

利于河溪生物栖息环境生态工程述评

刘 瑛¹, 高甲荣¹, 冯泽深¹, 李松桂²

(1. 北京林业大学 教育部水土保持与荒漠化防治重点实验室, 北京 100083;

2. 天津市武清区环境保护监测站, 天津 301700)

摘 要: 创造适宜河溪生物栖息环境是河溪生态恢复的主要目标之一。总结了近年来国内外在该领域的研究成果, 指出人工化的河溪或平缓顺直的、激流的河溪通常不能为河溪生物提供良好的栖息环境。从构建河道内生物栖息地的措施出发, 论述了创造深潭—浅滩结构、改变河床底质以及一些直接提供生物栖息环境等生态河溪建筑物的特点、作用、功能和可行性。最后提出在中国开展创造河溪生物栖息环境生态工程研究应注意的问题和发展方向, 以期对我国河道的生态治理有所裨益。

关键词: 河溪生态修复; 生态工程; 水生生物栖息环境; 深潭—浅滩系统

中图分类号: X171.4; X176

文献标识码: A

文章编号: 1005-3409(2008)02-0256-04

Review of Ecological Engineering of Creating Aquatic Creature Habitat Environment

LIU Ying¹, GAO Jia-rong¹, FENG Ze-shen¹, LI Song-gui²

(1. Beijing Forestry University, Key Laboratory of Soil and Water Conservation & Desertification Combating, Ministry of Education, Beijing 100083, China; 2. Environment Protection Monitoring Office of Wuqing, Tianjing 301700, China)

Abstract: Creating aquatic creature habitation environment is one of the targets of river ecological restoration. This paper summarizes domestic and abroad related researching results in this field, pointing out that the artificial river, slow and straight river and torrential river usually can not provide a well habitat environment to aquatic creatures. From the measures of building in stream constructors, the paper discusses the characteristics, effects, functions and the feasibility of creating pool-riffle structure, the changes of riverbed substrate and directive 'covers'. Finally, it provides the future developing aspect of launching Ecological Engineering of Creating Aquatic Creature Habitat Environment in china and some essential problems during producing Ecological Engineering of Creating Aquatic Creature Habitat Environment, which will helpful to the future river ecological management in China.

Key words: ecological restoration of river; ecological engineering; aquatic creature habitat environment; pool-riffle system

传统的河溪治理偏重于安全考虑, 比较注意强调最佳水力半径, 单纯的从增加泄洪能力出发, 使河道人工化、断面单一化、河床硬质化^[1]。虽然达到了防洪的目标, 却导致河溪生态系统的退化、生物多样性的大大降低^[2-3]。随着人类环保意识、生态观念的增强及生活水平的提高, 全社会对退化的河溪生态修复和重建的要求越来越迫切。河溪近自然治理思想或河溪生态恢复思想都是针对河溪生态系统的退化而提出来的。Schlueter(1971)认为, 近自然治理的目标首先要满足人类对河溪利用的要求, 同时要维护或创造河溪的生态多样性^[4]。Hohmann(1992)从维护河溪生态系统平衡的观点出发, 认为近自然河溪治理是减轻人为活动对河溪的压力、维持河溪生境多样性、物种多样性以及河溪生态系统平衡并逐渐恢复自然状况的可行性工程措施^[1]。近自然

河溪治理(Near natural stream control)可以看作是人类活动与自然融合的一种社会现象, 就是在减轻或避免河溪生态系统中自然灾害所造成的损失、保护人类生存空间的基础上, 强调河溪在自然景观中的和谐性, 维护河溪生态系统的平衡和稳定, 发挥河溪生态系统多方面的功能。

无论是河溪的近自然治理还是河溪生态恢复, 其中一个非常重要的目标就是维护和创造河溪的生态多样性。河溪生态多样性是流域生物群落多样性的基础。有什么样的生境就能造就什么样的生物群落, 两者是不可分割的。如果说生物群落是生态系统的主体, 那么生境就是生物群落的生存条件。一个地区丰富的生境能造就丰富的生物群落, 生境多样性是生物群落多样性的基础^[5]。

在水域环境中较常被探讨的栖地因子包括流速、水深、

收稿日期: 2007-05-30

基金项目: 北京市自然科学基金项目(8062022); 中奥科技合作项目(Nr. VII. A. 3)

