

河流生态修复后评估研究进展

陈兴茹

(中国水利水电科学研究院水力学研究所, 北京 100038)

摘要: 河流生态修复活动正在世界范围内广泛开展,受生态系统内部结构的复杂性、非线性等因素制约,生态修复工程实施后的效果仍有待进一步确定。通过分析国内外河流生态修复后评估研究进展情况,总结了河流生态修复成功与否的判别标准及国内外开展的相关实践活动,指出国外的河流生态修复后评估工作主要集中在欧美国家,内容相对较详细;我国的河流生态修复后评估工作受河流生态修复研究和实践水平所限,仍处于初级阶段,应积极借鉴国外后评估工作的经验,推进我国河流生态修复工作的进一步深入。

关键词: 河流生态修复;后评估;综述

中图分类号: TV85 **文献标志码:** A **文章编号:** 1006-7647(2013)05-0089-06

Advances in post evaluation of river ecological restorations//CHEN Xingru(*Department of Hydraulics, China Institute of Water Resources and Hydropower Research, Beijing 100038, China*)

Abstract: Although river ecological restorations have been widely implemented around the world, the effects of ecological restoration projects still need to be further identified due to the complexity and nonlinearity within the internal structures of ecosystems. Based on the analysis of the domestic and overseas advances in post evaluations of river ecological restorations, the criteria for ecologically successful restorations and the related practices at home and abroad are given. Since the post evaluations of river ecological restorations are regularly carried out in the Europe and the United States, the contents are more detailed. Due to the limitation on the investigations and practices of the river ecological restorations, the post evaluation is still at the primary stage in China. Therefore, it is necessary to learn from the overseas experiences on post evaluations and further promote the implementation of river ecological restoration in China.

Key words: river ecological restoration; post evaluation; review

河流具有防洪排涝、供水、生态、环境、景观和文化等多重经济、社会功能。随着社会的进步和经济的快速发展,河流对城市发展和人居环境改善的重要性日益受到社会各界的关注,其整治活动正在国内外如火如荼地开展。大量的将河流修复为自然状态的工作已在进行,以重新恢复河流的生态系统服务功能^[1]。河流生态修复被定义为将河流恢复为近自然状态的过程^[14],因此河流生态修复已经成为很多国家水管理部门和河流管理者优先考虑的问题^[5-9],河流开发的负面影响也得到广泛认同^[10-11]。

当前的河流生态修复常采用试验的方法^[12],所采用的方法能否使工程达到预期目标经常无法验证。尽管健康河流的生态和社会效益受到越来越多的关注^[13],大量的资金用于河流生态修复^[14],但河流修复成功的标准尚未形成统一的意见。河流生态

修复项目评估工作的缺失使得河流生态修复手段的应用效果无从考证,从而丧失了认知河流生态系统修复过程及其干扰因子的宝贵机会^[15-16]。随着河流生态修复的蓬勃兴起,相关从业者急需从已实施的工程中获取经验教训,以指导未来河流生态修复设计工作。很多生态修复失败或者没有达到预期目标的工程表明,缺乏河流生态修复理念和知识保障是不能取得成功的^[17],而项目前、后的监测也十分重要^[18-21]。

目前我国的河流生态修复尚处于起步阶段,确切地说,我国的河流治理受从业人员的专业背景差异限制,导致治理效果大相径庭。河流生态修复缺乏统一的判断标准,修复效果无从判断,导致河流修复面临新的生态风险和巨大的资金浪费。为降低我国河流生态修复的风险,亟待制定适应我国河流生

态修复的判别标准,以避免由于从业人员专业背景差异、治理目标不同等而导致修复后的河流出现新的问题。由于我国目前河流生态修复后评估评价指标体系尚有待研究,在目前的研究阶段,广泛搜集国内外有关河流生态修复后评估资料,总结已有研究成果,对了解河流生态修复后评估研究进展、评价指标、评价标准及评价方法等内容及提高我国河流生态修复的效果、减少资金浪费等具有重要意义。

1 河流生态修复后评估国外研究进展

后评估(post-project appraisals, PPAs)可以覆盖项目过程的所有方面,如地貌、生物、社会等^[19]。Brookes 等^[20]指出当前的河流生态修复处于“干中学”的实践阶段。从某种程度上讲,这种实践经验可以通过在设计阶段对河道、洪泛区、流域进行系统、科学地总结而得到提升^[21],但也需要结合其他评估作为全部评估的内容。后评估通过系统地采集数据评估河流生态修复工程的有效性,来判断河流生态修复项目是否达到了预期目标,有助于判断投资的有效性,加深对河流动力学的理解,从而改进未来的设计工作^[20]。

