

鱼道的生态廊道功能研究

杨 宇¹, 严忠民¹, 陈金生²

(¹ 河海大学水利水电工程学院, 江苏南京 210024; ² 水利部中国科学院水工程生态研究所, 湖北武汉 430079)

摘要: 由于水能开发和防洪抗旱的需要, 河流被各种不同型式和规模的挡水建筑截断, 因而破坏了河流原有的景观和生态完整性。鱼道作为水利枢纽中唯一的生态工程, 由于其本身固有的沟通功能, 而成为水利工程对生态环境不利影响的重要补偿措施。以原有的鱼道理论为基础, 引入景观生态学中提高河流连接度的思想, 在设计鱼道的过程中既考虑水工水力学和生态水力学的要求, 兼顾景观生态学的原理, 使最终建成的鱼道不但满足过鱼的要求, 同时还应满足提高景观连接度的要求。

关键词: 鱼道; 生态廊道; 景观连接度

中图分类号: S956.3 **文献标识码:** A **文章编号:** 1003-1278(2006)03-0065-03

由于水电开发和河流防洪的需要, 很多河流被不同型式和规模的坝、闸等拦腰截断。在山地, 借助高水头、大落差, 人们建立了大坝和水库, 通过对河流的拦蓄来发电和防洪。这些拦蓄不但阻断了河流中洄游鱼类的通道, 同时也影响了上游营养物质的向下输移和上游产卵区鱼苗对下游渔业资源的补充^[1]。在平原地区, 挡潮闸、提灌闸、排水闸等兴利工程不仅阻隔了进入江河肥育鱼类的通路, 也阻隔了河湖间的营养交换、物种交换, 切断了湖泊与河流长期稳定的生态联系。这些水利建筑在给人们带来充足电能和大量可耕灌土地的同时, 也造成了河流系统的破碎, 增加了河流的破碎度。很多研究表明^[2], 这种景观破碎化会造成种群多样性的减少, 进而造成近亲繁殖和遗传退化。

随着河流连续系统理论的发展^[3], 河流内部环境和连续的水体在生态多样性和抗冲击性上的优势日益受到重视。因此, 寻找一种有效地提高河流连接度与连通性的手段, 进行河流生态修复, 成为水生态领域的迫切需求。鱼道作为一种生态补偿工程, 以其本身固有的特点, 满足了人们恢复水生生态系统的要求。因此, 通过对传统鱼道的分析和改进, 探讨和发展鱼道的生态廊道功能。

1 传统鱼道的型式及存在问题

1.1 传统鱼道的型式

鱼道是在闸坝或天然障碍处为沟通鱼类洄游通道而设置的过鱼建筑物。最早的记载出现在17世纪的欧洲, 到19世纪末才有了近代的鱼道设计。现代鱼道的主要型式有池堰式(pool and weir type)、池孔式(pool and orifice)、丹尼尔式(Denil type)、竖孔式(vertical slot)或称作池板式(pool and jet type)或荷尔斯门式(Hell's Gate type)。这些传统鱼道主要是建筑在低水头挡水建筑的岸上, 称作绕岸式布置。也有一些其它的过鱼设施和枢纽统一布

置, 如升鱼机(fish elevators)、鱼闸(fish locks)等。这些近代的鱼道大多采用混凝土或浆砌块石建造, 在一定的设计流量和水位下工作^[4]。

1.2 传统鱼道存在的问题

鱼道这种河流旁路系统, 作为保护河流渔业资源的工程措施, 曾经在美国、加拿大、日本等国家风靡一时, 这些国家建设了大量的鱼道。据统计, 在北美有近400座鱼道(Conrad and Jansen, 1987), 日本有1400余座鱼道(Sananabe, 1990), 这些鱼道中有成功的、也有失败的, 但是所有这些鱼道都是以通过某种主要经济鱼类为目的。比如: 美国的大西洋鲑鱼、日本的香鱼^[5]等。由于鱼类在选择鱼道入口时耽误大量时间, 造成鱼类产卵期延迟等问题也遭到人们对鱼道的指责。解放以后, 国内在江苏、浙江、湖南等地修建了40多座鱼道^[6]。但是近20年来, 由于鱼道的运行有限, 它的有效性和必要性受到各个方面的质疑。

