

SHUIZIZIYUAN YU SHUISHENGTAI



水资源 与 水生态

田守岗 范明元 著



黄河水利出版社

水资源与水生生态

田守岗 范明元 著

黄河水利出版社

· 郑州 ·

内 容 提 要

本书从分析自然水循环和“自然-人工”二元水循环规律出发,揭示了水资源与水生态既相互依存又相互制约的关系,提出了两者协调发展的基础理论构架、技术支撑和社会保障体系。以山东省典型区为代表,从工业企业、地下水源地、水库灌区、季节性河流、行政区域等不同尺度开展关键技术应用研究,促进水资源可持续利用和水生态环境持续改善。

本书可供水资源、水生态领域科研、管理工作,以及高等院校相关专业师生阅读参考。

图书在版编目(CIP)数据

水资源与水生态/田守岗,范明元著. —郑州:黄河水利出版社,2013.6

ISBN 978-7-5509-0492-7

I. ①水… II. ①田… ②范… III. ①水资源-关系-水环境-生态环境-研究 IV. ①TV211 ②X143

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2013)第 123170 号

组稿编辑:王路平 电话:0371-66022212 E-mail:hhsllwlp@126.com

出 版 社:黄河水利出版社

地址:河南省郑州市顺河路黄委会综合楼 14 层 邮政编码:450003

发行单位:黄河水利出版社

发行部电话:0371-66026940、66020550、66028024、66022620(传真)

E-mail:hhsllcbs@126.com

承印单位:河南省瑞光印务股份有限公司

开本:787 mm×1 092 mm 1/16

印张:13.25

字数:310 千字

版次:2013 年 6 月第 1 版

印数:1—1 900

印次:2013 年 6 月第 1 次印刷

定价:39.00 元

前 言

水是生命之源、生产之要、生态之基；水资源是人类不可或缺的自然资源之一。然而，随着人口增长和经济社会发展，水资源供需矛盾日益突出并引发一系列水生态问题，水资源短缺、水灾害威胁、水生态退化成为长期制约经济社会可持续发展的重要瓶颈。受人类活动加剧影响，水循环过程也呈现出“自然－人工”二元特性，水资源与水生态相互依存、相互制约的关系愈加复杂，两者严重失衡成为上述水生态问题的主要诱因。如何促进水资源与水生态协调发展、实现水资源可持续利用与水生态持续改善成为全社会共同面对和亟待解决的问题。

本书从分析自然水循环和“自然－人工”二元水循环规律出发，围绕水资源与水生态协调发展要求，按上、下两篇分别介绍了基础理论研究和关键技术应用成果。其中，上篇为理论方法部分，主要从水循环过程及水资源、水生态内在关系入手，探讨了两者协调发展的内在机制和理论基础，进而提出了相应的评价方法、技术支撑和社会保障体系，形成了较为完整的理论构架；下篇为技术应用部分，以山东省典型区为代表，开展了工业企业、地下水源地、水库灌区、季节性河流、行政区域等不同尺度关键技术研究，展示了各具特色的应用成果。

党的十八大报告指出：面对资源约束趋紧、环境污染严重、生态系统退化的严峻形势，必须树立尊重自然、顺应自然、保护自然的生态文明理念，把生态文明建设放在突出地位，融入经济建设、政治建设、文化建设、社会建设各方面和全过程。可以预见，生态文明建设将成为我国未来一段时期全社会发展的主旋律。而水生态文明建设是生态文明建设的基础前提和重要组成部分，水资源与水生态协调发展又是水生态文明的主要标志之一。本书将为我国水生态文明建设乃至生态文明发展提供必要的理论依据和应用示范。

本书由田守岗、范明元共同撰写，由田守岗统稿完成。相关资料主要来源于作者主持完成的山东省科技发展计划项目“山东省水资源高效利用与生态环境保护关键技术研究”、“山东省水安全评价与保障技术研究”等课题成果。在此，向直接参与课题研究的李福林、张保祥、陈学群、黄继文、卜庆伟、黄乾等同志，以及长期以来支持课题研究的山东省水利科学研究院的领导和同事们表示衷心感谢！另外，书中不少内容参考了国内外相关专家学者的论点和成果，在此一并表示谢意！

随着研究的深入，我们越来越认识到：促进水资源与水生态协调发展是解决当前突出水问题的最终立足点，将贯穿水生态文明建设的全过程，必须始终遵循水循环规律，坚持标本兼治的原则。本书的面世，恰如古人所言——“苔花如米小，也学牡丹开”。希望这朵小小的苔花能引发更多人的思考和行动。

