



# 横沙八期吹填土粒径分布规律

夏宪忠<sup>1</sup>, 严晓威<sup>2</sup>, 曾嘉辰<sup>2</sup>, 王 盛<sup>2</sup>, 郝宇驰<sup>2</sup>, 陶润礼<sup>2</sup>

(1. 上海交通建设总承包有限公司, 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 201208)

**摘要:** 横沙八期工程由于吹填面积巨大, 导致了吹填土质的多样性和分布的差异性。为了研究超大围区内吹填土土质的变化规律, 通过对实际吹填场地钻孔取样, 进行土工颗粒试验, 分析了吹填管口横向和纵向吹填土质的分布规律。结果表明: 超大围区内吹填土泥面下约3.0 m深度范围内基本为粉砂, 该深度以下则为细砂; 距吹填管口150.0 m范围内主要为细砂, 该范围以外主要为粉砂。分析结果可为吹填造陆过程中的管线布设和平整度控制提供参考依据。

**关键词:** 横沙八期; 吹填土; 粒径; 分布规律

中图分类号: U 655.54

文献标志码: A

文章编号: 1002-4972(2023)02-0154-05

## Particle size distribution law of Hengsha-eighth-stage dredger fill

XIA Xian-zhong<sup>1</sup>, YAN Xiao-wei<sup>2</sup>, ZENG Jia-chen<sup>2</sup>, WANG Sheng<sup>2</sup>, HAO Yu-chi<sup>2</sup>, TAO Run-li<sup>2</sup>

(1. Shanghai Communications Construction Co., Ltd., Shanghai 200136, China;

2.CCCC National Engineering Research Center of Dredging Technology and Equipment Co., Ltd, Shanghai 201208, China)

**Abstract:** Due to the huge reclamation area of Hengsha Phase 8 project, the soil quality of the reclamation is diverse and the distribution is different. To study the change law of the soil quality of the blown fill in the super-large enclosed area, the distribution law of the horizontal and vertical blown fill at the mouth of the blown fill pipe is analyzed through borehole sampling of the actual blown fill site. The results show that the depth of about 3.0 m below the surface of the filling soil in the super-large enclosure area is basically silt, and the depth below is fine sand. Within the range of about 150.0 m from the mouth of the filling pipe, fine sand is the main component, and outside this range, silt is the main component. These results can provide a useful reference for pipeline layout and flatness control in the process of land reclamation.

**Keywords:** Hengsha Phase 8; dredger fill; particle size; distribution law

## 1 工程概况

沿海地区建设项目中, 经常涉及吹填土的开发利用问题。横沙八期工程是上海造地史上单体面积最大、单体投资规模最大、岛屿区域条件最差、利用疏浚土方量最大的工程, 其工程位置见图1。截至2020年底, 横沙岛吹填形成陆域达到4 249万m<sup>2</sup>, 吹填量约为1.4亿m<sup>3</sup>。

横沙八期工程作为上海造地史上最大的工程, 巨大的围垦面积和吹填土质的多样性使得保证吹填高程与平整度的难度成倍增加, 为确保吹填质

量, 经济高效完成吹填工程, 有必要针对项目特点对吹填土质开展相关的研究。张文龙<sup>[1]</sup>发现, 吹填时泥沙呈扇形沉积, 颗粒由出口处向扇形边缘逐渐变细。杨顺安等<sup>[2]</sup>对深圳南油月亮湾“314”填海造陆地区吹填淤泥土的工程特征进行探讨, 得到了吹淤体的淤积形态特征, 即由粗颗粒组成的微三角洲主要位于管口附近, 呈扇状平面分布。孔位学等<sup>[3]</sup>认为, 泥浆吹填至围堤后在堤内漫流, 流速逐渐减缓, 在靠近出砂口处, 沉淀的土颗粒较粗, 随着漫流距离的增大, 沉淀的

土颗粒逐渐变小。高永芹<sup>[4]</sup>发现, 利用河道清淤泥土吹填的土质主要为粉土和粉质黏土。单文宠<sup>[5]</sup>、尹建道等<sup>[6]</sup>研究了天津海泥吹填土的颗粒组成及质地类型, 发现天津吹填土土样的不均匀

