

文章编号:1001-4179(2015)03-0077-05

三峡库区古夫河兴山县县城段生境修复研究

李凌云^{1,2}, 黎礼刚^{1,2}, 王家生^{1,2}

(1. 水利部江湖治理与防洪重点实验室, 湖北 武汉 430010; 2. 长江科学院 河流研究所, 湖北 武汉 430010)

摘要:受兴山县新县城建设和古夫河上游水库运行等因素影响,古夫河兴山县县城段河道生境条件遭受破坏,出现河道自然水文过程消失、河道自然几何形态消失、河岸带生态功能退化、城市河道功能弱化等问题。在分析适用于该河段河道生境修复方法的基础上,拟定了河道生境修复的设计原则,提出了河道岸坡生境修复、河道横断面和纵断面形态修复等生境修复方案,可为相关决策部门提供参考。

关键词:生境修复; 阶梯-深潭结构; 滩槽结构; 生态护岸; 古夫河; 三峡库区

中图法分类号: X171.4

文献标志码: A

DOI:10.16232/j.cnki.1001-4179.2015.03.021

1 研究河段自然地理概况

古夫河为香溪河的一级支流,于兴山县高阳镇上游约3.5 km处汇入香溪河。兴山县城是湖北省三峡库区3座整体搬迁移民的县城之一,古夫河入汇口上游约11 km处即为兴山县新县城所在地——古夫镇,古夫镇上游约2 km处为古洞口I级水库大坝。具体地理位置见图1。

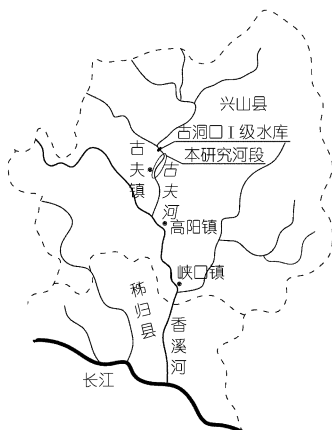


图1 古夫河兴山县城段地理位置

古夫河是穿过兴山县新县城的唯一河流,承载着城市河道所应具备的行洪排涝、调节小气候与净化空

气、休闲娱乐、景观、生态等诸多功能。然而,受兴山县新县城建设和古洞口I级水库运行等因素影响,古夫河兴山县县城段面临自然水文过程消失、河床自然几何形态消失、河岸带功能退化、城市河道功能减弱等问题,河道生境条件遭受破坏,河流生态系统严重受损,河道的景观、生态、休闲娱乐等功能难以发挥。该河段采砂坑凌乱遍布的河床和混凝土硬化的岸坡,与兴山县新县城的美丽景观不协调,与城市河道的功能亦不匹配。本文根据实地调查,分析了该河段河道生境现状及存在的主要问题,研究了适用于该河段生境修复的主要理论方法和修复设计原则,提出了河道生境修复方案。

2 河道生境现状及存在的主要问题

古夫河兴山县县城段上游起于古洞口I级水库电站尾水出口,下游止于兴山县城南寒溪口,全长2.7 km。调查分析表明,该河段两岸全长约5.4 km,左岸上游约0.9 km尚未采取护坡处理措施,其他4.5 km岸线已先后全部实施了河道整治工程,其中3.6 km采用了河道生境影响较大的浆砌护坡或浆砌石垂直挡墙;同时,为满足兴山县新县城及周边建设用砂需求,该河段曾作为重要采砂、供砂场地之一,河道内存在较

收稿日期:2014-10-18

基金项目:国家自然科学基金重点项目(51339001);国家自然科学基金项目(51209015)

作者简介:李凌云,男,高级工程师,博士,主要从事河流生态及河流动力学方面研究。E-mail:lilingyunhq@163.com

严重的无序采砂现象,河床采砂坑凌乱遍布。

2.1 河道整治工程现状

2002 年,兴山县县城整体迁建至古夫镇,为保障新县城防洪安全,满足城市建设和发展需求,相关部门先后对古夫河兴山县县城段实施了河道整治工程,包括右岸 3 段岸坡守护工程,左岸 2 段岸坡守护工程,以及橡胶坝 1 座。具体位置见图 2。