作者简介: 刘瑛(1983—), 在读研究生, 主要从事土壤生物工程在河溪生态整治中应用研究。E-mail: lycg06@163.com

通信作者: 高甲荣(1963—), 副教授, 主要从事流域管理及生态环境研究。E-mail: jiaronggao@sohu.com

底质石粒径、细砂含量与溪流内遮蔽物等,另外滨岸的植被、土壤等也被包含于栖息地范围内。栖息地状况之评估大致可区分 3 个区域:水流环境(instream),滨岸环境(riparian)及洪水平原环境(flood plane)^[6]。在欧洲和北美等国家,这些河溪生态工程应用非常广泛,在北美人工河溪建筑物(改变河溪生境的方法)大约在 19 世纪 30 年代中期已经被用来改善栖息环境,然后逐渐被全世界所应用^[7]。从河道生态工程即水流环境方面出发,探讨了通过构建河溪生态建筑物来提高河溪生物栖息环境的措施,通过改造河溪结构,改变河岸线及流速的分布来改善河溪生物的栖息环境,以期对我国的河溪生态治理有所裨益。

1 创造河溪深潭—浅滩结构

深潭和浅滩能为不同水生生物提供栖息、繁衍和避难的场所,有利于形成净化水质能力强的食物链结构。修复河溪生态系统首先要修复构成河溪金字塔底层的底栖动物。只有底栖动物开始繁衍,以它们为食的大型动物才能开始栖息,河床的深潭—浅滩结构是底栖动物生存的最佳栖息环境,所以浅滩—深潭结构的恢复可以看作是修复河溪生态的起点^[4]。

1.1 生态丁坝

传统的丁坝,其主要功能是防洪护岸,具体表现为改变洪水方向、减缓洪水流速、保护河岸不受水流直接冲蚀而产生的直接破坏、维持航路、促使丁坝间的泥沙堆积形成洪水河槽等。生态丁坝除了传统意义上的功能外,其主要特征是把植物或植物器官作为有生命的建筑材料运用到丁坝建筑工程中去,同时与无生命的建筑材料相结合,在植物生长发

育过程中达到维持自身生命力和持久保护丁坝的目的。生态丁坝能形成河溪的微地形,构建河床深潭—浅滩结构。

表 1 生态丁坝作用及适用范围

作用	1. 导流,减少泥沙的沉积,缩窄河道,增大流速,创造河溪的深潭—浅滩结构
	2. 在顺直河道内创造弯曲的河谷线,防止对河岸的冲刷侵蚀。生态丁坝对控制河势,创造多样化生物栖息环境很有效,通过泥沙堆积(沙洲)为河岸带植物生长创造条件
适用范围	1. 不仅可以用于小型河溪,还可以被成功地应用于大小不同的河溪。
	2. 用在较宽、较浅,深潭—浅滩结构缺乏的河溪
	3. 河床比降通常不超过 3%
	4. 不能用于河势不稳定的河溪
	5. 确保河岸不易被冲蚀
	6. 避免建在河床易被侵蚀的河段

合理配置丁坝能够使丁坝附近的区域产生冲刷和堆积,从而形成深潭和静水区^[9]。丁坝配置方向的不同能导致发生冲刷和堆积位置不同,充分利用这一原理能够使河溪形态多样化。生态丁坝作用及适用范围见表 1。

生态丁坝相对来说容易建造,也易于改变地点,许多材料如金属笼、石块、大块石和原木等都可被用于生态丁坝的修建。根据修建材料的不同,丁坝的形式也不同,一般有桩式丁坝和石丁坝两种形式。国外已有大量的研究,证明生态丁坝对提高河溪生物多样性有明显的效果(表 2)。

表 2 构建生态丁坝产生的后期效果

来源	施工地点	栖息环境的变化	对鱼类产生的效果	其它效果
Hunt (1969, 1971, 1976)	美国威斯康星州,劳伦斯河	增加了深潭数量	鲑鱼数量增加	
Thompson(1980)	美国伊利诺斯州小农业河	滞留来自上游的泥沙,形成深潭和浅滩	鱼类群落稳定	稳定的大型无脊椎动物群落
Gore 和 Johnson (1981)	汤戈河	改变了河床底质的特征,泥沙在丁坝下游沉积		提高了大型无脊椎动物的栖息环境,同时蚌类生物也有所增加
Shields 等(1995)	美国密西西比州,霍特菲尔河	增加了深潭数量	鱼类数量增长 3 倍,鱼类在中年时尺寸提高了 50%,且生物种类有所增加	
Shields(1995); Baker 等(1991)	密西西比河下游	创造了低流速的生物栖息环境	增加了生物多样性	在丁坝附近散落的石块成为大型无脊椎动物良好的栖息环境

1.2 生态潜坝(Ecological low dams)

