



# 长距离黏土输送防堵管工艺研究

武阳<sup>1</sup>, 张宏喆<sup>2</sup>, 陈开奇<sup>1</sup>

(1. 中交(天津)疏浚工程有限公司, 天津 300450; 2. 中交天津航道局有限公司, 天津 300461)

**摘要:** 江苏滨海液化天然气(LNG)码头吹填工程土质为黏土, 该种土质密度高, 输送难度大, 对操作要求高, 在该项目长距离输送过程中, 堵管、爆管频繁。基于该项目工况条件, 对堵管前后数据进行分析, 采用理论计算及实船试验的方法, 剖析参数变化规律, 总结堵管爆管原因, 优化管线布设及操作, 解决了长吹距输送黏土堵管爆管频发的问题, 提高了船舶时利率及生产率。

**关键词:** 长吹距; 堵管; 黏土

中图分类号: U 616

文献标志码: A

文章编号: 1002-4972(2023)S2-0089-06

## Anti-blocking pipe technology for long-distance clay transport

WU Yang<sup>1</sup>, ZHANG Hong-zhe<sup>2</sup>, CHEN Kai-qi<sup>1</sup>

(1.CCCC(Tianjin) Dredging Engineering Co. Ltd., Tianjin 300450, China;

2.CCCC Tianjin Dredging Co. Ltd., Tianjin 300461, China)

**Abstract:** As the soil in the hydraulic reclamation project of the Jiangsu Binhai Liquefied Natural Gas(LNG) Project, clay has a high bulk density and is difficult to transport, ultimately imposing high requirements on the operation of ship officers. During the long-distance transport in the above project, pipe blockage and pipe explosions occur frequently. According to the working conditions of the project, this paper analyzes the data before and after pipe blockage and explores the change law of parameters by theoretical calculation and full-scale ship experiments. On this basis, the paper summarizes the causes of pipe blockage and pipe explosions and optimizes the pipe layout and the ship officers' operation. This paper solves the problems of frequent pipe blockage and pipe explosions in clay transport with a long discharge distance and enhances the time utilization rate and productivity of ships.

**Keywords:** long discharge distance; pipe blockage; clay

### 1 工程概况

江苏滨海液化天然气(LNG)项目位于江苏省盐城市滨海县滨海港区, 本工程港池及航道水域疏浚共分为6个疏浚区域, 其中1、2区为LNG码头前沿停泊水域及港池区域, 疏浚底高程分别为-13.8、-14.9 m; 3、4区为港池与航道的连接水域, 疏浚底高程分别为-15.5、-15.0 m; 5、6区为10万吨级航道拓宽浚深区域, 疏浚底高程为-15.0 m。设计坡比均为1:4, 计算超深0.4 m, 计算超宽4.0 m, 施工区平面布置见图1。

吹填区距绞吸船施工区较远, 施工期间管线

总长平均14 km, 最远吹距达14.9 km, 陆地管线穿港布设时受地形与地块规划限制, 存在多处弯折与爬坡, 一定程度上限制了绞吸船输送效率的发挥, 施工区土质主要为粉土、黏土, 部分区域黏土夹层4~5 m厚, 标贯击数为5~10击, 液性指数约为0.52<sup>[1]</sup>, 施工该土层时, 堵管、爆管现象频繁发生, 绞吸船受吹距与土质双重产能限制, 见图2。本文选取较为典型的3次堵管进行分析, 优化施工工艺, 避免堵管现象的进一步发生。施工船舶为大型绞吸船“天麒号”, 船舶绞刀功率2 000 kW, 公称生产率4 500 m<sup>3</sup>/h。

