

DOI: 10.3880/j.issn.1004-6933.2015.01.005

农村河流生态健康与服务功能

夏霆¹, 曹方意¹, 龙健¹, 黄玉莹¹, 姜谋余^{2,3}

(1. 南京工业大学环境学院, 江苏 南京 211816; 2. 河海大学环境学院, 江苏 南京 210098;
3. 水利部科技委员会, 北京 100057)

摘要:以盐城市12条代表性河流为例,分析农村河流生态健康与服务功能的关系,探讨农村河流治理中两者的实现途径。结果表明:农村河流的服务功能与生态健康具有胁迫-响应关系,河流生态健康的评估内容和评估标准均体现了河流服务功能的影响。由于河道自然系统内部的层级影响关系,以及农村河流具有较多自然属性特征,农村河流的生态修复应尽量依靠自然河流生态系统本身的自组织和自修复能力,河流治理应注意保留或促进河流自然生态功能的发挥,从基本的河流形态和水文水动力等要素开始,逐步促进上层要素和河道生态健康的整体恢复。

关键词:农村河流; 河流治理; 生态健康; 服务功能; 盐城市

中图分类号: X21 文献标志码: A 文章编号: 1004-6933(2015)01-0030-05

Ecosystem health and service functions of rural river

XIA Ting¹, CAO Fangyi¹, LONG Jian¹, HUANG Yuying¹, JIANG Mouyu^{2,3}

(1. College of Environment, Nanjing University of Technology, Nanjing, 211816, China;
2. College of Environment, Hohai University, Nanjing, 210098, China;
3. Science & Technology Committee of Water Resources Ministry, Beijing, 100053, China)

Abstract: Taking the 12 representative rural rivers of Yancheng City as examples, the relationship between the ecosystem health and service function of rural river were analyzed, and the approaches of realizing the both in the rural river treatment were probed. The results show that there is a stress-response mechanism between the service function and ecological health of the rural river, the contents and standards of river ecosystem health evaluation both reflect the influence of river service function. In view of internal hierarchy influence of river system, and many natural attributes of rural rivers, the authors of this paper think that the ecological restoration of rural rivers should rely on the self-organization and self-recovery ability of river system as far as possible, and the natural ecological functions of rivers should be remained or promoted during rural river treatment, and the overall upper layer elements and the river ecosystem health recovery should gradually promoted from the basic river morphology and such basic elements as hydrology and water power.

Key words: rural river; river treatment; ecosystem health; service function; Yancheng City

人类的发展与河流息息相关,河流对地方社会经济的发展有着至关重要的影响。与城市河流相比,尽管农村地区河流所承受人类活动影响的集中程度相对较小,但由于农村地区河流面广量大,且与人们的生产及日常生活更为直接相关,因此其对农村地区的影响举足轻重。近年来,我国城市河道的

治理与管理受到广泛关注,对城市河道的健康诊断、治理理论与技术的研究得到日新月异的发展^[1],但针对农村河流健康及其修复目标、修复理论与方法的研究却极为少见。农村地区河流多处于失管状态,河道淤积,容蓄能力降低,流量减小,水体滞流,自净能力降低,水质恶化严重,河内水生植物泛滥,

基金项目: 国家水体污染控制与治理科技重大专项(2012ZX07501-001-03); 江苏省太湖水污染治理专项基金(TH2013313); 江苏省环境监测基金(1117); 江苏省科技基础设施建设计划(BM2013013); 南京工业大学重点自然基金(39727005)

作者简介: 夏霆(1973—),男,副教授,博士,主要从事水污染控制与生态修复技术研究。E-mail: xiating@njtech.edu.cn

垃圾乱弃等,已是农村河流的普遍现象,由此引发的问题不仅关系到农村地区的用水保障与安全,也极易成为农村社会环境的不稳定因素。

河流健康理念反映了人们对保护河流的认识与价值取向。保护河流的关键在于实现不同状态河流自然生态健康与服务功能的平衡,因此,近年来开展的河流健康研究与评估实践多围绕这两方面来进行。不同地区、不同时段以及不同类型的河流,其服务功能可能存在差异,因此其健康标准也不同。农村河流多呈“自然化”的特点,体现了更为强烈的与生产生活相关的服务功能特征,因此其健康内涵中自然生态健康与服务功能 2 方面内容以及两者之间的关系也应与此相适应,并且对后续的河流修复与管理措施也会产生关键的影响。目前我国许多地方在推进河流健康评估和中小河流治理,鉴于相关理论研究的缺乏,笔者以盐城市辖各县区 12 条代表性农村河流为例,分析农村河流的生态健康与服务功能特征及其相互关系,并探讨其对农村河流健康修复与管理的影响。

1 盐城市农村代表性河流的特征

盐城市位于苏北平原中东部,长三角经济区北缘,地理位置介于北纬 32°34' ~ 34°28'、东经 119°27' ~ 120°54' 之间。盐城市境内水系发达,河流纵横交错呈网状分布,河流水系主要分布在淮河流域,废黄河以北的河流为沂沭泗水系,其余为淮河下游里下河水系。2014 年,从盐城市 9 个区县各选择 1 条代表性河流以及 3 条市级河流开展河流健康试点评估(图 1)。12 条河流主要特征见表 1。

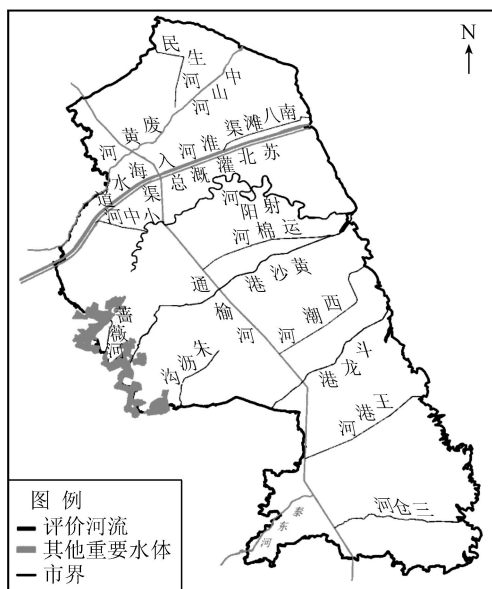


图 1 盐城市代表性农村河流位置

表 1 盐城市代表性农村河流的主要特征

河流	长度/ km	流域/ km ²	主要服务功能	主要属地	水系
民生河	30	230	排涝、供水	响水县	沂沭泗水系
南八滩渠	30	131	排涝、供水	滨海县	里下河水系
运棉河	44	420	行洪、排涝、 航运、供水	射阳县	里下河水系
小中河	17	53	排涝、供水、 航运、供水	阜宁县	里下河水系
蔷薇河	13	30	行洪、排涝、航运、 供水、生态维护	建湖县	里下河水系
西潮河	47	400	排涝、供水	亭湖区、 大丰市	里下河水系
朱沥沟	27	110	排涝、航运、供水	盐都区	里下河水系
王港河	59	593	航运、排涝、供水	大丰市	里下河水系
三仓河	46	442	排涝、供水	东台市	里下河水系
射阳河	151	4036	行洪、排涝、饮用 水源地供水、航运	建湖县、 阜宁县、 滨海县、 射阳县	里下河水系
斗龙港	60.0	4428	行洪、排涝、 航运、供水	盐都区、 亭湖区、 大丰市	里下河水系
黄沙港	102	865	行洪、排涝、 航运、供水	建湖县、 射阳县	里下河水系

