

DOI:10.3880/j.issn.1006-7647.2008.01.007

河流健康的概念及指标体系和评价方法

蔡守华¹ 胡欣²

(1.扬州大学水利科学与工程学院,江苏 扬州 225009;2.上海市水务规划设计研究院,上海 200232)

摘要 指出健康河流不但应当具有健康的生态系统,还应具有良好的社会服务功能;与生态河道和景观河道相比,健康河流兼有生态河道和景观河道的有益特征,具有更广泛的适用性;河流健康评价指标应当具备易于理解、便于定性或定量描述、便于监测、便于作为管理目标和拟定相应对策等特点。以此为依据,提出包括流量偏离率、水质综合污染指数、底栖大型无脊椎动物生物完整性指数、河流廊道连通性、河道稳定性、栖息地质量、缓冲带宽度、林草覆盖度、河流美景度和实际防洪能力等指标的河流健康评价指标体系及评价方法。

关键词 河流健康;生态系统;评价指标;评价方法

中图分类号:X171.1;TV213.4 文献标识码:A 文章编号:1006-7647(2008)01-0023-05

Concept of river health and index system for its evaluation//CAI Shou-hua¹, HU Xin²(1. College of Hydraulic Science and Engineering, Yangzhou University, Yangzhou 225009, China; 2. Shanghai Water Planning and Design Institute, Shanghai 200232, China)

Abstract: A healthy river should have an integrated ecological system as well as sound social service functions. With the beneficial characteristics of both ecological river and scene river, the healthy river is of a wide range of application. It is considered that the evaluation indexes for river health should have such characteristics as easy to be understood, qualitatively and quantitatively described, monitored, and taken as management objectives, and they should be convenient for formation of restoration strategies. Thus, an evaluation index system for healthy rivers, including the flow deviation rate, comprehensive pollution index of water quality, biotic integrity index of benthic macroinvertebrates, longitudinal continuity of river corridors, stability of riverbed and banks, condition of physical habitat, width of riparian vegetated buffer strips, total forest and grass cover, scenic beauty of river, and practical flood control capacity, was worked out, and corresponding methods for river health evaluation were put forward.

Key words: river health; ecological system; evaluation index; evaluation method

我国河流众多,全国大小河流总长达 42 万 km,流域大于 100 km² 的河流约有 5 万多条,流域面积达 1 000 km² 的河流也有 1500 多条,这些河流对我国社会经济发展和保障人民生活起着十分重要的作用。但是由于治河理念的落后、缺乏生态保护意识、盲目追求局部利益和近期利益,致使许多河流功能迅速衰退,暴露出水体污染、河道淤塞和频繁断流等多种问题,严重影响社会经济的可持续发展。

近几年日益受到重视的河流健康理论有望为研究和解决上述问题发挥作用。河流健康是一个用于描述河流功能状况的概念,它试图把河流视为一个生命有机体,并利用生物学和生态学的方法来研究河流。这种类比严格地说并不科学,因而也出现了一些争议,但是引入河流健康概念具有实际意义,有利于引导人们利用生物学和生态学的理论来研究河流,也有利于公众对河流问题的理解与参与。河流健康概念在国外早已引起重视并应用于河流管理,例如,1972 年美国颁布了“联邦水污染控制法”(后改称“清洁水法”),为河流健康设定了一个标准,其目标是恢复和维护美国水域化学的、物理的以及生物的完整性^[1];1993 年澳大利亚政府制定了“国家河流健康计划”,联合各州及当地机构协作监测和维护河流生态系统功能^[2];1994 年南非水务及森林部也提出了“河流健康计划”,该计划作为南非河流生态系统的生态条件或生态完整性的信息源,利用生态和生境完整性监测指标对河流生态条件进行评价^[3]。国内对河流健康问题的研究起步较迟,中国的国情也有别于其他国家,因此有许多问题有待研究。正确理解河流健康的概念是建立河流健康评价指标的基础。为此本文首先剖析河流健康的概念,

