

综 述

国内外河流生态修复研究进展

王文君, 黄道明

(水利部中国科学院水工程生态研究所, 水利部水工程生态效应与生态修复重点实验室, 武汉 430079)

Research Progress of River Restoration Research at Home and Abroad

WANG Wen-jun, HUANG Dao-ming

(Key Laboratory of Ecological Impacts of Hydraulic-Projects and Restoration of Aquatic Ecosystem of Ministry of Water Resources, Institute of Hydroecology, Ministry of Water Resources and Chinese Academy of Sciences. Wuhan 430079, P. R. China)

摘要:随着社会的高速发展,人类活动对河流生态系统造成的不利影响逐渐显现,河流生态修复的理念应运而生。介绍国外河流生态修复理念和工程技术的发展历程,20世纪30年代—20世纪50年代是以污水处理和河流水质保护为主的生态修复理论雏形阶段,20世纪50年代—20世纪80年代是以“近自然河道治理工程学”为主要理论基础的生态修复理论形成阶段,20世纪80年代后河流生态修复的重点拓展为河流生态系统恢复,相关修复实践全面展开。阐述我国河流生态修复的现状与实践,自20世纪90年代我国开始河流生态修复技术的探索,目前在水质净化、生态河堤建设、生态景观设计和新材料应用等科研领域取得了大量成果。提出应该从河流特点、生态学过程、河流流域等方面综合考虑,开展河流生态修复研究。

关键词:河流;生态修复;研究进展

中图分类号:X171.4 **文献标志码:**A **文章编号:**1674-3075(2012)04-0142-05

河流系统包括河流干支流、河漫滩、有水力联系的湖泊以及河岸带微生境等,具有洪水调控、污染净化、气候调节、环境美化等多种功能,同时也是一个物种丰富、生产力较高的系统。多年来,人类活动如拦河筑坝、河道裁弯取直、河滩开发、围湖造田、防洪建堤等,破坏了河流系统的自然形态和水生生境的复杂度,使得生态水文过程的可持续性遭到破坏,因而造成河道淤积、自净能力下降、水质污染加剧、生物多样性下降、土地贫瘠化和河流生态系统服务功能下降等问题。针对以上问题,国内外大规模开展河流生态修复技术的研究与实践,以恢复受损河流生态系统的结构、功能和生态过程,维护水生态系统健康,实现人水和谐共存。

1 国外河流生态修复研究进展

1.1 河流生态修复理论的雏形阶段

20世纪30年代—20世纪50年代为河流生态

修复理论的雏形阶段。

早期的水利工程主要以“治水”和“用水”为目标,防治水患灾害和满足航运、灌溉,是对河流掠夺式的开发,大量使用混凝土、石块等硬质材料,造成河道渠化。这样的河流开发利用完全不顾河流生态系统的健康,打破了河流生态系统的平衡,造成河流水质恶化。面对日益严重的水质恶化现象,20世纪30年代起,很多西方国家对传统水利工程导致自然环境被破坏的做法进行了反思,开始有意识着手对遭受破坏的河流自然环境进行修复(廖先荣等, 2009)。1938年德国 Seifert 首先提出“近自然河溪治理”的概念,标志着河流生态修复研究的开端。“近自然河溪治理”是指能够在完成传统河道治理任务的基础上达到近自然、经济并保持景观美的一种治理方案(高甲荣等, 1999)。但至此,西方国家对河流治理的重点主要是放在污水处理和河流水质保护上。