因位于平原河网地区,盐城市 12 条河流具有河床比降小、水面平缓、流速缓慢等平原河网地区河流共性特点,而根据河流现场调查结果,盐城市河流还具有以下特征:①河流跨线长。盐城市河流大部分河段位于农村地区,河道周边多有农田村舍散布其间,河道多为自然形态,河道横断面多样复杂,河滨带及河内水生植物分布多,大部分河段呈自然景观状态。②河流多具有行洪、排涝、航运、灌溉、供水等多种服务功能,且多受人工节制,水文水动力条件复杂,部分河道受潮位顶托影响而常有洪涝灾害发生,部分河道有塌岸现象。③河道岸坡和河滨带多因被码头、农田村舍占用,自然景观连续性受损,部分河道淤积现象较为严重;④入河污染问题难以控制。岸坡垃圾、农田菜地用水、农村生活废水与工厂企业废水入河情况较为常见,而河流水体交换不畅,自净能力低,导致河道水质较差,生物多样性低,部分河段甚至黑臭。

盐城市 12 条河流大部分位于农村区域,与城市河道相比,其河道形态、植被、景观多呈自然状态;河道与生产生活联系紧密,河道功能更为多样;河道的干扰因素多,并呈分散化特点,比城市河道更难控制。

2 生态健康与服务功能的关系

河流健康的理念目前已逐渐被接受。基于对河流“生命”价值和服务利用价值的认识,河流健康内涵也多被理解成涵盖自然生态健康与服务功能健康两个方面。但从河流健康的核心“生命”理念的角

度出发,不难发现这两方面的内涵实际上并不是简单的“A+B”关系。

2.1 农村河流生态健康的“胁迫-响应”机制

河流健康的理念产生于人类对河流自然生命保护价值的认识,表达的是人类自身因利用河流而产生的对河流自然系统干扰行为的反思,其核心在于人类与河流的关系。河流作为一个开放的、动态的生态系统,生物多样性以及系统自身长期稳定组织结构的维持有赖于稳定的能量、物质流循环,有赖于系统内各要素参与的连续的物理、化学以及生物学反应。在无外界干扰的条件下,原始河流自然系统的动态和演变过程使得河流系统体现出自然完整性,体现出原始的水文地貌、水质、生态整体性以及水陆构成的自然景观等特征。而受外界因素的影响,河流的形成与演变则是一个复杂的动态过程。河流系统内部结构的维持依赖于河流水文、形态和生物过程的变化^[2]。人类利用活动是河流干扰因素的主因。Boon^[3]认为,河流可能是地球上遭到人类最大程度滥用的生态系统,河流本身现状是对人类的干扰以及自然因素如何对自然资源联合作用的描述。河流系统的各种自然要素之间的影响与变化是一个动态的、连续的过程,干扰条件下河流系统的自然动态过程是一个受干扰的复杂过程(图2)。由于干扰的广泛性与深度性,同时又因与人类的需求与作用紧密关联,因此,河流生态健康的问题与原因更为多样和复杂。

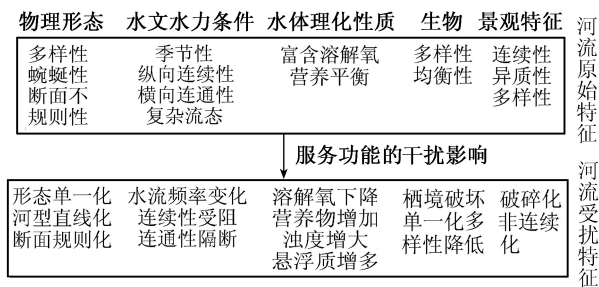


图2 服务功能对河流系统干扰的影响

盐城市河流许多河段虽然在形态、景观上呈现自然特征,但因承担着行洪、排涝、航运、灌溉、供水等多种功能,河流流动受人工节制,民居和农田等对岸坡的占用则使得河流景观连续性受到破坏,河道因此表现出与原始自然河流不同的生态环境特征。作为自然界物质、能量循环的关键一环,在某一方面干扰下,河流内部构成要素必然发生关联性的影响。这一作用包含两方面的复杂过程:一方面是由于人类的利用而对河流的直接干扰,如对河流的人工改造;另一方面是由于河流系统各种自然要素之间的影响使得人类的外部干扰在河流系统内部的传

递也是一个动态的、连续的过程。对于河流系统而言,尽管人类干扰对河流系统的某一方面造成了影响,但由于河流过程的连续性,这一干扰过程对河流系统的影响可以出现在任意的尺度,从局部区域到河段,直至整条河流,都会产生累积性影响,并且,由于河流系统的整体性与关联性,人类对河流的干扰通常会产生一系列的因果效应,对河流系统内的一个或多个特征产生长期影响。人类干扰对农村河流的初始影响主要在于对河流岸坡利用等形态结构以及水文条件的改变,后又逐渐影响到河流水质、生态与景观条件。这一干扰影响的因果关系见图3。

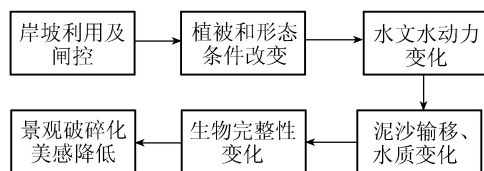


图3 受干扰影响的河流系统内部响应关系

2.2 农村河流生态健康与服务功能的平衡

农村河流系统处于自然与人类干扰的互动影响过程中,它既是承受人类干扰的受影响者,又是支撑和提供人类快速发展背景下更多需求的影响者:作为一个“生命体”,河流要维持自身的自然生命价值;作为服务功能的提供者,河流必须为人类承担诸多的服务功能。河流服务价值的实现往往以对河流自然生命价值的干扰为代价,农村河流的服务价值是其与河流原始自然状况相区别的根本原因。可见,农村河流健康是河流服务功能与河流生态保护相协调的整合性内涵,但这种内涵并非是简单的叠加关系,主要体现在以下两个方面。

a. 河流生态健康的内容。河流系统基本的自然构成要素包括物理(形态、水文)、化学、生物等方面,因此河流自然生态健康内容也多直接由这些河流结构要素来反映^[4]。由于人类的干扰(河流服务功能)也是直接作用在河流系统的基本特征和空间构成上,因此人类的干扰对河流生态健康的影响也反映在这些基本构成要素中,并且,这些基本构成要素体现的河流生态健康状况,反过来又决定了河流能提供给人类的服务功能(图4)。

