

 城市水利丛书

城市水环境与生态建设

CHENGSHI SHUIHUAJING YU SHENGTAI JIANSHE © 刘延恺 主编



中国水利水电出版社
www.waterpub.com.cn

 城市水利丛书

城市水环境与生态建设

◎ 刘延恺 主编



中国水利水电出版社
www.waterpub.com.cn

内 容 提 要

本书收集了 20 世纪末至 21 世纪初我国城市河湖综合治理、水环境改善和生态建设热潮中的规划、设计、研究和实践方面的论文 35 篇,反映出这一时期治理水污染和改善水环境方面的新思路、新举措和新成果。本书内容具有综合性、创新性和实用性,适合城市水利、水务工作者,相关专业院校师生和社会读者参考或阅读。

图书在版编目(CIP)数据

城市水环境与生态建设 / 刘延恺主编. — 北京 :
中国水利水电出版社, 2009.9
(城市水利丛书)
ISBN 978-7-5084-6834-1

I. ①城… II. ①刘… III. ①城市环境: 水环境—中国—文集②城市环境: 生态环境—中国—文集 IV.
①X321.2-53

中国版本图书馆CIP数据核字(2009)第171185号

书 名	城市水利丛书 城市水环境与生态建设
作 者	刘延恺 主编
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 (营销中心)
经 售	北京科水图书销售中心(零售) 电话: (010) 88383994、63202643 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	北京市兴怀印刷厂
规 格	184mm×260mm 16 开本 14.75 印张 350 千字
版 次	2009 年 9 月第 1 版 2009 年 9 月第 1 次印刷
印 数	0001—2000 册
定 价	30.00 元

凡购买我社图书,如有缺页、倒页、脱页的,本社营销中心负责调换

版权所有·侵权必究

序

《城市水环境与生态建设》的出版是中国水利学会城市水利专业委员会多年学术交流活动成果的积累，所涉及的内容也是各界人士和广大市民普遍关注的热点问题。从本质上看，城市水环境与生态环境既是关系到和谐社会建设与经济社会可持续发展的重大问题，又是长期以来被城市发展所忽略的一个领域，城市化的快速发展与城市水环境和生态环境之间的矛盾变得非常突出，到了非解决不可的地步，而且现在经济发展了、人民生活富裕了，群众要求解决，政府也拿出钱来要解决，剩下来就是我们城市水利工作者如何当好政府的参谋，拿出好思路、好方案、好规划、好设计和好技术来解决这个问题了。本书所收录的 35 篇文章就是近年城市水利工作者在这方面努力实践和理论探讨的成果。

城市水环境主要是指城市水域中水的各种水质指标、各种污染物的含量，是有明确的指标和标准可以计量的；城市水生态环境的内涵和涵盖的范围却要复杂得多，包括生态景观、生物栖息地环境、生态系统的服务功能等多方面内容，目前还没有形成公认的计量指标和标准，讨论的热点主要集中在生态环境需水量和河湖生态修复技术上。但是最终我们要明确我们的城市需要什么样的水环境和生态环境？如何实现这样的水环境和生态环境？又如何去保护和管理城市水环境和生态环境？

从学术上来说，这个问题可以说得很复杂，但是作为市民来说这个要求却十分简单：水要清、岸要绿、景要美、水边生物要多。为什么？也很简单，要改善自己的生活环境，要满足回归自然、休闲娱乐、亲水，要体验单调的城市生活中河流带给他们的滋润、凉爽、快乐和舒适。对此，水利工作者应当有些反省，我们干了一辈子水利却走了不少弯路：河流被我们修整齐了，却没有了小河弯弯的美感；河岸被我们用混凝土包结实了，却光光地连棵草都没有了；自然的岸坡被我们修成了陡坡或直墙，水边变得充满了危险，失去了亲切……几十年转眼过去之后，我们才发现童年时代带给我们很多快乐的清澈小河已经在不知不觉间消失，我们面前的河流静静地躺在高楼的森林中，失去了生气。值得庆幸的是我们还有机会弥补以前的过失，把污染的河流再次变得清澈，于是产生了水环境的新学科；让寂寞的河流再次充满生机，于是产生了河流生态修复的新学科；学术界又活跃起来，大水利、城市水利、环境水利、生态水利、环境水力学、生态水力学、生态水工学……新学科应运而生，城市河流的治理不仅给河流带来了春天，也给水利理论带来了春天。

感谢为本书编辑、出版付出辛苦的各位。他们给我们带来了希望，我们的孩子们可能会享受到城市河流带给他们的快乐。

刘世坤

2008 年 10 月 10 日于北京

前 言

改革开放以来,我国进入高度城市化发展时期,城市化率达到了25%以上。据预测,未来30年将是我国城市化进程最快的阶段,城市化率将达到68%。随着城市化率的不断增加,城市面临着越来越多的水问题,如水资源紧缺、城市洪水威胁、水环境和生态环境恶化、水文物损毁、水管理不顺等一系列问题。因此,认真研究和解决“城市水利”问题,搞好城市水利建设,是当前急需解决的重要课题,也是摆在城市水利工作者面前的繁重任务。