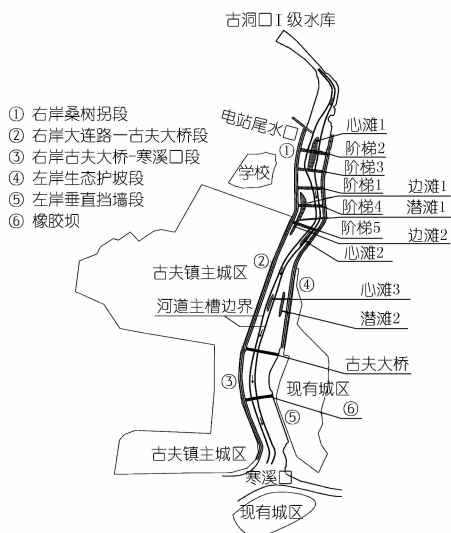


图 2 河道整治工程分布及生境修复方案布置

- (1) 右岸桑树拐段。该河段整治工程全长约 0.8 km。工程采用混凝土预制六方块浆砌护坡形式。
- (2) 右岸大连路 - 古夫大桥段。该河段整治工程全长约 1.0 km。工程采用混凝土预制六方块浆砌护坡形式。
- (3) 右岸古夫大桥 - 寒溪口段。该河段整治工程起于古夫大桥,止于寒溪口,全长约 0.9 km。工程采用混凝土预制六方块浆砌护坡形式。
- (4) 左岸生态护坡段。该河段整治工程起于古洞口 I 级水库电站尾水口下游约 0.9 km 处,止于古夫大桥,全长约 0.9 km。护岸工程马道以上部分采用混凝土格构护坡形式,其上种植了草皮及部分景观树等,马道以下部分采用混凝土预制六方块浆砌护坡形式,于 2008 年实施完成。
- (5) 左岸垂直挡墙段。该河段整治工程起于古夫大桥,止于寒溪口,全长约 0.9 km,工程采用浆砌石垂直挡墙形式。
- (6) 橡胶坝工程。该工程位于古夫大桥下游约 0.4 km 处,最大坝高 5 m,坝长 190 m,坝顶高程 220.0 m(黄海高程),正常蓄水位 219.0 m(黄海高程)。橡胶坝蓄水至正常蓄水位后,在坝上游约 1.4 km 范围内形成了壅水水面。根据防洪需要,洪水期间橡胶坝放弃拦水,降低坝顶高程至原河床,不影响河道防洪安

全。

2.2 河道采砂现状

古夫河兴山县县城段河床与河漫滩地形平坦开阔,属于冲积和洪积堆积区。研究河段为砂质河床,河床堆积物平均厚度约 10 m,具备良好的建筑用砂采砂条件,曾作为重要采砂、供砂场地之一。由于无序采砂现象较普遍,严重破坏了河道生态系统及城市河道景观功能。

(1) 河道滩槽结构消失。天然河道一般具有较为复杂的断面结构型式,滩槽结构是其最显著的特点之一。图 3 对比了古夫河兴山县县城段 20 世纪 80 年代河道形态与现状(2013 年)河道形态,该河段 20 世纪 80 年代具有较好的天然河道特征,河道断面滩槽结构明显,主槽蜿蜒摆动,而现状河道为单一河槽且蜿蜒程度显著降低;过度采砂导致原有河滩地和江心洲基本消失,天然河道状态不复存在。

(2) 采砂坑凌乱遍布。古夫河兴山县县城段经历过量、无序采砂后,河床高程平均降幅为 1~2 m,同时河床上遗留下大量凌乱分布、大小不等的采砂坑,造成河床阻力结构调整和水流流向、流速等剧烈变化,尤其是洪水期水流特性变化,给河道防洪带来安全隐患。



图 3 20 世纪 80 年代河道形态与现状河道形态

2.3 河道生境存在的主要问题

(1) 河道自然水文过程消失。古夫河兴山县县城段多年平均年径流量为 6.28 亿 m^3 ,多年平均流量为 19.9 m^3/s 。古洞口 I 级水库总库容 1.476 亿 m^3 ,调节库容 1.006 亿 m^3 ,库容系数 16%,具备年调节能力,水库电站单台机组发电尾水流量 22.5 m^3/s ,略高于该河段多年平均流量。在古洞口 I 级水库电站的调洪削峰作用下,坝下游发生洪水的几率较低,径流过程坦化,河道自然水文过程消失。上述变化将影响河道自身演

