



生态环境水利工程 应用技术

宋东辉 徐晶 宋子昀 王伟玲 编著



X171.4
11



中国水利水电出版社
www.waterpub.com.cn

013037257

X171.4

11

生态环境水利工程 应用技术

宋东辉 徐晶 宋子昀 王伟玲 编著



中国水利水电出版社
www.waterpub.com.cn



北航

C1645121

X171.4

11

内 容 提 要

本书主要阐述水利工程水生态环境功能的设计与优化、水生态环境危机的处理技术等方面的内容,包括:绪论、水利工程水生态环境功能,水利工程生态功能,生态环境水利工程设计,水生态环境危机应急技术,共5章。

本书可供水利工程技术人员和从事生态环境水利工作的相关人员学习参考。

图书在版编目(CIP)数据

生态环境水利工程应用技术 / 宋东辉等编著. -- 北
京: 中国水利水电出版社, 2013. 5
ISBN 978-7-5170-0834-7

I. ①生… II. ①宋… III. ①生态环境—影响—水利
工程 IV. ①TV-05

中国版本图书馆CIP数据核字(2013)第084997号

书 名	生态环境水利工程应用技术
作 者	宋东辉 徐晶 宋子昀 王伟玲 编著
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 (发行部)
经 售	北京科水图书销售中心(零售) 电话: (010) 88383994、63202643、68545874 全国各地新华书店和相关出版物销售网点
排 版	中国水利水电出版社微机排版中心
印 刷	北京瑞斯通印务发展有限公司
规 格	184mm×260mm 16开本 8.5印张 202千字
版 次	2013年5月第1版 2013年5月第1次印刷
印 数	0001—1200册
定 价	32.00元

凡购买我社图书,如有缺页、倒页、脱页的,本社发行部负责调换

版权所有·侵权必究

前言 //



水生态环境是人类生存与发展所需的重要环境。生态环境水利工程技术有助于改善水生态环境，克服水利工程自身对水生态环境带来的不利影响，促进水利工程水生态环境功能的开发和利用。因此，在未来水利工程建设中，生态环境水利工程技术将发挥极其重要的作用。生态环境水利工程是水利发展的方向之一，主要内容包含河流生态环境的修复治理工程，水利工程的生态环境功能设计，河道（水库）水生态环境运行管理，和（危机）应急处理技术等方面。总的来说，生态环境水利工程技术的应用前景是十分广阔的。

国内外对水生态环境的有关理论有比较充分的研究，如《生态水利工程原理与技术》（董哲仁 孙东亚，中国水利水电出版社，2007）和《生态水工学探索》（董哲仁，中国水利水电出版社，2007）是我国有关生态水利工程方面的专门著作，对生态环境水利工程的理念、评价方法和有关的工程技术问题进行了全面的阐述。然而，生态环境水利工程还存在许多技术细节问题，需要通过工程实践不断完善，例如河道（河口）生态修复、河道（水库）水质控制、水利工程生态环境功能设计、感潮河道水环境改善、咸潮分析与应对、水库蓝藻控制、水污染处理技术等，都还需要进一步开展研究。

本书是根据广东省水利厅立项资助的“生态环境水利工程技术专题研究”项目的成果和广东省水利厅下达的“水危机应急管理及其处理技术”课题中的“水生态危机应急预案编制及处理技术”子课题的部分成果，结合课题组的工程实践总结而编写，并参考了其他有关文献、资料，特此向有关作者表示感谢。由于编者水平有限，书中疏漏和不当之处，恳请读者批评指正。

编著者

2013年4月

于广州

目录 //



前言

第一章 绪论	1
第一节 概述	1
第二节 水利工程与水生态环境	9
第二章 水利工程水环境功能	13
第一节 环境水力学基本理论	13
第二节 水利工程水质净化功能	17
第三节 水环境需水及其调节	28
第三章 水利工程生态功能	33
第一节 河流生态评估	33
第二节 改善小气候	34
第三节 涵养水源	37
第四节 固碳制氧	46
第四章 生态环境水利工程设计	50
第一节 生态环境水利工程的任务和目标	50
第二节 水利工程水质净化功能的设计	53
第三节 氨氮综合分析及其监控技术	57
第四节 蓄潮冲污工程的设计	59
第五节 河流生态恢复工程的设计	61
第六节 水库水质—生态系统模型的分析与监控技术	64
第七节 人工生态湖的最优设计	71
第八节 河流生态的修复技术	75
第九节 人工湿地技术	82
第十节 人工湿地计算理论	87
第五章 水生态环境危机应急技术	96
第一节 概述	96

