

河溪近自然治理评价指标体系探讨及应用

高 阳, 高甲荣, 陈子珊, 刘 瑛  
(北京林业大学 水土保持学院 教育部水土保持与荒漠化防治重点实验室, 北京 100083)

**摘 要:** 河溪近自然治理从河溪生态系统的生态特征、地貌特征和水体特征 3 个方面入手, 针对我国特殊的经济情况和复杂的水域特点, 提出了由 11 个因子组成的河溪近自然评价指标体系, 包括: (1) 河流的平面形态; (2) 河流的横断面形态; (3) 河流的水深; (4) 水体宽度; (5) 岸坡的结构; (6) 水流的流速; (7) 缓冲带植被宽; (8) 水体与河床的接触情况; (9) 河道粗木质情况; (10) 水质; (11) 底栖大型动物。再根据评价结果将河溪生态系统健康划分为 4 个等级, 并对北京市怀柔区的典型河溪——怀九河进行河溪近自然治理评价, 发现其处于河溪受到微小的人类活动的侵扰阶段, 需要利用河溪近自然治理加以调控。

**关键词:** 河溪近自然评价; 河溪生态系统; 层次分析法; 河溪自然性综合评分值

中图分类号: T V212. 52      文献标识码: A      文章编号: 1005-3409(2007) 06-0379-04

Disussion of Near Natural Stream Control Assessment  
System and Its Application

GAO Yang, GAO Jia-rong, CHEN Zi-shan, LIU Ying  
(College of Soil and Water Conservation, Beijing Forestry Universty, Key Laboratory of Soil and Water Conservation and Combating Desertification, Ministry of Education, Beijing 100083 China)

**Abstract:** In order to satisfy the special economic condition and complex situations of watershed, near natural stream control assessment system offers eleven indicators from ecological characters, topographical characters and water characters to assess stream ecosystem, including: (1) the plane shape of stream; (2) the profile shape of stream; (3) depth of water; (4) width of water; (5) the structure of bank slope; (6) current velocity; (7) the width of riparian; (8) the touching condition between water and bed soil; (9) coarse woody debris in stream channel; (10) the quality of water; (11) benthonic large invertebral animals, and according to different appraisal results, stream ecosystem is divided into four healthy degrees, and exercising this sessment system on Huaijiuhe River located in Huairou District, the result shows that the healthy condition of Huaijiuhe River is in the second degree. The stream system is disturbed by human activities lightly, therefore, the river needs to be regulated by near natural stream control techniques.

**Key words:** near natural stream control assessment system; stream ecosystem; Analytic Hierarchy Process; the comprehensive assessment score of stream natuality (SNS)

1 河溪近自然治理评价指标体系建设意义

河溪是人类活动最密集的地方, 河溪生态系统是流域中最具有生命力和变化的景观形态, 是流域中最理想的生境走廊<sup>[1-2]</sup>。从农业社会开始, 由于认识上的局限性, 大量的传统河溪治理工程严重地干扰、损害了河溪自然生态系统的健康, 造成河溪自然特征逐渐消失、生物多样性减少、生态服务功能降低、河溪自净化和自我恢复能力消失、水体污染加重等后果。恢复和维持一个健康的河溪生态系统已成为近年来国内外水资源管理的重点。河溪近自然治理评价就是对由于人为活动或自然条件突变造成的退化河溪生态系统的结构和功能作整体评判, 建立一个兼顾合理开发利用和生态保护的综合评价体系。河溪近自然治理评价指标体系是河溪近自然治理的重要组成部分, 可以提供不同河溪之间比较的基准, 它的建立将为河溪水资源的有效管理和受损河溪生态系统的修复提供科学的指导和参考依据。

2 河溪近自然治理评价指标体系

2.1 评价等级

一个平衡的河溪生态系统, 应具有生物多样性、繁多的有机物种类、复杂的食物链、封闭的物质循环以及良好对外界干扰的抗御能力等特点, 再综合考虑河溪环境特有的地形母质和群落状况等因素的差异, 可以将河溪流域的自然度分为以下 4 个等级:

