

An introduction to
water pollution in-situ remediation

水体污染

原位修复技术导论

钟成华 主 编

郑建军 李 杰 副主编



NLIC2970941687



科学出版社

水体污染原位修复技术导论

钟成华 主 编

郑建军 李 杰 副主编



NLIC2970941687

科学出版社

北 京

内 容 简 介

本书系统地阐述水体原位修复的理论, 全面介绍各种水体原位修复技术和方法, 结合实际应用对近年来研究开发的新的水体原位修复工艺和技术作了较为深入系统的介绍, 并对所介绍的方法给出对应的案例, 帮助读者理解。本书包括绪论、水体原位修复理论基础、物理修复方法、化学修复方法、生物修复方法、生态修复方法、复合修复方法、水体原位修复效果监测及评价等章节。

本书可作为环境科学、环境工程、市政工程、生态工程等相关学科的教学参考书, 也可供从事水体污染修复的工程技术人员和规划管理人员阅读。

图书在版编目(CIP)数据

水体污染原位修复技术导论 / 钟成华主编. -北京
: 科学出版社, 2013.9
ISBN 978-7-03-038397-6
I. ①水… II. ①钟… III. ①水污染防治-研究
IV. ①X52

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2013) 第 193275 号

责任编辑: 杨 岭 孟 锐 / 封面设计: 墨创文化
责任校对: 陈 静 / 责任印制: 邱志强

科学出版社出版

北京东黄城根北街16号
邮政编码: 100717
<http://www.sciencep.com>

四川煤田地地质制图印刷厂

科学出版社发行 各地新华书店经销

*

2013年9月第 一 版 开本: B5 (720×1000)

2013年9月第一次印刷 印张: 12

字数: 240千字

定价: 60.00元

前 言

20 世纪以来,全球范围的经济社会高速发展带来了一系列的生态环境问题。河流污染、湖库水华、地下水污染等事件屡屡见诸媒体,引起了社会的广泛关注。在百度中输入“水污染”三个字,两秒内屏幕上会显示搜出相关结果约 33 400 000 个、相关新闻约 2 160 000 篇(2013 年 3 月 12 日的搜索结果),由此可见水污染的严重性。防治水体恶化、保护水资源、走可持续发展道路已成为全人类共同追求的目标。

传统的水污染治理技术主要是针对人们在生产生活中产生的大量生活污水、各种工业废水等污染源的治理。随着社会经济的发展,河流、湖泊、水库的污染逐渐引起人们的关注,针对污染水体本身进行修复的理论、方法、工艺和技术得到了长足的发展。近年来,水体污染原位修复技术得到了广泛应用,并取得了显著成效。随着水体原位修复技术在研究和改进中逐渐走向成熟,其对环境的影响小、能耗低、持续高效、绿色环保等优点将使其成为 21 世纪水体生态环境保护领域最具价值和应用前景的水环境修复技术。

本书主要包括:水体原位修复理论基础、物理修复方法、化学修复方法、生物修复方法、生态修复方法、复合修复方法、水体原位修复效果监测及评价等。

本书力求理论与实践并重,在系统介绍水体污染原位修复技术基本原理的同时,利用较丰富的案例帮助读者理解,并附有部分案例彩图以加深读者对各种修复措施的直观印象。

参加本书编写的有钟成华(主编)、郑建军(副主编)、李杰(副主编)、王晓雪、陈龙、张伟进、李富宇、雷振宇、张文东、刘鹏、夏晓方、刘洁、李二飞、周晓琴、王涛、苏翔、郭祥、毛雪梅、左轻扬、安雅敏、彭图恒、蒋佳凌、刘尚俭、徐瑞、陈梅、钱珍余、钟歆、陈建、何意勇、曾雪梅、白一力。

本书编写过程中参考了大量的教材、专著、论文等相关资料,在此对这些著作的作者表示由衷的感谢!

本书的编写和出版得到国家水专项“三峡库区流域主要污染物总量控制方案研究(2009ZX07104-006)”和重庆市科委重大攻关项目“库区小流域污染治理技术及生态修复技术研究与工程示范——次级河流受污染河道原位修复实用

技术研究 (CSTC2008AB7135)”资助,在此一并致谢!

