



平陆运河内河段沿线河流水生生态影响识别 *

张 宁^{1,2}, 韩兆兴^{1,2}, 程金香^{1,2}, 肖 杨^{1,2}, 高玉健^{1,2}, 刘 洁^{1,2}

(1. 交通运输部规划研究院, 北京 100028; 2. 交通排放控制监测技术实验室, 北京 100028)

摘要: 运河开发对区域交通改善和经济发展具有显著促进效应, 然而其较大的开发强度和复杂的建设内容所造成的消极环境影响, 已经受到越来越多的关注。针对运河水生生态影响的识别问题, 通过对平陆运河内河段工程建设内容的分析归类, 结合航道整治及航电枢纽建设的生态影响分析, 采用类比分析、生态因子识别等方法, 提出平陆运河内河段水生生态影响的 3 类重点评价内容, 分析了建设内容对主要生态因子的影响, 并从工程设计和生态修复两种维度梳理了水生生态保护措施体系。研究成果可为运河开发建设项目的生态环境影响识别与修复提供参考和借鉴。

关键词: 平陆运河; 水生生境; 水生生物; 生态风险; 水系连通

中图分类号: U611

文献标志码: A

文章编号: 1002-4972(2024)01-0120-06

Identification of aquatic ecological influence along Pinglu Canal inland waterway

ZHANG Ning^{1,2}, HAN Zhaoxing^{1,2}, CHENG Jinxiang^{1,2}, XIAO Yang^{1,2}, GAO Yujian^{1,2}, LIU Jie^{1,2}

(1. Transport Planning and Research Institute, Ministry of Transport, Beijing 100028, China;

2. Laboratory of Transport Pollution Control and Monitoring Technology, Beijing 100028, China)

Abstract: Canal development has a significant promoting effect on regional traffic improvement and economic development. However, more and more attention has been paid to the negative environmental impact caused by its large development intensity and complex construction contents. Aiming at the identification of aquatic ecological impact of Pinglu Canal, through the analysis and classification of the construction contents of the inland waterway of Pinglu Canal, combined with the ecological impact analysis of waterway regulation and avionics junction construction, this paper proposes three types of key evaluation contents of aquatic ecological impact of inland river section of Pinglu Canal by analogy analysis and ecological factor identification, and analyzes the impact of construction contents on the main ecological factors. Further more, it sorts out the system of aquatic ecological protection measures from two dimensions of engineering design and ecological restoration. The research results can provide reference for the identification and restoration of the ecological environment influence in the canal development and construction project.

Keywords: Pinglu Canal; aquatic environment; aquatic organism; ecological risk; water system connection

水运是我国综合运输体系的重要组成部分, 相较于其他交通运输方式具有低能耗、少污染、载质量大、运输成本低等优势^[1], 水运行业的发展在推动内河运输、加强地区间联系、促进经济发展等方面都具有极为重要的作用。近年来,

我国积极构建现代综合立体交通运输体系, 加大内河航道建设投资力度, 沟通珠江、长江的湘桂、赣粤运河和连接西江、北部湾的平陆运河联通工程专项研究正有序开展。其中, 平陆运河已于 2022 年 8 月开工建设, 预示着我国水运事业

收稿日期: 2023-04-20

*基金项目: 2022 年度交通运输部规划研究院科技开发项目(092217-102); 2022 年广西交通运输行业重点科技项目(2022-62);

广西科技重大专项(桂科 AA23023016)

作者简介: 张宁 (1983—), 女, 博士, 工程师, 从事水运工程环境影响评价研究。

将开启发展新时期。

平陆运河自南宁平塘江口起,跨越分水岭后经钦江入海,全程约140 km^[2];湘桂运河通道北自长江的湖南省城陵矶(岳阳市内),南至广西梧州进入西江航运干线,全长约1 238 km^[3];赣粤运河水运通道起点为江西长江鄱阳湖口,终点为广东省佛山市北江三水河口,全长约1 148 km^[4]。以上3条运河选线均尽量利用现有水系,通过人工开挖将多条水系连通,实现航运开发,工程建设涉及到越岭段开挖、枢纽建设、航运调水等大型工程,建设内容复杂,开发强度大^[5]。因此,运河建设在满足水运发展需求的同时也不可能避免地对水域生态环境造成不可忽视的影响。本文通过对平陆运河工程建设内容的分析及水生生态影响的识别,研究平陆运河建设运行对沿线水生生