收稿日期: 2022-07-11

作者简介: 武阳(1986—), 男, 高级工程师, 从事疏浚工艺研究和项目管理工作。

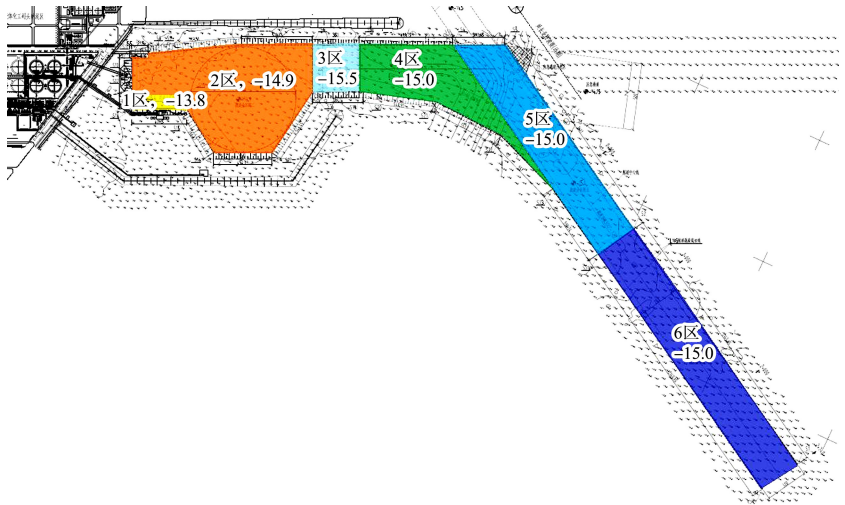


图 1 施工区平面布置



图 2 堵管

2 堵管数据分析

在工程施工过程中，由于土质输送难度大，驾驶员操作不当，于 3 月 21 日凌晨施工时“天麒号”第 1 次发生爆管现象。对连续施工数据进行分析，流速、浓度以及排压关系见图 3、4。

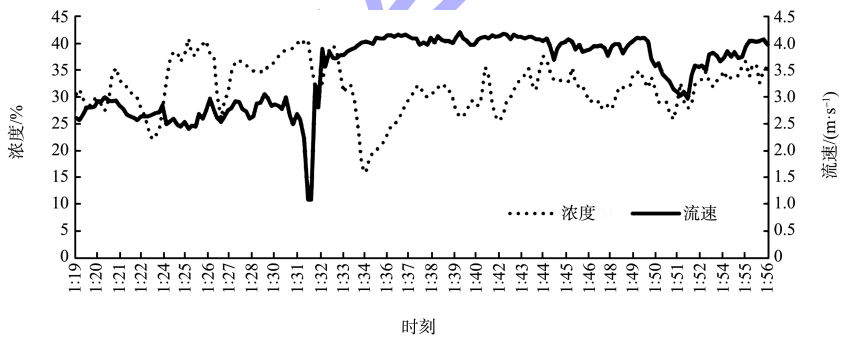


图 3 第 1 次堵管浓度、流速变化

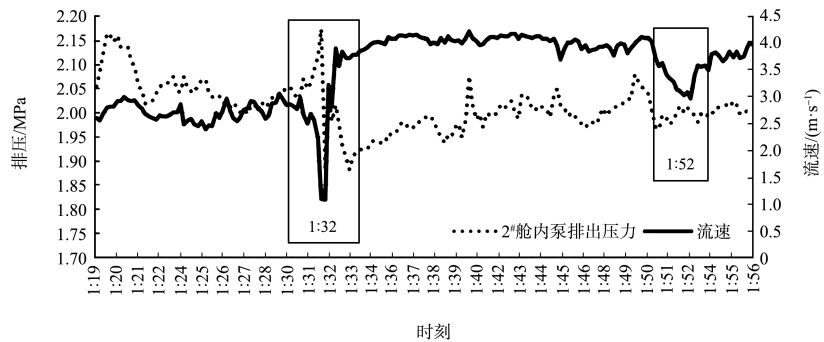


图 4 第 1 次堵管排压、流速变化

“天麒号”在 00:27—00:40 与 00:56—01:08 之间管内浓度持续保持在 40% 以上, 最高点为 00:40 处浓度 46.08%, 01:05 处浓度 45.70%。流速长时间维持在 2.5~3.0 m/s 之间, 01:32 时, 流速由 2.5 m/s 骤降至 1.2 m/s, 同时排压由 2.17 MPa 降至 1.87 MPa, 而后逐渐升高至 2.00 MPa 左右, 流速升高至 3.7 m/s, 面对此情况, 快速将浓度降低至 15%, 而流速仍保持在 4 m/s 左右, 排压维持在 2.00 MPa 左右, 根据该施工参数推测, 管线已经发生堵管和爆管现象, 于 01:52 管线流速排压再次降低, 推测管线内黏土再次形成堆积, 后停泵起