由于时间紧迫,加之编者水平有限,错误和疏漏在所难免,真诚希望读者批评指正。

编者

2013年3月于重庆南岸翠湖

目 录

前言

第 1 章 绪论	1
1.1 水及其循环	1
1.1.1 水的形成	1
1.1.2 水的分布	4
1.1.3 水的循环	8
1.2 水污染	11
1.2.1 天然水的化学组成、化学性质	11
1.2.2 水污染的主要来源	13
1.2.3 主要的水污染物质	14
1.3 水污染控制模式及技术简介	16
1.3.1 水污染控制模式	17
1.3.2 水污染控制技术	17
1.4 水体污染原位修复	19
1.4.1 水体污染原位修复的概念与内涵	19
1.4.2 水体污染原位修复的分类与内容	19
1.4.3 水体污染原位修复的任务与目标	20
参考文献	20
第 2 章 水体原位修复理论基础	21
2.1 物理、化学修复理论基础	21
2.1.1 沉淀溶解理论	21
2.1.2 氧化还原反应	24
2.1.3 吸附	32
2.1.4 混凝	34
2.2 生物修复理论基础	39
2.2.1 微生物	39
2.2.2 水生植物	50
2.2.3 水生动物	51

2.3 生态修复理论基础	51
2.3.1 生物与环境	52
2.3.2 生物之间的相互关系	53
2.3.3 生态系统	56
2.3.4 生态系统的能量流动	58
2.3.5 生态系统的物质循环	60
2.3.6 水体生态修复理论	62
参考文献	65
第3章 物理修复方法	66
3.1 底泥疏浚工程	66
3.1.1 概述	66
3.1.2 优缺点	68
3.1.3 案例	68
3.2 引水稀释	69
3.2.1 概述	69
3.2.2 优缺点	70
3.2.3 案例	70
3.3 截污	71
3.3.1 概述	71
3.3.2 案例	71
3.4 曝气法	72
3.4.1 概述	72
3.4.2 案例	76
3.5 物理除藻法	77
3.5.1 概述	77
3.5.2 案例	78
3.6 海洋石油泄漏物理处理法	79
3.6.1 概述	79
3.6.2 案例	80
3.7 物理修复发展前景	81
参考文献	81
第4章 化学修复方法	83
4.1 污染水体的化学修复技术	83
4.1.1 投加杀藻剂	83
4.1.2 化学絮凝处理技术	84
4.1.3 天然矿物絮凝法	84

4.1.4	重金属的化学固定	84
4.1.5	化学氧化技术	85
4.1.6	可渗透反应墙	85
4.2	化学修复技术在污染水体中的应用	86
4.2.1	地下水修复	86
4.2.2	湖泊水库修复	88
4.2.3	河流修复	89
4.2.4	海水修复	90
4.3	化学修复方法的前景和展望	90
	参考文献	91
第5章	生物修复方法	93
5.1	生物修复的概念和分类	93
5.1.1	生物修复的概念	93
5.1.2	生物修复的分类	93
5.2	污染水体的生物修复	96
5.2.1	河流湖泊生物修复	97
5.2.2	海洋生物修复	103
5.2.3	地下水生物修复	105
5.3	生物修复技术的前景与展望	106
5.3.1	发展趋势与面临的问题	106
5.3.2	应用前景	110
	参考文献	111
第6章	生态修复方法	113
6.1	生态修复方法概述	113
6.1.1	生态修复的发展历史	113
6.1.2	生态修复遵循的原则	114
6.1.3	生态修复的优缺点	115
6.2	影响水生生态系统修复效果的因素	115
6.2.1	氧气的供应	115
6.2.2	适合的温度	115
6.2.3	生物对水体的适应性	116
6.2.4	其他条件	116
6.3	生态修复方法	116
6.3.1	生态修复的过程	116
6.3.2	水体生态修复的内容	117
6.3.3	生态修复的主要技术	118