城市水利问题在城市规划和管理中的地位日趋重要。为此,许多城市和学术团体开始研究、探讨如何解决城市化快速发展带来的新的城市水利问题,并取得可喜的成果。自20世纪80年代起中国水利学会所属的水利史研究会和水力学专业委员会在推动城市水利学术交流和实践活动中起到促进作用。值得提起的是中国水利学会水利史研究会和北京水利学会本着“以史为鉴、古为今用”的原则,总结古代城市水利的经验,为现代城市水系治理出谋献策,积极参与北京市城市水系的综合整治工作,取得良好效果。在这种形势下,中国水利学会在2000年底正式组建了城市水利专业委员会。目的是广泛联合水利、市政、环境、生态、文物、旅游和社会科学等各有关学科的专家学者以及各城市的城市水利工作者和领导者,共同探讨城市发展中有关水问题和与水交叉的学科问题,为推动城市水利这一综合学科的发展,总结城市现代化建设和管理中的经验,为促进城市经济社会的可持续发展,建设人、水、自然和谐相处的人居环境,为建设社会主义和谐社会作贡献。

中国水利学会城市水利专业委员会成立5年来,在中国水利学会的领导下,与全国广大城市规划建设和城市水利工作者一道,坚持科学发展观,开展城市水利学科的研究和实践活动。在城市供水与节水、城市防洪与排水、城市水环境与生态环境保护、城市水文化与水文物保护、城市水务管理等方面进行国内外学术交流,在理论研究、创新思路、实践经验等方面,都取得丰富而宝贵的成果。

《城市水利丛书》是中国水利学会城市水利专业委员会将20世纪80年代以来有关城市水利学科有创见的论文汇编而成,分别为《论城市水利》、《城市供水与节水》、《城市防洪与排水》、《城市水环境与生态建设》、《城市水文化与水文物》和《城市水管理》。这6个分册将陆续出版,以飨读者。

由于编者水平有限,本丛书在编辑过程中错漏之处在所难免,敬请指正。

编 者

2005年12月

目 录

	序	
	前言	
1	21 世纪的中国水问题	刘树坤
6	中国水健康循环之路	张 杰 熊必永
15	海河流域水环境危机和适度恢复对策的探讨	周魁一 谭徐明
21	海河流域生态环境质量评价	姚文锋 张思聪 吕贤弼 唐莉华
27	水环境与城市文明	张伟波
34	还清河湖是城市水环境建设的根本目标	刘汉桂
40	试论生态水利工程设计的基本原则	董哲仁
47	城市建设要高度重视水环境问题	靳怀塔
52	关于城市水环境综合治理的对策思考	戴玉凯
57	从合肥城市发展谈水环境建设	郝朝德
60	现代城市水利规划若干问题的探讨	
	——以广州市番禺区为例	程晓陶
69	水环境安全及其指标体系研究	
	——以北京市为例	李贵宝 王东胜 曾畅云 傅 桦
78	水环境及社会经济的可持续发展	马进荣
84	太湖流域城市水资源生态综合管理	陈荷生 成 新
90	基于社会水循环概念的城市水系统环境可持续性评价和框架	
	 陈庆秋 薛建枫 周永章	
100	北京城市水系综合治理的回顾与思考	六振达
104	自然生态型河道建设的理念及其应用	卫 明 王为人 刘晓涛 魏梓兴
109	大连市生态型河道建设实践	许士国 高永敏 石瑞花
116	汾河太原城区段水环境建设	
	——创造“人、城市、生态、文化”的多元共生空间	乔亮生
128	广州市河涌水环境治理思路	黄 红
132	北京市北环水系综合治理工程转河段工程的设计与思考	温明霞
139	城市河流整治与城市水环境	史俊伟

144	宁波市甬新河工程生态亲水设计的一些尝试	汤建辉	唐宏进
148	城市河流治理规划若干问题的探讨	刘晓涛	
154	生态护岸的一些做法	邓卓智	
162	生态护坡技术试验与研究	孙卫岳	郑海龙 黄颖蕾 冲谷贤儿
168	绿化混凝土的基本特性及其在河道工程中的应用	卫 明	
176	水生植物净化水质机理及其在城市河道生态治理中的应用	李云开	杨培岭 姜银光 邱信蛟
182	我国城市污水处理技术剖析及对策研究	杨展里	
189	青岛市水环境污染现状趋势预测及其防治对策	滕胜叶	
200	浅论北京城市河湖水华的发生及对策	黄振芳	孙 峰
206	城市河湖生态需水研究	谢 燕	贾海峰
210	污染水体原位就地修复技术的研究以及在温榆河污染治理上的应用	赵生成	
215	城市河道人工建筑物复氧研究	罗 麟	程香菊 罗英明
225	天然湿地与人工湿地相结合治理水污染	付艳阳	张 昕

21 世纪的中国水问题

中国水利水电科学研究院 刘树坤

从 1949 年新中国成立以来, 历经半个世纪, 我国的水利建设取得了巨大成就。遍布全国的水利工程, 确保了大江大河干堤及大、中城市的安全, 避免了许多重大毁灭性灾害; 农田水利建设保证了我国农业的持续增产, 使 12 亿人口的粮食供应得到基本保障。进入 20 世纪 80 年代, 我国经济得到全面恢复, 迎来了经济的持续增长期。近 20 年经济的高速发展增强了全社会对水利事业的压力, 使其在资金及财政困难的情况下把相当的精力投入了“经营”和“创收”。相对忽视了对水利事业经验的总结, 特别是对以城市化为特征的经济高速增长施加于水利事业的压力及缓解对策缺少系统的研究, 未及时调整好治水战略。出现了传统治水思想与新经济形势的重大矛盾和冲突, 日益加剧的水问题表现在:

(1) 洪涝灾害损失日益增加。1993~1997 年, 我国因洪灾造成的直接经济损失 7192 亿元, 其中工业及城市的损失约占 50%。黄河、海河等北方河流主槽不断淤积萎缩, 小水也常导致大灾。洪涝灾害已成为制约国家发展和稳定的心腹之患。

