

河流廊道及其生态修复

樊 健, 贺瑞敏

(河海大学水资源环境学院, 江苏 南京 210098)

摘要 河流廊道是包括陆地、植物、动物及其内部河流网络的复杂生态系统, 它作为一个整体发挥着重要的生态功能。人类在河流沿岸以各种方式对土地的开发利用改变了河流生态系统的水文条件和地貌特征, 对河流生态系统产生了不同程度的胁迫作用, 破坏了其原有的动态平衡, 导致河流水质恶化, 季节性淹没区减少, 天然湿地丧失, 生物多样性锐减。文章还介绍并分析了芬兰等西方国家河流生态修复实践的几个典型例子, 在此基础上, 针对我国的实际情况, 提出了今后开展河流生态修复工作的几点设想。

关键词 河流廊道 胁迫 生态修复

中图分类号 :TV85

文献标识码 :A

文章编号 :1006-7647(2005)S1-0021-03

在景观生态学中, 将河流及其邻近的土地定义为河流廊道^[1]。河流廊道是包括陆地、植物、动物及其内部河流网络的复杂生态系统, 它作为一个整体, 发挥着重要的生态功能, 如调节流速、调蓄水资源、移除有害物质以及提供水生和陆生动植物栖息地等^[2]。此外, 河流廊道拥有不同于周边高地的植被和土壤特征, 它比其他的景观类型具有更高的生物多样性、种群密度和生物繁殖率。然而, 随着人口的增长和经济的发展, 人类对河流近似掠夺性的开发与利用(诸如城市与工业用水、农业灌溉、交通、娱乐、水力发电和林业生产等), 严重地破坏了河流廊道生态系统的动态平衡, 使河流水质恶化, 调蓄及输水能力降低, 导致鱼类和野生动物种群和数量减少, 河流的娱乐及观赏价值下降。因此, 为制止或延缓以上不利的河流生态环境的演化趋势, 实现流域的可持续发展, 保护和修复受损的河流生态系统已迫在眉睫。

1 河流廊道生态系统

1.1 河流廊道结构的多尺度定义

在以往自然资源保护规划中, 将河流单纯视为穿越地理景观的走廊。这突出了河流生态系统单一的纵向线性尺度, 但却忽略了河流的横向、垂向和时间尺度的重要性。对河流时空多尺度的描绘突破了以往人们对河流生态修复的认识, 使河流生态恢复不能仅局限于河段或河道本身的恢复, 而要着眼于

生态景观时空尺度下的整体恢复。

河流是一个线形系统, 从河源到河口均发生物理的、化学的和生物的变化。在纵向尺度上, 河流大体上可以分为三个区, 即河源区、输水区和沉积区^[3]。早期对河流纵向尺度上的研究将河流视为离散型的河段。Vannote 等提出了河流连续性的概念, 这一概念不仅认为流域、泛洪平原和河道系统的地理立体空间的连续性, 而且也提出了从河源到河口生物群落的连续性和变化规律。Vannote 等提出的连续性模型对河流的修复工作是很有帮助的。

横向联系对于河流廊道的完整性而言同样重要。大多数河流在横向上包括三部分, 即河道、泛洪平原和高地边缘过渡带。泛洪平原是在河流横向侵蚀和河床迁移过程中形成的, 是水生环境向陆生环境过渡的生物群落混合区。人们对泛洪平原在河流生态系统功能中的作用已经形成了较为全面的认识^[3~5], 如它可以为沉积物提供调蓄空间, 调节和容纳洪水等功能。此外, 河流对两岸的周期性淹没使来自河流的养分和有机物促进了岸边植物、浮游生物和底栖动物的生长, 而这些又为河中的鱼类提供食物。泛洪平原是维护河流廊道结构和功能完整性的重要部分, 对河流修复具有很重要的意义。

河流廊道生态修复所要考虑的时间尺度是多种多样的。流域内土地利用方式是河流廊道生态系统的变化因素之一, 如河道附近垦殖一般需要几年, 而

城市建设则需要几十年,因此河流廊道修复的规划必须考虑不同时间段的土地利用方式.在工程水文学中,将洪水分为十年一遇或百年一遇等,出于防洪的考虑,在修复的设计阶段,也应慎重合理地选择时间尺度.

