

淤泥土工管袋筑堤方案设计及效益分析

黄 涛¹, 沈保根¹, 鄢 俊², 黄昭杰³

(1. 安徽省交通勘察设计院有限公司, 安徽 合肥 230011;

2. 南京水利科学研究院, 江苏 南京 210024;

3. 安徽瑞迪工程科技有限公司, 安徽 马鞍山 243100)

摘要: 针对巢湖航道口门拦门沙问题, 根据口门现场工程建设条件, 采用现场试验、计算验算及效益分析方法, 对疏浚淤泥充填管袋筑堤设计方案进行研究。现场充填试验结果表明 2.8 m×1.6 m×0.6 m 扁平管袋方案在脱水效率和堆叠稳定性方面较优; 计算结果表明导堤设计方案的整体稳定性具有足够的安全储备, 最大沉降发生在堤心处, 沉降量约为 88 mm, 堤心与堤脚沉降差约为 15 mm, 且设计波浪荷载下设计方案满足袋间抗滑稳定要求; 效益分析表明淤泥土工管袋脱水筑堤方案可节约成本 20% 以上, 且具有较大的环境和社会效益。

关键词: 充泥管袋; 筑堤; 稳定性; 效益分析

中图分类号: U 61; TVB 871

文献标志码: A

文章编号: 1002-4972(2022)06-0232-04

Scheme design and benefit analysis of silt geotextile tube embankment

HUANG Tao¹, SHEN Bao-gen¹, YAN Jun², HUANG Zhao-jie³

(1. Anhui Transport Survey & Design Institute Co., Ltd., Hefei 230011, China;

2. Nanjing Hydraulic Research Institute, Nanjing 210024, China;

3. Anhui R&D Hi-Tech Engineering Co., Ltd., Maanshan 243100, China)

Abstract: To solve the problem of mouth bars at the entrance of Chaohu waterway, this paper studies the design scheme of silt geotextile tube embankment with a field test, calculation check and benefit analysis under the on-site engineering construction conditions of the entrance. The field filling test results indicate that the 2.8 m × 1.6 m × 0.6 m flat geotube scheme is better in dehydration efficiency and stacking stability. The calculation results show that the overall stability of the jetty design scheme has sufficient safety reserves. The maximum settlement (about 88 mm) occurs at the embankment core, and the settlement difference between the core and the toe of the embankment is about 15 mm. In addition, the design scheme meets the requirements of anti-slip stability between geotextile tubes under the design wave load. The benefit analysis manifests that the silt geotextile tube embankment scheme can save more than 20% of the cost, and it has great environmental and social benefits.

Keywords: silt geotextile tube; embankment; stability; benefit analysis

拦沙导堤是河口航道建设和治理中常见的建筑物形式^[1]。通过沿河口航槽布设导堤, 利用束水作用提高了航槽水流流速, 可实现河口航槽的自然冲刷, 达到“导流、挡沙、减淤”的效果, 从而一定程度上解决河口的拦门沙问题, 保证河口航道航槽的稳定^[2]。

导堤通常在离岸水域的软弱地基上修建, 构筑方式主要有抛石堤、预制构件堤和管袋堤等形式。与常用的抛投筑堤工艺相比, 管袋堤不仅工艺简单、造价较低, 更具有对软弱地基的变形和不均匀沉降适应能力强的优点^[3]。在当前生态环境保护力度不断加强, 筑堤砂石料来源匮乏的背

景下, 将疏浚淤泥加入固化材料处理后的改性土作为充填料进行充袋筑堤, 既可以显著降低建设成本, 也可以解决由堆放或抛弃淤泥造成土地资源浪费和环境污染问题。充泥管袋作为一项新型工程技术, 近年来在筑堤工程应用中取得了较好的效果^[4]。

尽管已取得多个试验和施工成功案例, 但相关充泥管袋筑堤的理论研究资料目前还很少见, 该技术在工程应用中还存在较多的问题^[5]。本文针对巢湖某航道口门附近存在的拦门沙碍航问题, 提出充泥管袋拦沙导堤设计方案。通过现场试验优化管袋填充尺度, 根据规范要求对导堤设计方案进行计算论证, 并与传统筑堤工艺进行效益对比, 对其安全性、经济性进行了全面分析和综合评价。本文的研究工作可为今后类似的工程实践提供借鉴参考。

1 工程背景

1.1 工程概况

巢湖湖区某航道入湖口门处泥沙运动受风浪影响大, 回淤速度较快, 通过实施筑堤整治, 可防浪挡沙, 减小航槽回淤。综合考虑巢湖湖区的自然特点、施工条件、环保要求等要素, 拟采用