6.3.4 生态修复技术主要途径	123
6.4 建议与应用前景展望	125
6.4.1 建议	125
6.4.2 应用前景展望	126
参考文献	126
第7章 复合修复方法	128
7.1 复合修复系统及组合技术简介	128
7.1.1 复合修复的研究进展	128
7.1.2 组合工艺技术及其特点	130
7.2 国内外实例简介	135
7.2.1 国内实例简介	135
7.2.2 国外实例简析	149
7.3 发展趋势与展望	161
参考文献	162
第8章 水体原位修复效果监测及评价	165
8.1 修复效果监测方法	166
8.1.1 监测指标	166
8.1.2 点位布设	167
8.1.3 采样、分析方法	169
8.2 修复效果评价方法	170
8.2.1 水质评价	171
8.2.2 生物评价	176
参考文献	180
附图	182

第 1 章 绪 论

1.1 水及其循环

水(化学式: H_2O)是由氢、氧两种元素组成的无机物,在常温常压下为无色、无味的透明液体。水是地球上最常见的物质之一,是保证包括人类在内所有生命生存的重要资源,也是生物体最重要的组成部分。水在生命演化中起着重要的作用。人类很早就认识到了水的重要性,东西方古代朴素的物质观都把水视为基本的组成元素之一,水是中国古代“五行”之一,水也是西方古代“四元素说”的四元素之一。

1.1.1 水的形成

1. 水的形成及水圈的结构

大约在 38 亿年前,在某种机制的作用下,地球上出现了水。水是地球上最丰富的化合物,海洋、陆地、大气中的固态水、液态水、气态水构成一个连续的、相互作用且相互不断交换的圈层,称为水圈。水圈包括江河湖海中一切淡水、咸水、土壤水、浅层和深层地下水,以及南北两极冰盖和各大陆高山冰川中的冰,还包括大气圈中的水蒸气和水滴,以及生物体内的水。水的出现,是地球发育史上的一个重大事件,极大地推动了地球进化,为地球生命的出现创造了最基本的条件。

据估计,地球上的水量总计约 $1.41 \times 10^9 \text{ km}^3$,如果这些水均匀覆盖地球表面,水层厚度约达 3 km。地球上水的分布不均匀,大部分为海洋水,占地球总水量的 97.41%,其余 2.59%是分布于湖泊、河流、冰川、土壤、地下水层、大气、生物体内的淡水。而淡水中的 76.6%被储存在冰帽和冰川中,22.9%是地下水,湖泊、河流、土壤、大气和生物体内的水量约仅占地球淡水总量的 0.54%。海洋水、冰帽、冰盖和地下水的量尽管很大,但绝大部分难以开采利用。河水和湖水的量尽管很少,但它们直接供应人类生活和生产的需要,与人

类的关系密切，是水资源中最为重要的组成部分。

大气水量约 $1.3 \times 10^4 \text{ km}^3$ ，仅占地球总水量的 0.001%。尽管量很小，但大气水是水圈水循环和水资源更新的重要一环。落到地面上的降水是维持人类和其他陆栖生物所需淡水的主要来源，全球的年降水量约为 $1.1 \times 10^5 \text{ km}^3$ ，其中 65% 通过地面蒸发回到大气层，其余部分供给地下水层、河流和湖泊。

2. 水的理化性质及对生命的意义

水是一种神奇的物质。地球之所以能够成为一颗智慧星球，水是一个关键因素。各种生命起源的假说都少不了水这一要素。如今地球表面的 70% 以上覆盖着水，大多数生物体内水的含量也高达 2/3 以上。在自然界的植物体内，水分含量更高，有些甚至高达 95%。这一切充分表明地球上生命的产生和进化都离不开水，水是生命的基本要素。

人们的日常生活更是时时处处与水紧密联系，从生活、娱乐到工业生产和农业灌溉，无一不体现出水的重要性。

水的一些奇异的自然性质决定了它对人类和生态环境的特殊意义。

(1) 水是无色透明的，它允许太阳光中的可见光和波长较长的紫外线透过，使光合作用所需的光能够到达水面以下的一定深度，而对生物体有害的短波紫外线则被阻挡在外。这不仅在地球上生命的产生和进化过程中起了关键性作用，而且对今天生活在水中的各种生物也具有重要意义。