笔者使用 Google 搜索引擎搜索关键词“post project appraisals on river restoration”,共得到约 113 000 条结果,表明国外在项目后评估方面已经开展了很多工作。纵观国外的研究成果,大体可以分为两类:一类是有关河流生态修复成功的判别标准、评估准则、评估指标等;另一类是有关河流生态修复后评估的具体实践,包括欧美等国家相继开展的针对项目目标的监测及项目实施前后效果的对比等。

1.1 河流生态修复成功的定义

关于河流生态修复成功的定义,比较有影响力、得到广泛认可的是学者 Palmer 给出的,他认为河流生态修复的成功可以表现在很多方面,如项目是否如期完成、是否在预算内;是否能够满足投资者的收益需求、美学需求、河流稳定需求等;是否使栖息地和生物链有所改善等,这些都可以作为河流生态修复成功与否的判别指标^[1]。Palmer 等^[1]建议,成功与否应该通过 3 方面进行评估:①利益相关方的成功,包括美感、经济效益、娱乐教育等功能的实现;②学习方面的成功,包括对科研的贡献、管理经验的积累以及改善修复、评估方法等;③生态修复的成功,包括实现修复目标,改善生态,达到系统自维持,没有对系统造成永久性破坏等^[1]。

1.2 河流生态修复成功判别标准

对已经实施生态修复的河流而言,到底达到什么样的结果,或者说项目实际结果与项目目标之间

的差距多大时,可认为河流生态修复达到了预期目标(修复是成功的),尚需进行定性界定和定量判定。

国外较早且有代表性的论文是 Kondolf 等发表的《Five elements for effective evaluation of stream restoration》^[19],其中提出测量河流生态修复成功的 5 个要素:明确的目标、完备的基础数据、优良的方案设计、生态可持续发展和愿意承担风险。Palmer 等^[1]提出了以下 5 个判别标准:①修复项目实施后的生态状况能够用于指导未来的生态修复工作;②河流的生态状况得到改善;③河流生态系统自维持能力更强;④修复工作开展后没有后续的危害;⑤项目前、后评估已经执行,一些有用的信息向公众公开。Jansson 等^[22]针对 Palmer 等提出的 5 个判别河流生态修复成功标准,提出了第 6 个标准,即在原有的判别标准基础上增加生态机理的描述和预测,同时为了验证这 6 个标准在实际中的适用性,将其应用于具体的河流生态修复案例。Woolsey 等^[23]提出了河流生态修复成功的评估标准,共包括 49 个指标,其中有 13 个指标主要是针对中小河流的,大多数指标跟生态相关,社会经济指标及其测量方法也有所涉及。河流生态修复成功与否主要通过对对比修复措施实施前后上述指标值的变化来确定。

1.3 河流生态修复后评估具体实践活动

河流生态修复已经成为美国及世界范围内河流整治工作的主要内容^[7,14]。美国国家河流生态修复科学联合体已经建立了包括 37 000 多个案例的数据库,这些修复项目的目标主要有 13 个,很多修复活动也都是为了达到这些目标^[7]。由于数据量不足,只有大约 10% 的项目实施了监测,修复方法分散,修复效果无从验证。

国外的河流生态修复后评估工作被广泛关注,很多学者相继开展了一系列工作,从学者所属国别看,美国相对较多。所做工作主要针对后评估对象的特点制定评价指标体系,通过开展长期的监测,判别河流生态修复成功与否。评估指标多集中在水文、水力学、水质、地貌、栖息地、娱乐价值等方面。

a. Woolsey 等^[23]以瑞士 Thur 河为案例,选择 7 个指标评价 5 个项目是否达到预期目标,项目在获取高娱乐价值的供应、侧向连通、垂向连通等方面是成功的,但是未能满足地貌和水力学变化、近自然动物群的丰富度和多样性等目标。这次评估结果有助于识别河流生态修复的潜在不足和差距。为了获得项目评估的敏感性信息,需要补充一系列其他的后评估指标。

