



平陆运河裁弯取直工程的生态影响及 修复方案研究*

张宁^{1,2}, 程金香^{1,2}, 高玉健^{1,2}, 韩兆兴^{1,2}, 肖杨^{1,2}, 刘胜强^{1,2}, 吕金鹏^{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: 裁弯取直工程是内河航道整治中的重要措施之一, 然而其在便利船舶航行的同时也会对原河道及牛轭湖的水生生态环境造成一定影响。针对裁弯取直工程生态影响及修复问题, 通过对平陆运河裁弯取直工程量的分析, 结合已有研究成果, 提出裁弯取直工程将造成运河工程段主河道和牛轭湖内生物栖息地的破坏以及种群数量不同程度的减少。从制定生态保护方案、构建生物栖息地、开展施工江段增殖放流等3个方面提出裁弯取直生态影响的修复和减缓措施, 并详细分析了生物栖息地筛选及构建方式, 可为平陆运河绿色生态化有序发展提供参考。

关键词: 平陆运河; 裁弯取直; 水生生态; 生态修复; 生物栖息地

中图分类号: U617.1

文献标志码: A

文章编号: 1002-4972(2025)04-0008-06

Ecological impact and restoration scheme of Pinglu Canal curving cutoff project

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

1. Transport Planning and Research Institute, MOT, Beijing 100028, China

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

Abstract Curving cutoff is one of the important measures in the regulation of inland waterways. However while it facilitates the navigation of ships it also has a certain impact on the aquatic ecological environment of the original river channel and oxbow lake. This article focuses on the ecological impact and restoration issues of the curving cutoff project. By analyzing the quantity of the Pinglu curving cutoff project and combining existing research results it is proposed that the curving cutoff project will cause damage to the biological habitats in the main river channel and oxbow lake as well as varying degrees of population reduction. Restoration and mitigation measures for the ecological impact of the curving cutoff project are proposed from three aspects formulating ecological protection plans constructing biological habitats and carrying out construction of river sections for breeding and releasing the selection and construction methods of biological habitats are analyzed in detail. These measures can provide reference for the green and orderly development of the Pinglu Canal.

Keywords: Pinglu Canal; curving cutoff; aquatic ecology; ecological restoration; biological habitat

我国内河水运历史悠久, 在现代交通运输领域占有举足轻重的地位。水运行业的发展, 在推动内河运输、加强地区间联系、促进经济发展等各方面都具有极为重要的作用^[1]。航道作为水运

的基础, 既受河流自然条件的影响, 也离不开人类活动的干预。对于不能达到通航标准的天然河流, 需通过疏浚、裁弯取直、航道整治等措施, 满足船舶通航及运量需求^[2-3]。其中, 裁弯取直是

收稿日期: 2024-05-08

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

作者简介: 张宁(1983—), 女, 博士, 从事水运环境影响评价研究。

根据河流弯道的自然演变规律,凭借水流的冲击力,将蜿蜒型河流进行人工取直的工程手段^[4]。裁弯取直工程既缩短了航道,又增加了纳潮量,增加航深、加大曲率半径,适应船舶数量增加和船舶大型化发展的要求,在便利船舶航行的同时,提升了航行安全性^[5]。然而河道人工裁弯后,原天然河道的弯曲河岸消失、河道内物质交换减弱,深潭与浅滩的减少导致生态环境的单一化,河道的自净能力减弱,取直后河道水流流速增大导致河道内生物适宜栖息地减少或消失,种群数量也随之减少^[6-7]。根据飞云江河口各裁弯方案研究,裁弯取直对防洪产生积极影响,但也会导致河口进潮量减小,从而导致下游河段产生不同幅度的淤积。蜿蜒的河流形成深潭及浅滩相间的格局,进而形成急流、缓流并存的河道水力特征,适于水生生物栖息^[8],裁弯取直则将导致这种生态环境发生重大变化。通过对金沙溪河道裁弯后的鲢鱼栖息地质量变化的研究得出,裁弯取直不仅可

疏通河道降低洪水位,也可改变原河道的流态,使得河道水生生态恶化,鲢鱼可生存空间减小^[9]。因此,河道裁弯所带来的生态问题,以及由此引起的生物栖息地退化问题不容忽视,亟需开展生态治理及栖息地自然化改造研究。