限于水平，书中一定还存在不足之处，敬请读者批评指正。

作 者

2013 年 4 月

目 录

前 言

上篇 理论方法

第一章 水资源与水生态演变关系概述	(3)
第一节 水资源与水生态的本源——自然水循环过程	(3)
第二节 水资源与水生态的胁迫——“自然-人工”二元水循环	(7)
第三节 水资源与水生态协调发展——水生态文明建设的新目标	(12)
第二章 水资源与水生态协调发展理论构架	(15)
第一节 概念与内涵	(15)
第二节 理论基础	(16)
第三节 理论框架	(24)
第三章 水资源与水生态协调评价模型	(26)
第一节 单指标评价模型	(26)
第二节 多指标评价模型	(31)
第四章 水资源与水生态协调技术体系	(46)
第一节 国内外研究进展与经验启示	(46)
第二节 技术体系	(58)
第五章 水资源与水生态协调社会保障体系及措施	(68)
第一节 社会保障体系	(68)
第二节 保障措施	(69)

下篇 技术应用

第六章 山东省水资源与水生态概况	(77)
第一节 自然及社会经济概况	(77)
第二节 水资源开发利用状况	(80)
第三节 水生态状况	(83)
第四节 水资源与水生态面临的挑战	(87)
第七章 工业企业水资源与水生态协调监控技术	(88)
第一节 循环经济与工业企业水资源利用	(88)
第二节 工业企业水资源与水生态协调的基本原则	(88)
第三节 工业企业水资源与水生态协调监测控制指标	(91)

第八章 地下水源地开采控制红线技术	(96)
第一节 黄水河地下水库概况	(96)
第二节 黄水河地下水库地下水数值模拟模型	(98)
第三节 黄水河地下水库地下水开采控制红线划定	(104)
第九章 水库灌区井渠联合灌溉技术	(106)
第一节 水库灌区灌溉系统	(106)
第二节 峡山水库灌区井渠联合灌溉模拟模型	(107)
第三节 水库灌区井渠联合灌溉对策	(121)
第十章 季节性河流人工生态补水技术	(122)
第一节 季节性河流功能区水质达标可能性分析	(122)
第二节 小清河流域及济南段干流概况	(123)
第三节 河流水质数值模拟模型	(126)
第四节 小清河干流济南段生态补水模拟研究	(128)
第五节 小清河干流生态补水与管理方案	(135)
第十一章 区域水系联网与水资源优化配置技术	(140)
第一节 潍坊市概况	(140)
第二节 水资源及其开发利用状况	(145)
第三节 水系联网建设方案	(151)
第四节 水资源优化配置与多目标优化决策模拟	(159)
第五节 水资源配置典型方案分析	(166)
第六节 水资源与水生态协调度分析	(173)
第十二章 山东省水安全评价技术	(175)
第一节 评价指标及赋值	(175)
第二节 水安全评价分析	(179)
第三节 建议措施	(185)
第十三章 山东省水资源与水生态协调发展分区技术方案	(189)
第一节 分区方案	(189)
第二节 鲁西北引黄治沙协调技术方案	(191)
第三节 鲁东水库串联与海水入侵防治协调技术方案	(193)
第四节 鲁中供水保泉协调技术方案	(195)
第五节 鲁南洪水资源化与水土保持协调技术方案	(199)
第六节 鲁西南引湖与水环境保护协调技术方案	(202)
参考文献	(206)

上篇 理论方法

自从工业革命以来,人类在改造自然的过程中已显示出巨大的力量,并导致人与自然的关系变得十分复杂。在局部地区、在短时期内,自然似乎被人类驯服了;但从更大范围或长远来看,大自然正以千万倍的反作用力回馈给人类,由此产生的危害超乎想象。人与自然的关系正面临着越来越严峻的考验。人与自然如何和谐相处?需要反思和调整的恰恰是人类自己。

同样,人与水的关系也随着人类对水资源持续加强的开发利用而发生着变化。掠夺式开发造成了水资源的枯竭,而水资源的枯竭又进一步引起了水生态系统的退化甚至消亡,人类的生存环境也持续恶化。现实教训足以证明,水资源与水生态之间相互依赖、相互制约的平衡关系一旦被打破,最终受害的还是人类自己。当我国紧锣密鼓地开展生态文明建设时,确保水资源与水生态协调发展,进而实现水生态文明,成为其最关键的一环。在此时代发展的大背景下,探讨水资源与水生态关系及其实现协调发展的内在机制和途径、构建水资源与水生态协调发展的理论框架显然具有重要的现实意义。

第一章 水资源与水生态演变关系概述

自然水循环过程保障了水资源的更新与再生,一定数量和质量的水资源维系了包括水生态系统在内的陆地生态系统,水生态系统对水资源系统也发挥着调节水量和净化水质的功能,这样的关系自生命诞生以来就客观存在了。但是,在人类活动影响下,水资源与水生态的关系变得更加复杂,而这一切还是要从自然水循环过程说起。

第一节 水资源与水生态的本源——自然水循环过程

一、水的起源

大约在 46 亿年前,从太阳星云中开始分化出原始地球。地球早期的岩浆活动排出的水汽凝结为液态水,积累成原始海洋,还有些岩浆气体溶解于水中,从而转移到原始海洋中,形成了水圈;而另一些不溶或微溶于水的气体则组成了原始大气圈。从此,地球开始了不同圈层之间的相互作用,以及频繁发生物质—能量交换的演化历史。

