

吴建寨, 赵桂慎, 刘俊国, 等. 2011. 生态修复目标导向的河流生态功能分区初探[J]. 环境科学学报, 31(9): 1843-1850

Wu J Z, Zhao G S, Liu J G, et al. 2011. River eco-regionalization oriented by ecological restoration[J]. Acta Scientiae Circumstantiae, 31(9): 1843-1850

生态修复目标导向的河流生态功能分区初探

吴建寨¹, 赵桂慎^{2,*}, 刘俊国³, 姜广辉⁴, 彭涛⁵, 刘旭⁶

1. 中国农业科学院农业信息研究所, 农业部智能化农业预警技术重点开放实验室, 北京 100081
2. 中国农业大学资源与环境学院, 北京 100193
3. 北京林业大学自然保护区学院, 北京 100083
4. 北京师范大学资源学院, 北京 100875
5. 中国科协发展研究中心, 北京 100045
6. 厦门大学海洋与环境学院, 厦门 361005

收稿日期: 2010-12-01 修回日期: 2011-03-21 录用日期: 2011-04-18

摘要: 经济社会的快速发展不可避免的对河流生态系统造成了损伤, 如何使受损河流生态系统恢复到健康状态已经成为当前亟待解决的重要环境问题之一。河流修复生态功能分区是对河流进行适应性生态修复的必要前提和基础, 可为制定生态修复目标提供科学依据。本研究在已有分区体系基础上, 依据生态功能分区的理论, 对河流修复生态功能分区的内涵进行了辨析, 从理论上对分区方法进行了探讨, 并以永定河(北京段)为例进行了实证研究, 提出了永定河(北京段)河流修复生态功能分区方案, 最终结果划分6个区域; 并结合区域社会经济发展状况和相关发展规划等因素, 提出各区段的生态修复调控指标, 为永定河(北京段)生态修复提供科学指导。

关键词: 河流; 生态修复; 功能分区

文章编号: 0253-2468(2011)09-1843-08

中图分类号: X171

文献标识码: A

River eco-regionalization oriented by ecological restoration

WU Jianzhai¹, ZHAO Guishen^{2,*}, LIU Junguo³, JIANG Guanghui⁴, PENG Tao⁵, LIU Xu⁶

1. Agricultural Information Institute, the Chinese Academy of Agricultural Sciences, the Key Laboratory of Digital Agricultural Early-Warning Technology, Ministry of Agriculture, Beijing 100081
2. College of Resources and Environmental Sciences, China Agricultural University, Beijing 100193
3. School of Nature Conservation, Beijing Forestry University, Beijing 100083
4. College of Resource Science and Technology, Beijing Normal University, Beijing 100875
5. Development Research Center of China Association for Science and Technology, Beijing 100045
6. College of Oceanography and Environmental Science, Xiamen University, Xiamen 361005

Received 1 December 2010;

received in revised form 21 March 2011;

accepted 18 April 2011

Abstract: Rapid socio-economic development would inevitably result in the damage of the river ecosystem at present and how to restore damaged river ecosystems to health status has become one of the important environmental issues urgent to be solved. Function zoning is the prerequisite for adaptive restoration, which could provide the scientific basis for the ecological restoration goal. In this work, function zoning of river was firstly compared with the main ecological regionalization, for both advantages and shortcomings. Based on the theories of ecological function regionalization, the conception of river restoration and eco-regionalization was discussed and the approach of eco-regionalization was studied theoretically. The Yongding River (Beijing segment) was selected as a study case and ecological function zoning including six river reaches was developed. The regulation index for ecological restoration of each reach was also proposed, which focused on ecological restoration of Yongding river in Beijing.

Keywords: river; ecological restoration; ecoregionalization

基金项目: 北京市科学技术委员会“永定河生态修复目标体系研究”项目(No. D090409004009003); 国家自然科学基金(No. 41001108); 山东省自然科学基金(No. ZR2009DL011); 北京市生态学重点学科项目

Supported by the Project of Study on Target System of Ecological Restoration in Yongding River (No. D090409004009003), the National Natural Science Foundation of China (No. 41001108), the Shandong Natural Science Foundation (No. ZR2009DL011) and the Program of the Key Ecology Discipline of Beijing Municipality

作者简介: 吴建寨(1979—), 男, 博士, E-mail: sdauwjz@126.com; * 通讯作者(责任作者), E-mail: zhgsh@cau.edu.cn

Biography: WU Jianzhai (1979—), male, Ph. D., E-mail: sdauwjz@126.com; * Corresponding author, E-mail: zhgsh@cau.edu.cn

1 引言(Introduction)

河流系统是自然界最重要的生态系统之一,是人类文明的重要孕育地. 随着社会生产力的不断发展,人类日益加剧的改造活动在提高了河流为社会经济发展贡献程度的同时,不可避免地对原有自然生态系统造成了扰动. 目前,河流尤其是城市河流的地表水及地下水超采、水质污染严重. 据全国2222个监测站统计,在138个城市河段中,符合Ⅱ、Ⅲ类水质标准的仅占23%,超过Ⅴ类水质的占到38%,全国80%以上的城市河流受到污染(潘杰,2009);水资源的紧缺使得河道生态环境遭到破坏,尤其是城市河流及其两岸的生物多样性下降显著,生态系统退化严重(张远等,2005).