本文通过对平陆运河^[10]裁弯取直工程的分析,初步识别了裁弯取直对水域生态环境的影响,提出相应的栖息地保护措施,以期对平陆运河绿色生态化有序发展提供参考。

1 运河裁弯取直工程方案

平陆运河是一条通江达海的水运通道,上游连接西江航运干线,向南由北部湾出海,运河线路走向及地理位置见图1。运河所涉及的沙坪河、旧州江以及钦江均属于山区型河流,具有河道弯曲、水流湍急、河床狭窄的特征,为满足运河航道建设技术等级要求,并考虑航道线路通航的顺直便利性,需对现有天然河道进行裁弯取直。



图1 平陆运河走向及地理位置

Fig.1 Orientation and geographical location of Pinglu Canal

预计平陆运河全段裁弯取直段近 60 处，遍布整个运河沿线，均位于内河航段，各河段裁弯取直情况见表 1，典型裁弯取直河道见图 2。运河裁

弯取直后，被裁掉的自然河流总长约 56 km，占原自然河流总长度的 39.5%，工程量较大。

表 1 运河航道裁弯取直方案
Tab.1 Canal curving cutoff scheme

运河线路	运河范围	原自然河流 总长/km	被裁弯取直自然 河流长度/km	被裁弯取直自然 河流比例/%
沙坪河	郁江平塘江口—沙坪镇	23.7	9.5	40.08
旧州江	沙坪镇—陆屋镇	28.5	8.0	28.07
钦江干流段线	陆屋镇旧州江与钦江交汇处—青年梯级枢纽	68.0	37.1	54.56
干流城区	青年枢纽—钦江大桥	21.6	1.4	6.48
合计	-	141.8	56.0	39.49

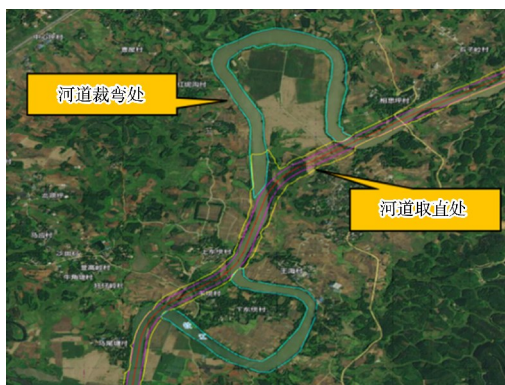


图 2 平陆运河典型裁弯取直河段

Fig.2 Typical curving cutoff of Pinglu Canal

2 裁弯取直对水生生态环境的影响

2.1 对主河道的影响

裁弯取直工程对河道形成切割效应，破坏了原有河道的完整性，使河道生态系统景观斑块化，对沿岸生态系统也产生影响。分析显示：运河沙坪河段—沙坪镇被裁弯取直自然河流约 12 km，最大裁弯处形成河道面积近 20 万 m²；钦江干流及城区段被裁弯取直自然河流约 40 km，最大裁弯处形成河道面积约 35 万 m²。部分河段水域面积相较于原河道减少（如钦江入海口段），导致水生生物栖息地减少。

根据《西部陆海新通道（平陆）运河航道规划环境影响报告书》水动力模拟结果，平陆运河工程实施后，枯水情况下，工程河段流速约为 0~0.17 m/s；丰水情况下，工程河段流速约为 0.01~0.16 m/s，与以往研究中裁弯取直导致河道流速增大的结论不同，这是由于运河的疏浚工程以及枢纽建设造

成河道流速减小。研究发现，急流、缓流并存的河道更易于形成丰富的生物群落^[11]，在流速变化范围较大的水流中，物种多样性和生物净产量呈正相关^[12]。而平陆运河工程实施后，由于河道流速减小，呈湖库状，不利于形成丰富的生物群落。

此外，运河实施后，原河道水深由原来最浅 2.5 m 增加至 6.1 m，水深增加，河床泥沙量减少导致河流的营养物质减少，从而造成水生生物种群和密度降低^[13]，使得河道内生物的适宜栖息地环境消失，种群数量减少。

2.2 对牛軛湖的影响

裁弯取直工程造成原河道出现不同大小封闭的牛軛湖^[14]，通过对黄河源区典型弯曲河流（干流、支流和牛軛湖）底栖动物生态格局的研究发现，干流、支流和牛軛湖的底栖动物群落及多样性均存在差异，牛軛湖的均匀性相对较差，引起这种差异的主要原因是水文连通性^[15]。以钦江为例，运河裁弯取直后，牛軛湖与原钦江河道仍保持联系，若航道引水流量不足，主航道外的牛軛湖会随着水量不足而萎缩，从而使得生物群落大量减少。牛軛湖形成之后，流速减慢并引起产漂流性卵鱼类的资源量下降^[16]，流速降低水面无法形成漩滚，使得漂浮性鱼卵下沉，最终导致漂浮性鱼卵无法孵化。