变和天然河道形态的塑造,同时改变了河流自然水文节律,影响了河流水生生物的生长繁殖过程。

(2) 河床自然几何形态消失。天然河道复杂的滩槽结构造就了多样化的河床几何形态和深浅缓急各异的水流结构,为水生生物提供了丰富的栖息空间。在古洞口 I 级水库的调节作用下,坝下游大洪水发生几率降低,河道径流常年集中于主槽且水流结构单一,河道原有滩地、岸坡边缘的滨水空间消失,水生生境破坏严重,生物多样性和生态系统稳定性明显下降。

(3) 河岸带功能退化。河岸带具有独特的空间结构和生态功能,研究表明,河岸带植被对于水陆生态系统间的物流、能流、信息流和生物流,发挥着廊道、过滤器和屏障功能^[2]。自然条件下,河岸带是维持物种多样性的重要载体,是相邻地区之间物质和能量交换的纽带,也是河流生态系统中生物分散和迁移的必要路径。古夫河兴山县城段已实施了 4.5 km 的河道整治工程,其中 3.6 km 采用了对河道生境影响较大的混凝土预制六方块浆砌护坡或浆砌石垂直挡墙,河岸带功能严重退化,原有生物栖息空间消失,生境条件恶化。

(4) 城市河道功能减弱。城市河道是集行洪排涝、调节小气候与净化空气、休闲娱乐、景观、生态等多重功能于一体的开放空间^[3]。古夫河是穿过兴山县新县城的唯一河流,是县城居民日常赏水、亲水、嬉水的必然选择之地。河道整治工程使两岸大部分岸坡硬化,河岸带植被基本消失,裸露的河床伴随着凌乱分布的采砂坑,与城市河道所承载的景观功能极不匹配。

3 河道生境修复理论依据及设计原则

3.1 理论依据

河道生境修复的理论基础是恢复生态学和景观生态学,其主要目标有 3 个:河流地貌特征改善、水质水文条件改善及生物多样性恢复^[4]。其中河流地貌特征改善分为纵向(水流方向)、横向(从水体到两岸及岸边环境)和垂向(大气向河流水体及地下水方向),主要是河道纵横形态及护坡的处理;水质水文条件的改善主要是水体污染治理和多样性水流结构创造;生物多样性恢复主要包括物种多样性、种群多样性和基因多样性的保护和恢复^[5]。

天然河道横断面多具有较为复杂的几何形态。在河道生境修复中,恢复河道滩槽结构,形成边有滩、中有槽的自然弯曲状态,能够丰富河道横断面多样性,形成大河道套小河道复式河道断面,枯水期河道能够改善水生生物栖息地质量。同时,上部河道可作为湿地型栖息地或公共娱乐亲水平台。

自然山区河流河道纵断面通常表现为深浅交替的

浅滩和深潭^[6]。浅滩和深潭可产出深浅缓急等多种水流条件,形成丰富的生物群落。浅滩段增加的紊动可增强水体复氧能力,其砂砾底层是多种水生无脊椎动物的主要栖息地,也是鱼类的觅食场所和保护区;深潭段是鱼类的越冬区和河流中释放有机物的储存区。人工阶梯-深潭为模仿山区河流中自然形成的阶梯-深潭结构所布置,能够有效控制河床冲刷下切,维持较为稳定的河床环境。同时,人工阶梯-深潭的布置使河道水面面积增大,河床底质、水深和流速多样性得到提升。人工阶梯和深潭段不同河床底质、流速和水深环境交替出现,在空间层次上塑造了富于变化和多样性的水生栖息地环境。对大型底栖无脊椎动物的采样及评价结果显示,人工阶梯-深潭布置后,随着水生栖息地多样性增加,单位面积底栖动物密度、物种丰度及生物群落多样性指数均呈上升趋势,水生生态得到显著改善^[7-8]。

