



平陆运河梯级方案极限优化论证*

袁和平, 潘海涛, 吕小龙, 高成岩
(中交水运规划设计院有限公司, 北京 100007)

摘要: 运河线路和梯级方案属于运河工程的重大技术方案, 开展多要素比选、多维度论证和多目标决策研究是十分必要的。针对平陆运河航道线路和梯级布置数量的问题, 在项目前期研究论证过程中, 从水资源保障及综合利用、综合开发适应性、防洪安全及沿程渗漏、占地及生态环保、通航效率和通过能力、工程技术难度、工程投资等方面, 对梯级方案开展极限优化研究。经研究论证, 极限优化后的梯级方案 and 对应线路不能作为运河梯级和线路的推荐方案, 推荐方案为三级梯级方案。

关键词: 平陆运河; 线路方案; 梯级方案; 极限优化研究

中图分类号: U612

文献标志码: A

文章编号: 1002-4972(2025)05-0008-05

Extreme optimization and demonstration of cascade scheme for Pinglu Canal

YUAN Heping, PAN Haitao, LYU Xiaolong, GAO Chengyan
(CCCC Water Transportation Consultants Co., Ltd., Beijing 100007, China)

Abstract: The canal route and cascade scheme are major technical schemes for a canal project, and it is necessary to make multi-factor comparison and selection, dimensional demonstration, and multi-objective decision-making research. In view of Pinglu Canal channel route and cascade layout quantity problems, during the preliminary research and demonstration process of the project, extreme optimization research is conducted on the cascade scheme from aspects of guarantee of water resource and comprehensive utilization, comprehensive development adaptability, flood control safety and along-the-way leakage, traffic efficiency and capacity, land occupation and ecological environmental protection, engineering technical difficulty, engineering investment, etc. After research and demonstration, the extreme optimized cascade scheme and route is not recommended, and the recommended scheme is a three-tier ladder scheme.

Keywords: Pinglu Canal; route scheme; cascade scheme; extreme optimization research

平陆运河是以发展航运为主, 结合供水、灌溉、防洪、改善水生态环境等任务的综合性跨水系的运河工程, 其在交通运输、水资源综合利用、推动区域经济和社会发展等方面综合效益显著^[1-2]。平陆运河于2022年8月开工建设并计划于2026年底前建成通航。目前, 国内正在开展湘桂、赣粤等多项水系间运河沟通工程的前期研究工作, 梯级和线路方案论证也是上述研究工作的重要内

容。本文结合平陆运河工程可行性研究的梯级方案极限优化论证思路和研究结论, 为跨水系运河工程梯级和线路方案的多要素比选、多维度论证、多目标决策研究以及重大技术方案的研究论证和决策提供参考和借鉴。

1 推荐线路和梯级方案

平陆运河规划、项目建议书和工程可行性研

收稿日期: 2024-07-20

*基金项目: 国家重点研发计划项目(2023YFC3206103, 2023YFB2604704)

作者简介: 袁和平(1980—), 男, 硕士, 正高级工程师, 研究方向为航道与通航建筑物工程设计。

究阶段对航道线路和梯级布置方案开展了多方案经济技术综合比选和研究论证^[3-4]。

根据调研踏勘、地形测量、地质勘察和相关专题研究, 综合考虑不同线路方案的工程量、征地拆迁、施工条件、沿线影响和工程投资等因素, 按照充分利用地形和河势条件、利于生态环境保护、航线相对顺直、尽量减少征地拆迁和沿线影响、控制土石方开挖量和工程投资、避开重要环境敏感区、兼顾沿线开发等原则, 对运河线路方案进行研究和综合比选, 推荐了平陆运河起点位于平塘江口, 跨沙坪河与钦江支流旧州江分水岭,

经钦州市灵山县陆屋镇沿钦江干流南下进入北部湾钦州港海域的总体线路方案, 推荐的平陆运河总体线路方案科学、合理、可行。

根据水文、地形、地质等自然条件, 充分考虑水资源综合利用、梯级间通航水位衔接、河道防洪排涝^[5]、淹没影响等要求, 结合正常蓄水位论证、枢纽坝址选择、城镇总体规划和生态环境改善等因素, 开展运河梯级方案经济技术比选论证, 推荐马道、企石和青年三级梯级枢纽方案, 推荐的梯级布置方案科学、合理、可行。平陆运河推荐总体线路及梯级布置方案见图 1。