桥梁, 发现管线出现 3 处法兰漏水。

3 月 23 日发生第 2 次堵管现象, 20:30 提升输送浓度, 达到 50% 后流速发生骤降, 由 4.2 m/s 开始下降, 直接降浓度开始吹水, 流速未能提升, 降至 2 m/s, 而后开始缓慢提升, 此时提升浓度至 35% 左右后, 流速再次下降, 同时排压无大幅度变化, 流速降至 0.5 m/s 以下, 降低浓度过程中排压均无明显变化, 推测已经堵管, 而后流速出现波动, 最终停泵, 见图 5、6。期间发现 1 处堵管且管线中的黏土溢出, 见图 7。

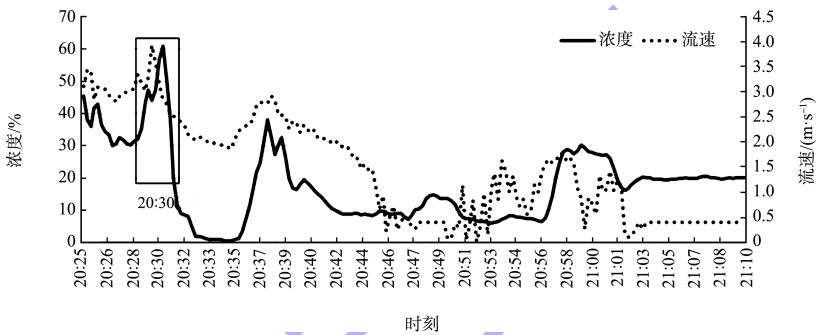


图 5 第 2 次堵管浓度、流速变化

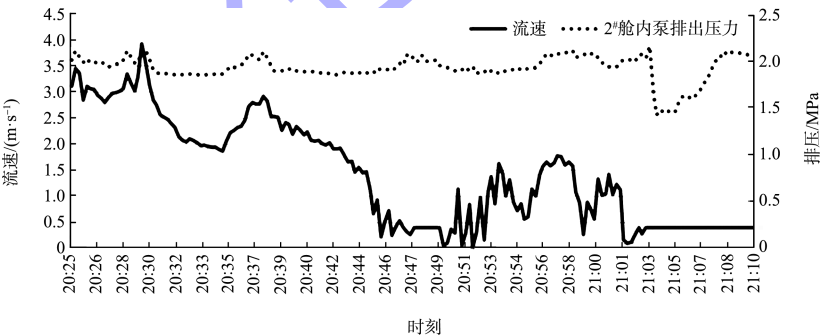


图 6 第 2 次堵管排压、流速变化



图 7 爆管

第 3 次堵管现象见图 8、9。

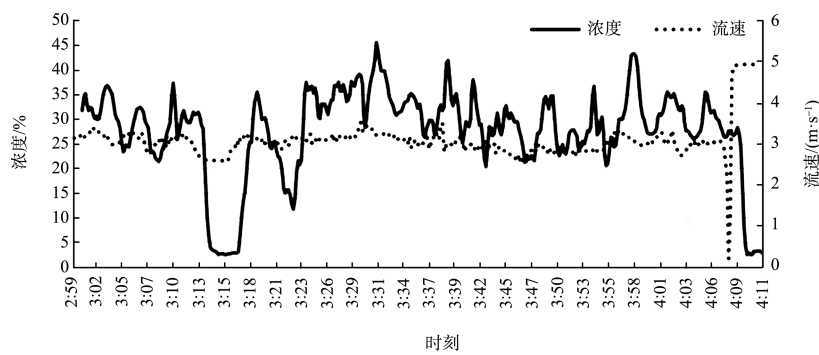


图 8 第 3 次堵管浓度、流速变化

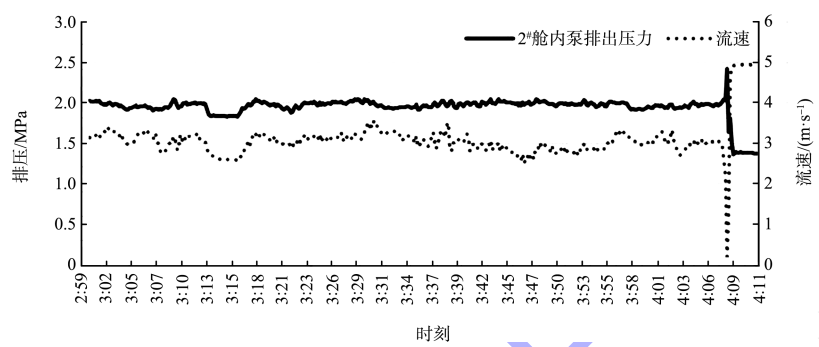


图 9 第 3 次堵管流速、排压变化

“天麒号”当日流速平稳，维持在 3 m/s 左右，浓度维持在 20%~40%，排压稳定在 2.00 MPa，整体控制良好，04:09:40 时，流速降至 0.1 m/s，同时浓度瞬间降低吹水，排压骤升至 2.40 MPa，而后降低至 1.40 MPa，推测已经爆管，发现 2 节管线已经直接脱出，见图 10。在距船尾更远的管线爬坡处发现爆管泥浆溢出，开口后进行管线中淤积泥沙的清理，疏通管线。



图 10 管线脱离

