

# 水污染控制工程与水环境保护研究

李宁 马刚 王国冬 主编



中国标准出版社



扫一扫

用手机扫一扫中国标准出版社网站



中国质量标准出版传媒有限公司  
中国标准出版社

图书在版编目 ( CIP ) 数据

水污染控制工程与水环境保护研究 / 李宁, 马刚,  
王国冬主编. —北京: 中国质量标准出版传媒有限  
公司, 2022.12

ISBN 978-7-5026-5119-0

I. ①水… II. ①李… ②马… ③王… III. ①水  
污染—污染控制—研究 ②水环境—环境保护—研究  
IV. ① X520.6 ② X143

中国版本图书馆 CIP 数据核字 ( 2022 ) 第 208819 号

中国质量标准出版传媒有限公司 出版发行  
中国标准出版社  
北京市朝阳区和平里西街甲 2 号 ( 100029 )  
北京市西城区三里河北街 16 号 ( 100045 )

网址: [www.spc.net.cn](http://www.spc.net.cn)

总编室: ( 010 ) 68533533 发行中心: ( 010 ) 51780238

读者服务部: ( 010 ) 68523946

中国标准出版社秦皇岛印刷厂印刷

各地新华书店经销

\*

开本 787 × 1092 1/16 印张 17 字数 342 千字  
2022 年 12 月第一版 2022 年 12 月第一次印刷

\*

定价: 85.00 元

如有印装差错 由本社发行中心调换

版权专有 侵权必究

举报电话: ( 010 ) 68510107

水孕育生命，滋润万物。水是基本的自然资源，是组成生命世界、生态环境的重要控制性要素。水又是战略性资源，是一个国家综合国力的有机组成部分。当今世界面临的人口、资源、环境和粮食等问题，都与水密切相关。水与人类、水与社会、水与经济、水与环境、水与生态、水与文化、水与旅游等人类水事活动已日益成为人们关注的热点，并形成和发展为水事科学这一独立的科学研究体系。水又是人类和一切生物生存不可缺少的物质基础，是现代工农业生产的重要资源。

随着全球经济的发展，全球性环境问题相继出现，使人类生存和发展面临巨大的挑战。水环境污染和水资源短缺是现在和未来很长一段时间全球必须面对的环境问题之一。如何在短期内有效控制水环境污染，保护日益短缺的水资源，成为每一位环境保护工作者肩负的重大使命之一。

本书以水资源和水环境为研究对象，充分利用系统工程的理论与方法，研究水污染与水环境、污水处理工艺、工业废水处理、非点源污水控制、水资源利用与保护、水生态保护与修复、水环境综合整治规划、城市水资源与水环境保护及污水处理的自动控制与运行管理等问题。本书旨在使从事环境学科的青年学子全面了解水环境污染现状与危害，系统

学习和掌握水环境污染控制工程以及水环境保护的基本理论和工程技术知识，以期为未来的水环境污染治理、水生态环境恢复和水资源保护培养专业人才。

由于编者水平所限，本书难免存在一些疏漏和不当之处，敬请读者批评指正。

编 者

2022 年 10 月

<b>第一章 绪论</b> .....	1
第一节 水资源与水环境概述 .....	1
第二节 水资源与水环境系统 .....	13
<b>第二章 水污染与水环境</b> .....	22
第一节 水污染 .....	22
第二节 水体自净 .....	27
第三节 水污染危害及防治 .....	28
第四节 水质监测、评价与预测 .....	33
<b>第三章 污水处理工艺</b> .....	43
第一节 物理与化学处理 .....	43
第二节 物化与生物处理 .....	46
第三节 污水处理与回用 .....	48
第四节 污泥的处理 .....	56
<b>第四章 污水处理的自动控制与运行管理</b> .....	62
第一节 污水处理的自动控制 .....	62
第二节 污水处理工程调试 .....	71
第三节 污水处理工艺运行与管理 .....	77
<b>第五章 工业废水处理</b> .....	90
第一节 工业废水处理方法 .....	90
第二节 制药废水处理 .....	96
第三节 乳制品厂废水处理 .....	105
第四节 酒精厂废水处理 .....	110