传统鱼道在设计施工和运行管理上都存在问题。首先, 设计目标单一。传统鱼道在设计时主要是针对1种或2种主要的经济鱼类, 结合水工水力学思想, 按照一定的流速、水深等指标进行结构和型体设计。在设计过程中没有考虑其它水生生物、有机碎屑等在障碍物上下游的输移和交换; 没有考虑底栖鱼类对河床质的要求; 在诱鱼效果和保持过鱼鱼类体力及延续过鱼鱼类的发育过程方面有很大的缺陷。也没有考虑通过鱼道本身与两岸环境之间的融合来建立“陆地——河岸带——河道”完整的断面生态模式。因此, 传统鱼道除了理论上能满足个别鱼类的纵向迁移要求外, 对于维护水生生态系统完整性的贡献极为有限。由于局限在小面积内、单一物种的保护极易失败, 所以很多鱼道修建得并不成功, 过鱼效果不明显甚至被废弃。

其次, 施工材料和方法不利环保。由于绝大多数的鱼道采用浆砌石或混凝土作为建筑材料, 即便流态符合所过鱼类的需求, 其中的环境还是与自然环境相差甚远, 再加上现代建筑中使用的抗冻剂、早强剂等添加剂在水中的缓慢释放, 对诱鱼效果和鱼类健康都有很大的影响。

第三, 运行水量不足。在鱼道的运行过程中, 由于有

收稿日期: 2005-10-14
基金项目: 国家自然科学基金重大资助项目 编号: 30490235
作者简介: 杨宇, 1976年生, 男, 内蒙古赤峰人, 博士生, 主要从事水力学河流动力学研究。E-mail: sunrain@ihb.ac.cn

一些鱼类的江湖洄游期或产卵期正值春季农业用水时期,鱼道的水量无法得到满足。对于一些发电站来说,为了得到更多的发电水量,也会减少鱼道运行用水。

最后,管理不畅。由于鱼道的管理权属于水利枢纽,而不属于渔业部门或生态部门,因此渔业部门和环境部门的要求不能实际落在鱼道的运行上。

2 鱼道的生态功能

近些年来,随着生态护坡和生态河岸带等概念的提出和发展,人们对河流健康的问题越来越关注。鱼道作为水生生态系统修复的重要手段,其功能、形态及设计思想也应该随之进一步发展。

随着景观生态学的迅速发展,景观生态学中的概念被应用在河流修复和湿地恢复等领域,给研究者以新的角度来思考问题。因此,我们结合景观生态学中廊道的概念,提出在鱼道的设计中不仅仅考虑过鱼的水力学问题,还应该同时考虑景观完整性和生态完整性问题。

2.1 河流廊道及河流生境的破坏

河流廊道最常见的定义是指沿河流分布而不同于周围基质的植被带^[2]。许多研究已经表明^[7],通过保护河流廊道功能来保持河流生态系统的完整性、提高野生动物的栖息地质量、保护物种多样性有至关重要的作用。但从这个定义来看,河流廊道主要研究的是河岸的植被带,而对于河流水体内部环境研究较少。通常水体在景观生态学中都是作为不透明的空间异质性斑块镶嵌在基质上。随着各种各样水利工程的建设,越来越多的河流的完整性遭到破坏。河道本身及其两岸河岸带部分形成的河流廊道在水利工程存在的地方被坝或闸截断,增加了河流及其周围景观的破碎度。最直接的影响就是分割了原有的种群,减小了种群内个体的数量。既影响了陆生的动植物种群,也影响了水生的动植物种群。其中受影响最大的,也是与我们的生活关系最密切的就是原来河流中的原生鱼类种群。

在河流下游平原地区,由于灌溉的要求和它的取、排水要求,在河湖之间修建了大量的提灌闸、排涝闸,河海之间修建了挡潮闸等水利设施。这些水利设施固然为工农业生产和生活作出了重要贡献,但是由于它们阻挡了河水或海水的自然回灌,从而阻断了原来河湖、河海之间特有的水生生态过程,造成了河流下游的水生生境的破碎和河流廊道的断裂。在河流的中上游,由于大坝拦水发电,造成了下泄水流的水温过低和消能后的含氮过饱和现象,这些现象更加剧了坝下水生生境的破坏程度。

2.2 用鱼道来修复河流廊道的优势

作为单一的过鱼系统,鱼道的确存在很多问题。但是,作为修复河流廊道作用的工程手段,鱼道有其不可替代的优势。首先,鱼道建立了基本的物理联系。鱼道是在枢纽上唯一以保护水生生物为目的而设计的水利工程。也许它不能满足沟通闸坝上下游鱼类交流的要求,但在物理上构成了水生生物可以通过的通道。其次,鱼道的运行是相对独立的。鱼道的运行应该是以过鱼为目的。在运行过程中,它虽然受到发电、灌溉、防洪等多方

