

平陆运河跨航道给水管敷设与航道通航安全的协同优化策略

黎明镜¹ 孙长飞² 陆冠臻¹ 张倩¹ 苏卫迪^{1*}

1. 广西平陆运河建设有限公司, 广西 南宁 530000

2. 中国建筑第八工程局有限公司, 上海 200000

[摘要]平陆运河是西部陆海新通道的关键骨干工程,在其建设期间,对区域水运网络的优化以及经济发展有着颇为深远的影响。文中选取运河沿线的 12 条穿河输水管道工程当作研究对象,着重针对管道敷设和通航安全二者之间所存在的协同关系展开较为系统的分析。综合考量工程的实际状况以及通航的相关标准,从多个不同维度去探寻协同优化的策略,像是管道埋深的控制方面、施工工艺的选择方面、通航水位的适配方面、航标配置的情况以及运营维护的相关事宜等等,力求在确保输水功能得以顺利实现的基础之上,尽可能地管道工程给航道通航条件所带来的影响降至最低程度。经过相关研究能够发现,借助科学合理的选址方式、恰当确定埋设的具体深度、运用定向钻以及非开挖等技术手段等一系列举措,是可以在很大程度上有效地防止管道工程给水流条件、河床稳定性以及船舶通航等方面造成干扰的,进而为后续类似跨航道工程的建设给予一定的参考价值。

[关键词]平陆运河; 输水管道; 通航安全; 埋深控制; 航标配置

DOI: 10.33142/aem.v7i8.17769

中图分类号: U661

文献标识码: A

Collaborative Optimization Strategy for Cross Channel Water Supply Pipe Laying and Navigation Safety of Pinglu Canal

LI Mingjing¹, SUN Changfei², LU Guanzhen¹, ZHANG Qian¹, SU Weidi^{1*}

1. Guangxi Pinglu Canal Construction Co., Ltd., Nanning, Guangxi, 530000, China

2. China Construction Eighth Engineering Division Corp., Ltd., Shanghai, 200000, China

Abstract: The Pinglu Canal is a key backbone project of the Western Land Sea New Corridor. During its construction, it has had a profound impact on the optimization of the regional water transportation network and economic development. The article selects 12 cross river water transmission pipeline projects along the canal as the research object, focusing on a systematic analysis of the collaborative relationship between pipeline laying and navigation safety. Taking into account the actual situation of the project and relevant standards for navigation, we explore collaborative optimization strategies from multiple dimensions, such as controlling the depth of pipeline burial, selecting construction techniques, adapting navigation water levels, configuring navigation marks, and related matters for operation and maintenance. We strive to minimize the impact of pipeline engineering on navigation conditions while ensuring the smooth implementation of water supply functions. Through relevant research, it has been found that a series of measures such as scientifically reasonable site selection, appropriate determination of burial depth, use of directional drilling and non excavation techniques can effectively prevent pipeline engineering from interfering with water flow conditions, riverbed stability, and ship navigation to a large extent. This provides certain reference value for the construction of similar cross channel projects in the future.

Keywords: Pinglu Canal; water pipeline; navigation safety; burial depth control; navigation mark configuration

平陆运河在连通西江航运干线以及北部湾国际枢纽海港方面起着极为重要的作用,它全长大概有 134.2 公里,并且是依照内河 I 级航道的标准来建设的,能够允许 5000 吨级的船舶通行。随着运河工程建设一步步向前推进,其沿线原本就存在的以及新修建起来的穿河输水管道都得同时满足通航安全方面的要求以及管道自身运行方面的相关要求。这类管道工程要是设计或者施工环节出现不妥当的情况,那极有可能会给航道的水流条件、河床的稳定性还有船舶航行的安全状况等方面带来一系列不利的影响。所以说,针对管道敷设和通航安全二者之间展开协同优化方面的研究,这无疑有着十分突出的理论层面的价值,同时也具备相当重要的实际应用方面的意义。