1.2 河流廊道生态系统的动态平衡

河流廊道生态系统是一个动态系统,物质循环和能量交换在不断地进行,生物群落也在不断地变化和更新.但是河流廊道生态系统总是表现出趋向于达到一种动态的稳定,即称之为动态平衡^[6].河流廊道生态系统的这种动态平衡是通过自我调节来实现的.当河流廊道生态系统保持动态平衡时,能够自我调节和维持自身的正常功能,并能很大程度上克服和消除外来的干扰,保持稳定.但自我调节的功能是有一定限度的,当外来干扰超过了系统的适应范围,调节功能遭到破坏,系统就会失衡.为了达到新的平衡,河流廊道将会做出反馈调整,但需经历漫长的时期才能完成.即便重新达到了平衡,其系统的结构与功能也将很大程度的不同于以前的系统,生态价值将大大降低.

河流廊道系统可以抵御相当程度的干扰破坏,只要及时地控制或消除干扰源,系统仍将具备恢复到平衡状态的能力.但当河流自我修复的能力不能维持其动态平衡时,必须采取适当的人为措施进行修复.在修复过程中,应当在充分利用河流生态系统的自我调节与恢复能力,发挥其自组织功能的前提下,辅助以人为措施,为生物群落的繁衍栖息创造必要的条件.

2 人类活动对河流生态系统的胁迫

生态学中,将胁迫定义为自然或人类活动对生态系统造成的不利影响.河流廊道生态系统的胁迫主要来自于自然因素和人为因素,它们都会显在或潜在地改变河流廊道的结构及其功能,并会产生一系列的连锁反应.因此,对外在因素是如何给河流生态系统带来胁迫进行分析和总结,将有助于采取适当的措施缓解胁迫对河流生态系统的压力,对各种胁迫给予补偿,恢复河流生态系统正常功能.人类活动对河流生态系统的胁迫,主要可以概括为土地利用和水利工程两个方面.

2.1 人类的土地利用活动带来的胁迫

人类在河流沿岸以各种方式对土地进行开发利用是改变河流生态系统的结构与功能的主要因素,主要体现在以下几个方面:①人类沿河岸的农业活动严重地破坏了河流廊道生态系统.河流两岸天然植被的破坏改变了河流廊道的水文功能,造成水土

流失、增加高地的地表径流和污染物的迁移、加剧河岸侵蚀、损害生物栖息地等不利现象;河流渠化导致河流长度缩短、浅滩和深塘消失以及沿河湿地的消失;大量使用的化肥和农药,以溶解状态吸附于土壤颗粒或随地表或地下径流进入河流,构成河流的重要污染源.②岸边林木的大面积砍伐不但导致了鱼类、水生哺乳动物、无脊椎动物、两栖动物等生物栖息地减少,并降低了河岸的抗冲刷能力.③城市化改变了河流的水文特征,增加了城市河流的洪峰流量,加剧了河流的岸边冲刷,使得城区河流的含沙量远远大于其他地区,且水质较差.④工业废水和城市生活污水的排放构成了河流重要的污染源.