第二节 咸潮处理技术	99
第三节 蓝藻处理技术	112
第四节 重金属污染处理技术	120
参考文献	130

第一章 绪 论

第一节 概 述

一、水生态

(一) 生态系统的基本概念

1. 生态系统

生态系统是指在一定的空间内，在生物群落与环境之间依靠物种流动、物质循环、能量流动、信息传递和价值流动等方式建立起来的相互联系、相互制约，并形成有自调节功能的整体。生态系统有几个特征：①生命是组成的主体；②生物种群、环境之间形成流动、转换、传递、交换的稳定循环关系；③系统不是处于绝对的周期性循环运动状态，而是处于动态演进的相对稳定循环状态；④生态系统受到外界的干扰，其循环变化的稳定状态会遭受破坏；⑤生态系统遭受外界的干扰较小时，其循环变化的稳定状态可以恢复，干扰大时，则不能恢复。

2. 生态系统的结构

生态系统各要素之间相互联系、相互作用的方式，即为生态系统的结构。生态系统的结构主要有两个：营养结构和时空结构。

(1) 营养结构。生态系统中，各生物种类之间存在一定的营养传递关系，并形成一种的稳定结构，如图 1-1 所示。首先，生物与环境之间也存在营养物质的环循关系：环境中存在的无机物质被绿色植物和某些细菌（生产者）通过光合作用制造为有机物质—碳水化合物，并进一步合成蛋白质和脂肪。这些有机物质为动物（消费者）提供生存、繁衍所必需的食物，并构成动物之间的食物链。动植物新陈代谢物质、残肢（枝）、落叶和枯死体等经过细菌、真菌、放线菌、土壤原生动物和部分小型无脊椎动物的分解，把复杂的有机物质还原为简单的无机物质，再回归到大自然中，从而完成生物与环境之间的营养物质循环过程。

动物之间的营养结构是由食物链来反映的，如图 1-2 所示。食物

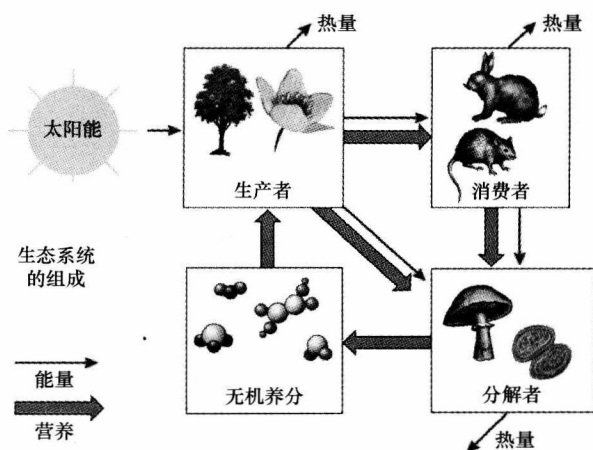


图 1-1 生态系统的组成



图 1-2 食物链

链是指有机物质的生产者（植物）、消费者（动物）和分解者（微生物）之间的食物连接关系。有机物生产者将无机物转化为有机物，生产出蛋白质和脂肪。消费者——动物没有能力利用无机物制造有机物，只能通过食用植物来获取所需的蛋白质和脂肪，以满足其生存和繁衍的需要。动物按其在食物链上的地位分为植食动物、一级食肉动物和二级食肉动物三类。植食动物，例如通常说的食草动物，是初级消费者。一级食肉动物是以植食动物为食物的动物，以一级食肉动物为食的是二级食肉动物。分解者分解动植物有机组织，并还原为无机物，回归大自然。

（2）时空结构。生态系统在空间上存在分层的结构现象，为了充分利用阳光、水分、营养物质和生长空间，经过长期的自我调节，形成一个优化的分层结构。在河流湖泊水域中，阳光辐照、水温等因素呈现分层的分布，水生物根据水环境的这一分布特征，也呈现分层的结构布局。浮游植物作为“生产者”主要聚集在水的表层，以充分利用阳光进行光合作用进行“生产”，为其他水生动物提供食物。浮游动物、鱼类等“消费者”，则生活在水域的中层，它们利用水域中的各种植物和相关的食物链关系生存和繁衍。微生物作为“分解者”则生活在水域的底层，它们的任务是分解有机物，并还原为无机物。

在深林中，高大的树木、低矮的灌木丛、各种藤蔓和草类之间也存在在空间的分层分布现象，以充分利用阳光、空间、水分和营养物质等生境资源。

由于光照、气温、水温、降水等生境要素在时间上存在一定的周期变化规律。因此，生态系统的动态变化也呈现一定周期性，按照日、旬、月、季、年等不同的时间尺度发生变化。生态系统在时间上的结构特点是变化的周期性。

3. 生态系统的功能

生态系统内主要有物种流动、能量流动和物质循环等功能，另外，由于生态系统与人类社会有着密切的关联，主要表现在生态系统对人类社会具有服务功能和人类社会对生态系统具有重大的影响。

