

· 西部陆海新通道——平陆运河工程建设专栏 (10) ·



平陆运河线路方案比选论证*

吴志龙, 杨 勇, 杜沛霖, 汤建宏

(中交水运规划设计院有限公司, 北京 100007)

摘要: 针对当前运河线路方案选择依赖经验、宏观论证为主的问题, 以平陆运河工程为例, 提出一套基于量化分析的线路比选方法, 旨在提升选线的科学性与决策效率。首先, 基于技术、经济、环境三大维度构建选线综合评价指标体系, 涵盖线路长度、土石方量(工程难度)、征地拆迁量(协调难度)、生态敏感区影响等具体指标, 并采用层次分析法(analytic hierarchy process, AHP)确定各指标权重。其次, 以分水岭段和六钦高速桥区段航道线路作为典型案例, 通过定量对比分析不同方案的工程代价与综合效益。研究表明: 指标体系与层次分析法可显著降低工程经济成本与环境影响, 推荐方案在分水岭段和桥区段航道线路方案中综合投资优化比例达 15% 以上。研究方法可为类似运河工程提供标准化比选框架, 推动线路设计从经验驱动向数据驱动转型。

关键词: 平陆运河; 比选因素; 线路方案; 选线原则; 层次分析法

中图分类号: U643.2

文献标志码: A

文章编号: 1002-4972(2025)06-0001-06

Comparison and demonstration on route plans of Pinglu Canal

WU Zhilong, YANG Yong, DU Peilin, TANG Jianhong

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

Abstract Aiming at the current problems that the selection of canal route schemes relies on experience and macroscopic demonstrations this study takes the Pinglu Canal Project as an example and proposes a set of route comparison and selection methods based on quantitative analysis aiming to enhance the scientificity of route selection and decision-making efficiency. Firstly a comprehensive evaluation index system for route selection is constructed based on three major dimensions technology economy and environment. It covers specific indicators such as route length earthwork volume engineering difficulty quantity of land acquisition and demolition (coordination difficulty), and the impact on ecologically sensitive areas. The analytic hierarchy process (AHP) is used to determine the weights of each indicator. Secondly, taking the water divide section and the section of the Liuqin Expressway Bridge area of the waterway route as typical cases, the engineering costs and comprehensive benefits of different schemes are quantitatively compared and analyzed. The research shows that the proposed index system and the Analytic Hierarchy Process can significantly reduce the engineering economic cost and environmental impact. The comprehensive investment optimization ratio of the recommended scheme is more than 15% in the waterway route schemes of the water divide section and the bridge section area. The research method can provide a standardized comparison and selection framework for similar canal projects, and promote the transformation of route design from experience-driven to data-driven.

Keywords: Pinglu canal; comparison factors; route plans; route-selection principles; analytic hierarchy process (AHP)

收稿日期: 2024-08-05

*基金项目: 广西科技重大专项资助项目(桂科 AA23023009); 中交集团重大科技项目(2023-ZJKJ-13)

作者简介: 吴志龙(1986—), 男, 硕士, 高级工程师, 从事水运工程规划与设计工作。

目前运河选线依然主要依靠设计人员的专业知识、个人经验和专家意见,通过对比多个方案确定推荐路线,运河线路方案论证分析仅局限在宏观层次。如雄津水运通道选线^[1-4]和湘桂运河水运通道选线^[5-8],主要采用定性分析与定量比较分析相结合、以定性分析为主的论证思路,通过对各运河线路方案的通航效率、越岭段供水条件、碍航设施条件、生态敏感目标等因素进行综合比选,确定总体运河线路方案。针对具体 2 km 级别内的航道线路方案比选,均应通过数学化的方式量化运河选线过程中的各种因素,以寻找最佳的航道线路路径。本文系统总结平陆运河线路选线原则和方法^[9-12],提出包含技术、经济、环境指标的选线综合评价指标体系,运用层次分析法等方法量化选线因素。以运河工程中航道线路方案重点论证区域范围作为研究案例,研究方法和结论旨在为其他类似运河线路设计方案比选提供有益的借鉴,有助于提升运河线路设计的科学性与合理性,推动运河工程建设的发展。