b. Shields 等^[24]以密西西比西北部的 Hotophia

河生态修复工程为例,对其修复后的效果开展了长期监测,取得了修复前后河道内几个生态指标的变化情况,掌握了修复工作对河道生态的影响,这有助于总结经验教训,以便于改进今后的工作。

c. Alexander 等^[25] 从密歇根州、威斯康星州和俄亥俄州的 1345 个河流生态修复项目中选择 39 个作为评估对象,其目的是:①校验项目信息;②收集项目设计、执行及相关数据;③评估监测的程度;④评估修复成功与否及其影响因素,评估指标包括河道内栖息地改善、河道形状重塑、岸边带管理、水质改善 4 个方面。

d. Klein 等^[26] 对美国爱达荷州红河下游段生态修复进行了后评估,首先确定了长期监测评估计划的初始值,然后采用场地监测和水动力模型计算相结合的手段,定量化评估了 17 个物理和生物指标在修复工程实施前后的变化,验证了自然河道设计在河流生态系统恢复中的有效性。

e. Goetz 等^[27] 以 Provo 河生态修复为例,根据河流生态修复的目标,分别选择河道的水文、平面形态、横断面、纵向形态、栖息地分布等指标,对河道生态修复效果进行了后评估。

f. Buchanan 等^[28] 对 2005 年秋完成的位于纽约中部的河流生态修复项目进行了评估,指出了该修复项目的成功和不足之处,总体上,认为该项目达到了既定的目标,但未来仍有不确定性。从此次监测可以得到的教训为:①应保护脆弱的堤岸和滩地,保证植被有正常生长的空间;②应分析冲刷深度,将冲刷坑开挖至设计深度,以保证修复完工后的河道不被阻塞;③保证堤防稳定;④通过多个方法交叉验证修复设计效果,尤其是对于不稳定的砾石河床河流重点验证泥沙输移关系;⑤在项目完成后 3~5 a 对自然河道设计进行监测,以说明不确定性;⑥识别可测量的、指定目标的成功准则,保证结果评估的有效性。

一些后评估研究已经证明,通过系统地监测、评价河流生态修复前后河流环境状况,能够评估河流生态修复的有效性,并掌握河流生态修复方案的不足。如:澳大利亚河流因为直线化、人工建筑物的增加、深潭-浅滩栖息地的变化等因素,空间异质性有所降低,生物量有所减少,但修复 3 a 后鱼类群落显著增加^[17];美国印第安纳州对渠道化的河流进行蜿蜒化改造后,生物栖息地的质量和物种的丰富度有所增加^[29-30];密西西比河恢复了岸边带植被、砂岩河床等,使基流流量和冲刷坑深度有所增加,并使栖息地深潭、植被覆盖面积增加,鱼类的恢复也强有力地说明河流生态状况得到很大程度改善^[20]。

2 河流生态修复后评估国内研究进展

我国当前的河流生态修复工作总体上处于起步阶段,尤其是城市河流,工作范围基本是以改善水质、营造景观等为主要目标的部分河段的整治,缺乏从流域或区域乃至整条河流综合考虑水系的降水、产汇流、用水、排水等诸多水循环变化的思想,类似国外开展的融河流形态重塑、岸线规划利用、水质、岸边带、栖息地、景观等于一体的流域尺度的生态修复工作尚待深入开展。尽管一些大江大河已开始尝试采用生态工程修复水体,但受水文、水质、渔业等资料分散(归属不同部门)或资料缺乏的限制,与国外的生态修复水平尚有差距,今后仍需重视资料的积累,进一步掌握生态系统与水文情势变化的内部关联,提高河流生态修复的效果。

有关河流生态修复后评估或城市河段水质、景观整治后评估工作开展较少,这些工作的主要内容为河流整治后对周围土地升值及房地产、商业的推动效应,对生态环境方面的评估尚比较简单,水质方面评价较多,对水生生态系统的变化监测和评价较少,无法为河流生态修复技术和方法提供反馈信息。

近年来我国学者也相继开展了有关城市河流景观整治、生态修复后评估的研究工作,大体可分为以下几类:

2.1 河流生态修复评估的准则、方法

孙东亚等^[31] 提出了包括生态状况、水利功能、管理机制和监测评估等方面的 7 项综合评估准则;刘芳等^[32] 采用层次分析法对城市河流生态修复进行了后评估;赵进勇等^[33] 提出了河流生态修复负反馈调节规划设计方法,是一种针对大量不确定性因素的适应性方法,力图在复杂多变的形势下处理和解决河流生态修复规划、设计和实施过程的决策方法问题。负反馈调节规划设计过程是按照“规划-设计-执行(包括管理)-监测-评估-调整”这样一种模式以反复循环的方式进行的,其目的是以累积形式,不断缩小河流生态系统现状与修复目标之间的差距,应用于河流生态修复立项、规划、设计、施工和后评估的全过程。

2.2 河流整治的投入产出分析

吕永鹏等^[34] 以上海市长宁区的河流生态修复为案例,通过后评估等手段测算其修复后的环境价值,分析其投入产出,研究结果表明生态修复后的城市河流环境价值增值显著,河流沿线居民和企业是最大的经济受益者;李传奇等^[35] 研究了河流生态修复成本效益分析框架,也是河流生态修复后评估工作的一种形式;吴阿娜等^[36] 以上海市张家浜城市河

道整治为案例,通过资料收集、现场实测、问卷调查和条件价值评估等方法,分别对该河道整治后的生态效益和社会经济效益进行了评估,认为张家浜河道整治不但改善了河道水质、水生生物群落、沿岸植物群落以及景观生态,而且使周边公众的环保意识和参与意识得到很大的提高,以房地产价格调查为手段的经济效益评估显示张家浜河道综合整治对周边房产增值起到一定的推动作用,同时条件价值评估结果也表明整治后的张家浜河道具有较高的生态系统服务价值。

2.3 河流生态修复效果公众调查

陈兴茹等^[37-39]对北京转河、菖蒲河等几条城市河道的整治效果开展了公众问卷调查,问卷内容包括感官效果、投资意愿、对河道整治的需求等方面,调查人群涵盖了各个行业的从业者,年龄分布也考虑了儿童、青年、中老年人群,并考虑性别比例均衡,获得了宝贵的调查结果,有助于河道整治者进一步吸收公众对河道整治的诉求,并从公众对河道整治后的评判中获得宝贵的改进信息。

2.4 项目修复后的生态调查与评估

苏州太湖国家旅游度假区生态湿地恢复一期项目于2003年启动,总投资2 221.02万元,由苏州太湖国家旅游度假区财政拨款。项目于2006年完成,建成了约55 hm²以芦苇为主的太湖湖滨湿地植被带,对推动环太湖湿地恢复发挥了积极的示范带头作用。为了对项目进行全面的总结分析,也为今后同类项目提供经验,苏州太湖国家旅游度假区管理委员会提出对一期工程进行绩效评估,委托江苏省工程咨询中心、中科院地理与湖泊研究所开展该项工作。评估报告客观评价了项目实施过程和结果,全面总结了工程在设计、建设和管理中的经验,并针对湿地恢复项目的特点,深入分析了项目实施后建成的湿地的生态、社会和经济效益^[40]。

2003年后,无锡市采取了一系列措施对五里湖进行生态修复。2006年无锡市被水利部列为全国第一批水生生态系统保护与修复试点城市。通过太湖局水文水资源监测局实测数据和历史数据的比较分析,对五里湖水生生态系统修复的总体效果进行了评估,认为经过几年的治理,五里湖水体质量得到明显改善,由中度富营养化转变为轻度富营养化,藻类数量有所降低,浮游动物种类数上升,清洁水体指示种出现,沉水植物物种较丰富且覆盖率较高,鱼类、鸟类数量和种类不断增加;五里湖水生生物群落结构稳定性有所提高,水生态修复效果良好。

2009年长江水利委员会水工程生态研究所承担的“河流生态修复及适应性管理决策支持关键技

术研究——生物评估部分”全面启动,表明我国的河流生态修复后评估开始注重理论研究,其成果能够为河流生态修复前期工作提供反馈。

黄河三角洲生态调水暨刁口河流路恢复过水试验生态效果评估通过野外调查,完成了生态本底调查、生态调水水环境实时监测以及河口近海水域生态环境与水生生物监测等现场调查工作,为刁口河流路恢复过水试验顺利开展及生态调水效果的科学评估提供了重要基础。