面的影响,但是它的运行相对于水利调度是独立的。这样它就有了对下游进行生态调度运行的可能性。第三,原有的鱼道便于改造。现有的绕岸式鱼道只要依据河流动力学原理和景观生态学原理进行改造,就可以成为沟通上下游生态圈的纽带。这些改造包括岸坡复式化、河岸带生态化、对鱼道进行加宽、加深,从而修复被破坏的河流及其廊道的连通性。

3 生态鱼道

生态鱼道是对原有鱼道概念的拓展。因此,成功的生态鱼道首先是成功的鱼道。在保证过鱼的基础上,通过对建筑材料的选择、结构型式和断面型式的生态优化以及宽度、深度的增加以达到修复河流廊道的目的。生态鱼道应具有以下功能。

3.1 过鱼的功能

生态鱼道不但要使上、下游的鱼类得到交换,维持原有种群的完整性,同时还要保持过鱼鱼类的体力,在过道过程中延续其性腺发育。最终使通过鱼道的鱼有充沛的体力,并且不致影响其后续的觅饵、产卵等生理环节。同时能够在一定程度上帮助降河洄游鱼类免受水轮机的伤害。

3.2 通过有机质、泥沙和其它水生生物的功能

生态鱼道另一个重要的功能就是使有机质、泥沙和其它水生生物通过自然或人工障碍物。通过水力学设计和建筑材料选择,使上游聚集的有机质能通过生态鱼道输送至下游,以满足下游鱼类肥育的需要,同时形成饵料诱鱼。同样,通过水流挟沙使泥沙通过生态鱼道,以满足下游的冲刷平衡以及一些鱼类对悬沙或底沙的需求。通过对河床质的调整,使河床质适应底栖生物的生活,在鱼道内部建立稳定的底栖生物群落,并且使底栖生物能够通过鱼道进行交流。通过对悬移质进行调整,沟通上下游的藻类和微生物群落,使鱼道中形成稳定的微生物群落,以完善河流中的食物链。

3.3 在横断面上恢复河流廊道(生态交错带)的功能

由于枢纽将原有的河流廊道截断,造成河流廊道的局部缺失。因此,生态鱼道还有一个重要功能就是与河岸带的植被一起重新构建河流廊道。完成河流廊道的生境、通道、障碍、过滤、源和汇 6 项功能。

以上 3 点归根结底是提高景观的连通度。对于生物群体而言,景观连接度只有一种含义,当景观连接度较大时,表明生物群体在景观中迁徙、觅食、交换、繁殖和生存比较容易,受到的阻力较小。当景观连接度较小时,生物群体在景观中的活动和生存受到更多的限制^[7]。

4 生态鱼道的设计原则

生态鱼道简单地说就是以传统的鱼道设计为基础,以提高景观连接度为目的的河流旁路系统。根据水利工程的要求和生态鱼道的功能其设计应该遵从以下原则。

4.1 水力稳定性原则

复式断面人工河道的稳定性主要受到河流冲刷、深层滑动和浅层滑动的影响。因此,首先应该对影响冲刷

和稳定性的水力参数和土工技术参数进行研究,从而实现生态鱼道的冲淤平衡和水力稳定性设计。必要的时候可以进行水工模型动床试验来选择鱼道断面型式、鱼道岸坡及底部的材料。

4.2 生态原则

生态鱼道应与周围环境相协调,尽量使其对环境的破坏影响达到最小。这种协调意味着设计应以景观生态学原理为依据,以生态工法为基本施工方法,以保护种群完整性和物种多样性为目标,以生物资源和水利资源的永续利用、人水和谐相处为最终目的。

4.3 当地原则

在生态鱼道的设计过程中,不但建筑材料要取材当地,廊道植物要尽量选择当地物种,同时还应保护当地的水生生物,阻止外来种的入侵。同时考虑当地经济的发展与环境保护,建立社会——经济——自然复合生态系统^[8]。

4.4 保护过道鱼类的原则

通过对鱼类进行水力学适应性的试验,或者通过对鱼类原有栖息地的流态进行分析,得出鱼类对水流条件的要求。从而使用水利工程手段控制鱼道流态,来满足不同鱼类的要求,并让鱼在鱼道中尽可能减少体力消耗。另外,可以对底部和岸坡铺垫原河床的河床质,以恢复原有鱼类的觅饵环境。

