

生态河流构建原理与技术

姚云鹏¹,陈芳清^{1,2},许文年¹,刘德富¹

(1. 三峡大学土木水电学院,宜昌 443002;2. 中国科学院植物研究所植被数量生态学重点实验室,北京 100093)

摘要:传统的河流整治技术,如裁弯取直、疏开挖河道、浆砌石或混凝土加固河岸、高筑河堤等,忽略了河流的生态特性,结果导致河流水文发生改变,生态系统受到严重创伤。分析了河流治理技术的发展现状及遇到的问题,提出生态河流的概念,并探讨了生态河流的基本特征和构建原理,然后分别从河道景观设计、河道平面形态设计、河道断面设计和岸堤设计几个方面论述了生态河流构建的技术体系。最后,以镇江古运河生态岸堤构建为例,介绍了生态岸堤构建的实施办法,旨在探讨河流的生态治理的方法,实现人与自然的和谐发展。

关键词:生态河流;构建原理;技术

中图分类号:X171.1

文献标识码:A

文章编号:1005-3409(2007)02-0135-04

The Construct Principles And Technologies of Ecological River

YAO Yun-peng¹, CHEN Fang-qing^{1,2}, XU Wen-nian¹, LIU De-fu¹

(1. College of Civil & Hydropower Engineering, China Three Gorges Univ., Yichang 443002, China;

2. Laboratory of Quantitative Vegetation Ecology, Institute of Botany, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100093, China)

Abstract: Traditional river dredging technologies neglect the ecological characteristics of the rivers, e. g., cutoff and straightening of river channels, excavation, mortar stone or concrete reinforcing banks and heightened. These inappropriate constructions have resulted in the hydrology changes of rivers, and have made the ecosystem harmed seriously. The authors analyse the actualities of the river control and the problems couldn't be ignored. Based on these problems, the concept of ecological river was put forward and the basic characteristics and construct principles of ecological rivers were discussed. Then construct technologies of ecological rivers were described from river channels landscape design, flat forms design, sections design and embankment design. At last, taking the Ancient Canal's ecological embankment design of Zhenjiang as example to introduce the implementation measures. Using these construct principles and technologies to direct river control, the harmonious development between man and nature could be realized.

Key words: ecological river; construct principle; technology

在传统的河溪治理工程中,仅仅侧重于它的某些功利价值如防洪、水运、灌溉等^[1],往往利用渠道化、硬化的方法对河道进行人工改造,如裁弯取直、疏挖河道、浆砌石或混凝土固岸、高筑河堤等^[2]。经过改造过的河流,保障了社会安定,产生了巨大的社会效益,但也出现了一些生态环境问题:如河道的裁弯取直减少了径流在河道中的滞留时间,使水流流速增大,加剧了对河床底部和河岸的冲刷,造成下游河段的淤积,也减少了对地下水的补充;片面强调河流的防洪功能,采用大量的钢筋混凝土或浆砌石等材料对河道进行硬化,河流两岸陡直^[3],完全改变了河流的自然景观,破坏了河流两岸动植物的原有栖息地,淡化了河流的生态功能,阻隔了人与水的亲近;河流两边植被遭到破坏,各种污染未经过滤吸收直接排入河流,最终使原河流被改造成为高档、豪华的“排污沟”,河流生态系统严重受损。

1 生态河流及其特征

生态河流目前并无明确或统一的定义,作者认为生态河流并不是原生河流,而是通过一定的工程和非工程措施后,

能够具备自我修复能力、健康、可持续发展生态系统的河流廊道。生态河流相对于自然河流和经过传统技术改造过的河流(简称人工河流)而言,具有其独特的生态优越性(见表1)

表1 三种不同类型河流特征的比较

河流类型	平面形态	断面规则性	连通性	生态完整性	生境异质性	生物多样性	自我调控能力
自然河流	蜿蜒曲折	不规则	较好	较完整	较丰富	较高	较强
人工河流	顺直平滑	规则	差	不完整	贫乏	低	弱
生态河流	蜿蜒曲折	不规则	好	完整	丰富	高	强