2.5 河流生态系统评价指标

王华^[41]论述了河流生态系统的特点、结构和功能,并在系统总结国内外河流生态恢复及评价的相关理论和方法的基础上,结合黄浦江、苏州河的退化现状和环境特征,构建了包含河流水质理化特征、河流生物特征以及河流生境特征3个一级指标和17个二级指标在内的一整套系统、完整且操作性强的河流生态系统恢复评价指标体系,确立了五级的评价等级,并根据实地采样数据,分析了黄浦江、苏州河现状,制定了相应的恢复目标,完成了黄浦江、苏州河生态恢复综合评价工作。

王秀英等^[42]以退化的城市河流为研究对象,针对城市河流的实际情况,确定了河流的生态恢复目标,并在已有成果的基础上,研究了城市不透水表面比率对河流生态的影响,构建了退化的城市河流生态恢复能力评价指标体系,为制定具体的河流恢复目标及选择相应措施提供了重要依据。

3 结 论

a. 国外河流生态修复后评估研究较细。国外的河流生态修复后评估工作主要集中在欧美国家,内容相对较详细,无论从评估的理论框架、评估内容、评估指标、量化方法、判别等级指标等内容上均有所研究,并且也已经针对很多河流生态修复项目开展了后评估工作,获得了研究对象的生态修复是否达到了预期目标、生态修复工作开展前后各项生态指标的变化等信息,取得了大量的宝贵经验,这反过来有助于河流生态修复工作的改进,有利于推动该领域理论、技术、方法体系的完善。

b. 我国的河流生态修复后评估仍有待进一步深入。受河流生态修复研究和实践水平所限,我国的河流生态修复后评估工作仍处于初级阶段。不同国家不同的河流生态状况、河流特点、人水关系等因素决定了河流生态修复后评估的内容不同,我国的河流生态修复相关从业者应在积极借鉴国外后评估工作的基础上,结合我国的特点大力开展生态调查、指标制定等工作,开展长期监测活动,积累数据,推

进我国河流生态修复工作的进一步深入。

c. 国外的后评估技术和方法领先于我国。我国生态修复工作开展较晚,河流生态修复主要集中在城市河流的景观整治方面,大多以改善城市景观和人居环境质量为主要目标,即使开展后评估工作,也多集中在水质及经济效益带动等方面,研究方法多以资料收集、公众问卷调查为主。大尺度的河流生态修复工作尽管在我国相继开展,但考虑多个生态监测指标的后评估工作仍有待深入开展。

参考文献:

[1] PALMER M A, BERNHARDT E S, ALLAN J D, et al. Standards for ecologically successful river restoration[J]. Journal of Applied Ecology, 2005, 42(2): 208-217.

[2] BRADSHAW A D. Underlying principles of restoration, Canadian[J]. Journal of Fisheries and Aquatic Science, 1996, 53: 3-9.

[3] RONI P. Monitoring stream and watershed restoration [R]. Bethesda, Maryland: American Fisheries Society, 2005.

[4] RONI P, HANSON K, BEECHIE T, et al. Habitat rehabilitation for inland fisheries: global review of effectiveness and guidance for rehabilitation of freshwater ecosystems (FAO Fisheries Technical Paper, No. 484) [R]. Rome: FAO, 2005.

[5] NIENHUIS P H, LEUVEN R S E W. River restoration and flood protection: controversy or synergism? [J] Hydrobiologia, 2001, 444: 85-99.

[6] HOLL K D, KRONE E E, SCHULTZ C B. Landscape restoration: Moving from generalities to methodologies [J]. BioScience, 2003, 53: 491-502.

[7] BERNHARDT E S, PALMER M A, ALLAN J D, et al. Synthesizing U. S. river restoration efforts[J]. Science, 2005, 308: 636-637.

[8] YOSHIMURA C, OMURA T, FUMURAI H, TOCKNER K. Present state of rivers and streams in Japan[J]. River Research and Application, 2005, 21: 93-112.

[9] NAKAMURA K, TOCKNER K, AMANO K. River and wetland restoration: lessons from Japan[J]. BioScience, 2006, 56: 419-429.

[10] MAQMQVIST B, RUNDLE S. Threats to running water ecosystems of the world[J]. Environmental Conservation, 2002, 29(2): 134-153.

[11] TOCKNER K, STANFORD J A. Riverine floodplains: present state and future trend [J]. Environmental Conservation, 2002, 29: 308-330.

[12] DOWNS P W, KONDOLF G M. Post project appraisals in adaptive management of river channel restoration [J]. Environmental Management, 2002, 29: 477-496.

