

河流保护与生态修复

龙 笛¹ 潘 巍²

(1. 清华大学水利水电工程系, 北京 100084; 2. 清华大学环境科学与工程系, 北京 100084)

摘要 分析了堤防和水坝对河流造成的负面影响: 切断了河流横向和纵向的生态联系, 造成水文循环短路和绝缘, 河流被台阶化、节点化, 从而破坏了水滨生物栖息地和水生生态系统。从河流保护概念性范围出发, 分析了河流在横向、纵向、垂向以及时间维度上的水文循环和生态联系。指出恢复河流生态系统的根本思想在于推动和恢复河流在空间和时间的 4 维尺度上的水文循环和生态联系, 避免河流水文循环短路或绝缘。总结了国内外关于河流生态修复的措施, 即在河流横向营造生物栖息地、湿地、林地、深潭和浅滩等, 在河流纵向补偿流量和洪水过程, 重建生物栖息地和水库消落带, 闸坝处建造鱼道和鱼梯等。

关键词 河流保护 水文循环 生态修复 水坝 堤防

中图分类号: TV213.4

文献标识码: A

文章编号: 1006-764X(2006)02-0021-05

Stream protection and ecological rehabilitation/LONG Di¹, PAN Wei²(1. Department of Hydraulic and Hydropower Engineering, Tsinghua University, Beijing 100084, China; 2. Department of Environmental Science and Engineering, Tsinghua University, Beijing 100084, China)

Abstract: An analysis was made of the negative influences of embankment and dam projects on the evolution of streams, and some conclusions were drawn. Embankments and dams severed hydrological cycle and ecological connection and resulted in shortening of hydrological cycle and insulation of streams; the evolution of streams in terrace and node forms destroyed riparian habitat and aquatic ecosystem. Through an analysis of hydrological cycle and ecological connection of streams in lateral, longitudinal, vertical, and temporal dimensions based on the concept extension of stream protection, it is pointed out that the essential thought for stream ecosystem rehabilitation should be placed on recovery of hydrological cycle and ecological connection in four dimensions and avoiding of shortening of hydrological cycle and insulation of streams. Furthermore, measures for stream ecosystem rehabilitation at home and abroad were summarized, including construction of habitat, wetland, woodland, pool, and shoal on lateral dimension of streams and compensation of runoff and flood, rebuilding of habitat in reservoir area and vegetation in fluctuating belt of reservoir area, and construction of fish way and fish ladder on longitudinal dimension of streams.

Key words stream protection; hydrological cycle; ecological rehabilitation; dam; embankment

随着科学技术的进步和工农业生产的发展, 人类对河流的开发利用程度已经达到相当高的水平。例如, 我国海河流域水资源的开发利用超过 90%, 而国际公认的不影响河流生态环境的水资源开发利用则是 40%, 过度的开发利用导致了河流生态系统的退化。又如, 为了抵御洪水, 截至 2000 年, 我国修筑各类堤防 26 万多 km。堤防的修建虽为保护重点城市安全发挥了重要作用, 但另一方面切断了河流横向的水文循环和生态联系, 使得河流自然生态功能严重退化。对河流的过度开发和不合理的治理导致了河流断流、地面沉陷、土地荒漠化、流域生物多样性丧失等生态环境灾难。这一系列问题, 促使人们不得不改变传统观念, 从生态和环境的

意义上系统地研究河流。

1 人类开发利用和治理河流中存在的问题

1.1 堤防建设带来的生态问题

堤防破坏了水-陆的连续性, 使沿河湿地大量消失。水-陆连续性的破坏又导致水-陆生态连续性的破坏。水生物-两栖生物-陆地生物是连续的, 生物进化过程是由丰富的水生物过渡到沿河湿地内丰富的两栖生物群和以水生物及两栖生物为食的水鸟群, 再过渡到丰富的陆地生物群^[1]。天然河渠有利于植物和鱼类的生长, 它所形成的湿地具有显著的自净能力。但现今我国的堤防建设都是以混凝土护岸为主, 混凝土河道切断了水土之间的联系和相互作用, 其单