构建生态潜坝可以在坝体的下游形成河溪的扰动,冲刷出深潭。构建潜坝后所形成的栖息环境与自然的深潭—浅滩十分相似。在河床比降大的河段,由于水流速度大,鱼类产卵后,泥沙极易被河溪冲走,修建潜坝后可以降低流速,滞留鱼类产卵后的泥沙,从而增加了无脊椎动物的繁殖数量。这种结构的建筑物往往横穿过河溪,有的会留有一小槽,以集中水流,使平缓低流速的河段更容易于形成深潭—浅滩结

构(图 1 石质潜坝)。

修建生态潜坝的自然材料相对来说比较便宜,有很多的自然材料可供利用,例如圆木、大块石、石头和石笼。整个建筑物横穿河溪,对低能量河溪深潭—浅滩的形成很有作用。河道横向铺设多孔性的混凝土、原木、卵石或采石场石材,并将其固定于河岸或河床上,以创造深潭栖息地,控制河床冲刷或淤积,并系留住砂砾性河床质。修建潜坝要求河溪比降较小,最好是能建在顺直的河段上;另外河床和河岸必须稳

定,能很好的锚固于河岸,不宜过高,以免阻碍鱼类通过;一般建在缺乏深潭—浅滩结构的河段。



图 1 石质潜坝

修建潜坝可以在短期内增加鱼类的数量,很多国家运用此方式创造河溪生物的栖息环境都取得了成功。在新墨西哥,通过建造潜坝所形成的人工深潭的体积比自然形成的深潭体积要大 70% 左右,人工深潭中的鲑鱼数量比自然深潭中的鲑鱼数量多 50%,生物量是自然深潭中生物量的 2 倍。这在流速比较大,特别是高流速的河段可能会造成建筑物的垮塌,不过垮塌后的石块冲散于河床内,增加了河床底质形态的多样性,为鱼类和大型的无脊椎动物提供栖息场所。

通过对不同类型河溪的研究表明:生态丁坝在防止侵蚀,提供生物栖息环境等方面明显高于无丁坝治理河岸,但是不能很有效的创造高低流速区域,而在这个方面,生态潜坝通过创造河溪深潭—浅滩的结构,有效的提高了栖息地的生物多样性。

1.3 阶梯—深潭

山区陡坡河溪的河床常由一段陡坡和一段缓坡加上深潭相间连接而成,呈一系列阶梯状,这就是 step-pool system,或译为阶梯—深潭系统。陡坡上堆积着较大的卵石,构成阶梯,深潭里充满了细小的沙粒和一些较粗糙的砂,除了卵石以外,有时河道基岩出露的地方也可以发育为阶梯,在森林地区的河溪中,有些阶梯由树木堆积而成^[8]。

山区河床比降较大,具有激流的河溪普遍存在,极不适于鱼类的产卵,而阶梯—深潭系统可以充分发挥其显著的生态学作用。阶梯—深潭系统能增大水流阻力和河床抗冲刷力,稳定了河床和岸坡^[9]。大卵石堆积成阶梯,细颗粒泥沙在深潭河段的缓流滞流区沉积下来形成淤泥层,形成适宜多种生物的栖息地^[8]。天然的阶梯—深潭河岸生态系统受山区陡坡河溪的水流参数和河床特性等关键因素的影响,这些因素不仅控制水生生物,同样影响两栖类和陆生类生物的栖息地。阶梯—深潭系统中水流存在着强紊流,使水体内部温度和氧气分布均匀,给许多生物提供了良好的生存条件;同时阶梯—深潭系统创造了不同流速、不同深浅的水生生物栖息地和产卵地,不仅较大的两栖动物和水生生物可以在此生,幼小的生物也可找到躲避急流和找寻食物的地方;同时多样的栖息地也有利于保持生物较高的多样性,防止单个物种密度偏高,因此从总体上说,阶梯—深潭的生态系统能提供一个全面而又健康的良好环境,这对保持天然生态环境的稳定大有裨益^[8]。

阶梯—深潭系统按成因和规模分成两类:一类是山区河溪两岸陡坡由于滑坡、泥石流或其它地质作用将河道堵塞,使其上游壅水成湖泊而下面形成跌水或瀑布。这种阶梯—深潭规模巨大,阶梯高度和深潭深度一般在几米到几十米。另一类是更为常见的山区小河中的阶梯—深潭系统,这种阶梯—深潭系统比较规则,规模也较小,阶梯高度和深潭深度一般都在几十厘米到几米。粗大卵石和石块叠在一起形成阶梯段,水流通过阶梯段时多为激流,阶梯下游形成深潭段,深潭段水深流缓,细颗粒泥沙(包括黏土淤泥)在此沉积。