随着居民对生活质量要求的日益提高,河流生态修复逐渐得到重视. 如何改善河流生态环境、重塑优美河道景观、恢复河流生态系统健康状态已经成为亟待解决的重要环境问题之一. 河流生态修复是指通过适度人工干预,促进河流生态系统恢复到较为自然状态的过程,在这种状态下河流生态系统具有可持续性,并可提高生态系统价值和生物多样性(董哲仁,2006). 20世纪末以来,我国诸多城市已经或正在进行大规模的城市河流生态修复(吴阿娜等,2005).

河流生态修复应将所涉及区域内各部分作为一个整体进行系统考虑,综合规划,提出一套完善的实施方案和步骤. 不同河段的生态系统存在不同生态环境问题及对于城市发展功能定位不同,导致修复目标存在差异,如对于开发过度、污染问题突出地区,需要优先恢复其自净功能;对于重要生态功能区,则优先保证生态功能的实现,并且当各项功能不能同时满足时,需要考虑功能重要性次序;另外,不同河段可能在河道比降、河道断面和平面形态等自然条件上存在不同,所以针对不同问题或不同河段的同一问题,需制定不同的修复方案. 因此,生态功能分区成为科学进行河流修复的客观需求. 需要在确立河流修复总体目标的前提下,设置不同分区河段的控制目标. 在此基础上,才可以进一步从生态系统健康的角度实现“分区、分级、分类、分期”管理(高永年等,2010),建立适宜不同河段的修复方案,实现局部细化与整体控制结合,以达到满意的修复效果(倪晋仁等,2006).

2 相关概念辨析(Discrimination of related concepts)

自“生态区”概念(Crowly,1967)提出以来,相关学者开展了诸多研究,与本文相关的主要包括水生生态分区、生态水文分区、水功能区划、水环境分区、生态功能分区等.

水生生态分区以流域内不同尺度的水生生态系统及其影响因素为研究对象,其目的是反映流域水生生态系统在不同空间尺度下的分布格局. 国内研究主要包括对典型流域(孟伟等,2010)、湖泊(Zhou *et al.*,2008)进行的水生生态分区;另有研究者从大、中、小3个尺度上对分区指标体系进行了探索(孙小银等,2010). 水生生态分区是以流域为对象,综合考虑多种因素,以促进流域水生生态系统管理为目标,力图反映水生生态系统的基本特征.

河流生态水文分区是基于河流生态环境需水量研究的需要而提出的(尹民等,2005). 它重在揭示不同区域内水文现象的形成、分布和变化规律,反映河川径流资源分布的特点. 目前已开展的主要是大尺度研究,如以全国河流系统(杨爱民等,2008)和黄河流域(蔡燕等,2010)为对象的水文分区.

水功能区划根据人类对水域的水功能需求和水质等划分水域(中华人民共和国水利部,2002),以满足水资源合理开发和有效保护的需求,将水域划分为自然保护区、饮用水水源保护区、渔业用水区、工农业用水区、景观娱乐用水区,以及混合区、过渡区等不同功能的区域,用于水体环境的评价与管理.

水环境功能区划亦是將流域划分为多个水资源利用区,但与水功能区划相比,更加侧重考虑环境容量. 目前开展的研究主要是以流域为研究对象(侯国祥等,2004;阳平坚等,2007).

生态功能分区是依据生态系统特征、受胁迫过程与效应、生态服务功能重要性及生态环境敏感性等分异规律而进行的地理空间分区(贾良清等,2005). 其本质就是生态系统服务功能区划,主要目的是为维护区域生态系统服务功能,进行区域生态修复与环境管理提供地理空间上的框架(陶星名,2004). 目前已开展的研究主要包括省域(贾良清等,2005)、城市(王伟等,2005)、县域(陈加兵等,2006)生态功能区划以及具体自然要素生态功能分区,如湖泊(王志宪等,2004)、生态河岸带(夏继红

等 2007) 功能分区等。

相关分区研究各有侧重方向与对应应用领域, 虽然可以对河流修复提供参考, 但无法作为具体依据, 无法实现河流修复目标的分区控制。本文拟根据生态功能区划的原理, 以永定河(北京段)生态修复为案例, 对河流修复生态功能分区的原则、方法、目标等进行初步研究, 以期为永定河生态修复提供科学依据, 亦是对河流修复生态功能分区技术与方法的探索。

3 河流修复生态功能分区的内涵(Connotation of river restoration ecoregionalization)

河流修复生态功能分区是基于河流修复适应性管理的需要, 以河流主河道为研究对象, 根据生态功能分区的理论与方法, 借助地理信息系统和遥感的相关空间分析功能, 对河流修复的自然、社会经济影响因素进行整合与划分, 依据其空间分异性而进行的空间分区。它以为河道分段生态修复提供科学参考为目标, 后期修复工程将依据分区方案建立不同的修复目标体系与阈值, 是进行河流修复的科学依据与前提。