[13] POSTEL S, RICHTER B. Rivers for life: managing water for people and nature [M]. Washington. D. C. : Island Press, 2003.

[14] MALAKOFF D. The river doctor [J]. Science, 2004, 305: 937-939.

[15] KONDOLF G M. Lessons learned from river restoration projects in California [J]. Aquatic Conservation: Marine and Freshwater Ecosystems, 1998(8) : 39-52.

[16] LAKE P S. On the maturing of restoration: linking ecological research and restoration [J]. Ecological Management and Restoration, 2001(2) : 110-115.

[17] DOWNS P W. Post project appraisals in adaptive management of river channel restoration [J]. Environ Manage, 2002, 29(4) : 477-96.

[18] JUNGWIRTH M, MUHAR S, SCHMUTZ S. Reestablishing and assessing ecological integrity in riverine landscapes [J]. Freshwater Biology, 2002, 47: 867-887.

[19] KONDOLF G M. Five elements for effective evaluation of stream restoration [J]. Restoration Ecology, 1995 (3) : 133-136.

[20] BROOKES A, SHIELDS D. River channel restoration [M]. Chichester: John Wiley, 1996.

[21] KONDOLF G M, DOWNS P. Catchment approach to channel restoration [C]//BROOKES A, SHIELDS D. River Channel Restoration. Chichester: John Wiley, 1996: 129-148.

[22] JANSSON R, BACKX H, BOULTON A J, et al. Stating mechanisms and refining criteria for ecologically successful river restoration: a comment on Palmer et al [J]. Journal of Applied Ecology, 2005, 42: 218-222.

[23] WOOLSEY S, CAPELLI E, GONSER T, et al. A strategy to assess river restoration success [J]. Freshwater Biology, 2007, 52: 752-769.

[24] SHIELDS F D, KNIGHT J S. Ten years after: stream habitat restoration project in retrospect [C]//Proceedings, World Water & Environmental Resources Congress, June 23-26, 2003, Philadelphia, PA. Reston, VA: American Society of Civil Engineers, 2003: 38-50.

[25] ALEXANDER G G, ALLAN J D. Ecological success in stream restoration: case studies from the midwestern united states [J]. Environmental Management, 2007, 40(2) : 245-255.

[26] LINDA R. KLEIN, STEPHEN R. CLAYTON, et al. Long-term moitinging and evaluation of the Lower Red River meadow restoration project [J]. Restoration Ecology, 2007, 15(2) : 223-239.

[27] GOETZ R R, SCHMIDT J C, ERWIN S, GOSEFF M N. A conceptual framework for post project assessment applied to the Provo River restoration project [DB/OL]. [2012-10-19]. <http://adsabs.harvard.edu/abs/2007AGUFM.H31J..07G>.