(2) 北方河流断流河段增多, 断流时间加长。浩浩黄河愈演愈烈的断流问题已引起国内外广泛关注。1997 年黄河断流 226 天, 由此产生的环境、生态破坏以及对黄河下游生产、生活的影响难以估量。1993~1997 年的 5 年间, 由于缺水及干旱而减产粮食 565.5 亿 kg。

(3) 大江大河污染严重, 恶性事故不断发生。近 20 年经济高速发展的同时, 排向各水系的污染物急剧增加, 仅辽河水系每年就排入 16 亿 t 污染物。淮河污染至沿河无水可饮, 牲畜饮水中毒死亡的恶性事故震惊全国。七大江河已没有一条干净河流。作为人类文明之镜的许多淡水湖泊有机污染及富营养化问题也十分突出。

(4) 水生态环境日益恶化。大部分靠近人类活动区的水域, 其水生生物及鸟类的栖息和生息环境被破坏, 生物种群的多样性逐日减少甚至消失。

进入 21 世纪, 这些问题将会缓解还是激化呢! 答案是, 在 2020 年之前这些矛盾肯定将更趋于激化, 其理由是:

(1) 我国已进入城市化的高速发展期, 目前以城市人口所占比例计算的城市化率为 29%, 预计至 2020 年将达到 49%, 最终我国的城市化率可能超过 70%, 就是说将有 3 亿~6 亿人口将变为城镇人口。城市人口、财产的集中肯定会使洪涝灾害损失增加, 供水更趋紧张, 污染及生态破坏进一步加剧。

(2) 21 世纪地球气温仍将处于升温期, 水的循环机制将加快, 雨季的降雨量和旱季的蒸发量都将增大, 意味着洪、涝、旱灾害的频率增高和强度加大。

(3) 人口数量增加, 社会老龄化等人口问题将给水利工作带来许多新的困难和压力。为解决 16 亿人的吃、住问题将要开垦更多的农田, 建造更多的住宅, 必将导致水土流失

面积的扩大，而人口老龄化将增加承灾弱者，加重全社会的减灾负担。

(4) 社会经济持续高速发展对环境造成的压力也会持续增加。预计在 21 世纪初期，我国仍将保持 10% 左右的经济高速增长，在水的重复利用系数没有大幅度提高之前，对供水量的需求及排污总量都会不断增加，大气污染也会促进大气温室效应，新开发区的建设将会使灾害高风险区域内的财产增加。

(5) 居民生活质量的提高及生活方式的改变将会对水利事业提出更高、更新的需求。如生活用水量，特别是干旱季节用水量的增加；饮用更清洁水的呼声加强；能源消耗加大；旅游业发展，居民对水域周边空间景观、水质、生态环境等将会提出更高的要求。

(6) 由于物价也将随着经济的高速增长而上涨，水利工程的建设和运行成本也会不断增加。特别是为缓解水问题的压力必须发展节水农业，少污染工业及绿色产业，这些都需要有较大的投入。

问题已经非常明显地摆在人们面前，对于已经出现并将持续恶化的水问题应当去寻求其产生的原因以及 21 世纪摆脱困难的途径。为此，首先应当对治水思想从以下三个方面进行深刻的反思。

1. 重新构筑人与自然的关系

在过去的水利工作中，比较强调人对自然的改造，而忽视了对自然的适应，人们周边的自然是由天、地、生系统所组成。过去说诸葛亮“上知天文、下知地理、中晓人和”。天即天文气象，包括阳光、空气、水生长三要素，及相应的日、月、雷电、雨、雪、霜、雹等；地即岩石、土壤，包括山、川、地震、火山、泥石流、滑坡等地质灾害，以及洪涝、海潮、海啸等地表层水灾害；生即生灵万物，人居其中，既可以是人畜兴旺，五谷丰登，也可以是生态失衡，病、虫害及瘟疫流行。

人是这一大系统的一部分，从人类的起源到发育和发展都是直接受到天、地、生系统的影响和控制，迄今为止，人类为自身的利益，开展了大规模的改造自然活动。但是在创造较大经济利益的同时，对自然的过分干扰也造成天、地、生系统的混乱。如过量排放 CO_2 、 SO_2 ，使酸雨及温室效应增强，造成土壤砂化，森林特别是热带雨林减少，致使水循环机制改变等。又如干旱地区过分地扩大水田面积，造成下游断流，而且由于蒸发量大造成灌溉土壤盐碱化，需要更多水量洗碱，又导致盐碱化进一步加剧，形成恶性循环。

随着人类经济开发活动规模的扩大，人类对自然系统的干扰和破坏也越加大，最终将危及人类自身的生活环境。因此，进入 21 世纪人类对自然的改造活动应当有所节制。要学会与自然长期共存。即在自然条件所能容许的条件下，以可持续发展为前提，制定自己的发展规划。

2. 重新构筑人与生态系统的关系

地表层分为大气圈、水圈、生物圈、岩石圈，有的学者又提出从生物圈中将人类圈分离出来。实际上，人类尽管具有高级智慧及较强大的改造环境的能力，但是仍然属于生物圈中的一部分，是生物系统中最高级的生物，人类自身的存在仍然需要生物多样性的支持，生物系统的进化仍未终结，失去生物多样性，种群杂交受阻，各种遗传基因的进化将会出现障碍，新种群难以生成，致死遗传出现，也会影响人类自身的生存和进化。而在过去的人类活动中，人们缺少这一认识，自尊为万物之主宰，一切从满足人类利益出发，肆