第五节 油脂废水处理 .....	123
<b>第六章 非点源污水与水体修复</b> .....	<b>132</b>
第一节 非点源污水概述 .....	132
第二节 污染水体的微生物修复 .....	134
第三节 污染水体生态修复技术 .....	140
<b>第七章 水资源利用与保护</b> .....	<b>161</b>
第一节 水资源开发利用 .....	161
第二节 水资源可持续利用 .....	169
第三节 水资源优化配置 .....	176
第四节 水资源保护与管理 .....	180
<b>第八章 水生态保护与修复</b> .....	<b>190</b>
第一节 生物多样性保护技术 .....	190
第二节 湖泊生态系统的修复 .....	193
第三节 河流生态系统的修复 .....	200
第四节 湿地的生态修复 .....	201
第五节 地下水的生态修复 .....	208
<b>第九章 水环境综合整治规划</b> .....	<b>211</b>
第一节 水环境综合整治规划的基本知识 .....	211
第二节 水环境功能区划分基本原则与步骤 .....	217
第三节 水环境综合整治规划方案优化决策 .....	223
第四节 水环境综合整治规划方案的实施与管理 .....	229
<b>第十章 城市水资源与水环境保护</b> .....	<b>238</b>
第一节 城市化与水资源水环境 .....	238
第二节 水污染防治和水环境保护 .....	242
第三节 城市水资源管理系统 .....	253
第四节 创建节水型社会 .....	261
<b>后记</b> .....	<b>264</b>
<b>参考文献</b> .....	<b>265</b>

## 第一节 水资源与水环境概述

### 一、水资源概述

#### (一) 水资源的资源性解析

现代经济的高速发展和人口的增长给现有的资源带来越来越大的压力，如何有效地使用稀缺资源，已经引起全世界的关注。水资源作为重要的自然资源之一，既具有一般自然资源的共性，又有其特性。

##### 1. 水资源的共性

水资源作为重要的自然资源，其具有的与其他自然资源的共同特点大致可以分为5个方面，即有限性、整体性、地域性、多用性和不确定性。

##### (1) 有限性

有限性又称为稀缺性，是资源最重要的特征。水资源的有限性包含两个方面的含义：①地球上总的水体积大约为14亿 $\text{km}^3$ ，其中只有2.5%是淡水，或者说只有0.35亿 $\text{km}^3$ 是淡水。能被人类所利用的水资源主要是湖泊、河流、土壤湿气和埋藏相对较浅的地下水盆地，这些水资源中可用的部分仅有20万 $\text{km}^3$ ——不足淡水总量的1%，仅为地球上水资源总量的约0.01%。②可替代水资源的品种是有限的。作为人类生存必需的淡水，至今还没有找到可以替代它们的物质。水资源有限这一事实提醒人们，如果人类社会经济和人口增长按目前的趋势（发展速度和发展模式）继续发展，那么世界的人口密度会更大、污染会更严重、生态会更不平衡。水资源的有限在现在就已经对全球经济发展产生了不良影响。水资源的可供数量减少、供不应求的矛盾已经成为全球经济发展的“瓶颈”。概括地说，由于水资源的有限性，人类社会经济发展的速度可能已经超过因科学技术水平的提高而使水资源增长的速度，一些地区甚至超过了水资源的再生速度，全球社会经济的短期和长期发展存在着潜在的、现实的阻碍，人类社会经

济活动可能面临停滞甚至崩溃的危险。这就是 20 世纪后期，很多国家在出现水资源匮乏和所谓的“人口爆炸”危险时相继提出的“水资源危机”问题。

因此，人们现在所面临的已经不是水资源能否满足经济发展需要的问题，而是水资源现状已经约束甚至阻碍了经济发展的现实。由于人口的增长，人们对物质和文化消费的需求增加，现有水资源已经不能保证人们的物质和文化生活在未来相当长的一段时间里保持现有的水平，社会经济也不可能以现在的速度持续地发展。水资源危机以及这种危机给人们的生产、生活带来了多方面的影响，迫使人们不得不重新思考经济发展真正的含义、模式、动力和道路。零增长是不可能的，因为国际上发达国家与发展中国家在经济实力上以及在水资源上的巨大差距，使零增长方案实际上起到了永远保持这种不平衡的作用。只有经济增长才能提高科学技术水平，合理利用水资源才能给开展和加强环境保护提供更多的资金和方法。限制人民生活水平的提高是与社会发展方向和人类文明基本原则相违背的，也是不可取的。即使经济和人口都实现零增长，水资源仍然以现有的速度耗竭，水资源危机仍然存在。所以，零增长这种消极的措施无法解决现有问题。事实上，人口、资源、环境与经济有机且长期协调发展是可能的。因为虽然短期由于技术水平的限制，人们在水资源的可利用方面确实存在极限，但只要人们对水资源加以充分有效的利用，并努力开展科学技术研究，提高认识、改造和利用自然的能力，从长期看，水资源的数量和品种是会增加的。协调发展的前提是人们在短期内必须对现有水资源进行充分利用。经济增长的道路必须是效益型的，而不是浪费型的；经济增长的特点必须是内涵型或集约型的，而不是粗放经营型的。总之，必须在短期内使资源的配置达到最佳，这也是资源经济学所探讨的核心问题。因此，人类未来的前途掌握在人类自己手里，未来是好是坏，取决于选择什么样的经济增长战略。

