

原油管道穿越船闸引航道通航条件影响分析

孙建军*, 张兵, 范海文

(山东省交通规划设计院集团有限公司, 山东 济南 250101)

摘要: 船闸引航道位置船舶通航密度大, 此处穿越管道面临着河道冲刷、船舶通航及抛锚带来的埋设环境风险。本文以日濮洛原油管道穿越长沟船闸引航道为例, 通过综合考虑过河管道选址要求、河床极限冲刷深度、船舶应急抛锚贯入深度、远期二线船闸建设等因素影响, 研究并提出了该原油管道穿越长沟船闸引航道的最小埋设深度及出入土点位置要求, 最大程度减小了穿越管道对通航条件的影响, 为建设方案的可行性提供了技术支持。

关键词: 原油管道; 长沟船闸; 引航道; 通航条件; 埋设方案

中图分类号: U612.3 **文献标识码:** X **文章编号:** 1006—7973 (2022) 12—0122—03

关于穿越航道的水下管道选址要求,《内河通航标准》^[1]第 5.3.1 条: 穿越航道的水下电缆、管道、涵管和隧道等水下过河建筑物必须布设在远离滩险、港口和锚地的稳定河段。该规定对于安全间距仅做了定性要求, 没给出定量标准。船闸引航道附近一般会配套建设停泊锚地、靠船墩等, 船舶通航密度大, 在此处建设管道穿越工程会面临船舶通航及抛锚带来的埋设环境风险, 在水平方向上往往做不到绝对远离码头、锚地等, 因此, 为保证管道建设和运营安全, 科学分析管道埋设影响因素、合理确定埋设尺度就显得极为重要。本文以日濮洛原油管道(日照—濮阳—洛阳原油管道工程)穿越长沟船闸引航道为例, 综合分析了河床极限冲刷、船舶应急

抛锚、船闸改扩建等因素影响, 合理论证了管道埋置方案的可行性, 以减小对航道通航条件的影响, 确保建成后船闸、锚地使用及航运正常进行。日濮洛原油管道首站位于日照港岚山港区, 末站位于洛阳市吉利区, 线路全长 796km, 管道在济宁市汶上县定向钻穿越梁济运河(京杭运河)长沟船闸上游引航道。

1 工程河段通航环境

(1) 与通航有关的设施。管道采用定向钻方式穿越长沟船闸上游引航道, 上距长沟船闸远调站及停泊锚地 486m, 下距船闸停泊段靠船墩 163m。

(2) 航道条件。管道穿越梁济运河于长沟闸上与

6 结论

本文提出新设三角形灌注桩拦船墩等措施对柴米闸拦船设施进行改造, 同时通过对改造后的拦船桩身结构完整性进行检测, 验证了此种拦船设施改造维护方法的可靠性, 本文内容总结如下:

(1) 本工程在现有拦船浮筒上游约 15m 处新建一排间距 20m 的三角形灌注桩拦船墩, 并创新性地采用沉石锚固方法、增设高分子聚乙烯浮筒, 计算结果证明, 在最不利情况下灌注桩的水平位移、最大弯矩、最大剪力满足规范要求, 地锚抗滑稳定系数小于规范限值。

(2) 本文提出水上灌注桩施工流程, 通过采取满堂脚手架搭设施工平台、通过泵吸胶管输送淤泥、地泵输送灌注浇筑等一系列措施, 解决了拦船墩灌注桩施工过程中的一系列问题。

(3) 通过低应变反射波法对 12 根混凝土钻孔灌注桩拦船设施进行稳定性分析, 实测桩顶部的速度或加速度响应时域曲线, 验证了本文提出并应用的新型拦船设

施技术的可靠性。

参考文献:

- [1] 刘良玉, 周和平, 徐铭, 郭军. 摩阻型拦船设施研究与应用[J]. 中国水利, 2020(08):65-66.
- [2] 中华人民共和国交通运输部. 港口工程桩基规范: JTS 167-4-2012[S]. 北京: 人民交通出版社, 2012.
- [3] 中交水运规划设计院. 船闸水工建筑物设计规范: JTJ 307-2001[S]. 北京: 人民交通出版社, 2002.
- [4] 中华人民共和国交通运输部. 水运工程混凝土结构设计规范: JTS 151-2011[S]. 北京: 人民交通出版社, 2011.
- [5] 周和平, 周建方, 夏炎. 适应水位变化恒张紧拦船设施研究与应用[J]. 江苏水利, 2019(08):66-68+72.
- [6] 中华人民共和国水利部. 水闸设计规范: SL 265-2016[S]. 北京: 中国水利水电出版社, 2016.
- [7] 中华人民共和国交通运输部. 港口工程荷载规范: JTS 144-1-2010[S]. 北京: 人民交通出版社, 2010.