(2) 水是一种极好的溶剂，自然界中所有的物质，无不溶于水所溶解，无论是固态、液态，还是气态，只有易溶和微溶之别，几乎没有不溶者，这为生命过程中营养物和废弃物的传输提供了最基本的媒介。而且水的介电常数在所有液体中是最高的，这使得大多数离子化合物能够在其中溶解并发生最大限度的电离，这对营养物质的吸收、生物体内各类生化反应的进行和代谢废物的排出均具有重要意义。

(3) 除液氨外，水的比热容是所有液体和固体中最大的，为 $4.18 \text{ J}/(\text{g} \cdot ^\circ\text{C})$ 。此外，水的蒸发热也极高，在 20°C 下为 2.4 kJ/g 。由于水的这种高比热容、高蒸发热的特性，地球上的海洋、湖泊、河流等水体，白天吸收到达地表的太阳光的热量，晚上又将热量释放到大气中，避免了剧烈的温度变化，使地表温度长期保持在一个相对恒定的范围内，为相对脆弱的生命形式的存在提供了重要的保证。月球表面都是岩石，石头的比热容只有水的 20%，所以月球表面的气温变化范围为 $-155 \sim +135^\circ\text{C}$ 。对于人体来说，水在体温调节上也有重要的作用。比如炎热季节，环境温度往往高于体温，人体就靠出汗使水分蒸发带走一部分热量来降低体温，从而使人免于中暑。而在天冷时，由于水贮备热量的潜力很大，所以体温不会因外界温度低而明显的下降。

(4) 水在 4°C 时的密度最大，这一特性在控制水体温度分布和垂直循环中起着重要作用。在气温急剧下降的夜晚，水面上较重的水层向水底沉降，与下

部分水层更换,这种循环过程使得溶解在水中的氧及其他营养物质得以在整个水域分布均匀,并且当水体趋于稳定状态时,水底温度是 4°C ,这使这一层中水生物可以幸存。

(5) 水的固体形态是冰,冰轻于水。水是地球上唯一一种固体密度低于其液体密度的物质。水的密度为 1.0 g/cm^3 ,冰的密度只有 0.92 g/cm^3 ,冰可以浮在水面上。这一特性对水下生物具有重要的意义。否则,气温降低时水面结成的冰会沉入水底,从而导致整个水体完全冻结,给水下生物带来灭顶之灾。此外,如果冰的密度大于液态水的密度,两极的巨大冰川将会全部沉入海底,全球海平面将会升高数百米,绝大部分陆地都将被海水淹没,包括人类在内的陆上生物都将无以为家。

(6) 水具有非常大的表面张力从而形成水的毛细现象。液态水的水分子由于有极性而相互吸引,这种内聚力使得水与空气接触的表面形成了与水内部不一样的特征,即表层分子因所受内聚力不同而具有比内部水分子更高的势能,于是产生表面的收缩,在表层上形成一定的张力。这种张力是水的毛细现象的根本原因。对于大多数高不足 1 m 的植物而言,利用水的毛细现象吸收水分是一个重要的生存技能。

水的主要性质及其意义见表 1-1。

表 1-1 水的主要性质及其意义

性质	特点	意义
状态	一般为液态	提供生命介质、流动性
比热容	非常大	良好的传热介质,调节环境和有机体的温度
熔解热	非常大	使水处于稳定的液态,调节水温
蒸发热	非常大	对水蒸气的大气物理性质有意义,调节水温
密度	4°C 时最大	水体冰冻始于表面,控制水体中温度分布,保护水生生物
表面张力	非常大	生理学控制因素,控制液滴等表面现象
介电常数	非常大	高度溶解离子型物质并使其电离
水合	非常广泛	对污染物是良好溶剂和载体,改变溶质生物化学性质
离解	非常少	提供中性介质
透明度	大	透过可见光和长波紫外线,使水生生物在水体深处可进行光合作用