系数  $C_u$  均大于 5, 曲率系数  $C_c$  在 1~3, 颗粒级配良好。此外, 一些学者<sup>[7-10]</sup>通过试验方法研究了沉积物在不同深度的颗粒分布变化规律。

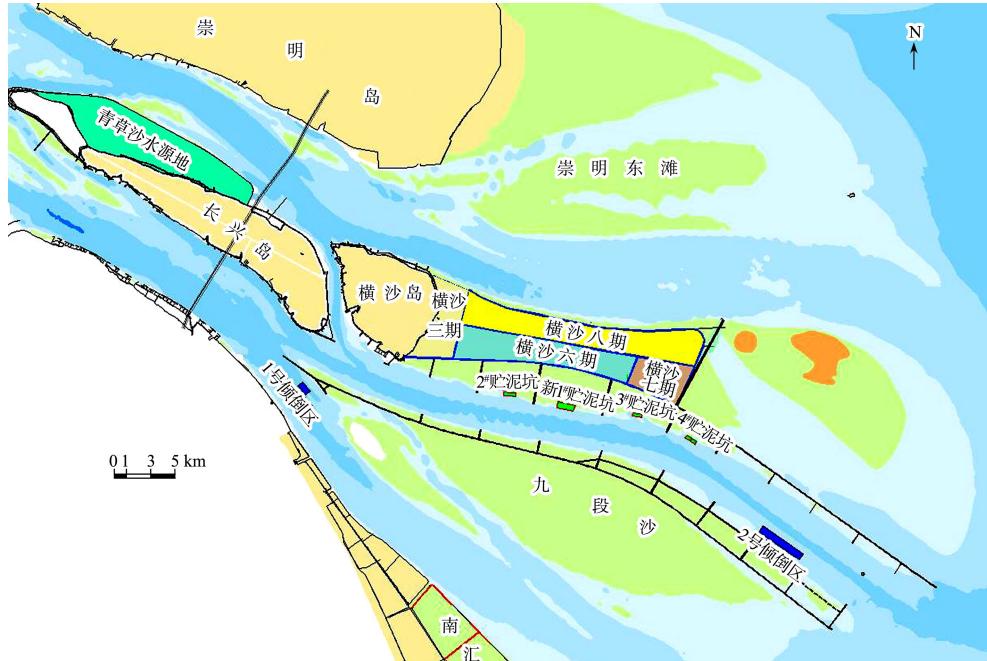


图 1 横沙八期工程位置

本文依托具有超大围区的横沙八期吹填工程, 结合吹填区的土质资料和试验数据, 进一步研究吹填管口横向和纵向颗粒沉降规律, 进而为后续的吹填管线布置和平整度控制等工程建设指标提供参考。

## 2 土质分析

### 2.1 土质粒径变化分析方法

对于吹填土区土质的分析方法采用水利部的 SL 237—1999《土工试验规程》分类法, 粒组分类见表 1。

表 1 粒组分类

粒组统称	粗粒划分	粒径范围 $d/\text{mm}$
巨粒组	漂石(块石)组	$d > 200$
	卵石(碎石)组	$200 \geq d > 60$
粗粒组	砾粒(角粒)	粗砾 $60 \geq d > 20$
		中砾 $20 \geq d > 5$
		细砾 $5 \geq d > 2$
	砂砾	粗砂 $2 \geq d > 0.5$
		中砂 $0.5 \geq d > 0.25$
		细砂 $0.25 \geq d > 0.075$
细粒组	粉粒	$0.075 \geq d > 0.005$
	黏粒	$d < 0.005$

基于实际工程的应用需求, 将表 1 进行简化分类: 粒径  $> 60 \text{ mm}$  的颗粒质量占颗粒总质量 50% 以上的土称为巨粒土; 粒径  $< 0.075 \text{ mm}$  的颗粒质量占颗粒总质量 50% 以上的土称为细粒土, 细粒土又可分为粉粒和黏粒; 颗粒在巨粒土与细粒土之间的土称为粗粒土, 粗粒土又可分为砾粒和砂砾。疏浚吹填土中常见的多为砂砾, 中粗砂的粒径范围为  $2.00 \text{ mm} \geq d > 0.25 \text{ mm}$ , 而粒径范围在  $0.250 \text{ mm} \geq d > 0.075 \text{ mm}$  之间的则为细砂。

