



# 平陆运河生态廊道建设研究\*

唐玮, 翟宇昆, 吴国鼎

(中交水运规划设计院有限公司, 中交集团内河水运建设技术研发中心, 北京 100007)

**摘要:** 随着内河水运的快速发展, 大型人工运河的研究及建设持续推进, 对建设全过程的生态绿色要求也日益增加。基于平陆运河工程特点及生态环境重点问题, 进行运河生态廊道的构建及布局研究, 通过划分空中、水下、陆上、河岸廊道, 提出动物通道、生态涵养区等生态设施节点设计, 以增加运河全线不同生态斑块的连通性。通过总结平陆运河生态廊道的建设布局, 以及生态节点设施布置、设计重点, 为其他跨流域水系连通人工运河的生态建设提供借鉴与参考。

**关键词:** 运河; 生态廊道; 生态涵养区; 动物通道

中图分类号: U612

文献标志码: A

文章编号: 1002-4972(2025)01-0009-07

## Ecological corridor construction of Pinglu Canal

TANG Wei, ZHAI Yukun, WU Guoding

(CCCC Research and Development Center on Inland Navigation Construction Technology,

CCCC Water Transportation Consultants Co., Ltd., Beijing 100007, China)

**Abstract:** With the development of inland water transportation, the research and construction of large-scale artificial canals have continued to advance, so as the higher ecological and green requirements throughout the entire construction process. On the basis of the characteristics of the Pinglu Canal project and key ecological and environmental issues, we explore the construction and layout of ecological corridors along the canal. By dividing the corridor into aerial, underwater, terrestrial, and riverbank sections, we propose the design of ecological facility nodes such as animal passages and ecological conservation areas to enhance the connectivity of different ecological patches along the entire canal. By summarizing the construction and layout of ecological corridors for the Pinglu Canal, as well as the research of layout and design emphasis of ecological node facilities, we aim to provide valuable insights and references for the ecological construction of other cross-basin artificial canals.

**Keywords:** canal; ecological corridor; ecological conservation area; animal passage

生态廊道指生态环境中呈线性或带状布局、能够沟通连接空间分布上较为孤立和分散的生态单元的生态系统空间类型, 能够满足物种的扩散、迁移和交换, 增加种群间的基因交流, 是构建区域山水林田湖草完整生态系统的重要组成部分<sup>[1]</sup>。William 于 1959 年首次提出绿道 (greenway) 概念, 主要为景观服务, 后被拓展至生态保护方面, 并

逐渐被各方重视<sup>[2]</sup>; 而后 Wilson et al.<sup>[3]</sup> 提出了用廊道连接相互隔离的生态斑块以减轻生境破碎化对物种带来的负面影响; 1980 年, 国际自然保护联盟 (IUCN) 采纳生态廊道理念; 1995 年, Forman<sup>[4]</sup> 提出集中与分散结合的空间格局, 细化生态廊道作用。生态廊道在发展的过程中愈发被各国重视, 被认为是维持生态系统稳定运行的关键。

收稿日期: 2024-03-20

\*基金项目: 国家重点研发计划项目(2023YFB2600183); 交通运输行业重点科技项目(2022-ZD7-119)

作者简介: 唐玮 (1987—), 女, 硕士, 高级工程师, 从事港口给排水、环保设计。

我国自2010年以来,已有较多地区从绿化层面出发,发展河道生态廊道的建设。成渝“六江”(长江、嘉陵江、乌江、岷江、涪江、沱江)统筹开展生态廊道规划及整体保护<sup>[5]</sup>;长三角生态绿色一体化发展示范区建设绿色生态廊道<sup>[6]</sup>;广东省遂溪河建设全长约14.8 km的万里碧道河道,通过水质整治与景观结合,打造具有遂溪特色的生态碧道<sup>[7]</sup>;北京市河道规划正在由工程水利向生态水利转变,从水质还清、水源补给、河道蓝线规划(绿化隔离带设置)等方面对河道进行治理<sup>[8]</sup>。大型人工运河主要为跨流域、大规模的重大人工航道建设工程,以平陆运河、湘桂运河、赣粤运河等为典型代表。大型人工运河生态廊道的建设,需要在普通河道水域生态廊道建设的基础上,考虑人工运河开挖、扩宽、改线及远期行船对生态斑块的割裂,满足运河建成后沿线生态、景观、文化与休闲一体的功能需求。