2.2 水利工程对河流生态系统的胁迫

水利工程在促进国民经济快速发展,满足各部门需求的同时,也引起了河流特征的显著变化,主要表现在以下几个方面:①人类出于防洪、发电等需求兴建水库,不但改变了河流的水力特性,而且切断了沿河物理特征差异性增加生物种类的过程^[7].水库蓄水改变了河流天然的径流模式,河道内水流变化幅度减少,引起河流、河岸、泛洪平原等各类生态环境改变,对河道地貌形态和河床底质的稳定性带来间接的影响.另外,筑坝也破坏了河流廊道自身的连续性,扰乱了整个河流生态系统上下游之间的物质和能量的传递.②堤防、护岸等河流整治工程,使河道直线化或渠道化和河岸混凝土化,改变了河流蜿蜒形的基本形态,急流、缓流及弯道相间的格局消失,使水流滞留时间缩短和水能消耗降低.渠道化也使得浅滩或深塘组合消失,导致河底平整,减少了水生动植物的栖息地环境和产卵场所.堤防隔断了陆地和水生两大类生态系统之间的相互联系,在横向上破坏了河流生态系统的连续性.

3 西方国家河流生态修复的实践

在对河流生态系统产生胁迫的各因素进行研究后,人们开始尝试采用一些积极的方法和措施,对河流生态系统进行修复,并且已经初见成效.

20世纪80年代初期,随着河流污染问题的基本缓解和有效控制,西方国家开始逐渐意识到河流的人工改造及沿岸的人类活动严重地干扰和破坏了河流生态系统,影响了人类对河流资源的持续利用.因此,河流保护的重点在认识上发生了重大的转变,即从单纯注重对河流水质的恢复拓展到对河流生态系统的恢复,进而提出了如何通过工程措施、生物措施以及河流保护措施恢复河流的自然属性,实现社会经济发展和河流的自然生态功能相协调.

西方国家河流生态修复大体上可以分为两个阶

段.第一个阶段是以单个物种的恢复为标志的河流生态修复阶段.这一阶段中较为成功和典型的例子如芬兰境内以鲑鱼的恢复为标志的河流生态系统修复.地处波罗的海的芬兰几乎所有河流都是鲑鱼的重要产地.由于人类活动,到1989年,野生鲑鱼的产量不足原来的10%.因而,芬兰政府对改善被疏浚河流急滩中鱼类的生存环境越来越重视,并在芬兰的水法中规定由水利部门进行治理.这主要通过恢复被疏浚的河流急滩,为鱼类的产卵和幼苗的成长创造有利环境和在河流急滩中放养鱼苗等措施来增加鲑鱼的数量.通过近10年的努力,已有50多条河流的鲑鱼得到了恢复.德国、奥地利等国开展的“近自然河流治理”工程以及英国采取的“近自然”河道设计技术也均取得了显著的成效.这些国家河流生态修复的实践注重对河流地貌的恢复,发挥河流生态系统的整体功能,注重对植被与河槽变化的相互作用机理的研究和在恢复方案的制定过程中对河流的分类.

第二个阶段是流域尺度下的整体性恢复.随着现代流域管理可持续发展思想的逐渐成熟,西方国家将河流生态系统的恢复纳入到整个流域的可持续发展当中.如莱茵河2000年行动计划(RAP),该计划的特点是从流域整体的生态系统出发来考虑莱茵河的治理,将大马哈鱼回到莱茵河作为环境治理和流域生态系统管理的标志^[8].英国国家水务局(NRA)在“防重于治”的认识基础上,提出通过整个流域有效的土地利用和资源规划来恢复整个河流环境,并认为流域规划将会提供一个识别、促进和保持对河流廊道的可能变化审查的方法.

4 对我国开展河流生态修复的启示

西方国家经历了几十年河流生态修复的实践与研究,从单一对水质的恢复到对河流生态系统的结构和功能的恢复;从对河段尺度下的工程修复扩大到整个流域尺度,这些为我国开展河流生态修复工作提供了宝贵的经验.

目前,我国的河流保护工作仍处于水质恢复阶段.从西方河流生态修复的实践可以看出,河流生态修复是建立在河流的污染状况得到有效改善的基础是逐渐开展起来的.我国的水体污染状况十分严重,据统计,到1997年为止,全国鱼虾绝迹的河流总长约有2400 km,90%以上的城市附近水域污染严重.因此我国治污工作是非常艰巨的,结合我国的具体国情,需要在治污的同时,也注重河流生态系统结构和功能的修复.