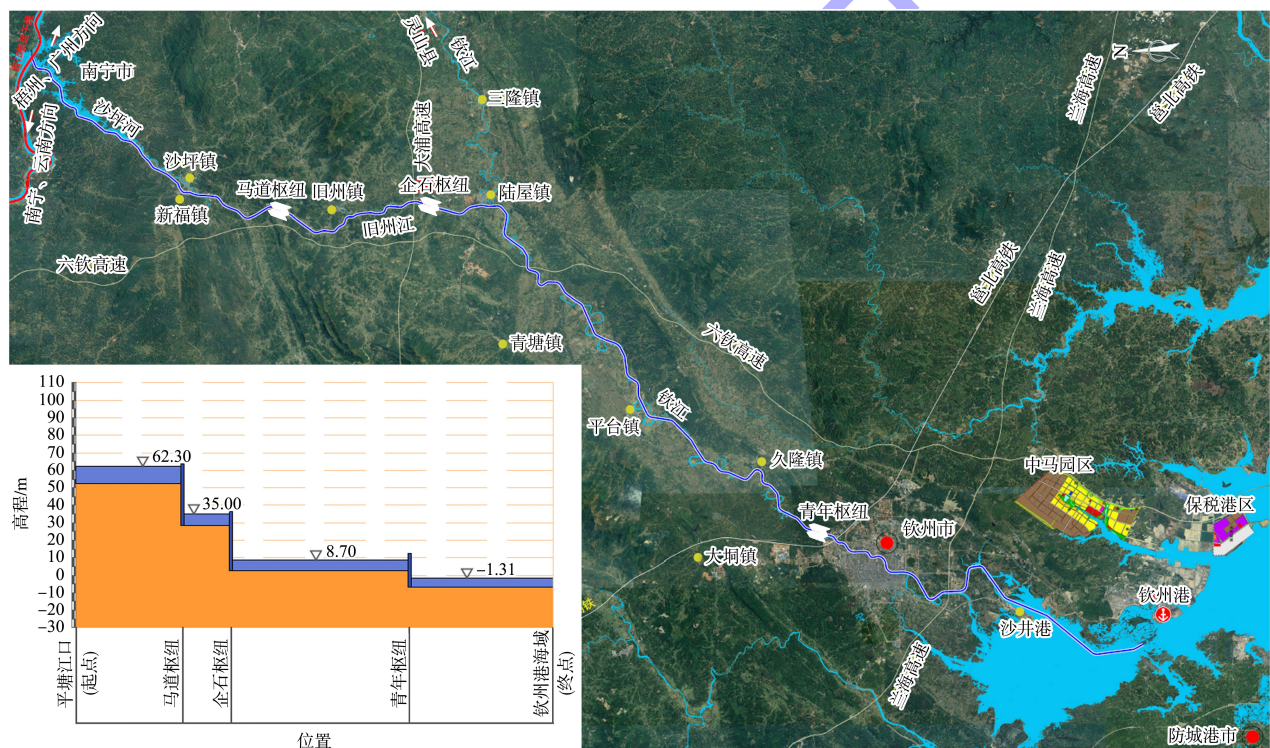


图 1 平陆运河推荐总体线路及梯级布置方案

Fig. 1 Recommended overall route and cascade layout scheme for Pinglu Canal

2 梯级极限优化方案提出与方案概述

平陆运河工程可行性研究阶段(以下简称“工可研”), 也同步对方案研究论证和咨询审查等过程中提出的取消企石梯级枢纽, 采用马道、青年两级梯级枢纽梯级布置方案 and 与此梯级方案相对应的“走高不走低”的线路布置方案, 开展了梯级方案极限优化研究和探索。

梯级极限优化方案取消了企石梯级枢纽, 通过沿线筑堤使青年枢纽正常蓄水位由推荐方案的

8.7 m 抬升至 38.0 或 27.6 m。马道枢纽下游运河线路主要沿旧州江现有河道走向至陆屋镇, 陆屋镇以下线路不进入钦江, 采用通航渡槽或平交方案跨越钦江, 继续往东穿过钦江与大风江分水岭, 沿分水岭山脚往钦州方向南下, 右岸依托分水岭自然边坡挡水, 左岸通过填筑堤防挡水, 在钦南区久隆镇附近折返至钦江进入青年枢纽。梯级极限优化方案总体线路及梯级布置见图 2。

