



疏浚排泥管在不同管道组合下的输送摩阻分析

施宝林¹, 杨增海¹, 袁超哲², 骆佳成², 朱 平²

(1. 中港疏浚有限公司, 上海 200136; 2. 中交疏浚技术装备国家工程研究中心有限公司, 上海 200082)

摘要: 疏浚排泥管是疏浚工程介质输送的重要组成部分, 其输送阻力是吹填排距和性能的决定性因素之一。以细粉砂土质的三夹沙南航道工程为依托, 针对疏浚排泥管开展 2 m 长橡胶管和 12 m 长钢制管在不同连接组合方式下的输送阻力现场试验与对比分析。结果表明: 管道压力损失随着输送流速和浓度的增大而增大; 纯钢管组合下的输送摩阻最小, “4 钢管 + 1 橡胶管” 组合的输送摩阻次之, “1 钢管 + 1 橡胶管” 组合的输送摩阻最大, 其相比于纯钢管组合的输送摩阻增大约 6%。研究结果可为工程现场的排泥管布设与施工提供指导。

关键词: 疏浚排泥管; 细粉砂; 摩阻; 管道组合

中图分类号: U 616

文献标志码: A

文章编号: 1002-4972(2022)08-0197-04

Analysis of friction resistance of dredging pipe under different pipe combinations

SHI Bao-lin¹, YANG Zeng-hai¹, YUAN Chao-zhe², LUO Jia-cheng², ZHU Ping²

(1.CHEC Dredging Co., Ltd., Shanghai 200136, China;

2. CCCC National Engineering Research Center of Dredging Technology and Equipment Co., Ltd., Shanghai 200082, China)

Abstract: The dredging pipe is an important part of medium transportation in dredging engineering, and its friction resistance is one of the decisive factors for dredging distance and performance. Based on Sanjiasha south channel project with the fine silt soil, we carry out the field test and comparative analysis of the transportation resistance under different pipe combinations with 2m-rubber pipe and 12m-steel pipe for the dredging pipe. The results show that the pressure loss increases with the increase of transport velocity and concentration; The friction resistance of the steel pipe combination is the smallest, followed by the “4 steel pipe + 1 rubber pipe” combination, and the “1 steel pipe + 1 rubber pipe” combination has the largest friction resistance, which increases by about 6% compared with the steel pipe combination. The research result provides a guidance for the layout of dredging pipes on the project site.

Keywords: dredging pipe; fine silt; friction resistance; pipe combination

疏浚排泥管线是决定挖泥船施工效率的关键环节之一, 不同的管道连接形式对于泥浆输送的效率具有重大影响^[1-3]。目前, 疏浚排泥管线的浆体输送阻力主要基于理论经验公式进行计算, 但由于吹填工程土质的多样性和施工参数的差异性, 经验公式给出的输送阻力和相应产能与实际不符

合, 使得疏浚企业无法高质量进行管线布设优化、施工产能预测、投标报价和施工成本控制。因此, 基于实际工程进行压力监测, 研究管道的压力损失规律, 对于完善管道输送阻力特性的理论知识以及指导实际施工生产均具有重大意义。

本文基于实际工程, 针对不同类型管道连接

收稿日期: 2021-12-13

作者简介: 施宝林(1979—), 男, 工程师, 从事疏浚工程施工管理及排泥管线施工工艺研究。

通讯作者: 朱平(1992—), 男, 硕士, 工程师, 从事疏浚工艺技术研究。E-mail: 15201715328@qq.com

组合下的压力损失进行现场监测，分析管道的输送摩阻，进而估算相应的排距，为实际施工过程中管道的合理配置与布设提供科学指导。

1 现场监测布置

依托三夹沙南航道工程，选取施工现场某一绞吸船的吹填管线顺直管段（图 1）进行现场管道压力监测。现场压力监测点布设如图 2 所示，测点 1 与测点 2 之间为 9 根钢管的连接组合，距离为 109.5 m；测点 2 与测点 3 之间为 1 根钢管与 1 根橡胶短管依次连接的“1+1”组合，共计 4 组，其总长度为 64.3 m；测点 3 与测点 4 之间以连续的 4 根钢管与 1 根橡胶管依次连接的“4+1”组合，两个测点之间的距离为 200.7 m。上述 3 种不同管道类型组合的参数见表 1。