## （2）整体性

各种资源，特别是自然资源，在生物圈中相互依存、相互制约，构成完整的资源系统。其中，任何一个要素的变化，必然要引起其他要素的相应变化。各要素又相互作用，互为因果，交织在一起，共同构成一个统一的整体。譬如，自然资源之间，自然资源与环境资源之间，构成一个相互联系的有机整体。它们之间存在着近似“连环套”一样相互制约的关系，任何一个要素的变化，都会影响整个自然资源系统的变化。这种整体性特点表明，开发利用水资源，应具有全面的观念，实行综合利用。

## （3）地域性

水资源在地域分布上极不平衡，其组合形式千差万别，从而形成了各具特色的地区性水资源特点。中国水能资源的 70% 分布在西南四省市和西藏自治区，其中，以长江水系为最多，雅鲁藏布江水系次之。黄河水系和珠江水系也有较大的水能蕴藏量。目前，已开发利用的地区，集中在长江、黄河和珠江的上游。资源的地域性提醒人们，在经济发展的过程中要特别注意发挥地区性优势，同时水资源的利用应遵循因地制宜、

扬长避短和择优利用原则。

#### (4) 多用途性

水资源一般具有多种功能和用途。换句话说,水资源可以作为不同生产过程的投入要素。不同的行业对资源存在着投入需求,同一行业的不同部门以及同一部门的不同经济单位,甚至于同一经济单位的不同企业或同一企业的不同车间、班组或工序都会同时存在水资源的需求。

正是由于水资源在数量上是有限的,在用途上是多方面的,才存在将有限的水资源如何在不同用途上进行最优分配的问题。这种将有限资源进行最优配置的一般科学分析就是人们所说的经济分析或经济学。西方经济学家认为,经济学的根本问题就是研究资源在整个社会的不同方面和不同时期得以最优配置的可能性和手段。他们将经济学的研究对象概括为4个方面,即生产什么、怎么生产、为谁生产和何时生产。这4个方面同时也确定了水资源投入的4个方面,即投入什么生产过程、怎么利用水资源投入、为谁而进行水资源投入和何时进行水资源投入。

#### (5) 不确定性

水资源利用的不确定性普遍存在,具体可分为需求的不确定性、技术上的不确定性、资源供给的不确定性、资源价格的不确定性和资源财产的不确定性5个方面。不确定性问题的存在意味着水资源利用上可能存在着若干危险:①最大的危险是水资源耗竭,新的替代能源尚未发现;②人们需要的是“预防性”行为而不是“反馈性”行为;③由于对环境恶化产生的后果知之甚少,人们的行为应尽量留有余地;④寻找未来水资源利用的可行途径,要做出一系列的技术变革,未来水资源具有“公共财富”的性质,其研究缺乏动力,需要政府财政支持与政策参与;⑤市场价格与水资源形势不吻合,导致难以反映稀缺状态。

水资源保护的目的是使其在时间上的配置达到社会优化。考虑水资源的物理特点和生态经济特征,就会考虑水资源的不可再生、技术进步对潜在水资源开发的作用以及水资源利用的外部数量等方面的问题,并以此来制定和选择水资源保护的政策。水资源保护政策,首先要求厘清现在水资源的消费将在何种程度上妨碍或增加未来的消费。谨慎、克制和反对冒险是面对涉及时间范围长、存在大量不确定性或不可逆问题的最好态度,即使某种选择带来灾难性后果的概率非常小,也应极为谨慎。

### 2. 水资源的特性

与其他自然资源相比,水资源具有一些明显的特性,概括如下。

(1) 可更新性与不可替代性。温度的变化能改变水的形态。通常液态水和固态水在0℃便可随受热或遇冷而相互转换;液态水和气态水在100℃随受热或遇冷而相互转换;液态水也可以通过蒸发变成气态。因此,水在一年内随季节的变化不停地参与循环变态作用,通过水的大循环、小循环,周而复始地为陆地提供水资源,从

而保证陆地水的不断更新，这体现了水的可更新性。不可替代性是水的独有性质。水主要以液态形式存在于生物圈，水直接参与生物机体的生理作用，保持生物体的水分平衡，维持生物的生命。同时，水也直接参与工农业生产。水的这种不可替代性正是其宝贵所在。

(2) 利用上的多用性。许多经济部门利用水的方式各不相同，有的要消耗水量（农业灌溉、工业和城市用水），有的只利用水的能量（水电站），有的则主要利用水体环境而不消耗水量（航运和渔业等）。通常，开发一条河流能同时满足多个用水部门的需要，体现了水综合利用的特点。