态环境的影响,并提出保护水生生物和生态环境的有效措施,以期对运河工程绿色生态建设决策和实践提供科学建议。

1 工程概况

根据运河沿线地形条件、河道特点、线路选择等方案,平陆运河全线分为内河航段及入海口航段两类。内河航段为沙坪河河口—青年枢纽段,属于限制性航道;入海口航段为青年枢纽以下—钦州港段,为海河交界区,属于感潮河段。本文重点针对运河的内河航段建设内容及影响开展研究。

平陆运河内河航段根据不同河段及工程建设情况又细分为沙坪河段、分水岭段及钦江干流段,各河段主要工程建设内容见表1。

表1 平陆运河工程内河航道主要建设内容

河段	航道起止点	航道长度/km	涉及河流	天然河道长度/km	人工运河比例/%	新、改扩建枢纽数量/个	新、改扩建桥梁数量/个
沙坪河段	平塘江口—沙坪镇	21.0	西津库区、沙坪河	14.2	33.0	0	3
分水岭段	沙坪镇—陆屋镇	29.5	沙坪河、旧州江	20.5	31.0	2	11
钦州干流段	陆屋镇—青年枢纽	48.5	钦江	30.8	37.0	1	7
合计	-	99.0	-	65.5	33.8	3	21
河段	裁弯取直数量/处	裁掉河流长度/km	被裁河流在原河道比例/%	疏浚炸礁河段占航道比例/%	疏浚工程量/万m ³	炸礁工程量/万m ³	
沙坪河段	12	9.5	40.0	100.0	1 460.0	110.0	
分水岭段	16	8.0	28.0	100.0	220.0	106.1	
钦州干流段	25	37.1	54.6	95.0	4 770.0	2 033.9	
合计	53	54.6	45.4	98.3	6 450.0	2 250.0	

注:数据来源于运河规划阶段测算成果,具体数据以工程测算为准。

除此之外,运河运行近期需从郁江引调水约24 m³/s;远期随着货运量发展以及船舶过闸效率的提高,运河航运用水量约40 m³/s。运河建设还需建设助航设施、公用工程、道路工程、服务区、锚地、支持保障系统和智慧运河等配套工程。

综上所述,平陆运河建设涉及多条河道的连通工程,除需要通过航道整治、梯级枢纽建设、跨河桥梁改造等工程使得航道达到相应等级之外,还涉及到越岭段开挖、跨流域调水及其他配套工程内容。因此,与传统航道建设工程相比,运河工程建设内容复杂、开发强度较大、涉及多流域

连通及调水工程,对水生态环境影响显著。

2 水生生态影响因素识别

平陆运河对沿线水生生态环境的影响主要集中在运河拓宽、疏浚、开挖施工过程、航运枢纽建设过程,以及航运调水、运河通航等活动中。本研究根据运河工程内容及现有内河航道、航电枢纽的生态影响研究基础,识别了平陆运河建设运行过程的主要水生生态影响,确定平陆运河内河段水生生态影响的重点评价内容主要包括水生环境、水生生物及生物风险,见表2。

表 2 平陆运河工程河流水生生态影响识别

环境目标	保护要求	涉及运河工程	影响因素及指标
水生生境	维持河道原有自然生境，保护区域水域生态系统	疏浚、炸礁工程	河道地形变化及悬浮泥沙产生量
		河道裁弯取直	被裁弯取直河段比率及牛轭湖水量变化
		枢纽建设	枢纽上下游水体流速、水质及营养物质浓度变化及生物演替
水生生物	尽量减少水生生物损失，降低鱼类阻隔影响	调水工程	河道水资源量、水质及营养物质变化
		疏浚、炸礁工程	浮游动植物种群及生物量变化
		枢纽建设	底栖生物、鱼卵及仔稚鱼的总损失量
生态风险	控制水系间鱼类交流，严控压载水外来生物入侵	枢纽建设	浮游动植物演替及新的平衡
		水系连通	阻隔鱼类洄游种类
		运河通航	水系间鱼类种群差异，包括特有鱼类及共有鱼类
			到港外籍船舶压载水排放需求及排放总量