水的奇特性质与水的分子结构有关。水分子中的氧原子受到 4 个电子对包围,其中两个电子对与两个氢原子共享,形成两个共价键;另外两对是氧原子本身所持有的孤对电子。4 个电子对由于带负电而互相排斥,使它们有呈四面体结构的倾向,但因孤对电子占据的空间较小,与共享电子对相比具有更大的斥力,因此使 $\text{H}-\text{O}-\text{H}$ 键角由 109.5° (几何正四面体)缩减到 104.5° ,造成了水分子的 V 形结构。水分子的立体结构及氢键的形成见本书末的附图 1。

氧原子具有比氢原子大得多的电负性,所以水分子中的两个共享电子对趋近于氧而偏离氢,使两个孤对电子上集中了更多负电荷,氧原子附近形成负电荷中心,氢原子附近形成正电荷中心,使水分子成为具有很大偶极矩的极性分子。这样,一个水分子中的氢原子就可能与附近另一个水分子中的氧原子产生正负电荷相吸现象,与邻近水分子形成一种相互联结的作用力,使多个水分子缔合 $[n\text{H}_2\text{O}=(\text{H}_2\text{O})_n]$ 形成“水分子团”。分子间氢键键能为 18.81 kJ/mol ,约为 O—H 共价键的 $1/20$ 。正是氢键的存在使水分子和氧元素的同族元素的氢化物相比具有特异性。

1.1.2 水的分布

1.1.2.1 水资源

生命起源于水,生物的生存离不开水。水是环境中最活跃的自然要素之一,也是地表的主要组成物质。水作为能源、生产资料和生活资源,影响着社会财富的创造和人类生活的质量。地球总水量巨大,但天然水量并不等于可利用水量。人类可大量直接利用的是大气降水,以及江河、湖泊、水库、土壤和浅层地下水的淡水,海洋中的淡水能被直接利用的量很小,冰川和积雪只在融化为液态后才能被利用,两极冰盖和永久冻土中的水被直接利用的机会更是极少。地球表层中可供人类利用并逐年得到更新的那部分水量称为水资源。据估计,可被人类直接利用的水资源总量约为 $1.0 \times 10^5\text{ km}^3$,仅占地球总水量的 0.007% 。

水资源在维持人类生命、发展工农业生产、维护生态环境等方面具有重要和不可替代的作用。过去,人们普遍认为水资源是大自然赋予人类的,是取之不尽用之不竭的,因此不加爱惜,恣意浪费和污染。但近些年来,越来越多的人警觉到,水资源并不像想象的那么丰富,水资源短缺对许多地区的人类生活、经济发展和生态环境造成了严重的不利影响。

陆地上淡水资源的分布很不均匀。由于受气候和地理条件的影响,北非和中东很多国家(如埃及、沙特阿拉伯等)降水量少、蒸发量大,因此径流量很小,人均及单位面积土地的淡水占有量都极少;相反,冰岛、厄瓜多尔、印度尼西亚等国,以每公顷土地计的径流量比贫水国高出 1000 倍以上。世界上占陆地面积 40% 的干旱与半干旱地区的径流量只占全球径流量的 2% ,而且大部分可获得的水资源局限于几条河流。亚马孙河携带全球 16% 的径流,扎伊尔河流域携带非洲 $1/3$ 的河水流量。2007 年,联合国有关机构称,20 年内,数以亿计目前用水有保障的非洲和拉丁美洲人民将缺水;2050 年,亚洲也将有多于 10 亿的人口面临同样难题;2030 年,水体污染引发的疾病所导致的人口死亡率将上升。

中国地大物博, 河流、湖泊众多, 水资源总量丰富, 居世界第4位, 但由于人口众多, 人均水资源量较小, 仅相当于世界人均水资源占有量的1/4, 位于世界各国的第88位, 属于水资源的“贫穷国家”。我国每年缺水总量约为400亿 m^3 , 其中有400余座城市供水不足, 110座城市严重缺水, 70座城市由于过度抽取地下水而导致不同程度的严重下沉的后果。