近年来,我国已经开始逐步开展河流生态系统的保护.如通过对河流生态环境需水的研究,提出了

维持和保护河流最基本的环境和生态功能的生态基流的概念.在水库调度过程中除满足社会经济的需求外,尽可能接近自然河流的季节性流量变化,以满足水生生物的产卵和迁徙.以上事例说明我国更加注重对河流水文条件的改善,但对于维持河流生物多样性的河流地貌特征的改善重视不够.因此,在河道恢复方面我国应当积极借鉴西方各国的经验,扭转目前对河流地貌形态破坏的不利局面,采取如重建深塘和浅滩、恢复被裁直河段、束窄过宽的河槽、拆除混凝土河道和涵洞、开发和推广输水渠道新型衬砌材料等积极措施,以保持河流的蜿蜒性和恢复河流形态的多样性.

最后,我国正处在水利水电事业发展的的高峰时期,这些水利工程在为我国带来了巨大经济效益和社会效益的同时,也给河流生态系统带来了许多负面影响.早在20世纪80年代,西方国家就出现了一些反对水利工程的呼声.如保护奥地利多瑙河原态河流(未受人类活动影响的河流)的问题引起了公众极大的关注,由于公众的强烈反对和该工程的生态影响研究的结果,这一项目最终停止.也有一些国家主张拆除一些已建的大坝,如美国在20世纪90年代共拆除了180余座小型坝.当然,已拆除的水利工程大多数由于工程老化、水能开发利用率低等原因,但这些大坝对下游生态系统产生的巨大胁迫也是一个重要的考虑因素.我国与西方国家不同,为恢复河流生态系统而大规模地拆除大坝是不切实际的,应当肯定水利工程的积极作用.但对新建工程,应当改进水利工程的规划、设计理念,吸收生态学的原理和方法,在满足社会和经济需求的同时,最大限度地减少对河流生态系统的胁迫,促进我国的水利事业由传统的工程水利向生态水利的转变.

5 结 语

河流廊道是包括陆地、植物、动物及其内部河流网络的复杂生态系统,它具有调节流速、调蓄水资源、移除有害物质以及提供水生和陆生动植物栖息地等重要的生态功能.河流廊道这一概念也突出了河流生态系统对外在胁迫承受能力的脆弱性.河流廊道可以消除和抵制一定程度的外来干扰,维持自身的动态平衡.但当外来干扰超过其自身的调节能力,就需要采取必要的措施,对其进行人工修复.在进行河道生态修复的过程中,不应当只考虑河道中的水体,而应当将范围从河道及其两岸的物理边界扩大到河流廊道生态系统的生态尺度边界,综合恢复整个河流生态系统,促进河流生态系统的健康发展和可持续利用. (下转第27页)

量,得到模糊评价矩阵为

$$R = \begin{bmatrix} r_{11} & r_{12} & r_{13} \\ r_{61} & r_{62} & r_{63} \end{bmatrix}$$

3.4 模糊综合评价

根据模糊综合评价的原理,评价结果 B 可以通过如下模糊变换得到:

$$B = WR = [b_1, b_2, \dots, b_6] \quad (7)$$

若 $\sum_{j=1}^6 b_j \neq 1$, 则对向量 B 进行归一化处理.

3.5 评价示例

若某条河流的河道生态需水满足程度为 80%, 优良河势保持率为 63%, 水质达标率为 65%. 它们的评价向量利用式(3)~(6)计算, 结果分别为 (0.00, 0.75, 0.25) (0.00, 0.65, 0.35) (0.25, 0.75, 0.00). 10 名专家对“水系连通性”指标的评判是: 4 名专家的评判是“健康”, 4 名专家的评判是“亚健康”, 2 名专家的评判是“不健康”, 则“水系连通性”指标的评价向量为 (0.40, 0.40, 0.20), 同样得到其他两个评价指标的评价向量; “洪水蓄泄能力”指标的评价向量为 (0.60, 0.30, 0.10); “水生生物物种组成”指标的评价向量为 (0.30, 0.60, 0.10).