1 工程概况与通航环境分析

1.1 工程基本情况

平陆运河沿线共布设 12 条穿河输水管道,包括给水管道和污水管道两种类型,其中新建管道 2 条,迁改管道 10 条。管道分布于沙坪河段与钦州城区段,具体穿越位置以桩号明确,具体如图 1 所示。工程平面坐标采用 2000 国家大地坐标系,高程系统为 1985 国家高程基准,通航标准按内河 I 级航道控制。所有管道均埋设于河床底面以下,埋深满足《内河通航标准》(GB50139—2014)与《运河通航标准》(JTS180-2—2011)中关于 I 级航道不小于 2m 的要求,从根本上规避了管道暴露影响航道通航安全的风险。

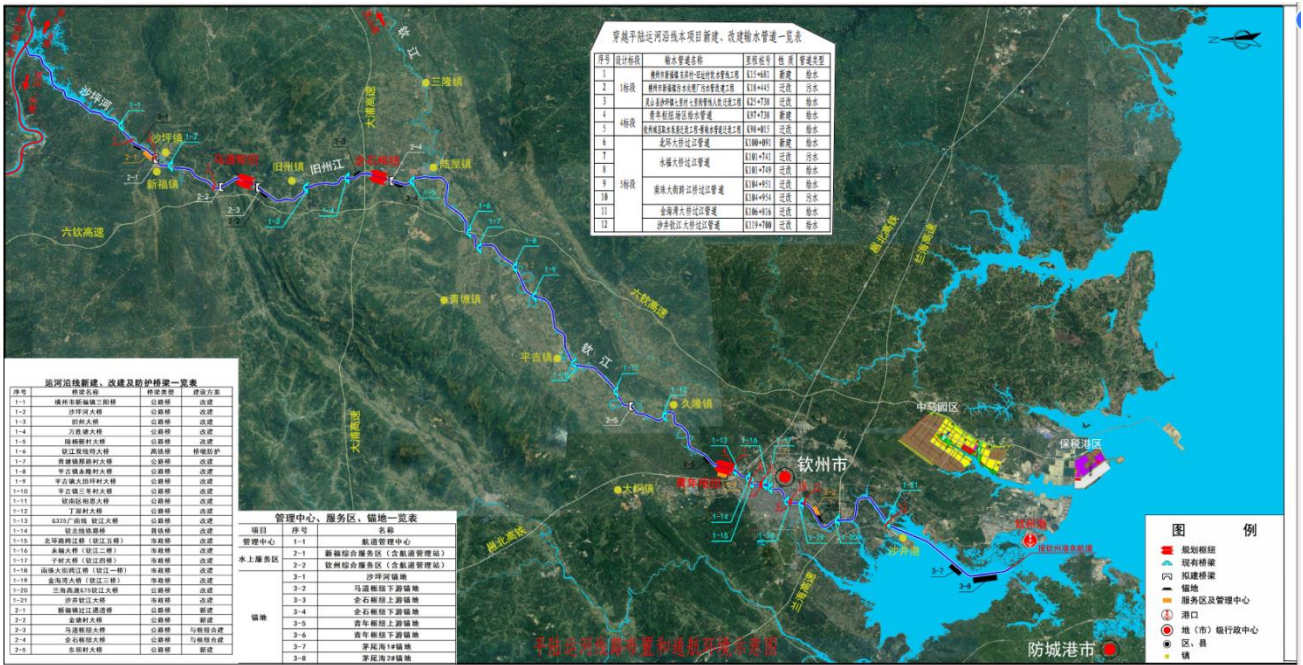


图 1 平陆运河线布置和通航环境示意图

1.2 通航环境特征

工程所在沙坪河段及钦州城区段通航环境具有明显差异。沙坪河段属西津库区回水影响范围，河势总体稳定，流速缓，淤积轻微；而钦江段受潮汐与径流共同作用，水流动力条件更为复杂。根据 2025 年 9 月工程进展数据显示，平陆运河累计完成投资 586 亿元，占项目总投资的 81%；完成土石方开挖 2.9 亿 m^3 ，占总量的 92%；完成船闸主体混凝土浇筑 535 万 m^3 ，占总量的 92%，表明河道拓深与拓宽工程已大规模实施。运河沿线通航设施如桥梁、缆线、船闸、锚地等也在同步建设与改造中，例如青年枢纽改建后设有双线船闸和 156m 宽引航道，有效保障船舶通航需求。