2.1 水生生境

运河建设过程中的航道疏浚、炸礁作业及枢纽、桥梁改造的水域施工将造成河道原有地貌消失，导致水生生境发生变化或消失^[6]。施工作业产生大量的悬浮泥沙，对区域浮游生物、底栖生物、水生植物、鱼类等栖息环境也会产生不利影响。河道被裁弯取直后，顺直湍急河流对河岸冲刷加剧，原河流的弯曲岸线、迴长的河弯为生物提供的理想栖息地将减少甚至消失^[7]。

枢纽运行后，河流的水文情势发生变化，影响河流的流速、透明度、溶解氧和营养盐等，引起水生生物生境发生改变^[8]。运河的调水工程优化水资源配置格局，改善河道生态环境，有效补充调入区的营养物质^[9]，同时也可能因为部分污染物的带入造成生态环境处于强烈或明显的负面影响状态^[10]。

2.2 水生生物

航道疏浚、清礁工程、枢纽建设及桥梁改扩建等施工过程扰动局部水体，施工水域悬浮物浓度升高，水体透明度降低，直接或间接抑制了浮游生物的生长繁殖^[11]，影响浮游生物的密度和多样性。河道水域施工对底质的扰动还会造成底栖生物、鱼卵和仔鱼的直接损失。

枢纽建成后，原有河道水体被阻隔，使水体中的浮游植物、湿生植物、底栖动物和鱼类种类多样性均低于连通水体，食物网结构也更趋于简化^[12]。枢纽运行还会影响野生鱼类的生存，尤其

是阻断了鱼类洄游通道，对洄游性鱼类造成严重影响。

2.3 生态风险

平陆运河建设将连通郁江与钦江水系，能有效减缓连通区域水资源紧缺状况，改善区域水环境条件^[13]，然而不同流域间肉食性鱼类的差异也容易引起外来鱼类对土著鱼类种群的破坏，造成土著鱼类的种类和种群数量显著下降^[14]。研究发现，许多已建成的航电工程库区普遍存在外来鱼类入侵的现象，甚至部分水库中外来鱼类已成为优势种，对原有水生态系统造成了显著负面影响^[15]。

3 水生生态影响分析

3.1 对水生生境的影响

为满足运河通航等级，平陆运河内河段沿线约有 98.3% 的河段需要进行疏浚炸礁，工程将导致河道原有山地河流常见的浅滩-深潭序列发生改变^[16]，漂砾、圆石等底质颗粒消失，大型底栖动物躲避捕食的庇护场所遭到破坏^[17]，为藻类等水生生物提供营养的有机碎屑无法滞留，最终导致河段水生生境发生彻底改变。

裁弯取直可以有效改善河流的通航条件，同时也对河道造成切割效应，破坏原有河道的整体性，使河道生态系统景观斑块化，对沿岸生态系统也会产生影响。从表 1 可以看出，平陆运河内河段需要开展裁弯取直工程 53 处，被裁弯取直的

自然河流为 54.6 km, 其长度占原自然河流总长度的 45.4%。根据水动力模拟结果, 平陆运河工程实施后, 主河道水流速度一般在 0~0.17 m/s 左右^[18], 相对变缓, 水面无法形成漩涡, 漂浮性鱼卵下沉受阻, 最终导致漂浮性鱼卵无法孵化, 相应地造成水生生物种群和密度降低。被裁弯取直掉的河段形成牛轭湖, 随着水流量减少, 河段逐渐萎缩, 原有的水生生物栖息环境也遭到破坏。

平陆运河工程共涉及 3 座枢纽工程建设, 均位于内河段。枢纽工程建设对生境的影响主要来源于船闸施工中引航道的护底护坡、围堰施工及疏浚等工程建设造成局部范围水域浊度和悬浮物增加。此外, 围堰内基坑排水若直接排放将影响工程周边水质, 对水生生物栖息环境产生不利影响。

调水工程实施后, 运河河道输水流量明显增加, 同时也增加了水生生境空间, 调水后河道复氧系数随断面平均流速增加而增加, 有助于改善水动力条件^[19]。平陆运河的补水河段主要是马道枢纽以下至青年枢纽河段, 调水水质对运河受水区域的盐度和悬浮物的影响较大^[20], 还可能造成受水区原鱼类可获得的食物减少, 最终影响鱼类特别是特有鱼类的生长率。