### 2.2 粒径取样

吹填区一共分 6 个围区, 在 4#、5# 围区边界处, 围绕吹填口钻孔扇形分布区域进行不同深度土质取样, 钻孔编号为 ZK1~ZK47, 见图 2。钻孔深度方向上每间隔 1.0 m 取一个试样进行土工颗粒分试验, 每个钻孔取 6 个试样, 取样总深度为 6.0 m。

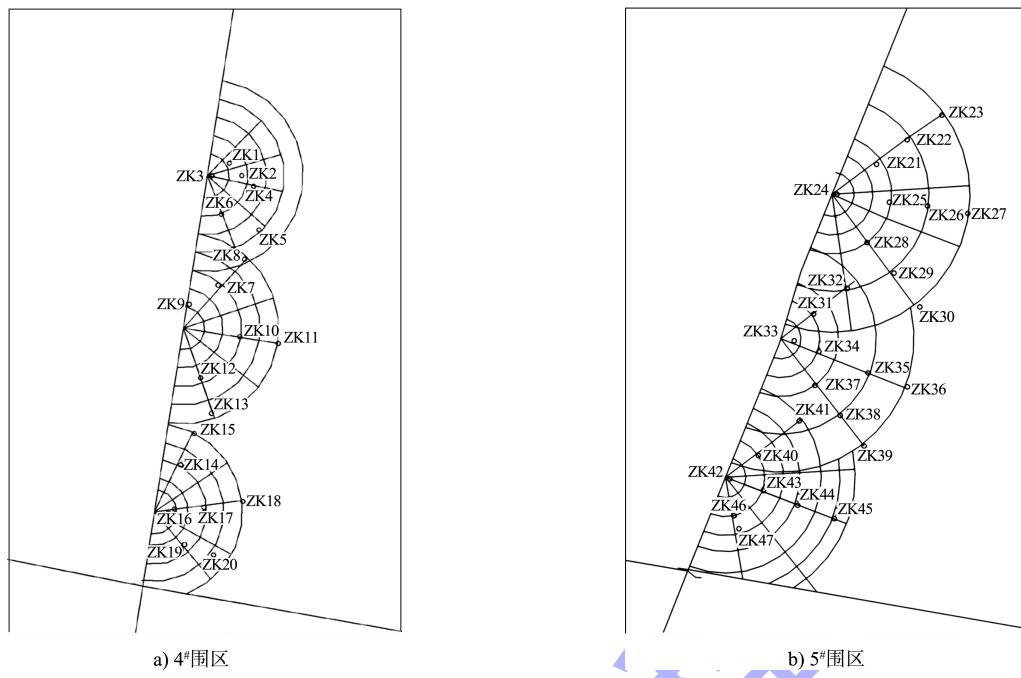


图 2 颗分试验钻孔取样位置

针对钻孔 ZK1~ZK47 的土工颗分试验得到了泥面下不同深度吹填土级配数据。其中, 表 2 给出了典型孔 ZK7 位置处的颗分试验数据, 通过分

析粒径在 0.005~0.250 mm 区间段内颗粒质量占总质量的百分比, 得到不同粒径质量占总质量的百分比, 从而得出粒组种类的划分。

表 2 ZK7 钻孔不同粒径颗粒占比

深度/m	不同粒径颗粒占比/%					分类
	0.250~0.075 mm	0.075~0.050 mm	0.050~0.010 mm	0.010~0.005 mm	<0.005 mm	
1.0~1.3	17.0	15.4	58.8	3.4	5.4	砂质粉土
2.0~2.3	11.4	8.5	66.1	6.0	8.0	砂质粉土
3.0~3.3	13.2	10.3	63.6	3.9	9.0	砂质粉土
4.0~4.3	9.2	7.1	69.8	6.7	7.2	砂质粉土
5.0~5.3	67.6	13.7	13.6	1.3	3.8	粉砂
6.0~6.3	76.2	13.3	5.3	2.3	2.9	粉砂