地球完成初始圈层分异后,随着地表温度下降到 300 ℃ 左右,地球表层已经存在大量的水蒸气、 H_2 、 CO 、 NH_3 、 CH_4 、 H_2S 等,这些混合气体在紫外线、电离辐射和雷电的作用下,形成氨基酸等简单有机物,在地壳环境的热聚合等作用促进下,逐渐实现由氨基酸→类蛋白质→蛋白质的进化,直至出现真正蛋白质的合成,完成了向原始生命进化的飞跃。进一步的演化是形成具有保护功能的外膜,成为具有更完备生命特征的细胞,从而进入了地球历史中生物界和非生物界共同发展的时代。地球上的生命过程约开始于 38 亿年前,自地球上出现生命开始,古代海洋就一直是生物界生存、发展的摇篮和生活的家园。这种情况从距今 4 亿年前起发生了重要转折,以原始陆生植物和淡水鱼类在滨海平原与河湖、河口环境大量繁盛为标志,开创了生物占领陆地的新时代。生物界演化中最重要的事件是距今约 250 万年前(第四纪)人类的出现。

地球上的水,特别是主要以液态形式存在的水是地球区别于太阳系其他行星的重要特征,也是地球上能够诞生人类的基本条件。水是地球上分布最广泛和最主要的物质。它参与生命的形成和活动,是地表物质和能量转化的重要介质,是生态环境系统中最为活跃和影响最深刻的因素。人类的生活离不开水,人类的生产需要水,生态环境依赖水,甚至动植物本身主要由水组成。因此,水也是人类社会赖以生存和发展的自然资源。

二、自然水循环过程

水形成之后,就开始了无止境的循环运动过程。在自然状态下,水循环系统以太阳辐射和重力势能为驱动力,以大气降水作为补给来源,以地表水、地下水和土壤水为赋存形式,通过大气降水、地表水、地下水和土壤水(简称“四水”)的转化而循环更新。从空间角

度来看,水循环过程有三种,即海陆间大循环、陆地水循环和海洋水循环。其中,海陆间大循环过程为:海洋水蒸发后到达海洋上空,有 90% 冷凝,又降落到海洋,其余 10% 随着大气运动输送到陆地上空,冷凝形成降水,到达陆地表面,在地表形成地表径流,渗入地下形成地下径流,地表径流、地下径流再从陆地流回海洋;陆地水循环过程为:陆地水蒸发到空中,遇冷凝结,降落到地面,再蒸发、再凝结,实现水的循环;海洋水循环过程为:海洋水蒸发到高空,遇冷凝结,降落回海洋,如此循环运动。自然水循环系统构成要素如图 1-1 所示。

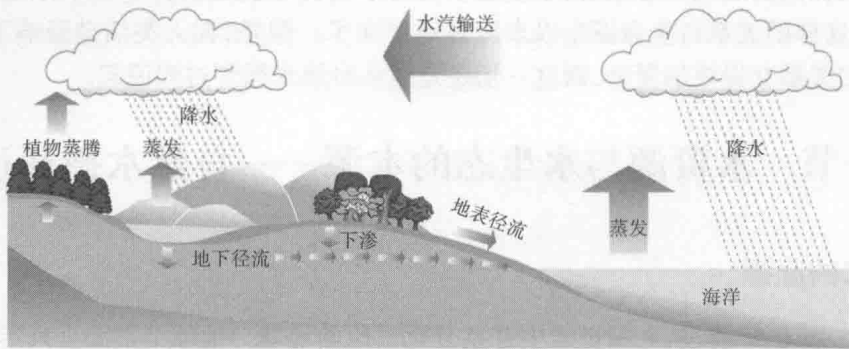


图 1-1 自然水循环系统构成要素

在上述三种水循环过程中,陆地水循环与人类日常生活关系最为密切。在自然状态下,该水循环过程十分复杂,可以分为水平方向过程和垂直方向过程。水平方向以陆面产汇流为主,伴有地下水的产汇流:地面产流有蓄满产流与超渗产流两种形式,径流汇集有坡面汇流和河道汇流两种形式;因包气带含水量和地下水位差异,地下水产生侧向径流,并逐渐汇集,以泉水形式转化成地表水,或以河川基流形式回归河道。垂直方向过程更为复杂,降水和蒸发是联系大气水与地表水、土壤水和地下水的关系纽带,是天然状态纯粹水循环的原动力,2/3 以上的降水将以蒸散发形式重返大气;蒸散发是水循环的消耗要素,很大程度上影响着降水和辐射能的重新分配;入渗是水从土壤表面渗入土壤内部的运动,入渗水量满足土壤包气带缺水量后,向下入渗补给地下水,在适当条件下成为壤中流或地下径流。在入渗的同时,地下水以潜水蒸发的形式补给土壤水。陆地水循环过程概化如图 1-2 所示。

三、水循环过程的生态学意义

水循环把水圈中的所有水体都联系在一起,它直接涉及自然界中一系列物理的、化学的和生物的过程。水循环对人类 society 及生产活动有着重要的意义,使人类赖以生存的水资源得到不断更新,成为一种再生资源,可以永久利用;使各个地区的气温、湿度等不断得到调节。事实上,水循环过程对陆地生态系统具有重要的意义。