(3) 经济上的双重性。即具有兴利和除害的两重性。江河水既能为生产建设和人民生活服务，也会因水量太多导致洪水、内涝或水量太少导致干旱，进而给人民生活 and 财产造成损失。因此，水资源的开发利用必须将兴利和除害结合起来。

(4) 补给上的循环性。水资源属于再生资源，不像矿藏等资源有固定的储量，不断往复的水循环运动使水资源得到补充。据测算，每年降水形成地表径流和浅层地下水，水量不会增加也不会减少，但是伴随人口的不断增长，人均水资源量是不断减少的，所以循环的实质是保证水资源的有限数量，并不是提供“取之不尽，用之不竭”的水资源量。

(5) 时空分配上的多变性。水是自然地理环境中活跃的因素，它通过水循环过程对周围环境产生影响，因此，无论是水资源的数量还是质量，都是多变的。不同地区水资源的数量差异很大；同一地区同一年内分配不均，多年之间相差也很大，常有连续多水或少水现象发生；水资源的质量也因周围环境和人类活动的影响而变化。

(6) 二元结构性。水体资源是自然水体系统与人类社会系统双向作用的产物。同其他自然资源一样，水资源也是自然物，既具有完成自然界物质循环和能量传递的自然属性，也具有自然物上附加的人类千百年来利用、改造水资源的社会经济文化结晶，即社会属性。概括来说，水资源具有二元结构性。自然属性指水资源的循环性、有限性、地域性，还有多用性和多变性等。社会属性可从3个角度来认识：①对水资源的认识、评价、利用具有社会性，主要指随着科技发展，人类利用水资源的范围和深度不断扩大；②水资源中，有人类的附加劳动，主要指人类对水资源的附加劳动，水资源的价格应包括人类所付出劳动的代价；③水资源是生产力的组成部分，水资源和劳动一起构成国民财富的源泉。

## （二）水资源的概念

### 1. 水资源概念的内涵与外延

#### （1）水资源的内涵

《大不列颠大百科全书》认为“自然界一切形态的水”都算水资源。《资源科学百

科全书》中水资源被定义为“可供人类直接利用、能不断更新的天然淡水，主要指陆地上的地表水和地下水”。显然，这里水资源被界定为自然资源范畴。

1988年，联合国教育、科学和文化组织（UNESCO）以及世界气象组织（WMO）给出的水的定义为：“作为资源的水应当是可供利用或可能被利用，具有足够数量和可用质量，并且可满足某地对水资源的需求且能长期供应的水源。”显然，这里已经涉及社会资源范畴。

水资源属于资源的一部分，水资源的定义应当反映资源的基本内涵和外延，并体现出其自身的基本属性。

## （2）水资源的外延

资源的内涵和外延随着社会生产力的发展、科学技术的进步和人类认识的深化而不断拓展。周光召主编的《21世纪学科发展丛书（资源科学卷）》认为，“从现代的认识来看，资源由自然资源、社会资源和知识资源3部分组成”。自然资源是指人类可以利用的自然形成的物质与能源，是可用的自然物；社会资源是指在一定的时空条件下，人类通过自身劳动，在开发利用资源过程中所提供的物质和精神财富的统称；知识资源是从社会资源中剥离出来的一类资源。

水资源属于资源的一部分，具有资源的共性，应由自然水资源（如江河湖泊、地下水）、社会水资源（如水产品或水商品）、知识水资源（即水资源知识，如水资源学）3部分组成。首先，水资源是自然资源；其次，水资源通过人类开发、利用、治理、配置、节约与保护活动被转化为物质财富和精神财富，形成社会资源；最后，由于水利实践发展的需要而从社会资源中剥离出来的关于水资源的学问，形成知识资源。通常所说的水资源，一般特指作为自然资源的水资源，在我国现行《中华人民共和国水法》体系框架下，作为自然资源的水资源，尚未附加人类劳动，属于国家所有；但是其取水权或使用权可以依法取得，取得的前提条件是投入取水设施或设备附加自然水资源以及人类劳动，使自然水资源转化为社会水资源，同时，又不对自然资源和生态环境造成不良影响；作为社会水资源的水源，属于劳动产品或用于交换的劳动产品，其所有权和使用权属于开发利用自然水资源的主体，水产品可依法自行消费或者转让。

## 2. 水资源概念的新发展

从经济学角度而言，水作为资源必须具备两个条件；（1）具有使用价值；（2）具有稀缺性。由此可将水资源定义为：在现有经济技术条件下，能够为社会服务的、具有生态价值和可持续利用特性的、制约经济活动的各种水体。所以，水资源的含义必须同时兼顾经济（社会）、技术、生态3个要素，水资源是天然水量和扣除经济、技术条件下不能加以利用的水以及应视为生态资源的水。