### 3 吹填区土质分布规律

#### 3.1 纵向分布规律

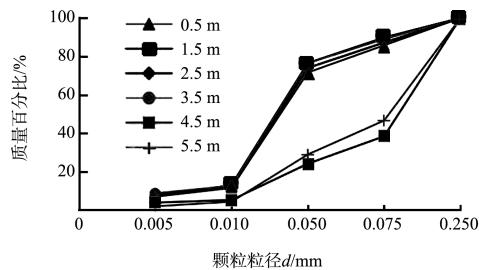
图 3 为 4#、5# 围区 6 个典型钻孔位置处吹填土粒径纵向分布的变化规律。其中横坐标表示土质粒径大小的变化, 纵坐标表示小于某个粒径大小的颗粒质量占粒组总质量的百分比。由图可知, 不同钻孔位置处的吹填土质沿纵向的分布不尽相同, 整体上吹填土质沿纵向呈菱形分布。

6 个典型钻孔中, ZK7、ZK16 和 ZK22 位于 4# 围区, ZK29、ZK34 和 ZK46 位于 5# 围区。由图 3 可知, 在 ZK7、ZK22 和 ZK34 位置吹填土表面以下 3~4 m 范围内, 粒径小于 0.05 mm 颗粒的质量

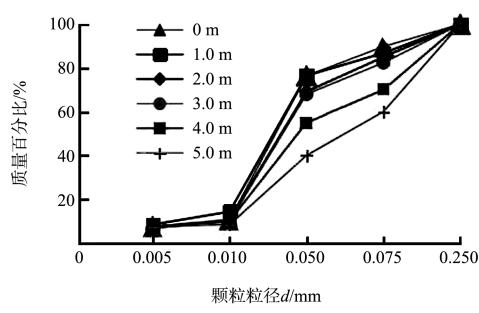
占总质量的百分比基本大于 50%, 属于细粒土中的粉砂; 而该深度以下范围的土质, 粒径小于 0.075 mm 颗粒的质量占总质量的百分比几乎不足 50%, 属于粗粒土中的细砂。造成这一现象的原因主要是吹填时粒径较大、质量更大的粗粒土会将围堰底部质量较轻、流动性较大的淤泥和粉砂等细粒土冲散至距吹填口更远处, 而粗粒土由于质量较大、流动性较差, 往往聚集于围堰底部的细砂沉积区。

