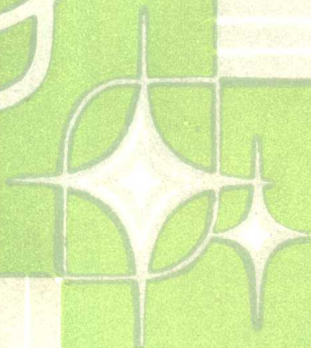




全国高等农业院校教材

全国高等农业院校教材指导委员会审定



环境水利学

● 范逢源 主编

● 水资源利用与管理
与农田水利工程专业用

中国农业出版社

全国高等农业院校教材

环境水力学

范逢源 主编

水资源利用与管理和农田水利工程专业用

中国农业出版社

(京)新登字060号

全国高等农业院校教材
环境水利学
范逢源 主编

• • •

责任编辑 何致莹

中国农业出版社出版 (北京市朝阳区农展馆北路2号)
新华书店北京发行所发行 通县曙光印刷厂印刷

787×1092mm 16开本 13印张 312千字

1994年11月第1版 1994年11月北京第1次印刷

印数 1—2000 册 定价 7.85 元

ISBN 7-109-03109-8/S·2003

内 容 提 要

本书根据全国高等农业院校教材指导委员会“八五”规划教材目录要求编写的。全书除绪论外包括8章31节，系统阐述了水体环境、水资源保护、污染物在水体中的迁移转化过程、水质管理与规划、水利工程对环境的影响等方面的基本原理与分析计算方法。书中编入较多的科学技术资料和算例。

本书可作为高等农业院校水资源利用与管理、农田水利工程及其他有关专业的基本教材或教学参考书，也可供从事环境保护、市政建设、水资源开发与规划等专业工作的技术人员与管理干部参考。

前 言

本书是根据1990年11月全国高等农业院校教材指导委员会农业工程学科组专业组长、主编工作会议拟定的《农业工程学科组“八五”前期规划教材审议结果》编写的，适用于水资源利用与管理专业和农田水利工程专业的教材。

本书以水利与环境之间辩证关系为主线，系统阐述水体环境、水资源保护、污染物在水体中的迁移转化过程、水质管理与规划、水利工程对环境的影响等诸方面的基础理论，详细介绍了有关水质评价、预测、规划和水利工程环境影响评价等的分析计算方法。为适应教学的需要，书中编入较多的新技术资料 and 实际算例。

本书由河北农业大学范逢源主编，并编写了绪论和第二、四、五、八章，同时负责全书的修改整理工作；北京农业工程大学施仁浦编写第六、七章；西北农业大学马耀光编写第一、二章。本书初稿完成后，由主审人、华北水电学院教授、河北省水利学会环境水利研究会主任朱光大先生审稿，并提出修改意见，修改稿誉清后，由西北农业大学李佩成教授对全书进行了详细审阅，亦提出许多宝贵建议，特此致谢。

由于编者水平所限，书中难免还有错误或不妥之处，敬请广大读者批评指正。

编 者

1993年1月

目 录

绪论	1
第一节 环境水利学科的形成与发展	1
第二节 环境水利学研究对象与基本内容	3
第一章 水体环境	5
第一节 水与水体	5
一、水的物理化学特性	5
二、水体及其形成条件	7
第二节 水循环	8
一、世界水资源量的分布	8
二、自然界的水循环	9
三、天然水的盐循环	9
第三节 天然水体的组成与分类	10
一、天然水体的组成	10
二、天然水体的分类	12
三、各类天然水体的特点	13
第四节 水的环境属性	16
一、人类社会与水	16
二、水的资源环境属性	16
三、不良水环境的危害	17
四、水的生态环境属性	17
第二章 生态学基本知识	19
第一节 生态系统基本概念	19
一、什么是生态系统	19
二、生态系统的组成	20
三、生态系统营养结构和食物链	21
第二节 生态系统的功能	22
一、生态系统中的能量流动	22
二、生态系统中的物质循环	23
三、生态系统中的信息联系	24
第三节 生态平衡	25
第四节 生态学在环境保护中的应用	26
一、环境质量的生物监测与生物评价	26
二、阐明污染物质在环境中的迁移转化规律	26
三、利用生态系统的自净能力消除污染	27
第三章 水体污染	28