生态河流在保留原有自然河流的形态特征的同时,创造了比自然河流更加丰富的生境,更高的生物多样性,其自我调控能力和自我修复功能也得到了提高。归纳起来,生态河流应具有以下特征:

(1) 河流生态系统整体性。生态河流的完整性包括河流形态的完整性和生物结构的完整性两个方面。源头、湿地、湖泊及干支流等构成了完整的河流形态,动物、植物及各种浮游微生物构成了河流完整的生物结构。在生态河流的系统中,这些生态要素齐全,生物相互依存,相互制约,相互作用

* 收稿日期:2006-05-07

基金项目:国家“863”计划项目“镇江水环境处理”专项(2003AA601100);国家自然科学基金资助项目(50478089)

作者简介:姚云鹏(1981-),男,河南桐柏人,三峡大学土木水电学院2004级硕士研究生,主要研究方向为生态水工学;通讯导师:刘德富(1962-),男,湖北枝江人,三峡大学校长,教授,博士,博士生导师。

用,发挥生态系统的整体功能。使河流具备良好的自我调控能力和自我修复功能,促进系统的可持续发展。传统的人工河流的满足过流要求,却忽视了河流生态系统的完整性。

(2) 河流的生态功能多样性。传统的人工河流由于仅考虑了防洪的要求,忽视了河流的其他功能,造成了河流功能单一,可持续发展能力差。生态河流在具备解决防洪问题的同时,还具备栖息地功能、过滤屏蔽功能、廊道功能和汇源功能^[4,5]。

栖息地功能。生态河流结构复杂,一般由稳定的河流内部环境和多样性的河流缓冲带组成。在河流内部有大量的岛屿、深潭、浅滩,水流或缓或急,能够为对水流速度和水深有不同喜好的生物提供稳定的生活环境。在河流与外部环境之间的河流缓冲带也谓河流过渡带,是河流廊道的重要组成部分,比河流内部有更多的物种组成和数量。

过滤屏蔽功能。自然的河流岸堤边坡舒缓,草木繁多,能够过滤地面径流的各种杂质、截留氮磷。传统的人工河流改变了原始河流的自然边坡,用混凝土或浆砌石对河流岸堤进行人工化处理,大大弱化了岸堤的过滤屏障功能。生态河流的构建参照了自然河流的岸堤结构,其截留去污能力比自然河流更为强大。

廊道功能。生态河流作为一连接河流两岸,上下游的特殊廊道,具有高度连续性,便于生物上下左右迁徙移动。传统的河流整治则破坏廊道的连续性,对河流的生态系统造成危害。

汇源功能。与自然河流相仿,生态河流具备强大的汇源功能。由于生态河流内部有丰富的水量、多样化的栖息地以及丰富的营养物质,从而能够从周围环境中吸收更多的生物、物质和能量。根据对台北市大沟溪生态整治的效果来看,河流系统生物数量大幅度增加,并且出现了原来河流中并不存在的生物,经初步调查,仅蜻蜓就达 17 种以上^[6]。同时,生态河流丰富的物种多样性,也能够调节周围环境的生物数量,使周围生态系统保持平稳状态。

(3) 系统生物多样性。生物多样性包括基因多样性、物种多样性和生态系统多样性。生态河流生物多样性丰富,能够为河流生物有稳定的基因遗传和食物网络,维持系统的可持续发展。

(4) 河流连通性。生态河流是上下游、左右岸及气-液-土形成的三维连通系统,是物质流、能量流和信息流的通道,为水生生物的迁徙流通创造了条件。传统的河流整治方法则往往忽视了河流的连通性,对河流进行硬化或修建挡水建筑物,阻断了河流与外界的交流。

(5) 河流形态多样性。生态河流应具有天然河流的形态结构,水陆交错,蜿蜒曲折或处于分汊散乱状态,或依山傍水,或河湖相连,形成了深潭与浅滩相间的多样性断面,为众多的河流动物、植物和微生物创造了赖以生长、生活、繁衍的宝贵栖息地^[7,8]。