2 管道敷设与通航安全的协同设计策略

2.1 合理选址与埋深控制

管道穿越航道的位置选择和埋设深度确定是影响通航安全的核心因素。本工程所有管道均布置于航道设计河底以下 2.15m~2.75m 之间，其中 1 标段管道埋深 2.15m，4 标段为 2.5m，5 标段则不小于 2.75m，全面满足规范要求的 I 级航道埋深不小于 2m 的规定。管道出土点均设于设计最高通航水位以上岸坡区域，避免对航道边坡稳定和船舶航行带来潜在干扰^[1]。例如在青年枢纽下游引航道段，输水管道垂直穿越航道，管顶距设计航道底 2.5m，同时采用 C25 素混凝土包封结构，进一步提高防冲刷与防锚击能力。

2.2 施工工艺选择

针对不同区段地质条件与通航要求，工程采用差异化的施工工艺。1 标段和 4 标段管道位于库区及引航道范围

内，采用围堰干地开挖沟槽敷设方式，先实施航道开挖再进行管道埋设和回填，施工期间不影响通航。5 标段 7 条管道则均采用定向钻牵引施工工艺，牵引长度介于 350m~847m 之间，出入土角控制在 $8^{\circ} \sim 15^{\circ}$ ，牵引半径 240m~930m，管道埋深均位于航道设计底高程以下，有效避开了航道疏浚和船舶通航区域，不仅减少了对水体扰动和河床结构的破坏，也显著降低了施工期间对通航环境的干扰，体现出先进工艺在协调管道建设与通航安全中的重要作用。

3 通航安全保障措施

3.1 基于河床稳定的结构性防护策略

管道铺设在河床下方，其自身结构安全以及河床稳定性都对航道的长期通航条件有着重要影响。如图 2 和图 3 所示，针对不同区段的地质与水文情况，工程采取了不一样的结构性防护设计。对于勘察设计 1 标段和 4 标段采用明挖施工方式的管道，在回填的时候在管道顶部设置了厚度不错的块石层与 C20 混凝土包封体，这样的刚性防护层可有效抵挡水流的冲刷，进而形成一个稳固的保护壳体。该设计理念是依据对运河建成以后河床演变趋势的科学分析得出的，参照交通运输部天津水运工程科学研究所等机构在 2024 年完成的《西部陆海新通道平陆运河感潮段航道潮流泥沙波浪数学模型试验研究》的结论来看，工程河段在未来整体上会呈现出微淤的态势，也就是说自然条件本身对河床稳定是有利的，而人工防护层更是强化了这一趋势，保证了管道上方覆盖层的永久稳定^[2]，从根源上避免了因管道裸露或者河床局部下切而导致的航道水深不够或者形成水下障碍物的风险。

