

城市河流生态系统修复刍议

赵彦伟, 杨志峰

(北京师范大学 环境学院 水环境模拟国家重点实验室, 北京 100875)

摘要: 解释了城市河流生态系统修复概念的内涵, 认为其修复应是一种重建或改造活动, 包括河流本体与社会经济两方面含义。提出了以城市河流生态系统健康为最终目标的多目标整体修复思想, 界定了河流生态系统修复活动须遵循的原则。建立了“控源、截污、清淤、增容、拓岸、筑绿、造景、营栖”的城市河流生态系统修复模式, 总结了修复的技术途径, 包括河道外、河道内、栖息地与鱼道、物理形态结构修复 4 个方面。

关键词: 城市河流生态系统; 健康; 修复

文献标识码: A

文章编号: 1000-288X(2006)01-0089-05

中图分类号: X522, K928.42

Brief Discussion on Ecosystem Restoration of Urban River

ZHAO Yan-wei, YANG Zhi-feng

(School of Environment, State Key Laboratory of Water Environmental Simulation, State Key Laboratory for Water and Sediment Sciences, Ministry of Education, Beijing Normal University, Beijing 100875, China)

Abstract: The concept and its connotation of ecosystem restoration of urban rivers were defined. The restoration should be a kind of reconstruction or alternation, including river restoration and the optimization of a socio-economic system. The integrative multi-object restoration, aiming at ecosystem health of urban river was proposed, and the principles for ecosystem restoration of urban rivers were given. Furthermore, ecosystem restoration mode of urban rivers described as “pollution source controlling, discharge detaining, silt cleaning, capacity increasing, greening, bank widening, landscape constructing, habitat building” was established. Finally, restoration technologies, including channel restoration technology outside and inside rivers habitat and fishway restoration technology, physical form restoration technology were summarized.

Keywords: urban river ecosystem; health; restoration

河流是人类文明的发源地, 为人类提供了多样的生态服务功能。城市化与工业化对河流生态系统健康状况造成严重的影响, 导致全球范围内的河流生态系统以惊人的速率退化^[1]。河流生态系统修复逐渐引起人们的重视, 修复活动广为开展^[2]。欧洲最早开始河流生态系统修复的研究, 美国从 1976 年开始研究, 我国开始的相对较晚^[3]。欧洲、美国、日本等许多国家, 较小河流生态系统修复实践较多, 修复技术也已比较成熟^[4], 大河流系统的修复工作也有不少实例, 如密西西比河、莱茵河等。理论方面, 已有的研究主要集中于河流修复策略、流域尺度的河流修复、流量及河岸带等河流要素的修复等^[5-10]。但这些研究基本是针对自然河流而言, 对城市河流生态系统修复的理论研究尚不多见。本文在概念内涵识别的基础上, 探讨了城市河流生态系统修复的目标、原则与模式, 总结了主要技术途径。

1 城市河流生态系统修复概念的内涵

对特定的河流生态系统而言, 受损往往是自然与人为干扰共同作用的结果, 其中起主导作用的是人类系统的干扰, 叠加在自然干扰之上, 压迫或改变了河流生态系统的演替过程, 使其部分特征得不到表达, 生态作用过程中断或破坏, 河流生态系统退化, 生态服务功能下降。因此, 河流修复的主要目的在于减轻人类活动对河流自然模式或多样性的限制 (constraints)^[11], 并非一定是恢复河流生态系统某种自然结构与状态。这种活动本身应集中在重建一种使河流自然过程能够再生的状态^[12], 使河流生态系统回到自然演替的轨迹上, 在合理控制人类干扰强度的情况下, 保持在生态平衡状态。

相对于其它区域的河流, 城市河流生态系统受人类的干扰最为严重, 要完全实现生态学意义上的修

复,几乎是不可能的。因此,城市河流生态系统的修复规划与决策应是生态上的考虑、适用修复技术手段、社会经济支撑条件与可获得的历史资料等的综合平衡结果。它首先是通过一些人人为的或自然修复措施,对城市河流生态系统进行的一种重建或改造活动。同时,由于城市河流对城市系统的重要支撑地位,修复过程中,更强调的是依据人类系统的价值取向,增加人类期望的特点而减少人类不希望的特征,形成一种不同于初始或原始状态良性循环的生态系统,更好地服务于城市社会经济系统。