调的水流状况不利于水生动植物的繁衍。湿地消失后,湿地对生态系统的重要作用也随之消失。

堤防建设后,径流的人为控制程度提高,河流常常是富营养化和被严重污染的状态,大量的自然变异消失。而生态系统只有靠自然变异才会具有丰富的物种,才能维持生物多样性的特征^[2]。美国佛罗里达州 Kissimmee 河在 20 世纪 60 年代为防洪将 160 km 的弯曲河流改为 78 km 长、60 m 宽和 9 m 深的混凝土水渠,由此导致原河内的鱼类和水禽数量分别下降了 75% 和 90%。

1.2 水坝建设带来的生态问题

河流在建设水坝之后,其物理、化学和生态特征都呈现出不同程度的病态,流域生态系统受到扰动和破坏^[3],如河流干枯、湿地干涸以及三角洲和海岸线的退缩。水库还破坏了流域、河口和近海地区的自然环境和生态系统,导致生物物种的灭绝和生物多样性的退化。河流被节点化、台阶化,其自然径流模式和正常的地质作用过程被改变。河水流速降低,自净能力削弱,水质下降,河道内外大量的生物数目就会减少。对自然水文过程的改变打破了自然状态下水的流动和沉淀物运输的平衡状态,之后需要花上百年的时间才能形成新的动态平衡,也可能永远都无法恢复原有的生态平衡。

2 河流保护的特点和范围

2.1 河流保护的特点

人类活动对河流生态环境的改变有两种方式^[4]:一种是突变的、局部的,例如修闸建坝、开挖河道等;另一种是渐变的、大范围的,如流域综合治理、水土资源的开发利用等。河流保护的特点是具有保护目标的多样性,保护范围的广泛性,保护要求的系统性和长期性,影响保护效果因素的不确定性。

2.2 河流保护的范畴

河流是一个线状系统,从河源到河口均发生物理、化学和生物变化,但就河流保护范围而言,任何保护方案都不能只局限于河道,而应该将河流所在的流域作为一个整体来考虑^[2,5],研究流域“天—地—生”系统的相互关系。可以将河流生态系统看成是 4 维的,即概念性范围内具有纵向、横向、垂向和时间分量^[6-13]。这种概念性模型是描述任何情况下河流保护应该包括哪些内容的合适方法。

河流的水文循环在其横向、纵向、垂向以及时间尺度都与其所在的流域生态发生联系。一旦河流在 4 个维度上的水文循环被人为改变,就有可能导致与流域生态的联系被阻隔或干扰,甚至遭到不可逆的破坏。因此,不管是从河流保护和管理的角度出

发,还是从恢复河流生态的角度出发,都要全面认识上述关系,从流域整体水文循环的连续性和生态的连续性来认识和解决问题。

2.2.1 河流纵向的水文循环和生态联系

河流是一个线性系统。将河流描述为生物适应性和有机物变换的连续体,即随下游河道物理条件连续变化而不断调整 and 适应,保持上下游河段的连续性是河流保护的核心,尤其是这种连续性受人类活动影响而中断的河流。例如,在自然状态下,流域内的降雨落到地面后,一部分经过地表产汇流汇入河道,再流入湖泊和海洋,另一部分渗入地下,通过渗流缓缓地回归河道,形成河流的基流。整个流域的水循环过程时间较长,河流的基流分布较均匀,地下水位保持正常水平。但是,大量堤防和水库建成后,降雨迅速汇入河道,其水量大部分被储存在水库内,河道内的汇流又因为河道的疏浚和堤防的修建而快速地排入大海,流域的水循环过程加快,造成地表水比重人为加大,地下水比重人为减少,水文循环的空间分布人为改变。河流线性系统连续而稳定的水文循环因人为干扰而或切断,或加剧。再者,由于过量取水减少了河道水流,持续的污水段以及建坝都对鱼类和无脊椎动物的洄游与迁移形成障碍。

2.2.2 河流横向的水文循环和生态联系

河流与其所在流域的横向联系体现在水域与陆地的连续性上。水域和陆域是连续的,在水域和陆域之间存在有过渡带,即水位涨落的区间——自然状态下的滩地和湿地,总体上形成了水域—湿地—陆地的连续形式。水域和陆域的连续性保证了水、陆生态系统的连续性和生物通道,即水生物—两栖生物—陆地动物的连续通道^[8]。但由于堤防建设,湿地消失、水域和陆域的横向联系受到破坏。