上述定义可用如图1-1所示的四环示意图表示。

图 1-1 中最外层的大环 S，表示江河湖海以及地下埋藏的天然水储量。在大环中有 3 个小环：环 A 代表利用当代技术可以开发的水源，这种技术上的可能性包括打井的可能深度、水泵的可能扬程、海水淡化的技术能力以及可能的最大坝高等；环 B 代表经济上的合理性，或者说国家、社会、用水户合理的投资和负担能力，例如，当代技术可以将南极的冰块运至任何缺水城市，但这在经济上是不合理的，起码在可以预见的将来是不可取的；环 C 代表环境容量，也就是为保证生态环境的安全所能允许的开采量，例如，西安市大规模开采地下水造成大面积地沉和严重的地裂，引起可怕的生态环境问题，这种开采量是不能容忍的。A、B、C 3 个环的恰当交汇所形成的 D 区，则代表着当代可开采的水资源量。当然，4 个环的大小都是可变的。尽管从长时间观察，大环 S——天然水储量趋近常量，但是，由于人类认识的相对性，以及水资源的可重复利用性、可疏散性和可污染性等，天然水储量也是可变的。A、B 两环随着科技进步和国民经济实力的增强，朝着扩大的方向发展，但环 C 可能由于人类活动的负效应而紧缩。

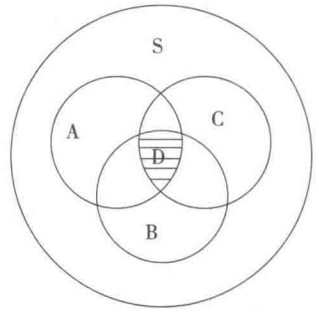


图 1-1 水资源定义四环示意图

西安市大规模开采地下水造成大面积地沉和严重的地裂，引起可怕的生态环境问题，这种开采量是不能容忍的。A、B、C 3 个环的恰当交汇所形成的 D 区，则代表着当代可开采的水资源量。当然，4 个环的大小都是可变的。尽管从长时间观察，大环 S——天然水储量趋近常量，但是，由于人类认识的相对性，以及水资源的可重复利用性、可疏散性和可污染性等，天然水储量也是可变的。A、B 两环随着科技进步和国民经济实力的增强，朝着扩大的方向发展，但环 C 可能由于人类活动的负效应而紧缩。

### （三）水资源的作用

（1）调节气候。水是大气的重要成分。虽然大气中仅含全球水量的百万分之一，但大气和水之间的相互循环作用，确定了地球水循环运动，形成支持生物圈的气候。大气中的水帮助调节全球能量平衡，水循环运动起着不同地区的能量传输作用。

（2）塑造地球表面的形态。流动的水开创和推动了土地地貌、地表景观以及三角洲的形成等。水是形成土壤的关键因素，也在岩石的物理风化中起着重要作用。

（3）运输物质。水可以输送多种材料和营养物质。水输送物质的形式有两种：通过溶解的矿物质和整体物质。大气中的各种颗粒物质可以沉降到水体，然后由水输送。从这一方面可以看到，水可以把环境污染物输送、扩散到很广泛的区域。

（4）一切生物必不可少的物质。生命的形成离不开水，水是生物的主体，生物体内含水量占体重的 60%~80%，有的甚至占 90% 以上。水是生命原生质的组成部分，并参与细胞的新陈代谢，水还是生物体内外生物化学反应发生的介质。因此，一切生物都离不开水。水与生物以各种方式相互作用。在一定区域范围内，水是决定植被群落和生产力的关键因素之一，还可以决定动物群落的类型、动物的行为等。

（5）人类赖以生存和生产的最基本的物质基础。水与人类的关系非常密切，不论是生活或是生产都离不开水。水既是人体的重要组成部分，又是人体新陈代谢的介质。工业生产、农田灌溉、城市生活都需要消耗大量的水。但是，随着人口增多和经济活动加剧，全球的水循环已大大偏离了它的自然状态，水的流动已发生了显著的变

化。人口迅速增长,加快了对水资源的消耗,工农业生产发展严重污染了水体,破坏森林改变了蒸发和径流方向等,这些人类活动使水资源被严重破坏,并使世界面临着水危机。

#### (四) 水资源的现状

##### 1. 全球水资源现状

##### (1) 全球水资源形势

水是人类生存的生命线,是人类经济发展和社会进步的生命线,是实现可持续发展的物质基础。随着人口不断增加和经济不断发展,人类消耗了大量的水资源,乱砍滥伐、不合理地放牧以及向环境大量排入污染物等,造成水环境明显恶化,使全球可利用的淡水逐渐减少,供需矛盾日益加剧。目前,全球水资源形势不容乐观,具体表现为以下特征。