作者简介 蔡守华(1964—),男,江苏如东人,副教授,从事水生态工程与灌溉排水等研究。E-mail: yzcshua@sohu.com

分析河流健康与河流生态系统健康的本质区别,以及健康河流与生态河道、景观河道的本质区别,在此基础上提出河流健康评价指标体系及评价方法。

1 河流健康的概念

1.1 河流健康与河流生态系统健康

关于河流健康的定义,至今没有取得统一的意见^[4,6]。总体来看分为两类,一类认为河流健康基本等同于河流生态系统健康,河流健康是一个描述河流生态系统的完整性与河流生态条件的总体状况的概念^[4],对于那些基本没有防洪要求的河流,可以采用这种定义。在这种情况下,河流健康评价仅是对河流生态系统状况的评价,即以河流生态系统作为评价对象^[7],河流健康与河流生态系统健康的概念是一致的,国内也有学者对河流生态系统健康进行了专门的研究^[8,9]。另一类认为河流健康既要有良好的河流生态系统,还要有合理的社会服务功能^[7,10],如水资源开发利用功能、水能利用功能、防洪功能和娱乐功能等。我国河流的兴利与防洪要求比较突出,因此宜采用第二种定义。在这种情况下,河流健康与河流生态系统健康的概念就发生了分歧。这为在当前大力提倡生态保护的形势下,仍有必要修筑某些堤坝提供了理论依据。从生态完整性来看,不宜修建大坝,但从防洪的角度看,适当修建大坝是合理的。一条经常泛滥的河流,仍然有可能是一条生态河流,因为洪水泛滥本身就是一个形成冲积平原的生态过程,给广阔的洪泛区带来了水资源、泥沙、肥料、物种、鱼类饵料,并冲洗河流和土壤^[1],仅从生态完整性来看是有积极意义的,从这一角度来讲不必修建堤防。然而从社会服务功能的要求来看,该河流不能称为健康河流,因为洪水泛滥对河流两岸的城镇和村庄来说是一个严重的灾害过程,修建堤防是必要的。

1.2 健康河流与生态河道、景观河道

近几年国内在研究河流时涉及的河流类型有很多,如健康河流、健康工作河流、自然河道、生态河道、拟自然河流、多自然型河道、生命之河和景观河道等。其中健康工作河流、生命之河与健康河流相似,自然河道、拟自然河流、多自然型河道与生态河道相似。因此,下面重点讨论健康河流、生态河道和景观河道的异同,从而进一步认识健康河流的特点。

a. 健康河流与生态河道。健康河流与生态河道(为尊重习惯不称生态河流)具有明显的共性,都强调河流生态系统的完整性。然而健康河流还要兼顾社会服务功能,有时为了某种社会服务功能,可以放弃部分生态完整性方面的要求。例如,有些堤防

采用坚固的硬质护坡,并不符合生态河道的理念,却有可能成为河流健康的重要条件。生态河道比健康河流更强调自然特性,虽然健康河流也提倡河流的蜿蜒性,但是一条笔直的河流仍有可能是健康河流,却不是严格意义上的生态河道。另外,生态河道堤岸上应该草木丛生,这种河岸符合生物多样性的要求,但是不一定符合健康河流的概念,因为草木丛生的河岸增加了河道糙率,不利于行洪。为保证纵向与横向的连通,严格意义上的生态河道应该是不设防的河道,即不应建坝(切断纵向连续性),也不应修建堤防(切断横向连续性),然而对健康河流,需要适当建坝或加固堤防,以提高河流的防洪能力。

b. 健康河流与景观河道。健康河流与景观河道(为尊重习惯不称景观河流)有明显区别,主要表现在两者的社会服务功能定位不同,健康河流以满足防洪排涝、引水灌溉、交通运输和水产养殖等社会服务功能为主,适当兼顾清洁美观的要求,景观河道则更加强调美学价值,以娱乐为主要功能,要求达到一定防洪能力,但对其他兴利功能要求不高。

c. 生态河道与景观河道。生态河道与景观河道的区别是:在景观河道上能看到比较多的人工痕迹,例如在景观河道上的草皮护坡,一般采用具有较高观赏价值的草种,而且草种单一。在生态河道上,草皮护坡强调恢复当地杂草,以杂草丛生为理想状态。另外,景观河道需要人去精心管理,而生态河道则基本上不需要人工维护管理,任其自然发展变化^[12]。