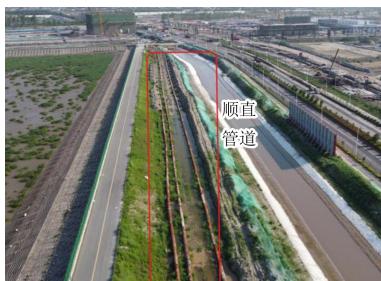


图 1 施工现场吹填管线顺直管段

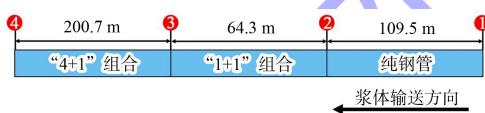


图 2 压力监测点布设

表 1 不同类型管道组合

管道组合名称	管道数量/根		备注
	钢管	橡胶管	
纯钢管	9	0	109.5
1+1	4	4	64.3
4+1	16	4	200.7

基于船载实时记录的泥浆输送流速与浓度，分析特定输送工况下不同管道组合形式下的压力变化，进而确定相应管道连接组合下的输送阻力特性。在计算管道压力损失时，以水力坡度为分析指标，评估管道的输送阻力。主要考虑施工台班时间尺度下典型工况的摩阻特性，由于相邻测点间距较小(秒级别时间尺度)，近似认为同一时

刻相邻测点的流速与密度均相同。另外，本文提及的压力水头均指代清水水头，实测压力转换为压力水头时所用密度均为清水密度。为了消除高程差引起的测点之间静压差，采用实时差分定位(RTK)进行高程测量，抵消压力监测点之间的初始压差，水力坡度的计算公式如下：

$$I_{\text{实测}} = \frac{(\Delta P - \rho g \Delta h)}{\rho g L} \quad (1)$$

式中： $I_{\text{实测}}$ 为管线测量段的实测水力坡度； ΔP 为管线两端测点的压差； ρ 为清水密度； Δh 为管线两端压力测点处的高程差； g 为重力加速度； L 为测量管段的长度。

2 实测结果分析

在进行管道压力实测结果分析时，首先确定现场的施工土质及管道输送参数，并分析相应施工时段不同管道连接组合下的管道压力变化结果，进而确定不同连接组合下的管道在上述施工工况下的输送摩阻特性。

2.1 现场施工工况

工程现场土质勘察结果显示，该工程的吹填土质以细粉砂为主，土质粒径不超过 0.25 mm。

现场施工过程中，绞吸挖泥船排泥管内泥浆的输送流速与浓度见图 3。管道输送流速在 4.3~4.7 m/s 的范围内波动，平均输送流速约为 4.5 m/s；泥浆浓度变化相对较大，其主要在 10%~30% 的浓度范围内变化，平均输送浓度约为 20%。

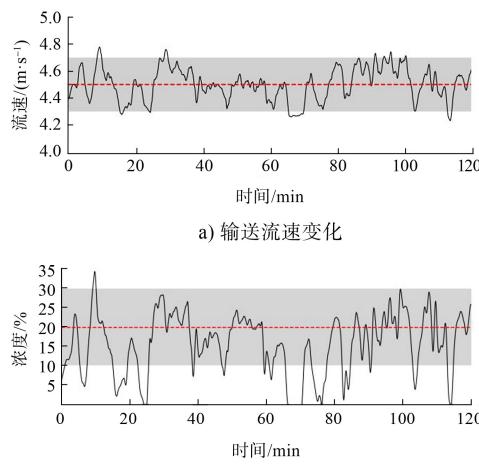


图 3 施工期间排泥管内输送流速与浓度

2.2 实测压力

绞吸船在输送泥浆时各个测点的压力变化曲线如图4所示。对压力变化曲线与流速、浓度变化曲线进行对比分析可知, 压力测点与施工船舶之间的沿程管线长度约为2 km。在施工期间, 管道内压力随着输送流速和浓度呈现波动变化。当流速达到4.8 m/s、浓度超过30%时, 压力监测点的最大压力(测点1)约为800 kPa, 由于沿程管道阻力的影响, 在上述同一时刻, 压力监测点的最小值(测点4)约为710 kPa。