河流修复生态功能分区与生态功能分区、水生态分区、水功能分区、水环境分区等其他自然地理分区存在联系的同时, 又在研究对象、研究目标、应用领域方面存在着不同。它的研究对象是河流主河道, 不同于其他分区的流域或区域; 它以为实现河流修复过程中的分区控制提供依据、科学指导河流生态修复为总体目标, 具体目标包括: ①明确流域生态系统类型的结构及空间分布; ②明确河段主要生态环境问题及空间分异; ③确定生态环境敏感性生态功能重要性分布; ④提供河道生态功能区划, 明确各河段生态修复的方向与调控指标。

4 河流修复生态功能分区的研究方法(Study method of river restoration ecoregionalization)

4.1 分区原则

在河流修复生态功能分区中将遵循以下原则: ①全面规划、统筹兼顾原则; ②突出河流功能体系的整体协调原则; ③综合性与主导性原则; ④河流(河段)完整性与区域共扼性原则; ⑤防洪与生态景观优美、农作物经济利益获取的协调原则; ⑥可持续发展与前瞻性原则。

4.2 分区方法

河流修复生态功能分区应在充分认识河流生

态系统结构、功能及其形成演变规律的基础上, 以可持续发展理念与河流修复理论为指导, 通过对区域社会-经济-自然复合生态系统的综合调研分析, 结合河流生态功能、景观、防洪等多元化用途与不同河段的基本功能定位, 参考区域经济社会发展状况及其发展规划, 确定不同河段的功能分区。具体而言, 就是利用 GIS 与 RS 平台, 确定不同因素在河道的区划界点; 通过空间叠加, 得到河道分区的所有可能界点; 再通过实地调研, 最终确定河道分区分界点(图 1)。河道分区的可能界点主要包括相关规划界点、生态界点、实地调研界点等。

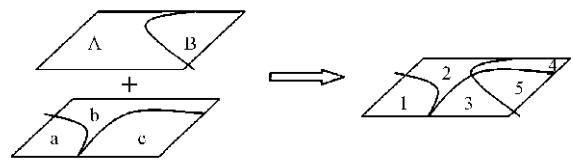


图 1 生态功能分区方法示意图

Fig. 1 Schematic diagram of ecological function regionalization

4.2.1 相关规划界点 河流两岸的区域规划与河流专项规划中一般明确了社会对于整条河流及不同河段的开发、利用、保护的侧重点, 明确了河流量、水质、防洪、景观建设方面的目标要求, 是联系区域社会经济发展与河道开发利用的最紧密纽带, 其对于河流的整体与分段功能定位是河道修复必须参考的重要依据。可参考规划包括区域社会经济发展规划、生态规划等。

4.2.2 生态界点 生态界点包括生态敏感性界点与生态服务功能界点。生态敏感性界点主要是体现区域生态要素的空间差异性, 包括水量、水质、水土流失、生物多样性等方面, 在具体工作中, 可根据实际情况选择主导因素。维护与增强生态系统服务功能是生态修复的重要目标, 河流修复生态功能分区必须考虑生态服务功能的空间差异, 进行生态功能重要性评价, 确定生态服务功能界点, 包括生物多样性保护、水源涵养、土壤保持、净化环境、娱乐休闲等方面。

4.2.3 实地调研界点 实地调研是获得区域自然生态、社会人文现状的最佳途径, 是对于通过文献、RS 技术等获取资料的重要补充。通过调研可获得河流量、城市排污水质、河道植被、旅游景点、休闲防洪建设、河道深度、河岸宽度、建筑工程阻隔等情况的第一手资料, 根据各因素空间差异, 利用 GPS 对于河道及周围因素的关键点进行了定位, 并拍照

记录实地状况 确定实地调研界点.

5 实证研究(Empirical study)

5.1 研究区概况

永定河是全国四大重点防洪江河之一,北京段从幽州入境至梁各庄出境,长约170km. 20世纪80年代以来,由于北京水资源紧缺以及社会经济发展导致城市排污量的增加,使得永定河北京段水资源受到污染,河道生态环境退化严重,生态系统十分脆弱. 永定河生态修复已经提上了议事日程,即将大规模展开的永定河生态修复将成为我国生态修复建设的标杆性工程. 科学合理的进行河流修复生态功能分区,确定不同河段的修复目标,对于永定河生态修复的顺利开展具有重要意义.

5.2 界点确定

5.2.1 规划界点 在永定河流域修复生态功能分区中,主要参考了《北京市永定河综合规划报告(2005年)》与《永定河绿色生态走廊建设规划(2009年)》两个专项规划.

在《北京市永定河综合规划报告(2005年)》中,为充分发挥永定河生态河道的积极作用,以三家店、黄良铁路为分界点,把永定河北京流域河道分为三段:官厅山峡段河道、三家店至黄良铁路段河道、黄良铁路至梁各庄段河道(图2). 在2009年7月28日北京市政府通过的《永定河绿色生态走廊

建设规划(2009年)》中的“河道概述”部分,将永定河北京段河道分为官厅山峡段(从幽州入境至三家店拦河闸)、平原城市段(从三家店拦河闸至南六环路)、平原郊野段(从南六环路至梁各庄出境)(图3). 涉及到三家店拦河闸、南六环两个界点. 这两个重要规划中的三家店、黄良铁路、南六环3个节点作为本次功能分区的重要参考.