第一节 水体污染的基本概念	28
一、水环境与水质	28
二、水体污染的概念	29
三、水体污染的机理	29
四、水体污染的特点	30
五、水体污染类型	32
第二节 主要污染物及其危害	33
一、主要污染源	33
二、主要污染物	36
三、典型的水体污染及其危害	36
第三节 水体自净与水环境容量	41
一、水体的自净作用	41
二、自净系数	42
三、水环境容量的概念	43
四、水环境容量的特征与应用	44
第四章 地表水资源保护	46
第一节 水质标准	46
一、水环境质量标准	46
二、水污染物控制排放标准	52
第二节 水质调查与监测	53
一、概述	53
二、污染源调查与评价	55
三、水质监测站网规划	56
四、水质监测断面布设	57
五、采样要求	57
六、水质监测方法与数据整理	58
第三节 水质评价	61
一、污染指数法	61
二、分级评价法	62
三、坐标法	63
四、打分法	64
五、水质模糊评价	65
第四节 水质预测	67
一、水体污染源预测	68
二、河流(湖、库)水质预测	69
第五节 水资源保护途径	75
一、减少污染源工业废水排放量	76
二、妥善处理城市及工业废水	76
三、对城市污水的再利用	79
第五章 地下水资源保护	81
第一节 地下水污染及防治	81
一、地下水污染的特征	81

二、地下水污染物及其来源	82
三、地下水质量评价	82
四、地下水污染的控制与治理	85
第二节 区域性地下水位下降漏斗的防治	85
一、区域性地下水位下降漏斗的发生	86
二、区域性地下水位下降的危害	87
三、区域性地下水位下降的防治	88
第三节 灌区地下水位上升引起的特殊环境问题——次生盐渍化	88
一、灌区水盐动态特征	89
二、灌区土壤次生盐渍化发生特点	91
三、灌区土壤次生盐渍化产生的原因	92
四、防止灌区土壤次生盐渍化的措施	93
第六章 污染物在水体中的迁移转化过程	94
第一节 污染物在水体中迁移转化的物理过程	94
一、污染物质与水体的混合过程	94
二、污染物从水中向大气挥发	97
三、吸附作用	99
四、重金属化合物的沉淀	105
第二节 污染物在水体中迁移转化的化学过程	106
一、重金属在水环境中的氧化还原作用	106
二、氧化还原条件对水环境中重金属迁移的影响	107
三、持久性有机物在水环境中的化学降解	107
四、污染物质迁移转化的内在因素	109
第三节 污染物质在水环境中迁移转化的生物过程	110
一、耗氧有机物在生物作用下的降解作用	110
二、持久性有机物的生物降解	116
三、某些重金属的生物甲基化作用	118
第七章 水质管理与水质规划	121
第一节 水质数学模型	121
一、河流水质运动的基本方程	121
二、河流水质运动基本方程的解	125
三、河流水质模型	132
四、地下水水质模型简介	143
第二节 河流水质模拟	147
一、概述	147
二、水质模拟计算的概要设计	147
三、一维河流水质模拟	149
四、含有支流的河流水质模拟	153
五、临界点的校核	154
第三节 水质规划的经济评价	158
一、水污染控制系统的经济效应及影响因素	158
二、费用函数	159

第四节 水质管理及规划	161
一、概述	161
二、河流水质系统的最优规划	163
第八章 水利工程对环境的影响	170
第一节 概述	170
一、水利工程对环境的影响不可忽视	170
二、水利工程对环境的影响是多方面的	171
三、水利工程环境影响评价	171
第二节 水利工程对自然环境的影响	173
一、对气候的影响	173
二、对水质的影响	175
三、水库诱发地震	180
第三节 水利工程对生态环境的影响	182
一、水库生态系统特点	182
二、水生生物主要类群	182
第四节 水利工程对社会环境的影响	186
一、人口增长	186
二、社会经济的变化	186
三、淹没和迁移问题	188
四、对人群健康的影响	189
五、景观与旅游	189
第五节 水利工程环境影响综合评价	190
一、定性分析法	190
二、准定量法	190
三、定量法	192
主要参考文献	200