(一) 相关概念

在介绍水循环过程的生态学意义之前,需要说明几个相关概念。

1. 水资源

水资源是人类在取用水的过程中形成的概念。迄今为止,关于水资源的定义,国内外

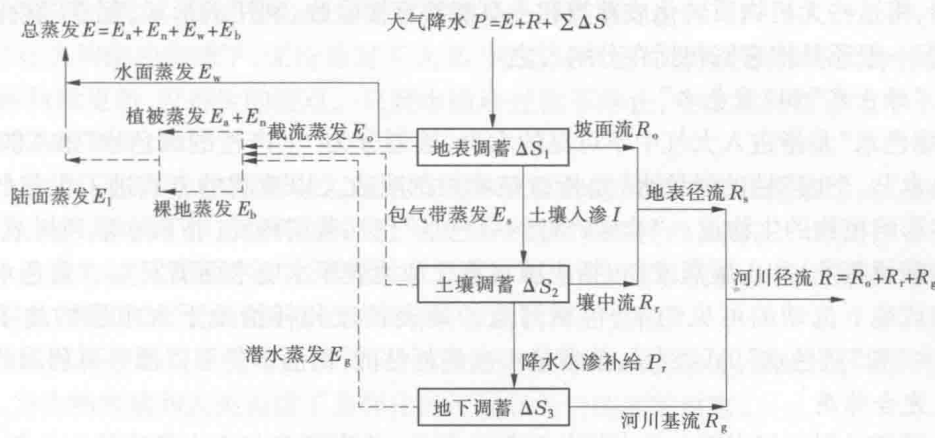


图 1-2 陆地水循环过程概化

有多种提法。例如,《大不列颠百科全书》中对水资源的定义为:自然界一切形态(气态、液态、固态)的水;联合国教科文组织和世界气象组织 1988 年给出的定义是:作为资源的水应当是可供利用或有可能被利用,具有足够数量和可用质量,并可适合某地水需求而长期供应的水源;《中国大百科全书》(大气科学·海洋科学·水文科学卷)中指出:水资源是地球表层可供人类利用的水,包括水量(质量)、水域和水能资源,一般指每年可更新的水量资源。目前,关于水资源普遍认可的概念为:为人类生存、生活和生产活动中所需要的具有数量要求与质量前提的水量,包括使用价值和经济价值。水资源概念有广义和狭义之分。其中,广义的水资源是指能够直接或间接使用的各种水和水中物质,对人类活动具有使用价值和经济价值的水均可称为水资源;狭义的水资源是指在一定经济技术条件下,人类可以直接利用的淡水。本书中所论述的水资源,如未作特别说明,均限于狭义范畴,即与人类生活和生产活动以及社会进步息息相关的淡水资源。

2. 水生态

河流、湖泊、水库、池塘等水生物世界,生存着各种各样的生物种群,它们相互依存、相互制约、相互竞争,构成一个既矛盾又统一的水域生态系统或水生态系统。与生态系统一样,水生态系统是由非生物环境(水、阳光、空气、无机盐、边界物质等)、生产者、消费者、分解者组成的。其中,水生态系统中的生产者,主要是指水体中的藻类与水草,即水体中的绿色植物。它们通过光合作用,制造出有机物质,一部分用于建造自己的身体,进行生长繁殖,另一部分在新陈代谢过程中被消耗掉。生长繁殖起来的藻类和水草,一部分作为其他生物的食料,被草食性动物吞食;一部分衰老死亡,成为细菌、霉菌的营养;还有一部分能够继续生存、繁衍。水生态系统中的消费者,主要是指水体中靠吞食其他生物维持生命活动的各种生物。消费者既可分为草食性动物和以动物为食的肉食性动物,又可分为一级、二级、三级消费者。一级消费者是指以浮游植物、水草为食的浮游动物和草食性鱼类;二级消费者则是以浮游动物和草食性鱼类为食的肉食性鱼类;以此类推。水生态系统中的分解者,主要由细菌和其他微生物组成。它们专门将有机物分解成无机物,因此又称为还原者。分解者将水体中的生产者和消费者的排泄物、尸体残骸等,通过氧化还原作用进行分解、矿化,把有机物质转变成无机物质,并从中取得维持生命的营养。另外,还有一

些细菌,将这些无机物质转化成藻类和水草能够直接吸收、利用的形式,起着“转化者”的作用,但一般还是把它们包括在分解者之中。

3. “绿色水”和“蓝色水”

“绿色水”是指进入大气中不可见的水汽,被划分为“生产性的绿色水”和“非生产性的绿色水”。“生产性的绿色水”是指被植物根部吸收又以蒸腾的方式进入大气的水分,它直接影响植物的生物量。“非生产性的绿色水”包括截留蒸发(指雨水落到树冠和其他叶面的截留蒸发)和土壤蒸发(包括土壤水蒸发和地表积水坑水面蒸发)。“蓝色水”是指在地表或地下流动的可见的水,包括河流的地表径流和补给地下含水层的地下径流。“绿色水”和“蓝色水”的区别是,前者是一次消耗性的,而后者是可以循环再利用的。