河流的洪水泛滥过程不仅是一个灾害的形成过程,也是一个形成冲积平原的生态过程。洪水泛滥给广阔的洪泛区带来水资源、泥沙、肥料、物种、鱼类饵料,并冲洗河流和土壤。来自河流的养料和有机物促进湿地植物、浮游生物和底栖无脊椎动物的生长,而这些又为鱼类提供丰富的食物,对于一些沿河边的无脊椎动物,沿河土地的季节性淹没是完成他们生命周期的必要环节,对于其他的有机质,如有机残渣和河道外产生的浮游生物重新进入河道,又为河内生物提供丰富的养料,因而洪水的泛滥过程也是一个生态过程。但是,由于河流防洪工程体系的建设,河流不再泛滥,洪泛区的水循环与河流的水循环无关而造成绝缘化,河流与其所在流域的横向联系被切断,洪水灾害虽然在一定程度上被杜绝,但也中断了洪泛区的生态过程,使广大洪泛区的生态系

统难以为继。

2.2.3 河流的垂向水文循环和生态联系

河流垂向水文循环表现为自然状态下地下水和河川径流的相互转化,而在此过程中伴随着土壤和地下水与地表径流进行物质和能量的迁移和转换。在自然条件下,非干旱区域内地表水和地下水是连续的,由于地下水位较高,通过毛细作用可以保持地表的湿润,地表水也可以通过正常渗透补充地下水。但是由于人工大量超采地下水,造成大面积的深埋地下水漏斗,使地表水与地下水失去连续性,地表土壤干裂,地表植被干枯死亡,近地面生物链断裂。水文循环在垂向的连续性被人为改变和破坏,加速了地表河流、水体的干涸进程,造成湿地面积减少,土壤水剧烈变动带加宽。地下水循环短路,导致广大平原区土壤出现干化甚至荒漠化,部分地区植被枯死,动物迁徙或消亡。

河流垂向水文循环的连续性破坏,也会导致其横向生态系统的改变。随着地下水的大量开采、地下水位的下降以及河流季节化的迅猛发展,河流横向的大量洼淀和湿地生态系统亦日渐萎缩,甚至干涸消亡,原有的良好水生态环境系统因此而演变成成为陆生生态环境系统。

2.2.4 河流时间尺度上的生态联系

河流系统的时间尺度在许多方面都是很重要的,一条河流以很多种方式呈现出“易变性”,反映出河流在流域内既流动且又帮助形成流域地形的特征。河道形态可能在长时间内自然地改变,也可能由于人类的介入发生突变,但这些变化所带来的后果需要一定的时间才能被人察觉。在水生生物的生态环境中,有机物的发育和成长从几周到数年不等,而水生生物群落的演变需要数千年。考虑时间尺度,其重要性在于从长远观点做好河流保护规划。

3 河流的生态修复措施

3.1 河流横向生态修复措施

3.1.1 缓冲带

缓冲带是指河道与陆地的交接区域,又叫河岸区。如果这一区域较宽,也可称之为河边湿地、河谷或洪泛平原^[9]。不同的名称反映这一区域的宽度、洪泛状况和土壤条件的差别。在河流两岸各设置一定宽度的缓冲带是最重要的河流生态系统恢复措施。缓冲能力表现为使溶解的和颗粒状的营养物生物群落消耗或转化。除了减少营养物质之外,缓冲带及其植被还对河岸起到稳定作用,并形成具有截流和拦沙功能的多样性生态环境,是保护鸟类的一项相对廉价的措施。

3.1.2 植被

河流两岸植被的减少会增加入河道的挟沙量,增加沟蚀,甚至会导致边坡崩塌。植被的减少又使得河流内太阳辐射增强,促使河内大型水生植物生长。当河流两岸留出缓冲带,就可以自然地进行人工生长植物或进行人工种植,促使植物群落的形成和减少进入河道的泥沙,同时可以减少来自农田的氮和磷进入河道,达到保护水质的目的。