（1）物种流动。生命是一个周期性的遗传过程，任何生命都经历孕育、出生（发芽）、生长、成熟、交配（授粉）、生殖繁衍后代、死亡等过程。不同的物种在其各个生长阶段会呈现不同的形态和特性，所需的生存空间、环境也不同，通过流动来寻找适合的生存空间和环境。物种流是指物种在空间位置的变动。物种流的特点是：有序、连锁、连续。物种在时间上具有季节性、阶段性（年幼、成熟）的先后次序的特点，种群向外扩张具有群体性的、连锁性的特点，种群的生态系统内部流动又具有连续性的特点。

物种流的方式各有不同，动物的流动是靠自身的迁移来实现，植物则是利用风力、水力和动物携带来实现种子流，洄游是部分鱼类的习性，是鱼类的一种流动方式。洄游鱼类

可以分为溯河产卵鱼类和降河产卵鱼类，主要原因是鱼卵、幼鱼与成鱼的生活习性差异较大，洄游距离十分重要，以确保幼鱼能够有足够的过渡时间，来适应新环境。一旦洄游鱼类的通道受到阻隔或改变，将危机洄游鱼类的生存。

(2) 能量流动和物质循环。生态系统能量流动是以食物链为通道进行，是生化能的形式流动，如图 1-3 所示。生态能量流动首先是生产者（植物）吸收太阳能，通过光合作用转化为碳水化合物、蛋白质和脂肪，为动物提供生存和繁衍所需的能量，微生物通过分解动物代谢物和残渣而获得能量。生态系统能量流动过程中向大气散热，释放部分能量，所以生态能量流动是单向递减的流动过程，符合热力学的第一定律和第二定律。

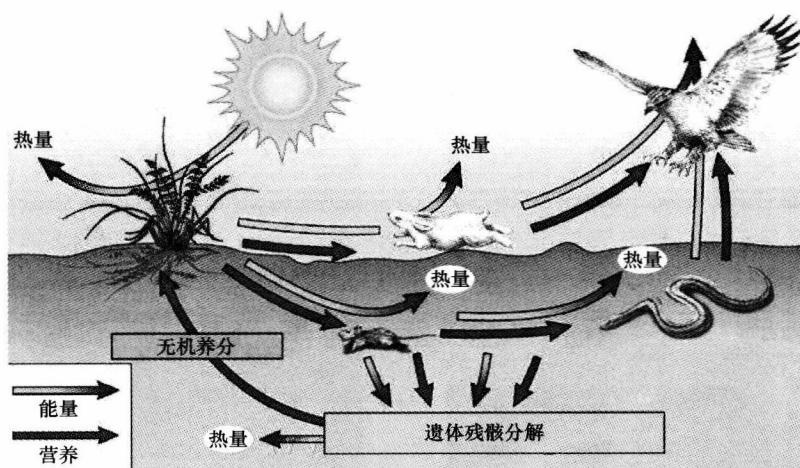


图 1-3 生态系统的能量流动和物质循环

生态物质循环是指各种营养物质的循环，如图 1-3 所示。营养物质在生物之间的流动以及它们在大气圈、水圈、岩石圈之间的流动构成一个循环，称为生物地球化学循环。营养物质在这个循环过程中，不断发生氧化、还原、组合和分解，并以不同的形式在陆地、水域和大气中循环运动。

生物系统的生物地球化学循环主要有水的循环和碳、氮、磷和硫的循环。其中水的循环是物质循环的核心。因为水是生命的载体，是一切物质循环和生物能量传递的介质。水的循环主要是指水文循环，海水的蒸发、云的运动、降水、地面径流、地下渗流、江河水流、江河水流汇入大海等环节构成一个循环的过程，它是生物地球化学循环的动力和依托。

(3) 生态系统服务。地球生态系统是人类孕育的摇篮，是人类生存和繁衍的乐园。地球生态系统为人类生存和人类社会可持续发展提供的物质和环境称为生态系统服务。生态系统服务的主要功能——对环境和资源的净化、再生和循环，形成一个生命支持系统。

(二) 淡水生态系统

地球生物圈可分为海洋生态系统和陆地生态系统两部分，如图 1-4 和图 1-5 所示。其中陆地生态系统可分为森林、荒漠、草地、河流和湖泊等生态系统。在水陆过渡地带还存在一个非常重要的生态系统——湿地生态系统（见图 1-6），从重要性角度来看，湿地