中国水资源在空间和时间上的分布十分不均匀。在空间上, 水资源分布的趋势是东南多西北少, 水资源占有量相差悬殊。南方长江流域、珠江流域、浙闽台诸河和西南诸河等流域片的耕地面积只占全国耕地面积的36.6%, 淡水资源占有量却占全国总量的81%; 北方的辽河、海河、黄河、淮河4个流域片耕地占全国耕地面积的63.4%, 而水资源占有量仅为全国总量的19%。因此, 我国北方不少地区和城市缺水现象十分严重。在时间上, 由于中国大部分地区的降水主要受季风气候影响, 降水量的年内和年际变化也很大, 造成水旱灾害频繁。全国大部分地区在汛期4个月左右的径流量占全年降水量的60%~80%。降水的过于集中, 不但容易形成旱涝, 而且水资源中大约有2/3是洪水径流量, 无法开发利用。而降水量的年际剧烈变化, 造成江河湖泊的特大洪水和严重枯水, 甚至出现连续丰水年或连续枯水年的情形, 导致水资源供需矛盾十分突出, 水资源短缺问题更加严重。

在用水过程中的严重浪费也是造成我国水资源短缺的主要原因之一。我国农业用水利用率仅为40%~50%, 工业用水重复利用率为20%~40%, 单位产品用水定额往往比发达国家高10倍以上。

我国水环境污染严重, 进一步加剧了水资源的短缺。第一次全国污染源普查的结果表明, 我国主要废水污染物排放总量分别为化学需氧量(chemical oxygen demand, COD)3028.96万t、氨氮($\text{NH}_3\text{-N}$)172.91万t。2010年全国环境质量公报显示: 全国地表水国控监测断面中, I~III类水质比例刚刚过半, 有超过70%的河流、湖泊、海岸受到污染, 有90%的城市地下水受到污染。水污染从江河支流向干流延伸, 从地表向地下渗透, 从陆域向海域发展, 从城市向农村蔓延, 从东部向西部扩展。

1.1.2.2 水体

水的集合体即水体。水体是地表水圈的重要组成部分, 是以相对稳定的陆地为边界的天然水域, 它包括江、河、湖、海、冰川、雪山、水库、池塘等, 也包括地下水和大气中的水蒸气。

1. 湿地

湿地是指天然或人工的、永久的或暂时的沼泽地、泥炭地、水域地带, 带有静止或流动, 咸水或淡水、半咸水水体, 包括低潮时水深不超过6m的浅海水域, 是陆地、流水、静水、河口和海洋系统中各种沼生、湿生区域的总称。

沼泽、泥炭地、湿草甸、湖泊、河流、蓄滞洪区、河口三角洲、滩涂、水库、池塘、水稻田以及低潮时水深浅于 6 m 的海域等均属于湿地范畴。湿地与森林、海洋并称全球三大生态系统,是三大系统中唯一的有四圈(大气圈、水圈、土圈、岩石圈)交会,最富生物多样性,生态功能最全面,生产力最高的生态系统,它不仅为人类提供大量食物、原料和水资源,而且在维持生态平衡、保持生物多样性和珍稀物种资源以及涵养水源、净化水质、调蓄洪水、控制土壤侵蚀、补充地下水、美化环境、调节气候、维持碳循环和保护海岸等方面均起到重要作用,因此也被誉为“地球之肾”、“天然水库”和“天然物种库”。

湿地与人类的生存关系密切。据载,地球上人类几乎 100% 的饮水来自湿地;80% 以上的人口居住在湿地或以湿地的产物为生;60% 以上的城镇建在湿地上或曾是湿地的地方;人类有 50% 的抗灾斗争(如抗洪、抗涝、抗风暴等)发生在湿地或曾是湿地的地方。目前世界上有湿地逾 $8.6 \times 10^6 \text{ km}^2$, 约占土地总面积 6%。我国是亚洲湿地类型最齐全、数量最多、面积最大的国家,约有湿地 $6.3 \times 10^5 \text{ km}^2$, 约占世界湿地面积的 11.9%, 为世界上位于加拿大、美国、俄罗斯之后的第四个湿地大国。中国湿地可分为 8 个主要区域,即东北湿地、黄河中下游湿地、长江中下游湿地、杭州湾北滨海湿地、杭州湾以南沿海湿地、云贵高原湿地、蒙新干旱/半干旱湿地和青藏高原高寒湿地。