1.2 河流生态修复理论的形成阶段

20世纪50年代—20世纪80年代为河流生态修复理论的形成阶段。

随着污染控制措施的有效实施,河流的水质明

收稿日期:2012-03-05

作者简介:王文君,1980年生,女,助理研究员,主要从事水生态保护与修复工作。E-mail: wangwj@mail.ihe.ac.cn

显改善,但河流的生物多样性、生物栖息环境的状况依然不佳,人们已经认识到混凝土护岸是导致河流生态系统恶化的重要原因,于是开始将生态学原理应用于土木工程。据此,20世纪50年代德国正式创立了“近自然河道治理工程学”,提出要在工程设计理念中吸收生态学的原理和知识,改变传统的工程设计理念和技术方法,使河流的整治要符合植物化和生命化的原理(Laub et al,2009)。在整治目标上,强调河流自然的健康状态;在整治方法上,强调人为控制和河流的自我恢复相结合(姜正实等,2008)。“近自然河道治理工程学”成为河流生态修复技术的主要理论基础。

1962年美国生态学家H. T. Odum等提出将自我设计的生态学概念用于工程中,首次提出生态工程的概念(汪秀丽,2010),并将生态工程定义为“人运用少量辅助能而对那种以自然能为主的系统进行的环境控制”(Mitsch,1989;1996;1998)。1983年Odum又将生态工程修订为“设计和实施经济与自然的工艺技术”。

与此同时,修复受损河流生态系统的实践研究也在欧洲国家相继展开。1965年德国的Ernst Bittmann在莱茵河用芦苇和柳树进行生态护岸试验(Gray et al,1992),可以看作是最早的河流生态修复实践(陈兴茹,2011)。

20世纪70年代末瑞士Zurich州河川保护建设局又将德国的生态护岸法丰富发展为“多自然型河道生态修复技术”(U. S. EPA,1998),将已建的混凝土护岸拆除,改修成柳树和自然石护岸,给鱼类等提供生存空间,把直线型河道改修为具有深渊和浅滩的蛇形弯曲的自然河道,让河流保持自然状态(颜兵文,2005)。之后,此方法在欧美及日本推广开来。

1.3 河流生态修复实践全面展开阶段

20世纪80年代至今为河流生态修复实践全面展开的阶段。

随着生态工程在河流治理中的实践,河流保护的重点拓展到了河流生态系统的恢复,德国、瑞士于20世纪80年代提出了“河流再自然化”的概念,将河流修复到接近自然的程度。英国在修复河流时也强调“近自然化”,优先考虑河流生态功能的恢复(胡静波,2009)。荷兰则强调河流生态修复与防洪的结合,提出了“给河流以空间”的理念(王薇和李传奇,2003)。

美国的Mitsch和Jorgensen于1989年正式探讨

了Odum等1962年提出的生态工程的概念,在此基础上诞生了“生态工程”这一理论(Mitsch,1989;1996;1998)。之后,又不断论证了将生态学原理运用于土木工程中的理论问题,奠定了河道生态修复技术的理论基础(杜良平,2007)。20世纪90年代以来,美国将兼顾生物生存的河道生态恢复作为水资源开发管理工作必须考虑的项目(杨海军等,2004)。

日本虽然于1986年才开始学习欧洲的河道治理经验(蔡晔,2007),但“多自然型河道生态修复技术”在日本被迅速发展起来。日本在学术上称之为“应用生态工学”,在行政上,建设省河川局将其称为“多自然型河川工法”或“近自然河川工法”(邓红兵等,2001)。日本的堤坝不再用水泥板修造,而是提倡凡有条件的河段应尽可能利用木桩、竹笼、卵石等天然材料来修建河堤,并将其命名为“生态河堤”。仅在1991年,日本就有600多处试验工程进行多自然型河流治理法,日本建设省推进的第九次治水五年计划中,对5700 km河流采用多自然型河流治理法,其中2300 km为植物堤岸、1400 km为石头及木材护底的自然河堤,不得已使用混凝土的2000 km堤岸也按生态型护堤法进行了覆土改造(罗新正等,2001;赵润红等,2008;廖先荣等,2009;刘晓涛,2001)。