生态系统与森林、海洋生态系统并列为全球三大生态系统，它包括河流、湖泊和沼泽的生态系统和陆地与海洋过渡的海滨湿地生态系统。根据《关于特别是作为水禽栖息地的国际重要湿地公约》的定义：“湿地是指天然或人工，常年或季节性，蓄有静止或流动的淡水、半咸水、咸水的沼泽地、泥炭地或水域，包括低潮水深不超过 6m 的海域。”



图 1-4 海洋生态系统

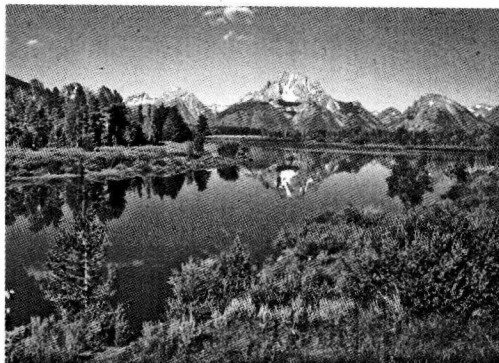


图 1-5 陆地生态系统



图 1-6 湿地生态系统



图 1-7 淡水生态系统

陆地生态系统是靠淡水来支撑的，同时淡水水域也构成一个相对独立的生态系统——淡水生态系统，它从属于湿地生态系统。淡水系统是指河流发源地、支流、干流、河汊、洪泛区、地下水层、水陆交错地带、湖泊、水库、沼泽地、入海河口等。淡水生态系统是指河流、湖泊等组成的淡水系统与动物、植物和微生物交织在一起形成的生态系统。

淡水生态系统（见图 1-7）可分为两类：动水生态系统和静水生态系统。动水生态系统是指河流生态系统，静水生态系统主要指湖泊、水库生态系统。

河流是淡水生态系统中重要的纽带，它将河流发源地、河汊、洪泛区、水陆交错地带、湖泊、水库、沼泽地、入海河口等连接起来，通过水流的运动把各种生物不可缺少的营养物质输送到各个部分。因此，河流是地球生态的大动脉。淡水生态系统的特点包括以下几个方面。

（1）生物群落与生境的一致性。生物群落是指在特定空间和特定的生境下，有一定生

物种类组成,具有一定结构和功能的生物集合体。维持生物多样性是保证生态完整性的重要条件,而生物群落的多样性是生物多样性的的重要组成部分。生物群落多样性是指生物群落的组成、结构和功能的多样性。生物群落多样性与所处的生境密切相关,生境是生物群落生存的条件,生境多样性是生物群落多样性的基础,一个地区丰富的生境能造就丰富的生物群落。如果生境的多样性受到破坏,必然影响到生物群落的多样性,生物群落的数量、密度、比例和生态功能等都会发生变化。水是生物群落生境的重要组成部分,水是生命的载体,是生物能量流动和生命物质循环的介质。地表水的形态是由水文循环和河川地理要素所决定的,降水的时空分布和河流的形态,对生态系统各种类型的形成起决定性作用。

(2) 淡水生态系统结构的整体性和复杂性。淡水生态系统的要素组成一个不可分割的整体。将生态系统的各组成要素分割开来就会破坏系统的整体性,分解的要素就不具备整体性的特点和功能。淡水生态系统主要是由生物链和生境所维系的,淡水中各类生物相互依存、相互制约、相互作用,形成了稳定的食物链结构。食物链结构的稳定性取决于生物群落的多样性,也受生境的变化影响。一个生态系统的生物群落多样性越丰富,食物链结构越复杂,其稳定性就越高。例如生物链为三维网状结构,即食物网,那么,由这种复杂的食物网组成的生态系统比简单直线型食物链组成的生态系统的稳定性要高得多,抵御外界干扰的承载力也高得多。

淡水生态系统的存在某些重要环节,一般称为“关键种”,关键种的缺失会严重割裂系统的整体性,破坏系统的稳定性,对生态系统产生重大的影响。

(3) 淡水生态系统的功能。淡水生态系统作为一个整体具有自我调控和自我修复的功能。生态系统是一个物质循环、能量流动和物种流动畅通的系统,它的建立需要在内部形成一个相互制约、相互协调的自我调控机制,以此来确保系统的循环和稳定。生态系统的自我调控关系是在长期进化过程中形成的,主要是在生物种群间、异种生物群间在数量上的调控。生态系统自我调控能力与生态系统的规模有关,规模越大自我调控能力就越强;反之,规模越小自我调控能力就越弱,当生态系统规模小到某一临界状态,就无法维持一个完整系统,生态系统就会崩溃。

规模大的生态系统,在生境变化时,只要不危及关键种的生存,可以通过自我调控改变生态系统的规模来适应外界条件的变化。淡水生态系统还具有水质的恢复功能,水生物所具有的有机物分解能力,可以降解水污染物,净化水质。同时,水体也具有自净能力,水体污染物在重力作用下沉淀或被底质吸附,水体中的生化成分也有助于发生生化反应使污染物降解、中和,从而改善水质。此外,流动水体还有稀释和冲污作用。所以,淡水生态系统的自我修复功能取决于水生物群落的特性,也与水体特性相关。