4. 光合作用

水循环过程有相当部分是在植物内部进行的,并直接参与水生植物的生命活动。水在植物内部的运动具有重要的意义,因为植物内部的水分不仅挟带了植物营养物质,还维持了植物体的适宜温度,保证了植物细胞饱满。进入植物内部的水,还参与植物的光合作用。植物在进行光合作用时,水分子的分裂加快,分裂后的“自由”氢原子与空气中的二氧化碳进行生化反应,生成生物群落的基本构件——糖分子。植物开启叶面上的气孔吸收二氧化碳,同时体内的水分也通过气孔扩散到大气中。而由于叶面表面张力的作用,根系中连续的毛管水将该张力传递至叶尖部,使之能吸收土壤或体外水分来加以补给。这也构成了植物内部水分运动过程。

(二) 水循环过程对生态系统的意义

水循环过程始终与生物过程交织在一起,既维系着陆地生态系统,又支持着淡水生态系统,同时为人类提供着水资源。水循环过程具有重要的生态学意义,包括“绿色水”和“蓝色水”两种。

当降雨到达地面时,就开始分为“绿色水”和“蓝色水”两部分。

“绿色水”对陆地生态系统意义重大。“绿色水”中的大部分被森林、草地、湿地、农田、荒漠所消耗,维系着陆地生态系统,同时支持着对人类至关重要的农作物的生长。据统计,陆地降雨的2/3为陆地生态系统所消耗,参与光合作用等生态运动,大部分最终以蒸散发的方式回归到水循环过程。陆地生态系统对水的消耗直接影响着河流的径流条件,在一定程度上还有调节作用。

“蓝色水”从陆地流入河流,河流又把湖泊、沼泽、湿地和水库等串联起来,支持着全球的淡水生态系统,也是迄今为止人类利用的主要水资源。“蓝色水”的流量、流速、水深、水温和水文情势以及河流的地貌学特征,直接影响着生物栖息地的质量。河流哺育了包括鱼类在内的各类水生动物、无脊椎动物、昆虫、两栖动物、水禽、哺乳动物和数目庞大的鸟类等生物群落。“蓝色水”更是人类社会的生命线,人们从河流、湖泊、池塘、水库和水井中取水,为工业、农业及居民生活提供水源,被利用后产生的退水又回到河流或湖泊。有些时候,“蓝色水”还会被植物吸收而演变为“绿色水”,以散发的方式进入大气而回归到水循环过程中。

在“绿色水”和“蓝色水”的共同作用下,水循环过程具备了以下生态学意义:

(1) 由于水循环周而复始的运动,作为运动着的介质和载体,营养物质源源不断地输

送到地球的各个角落,保证了生态系统和人类社会的可持续性。

(2)在太阳能的驱动下,无论是对于人类,还是对于生物群落,水循环的特性都保证了水资源持续更新、可再生的特点。只要水循环过程不停止,生命就具备了生生不息、繁殖繁衍的基础条件。

(3)水循环在时空上的变异性,通过有规律变化的降雨条件和径流条件,以及分布各异的水文条件,造就了丰富多样的生境,成为全球生物多样性的基础。

(4)生物的时间节律特征与河流的水文规律相匹配,其丰枯变化既引导着鱼类和其他生物避难、繁殖或迁徙,也抑制了某些有害生物物种的繁衍。

(5)水循环过程周而复始的运动,持续改造着全球的地貌条件,形成了各具特色的自然景观,为生物群落和人类提供了多样化的生境和无价的美学财富。

四、基于自然水循环系统水资源与水生态相互依存的关系

由前文可知,水循环过程使得水资源得到更新和再生,进而维系了陆地生态系统及陆地淡水生态系统。与此同时,在自然水循环过程的作用下,水资源与水生态之间也形成了相互依存的一体性关系。

一方面,水资源维系了生物生命。水是生命之源,直接参与生命活动,充当着介质、载体等多种角色。同时,还以其时空变异性造就了多样的生境,为生物多样性发展提供了外部环境。生态系统依赖于水资源,水资源的枯竭会导致植被退化、土地荒漠化、动植物大量消亡等严重生态事件;水质恶化则会导致河流、湖泊失去健康,进而造成对植被、鱼类等生态系统主体的严重损害。可以说,没有一定数量和质量的水资源,就没有良好的水生态系统。

另一方面,水生态系统对水资源系统也具有重要的调节和水质净化等功能。与一般的生态系统一样,水生态系统在一定程度上也具有自我调节、恢复稳定状态的能力,这既是对水资源时空分布不均特性的适应,也是一种有益调节。此外,水生态系统在实现能量流动和物质循环的过程中,通过生产者、消费者和分解者构成营养级并实现从无机物到有机物再到无机物的循环转化,如此可以吸收进入水体的有害物质,从而发挥净化水质的作用。同样,如果缺乏具有多样性和稳定性的生态系统作保障,水资源系统将会缺乏活力而逐渐失去使用功能或走向枯竭。