意破坏其他生物的生活环境，导致大量物种灭绝。进入 21 世纪，人类应当学会与其他生物共存，在满足自身利益的同时也要尽量保护其他生物的生存环境。应把保护生物多样性作为制约人类活动的原则。

为保护生物多样性，保护湿地是十分重要的。因为湿地是生物多样性最丰富的地域，是水陆交接的地区。但是在过去的水利建设中，因筑坝而阻断了河流的连续性，因筑堤而阻断了水陆的连续性。因此在今后的治水规划中要十分注意对湿地的保护，维护水陆的自然交接。

3. 重新构筑人与河流的关系

人是从水中生物进化来的。因此人与水应当具有十分亲密的关系。但随着社会的发展，人与河流的关系逐渐疏远，或是为了防洪用高大的堤防将人与河流分隔，或由于河流的污染而将其填埋或变为暗渠。许多河流生物灭绝，常年黑臭，使人避而远之，人类与河流直接接触的机会越来越少。

进入 21 世纪，人们将把河流这一连接山脉与大海的通路，作为一条生物及绿化的走廊，使其成为适合人类休息、娱乐的宝贵自然空间。特别是河流是形成地区风土人情及文化的重要因素。通过治河要使河流两岸的空间形成为充分体现地区独特风情文化的场所。水利工作除了常说的“兴利·除害”之外，还应包括重新把人们吸引到河道空间，增加对水的亲近感这一项新的内容。

在认真进行上述反思后，可以对 21 世纪水利事业的发展作出如下八个方面的展望。

1. 重视以流域为单元的水利建设和管理

天、地、生系统是以流域为单元的，正所谓“一方水土养一方人”，流域所特有的自然条件形成特有的生态系统，形成特有的人种和文化特点，因此保持流域内的水土平衡是可持续发展的重要条件，在生产技术条件落后的时代，以水路交通为主，流域上、下游之间的交流较多，而与其他流域交流较少，流域基本上可视为封闭的，人们对流域的观念较强。但是随着科学技术的发展，跨流域的交通发达了，公路、铁路，特别是飞机，使跨流域的物质及文化交流增多，跨流域的经济圈、行政圈出现，人们对流域的观念逐渐淡化，流域由封闭系统变为开放系统。给流域的水资源开发及管理带来较多困难，地区间的利益冲突使上、下游之间的水利纠纷增多，忽视流域存在的跨流域调水被许多行政部门所强调。流域管理部门缺少对全流域水资源的管理能力。从天、地、生的角度来看，21 世纪的水利，应当突出流域圈的观念，加强流域水资源的统一管理，加强流域管理机构的宏观调控作用。流域机构不单单管水，还要对流域的开发活动有建议权及必要的干预权力。同时要加强对流域间不同行政区域的协调，以确保在流域内形成稳定的生态系统及可持续发展的社会环境。

2. 流域规划应当包括流域生态环境的规划

流域规划不应单纯的就水利行业进行规划。首先应当根据流域内生态环境的历史沿革，确定流域的生态环境目标，如森林、草场、自然保护区、湿地、人口分布、农业、工业、河流的基本生态指标等，将流域内可利用的水资源合理进行分配，在上述分配的限额内进行经济发展计划，不能过分强调人类经济利益而牺牲生态环境。

3. 水资源规划应是封闭式而不是开放式

多年来我国的水资源规划基本是开放式，即行政首脑确定经济目标→经济部门提出需水要求→规划部门进行供需平衡→供水不足时由水利部门去开发新水源。这种开放式的水资源规划比较强调开发水资源，造成水资源的浪费和过度开发（如大水漫灌的灌溉方式和地下水的超采）而轻视节水，更谈不上去形成节水社会。本流域水量不足时，往往将目光集中于其他流域的水资源，提出大规模的跨流域调水计划。

封闭式的水资源规划是由水利部门确定可利用水量→规划部门对水量进行合理分配→各行业部门在各自配额内进行行业规划→水资源不足时调整产业结构，开发节水技术。封闭式规划鼓励节水，限制浪费，其核心是强调人类应去适应自然，在有限的自然资源状况下实现人类社会的可持续发展。

4. 水利工作的重点将由农村转向城市

城市化是 21 世纪我国经济发展的主要特征。而城市完全是人类社会的产物，是生态系统最脆弱的环节，也是生物多样性最贫乏的区域。城市内由于人口及资产的高度集中，也是水问题最集中，水治理最复杂的区域。首先城市化将使水循环的下垫面变化，即透水地面减少，不透水地面增加，导致地表径流产流系数加大，城市洪涝灾害致灾因素增强。其次，城市扩大，生活质量提高，用水量随之增加，发生缺水的机会增多。第三，人河污染物及固体废弃物增多，导致环境恶化。第四，城市内自然景观贫乏，人们对水边空间的自然景观及生态系统的恢复有较高的期望。由于我国长期以农业生产为主，水利为农业服务，农田水利发展源远流长。相比之下，对于城市水利的研究较少，对城市水的管理也是多龙治水，难以协调。而城市水利的问题已摆在面前，成为不容忽视的重要领域，除了许多理论和技术问题须要认真研究之外，在管理体制上类似深圳市水务局那样对城市从上水到排水进行统一管理也是势在必行。