2 生态河流的构建原理

20 世纪 80 年代后,国外许多水利工作者纷纷开始思考生态河流的构建技术,并提出了自己的理论。瑞士、德国等国家于 20 世纪 80 年代末提出了全新的“亲近自然河流”概念和“自然型护岸”技术;日本于 20 世纪 90 年代初提出了“多自然型河川整治”技术,美国提出了“自然河道设计”技术等^[9]。2005 年,水利部长汪恕诚提出了“C 模式”,强调在经济发展过程中,重视中国特色。笔者认为,适合我国实际情况的生态河流构建技术应该遵循以下原则:

(1) 结构整体性与复杂性。生态河流是由水流及其中的动物、植物、微生物和环境因素构成的生命系统。河流内部各生态要素进行复杂物质、能量和信息交换,使它们相互依赖,不可分割,组成了有机的生命整体,从而保持河流的健康可持续发展,发挥河流的生态功能。

(2) 生态功能的多重性。河流有栖息地功能、过滤屏蔽功能、廊道功能和汇源功能。生态河流的构建应注重满足河流的多重生态功能,应避免仅注重了其中的一项或几项功能,其结果都会导致生态系统结构的不完整或河流生态环境的恶化。

(3) 物种组成多样性。不受外界干扰的自然河流,内部的物种多样性非常丰富。生态河流构建应以自然河流为参照,创造多样化的生物栖息环境,使河流在尽可能短的时间内具备多样性丰富的物种和完善的生物群落。

(4) 景观结构连续性。生态河流是一种开放的生态系统,具有良好的连通性,为物质、能量和信息的传递提供了通道。河流生物能够在上下游、左右岸、干流与支流、河流与湖泊之间,或者在河流的周边来回迁移。同时也应确保河流与周边环境的连续性。

(5) 形态多样性。传统的河流整治,主要出于防洪安全目的,对河流进行裁弯取直或采用单纯的规则断面,使河床平直,河水流态单一,很难为生物提供丰富多彩的栖息环境。生态河流的构建必须利用自然河势,避免简单的对河流裁弯取直和规则化断面,最大程度地利用河流的自然恢复能力,尽量保护、恢复河流原有的状态。依据生态学原理,模拟自然河道,制造水陆交错、蜿蜒曲折或处于分汊散乱状态,或依山傍水,或河湖相连,深潭与浅滩相间的多样性河流景观。

(6) 取材本土性。生态河流在构建过程中,应尽量使用当地的土壤、石块、木材和物种,防止外来物种入侵。在工程实施过程中,要充分考虑所用材料与周围环境的协调性,尽量保留原有的河流生态要素。

3 生态河流构建技术体系

河流的自然环境由水和空间构成,水和空间连成一体而形成生物栖息的场所。河流空间包括河道、岸堤和河畔植被^[2]。因此,生态河流的构建包括河道设计、岸堤设计,其中河道设计又包括河流景观设计、河流平面形态设计和断面设计。

3.1 生态河道设计

(1) 河流景观设计。在天然状态下,河流一般都是蜿蜒曲折的,可使河水有比较多的停留时间,有利于水质的自我净化和河流生物的生活需要。在河流内部,通常都是深潭与浅滩相连,在某些地方可能形成小岛。相对于河流来说,岛屿作为河流基质中的一个特殊斑块,在生物学上有其特殊的生态意义^[10]。河流岛屿位于河流中部,由河流内部的沉积物堆积而成,是河流内生物多样性最为丰富的地带。因此,在生态河流建设中,应在保障河流防洪标准的前提下,利用石块或泥沙营造多彩多姿的河流内部环境,包括生态岛屿、深潭与浅滩。

(2) 河道平面形态设计。生态河道的平面设计应以自然河道平面和长期发展形成的河道形态为依据,遵循生态学原理,营造出蜿蜒曲折的河流形态。在河道的平面形态构造时,可以在河道的两边,堆放巨石、枯树或泥沙,形成类似自然河道的凸岸和凹岸,使河道在一定程度上形成弯曲形状(见图 1)。