邓楼闸下之间,本段航道已按Ⅲ级航道标准建成,设计最小水深3.4m,底高程30.8m,航道底宽45m。依据《山东省内河航道与港口布局规划》^[2],梁济运河航道规划等级为Ⅱ级。目前,长沟船闸已按Ⅱ级标准建成,引航道设计底宽60m,底高程29.85m。

2 埋置方案要求

关于穿越航道的水下管道布置的相关标准规定如下:

(1)《内河通航标准》:在航道和可能通航的水域内布置水下过河建筑物,应埋置于河床内,其顶部设置深度,Ⅰ级~Ⅴ级航道不应小于远期规划航道底标高以下2m。

(2)《油气输送管道穿越工程设计规范》^[3]:水平定向钻入土点、出土点及隧道竖井边缘距大堤坡脚的距离不宜小于50m。

结合本项目管道选址位置、航道通航条件等特点,尚应重点考虑以下核心因素影响:①梁济运河作为地区重要的行洪河道,为保障河道行洪和管道安全,应考虑并合理计算河床的极限冲刷深度。②管道上下游有船闸锚地、停泊区等设施,船舶通航密度大,应在河道极限冲刷工况下,计算代表船型应急抛锚贯入深度。③考虑航运远期发展的需要,应合理论证管道出入土点位置,为二线船闸建设预留足够空间。

3 航道影响因素分析

3.1 河床极限冲刷深度

冲刷深度按照《公路工程水文勘测设计规范》^[4]中粘性土河床一般冲刷计算公式进行计算。

$$h_p = \left[\frac{A_d \frac{Q_2}{\mu B_{c,j}} \left(\frac{h_{cm}}{h_{cp}} \right)^{5/3}}{0.33 \left(\frac{1}{J_L} \right)} \right]^{5/8} \quad (1)$$

式中, h_p 为一般冲刷后的最大水深(m); Q_2 为河槽部分通过的设计流量(m^3/s); h_{cm} 为河槽部分最大水深(m); A_d 为单宽流量集中系数; h_{cp} 为河槽部分平均水深(m)。

根据式(1)计算,管道穿越梁济运河处发生50年一遇设计洪水时,河床极限冲刷深度为0.84m。

3.2 船舶应急抛锚贯入深度

本文利用经验算法、理论公式法和有限元数值模拟方法对比分析抛锚贯入深度。

(1)代表船型和锚型。根据规划,本段航道通航最大船舶为2000吨级货船。据调研,工程区域船舶现多采用霍尔锚与斯贝克锚,斯贝克锚是霍尔锚的改进型,锚型在结构上相似,其结构尺寸并无太大差异,因此本研究采用霍尔锚作为代表锚型。

(2)经验算法。根据相关工程经验,锚的贯穿深度可以按锚爪长度的一定倍数进行预测^[5],贯穿深度与锚爪长度的比例在沙土及硬粘土中均为1,在泥、软淤泥及粘土中最小为3,最大为5。根据穿越处河道地质资料,河床以下主要为沙土及硬粘土,2000吨级船舶锚爪长度为0.89m,则抛锚贯穿深度为0.89m。

(3)理论公式法。理论公式采用Young公式法计算锚贯入深度^[6]:

$$D = 0.0008SN(W/A)^{0.7} \ln(1 + 2.5V^2 \times 10^{-4}) \quad (2)$$

式中: D 为贯穿深度(m); N 为物体的形状系数; S 为土壤系数; W 为物体的质量(kg); V 为物体接触土壤时的速度(m/s); A 为物体的横截面积(m^2)。

根据式(2)计算得到锚贯入深度为0.49m。

(4)有限元方法。近年来,有限元法被广泛应用于模拟抛锚贯入深度研究中,能够真实模拟工程区域河床底部的地质特征及落锚冲击河床的动态贯入过程。根据研究^[7],船锚斜向60度落下时贯入深度最大,为最不利工况,经分析,工程区域2000吨级货船抛锚最大贯入深度为0.86m。

