

高等学校水利学科教学指导委员会组织编审

高等学校水利学科专业规范核心课程教材·水利水电工程

水利概论

主 编 姜弘道
副主编 严忠民
主 审 李玉柱



中国水利水电出版社
www.waterpub.com.cn

高等学校水利学科专业规范核心课程教材·水利水电工程

水利概论

主 编 姜弘道
副主编 严忠民
主 审 李玉柱



中国水利水电出版社
www.waterpub.com.cn

内 容 提 要

本书内容包括水文学与水资源、水环境与水生态、水利工程、水利经济与水利管理、水利科技与水文化等 5 篇。

本书为水利学科水文与水资源工程、水利水电工程、农业水利工程等专业的通用教材,供各专业开设“水利概论”课程使用。本书还可供其他相关专业开设“水利概论”或“水利工程概论”课程使用,也可供社会上关心水利的人士了解水利使用。

本书中图、表和链接资料可在 <http://www.waterpub.com.cn/softdown/> 进行查找及下载。

图书在版编目(CIP)数据

水利概论 / 姜弘道主编. — 北京:中国水利水电出版社, 2010. 10

高等学校水利学科专业规范核心课程教材. 水利水电工程

ISBN 978-7-5084-7999-6

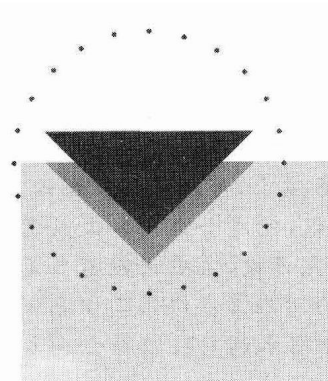
I. ①水… II. ①姜… III. ①水利工程—高等学校—教材 IV. ①TV

中国版本图书馆CIP数据核字(2010)第203572号

书 名	高等学校水利学科专业规范核心课程教材·水利水电工程 水利概论
作 者	主编 姜弘道 副主编 严忠民 主审 李玉柱
出版发行	中国水利水电出版社 (北京市海淀区玉渊潭南路1号D座 100038) 网址: www.waterpub.com.cn E-mail: sales@waterpub.com.cn 电话: (010) 68367658 (营销中心)
经 售	北京科水图书销售中心(零售) 电话: (010) 88383994、63202643 全国各地新华书店和相关出版物销售网点
排 版	北京时代澄宇科技有限公司
印 刷	北京市兴怀印刷厂
规 格	175mm×245mm 16开本 27.25印张 629千字
版 次	2010年10月第1版 2010年10月第1次印刷
印 数	0001—3000册
定 价	49.00元

凡购买我社图书,如有缺页、倒页、脱页的,本社营销中心负责调换

版权所有·侵权必究



前言



“水利概论”是在制定水利学科专业规范时新列入的一门核心课程,在此之前,一些学校的水利学科专业已开设了“水利工程概论”、“水利土木工程导论”一类的必修或选修课程。作出这个改变的主要想法是希望通过这样一门不限于工程的概论性质的课程,使得新入学的水利学科专业的学生对水利以及中国的水利事业有较全面的了解与较宏观的认识,从而使得他们对本专业的教学目标、内容与要求有较具体的理解,进而能较主动地完成其四年的学业。本书为试图尝试实现这个改变而编写。

由于水利的学科内含十分广泛,如何取材成了编写本书的第一个难题。目前,本书包括水文学与水资源、水环境与水生态、水利工程、水利经济与水利管理、水利科技与水文化共5篇。从这个安排,读者可以体会到作者对当代水利的“较全面”与“较宏观”是如何理解的。除了内容框架的确定,本书在编写过程中还特别强调要努力做到:概念提出必须清晰明了,内容阐述应该选择精当,中国水情力求交待清楚,至于本书是否基本达到了这些要求,有待读者检验并提出宝贵意见。