总之,在自然理想状态下,水资源与水生态形成了相互依存的整体,并保持着良性循环的状态。这也是对人类社会进步有益的发展模式。

第二节 水资源与水生态的胁迫—— “自然-人工”二元水循环

一、人类活动对自然水循环过程的影响

随着生产力的发展,人类的足迹几乎遍及全球,47%的地球表面被改变,98%的可耕地被耕种,日益频繁、强烈的人类活动已经严重影响了自然环境的天然修复能力。为了满

足不同的需要,人类正极尽所能地通过各种措施来改变水资源开发利用模式,这些措施极大地影响着水循环的各个要素与水资源的消耗效率。

(一) 人工取用水改变了循环路径和循环特性

地表水开发减少了河道流量,使出境、入海水量锐减,地下水开采改变了包气带和含水层的特性,形成更多的局部流动系统,影响了天然地表水与地下水的交换特性。用水和耗水改变了水循环圈的蒸发与入渗形式,最后通过排水回归到水循环圈中,但是人工取用的水量中只有小部分回到自然水体,大部分通过蒸发消耗或者转变为生物体与产品。与此同时,一系列的节水措施又进一步改变了水循环的转化机制与转化通量,以农田灌溉为例,灌溉制度决定了灌水次数与灌水量,对作物生长期土壤的水分变化有较大影响,地表水、地下水、蒸散发之间的转化关系也随之发生变化;渠系的衬砌减少了水量渗漏,使入渗到土壤中的水量减少,包气带缺水量得不到有效补充,减少了入渗到地下水的水量;田间灌溉方式的改变,提高了灌溉水利用系数,使棵间低效蒸发减少,地表径流减少,土壤入渗量也减少;地下水由于得不到足够的入渗补充,水位逐渐下降,节水前地下水补给河道的形式将演变成以河道基流补给地下水为主。

(二) 下垫面条件变化改变了水循环参数与产汇流规律

人类在利用自然的过程中,通过水土保持、农业开发、水利工程和城镇建设等活动,改变了地表覆盖、植物分布和土壤质地等因素,土地覆被变化成为人类活动作用于自然环境并影响地球系统的主要途径,改变了局地植被条件和土壤水动力特性,使得蒸发、径流、下渗等环节发生了较大变化,改变了产汇流规律,深刻影响了水分的再分配。农业活动是人类较早开始的改造自然的活动,农田耕作、渠道与井的开挖等活动,改变了局地微地貌和表层土壤结构,影响了水循环参数与产汇流过程。从农田水分循环的转化角度来说,为了使土壤保持适宜的含水量,当土壤水分不足时就要进行灌溉,将地表水或地下水转化为土壤水,由原来河道中的汇流过程变成分布于田面的分散过程;排水则是将地下水、土壤水转化为地表水,排出过剩的土壤水分;打井抽水使得自然状态下的地下径流通过集中抽水分布在田面上。灌溉活动增加了水循环中的蒸发和入渗通量,农田排水则人为地创造了原本并不存在的人工汇流过程。水利工程的建设改变了河流的天然形态,影响了水的汇流过程,水库的调蓄改变了水资源的时空分布,增加了蒸发、入渗等水文过程,改变了水文的天然情势。城市化建设是具有重要水文影响的又一个土地利用变化,弱透水面减弱了蒸发与入渗,加速了地表径流。

(三) 温室气体排放改变了气候条件

温室气体,包括水汽(H_2O)、氟利昂、二氧化碳(CO_2)、氧化亚氮(N_2O)、甲烷(CH_4)、臭氧(O_3)、氢氟碳化物、六氟化硫等,来源多为重工业。以 CO_2 为例,人类自工业革命时代开始大量燃烧煤炭,近几十年来越来越多的国家走向工业化,道路上的汽车也越来越多,人类造成气候变化所需的时间要比气候系统的自然变化周期短得多。尽管火山爆发会释放二氧化碳和其他气体,地球自转轴和轨道的微小变化会对地球表面温度造成重大影响,但仍然无法与现在正持续加速的人类活动相比。如今大气中的二氧化碳含量比过去65万年中的最高值高了27%,而罪魁祸首正是人类。温室气体的排放,一旦超出大气标准,便会造成温室效应,导致全球平均气温上升,引发冰盖融化、极端天气、干旱和海平

面上升。另外,区域城市化发展导致大片森林和田园消失,城市的人类生产活动和特殊地面结构共同作用使大气边界层特性发生变化,太阳辐射、湍流结构、大气层水汽凝结特征、水分蒸散发等均与周边区域不同,出现了越来越显著的“热岛”、“湿岛”效应,形成与邻近乡村区域不同的气候状况,直接影响了降水、蒸发及径流过程。

二、“自然 - 人工”二元水循环过程

在大规模人类活动的干扰下,区域水循环系统整体表现出三大效应:一是循尺度变化,主要表现为区域大循环减弱,局地小循环增强;二是水循环输出方变化,主要表现为水平径流输出减弱,垂向蒸散发输出增强;三是降水的转化比发生了变化,主要表现为区域径流性水资源减少,而有效利用的水分增加。