绪 论

第一节 环境水利学科的形成与发展

环境水利学是在水利事业发展中,出现了一系列环境问题的情况下孕育、产生和发展起来的,是由传统的水利科学和近代的环境科学相互渗透、融合而产生的一门具有多学科、跨部门、综合性和边缘性强等特点的学科。环境水利这门新学科,是由中国水利科技工作者,于70年代首先提出来的。它的建立,从环境和生态的角度向传统的水利科学提出了新的问题与新的要求,开辟了崭新的科学研究和技术发展领域,从而对传统的水利科学的发展起到了促进和推动作用。

1981年10月水利部在武汉举办了环境水利研究班,接着召开了中国水利学会环境水利研究会暨学术交流会,并经会议讨论提出了《关于水利工程环境影响评价的若干规定》的建议稿。1982年3月水利部颁布试行了这个规定。1982年9月在阿根廷首都召开的第四届世界水资源大会上,中国环境水利研究会副理事长方子云总工程师,宣读了《中国的环境水利工作》论文,受到各国代表的重视和好评。

中国环境水利研究会成立以来,召开过多次学术会议,已编辑出版了7集《环境水利论文选编》,为推动环境水利科学的发展,提高其学术水平,做了大量卓有成效的工作。

我国环境水利科学技术的发展,主要表现在以下几方面:

1.水利工程环境影响评价 近几年开展的分析研究,以回顾评价较多,也做了不少预断评价工作。有关部门对已建成的三门峡、新安江、丹江口、狮子滩、大伙房等水利枢纽工程进行了环境影响评价的研究。对长江三峡工程、南水北调引江东线工程、引黄入淀工程、引松济辽工程、珠江东江流域规划、新疆叶尔羌河流域规划等开展了环评工作。

在评价内容上,有对水文、气候、土壤、地质、地震、河道、河口,生物等自然环境方面的影响,有对居住地、人体健康、土地利用、交通、旅游、文物古迹等社会环境方面的影响。

2.流域或区域环境水利 近些年来,我国开展了辽河、海河、淮河、黄河、塔里木河、第二松花江、长江下游、京津唐地区以及南水北调等流域和地区环境水利的调查分析和研究工作,开展了北京市、上海市、天津市等大中城市的环境水利调查分析研究。工作内容主要有水系治理、工程建设和水资源开发利用、水质污染给流域或地区带来的环境影响。在全面研究水利建设的环境效益、社会效益、经济效益的同时,还深入分析了水资源开发利用带来的不良影响。开展了水系污染状况的调查研究和水系水资源保护措施研究。调查研究了地下水开发利用过程中出现的环境问题,如地下水超采引起地下水位大面积大幅度下降、地面下沉、泉水量减少、水质变差、水环境恶化等。水资源大量调节利用对下游河道、河口的影响,防止土壤次生盐渍化,以及与水有关的流行疾病的防治,等等。

3.水资源保护 水资源保护是我国开展得最早的一项环境水利工作。1973年水利部门组

织了官厅水库污染与防治的分析研究工作。1977年水利部在淮阴举办了水质监测学习班。此后,水文系统与环保部门、大专院校和科研单位密切配合,逐步开展了水质监测、水质调查与评价、水质预报、水质管理等方面的工作。

1980年开始的全国水资源调查评价和水利区划工作,进一步促进了水质监测与分析研究工作的进展。这次全国地表水水质评价中,选择了重要河流532条,江河湖库的1804个监测点共2348个监测断面。1986年又通过对811条河流、11个湖泊、80座水库1969个监测点的实测资料进行分析研究,全面评价了地表水质现状、污染特点和发展趋势。参加评价的河长超过10万km,代表了我国版图内80%以上的地表水体。

通过调查分析与评价,基本查清了我国地表水体污染状况。由于人口和河川径流分布不均,各流域水质差别很大,海河流域污染水体已达70%以上,其次是辽河、淮河和信花江流域,其污染河长均超过评价河长的50%,水质最好的是珠江和长江流域,污染河长比例约为10%。