在实际管理中,应该根据实际的目标功能,选择适宜的河流模式。一般情况下,健康河流模式应用最为广泛。

2 河流健康的评价指标与评价方法

2.1 河流健康的评价指标

河流健康评价指标是河流治理的目标,对河流治理起着导向作用,因此确定科学的评价指标十分重要。关于河流健康的评价指标有多种不同类型^[13-14],总体上可分为两大类:一类是生态监测指标法,监测的生物主要是着生藻类、无脊椎动物和鱼类,如“澳大利亚河流评价方案”就是一种快速生物评价法,它利用大型无脊椎动物的生存状况作为河流健康的评价指标^[15],Petersef^[16]提出的RCE法也属于这类方法。生物监测指标法能反映河流生态系统的健康水平,但不足以反映河流健康水平。另一类是综合评价指标法,其中以Ladson^[17]提出的溪流状况指数法(ISC)应用最为普遍,ISC包括河流水文、物理结构、河岸带、水质及水生生物5个方面共22项指标,南非“河流健康计划”采用河流无脊椎动物、鱼类、河岸植被、生境完

整性等作为河流健康的评价指标^[18]。综合评价指标法比较全面地反映了河流的各个方面,而且易于把社会服务功能纳入进来,是河流健康评价指标的发展方向。国内学者也倾向于采用综合评价指标法。如赵彦伟等^[19]提出的黄河健康指标体系、殷会娟和耿雷华等^[20-21]提出的河流健康评价指标体系均属综合评价指标体系。笔者认为,河流健康评价指标应当具备易于理解、便于定性或定量描述、便于监测、便于作为管理目标和拟定相应对策等特点。对照这一要求,在现有的综合评价指标体中,有些指标名称不易理解,有些指标监测成本过高,也有一些指标并非必要或者完全多余。反映河流健康水平的指标可以列出很多,把它们全部罗列到评价指标体系中,既不切实际,也没有必要,应该用尽可能少的关键指标来评价河流的健康水平。

河流健康评价还涉及时间和空间的尺度问题。不同时间河流的水质有可能有很大的不同,例如汛期水流更新频繁,监测到的水质可能较好,非汛期水体更新缓慢,水质有可能较差,即使在汛期,在暴雨前和暴雨后实测的水质也会有较大差异。在不同空间尺度上也会遇到类似的问题,一条河流的上游达到了健康标准,下游不一定也能达到健康标准。因此在评价中,首先要确定时间与空间尺度,明确了时间与空间尺度,评价结论才有实际意义。时间尺度与河流大小有关,中、小河流时间尺度宜为1年,大江、大河时间尺度可大于1年。不管河流大小,空间尺度宜为整条河流。

根据上述河流健康的定义、确定评价指标的指导思想以及时间与空间尺度的要求,提出如表1所示的河流健康评价的7个评价对象和10项评价指标。

表1 河流健康评价指标

序号	评价对象	评价指标
1	水量	流量偏离率(FD) ^[17]
2	水质	月平均水质综合污染指数(P) ^[21]
3	水生生物	底栖大型无脊椎动物生物完整性指数($BM-IBI$) ^[23]
4	河道	河流廊道连通性 河道稳定性 栖息地质量
5	缓冲带	缓冲带宽度(B) 林草覆盖度(C)
6	景观	河流美景度(SBE)
7	防洪安全	防洪安全指数(FC)

河流健康评价指标的含义、等级划分及评分方法如下:

a. 流量偏离率(FD)。计算公式为

$$FD = \frac{1}{m} \sum_j \sqrt{\sum_{i=1}^{12} \left(\frac{c_{ij} - n_{ij}}{\bar{n}_j} \right)^2}$$

式中: m 为整条河流上监测点个数; c_{ij} 为第 j 测点第 i 月的实际流量; n_{ij} 为第 j 测点第 i 月的健康状况良好情况下可能具有的自然流量; $\bar{n}_j$ 为第 j 测点月平均自然流量。

当 $FD < 0.1$ 时,本指标分值为100;当 $0.1 \leq FD < 0.2$ 时,分值为90;当 $0.2 \leq FD < 0.3$ 时,分值为80;当 $0.3 \leq FD < 0.5$ 时,分值为70;当 $0.5 \leq FD < 1.0$ 时,分值为60;当 $1.0 \leq FD < 1.5$ 时,分值为50;当 $1.5 \leq FD < 2.0$ 时,分值为40;当 $2.0 \leq FD < 3.0$ 时,分值为30;当 $3.0 \leq FD < 4.0$ 时,分值为20;当 $4.0 \leq FD < 5.0$ 时,分值为10;当 $FD \geq 5.0$ 时,分值为零。