水循环过程方面,在人类活动影响下也发生了深刻演变,驱动力由“一元”自然力演变为“自然 - 人工”二元驱动,在强人类活动干扰地区,人工作用甚至在某些方面超过了自然力,在这种情况下已无法忽略或剔除人工作用。因此,水循环结构也呈现出明显的二元化特征,由自然状况下以“四水”转化为基本特征的自然水循环演变为自然主循环和人工侧支循环动态耦合的复合水循环系统。其中,自然主循环主要针对降水、蒸发和产汇流而言,人工侧支循环则主要指人工取用水过程中形成的取水—输水—用水—排水—回归循环。自然主循环和人工侧支循环存在紧密的水力联系,循环通量此消彼涨。人工取用水量的增加直接导致下游断面径流量减少,取用耗排过程产生的蒸发渗漏改变了自然条件下的地表水和地下水转化路径,给区域水循环过程中各环节分项带来了相应的附加项,从而影响了区域水循环转化过程和循环通量。

“自然 - 人工”水循环系统构成要素示意如图 1-3 所示,“自然 - 人工”水循环系统概化如图 1-4 所示。

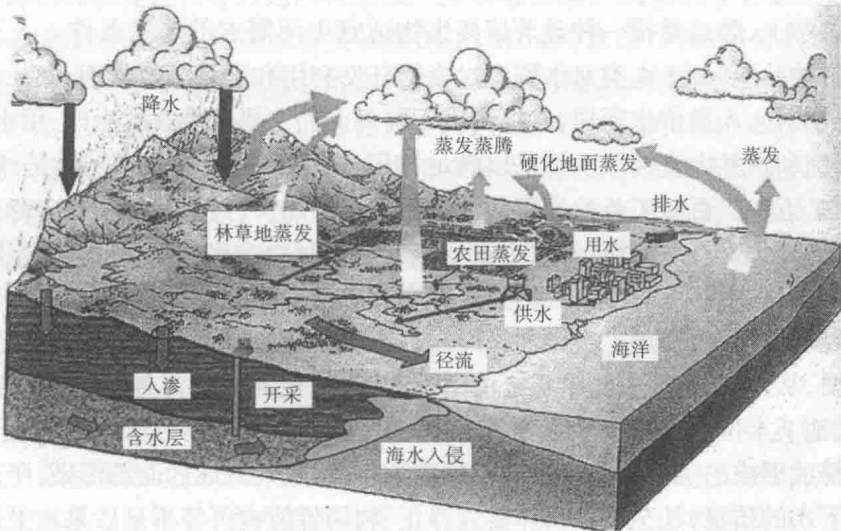


图 1-3 “自然 - 人工”水循环系统构成要素示意

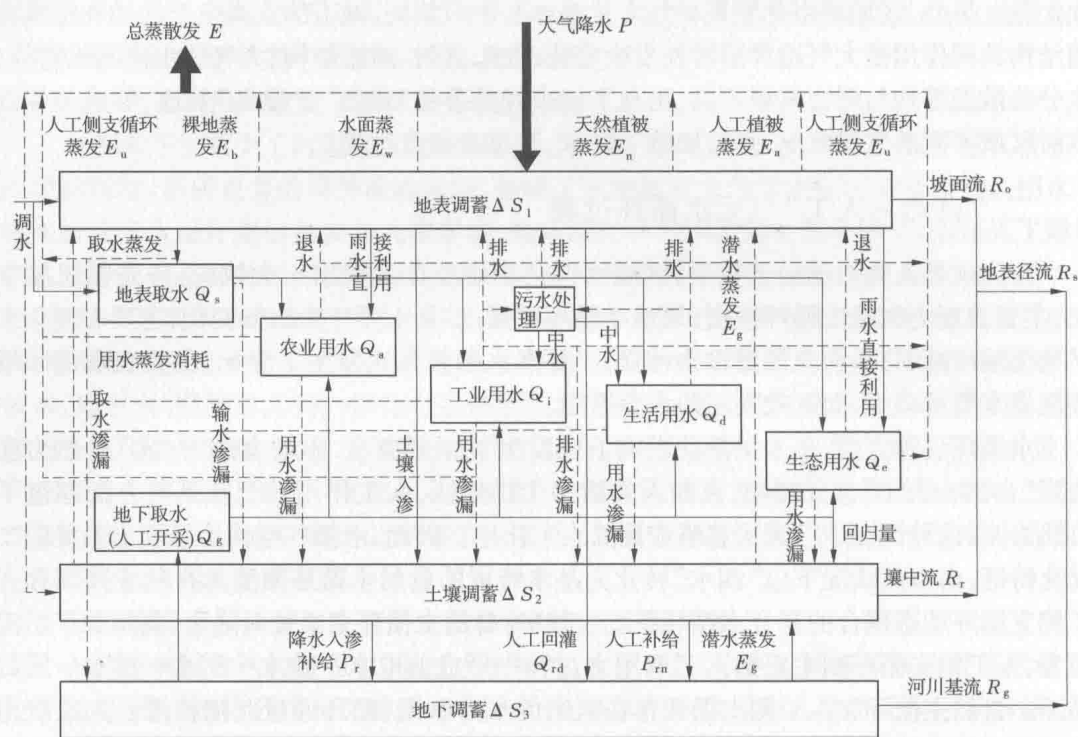


图 1-4 “自然-人工”水循环系统概化

自然主循环和人工侧支循环此消彼涨的竞争关系对水资源与水生态的关系也产生了深刻的影响。

三、人工侧支循环的生态胁迫效应

在生态学上,胁迫是指一种显著偏离生物适宜生活需求的环境条件。人工侧支水循环对水生态的胁迫,源于人类对水资源过度的开发利用和不科学的管理。

在古代社会,人类依水而居,人口密度不高且人们主要从事农牧生产,用水量也有限,从河流、湖泊和水中直接取水就足以满足饮用、灌溉和畜牧的需求。但是,随着人口的增加,特别是近一二百年工业的发展和城市化进程的加快,人口的地域分布背离了水域自然分布规律,而且直接从河流、湖泊中取水也无法满足社会经济需求,于是开始对水资源进行人工调控,包括建设大小不一的拦蓄水库和规模不等的人工输调水工程。但是,人类在资源的利用方面,表现出了贪婪的一面。一方面是超量引水、用水,即为满足供水、灌溉等经济需要,从河流、水库中超量引水或超采地下水,使河流径流量无法满足生态用水的最低需要、地下水位下降并形成降落漏斗;另一方面是污染物的过量排放,由于工业废水、生活废水排放形成的点源污染以及农田施用化肥、杀虫剂造成的面源污染,严重影响了地表水和地下水的质

(一) 人类活动对水生态系统产生了胁迫

人类一系列的活动一直不断地改变着水生态系统。这些活动诸如水利、农业、城市发