3.2 对水生生物的影响

平陆运河内河段建设过程的疏浚炸礁工程总量约 8 700 万 m³, 施工过程水域悬浮物浓度均有明显增高。以沙坪河段为例, 施工悬浮物在施工点下游 200 m 处的浓度仍高于 300 mg/L, 下游 1 000 m 处悬浮物浓度降至 100 mg/L, 较原本底提升 90 mg/L。悬沙含量对浮游植物生长有显著的抑制作用, 鱼类在悬浮物含量较大的混浊水域产生回避反应, 悬沙浓度对于鱼类幼体的致死浓度为 250 mg/L, 具有明显影响的浓度为 125 mg/L^[21]。

疏浚清礁、桥梁桩基改建、枢纽建设等工程将造成施工区域底栖生物、鱼卵及仔稚鱼的直接损失, 生物损失量参照 SC/T 9110—2007《建设项目对海洋生物资源影响评价技术规程》相应预测方法进行估算。根据区域生态调查结果, 水域施

工造成底栖生物损失量约 7 100 t, 见表 3。

表 3 运河施工建设期底栖生物损失量估算结果

施工方式	涉水面积/m ²	平均生物量/(g·m ⁻²)	计算年限/a	生物损失量/t
疏浚、清礁	1.615×10^7	97.82	4	6 319.17
桥梁桩基	300	97.82	20	0.59
枢纽工程	4.185×10^5	97.82	20	818.88
合计	-	-	-	7 138.65

注: 疏浚、清礁等对底栖生物的损失按临时占用计算, 桥梁桩基改建、枢纽施工占用水域对底栖生物造成损失按永久占用计算。

水文情势的改变、水体营养成分的变化对于浮游动植物的生长繁殖、密度和生物量有不同程度的影响^[22]。根据现有水电站及航电枢纽的研究预测平陆运河枢纽建成运行后, 库区浮游植物种类和数量都将逐渐恢复, 尤其大型浮游植物种类数量增加明显, 而不同种类数量、密度及生物量的占比也将发生一定变化, 其中裸藻门的减少幅度最大。预计适宜静水敞水的浮游动物种类将出现, 原生动物种类及数量将最快恢复, 而枝角类和桡足类种类和数量占比将减少。

除此之外, 枢纽的建设还将造成河流上下游生物的阻隔效应, 导致库区鱼类种数急剧下降, 其中野生鱼类产量下降近 80%^[23]。郁江流域及旧州江的生态调查中发现的鳗鲡及合浦绒螯蟹均为降河洄游生物, 青年枢纽的建设运行将不可避免的阻隔它们的洄游通道, 影响其完成整个生活史。因此, 在青年枢纽设计之初就采纳了同步开展鱼道设计的建议, 达到恢复河道内部水文自由连通的效果, 实现对水生生物多样性保护的作用。

3.3 生态风险

已建成的水系连通项目研究表明, 水系连通对不同水系的水循环及生物循环具有不同的驱动和制约作用, 可能会打破原水系生态系统的平衡^[24]。平陆运河连通郁江、钦江, 生态调查显示, 两大水系共有鱼类 15 种, 共有鱼类会随着时间推移慢慢适应新的生存环境。然而郁江流域的特有鱼类进入钦江水系后, 局部生境发生改变, 对鱼类生存带来一定的生态风险。已经形成入侵趋势

