



疏浚吹填泄水流失率理论分析及控制措施

张乾, 张帆, 程瑾

(中交天津港航勘察设计院, 天津 300450)

摘要: 依据流体力学理论, 并结合大量的工程监测数据, 总结出了疏浚工程中影响吹填泄水泥沙流失率的4个主要因素: 土颗粒粒径、吹入量、有效库容、流径。运用统计学原理定性或定量分析了这4个主要因素间的相互关系及其与流失率之间的关系, 通过数值分析拟合出了影响泄水流失率的理论公式。根据分析结果总结并提出了控制疏浚吹填泄水流失率的具体措施, 对优化疏浚吹填工艺、降低施工成本提供参考依据。

关键词: 疏浚吹填; 泥沙流失率; 影响因素; 控制措施

中图分类号: U 616.1

文献标志码: A

文章编号: 1002-4972(2014)07-0032-04

Theoretical analysis and control measures of dredging and filling engineering's sediment loss rate

ZHANG Qian, ZHANG Fan, CHENG Jin

(CCCC Tianjin Port & Waterway Prospection & Design Research Institute Co., Ltd., Tianjin 300450, China)

Abstract: The article sums up 4 main influencing factors of hydraulic fill sediment loss rate in dredging engineering based on the theory of fluid mechanics and a large number of engineering monitoring data, i. e. soil particle size, filling quantity, effective capacity and flow path. The paper also analyzes the relationship between the 4 factors and the relationship between the 4 factors and sediment loss rates qualitatively or quantitatively based on the principles of statistics, and fits out the theoretical formula related to the sediment loss rate using the numerical analysis method. According to the results of the analysis the article puts forward specific measures to control dredging and filling engineering's sediment loss rate. It may serve as reference for optimizing the dredging technology and cutting down the construction cost.

Key words: dredging and filling; sediment loss rate; influencing factor; control measure

现今, 世界主要国家都在通过吹填造地增加土地、发展经济。根据现在的吹填造地工艺, 泄水时会有大量的泥沙排入海洋。这一方面会造成很大的浪费, 另一方面也会造成海洋环境的污染。因此, 分析泄水时泥沙流失率及其主要影响因素的相互关系进而采取相应措施控制吹填造陆工程泄水流失率具有很大的社会价值和经济价值。

本文依托天津南港一吹填造陆工程泄水流失率监测课题, 根据监测流失率相关数据对影响泄水流失率的影响因素进行理论分析, 并根据分析

结果总结得到控制流失率的措施。

1 课题概况

课题所依托吹填造地项目位于天津南港, 吹填面积约 800 万 m^2 , 吹填量约 6 500 万 m^3 , 主要吹填土为港口航道中取得的第 4 系海相沉积的黏性土。根据项目工期, 课题总监测周期为 1 a, 采用等频率采样的监测方法。使用流量计、流速仪、水位计、测距仪等设备分别采集吹填量、泄水速度、泄水断面、吹填区库容、流径等数据,

收稿日期: 2013-11-29

作者简介: 张乾 (1980—), 男, 硕士, 工程师, 注册岩土工程师, 主要从事航道工程疏浚土质及疏浚吹填工艺研究。

同时采集泄水口泥水样化验并及时进行室内固体含量、密度及颗粒分析试验,共取得近100组监测数据。

2 流失率影响因素的理论分析

流失率是指一定时间段内流失泥沙的量占吹入泥沙量的比率,通过研究控制泥沙沉淀的方法就可以得出控制流失率的方法。

泥沙沉降率由沉降速度和沉降时长决定。沉降速度与颗粒的组成特性和流体动力条件相关^[1];沉降时长与吹填区内水流速度和流径有关。流体动力条件包括:流速、流体密度、动力黏度、运动黏度等。固体自身组成性状包括:颗粒密度、粒径等。吹填区内水流流速由有效库容(泥面与泄水挡板顶面间的空间)、吹入量(泥水总量)等工程因素决定。