在 ZK16、ZK29 和 ZK46 位置, 钻孔深度范围内的吹填土质几乎均为细粒土中的粉砂, 由于横沙八期吹填工程中的土质多为粉细砂等流动性较

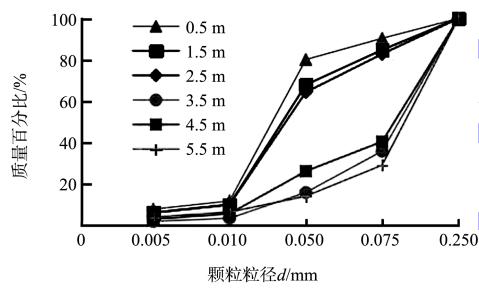
大的疏浚土, 故此3处的粉砂几乎均是由吹填水力的冲刷流动与滩涂造成的。



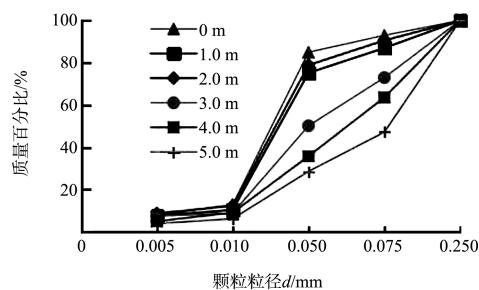
a) ZK7



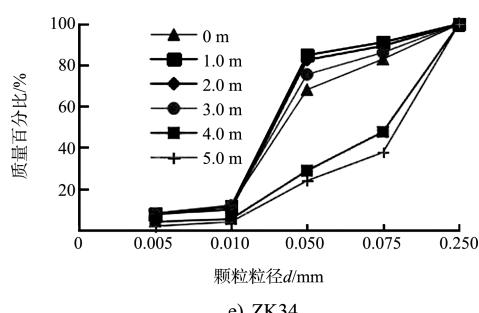
b) ZK16



c) ZK22



d) ZK29



e) ZK34

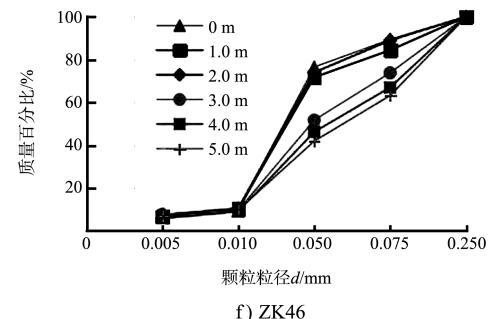


图3 5#围区中典型位置土质纵向分布

为了更加直观地分析2个围区内吹填土粒径沿纵向分布的变化规律, 图4给出了以上6个典型孔位处粒径 $<0.075\text{ mm}$ 颗粒的质量占总质量百分比的平均值随深度变化的关系, 由图可知, 该围区从吹填土表面以下约3.0 m范围内, 吹填土质主要组成部分为细粒土中的粉砂。

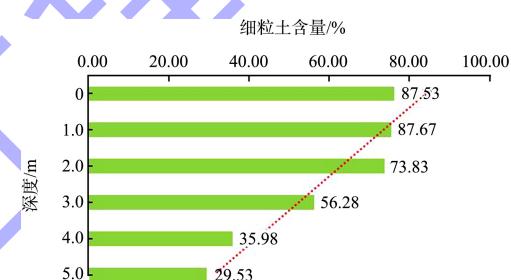


图4 细粒土纵向分布规律

### 3.2 横向分布规律

根据吹填情况及取样深度, 分析吹填土泥面以下约2.0 m深度范围吹填土质粒径的横向变化规律。

图5为4#、5#围区中距b吹填口附近不同水平距离的泥面以下深度2.0 m范围吹填土质的水平分布变化规律。由图可知, 吹填区的土质可粗略分为2个区域: 一个是粗粒土( $d>0.075\text{ mm}$ )堆积区, 即粒径小于 $0.075\text{ mm}$ 的颗粒质量占总质量的百分比不足50%的细砂; 另一个是由粉砂( $d<0.050\text{ mm}$ )沉积区, 即粒径小于 $0.05\text{ mm}$ 的颗粒质量占总质量的百分比大于50%的粉砂。

整体来看, 随着钻孔位置与吹填口之间距离的逐渐增加, 沉积区吹填土中粉砂的含量不断增大, 当钻孔位置与吹填口之间的距离大于150.00 m时, 吹填土中粒径小于 $0.05\text{ mm}$ 的颗粒质量占总质量的百分比大于50%, 沉积物以粉砂为主; 当钻孔位置与吹填口之间的距离小于150.00 m时, 吹填土中粒

径小于 0.075 mm 的颗粒质量占总质量的百分比基本不足 50%，沉积物以细砂为主。距离吹填口越远的区域，主要由吹填过程中的冲击力和吹填土的流动作用形成堆积区，故距离吹填口的水平距离越远，堆积区吹填土的质量越轻、粒径越小。

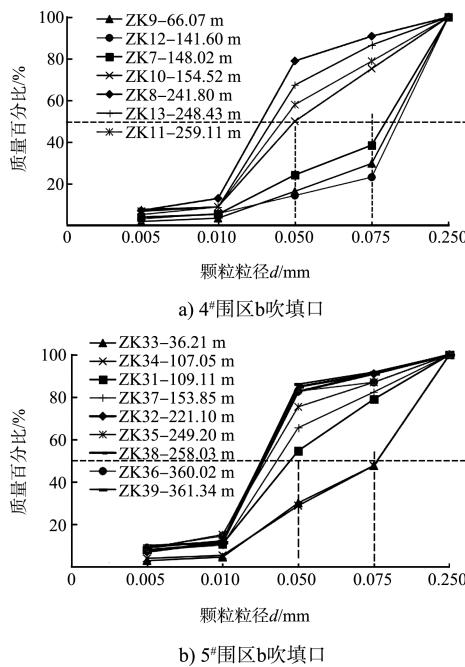


图 5 2.0 m 深度范围土质横向变化规律

#### 4 结论

1) 对于吹填土质纵向分布规律，在泥面下约 3.0 m 深度范围内为粉砂，此深度以下范围为细砂，围区内主要以粉砂为主。

2) 对于吹填土质横向分布规律，与吹填口之

(上接第 145 页)