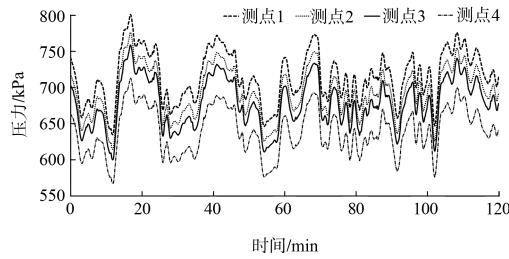


图4 施工期间排泥管线的实测压力变化

在测得上述管线压力的基础上, 利用水力坡度公式(1), 计算得到不同管道组合下的水力坡度变化过程, 进而可评估不同管道组合的摩阻大小。由图5可以看出, 排泥管线的水力坡度随着输送流速与浓度的变化而呈现波动性变化。当输送流速为4.8 m/s、泥浆浓度为34%时, 纯钢管的水力坡度约为0.0255 mH₂O/m, “4+1”管道组合的水力坡度为0.026 mH₂O/m, “1+1”管道组合的水力坡度则达到了0.027 mH₂O/m。

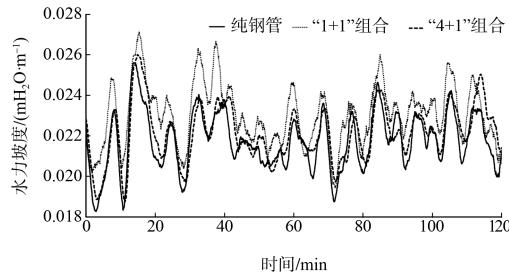


图5 施工期间排泥管线的实测水力坡度变化

纯钢管组合下的管道摩阻最小, 施工期间的平均水力坡度约为0.0218 mH₂O/m; “4+1”管道组合的摩阻次之, 其平均水力坡度约为0.0221 mH₂O/m; “1+1”管道组合下的摩阻最大, 在上述施工工况下, “1+1”管道的平均水力

坡度达到0.0231 mH₂O/m(图6)。在上述施工工况下, “4+1”管道组合的水力坡度相比于纯钢管组合的水力坡度增大了2%; “1+1”管道组合的管道摩阻显著大于纯钢管组合的摩阻, 其水力坡度相比于纯钢管组合的水力坡度增大了6%。

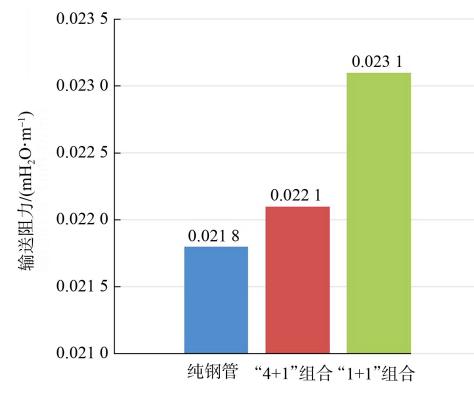


图6 不同管道组合下的水力坡度对比

3 实际应用

上述管道输送阻力的试验研究对于实际吹填工程中排距的估算以及管线的组合与排布具有重要的参考意义。

以南通港某5万吨级航道工程为例, 其施工土质为细粉砂, 施工船舶为3泵绞吸挖泥船, 其泥泵总扬程为225 mH₂O(45 mH₂O+90 mH₂O+90 mH₂O), 排泥管线由浮管、沉管和岸管组成, 三者的长度依次为500、1 000和8 000 m, 另外, 挖泥船上的管线长度为114 m。根据不同管路与钢直管的折算比^[4](表2)可知, 上述排泥管线全部折合为钢直管时的总长度约为9 985 m。在正常施工过程中, 管道内泥浆输送流速为4.5 m/s, 浓度为20%时, 管道组合为纯钢管、“4+1”以及“1+1”组合时的水力坡度分别为0.0218 mH₂O/m、0.0221 mH₂O/m和0.0231 mH₂O/m。

表2 管线折算长度比

管路种类	钢直管长折算比	现场管线长度/m	折算长度/m
船上管	2.5	114	285
浮管	1.2	500	600
沉管	1.1	1 000	1 100
岸管	1.0	8 000	8 000