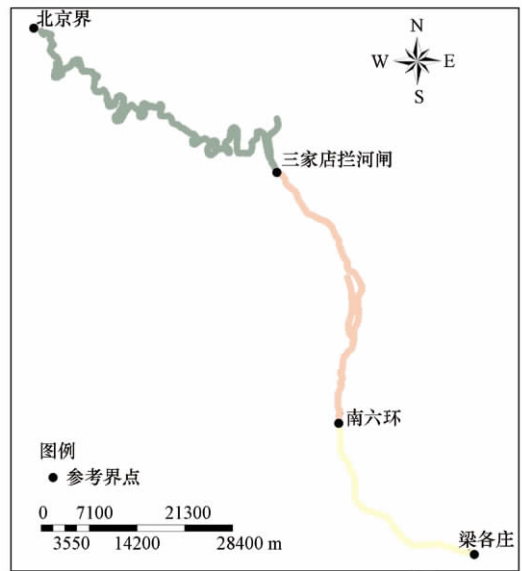


图3 《永定河绿色生态走廊建设规划(2009年)》参考界点
Fig. 3 Reference dividing point of “Green corridor construction planning of Yongding River in Beijing (2009)”

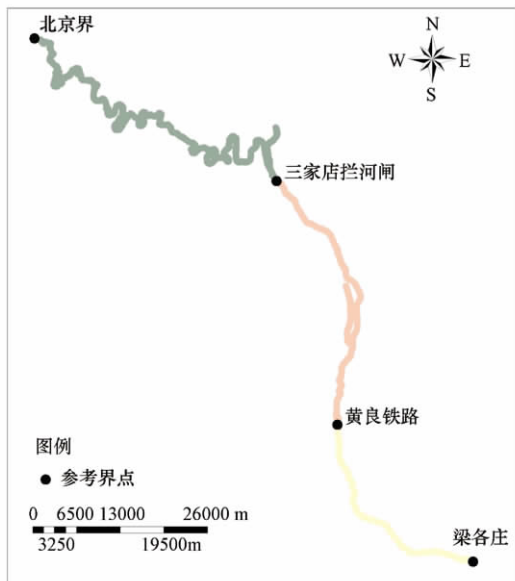


图2 《北京市永定河综合规划报告(2005年)》参考界点
Fig. 2 Reference dividing point of “Comprehensive Planning of Yongding River in Beijing (2005)”

5.2.2 生态界点 永定河水质污染与三家店拦河闸以下断流是造成区域生态退化的关键因素. 上游水质污染造成生态恶化,进而导致水土流失、生物多样性降低等生态问题;三家店拦河闸以下断水造成了河床沙化、植被退化,并且使得河道景观不断变化,生态格局极不稳定,水量分界点明确为三家店拦河闸. 依据1998年市政府批复的《北京市地面水环境质量功能区划》与2006年《北京市环境保护局关于〈北京市地面水环境质量功能区划〉进行部分调整的通知》,以及课题组在永定河干流官厅水库(渔民岛)至卢沟桥段进行了平水期的现场采样调查. 分析结果显示,以《地表水环境质量标准》(GB3838—2002)依据,沿程水质类别均未达标,其中向阳口、青白口和雁翅三点为劣V类水质,落坡岭和卢沟桥为V类,其余三家店、沿河城、河北界点为IV类. 以这8个点的水质数据为基础进行空间插值处理,具体是首先同时采用了反距离加权法与克里格法进行插值,后采用交叉验证法来验证插值的

效果,发现克立格法优于反距离加权法,具有较高的精度,最终结果采用克立格法进行插值,得到区域地表水污染的空间差异.后将区域水质分布图转化为栅格文件(cell 为 20 m),利用 ARCGIS 统计分析功能,得到水质污染差异的分界点 A 与界点 B (图 4).

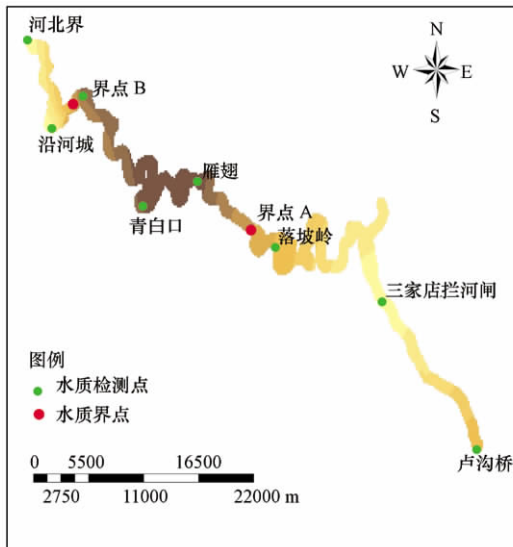


图 4 地表水质参考界点

Fig. 4 Reference dividing point of surface water quality

针对永定河实际情况,本文参考生态功能价值评估相关研究(谢高地等 2003;李波等 2008),主要针对生物多样性保护、水源涵养、土壤保持、净化

环境、娱乐休闲等 5 方面生态服务功能进行重要性分析评价,评估永定河当前生态现状下的生态功能的空间差异;在此基础上,利用 ARCGIS 统计分析功能,得到生态服务功能差异的分界点 C 与界点 D (图 5).

