多水蒸气; 土壤和岩层、动植物体中也含有大量水。新鲜植物体的 80 — 90% 都是水, 动物体中水分约占 70%, 水除能供给生物体的生理需要之外, 清洁、烹调、取暖及工农业生产都需要大量的水。

1-1-1 地球上的水

地球上的游离水按其分布可分为大气水、地表水和地下水, 储量为 13.6 亿立方千米, 占地球水总储量的 99% 以上。将这些水全部铺在地球表面上, 厚度可达 3000 多米。

大气水储量为 12710 立方千米。地球上的游离水 97.2% 在海洋, 约 13.2 亿立方千米。陆地上的水主要是冰川, 而不是河流湖泊。冰川蕴水量约 287 万立方千米, 河流、湖泊、沼泽总水量约 23 万立方千米, 仅为冰川蕴水量的千分之八。如果地上的冰川全部融化成水, 会使世界大洋的水位普遍升高 66.3 米, 冰川主要分布在南北极, 山岳冰川只有 50 万平方千米, 仅占冰川总面积的 3%。土壤、岩层及地下深层的水叫做地下水, 总量约为 840 万立方千

米。

大约还有不到 1% 的水存在于动植物体内和矿物结构中，称为束缚水。

水在自然界循环的推动力是太阳的热能和地心的引力。地面水吸收太阳热能蒸发成水蒸气，水蒸气凝聚成雨或雪回到地面，称为降水。降水分成两路流动，一路在地面上汇集成江河、湖泊，称为地面径流；另一路渗入地下，形成地下水层的水流，称为地下渗流。这两路水流，又相互交流转化，最后汇入海洋，构成一次大循环。如此周而复始，构成了水的自然循环(见图 1-1)。自然循环的水量只占地壳水量的 0.031%，而其中径流和

渗流的水只占 0.003%。

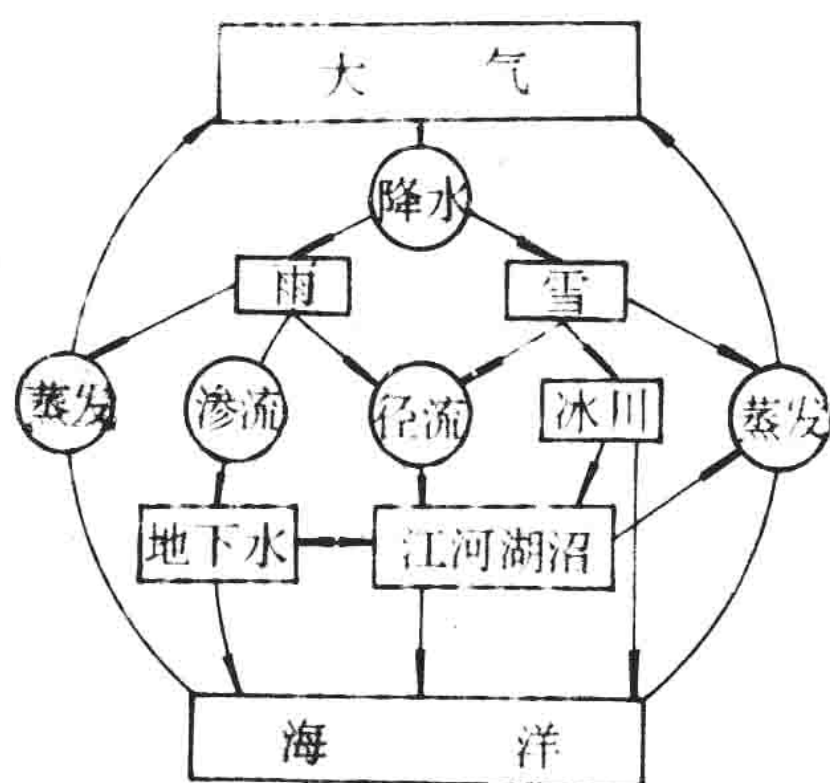


图 1-1 水的自然循环

人类为了满足生活和生产的需要，要从各种天然水体中取用大量的水。生活用水和工业用水，在使用后就变成了生活污水和工业废水，经过处理后，最终又流入天然水体。这样，水在人类社会中也构成了一个局部的循环体系，称为水的社会