3.2 设计原则

河道生境修复以可持续发展理念为指导,通过评估河流的生境状况,确定河流开发与保护的适宜程度,提出改善河流生态系统结构与功能的工程措施和管理对策,促进人与自然和谐相处。根据该河段的生境现状和区域特点,生境修复设计应遵循以下原则。

(1) 河流生境修复与社会经济协调发展。要在社会-经济-自然复合生态系统中协调河流生态健康与社会经济发展之间的复杂关系。要求流域社会经济发展与河流生态系统承载能力相协调,河流生态系统修复项目的目标和规模也要与流域或区域的经济水平相适应。

(2) 提高空间异质性的景观格局。空间异质性是指某种生态学变量在空间分布上的不均匀性及其复杂程度,就是系统特征在空间和时间上的复杂性和变异性。在河流平面形态方面,恢复其蜿蜒性特征;尽可能恢复河流原有宽度,给洪水以空间,同时在汛期保持主流与河滩、河汊、池塘和湿地的连接。在河流横断面上,恢复河流断面的多样性,在水陆交错带恢复乡土种植被。在沿水深方向恢复河床的渗透性,保持地表水与地下水的连通。通过这些要素的合理配置,使河流在纵、横、深三维方向都具有丰富的景观异质性,形成浅滩与深潭交错,急流与缓流相间,植被错落有致,水流消涨自如的景观空间格局。

(3) 以生态自我修复为主,人工适度干预为辅。河流生态系统对外来干扰的反应总是力图恢复到原来的状态,表现出一种自我恢复功能。自我恢复的过程表现为食物网随时间的发展过程和生物群落的自适应能力。其结果是在新的条件下形成动态平衡,恢复原

有系统的结构和功能某些特征。因此,河流生态修复工程要充分利用生态系统的自我修复功能。

4 河道生境修复方案研究

4.1 河道生境修复目标

(1) 恢复河道近自然断面形态。回填采砂坑和平整河床,在此基础上,模仿天然条件下的河道断面,人工开挖蜿蜒型河道主槽,塑造河道边滩、心滩和潜滩,恢复河道滩槽结构,形成边有滩、中有槽的近自然断面形态。

(2) 修复河岸带功能。对已实施混凝土预制六方块浆砌护坡的岸坡进行生态化改造,在确保防洪安全前提下实施生态护坡,采用新型生态护岸材料,重新连通地表径流和地下径流,恢复河岸带植被,修复河岸带的空间结构和生态功能。

(3) 修复水生生物栖息环境。通过塑造人工阶梯-深潭结构,形成浅滩、深潭交错的空间结构,塑造多样性水流条件,同时通过坡脚铺设生态鱼砖,在滩地和岸坡边缘种植挺水植物、沉水植物等多种措施,增加水生生物栖息地,改善栖息环境。

(4) 提升城市河道服务功能。通过河道近自然断面形态塑造、河岸带植被恢复和水生生物栖息环境的改善,打造一条岸绿、水清、景美、流畅的城市河道,为县城居民提供日常休闲娱乐平台。

4.2 河道生境修复方案

(1) 河道岸坡生境修复。河道岸坡生境修复目的是修复河岸带功能,提升城市河道景观效果,同时改善水生生物栖息环境。修复内容包括对已实施混凝土预制六方块浆砌石护坡的岸坡进行生态化改造,以及在左岸上游约 0.9 km 的原始岸坡实施生态护岸。

河道岸坡生境修复分为常水位以下、常水位至马道、马道和马道以上 4 部分。常水位以下部分采用适合水生生物生存特别是鱼类产卵的结构型式,目前有各类生态鱼砖可供选择;常水位至马道间之间是水生生物可能的栖息地,同时也是各类滨水植物生长区域,这一区间选择适合植物生长的生态袋;马道兼做景观道路功能,而透水砖既可生长植物,又可兼做硬化道路,可作为优选的结构型式。马道以上分两种情况:① 对于已有六方块护坡段,从景观上考虑将马道至堤顶坡面混凝土六方块部分置换(置换面积为 20%)为棕榈石(其上可直接生长植被),既有利于生态景观,又可以节省投资,此外,在马道内侧设置植物槽,种植本地藤条攀爬类植物,对马道以上部分六方块岸坡坡面进行绿化;② 没有六方块护坡的原始坡面河段,从防