但是,过去一个世纪以来,由于围湖造田、束水行洪,开发滩涂、生物资源的过度利用、湿地环境污染、湿地水资源过度利用、大江大河流域水利工程建设、泥沙淤积、海岸侵蚀与破坏、城市建设与旅游业的盲目发展等不合理利用导致湿地生态系统退化,造成全球自然湿地面积缩小、水质下降、水资源减少甚至枯竭、生物多样性降低、湿地功能降低甚至丧失。“地球之肾”的逐年萎缩,逐渐引发了一系列的生态环境问题和自然灾害。为保护、恢复和重建湿地,1971 年 2 月 2 日,来自 18 个国家的代表在伊朗南部海滨小城拉姆萨尔签署了一个旨在保护和合理利用全球湿地的公约——《关于特别是作为水禽栖息地的国际重要湿地公约》(*Convention on Wetlands of International Importance Especially as Waterfowl Habitat*),以下简称《湿地公约》。我国自 1992 年加入《湿地公约》后,编制了《中国湿地保护行动计划》和《全国湿地保护工程规划》,加大湿地保护力度,目前我国约有 40% 的天然湿地被纳入管护范围,许多濒临干涸的湿地重新焕发生机。

2. 河流

河流是指地表上有相当大水量且常年或季节性流动的天然水流。河流的水主要来自降水、地下水或高山融雪。而这些都是山脉一带出现,所以河流的源头通常是山脉,从源头沿地势往下流,一直流入大海或湖泊为止。

中国是世界上河流最多的国家,其中流域面积在 1000 km^2 以上的就有 1500 多条。世界许多著名大江大河源于中国,如长江、黄河、珠江、黑龙江、湄公

河、恒河、鄂毕河等。我国领土广阔,地形多样,地势由青藏高原向东呈阶梯状分布,气候复杂,降水由东南向西北递减,导致河流地区分布不平衡、水文特征地区差异大。东南部河流多而且长,径流量大,夏季容易形成汛期;秦岭和淮河一线以北的河流,冬季河流结冰,普遍形成枯水期,甚至断流;西北河流较少且水源不丰,沿途多沙漠和戈壁,蒸发和渗漏严重,很多河流成为季节性河道。

河流是地球上水循环的重要路径,对全球的物质、能量的传递与输送起着重要作用。流水还不断地改变着地表形态,形成不同的流水地貌,如冲沟、深切的峡谷、冲积扇、冲积平原及河口三角洲等。我国的东北平原、华北平原、长江中下游平原以及四川盆地成都平原等都是由河流的冲积作用形成的冲积平原。在河流密度大的地区,广阔的水面对该地区的气候也具有一定的调节作用。由于河水取用方便,是人类可依赖的最主要的淡水资源和可更新的能源,在过去河流还是人类最重要的运输通道,因此河流所流经区域成为人类繁衍生息的摇篮。长江、黄河、尼罗河、多瑙河、亚马孙河等众多河流均成为人类古代文明发祥地。

河流滋养了人类文明,但人类的过度开发利用,却给河流造成巨大伤害。联合国发表的《世界水源发展报告》警告,目前全球一些重要水系都出现河流不入海或半途干枯的情况,全球淡水鱼类中有 1/5 正濒临绝种或已经绝种。世界自然基金会也警告说,世界大部分河流由于筑坝或灌溉正导致干枯速度加快,世界大河流中,目前只有 1/3 的河流仍有水在流淌,这个数字将来还会减少。国家环境保护部的监测结果表明,七大水系满足Ⅲ类水质断面的比例不足六成,除了长江和珠江外,黄河、松花江、淮河、海河和辽河水系污染均较为严重。如何维持河流的健康生命,成为人类共同面临的挑战。