(1) 自然状态。河流保持自然流动、分叉, 能够自然地把河床、河道分割开来, 河床和河道中有较大差异的水深, 同样下切的自然状态也没有受到任何的干扰, 河床的形态也是多种多样的, 生长在河床的植物根系下能够形成鱼类生存的良好生活空间, 具有非异质性。河岸有自然植物的覆盖, 有与生境相适应的灌木和乔木群落, 并有草本层的存在, 从河岸到周边的农业利用区之间有很宽的一个由灌木、乔木和草本

\*收稿日期: 2006-11-20  
基金项目: 北京市自然科学基金项目“北京地区典型河溪生态系统环境效应及其调控机理”(8062022)  
作者简介: 高阳(1982-), 女, 硕士, 主要从事水土保持与流域管理研究。  
通信作者: 高甲荣(1963-), 男, 副教授, 博士, 主要从事森林生态、森林水文、流域管理研究。

组成的缓冲带,河岸带很宽,有静水、湿地和河漫滩。

(2) 河溪受到微小的人类活动的侵扰。虽然有近自然的治理措施,人类活动已经影响到部分河道。有一个近自然的岸坡形态,也有足够的生境条件为草本、灌木和乔木层创造良好的生活空间,其与自然状态十分相似。河道拥有规则的几何断面形态,坡面比较稳定,岸边有小型的滑塌,因此采用了一些生物治理措施。河溪的平面形态大体上与其源头是一样的,人类的治理措施没有影响到河溪的走势,没有对河道产生巨大的影响,河底是完全自然的,水的径流形式也是多种多样的,现存的工程治理措施也是十分粗糙的,对水生生物的洄游没有负面的影响,尤其对于鱼类。原则上存在足够密集、接近原生的河岸植被带,但可能由于农业利用的影响,河岸的植被带几乎不存在。

(3) 河溪受到剧烈人类活动的侵扰。有明显人工改造的痕迹,各种人工治理工程已经占到优势地位,河道上很多梯形断层结构和形态已经完全相同,但不全是钢筋混凝土构成。河岸两边的植被比较单一,基本上没有灌木、乔木等植被。河岸的宽度一致,但其组成还是自然物质,人工整治措施使河道的水深一致。固底工程、跌水和各种堰都是由光滑材料构成的(混凝土),其已经阻碍了有机体的洄游,但存在一些较小的平滑的跌水,鱼群生活的空间已经很小,但也可能出现水深较深的地方。建筑用地、交通用地以及农业用地已经到达河岸。灌木、乔木十分稀疏,大多为单一的形态。河溪的平面形态多为直线,几乎没有迂回。

(4) 完全人工化。河道多数为直线型,完全经过人工的改造,有强烈的人工改造的痕迹,河道断面全部是由钢筋混凝土、浆砌石或沥青组成。水深相同,流速相同,一般情况没有灌木、乔木等植被,河道几乎布满完全人工化,没有任何生态因子的工程措施(挡墙、管道),这些最后变成了涵道。

在 4 个等级之间划分出 3 个过渡带分别是介于(1)、(2)类之间近自然状态,介于(2)、(3)之间的河溪有明显人类活动侵扰过渡带以及介于(3)、(4)之间的远离自然状态过渡带。

## 2.2 指标体系及评价标准

河溪近自然治理评价体系中的每一个单项指标,都要求能够从不同侧面来反映河溪生态系统的健康状况,并可以量化的研究。据此我们从河溪的生态特征、地貌特征以及水体特征中选取选择最具代表性,易定量描述和调查的 11 个因子来评价我国河溪的健康程度,包括:(1)生态特征:岸坡的结构、缓冲带植被宽、底栖大型动物;(2)地貌特征:河流的平面形态、河流的横断面形态、水深、水体宽度;(3)体特征:水流的流速、水体与河床的接触情况、河道粗木质情况、水质。

评价的标准直接影响评价结果的准确性,而目前国际上尚无明确统一的标准,新指标体系的评价方法主要参考国内外各种同行的评价方法的标准以及我国的国家标准,再经过大众和专家评价确定,最后通过与其他评价方法的结果对比得出<sup>[3]</sup>。河溪近自然治理指标评价体系的具体评价标准见表 1。