运河工程实施后，原有河道水深增加，而裁弯取直后牛軛湖原有高程保持不变，河岸滩地将变成水域或新的湿地环境。裁弯取直完成后可新

增约 800 hm² 的水域面积,水面长年处于静水沉积过程,为水生和湿生动植物提供了多样化的生境空间,如大口鲈鱼等。漫滩沼泽适于鸟类、禽类和两栖动物生存,并为生物在洪水期提供避难所和产卵场。同时,在水文过程的时间变异中,河道和河漫滩形成了水流-漫滩-静水-干涸等动态栖息地多样性条件。因此,裁弯取直工程完成后新形成的水域或湿地环境在一定程度上增加了部分涉水生物的栖息空间。平陆运河沿线选择适宜水禽、鸟类、水生生物栖息的牛轭湖,建设生态涵养区,增加生物栖息和保护的场所。

3 生态影响修复措施

3.1 制定生态保护方案

1) 基于裁弯取直对水生生态的影响,在施工作业时应强化生态航道建设的理念,制定相应的生态保护方案,促进水生生态修复,维护生物多样性,减小对鱼类影响。

2) 施工过程应优化施工点位,尽可能减少裁弯取直施工规模,从源头减少对生态环境的破坏。

3) 开展施工江段的生态现状监测,并基于现状监测结果,将水生生物分为近期关注和长远考虑两大类。四大家鱼、倒刺鲃等受工程影响程度较大的鱼类可作为近期重要的保护对象,通过增殖放流等措施恢复鱼类资源;因生境破坏资源量显著减少的敏感性种类(如侧条光唇鱼等)可作为长远考虑的保护对象,应采取栖息地修复、生境重建等保护措施。

3.2 构建生物栖息地

基于运河裁弯取直对河流生物栖息地的影响,为达到水生生态修复,维护生物多样性的目的,研究提出筛选裁弯取直后的水力条件较好的牛轭湖、适宜生物生存的支流河口构建生物涵养区和替代生境,模拟水生生物生境,构建生物栖息地修复河流生态。生物栖息地最早于 1983 年由 Seifert 提出^[17],主要通过河流地貌修复为渠化的河流,恢复并维持生物多样性^[18]。常见的修复河道生物栖息地的方式主要包括河道中建设生态护岸、设

置脚踏石、堰、巨木巨石和丁坝等建筑物。

3.2.1 生物栖息地筛选

生物栖息地的基本原理是依靠生态系统的自我调节和修复能力实现生态功能的恢复和提升,同时施加一定的人为调控,采取适当的涵养措施,创造有利于生态系统发育与修复的条件,促进生态系统自我恢复。研究以最大限度保护原水生生境为原则,基于裁弯取直后弯道水深及形成的水面面积,筛选出河道水深、河床底质及水流条件适宜的裁弯点布置生态涵养区。布置生态涵养区的裁弯点筛选原则见表 2。

表 2 生态涵养区布置点筛选条件
Tab. 2 Screening conditions for layout points of ecological conservation areas

优先级别	水流速度/ (m·s ⁻¹)	水深 条件/m	河床 底质	截断面积/ (万 m ²)
最优	0.2~0.8	2.0~8.0	卵石、淤泥	>10
较优	0~0.2/0.8~1.5	0.2~2.0/>8.0	基岩、细沙	5~10
一般	>1.5	<0.2	粗砂	1~5

根据南京水利科学研究所和清华大学对西江中游江段鱼类生境的研究^[19],鱼类对最小耐受流速需求较低,而对大水深的耐受范围则较大。研究发现,即使在静止的水流中也有 50% 的种类生存,然而随着流速的不断增大,生存鱼类数量比例逐渐减少;当水深小于 0.2 m 时,所有鱼类不适合生存,而水深较大时仍有某些种类生存。此外,较为稳定的河流底质中底栖动物数量较大。

3.2.2 生物栖息地建设

1) 布放人工鱼巢。研究指出卵砾石河床相对于自然河床污染物的截留效果更加明显,且卵砾石与沉水植物的结合营造了适宜底栖动物的栖息环境^[20]。而生态砾石床相对于植物碎石床,消除氨氮等污染物效果更为显著^[21]。此外,生态浮岛技术凭借其构建灵活、造价低廉、处理效果好、无二次污染等优点被广泛用于水体生态修复领域^[22-23]。