王兆印等人选择小江支流(深沟、蒋家沟和小白泥沟)及四川九寨沟和金沙江进行野外实验并取样分析。研究发现阶梯—深潭系统形成适宜多种生物的栖息地,具有很高的生物栖息地多样性。野外试验和取样分析发现发育阶梯—深潭系列的深沟和九寨沟底栖动物密度高达 552 个/ m^2 ,生物量高达 5.96 g/ m^2 。而邻近的小白泥沟和蒋家沟底栖动物密度仅 0.75 个/ m^2 ,生物量不到 0.006 g/ m^2 ^[10],因此,利用阶梯—深潭系统治理山区河溪,既能保持河道稳定,又能维持较高的生物多样性,保持健康的河溪生态系统。

2 改变河床底质

河床底质起着支持(一般陆上和底栖生物)、屏蔽(如穴居生物)、提供固着点和营养来源(如植物)等作用。底质的不同结构、组成物质的不同稳定程度及含有的营养物质的性质和数量等,都直接影响着水生生物的分布。具有透水性的河床,适于水生和湿生植物及微生物生存。不同粒径卵石的天然组合,又为鱼类产卵提供了场所。底质的颗粒大小、稳定程度、表面构造和营养成分等都对底栖动物有很大的影响。水体的底质大体可分为岩石、砾石、粗砂、细砂、黏土和淤泥等,粗砂和细砂的底质最不稳定,通常生物量最低,砾石底质的底栖动物生物量较高。如 France 对加拿大 11 个湖泊进行了调查比较,发现砾石底质对底栖动物的现存量具有极高的贡献率^[11-12]。不同底质中的底栖动物优势种常有明显的差异,在夏威夷的浅海滨中,其砾石底质的底栖动物主要由环节动物和各种甲壳纲动物组成,而附近砂底质的底栖动物主要是由线虫组成,且其底栖动物的丰度和生物量显著小于砾石底质。

因此,放置于河道内的大块石可以为鱼类提供栖息地,改善河溪的深潭—浅滩特征,为鱼类提供更多的栖息地,并防止河岸被侵蚀。随机放置的大块石可以充分的增加生物的栖息环境。在平原地区,如果缺乏石块,大的圆木和木桩则有很大的生态优势。木质残骸是沙质河床河溪的一个重要组成部分,他们提供碳源,而且容易被生活在木质残骸上的生物所接受,木质不仅比较便宜而且货源充足。石块的稳定性很有影响,如果不稳定,生物的数量和多样性就不高。比如在流速较大的河段,就需要有其它的辅助建筑物来维持石块的稳定。

在传统的河溪护底固槽工程中,为了防止河床下切、缓和河床比降,常常采用砌石、混凝土块体等材料在河床上修建挡水建筑物^[4]。河床材料的硬质化,减少甚至切断了地表水与地下水的有机联系通道,本来在沙土、砾石或黏土中辛

苦存活的大量微生物找不到生存环境,水生植物和湿生植物无法生长,导致植食两栖动物、鸟类及昆虫失去生存条件^[5]。由于挡水建筑物形成的落差严重影响了鱼类的上溯,所以河溪生态修复的重要课题之一是改变隔绝鱼类上溯的传统护底固槽工程设计方法,建造利于鱼类迁徙洄游的护底固槽工程。在河床上植入石块,即可达到避免河床下切,保护河床的目的,又可以在石块间形成小生境,为底栖动物创造生存繁殖环境,同时也不会对鱼类洄游形成阻隔(图2)。

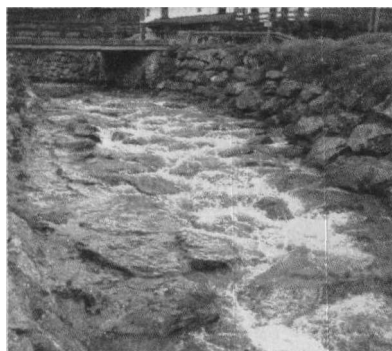


图2 生态型固槽护底工程

3 提供遮蔽物的建筑物

除了上述创造河溪深潭—浅潭结构和改变河床底质工程之外,还有许多其它的工程也可以直接影响河溪的形态,为生物提供栖息环境。在自然状态下,下切的河溪和浮游植物是非常重要的遮蔽物,一般被称作“covers”,鱼类利用这些遮蔽物作为避难所和遮荫场所。人工的建筑物应该固定在河床或者河岸上,以提供更多的栖息环境。这些建筑物包括固定在某处或者乱石堆上的倒悬的圆木、平台和倾倒的树木。使用树根及长原木等材料,导流并汇集水中残屑作为鱼类的栖息避难场所,长原木常形成流速较缓的水带,成为稚鱼的最佳避难所。残材淤堰汇集枯枝,与水中残屑一起成为雏鱼与大型无脊椎动物的重要依靠;这种措施外观自然、原始,对水流的干扰小,很容易而有效地创造出较浅的回水潭与长滩,从而为河溪生物提供栖息场所^[6]。