①淡水资源总量少,真正能有效利用的更少。地球上水的体积大约有  $1.36 \text{ 亿 km}^3$ 。海洋水约占 97.2%;冰川和冰盖水约占 1.8%;地下水约占 0.9%;湖泊、内陆海和河里的淡水约占 0.02%;大气中的水蒸气约占 0.001%。

②淡水资源分布不均,地区差异大。一般而言,降水多、水循环活跃的地区,水资源丰富;降水少、水循环不活跃的地区,水资源匮乏。人口多的地区水资源量少,人口少的地区水资源量多。同时,径流量分布不均(径流量=降水量-蒸发量),人均占有量各地不同。

③缺水严重,水环境明显恶化。人类活动,在消耗水资源的同时,还向水环境及水体本身中排放大量的污染物,使水质不断下降,造成水环境明显恶化。由此可见,随着人口的增长、经济的发展和人民生活水平的提高,用水量激增,水环境也遭到严重破坏。如果说 20 世纪是石油的世纪,那么,21 世纪将是水的世纪,水资源缺乏,已是 21 世纪面临的严重的资源问题之一。

④水利基础设施不足。现阶段需要建更多的水利基础设施,过去的经验表明,现有水利基础设施的价值评估存在严重缺陷。水利基础设施投资巨大,基础设施成本及效益评价方式的制定却不完善,对水利基础设施的应用也不充分。同时,水利基础设施带来的社会利益通常未能量化,成本(特别是外部成本)核算不充分,没有对备选方案进行充分评估和比较,往往缺乏水文数据或数据更新不及时。

##### (2) 全球水资源分布

水资源问题的关键不是水量不够,而是水资源在区域分布上的不平衡,导致某些地区因缺水出现水荒,某些地区因水过多出现水灾,还有些地区则受到水荒和水灾的双重威胁。根据世界年径流量分布情况可以知道,总年径流量最大的区域位于赤道附近的热带地区,亚洲东南部、欧洲西北部沿海、北美洲西北部沿海年径流量也很高,

而受副热带高压控制的地区、雨影区以及大陆内部（特别是亚洲大陆内部）地区，年径流量很小。水对人类来说十分重要，人类应集中居住在水资源充足的地方，而实际情况并非如此。水资源地域分布不均及其不稳定性是世界上许多国家和地区水资源短缺的根本原因。一方面，随着人口增长，人均水资源拥有量在减少；另一方面，随着经济的发展，人均需水量在不断增加。

## 2. 中国水资源现状

### (1) 中国水资源形势

水资源是基础性的自然资源，是战略性的经济资源，是综合国力的有机组成部分。实现水资源的可持续利用，发挥水资源的经济、社会、生态等效益是当前和今后长期的重要任务。因此，认清水资源现状，是实现水资源可持续开发、利用和管理的基础，对社会经济可持续发展具有重要的意义。

2020年，我国水资源总量 31 605.2 亿  $\text{m}^3$ ，比多年平均值偏多 14.0%。我国水资源的总体状况复杂，主要有以下特点。

①水资源总量丰富，但人均、亩均占有水平低。我国河川径流量居世界第 6 位，列在巴西、俄罗斯、加拿大、美国、印度尼西亚之后。我国水资源总量虽然丰富，但人均占有河川径流量仅为世界人均占有量的 1/4，相当于美国的 1/4、日本的 1/2、加拿大的 1/44，居世界第 110 位。

②时间空间分布不均衡。从时间序列来看，由于受季风气候影响，降雨量与径流量一年之内、年度之间波动很大。大部分地区汛期降雨量占全年降雨量的 70% 以上，一年降水量中绝大部分集中在 3~4 个月。大约有 2/3 的水资源是洪水径流量，难以控制，也无法有效利用。从空间分布来看，南部地区最大年降水量为最小年降水量的 2~4 倍，最大年径流量为最小年径流量的 2~4 倍；北部地区最大年降水量为最小年降水量的 3~6 倍，最大年径流量为最小年径流量的 3~10 倍，表现出很大的不均衡性。从水资源总量的地域分布来看，这种不均衡性表现得更为明显。根据中华人民共和国水利部数据显示，2020 年全国水资源总量 31 605.2 亿  $\text{m}^3$ ，淮河流域及其以北地区水资源占全国总量的 19%，长江流域及其以南地区集中了全国水资源量的 81%。水资源这种时间、空间上的分布不平衡，造成了我国水资源供需间的矛盾。