上述各因素相关关系可以用图1表示。

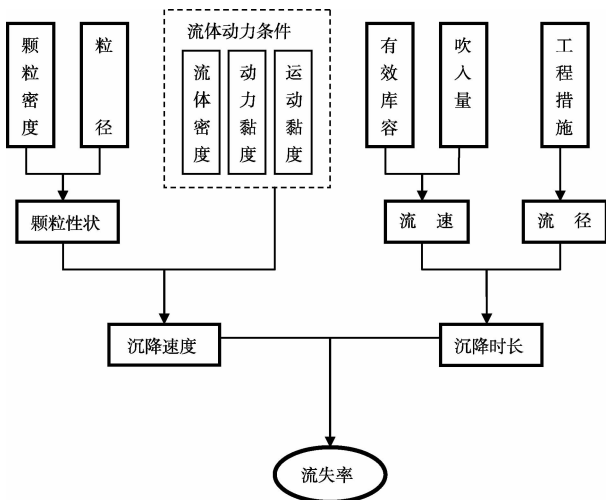


图1 影响流失率相关因素的关系

从图1可以判断出影响流失率的主要因素包括:颗粒密度、介质粒径、流体密度、动力黏度、运动黏度、吹入量、有效库容、流径。相近土质的颗粒密度相差很小,根据斯托克斯公式^[2]和狄楚奇^[2]公式,当土质相近时,不同的颗粒密度对沉降速率的影响很小。流体密度、动力黏度、运动黏度由流体自身性质决定,不同浓度的流体差异较大,本文不作分析。本文主要分析介质粒径、有效库容、吹入量、流径与流失率的关系。

2.1 介质粒径与流失率关系

为验证介质粒径与流失率关系,设计了一模型试验,试验过程参照黏土比重计试验,试验过程如下:提取取泥区代表性黏土样一件,烘干后充分碾碎,将碾碎后土样放入一分层注满水容器的上层并充分搅匀,之后打开两层容器间的隔板,土颗粒开始沉降,在下层容器的固定位置定时取泥水样测定水样中泥沙的平均粒径,最后绘制泥沙平均粒径与时间关系曲线,结果见图2。

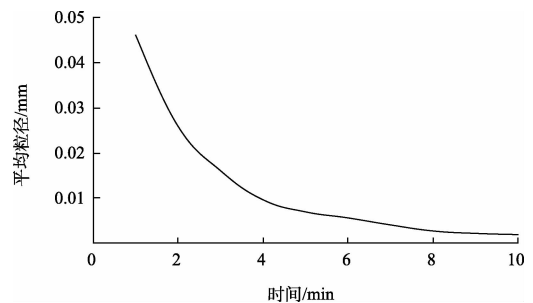


图2 泥沙平均粒径与时间关系

从图2可以看出,对于一般黏性土(颗粒粒径小于0.075 mm),粒径大的土颗粒先于粒径小的土颗粒沉降,据此可以得到如下结论:对于黏性土,颗粒粒径越大其沉降速度越大,沉降效率越高,流失率越小。这一分析结果与斯托克斯理论公式^[2]和狄楚奇^[2]理论公式表达的含义相吻合,该组公式针对直径小于0.075 mm的黏土颗粒,公式中颗粒沉降速度与颗粒粒径成6次方正相关关系。

此外,对于粒径大于0.075 mm的颗粒,由于其周围存在复杂的紊流,因此其沉降特点采用一般的公式或模型难以表述,且在吹填造地工程中使用该类型土的几率较小。

2.2 有效库容与流失率关系定性研究

根据修正的希尔兹曲线公式^[3]得出:水深 H 越大泥沙的启动流速越大,越有利于泥沙的沉淀。同时,水深大的区域形成了一定的缓冲区,能够有效减缓来水的流速,也有利于泥沙沉降。而面积一定时,有效库容与水深 H 成正比关系。