3) 分析了加大截面尺寸、泡沫轻质土置换回填土 2 组方案的结构内力优化效果及经济性，结果表明，泡沫轻质土置换的优化方案的总投资约为加大截面尺寸方案的 75%，对于改善结构内力来说，更为经济合理。

#### 参考文献：

- [1] 陶桂兰, 朱召泉. 土基上坞式闸室结构的动力特性研究[C]//第八届全国结构工程学术会议论文集(第Ⅲ卷), 北京: 清华大学出版社, 1999: 677-681.
- [2] 刘晓平. 对坞式结构常规设计方法的探讨[J]. 长沙交通学院学报, 1995, 11(4): 67-72.

间的距离大于 150.00 m 时，沉积区主要为粉砂；与吹填口之间的距离小于 150.00 m 时，沉积区主要为细砂。

#### 参考文献：

- [1] 张文龙. 南通渔轮厂吹填土地基的利用[J]. 上海地质, 1982(4): 44-51.
- [2] 杨顺安, 张瑛玲, 刘虎中, 等. 深圳地区吹填淤泥的工程特征[J]. 地质科技情报, 1997(1): 87-91.
- [3] 孔位学, 陆新. 吹砂填方技术在机场工程中的应用研究[J]. 重庆工业高等专科学校学报, 2001(1): 38-40, 42.
- [4] 高永芹. 用置换法处理吹填区淤泥的施工体会[J]. 河北工程技术高等专科学校学报, 2008(1): 20-23.
- [5] 单文宠. 分级真空预压下影响高粘性吹填土渗透特性的土质因素研究[D]. 吉林: 吉林大学, 2019.
- [6] 尹建道, 靳聪, 田苗等. 天津海泥吹填土颗粒组成的分析研究[J]. 山东农业大学学报(自然科学版), 2014, 45(1): 77-83.
- [7] 何洪涛, 朱伟, 张春雷, 等. 分层抽取法在泥沙沉积过程中的应用研究[J]. 岩土力学, 2011, 32(8): 2371-2378.
- [8] 乐绍林, 柏巍, 吴名江, 等. 泥砂互混吹填土自重沉积及颗粒分布规律[J]. 岩土力学, 2017, 38(S1): 233-239.
- [9] 薛博文, 张向萍, 许琳娟, 等. 黄河下游河道泥沙粒径变化对小浪底水库调水调沙的响应规律[J]. 华北水利水电大学学报(自然科学版), 2020, 41(2): 55-62.
- [10] 齐嘉炜, 魏海涛, 何军杰, 等. 优化分级真空预压法处理吹填土试验研究[J]. 河北工程大学学报(自然科学版), 2021, 38(2): 44-52.

(本文编辑 王传瑜)

- [3] 苏超, 李顺顺, 杨旸, 等. 坞式闸室混凝土裂缝控制措施[J]. 水运工程, 2019(10): 124-129.
- [4] 代礼红, 卢文蕾, 魏伟. 安谷船闸坞式结构三维有限元分析[J]. 水运工程, 2009(5): 108-113.
- [5] 扈世龙, 刘晓平, 曹周红, 等. 复杂地基对坞式船闸结构的影响研究[J]. 水力发电学报, 2015, 34(5): 124-130.
- [6] 王鹏, 卜丁. 某船闸工程船闸闸室结构优化设计[J]. 水运工程, 2012(9): 142-144.
- [7] 中交水运规划设计院. 船闸水工建筑物设计规范: JTS 307—2001[S]. 北京: 人民交通出版社, 2002.
- [8] 白永亮. 泡沫轻质土在高挡墙背回填中的应用[J]. 江西建材, 2021(4): 159, 161.

(本文编辑 王传瑜)