## 2.3 评价步骤与模型

### 2.3.1 计算权重

河溪生态系统健康评价涉及多种生态特征因子,并且各特征因子间相互影响,相互作用,构成一个复杂的层次体系,再加上有些因子定量困难,使现行的许多定性分析方法带有

较大的片面性,不能够十分准确地反映客观实质,而层次分析法(Analytic Hierarchy Process)为解决这种复杂问题提供了较为有效的决策方法<sup>[46]</sup>。

根据河溪生态健康评价的基本指标体系,建立起 AHP 评价的递结层次结构(图 1)。确立目标层为河溪生态健康评价指数;准则层由 5 个河溪特征构成;指标层则包括 11 项。运用 AHP 方法进行环境因子的单排序及层次总排序,在确定评价因子间两两比较的重要性和权重,首先进行生态因子间的单排序权重,然后得出评价指标对应于目标层的总的综合权重值。

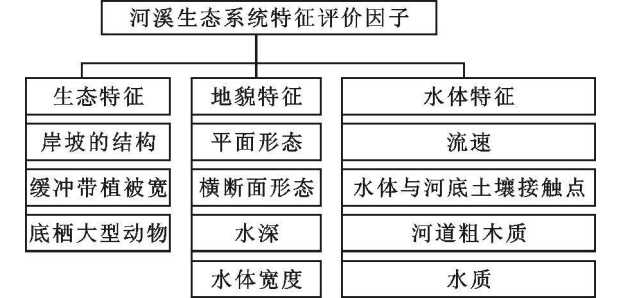


图 1 河溪生态健康评价递结层次结构

### 2.3.2 综合评价

采用多目标线性加权函数法即常用的综合评分法<sup>[7]</sup>进行评价,由于河溪近自然治理评价指标体系中的每一个单项指标都代表了河溪生态系统不同的特点,因此需要从指标层到目标层进行综合评价。首先是指标层的计算:

$$F=\sum_{i=1}^mW_i\times D_i\tag{1}$$

式中:  $F$ ——指标层中某个指标的评价值;  $W_i$ ——指标层中第  $i$  个亚指标的评分值;  $D_i$ ——指标层中第  $i$  个亚指标的权重;  $m$ ——指标层中指标的个数。

然后再将各个评价指标因子的权重值与各个评价指标的等级分值进行层次加权计算,得到河溪自然性综合评价指数。

$$SNS=\sum_{j=1}^3F_j\times B_j\tag{2}$$

式中:  $SNS$ (the comprehensive assessment score of stream-naturality)——河溪自然性综合评分值;  $F_j$ ——各指标评分值;  $B_j$ ——指标的权重。河溪  $SNS$  处于 1.0~1.4 的河溪被认为是自然状态的,属于第一等级自然型;当河溪的  $SNS$  位于 1.4~2.7,则认为其生态系统已经受到微小的人类活动的侵扰,属于第二等级近自然型;而当河溪的  $SNS$  位于 2.7~3.3,就判定该河溪生态系统已经受到剧烈的人类活动的侵扰,属于第三等级退化自然型;最后当算得河溪的  $SNS$  值处于 3.3~4.0 时,可以发现该河溪已经被完全人工化,属于第四等级人工型。

## 3 应用实例

### 3.1 研究区概况

怀九河流域位于北京市怀柔区的西南端,地处北纬 40°21′-40°30′,东经 116°16′-116°21′,属常年河。流域面积 347.2 km<sup>2</sup>,河道纵坡 2.1‰~2.5‰。年平均降水量 700 mm,降水季节变化明显,6-8 月的降水量占全年降水量的 76.5%,降水多以暴雨形式出现,历时短,强度大。主要由汉家川、东二道河、慈母川等几条山溪组成,经西水峪,进入怀

柔, 过石湖峪、撞道口, 至黄花城, 上段称黄花城西沟, 在黄花城南与原于杏树台、庙上, 经二道关, 到黄花城的另一支流汇合, 形成怀九河干流。自黄花城而下, 经九渡河、花木、团泉、黄坎、四渡河南省渡河, 至杨家东庄注入怀柔水库。流域内有水库两座, 分别是黄花城水库(蓄水 49 万 m<sup>3</sup>)和西水峪水库(蓄水 317 万 m<sup>3</sup>)。怀九河河道现在的治理较为粗糙, 自