3. 湖泊

湖泊是指陆地上洼地积水形成的水域宽阔、水量交换相对缓慢的水体,在地壳构造运动、冰川作用、河流冲淤等地质作用下,地表形成许多凹地,积水成湖。根据水的矿化程度,可把湖泊分为淡水湖和咸水湖。外流区域的湖泊都与外流河相通,湖水能流进也能排出,含盐分少,形成淡水湖。内流区域的湖泊大多为内流河的归宿,湖水只能流进,不能流出,又因蒸发旺盛,盐分较多,形成咸水湖。

在全球水文循环过程中,尽管淡水湖水量很小,仅约为全球淡水储量的 0.26%,但淡水湖 98% 以上的水量是可供利用的,因此湖水是全球水资源的重要组成部分。尽管湖泊遍布全世界,但北美洲、非洲和亚洲大陆的湖泊水量就占世界湖水总量的 70%,而其余的大陆湖泊较少。

中国湖泊众多,共有 24 800 多个,其中面积在 1 km² 以上的天然湖泊就有

2800 多个, 湖泊储水总量 7088 亿 m^3 , 是我国饮用水的重要来源。我国湖泊数量虽然很多, 但在地区分布上很不均匀。总的来说, 东部季风区, 特别是长江中下游地区, 分布着中国最大的淡水湖群; 西部以青藏高原湖泊较为集中, 多为内陆咸水湖。中国著名的淡水湖有鄱阳湖、洞庭湖、太湖、洪泽湖、巢湖、滇池等, 咸水湖有青海湖、纳木错湖等。

湖泊是人类的朋友, 像河流一样, 同样是水资源和水力资源的贮存地。但是, 盲目围湖造田等土地的不合理开发利用, 使得湖泊面积锐减, 湖泊调洪、蓄洪能力大大降低, 导致洪灾危害加剧; 肆意排放污水和农药、化肥的过度超标使用, 使得湖泊污染积重难返, 富营养化问题日益突出。对我国 200 多个湖泊的调查结果表明, 其中 80% 已发生富营养化, 湖泊富营养化面积增长在过去 40 年间增长了约 60 倍, 已达 8700 km^2 。近十年, 太湖、巢湖、滇池等大型天然湖泊屡屡出现大面积水华, 对当地居民的饮用水安全和生态环境造成了严重影响。让湖泊休养生息, 成为湖泊治理和可持续发展的急迫之需。

4. 水库

水库是指在山沟或河流的狭口处建造拦河坝形成的人工湖泊。由于河川径流具有多变性和不重复性, 人们为了解决径流在时间上和空间上的重新分配问题, 充分开发利用水资源, 往往在江河上修建一些水库工程, 进行径流调节, 蓄洪补枯, 使天然来水能满足灌溉、发电、供水、航运等需求。

中国是世界上建设水库最多的国家, 截至 2006 年年底, 中国有水库近 9 万座。其中最著名的当属三峡水库, 其最高库容为 393 亿 m^3 , 蓄水至 175 m 高程时将形成总面积达 1000 多 km^2 的人工湖泊, 水电站总装机容量 1786 万 kW, 年发电量 840 亿 $\text{kW} \cdot \text{h}$ 。

尽管水库的修建会带来发电、航运、灌溉、供水等方面巨大的综合经济效益, 但其对生态环境的影响也是不容忽视的。如造成库区泥沙淤积、下游土地的土壤盐碱化、库区及下游的水质恶化、物种的消失、增加库区地质灾害发生的频率等。

1.1.3 水的循环

水循环是指水在生物圈、大气圈、岩石圈和水圈之间的贮存和运动, 水循环的存在可使地球上的水不断得到更新, 成为一种可再生的资源。

1.1.3.1 全球水循环

水循环是指地球上各种形态的水在太阳能和重力作用下, 通过蒸发、水汽输送、凝结降水、下渗、径流等各个环节, 不断发生气、液、固三态转换的周而复始的运动过程。从全球范围看, 典型的水循环过程可以表述为: 从海洋的