同时,西方国家也大范围开展了河道生态整治工程的实践。德国、美国、日本、法国、瑞士、奥地利、荷兰等国家纷纷大规模拆除了以前人工在河床上铺设的硬质材料(陈凤琴等,2010),代之以可以生长灌草的土质边坡,逐步恢复河道及河岸的自然状态(陶理志,2007)。如美国著名的洛杉矶河已拆除了混凝土河道;德国在全国范围内开始治理被混凝土渠道化了的河道;瑞士在河流保护的法规中明文规定,优先使用生物材料治理河道;法国要求城市河道建设时,地面不透水面积不超过3.3%(夏振尧等,2005)。使用石质和水泥材料来铺设硬化河底、建造陡峭河岸、砍掉河岸边的树木、清理沿岸野生植物的河道治理方法,已被各国普遍否定,目前,河流生态修复已经成为国际大趋势(郝晓磊,2008)。

在过去的十几年里,拆除废旧坝(堰)、恢复生态的工作也空前展开。如美国在其国土内的大小河流上总共修建了75000多座挡水建筑物,到目前为止已有约500座坝(堰)被拆除(高凌,1993)。

随着河流生态修复技术方法的日渐成熟,发达国家于20世纪90年代尝试开展流域尺度下的河流

生态修复工程。例如,美国已经开始对基西米河、密西西比河、伊利诺伊河、凯斯密河和密苏里河流域进行了整体生态修复,并规划了未来20 a长达60万 km的河流修复计划(吴智洋等,2010);丹麦的斯凯恩河上正在进行着最大规模的河道复原工程,包括恢复河流和河漫滩的物理及水文动力,包括河流再次弯曲化,重新确定自然水位和河流河谷的水位波动,以及改善动植物的栖息地条件等(高凌,1993)。

2 我国河流生态修复研究进展

2.1 我国河流生态修复研究现状

近年来,我国生态学和水利学的学者已经深刻认识到水利工程对生态环境的影响,开始从不同角度积极阐明开展河流生态修复研究的重要性,探索修复受损河流生态系统的技术手段(杨芸,1999;邓红兵等,2001;张建春等,2003;董哲仁,2003a;2003b;汪恕诚,2003)。

我国对河流生态修复技术的认知起始于20世纪90年代,其中比较有代表性的是刘树坤1999年提出的“大水利”的理论框架(陈兴茹,2011),认为河流的开发应强调流域的综合整治与管理,同时注重发挥水的资源功能、环境功能和生态功能,流域的开发目标是提高流域自身的舒适度和富裕度,流域的开发与管理应以可持续发展为指导原则。并在其系列访日报告中(刘树坤,2002a;2002b;2002c;2002d;2002e;2002f;2003a;2003b;2003c)详细介绍了日本在河流开发与管理方面的理念和对策,对开展河流的防洪、水资源开发与保护、景观与生态修复、水文化等综合整治的技术措施进行了探讨,同时详细阐述了生态修复的思路、步骤、方法和措施等,为之后我国开展河流生态修复研究奠定了基础。

董哲仁于2003年提出了“生态水工学”的概念,分析了仅以水工学为基础的治水工程的弊病,对河流生态系统带来不利影响,提出在传统水利工程的设计中应结合生态学原理,充分考虑野生动植物的生存需求,保证河流生态系统的健康,建设人水和谐的水利工程(董哲仁,2003a)。2007年3月,董哲仁出版了《生态水利工程原理与技术》一书,为我国河流生态修复科研与工程开展提供了重要的理论基础。同时,唐涛等(2002)介绍了河流生态系统健康评价的国内外应用及发展趋势,概述了以水生生物指标为主的河流生态系统健康评价方法;郑天柱等(2002)介绍了受污染水体的生态修复技术,针对新