3.1.3 马蹄形湿地

为解决农业点源污染问题,在农业区的排水渠进入河流前建立小型湿地,称之为马蹄形湿地,这是一种减少入河营养物输送量的恢复措施和处理方法,它们是在缓冲带内挖的一个半圆形凹坑,暴露出每个排水瓦管,并让排出的水从湿地漫过。这些凹坑将形成小型湿地,让农业径流在进入河流之前流经马蹄形湿地,减缓流速,沉淀、吸收氮和磷,以减轻农田氮和磷的点源污染。

3.1.4 降低边坡

河流泥沙主要来源于沿渠化河道边坡周期性的小规模塌方,其塌方如此频繁,以至于河道不得不每隔几年就重新挖一次以维持过水能力。解决这一问题的简单方法就是降低河道边坡。当已经配置了缓冲带时,降低边坡将是最有效的恢复措施。降低河道边坡的效益是多方面的:首先可降低河岸塌方频率,从而减少直接进入河流的泥沙;其次能够增加河道的宽度,形成类似于洪泛平原的区域。洪峰期间,河流可以漫到洪泛平原,从而消耗洪水能量,减少水流对河岸的冲刷,同时水面扩大后,降低了流速和输沙能力,从而使泥沙沉淀在边坡上,减小下泄水流的含沙量。

3.1.5 曲流河谷

当洪泛平原建成后,河道的自然弯曲能力将得到恢复。为节省时间和减少泥沙,河流将不得不移动以达到平衡状态,使得河道呈弯曲状。在河流的弯曲段,水流交替地将凹岸的泥沙搬运到凸岸,这种冲刷和沉积过程是河流的消能方式,弯曲河流生态环境类型要比直线河流多得多。因此,弯曲河流拥有更复杂的动物和植物群落,而且水流在河道内滞留的时间越长,营养物的滞留和螺旋位移特性越强,从而增强了水系的自净能力^[10]。

3.1.6 浅滩和深塘

由于较陡的能坡和颗粒较粗的泥沙,河流将自然地形成深浅交替的河段,称之为浅滩和深塘。由于深塘和浅滩以及弯曲段使河床的剪力和摩擦力的差异减到最小,因此,在那些坡度较陡和粗颗粒泥沙的河段,应把浅滩与深塘作为恢复河流的措施之一。

浅滩与深塘的大小及其组合应根据水文学原理来确定,按照弯道出现频率来成对设计,即一个弯曲段配有一对浅滩和深塘,并以下游河宽的5~7倍距离来布置^[2]。交替出现的浅滩和深塘是恢复河道内生态环境的一个重要方面。除了由浅滩段增加的紊动促进河水加强充氧外,干净的石质底层是很多水生脊椎动物的主要栖息地,也是鱼类觅食的场所和保护区。

3.1.7 池塘

弯曲河谷或马蹄形湿地的外缘形成的池塘是一项经济并具有多种功能的生态恢复措施,它可用作灌溉蓄水、龙虾或鱼类养殖^[12],还可拦截有机物和氮。需要指出的是,不能将池塘用于密集的水产养殖,以避免引起富营养化。

3.2 河流纵向的生态修复措施

3.2.1 流量补偿

流量是河流的一项重要的水文特征,它的变化会对河流和流域的生物物种的分布及其丰度带来影响。对于大流域上的综合利用工程,应有选择地对待补偿流量问题。提供大量补偿流量或断绝河道进水口的补偿流量均会造成于一种动物有利而其他动物不利的情况。对于流域生态保护本身来说,最好使有限的河流维持足够大的流量,或者与天然径流量相同,以保持已经平衡了的生态环境,使其有十分类似于原始或天然的生物组成。

3.2.2 原有库区自然环境的恢复补偿

构建和改善水库附近的野生动物生长环境,以替代失去的野生动物的栖息地。例如加拿大老人河大坝修建以后,由于水库蓄水,200头常栖鹿和350~400头越冬鹿丧失了栖息地,各种动物都失去了树木的遮掩和屏障,还丧失了4处草原猎鹰的筑巢场所,5处黄腹土拨鼠的居留地。为了在河谷外发展植被,征得约1000 km²土地作为野生动物的栖息地,建起了约25 km长的挡雪栏,并在紧靠北方面种植树木和灌木。从积雪区获得的补水能够供给该地区的防护林生长。原有的5处湿地通过确保供水、建立水鸟栖息地,沿岸种植灌木和树木等措施得到了改善。在水库附近的深冲沟中修建了27座挡水小坝和壕沟,以便蓄留春季径流,提供水分维持树木和灌木生长。在水库周围还规划了24个供鸟类栖息的湿地,这些湿地在库水位降落时可以存水。通过在悬崖边挖洞建起了30个猛禽栖息场所,并在原来土拨鼠居留地附近正常蓄水位以上为其建造替代生长环境。