生态系统的稳定性与生态系统的自我调控和自我修复功能有关,生态系统的自我调控和自我修复功能越大,生态系统的稳定性就越高。淡水生态系统的自我调控和自我修复功能需要一定水量来维持,因此,在水资源的开发利用中应充分考虑生态的需水要求。

(三) 河流形态多样性

1. 水—陆与水—气两相边界的多样性

水域与陆地之间过渡地带式两种生境的交汇处,存在大量的淡水沼泽湿地和海滨盐生

沼泽湿地,其规模、分布和联结方式多种多样,由于其异质性高,使得生物群落的多样性的水平高,适应于水禽、鱼类、两栖动物和鸟类等多种生物生长。

河流与大气的接触面大,加上水体的流动与大气相互作用,使水体含有丰富的氧气,为水生物提供必要的氧分。河流的水—气两相边界的多样性主要是指河流出现的急流、跌水和瀑布等曝气作用明显的河段,与此相应,河流生态系统中的生物大多都是需氧量相对较强的生物。

2. 河流上下游的生境异质性

河流大多起源于山区,其出海口大多为平原地区,要经历山谷、丘陵和平原地区。河流上游地区一般比降较大,流速大,水流冲刷力强,河流底质多为河卵石,中下游比降小,流速小,冲刷力弱,河流挟带的泥沙大多沉积在中下游。中下游河流宽阔、水深大、河汊多。在出海口还存在咸淡交汇区域——三角洲,这些河流大多受到海潮的影响。

河流上、中、下游的气候、水文和植被差异性也大,有山区、平原、海滨不同地区的气候和降雨条件,河流上、中、下游地区适应不同植物的生长,不同的植被对河流基流影响极大,其中生长的物种也千差万别。

3. 河流纵向形态的蜿蜒性

河流的自然形态大多是蜿蜒曲折的,不存在纯粹的直线或折线河道,有些河流可以比较顺直,但也呈现局部弯曲或微弯形态。河流蜿蜒性使得河流形成主流、支流、河湾、沼泽、急流、浅滩、深潭等丰富多样的生境。造成河流蜿蜒性的条件是自然河道的非均匀性和非对称性,水流在河道演进时,发生偏向冲刷岸边,形成弯曲和深槽,水流经岸边折射、扩散,形成浅滩急流,反射水流在河流另一侧又产生冲刷,形成另一侧的弯道和深槽,由此产生交替的深槽—浅滩系列,也形成河道蜿蜒曲折的走势。

多变的地质条件也使河流呈现多姿多彩的变化,沿着断裂带形成深槽、峡谷,地面突然起伏形成瀑布,突然出现巨石形成的回转,平原地势形成宽阔的水面和河网等,丰富的生境演化出种类繁多的生物群落,急流浅滩的鱼类具有适应高速水流生存的流线体型,为防止被急流冲走,有些生物可以持久附着在河卵石上,有些具有吸盘和钩作为吸附器,有些下表面具有黏着性。深潭流速低,成为各种生物的避难所。

4. 河流断面的多样性

由于河流水文的季节性变化,自然河流断面分为主河槽、洪泛区和过渡带坡地。主河槽是河流正常流道,其顶部宽度为平滩宽度,相应流量为1.5年一遇的洪水流量,此时水位为平滩水位。洪泛区是行洪主要断面,位于主河槽两侧的河滩地,只有汛期被洪水淹没。过渡带坡地是自然河岸坡地,受洪水的冲刷和泥沙淤积,过渡带会不断改变,植被有助于稳定过渡带坡地。

河滩地和过渡带可以发展为多种动植物栖息的生态环境,可以形成各种各样的浅滩、河湾、沼泽湿地、积水洼地,湿润的环境可供鱼类、软体动物、鸟类、两栖动物和昆虫生长和繁衍,鸟粪和鱼类排泄物肥土有助水生植物生长,水生植物又是某些鸟类的食物,形成有利于各种动植物生长的食物链。

5. 河床底质的多样性

河床底质是由岩石、卵石、砂砾、细砂、黏土和大量的有机沉积物组成。河流大部分

有透水性河床，透水性河床为地表水和地下水提供畅通的通道，保证地下含水层的水量补给。透水性河床适应于各种水生和湿生植物以及微生物的生长，特别是微生物，它们将植物的枯干、残叶，动物尸体、残肢等有机物质统统分解，还原为无机物，完成食物链最后一个环节——分解，实现生态系统物质循环。