循环。社会循环取用的水量占径流和渗流水量的 2-3%，为地壳总水量的百万分之一。

天然水在循环中会混入各种杂质。最纯净的天然水是雨水和雪水，它只含有少量从空气中带来的杂质。雨水或雪降落到地面，渗入地下，汇入江河湖海，混入水中的杂质逐渐增多。这些杂质主要有溶解的无机盐，悬浮的或胶态的泥沙、矿物和腐殖质等。悬浮物可在重力作用下沉降或经过沙土砾石时过滤除去，胶态物

质亦可随着溶入的电解质物质中和胶粒电荷而聚沉，唯有溶入水中的无机盐类物质，不能自然净化。例如，泉水或海水虽然清澈，但含有溶解的无机盐杂质。这些溶解的无机盐杂质以离子的形式存在于水中，最常见的离子有 Na^+ 、 K^+ 、 Ca^{2+} 、 Mg^{2+} 、 HCO_3^- 、 Cl^- 、 SO_4^{2-} 、 HSiO_3^- 等。含盐量在 0.01—0.1% 范围内的天然水叫淡水，淡水约占地面江河湖泽水的一半左右。海水含盐量达 3.5%，其中主要成分是氯化钠。

含有大量的钙盐和镁盐的水称为硬水。天然水的总硬度系指 Ca^{2+} 、 Mg^{2+} 、 Fe^{2+} 、 Mn^{2+} 、 Al^{3+} 等阳离子的含量。由于 Ca^{2+} 、 Mg^{2+} 的含量较多，其它的阳离子含量较少，因此常把 Ca^{2+} 、 Mg^{2+} 浓度的总和作为天然水总硬度的量度。 HCO_3^- 是天然水中主要的阴离子，它是天然水总碱度的组成部分之一。

天然水中常见的溶解气体有 O_2 、 CO_2 、 H_2S 、 SO_2 、 NH_3 等。

天然水体是人类宝贵的自然资源。随着人民生活水平的不断提高和工业生产的不断发展，生活污水和工业废水的排放量也在不断增加，对天然水体造成一定的污染，当这种污染超过天然水体自净化能力时，便造成了对人类自身生存的威胁。这种威胁，在发达国家和工厂密集的地方，比较严重，已使人们感到不安。因此，防止水质污染，保护水资源，是大家的共同责任(参见第九章)。

1-1-2 水的结构与性质

一、水的结构

近代结构研究指出， H_2O 分子呈 V 形结构，经 X 射线对水的晶体结构的测定，证明两个 O—H 键间形成 $104^\circ 40'$ 的夹角，如图 1-2 所示。由于水分子中 O—H 键的不对称结构，所以水是极性分子。

实验测定水在沸点时的水蒸气的相对分子质量为 18.64，而 H_2O 的相对分子质量应为 18.02，说明在以上温度条件下，水蒸

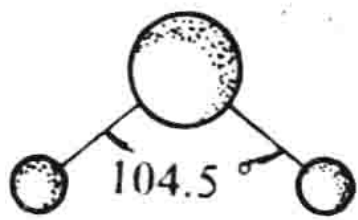
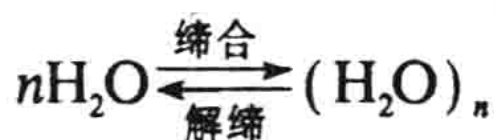


图1-2 水分子的结构

气中除存在有单分子的 H_2O 外, 还有相对分子质量更大的水分子。实验结果表明: 此时水蒸气中含有 96.5% 的单分子水 H_2O , 和 3.5% 组成为 $(\text{H}_2\text{O})_2$ 的双分子水。液态水的相对分子质量更大, 这说明液态水中含有更复杂组成的多分子水 $(\text{H}_2\text{O})_n$, n 可以是 2、3、4... 这种由简单分子结合成较复杂的分子集团而不引起物质化学性质改变的过程, 称为分子的缔合。水分子的缔合—离解平衡如下:



缔合是放热过程, 解缔是吸热过程。所以, 温度升高, 水的缔合程度降低(n 值变小), 高温时水主要以单分子状态存在; 温度降低, 水的缔合程度增大(n 值变大), 273.15K 时, 水结成冰, 全部水分子缔合在一起成为一个巨大的缔合分子冰(见图 1-3)。