## 1 工程概况

平陆运河连通西江干流与北部湾港,是新中国成立以来建设的第1条江海连通的大运河,总体线路划分为沙坪河段、分水岭段、钦江干流段、钦州城区段和入海口近海段5个区段,从上游至下游建设马道、企石、青年3个梯级枢纽,新福、钦州水上服务区2处,各枢纽一次性建成双线5000吨级船闸<sup>[9]</sup>。平陆运河的位置及枢纽布置见图1。



a) 平陆运河位置



b) 线路及枢纽布置

图1 平陆运河位置、线路及枢纽布置

Fig. 1 Location, routes, and ship locks layout of Pinglu Canal

运河工程涉及调水、水系连通工程,存在大规模土石方开挖、疏浚,以及部分切滩、裁弯取直等航道整治内容。运河沿线设置不同梯级枢纽及服务区,包含大型水工建构物及附属设施的建设。同时,工程建设须对通航产生影响的“跨”、“临”、“拦”构筑物及附属设施进行拆改,项目实施涉及大规模征拆及大型临时工程。

平陆运河开发任务以发展航运为主,结合供水、灌溉、防洪、改善水生态环境等,各河段的建设涉及不同的环境敏感点位,工程建设需要充分考虑减少对生态环境的影响,以“河畅、水清、鱼翔、岸绿、景美、低碳”为目标,开展运河沿线水环境综合整治和水生态修复,实施自然岸线和生物多样性保护,建设沿河生态廊道,打造高水平保护的生态、绿色运河工程<sup>[10]</sup>。

## 2 重点生态环境影响分析

与传统航道建设相比,大型人工运河工程建设规模较大,对生态环境影响更加显著,其中重大运河工程建设内容复杂、开发强度大,涉及的生态敏感区类型多样,工程正负环境效益兼具<sup>[11]</sup>。平陆运河工程沿线涉及环境敏感点位较多,施工期及运营期均对水生、陆生生态系统造成一定环境影响。

运河疏浚、清礁、拓宽、护岸、梯级枢纽等施工导致施工区域水体悬浮物增加,可引起浮游、底栖生物减少,造成鱼卵、仔鱼的直接损失及栖

息环境破坏<sup>[12]</sup>。河道蜿蜒度的减少及水文情势的变化,使河流生境碎片化、斑块化,局部水域生境将由河流型向湖泊型转变,从而影响河流生态系统的稳定性。另外,枢纽建成后减少河道连通性,对原有河道形成阻隔影响。运行期间船舶航行的噪声、船行波也将相应增加对河流水生生境的干扰。

运河越岭段进行人工开挖连通郁江、钦江水系,增加了越岭段的陆生生境阻隔,且提高跨流域生态连通风险。工程建设期噪声、灯光等将对陆生生物造成干扰,枢纽建成后淹没面积增加及工程建设占用陆生生境,致使陆生生物栖息环境变化。

### 3 生态廊道布局研究

生态廊道布局可从结构、功能进行分类布局,

从结构分类可分为带状、线状和河流生态廊道,从功能分类可分为迁徙型、交通型和繁殖型生态廊道。

平陆运河属于跨流域、通江达海水系连通工程,线路沿线涉及不同生态系统、多样性自然生境,以及部分重点敏感物种,生态廊道布局须充分考虑生态建设需求,采用“多廊+多点”格局。结合水生、陆生生态等保护目标,运河生态廊道设置空中、水下、陆上、河岸景观等带状廊道,围绕环境敏热点区域布置生态涵养区、动物通道、鱼道等多个生态节点,实现沿线不同区域的生态连通、栖息地恢复功能,同时结合周边农业、产业规划,保留自然及人文特色,建设与自然环境协调的生态景观。平陆运河生态廊道布局研究路线及内容见图 2。