基于河流系统结构组成,农村河流生态健康的内容可以理解为:①河流形态结构健康要素。指构成河流的物理结构条件,包括地貌、植被、土壤、水体等各种形态因子以及它们整体上所表现出的空间格局条件。②水文水动力健康要素。指河流的流动、循环、水文频率以及水体交换等条件。③水质健康要素。指河流的水质条件,表征河流水体的物理化学性质。④河流生物健康要素。指河流生物群落的

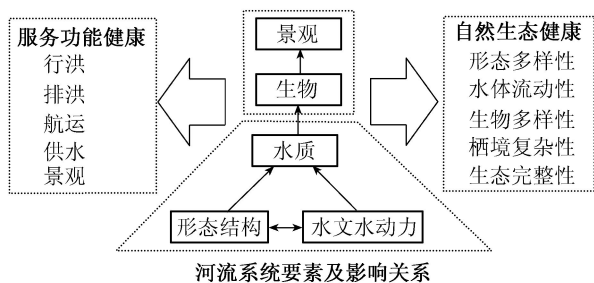


图4 农村河流服务功能与生态健康的关联性

结构与组成,反映生态系统群落功能状况。⑤景观健康要素。指体现在河流较大尺度上的生态景观格局。景观原意为视觉意义上的,这里指自然生态意义的河流景观空间格局。农村河流河道长,流域范围广,多具备自然状态河道的特征,因此,与城市河道相比,农村河流的生态景观意义更为突出。这5个方面,既表征了受服务功能影响的河流自然生态健康状况,也体现了河流生态健康状况对河流服务功能的承载能力。围绕5个方面的特征与相应内容,可以构建农村河流生态健康的评估指标。表2为盐城市农村河流生态健康评估指标体系。

表2 盐城市农村河流生态健康评估指标体系

目标层(A)	要素层(B)	指标层(C)
自然生态健康	形态结构	岸坡稳定性
		岸坡植被完整性
		河滨带多样性
	水动力特征	河流流动性
		生态需水保证率
水质	水质状况	
	底质状况	
生物	底栖动物多样性	
	浮游植物物种丰富度	
	着生生物受扰水平	
景观	水体透明度	
	景观连续性	

b. 河流生态健康的评估标准。河流的原始生态完整性曾被普遍作为河流生态利益的理想状态。对自然河流,因人类多侧重于对其自然生态利益的保护,对其调查与评估的目的在于了解河流受人类干扰的程度,因此,最直接有效的方法是了解河流生态状况偏离其原始状态的“损伤”程度。国际上河流评估发展较快的国家最早几乎都选择未受干扰的原始河流状态作为参照,将待评估河流与之对照来得出评估结果^[4-5]。然而,对于像盐城市这类典型农村河流,因长期受密集人类活动的影响,河流初始自然条件早已被剧烈改变,同时又因持续承担河流服务功能,其河流生态健康5个要素的评估目标以及相关评价指标值均与纯粹的自然河流有很大的不同。此时若依然以原始状态作为河流生态利益的评价基准,则必然会使评价结果偏低。欧盟近年来倡

导为“受干扰(modified)”的水体重新建立基准条件,以确立可行的河流管理目标^[6]。受所承担的服务功能的持续影响,农村河流保护及治理的目标应是追求河流自然利益与服务功能的统一与协调,在人类对河流的开发利用与生态保护之间达到平衡,这种平衡在河流健康评估或实践治理中往往表现为达到某些服务功能前提下预设的生态健康期望目标。由于不同河流的服务功能或开发利用方式不同,因此,河流的具体评估标准应结合相应的河流特征。

3 生态健康与服务功能的实现途径

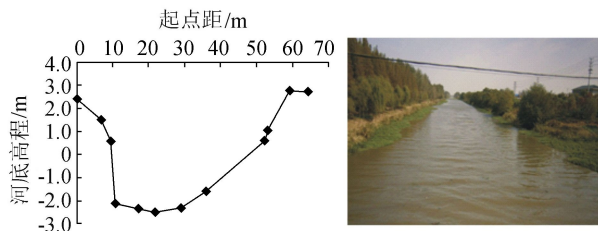
3.1 确定农村河流生态修复的目标

我国农村河流面广量大,长期的失管使得近年来中小河流治理任务艰巨。如何确定河流的具体修复措施与目标,是农村河流治理中的关键。基于农村河流生态健康与服务功能的关系,农村河流生态修复的目标应是在满足在现有社会经济发展对河流的合理需求条件下河流保持生态健康,因此,一方面要促进河流灌溉、供水、航运、排涝等服务功能目标的实现,另一方面还要强调河流生态结构合理、生态过程延续和功能完整,即实现河流生态健康5个构成要素(形态结构、水文水动力、水质、生物以及景观)的健康。

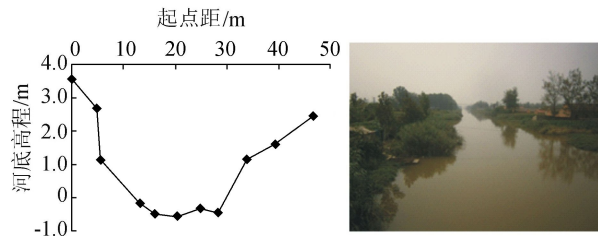
农村河流生态治理应注意促进河流自然生态功能的发挥。近年来,我国农村地区广泛开展了中小河流治理,但受城市河道治理方式的影响,存在着同断面、同材料、注重视觉景观的人工化“一刀切”治理的现象。城市河流因受干扰剧烈,河流自然形态与景观条件丧失殆尽,因此治理中的主流理念是,强调以人工化的措施在实现河流服务功能的前提下进行河流的“类自然化修复”。这一“类自然化修复”的目的,实际上是尽量发挥河流自身生态系统的自组织和自调控能力,以人工干预的方式促进河流生态修复。值得注意的是,尽管农村河流也承受了诸多服务功能的干扰而与自然原始河流差异较大,但与受干扰更为剧烈的城市河道相比,却具有更明显的自然属性甚至原始自然特征^[7]。如盐城市农村河流保留了较多横断面多样、生态景观良好的自然状态河段(图5),体现在自然的河道断面、河滨带,多样化的土著岸坡及水生植物等方面。显然,对于这一类型河道,相较于人工干预的“类自然化修复”治理手段,保留或促进河流“土著自然状态”的恢复无疑更有利于实现河流生态健康的目标。