管路中主要为黏土球及石块，土质复杂，上述堵管均发生在港池南侧区域，该区域单个摆宽内土质变化大、分布不均、控制难度大、易造成堵管爆管情况。后期发现堵管发生前，管口处黏

土起球较多，导致出水不稳定，在管线中长时间高浓度输送的情况下，极易造成堵管。

“天麒号”输送造成堵管爆管的影响因素主要有：1)施工区土质复杂且不均匀，同一个摆宽内土质变化明显，造成管路内浓度起伏大，控制难度大。2)复杂土质管线爬坡处易堵管，需进一步控制临界流速。3)操作存在误区，发现流速下降时，控制浓度下降速度过快，导致管路堵塞前压力降低，致使堵管现象发生。4)堵管现象发生后，在彻底堵死前应进一步增加流速，而管线长期使用磨损过大，导致管线爆管。综上，应进行实船试验来记录连续数据。

3 防堵管措施

3.1 临界流速控制

通过前期输送数据发现，堵管常发生于爬坡处，因此基于大颗粒土质临界流公式，可计算水平管路内的临界流速，土颗粒沉降速度依据黏土球输送数据的沉降速度更贴近实际<sup>[2]</sup>。

$$v_c = (90C)^{0.33} g^{0.25} D^{0.5} v_{ss}^{0.5} d_s^{-0.25} \tag{1}$$

式中： $v_c$ 为泥浆临界流速(m/s)； $C$ 为土颗粒体积

浓度(%);  $D$  为排泥管内径(m);  $d_s$  为土颗粒平均粒径(mm);  $g$  为重力加速度( $\text{m/s}^2$ );  $v_{ss}$  为颗粒在静水中的沉降速度( $\text{mm/s}$ )。

由倾斜管临界流速经验曲线得到倾斜管路中倾斜角度和临界流速的关系, 见图 11。根据该曲线优化工程中的管线布设, 使管线倾斜角度尽量平缓, 同时减少大角度弯头的使用频次。通过计算得到浓度不超过 20% 时, 实用流速应不低于  $4 \text{ m/s}^{[3]}$ 。