(3) 河道断面设计。生态河流断面设计的关键是使河道

能够适应不同的水位和水量,维持河流生态系统的生态需水,为鱼类和其他水生生物提供基本的生存条件。一般情况下,需要对原河流边坡进行整治,采用多层台阶式断面结构,

降低岸坡比,用多孔性材料对岸坡进行衬砌等,为水生生物创造多样化的栖息地(见图 2)。



图 1 生态河道与人工河道的平面形态

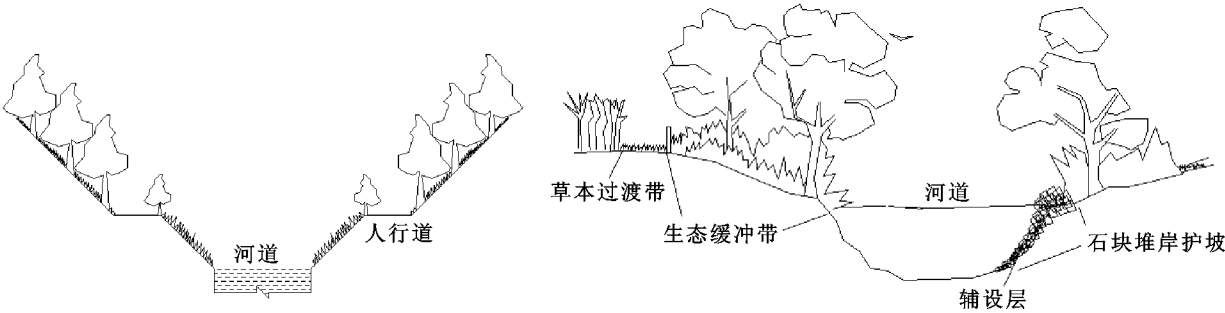


图 2 生态河道断面

图 3 生态岸堤设计

3.2 生态岸堤设计

生态河道的主要功能在于遮蔽水体,维持氧平衡以及防止水体的富营养化,保持河岸具有很强的渗透性,能够让水体、岸边土壤连成一体,以保证生态流、物流、能流的顺利进行^[11]。因此,生态堤岸的设计应该摒弃传统的河流岸坡整治技术,采用生态岸堤,以达到模拟自然河流的要求。生态岸堤可以分解成堆岸、铺设层、护岸和缓冲带等几个主要部分(见图 3)。

(1)堆岸和铺设层。堆岸和铺设层的建设主要是为了抵制河道水流作用力的侵蚀。堆岸和铺设层以多孔性自然材料为主,如石块、多孔性预制砖及木头等,为河流生物提供栖息地和产卵地。堆岸材料的选择、铺设厚度及铺设方式应根据河道的坡度、抗冲刷能力以及河流水力条件而定。

(2)护岸。护岸的构建位于堆岸和铺设层的上方,是河流两栖动物及其他生物的重要栖息地。在护岸工程回填时,应完全使用当地土,恢复河流的自然环境;使用透水性能好的材料,上面覆土后,种植草、芦苇等护坡植被。

(3)生态缓冲带。生态缓冲带的构建是河道与陆地交界的一定区域内建设乔、灌、草相结合的立体植物带,能够控制水土流失、防止河岸冲刷、对外界带来的氮、磷等污染物起到过滤作用,同时可以为鸟类和水生生物提供必要的栖息地。缓冲带的构建包括两项内容,一是缓冲带宽度的确定,二是缓冲带植被的选取。缓冲带宽度的选取与河岸的坡度、土壤渗透性、稳定性、河流水文情况、周边环境和缓冲带所要实现的目的功能有关。在一般情况下,缓冲带的功能决定了缓冲带的宽度,并不存在一种普遍的能够起到净化水质、稳固河堤、保护鱼类和野生动植物和满足当地人生活需求等各种效果的生态缓冲带。在河流及其周边,原本生长着与该地环境相适应的植物,并为鱼类、鸟类、昆虫类等动物提供了生存环境。因此,植物的品种原则上要使用该河流和水系的原有品种,尽量避免外来物种和引进物种^[9]。在植被的搭配上,应依照植被的进化法则进行搭配,河边植被应有草类、灌木丛和乔木等种类,为各种生物提供相应的栖息地,避免河流岸边形成“绿色沙漠”。