3.2 确定农村河流生态健康修复的顺序

前述分析已表明,河流系统构成的这5个要素健康状况,既体现了河流服务功能的影响,又决定了河



(a) 西潮河(方强农场断面)



(b) 民生河(新荡断面)

图5 盐城市农村河流自然特征

流能提供给人类的服务功能条件,因此,农村河流生态修复主要是实现河流系统5个要素的健康目标。

由于河流系统内部要素遵循一定的影响顺序关系,因此,河流生态修复^[8]的途径应与此相适应。河流系统内部构成要素的关联影响,使得河流系统具有一定的自我调控和自我修复能力。尽管受到持续的干扰,农村河流依然具有明显的自然属性特征,河流生态修复应尽量依靠生态系统本身的自组织和自调控能力,或依靠人工调控与生态系统本身的自组织和自调控能力的复合作用,使部分或完全受损的生态系统恢复到相对健康的状态。Mark^[9]认为,水域内的形态结构都有潜在的水力和生态功能,河流生态系统总体功能与形态结构功能密切关联,因此,采用“自然化途径”优先修复水域自然地形与水力条件,是河流生态恢复的有效途径。朱伟等^[1]根据河流形态、水动力、水质、生态和景观构成要素的影响关系,确定了城市河道生态恢复的“金字塔”要素关系层级模型。农村河流相对于城市河流,其自然属性及其相互影响关系更为强烈,这一模型关系更适用于确定农村河流各生态要素的顺序关系(图4),即河道治理应该从下部最基本的要素开始,这些要素相对而言不受上部要素的制约,同时又可以促进上部要素的修复,而上部要素往往在基本要素比较完善的情况下才有改善其自身条件的可能性,如河流形态结构与水动力条件相互影响,两者又共同影响河流水质的改善;河流形态、水动力以及水质的改善是促进河流生物多样性恢复的必须条件,在此基础上,河流景观效果也能得到提升。1998年美国西部地区的基西米河治理工程^[10],就是通过恢复河流自然的地形与水力条件来逐步提高河流生物栖息地质量,进而促进河内生物恢复的。类似的河流治理案例国内外已多见。

4 结论

a. 对盐城市代表性农村河流的调查表明,农村河流的河道形态、植被、景观多呈自然状态;农村河流的河道与生产生活联系紧密,河道功能多样,部分河道生态健康问题严重。

b. 农村河流的服务功能对河流生态健康产生干扰,河流生态健康内容和评估标准均体现了河流服务功能的影响。河流形态结构、水文水动力、水质、生物以及景观等要素体现了河流生态健康状况,同时也能反映河流能提供给人类的服务功能。

c. 农村河流依然具有明显的自然属性,河流生态修复应尽量依靠自然生态系统本身的自组织和自修复能力,同时由于河道系统构成要素之间存在层级影响关系,因此河道治理应该从基本的河流形态和水文水动力等要素开始,逐步促进上部生物、景观要素以及河道整体生态健康的恢复。农村河流因具有较多的自然属性特征,河流治理的生态健康目标应注意保留或促进河流自然生态功能的发挥。

参考文献:

- [1] 朱伟,夏霆,姜谋余,等.城市河流水环境综合评价方法探讨[J].水科学进展,2007,18(5):736-744. (ZHU Wei, XIA Ting, JIANG Mouyu, et al. Comprehensive assessment of water environment for urban stream [J]. Advances in Water Science, 2007, 18(5): 736-744. (in Chinese))
- [2] GEOFFREY E, PETTS A. perspective on the abiotic processes sustaining the ecological integrity of running waters[J]. Hydrobiologia, 2000, 422/423: 15-27.
- [3] BOON P J. The development of integrated methods for assessing river conservation value [J]. Hydrobiologia, 2000, 422/423: 413-428.
- [4] 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): 453-468.
- [5] 夏霆,朱伟,姜谋余,等.城市河流栖息地评价方法与应用[J].环境科学学报,2007,27(12):2095-2104. (XIA Ting, ZHU Wei, JIANG Mouyu, et al. Assessment of urban river habitats: application and methodology [J]. Acta Scientiae Circumstantiae, 2007, 27(12): 2095-2104. (in Chinese))
- [6] POLLARD P, MARK H. The European water framework directive: a new era in the management of aquatic ecosystem health? [J]. Aquatic Conservation: Marine and Freshwater Ecosystems. 1998(8): 773-792.

(下转第98页)

DOI: 10.3880/j.issn.1004-6933.2015.01.005

农村河流生态健康与服务功能

夏霆¹, 曹方意¹, 龙健¹, 黄玉莹¹, 姜谋余^{2,3}

(1. 南京工业大学环境学院, 江苏 南京 211816; 2. 河海大学环境学院, 江苏 南京 210098;
3. 水利部科技委员会, 北京 100057)

摘要:以盐城市12条代表性河流为例,分析农村河流生态健康与服务功能的关系,探讨农村河流治理中两者的实现途径。结果表明:农村河流的服务功能与生态健康具有胁迫-响应关系,河流生态健康的评估内容和评估标准均体现了河流服务功能的影响。由于河道自然系统内部的层级影响关系,以及农村河流具有较多自然属性特征,农村河流的生态修复应尽量依靠自然河流生态系统本身的自组织和自修复能力,河流治理应注意保留或促进河流自然生态功能的发挥,从基本的河流形态和水文水动力等要素开始,逐步促进上层要素和河道生态健康的整体恢复。

关键词:农村河流; 河流治理; 生态健康; 服务功能; 盐城市

中图分类号: X21 文献标志码: A 文章编号: 1004-6933(2015)01-0030-05

Ecosystem health and service functions of rural river

XIA Ting¹, CAO Fangyi¹, LONG Jian¹, HUANG Yuying¹, JIANG Mouyu^{2,3}

(1. College of Environment, Nanjing University of Technology, Nanjing, 211816, China;
2. College of Environment, Hohai University, Nanjing, 210098, China;
3. Science & Technology Committee of Water Resources Ministry, Beijing, 100053, China)

Abstract: Taking the 12 representative rural rivers of Yancheng City as examples, the relationship between the ecosystem health and service function of rural river were analyzed, and the approaches of realizing the both in the rural river treatment were probed. The results show that there is a stress-response mechanism between the service function and ecological health of the rural river, the contents and standards of river ecosystem health evaluation both reflect the influence of river service function. In view of internal hierarchy influence of river system, and many natural attributes of rural rivers, the authors of this paper think that the ecological restoration of rural rivers should rely on the self-organization and self-recovery ability of river system as far as possible, and the natural ecological functions of rivers should be remained or promoted during rural river treatment, and the overall upper layer elements and the river ecosystem health recovery should gradually promoted from the basic river morphology and such basic elements as hydrology and water power.