5. 建设不怕水的城市和不怕水的农业

这包括两种含义。一方面是通过提高防洪标准，减少城市和农业地区的洪涝灾害风险，创造一个安全的生产生活环境。但是人类的经济能力总是有限的，而且过高的防洪标准也是不经济的。因此，从另一种含义来说，所建设的城市和农业生产体系即使遭受洪涝灾害，也不应产生很大的经济损失，并能确保居民生命的安全，这就要求城市和农业建设要适应当地洪涝灾害的特点，这就是人类与灾害长期共存的观点。在这方面已有许多新的观点和技术可以借鉴。如城市要在洪涝灾害风险图的基础上进行规划，控制高风险区域内的投资和发展，采取诸如开辟城市绿地，增设公共活动场所的雨洪调蓄功能，建设较大规模的地下雨水调蓄设施，增强排涝能力等措施。此外还可以通过完善预警报系统、社会信息共享、灾情信息公开、加强防灾减灾的宣传和训练等非工程措施来减少洪涝灾害可能造成的损失。最近国外专家提出的“湖城”模式，即挖湖筑台，四周为湖，中央为城。这种布局无论在防洪排涝，还是在环境、景观、生态等方面都有明显的优点，这可以说是“紫禁城”的新版，或未来新兴“不怕水城市”的模式。

在农业建设上，也有在山麓营林，建造星罗棋布的水塘和鱼塘，在多水地区用水田、河网调蓄雨水，加大农田排涝能力等措施，增强农业的防洪减灾能力。

从根本上讲，要尽量增加雨水在流域内的滞留时间，避免径流同时汇入河道，以减轻河道的行洪压力；减轻洪涝灾害。

6. 防止水利转化为水害

水利工程是除害兴利的，可稍有失误，水利也可能酿成水害，因此周总理在比较水利与航天技术时说过“水利比上天还难”。这方面的例子不胜枚举，如“75.8”洪水，板桥、石漫滩水库失事，1000多万人受灾，死者数万人就是典型的例子。在我国已建成的8万多座水库中，有1/4的大、中型水库，2/5的小型水库属病险工程，七大江河主要堤防有险工、险段8000多处。随着时间的推移，这些工程将进一步老化，出险的机会也将增加。在21世纪如何消除这些隐患应列入首要日程，除加固脱险外，绘制溃坝风险图，制定应急方案也是十分迫切的，反对筑坝者说：“造一座坝，等于造一颗原子弹”，这话虽偏激，但从防洪角度来说，可以作为人们的座右铭。

又如黄河下游大堤的建设，使下游河床不断抬高，成为地上悬河。堤防与洪水的竞争永无止境，酿成大灾的危险日益增加。即使黄河不再泛滥，原黄泛区的地下水补给减少，地下水位下降，也危害不小。大坝建设导致河流及水生态连续性破坏等，都是水利变为水害之例。在21世纪的水利建设中如何防止水利演变为水害应是重要课题之一。

7. 保护生物多样性，首先要形成水流的多样性

在经典水力学的指导下，过去的治河较多地强调了最佳水力半径，单纯从增加行洪能力出发，使河道人工化，断面单一化。两岸或为陡坡或筑堤防，护面或砌石，或混凝土，均使河岸的自然属性消失。在自然条件下，河岸多有大片浅水区域或湿地，水草丛生，是鱼类繁殖、栖息的重要场所，那里昆虫密集，鸟类群居，是生物多样性最丰富的地区。在河道内有适应不同水深和流速的各种各样的鱼类，无论深潭、浅滩、沙洲都是某些鱼类捕食、栖息的场所。在21世纪，随着对生物多样性保护意识的提高，建设多自然型河流将成为潮流。如退田还湖，恢复河流与洼地、湖沼的沟通，增加水流的多样性，保护湿地等治河技术将会逐渐成熟。

8. 回归自然，创造多彩的文化

休闲在21世纪将成为时尚，随着劳动时间的缩短，人们将有更多的时间休闲。紧张而单调的城市生活也将激发人们回归自然、投入自然怀抱的欲望。这样一来，具有良好水质及生态环境的水边空间将是最吸引之处。各种河道公园、野生带、水上娱乐、戏水垂钓、河岸野营、篝火晚会、野炊、消夏音乐会、焰火、集会、赏花、交际、小型体育竞赛等丰富多彩的文化娱乐活动会把众多的居民从城市混凝土的楼室中拉到水边空间来。因此在河道建设中，充分考虑居民的多样需求，为他们创造丰富多彩、乡土气息和文化气息浓厚的水边环境是重要目标之一。

上面所勾画的21世纪水利建设前景只能算是一种素描，更充实的内容有待广大水利工作者去开发。但实现可持续发展已成为国策，保护生物多样性已由世界各国所承诺，保护湿地也已签署国际公约。这些代表人类智慧，协调人与自然关系的准则，在21世纪的我国水利建设中应当有充分的体现。作为水利工作者，要解放思想迎接21世纪带来的丰富多彩的工作机遇。

中国水健康循环之路

中国市政工程东北设计研究院 张 杰
北京工业大学 熊必永

一、前 言

水是人类社会经济发展的基础自然资源，也是人们生存、生活不可替代的生命源泉。但是目前全球一半的河流水量大幅减少或被严重污染，世界上 80 个国家占全球 40% 的人口严重缺水。水资源危机已经成为当今世界许多国家社会经济发展的制约因素。

水在自然界中以固态、液态、气态这三种存在方式处于不停地循环运动状态中：海水蒸发变成云，云又以雨或雪的形式降到地面，部分蒸发，部分渗入地下或汇入河川形成地下、地表径流，最终又回归大海。这种周而复始的大循环称为水的自然循环。