b. 月平均水质综合污染指数。逐月监测并计算水质综合污染指数,再计算月平均水质综合污染指数 P 。当 $P < 0.1$ 时(清洁),本指标分值为100;当 $0.1 \leq P < 0.5$ 时(比较清洁),分值为80;当 $0.5 \leq P < 1.0$ 时(轻度污染),分值为60;当 $1.0 \leq P < 3.0$ 时(污染),分值为40;当 $3.0 \leq P < 5.0$ 时(重度污染),分值为20;当 $P \geq 5.0$ 时(严重污染),分值为零。以《地表水环境质量标准》中Ⅰ类水质标准计算水质综合污染指数,水质监测点合理地分布于整条河流。

c. 底栖大型无脊椎动物生物完整性指数($BM-IBI$)。底栖大型无脊椎动物生命周期较长,不需逐月监测,但需在整条河流上合理布置监测点,监测并计算整条河流平均的底栖大型无脊椎动物生物完整性指数。当 $BM-IBI = 60 \sim 54$ 时(极好),本指标分值为100;当 $BM-IBI = 46 \sim 54$ 时(好),分值为80;当 $BM-IBI = 37 \sim 46$ 时(一般),分值为60;当 $BM-IBI = 25 \sim 37$ 时(差),分值为40;当 $BM-IBI = 6 \sim 25$ 时(极差),分值为20;当 $BM-IBI < 5$ 时(没有底栖动物),分值为零。

d. 河流廊道连通性。根据建坝、鱼道设施情况等,分为好、较好、中、较差、差和极差6级,分值分别为100、80、60、40、20和0。

e. 河道稳定性。根据河道冲淤及河岸坍塌等情况,分为好、较好、中、较差、差和极差6级,分值分别为100、80、60、40、20和0。

f. 栖息地质量。考察河流是否具有适宜水生生物生存的物理环境,即是否有适宜水生生物生存的蜿蜒性、浅滩深潭和河岸结构,一般以适宜栖息地数量反映河流栖息地质量,本指标分值=(具有适宜栖息地的河段长/河流总长)×100。

g. 缓冲带宽度(B)。考察河流是否具有适宜的缓冲带宽度,本指标分值=(缓冲带宽度满足要求的河段长/河流总长)×100,中小河流缓冲带合理宽

度一般为 15 ~ 22 m。

h. 林草覆盖度(C)。根据 Braun-Blanquet 覆盖度等级划分方法将林草覆盖度分为 5 级,一般只需观测雨季的林草覆盖度。先在整条河流合理布置观测点,再观测各点的林草覆盖度,并计算平均林草覆盖度。当 $C = 100\% \sim 75\%$ 时(极好),本指标分值为 100;当 $C = 75\% \sim 50\%$ 时(好),分值为 75;当 $C = 50\% \sim 25\%$ 时(一般),分值为 50;当 $C = 25\% \sim 5\%$ 时(差),分值为 25;当 $C < 5\%$ 时(极差),分值为零。

i. 河流美景度(SBE)。美景度评判采用 SBE 法^[24],评判等级采用 0 ~ 10 级(极不喜欢 ~ 极喜欢)。本指标分值 = $SBE \times 10$ 。

j. 防洪安全指数(FC)。防洪安全指数反映河流防洪安全程度,防洪安全指数越高越安全,最大为 1。计算公式为

$$FC = \frac{1}{m} \sum_{i=1}^m \frac{F_i}{F_{0i}} \quad (\text{当 } F_i \geq F_{0i} \text{ 时,令 } F_i = F_{0i})$$

式中: m 为河流分段数; F_i 为第 i 段实际防洪能力(重现期); F_{0i} 为第 i 段规定的标准(重现期)。本指标分值 = $FC \times 100$ 。

以上指标体系中时间尺度为年,因此主要适用中、小河流的健康评价,对大江、大河应适当扩大时间尺度。

本文对健康河流与生态河道作了区分,为体现健康河流的特点,本文将美景度和防洪能力两项指标纳入河流健康评价指标体系。①美景度体现河流的娱乐功能或美学功能,反映了人们对河流感观方面的要求,如搭配合理的林草、与环境相适宜的形态结构、比较洁净的河岸、清澈见底的河水和清洁的水面等。美景度可在相当程度上反映河流的健康水平,美景度根据心理物理学的方法测试,已有比较成熟而简便的测试方法^[24]。②防洪能力指标反映了河流的防洪安全情况。纯粹的生态河道,对防洪能力并没有要求,然而健康河流需要兼顾生态系统健康与防洪安全两个方面。当然,在提高防洪标准的同时,应尽量减少对河流生态系统的破坏,或采取一些补救措施,如在兴建混凝土护坡时,应建鱼巢;建闸坝时,应建鱼道。