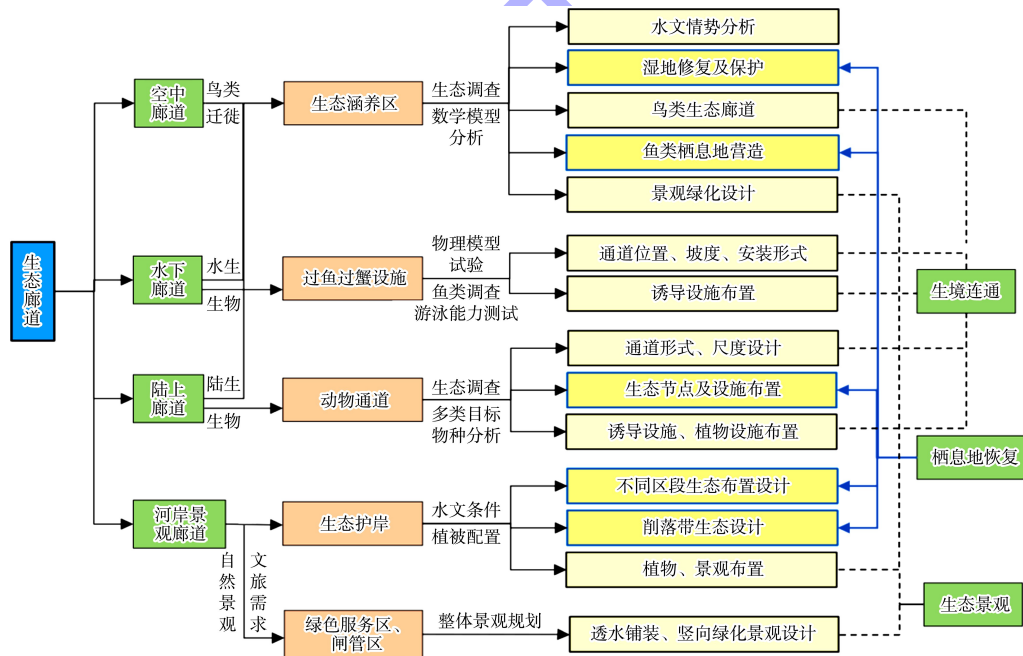


图 2 平陆运河生态廊道研究内容  
Fig. 2 Ecological corridor research contents of Pinglu Canal

运河生态廊道及节点的设计,在充分开展现状生态调查的基础上,利用数学模型、物理模型分析及生态试验等手段,优化不同类型生态设施的布局、尺度及生态功能。平陆运河沿线利用裁

弯取直产生的牛轭湖共设置 36 处生态涵养区、越岭段设置 2 处动物通道(1 处专用、1 处兼用),青年枢纽设置 1 座鱼道,陆屋镇附近设置 1 处渔业增殖站。运河工程生态环保设施布局见图 3。





表 1 运河沿线生态涵养区主导功能及设计措施

Tab. 1 Main functions and measures of ecological conservation area along canal

主导功能	涵养区现状条件	主要设计措施	典型涵养区编号
水质维护改善	涉及水源地或取水口, 面源污染显著、水动力条件差	合理时空配置沉水、浮叶、挺水植物, 提升植物群落拦截净化功能; 采用湿地建设、生物浮床、微生物投放、曝气推流、生态流量补给等生态工程措施; 采用河流、水塘等区域沟汊生态连通, 构建河道浅水旁路湿地; 河床开挖深槽, 形成滩-槽交错的形势, 增加过水断面宽度和进水流量	S <sub>10</sub> 、Q <sub>9</sub> 、Q <sub>2</sub> 、Q <sub>4</sub>
鸟类生态廊道	涉及鸟类迁徙通道和生态调查中鸟类重点活动区域	不同深度水体的营造, 分为浅滩区(0~<0.3 m)、浅水区(0.3~<1.0 m)及深水区(1.0~4.0 m), 满足多种鸟类的需求 植物配置综合分析植物的食源性、庇护性和鸟类的食性、繁殖筑巢习性, 以自然乡土物种为主, 满足丰富植物群落类型 水面布设鸟类人工生态岛, 论证分析岛屿的位置、大小、形态、植被要求; 局部引鸟措施	S <sub>8</sub> 、J <sub>1</sub> 、Q <sub>1</sub> 、Q <sub>11</sub>
鱼类生境营造	涉及鱼类三场和划定的替代生境区域	木桩、铺草、抛石等模拟自然状态, 制造鱼类繁殖场所; 底部抛填石料, 表层铺设生态人工鱼礁; 重点区段局部设置鱼巢砖结构透水生态护岸; 微地形塑造构筑必要的滩、洲、生态潜坝、砾石群等; 增殖放流, 局部布设鱼类生境岛	S <sub>1</sub> ~S <sub>7</sub> 、S <sub>9</sub> 、J <sub>2</sub> ~J <sub>4</sub> 、Z <sub>6</sub> 、Q <sub>3</sub> 、Q <sub>5</sub> ~Q <sub>8</sub> 、Q <sub>12</sub> ~Q <sub>14</sub>
湿地修复和保护	建设过程对湿地植被造成较大损失的区域	配置沉水植物群落形成水下森林, 用于深度净化水体; 设置船舶交通流引导牌, 引导船舶尽量避开或减少对生态涵养区域的扰动; 开展不同层面的宣传工作	Z <sub>2</sub> ~Z <sub>5</sub> 、Z <sub>7</sub> ~Z <sub>9</sub>