3.2.3 人造洪水补偿

修建水库后,由于水库对水流和泥沙的调节作用

使得进入下游的水沙过程发生变化,洪峰流量减小,流量过程调平,水流含沙量急剧减小。结果引起河道一系列的调整变化,对河流的生态环境造成了一些负面影响。基于恢复河流易变性特征的认识,人类在补偿大坝修建以后丧失的洪水对生态环境的影响方面做了一些有益的探索。例如1996年美国科罗拉多河格伦峡大坝的人造洪水试验,目的是恢复格伦峡大坝下游河道的自然地貌和生态环境功能。

3.2.4 消落带生态系统的重建

消落带属河漫滩人工湿地。由于水库调蓄运行和自然条件等原因,水位发生频繁的大幅度波动,水库边缘植被往往容易遭受破坏。因此,消落区和水库边缘植被的恢复与重建具有其独特的方式。最好的选择是以植被工程为主、土石工程为辅的规模治理。在环库的土质库岸段营造人工的、湿地的、固土能力强的草丛、湿地灌丛、湿地森林等保护型、经济型及观赏型植被,建立防止岸坡遭受侵蚀的立体防护林带。如果消落带有良好的植被覆盖,那么植物的根系能固定土壤,茎干能阻挡土粒的下滑,枝叶能拦截降水,减小雨滴对地表的打击,因而能有效地控制水土流失,对水库起到一定的保护作用。

3.2.5 洄游鱼类的补偿措施

以中国葛洲坝工程为例,葛洲坝工程在建设采用人工繁殖的方法补偿了中华鲟洄游至金沙江上游产卵的生态过程。事实证明是成功的。在某些水利工程中,修建鱼道和鱼梯也能在一定程度上解决洄游鱼类的生态补偿问题。

4 结 论

a. 本文从河流保护概念性范围出发,分析了河流在横向、纵向、垂向以及时间维度上的水文循环和生态联系,分析了堤防、水坝等人工建筑对河流可能产生的负面影响。其主要影响在于切断了河流横向和纵向的生态联系,造成水文循环短路和绝缘,河流被台阶化、节点化,从而破坏了水滨生物栖息地和水生生态系统。

b. 恢复河流生态系统及其生态功能的根本思想在于推动和恢复河流在空间和时间的4维尺度上的水文循环和生态联系,避免河流水文循环短路和绝缘,就能够从根本上保护河流的生态功能,维系河流的健康生命。具体做法是在河流横向营造各种生物栖息地、湿地、林地、池塘、深潭和浅滩等,在河流纵向补偿流量、库区生物栖息地、洪水、水库消落带植被和鱼道、鱼梯等。

c. 河流保护及其生态修复工程是一个复杂而长期的工程,尚未形成河流恢复评价标准。另外,在

补偿流量、补偿洪水、恢复河流易变性特征以及恢复生态学等理论研究上还不成熟,尚未形成较为一致的认识^[14,15]。文中所举数例仅是国内外的部分实践,其恢复效果在短时间内难以衡量。因此,还需加强对河流横向、纵向、垂向重要的生物或非生物过程的研究,建立实施有效的河流和流域生态系统健康评价指标体系,以迅速评价筑坝、堤防工程和各种恢复措施对河流生态系统的影响和效果。这是目前河流生态系统研究的热点问题之一。

文中一些重要观点得到中国水利水电科学研究院刘树坤教授的启发和指导,谨致谢忱!

参考文献:

[1] 刘树坤. 21 世纪的中国大水利建设[J]. 水利水电科技进展, 2000, 20(2): 6-9.

[2] MARK B B, AMY L H, DANIEL P L. Aquatic ecosystem protection and restoration: advances in methods for assessment and evaluation[J]. Environmental Science & Policy, 2000, 3(9): 89-98.