1 工程概况

通过研究不同区域局部线路方案比选因素特点,并选取典型案例进行分析说明,总结运河线路选择的分析过程。

平陆运河利用郁江支流沙坪河、钦江支流旧州江和钦江干流为依托,北起南宁横州市西津水利枢纽库区沙坪河口,跨沙坪河与钦江支流旧州江分水岭,经陆屋沿钦江干流南下进入北部湾钦州港海域,止于钦州港东航道起点,运河起点至终点直线距离为 112.7 km,运河航道线路总长度约 140 km。根据各航段的自然条件和特性,将运河总体线路划分成 5 个区段进行研究,分别为沙坪河段、分水岭段、钦江干流段、钦江城区段和入海口近海段线路,长度分别为 21.0、29.5、48.5、21.6 和 14.4 km,航道最小弯曲半径 360 m。每个区间段进行不同线路方案的比选,得到较优的线路方案,最终得到运河全线整体的推荐线路方案,见图 1。



图 1 平陆运河线路

Fig. 1 Pinglu Canal route

2 运河选线理论

2.1 总体选线原则

1) 运河线路应充分利用地形和河势条件,利于保护生态环境,航线相对顺直,减少沿线影响,工程投资最省,适当兼顾沿线开发。

2) 运河线路的确定应与沿线有关城市总体规

划、交通规划、水利规划、港口规划相协调,充分发挥航道的社会综合效益。

3) 运河线路选择须坚持统筹兼顾、综合治理的原则,尽量减少对沿线原有设施布局的影响,尽量避让自然保护区和生态敏感区,减少对沿线生态环境的影响。

4) 运河线路选择应充分结合线路沿线河道条件、地形地貌、地质条件、两岸建筑物、施工条件、跨临拦河建筑物等限制条件, 综合比较后选择。

2.2 选线方案计算方法

2.2.1 选线综合评价指标体系

选线综合评价指标体系中应由技术指标、经济指标及环境指标3个子目标构成, 每个子目标可定义为几个约束指标。

技术指标主要的约束因素包括: 路线长度、必经点、航道情况、地质等。

经济指标主要的约束因素包括: 土石方工程量、工程总造价、征地拆迁补偿量(耕地、林地、水塘、农田、房屋)、社会影响等。

环境指标主要的约束因素包括: 生态红线区、水土流失面积、水土污染程度。

2.2.2 层次分析法

在运河智能选线中, 层次分析法是较为常见的分析方法, 能够将复杂的决策问题分解为多个可操作的层次结构, 通过成对比较和定量分析有效地整合定性和定量信息。首先需要将影响选线的因素分解成多个层次, 通过专家评分或数据分析, 对各因素进行两两比较, 构建判断矩阵, 再确定各项指标的权重。其次通过数学化的方式量化运河选线过程中的各种因素, 在数字化平台上进行操作和辅助计算, 从而得到精确的辅助信息, 以便做出更准确的决策。最后通过综合经济指标计算公式, 得到比选方案中的最优方案。

2.2.3 综合经济指标计算方法

综合经济指标计算公式为:

$$H_z = aG_1D_1 + bG_2D_2 + cG_3D_3 + dG_4D_4 + eG_5D_5 \quad (1)$$

式中: H_z 为综合总投资, 万元; G_1 为土石方量

(工程难度); G_2 为征地补偿(环境影响); G_3 为征地拆迁房屋拆迁(协调难度和社会效应); G_4 为不良地质(工程风险); G_5 为利用原河道(降低成本); D_1 、 D_2 、 D_3 、 D_4 、 D_5 为各项单价; a 、 b 、 c 、 d 、 e 为路线调整系数, 原有河道一般为0, 其他一般为1, 大于1表示避开此对应因素, 小于1表示靠近此对应因素。

3 运河线路方案比选思路

航道线路方案设计在选线原则的基础上, 应结合详细的地质勘察资料, 对不同区域线路方案进行优化调整。在确保不占用用地敏感区域范围的前提下, 分析线路方案避开重点村庄拆迁、限制敏感点等区域的可行性, 对不同线路方案从线路航行条件、线路长度、土石方工程量、征地拆迁难度、基本农田指标、对沿线影响、投资匡算和其他要素方面进行多要素综合比选, 并通过方案对比进行综合说明, 得到较优方案。选取分水岭段线路方案和桥梁保护区间段线路方案作为典型代表区间案例进行分析。

3.1 分水岭段区间航道线路方案比选

新建运河主要联通不同水系, 运河航道线路必须穿越分水岭才能实现不同水系的互联互通, 分水岭段的局部线路方案选择是否合适也是决定运河整体线路方案的关键。因此, 有必要对分水岭段区域的不同航道线路方案进行选择分析, 对工程的最终方案决策至关重要。