需要说明的是,水资源利用功能和水能利用功能也是河流重要的社会服务功能,但是水资源利用功能已在水量、水质两项指标中得到体现,水能利用功能并不具有普遍适用性。因此,本文未将水资源利用指标和水能利用指标列为河流健康评价指标。

2.2 河流健康的评价方法

评价时宜用层次分析法确定 10 项评价指标的

权重 α_i ($i = 1, 2, 3, \dots, 10$, $\sum_{i=1}^{10} \alpha_i = 1$),再根据上面规定的方法以及时间与空间尺度确定各评价指标的分值 S_i ($i = 1, 2, 3, \dots, 10$)。则河流健康评价综合得分为 $S = \sum_{i=1}^{10} \alpha_i S_i$,其中 S 称为河流健康综合指数,河流健康综合指数越低,则健康状况越差。若 $0 \leq S < 20$,健康等级为“极差”;若 $20 \leq S < 40$,健康等级为“差”;若 $40 \leq S < 60$,健康等级为“中”;若 $60 \leq S < 80$,健康等级为“良”;若 $80 \leq S \leq 100$,健康等级为“优”。

3 结 语

正确理解河流健康的概念是河流健康评价的基础。健康河流不但应当具有健康的生态系统,还应具有良好的社会服务功能。河流健康评价指标应当易于理解、便于定性或定量描述、便于监测、便于作为管理目标、便于拟定相应对策。根据这些基本原则,提出了河流健康的 10 项评价指标及其评价方法。

由于不同大小和不同地区的河流有不同的特点,各指标的相对重要性有所不同,因而难以给出统一的指标权重。本文给出的各指标等级划分及评价计算方法也只反映一般情形。为此,需进一步分区研究大、中、小河流健康评价的指标权重及适宜的等级划分标准,以满足不同地区、不同类型河流的健康评价与管理需要。

参考文献:

- [1] KARR J R. Defining and measuring river health[J]. Freshwater Biology, 1999, 41(2): 221-234.
- [2] KRASNICKI T, PINTO R, READ M. Australia wide assessment of river health: tasmanian bioassessment report(TAS Final Report)[R]. Canberra: Department of Primary Industries, Water and Environment, 2002.
- [3] ROUX D J. National river health programme-provincial plan for mpumalanga[J]. SA Waterbulletin, 2000, 26(4): 12-15.
- [4] RICHARD H N, CHARLES P H. Monitoring river health[J]. Hydrobiologia, 2000, 435: 5-17.
- [5] 赵彦伟, 杨志峰. 河流健康: 概念、评价方法与方向[J]. 地理科学, 2005, 25(2): 119-124.
- [6] 董哲仁. 河流健康的内涵[J]. 中国水利, 2005(4): 15-18.
- [7] 杨文慧, 严忠民, 吴建华. 河流健康评价的研究进展[J]. 河海大学学报: 自然科学版, 2005, 33(6): 607-611.
- [8] 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.
- [9] 张可刚, 赵勇, 邵学强. 河流生态系统健康评价研究[J]. 水资源保护, 2005, 21(6): 11-14.
- [10] MEYER J L. Stream health: incorporating the human

dimension to advance stream ecology[J]. Journal of the North American Benthological Society ,1997 ,16(2) :439-447.

[11] 龙笛 ,潘巍 .河流保护与生态修复[J].水利水电科技进展 2006 26(2) 21-25.

[12] 财团法人 河道整治中心 .多自然河流建设的施工方法及要点[M].周怀东 杜霞 李怡庭 ,等 ,译 .北京 :中国水利水电出版社 2003.

[13] 董哲仁 .国外河流健康评估技术[J].水利水电技术 , 2005 36(11) :15-19.

[14] 吴阿娜 杨凯 车越 ,等 .河流健康状况的表征及其评价[J].水科学进展 2005 ,16(4) 602-608.

[15] SIMPSON J ,NORRIS R ,BARMUTA L ,et al. AUSRIVAS- National River health program ,user manual[R]. Canberra : University of Canberra ,1996.