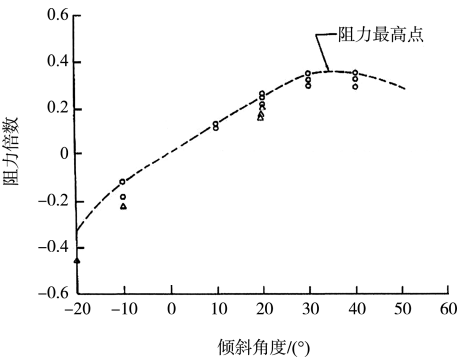


图 11 倾斜管临界流速

3.2 操作优化

由泥浆密度公式以及管路水头计算公式可知, 绞吸船施工过程中, 当船舶总排压受限时, 浓度和流速呈反比变化<sup>[4]</sup>:

$$\lambda_m = \lambda_w \rho_m \tag{2}$$

$$h_m = \sum \xi_{ms} \frac{v_s^2}{2g} + \lambda_m \frac{v_s^2 L_s}{2g D_s} + \rho_m \frac{v^2}{2g} + y(\rho_m - \rho_w) + \sum \xi_{md} \frac{v_d^2}{2g} + \lambda_m \frac{v_d^2 L_d}{2g D_d} + \rho_m Z \tag{3}$$

式中:  $\lambda_m$  为泥浆摩阻系数;  $\lambda_w$  为清水摩阻系数;  $\rho_m$  为泥浆密度;  $h_m$  为管路输送泥浆总水头(m);  $\sum \xi_{ms}$  为吸泥管系局部阻力系数之和;  $v_s$  为吸泥管

平均流速( $\text{m/s}$ );  $g$  为重力加速度( $\text{m/s}^2$ );  $\lambda_m$  为管路泥浆沿程阻力系数;  $L_s$  为吸泥管直管长(m);  $D_s$  为吸泥管内径(m);  $y$  为水面距海底距离, 即挖深(m);  $\rho_m$  为泥浆密度( $\text{t/m}^3$ );  $\rho_w$  为清水密度( $\text{t/m}^3$ );  $v$  为管路排出口流速( $\text{m/s}$ );  $\sum \xi_{md}$  为排泥管系局部阻力系数之和;  $\sum L_d$  排泥管长度总和(m);  $v_d$  为排泥管平均流速( $\text{m/s}$ );  $D_d$  为排泥管内径(m);  $Z$  为排高, 即水面至排泥管出口中心的高度(m)。

在泥泵扬程一定的情况下, 当流速开始下降时, 往往以降低浓度来提升流速, 但若流速降低过快, 即泥泵中充满清水, 而管路中为泥浆, 泥泵扬程随着浓度的降低而降低, 管路所需的排压并未发生明显变化, 则更容易发生堵管。因此, 此刻需缓慢降低管路内泥浆平均浓度, 即降低所需总排压, 同时尽量保证泥泵能持续提供较高扬程, 正确操作应该是缓慢降低吸入浓度, 使泥泵始终保持提供较大扬程, 待管路内平均浓度降低后, 使堵管部分逐渐吹通, 再缓慢提升浓度至正常水平。

此外, 当船舶进行横移换向以及倒桩倒锚作业时, 由于吸入浓度会较正常摆动降低, 因此需提前增加泥泵转速, 使管路内流速处于稳定水平, 避免因流速降低过快导致堵管现象发生。

经上述措施进行工艺改进后试挖数据见图 12、13。当横移换向时, 增加泥泵转速。当流速发生骤降时, 缓慢降低浓度直至恢复正常后将浓度提升至正常水平。本工程堵管次数由 6~8 次/月降低至 0~1 次/月, 施工效果良好, 时利率由优化前的 55% 提升至 75%, 大幅提高了整体工程效益。