基于现有研究及工程应用,提出在运河沿线筛选出的牛轭湖中采用布设人工鱼巢及生态浮岛的方式构建适宜水生生物生存的生境条件,为底

栖动物和浮游动物的生长和繁殖以及鱼类等生物提供索饵、繁殖、生长、发育的场所,丰富水生生物生境。

2) 营造鸟类和两栖动物栖息地。平陆运河建设运营后,部分鸟类、游禽及两栖类动物的生存空间被挤占,因此,研究提出在生态涵养区营造鸟类和两栖动物的栖息地以自然恢复为主,辅以适当的生态技术或工程措施,修复和改善生存环境质量,为其提供水、食物、隐蔽、栖息和繁衍等必要生存条件的生态空间。

在运河的支流及河口、裁弯河段等明水面营造生境,主要满足部分水鸟、两栖动物的觅食、休憩等需求。以自然修复为主,可适当种植沉水植物,为水鸟及两栖动物提供觅食条件,逐步形成水生植物、底栖动物、鱼类、水鸟等水生生物共生的生态系统。

在临近平陆运河边缘借助裁弯取直水域营造浅滩斑块,其中保留一定面积的泥/沙滩地,保证蟹、虾、甲壳类等生物的生存。在浅滩斑块边缘种植高度为30~50 cm的矮小植物,植物种类保留原有当地物种。

在裁弯取直河面营造挺水植物区域,主要满足部分水鸟及两栖动物的繁殖、隐蔽及休憩等需求。挺水植物区域需采取措施控制其扩繁。休憩点包括鸟桩、漂浮体以及小于5 m²的小型岛屿、坝埂等供水鸟停留、休憩及取食。

此外,在生物栖息地区域还应设置提示标牌,绘制生态建设范围的河势图和所在支汊,介绍生物栖息地设置的重要意义、功能、范围以及区域内生态环境特点,起到发动人民群众共同参与保护的作用。

3.3 开展增殖放流

针对因运河裁弯取直造成的水生生物栖息地消失而损失的鱼类,以及工程疏挖导致底栖动物损失和水生生态系统受到一定破坏的问题,开展增殖放流工程。借鉴长江干流已实施河势控制工程、航道整治工程等项目生态补偿与修复措施的实施经验,拟采取鱼类和底栖动物增殖修复措施,

加速水生生物群落的修复。

根据《西部陆海新通道(平陆)运河航道规划环境影响报告书》中对运河涉及河流的水生生态环境现状监测,建议鱼苗放流品种以鲢、胡子鲶鱼、青鱼、鳙鱼、鲤鱼、斑鳊、三角鲤、黄颡鱼、大眼鳊、倒刺鲃、鳊、光倒刺鲃、赤眼鳟、银鲴、黄尾鲴、卷口鱼为主;底栖动物投放种类以中国圆田螺、梨型环棱螺、河蚬和日本沼虾为主。

放流的苗种必须是由野生亲本人工繁殖的下一代。放流的苗种必须是无伤残和病害、体格健壮。根据江段渔业资源状况及建设运行后水域面积,并结合江段现有的渔业增殖放流活动编制增殖放流方案。

4 结论

1) 平陆运河建设全线需实施裁弯取直工程近60处,被裁弯取直自然河流约56 km,其比例占原自然河流总长度的39.5%,工程量较大。

2) 裁弯取直后,主河道水域面积减少,导致水生生物栖息地减少。部分牛轭湖与原钦江河道尚存在联系,主航道外的牛轭湖会形成新的湿地生态系统,但生物群落会有所减少。

3) 通过制定生态保护方案,选择水深足够,水力条件较好的牛轭湖,构建生物栖息地,以及开展鱼类和底栖动物增殖放流等措施,修复和减缓裁弯取直对于水生生态环境的影响。

参考文献:

- 1 宋周游,林宇,隆燕妮.广西内河航道建设对水生态环境影响及对策[J].广西水利水电,2021(5):54-56.
SONG Z Y, LIN Y, LONG Y N. Impact of inland waterway construction on water ecological environment and countermeasures in Guangxi[J]. Guangxi water resources & hydropower engineering, 2021(5): 54-56.
- 2 航道整治工程技术规范:JTJ 312—2003[S].北京:人民交通出版社 2004.
Technical code of regulation works for navigation channel: JTJ 312-2003[S]. Beijing: China Communications Press, 2004.