日益增加的非理性社会经济活动是城市河流生态系统退化最根本的驱动力。城市河流生态系统修复包含社会经济与河流自然生态系统两方面的含义,从直接与间接2个层面实施。直接的活动是通过对河流生态系统的改造及建设活动直接修复河流本体。但实现城市河流生态系统的永久性修复,须从优化经济发展模式,调整社会经济各部门发展结构,合理规范对水资源及河流生态系统其它要素的开发利用强度与方式着手,控制城市对河流的干扰源与干扰强度,从源头及战略层次上推动河流生态修复。

2 城市河流生态系统修复目标

城市河流生态系统为城市提供了供水、旅游休闲娱乐、城市形象、承载与净化人类活动过程中废物等人类服务功能^[13-14],并且是生物栖息与繁衍、实施生物多样性保护的场所,所提供的生态服务具有多功能性的特征。作为最重要的生态支持系统之一,城市复合生态系统的良性运行与发展依赖于河流每一项服务功能的正常发挥,因此,城市河流生态系统的修复应是多目标的,面向所有服务功能的维持与改善,包括防洪、景观服务、生物多样性保护、保水固土、航运通畅及水质改善等多个方面。

河流生态系统又是生物与非生物成分构成的一个系统,通过各成分有机联系构成的整体性是其重要的存在特征。根据系统论的观点,系统不是由各个组成部分的简单机械加和,而是各要素相互联系及相互作用有机耦合而形成的整体。城市河流生态系统的性质不能只通过各部分或单要素的性质来解释与表达,某个要素、组成成分或结构实现了修复,达到了某一目标的要求,只是保证整体修复的必要条件。城市河流生态系统的修复应以一种系统的、综合的途径来实现,运用适当的技术及对策,实现结构、功能及河流动态过程的整体修复。

作为当前流行的生态系统管理学概念,健康得到了公众、政府与学术部门的认可。对城市河流生态系

统而言,健康不但包含生态学意义上的完整性、结构合理及生态过程的延续,以达到河流生态系统的自我维持与持续状态,更强调其生态服务功能的保持与优化,为城市社会经济系统提供更优良的生态服务,保证城市复合生态系统的运行。因此,健康成为城市系统对河流生态系统的根本要求,也逐渐成为河流生态系统修复活动的重要指导准则^[15],修复受损河流生态系统到健康状态及维持这种状态成为重要的河流管理目标^[16],也是城市河流生态系统修复决策活动的最终目的。

城市河流生态系统修复应以一种多目标整体的修复方式实现(图1),河流生态系统健康是修复活动的核心要求与总目标。

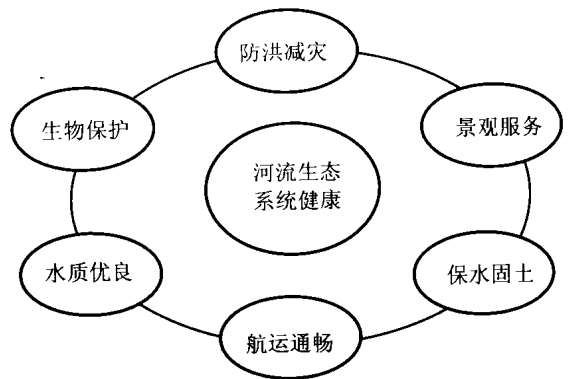


图1 城市河流生态系统多目标整体修复示意

3 城市河流生态系统修复原则

3.1 历史原则

河流生态系统修复中,实施对河流沿岸带古建筑、古文化遗址、文物史迹,甚至古城格局等历史与自然文化遗迹的保护,促进自然地理环境特征的恢复与保存,尽量恢复传统河流风貌,推动自然文化遗产的延续与光大,提升河流生态系统的历史底蕴与文化品位,创造人文意境。