## 4.2 动物通道

国外关于动物通道桥的研究与工程应用起步较早, 北美、欧洲等发达国家(地区)早在 20 世纪 50、60 年代就开始建造动物通道, 如美国蒙大拿州 93 号公路为保护熊、麋鹿、狮子等修建的上跨式动物通道桥, 荷兰 524 号省道针对鹿、野猪及爬行类动物建造的上跨式动物通道桥<sup>[15]</sup>。这些案例证明了上跨式动物通道桥在公路领域的有效性。

我国关于野生动物通道桥的研究起步较晚, 近 20 年来, 得益于国内生态保护意识的提高, 在公路交通领域, 我国在野生动物通道规划、设计、监测方面做了大量的探索研究, 如青藏铁路野生动物通道研究与设计是我国野生动物通道保护的优秀典范<sup>[16]</sup>, 在京新高速公路<sup>[17]</sup>、河池—百色高速公路<sup>[18]</sup>等设置的动物通道, 均取得了良好的环境和社会效益。

### 4.2.1 目标物种及选址设计

平陆运河越岭段位于广西钦州市灵山县境内, 根据《平陆运河(平塘江口—兰海高速钦江大桥段)环境影响报告书》<sup>[19]</sup>, 越岭段植被类型主要为巨桉树, 马尾松散落分布, 群落外貌整齐, 分为乔

木层、灌木层和草本层, 盖度 75% 左右, 越岭段动物通道的目标物种主要是以斑林狸、豹猫和赤腹松鼠为代表。

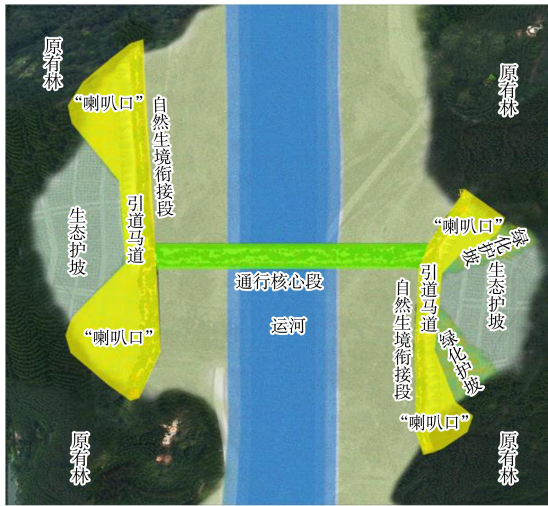
动物通道的选址主要结合生态廊道规划, 满足《平陆运河(平塘江口—兰海高速钦江大桥段)环境影响报告书》的相关要求。结合现场生态调查的动物分布、活动路径, 并从物理环境、生物环境和人类干扰等各方面进行综合考虑。经比选, 本工程专用动物通道布置于越岭段 K27+334, 上跨运河主航道, 通道宽 20 m, 通过马道和生态护坡连接到山体原有林带; 兼用动物通道与金塘村大桥合建, 上跨运河主航道, 动物通道宽度 3 m, 利用侧桥头的斜坡道与原林带栖息地连接。