平陆运河分水岭段航道线路方案是关键控制线路, 该段航道线路方案主要通过分析该区间地形、地质条件, 以尽量减少开挖量、征地拆迁以及减小对周边重要敏感点影响为考虑原则, 此区间航道线路针对如下2个线路方案进行研究对比, 线路比选方案见图2。

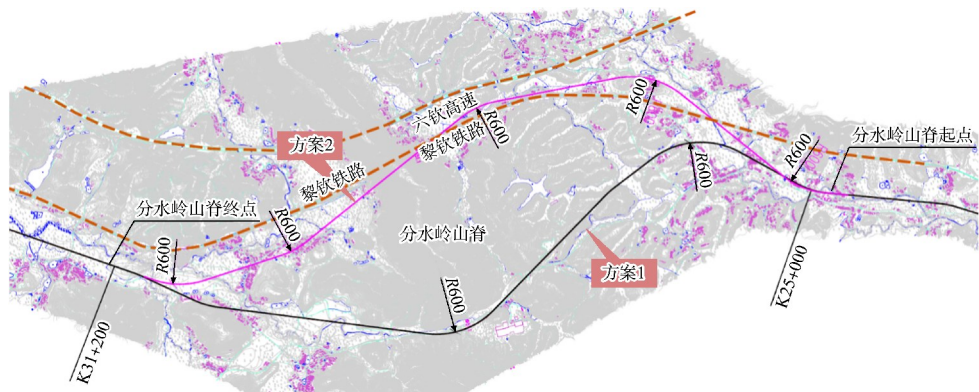


图 2 分水岭山脊段线路方案

Fig. 2 Route plan for watershed ridge section

方案 1：起点自分水岭山脊，在金塘东侧穿越 X298 道路至 X304 道路，顺 X304 道路走向，经过牛营、新农村，经石桥至马道头进入旧州江，至分水岭山脊终点。此段线路长约 6.5 km，区间地面高程约为 70~145 m。

方案 2：起点自分水岭山脊，在金塘北侧穿越黎钦铁路，经稔子岭、关坪岭，平行黎钦铁路线，穿越冲顶派，跨过黎钦铁路，过大山村、大科、新塘至马道头，入旧州江，至分水岭山脊终点。此段线路长约 6.5 km，区间地面高程约为 70~205 m。

因此线路与黎钦铁路部分相交和重合，需要对黎钦铁路进行局部改线。另外运河线路几乎平行于六钦高速，航道底边线与六钦高速最近直线距离约 50 m，高边坡开挖时会影响该高速，需要对六钦高速进行局部改线。

经综合比较，方案 1 和 2 线路长度和土石方开挖量几乎相同，方案 2 的工程占地面积小，但是方案 1 的拆迁量少于方案 2，且方案 1 对沿线的影响小于方案 2。因此，选定方案 1 线路为平陆运河分水岭越岭山脊段的推荐方案，具体比较结果见表 1。

表 1 分水岭山脊段线路主要工程特性及比选

Tab. 1 Main engineering characteristics and comparison of watershed ridge section route

方案	土石方/ (万 m ³)	线路 长度/m	工程占地面积/ (万 m ²)	拆迁量/ (万 m ²)	限制敏感点	航道线路特点	结论
1	3 312	6 500	184.6	6.9	经过牛营、新农村等村镇，穿过 5 条电力线路，改建 X298 和 X304 道路，新建桥梁 2 座	线路顺直，对沿线周围影响较小	推荐
2	3 368	6 500	154.6	11.6	需对黎钦铁路和六钦高速局部改线。经过 9 处居民聚居地，穿过 7 条电力线路	对沿线周围影响较大	不推荐

3.2 桥梁防护区间航道线路方案比选

新建运河主要依托现有水系，对航道通航标准进行提升。水系上现有跨河桥梁由于历史遗留问题不能满足通航净空尺度的要求，需进行升级改造，但是个别近期新建桥梁在建设时已经按照高等级航道预留了通航孔，此时，运河航道线路方案应尽量利用此预留通航孔，避免再次对其进行改建，节省工程投资。因此，有必要对重要保护桥梁附近的航道线路方案进行选择分析，对工程的最终方案决策也至关重要。