本书涉及水利学科中多个次级学科内容,因此如何组织相关学科的教师共同完成编写任务是编写本书的第二个难题。好在参与本书编写的各位教师既是本学科领域的专家,又十分重视此项任务,不仅及时完成了初稿,并根据本书特点多次修改书稿,又经主编们统稿、定稿,终于全部完成。参加本书编写的教师分别来自河海大学的各个学院,他们是水文水资源学院的刘新仁教授(第1篇第1章、第3章),任立良教授(第1篇第2章、第4章),钟平安教授(第1篇第5章、第6章);水利水电学院的严忠民教授(第2篇第7~第10章),沈长松教授(第3篇第11~第13章、第15章),张展羽教授(第3篇第14章);公共管理学院的黄涛珍教授(第4篇第17章、第18章),尉天骄教授(第5篇第20章);以及姜弘道教授(第4篇第16章、第18章第3节,第5篇第19章)。全书由刘新仁、严忠民、姜弘道三位教授分篇统稿,并由姜弘道教授全书定稿。尽管我们在统一全书风格方面作了很多努力,但由于各篇内容的差异仍难以做到浑然一体,希望通过教学实践再加以修改完善。

本书由清华大学水利水电工程系李玉柱教授主审。李玉柱教授不仅在水利学科的各个方面有宽广而深厚的造诣,而且具有丰富的教学经验和教材编审经验。他认真而

仔细地审阅了全书,提出了许多宝贵的修改意见,为全书增色不少。在此谨向他表示衷心的感谢。

在教学中如何使用本教材,需通过实践不断探索、逐步完善。如,在教学内容安排上,可根据水利学科各个专业的不同要求有所取舍;在教学方式上,可以由几位教师以讲座的形式开出,也可由一至两位教师完成全部内容;在教学方法上,可以多用多媒体,还可结合认识实习、听取生产单位专家报告;等等。作者们建议,完成全书内容大致需要3学分(48课时)。其中2学分在一年级第一学期或第二学期开设,主要讲授前3篇和第4篇第16章、第5篇第19章5.1节、5.5节的内容;1学分可在三年级第二学期或四年级第一学期开设,主要讲授其余各章、节的内容,重点是介绍水利科技前沿方向与水文化。

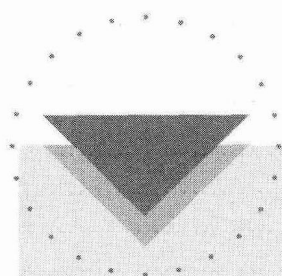
由于篇幅所限,本书中更全面的图、表以及一些链接材料可在<http://www.water-pub.com.cn/softdown/>进行查找及下载。

由于编写此种教材尚属初次尝试,书中存在的缺点与不足在所难免,恳请读者批评指正。

编者

2010年9月

于南京河海大学



目 录



前 言

第 1 篇 水文学与水资源

第 1 章 地球上的水	3
1.1 地球——水的行星	3
1.2 水——不寻常的寻常物质	6
1.3 水文循环与水量平衡	9
1.4 地球水圈在地球系统中的作用	12
1.5 水——宝贵的自然资源	15
第 2 章 大气——陆地水分交换	17
2.1 大气——陆地水文系统	17
2.2 降水	26
2.3 蒸发和散发	28
第 3 章 地表以下的水文系统	34
3.1 土壤和岩石中的水	34
3.2 土壤水特性	36
3.3 下渗和蒸发	39
3.4 地下水文动态	42
第 4 章 流域水文	45
4.1 地表水文系统	45
4.2 流域产流	53
4.3 流域汇流	55
4.4 河川径流	56
第 5 章 水文分析与预测	64
5.1 水文要素概率分布	64

5.2	水文要素概率预测	68
5.3	水文要素实时预报	71
5.4	水文模型	74
第 6 章	水资源评价与配置	78
6.1	水资源及其基本属性	78
6.2	世界水资源与中国水资源	80
6.3	水资源调查评价	86
6.4	水资源配置和调度	91

第 2 篇 水环境与水生态

第 7 章	环境与生态	99
7.1	环境与环境科学	99
7.2	生态与生态系统	101
7.3	人类面临的环境与生态问题	107
7.4	环境管理及其实施	111
第 8 章	水环境问题与对策	114
8.1	水环境	114
8.2	中国水环境问题	117
8.3	水环境治理对策	120
8.4	水污染控制规划与防治技术	121
第 9 章	水生态问题与对策	128
9.1	水生态系统	128
9.2	中国水生态问题	133
9.3	水生态系统修复对策	135
第 10 章	水利水电工程的生态效应及补偿途径	141
10.1	水利水电工程的生态效应	141
10.2	水利水电工程负面效应的补偿途径	143
10.3	水利水电工程生态补偿案例	144