展、矿产开发、畜牧、旅游、林业生产等,对水生态系统从结构到功能都产生了不同程度的影响。如河流大坝工程建设会产生分割作用和径流调节作用,改变了径流过程;渠道、引水工程和渠道衬砌等河道整治工程会造成河道断面的均一化和底泥中生物生境的破坏;城市化会改变地区的水文特征、河道生境和岸边植被;不合理地取用水资源,破坏了生境而致使生物多样性下降。一些影响甚至超出了水生态系统自身的调节能力,如过度取用地表水或地下水资源以及向水体中排放污染物,降低了水生生物的多样性,甚至导致水生态系统的消亡。

(二) 人类活动对水生态系统服务价值产生了影响

生态系统服务功能是指生态系统与生态过程所形成及所维持的人类赖以生存的自然环境条件和效用。生态系统的服务价值是在与人类的相互作用之中实现的,并受人类活动的强烈影响。相对于海洋或陆地生态系统,淡水生境具有相对的不连续性,造成了其独特而丰富的生物多样性分布格局,以及独特而重要的生态价值,但同时也决定了其相对脆弱的特性。因此,当人类不了解或忽视水生态系统的服务价值时,不合理的人类活动会导致水生态系统为人类提供的福利减少,进而导致水生态系统服务价值的降低。

四、基于二元水循环系统水资源与水生态相互制约的关系

人类活动改变了自然水循环过程,并形成了“自然-人工”二元水循环系统,由自然主循环与人工侧支循环耦合构成。社会经济的发展、社会需水量的增长,使人工侧支循环过程越来越发达,并对生态系统产生了胁迫。这样,水资源与水生态原本相互依存的关系就随之发生了深刻变化。

众所周知,水资源始终是人类社会发展最重要的不可替代的自然资源,对支持人类生命、食物生产、能源生产有着基本的功能作用。然而,水生态系统也同样高度地依赖着水资源。水资源的稀缺性往往导致这两种依赖产生明显冲突。问题在于,人类可能更加重视淡水生态系统带来的经济利益或者实物型的生态产品(食品、药品和材料等),而另一部分非实物型的生态服务包括生物群落多样性、环境、气候、水质、美学等功能,虽然对人类社会经济产生深远、重要的影响,但却往往被人们所忽视。因此,在很多时候,人类会以牺牲水生态系统的功能及其环境质量作为代价来求得经济的发展,或者说人类对生态的胁迫因社会的不断发展而日趋严重。水资源的过度占用、污废水的无序排放等导致了环境质量的下降,生物多样性和生态功能也随之下降,自然生态系统对资源的调节、修复、再生能力也逐渐丧失,由此引起水资源的更加匮乏,这也反映出人类对水生态胁迫产生的一系列连锁反应。这种反应就是水资源过度利用—水生态退化—水资源枯竭—水生态消亡……如此恶性循环下去。

总之,当人类社会发展到一定程度,出现了人与自然或人与生态争夺水资源时,水资源系统与水生态系统之间相互制约的关系就越来越显现,并直接影响人类自身的可持续发展。从某种意义上来说,只有有效地改善了水资源与水生态之间的关系,实现了两者的协调发展,才能真正保障人类社会的永续发展。