Key words: rural river; river treatment; ecosystem health; service function; Yancheng City

人类的发展与河流息息相关,河流对地方社会经济的发展有着至关重要的影响。与城市河流相比,尽管农村地区河流所承受人类活动影响的集中程度相对较小,但由于农村地区河流面广量大,且与人们的生产及日常生活更为直接相关,因此其对农村地区的影响举足轻重。近年来,我国城市河道的

治理与管理受到广泛关注,对城市河道的健康诊断、治理理论与技术的研究得到日新月异的发展^[1],但针对农村河流健康及其修复目标、修复理论与方法的研究却极为少见。农村地区河流多处于失管状态,河道淤积,容蓄能力降低,流量减小,水体滞流,自净能力降低,水质恶化严重,河内水生植物泛滥,

基金项目: 国家水体污染控制与治理科技重大专项(2012ZX07501-001-03); 江苏省太湖水污染治理专项基金(TH2013313); 江苏省环境监测基金(1117); 江苏省科技基础设施建设计划(BM2013013); 南京工业大学重点自然基金(39727005)

作者简介: 夏霆(1973—),男,副教授,博士,主要从事水污染控制与生态修复技术研究。E-mail: xiating@njtech.edu.cn

垃圾乱弃等,已是农村河流的普遍现象,由此引发的问题不仅关系到农村地区的用水保障与安全,也极易成为农村社会环境的不稳定因素。

河流健康理念反映了人们对保护河流的认识与价值取向。保护河流的关键在于实现不同状态河流自然生态健康与服务功能的平衡,因此,近年来开展的河流健康研究与评估实践多围绕这两方面来进行。不同地区、不同时段以及不同类型的河流,其服务功能可能存在差异,因此其健康标准也不同。农村河流多呈“自然化”的特点,体现了更为强烈的与生产生活相关的服务功能特征,因此其健康内涵中自然生态健康与服务功能 2 方面内容以及两者之间的关系也应与此相适应,并且对后续的河流修复与管理措施也会产生关键的影响。目前我国许多地方在推进河流健康评估和中小河流治理,鉴于相关理论研究的缺乏,笔者以盐城市辖各县区 12 条代表性农村河流为例,分析农村河流的生态健康与服务功能特征及其相互关系,并探讨其对农村河流健康修复与管理的影响。

1 盐城市农村代表性河流的特征

盐城市位于苏北平原中东部,长三角经济区北缘,地理位置介于北纬 $32^{\circ}34' \sim 34^{\circ}28'$ 、东经 $119^{\circ}27' \sim 120^{\circ}54'$ 之间。盐城市境内水系发达,河流纵横交错呈网状分布,河流水系主要分布在淮河流域,废黄河以北的河流为沂沭泗水系,其余为淮河下游里下河水系。2014 年,从盐城市 9 个区县各选择 1 条代表性河流以及 3 条市级河流开展河流健康试点评估(图 1)。12 条河流主要特征见表 1。

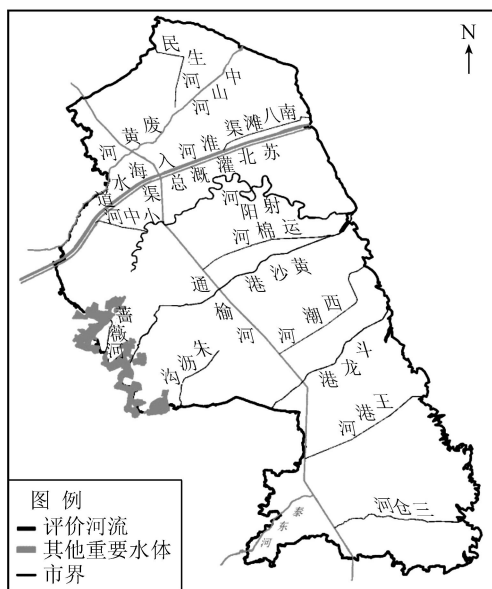


图 1 盐城市代表性农村河流位置

表 1 盐城市代表性农村河流的主要特征

河流	长度/ km	流域/ km ²	主要服务功能	主要属地	水系
民生河	30	230	排涝、供水	响水县	沂沭泗水系
南八滩渠	30	131	排涝、供水	滨海县	里下河水系
运棉河	44	420	行洪、排涝、 航运、供水	射阳县	里下河水系
小中河	17	53	排涝、供水、 航运、供水	阜宁县	里下河水系
蔷薇河	13	30	行洪、排涝、航运、 供水、生态维护	建湖县	里下河水系
西潮河	47	400	排涝、供水	亭湖区、 大丰市	里下河水系
朱沥沟	27	110	排涝、航运、供水	盐都区	里下河水系
王港河	59	593	航运、排涝、供水	大丰市	里下河水系
三仓河	46	442	排涝、供水	东台市	里下河水系
射阳河	151	4036	行洪、排涝、饮用 水源地供水、航运	建湖县、 阜宁县、 滨海县、 射阳县	里下河水系
斗龙港	60.0	4428	行洪、排涝、 航运、供水	盐都区、 亭湖区、 大丰市	里下河水系
黄沙港	102	865	行洪、排涝、 航运、供水	建湖县、 射阳县	里下河水系

因位于平原河网地区,盐城市 12 条河流具有河床比降小、水面平缓、流速缓慢等平原河网地区河流共性特点,而根据河流现场调查结果,盐城市河流还具有以下特征:①河流跨线长。盐城市河流大部分河段位于农村地区,河道周边多有农田村舍散布其间,河道多为自然形态,河道横断面多样复杂,河滨带及河内水生植物分布多,大部分河段呈自然景观状态。②河流多具有行洪、排涝、航运、灌溉、供水等多种服务功能,且多受人工节制,水文水动力条件复杂,部分河道受潮位顶托影响而常有洪涝灾害发生,部分河道有塌岸现象。③河道岸坡和河滨带多因被码头、农田村舍占用,自然景观连续性受损,部分河道淤积现象较为严重;④入河污染问题难以控制。岸坡垃圾、农田菜地用水、农村生活废水与工厂企业废水入河情况较为常见,而河流水体交换不畅,自净能力低,导致河道水质较差,生物多样性低,部分河段甚至黑臭。

盐城市 12 条河流大部分位于农村区域,与城市河道相比,其河道形态、植被、景观多呈自然状态;河道与生产生活联系紧密,河道功能更为多样;河道的干扰因素多,并呈分散化特点,比城市河道更难控制。

2 生态健康与服务功能的关系

河流健康的理念目前已逐渐被接受。基于对河流“生命”价值和服务利用价值的认识,河流健康内涵也多被理解成涵盖自然生态健康与服务功能健康两个方面。但从河流健康的核心“生命”理念的角