然生态保存较好, 只有近 50% 的河道两侧修建了 1.2~ 2 m 高的浆砌石护岸, 且已有近 40 a 的历史, 十分残破, 所以需要再次进行大规模地综合治理以满足防洪、排水、保障人民群众的生命安全等基本功能, 但前提应是不破坏河溪生态系统和当地优美的自然风景, 而河溪近自然治理因兼顾了以上两方面的需求成为治理的首选方法。

表 1 河溪近自然治理指标评价标准及其赋值

指标	I	II	III	IV
等级赋值	1	2	3	4
河溪的平面形态				
弯曲度= 弯道的长度/ 河道的长度	弯曲度> 2.5	2.5< 弯曲度< 103	1< 弯曲度< 1.3	弯曲度< 1
河溪的横断面形态	有快速变化且变化幅度较大的河床, 有自然的跌水, 在地质结构脆弱的地段出现下切, 在不对称得岸坡出现淤积	河溪已经出现统一的特征, 在纵横断面上已经出现一致性, 由于弯曲度的减小, 河床的比降提高, 而长短距离变短	由于人工的拦蓄工程、固底工程, 形成相对一致化的河床	河床完全有人工的光滑物质构成( 钢筋混凝土、浆砌石)
河溪的水深				
深度比= 主河道的最大深度/ 主河道最小深度	深度比> 50	30< 深度比< 50	10< 深度比< 30	深度比< 10
水体宽度				
宽度比= 水体的最大宽度/ 水体的最小宽度	宽度比> 80%	50% < 宽度比< 80%	10% < 宽度比< 50%	宽度比< 10%
岸坡结构	岸坡石块堆积无序	石块只占到护坡高度的 1/3	石块占到护坡高度的 1/3 ~ 3/4	完全由光滑的人工材料构成
水流的流速				
流速等级( 10 cm/s) 或流速比= 主河道的最小流速/ 主河道的最大流速	流速等级> 8 或流速比< 1/100	8> 流速等级> 5 或 1/20 > 流速比> 1/100	5> 流速等级> 2 或 1/2 > 流速比> 1/20	2> 流速等级或流速比> 1/2
缓冲带 大流域	植被宽度 ≥40 m	40 m ≥植被宽度 ≥30 m	30 m ≥植被宽度 ≥5 m	5 m ≥植被宽度
植被宽 小流域	3 倍河道宽度 ≥植被宽度 ≥1.5 倍河道宽度	1.5 倍河道宽度 ≥植被宽度 ≥0.5 倍河道宽度	1/2 倍河道宽度 ≥植被宽度 ≥1/4 倍河道宽度	0.25 倍河道宽度 ≥植被宽度
水体与河底土壤的接触情况	接触点 ≥40 个	40 个 ≥接触点 ≥25 个	25 个 ≥接触点 ≥5 个	5 个 ≥接触点
河道粗木质	CWDD ≥30 个 LWDD ≥3 个且 1 800 mg/ hm <sup>2</sup> ≥总重量 ≥800 mg/ hm <sup>2</sup> 且 CWDP ≥95%	30 个 ≥CWDD ≥15 个 3 个 ≥LWDD ≥1 个且 800 mg/ hm <sup>2</sup> ≥总重量 ≥400 mg/ hm <sup>2</sup> 且 95% ≥CWDP ≥75%	15 个 ≥CWDD ≥5 个 0 个 ≥LWDD 且 400 mg/ hm <sup>2</sup> ≥总重量 ≥100 mg/ hm <sup>2</sup> 且 75% ≥CWDP ≥25%	5 个 ≥CWDD 0 个 ≥LWDD 且 100 mg/ hm <sup>2</sup> ≥总重量 且 25% ≥CWDP
水质(pH 值)	7.5 ≥pH ≥6.5	6.4 ≥pH ≥6.0 或 8.0 ≥PH ≥7.6	5.9 ≥pH ≥4.5 或 9.4 ≥pH ≥8.1	pH ≥9.5 或 4.5 ≥pH
底栖大型动物 GI= 毛类个体数/ 底栖动物个体总数 × 100%	40% ≥GI	40% ≥GI ≥60%	60% ≥GI ≥80%	80% ≥GI