的莫桑比克罗非鱼和尼罗罗非鱼排挤当地土著种类或以当地小型鱼类为食，随着水系连通，对原水系的鱼类分布状态也将造成一定风险。

平陆运河建成后，内河船舶可直达北部湾港，外籍船舶在北部湾港钦州港域排放压载水，则可能通过运河导致内河水域的生物入侵^[25]。

4 水生生态保护措施

综合考虑运河建设及通航可能造成的水生生态影响，研究认为应从工程本身及生态修复两方面开展生态环境保护，见表 4。

表 4 平陆运河水生生态保护措施体系

措施名称	保护目标	主要措施
过鱼设施	流域内洄游及半洄游鱼类	减缓枢纽阻隔的影响
生态调度	保障流域生态需水，保护下游水域生态环境	制定预防性保护对策，制定污染源控制、监督管理的要求
优化工程设计	河段水生生境及水生生物	优化施工点位，尽可能减少水下施工规模
绿色施工	河段水生生境及水生生物	合理安排施工时序，使用环保型施工工艺、材料，定期开展水生生态监测，加强管理
栖息地保护	裁弯取直、枢纽建设后适宜生境减少而受影响的生物	通过设置涵养区，建设生态护岸，划定替代生境，保护修复水生生物生境
增殖放流	施工造成的底栖及鱼类损失	补充底栖生物、鱼类种群数量，恢复资源
渔政管理	运河涉及河段的所有鱼类	加强管理，保护鱼类资源及其重要生境
完善监测体系	本地水生生物物种	加强对水生生物的监测和管理，及时发现和防范外来物种入侵

4.1 工程设计及绿色施工

1) 将绿色、生态的理念贯穿于工程设计全过程。例如：为减少对流域内洄游及半洄游鱼类的阻隔，枢纽工程同步设计过鱼设施；为保障流域生态需水，制定生态调度计划，严格控制超指标用水；优化施工点位，尽可能减少水下施工规模。

2) 施工过程应合理安排施工时序，使用环保型施工工艺、材料，定期开展水生生态监测，加强管理等措施减缓施工影响。

4.2 落实生态修复措施

针对水生生境变化、水生生物损失及生态风险，开展施工及运营期的生态修复。

1) 设置生态涵养区，建设生态护岸，划定替代生境，保护修复水生生物栖息环境。

2) 定期开展增殖放流，补充底栖生物、鱼类种群数量，恢复水生生物资源。

3) 制定渔政管理计划，加强管理，保护鱼类资源及其重要生境。

4) 加强对水生生物的监测和管理，及时发现和防范外来物种入侵。

5 结论

1) 平陆运河(内河段)包含人工开挖、通航建筑物改扩建、航道整治、水系连通及调水工程，水下施工强度大、建设内容复杂，施工及通航对沿线水生生态影响均较大。

2) 基于平陆运河内河航段主要工程内容的剖析，结合已有研究基础，提出平陆运河(内河段)对水生态的影响主要包括水生生境影响、水生生物影响和生态风险 3 个方面。

3) 通过对河流水生生境的变化分析，水生生物损失及演替预测，以及鱼类阻隔、生物入侵等风险分析，提出应进一步强化绿色生态设计理念，提高绿色施工水平，并开展多样化的生态修复手段，保障平陆运河建设成一条绿色生态运河。

参考文献：

- [1] 焦蕴平. 充分发挥水运优势努力守护绿水青山[J]. 中国水运(上半月), 2018(10): 3.
- [2] 吕小龙, 吴澎, 刘晓玲. 平陆运河航道等级论证[J]. 水运工程, 2021(10): 266-270.
- [3] 蔡翠苏, 高成岩, 李晓楠, 等. 湘桂运河越岭段航运水资源分析[J]. 水运工程, 2022(S1): 115-118.
- [4] 高成岩, 赵凯, 龙翔宇. 赣粤运河水资源条件分析[J]. 水运工程, 2022(S1): 135-138.
- [5] 韩兆兴, 张宁, 肖杨, 等. 重大运河工程环境影响识别与评价指标体系研究[J]. 环境工程技术学报, 2022, 12(6): 1860-1866.