二、水环境

水环境是由水体质量来反映。水质是指水和水中所含杂质共同表现出来的综合特性，它取决于水体感官性状、物理化学性质、生物组成和所含成分以及底质情况。水质需要从多个方面来反映，由众多的物理、化学和生物指标来表述，这些描述水质的参数就是水质指标，也就是说水质是一个指标体系。

1. 水质指标体系

水质指标体系分为物理性水质指标、化学性水质指标和生物性水质指标三大类。

(1) 物理性水质指标。

1) 感官物理性状指标。主要有温度、色度、浊度。主要反映水的清洁、纯净和鲜活等的外观特性，如图 1-8、图 1-9 所示。

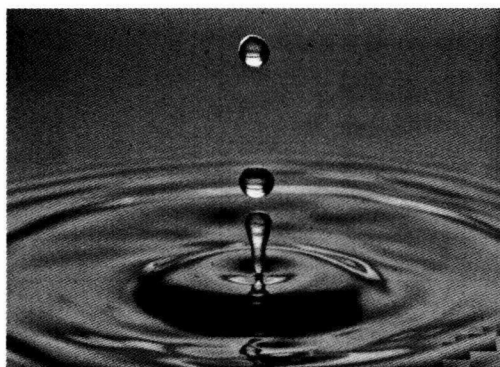


图 1-8 纯净水



图 1-9 优美的水环境

2) 其他物理指标。主要有容重、密度、导电率、放射性、悬浮物含量、推移质含量等。

(2) 化学性水质指标。

1) 一般化学性水质指标。主要有 pH 值、硬度、各种阳离子、含盐度、一般有机物含量等。

2) 有毒的化学性水质指标。主要有各种重金属、氰化物、多环芳烃、各种农药的含量等。

3) 氧平衡指标。主要有溶解氧 (DO)、化学需氧量 (COD)、生物需氧量 (BOD)、总需氧量 (TOD) 等。

(3) 生物性水质指标。一般包括细菌总数、总大肠菌群数和各种病原菌、病毒含量等。

2. 水质标准

满足人民生活或工农业生产需要的最低水质指标即为水质标准。人民生活、工农业生产或其他需水用户对水质的要求是不一样的，有些要求高，有些要求低。因此，应根据各种要求，进行水质分类。地表水按其水环境功能和保护目标，从高到低将水质标准划分为五类。

I类：适用于源头水、国家自然保护区。

II类：适用于集中式生活饮用水地表水源地一级保护区、珍稀水生生物栖息地、鱼类产卵场、仔稚幼鱼的索饵场等。

III类：适用于集中式生活饮用水地表水源地二级保护区、鱼虾类越冬场、洄游通道、水产养殖区及游泳区。

IV类：适用于一般工业用水区及人体非直接接触的娱乐用水区。

V类：适用于一般农业用水区及一般景观要求水域。

根据《地表水环境质量标准》(GB 3838—2002)，相应的指标限值见表 1-1。

表 1-1 地表水环境质量标准基本项目限值 单位: mg/L

序号	标准分类项目	I 类	II 类	III 类	IV 类	V 类
1	水温 (°C)	认为造成的环境水温变化应限制在: 周平均最大升温 ≤ 1 , 周平均最大降温 ≤ 2				
2	pH 值	6~9				
3	溶解氧 $\geq$	饱和率 90% (或 7.5)	6	5	3	2
4	高锰酸钾盐指数 $\leq$	2	4	6	10	15
5	化学需氧量 (COD) $\leq$	15	15	20	30	40
6	五日生化需氧量 (BOD ₅) $\leq$	3	3	4	6	10
7	氨氮	0.15	0.5	1.0	1.5	2.0
8	总磷 (以 P 计) $\leq$	0.02 (湖、 库 0.01)	0.1 (湖、 库 0.025)	0.2 (湖、 库 0.05)	0.3 (湖、 库 0.1)	0.4 (湖、 库 0.2)
9	总氮 (湖、库, 以 N 计) $\leq$	0.2	0.5	1.0	1.5	2.0
10	铜 $\leq$	0.01	1.0	1.0	1.0	1.0
11	锌 $\leq$	0.05	1.0	1.0	2.0	2.0
12	氟化物 (以 F ⁻ 计) $\leq$	1.0	1.0	1.0	1.5	1.5
13	硒 $\leq$	0.01	0.01	0.01	0.02	0.02
14	砷 $\leq$	0.05	0.05	0.05	0.1	0.1
15	汞 $\leq$	0.00005	0.00005	0.0001	0.001	0.001
16	镉 $\leq$	0.001	0.005	0.005	0.005	0.01
17	铬 (六价) $\leq$	0.01	0.05	0.05	0.05	0.01
18	铅 $\leq$	0.01	0.01	0.05	0.05	0.1
19	氰化物 $\leq$	0.005	0.05	0.2	0.2	0.2