第 3 篇 水利工程

第 11 章	水利枢纽与水工建筑物	153
11.1	水利枢纽及其等别	153
11.2	水工建筑物及其级别	155
11.3	挡水建筑物	158
11.4	泄水建筑物	168

11.5	国内外典型水利枢纽工程	183
第 12 章	防洪工程	189
12.1	洪水和洪水灾害	189
12.2	防洪工程措施	193
12.3	防洪非工程措施	200
12.4	防洪规划	202
12.5	江河防汛与堤防抢险	204
第 13 章	水力发电工程	208
13.1	能源的种类及中国的水能资源	208
13.2	水能利用原理及水电站开发方式	212
13.3	电能负荷与电力系统	220
13.4	水电站建筑物	227
13.5	水电站主要动力设备	234
第 14 章	灌溉排水和水土保持	239
14.1	农业生产与灌溉排水	239
14.2	灌溉制度和灌溉用水量	242
14.3	渠系引水及输水	246
14.4	节水灌溉	250
14.5	排水标准和灌区排水	254
14.6	水土保持	262
第 15 章	水利工程建设	266
15.1	水利工程的程序	266
15.2	水利水电工程施工组织设计	269
15.3	水利工程施工导截流工程	271
15.4	水利工程项目管理	277
15.5	征地移民	284

第 4 篇 水利经济与水利管理

第 16 章	水利与可持续发展	295
16.1	水资源的可持续利用	295
16.2	水利现代化	301
第 17 章	水利经济	307
17.1	水利经济的内容与特性	307
17.2	水利工程效益	311
17.3	水利建设项目评价	315
17.4	水利经济的理论问题	319

第 18 章 水利管理	325
18.1 水行政管理与依法治水	325
18.2 水利工程管理、水资源管理与水务一体化管理	330
18.3 水资源需求管理	335
18.4 节水型社会建设	343

第 5 篇 水利科技与水文化

第 19 章 水利科技及其人才培养	351
19.1 水利科技的学科范畴	351
19.2 当代中国水利科技前沿	357
19.3 当代中国水利科技成果	375
19.4 水利科技特点与发展趋势	377
19.5 水利科技人才的培养	379
第 20 章 水文化	387
20.1 水文化概述	387
20.2 水文化的表层——物象文化	390
20.3 水文化的中层——行为文化	398
20.4 水文化的深层——精神文化	407
20.5 水文化与水利	413
参考文献	423

第 1 篇

水文学与水资源

最近 100 多年是人类历史上发展最迅速的时期，人口增长，经济发展，科技进步，物质生活改善，使人类社会发生翻天覆地的大变化。与此同时，人类也开始感到前所未有的生存环境压力，原来还比较宽敞的地球，开始变得拥挤，原来比较丰富的资源，开始出现紧缺。人类正面临越来越严峻的人口、资源和环境的挑战。

在此背景下，人们对水的认识也发生根本性的变化。原本水总是作为取之不尽、用之不竭的天然物质。但是，到了 20 世纪的后半期，水问题就开始显现，最近一二十年，水资源更是成了影响经济、社会发展的制约因素。国际上，已将水问题提到涉及人类社会安全的高度，联合国也开展一系列的活动，加强对水的认识、研究和管理。2004 年第 58 届联合国大会通过了一项决议，确定 2005~2015 年为“生命之水”国际行动十年，作为实现联合国“千年发展”目标的一项重要措施。

要解决水资源紧缺、水环境恶化、水灾害加剧的问题，迫切需要的是提高对水文规律的认识。水文学是关于地球上水的科学，在希腊文中是由“水”和“知识”两个词组成。水文学研究地球上水的发生、分布和循环，它们的物理和化学性质，以及地球水圈与大气圈、岩石圈和生物圈的相互关系。水文科学的研究领域涉及地球上水的整个运动变化过程。

