

# 生态水利学在城市河道生态修复中的应用初探

孙小磊, 郑国栋, 李虎成, 顾立忠, 宫鹏杰

(广东省水利水电科学研究院, 广东省水动力学应用研究重点实验室, 广东 广州 510610)

**摘要:**该文开篇简述了城市河道的作用,引出生态水利学概念,进而简述了几例生态水利工程学应用案例,提出了在城市河道中提高河道空间异质性;实现雨污分流,构建生态水网工程;运用生态措施治理和保护城市河道3条改善城市河道生态的建议。

**关键词:**生态水利;城市河道;生态修复

**中图分类号:**X171.4 **文献标识码:**B **文章编号:**1008-0112(2011)06-0008-04

城市河道作为城市生态系统重要的组成部分,可为城市的生活和生产就近提供水源,减弱城市热岛效应和洪涝灾害,丰富城市景观多样性和物种多样性,为市民提供文体娱乐与亲近自然的空间。近年来,随着城市工业化的飞速发展和城市人口数量的激增,大量的工业废水和生活污水未经处理或处理不达标便直接排入河道,城市河道遭受的压力越来越大。城市河道的污染,不仅损害了城市形象,给河道两岸的人民生产生活和工作带来了不良影响,对流域内的水环境生态也造成了严重的破坏,严重威胁了城市经济与环境的可持续发展。如何对城市污染河道进行修复成为社会研究的热点。

生态水利工程学(eco-hydraulic engineering)是水利科学发展到较高级阶段出现的新兴学科,是研究水利工程在满足人类社会需求的同时,兼顾水域生态系统健康与可持续需求的原理与技术方法的工程学<sup>[1]</sup>。生态水利研究内容涉及水文学、水力学、水生物学、生态学、湖沼学、海洋学和沉积学等学科,是一门综合性很强的学科。生态水利将传统水利与流域水质污染防治与生态修复结合,为减轻水利工程对生态系统的胁迫,河流、湖泊水质的污染防治及生态修复提供有用的科技信息。

## 1 生态水利工程学的原理

生态水利工程学关注的对象不仅是具有水文特性和水力学特性的河流,而是具有生命特性的河流生态系统。研究的河流范围从河道及其两岸的物理边界扩大到河流走廊生态系统的生态尺度边界<sup>[1]</sup>。生态水利学

以水力学、结构力学、岩土力学等工程力学和生态学为基础,运用生态水利学技术手段协调人们在供水、防洪、发电、航运效益与生态系统建设的关系。生态水利涵盖了水利事业和水利产业目标,重点突出环境目标,与可持续发展的三维目标即经济、社会、环境是一致的<sup>[2]</sup>。

生态修复水利学的技术包括以下内容:对于新建工程,提供减轻对于河流生态系统的技术方法;对于已经人工改造的河流,提供河流生态修复规划和设计的原则和方法;河流健康评估技术、水库等工程设施生态调度的技术方法;提供污染水利生态修复技术等。

## 2 生态水利学应用实例

### 2.1 韩国首尔市清溪川河道环境生态恢复工程

清溪川(Cheonggyecheon)是一条自东向西穿越韩国首尔市中心的一条古老的河道。20世纪30年代之前,清溪川最主要的功能是泄洪并汇集城内的生活废水排放到汉江。为改变清溪川的环境状况,20世纪40年代开始到80年经过数次工程,清溪川变成了盖着盖子的地下河。为缓解日益增加的交通压力,20世纪70年代末,首尔市在“盖板”的河道上建成了高架路(见图2)。为展现城市文化风貌、修复生态,平衡人与自然的的关系,2002年7月,首尔市政府决定启动清溪川复原工程。整治工程的主要内容包括:拆除清溪川路面结构及cheonggye高架桥;对清溪川进行河道生态修复,恢复其本来的自然环境面貌,将首尔变成一座与环境友好的城市,为城市人民提供一个具有娱乐休闲条件的亲水环境;恢复历史重要桥梁,挖掘文化资源;重新规划清溪川

收稿日期:2011-03-15

作者简介:孙小磊(1980-),男,硕士,工程师,从事水生态与水环境治理研究。

两岸的产业结构,创造具有商业和工业价值发展生机的环境。经过3年的整治,清溪川环境污染问题得到了明显改善,“水清岸绿”的面貌得以还原,清溪川有着600年历史的文化遗址和遗产得到了恢复和复兴(见图2)。此外,清溪川区域的环境得到很大改善,产业结构得到重组,有利于市中心经济的振兴<sup>[3]</sup>。