续表							
序号	标准分类项目		I 类	II 类	III 类	IV 类	V 类
20	挥发酚	≤	0.002	0.002	0.005	0.01	0.1
21	石油类	≤	0.05	0.05	0.05	0.5	1.0
22	阴离子表面活性剂	≤	0.2	0.2	0.2	0.3	0.3
23	硫化物	≤	0.05	0.1	0.5	0.5	1.0
24	粪类大肠菌群 (个/L)	≤	200	2000	10000	20000	40000

第二节 水利工程与水生态环境

一、水利工程对水生态环境的影响

本节主要讨论水利工程对淡水生态系统的胁迫形式，生态学把自然界和人类活动对生态系统的干扰称为胁迫。自然界对淡水生态系统的干扰主要是由气候变化、地震、火山爆发、山体滑坡、地陷、台风（飓风、旋风）、大洪水、河流改道等引起，其对淡水生态的影响大多都能恢复，或者向另一种状态发展，建立新的动态平衡系统。而人类活动对淡水生态系统的影响始于现代人类社会大规模经济活动，其对淡水生态系统的影响是严峻的，是淡水系统自身难于恢复的。水利工程的建设和管理对淡水生态系统也产生一定程度的影响。人类活动和水利工程建设对淡水生态系统产生的影响主要有以下几个方面。

1. 水污染

由于工业和生活废水的排放，农田施用化肥和杀虫剂均对河流水体造成污染，对河流生态产生胁迫。水污染严重影响自然河道和市镇引水系统的水质，危及居民健康，影响水生动物的栖息条件，还会造成河流廊道内植被的退化，进而通过食物链的作用造成淡水生态系统的退化。

2. 水资源过度开发

为了供水、灌溉等目的，从河流、水库中超量引水，使河流径流量无法满足生态用水的最低要求，会对河流生态系统产生消极的影响。河流径流减少，会降低河流流速、水深和水面积，从而影响水生动植物的生存空间和环境，也影响鱼类产卵等的生理活动，对河流生态环境的物种分布和丰度都产生消极的影响。河流径流减少，降低河流的造床能力，使河流生境条件改变，也会降低河流水体的纳污能力，致使水污染进一步加剧，并与生态退化现象耦合，形成恶性循环。

3. 地面硬化化

随着城市化进程的加速，大量土地用于兴建沥青或混凝土道路、广场、停车场、住宅区、工业厂房、公共和生活设施等，影响动植物的栖息和生存空间，导致城市河流生物群落萎缩，种植物退化。地面硬化化程度高，直接影响水文循环条件，地面对雨水的含蓄能力降低，径流系数大，汇流时间短，流量大，导致严重的城市雨洪淹浸问题。

4. 自然河道的渠化

在大部分河道治理工程中，自然河道均被直线化，河道断面规则化，堤防和护岸硬质

化,使得河道生境的多样性遭受破坏,自然河流特有的蜿蜒性特征消失,改变河流原有的深潭与浅滩交错、急流与缓流交替的格局以及河流河滩地的自然布局,导致河流生态系统结构与功能的变化,降低生物群落的多样性,促使淡水生态系统的退化。

5. 自然河流的非连续化

水利工程利用拦河大坝将自然河流截断,改变自然河流生态的连续性规律:营养物质输送的连续性、生物群落的连续性和信息流的连续性。营养物质以河流为载体,随着自然河流的水文周期性的变化,进行营养物质交换、扩散、转化、积累和释放,实现营养物质周期性、连续性的输送。水生动植物沿自然河流形成上下游连续、有序分布的生物群落,洄游性鱼类依靠河流连续性来维持物种的交流和传递。自然河流的季节性洪水变化,还对河流四周生物发出一种特殊的信息,这些生物依照这种信息进行繁衍、产卵和迁徙,因此,自然河流的运动规律还肩负生命信息传递的任务。

河道治理中,堤防工程也破坏了河流与陆地之间的生态连续性。

因此,河流非连续化会造成生物群落多样性的退化,使某些物种消失,对生态系统产生胁迫效应。

6. 大型调水工程

跨流域的调水工程,影响水系的自然水文条件,改变流域、水系的自然格局对水域和陆地生态系统均产生胁迫效应。

二、水利工程的水环境与水生生态功能

水体的自净是受到污染的水体,在自身的物理、化学和生物等方面的作用下,使水中污染物浓度下降的过程。水体的自净能力是有限的,当进入水体的污染物数量超过一定界限时,水体就会丧失自净能力,造成永久性的污染,这一界限称为水体的自净容量或水体的环境容量。