在 20 世纪初期，水文学的研究和应用范围远小于整个水科学的范围，只是为水利工程提供所必须的水文数据和信息。到 20 世纪末，人们对地球水圈在全球系统中的核心作用及人类活动对自然过程具有的影响力，有了较深刻的认识，水文学开始从传统水利工程所涉及的学科范围拓宽出来，定义为地球科学的一个分支，涵盖整个地球水圈，派生出越来越多的交叉学科。水文学的范围，从最初的陆地水文和工程水文，到后来的水资源水文，再到最近出现的生态水文，得到迅速扩展。

作为水利概论的第 1 篇，主要介绍水文学和水资源的基本概念，以及水文学应用和水资源管理的基本原理，为从事水利工作和与水有关的各行各业的人员提供基础知识，以便能在各自的工作领域中，以符合自然规律的理念来合理开发水资源，有效保护水环境，切实防治水灾害，达到人与自然的和

谐共处和经济社会的可持续发展，最终造福于人类。

本篇首先介绍有关水的基本属性，了解诸多水文现象的物理本质，其次给出地球上的水循环和水量分布的一个全貌描述。接着，以人类主要生存的场所陆地为主，介绍与陆地有关的水循环的几个环节，即：陆地与大气之间，陆地与地下土壤岩石之间，以及陆地表面的水分分布和交换。最后，介绍水文学的几个主要应用技术领域：水文观测、水文设计、水文预报及水资源规划和管理等。

第 1 章

地 球 上 的 水

人类所生活的地球是由 4 个部分组成：岩石圈、水圈、大气圈、生物圈。这 4 个圈相互交错、相互作用，构成一个完整的地球系统。水圈在其中起着核心的作用。

1.1 地球——水的行星

地球是太阳系中至今了解唯一存在三相（液态、固态和气态）水的行星。根据最新资料，地球上有着 $13.86 \times 10^8 \text{ km}^3$ 的水，若平铺地表，足以形成一个厚达 2700m 的水层。

这些水主要集中于海洋中。地球表面面积为 $5.1 \times 10^8 \text{ km}^2$ ，其中海洋面积为 $3.6 \times 10^8 \text{ km}^2$ ，占地球表面面积的 7/10，陆地面积为 $1.5 \times 10^8 \text{ km}^2$ ，占 3/10。根据这一点，地球可以称为水的行星或海洋行星。当然，从整个地球的质量来看，水的质量仅占地球总质量的 1/4500，而且虽然海洋的平均深度有 3000m 之深，但和地球 6378km 的半径（赤道）相比，实在只是极薄的一层皮。因此，地球还是应该称为地球，而不称为水球。

任何星球上水圈的性质，决定于星球的表面温度和压力。地球上之所以有着这么多的液态水，主要是由于地球的表面温度平均为 15°C ，十分接近水的三相点，见图 1-1。地球与其两个相邻的行星——金星和火星相比，金星的表面温度为 464°C ，火星为 -53°C ，前者温度太高，如果有水存在的话，则只可能是气态水，后者温度太低，只可能存在固态水。只有在地球上，可以同时存在三种物态的水，且三种物态之间很容易转换。

地球上的水以各种形式存在于地球的各个圈层中，形成一个环绕地球的巨大水圈。水在地球圈层中的存在形式，大体上可分为地面水、地下水、大气水和生物水四大部分。地面水主要包括海洋、湖泊、河流、冰川、沼泽等各种水体储存的水，也是地球上水量的主要组成部分；地下水主要是指储存在土壤和岩石圈孔隙中的水；大气水是指悬浮于大气中的水蒸气，但有时也以液态和固态悬浮于大气圈中；生物水主要指一切生物有机体内的水分，这部分水量虽然占的比重不大，但却是地球上一切生物