度出发,不难发现这两方面的内涵实际上并不是简单的“A+B”关系。

2.1 农村河流生态健康的“胁迫-响应”机制

河流健康的理念产生于人类对河流自然生命保护价值的认识,表达的是人类自身因利用河流而产生的对河流自然系统干扰行为的反思,其核心在于人类与河流的关系。河流作为一个开放的、动态的生态系统,生物多样性以及系统自身长期稳定组织结构的维持有赖于稳定的能量、物质流循环,有赖于系统内各要素参与的连续的物理、化学以及生物学反应。在无外界干扰的条件下,原始河流自然系统的动态和演变过程使得河流系统体现出自然完整性,体现出原始的水文地貌、水质、生态整体性以及水陆构成的自然景观等特征。而受外界因素的影响,河流的形成与演变则是一个复杂的动态过程。河流系统内部结构的维持依赖于河流水文、形态和生物过程的变化^[2]。人类利用活动是河流干扰因素的主因。Boon^[3]认为,河流可能是地球上遭到人类最大程度滥用的生态系统,河流本身现状是对人类的干扰以及自然因素如何对自然资源联合作用的描述。河流系统的各种自然要素之间的影响与变化是一个动态的、连续的过程,干扰条件下河流系统的自然动态过程是一个受干扰的复杂过程(图2)。由于干扰的广泛性与深度性,同时又因与人类的需求与作用紧密关联,因此,河流生态健康的问题与原因更为多样和复杂。

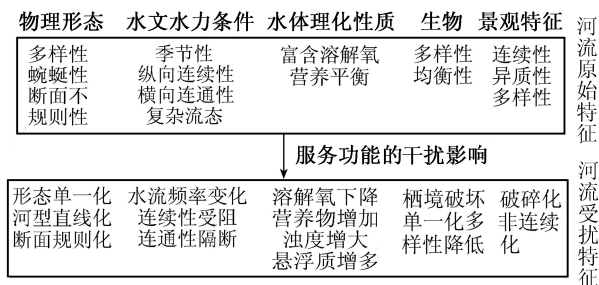


图2 服务功能对河流系统干扰的影响

盐城市河流许多河段虽然在形态、景观上呈现自然特征,但因承担着行洪、排涝、航运、灌溉、供水等多种功能,河流流动受人工节制,民居和农田等对岸坡的占用则使得河流景观连续性受到破坏,河道因此表现出与原始自然河流不同的生态环境特征。作为自然界物质、能量循环的关键一环,在某一方面干扰下,河流内部构成要素必然发生关联性的影响。这一作用包含两方面的复杂过程:一方面是由于人类的利用而对河流的直接干扰,如对河流的人工改造;另一方面是由于河流系统各种自然要素之间的影响使得人类的外部干扰在河流系统内部的传

递也是一个动态的、连续的过程。对于河流系统而言,尽管人类干扰对河流系统的某一方面造成了影响,但由于河流过程的连续性,这一干扰过程对河流系统的影响可以出现在任意的尺度,从局部区域到河段,直至整条河流,都会产生累积性影响,并且,由于河流系统的整体性与关联性,人类对河流的干扰通常会产生一系列的因果效应,对河流系统内的一个或多个特征产生长期影响。人类干扰对农村河流的初始影响主要在于对河流岸坡利用等形态结构以及水文条件的改变,后又逐渐影响到河流水质、生态与景观条件。这一干扰影响的因果关系见图3。

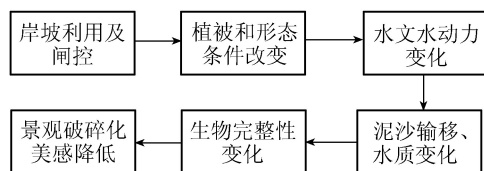


图3 受干扰影响的河流系统内部响应关系

2.2 农村河流生态健康与服务功能的平衡

农村河流系统处于自然与人类干扰的互动影响过程中,它既是承受人类干扰的受影响者,又是支撑和提供人类快速发展背景下更多需求的影响者:作为一个“生命体”,河流要维持自身的自然生命价值;作为服务功能的提供者,河流必须为人类承担诸多的服务功能。河流服务价值的实现往往以对河流自然生命价值的干扰为代价,农村河流的服务价值是其与河流原始自然状况相区别的根本原因。可见,农村河流健康是河流服务功能与河流生态保护相协调的整合性内涵,但这种内涵并非是简单的叠加关系,主要体现在以下两个方面。

a. 河流生态健康的内容。河流系统基本的自然构成要素包括物理(形态、水文)、化学、生物等方面,因此河流自然生态健康内容也多直接由这些河流结构要素来反映^[4]。由于人类的干扰(河流服务功能)也是直接作用在河流系统的基本特征和空间构成上,因此人类的干扰对河流生态健康的影响也反映在这些基本构成要素中,并且,这些基本构成要素体现的河流生态健康状况,反过来又决定了河流能提供给人类的服务功能(图4)。

基于河流系统结构组成,农村河流生态健康的内容可以理解为:①河流形态结构健康要素。指构成河流的物理结构条件,包括地貌、植被、土壤、水体等各种形态因子以及它们整体上所表现出的空间格局条件。②水文水动力健康要素。指河流的流动、循环、水文频率以及水体交换等条件。③水质健康要素。指河流的水质条件,表征河流水体的物理化学性质。④河流生物健康要素。指河流生物群落的

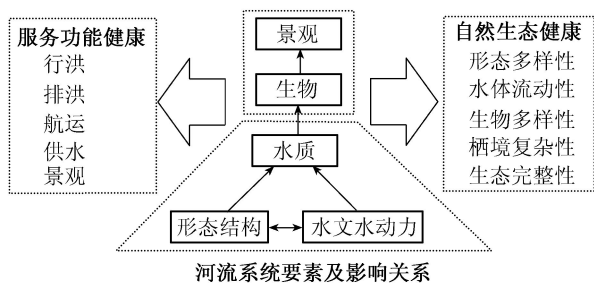


图4 农村河流服务功能与生态健康的关联性

结构与组成,反映生态系统群落功能状况。⑤景观健康要素。指体现在河流较大尺度上的生态景观格局。景观原意为视觉意义上的,这里指自然生态意义的河流景观空间格局。农村河流河道长,流域范围广,多具备自然状态河道的特征,因此,与城市河道相比,农村河流的生态景观意义更为突出。这5个方面,既表征了受服务功能影响的河流自然生态健康状况,也体现了河流生态健康状况对河流服务功能的承载能力。围绕5个方面的特征与相应内容,可以构建农村河流生态健康的评估指标。表2为盐城市农村河流生态健康评估指标体系。