③水资源分布与生产力布局之间不平衡。南方水多地少，北方水少地多。从流域看，这种不平衡性表现得更明显。西南诸河流域水资源丰富，但山高水深，利用困难，人口较少。北方的耕地面积远多于南方地区，其人口略少于南方地区，但其水资源总量远低于南方地区，北方地区缺水问题更加严重。

④水资源污染严重。水资源污染是由人为与自然双重因素所致，是水资源领域的特殊灾害。水资源污染使水资源匮乏的形势更加严重，是水资源管理中的“顽症”。随着经济建设的高速发展、人口的不断增加，特别是城市人口急剧膨胀，全国的污水排

放量快速增长。根据中华人民共和国住房和城乡建设部《2020年城乡建设统计年鉴》数据显示,截至2020年,全国城市污水年排放量增至571.36亿 $\text{m}^3$ ,全国县城污水处理年排放量为103.76亿 $\text{m}^3$ 。中华人民共和国生态环境部公布的《2020年中国生态环境统计年报》数据显示,2020年全国废水中排放化学需氧量、氨氮、总氮、总磷、石油类、挥发酚、氰化物、重金属污染物分别为2564.8万t、98.4万t、322.3万t、33.7t、3734.0t、59.8t、42.5t、73.1t。

⑤水资源浪费现象普遍。在水资源极其匮乏的同时,全国存在着普遍的水资源浪费现象,具体表现为:我国供水的总体水平不高,农业灌溉水利用系数过低,很多地区存在大水漫灌现象;工业用水循环利用率和污水处理回用率偏低;由于水价太低,供水技术落后,以及市民节水意识不强,城市生活用水浪费现象普遍存在。水浪费和水污染加剧了水资源危机,使供需失衡问题更加严重。

## (2) 中国水资源分布

中国水资源不仅总量不够丰富,而且区域分布极不平衡。其基本规律是:东部季风气候区域,水资源比较丰富;西北非季风气候内陆区域,水资源紧缺。东部季风气候区域中,以秦岭-淮河为界,以南的亚热带与热带季风区域,水资源特别丰富;以北温带季风气候区域,水资源比较紧张,其中,暖温带的黄、淮、海地区水资源相当紧缺。

资料表明,我国水资源的区域分布具有如下3个特点:①东西差异明显。东部地区,共9个流域片,土地面积617万 $\text{km}^2$ ,水资源共26820.5亿 $\text{m}^3$ ,分别占全国土地总和与水资源总量的64.4%和95.36%。西北内陆地区,土地面积和水资源量分别占全国的35.6%和4.64%。东部地区和西北内陆地区单位面积产水模数分别为43.47万 $\text{m}^3$ 和3.86万 $\text{m}^3$ ,二者相差悬殊。②南北不平衡。东部9个流域片中,北部5片,土地面积占全国总面积的28%,水资源仅占14.4%,单位面积产水模数为15.06万 $\text{m}^3$ ,数量不多。其中,黄河与海、滦河流域片水资源量和单位面积产水模数最少,产水模数分别为9.39万 $\text{m}^3$ 和13.24万 $\text{m}^3$ ,水资源特别紧缺。而南部4片土地面积占全国的36.46%,水资源量却占全国的80.9%,单位面积产水模数达68.75万 $\text{m}^3$ ,是我国水资源富区。论单位面积产水量,以浙、闽、台河流域片和华南珠江流域片为最大;而论水资源绝对量则以长江为最。长江流域片,土地面积占全国的18.4%,水资源则占全国的34%,是全国水资源最丰富的区域。③地下水分布不平衡性。全国地下水的储量达8287亿 $\text{m}^3$ ,约占水资源总量的23.4%,在全国水资源结构中占有重要地位。其区域分布也和河川径流资源一样,东部多,西部少,南部多,北部少。南部4片地下水的储量共5736.6亿 $\text{m}^3$ ,占全国地下水总量的69%;北部(5片)和西部广大地区,仅分别占全国的19.38%和10.6%。不过,在区域水资源结构上,地下水所占的相对密度西部比东部大,北部比南部大。西北地区,地下水占区域水资源总量的43.1%;北部地区,地下水占32.4%,其中,黄河流域占38%,海滦河流域占47.9%。所以,这些地区的地下

水在水资源开发利用中占极其重要的地位。但是，这些地区因地下水总的储量少，加之地下水循环更替周期长，使用后短时间内不易恢复，如采汲过量，就会引起地下水位呈漏斗状下降，最终导致地下水枯竭。这是一个值得引起重视的问题，对此需要有清醒的认识。