生存所不可缺少的组成部分。

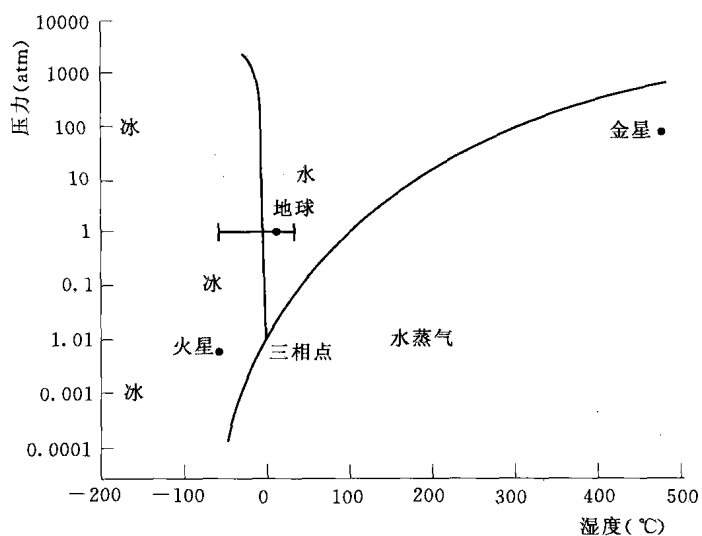


图 1-1 太阳系行星表面压力和温度及水的相图
(图中地球的温度界限标表示地球年平均温度的变幅)

表 1-1 地球上水的分布

分布场所	水量 ($\times 10^6 \text{ km}^3$)	百分数 (%)	
		占总水量	占总淡水量
海洋	1338.00	96.5	
地下水	23.40	1.7	
(其中淡水)	(10.53)		30.1
(土壤水)	(0.0165)		0.05
冰雪水	24.0641	1.74	68.7
(其中南极)	(21.6)		
(格陵兰)	(2.34)		
(北极)	(0.0835)		
(山区)	(0.0406)		
地下水(永冻带)	0.3	0.022	0.86
湖泊	0.1764	0.013	
(其中淡水湖)	(0.091)		0.26
(咸水湖)	(0.0845)		

续表

分布场所	水量 ($\times 10^6 \text{ km}^3$)	百分数 (%)	
		占总水量	占总淡水量
沼泽	0.01147	0.0008	0.03
河道	0.00212	0.0002	0.006
大气	0.0129	0.001	0.04
生物	0.00112	0.0001	0.003
总水量	1385.984610	100	
总淡水量	35.029100	2.53	100

注 表中数字引自《World Water Balance and Water Resources of the Earth》，UNESCO，1978。

地球上究竟有多少水，这是很难精确估计的。就以海洋来讲，要知道海洋中有多少水，首先要量测海洋地形。可是直到 20 世纪 70 年代，世界大洋仅 5% 的面积有足够可靠的等深线，大部分测量工作是在 1957~1958 年国际地球物理年期间完成的。美国海洋学家弗·普·舍帕尔德曾指出，人们对海底的了解比对月球可见到的那一面的了解还少。至于分布于地下和两极冰盖中的水量，同样也是很难估计的。因此，至今地球上水的分布，存在不同的估计数据，也就不足为怪了。但是尽管各家数字不尽相同，其分布的大体比例基本一致。

根据联合国教科文组织 (UNESCO) 1978 年发表的数字 (见表 1-1 和图 1-2)，地球上水的总量为 13.86 亿 km^3 ，其中绝大部分 (96.5%) 聚集在海洋中。淡水仅占 2.53%，而淡水中又有 68.7% 是以冰雪形式存在于两极和高山冰川中，30.1% 存在于地下，其中又有近一半深埋于 800m 以下的岩层中。地球上全部河流、湖泊及沼泽水量约为 19 万 km^3 ，仅占地球上总水量的 0.014%，但是，这部分水与人类关系最为密切。大气水总量约为 1.29 万 km^3 ，占地球总水量的 0.001%，这部分水量虽然不大，但循环很快，却是地球上淡水的主要来源。

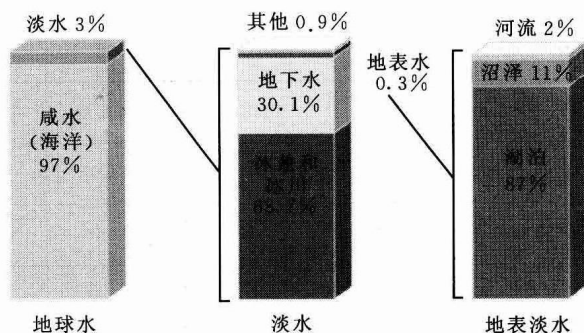


图 1-2 地球上水的分布

1.2 水——不寻常的寻常物质

尽管水是十分平常的东西，到处都有，随处可见，无人一日不接触水，但是，水在自然界中，几乎所有的物理化学性质都是与众不同的。水作为天然物质，具有一系列独特的、异常的性质，它是地球上最令人惊奇和最不寻常的物质。