水质污染的来源分为点污染源和面污染源。点污染源主要是城镇工业废水和生活污水排放而形成的。面污染源多数由于大面积的农田使用农药和化肥而形成。1990年全国废污水排放量(不包括乡镇企业)为354亿吨,其中工业废水排放量为249亿吨,占70%,生活污水排放量为105亿吨,占30%。七大水系废污水总量占全国总量百分数大小顺序为:长江、海滦河、珠江、辽河、淮河、黄河、黑龙江。各河系废污水量占径流量的比值(污径比)以海滦河为最大,每7.8 m³水中就有1 m³是工业废水和生活污水,其次是辽河、淮河、黄河、黑龙江、长江和珠江。

近些年来,在污水处理方面亦得到了重视和发展。1990年工业废水处理率达到32.2%,处理达标率为57.8%,显然,与发达国家相比,尚存在着明显的差距。

4. 环境水利方面的基础理论研究 环境水利基础理论研究取得的进展主要有:

(1) 环境水力学方面 环境污染物质在水体中稀释、扩散、迁移、转化规律,利用水工建筑物提高复氧、排水口喷流射流、热污染等方面的理论研究等。

(2) 环境水文学方面 人类活动带来水文情势的变化对环境的影响,如水利工程的兴建和水资源的开发利用,改变了水资源的时空分布,改变了水循环状况,对水质和生态带来不同程度的影响;地表水、地下水、土壤水三水转化对水质和环境的影响;暴雨径流对污染物输移和分布的影响等。

(3) 环境水化学方面 监测和研究天然水体中离子行为及其对水质的影响,污染物在水体中迁移、转化机理,水体环境中各种物质在物理、生物条件下相互作用及其影响,河流泥沙与底质对污染物质的吸附和解吸作用等。

(4) 环境生物学方面 修建水利工程对水域生态系统的影响;污染物质进入水体后,引起的各种生态效应;有毒污染物在水生物体中的残留和代谢规律,以及致畸、致毒机理;水生物对水环境的净化作用,对水质、渔业、水上运输以及人体健康的影响等。

(5) 环境土壤学方面 土壤污染的水体污染型的发生和演变规律;污染物在土壤中的迁移、转化和残留;化肥、农药污染机理;土壤沼泽化和盐渍化与水质的关系;污水灌溉的土壤效应和作物效应;灌溉水质指标与标准等。

(6) 环境医学方面 水污染引起的疾病流行和防治;洪涝灾害对传染病流行的影响;水利工程兴建后引起疾病发生和流行特点;利用水利工程防病治病的措施;水库等饮用水源

的卫生防疫等。

(7) 环境水文地质学方面 地下水污染机理和规律; 原生环境的地下水与地方病的关系; 矿泉水和热水资源的综合利用; 抽取地下水引起的地面沉降、岩溶塌陷, 以及黄土湿陷、滑坡、潜蚀等对环境的影响与防治措施; 水库诱发地震的机理和影响; 地下水变化对生态的影响等。

(8) 环境水利工程学方面 利用水工建筑物保护和改善生态环境, 如研究设计鱼梯、鱼闸、升鱼机等过鱼建筑物、人工繁育场和产卵场; 为改善水生物生境设计的蓄水或排水工程; 设计入海河口排沙防淤工程以改善鱼类洄游条件与河口环境; 防止坝下水中溶解氮过饱和的工程措施; 减轻坝下冷水排放对生态环境的影响等。利用水工建筑物防治水污染, 包括控制污染源的工程设施, 增加水体稀释自净能力的工程设施, 水体增氧建筑物等。应用水利美学原理设计型式优美和周围自然风光有机结合的水工建筑物, 开发风景旅游资源。