3.2 怀九河近自然治理评价

利用上述的河溪近自然治理评价指标体系, 从生态特征、地貌特征和水体特征 3 个方面对怀九河流域近 2 个月的野外调查结果进行评价。得到怀九河四渡河到九渡河河段的 *SNS* 值为 2.42, 总体属于第二等级——河溪受到微小的人类活动的侵扰, 但从图 2 中可以发现虽然从生态特征因子和地貌特征因子看, 怀九河仍属于近自然型, 可评价结果已经十分接近退化自然型, 如果不加以整治而任其发展, 相信

不久就会恶化到退化自然型的状态; 同时水体特征因子的评价结果已经在退化自然型的等级, 主要是由于两岸的农田灌溉和养殖业的发展, 因此利用近自然措施手段进行调控即可以保证维系河溪生态系统健康的生态蓄水量, 也可以为农业需要提供高品质的用水, 并作用于其他河溪生态特征因子, 引导河溪生态系统整体向着健康、有序的方向发展。

4 结 语

河溪近自然治理评价以河溪自然性为基础, 以生物群落

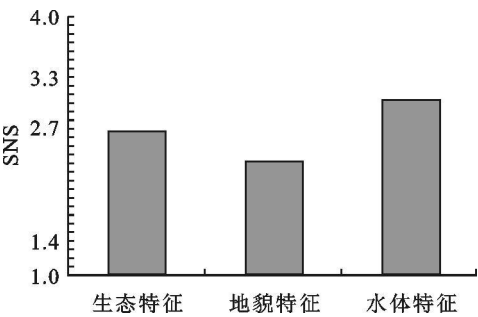


图 2 怀九河近自然治理评价结果

多样性与非生物环境的空间异质性的相关关系为评价依据,应用生态地貌因子与生物检验方法相结合,对形态、结构、水质、水生生物、水量、河岸植被带等进行调查,建立河溪近自然治理评价指标体系。并利用该体系对北京市怀柔区的怀九河进行评价,发现怀九河处于河溪受到微小的人类活动的侵扰阶段,只有利用近自然治理措施对其生态系统进行调控,才能保证既满足防洪、抗灾等传统功能,又不影响当地优美的山川风光,使怀九河的生态系统向着良性循环发展。

目前随着我国政府和大众对河溪生态系统健康的关注,涌现出大量关于河溪现状评价的方法,但这些方法得出的评价结果互相没有可比较性,造成了大量人力、物力的浪费,因此如何与其他评价方法融合是河溪近自然治理指标评价体系需要继续深入研究的方向。

参考文献:

[ 1 ] 董哲仁,等.生态—生物方法水体修复技术[ J ].中国水利,2002( 3 ): 8– 10.

[ 2 ] 丰华丽,王超,李勇.流域生态需水量的研究[ J ].环境科学动态,2001( 1 ): 27– 37.

[ 3 ] 高甲荣.近自然治理—以景观生态学为基础的治理工程[ J ].北京林业大学学报,1999,21( 1 ): 78– 82.

[ 4 ] 韩逸,李吉跃,高润宏,等.包头市城市绿地现状评价[ J ].北京林业大学学报,2005,27( 1 ): 64– 69.

[ 5 ] 马金珠,安新平,赵华.甘肃省生态环境质量综合评价[ J ].安全与环境工程,2004,11( 1 ): 1– 5.

[ 6 ] 郑明平,方国华,熊福项.层次分析法在确定蓄滞洪区启用次序中的应用[ J ].水利科技与经济,2004,10( 1 ): 47– 52.

[ 7 ] 陈吉泉.河岸植被特征及其在生态系统和景观中的作用[ J ].应用生态学报,1996,7( 4 ): 439– 448.

[ 8 ] 蔡庆华,唐涛,刘建康.河流生态学研究中的几个热点问题[ J ].应用生态学报,2003,14( 9 ): 1573– 1577.