六钦高速钦江特大桥横跨现有钦江，该桥梁净空尺度为 130 m×15.5 m(净宽×净高)，按照运河通航标准可以保留，此区间范围属于重点线路方案研究区间，平陆运河线路的选择应考虑利用其预留通航孔。本次选择该区间进行局部线路方案比选分析，在不破坏现有桥梁的基础上，对穿越通航孔的不同航道线路方案进行比选，主要考虑开挖土石方工程量、运河线路长度、工程占地和拆迁面积等因素，该区间各个航道线路方案见图 3。

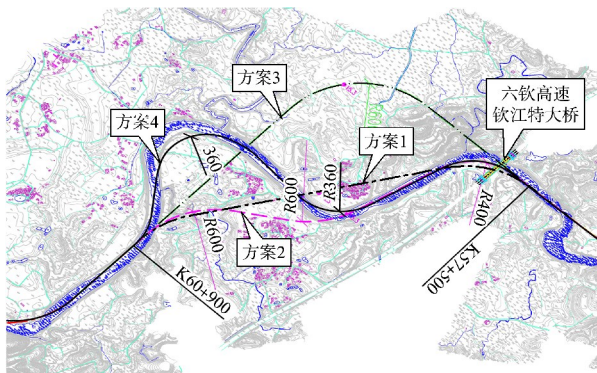


图 3 六钦高速桥区航道线路方案 (单位: m)
Fig. 3 Channel route plan for Liuqin Expressway Bridge Area (unit: m)

方案 1 主要考虑航道通航的便利性, 按照转弯半径 600 m 标准, 采用直接将原钦江河道裁弯取直, 连接两端河道; 方案 2 考虑利用部分现有河道, 同时为保护六钦高速钦江特大桥, 将桥下航道转弯半径标准变成 400 m; 方案 3 考虑航道通航的便利性, 按照转弯半径 600 m 标准, 垂直穿越六钦高速钦江特大桥; 方案 4 考虑充分利用现有河道, 同

时保护六钦高速, 将航道转弯半径缩小至 360 m, 为保证行船安全, 将航道宽度进行局部加宽。

方案 1 航道线路里程短且顺直, 但是移民搬迁量为 4 个方案中最大, 同时由于其桥下转弯半径过大, 对桥梁桥墩造成影响。

方案 2 航道线路桥下航道转弯半径缩小至 400 m, 避免对桥墩产生影响, 同时考虑利用部分原河道, 航道沿线拆迁量仍较大。

方案 3 航道线路桥下航道线路为直线, 此时航道顺直, 船舶通行条件最好, 但是线路较长, 虽然拆迁量较少, 但是基本没有利用原河道, 开挖量为 4 个方案中最大。

方案 4 在方案 2 的基础上进一步优化, 航道线路充分利用原河道, 土石方开挖量最小、工程占地面积少、拆迁面积小, 但是航道线路最长。

综合该区间线路主要影响因素, 最后将线路方案 4 作为最佳推荐线路方案, 具体方案对比见表 2。

表 2 六钦高速桥区线路方案比选
Tab. 2 Comparison and selection of route plans for Liuqin Expressway Bridge Area

方案	土石方/ 万 m ³	线路 长度/m	占地面积/ 万 m ²	拆迁量/ 万 m ²	限制敏感点	航道线路特点	结论
1	219.4	2 700	37.2	1.5	六钦高速钦江特大桥	线路顺直, 拆迁量大, 利用原河道较少	-
2	193.6	2 771	34.5	1.0	六钦高速钦江特大桥	线路利用部分原河道, 拆迁量较大	-
3	279.3	3 311	49.9	0.1	六钦高速钦江特大桥	线路长, 开挖量大, 拆迁量较少, 利用原河道少	-
4	113.9	3 431	35.1	0.1	六钦高速钦江特大桥	充分利用原河道	推荐

4 结语

1) 确定选线原则与方法: 系统总结平陆运河线路选线的四大原则, 包括利用地形河势、协调多规、统筹兼顾、结合限制条件选线等。同时构建了由技术、经济、环境指标构成的选线综合评价指标体系, 运用层次分析法量化各因素, 并给出综合经济指标计算方法, 为线路方案比选提供了科学依据。