### 4.2.2 通道生态设计

动物通道功能布局上分为“两段+多节点”, “两段”主要包括自然生境衔接段、通行核心段两个功能分区, “多节点”主要为多处生态微环境关键节点。自然生境衔接段为动物通道与原有林过渡连接段, 以目标物种习性为导向, 增加生态及植物诱导设施。通行核心段为动物通道跨河桥体段, 根据目标物种习性划定功能分区, 创造满足



目标物种及周边动物快速通行、栖息休憩的环境。微环境关键节点为汇水区及地形交接处，为目标物种及伴生物种提供栖息、觅食、活动空间。动物通道主要功能区布局及效果图见图 4。



a) 动物通道功能布局



b) 效果图

图 4 动物通道主要功能区布局及效果图

Fig. 4 Major functional area layout and effect picture of animal passage

根据不同目标物种习性，动物通道分为“三线+多节点”，“三线”主要为善攀爬动物通道、地栖与爬行动物通道、多生物聚集带三类通道类型，“多节点”为多生态微环境区。善攀爬动物通道主要服务斑林狸、赤腹松鼠等攀爬类动物，为其建立连贯乔木林带；地栖与爬行动物通道主要服务豹猫、变色树蜥等爬行类动物，为其快速通行和

活动空间提供场地；多生物聚集带主要任务为吸引以花、果为食物的昆虫及部分鸟类聚集停留，增加生物多样性；生态微环境区是各物种重要聚集空间，为生物提供栖息、饮水、觅食等功能。

动物通道桥的绿化设计从生境营造与物种多样性的角度选择植物品种，营造“有绿荫、有色彩、可采食、多层次”仿自然的植物生态景观，为哺乳动物、鸟类、昆虫提供越岭过境及栖息觅食的场所。植物多选用乡土物种，以浅根系小乔木搭配灌木、草本等地被的形式配置，主要采用假苹婆、人面子、蒲葵等。

专用动物通道与马道衔接区域、桥侧区域设置引导指示牌，避免人类活动等对动物通道的影响。在靠近动物通道桥区域设置鸣笛警示牌和船舶，提醒来往船舶，减少对动物通行的惊扰。

#### 4.2.3 生态观测方案

根据 LY/T 2016—2012《陆生野生动物廊道设计技术规程》<sup>[20]</sup> 要求，在建成的动物通道内，对野生动物进行至少 1 年的调查监测，评估动物通道的有效性。

根据现场实地条件，拟使用红外相机监测法。红外相机技术作为一种非损伤性技术手段，具有成本低、干扰小和长时间监测(24 h)等优点，能在原生自然状态下获得大量的数据，包括群体结构、物种多样性及空间分布等信息<sup>[21]</sup>。通过相对丰度指数  $I_{RA}$  评测不同物种在调查范围内的数量，其计算公式为：

$$I_{RA} = A_i / T \times 100\% \quad (1)$$

式中： $A_i$  为第  $i$  种 ( $i=1, 2, \dots, n$ ) 动物独立照片数量， $T$  为红外相机的总工作日。

在专用动物通道桥上布设 28 台红外相机，设备将收集到的照片定期传输至生物多样性观测主站，按照 60 s 间隔对相邻照片进行自动分组筛选出有动物的照片，再对其中的斑林狸、豹猫和赤腹松鼠等重点目标物种的照片进行识别与鉴定。通过计算不同时间段(1 h)红外相机所拍摄的独立有效照片数与所有独立有效照片总数的比值分析目标物种的日活动节律，为生物多样性和动物通

道有效性研究提供数据支撑。

## 5 结语

1) 平陆运河属于跨流域、通江达海水系连通工程,运河建设过程对生态环境的影响主要集中于生境阻隔、栖息环境破坏两方面,生态廊道布局需要考虑沿线不同生态需求,采用“多廊+多点”格局,设置空中、水下、陆上、河岸景观等带状廊道,围绕环境敏感点区域布置生态涵养区、动物通道、鱼道等多个生态节点,实现生态连通、栖息地修复的功能。