(5)综合分析。由于经验算法仅根据相关工程经验中锚的贯穿深度和锚爪长度的比例关系来估算,该方法计算结果没有考虑本项目的地质、水深、船型等情况,结果适用性较差;Young公式算法,虽考虑了速度、工程地质、水深、锚重等因素,但是在工程地质的参数选取针对性较差,选择范围较广,无法具体描述工程实际地质情况;有限元方法能够充分考虑本项目的地质、水深、船型等情况,模拟锚贯入河床的整个动力过程,因此能够较好地反映工程地质下的冲击过程,结果更具有针对性和适用性。因此,本研究最终以有限元方法计算结果0.86m为准,其他方法研究结果仅作为参考。

3.3 远期二线船闸建设

为使管道建成后不影响远期长沟二线船闸的规划建设,减小对航道条件的影响,本文结合二线船闸布置方案,对管道出入土点位置进行优化,为二线船闸建设预留足够空间。穿越处管道与船闸的平面布置关系,见图1。

4 埋设方案分析

4.1 出入土点

管道出入土点均位于大堤背水侧,不在航道范围内,结合本文提出的二线船闸布置方案,管道出入土点位置能够满足远期二线船闸布置要求。

4.2 埋设深度

考虑极限工况,河床极限冲刷深度和船舶应急抛锚贯入深度是管道埋设深度的核心控制因素,因此,设计管顶高程按照“规划航道底高程-河床极限冲刷深度-船舶应急抛锚贯入深度”进行控制。在极限工况条件下,管顶以上覆盖层厚度不应小于《内河通航标准》中的2m要求。

考虑河床极限冲刷、船舶应急抛锚、远期二线船闸建设等因素后,在航道和可能通航的水域范围内,管顶以上覆盖层厚度满足通航要求,见表1。

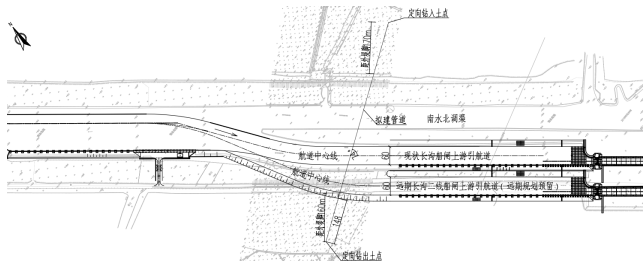


图1 管道与船闸平面关系图

表1 管道埋设深度

现状河底高程 (m)	规划航道底高程 (m)	管顶以上最小埋深要求 (m)	设计管顶高程 (m)	规划航道底高程下最小覆盖层厚度 (m)	考虑冲刷、抛锚后最小覆盖层厚度 (m)	考虑二线船闸后最小覆盖层厚度 (m)	埋深适应性评价
29.85	29.85	3.70	13.64	16.21	14.51	10.14	满足

5 结论和建议

(1) 定向钻施工管道埋深一般较大,如果在水平方向上不能做到绝对远离码头、锚地等,若在极限工况下管道埋深足够大,可以等同认为在垂直方向上做到了

远离。

(2) 考虑河床极限冲刷、船舶抛锚等因素后,管道顶部覆盖层厚度仍满足通航要求,且为远期船闸建设预留了足够空间,对航道通航条件基本没有影响。

(3) 为确保管道及船舶航行安全,管道建设单位应设置导助航设施及安全警示标志等,并配套建设必要的维护及安全保障设施。

参考文献:

- [1] GB50139-2014, 内河通航标准 [S].
- [2] 山东省交通运输厅. 山东省内河航道与港口布局规划 [R]. 济南: 山东省交通运输厅, 2012.
- [3] GB50423-2013, 油气输送管道穿越工程设计规范 [S].
- [4] JTJ C30-2015, 公路工程水文勘测设计规范 [S].
- [5] 李靛亮, 李文全. 《内河通航标准》中水下隧道与锚地安全间距的探讨 [J]. 水运工程, 2018, No.549(12):99-103.
- [6] 金丰年, 徐汉中, 刘黎. 用 Young 公式计算 GBU-28 侵彻的不同围岩深度 [J]. 解放军理工大学学报 (自然科学版), 2004, (06):33-36.
- [7] 中交天津港湾工程研究院有限公司. 船舶应急抛锚贯入深度数模专题研究 (原油管道穿越梁济运河) [R]. 天津: 中交天津港湾工程研究院有限公司, 2019.