表2 盐城市农村河流生态健康评估指标体系

目标层(A)	要素层(B)	指标层(C)
自然生态健康	形态结构	岸坡稳定性
		岸坡植被完整性
		河滨带多样性
	水动力特征	河流流动性
		生态需水保证率
水质	水质状况	
	底质状况	
生物	底栖动物多样性	
	浮游植物物种丰富度	
	着生生物受扰水平	
景观	水体透明度	
	景观连续性	

b. 河流生态健康的评估标准。河流的原始生态完整性曾被普遍作为河流生态利益的理想状态。对自然河流,因人类多侧重于对其自然生态利益的保护,对其调查与评估的目的在于了解河流受人类干扰的程度,因此,最直接有效的方法是了解河流生态状况偏离其原始状态的“损伤”程度。国际上河流评估发展较快的国家最早几乎都选择未受干扰的原始河流状态作为参照,将待评估河流与之对照来得出评估结果^[4-5]。然而,对于像盐城市这类典型农村河流,因长期受密集人类活动的影响,河流初始自然条件早已被剧烈改变,同时又因持续承担河流服务功能,其河流生态健康5个要素的评估目标以及相关评价指标值均与纯粹的自然河流有很大的不同。此时若依然以原始状态作为河流生态利益的评价基准,则必然会使评价结果偏低。欧盟近年来倡

导为“受干扰(modified)”的水体重新建立基准条件,以确立可行的河流管理目标^[6]。受所承担的服务功能的持续影响,农村河流保护及治理的目标应是追求河流自然利益与服务功能的统一与协调,在人类对河流的开发利用与生态保护之间达到平衡,这种平衡在河流健康评估或实践治理中往往表现为达到某些服务功能前提下预设的生态健康期望目标。由于不同河流的服务功能或开发利用方式不同,因此,河流的具体评估标准应结合相应的河流特征。

3 生态健康与服务功能的实现途径

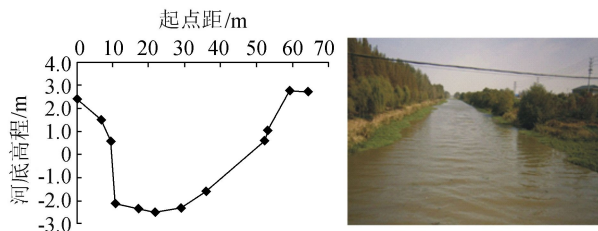
3.1 确定农村河流生态修复的目标

我国农村河流面广量大,长期的失管使得近年来中小河流治理任务艰巨。如何确定河流的具体修复措施与目标,是农村河流治理中的关键。基于农村河流生态健康与服务功能的关系,农村河流生态修复的目标应是在满足在现有社会经济发展对河流的合理需求条件下河流保持生态健康,因此,一方面要促进河流灌溉、供水、航运、排涝等服务功能目标的实现,另一方面还要强调河流生态结构合理、生态过程延续和功能完整,即实现河流生态健康5个构成要素(形态结构、水文水动力、水质、生物以及景观)的健康。

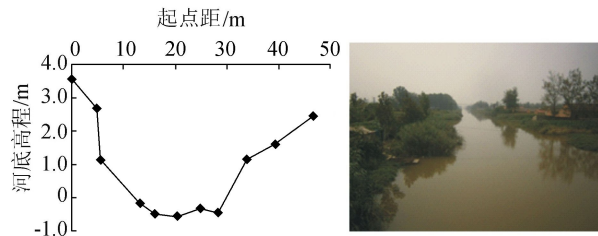
农村河流生态治理应注意促进河流自然生态功能的发挥。近年来,我国农村地区广泛开展了中小河流治理,但受城市河道治理方式的影响,存在着同断面、同材料、注重视觉景观的人工化“一刀切”治理的现象。城市河流因受干扰剧烈,河流自然形态与景观条件丧失殆尽,因此治理中的主流理念是,强调以人工化的措施在实现河流服务功能的前提下进行河流的“类自然化修复”。这一“类自然化修复”的目的,实际上是尽量发挥河流自身生态系统的自组织和自调控能力,以人工干预的方式促进河流生态修复。值得注意的是,尽管农村河流也承受了诸多服务功能的干扰而与自然原始河流差异较大,但与受干扰更为剧烈的城市河道相比,却具有更明显的自然属性甚至原始自然特征^[7]。如盐城市农村河流保留了较多横断面多样、生态景观良好的自然状态河段(图5),体现在自然的河道断面、河滨带,多样化的土著岸坡及水生植物等方面。显然,对于这一类型河道,相较于人工干预的“类自然化修复”治理手段,保留或促进河流“土著自然状态”的恢复无疑更有利于实现河流生态健康的目标。

3.2 确定农村河流生态健康修复的顺序

前述分析已表明,河流系统构成的这5个要素健康状况,既体现了河流服务功能的影响,又决定了河



(a) 西潮河(方强农场断面)



(b) 民生河(新荡断面)

图5 盐城市农村河流自然特征

流能提供给人类的服务功能条件,因此,农村河流生态修复主要是实现河流系统5个要素的健康目标。

由于河流系统内部要素遵循一定的影响顺序关系,因此,河流生态修复^[8]的途径应与此相适应。河流系统内部构成要素的关联影响,使得河流系统具有一定的自我调控和自我修复能力。尽管受到持续的干扰,农村河流依然具有明显的自然属性特征,河流生态修复应尽量依靠生态系统本身的自组织和自调控能力,或依靠人工调控与生态系统本身的自组织和自调控能力的复合作用,使部分或完全受损的生态系统恢复到相对健康的状态。Mark^[9]认为,水域内的形态结构都有潜在的水力和生态功能,河流生态系统总体功能与形态结构功能密切关联,因此,采用“自然化途径”优先修复水域自然地形与水力条件,是河流生态恢复的有效途径。朱伟等^[1]根据河流形态、水动力、水质、生态和景观构成要素的影响关系,确定了城市河道生态恢复的“金字塔”要素关系层级模型。农村河流相对于城市河流,其自然属性及其相互影响关系更为强烈,这一模型关系更适用于确定农村河流各生态要素的顺序关系(图4),即河道治理应该从下部最基本的要素开始,这些要素相对而言不受上部要素的制约,同时又可以促进上部要素的修复,而上部要素往往在基本要素比较完善的情况下才有改善其自身条件的可能性,如河流形态结构与水动力条件相互影响,两者又共同影响河流水质的改善;河流形态、水动力以及水质的改善是促进河流生物多样性恢复的必须条件,在此基础上,河流景观效果也能得到提升。1998年美国西部地区的基西米河治理工程^[10],就是通过恢复河流自然的地形与水力条件来逐步提高河流生物栖息地质量,进而促进河内生物恢复的。类似的河流治理案例国内外已多见。