3.2 自然原则

完全恢复受人类干扰前的原始状态几乎是不可能的。城市河流的回归自然倾向于运用自然材料。如使用木桩、铺草、抛石、沉石等护坡、护岸,对河流护坡与护岸进行近自然甚至自然状态改造,在河道内及河流廊道营造适宜的生物栖息环境,实施河流裁弯取直段及浅滩、边滩与沙洲的复原,模拟自然状态,创造良好的自然环境与景观,促进自然良性循环。

3.3 生态原则

因地制宜发展稳定塘、人工湿地、及生物栅、生物浮岛等处理技术;重视河岸植被建设,构建河流生态

走廊,治理与控制水土流失;在水域内,种植各种喜水、耐水植物,发展水生植被,提高水域生物净化功能。既可降低费用,又可实现对污水处理工程难以处理或处理费用较高污染物的有效控制,并具有景观、改善局域气候、生物多样性保护等生态效益。

3.4 美学原则

河流修复工程的设计中考虑景观美学要求,滨岸生态廊道建设中考虑污染控制与城市生态流传输、生态正效应放大需要,合理规划河岸带宽度、周边建筑布局及式样,有机融入城市水景观建设,满足居民的休闲娱乐与亲水需求,将治理、净化、修复与环境景观美化有机统一,营造人水和谐的生态空间。

3.5 整体原则

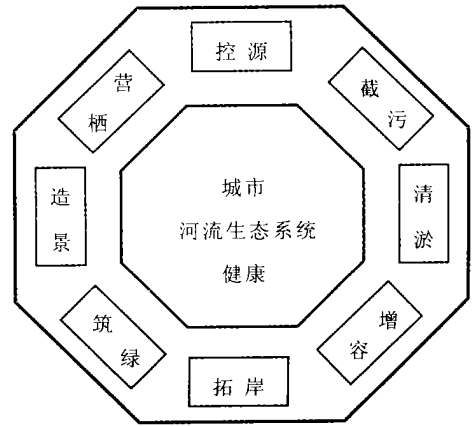
从纵向、横向、竖向3个空间维度,统筹进行上下游、左右岸、由河底至河岸的多层次立体修复,社会发展模式优化与河流各要素的恢复措施相结合,点(点源)、线(河流廊道)、面(面源)修复相结合,统筹考虑沿岸土地利用、水土保持、水资源利用等多方面要求,达到修复河流系统内各组成要素结构与功能目的,最终在景观与生态系统尺度上恢复其价值。

4 城市河流生态系统修复模式

河道的人工化破坏了生物栖息与洄游环境,切断了生态系统各要素及生物地理化学过程的联系。因此,在较长的时间内,河流生态系统修复集中在修复与提高单个栖息地的条件或对河流物理结构,如内河道、河岸带等的修复^[17-18]。这类修复试图稳定或优化某一时间点及空间位置上的生境,或创造一种近自然状态,却忽略了河流的自然变量及动力学过程,使修复的效果大受局限。当前,河流生态系统的修复已经从这种单纯的结构性修复发展到整个河流系统整体结构、功能与动力学过程的综合修复^[6]。城市河流生态系统修复也必然遵循这种要求,修复模式要考虑到结构、功能及河流动态过程等各个方面。

城市人口集中,开发强度较大,城市河流生态系统受到严重的干扰。以防洪与航运为目的的河道裁弯取直、堵塞支流与缩窄河身等,河道生态流量的挤占,点源与非点源污染的高强度集中排放,城市建设对河流廊道的侵占,河岸与河道的固化等严重降低了河流的自净能力,破坏了生物栖息环境,影响河流生态系统良性发展^[19]。长期以来,景观建设得不到应有的重视,阻碍了城市居民亲水愿望的实现,河流的整体生态效应与功能日渐衰退。综合以上问题,提出了城市河流生态系统的八元修复模式(图2),以污染源控制、底泥疏浚与污水处理工程为主导,综合运用

河流水体曝气复氧、多功能河道生态工程修复等强化自然修复与城市地表径流非点源控制技术,生物自然修复与工程修复相结合,景观建设与生物栖息地营造相结合,实现河流生态系统的修复。