沂河的污水治理实例,分析其修复效果,认为河流流量、含氧量、生物多样性是河流生态修复的关键因素;高甲荣等(2002)在分析传统治理概念的基础上,提出了河溪的自然治理原则,并探讨其应用的基本模式。王薇和李传奇(2003)从河流廊道的空间结构和生态功能的分析出发,提出了河流生态修复的概念和技术,详细介绍了美国、欧洲和日本的河流生态修复研究进展;王沛芳等(2003)探讨了国内外城市水生态系统建设的弊病,提出了水安全、水环境、水景观、水文化和水经济“五位一体”的城市水生态系统建设模式。杨海军等(2004)分析了水利工程对河流生态系统带来的压力,详细介绍了河流生态修复研究的内容和方法,认为应开展以恢复动植物栖息环境为目标的河岸生态修复技术研究;夏继红和严忠民(2004)重点介绍了植物型生态护岸技术的国内外研究现状,指出该技术存在时间、位置、物种选择方面的限制,同时需要较高水平的技术工人及完善的维护保养。赵彦伟和杨志峰(2005)研究了河流生态系统健康的概念、评价方法和发展方向,提出河流健康评价应关注其指标体系的构建、评价标准的判别和流域尺度的研究;达良俊和颜京松(2005)针对城市人工水景观建设中缺乏整体性,人工硬化模式严重的弊端,首次在我国提出进行近自然型人工水景观建设的理论与概念。陈庆伟等(2007)分析了大坝对河流生态系统造成的胁迫,介绍了水库生态调度技术措施。

2.2 我国河流生态修复技术的应用

我国对河流生态修复的研究虽仅有二三十年的时间,但目前已经引起社会各界的高度关注,国内正在兴起河流生态修复的研究和应用推广的热潮,并在水质净化、生态河堤建设、生态景观设计和新材料的应用等研究领域取得了大量成果(李兴德等,2011)。

天津市南排河分段综合整治工程,福州市白马支河综合整治工程,秦皇岛市抚宁县洋河水库“复合人工湿地修复水库污染水体”示范工程(王蓉,2007),引江济太和淮河闸坝防污工程,上海市苏州河控制排污工程等,都明显改善了水体水质,减轻了水污染损失。

不少城市河道对生态河堤的构建,也都取得了良好的生态和社会效应。比较成功的实例有浙江台州市黄岩永宁江公园右岸的河流生态环境恢复和重建工程,江苏镇江市运粮河生态堤岸示范工程(夏振尧等,2005),成都市府南河活水公园的人工湿地

工程,太原市汾河生态河堤整治工程,中山市岐江公园亲水生态护岸工程等。

目前,河流生态修复的试点工程已在全国展开。从2005到2008年,水利部先后确定了江苏无锡市、湖北省武汉市、广西桂林市、山东莱州市、浙江丽水市、辽宁新宾县、湖南凤凰县、吉林松原市、河北省邢台市、陕西西安市等10个城市作为全国水生态系统保护和修复试点。通过试点,探索和总结水生态系统保护与修复的工作经验,为全国水生态系统保护与修复工作的全面开展提供技术、管理、制度建设、体制建设和资金渠道拓展等方面的经验。

3 对我国河流生态修复的建议

3.1 顺应河流保护的阶段性

河流的生态修复应顺应河流保护的阶段性,“先治污,后生态”。对于重污染的河流应首先从根源截断污染物的排入,若过分强调采用生物—生态修复技术,一味的推崇生态措施,无疑会使得修复的效果事倍功半、不尽人意。

3.2 充分认识河流生态修复的复杂性

要充分认识到河流生态修复的复杂性源于其背后生态学过程的复杂性。河流生态修复效果的评价指标是生物多样性的提高,而目前我国对河流生态修复的研究主要关注于生态工程技术的研究,在生物特别是水生生物对河流生境变化以及河流循环过程的响应机制等生态学过程方面的研究还很缺乏。应加强河流生态学的研究,同时注重水文学、水力学、景观学等多学科的融合。

3.3 为河流量身定制修复方案

我国对河流生态修复的研究现在还处于对国外技术吸收、消化与适应性转化阶段,在学习外国先进经验的基础上应结合我国人多地少的国情,因地制宜,研究适用于我国的河流生态修复技术。