洪安全的角度考虑,适合采用钢丝网卵石垫或生态袋等结构型式,可以恢复河岸带植被同时保证岸坡结构稳定。河道岸坡修复典型代表断面见图 4。

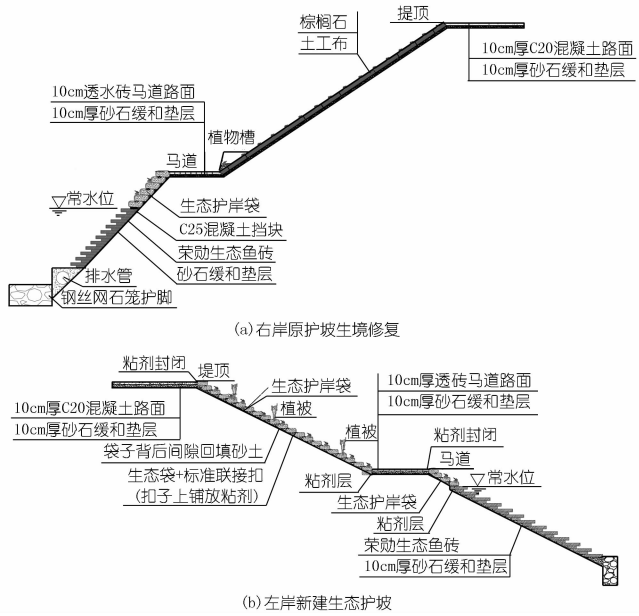


图 4 河道岸坡修复典型代表断面

(2) 河道横断面形态修复。河道横断面形态修复的目的是恢复河道近自然断面形态,修复水生生物栖息环境。修复内容包括回填采砂坑和平整河床,人工开挖河道主槽、人工塑造边滩和心滩等。

首先对河道现有采砂坑进行选择回填,平整河道;然后根据河床形态,随湾就势在河床中按蜿蜒近自然河床形态人工开挖河道主槽,开挖河道主槽采用变化槽宽和底坡坡降,以形成“有深有浅、有缓有急”的多样性水流条件,达到修复水生生物的目的。此外,全河段人工塑造边滩、心滩和潜滩,营造近自然河道断面形态,共塑造人工心滩 3 个,边滩 2 个,潜滩 2 个,各滩体面积、周长和滩顶高程见表 1。通过现场调查,研究稳定性河床颗粒级配,人工搭配含黏土的床沙,固定于滩面之上,为滩面生长本地植被提供条件。根据滩面高程、淹水情况,结合植物本身生长习性,在不同类别滩面种植相应的植物。具体包括草皮天堂、马尼拉、麦冬,并选择部分滩地喷洒当地草种。

(3) 河道纵断面形态修复。河道纵断面修复的目的是修复水生生物栖息环境,恢复山区河流浅滩、深潭交替的近自然结构。修复内容包括新建 5 座溢流低堰,人工塑造形成阶梯-深潭河道纵向结构形态。

古夫河兴山县城段已修建了橡胶坝工程,其坝前壅水水面上延至大连路,而大连路以上至古洞口 I 级水库电站尾水口约 0.8 km 范围为裸露河床,为维持壅水水面,改善水生生物栖息地,在该段新建 5 座溢流低

堰作为人工阶梯(见图 2),形成人工阶梯-深潭河道纵向结构形态。人工阶梯与下游橡胶坝配合,在全河段形成壅水水面。考虑到人工阶梯与城市整体景观的协调性及运行维护成本要求,人工阶梯主体结构选用格宾材料,上游面回填沙土,其上覆盖镀高尔凡雷诺护垫。根据具体地形条件,共布设形成 5 级人工阶梯-深潭,各级阶梯相邻距离约 150 m,阶梯顶高出原河床 1~2 m,相邻 2 级人工阶梯顶高差为 0.5 m,各人工阶梯长度、高度及阶梯顶高程见表 2。此外,根据实际地形,在每级人工阶梯上游放置若干个树根,以形成多样性水流结构,适宜鱼类等水生生物活动,同时树根本身亦可为水生生物提供多种营养成分,此举可为水生生物提供良好的栖息空间和营养物质。