2.3 吹入量与流失率定性关系

将吹填区上游水位与挡板顶面之间的高度差定义为吹填区雍水高度^[4](图3)。

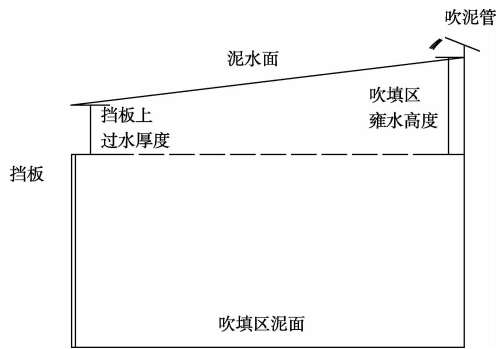


图3 吹填区雍水高度

根据吹填工艺分析可知，影响吹填区雍水高度的主要因素是吹入量。过水厚度越大、吹入量越大则雍水高度越大、泥水的流速越大。根据希尔兹曲线理论，流速越大，泥沙沉降越困难。此外，相同的流径情况下流速越大，泥沙在库内的沉降时长越短。

图4是吹填区监测得到的吹入量与流失率关系，可以看出吹入量与流失率成显著的正相关关系，与前面分析结果吻合。

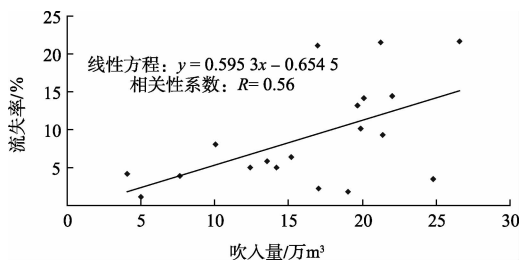


图4 吹入量与流失率对应关系

2.4 有效库容、吹入量与流失率的定量关系

取流径和吹填土质基本稳定的时间段内的有效库容、吹入量、流失率数据，利用 matlab7.0 软件对这3项监测数据进行拟合，拟合结果见表1。

以流失率 n 为因变量、以吹入量 Q 和有效库容 V 为自变量进行拟合，得到拟合方程：

$$n = 6539.2 \cdot \frac{\lg Q}{V} - 19.647 \quad (1)$$

式中： n 为吹填流失率(%)； Q 为吹入量(万 m^3)； V 为有效库容(万 m^3)。公式拟合度 $r=0.87$ ，反映了情况与上述定性分析结果相吻合。

表1 有效库容、吹入量与流失率监测数据

水深 H/cm	有效库容 $V(H \times$ 吹填区面积)/万 m^3	吹入量 $Q/万 m^3$	流失率 $n/\%$
54.2	304.6	70.89	10.1
42.1	236.6	57.41	51.6
45.1	253.5	48.76	9.6
29.8	167.5	38.72	31.1
40.2	225.9	62.97	48.0
30.6	172.0	75.89	59.6
36.3	204.0	61.11	31.5
58.5	328.8	68.00	23.8
38.6	216.9	89.08	34.7
27.7	155.7	53.52	49.9
68.7	386.1	49.83	7.5

2.5 流径与流失率的定量关系

理论上，当流速一定时，流径越长，则泥沙沉降的过程时间越长，沉降量增加，流失率降低。监测数据曲线所反映的情况与其相符(图5)。

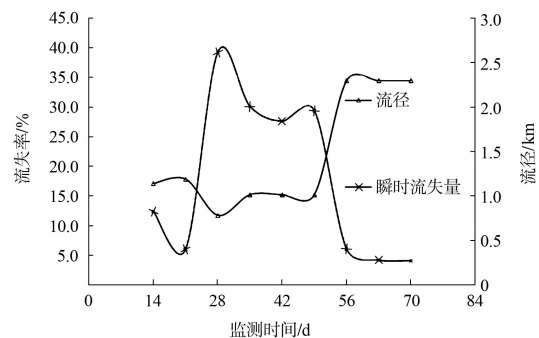


图5 流径与流失率

3 流失率控制方法

各因素与流失率的相关关系见表2。

表2 流失率与其影响因素的关系

影响因素	与流失率 n 相关关系	拟合公式
粒径(黏性土)	粒径越大,流失率越小	
吹入量 Q	吹入量越大,雍水高度变大,流速增加,流失率变大	式(1)
有效库容 V	有效库容越大,降低泥沙流速,增加沉降率,降低流失率	
流径	流径越大流失率越小	