生态护岸的设计可以改变传统的浆砌石护坡脚,而采用抛石护坡脚的方法,或在坡脚处设计鱼槽。改变以往的直线型混凝土的护坡形式,尽量采用抛石护岸的方式,为生物提供栖息环境。生态河堤的坡脚护底具有较高的孔隙率、多鱼类巢穴、多生物生长带、多流速变化带等特征。其形成的水的紊流,有利于氧气从空气传入水中,增加水中溶解的氧气,有利于好氧微生物、鱼类等水生生物的生长,更能促进水体净化,改善河溪水质,为鱼类等水生动物和两栖类动物提供栖息、繁衍和避难的场所。生态河堤上繁茂的绿树草丛不仅为陆上昆虫、鸟类等提供了觅食、繁衍的好场所,而且浸入水中的柳枝、根系还能能为鱼类产卵和幼鱼的避难和觅食提供场所,形成一个水陆多生物共生的生态系统。

4 讨论

适宜的流速和水深是水生生物繁殖所需的基本条件,但是如果没有合适的河床底质,对于在底质上产卵的生物来说栖息环境就会减少。同样如果有良好的底质而没有足够的

深潭,这也不是鱼类理想的栖息环境。构建人工的生态型建筑物,对顺直、人工化、平缓的河溪,通过改变河溪的结构来增加河溪的生境多样性,这对有激流的河溪也同样有促进形成深潭—浅滩的作用,这对提高河溪的生物多样性具有很重要的意义。

国内的许多以生态为原则设计的水利工程,对其完工后的成效如何探讨研究并不多。针对不同河溪的特征,建立本土性环境因子与栖息地特征资料库,探讨水文(溪宽、流速、水深等)、水质(水温、酸碱度等)、河道型态(浅流、浅滩等)、坡降、底质组成和潭滩的分布及比例与水生生物系统的关系。以这些资料为参照标准对河溪进行改造,评估施工前后河溪栖息地面积的变化、水生生物数量和多样性的变化,这将是我国在今后一段时间内开展创造河溪生物栖息环境生态工程的主要研究内容。目前我国对河溪的生态整治尚处于起步阶段,对河溪生境多样性的恢复及水生生物对人工创造的栖息环境的响应程度还需要进一步研究。

参考文献:

- [1] 高甲荣,肖斌,牛建植. 河溪近自然治理的基本模式与应用界限[J]. 水土保持学报,2002,16(6):84-91.
- [2] Gregor S V, Lamberti G A, Moore K M S. Influence of valley floor landform s on stream ecosystems[M]. US-DA Forest Service Gen. Tech. Rep., 1989;3-8.
- [3] 李锦育. 台湾溪流生态工法的研究综述[J]. 中国水土保持科学,2005,3(3):98-102.
- [4] 杨海军,李永祥. 河溪生态恢复的理论与技术[M]. 长春:吉林科学技术出版社,2005;3-93
- [5] 董哲仁. 保护和恢复河溪形态多样性[J]. 水利学报,2003(11):53-56.
- [6] 陈宜清,何宗翰. 探讨以健康河川及栖地评价概念应用于野溪治理生态工法之评估[EB/OL]. http://eco-assessment-lab.dyu.edu.tw/T_paper/14.
- [7] Li M H, Karen E. E. Biotechnical engineering as an alternative to traditional engineering methods. A biotechnical streambank stabilization design approach [J]. Landscape and Urban Planning,2002,60:225-242.
- [8] 徐江,王兆印. 阶梯—深潭的形成及作用机理[J]. 水利学报,2004(10):48-55.
- [9] Athol D A, Lin G. Step pool streams: adjustment to maximum flow resistance [J]. Water Resource Research,1995,31 (10):2593-2602.
- [10] 王兆印,程东升,等. 西南山区河流阶梯—深潭系统的生态学作用[J]. 地球科学进展,2006,21(4):409-416.
- [11] 王银东,等. 环境因子对底栖动物生命活动的影响[J]. 浙江海洋学院学报:自然科学版,2005,24(3):253-257.
- [12] France R L. Biomass and production of amphipods in low alkalinity lakes affected by acid precipitation [J]. Environmental Pollution,1995,94(2):189-193.