(1) 控源。通过合理规划社会经济发展布局,提高植被覆盖面积,进行产业结构优化调整,推进水资源节约型城市体系建设,加强环境审计管理,实施城市清洁生产及工艺革新等措施减少各类污染源污水、污染物产生与排放量,减少水资源开采强度,降低对城市河流生态系统胁迫强度。

(2) 截污。城市污水是造成河流水质恶化的最重要贡献源,对汇入城市河流的污水实施工程或生态截流并集中处理后排放,是改善水质最为有效的手段,但费用较为昂贵。

(3) 清淤。当外来源切断或水体动力条件变化时,会导致底泥中污染物的释放,对水体造成污染。利用特殊的环境疏浚设备,移走、清除水体中的污染底泥,可为河流生态系统的修复创造条件。清淤有助于增强行洪与航运能力,清出的富含营养物质的淤泥,可用于林地投放、绿地施用及农业生产,实现资源化利用^[20],也可作河道两侧护岸及堤防加固的填土材料^[21]。

(4) 增容。减少城市生产与生活对河流生态环境用水的挤占,分配河流生态系统必需的生态环境用水,提高河流水流流速,加强河流中水流同河道、河岸基质以及地下水的交换,利用各种物理、化学与生物强化自然修复手段,增强河流对污染物的稀释及自净能力。

(5) 拓岸。外延城市规划红线,拓宽河床,扩大河道蓄水容积,提高行洪能力,增加河岸管理带宽度。

(6) 筑绿。加强河岸带的植被建设,保持其结构上的连续性与稳定性,促进城市蓝带与绿网的交融。

(7) 造景。建设亲水景观,满足城市居民的亲水愿望,提高河流生态系统的休闲娱乐价值,改善人居环境质量。

(8) 营栖。考虑水生生物的生存需求,加强鱼道建设,保护与恢复河道内栖息地,保存河漫滩结构完整性,促进浅滩与边滩的发育,保护沙洲景观,为生物营造栖息环境,使河流成为生物多样性的表达场所。

城市河流生态系统修复模式实质上是反映城市河流生态系统修复中所应遵循的规律或行动指南,是可作为依据的法式或标准,具有可移植与可推广的含义,但同时它的使用也是相对的,不存在“万能”或“普适”的意义,它本身也具有动态的特征,应用于不同区域,适用于不同类型与受扰程度的河流时,应根据当地情况与特点进行必要的修改与调整。

5 城市河流生态系统修复技术途径

修复技术措施是实施城市河流生态系统修复的重要保证,但由于退化城市河流生态系统存在着地域差异性,加上外部干扰类型和强度的不同,结果导致河流生态系统所表现出的退化类型、阶段、过程及其响应机制也各不相同。

因此,在不同类型退化河流生态系统的修复过程中,选用的配套关键技术往往会有所不同。对于一般退化的城市河流生态系统而言,基本的修复技术途径可包括河道外修复、河道内修复、栖息地与鱼道修复及物理结构修复4个方面。

5.1 河道外修复

常用的河道外修复技术主要是城市污水工程集中处理技术。根据处理机理来划分,可分为物理、化学与生物处理技术;从程序上看,可分为预处理、一级处理、二级处理、深度处理及污泥处理^[22]。实施过程中,应根据污水特性、处理目标及技术经济支撑能力,选择合适的城市污水处理方式。

城市污水工程集中处理规模大、处理效率高,是城市中应用较为广泛的处理方式。但其缺点是处理费用昂贵,废水中的营养成分得不到回收,一些特殊物质得不到处理。而一些生态工程,包括陆生生态工程、水生生态工程及湿地修复工程^[23],具有能耗少,出水水质稳定,对N、P等营养物质去除能力强,基建和运行费用低,技术含量低,维护管理方便,耐冲击负荷强,具美学价值,能实现污水资源化与无害化等优点^[24-26],得到了越来越多的应用。尤其是利用人工湿地、氧化塘等处理城市地表径流非点源污染方面,有较多的实例。