评价矩阵为

$$R = \begin{bmatrix} 0.40 & 0.40 & 0.20 \\ 0.00 & 0.75 & 0.25 \\ 0.00 & 0.65 & 0.35 \\ 0.60 & 0.30 & 0.10 \\ 0.25 & 0.75 & 0.00 \\ 0.30 & 0.60 & 0.10 \end{bmatrix}$$

利用上述数据进行模糊变换: $B = WR = [0.238, 0.559, 0.203]$.

将评价结果转化为具体的分值, 即 $D = B[87.5, 62.5, 25]^T = 60.8$. 这个值在区间 [50, 75] 内, 据此可判定该河流处于“亚健康”状态, 应该采取必要的措施进行综合规划和治理.

4 结 语

a. 本文应用层次分析法和模糊综合评价法对河流进行评价, 减少了评价过程的不确定性和主观随意性, 评价方法简单易行, 可操作性强.

b. 对河流健康的评价涉及多方面的因素, 是一个复杂的问题. 评价指标体系的建立、主要评价指标的选取和指标权重的确定等直接影响最终的评价结果. 本文所设计的河流健康评价指标体系是否合理, 是否具有代表性, 评价指标的权重是否能与实际吻合, 都值得进一步探讨.

参考文献:

[1] 蔡其华. 维护健康长江, 促进人水和谐[J]. 人民长江, 2005(3): 1-3.
[2] 李红, 杨小凯. 利用层次分析法确定水库选址问题[J]. 海河水利, 2004(4): 54-55.
[3] 谭跃进, 陈英武, 易进先. 系统工程原理[M]. 长沙: 国防科学技术出版社, 1999.
[4] 张光进, 龙朝双, 张银香. 层次分析和模糊评价在企业引进人才工作中的应用[J]. 科技进步与对策, 2003(6): 134-135.
[5] 黄绍娃, 胡志光. 模糊综合评判法确定城市污水处理工艺[J]. 工业用水与废水, 2004(4): 12-14.
[6] 陈洋波, 李长兴, 冯智瑶, 等. 深圳市水资源承载能力模糊综合评价[J]. 水力发电, 2004(3): 10-14.
[7] 姚乐人. 防洪工程[M]. 北京: 中国水利水电出版社, 1996: 20-66.

(收稿日期 2005-05-15 编辑: 高建群)

(上接第 23 页)

参考文献:

[1] 刘茂松, 张明娟. 景观生态学[M]. 北京: 化学工业出版社, 2004: 32-33.
[2] SHIELDS F D, KNIGHT S S, MOORE M T. Stream corridor restoration a long and winding road[J]. Ecological Engineering, 2003, 20(5): 441-454.
[3] JERRY B, RON T. Stream corridor restoration: principles, processes and practices[M]. USDA, Natural Resources Conservation Service, 1998.
[4] MARTIN C. Floodplain-river ecosystem: lateral connections and the implications of human interference[J]. Geomorphology, 2003, 56(4): 335-349.
[5] POWER M E, DIETRICH W E. How does floodplain width affect floodplain river ecology? a preliminary exploration using simulations[J]. Geomorphology, 1995, 13(1): 301-317.
[6] 尚玉昌. 普通生态学[M]. 北京: 北京大学出版社, 2002.
[7] 佩茨 G E. 蓄水河流对环境的影响[M]. 北京: 中国环境科学出版社, 1988.
[8] 杨桂山, 于秀波, 李恒鹏. 流域综合管理导论[M]. 北京: 科学出版社, 2004.

(收稿日期 2005-09-09 编辑: 熊水斌)