在上述施工过程中, 当岸管为纯钢管组合时, 管线的总水头损失约为217.7 m; 若将岸管替换为

“4+1”管道组合时，排泥管线的总水头损失约为 $220.1\text{ mH}_2\text{O}$ ；若岸管为“1+1”管道组合时，排泥管线总水头损失达到了 $228.1\text{ mH}_2\text{O}$ 。与挖泥船最大扬程对比可知，当岸管管道组合为纯钢管或“4+1”组合时，挖泥船在3泵全开的情况下可满足施工的排距要求，若岸管管道组合为“1+1”时，挖泥船的最大排压无法满足正常施工的排距需求，需增加接力泵进行加压输送。因此，在实际管线布设中，岸管应以钢直管为主，仅在管线弯折处配置“1+1”管道，进而保证施工船舶在满足实际排距和管线走向布置要求的同时，可降低施工成本，进而提高项目的经济效益。

上述管道阻力研究的现场应用仅基于陆上管线的顺直管段实测结果，后续将对水上浮管、沉管等其他类型管道组合进行摩阻分析研究，实现排泥管线整体的摩阻分析，从而更为准确地指导现场管线布设与施工。

4 结论

1) 管道输送摩阻与管道输送流速、浓度的变化趋势较为一致。输送摩阻随着管道输送流速和浓度的增大而增大。

2) 不同管道组合下的输送摩阻存在差异：纯钢管组合的输送摩阻最小，“4+1”管道组合的输送摩阻次之，“1+1”管道组合的输送摩阻最大，

其管道输送阻力相比于纯钢管组合的输送阻力增大约6%。

3) 在输送平均流速为 4.5 m/s 、平均输送浓度为20%的情况下，纯钢管组合的水力坡度约为 $0.0218\text{ mH}_2\text{O/m}$ ，“1+1”管道组合的水力坡度为 $0.0221\text{ mH}_2\text{O/m}$ ，“4+1”管道组合的水力坡度为 $0.0231\text{ mH}_2\text{O/m}$ 。

4) 基于现场实测的不同管道组合下的输送摩阻，为现场吹填工程的管线布设提供了较为准确的指导。

5) 本文对管线压力监测的试验研究仅限于顺直管段，为了更为准确地分析疏浚排泥管线的摩阻特性和排距估算，后续将对水上浮管、沉管以及不同角度的弯管段的压力损失开展进一步研究。

参考文献：

- [1] 何炎平, 谭家华, 顾明. 绞吸式挖泥船产量有关问题的探讨[J]. 中国港湾建设, 2010(2): 5-7.
- [2] 李铭志, 何炎平, 诸葛玮, 等. 挖泥船泥沙输送系统的参数匹配问题[J]. 中国港湾建设, 2014(11): 64-68.
- [3] 吕澎, 逯新星. 灌河口吹填工程长排距管线水力特性分析[J]. 水道港口, 2021, 42(1): 60-66.
- [4] 中交上海航道勘察设计研究院有限公司. 疏浚与吹填工程设计规范: JTS 181-5—2012 [S]. 北京: 人民交通出版社, 2012.

(本文编辑 郭雪珍)

(上接第166页)

参考文献：

- [1] 陈文, 张玉萍. 基于 ANSYS 的高桩码头轨道梁内力分析[J]. 水运工程, 2014(10): 71-75.
- [2] 余神光, 牛红林, 孙艺. 板桩码头前后轨道梁抗震连接构件设计[J]. 港工技术, 2019, 56(6): 54-57.
- [3] 陆微, 李春良, 任增金, 等. 钢筋混凝土轨道梁最优断面尺度的确定[J]. 水运工程, 2017(7): 103-107, 135.
- [4] 中交第一航务工程勘测设计院有限公司. 码头结构设

计规范: JST 167—2018 [S]. 北京: 人民交通出版社股份有限公司, 2018.

- [5] 龙驭球, 包世华. 结构力学教程[M]. 北京: 高等教育出版社, 2001.
- [6] 郑玉国, 王瑜, 宋英梁. 刚度分配图乘法的基本原理及应用[J]. 力学与实践, 2019, 41(2): 227-232.

(本文编辑 郭雪珍)