- [28] BUCHANAN B P, WALTER M T, NAGLE G N, et al. Monitoring and assessment of a river restoration project in central New York[J]. River Research and Applications, 2012, 28(2): 216-233.
 - [29] MOERKE A H, GERARD K J, LATIMORE J A, et al. Restoration of an Indiana, USA, stream: bridging the gap between basic and applied lotic ecology[J]. Journal of the North American Benthological Society, 2004, 23: 647-660.
 - [30] MOERKE A H, LAMBERTI G A. Restoring stream ecosystems: lessons from a midwestern state [J]. Restoration Ecology, 2004, 12(3): 327-334.
 - [31] 孙东亚, 赵进勇, 董哲仁. 河流生态修复工程的评估准则[C]//水利部国际合作与科技司. 河流生态修复技术研讨会论文集. 北京: 中国水利水电出版社, 2005: 45-51.
 - [32] 刘芳, 周李. 我国城市河流基于层次分析法的生态修复评估[J]. 科技资讯, 2010(34): 104. (LIU Fang, ZHOU Li. Ecological restoration evaluation on urban river based on analytic hierarchy [J]. Science Information, 2010(34): 104. (in Chinese))
 - [33] 赵进勇, 董哲仁, 孙东亚, 等. 河流生态修复负反馈调节规划设计方法[J]. 水利水电技术, 2010, 41(9): 1-9. (ZHAO Jinyong, DONG Zheren, SUN Dongya, et al. River restoration planning and design method following negative feedback[J]. Water Resources and Hydropower Engineering, 2010, 41(9): 1-9. (in Chinese))
 - [34] 吕永鹏, 徐启新, 杨凯, 等. 城市河流生态修复的环境价值及实现机制[J]. 水利学报, 2010, 41(3): 278-285. (LÜ Yongpeng, XU Qixin, YANG Kai, et al. Environmental value of urban river eco-restoration and its realization mechanism [J]. Journal of Hydraulic Engineering, 2010, 41(3): 278-285. (in Chinese))
 - [35] 李传奇, 王薇. 河流生态修复成本效益分析研究[J]. 人民长江, 2008, 39(5): 55-57. (LI Chuanqi, WANG Wei. Cost and benefits analysis on river restoration [J]. Yangtze River, 2008, 39(5): 55-57. (in Chinese))
 - [36] 吴阿娜, 车越, 杨凯, 等. 城市内河综合整治效益的后评估方法及实证[J]. 水利学报, 2005, 36(9): 1088-1093. (WU Anuo, CHE Yue, YANG Kai, et al. Method for post evaluation of urban river regulation and case study[J]. Journal of Hydraulic Engineering, 2005, 36(9): 1088-1093. (in Chinese))
 - [37] 陈兴茹, 梁洪华, 白音包力皋, 等. 基于公众调查的水边空间环境整治后效分析: 以转河为例[J]. 水利水电技术, 2010, 41(3): 9-12. (CHEN Xingru, LIANG Honghua, BAIYINBAOLIGAO, et al. Analysis on aftereffect of improvement on spatial environment of buffer zone based on public investigation: a case study on Zhuanhe River [J]. Water Resources and Hydropower Engineering, 2010, 41(3): 9-12. (in Chinese))
 - [38] 陈兴茹, 梁洪华, 白音包力皋, 等. 基于公众调查的菖蒲河滨水空间环境整治后效分析[J]. 水利水电科技进展, 2010, 30(增刊1): 24-27. (CHEN Xingru, LIANG Honghua, BAIYINBAOLIGAO, et al. Post-evaluation of Changpu River regulation based on public investigation [J]. Advances in Science and Technology of Water Resources, 2010, 30(Sup1): 24-27. (in Chinese))
 - [39] 陈兴茹, 王兴勇, 赵东亮, 等. 基于公众调查的北京元大都遗址公园水环境整治后效分析[J]. 天津大学学报, 2008, 41(增刊1): 66-70. (CHEN Xingru, WANG Xingyong, ZHAO Dongliang, et al. Study on the aftereffect of Beijing Yuandadu Relic Park's water-environment improvement based on public survey [J]. Journal of Tianjin University, 2008, 41(Sup1): 66-70. (in Chinese))
 - [40] 江苏省林业局. 江苏省开展苏州太湖国家旅游度假区生态湿地恢复一期项目后评价[EB/OL]. [2010-01-05]. <http://www.forestry.gov.cn/portal/main/s/02/content-218996.html>.
 - [41] 王华. 河流生态系统恢复评价方法及指标体系研究: 以黄浦江、苏州河为例[D]. 上海: 华东师范大学, 2006.
 - [42] 王秀英, 王东胜, 梁洪华. 城市河流生态恢复能力评价指标[J]. 武汉大学学报: 工学版, 2011, 44(6): 691-695. (WANG Xiuying, WANG Dongsheng, LIANG Honghua. Assessment of ecological restoration capacity of urban river[J]. Engineering Journal of Wuhan University [J]. 2011, 44(6): 691-695. (in Chinese))
- (收稿日期: 2012-11-09 编辑: 熊水斌)
- + + + + +
- (上接第 37 页)
- [11] 刘春晶, 李丹勋, 王兴奎. 明渠均匀流的摩阻流速及流速分布[J]. 水利学报, 2005, 36(8): 950-955. (LIU Chunjing, LI Danxun, WANG Xingkui. Experimental study on friction velocity and velocity profile of open channel flow[J]. Journal of Hydraulic Engineering, 2005, 36(8): 950-955. (in Chinese))
 - [12] WANG X Y, YANG Q Y, LU W Z, et al. Experimental study of near-wall turbulent characteristics in an open-channel with gravel bed using an acoustic Doppler velocimeter[J]. Experiments in Fluids, 2012(52): 85-94.
 - [13] NEZU I, NAKAGAWA H. Turbulence in open channel flows [M]. Rotterdam, Netherlands: A. A. Balkema Publishers, 1993.
- (收稿日期: 2012-10-08 编辑: 熊水斌)