5.2.3 调研界点 通过对河道及周围河流量、城市排污水质、河道两边植被、旅游景点、休闲防洪建设、河道深度、河岸宽度等情况进行实地调研,并拍照记录实地状况,确定河道状况典型代表区域及存在差异的参考界点共有 31 个(图 6).

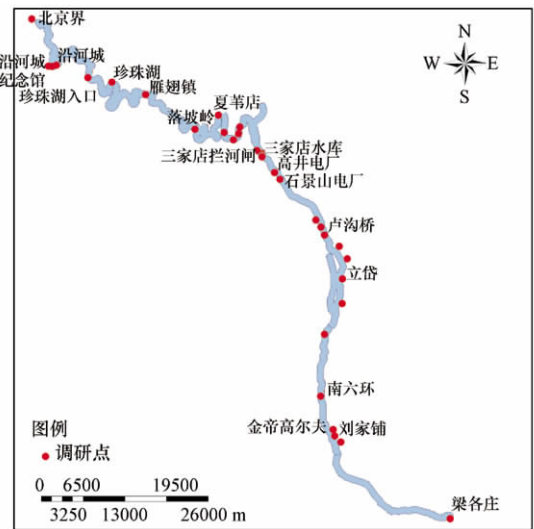


图 6 实地调研界点

Fig. 6 Reference dividing Point of spot investigation

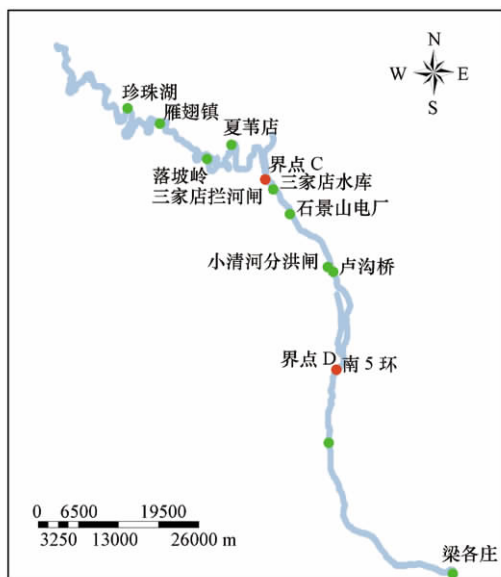


图 5 生态功能重要性参考界点

Fig. 5 Reference dividing point of ecological function importance

5.3 分区结果

在以上分析确定的永定河修复生态功能分区众多可能性界点的基础上,综合考虑各种因素,征询相关专家意见,确定落坡岭、三家店拦河闸、石景山电厂、卢沟桥、南六环作为最终分界点,据此可将永定河生态修复区划分为 6 段(图 7).

I : 官厅山峡-自然段

此段从永定河入北京界至落坡岭,主河道长约 65 km. 此段两岸靠高山陡壁,对应流域范围内土地覆被以林地为主,夹有零星未利用地,在整个永定河生态系统中具有最为重要的水源涵养、生物多样性保护功能,承担保护引水水质的任务,为水资源保护区.

《北京城市总体规划(2004—2020 年)》中将本河段定位为“生态涵养发展区”,生态修复中需重点开展山区水土保持、改善河道水质、绿化及配水工程等,对生态环境破坏较大的工矿企业要实行产业战略转移;可适宜发展旅游、探险、度假、休闲为主

的产业 重点适度开发珍珠湖、落坡岭等旅游风景区,并建立相应小型污水处理设施和小型垃圾处理

设施. 此段河道生态修复指标应以水量、水质、生物多样性、湿地面积、周边植被覆盖度等为主.