5.2 河道内修复

包括河流净化能力增强技术和内源消除与控制技术两大类。河流净化能力增强技术包括曝气、引水稀释、添加试剂、生物操纵、恢复水生植被、水体生物强化等,内源消除与控制主要指底泥环境疏浚与底泥污染控制。曝气可增加复氧量,提高对污染物净化能力;引水稀释提高溶解氧浓度与生物降解能力,还可促进悬浮物质沉降与沉积物的再悬浮,抑制底泥中营养物质的释放;投加化学试剂与生物菌剂目的都是为了提高水体的自净功能,但有时化学试剂的投加会产生长期的负面效应;生物操纵则通过对生物群落及其生境的一系列调整,保护和发展大型牧食性浮游动物,从而减少藻类生物量,改善水质^[27],但有时可能引入外来物种,需在详细的水体生态调查及分析基础上进行。水生植被的修复包括人工强化自然修复与人工重建水生植被两条途径,须加强管理,及时收割,将水草富集的污染物质带出水体;生物强化技术是利用生物膜法净化污染物的原理,采用适宜的生物载体,置于受损水体中,实施修复。底泥环境疏浚有助于减轻与消除污染,但不是彻底控制污染的办法;底泥污染控制成本较高,处理效果维持时间短。

5.3 栖息地与鱼道修复

栖息环境营造重在改造河道流路及河床的物理特性,创造出接近自然的流路,使水流形成不同的流速带。栖息地物理基质的营造主要是以大型载体,如腐木、河床植石等,放于河道中形成,人为制造适宜生物栖息的鱼巢护岸等,以形成人工渔礁也是常用的手段。恢复鱼道的目的是阻止道路与城市工程对河流生态通道的隔断,创造促进鱼类及其它水生生物在水体内运动、洄游的水文与底质条件。这种修复需建立在详细的水文生态调查、河流水力学特性调查等的基础上,有时还需要采取一些引导措施引导鱼类栖息、繁殖与洄游。

5.4 物理形态结构修复

包括河流生态护岸与护坡建设、复式断面建设及裁弯取直复原3个方面。生态护坡与护岸意在保护、创造对生物友好的生存环境和自然景观,将走向笔直、断面单一、结构坚硬的混凝土体改造成为水体和土体、水体和生物相互涵养,适合生物生长的仿自然状态的护坡。常用的生态护坡与护岸材料主要有植物、土工材料复合种植基、植被型生态混凝土、水泥生态种植基、土工材料绿化网、土壤固化剂等^[28-30]。复式断面是兼容人类亲水性、生态性和河道蓄水防洪功能为一体的断面形式,是河流生态修复的首选断面形式。具有弯曲与蜿蜒地貌的河流,处于一种最稳定

与有效率(efficient) 的状态^[10], 恢复河流的弯曲状态, 有利于促进河流的自然过程恢复。但裁弯取直复原前, 应进行广泛的水文、河道地形、河流分布特征等历史资料调查, 有时还要考虑土地利用及城市功能布局的要求, 适当提高河流的曲率和蜿蜒度, 有条件满足河流生态系统修复的要求。

[参 考 文 献]