- [6] 罗雄, 方建章. 航道治理建设规划环境影响识别及指标体系建立[J]. 水运工程, 2018(8): 219-224.
- [7] 孙羽, 张兵, 孙东坡, 等. 河道整治中的生态环境问题与生态协调的河道整治[J]. 水利水电技术, 2017, 48(5): 102-109.
- [8] 马茂原. 长江上游生态航道工程人工抛石对四大家鱼生境的影响研究[D]. 重庆: 重庆交通大学, 2021.
- [9] HYFIELD E, DAY J, CABLE J, et al. The impacts of re-introducing Mississippi River water on the hydrologic budget and nutrient inputs of a deltaic estuary [J]. Ecological engineering (The journal of ecotechnology), 2008, 32(4): 347-359.
- [10] 高永年, 高俊峰. 南水北调中线工程对汉江中下游流域生态环境影响的综合评价[J]. 地理科学进展, 2010, 29(1): 59-64.
- [11] 孙丽梅, 汪文东, 高凤, 等. 宁波市某人工泻湖浮游生物变化特征及影响因素分析[J]. 生态毒理学报, 2018, 13(4): 60-67.
- [12] PAN B Z, WANG H J, LIANG X M, et al. Macrozoobenthos in Yangtze floodplain lakes: patterns of density, biomass, and production in relation to river connectivity [J]. Journal of the North American Bentholological Society, 2011, 30(2): 589-602.
- [13] 崔广柏, 陈星, 向龙, 等. 平原河网区水系连通改善水环境效果评估[J]. 水利学报, 2017, 48(12): 1429-1437.
- [14] 张登成, 郑娇莉. 水电工程建设前后外来鱼类入侵问题初步研究[J]. 人民长江, 2019, 50(2): 83-89.
- [15] 巴家文, 陈大庆. 三峡库区的入侵鱼类及库区蓄水对外来鱼类入侵的影响初探[J]. 湖泊科学, 2012, 24(2): 185-189.
- [16] BISSON P A, MONTGOMERY D R, BUFFINGTON J M. Valley segments, stream reaches, and channel units [M]. Oxford: Academic Press, 2007: 24-24.
- [17] BROWN A V, BRUSsock P P. Comparisons of benthic invertebrates between riffles and pools [J]. Hydrobiologia, 1991, 220(2): 99-108.
- [18] 交通运输部规划研究院. 西部陆海新通道(平陆)运河航道规划环境影响评价报告书[R]. 北京: 交通运输部规划研究院, 2022.
- [19] 李玉梁, 廖文根. 河流的大气复氧[J]. 交通环保, 1992, 13(4): 12-18.
- [20] LANE R, JR J, MARX B, et al. The effects of riverine discharge on temperature, salinity, suspended sediment and chlorophyll a in a Mississippi delta estuary measured using a flow-through system [J]. Estuarine coastal and shelf science, 2007, 74(1/2): 145-154.
- [21] 宋伦, 杨国军, 王年斌, 等. 悬浮物对海洋生物生态的影响[J]. 水产科学, 2012, 31(7): 444-448.
- [22] 李皎皎, 李天昕, 宋存义. 水利枢纽工程自然环境影响分析[J]. 水科学与工程技术, 2006(5): 47-49.
- [23] 王利民, 王丁. 长江流域的渔业与湿地保护[J]. 人民长江, 2004, 35(5): 37-39, 51.
- [24] 李宗礼, 刘昌明, 郝秀平, 等. 河湖水系连通理论基础与优先领域[J]. 地理学报, 2021, 76(3): 513-524.
- [25] 齐童, 李雪, 卢延娜, 等. 进境船舶压载水排放管理现状、问题及建议[J]. 环境污染与防治, 2022, 44(9): 1266-1270.

(本文编辑 王传瑜)

(上接第 112 页)

- [11] 辛玮琰, 刘晓菲, 刘鹏飞, 等. 长江中游航道整治建筑物作用区水沙特性研究综述[J]. 水运工程, 2022(7): 185-191.
- [12] 李苏. 透水丁坝对弯道水流特性影响的三维数值模拟研究[D]. 西安: 西安理工大学, 2021.
- [13] 夏军强, 周悦瑶, 邓珊珊, 等. 荆江段抛石护岸稳定性计算及其影响因素分析[J]. 水力发电学报, 2022, 41(8): 1-11.
- [14] 李金瑞, 方娟娟, 丁兵. 强水沙变化下长江安徽河段护岸失稳及防护研究[J]. 人民长江, 2021, 52(12): 9-14, 71.
- [15] 李溢汶. 潮流动力下的横沙浅滩人工促淤演变趋势[J]. 水运工程, 2021(8): 24-28, 53.
- [16] 彭秀竹, 徐向舟, 赵莹, 等. 黄河下游丁坝群对河势控制效果研究[J]. 大连理工大学学报, 2022, 62(4): 378-385.
- [17] 程小兵, 刘晓菲. 长江下游江心洲河段航道整治工程经验总结[J]. 水道港口, 2020, 41(3): 303-308, 323.

(本文编辑 赵娟)