4 结论

a. 对盐城市代表性农村河流的调查表明,农村河流的河道形态、植被、景观多呈自然状态;农村河流的河道与生产生活联系紧密,河道功能多样,部分河道生态健康问题严重。

b. 农村河流的服务功能对河流生态健康产生干扰,河流生态健康内容和评估标准均体现了河流服务功能的影响。河流形态结构、水文水动力、水质、生物以及景观等要素体现了河流生态健康状况,同时也能反映河流能提供给人类的服务功能。

c. 农村河流依然具有明显的自然属性,河流生态修复应尽量依靠自然生态系统本身的自组织和自修复能力,同时由于河道系统构成要素之间存在层级影响关系,因此河道治理应该从基本的河流形态和水文水动力等要素开始,逐步促进上部生物、景观要素以及河道整体生态健康的恢复。农村河流因具有较多的自然属性特征,河流治理的生态健康目标应注意保留或促进河流自然生态功能的发挥。

参考文献:

- [1] 朱伟,夏霆,姜谋余,等.城市河流水环境综合评价方法探讨[J].水科学进展,2007,18(5):736-744. (ZHU Wei, XIA Ting, JIANG Mouyu, et al. Comprehensive assessment of water environment for urban stream [J]. Advances in Water Science, 2007, 18(5): 736-744. (in Chinese))
- [2] GEOFFREY E, PETTS A. perspective on the abiotic processes sustaining the ecological integrity of running waters[J]. Hydrobiologia, 2000, 422/423: 15-27.
- [3] BOON P J. The development of integrated methods for assessing river conservation value [J]. Hydrobiologia, 2000, 422/423: 413-428.
- [4] 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): 453-468.
- [5] 夏霆,朱伟,姜谋余,等.城市河流栖息地评价方法与应用[J].环境科学学报,2007,27(12):2095-2104. (XIA Ting, ZHU Wei, JIANG Mouyu, et al. Assessment of urban river habitats: application and methodology [J]. Acta Scientiae Circumstantiae, 2007, 27(12): 2095-2104. (in Chinese))
- [6] POLLARD P, MARK H. The European water framework directive: a new era in the management of aquatic ecosystem health? [J]. Aquatic Conservation: Marine and Freshwater Ecosystems. 1998(8): 773-792.

(下转第98页)

- 预警系统中的研究与运用[J]. 环境科学与技术,2010, 33(1):128-131. (ZHANG Yanjun, LUO Wensheng, LEI Alin, et al. Research and application of river oil spill model in advanced warning system of water quality of Three Gorges [J]. Environmental Science and Technology,2010,33(1):128-131. (in Chinese))
- [16] TETRA TEC, INC. The environmental fluid dynamics code theory and computation [M]. Washington DC: US EPA, 2007:233-235.
- [17] MELLOR G L, YAMADA T. Development of a turbulence closure-model for geophysical fluid problems[J]. Reviews of Geophysics,1982,20(4):851-875.
- [18] YIN Xunqiang, QIAO Fangli, TANG Yongzeng, et al. An ensemble adjustment Kalman filter study for Argo data [J]. Chinese Journal of Oceanology and Limnology,2010, 28(3):626-635.

- [19] 堵盘军,胡克林,孔亚珍,等. ECOMSED 模式在杭州湾海域流场模拟中的应用[J]. 海洋学报,2007,29(1):7-16. (DU Panjun, HU Kelin, KONG Yazhen, et al. Application of ECOMSED model to the simulation of Hangzhou Bay tide current [J]. Acta Oceanologica Sinica,2007,29(1):7-16. (in Chinese))
- [20] BERNTSEN J. Internal pressure errors in sigma-coordinate ocean models [J]. Journal of Atmospheric and Oceanic Technology,2002,19(9):1403-1414.
- [21] 吴晓丹,宋金明,李学刚,等. 海洋溢油油膜厚度影响因素理论模型的构建[J]. 海洋科学,2010,34(2):68-74. (WU Xiaodan, SONG Jiming, LI Xuegang, et al. Construction of theoretical model for thickness of marine oil spilled [J]. Marine Sciences,2010,34(2):68-74. (in Chinese))

(收稿日期:2014-04-11 编辑:彭桃英)

(上接第 85 页)

- [10] 宁旨文,朱闻博,李毅. 昔日“臭水沟”今日清水流 深圳福田河生态景观整治与提升[J]. 风景园林,2011 (4):38-41. (NING Zhiwen, ZHU Wenbo, LI Yi. From a ditch to a new clean river landscape renovation of Shenzhen Futian River[J]. Landscape Projects,2011(4): 38-41. (in Chinese))
- [11] 王铭. 南亚热带大型河流生态系统健康研究:以东江为例[D]. 广州:暨南大学,2013.
- [12] 海热提,王文兴. 生态环境评价、规划与管理[M]. 北京:中国环境科学出版社,2004.
- [13] T L 萨蒂. 层次分析方法:在资源分配、管理和冲突分析中的应用[M]. 北京:煤炭工业出版社,1986.
- [14] BARBOUR M T, GERRITSEN J, SNYDER B D, et al. Rapid bioassessment protocols for use in streams and wadeable rivers[R]. Washington D. C.: US EPA,1999.
- [15] GB3838—2002 地表水环境质量标准[S].
- [16] US EPA. Environmental monitoring and assessment of great river ecosystems (EMAP-GRE) [R]. Washington D. C.:US Environmental Protection Agency,2006.
- [17] 吴阿娜. 河流健康评价:理论、方法与实践[D]. 上海:华东师范大学,2008.
- [18] 蔡守华,胡欣. 河流健康的概念及指标体系和评价方法 [J]. 水利水电科技进展,2008,28(1):23-27. (CAI Shouhua, HU Xin. Concept of river health and index system for its evaluation [J]. Advances in Science and Technology of Water Resources,2008,28(1):23-27. (in Chinese))
- [19] 水利部水资源司. 河流健康评估指标、标准与方法(试点工作)[R]. 北京:水利部,2010.

(收稿日期:2014-01-23 编辑:高渭文)

(上接第 34 页)

- [7] KATHLEEN G R, PHILIP J. Changes in the value of ecosystem services along a rural-urban gradient: a case study of Greater Manchester, UK [J]. Landscape and Urban Planning,2013,109:117-127.
- [8] 钟春欣,张玮. 基于河道治理的生态修复[J]. 水利水电科技进展,2004,24(3):12-14. (ZHONG Chunxin, ZHANG Wei. Ecological restoration based on the river regulation[J]. Advances in Science and Technology of Water Resonrces,2004,24(3):12-14. (in Chinese))
- [9] MARK M P. A natural approach to watershed planning, restoration and management [J]. Water Science Technology,1999,39(12):347-352.
- [10] 董哲仁. 美国基西米河生态恢复工程的启示[J]. 水利水电技术,2004,35(9):8-12. (DONG Zheren. The enlightenment from the Kissimmee River ecological restoration project [J]. Water Resources and Hydropower Engineering,2004,35(9):8-12. (in Chinese))

(收稿日期:2014-12-01 编辑:彭桃英)