水的社会循环是指在水的自然循环当中，人类不断地利用其中的地下或地表径流满足生活与生产活动之需而产生的人为水循环。例如，城市从自然水体中取水，经过净化处理后供给工业、商业、市政和居民使用，用后的废水经排水系统输送到污水处理厂，处理之后又排回自然水体。这就是水的社会循环，又称水的小循环。水的自然循环和社会循环交织在一起，水的社会循环依赖于自然循环，又对水的自然循环造成了不可忽略的负面影响。

二、中国水资源与水环境现状

在中国，虽然水资源总量约有 2.8 万亿 m^3 ，但是人均占有水资源量不足 2200 m^3 ，约为世界人均水量的 1/4，列世界第 121 位，是一个不折不扣的贫水国。

新中国成立以来至 20 世纪 90 年代，中国用水总量迅速增长，从 1949 年的约 1000 亿 m^3 增长到 1997 年的 5566 亿 m^3 。之后，一直趋于稳定。到 2002 年，全国总供水量 5497 亿 m^3 。其中地表水源供水量占 80.1%，地下水源供水量占 19.5%，其他水源供水量（指污水处理再利用量和集雨工程供水量）仅占 0.4%。2002 年用水量中，农业用水 3736 亿 m^3 ，占总用水量的 68.0%；工业用水 1142 亿 m^3 ，占 20.8%；生活用水 619 亿 m^3 ，占 11.2%。与 2001 年比较，全国总用水量减少 70 亿 m^3 ，其中生活用水增加 19 亿 m^3 ，工业用水增加 1 亿 m^3 ，农业用水减少 90 亿 m^3 。全国 1949~2002 年用水量情况如图 1 所示。

目前，中国 660 多个城市有 400 个缺水，其中大部分属于因污染导致的水质型缺水。每年水污染造成的经济损失约为全年 GNP 的 1.5%~3%。2000 年，全国城镇化水平已经从 1949 年的 10.6% 提高到 36%，预计中国 2020 年的城镇化水平将达到 50% 左右，城镇总人口约为 7.5 亿。今后城市发展和城镇化的加快必然将进一步加剧缺水危机。根据中国工程院数据，全国可利用水资源量，不考虑从西南调水，扣除生态环境用水后约为 8000

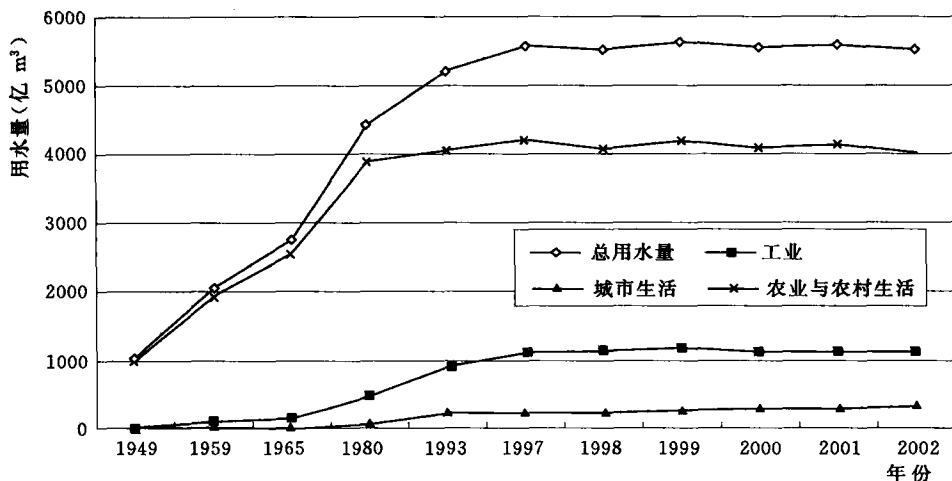


图 1 全国 1949~2002 年用水量状况

亿~9500 亿 m^3 。2050 年全国需水量可能达到 7000 亿~8000 亿 m^3 ，届时将接近可利用水资源的极限。

更为严峻的是，我国江河污染的严重势态还没有得到有效遏制，整体环境质量还在恶化。2002 年，七大水系 741 个重点监测断面中，仅有 29.1% 的断面满足 I~Ⅲ类水质要求，30.0% 的断面属 IV、V 类水质，40.9% 的断面为劣 V 类水质。主要湖泊氮、磷污染严重，富营养化问题突出。滇池草海为重度富营养状态，太湖和巢湖为轻度富营养状态。其他大型湖泊洞庭湖、达赉湖、洪泽湖、兴凯湖、南四湖、博斯腾湖、洱海和镜泊湖 8 个淡水湖泊中，仅兴凯湖达到 II 类水质标准；洞庭湖和镜泊湖水水质达到 IV 类水质标准；其他湖泊水质均为 V 类或劣 V 类。此外，全国以地下水源为主的的城市，地下水几乎全部受到不同程度的污染。全国 118 个城市中，地下水污染严重的占 64%，轻度污染的占 33%，仅有 3% 的城市地下水尚属清洁。

三、中国水环境与水循环的健康之路

(一) 可持续发展战略

20 世纪中、后期，世界范围内资源短缺与环境恶化问题日趋严重，人们对人与自然、发展的问题进行了广泛的讨论，提出了新的人与自然和谐思想——“可持续发展”。

可持续发展理论作为社会发展理论的重要方面，起源于 20 世纪五六十年代。由于长期以来采取的“高投入、高消耗、高污染”发展模式，导致了自然资源的过度消耗和生态平衡的破坏，加剧了地区之间的贫富差距。20 世纪 30~60 年代，发达国家发生了令人震惊的“八大公害”事件。在 20 世纪 50 年代，福格特的《生存之路》和卡逊的《寂静的春天》等著作首先揭示了人类发展中的生存问题和环境问题，引起世人的广泛关注和讨论。1972 年，联合国在瑞典斯德哥尔摩首次召开“人类环境会议”，通过了《人类环境宣言》，提出“人类只有一个地球”，郑重宣告“保护和改善人类环境已成为全人类的一项迫切任