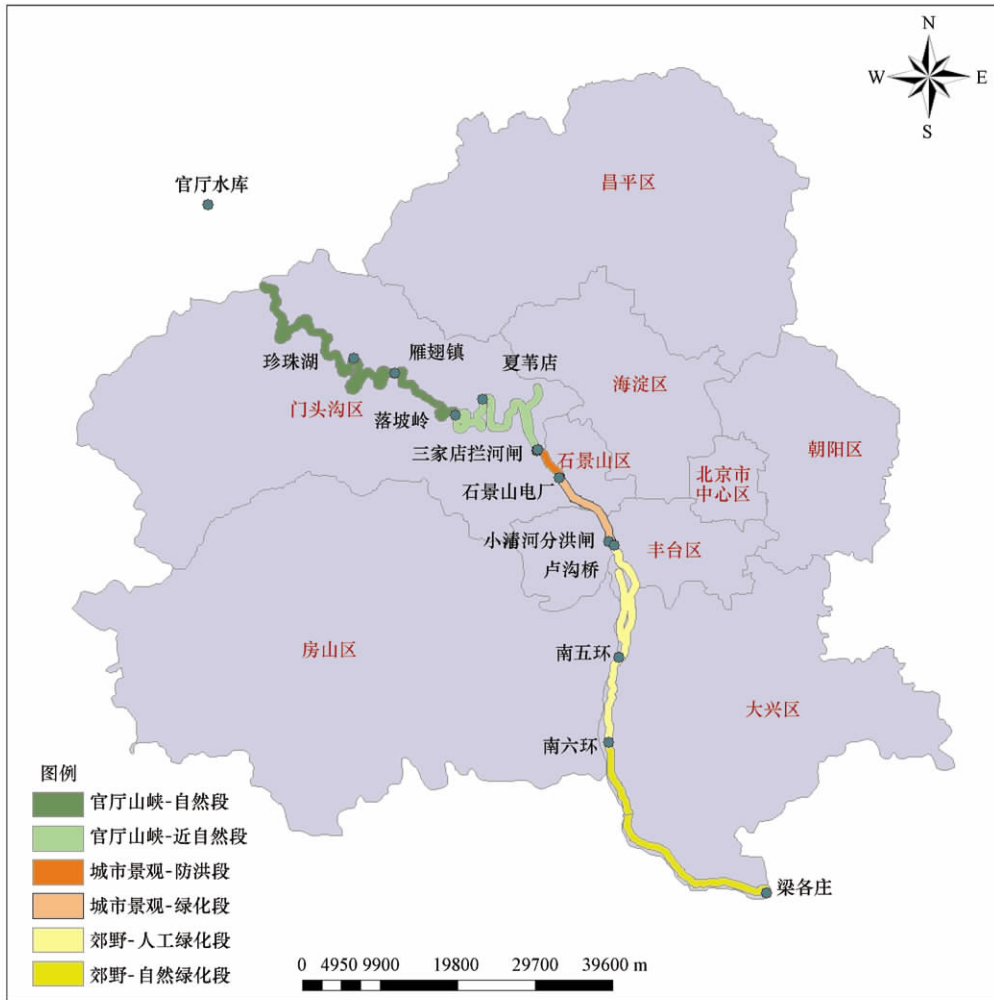


图 7 永定河北京段河流修复生态功能分区

Fig. 7 Ecological function regionalization for river restoration of Yongding river in Beijing

II: 官厅山峡-近自然段

此河段从落坡岭至三家店拦河闸,河道长约 27 km,属官厅山峡的延伸部分.对应流域范围内土地覆被中林地比例有所降低,有一定比例的未利用土地与建设用地,未来发展要以生态维护、水源保护、适度旅游开发为主;严格控制破坏生态环境的产业,综合采取多种措施展开水体修复工程建设;尤其要加强湿地保护工作,包括三家店核心区湿地、落坡岭核心区湿地、青白口-珠窝村核心区湿地等;加强防洪设施建设,通过陈家庄水库,可以提高坝址以下的防洪标准.

目前来看,人类对该区域的改造正逐步加剧,此段为自然保护与人类活动的过渡区,在未来应以

控制开发、合理保护为主,生态修复指标以水量、水质、水生指示物种、湿地面积等为宜.

III: 城市景观-防洪段

此段从三家店拦河闸开始至石景山电厂结束,河道长约 5 km.此段受人类活动影响显著,生态系统以陆地生态系统为主,植被系统受到严重破坏,覆盖率不高,范围内以建设用地为主.该段位于城区中心,防洪设施水平直接影响着两岸安危,目前河道为高出地面的地上悬河,将来在生态修复中,要加固大坝,切实注意防洪建设;同时结合人工湿地、渗滤坝等措施,防止污水排泄污染地下水水质.

此段生态建设要重视生态工程建设和非工程体系建设的结合,在保证防洪要求的前提下,积极

营造城市景观河道,既改善周边的生态环境,又为市民提供休闲娱乐场所,开发此河道沿岸的历史文化资源。生态修复目标应以生态用水量、地下水位、地下水水质、防洪、绿地面积等指标为宜。

IV: 城市景观-绿化段

此段范围为石景山电厂至卢沟桥,河道长约 12.4 km,与Ⅲ段同为城市景观段,但本段已出城区中心,河道下降,两岸或河道内出现绿化带以及农业经济作物的种植。在未来,此段应主抓一些重点河道综合整治工程,要注意疏挖石电灰管桥卡口段,改造京原路漫水桥和广宁路漫水桥等阻水建筑物,平整、疏挖京原公路桥以上及黄良铁路桥以下河道。另外,应加强恢复与治理“卢沟晓月”等历史遗迹和文化遗留发展旅游休闲产业,亦可适度发展沿岸种植经济带。生态修复指标应以生态用水量、地下水位、地下水水质、人工湿地、绿地面积、人文景观类指标为主。