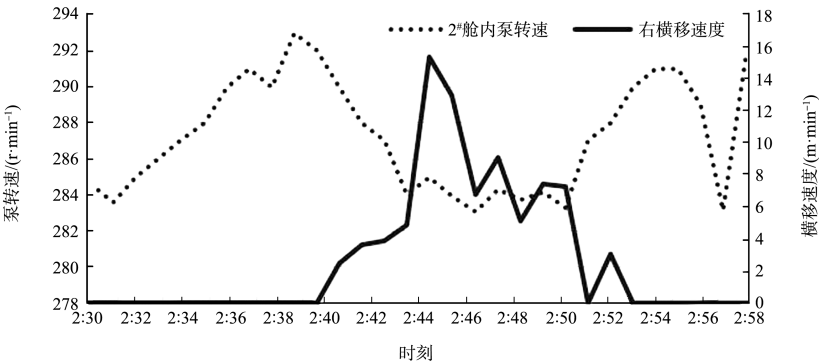


图 12 改进后横移转速变化



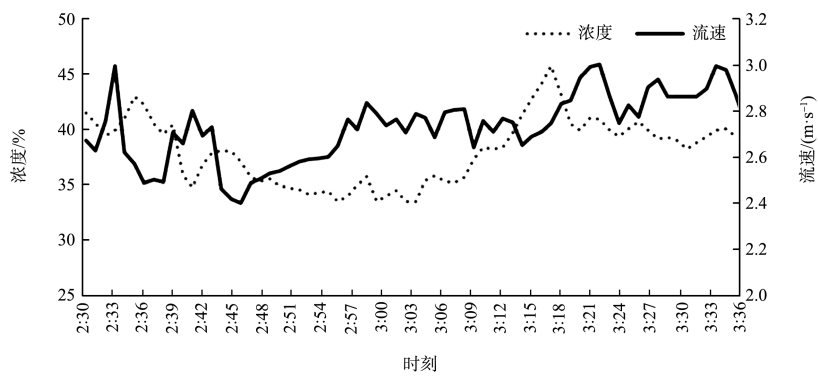


图 13 改进后浓度流速变化

4 结 论

- 1)通过分析船舶施工堵管前后的连续施工数据，剖析产生堵管的原因，同时总结堵管爆管高发的操作节点以及位置。
- 2)优化管线布置，通过临界流速计算原理及倾斜管临界流速变化规律，采用将易堵的倾斜管部分管线进行角度调整，同时降低大角度弯头使用频率，降低局部水力损失。
- 3)当横移换向以及倒锚倒桩时，提前调高泥泵转速，使管路内流速保持平稳状态，防止堵管现象发生。
- 4)当流速出现骤降情况时，缓慢降低吸入浓

度，保证泥泵扬程处于较高水平，防止因浓度降低过快造成堵管现象。

参考文献：

[1] 周光涛,秦亮,杨正军.成球黏性土水力输送阻力特性计算方法[J].水运工程,2019(8):58-62.

[2] 刘文,陈永利,刘西平.绞吸船长排距施工控制工艺优化[J].水运工程,2019(2):177-180.

[3] 秦亮,肖云丰,杨正军,等.成球黏性土长距离输送施工工艺[J].中国港湾建设,2014(8):64-67.

[4] 李晟,杨杰.绞吸船吹填中粗砂泥泵节能运行转速[J].水运工程,2020(3):155-160.

( 本文编辑 赵娟)

(上接第 80 页)

参考文献：

[1] 何开胜,沈珠江.天然沉积黏土的结构性调查[J].东南大学学报(自然科学版),2002,32(5):818-822.

[2] 施斌,姜洪涛.粘性土的微观结构分析技术研究[J].岩石力学与工程学报,2001,20(6):864-870.

[3] 顾正维,孙炳楠,董邑宁.粘土的原状土、重塑土和固化土渗透性试验研究[J].岩石力学与工程学报,2003,22(3):505-508.

[4] 郑剑锋,马巍,赵淑萍,等.重塑土室内制样技术对比研究[J].冰川冻土,2008,30(3):494-500.

[5] 王志佳,张建经,闫孔明,等.考虑动本构关系相似的模型土设计及相似判定体系研究.[J].岩土力学,2015,36(5):1328-1332,1338.

[6] 王俊林,许琨.冲击荷载作用下地基土变形及动力特性[J].科学技术与工程,2020,20(6):2411-2416.

[7] 周葆春,王靖涛,卫军.应力路径对重塑粘土本构关系影响的试验研究[J].重庆建筑大学学报,2006,28(6):58-61.

( 本文编辑 赵娟)