[ 9 ] 邓红兵,王青春,王庆礼,等.河岸植被缓冲带与河岸带管理[ J ].应用生态学报,2001,12( 6 ): 951– 954.

[ 10 ] 邓红兵,肖宝英,代力民,等.溪流粗木质残体的生态学研究进展[ J ].生态学报,2002,22( 1 ): 87– 93.

[ 11 ] 高甲荣,肖斌.荒溪近自然管理的景观生态学基础:欧洲阿尔卑斯山地荒溪管理研究述评[ J ].山地学报,1999,17( 3 ): 244– 249.

[ 12 ] 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.

[ 13 ] 赵彦伟,杨志峰.城市河流生态系统健康评价初探[ J ].水科学进展,2005,16( 3 ), 349– 355.

[ 14 ] 唐涛,蔡庆华,刘建康.河流生态系统健康及其评价[ J ].应用生态学报,2002,13( 9 ): 1191– 1194.

[ 15 ] Baina M B, Harigb A L, Loucksc D P, et al. Aquatic ecosystem protection and restoration: advances in methods for assessment and evaluation[ J ]. Environment Science & Policy, 2000, 3: 89– 98.

[ 16 ] Barmuta L A. Imperiled rivers of Australia: Challenges for assessment and conservation[ J ]. Aquatic Ecosystem Health & Management, 2003, 6( 1 ): 55– 68.

[ 17 ] Bennett J. Investing in ecosystem health: using rivers as a case study[ J ]. Ecological Management & Restoration, 2002, 3( 2 ): 104– 107.

[ 18 ] Dickens C W S, Granham P M. The South African Scoring System ( SASS ) version 5 rapid bioassessment method for rivers[ J ]. African Journal of Aquatic Science, 2002, 27( 1 ): 1– 10.

[ 19 ] Harding J S, Young R G, Hayes J W, et al. Changes in agricultural intensity and river health along a river continuum[ J ]. Freshwater Biology, 1999, 42( 2 ): 345– 357.

[ 20 ] Karr J R. Defining and measuring river health[ J ]. Fresh water Biol. , 1999, 41: 221– 234.

[ 21 ] Ladson A R, White L J, Doolan J A, et al. Development and testing of an Index of Stream Condition for waterway management in Australia[ J ]. Freshwater Biology, 1999, 41: 221– 234.

[ 22 ] Margaret S, Petersenl River Engineering[ M ]. New Jersey, Inc. Englewood cliffs, 1986: 159– 268.

[ 23 ] Moddock I. The importance of physical habitat assessment for evaluating river health[ J ]. Freshwater Biology, 1992, 27: 373– 391.

[ 24 ] Naiman R J. Watershed Management: Balancing Sustainability and Environmental Change [ M ]. New York: Springer- Verlag, 1992.

[ 25 ] Naiman R J J, Decamps H, Pollock M. The role of riparian corridors in maintaining regional biodiversity [ J ]. Ecology, 1993, 3: 209– 212.

[ 26 ] Naiman R J, et al. The role of riparian corridors in maintaining regional biodiversity [ J ]. Ecological Applications, 1993, 3( 2 ): 209– 212.

[ 27 ] Nicola S. Channel changes due to river regulation: the case of the Piave River Italy Earth Surf. Process[ J ]. Landforms, 1999, 24: 1135– 1151.

[ 28 ] Oberdorff T, Pont D, Hugueny B, et al. Development and validation of a fish-based index for the assessment of ‘ river health ’ in France[ J ]. Freshwater Biology, 2002, 47( 9 ): 1720– 1734.

[ 29 ] Robert C, Petersen J R. The RCE: a Riparian, Channel and Environmental Inventory for small streams in the agricultural landscape[ J ]. Freshwater Biology, 1992, 27: 295– 306.

[ 30 ] Sudaryanti S, Yulinah T, Barry T H, et al. Assessment of the biological health of the Brantas River, East Java, Indonesia using the Australian River Assessment System ( AUSRIVAS ) methodology[ J ]. Aquatic Ecology, 2001, 35: 135– 146.

[ 31 ] White L J, Ladson A R. An index of stream condition: Field manual[ M ]. Melbourne: Department of Natural Resources and Environment, 1999: 1– 33.