图1 整治前的清溪川



图2 整治后的清溪川

## 2.2 美国基西米河生态恢复工程

美国基西米河位于佛罗里达州中部,由基西米湖流出,向南注入美国第二大淡水湖——奥基乔比湖,全长为166km,流域面积为7800km<sup>2</sup>。为促进佛罗里达州农业的发展,20世纪60年代期间,州政府在基西米河流上兴建了一批水利工程,包括开挖一条90km长的泄洪直线型运河代替天然河流,建设6座水闸以控制水流。水利工程的建成对当地的生物栖息地造成了严重破坏,导致基西米河生境质量大幅度降低。据统计,保存下来的天然河道的鱼类和野生动物栖息地数量减少了40%,人工开挖的运河,栖息地数量比历史自然河道减少67%,生物群落的数量大幅降低。针对此状,佛罗里达州政府提出基西米河河道恢复规划。规划的工程任务是重建自然河道和恢复自然水文过程,将恢复包括宽

叶林沼泽地、草地和湿地等多种生物栖息地,最终目的是恢复洪泛平原的整个生态系统。工程的主要内容包括:连续回填人工运河38km,开挖新河道,以重新连接原有自然河道,重建类似历史的水文条件,扩大蓄滞洪区,减轻洪水灾害。开挖新河道,完全复制原有河道的形态,包括长度、断面面积、断面形状、纵坡降、河湾数目、河湾半径、自然坡度控制以及河岸形状;重新开挖14.4km的新河道和恢复300多种野生动物的栖息地;河流走廊生态恢复监测与评估。工程完成后,随着自然河流的恢复,水流在旱季流入弯曲的主河道,在雨季漫溢进入洪泛区。基西米河的生存环境质量得到大幅提高,多样的生物栖息地使原本销声匿迹的鱼类和鸟类重新返回基西米河。水体的溶解氧水平也得到大幅提高,水质得到明显改善<sup>[4-6]</sup>。

## 2.3 成都府南河综合整治工程

府河、南河是流经四川省省会成都市区的主要河道,属岷江水系。两河流经市区段全长为29km,具有灌溉、供水、航运、排水、泄洪、动力、娱乐等多种功能,对成都的经济文化发展起了巨大作用。多年来由于自然和人为因素的影响,府南河具有的功能大多丧失,除洪期仍有一定排洪能力外,全年中多数时间均为排污纳垢的河道,制约着成都经济发展。府南河综合整治中心段工程,自1994年全面启动,1997年竣工。府南河综合整治内容包括:①河道整治,新建河堤18km,加固河堤23km,疏淘河道16km,新建桥梁5座;②污水截流,沿府南河两侧及西安路、北巷子、王爷庙、红星路等处铺设排污干管,将两岸污水截流纳入南郊污水处理厂处理后,将其达到国家三类水质标准,再排入府南河;③道路工程,沿府南河内侧形成14.79km长的内环路(滨江路、琴台路已建成2.31km),一般宽为25m左右,道路面积约为32万m<sup>2</sup>,沿河有宽为16m的防洪通道,沿府南河外侧形成8.6km长的道路;④滨河绿化,沿府南河两岸开辟、培育23.53hm<sup>2</sup>的绿带并建造多种形式的小游园及文化建筑小品,形成以巴蜀文化为内涵的滨河绿化带,呈现不同地段、各具特色的滨河绿化圈;⑤旧城改造,将河道两侧污染严重的工厂迁至规划工业区,对河道两侧占全市60%的低洼棚户、破旧危房进行拆迁、改造和开发,并建成45.8hm<sup>2</sup>的新商贸区和占地57.31hm<sup>2</sup>的新居住区。整治后的府南河像一条纽带,把沿岸著名文物古迹、风景名胜和现代建筑连接起来,使两岸绿带、沿岸建筑和宽阔的道路融为一体,使“二江抱城”、水绿天青的蓉城具有良好的生态环境、生活环境和投资环境。