[16] PETERSEN R C. The RCE : a riparian , channel , and environmental inventory for small streams in the agriculture landscape[J]. Freshwater Biology ,1992 27(2) 295-306.

[17] LADSON A R ,WHITE L J. An index of stream condition : reference manual[R]. Victoria : Waterways Unit , Department

of Natural Resources and Environment ,1999.

[18] The Department of Water Affairs and Forestry . River health indicators and indices[EB/OL].[2006-07-12].http ://www .csir .co .za/rhp/indices .html.

[19] 赵彦伟 杨志峰 ,姚长青 .黄河健康评价与修复基本框架[J].水土保持学报 2005 ,19(10) :131-134.

[20] 殷会娟 冯耀龙 .河流生态环境健康评价方法研究[J].中国农村水利水电 2006(4) 55-57.

[21] 耿雷华 刘恒 钟华平 ,等 .健康河流的评价指标和评价标准[J].水利学报 2006 37(3) 254-258.

[22] 黄恢柏 王建国 唐振华 ,等 .两种指数对庐山水体环境质量状况的评价[J].中国环境科学 2002 ,22(5) :416-420.

[23] 朱迪 常剑波 .长江中游浅水湖泊生物完整性时空变化[J].生态学报 2004 24(12) 2762-2763.

[24] DANIEL T C ,BOSTER R S. Measuring landscape esthetics : the scenic beauty estimation method[R]. Washington ,D. C. : USDA Forest Service Research Paper RM-167 ,1976.

(收稿日期 2007-05-24 编辑 :方宇彤)

(上接第 22 页)

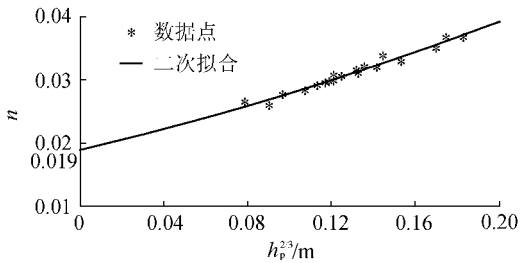


图 6 数据点绘

对于本实验 式中 $p = 0.12$, $q = 0.077$, $n_0 = 0.019$, 求出式(11)中的调整系数 $a = 1.56$, 得到植物河道附加糙率值 :

$$\Delta n = n - n_0 = \frac{C_f R_f^2 \tan^2 \alpha \sqrt{S}}{E^2 v \left(\frac{d_0}{h_f} \right)^8} h_p^{2/3} (1.56 h_p^{2/3} + 1) \quad (13)$$

5 结 论

- a. 利用明渠动水压力及植物柔性变形 ,建立了植物河道在淹没条件下的糙率计算的基本关系 ,反映出糙率值不仅与水流动力条件有关 ,还与植物类型、淹没高度、布置及其自身力学性能有关。
- b. 河道植物的生长 ,加大了水流的阻力 ,S 形流速分布呈现出“ 复杂边界 ”影响的特征。由垂线平均流速、河道水力坡度和植物淹没高度 ,得到了植物河道附加糙率值的计算关系式 ,由此可方便地估计植物河道对阻力的影响程度。

参考文献 :

[1] HUANG Ben-sheng ,LAI Guan-wen ,QIU Jing ,et al. Hydraulics of compound with vegetated floodplains[J]. Journal of Hydrodynamics 2002 ,14(1) 23-28.

[2] SHI Bing ,CAO Shu-you. Effect of floodplain vegetation on flow structure in compound channel[C]//SHANG Hong-qi. Proceedings of the 2nd international Yellow River forum on keeping healthy life of the river. Zhengzhou : Yellow River Conservancy Press 2005 :120-127.

[3] 白峰青 ,郑丙辉 ,田自强 .水生植物在水污染控制中的生态效应[J].环境科学与技术 2004 27(4) 99-110.

[4] 刘鸿文 .材料力学[M].北京 :高等教育出版社 ,1989.

[5] 杨克君 ,刘兴年 曹叔尤 ,等 .植被作用下的复式河槽流速分布特性[J].力学学报 2006 38(2) 246-250.

[6] 焦志洋 拾兵 荆晓冬 .复式河槽滩地植物对水流紊动结构影响的试验研究[J].海洋湖沼通报 2006(1) 28-36.

(收稿日期 2007-03-22 编辑 :方宇彤)