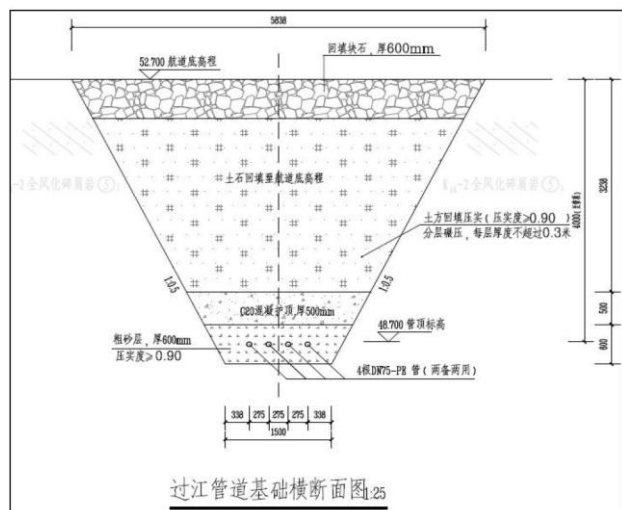


图 2 输水管道横截面图

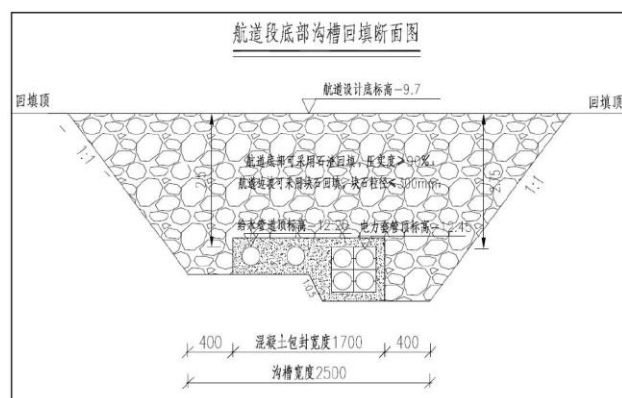


图 3 青年枢纽场区给水管道的横断面图

3.2 针对船舶应急抛锚风险的评估与防护

虽然管道的埋设深度已经符合相关规范的要求,不过从理论层面来讲,还是存在着大型船舶在出现紧急情况的时候深抛锚进而对其形成冲击的可能性。针对这种情况需要展开风险评估工作,其关键点就在于要对船舶抛锚时锚齿有可能达到的最大贯入深度展开计算。通过评估可以发现,工程所处区域的航道底质条件颇为不错,其中 5 标段定向钻穿越的那段是坚实且较为稳定的中风化岩层,而 1、4 标段明挖回填的那段则是由压实程度相当高的块石以及混凝土混合而成的混合体,其力学方面的性质要比普通的砂质河床好很多。参照针对砂质河床所采用的较为保守的计算公式所得到的结论来看,在最为不利的工况之下抛锚的贯入量仅仅是在 $0.10\text{m}\sim 0.45\text{m}$ 这样的范围之内,远远小于管道 $2.15\text{m}\sim 2.75\text{m}$ 的最小埋设深度。这个经过量化分析得出的结果从科学的角度证实了管道处于绝对的安全区域当中,船舶的应急行为并不会对其造成实际意义上的威胁。

3.3 施工期间的通航安全隔离与协调管理

本项目所运用的管道施工工艺并非爆破方式,也不是大规模的水下作业工艺,这一工艺本身便为通航安全构筑起了强有力的保障。就具体情况来讲,1标段以及4标段

的管道处在枢纽建设区域或者引航道的范围之内,其施工过程是与运河航道整体开挖工序一同推进的,在此期间,航道并未通航,所以不会出现施工和通航在时空方面产生冲突的情况。5 标段的 7 条管道全都采用了定向钻穿越技术,其所有的作业点都设置在两岸陆域的工作井当中,钻具是在地下完成穿越航道的整个过程的,在整个施工周期里,航道水域没有受到任何干扰,船舶能够照常进行通行^[3]。这种先进的非开挖技术从源头处将施工活动和通航水域进行了隔离,使得以往传统的施工期水上交通组织工作、临时航路的调整事宜、警戒船的值守安排等一系列复杂且耗费成本较高的措施变得不再有必要施行了,这不仅极大地简化了安全管理方面的流程,而且完全避免了因为施工而导致航道出现中断或者受到限制所引发的巨额经济损失以及社会方面的不良影响。

4 安全保障措施

4.1 航道保障措施

4.1.1 航路规划及航道布置

根据《中华人民共和国内河交通安全管理条例》第十六条规定,船舶在内河航行时,上行船舶应沿缓流或航路一侧航行,下行船舶应沿主流或航路中间航行。本工程拟建的输水管道采用定向钻施工或围堰干地开挖沟槽敷设方式穿越平陆运河,管道埋置于河床面以下,埋深符合相关规范要求。工程建设不会改变水流条件、河床演变趋势、航道布置及助航标志配置,也不影响航道整治工作。因此,对船舶通航安全无不利影响,工程实施不会对平陆运河的航路规划及航道布置造成影响。