### 3 生态水利学在城市河道应用中的建议

#### 3.1 保持自然河道的蜿蜒性和空间异质性

河道蜿蜒性和空间异质性形成了在流速、流量、水深、水温、水质、河床材料构成等多种生态因子的异质性,造就了生物群落的多样性<sup>[5]</sup>。因此,保持河道的蜿蜒性与空间异质性,是提高生物群落多样性的重要前提。河道的蜿蜒性若满足不了城市河道的防洪要求,可采取开挖分洪道的辅助工程措施,如图3(a)、(b)所示。此类分洪道类似裁弯取直工程,但其设计原则及目的不同。蜿蜒的河道仍有一定量的水流通过,不丧失其原来河道的生物栖息地功能,而分洪道只有在发生设计洪水的条件下才启用,其他时间保持干涸状态(b),或使其用少量的水通过(a)。若有需要,可在分洪道的渠首设立溢流堰等结构,以控制洪水进入分洪道的起始水位。

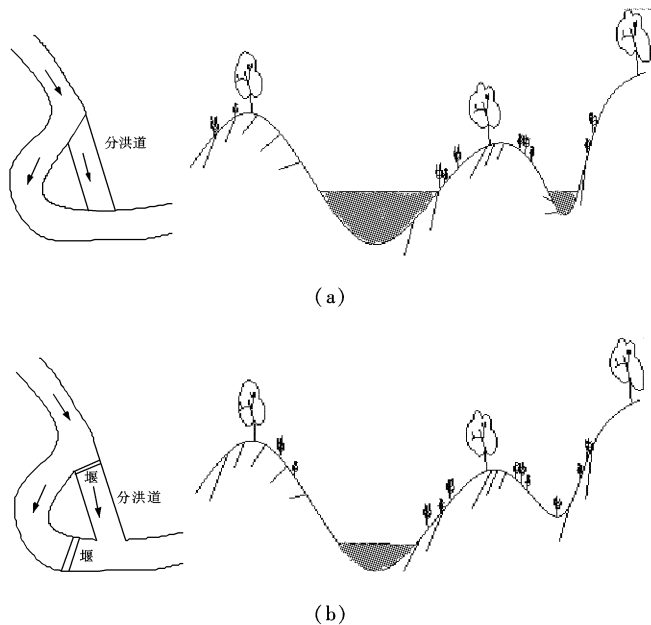


图3 蜿蜒河道的分洪道

提高河道空间异质性的途径有:在保持河道蜿蜒的基础上,结合防洪工程,在有条件的地方尽可能地扩大两岸堤防的间距,给洪水一定的空间,使得汛期主流与河汊、河滩、死水塘和湿地有可能发生连接;在河流横断面上,恢复河流断面的多样性,在水陆交错带恢复土著植被;在沿水深方向恢复河床的渗透性,保持地表水与地下水的联系。通过这些生态要素的合理配置,使河流在纵、横、深三维方向都具有丰富的空间异质性,形成浅滩与深潭交错、急流与缓流相间、植被错落有致、水流消长自如的空间格局<sup>[5-6]</sup>。

#### 3.2 实现城市雨污分流,构筑新型生态化水网工程

暴雨径流直接导致了城市内涝灾害,将城市污染物

带入河道,大大加剧了城市河道的污染负荷。雨水资源的任意排放,无疑也是一种浪费,尤其是在水资源紧张的城市。因此,必须抛弃对雨水一味“排放”的传统观念,应当加以利用,变雨水为资源。低冲击开发技术(Low Impact Development 或简称LID)是20世纪90年代末由美国东部马里兰州的Prince George County与西雅图市政府同时开发创新的一种暴雨管理技术<sup>[7]</sup>。其原理是通过分散的、小规模源头控制机制和设计技术来达到对暴雨所产生的径流污染的控制,使开发地区尽量接近于开发前的自然水文回圈。不仅不需要大面积土地就能将雨水径流的大部分留在原地对地下水进行补充,变雨水为资源,而且还能结合景观设计对城市面源污染进行处理,美化城市和社区的环境。LID的水文功能包括综合利用土壤和植被的蓄流、入流、过滤和蒸发等方式减少径流排水量,通过使用综合的或者分布的暴雨蓄滞区控制水交换的进度与频率,以及交换的水量。LID还能减少暴雨流域不透水面积,延长水的径流时间。LID具有保护环境敏感区,如河流两岸的缓冲区、湿地陡坡、洪泛区、林地等功能。LID技术包括绿色屋顶、可渗透路面、雨水花园(见图4)、植物草沟(见图5)及自然排水系统(见图6)<sup>[7]</sup>,这些技术不仅可以减少暴雨径流带来的城市洪涝灾害和水质污染,而且具有生态、社会和经济等多重效益,比如缓和城市热岛效应、节省资源、创造都市内生物栖息地,并为人们创造舒适的都市环境和空间。