- [3] 余卫锋,刘艳秋,胡飞. Delft 3D 在某航道整治工程中的应用[J]. 中国水运, 2015(3): 62-63.
YU W F, LIU Y Q, HU F. Application of Delft 3D in a certain waterway regulation project [J]. China water transport, 2015(3): 62-63.
- [4] 焦飞宇. 裁弯取直对河流健康状况的影响研究[D]. 天津: 天津大学, 2011.
JIAO F Y. Study on influence of straightening on river health[D]. Tianjin: Tianjin University, 2011.
- [5] 王瑞锋. 飞云江河口蜿蜒型河段裁弯取直工程影响研究[D]. 杭州: 浙江大学, 2014.
WANG R F. Study on the effect of meandering river cutoff projects in Feiyun estuary [D]. Hangzhou: Zhejiang University, 2014.
- [6] 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.
SUN Y, ZHANG B, SUN D P, et al. Ecology environment in river harness and the river harness based on ecology coordinate [J]. Water resources and hydropower engineering, 2017, 48(5): 102-109.
- [7] HAN B S, ENDRENY T A. Detailed river stage mapping and head gradient analysis during meander cutoff in a laboratory river [J]. Water resources research, 2014, 50(2): 1689-1703.
- [8] 袁晓仙. 澜沧江流域水利工程引发的水生生物灾害初探: 以鱼类为例[J]. 保山学院学报, 2019, 38(1): 10-17.
YUAN X X. Preliminary study on aquatic biological disasters caused by water conservancy project in Lancang River basin: a case study of fish [J]. Journal of Baoshan University, 2019, 38(1): 10-17.
- [9] 张书峰. 基于砾石群布置的裁弯河道内生物栖息地自然化改造研究[D]. 兰州: 兰州理工大学, 2021.
ZHANG S F. Study on the naturalization of biological habitat based on the arrangement of gravel groups in the meander cutoff channel [D]. Lanzhou: Lanzhou University of Technology, 2021.
- [10] 中交水运规划设计院有限公司. 西部陆海新通道(平陆)运河总体线路及梯级布置方案研究[R]. 北京: 中交水运规划设计院有限公司, 2020.
CCCC Water Transportation Consultants Co., Ltd. Research on the overall route and cascade layout plan of the western land sea new channel (Pinglu) [R]. Beijing: CCCC Water Transportation Consultants Co., Ltd., 2020.
- [11] 张兰平,孙亚玲,刘进琪. 渭河上游水生生物河流生境状态研究[J]. 甘肃水利水电技术, 2019, 55(1): 9-12, 16.
ZHANG L P, SUN Y L, LIU J Q. Study on the habitat status of aquatic organisms in the upstream of Weihe River [J]. Gansu water resources and hydropower technology, 2019, 55(1): 9-12, 16.
- [12] 周璐瑶,陈菁,陈丹,等. 河流曲度对河流生物多样性影响研究进展[J]. 人民黄河, 2017, 39(1): 79-82, 86.
ZHOU L Y, CHEN J, CHEN D, et al. Research process in the effects of river sinuosity on biodiversity [J]. Yellow River, 2017, 39(1): 79-82, 86.
- [13] 江小寒. 航道整治工程对水域生态环境影响探讨[J]. 中国水运, 2019(12): 102-103.
JIANG X H. Exploration into the impact of channel regulation projects on the ecological environment of water areas [J]. China water transport, 2019(12): 102-103.
- [14] 李志威,王兆印,李艳富,等. 黄河源区典型弯曲河流的几何形态特征[J]. 泥沙研究, 2012(4): 11-17.
LI Z W, WANG Z Y, LI Y F, et al. Planform geometry characteristics of typical meandering rivers in Yellow River Source [J]. Journal of sediment research, 2012(4): 11-17.
- [15] 赵娜,徐梦珍,李志威,等. 黄河源区典型弯曲河流底栖动物的生态格局[J]. 水生态学杂志, 2019, 40(5): 40-47.
ZHAO N, XU M Z, LI Z W, et al. Macroinvertebrate ecology in a meandering river of the Yellow River headwaters [J]. Journal of hydroecology, 2019, 40(5): 40-47.
- [16] 田佳佳,冯兴无,蒲德永,等. 嘉陵江渠化对主要经济鱼类产卵场的影响[J]. 水生态学杂志, 2022, 43(3): 9-17.
TIAN J J, FENG X W, PU D Y, et al. Effects of channelizing Jialing River on the spawning grounds of major commercial fish species [J]. Journal of hydroecology, 2022, 43(3): 9-17.
- [17] SEIFERT A. Naturmaeherer Wasserbau [J]. Deutsche Wasserwirtschaft, 1983, 33(12): 361-366.