2) 在综合考虑航运影响、水文情势、生境需求后,运河生态廊道节点可结合裁弯取直原河道设置生态涵养区,设置水质维护改善、鸟类生态廊道、鱼类生境营造、湿地修复和保护等主导功能,并相应采取水动力改善、生态修复、植物布设等措施。

3) 运河建设造成陆生生态阻隔时,生态廊道节点宜设置上跨式动物通道,结合通行目标物种的习性,设置自然生境衔接段、通行核心段及多处微环境节点,并相应采取诱导、栖息地营造等生态工程措施。

## 参考文献:

- [1] JORDÁN F. A reliability-theory approach to corridor design [J]. *Ecological modelling*, 2000, 128 (2/3): 211-220.
- [2] 李正玲,陈明勇,吴兆录.生物保护廊道研究进展[J]. *生态学杂志*, 2009, 28(3): 523-528.
- [3] WILSON E, WILLIS E. *Applied biogeography* [M]. Cambridge: Harvard University Press, 1975.
- [4] FORMAN R T T. *Land mosaics: the ecology of landscape and regions* [M]. Cambridge: Cambridge University Press, 1995.
- [5] 川渝两地共推国土空间生态修复“四位一体”绘巴蜀绿水青山蓝图[J]. *资源与人居环境*, 2021(7): 14.
- [6] 冯俊,王琳.合力共建长三角绿色生态廊道的思考[J]. *江南论坛*, 2020(4): 10-12.
- [7] 杨光,孔婷婷,郭欣,等.城镇型河道生态保护设计的思考:以遂溪河万里碧道项目为例[J]. *运输经理世界*, 2022(17): 157-159.
- [8] 魏保义.北京城市河道生态治理规划要点[J]. *中国防汛抗旱*, 2013, 23(1): 28-31.
- [9] 中交水运规划设计院有限公司.西部陆海新通道(平陆)运河工程初步设计总报告[R].北京:中交水运规划设计院有限公司, 2022.
- [10] 广西壮族自治区生态环境厅.关于平陆运河环境影响报告书的批复[A].南宁:广西壮族自治区生态环境厅, 2022.
- [11] 韩兆兴,张宁,肖扬,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.
- [12] 交通运输部规划研究院.平陆运河(兰海高速钦江大桥以下段)环境影响报告书[R].北京:交通运输部规划研究院, 2022.
- [13] 宋友城,田毅,安拴震.大清河流域生态功能区划研究[J]. *生态科学*, 2021, 40(6): 197-206.
- [14] 交通运输部规划研究院,长江航道勘察设计院(武汉)有限公司.西部陆海新通道(平陆)运河生态涵养区专项研究与设计[R].北京:交通运输部规划研究院, 2024.
- [15] 王云,关磊,杨艳刚,等.公路野生动物通道研究进展[J]. *交通运输研究*, 2019, 5(5): 79-87, 109.
- [16] YANG Q S, XIA L. Tibetan wildlife is getting used to the railway[J]. *Nature*, 2008, 452: 810-811.
- [17] 李灵贝,王云,关磊,等.京新高速公路(临白段)野生动物通道监测研究[J]. *四川动物*, 2019, 38(1): 92-98.
- [18] 李云涛,刘路明,王振兴,等.河池至百色高速公路猕猴动物通道设计与应用[J]. *西部交通科技*, 2019(6): 171-174.
- [19] 交通运输部规划研究院.平陆运河(平塘江口—兰海高速钦江大桥段)环境影响报告书[R].北京:交通运输部规划研究院, 2022.
- [20] 北京林业大学自然保护区学院,中国林业科学研究院森林生态环境与保护研究所,中南林业科技大学野生动植物保护研究所.陆生野生动物廊道设计技术规范: LY/T 2016—2012 [S].北京:中国标准出版社, 2012.
- [21] 唐创斌,汪国海,施泽攀,等.基于红外相机技术的赤腹松鼠活动节律和时间分配分析[J]. *广西师范大学学报(自然科学版)*, 2020, 38(1): 133-139.

(本文编辑 王璁)