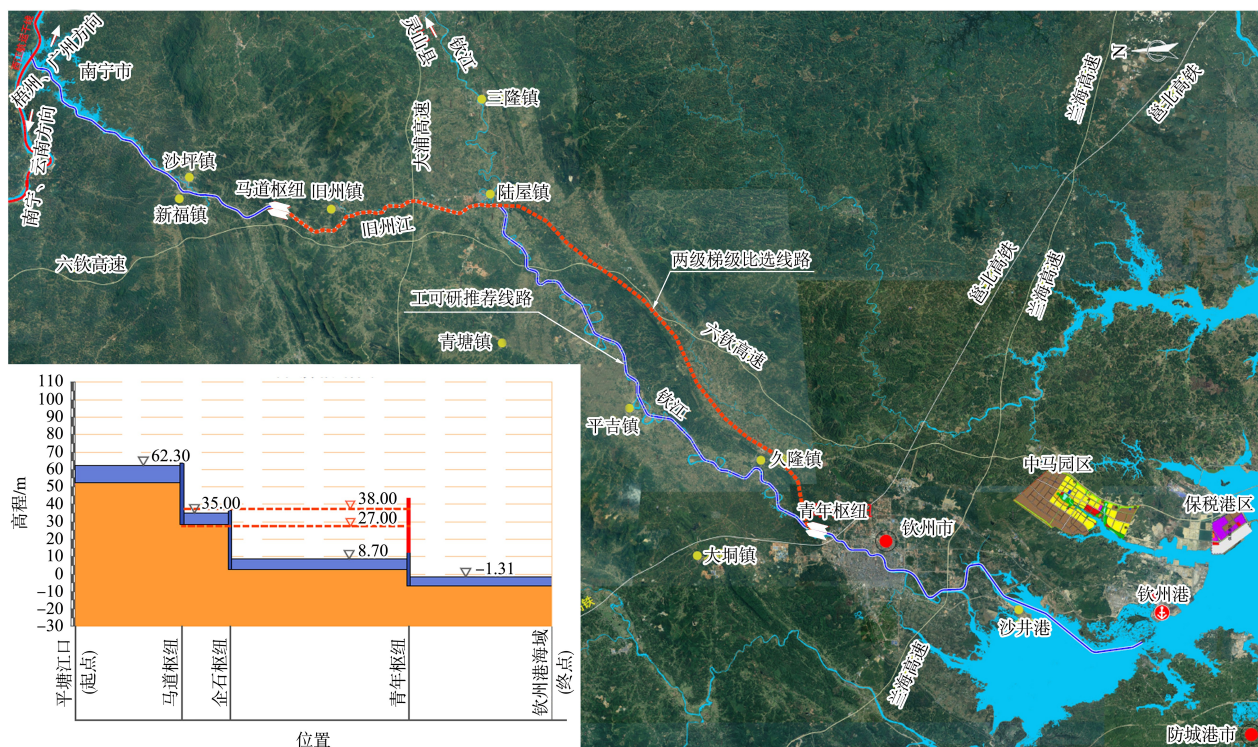


图 2 梯级极限优化方案总体线路及梯级布置方案

Fig. 2 Overall route and cascade layout scheme of cascade extreme optimized scheme

3 梯级极限优化方案研究论证与探讨

3.1 水资源保障与综合利用

平陆运河航运用水与郁江流域生态环境、航运、发电用水关系密切，水资源保障是工程实施的重大前提之一，同时，实现水资源综合利用是运河建设的既定开发任务。运河建设除采用省水船闸节水等工程措施外，还需要考虑优化水资源配置实现综合利用。根据《环北部湾水资源配置工程总体方案》^[6]，调水工程与运河工程结合，在满足航运用水需求的同时，满足沿线城镇用水、工农业用水和生态用水，达到水资源综合利用。

工可研推荐方案确定平陆运河近期从郁江调水 $24 \text{ m}^3/\text{s}$ ，经马道枢纽引入钦江，青年枢纽下泄流量为 $10.8 \text{ m}^3/\text{s}$ ，河道内 $13.2 \text{ m}^3/\text{s}$ 水量可用于运河沿线供水、灌溉、生态等用水，以实现水资源的综合利用^[7]。

梯级极限优化方案青年枢纽的蓄水位须大幅抬高，从郁江调水流量也将显著增加，且无多余水量供沿线综合利用。若要达到与工可研推荐梯级方案为沿线提供同等供水流量，调水量和年新增水资源消耗量也将显著增加。不同方案水资源指标对比见表 1。