## 二、水环境概述

### （一）水环境概念

环境是一个被人们广泛使用的日常用语，但是当它作为一个术语来使用时，有其本身特殊的内涵和外延。《中国大百科全书》将环境定义为：围绕人类的空间，及其中可以直接、间接影响人类生活和发展的各种自然因素的总体。《韦氏新大学词典》认为，环境是作用于生物或生物社会并最终决定其形式和生存的物质、化学的、生物的因素（如气候、土壤和生命体）。从以上概念可以看出，一方面，环境总是针对某一主体或中心而言的，是一个相对的概念，离开了这个主体或中心也就无所谓环境，因此，环境的定义具有相对的意义；另一方面，环境是各种影响要素或因素的综合体，而并非某一种事物或要素就可以成为环境。

水环境指围绕人群空间及可直接或间接影响人类生活和发展的水体。水体是地表水圈的重要组成部分，指以相对稳定的陆地为边界的天然水域和人工水域，包括有一定流速的江河、溪流、沟渠，相对静止的湖泊、水塘、沼泽、水库，受潮汐影响的三角洲与海洋，以及地下水及冰。因此，也可以说水环境是以水体为中心而形成的水生生态系统，它不仅仅指水，而且指由构成水环境整体的各个独立的、性质不同而又服从整体演化规律的各种水环境要素，其中，包括水相和固相物质、水中的悬浮物质、溶解物质底泥和水生生物。

水环境是构成环境的基本要素之一，是人类赖以生存和发展的重要场所，也易受人类干扰和破坏。同时，水环境又是生态环境系统中的一个子系统，也是组成其他子系统的重要环境因子。作为子系统的水环境，必须保持清洁未受污染的良好状态；作为组成其他子系统的环境因子，它的数量和质量直接影响各类生态质量的好坏，间接影响经济、社会的可持续发展。

### （二）水环境特点

水环境与其他一些环境相比，具有一些自身的特点。

（1）整体性。水环境的各个组成部分之间存在着相互联系、相互制约的关系。某些水环境要素受到影响和危害，对其他环境要素就会产生相应的影响和危害，因为水

生态系统的平衡是一种整体性的平衡。

(2) 有限性。地球的空间是有限的,构成的人类环境是有限的,水环境也有其自身的局限性。如湖泊的生物资源有限、湖泊的环境容量有限等。

(3) 不可逆性。人类的环境系统在其运转过程中,主要存在两个过程:能量流动和物质循环。后一过程是可逆的,但前一过程是不可逆的。所以水环境一旦遭到破坏,利用物质循环规律,可以实现局部的恢复,但不可能彻底回到原来的状态。

(4) 关联性。环境的各个要素之间相互联系、相互作用,构成了一个统一的整体。所以在进行湖泊水环境的治理时不能以湖治湖,而应该从地区整体的环境着眼,进行全面的、综合性的环境治理。

(5) 多样性。水环境是由各种各样的要素组成的,这些环境要素的多样性对于环境系统的稳定起着非常重要的作用。水环境的要素越丰富,水环境系统就越稳定。

### (三) 水环境现状

#### 1. 水环境变迁

我国的水环境问题是与工业化、城市化进程相伴随的。中华人民共和国成立初期,工业基础薄弱,城市化水平低,水环境处于良好状态;20世纪50~70年代,工业建设规模展开,尤其是重工业迅速发展,局部水环境污染问题开始显露;20世纪80~90年代,随着人口的增加、经济的高速发展、工业化步伐的加快,特别是乡镇企业的迅猛发展及城市化进程的加快,水环境恶化的趋势加剧,由局部性水污染发展到流域性水污染;进入21世纪以来,我国虽然加强了水污染防治工作,使流域性水污染急剧恶化的趋势有所减缓,但从总体上看,我国的水污染问题仍然十分严重。

#### 2. 水污染现状

2019年,我国水资源总量为28670亿 $\text{m}^3$ ,人均水资源量为2051.21 $\text{m}^3$ 。按照国际公认的标准,我国处于轻度缺水的状态。自“水十条”(《水污染防治行动计划》,简称“水十条”,是为切实加大水污染防治力度,保障国家水安全而制定的法规)发布以后,我国水环境治理行业进入了政策密集发布期,政策口径也从点污染源治理向面污染源治理转变。在政策引导下,各地政府加强水环境治理,并取得了阶段性进展。从流域总体水质情况来看,2019年,水质优良(I~Ⅲ类)的流域水质断面占比79.1%,比2018年上升4.8个百分点,污染流域集中在东北及华北地区。从湖泊(水库)水质来看,近年来我国湖泊污染状况有所改善,但总体水环境形势依然严峻,尤其是一些湖泊富营养化问题严重。而我国目前地下水水质整体较差,2019年国家级地下水水质监测点中,I~Ⅲ类水质监测点占比仅为14.4%。我国目前存在的水污染问题包括以下几个方面。

(1) 污染范围广。中国有82%的人饮用浅井和江河水,其中,水质污染严重、细