(9) 环境水利经济学方面 水利工程对环境影响的经济分析, 水资源保护的经济分析, 水质与水价的关系等。

(10) 水质模型方面 研究建立和应用各类水质模型, 开展水质预测预报, 进行水质规划、评价与管理。

第二节 环境水利学研究对象与基本内容

环境水利学是研究兴建水利工程引起的水利环境问题和环境变化对水环境、水利工程、水资源开发利用影响的学科。随着水利建设的发展, 水利与环境的关系日益密切, 水利科技工作中的一些传统观念也在不断更新。水, 已不能看作是 H_2O 纯净的液体, 而是含有各种物质的综合体——水体。水不仅是宝贵的资源, 更重要的是最活跃, 影响最大的环境要素。水资源从过去单目标开发到多目标开发, 从只考虑水量到量质并重, 从只考虑人类生产活动用水到同时考虑社会活动用水与生态环境用水。治水已从单打一的—维治水, 发展到平面上二维治水, 再发展到空间三维治水, 最后发展到考虑时间因素的四维治水。现代水利建设不仅要有工程观点, 经济观点, 还要有生态观点, 以获得经济、社会、环境三方面较高的效益。在这种形势下诞生的环境水利学, 其研究对象自然包含着两大部分, 一是与环境有关的水利问题, 例如工业“三废”引起的水质污染、河道淤塞等; 二是与水利有关的环境问题, 例如由于修建水利工程引起的环境改变等。因此可以说, 环境水利学即是研究水与环境相互关系的科学。

环境水利学在水资源保护、水利工程环境影响、流域环境水利、区域环境水利、城市环境水利以及基础理论等研究领域逐步发展和扩大, 研究内容不断扩展和深入。

1. 水资源保护 目前水资源保护工作以水质保护为重点, 主要内容包括: 水质调查与监测, 水质评价, 水质预测预报, 水体污染治理, 地下水位升降产生的环境问题与防治措施, 水质管理与规划等。水资源保护工作应坚持下列原则: 重视防治以化学水污染为主的同时, 注意以植物营养物富集引起的富营养化的防治; 重视点源污染防治的同时, 注意面源污染的控制; 重视水污染对人群健康影响的同时, 注意需氧污染物的控制; 污染源治理、城市综合性污水治理与水资源重复利用以及废水资源化统筹兼顾; 废水废气废渣“三废”治理与地表水、地下水、天上水“三水”保护协调发展。

2. 水利工程对环境的影响 水利工程的兴建和运用, 导致水文情势发生变化, 对其周围的自然环境和社会环境, 必然产生各种影响。对自然环境的影响, 有对水质、泥沙、局地气候、水文地质、地震、土壤、动植物、微生物以及自然景观等的影响。对社会环境的影响, 包括淹没与人口迁移、土地利用、城市、工业、交通、人群健康、文物古迹、旅游观光等。

水利工程对环境的影响, 既包括影响范围的大小, 也包括影响程度的轻重。影响范围和程度主要与工程规模和特性、地理位置、水资源利用方式等有关。水利工程对环境的影响, 亦可分为有利影响和不利影响, 短期影响和长期影响, 直接影响和间接影响, 可逆影响和不可逆影响等。

3. 流域环境水利 以流域为对象研究水利与环境的相互关系, 以协调和改善流域生态, 进一步发挥水利工程的环境效益, 减免不利的环境影响。这方面的研究内容主要有: 由于上游蓄水和用水使下游来水量减少, 因而给水生物和岸边地带带来的影响; 农田灌溉改善农业生态环境的作用以及次生盐渍化的发生与防治; 水资源开发对下游和河口地区的影响; 洪涝灾害对环境的影响; 各类污染源对天然水体水质的影响; 水土流失与水土保持对环境的影响; 污水灌溉对环境的影响; 区域性大规模开发地下水对环境的影响等等。

4. 区域环境水利 以区域为对象研究水利与环境相互的关系, 以改善区域生态, 发挥水利工程的环境效益, 减免对区域的不利环境影响, 协调和促进区域经济发展。区域环境水利分三种类型, 一为按自然地理分区类型, 如平原地区, 山丘区, 河口地区, 圩区等; 二为按行政区划分区类型, 如以省、地、市分区, 或跨省的大区等; 三为按资源开发利用特点分区, 如能源基地区域等。