V: 郊野-人工绿化段

此段从卢沟桥至南六环,河道长约 19.8 km。从此段开始至永定河出京界常年无水,河床裸露,为北京沙尘源之一。对应流域范围内以耕地为主,并有建设用地分散分布,人工林地、草地逐渐增多。河道较为开阔,大面积的滩地与河道内种植大量庄稼,生态服务功能以农产品产出为主。未来在保障行洪安全的前提下,应综合利用、开发荒滩地,增加人工绿地面积,增强休憩娱乐功能。此段河道生态建设以绿化及配水工程为主,修复指标应主要考虑人工绿地、生态用水量、人文景观类指标为主。

VI: 郊野-自然绿化段

此段从南六环开始至永定河出北京界梁各庄,河道长约 41 km,为永定河出京的最后一段。常年无水,遇风沙尘多,堤防宽窄变化很大,行洪河道与滩地之间界限模糊,河道善冲善淤,主道游荡不定。对应流域范围内耕地和建设用地占有较大比例。河道内种植庄稼,一方面能起到防风固沙、净化空气作用,可改善河床生态环境;但是同时也会延缓水流速度,降低排洪能力。未来应加强其土地利用方向的控制,引导当地农民合理利用土地,重视对排洪能力的维护。可在保障泄洪顺畅的同时,进行适度开发,重点通过植物配置创造植物景观。河流生态修复指标应以生态用水量、植被覆盖度、人文景观类指标为主。

6 结论与讨论(Conclusions and discussion)

城市河流修复须考虑河流的多功能性,并充分认识其在生态环境维护与对区域经济社会发展的支撑作用。自然资源条件与功能定位的空间差异性决定了功能分区是进行科学生态修复的前提与必需,重要价值集中体现在对河道修复实行分段控制,以达到适应性修复的目的。

本文在辨析相关功能分区的基础上,阐述了河流修复生态功能分区的涵义,探讨了分区方法与步骤,并对永定河(北京段)进行了实证研究,对科学开展永定河生态修复具有重要实践指导作用,亦对北方部分断流河流生态系统修复在理论方法上有一定借鉴意义。

在功能分区的基础上,应进一步科学制定评估河道不同河段功能状况的指标体系,明确各项指标对应健康状态的标准并建立基于功能需求的受损河流修复的目标函数,为河流生态修复提供科学目标控制,这也是下一步的工作重点;另外,由于数据等原因,使得本研究在评价单元精度、量化分析方面还稍显不足,今后在研究过程,将进一步加强与改进。

责任作者简介:赵桂慎(1971—),男,副教授,博士,主要从事生态经济与区域可持续发展研究。E-mail: zhgsh@cau.edu.cn.

参考文献(References):

- 蔡燕,鱼京善,王会肖,等. 2010. 黄河流域生态水文分区及优先保护级别[J]. 生态学报, 30(15): 4213-4220
- Cai Y, Yu J S, Wang H X, et al. 2010. Eco-hydrological regionalization and protection preferential levels in the Yellow River Basin [J]. Acta Ecologica Sinica, 30(15): 4213-4220 (in Chinese)
- 陈加兵,郑达贤. 2006. 福建省县域生态功能区划研究[J]. 福建师范大学学报(自然科学版), 22(3): 95-99
- Chen J B, Zheng D X. 2006. Study on the eco-functional regionalization of county in Fujian Province [J]. Journal of Fujian Normal University (Natural Science Edition), 22(3): 95-99 (in Chinese)
- Crowley J M. 1967. Biogeography [J]. Canadian Geographer, 11(4): 312-326
- 董哲仁. 2006. 河流生态修复的尺度格局和模型[J]. 水利学报, 37(12): 1476-1481
- Dong Z R. 2006. Scale and pattern for ecological restoration of river [J]. Shuili Xuebao, 37(12): 1476-1481 (in Chinese)
- 高永年,高俊峰. 2010. 太湖流域水生生态功能分区[J]. 地理研究, 29(1): 111-117
- Gao Y N, Gao J F. 2010. Delineation of aquatic ecoregions in Taihu lake