水体自净作用按其发生的机理可分为三类:物理自净、化学自净和生物自净。

物理自净是指污染物进入水体后,因改变其物理形状、空间位置,而不改变其化学性质,不参与生物作用,使水中污染物浓度下降的过程。如污染物进入水中所发生的混合、稀释、扩散、挥发、沉淀等过程。水体物理自净能力与水量多少有关,一般大体积水域如海洋、湖泊、水库和大流量的河段等其物理自净能力较大。

化学自净是指污染物在水中以简单或复杂的离子或分子状态迁移,并发生化学元素性质、价态上的转化,使水质也发生了化学性质的转变,但未参与生物作用,这些化学自净过程降低了污染物的迁移能力和毒性,改善了水质。化学自净主要反应有:中和、氧化还原、分解—化合、吸附—解吸、胶溶凝聚等。影响水体化学自净能力的因素有:温度、酸碱度(pH值)、氧化还原电位等。

生物自净是指水体中的污染物经过生物吸收、降解作用,使污染物消失或浓度降低的过程。主要作用类型有:生物分解、生物转化和生物富集等。生物自净能力在水自净能力中占有重要位置。影响生物自净能力的因素有:生物的种类、环境的水热条件、供氧状况等。例如,在水温为20~40℃、pH值为6~9、养料充分、空气充足的条件下,好氧微生物繁殖旺盛,对水中有机物质的分解能力强,将有机物氧化转化为CO₂、H₂O、硫酸

盐、磷酸盐和硝酸盐等，使水质改善。

（一）水利工程的水环境功能

水利工程在改善水质环境方面可以发挥特殊的功能，例如水利工程形成的水库可以提高水体自净功能；泄水和消能水工建筑物利用水流与空气的高速混掺使水体获得大量的溶解氧，有利于增强河道自净能力。

实践证明，水库的水质一般较好，特别是大中型水库的水质大多可以达到Ⅰ、Ⅱ类水质标准，说明水库水体容积大，其自净能力大，有利于水质的改善，增大河流的纳污量，特别是下游的河道的纳污能力。水库排放水质较好，有利于改善下游河道的水质，其次水库合理调节保证下游河道的生态需水 and 环境需水，也有利于改善下游河道的水质。

水利工程的溢流、孔口、消能设施等的水流比较湍急、水气摩擦激烈，有利于河道水体复氧，增加水体的溶解氧，为污染物的降解和水生物的生存提供必要的溶解氧，有利于河道的水生态和水质环境改善。

利用水利工程设施可以实现引潮冲污和促进水循环的功能。滨江和滨海城市，由于受到外江水位或海潮的顶托，城区内的河道、湖泊等水域水流排泄不畅，加上污染影响，营养物质富集，水体溶解氧缺乏，造成城区水域黑臭，严重影响城市水环境。根据潮水的涨落规律，利用水利工程的水闸等设施，进行水量调配和控制，促进城市河道和水域的水循环、稀释污水，增加水体溶解氧含量，可以大大改善城市水环境。必要时，也可以利用泵站提水冲污，促进水循环，改善水环境。

对于受蓝藻影响的湖泊、水塘等水域，也可采用引水冲污的方式，排泄湖泊和水塘的营养物质，减少蓝藻生长所需的养分，抑制蓝藻的爆发，从而改善水质和水生态。

水利工程建设可以形成较好的水面景观、美化周边环境，改善周边小气候，减少城市热岛效应。在现代经济社会中，良好的水面景观和水生态环境，有利于城市的发展和建设，例如水面景观就是房地产开发的重要题材，对房产增值有重要的影响。水面景观也是城市休闲文化和水文化的重要载体，可以在一定程度提升市民的生活质量和幸福指数。

（二）水利工程的水生态功能

一般来说水利工程建设主要是实现各种兴利除害的目标，然而水利工程也具有一定的生态功能。虽然水利工程建设在一定程度上会影响河流生态环境，但只要在水利工程建设中兼顾水生态环境的保护、修复和美化环境的要求，就可以将其对水生态的不利影响降至最低，并充分发挥其生态功能。

1. 城市水利工程

在城市防洪治涝工程中，需要大量治理河道、堤岸及其过渡区，可以结合小环境的生态、水质治理和人文环境的需要，在实现防洪治涝目标的同时实现小环境的生态、水质治理和人文环境的建设目标。

利用河道、小溪的生态治理，通过绿化工程和水生态堤岸治理工程，利用水边水生植物产生大量的负离子和氧气，可以改善周边小环境的小气候，形成生态宜居环境。河岸的绿化地带也有利于改善城市热辐射特性，减缓热岛现象，也可以营造优美的水景观（见图1-10）和休闲场地，促进水文化和人文环境的健康发展，也可以促进周边房地产的发展