图4 城市雨水花园

#### 3.3 综合运用生态措施治理和保护城市河道

城市河道作为一个完整的生态系统,要想治理或恢复其生态,必须综合运用物理、化学和生物措施。生物修复技术包括微生物修复技术、植物修复技术、生态型护坡技术和生物稳定塘净化技术等。

##### 1) 微生物修复技术

微生物修复主要是利用天然存在的或经培养驯化的微生物,在可调控环境下将有毒污染物转化为无毒物质的处理技术。经过特殊筛选的微生物,进行基因调控和驯化,能快速降解、吸收和转化水产养殖环境中的有



图5 绿色街道



图6 自然排水系统

机污染物和氮、磷等,并能形成优势种群,有效抑制有害微生物和有害藻类的生长繁殖,可作为污染水体的生物修复剂。

## 2) 植物修复

植物修复技术是利用植物发达的根部吸收底泥和水中的营养物,对抑制蓝藻生长和促使污染物降解转化有较好的效果。植物修复主要通过以下作用来实现其净化效果:①植物提取;②植物挥发;③根系过滤;④植物钝化等。有研究证明,大型水生植物的种类如凤眼莲、水浮莲、水花生、金鱼藻、狐尾藻、菱、荷花、睡莲等多种浮水、沉水植物与一定数量的鱼、蚌、螺蛳等水生动物形成一个多层次、立体交叉的水体净化系统,对富营养化水体有较好的治理效果,藻类明显受到抑制,水体透明度由15~30cm提高至50~90cm。生态浮岛技术是一种应用于封闭水域水体净化的新型生态工艺,其上部可种植花草,一方面吸收和降解水中的污染物,另一方面还有美化水面景观的作用,具有立体景观效果,较适合我国城市河道空间小的特点。生物浮岛可供种植的植物有:美人蕉、芦苇、茭草等。

## 3) 生态型护岸技术

常规护岸工程多采用硬质结构材料,不仅造价较高,且对河岸带生物栖息地的生态系统造成了破坏,更不能满足生态和景观的要求。生态型护岸遵循生态系统的自我设计、自我修复原则,兼顾景观尺度及整体性目标,其工程主要措施是在河道岸坡上合理引入植被,包括草本植物及木本植物等。生态型护岸技术种类多样,可根据当地的具体情况在设计时进行调整,如土体生态工程技术、生态砖/鱼巢砖等构件、石笼席、天然材料垫、土工布包裹、混凝土块、土工格室、椰壳纤维捆、木框墙、三维土工网垫等。

## 4) 稳定塘处理技术

稳定塘处理技术不仅能较好的处理生活污水,对多种废水也有优异的处理效果,广泛应用于处理石油、化工、纺织、皮革、制糖、造纸废水等。新型的稳定塘技术节约了占地面积、提高了处理效率,逐步走向系统化、高效化、生态化和资源化。改进后的稳定塘种类有高效藻类塘、水生植物塘、厌氧塘、曝气塘、生态综合系统塘等。

## 4 结语

生态水利学是个新名词,还没有形成一个大家共同认可的概念。本文着重从生态学的角度,对生态水利学进行了简单阐述,引入了几个成功的案例,进而对生态水利学在城市河道的应用提出了几点建议。

生态水利是一项全新的系统工程,需要借鉴国外的先进经验,又要根据我国的国情,因地制宜,研究切实可行的生态水利工程措施。

### 参考文献:

- [1] 董哲仁. 生态水工学探索[M]. 北京:中国水利水电出版社,2007.
- [2] 刘正茂,赵艳波,崔玉玲,等. 生态水利工程设计应遵循的理论与技术路线[J]. 水利发展研究,2007,7(8):26-29.
- [3] (韩)李京鲜,曾玲. 韩国首尔清溪川的恢复与保护. 中国园林,2007,(7).
- [4] 董哲仁. 美国基西米河生态恢复工程的启示[J]. 水利水电技术,2004,(9):9-12.
- [5] 董哲仁. 河流形态多样性与生物群落多样性[J]. 水利学报,2003,(11).
- [6] Andrew Brookes F. Douglas Shields JR. River Channel Restoration - Guiding Principles for Sustainable projects [J]. John Wiley & Sons, UK, 1996.
- [7] 刘建,余年. 利用低冲击开发技术解决城市发展中带来的洪涝、面源污染和干旱问题[C]. 第十三届海峡两岸水利科技交流研讨会,2009.

(本文责任编辑 马克俊)