务”，唤起了世人环境意识的觉醒。是年，罗马俱乐部发表了著名的研究报告——《增长的极限》（The Limits of Growth），预测“如果让世界人口、工业化、污染、粮食生产和资源消耗方面以现在的趋势继续下去，这个行星上的增长的极限有朝一日将在今后一百年中发生”，并提出了“经济零增长”的控制方法。该报告引起了全球各界的巨大震动。之后引发了沸沸扬扬的关于发展与环境问题的讨论。

1983年，联合国成立世界环境与发展委员会，以挪威首相布伦特兰（G. H. Brundtland）夫人为主席。委员会在1987年提交了题为《我们共同的未来》（Our Common Future）的研究报告。报告定义了“可持续发展”（Sustainable Development）——“既满足当代人需要，又不对后代人满足其需要的能力构成危害的发展”，同时提出和阐述了“可持续发展”战略。1992年6月，联合国在巴西召开了环境与发展首脑会议。通过了《里约环境与发展宣言》、《21世纪议程》等一系列划时代的、指导各国可持续发展的纲领性文件，正式确立了“可持续发展”是当代人类发展的主题。2002年8月，约翰内斯堡可持续发展世界首脑会议再次深化了人类对可持续发展的认识，确认经济发展、社会进步与环境保护相互联系、相互促进，共同构成可持续发展的三大支柱。今天它作为解决环境与发展问题的唯一出路而成为各国的共识。

实质上，可持续发展思想的提出是对人类社会原来所采用的不可持续的生产和消费模式的反思和检讨，是对人与自然、人与社会关系的重新定位。它是人类在几千年的发展过程中正反两方面的经验教训总结，是全人类先进思想的结晶，是人类永续生存和发展的根本之道。

可持续发展的思想在中国已经得到广泛接受并率先付之实践，在世界各国中首先于1994年制订了国家级的行动纲领——《中国21世纪议程——中国21世纪人口、环境与发展白皮书》。其中提出了中国可持续发展的总体战略和政策措施方案，对于包括水资源与水环境在内的资源环境问题提出了原则性的指导思想。

（二）循环经济

随着可持续发展战略的实施，越来越多的人意识到实现经济可持续发展的关键在于经济发展方式的转变。同时，地球所拥有的资源与环境承载力的有限性，客观上也要求转换经济增长方式，用新的模式发展经济；要求减少对自然资源的消耗，并对被过度使用的生态环境进行补偿。

正是在这一背景之下，产生了知识经济以及循环经济等多种经济理论。循环经济的思想萌芽可以追溯到环境保护思潮兴起的时代。20世纪60年代中期，美国经济学家E. 鲍尔丁发表的《宇宙飞船经济观》一文可以作为循环经济（Recycling Economy 或 Circular Economy）的早期代表。鲍尔丁把污染视为未得到合理利用的“资源剩余”，即只有放错地方的资源，没有绝对无用的垃圾。然而直到20世纪90年代，在实施可持续发展战略的过程中，越来越有共识地认识到，当代资源环境问题日益严重的根本原因在于工业革命以来，在以高开采、低利用、高排放为特征的传统线性经济发展模式之后，才产生较系统的循环经济理论。

循环经济的提出是经济发展理论和人与自然生产关系思索的重要突破，它克服了传统经济发展理论把经济和环境系统人为割裂的弊端。所谓循环经济，是对物质闭环流动型经

济的简称,是以物质、能量梯次和闭路循环使用为特征的一种新的生产方式。循环经济涉及物质流动的全过程,它不仅包括生产过程也包括消费过程。它本质上是人类生产发展方式的变革,是一种生态经济,把清洁生产、资源综合利用、生态设计和可持续消费等融为一体,运用生态学规律来指导人类的经济活动。

循环经济以“3R”原则——减量化原则(Reduce)、再使用原则(Reuse)、再循环原则(Recycle)——作为最重要的行动原则。在技术层次上,循环经济从根本上改变了传统经济发展模式“资源—产品—污染排放”单向开放型流动的线性经济。它以“低开采、高利用、低排放”循环利用模式代替“高开采、低利用、高排放”,真正实现了经济运行过程中“资源—产品—再利用资源”的反馈式流程。通过物质的不断循环利用来发展经济,使经济系统和谐地纳入自然生态系统的物质循环过程中,实现经济活动的生态化。

目前,循环经济已经成为一股潮流和趋势,在发达国家得到广泛认可和实施。1972年德国就制定了《废物处理法》。1996年德国提出《循环经济与废物管理法》,该法对废物处理的优先顺序是:避免产生—循环使用—最终处置。日本也提出建立循环经济的概念。2000年通过和修改了多项环保法规,如《推进形成循环型社会基本法》、《特定家庭用机械再商品化法》、《促进资源有效利用法》等在2001年4月之前相继付诸实施。美国自1976年制定了《固体废弃物处置法》,现已有半数以上的州制定了不同形式的再生循环法规。而杜邦化学公司与丹麦卡伦堡生态工业区则是在企业和生态工业园区层次上的典型成功范例。