4 江苏省镇江古运河生态岸堤设计实践

4.1 立项依据

镇江位于长江与京杭运河两条黄金水道交汇之处。北依长江,城市河道通过内江直接、间接与长江相通。近年来,由于长江流速减缓,致使滨江水体泥沙大量沉积,造成城市内河与长江水体沟通不畅,交换不及时,水体自净能力急剧下降;同时未经任何处理的工业废水和生活污水的直接排放,致使古运河、运粮河、虹桥港三条主要城市河流枯水期的水质恶化和丰水期的水涝灾害交替发生,尤其是古运河和运粮河,其有机污染物、石油类、氮、磷营养盐基本超过地表水类水质标准。

此次采取国家重大科技专项的方式,目的在于解决镇江水体的核心问题:内江的环境质量改善与生态修复科研与示范,为类似城市提供示范。

4.2 工程概况

镇江古运河滨生态堤-滨江带生态修复示范工程属于镇江水环境质量改善与生态修复技术研究及综合示范第五分项的一部分,工程位于镇江市古运河京口闸处的东菜市街侧河岸与中华路侧河岸,长约 50 m,总面积约 450 m²。河道原坡面为浆砌石坡面,分为两个部分:一是毗邻城市道路与路面垂直的垂直面,二是在垂直面下部与垂直面相连接水平角度约 50°的倾斜面。

4.3 岸堤断面设计

古运河岸堤位从城市内部穿过,毗邻城市道路,因此如何防止岸堤冲刷,保障岸堤的结构稳定,同时使岸堤具有较高的生态功能和景观效益是工程的研究重点。岸堤的设计应该遵循以下原则:

- (1)满足河流的过水能力,不影响毗邻道路的路基稳定性;
- (2)岸堤下部的消落带具备一定的抗冲刷能力,且能够为鱼类等生物提供栖息地;
- (3)岸堤的种植基质有一定的抗冲刷能力,与原坡面粘结良好;
- (4)植被的选取与基质相适应,且在一定程度上能够拦截消减路面污水中的污染物;

经过精心设计,河岸堤设计为如图(见图 4):

岸堤的左断面分为两个阶梯和一个倾斜面,河流与台阶相衔接处,种植挺水植物(如香蒲、茭白等),这些植物能够吸收河水中的营养物质,防止水体富营养化,同时能够为水生生物营造必要的栖息地和产卵地。第一个台阶上部种植具抗冲刷能力比较强的草类(如美人蕉),截流吸收随雨水流入河道内的营养物质。第二台阶上铺筑绿色多孔性高渗透生态混凝土砖,地表径流能够迅速渗入地下,减轻了河道中营养物质过多的负担。岸堤的倾斜面和垂直面,采用三峡大学绿野环保工程有限责任公司开发的植被混凝土(水泥、腐殖质、外加剂、混合植绿种子和水)对倾斜面土体喷射加固绿化,同时起到吸收径流中营养物质和美化景观的功效。岸堤的右断面毗邻城市主要路面,上为高层建筑,仅种植耐冲刷草本植物。

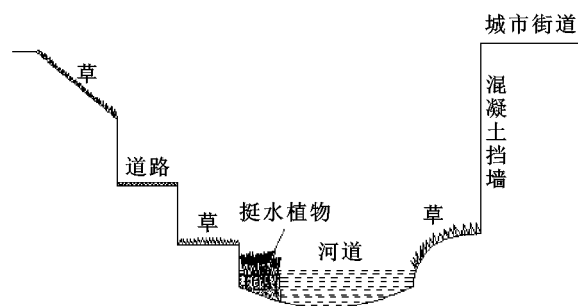


图 4 镇江古运河生态岸堤断面

参考文献:

- [1] 高甲荣,肖斌,牛健植. 河溪近自然治理的基本模式与应用界限[J]. 水土保持学报, 2002, 16(6): 84 - 88.
- [2] 朱国平,徐伟,等. 山东省招远市城东河河道近自然治理设计初探[J]. 水土保持研究, 2004, 11(3): 160 - 162.
- [3] 朱三华,黎开志,刘飞. 浅析生态堤防设计[J]. 人民珠江, 2005, 增刊(2): 17 - 18.
- [4] The Federal Interagency Stream Restoration Working Group. Stream Corridor Restoration: Principles, Processes and Practices [M]. USDA, 1999.
- [5] Craig J, Hollis A. Stream Management 2 Concepts and Methods in Stream Protection and Restoration [R]. Environmental Laboratory, US Army Waterways Experiment Station, 1999.
- [6] 吴名胜. 溪流整治生态工法案例说明 - 内湖大沟溪上游整治工程[Z]. 2003.
- [7] 董哲仁. 保护和恢复河流形态多样性[J]. 中国水利, 2003, (6. A 刊): 53 - 56.
- [8] 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): 1 - 6.
- [9] 日本财团法人河口整治中心. 河流与自然环境[M]. 郑州:黄河水利出版社, 2004.
- [10] Almo farina. Principles and methods in landscape ecology[M]. Chapman & Hall Ltd., 1998. 113 - 117.
- [11] 周应海. 试谈南淝河综合治理中的生态设计[J]. 当代建设, 2001, (4): 35.
- [12] 夏振尧,许文年,等. 城市内河滨水堤岸生态修复技术探讨[J]. 中国水土保持, 2005, (10): 30 - 38.
- [13] 陈梅. 建设生态河流设计探讨[J]. 人民珠江, 2005, (3): 26 - 28.

(上接第 134 页)

- [4] Williams. G. Some aspects of the Aeolian saltation load[J]. Sedimentology, 1964, 3: 257 - 287.
- [5] 吴正. 风沙地貌学[M]. 北京: 科学出版社, 1987.
- [6] 马世威. 风沙流结构的研究[J]. 中国沙漠, 1988, 8(3): 8 - 22.
- [7] Anderson R S, Haff P J. Simulation of eolian saltation[J]. Science, 1988, 241: 820 - 823.
- [8] Nalpanis P, Hunt L C, Barrett C F. Saltating particles over flat beds[J]. J. Fluid Mech., 1993, 251: 661 - 685.
- [9] Sorensen M, McEwan I. On the effect of mid-air collisions on Aeolian saltation[J]. Sedimentology, 1996, 43: 65 - 76.
- [10] Zhou Y H, Guo X, Zheng X J. Experimental measurement of wind-sand flux and sand transport for naturally mixed sands[J]. Physical Reviews E, 2002, 66: 302 - 305.
- [11] 吴正. 风沙地貌学[M]. 北京: 科学出版社, 2003.
- [12] Zingg, A W. Wind Tunnel Studies of the Movement of Sedimentary Materials[A]. In: Proceedings 5th Hydraulic Conference, Iowa Institute of Hydraulic, 1953. 111 - 135.
- [13] Bauer, B O, Houser, C A, Nickling, W G. Analysis of velocity profile measurements from tunnel experiments with saltation[J]. Geomorphology, 2004, 59: 81 - 98.

4.4 工程初步效果及预期目标

(1) 河流小环境改善。自实施生态岸堤构建工程以来,河流两侧绿意盎然,与原来的浆砌石岸堤相比较,环境湿度显著增加,日温差减小。炎热的夏天,当浆砌石地面温度高达 38 时,生态修复后的坡面温度仍可保持在 24 左右^[12]。

(2) 高效去污能力。实行生态改造的河流岸堤,截留去污能力显著增强,由路面汇入河流的地表径流经河岸植被带的吸收过滤,污染物大大降低,缓解了河流自净压力,透明度增加。

(3) 美化环境。经过生态改造后的古运河,由以前城市的一条“污水沟”变成了景色秀丽的“绿地毯”,河边花草繁茂,给城市增加了一道美丽的风景。

(4) 河流生物栖息条件改善。经过生态改造后的古运河,河水清澈、植被带增加,给河流提供了多样性的生存栖息环境,能够促进河流生物的快速繁衍,最终将形成一条和谐的生态河流。

5 结 语

生态河流构建是融水利工程学、环境科学、生态学等多学科为一体的综合性问题^[13]。它以保护和恢复河流的生态功能,维持河流自然生态系统可持续发展为目标,其设计理念与原来河流整治思想有着质的区别。生态河流建设方法是把水边作为多种生物生息空间的核心,并把河流建设成尽量接近于自然的形态,即把自然河流的状况作为样本,在确保防洪安全的基础上,努力创造出具有丰富自然的水边环境。