4.5 回归自然原则

在生态鱼道的设计中,应该考虑原有河床的曲折情况,尽量在鱼道中保持原有河道的走势。在可利用面积许可的情况下,尽量通过人造弯曲和植物糙率等手段来消能防冲。同时可以考虑在绕岸式鱼道中间模拟创造产卵场和孵化条件,保护濒危鱼类。这些产卵场和孵化场可以作为观赏和教育基地向大众开放,兼具休闲功能。

4.6 维持最小生态流量的原则

生态鱼道的上游出口端应该在水库的回水末端,鱼道底高程应该和出口处的河道底高程相近。下游入口处的底高程也应该和那里的河床高程相近。这样鱼道中终年维持相当的流量,这是对下游的最小生态流量的有益补充。

5 讨论与结论

5.1 生态鱼道的适用范围

生态鱼道秉承了传统鱼道的基本型式,即将上、下游用固定建筑物的方式进行永久的沟通,因此其应用范围也受到了限制。像传统鱼道一样,由于鱼类游泳能力的限制,生态鱼道上、下游的水头差不能过大。过鱼设施协调合作委员会(Fish Pass Coordination Committee)对昆士兰进行指导的基本思路是:当鱼道高于6m用鱼闸,当鱼道池落差在0.08~0.15m之间就用竖缝式连接方式。在New South Wales有一些较小的坝,采用仿自然的辅通道,坡度斜面较低(坡度1:20~30)^[9]。由此可见,对于落差较小的坝,生态鱼道的设计施工更容易实现。而对于高坝,由于施工量过大,不一定适宜建生态鱼道。但是,在巴西的伊泰普水电站上,在水族科技园项目的支持下,设

计实施了一个落差达120m的生态鱼道;并且根据生态学家的要求设计了全鱼道中流速不超过3m/s、水深不小于0.8m和4m²的过水断面;并通过计算和模型试验确定了11.4m³/s的洄游流量;同时为了满足各层鱼类的通过,将一些闸门设计为向下开启。该鱼道长10km,其中6.5km使用了Bela Vista河的故道,3.5km为新开河道^[10]。

5.2 结论

对于水利枢纽来说,在保证了防洪、发电等兴利功能的基础上,可以在岸边附近建立生态鱼道,或者通过对原有鱼道进行改进,使之符合生态学原理,提高景观连接度。生态鱼道建立的关键是对本土鱼类行为和能力的专门研究,通过这些研究结果来进行鱼道的设计,而且在设计过程中不仅仅要考虑鱼对鱼道水力学的要求,还要考虑鱼类对鱼道相配套的闸门等的其它水工设施的适应性。因此,生态鱼道的设计和建造是生态学、水力学、水工学相互结合的产物。一个好的生态鱼道的建造可以尽人类所能恢复河流廊道的纵向、横向自然属性,保护河流中的各种生物群落的完整性和物种多样性,使河流的开发符合社会——经济——自然复合生态系统的模式。

参考文献:

- [1] 中国科学院三峡工程生态与环境科研项目领导小组. 长江三峡工程对生态与环境的影响及对策研究[M]. 北京: 科学出版社, 1988. 18~19.
- [2] 傅伯杰, 陈利顶, 马克明, 等. 景观生态学原理及应用[M]. 北京: 科学出版社, 2001. 56; 84.
- [3] 王庆礼, 蔡庆华, 邓红兵. 流域生态学——新学科、新思想、新途径[J]. 应用生态学报, 1998, 89(4): 443~449.
- [4] Clay C H, in: Design of fishways and other fish facilities. 2nd ed[M]. Boca Raton: Lewis Publishers, 1995. 15~16.
- [5] 中村俊六. 日本现有鱼道设计参考资料的概况[J]. 水利渔业, 1990, (4): 49~51.
- [6] 南京水利科学研究所. 鱼道[M]. 南京: 电力工业出版社, 1982.
- [7] 陈吉泉. 景观生态学的基本原理及其在生态系统经营中的应用. 现代生态学讲座暨学术研讨会[M]. 内蒙古大学: 科学出版社, 1995. 108~129.
- [8] 马世骏, 王如松. 社会-经济-自然复合生态系统[J]. 生态学报, 1984, 4(1): 1~9.
- [9] Jackson P. Strategy for fish passage in Queensland. In: Berghuis A P, Long P E, Stuart I G, eds. Second National Fishway Technical Workshop. Rockhampton, Queensland, Australia: Fishery Group, Department of Primary Industries Publishers, 1997.
- [10] Helio M F J, Domingo R F, Ademar S F, New Channel Provide Fish Passage at Itaipu[J]. Dam. HRW, 2004, 12(3): 18~20.

(责任编辑 万月华)