表 1 不同方案水资源指标对比

Tab. 1 Comparison of water resource indicators for different plans

| 方案 | 马道枢纽 引水流量/ ($\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$) | 青年枢纽 下泄流量/ ($\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$) | 提供综合 利用水流量/ ($\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$) | 达到沿线同等用水量 情况下总调水流量/ ($\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$) | 年新增 用水总量/ 亿 m^3 |
|---------------------------|---|---|--|--|--------------------------------|
| 工可研推荐梯级方案 | 24 | 10.8 | 13.2 | 24 | 0.0 |
| 青年枢纽 38 m 蓄水位方案(梯级极限优化方案) | 40 | 40.0 | 0.0 | 53 | 8.5 |
| 青年枢纽 27 m 蓄水位方案(梯级极限优化方案) | 31 | 22.0 | 9.0 | 36 | 3.5 |

注：达到沿线同等用水量情况下总调水量的含义是指梯级极限优化方案在满足航运用水的同时，达到与工可研推荐方案同等的水资源综合利用条件。

从水资源节约和综合利用的角度,平陆运河从郁江调水应尽量满足沿线用水需求,减少从青年枢纽排入海洋的水量。工可研推荐梯级方案采用从上游至下游各级枢纽依次降低航运用水量,利用区间用水量差为沿线供水、灌溉和生态用水等措施,实现了水资源的综合利用。但由表1可看出,梯级极限优化方案从郁江调水指标、排海流量和年新增用水总量均远大于工可研推荐方案,改变了工程规划水资源论证既定水资源保障条件,且无法充分实现水资源综合利用。

3.2 与上位规划和综合开发的适应性

《珠江流域综合规划》^[8]、《“十四五”现代综合交通运输体系发展规划》^[9]、《西部陆海新通道总体规划》^[10]等规划中均提出了平陆运河利用钦江干流的规划线路和综合开发功能。梯级极限优化方案对应的线路方案与相关上位规划不相匹配;平陆运河经济带总体规划提出的规划范围及任务,也是围绕沿钦江干流的综合开发,通过运河建设构建河、港、产、城融合发展新空间。

平陆运河线路方案既要满足整体运输布局,也要服务于局部发展需求,兼顾沿线更多地方的经济发展需要^[11]。梯级极限优化方案马道—青年枢纽间线路大部分位于钦江与大风江分水岭一侧,与规划布局的钦州内河港口、沿河物流产业园区和城镇开发衔接的代价将明显增加,不利于运河经济带总体开发和综合效益的充分发挥,也与沿线群众对运河建设带来更多发展机遇的期盼存在差距。

3.3 防洪安全及沿程渗漏

梯级极限优化方案采用筑堤方案将使运河形成水位高于原地面的“地上河”,运河左岸的堤防等同于长达数十公里的条带状中型水库土石坝。因此须根据工程地质和水文条件,采取可靠的防渗措施和堤坡防护,沿线防洪工程代价将显著增加。一旦堤防出现险情,将对沿线造成洪水淹没损失。工可研推荐方案对钦江干流河道进行拓宽浚深,可使洪水位降低、洪水归槽明显,有效减小两岸的防洪压力。

梯级极限优化方案对应的“走高不走低”线路方案主要分布于地势相对较高的山脊区域,沿线增加了约700万m²水域面积,运河部分区段将形成带状水库且水面高于原地面,河道中的航运用水会形成新的地下水补给源,一定程度改变了区域地下水分布,沿程渗漏问题也会消耗航运水资源,同时还可能对低洼区域带来潜在的浸没不利影响。

3.4 生态环保及工程用地

工可研推荐方案已全线避让生态红线,并通过环境影响评价。梯级极限优化方案涉及占用钦江和大风江分水岭东侧的大量林地,且无法完全避让一级公益林等生态红线。

工可研推荐方案的陆屋镇—青年枢纽段,钦江裁弯取直后通过部分回填原河道可造地补充耕地或构建生态涵养区,形成耕地后与航道永久用地占用基本农田置换耕地占用指标。梯级极限优化方案陆屋镇上游旧州江两岸和下游一定范围主要为基本农田,筑堤方案形成的航道断面需要新建堤防并建设运河两侧排水通道,占地较多并涉及基本农田占用,实施占补平衡补充耕地指标的可行性较小,工程用地指标将大于工可研推荐方案。

3.5 通航效率和通过能力

梯级极限优化方案取消一座企石梯级枢纽,较工可研推荐的三级梯级方案可缩短运河的通行时间约1h。但青年枢纽需要建设40米级水头的船闸,采用省水船闸方案的输水时间将比工可研推荐方案延长6~8min,船闸通过能力降低约10%。