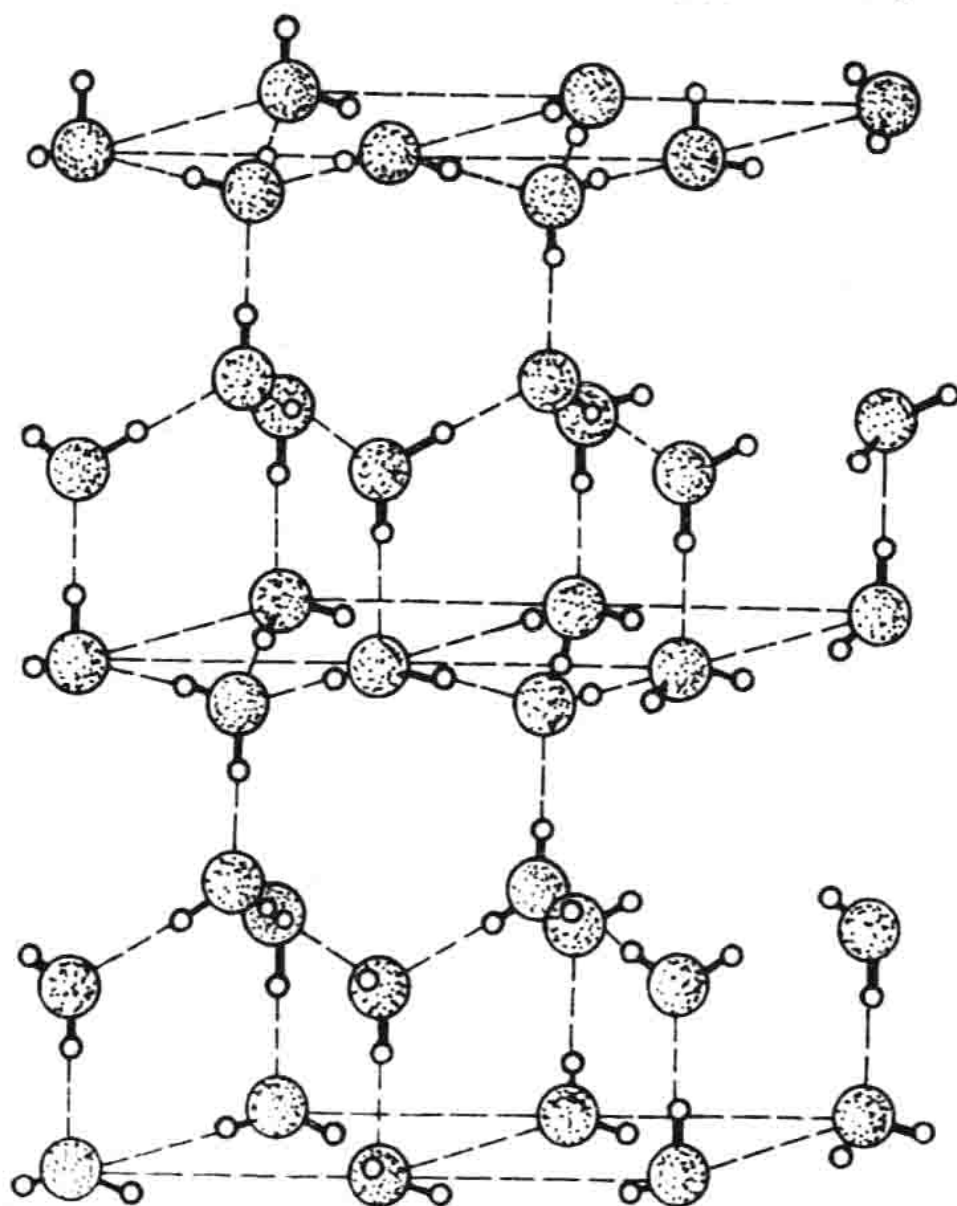


图 1-3 冰的结构

在冰的结构中，每个水分子都通过氢键连结着相邻的四个水分子，形成以前一个水分子为中心的四面体，包围住它的四个水分子则分别处于四面体的顶点上。同时又是其它四个四面体的中心。这样的四面体无限地连接起来，使全部水分子结合成为一个巨大的缔合分子。在冰的这种结构中含有较大的空隙，反而不如水分子在液态水中那样紧密聚集，因此冰的密度比水小。

二、水的性质

纯水是无色、无味、无臭的透明液体。天然水(如泉水、河水)饮用时有令人愉快的甘味，这是由于它溶解了氧气和某些盐类。深层的天然水呈蓝绿色，是水对光的散射作用引起的。

水是地球生物赖以生存的基础，人类的一切活动都离不开水。水给予地球生物与人类的贡献，简直到了神奇的地步。这些都与水具有某些超出常规的物理、化学性质有关，现讨论如下：