在中国,这两年来循环经济也得到政府的高度重视,并在不同层次上开展了初步的试点研究。目前中国已按循环经济理念,建立了广西贵港生态工业园等10个生态工业园区。同时已在辽宁、福建等省和城市开展以循环经济为核心的生态省、生态市试点。并于2003年实施《中华人民共和国清洁生产促进法》,为发展循环经济提供了法律保障。

在2003年进行的国家中长期科技发展规划战略研究中,生态建设、环境保护与循环经济问题被列为一个专题进行研究,以期在未来15年的科技发展中,充分为循环经济的发展提供科技支撑。

(三) 水资源、水环境和水循环

地球上的水不断地进行着水文大循环,水在循环中还能使外来自然污染得以自净。在自然界中,水在不停地循环运动之中可以维持水量和水质的精妙平衡。所以,水是循环型的资源,是可再生的自然资源。

21世纪是协调人口、资源与发展的世纪,人类社会只有建立起物质循环型的城市才能持续发展。笔者以为社会用水的健康循环是循环型社会的基础。而城市污水、污泥的再生利用是水健康循环的必由之路。笔者在《中国工程科学》2002年第8期院士论坛中发表了《我国水环境恢复方略》一文,明确指出水环境恢复与维系的基础是建立起健康的社会水循环,并呼吁建立水环境科学与工程学科。集中市政工程给水排水专业和环境工程从事水污染防治专业的专家、学者、工程技术人员组成水环境科学与工程队伍,专门从事水环境恢复理论与工程技术的研究。为水环境恢复和维系事业提供科学依据和人才基础,使人们能够从水环境角度来从事城市、工业、农业、生态环境的供水、污水处理与再生,建立水的健康循环,恢复良好水环境。要使水资源永续地满足人类社会发展的需求,就必须

减少水的社会小循环对自然大循环的干扰,或者使“干扰度”处于水的自然大循环可承载的范围之内。

也就是说,在水的社会循环中,应该有节制地开采水资源,用后还给水体的也应该是为水体自净所能允许的、经过净化了的再生水。由此可见,解决综合水危机、实现水资源可持续利用的根本途径在于实现城市水系统健康循环(健康社会水循环)。

所谓水的健康循环,是指在水的社会循环中,尊重水的自然运动规律和品格,合理科学地使用水资源,同时将使用过的废水经过再生净化,使得上游地区的用水循环不影响下游水域的水体功能,水的社会循环不损害水自然循环的客观规律,从而维系或恢复城市乃至流域的良好水环境,实现水资源的可持续利用。可见,在水的社会循环中,污水处理厂是维持水社会循环得以健康发展的关键,起到净化城市污水,制造再生水的作用。

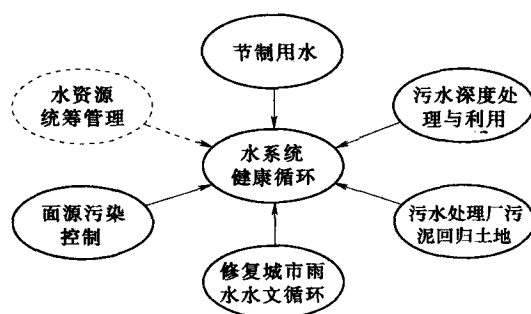


图2 水系统健康循环实施策略示意图

要建立水系统健康循环,就要求在水社会循环中统筹管理,减少取水量,进行水资源的再生循环利用,降低污染负荷,确保生态环境用水,恢复河湖清流。其基本实施策略如图2所示。其中,还包括污水处理厂污泥回归农田、恢复城市雨水循环途径、面污染控制等方略。城市范畴上的污水深度处理与利用即再生水供应系统是关键,是我国水环境恢复的切入点。可以说在污水深度处理、超深度处理和有效利用方面的每

一点进步都是对人类和地球的贡献。据此,城市排水系统是促进城市用水的健康循环,恢复水环境的生命线工程。它的任务早已超出了排除雨、污水,保护城市生活环境,防止公共水域污染的范畴。这些策略大部分均已在另文专门加以阐释,在此不再赘述。

可见,根据水健康循环的理念,水资源的利用将由过去的“取水—输水—用户—排放”的单向开放型流动,转变为“节制的取水—输水—用户—再生水”的反馈式循环流程。通过水资源的不断循环利用,使水的社会循环和谐地纳入水的自然循环过程中,实现社会用水的健康循环。这是根据人类社会用水历史的发展和物质循环的实际规律探索水资源可持续利用和水环境保护的切实途径。这种认识恰恰正是可持续发展和循环经济“3R”原则在水资源与水环境领域的生动演绎。

2003年进行的国家中长期科技发展规划战略研究中,进行了《城市水系统健康循环研究》的课题研究,提出建立较为系统的城市水系统健康循环理论,建立流域城市群用水重复利用、循环利用,城市用水健康循环的示范工程的发展目标。

这种思想提出之初曾受到很多人的漠视甚至反对。因为这是针对人们过度用水、滥排污水和丢弃废物而提出的,是水资源的利用和水环境保护领域进行的一次革命。它将从思想上和技术上彻底改变过去那种只知用水不知再生,将水的循环人为割裂,只是片面地对其中的某个环节进行研究和处理的“只见树木,不见森林”的局部观和做法,必然会影响某些部门利益或行业利益。这种革命或许需要多年才能得到广泛认同和接受,但是毫无疑问,这次革命将是无可避免的,是人类在水资源利用和水环境保护上的一次重要转折。今