3.6 工程技术难度

梯级极限优化方案在沿线堤防安全、渗漏和浸没影响问题的解决,运河跨钦江建设5000吨级通航渡槽,运河与钦江平交时的通航水流条件与通航安全,青年枢纽建设40米级高水头多级省水船闸等方面增加了工程技术的复杂性,工程实施难度和代价较大,须针对上述技术问题开展系统深入的方案研究论证和试验研究工作。

3.7 土石方开挖量及工程投资

梯级极限优化方案减少了企石梯级枢纽的建设,如果线路地形条件合适,土石方开挖量比三级梯级方案会有一定减小。但青年枢纽船闸将由10.8 m水头互灌互泄省水船闸,改为建设40米级水头带三级省水池的省水船闸,工程代价也将显著增加,并需要在陆屋镇下游新建跨钦江的通航渡槽工程或拦河坝及平交处理工程,改建钦宾高速公路线路和新建高速公路跨运河桥梁,同时还会新增沿线堤防建设和边坡防护、防渗措施及地基处理、维护性疏浚、工程占地和生态环境保护等费用。根据以上分析并估算和对比工程投资,梯级极限优化方案工程费用与三级梯级方案基本持平,均为520亿元左右,工程投资无明显优势。

3.8 极限优化方案综合评价

综上所述,梯级极限优化方案和对应的“走高不走低”线路方案,存在航运用水量显著增加和保障条件的重大变化,且难以实现水资源综合利用的既定开发任务;存在防洪安全、沿程渗漏及浸没影响,且有跨钦江通航渡槽、运河与钦江平交方案和青年枢纽高水头省水船闸等须深入研究的复杂技术问题和潜在风险;对沿线产业布局、城镇化发展和国土空间开发等引领带动作用不够,不利于打造“河港产城”融合的运河经济带、实现综合效益最大化;土石方工程量和工程投资也无明显优势。因此此方案不能作为平陆运河梯级和线路的推荐方案。

4 结语

1) 跨水系运河连通工程梯级和线路方案研究论证时,土石方开挖量和工程投资是方案论证的一项重要指标,但不是单一维度的决策目标。需要从水资源保障及综合利用、综合开发适应性、防洪安全及沿程渗漏、占地及生态环保、通航效率和通过能力、工程技术难度和工程投资等方面,开展多要素比选、对维度论证和多目标决策来确定最终推荐方案。

2) 梯级布置方案和梯级蓄水位的确定,应符合工程水资源保障条件和调水指标,在满足航运

用水需求的同时,尽量兼顾沿线城镇用水、工农业用水和生态用水,实现水资源综合利用。

3) 审慎采用筑堤方案抬高枢纽蓄水位使运河水位大幅高于原地面高程,并须对运河沿线浸没、防渗、排涝和防洪安全等影响和技术风险进行系统研究和全面评估。

4) 运河线路方案既要满足整体运输布局,也要服务于沿线更多地方的经济发展和综合开发需要,通过运河建设构建河、港、产、城融合发展新空间,为沿线产业布局、城镇化发展和国土空间开发等起到引领带动作用。

5) 梯级布置和线路方案选择还应节约集约利用土地等资源、避开重要环境敏感区、降低工程技术的复杂性和实施难度、有利于提高运河通航效率和能力、降低土石方开挖量和工程投资。

参考文献:

- [1] 潘海涛,吴晓磊,刘晓玲,等.新时代我国内河水运高质量发展思路[J].水运工程,2021(10):14-19.
PAN H T, WU X L, LIU X L, et al. High-quality development strategy for inland water transportation in China in the new era[J]. Port & waterway engineering, 2021 (10): 14-19.
- [2] 韦民翰.建设平陆运河的综合作用与效益分析[J].人民珠江,1995(2):12-13,19.
WEI M H. Analysis of the functions and benefits of constructing the Pinglu Canal[J]. Pearl River, 1995(2): 12-13, 19.
- [3] 中交水运规划设计院有限公司.西部陆海新通道(平陆)运河工程可行性研究报告[R].北京:中交水运规划设计院有限公司,2022.
CCCC Water Transportation Consultants Co., Ltd. Feasibility study report of the the western land-sea new corridor(Pinglu) canal project[R]. Beijing: CCCC Water Transportation Consultants Co., Ltd., 2022.
- [4] 宁武.平陆运河建设理念与方案探讨[J].水利水电工程学报,2023(2):162-168.
NING W. Discussion on the construction concept and scheme of Pinglu Canal [J]. Hydro-science and engineering, 2023(2): 162-168.