- [1] National Research Council, Committee on Restoration of Aquatic Ecosystems. Restoration of Aquatic Ecosystems [M]. Washington D. C. National Academy Press, 1992. 552.
- [2] Holmes N T H. The river restoration project and its demonstration sites [A]. De Waal L C, Large A R G, Wade P M (eds). Rehabilitation of Rivers: Principles and Implementation [C]. John Wiley: Chichester, 1998. 133—148.
- [3] 任海, 彭少麟. 恢复生态学导论 [M], 北京: 科学出版社, 2001. 59.
- [4] Gore J A, Shields F D. Can large rivers be restored [J]. Bioscience, 1995(45): 142—152.
- [5] Pedroli B, Blust G D, Looy K V, et al. Setting targets in strategies for river restoration [J]. Landscape Ecology, 2002, 17(Suppl. 1): 5—18.
- [6] Clarke S J, Bruce-Burgess C L, Wharton G. Linking form and function: towards an eco-hydromorphic approach to sustainable river restoration [J]. Aquatic Conservation: Marine and Freshwater Ecosystems, 2003(13): 439—450.
- [7] Bohn B A, Kershner J L. Establishing aquatic restoration priorities using a watershed approach [J]. Journal of Environmental Management, 2002(6)4: 355—363.
- [8] Arthington A H, Pusey B J. Flow restoration and protection in Australian rivers [J]. River Research and Applications, 2003(19): 377—395.
- [9] Lusk S, Halacka K, Luskova V. Rehabilitation the floodplain in the lower river Dyje for fish [J]. River Research and Application, 2003(19): 281—288.
- [10] Petersen M M. A natural approach to watershed planning, restoration and management [J]. Water Sciences and Technology, 1999, 39(12): 347—352.
- [11] Ebersole J L, Liss W J, Frissell C A. Restoration of stream habitats in the western United States: Restoration as re-expression of habitat capacity [J]. Environmental Management, 1997(21): 1—14.
- [12] Naiman R J, Biley R E. River ecology and management: lessons from the pacific coastal ecoregion [M]. New York: Springer Verlag New York, 1998. 599—603.
- [13] 蔡庆华, 唐涛, 邓红兵. 淡水生态系统服务及其评价指标体系的探讨 [J]. 应用生态学报, 2003, 14(1): 135—138.
- [14] 鲁春霞, 谢高地, 成升魁. 河流生态系统的休闲娱乐功能及其价值评估 [J]. 资源科学, 2001, 23(5): 77—81.
- [15] Hilden M. The role of integrating concepts in watershed rehabilitation [J]. Ecosystem Health, 2000, 6(1): 39—50.
- [16] Norris R H, Thomas M C. What is river health [J]. Freshwater Biology, 1999(41): 197—209.
- [17] 山崎正俊. 近自然工学—新しい川・道・まちづくり [M], 东京: 信山社 サテック, 2000. 63.
- [18] Beechie T, Beamer E, Collins B et al. Restoration of habitat-forming processes in Pacific Northwest watersheds: a locally adaptable approach to aquatic ecosystem restoration [A]. Peterson D L, Klimas C V, The Role of Restoration in Ecosystem Management [A], Madison, WI: Society for Ecological Restoration, 1996, 48—67.
- [19] Poff L N, Allan D, Bain M B, et al. The natural flow regime: a paradigm for river conservation and restoration [J]. Bioscience, 1997(47): 769—784.
- [20] 朱广伟, 陈英旭, 王凤平, 等. 景观水体疏浚底泥的农业利用研究 [J]. 应用生态学报, 2002, 13(3): 335—339.
- [21] 顾欢达, 顾熙. 河道淤泥的有效利用方式及其物性探讨 [J]. 环境科学学报, 2002, 22(4): 454—458.
- [22] 李海, 孙瑞征, 陈振选, 等. 城市污水处理技术及工程实例 [M]. 北京: 化学工业出版社, 2002. 84—85.
- [23] 孙铁珩, 周启星, 李培军. 污染生态学 [M], 北京: 科学出版社, 2001. 344—355.
- [24] 付贵萍, 吴振斌, 任明迅, 等. 垂直流人工湿地中水流规律的研究 [J]. 环境科学学报, 2001, 21(6): 720—725.
- [25] 籍国东, 孙铁珩, 李顺. 人工湿地及其在工业废水处理中的应用 [J]. 应用生态学报, 2002, 13(2): 24—28.
- [26] 曾扬, 安贞煜. 土地处理技术在污水资源化中的应用 [J]. 环境污染治理技术与设备, 2003, 4(9): 77—80.
- [27] Shapiro J. Biomanipulation: the next phase-making it stable [J]. Hydrobiologia, 1990(201): 13—27.
- [28] 刘文宏, 吕成德. 生态水泥及其应用 [J]. 水泥工程, 1997(3): 53—55.
- [29] 张俊云, 周德培, 李绍才. 岩石边坡生态护坡研究简介 [J]. 水土保持通报, 2000, 20(4): 36—38.
- [30] 季永兴, 刘水芹, 张勇. 城市河道整治中生态型护坡结构探讨 [J]. 水土保持研究, 2001, 8(4): 25—28.