[3] 中国电力企业联合会科技工作部. 大坝工程环境问题[R]. 北京: 中国电力企业联合会科技工作部, 1992.

[4] BOON P J, CALOW P, PETTS G E. River conservation and management[M]. London: John Wiley & Sons, 1991: 122.

[5] 谭炳卿, 孔令金, 尚化庄. 河流保护与管理综述[J]. 水资源保护, 2002, 15(3): 53-57.

[6] WARD J V. The four-dimensional nature of lotic ecosystems[J]. Journal of the North American Benthological Society, 1989

(8): 2-8.

[7] BECK L. A review of farm waste pollution[J]. Journal of the Institution of Water and Environmental Management, 1989(3): 467-477.

[8] 刘树坤. 中国水利现代化和新水利理论的形成[J]. 水资源保护, 2003, 19(2): 1-5.

[9] DECAMPS H, JOACHIM J, LAUGA J. The importance for birds of the riparian woodlands with the alluvial corridor of the River Garonne[J]. Regulated Rivers: Research and Management, 1987, 1(4): 301-316.

[10] SCHROPP M H I. Principles of designing secondary channels along the river rhine for the benefit of ecological restoration[J]. Water Science and Technology, 1995, 31(8): 379-382.

[11] ROSENBERG R, ELMGREN R, FLEISCHER S, et al. Marine eutrophication case studies in Sweden[J]. Ambio, 1990(19): 123-125.

[12] ASHLEY A W, WAYNE D E. A practical scientific approach to riparian vegetation rehabilitation in Australia[J]. Journal of Environmental Management, 2003, 68(4): 329-341.

[13] POLLARD P, DEVLIN M, HOLLOWAY D. Managing a complex river catchment: a case study on the River Almond[J]. The Science of the Total Environment, 2001, 265(1): 343-357.

[14] GLASS S. Rebirth of a river[J]. Restoration and Management Notes, 1987, 5(3): 6-14.

[15] PALMER M A. Standards for ecologically successful river restoration[J]. Journal of Applied Ecology, 2005, 42(4): 208.

(收稿日期 2005-01-19 编辑 骆超)

(上接第 16 页)

[4] KAMAHAWA Y, TAMI N. Numerical calculation of turbulent flow in compound channels with an algebraic stress turbulence mode[C]//IWASA Y, TAMAI N, WADA A. 3rd International Symposium on Refined Flow Modeling and Turbulence Measurements. Tokyo: ASCE Press, 1988: 9-17.

[5] NAOT D, NEZU I, NAKAGAWA H. Hydrodynamic behaviour of compound rectangular open channels[J]. J of Hydraulic Engineering, ASCE, 1993, 119(3): 390-408.

[6] SHIONO K, LIN B. Three dimensional numerical models for two stage open channel flows[C]//Hydrocomp '92 International Conference of Computational Methods and Measurements in Hydraulics and Hydrology. Maksimovic Dayer, 1992: 123-130.

[7] PEZZINGA G. Velocity distribution in compound channel flows by numerical modeling[J]. J of Hydraulic Engineering, ASCE, 1994, 120(10): 1176-1198.

[8] 林斌良, SHIONO K. 复式断面明渠三维紊流的数值模拟[J]. 水利学报, 1995(3): 52-61.

[9] 陈文学. 应力驱动二次流和轴对称绕流体流场的数值模拟[D]. 武汉: 武汉水利电力大学, 1997.

[10] KEARNEY D J. Turbulence diffusion in channel of complex geometry[D]. Tokyo: Loughbough University, 2000.

[11] TOMINAGA A, NEZU I. Turbulent structure in compound open-channel flows[J]. J of Hydraulic Engineering, ASCE, 1991, 117(1): 21-41.

[12] 胡春宏, 吉祖稳. 复式断面剪切应力分布规律研究[J]. 泥沙研究, 1999(6): 52-55.

[13] 陈丽星, 姚朝晖, 博托尼, 舞理厨夫. 模拟热分层流场的湍流模型比较及优化[J]. 原子能科学技术, 2003(5): 389-394.

[14] 林斌良, SHIONO K. 矩形明渠三维紊流的数值模拟[J]. 水利学报, 1994(3): 47-56.

(收稿日期 2005-04-22 编辑 骆超)