1.2.1 特别高的冰点和沸点

在一个大气压下，水的冰点为 0°C ，沸点为 100°C ，我们可能觉得这是十分正常的现象。但是要是和与水同类的化学物质相比，就会发现其实是相当反常。

水分子由二个氢原子和一个氧原子构成，氧在化学元素表中处于第6族。与水相似，还有一些由二个氢原子、一个第6族的元素的原子组成的物质，如氢与碲的化合物 (H_2Te)、氢与硒的化合物 (H_2Se)、氢与硫的化合物 (H_2S) 等。在这些化合物中，它们的分子量分别为 130、81 和 34，相应的沸点分别为 -2°C 、 -41°C 和 -60°C ，冰点分别为 -48°C 、 -66°C 和 -83°C ，见表 1-2 和图 1-3。与此三种化合物相比，水具有最小分子量 18，如果它的特性与其他相似分子结构的物质一样，那么它的沸点和冰点按分子量排列，应该是一 70°C 和一 100°C ，但实际上水的沸点是 100°C ，冰点是 0°C 。同样，与同属第二周期的元素的氢化物相比，水的习性也都与其他物质不同，其沸点和冰点也是最高的。从这样的比较中可以充分显示水的异常特性。

正是由于水的异常高的沸点和冰点，才在地球的常温条件下，有如此多的液态水存在，并有如此频繁的水的三相变化。

表 1-2

水和其他氢化物的热学性质

单位: kcal/mol

氢化物		分子量	冰点 ($^{\circ}\text{C}$)	沸点 ($^{\circ}\text{C}$)	融化热	蒸发热
第二周期元素的 氢化物	甲烷 CH_4	16	-182.8	-161.5	0.23	1.96
	氨 NH_3	17	-77.7	-33.4	1.35	5.58
	水 H_2O	18	0.0	100.0	1.44	9.72
	氟化氢 HF	20	-83.0	19.5	1.09	1.8
	氖 Ne	20	-248.7	-246.0	0.08	0.43
第六族元素的 氢化物	水 H_2O	18	0.0	100.0	1.44	9.72
	硫化氢 H_2S	34	-82.9	-59.6	0.57	4.5
	硒化氢 H_2Se	81	-65.7	-41.3	0.60	4.6
	碲化氢 H_2Te	130	-48	-1.8	1.0	5.55

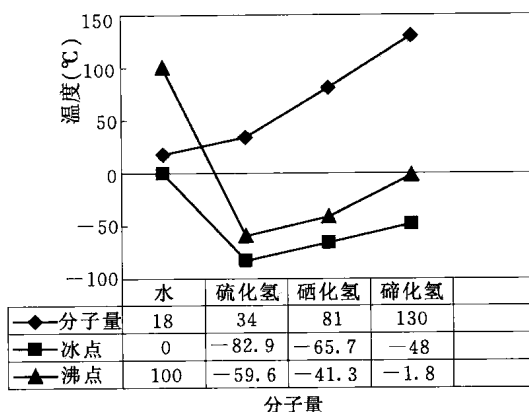


图 1-3 第 6 族元素氢化物的沸点和冰点

1.2.2 特别大的融化和蒸发潜热

当水改变物态时,要吸收或释放大热量,称为潜热。在表 1-2 中可以看到,无论是与第 2 周期的还是与第 6 族的其他元素的氢化物相比,水的融化潜热 1.44kcal/mol (80cal/g),蒸发潜热 9.72kcal/mol (539cal/g),都是最大的。水的融化潜热比其他一些常见物质如铅(潜热为 6cal/g)、铜(51cal/g)、铁(65cal/g)也都要大。

当 1g 水从 1°C 升温到 100°C ,只需要消耗 100cal 的热量。而水从液态变为气态需要消耗蒸发潜热为 539cal/g 。这个量等于将水从冰点升到沸点所需要热量的 5 倍。巨大的蒸发潜热对地球上水的状态有很大的影响。如果这个数值很小,所有的水体都会干涸,降雨在降落地面之前就将蒸发到空气中,田野和森林都会迅速变为沙漠,那将是一场灾难。