表 1 人工塑造滩地特征统计

滩地名称	滩面面积/ m ²	滩体周长/ m	滩顶高程/ m
心滩 1	9160	568	223.5
心滩 2	1786	282	219.5
心滩 3	1622	287	219.5
边滩 1	4953	419	221.5
边滩 2	1399	231	219.5
潜滩 1	906	133	220.5
潜滩 2	2648	401	218.0

注:① 表中高程为黄海高程;② 边滩滩体周长含岸坡坡脚长度。

表 2 人工阶梯特征统计

人工阶梯名称	阶梯长度	最大阶梯高度	阶梯顶高程
人工阶梯 1	157	4.0	222.0
人工阶梯 2	148	3.0	221.5
人工阶梯 3	139	4.0	221.0
人工阶梯 4	144	5.0	220.5
人工阶梯 5	151	4.0	220.0

注:表中高程为黄海高程。

5 结 论

(1) 受人类活动影响,古夫河兴山县县城段生境条件遭受破坏,存在河道自然水文过程、自然几何形态消失,河岸带功能退化,城市河道功能弱化等问题。针对所存在的问题,拟定了该河段生境修复目标,包括恢复河道近自然断面形态、河岸带功能、水生生物栖息环境和提升城市河道服务功能 4 方面。

(2) 河道生境修复方案包括 3 个方面:① 岸坡生境修复,通过原河道护坡生态改造及原始岸坡实施生态护岸措施;② 河道横断面形态修复,实施回填采砂坑和平整河床、人工开挖河道主槽、人工塑造边滩和心滩等措施;③ 河道纵断面形态修复,通过新建 5 级溢流低堰,人工塑造形成阶梯-深潭河道纵向结构形态。

参考文献:

[1] 朱孔贤,黎礼刚,李凌云,等.兴山县古夫河县城段生境现状分析[C]//第六届全国河道治理与生态修复技术交流研讨会.北京:[s. n.],2014.

[2] 韩路,王海珍,于军.河岸带生态学研究进展与展望[J].生态环境学报,2013,22(5):879-886.

[3] 陈杰,黄凌.城市河道综合整治与河道生态景观[J].水电与新能源,2012,(3):75-78.

[4] 赵进勇,彭静,董哲仁,等.河流生态修复负反馈式决策支持系统的框架构建[C]//第三届长江论坛,上海:2009.

[5] 董哲仁.试论河流生态修复规划的原则[J].中国水利,2006,(13):11-13.

[6] 米艳杰,何春光,王隽媛,等.河流地貌多样性修复技术研究[J].水利水电技术,2010,(10):15-17.

[7] 徐江,王兆印.阶梯-深潭的形成及作用机理[J].水利学报,2004,(10):48-55.

[8] 余国安,王兆印,张康,等.人工阶梯-深潭改善下切河流水生栖息地及生态的作用[J].水利学报,2008,(2):162-167.

(编辑:常汉生)

Study on habitat restoration in Xingshan County seat reach of Gufu River in Three Gorges reservoir area

LI Lingyun^{1,2}, LI Ligang^{1,2}, WANG Jiasheng^{1,2}

(1. Key Laboratory of Ministry Water Resources about River - Lake Governance and Flood Control, Wuhan 430010, China; 2. Changjing River Scientific Research Institute, Wuhan 430010, China)

Abstract: Affected by the construction of the new Xingshan County seat and the operation of reservoirs at upper Gufu River, the habitat restoration of Gufu river around the Xingshan County seat is destroyed and the main problems includes the disappearance of the natural river hydrological process and the geometrical morphology of the channel, the ecological function degeneration in bank belt and the urban river reach. The common methods and theory of habitat restoration suitable to this river reach are summarized, and the design principle is proposed. A systematic program of river habitat restoration including the restoration of river bank habitat, cross section morphology and the longitudinal profiles is recommended. The research result of river habitat restoration program can provide a reference for the decision - make department.

Key words: habitat restoration; step - pool structure; beach - trough structure; ecological revetment; Gufu River; Three Gorges reservoir area