5. 基础理论部分 主要指作为环境水利学基础理论方面的研究内容, 如水体环境与水体污染, 生态学基本知识, 污染物在水体中迁移转化规律, 水质模型与水质模拟等。

第一章 水体环境

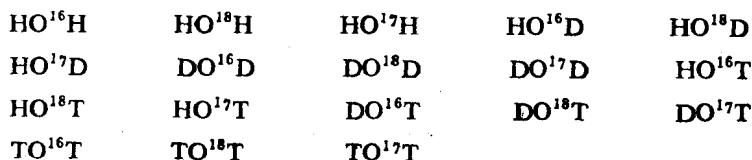
水是地壳的重要组成物质，地球堪称为水的行星。不仅如此，水还是自然环境中最活跃的作用因素之一，自然界水的循环与运动，形成了地表自然物质迁移、转化的主要营力。它似一位艺术巨匠，雕刻了雄浑壮丽的地貌形态和自然景观。水是生命的源泉，地球上的生命从水中诞生；古人类傍水而栖，揭开了人类历史的第一页。水使整个世界充满无限生机。

水作为人类社会最重要的自然资源，广泛用于能源、生产资料、生活资料及优化环境和维持生态平衡方面，是通过具有一定水量和水质特征的水体来实现的。水体是人类生存环境中最重要的组成部分，与人类生活有着最广泛和最积极地相互影响。

第一节 水与水体

一、水的物理化学特性

(一) 水的同位素组成 水的元素组成是氢和氧，其化学分子式通常用 H_2O 表示，分子量为18。其实，水分子除了以分子量为18的普通水分子为主要组成外，还有氢和氧的各种同位素以不同组合形成的其它17种重质水分子。实质上，水是下列18种水分子的混合物：



其中 H_2O 占分子总数的99.745%。蒸馏水中不同水分子的相对含量见表1—1。

表1—1 蒸馏水中不同水分子含量
(Hutchinson, 1957)

分子式	分子数(%)	分子式	分子数(%)
H_2O^{16}	99.745	HDO^{17}	0.000006
H_2O^{18}	0.198	D_2O^{16}	0.000002
H_2O^{17}	0.042	D_2O^{18}	0.000000004
HDO^{16}	0.015	D_2O^{17}	0.0000000008
HDO^{18}	0.000029	其它	$<10^{-10}$

注：引自陈静生主编《水环境化学》

天然水的总同位素密度是不同的。在各种自然物理化学过程中，不同分子量的水分子会发生分离，使水形成不同的同位素密度，如溶解与结晶、蒸发与凝结、吸附与解吸，以及同位素交换反应和各种动力效应等。其中蒸发作用是天然水同位素分离的主要作用，它可使轻同位素水分子气化而使重水分子相对聚积，所以，在自然界各种水体中，以水蒸气凝结形成的雨水、雪水及极地冰雪水中具有较低的重水成分，而海水、湖水和油田水等具有较高的重

水成分。天然水的总同位素密度变化在 $+21r$ 至 $-23r$ 之间(r =百万分之一密度单位)。

泰勒等人的研究资料表明(1974),水在蒸发时氘(D)和 O^{18} 的浓度变化存在着同步性,氢和氧的重同位素是同时增加的。这种天然水的同位素研究在水的成因分析中很有意义。

(二)水的分子结构 水的分子是由两个氢原子和一个氧原子结合而成的。原子核间以氧核为顶点按等腰三角形方式排列(图1-1),顶角呈 $104^{\circ}31'$,其中O-H键距为 0.96 \AA ,H-H距离 1.54 \AA 。同时,O-H间为共价键结合,由于氧的电负性极强,使其共用电子明显偏向于氧原子核,电子云密度远大于氢核附近。因此,这种分子结构使水分子正负电荷中心不重合而成为偶极分子,偶极距为 1.84×10^{-18} 静电单位。

正是由于这种偶极性,使水分子间产生了很强的氢键键能。每个水分子的氢极均具有与另一个水分子的氧极产生吸引的潜能,这就是所谓的氢键。实际上,水是由若干水分子以氢键相互连接成为巨大的缔合水分子团,这种不断变换的氢键缔合作用对水的溶解性能力和水中溶解或分散物质的存在状态有重要影响。