4.1.2 工程河段航道建设及维护要求

根据平陆运河工程设计及相关批复文件,勘察设计 1 标段的 3 条过江污水管道所在河段航道设计尺度为 $6.3\text{m} \times 80\text{m} \times 360\text{m}$, 航道底高程为 52.70m 。勘察设计 4 标段的 2 条过江给水管道穿越青年枢纽下游引航道, 该段为直线段, 引航道底高程 -9.70m 、宽度 156m 。引航道属船闸组成部分, 依据相关标准及船闸管理规定, 该水域属控制性通航河段, 仅允许单向通行, 由船闸运营单位统一调度船舶航行。

勘察设计 5 标段的 7 条过江输水管道位于平陆运河钦州城区段, 该段航道设计尺度为 $(6.3 \sim 6.5) \text{ m} \times (90 \sim 100) \text{ m} \times 450 \text{ m}$ 。具体而言, 青年枢纽至钦州水上服务区段航道尺度为 $6.3 \text{ m} \times 90 \text{ m} \times 450 \text{ m}$, 底高程-7.61m; 钦州水上服务区至沙井大桥段航道尺度为 $6.5 \text{ m} \times 100 \text{ m} \times 450 \text{ m}$, 底高程-7.81m。

沙坪河段处于西津库区回水范围内,总体以淤积为主。因上游植被茂密、来沙量少,淤积程度较轻,河床冲淤变化不明显,整体处于稳定状态。平陆运河建成后,航道经拓宽和深挖整治,水流流向趋于顺直。尽管航道整治显著改变了河道形态,但断面扩大使洪水期流速较建设前减缓,枯水期流速更低。运河建成前后,河道均以淤积为主,直至达到新的冲淤平衡,并均已采用回填块石与 C20 混凝土包封等防冲刷措施。

钦州城区段依据相关科研单位完成的数学模型试验结论,运河建成后工程河段河床呈微淤状态,不会发生冲

刷,因此无需额外采取冲刷防护。但为保障勘察设计 4 标段输水管道安全,周围采用 C25 素混凝土包封,顶面回填石渣(压实度 $\geq 90\%$)进行保护。

4.1.3 船舶应急抛锚贯入深度影响评价

工程所在航道河段底质均为基岩。因岩体较坚硬,且目前缺乏适用于岩石底质的抛锚贯入量计算公式,本项目参考砂质底质的计算结果进行取值。工程区船舶抛锚贯入量分别取 0.10m 和 0.45m,均小于各输水管道的埋置深度,因此对管道安全不构成影响。

4.1.4 工程河段航道整治

依据《广西壮族自治区航道管理条例(2024 年修正)》第二十二条,在航道上建设跨(过、临)河建筑物时,需在建筑物上下游各 200m 范围内按国家通航标准进行疏浚,法律法规另有规定的除外。

本工程输水管道埋置于河床面以下,采用定向钻或围堰干地开挖方式施工,不占用河道过水断面,埋深满足《内河通航标准》及《运河通航标准》对水下过河建筑物的设置要求,出入土点位于运河设计最高通航水位以外。平陆运河预计 2026 年底建成,届时工程河段可满足通航水深要求,因此本项目无需另行实施航道整治。

4.1.5 助航标志设置

根据《广西壮族自治区航道管理条例》(2024 年修正)第十七条新建、改建、扩建与航道有关的建筑物建成后,建设单位应当按照国家有关规定和技术要求设置航标,并承担相应费用。建设单位应当将内河航道桥区水上航标移交给港航机构管理维护,维护费用列入航道养护预算;沿海航道桥区水上航标移交给有管辖权的海事管理机构管理维护。

拟在各输水管道穿越平陆运河的轴线两端岸上适当位置各设置 1 座管线标,告之拟建过江输水管道在工程河段设置的位置。该管线标志要求与本工程同步建成、验收、使用,并负责运营期间的日常维护管理,保证其处于正常工作状态。