- basin [J]. *Geographical Research*, 29(1): 111-117(in Chinese)
- 侯国祥,张豫,苏海. 2004. 基于 Arc/GIS 的长江流域水环境功能区划研究[J]. *华中科技大学学报(自然科学版)*, 32(6): 105-107
- Hou G X, Zhang Y, Su H. 2004. The division of water environment function of the Yangtze river valley based on Arc/GIS [J]. *Journal of Huazhong University of Science and Technology(Natural Science Edition)*, 32(6): 105-107 (in Chinese)
- 贾良清,欧阳志云,赵同谦,等. 2005. 安徽省生态功能区划研究[J]. *生态学报*, 25(2): 254-260
- Jia L Q, Ouyang Z Y, Zhao T Q, *et al.* 2005. The ecological function regionalization of Anhui Province [J]. *Acta Ecologica Sinica*, 25(2): 254-260(in Chinese)
- 李波,宋晓媛,谢花林. 2008. 北京市平谷区生态系统服务价值动态[J]. *应用生态学报*, 19(10): 2251-2258
- Li B, Song X Y, Xie H L. 2008. Dynamic changes of ecosystem service value in Pinggu District of Beijing [J]. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 19(10): 2251-2258(in Chinese)
- 孟伟,张远,郑丙辉. 2007. 辽河流域水生态分区研究[J]. *环境科学学报*, 27(6): 911-918
- Meng W, Zhang Y, Zheng B H. 2007. Study of aquatic ecoregion in Liao River Basin [J]. *Acta Scientiae Circumstantiate*, 27(6): 911-918(in Chinese)
- 中华人民共和国水利部. 2002. 中国水功能区划(试行) [M]. 北京: 中华人民共和国水利部
- Ministry of Water Resources. 2002. *Water Function Zoning of China (Tentative Scheme)* [M]. Beijing: Ministry of Water Resources(in Chinese)
- 倪晋仁,刘元元. 2006. 论河流生态修复[J]. *水利学报*, 37(9): 1029-1037
- Ni J R, Liu Y Y. 2006. Ecological rehabilitation of damaged river system [J]. *Shuili Xuebao*, 37(9): 1029-1037(in Chinese)
- 潘杰. 2009. 生态文化与城市河流修复[J]. *中国水利*, 23: 41-43
- Pan J. 2009. Eco-cultural and urban river restoration [J]. *China Water*, 23: 41-43(in Chinese)
- 孙小银,周启星. 2010. 中国水生态分区初探[J]. *环境科学学报*, 30(2): 415-423
- Sun X Y, Zhou Q X. 2010. Primary study of freshwater ecoregionalization in China [J]. *Acta Scientiae Circumstantiate*, 30(2): 415-423(in Chinese)
- 陶星名. 2005. 生态功能区划方法学研究[D]. 杭州: 浙江大学. 9-10
- Tao X M. Ecological function regionalization for Hangzhou City [D]. Hangzhou: Zhejiang University. 9-10(in Chinese)
- 王炜,步伟娜,纪江海. 2005. 资源型城市生态功能区划研究——以焦作市为例[J]. *自然资源学报*, 25(1): 78-84
- Wang W, Bu W N, Ji J H. 2005. Study on ecological function division of resourceful city: A case in Jiaozuo [J]. *Journal of Natural Resources*, 25(1): 78-84 (in Chinese)
- 王志宪,唐永顺. 2004. 山东东昌湖生态功能区划及保护与建设[J]. *湖泊科学*, 16(4): 381-384
- Wang Z X, Tang Y S. 2004. Eco-functional regionalization, protection and construction in Dongchang Lake, Shandong Province [J]. *Journal of Lake Sciences*, 16(4): 381-384(in Chinese)
- 谢高地,鲁春霞,冷允法. 2003. 青藏高原生态资产的价值评估[J]. *自然资源学报*, 18(2): 189-196
- Xie G D, Lu C X, Leng Y F. 2003. Ecological assets valuation of the Tibetan Plateau [J]. *Journal of Natural Resource*, 18(2): 189-196 (in Chinese)
- 吴阿娜,车越,杨凯,等. 2005. 城市内河综合整治效益的后评估方法及实证[J]. *水利学报*, 36(9): 1088-1093
- Wu E N, Che Y, Yang K, *et al.* 2005. Method for post evaluation of urban river regulation and case study [J]. *Shuili Xuebao*, 36(9): 1088-1093(in Chinese)
- 夏继红,胡玲. 2007. 生态河岸带功能区划的定性定量研究[J]. *水利学报*, 10(增刊): 542-546
- Xia J H, Hu L. 2007. Qualitative and quantitative function regionalization of ecological riparian zone [J]. *Shuili Xuebao*, 10: 542-546(in Chinese)
- 杨爱民,唐克旺,王浩,等. 2008. 中国生态水文分区[J]. *水利学报*, 39(3): 332-338
- Yang A M, Tang K W, Wang H, *et al.* 2008. Eco-hydrological regionalization in China [J]. *Shuili Xuebao*, 39(3): 332-338 (in Chinese)
- 阳平坚,吴为中,孟伟,等. 2007. 基于生态管理的流域水环境功能区划——以浑河流域为例[J]. *环境科学学报*, 27(6): 944-952
- Yang P J, Wu W Z, Meng W, *et al.* 2007. Ecosystem management oriented water environmental function zoning at watershed scale—HunRiver Basin as a case study [J]. *Acta Scientiae Circumstantiate*, 27(6): 944-952(in Chinese)
- 尹民,杨志峰,崔保山. 2005. 中国河流生态水文分区初探[J]. *环境科学学报*, 25(4): 423-428
- Yin M, Yang Z F, Cui B S. 2005. Eco-hydrological regionalization of river system in China [J]. *Acta Scientiae Circumstantiate*, 25(4): 423-428(in Chinese)
- 张远,杨志峰,王西琴. 2005. 河道生态环境分区需水量的计算方法与实例分析[J]. *环境科学学报*, 25(4): 429-435
- Zhang Y, Yang Z F, Wang X Q. 2005. Computing method of divisional ecological and environmental water requirement for river channel and its application to the Yellow River Basin [J]. *Acta Scientiae Circumstantiate*, 25(4): 429-435(in Chinese)
- Zhou B, Zheng B. 2008. Research on aquatic ecoregions for lakes and reservoirs in China [J]. *Environmental Monitoring and Assessment*, 147(1/3): 339-350