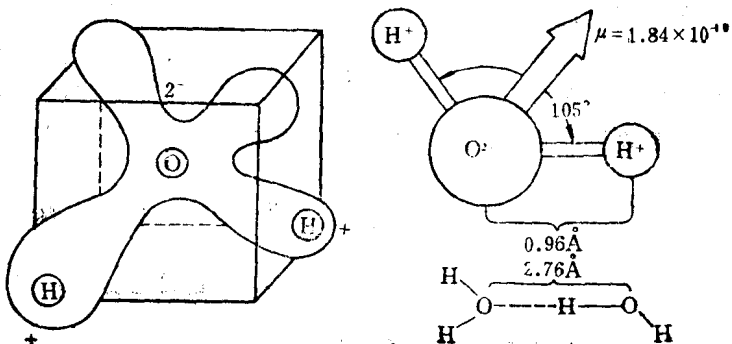


图1-1 水分子的电子云及水分子的结构与氢键

(引自陈静生主编《水环境化学》)

(三)水的物理化学特性

由于水独特的分子结构和元素构成,使水具许多异常的特性。主要有以下几个方面。

1. 水的三态变化 在元素周期表中,O、S、Se、Te是第Ⅵ主族元素,它们的氢化物分别为 H_2O 、 H_2S 、 H_2Se 、 H_2Te 。按元素周期律,这几种化合物的特性应具有单一变化规律,对于 H_2Te 、 H_2Se 、 H_2S 确实有随分子量增加沸点和熔点增加的规律,据此推论,水的沸点和熔点应分别为 -80°C 和 -100°C (表1-2)。而实际上水的熔点和沸点是很高的,较理论值高出 100°C 和 180°C 。由于水的这种特异性,才使水在自然环境中具有常温附近的三相态变化特征,绝大部分条件下是以液态水存在的。水的相态变化在人类生产实践、生活环境和自然生态系统中具有巨大的转换潜能。

2. 温度-体积效应异常 “热胀冷缩”是物质温变的一般规律,而水在 $0-4^{\circ}\text{C}$ 之间不服从这一规律,在 4°C (准确值为 3.98°C)时体积最小密度最大,高于或低于 4°C 时体积都会膨胀。此外,水在 0°C 又有一个强烈的体积变化,水结冰时体积可增加9%。另外,水的

表1-2 同水结构类似的物质特性

化合物	分子量	熔点($^{\circ}\text{C}$)	融解热 (千卡/克分子)	沸点($^{\circ}\text{C}$)	蒸发热 (千卡/克分子)	偶极距(D)
H_2O	18	0.0	1.44	+100	9.72	1.84
(H_2O)	18	-100	0.50	-80	3.00	—
H_2S	34	-85.5	0.57	-60.3	4.46	1.10
H_2Se	81	-65.7	0.60	-41.3	4.62	0.40
H_2Te	130	-51	1.00	-2.2	5.55	<0.20

冰点随压力增高有所下降,热膨胀系数在0—45℃时却随压力增高而增大,膨胀加速。这些都是水在温度和压力变化时,体积效应异常的现象。

3.热容量最大 在所有液体和固体物质中,水具有最大的比热。因此,天然水体具有调节气温的环境功能。同时,水的融解热和蒸发热也是很高的,表现为明显的异常。这一特性可使水在相态变化时保持恒定的温度——冰点和沸点。

4.溶解与反应能力极强 水作为一种溶剂,具有极强的溶解能力,而且介电常数很大,使溶质电离的能力很强。许多物质在水中具有很大的溶解度和最大的电离度。水中的各种溶解物质极易发生相互之间及其与水的各种化学反应。因此,水在环境物质的迁移和转化中起着巨大的物理化学作用。自然界的水实质上是溶有几乎所有自然物质的复杂溶液。

5.具有突出的表面特性 在常温下,除汞以外,在所有液体中水具有最大的表面张力,达72.75达因/cm。这就使水在毛细作用、吸湿作用和吸附性能方面具有突出的效能、从而对各种物理化学过程和水的生态效应起着显著的影响。