1.水具有大的比热和蒸发热 水的比热为 $4.1868 \times 10^3 \text{J} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$ ，是所有液态和固态物质中比热最大的物质。水的蒸发热为 $2.445 \times 10^6 \text{J} \cdot \text{kg}^{-1}$ (293.15K)。这是因为水中存在着缔合水分子，当水受热时，必需付出额外的能量使缔合分子离解(破坏氢键)，才能使水的温度升高(即水分子运动加快)。由于水具有大的比热和蒸发热，当夏天气温升高时地球表面上的水层能吸收大量的热量；冬天气温下降时，则放出大量的热量，因而对调节气温起着巨大的作用。工业生产上和生活取暖把水用作传热的介质，也是利用水的这一特性。

2.水具有独特的温度—体积效应 绝大多数物质有热胀冷缩的现象，温度越低体积越小，密度越大。但水却在 277.13K (3.98℃) 时具有最大的密度 $10^3 \text{kg} \cdot \text{m}^{-3}$ (或 $1 \text{g} \cdot \text{cm}^{-3}$)，水的温度低于 277.13K 时密度反而减小，273.15K 结冰时，密度明显地降低。水和冰的体积与温度的关系见图 1—4。水的这种独特的温度—体积效应可以解释如下：水接近沸点时，主要以单分子 H_2O 的状态存在。当温度降低时，水分子的热运动减弱，分子

间的距离缩小，同时缔合的趋势增强，双分子水(H_2O)₂增多，使分子间的排列较紧密，这两种影响都导致水的体积变小，密度相应增大，其中双分子的(H_2O)₂影响为大(见表 1-1)。温度继续下降，则出现较多的三缔合分子(H_2O)₃以及类似于冰结构那样疏松的更大的缔合分子，导致体积逐渐增大。因而在 277.15K 以下，

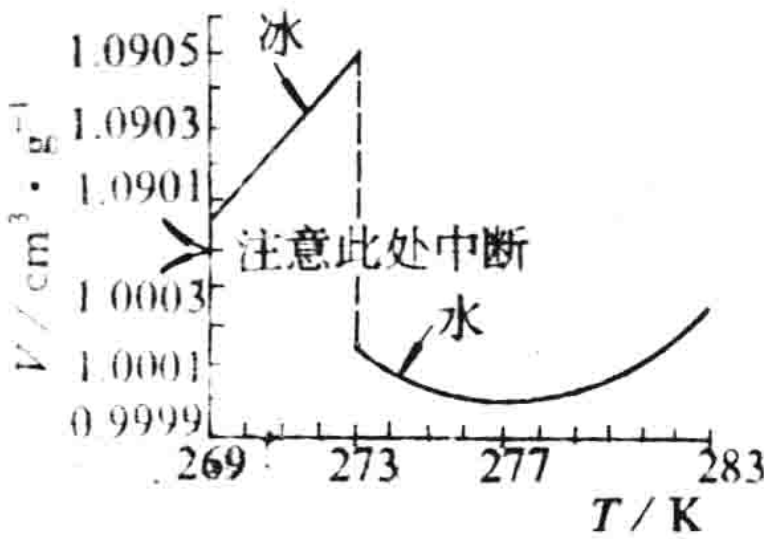


图1-4 冰、水的体积与温度的关系 水的密度反而随温度降低而减小。水的这一特性，使水在严寒的冬季，冰封于水面，保护冰下的水层不易继续冻结并保持一定的温度，使水生动植物得以生存。

表 1-1 几种不同温度下水的聚集态百分数(%)与密度

温度/K	单分子水	双聚水	叁聚水	密度/g · cm ⁻³
273.15	19	58	23	0.999867
277.15	20	59	21	1.000000
371.15	36	51	13	0.959806

3. 水具有极强的溶解能力 水的介电常数为80, 真空的介电常数为 1, 它是常用溶剂中具有较大介电常数的溶剂，这使某些溶质在进入水中之后能强烈地改变原来各基团之间的相互作用力。

介电常数是通过测定在一定温度的某种介质中悬浮两个相距为 r 的点电荷 e_1 和 e_2 相互作用力 f 来确定的。以 ϵ 表示介电常数，关系式为

$$f = \frac{e_1 e_2}{\epsilon r^2} \tag{1-1}$$

在真空中 $\epsilon=1$ ，这时两点电荷的作用力即为它们纯静电荷的作