1.2.3 特别大的比热

在研究各种物质的比热时,发现液态水的比热也显得特别大。表 1-3 给出若干种物质的比热与水的比热的比值。水的比热大约是铁的 10 倍,沙的 5 倍,空气的 4 倍。

由于水具有特别大的热容量,也就是说,具有很大的热惰性,因而海洋就成为巨大的恒温器,成为全球气候的调节器。虽然海洋占去了地球 $7/10$ 的表面积,但也正是海洋给地球上的生命创造了合适的气候。同样,在植物和动物细胞内,对温度敏感的蛋白质,也因受液体浸泡而得到保护。

表 1-3 几种物质的比热与水的比热的比较

分子式	分子量	比热 (相对于水)	温度 ($^\circ\text{C}$)	状态
水 H_2O	18	1.000	15	液
冰 H_2O	18	0.502	-1	固
氨 NH_3	17	0.498	25	气
氟化氢 HF	20	0.348	25	气

续表

分子式	分子量	比热（相对于水）	温度（℃）	状态
甲烷 CH ₄	16	0.533	25	气
苯 C ₆ H ₆	78.1	0.417	25	液
氖 Ne	20.2	0.246	25	气
氯化钠 NaCl	58.5	0.203	25	固
硫酸钡 BaSO ₄	233	0.104	25	固
铝 Al	27	0.216	25	固
铁 Fe	55.8	0.107	25	固
石墨 C	12	0.170	25	固
金刚石 C	12	0.121	25	固

1.2.4 反常的热膨胀和密度变化

液体例如酒精、水银等，从冰点开始，随着加热其容积与温度升高成正比增加。但是，与大多数物质不一样，水在加热时表现反常现象。从冰点 0℃ 开始加热，在达到 4℃ 前，水容积不但不增加，反而缩小，超过 4℃ 后，水才开始随加热而膨胀，见图 1-4。

一般液体容积随温度上升成正比增加，温度和容积的关系表现为一条直线，或接近于直线。这样的图形说明温度每增加 1℃，体积增加相同的量。例如，水银加热 1℃，体积的膨胀是其原来体积的 0.00018，与处于什么温度上（从 0~1℃ 或从 99~100℃）无关。但水的热膨胀却与所处的温度有关，图 1-4 中水的体积随温度的变化表现为一条曲线。热膨胀的变化相应的也就是密度的变化，从图中可以得知，水的温度在 4℃ 左右，密度最大。

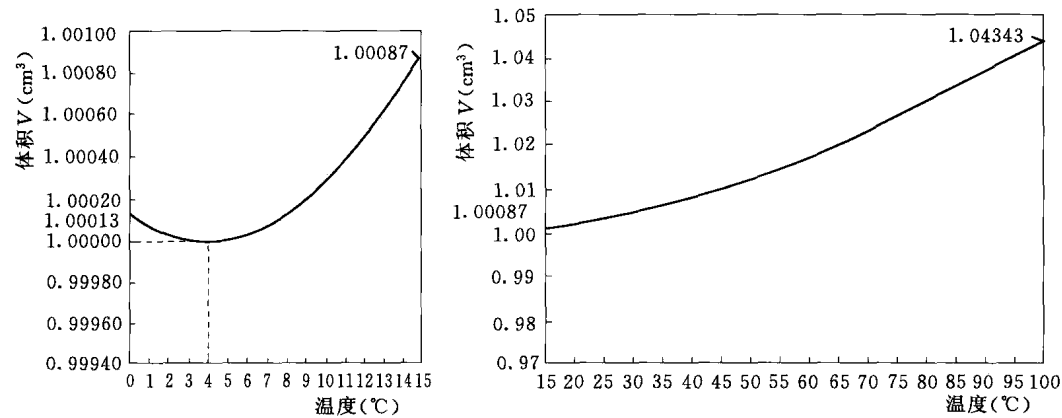


图 1-4 水的体积随温度变化图

水的密度变化异常现象，还表现在 0℃ 的冰与 0℃ 的液体水的密度不同上，0℃ 的冰的密度仅为 0.915g/cm³，比 0℃ 的液体水的密度约小 10%。水的这种特性，使得