4.2 通航安全及应急保障措施

4.2.1 施工期通航安全保障措施

拟建各输水管道穿越平陆运河管道埋置于河床底以下,采用定向钻施工或围堰干地开挖沟槽敷设管道穿越平陆运河,由于采用围堰干地开挖施工所在工程河段在施工期没有通航要求,所以施工期对船舶通航安全没有影响,即施工期不需要采取通航安全保障措施。

4.2.2 运营期安全保障措施

根据《广西壮族自治区航道管理条例》第十七条规定,新建、改建、扩建与航道有关的建筑物建成后,建设单位应当按照国家有关规定和技术要求设置航标,并承担相应费用。拟在每条输水管道穿越平陆运河的轴线两端岸上适当位置各设置 1 座管线标,告之拟建过江输水管道在工程河段设置的位置。

4.3 防撞安全保障措施

为保证本工程安全和船舶通航安全,根据《内河助航标志》(GB5863—2022)、《内河交通安全标志》(GB13851

—2022)和《内河航标技术规范》(JTS/T181—1—2020)等规范要求,拟建各输水管道建成后,在穿越平陆运河成品油管道的轴线两端的岸上适当位置设置管线标各 1 座,每条输水管道拟各设置 2 座。

4.4 安全管理措施

4.4.1 管理规章

在工程河段航行的船舶应遵守下列法律法规:《中华人民共和国航道法》《中华人民共和国航道管理条例》《中华人民共和国内河交通安全管理条例》《中华人民共和国内河避碰规则》《中华人民共和国水上水下作业和活动通航安全管理规定》等。根据《广西壮族自治区航道管理条例》(2024 年修正)第十七条新建、改建、扩建与航道有关的建筑物建成后,建设单位应当按照国家有关规定和技术要求设置航标,并承担相应费用。建设单位应当将内河航道桥区水上航标移交给港航机构管理维护,维护费用列入航道养护预算;沿海航道桥区水上航标移交给有管辖权的海事管理机构管理维护。本工程建成后运营期间,应对配布的过河管线标志进行定期巡查并进行维护保养,保证其处于正常工作状态。

4.4.2 人为因素

根据统计,水上交通 80%以上的海事是由人为因素造成的,船舶驾驶员也是影响航道通航环境风险的一个重要原因,若人员能够接受正规的专业培训教育,具备较高的教育学历水平,具备良好的履行能力,具有较高的安全意识等,可以有效降低人为因素对水上交通安全的影响。

5 结束语

平陆运河穿河输水管道工程运用科学选址的方式,同时严格把控埋深情况,精心挑选施工工艺,并且合理安排航标,还建立起协同管理的相关机制,凭借这一系列举措,成功达成了管道敷设和航道通航安全之间的高效协同效果。从工程实际操作的情况来看,在重大线性基础设施和高等级航道交叉开展建设工作的过程当中,借助系统性的设计以及相应的管控手段,是能够有效地避开通航方面的安全隐患的,进而能够确保运河的功能保持完整状态以及在运营期间的安全无虞。本工程所采用的协同优化策略,能够为类似的跨航道工程建设给予颇为有益的参考,同时也为平陆运河实现全线的安全且高效的运营筑牢了稳固的基础。

[参考文献]

- [1]林运飞,杨金龙.平陆运河航道工程城区段施工通航安全保障措施研究[J].西部交通科技,2024(11):219-221.
- [2]廖艺佳,林运飞,刘意楠.平陆运河安全隐患问题排查及整治方法研究[J].西部交通科技,2024(4):14-15.
- [3]刘宁.平陆运河工程建设关键问题研究与思考[J].水运工程,2024(6):1-11.

作者简介:黎明镜(1981.8—),毕业院校:上海大学,所学专业:项目管理,当前就职单位:广西平陆运河建设有限公司,职务:党委副书记、副董事长、总经理,职称级别:高级工程师。