6.水是有机物和生命体中H的主要来源 氢是宇宙间最丰富的元素,其主要存在形态是H₂气体,使氢在地壳中的丰度大为降低,但仍不失为地壳的十大常量元素之一。而氢在以C、H、O为主体成分的有机物质和生命体内具有很高的含量。水是生命体中氢的主要来源。植物通过光合作用把CO₂和H₂O转化为各种有机物的生命物质,在环境生态系统中,氢的存在与转化具有重大的作用,由此也可见生命与水的密切关系。

二、水体及其形成条件

(一)水体 水是一种自然物质,天然水是一种复杂的混合溶液。而水体是一个自然生态综合体,是一个在特定自然条件下形成、包括水中溶解物质、悬浮物、底积物质、水生生物及运载介质在内的天然水的自然综合集合体。同时,水体又是一个开放的自然系统,在其形成和演变的过程中与外界发生着复杂的物质和能量交换作用,不断地改变着自身的状态和环境的特征。水体、天然水和水的概念是顺序包容的。

由于水体的赋存空间和分布区域不同,形成了海洋、湖泊、地下水等天然水体。各种天然水体的空间分布是有一定的规律的,其形成和存在必须具有一定的自然条件。

(二)水体的形成条件

1.储水的空间条件 无论是在地表还是地下,要形成天然水的集合体,首先必须具有能够容纳一定水量并能使之自由补排的一个开放的空间系统,才有可能在自然界水大循环的过程中使水富集和储存形成水体。例如地表的低洼地和地下岩土层中的空隙系统。

2.相对阻水的边界条件 无论何种水体,都要求天然水相对集中于一定的空间之内,而不是充分分散的三维开放空间。也就是说,储存空间应具有容器的特征,当天然水在重力作用下流动时,下部或侧向具有阻水的边界时才能使水相对聚集和滞留形成水体。当地表洼地的周边或岩土空隙系统的底部和侧部是相对阻水的,才能形成地表水体或地下含水水体。

3.充足的水源条件 除了储水的空间和阻水边界条件之外,还必须具有充足的水源补给,才能形成水体。实质上,在天然水分不断循环转化的过程中,水体中的水有来自外源水的补给,也有不断地消耗,当补给水量大于消耗水量时,水体才不致干涸。水源条件通常为湿润的气候、上游的径流和侧向的地下渗流等。

当然,水体是在一定的自然物质背景和生态环境条件下形成的,并随各种自然因素和生

态环境条件的改变而发生水量、水质及生态特征的变化，随着自然条件的演变，水体也处于不断地迁移、演变和自然消亡的过程之中。

第二节 水循环

一、世界水资源量的分布

地球表面约有70%以上被水体覆盖，总水量约 $13.86 \times 10^8 \text{ km}^3$ ，其中海水占96.5%，淡水为 $0.35 \times 10^8 \text{ km}^3$ ，占总水量的2.53%，如果除去极地及山地冰川等目前还无法利用的水量

表 1-3 自然环境中水量分布

水的类型	水量 (km^3)	比例 (%)
海水	1 338 000 000	96.5
地下水	23 716 500	1.71
冰雪水	24 064 100	1.74
湖泊水	176 000	0.013
沼泽水	11 470	0.0008
河水	2 120	0.0002
大气水	12 900	0.001
生物水	1 120	0.0001
总计	1 385 984 610	

表 1-4 全世界淡水储量

水的类型	水量 (km^3)	比例 (%)
地下水	10 846 500	30.96
冰雪水	24 064 100	68.70
湖泊水	91 000	0.260
沼泽水	11 470	0.033
河水	2 120	0.006
大气水	12 900	0.037
生物水	1 120	0.0032
总计	35 029 210	

表 1-5 地球水量平衡估算(年)

区域	面积 (10^6 km^2)	水量平衡要素		
		降水量	流入量	蒸发量
海洋	361	降水量		458 000
		流入量		47 000
		蒸发量		505 000
大陆 (外流区)	117	降水量		110 000
		流入量		47 000
		蒸发量		63 000
大陆 (内流区)	32	降水量		9 000
		蒸发量		9 000
全球	510	降水量		577 000
		蒸发量		577 000