根据表2内容提出如下控制流失率的方法：

- 1) 如果取泥区均为黏性土，且取泥范围可选，则选择粒径较大的区域进行取泥。

2) 依据式(1)预测流失率,进而合理调控泄口水口插板高度以控制有效库容,同时调整吹填量以提高吹填效率。

3) 采取挖掘或者其他可行措施,使吹填区内水流流经的线路和泄水口外围形成一定规模的水塘,增加这一区域的水深和有效库容。

4) 将吹泥管尽量远离泄水口,采取机械或人工的手段,形成梯级库容,以增长水流流径。

4 结论

通过理论分析得到影响吹填泄水流失率的主要因素,结合课题所得的大量监测数据分析了其中4个因素:土颗粒粒径、有效库容、吹入量、流径。这些因素与吹填泄水流失率的关系如下:黏性土颗粒粒径、有效库容、流径与流失率成负相关关系,吹入量与流失率成正相关关系。在其他边界条件一定的情况下,吹入量、有效库容与流失率满足拟合公式(式(1)),该公式为解决吹填过程中产量和效率的矛盾提供了参考依据。

根据分析结果提出了控制吹填泄水流失率的具体措施,包括:选用颗粒粒径大的吹填土;参

照式(1)找到流失率与吹入量的临界控制点,使其既保证产量也保证效率;在流径上设置深水区增加有效库容,合理布置泄水孔并尽量增大流径。

除了文中所分析的4个影响吹填去泄水流失率的主要因素外,吹入泥浆的浓度对流失率也有较大的影响,但是其影响方式比较复杂^[5],很难用简单的公式去表述,需要对不同粒径的土质进行试验分析。因此今后有必要对泥浆浓度与泄水流失率的影响进行专门的分析研究。

参考文献:

- [1] 庞玲,张科利,朱明,等.泥沙沉降速度试验研究方法回顾与评述[J].人民黄河,2006,28(5):50-52.
- [2] 夏震寰,汪岗.无黏性均质颗粒在细颗粒悬浮液中的沉降[J].泥沙研究,1982(1):15-18.
- [3] 钱宁,万兆惠.泥沙运动力学[M].北京:科学出版社,2003:138-143.
- [4] 杨建国,张兆营,鞠晓丽,等.工程流体力学[M].北京:北京大学出版社,2010:56-58.
- [5] 韩其为.非均匀沙不平衡输沙的理论研究[J].水利水电技术,2007,38(1):14-23.

(本文编辑 武亚庆)

(上接第16页)

- [21] David Prandle, Julia C Hargreaves, Julia P McManus, et al. Tide, wave and suspended sediment modelling on an open coast Holderness [J]. Coastal Engineering, 2000, 41: 237-267.
- [22] 丁平兴,胡克林,孔亚珍,等.长江河口波-流共同作用下的全沙数值模拟[J].海洋学报,2003,25(5):113-124.
- [23] 陆永军,左利钦,王红川,等.波浪与潮流共同作用下二维泥沙数学模型[J].泥沙研究,2005(6):1-12.
- [24] 茅志昌.波浪对南汇东滩冲淤作用的初步分析[J].海洋湖沼通报,1987(4):21-29.
- [25] 向卫华,李九发,徐海根,等.上海市南汇南滩近期演变特征分析[J].华东师范大学学报:自然科学版,2003(3):49-55.
- [26] 邵守良.波浪作用下泥沙临界起动水深与起动波高的计算[J].港口工程,1993(6):49-63.
- [27] 李玉成,董国海,滕斌.浅水区波浪的破碎指标[J].水动力学研究与进展:A辑,1991,6(2):99-110.
- [28] 茅志昌.南汇东滩的波浪作用和滩面冲淤分析[J].上海水利,1992(3):1-6.

(本文编辑 武亚庆)