依据各条河流的自身生态特点,量身定制修复方案。对于河流形态完整性受损的河流,应立足于河流结构和功能的修复,若偏重于园林景观和水质修复效果的建设,只能修复河流表面的问题,并不能真正的达到河流生态修复的目的。

3.4 从流域层面综合考虑

河流作为纵向、横向、垂向和时间上“四维”连续的生态体系,应加强对其流域层面上的生态修复研究,并注重相关技术标准和规范的编制工作。

参考文献

- 蔡晔. 2007. 平原地区城市内河河道结构与水质恢复关系的实验研究[D]. 苏州: 苏州大学.
- 陈凤琴, 耿福源, 赵莹, 等. 2010. 城市河流生态系统修复[J]. 中国人口·资源与环境, 20(3): 365–367.
- 陈庆伟, 刘兰芬, 孟凡光, 等. 2007. 筑坝的河流生态效应及生态调度措施[J]. 水利发展研究, 7(6): 15–17, 36.
- 陈兴茹. 2011. 国内外河流生态修复相关研究进展[J]. 水生生态学杂志, 32(5): 122–128.
- 达良俊, 颜京松. 2005. 城市近自然型水系恢复与人工水景建设探讨[J]. 现代城市研究, (1): 7–15.
- 邓红兵, 王青春, 王庆礼, 等. 2001. 河岸植被缓冲带与河岸带管理[J]. 应用生态学报, 12(6): 951–954.
- 董哲仁. 2003a. 生态水工学的理论框架[J]. 水利学报, (1): 1–3.
- 董哲仁. 2003b. 生态水工学——人与自然和谐的工程学[J]. 水利水电技术, 34(7): 80–85.
- 杜良平. 2007. 生态河道构建体系及其应用研究[D]. 杭州: 浙江大学.
- 高甲荣, 肖斌, 牛健植. 2002. 河溪近自然治理的基本模式与应用界限[J]. 水土保持学报, 16: 84–87.
- 高甲荣. 1999. 近自然治理——以景观生态学为基础的荒溪治理工程[J]. 北京林业大学学报, 21(1): 80–85.
- 高凌. 1993. 工程稳定问题的干扰能量法[D]. 南京: 河海大学.
- 赫晓磊. 2008. 山丘区生态河道设计方法研究[D]. 扬州: 扬州大学.
- 胡静波. 2009. 城市河道生态修复方法初探[J]. 南水北调与水利科技, 7(2): 128–131.
- 姜正实, 麻俊仁. 2008. 河流生态修复技术研究进展[J]. 吉林水利, (319): 19–21.
- 李兴德, 颜宏亮, 马静, 等. 2011. 污染河流生态修复研究进展[J]. 水利科技与经济, 17(8): 4–6.
- 廖先荣, 王翠文, 蒋文琼. 2009. 城市河流生态修复研究综述[J]. 天津科技, (6): 31–32.
- 刘树坤. 2002a. 刘树坤访日报告: 自然环境的保护和修复(一)[J]. 海河水利, (1): 58–60.
- 刘树坤. 2002b. 刘树坤访日报告: 自然环境的保护和修复(二)[J]. 海河水利, (2): 58–60, 64.
- 刘树坤. 2002c. 刘树坤访日报告: 湿地生态系统的修复(三)[J]. 海河水利, (3): 61–63, 69.
- 刘树坤. 2002d. 刘树坤访日报告: 湿地生态系统的修复(四)[J]. 海河水利, (4): 61–64, 67.
- 刘树坤. 2002e. 刘树坤访日报告: 河流整治与生态修复(五)[J]. 海河水利, (5): 64–66.
- 刘树坤. 2002f. 刘树坤访日报告: 大坝建设中的生态修复(六)[J]. 海河水利, (6): 62–65.