2) 得出推荐线路方案: 通过对分水岭段和桥梁防护区间不同线路方案的详细比选, 综合考虑

土石方、线路长度、占地面积、拆迁量、限制敏感点、航道线路特点等因素, 分别确定分水岭越岭山脊段的推荐线路方案, 以及六钦高速桥区的最佳推荐线路方案。

3) 提供借鉴意义: 本研究的论证思路和过程具有典型代表性, 针对的区间范围是运河工程中航道线路方案重点论证区域, 其研究方法和结论能够为其他类似运河线路设计方案比选提供有益的借鉴, 有助于提升运河线路设计的科学性与合理性, 推动运河工程建设的发展。

参考文献:

- [1] 姜兴良, 王伟, 刘建超, 等. 雄津水运通道选线方案初步分析[J]. 水运工程, 2023(2): 109-115.
JIANG X L, WANG W, LIU J C, et al. Preliminary analysis of route selection scheme of canal from Xiong'an to Tianjin Port [J]. Port & waterway engineering, 2023 (2): 109-115.
- [2] 华设设计集团股份有限公司. 赣粤运河线路及梯级布置方案研究报告[R]. 南京: 华设设计集团股份有限公司, 2022.
China Design Group Co., Ltd. Research report on route and cascade layout scheme of Gan-Yue Canal [R]. Nanjing: China Design Group Co., Ltd., 2022.
- [3] 中交水运规划设计院有限公司. 天津独流减河通航工程项目建议书[R]. 北京: 中交水运规划设计院有限公司, 2018.
CCCC Water Transportation Consultants Co., Ltd. Proposal for navigation project of Duliujian River in Tianjin [R]. Beijing: CCCC Water Transportation Consultants Co., Ltd., 2018.
- [4] 天津港(集团)有限公司. 雄安新区至天津港水运通道复航方案研究报告[R]. 天津: 天津港(集团)有限公司, 2021.
Tianjin Port (Group) Co., Ltd. Research report on resumption plan of water transport channel from Xiong'an New Area to Tianjin Port [R]. Tianjin: Tianjin Port (Group) Co., Ltd., 2021.
- [5] 吕英鹰, 姜兴良. 湘桂运河水运通道选线方案[J]. 水运工程, 2023(3): 132-137, 192.
LYU Y Y, JIANG X L. Route selection scheme for water transportation passage of Hunan-Guangxi Canal [J]. Port & waterway engineering, 2023(3): 132-137, 192.
- [6] 姜兴良, 吴志龙, 杜沛霖. 恭城河渠化梯级布置方案研究[J]. 中国港湾建设, 2024, 44(3): 51-55, 74.
JIANG X L, WU Z L, DU P L. Research on the scheme of channelized cascade layout of Gongcheng River [J]. China harbour engineering, 2024, 44(3): 51-55, 74.
- [7] 刘俊生. 平原地区内河航道建设设计理念[J]. 水运工程, 2009(5): 87-91.
LIU J S. Design ideas of inland waterway construction in plain area [J]. Port & waterway engineering, 2009 (5): 87-91.
- [8] 中交水运规划设计院有限公司. 湘桂运河线路及梯级布置方案研究报告[R]. 北京: 中交水运规划设计院有限公司, 2022.
CCCC Water Transportation Consultants Co., Ltd. Research report on route and cascade layout scheme of Xiang-Gui Canal [R]. Beijing: CCCC Water Transportation Consultants Co., Ltd., 2022.
- [9] 中交水运规划设计院有限公司. 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 Pinglu Canal project [R]. Beijing: CCCC Water Transportation Consultants Co., Ltd., 2022.
- [10] 陶桂兰. 我国渠化工程的发展与展望[J]. 水利水电科技进展, 1995, 15(4): 3-7, 34.
TAO G L. Development and prospect of channelization engineering in China [J]. Advances in science and technology of water resources, 1995, 15(4): 3-7, 34.
- [11] 高成岩, 程建中, 蔡翠苏, 等. 平陆运河水资源论证 [J]. 水运工程, 2024(11): 8-12, 47.
GAO C Y, CHENG J Z, CAI C S, et al. Water resource assessment for Pinglu Canal [J]. Port & waterway engineering, 2024(11): 8-12, 47.
- [12] 潘海涛, 吴澎, 袁和平, 等. 西部陆海新通道(平陆)运河工程规划设计方案综述 [J]. 水运工程, 2024(11): 1-7.
PAN H T, WU P, YUAN H P, et al. Overview of planning and design scheme for western land-sea new corridor (Pinglu) canal project [J]. Port & waterway engineering, 2024(11): 1-7.

(本文编辑 赵娟)