- 刘树坤. 2003a. 刘树坤访日报告: 水力发电站建设中的生态修复(七)[J]. 海河水利, (1): 63–66.
- 刘树坤. 2003b. 刘树坤访日报告: 自然共生型流域圈与都市的再生(八)[J]. 海河水利, (2): 62–64.
- 刘树坤. 2003c. 刘树坤访日报告: 日本城市河道的景观建设和管理(九)[J]. 海河水利, (3): 68–69.
- 刘晓涛. 2001. 城市河流治理若干问题的探讨[J]. 规划师, 17(6): 66–69.
- 罗新正, 孙广友. 2001. 河堤环境效应略论[J]. 环境科学研究, 14(2): 11–13.
- 唐涛, 蔡庆华, 刘建康. 2002. 河流生态系统健康及其评价[J]. 应用生态学报, 13(9): 1191–1194.
- 陶理志. 2007. 生态护坡在城市防洪堤的应用[J]. 人民长江, (3): 80–82.
- 汪恕诚. 2003. 资源水利——人与自然和谐相处[M]. 北京: 中国水利水电出版社.
- 汪秀丽. 2010. 浅议河流生态修复[J]. 水利电力科技, 36(1): 6–16.
- 王沛芳, 王超, 冯骞, 等. 2003. 城市水生态系统建设模式研究进展[J]. 河海大学学报: 自然科学版, 31(5): 485–489.
- 王蓉. 2007. 人工湿地在河涌生态修复中的发展应用[J]. 重庆科技学院学报: 自然科学版, 9(3): 122–124.
- 王薇, 李传奇. 2003. 河流廊道与生态修复[J]. 水利水电技术, 34(9): 56–58.
- 吴智洋, 韩冰, 朱悦. 2010. 河流生态修复研究进展[J]. 河北农业科学, 14(6): 69–71.
- 夏继红, 严忠民. 2004. 国内外城市河道生态型护岸研究现状及发展趋势[J]. 中国水土保持, (3): 20–21.
- 夏振尧, 许文年, 戴方喜, 等. 2005. 城市内河滨水堤岸生态修复技术探讨[J]. 中国水土保持, (10): 30–31, 38.
- 颜兵文. 2005. 长株潭湘江河岸带景观生态规划研究[D]. 长沙: 中南林学院.
- 杨海军, 内田泰三, 盛连喜, 等. 2004. 受损河岸生态系统修复研究进展[J]. 东北师大学报, 36(1): 95–100.
- 杨芸. 1999. 论多自然型河流治理法对河流生态环境的影响[J]. 四川环境, 18(1): 19–24.
- 张建春, 彭补拙. 2003. 河岸带研究及其退化生态系统的恢复与重建[J]. 生态学报, 23(1): 56–63.
- 赵润红, 师卫华, 赵辉, 等. 2008. 城市护岸的发展历史和趋势[J]. 现代园艺, (9): 46–47.
- 赵彦伟, 杨志峰. 2005. 河流健康: 概念、评价方法与方向[J]. 地理科学, 25(1): 119–124.
- 郑天柱, 周建仁. 2002. 污染河道的生态恢复机理研究[J]. 环境科学, 23(12): 115–117.
- Gray D H, Sotir R B. 1992. Biotechnic stablization of highway cut slope[J]. Journal of Geotechnical Engineering, 118(9): 1395–1409.
- Laub B G, Palmer M A. 2009. Restoration Ecology of Rivers[J]. Encyclopedia of Inland Waters, (1): 332–341.
- Mitsch W J. 1989. Ecological engineering: an introduction to ecotechnology[M]. New York: Wiley.
- Mitsch W J. 1996. Ecological engineering: a new paradigm for engineers and ecologists[M]. Washington D C: National Academy Press.
- Mitsch W J. 1998. Ecological engineering: the 7-year itch[J]. Ecological Engineering, 10: 119–130.
- U. S. EPA. 1998. Stream-corridor-restoration-principles, processes and practices[S].

(责任编辑 杨春艳)