疏浚淤泥经固化处理后充填管袋的充泥管袋筑堤施工方案。拦沙导堤布置在航道中心线两侧, 按整治宽度对称布置, 长度为 2 km, 导堤纵轴线向外侧拐折形成大于 150° 的凹角。双侧导堤平面布置见图 1。

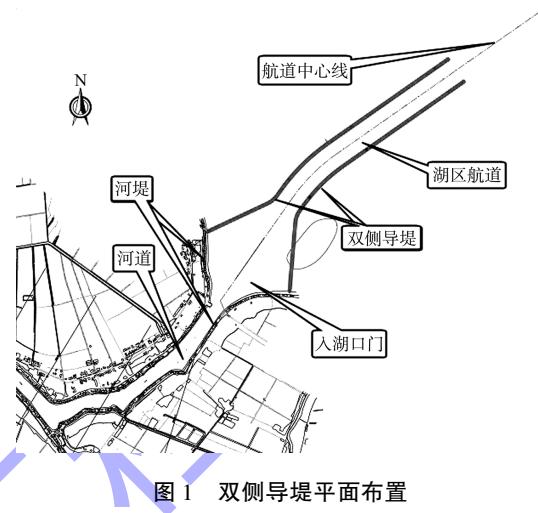


图 1 双侧导堤平面布置

1.2 地形、地质条件

工程区域地貌单元为沿江丘陵平原, 地貌亚区为江北丘陵波状平原, 口门处微地貌单元为湖积平原, 地势平坦。工程范围内泥面高程在 3~4 m, 揭露地层为第四系全新统冲积物(Q_4^{al})、第四系上更新统冲积物(Q_3^{al}), 下伏基岩为侏罗纪砾岩(J), 各土层力学参数见表 1。

表 1 工程区域土层力学参数

土层	天然密度 $\rho/(t\cdot m^{-3})$	内摩擦角 $\varphi/(^\circ)$	黏聚力 c/kPa	渗透系数/(cm·s ⁻¹)	模量/MPa
①淤泥	1.71	5.0	6.0	4.5×10^{-5}	$E_{s0.1-0.2} = 2.3$
③淤泥质粉质黏土	1.69	5.4	7.8	2.0×10^{-6}	$E_{s0.1-0.2} = 3.8$
④粉质黏土	1.94	11.9	36.3	3.3×10^{-5}	$E_{s0.1-0.2} = 6.1$
⑤细砂	1.90	30.0	-	4.0×10^{-3}	$E_0 = 24.0^*$
⑥中砂	1.93	35.0	-	8.0×10^{-3}	$E_0 = 33.0^*$

注: * 为经验值。

1.3 设计水位及波浪要素

湖区动力以风生波浪为主, 采用重现期 25 a 的波浪作为设计波浪, 波高累计频率为 13%, 口门处设计高水位 7.8 m 条件下的设计波高 1.50 m, 周期 4.4 s。

2 管袋试验

2.1 管袋材料

既要保证改性淤泥能快速脱水沉淀且颗粒不渗出袋体, 同时要防止袋体在施工和使用过程中出现破坏等情况。根据规范要求, 采用高韧聚丙烯材料制作土工管袋, 按照 SL-235—2012《土工合成材料测试规程》进行测试, 各项性能指标为: 宽条抗拉强度纵向 ≥ 70 kN/m, 宽条抗拉强度横向 ≥ 90 kN/m, 延伸率纵向 $\leq 20\%$, 延伸率横向 $\leq 18\%$, 接缝抗拉强度 ≥ 60 kN, CBR 顶破强力 ≥ 8.0 , 动态落锤破裂试验破裂直径 ≤ 8.0 mm, 抗紫外线能力 500 h

建设方案利用改性淤泥作为管袋的充填材料,

强力保持率 $\geq 80\%$ ，等效孔径 $O_{90} 0.2 \sim 0.6 \text{ mm}$ ，渗透性 $\geq 20 \text{ m}^2/\text{s}$ ，最大填充高度 2.5 m。

2.2 现场试验

现场中试试验包括准备堆场、制作土工管袋、疏浚淤泥脱水干化、管袋堆叠等环节，为工程实施提供基础数据和技术资料。选取工程范围内河口附近场地，为试验所需用水及淤泥充填提供便利。选择 $2.8 \text{ m} \times 1.6 \text{ m} \times 0.6 \text{ m}$ 扁平管袋（方案 1）和 $3.2 \text{ m} \times 1.6 \text{ m} \times 1 \text{ m}$ 长方体管袋（方案 2）进行充填对比，图 2 显示了试验现场管袋充填及脱水过程。



a) 泵送淤泥充填管袋过程



b) 扁平管袋充填一周脱水效果



c) 固化后淤泥

图 2 管袋充填试验

经过脱水固化处理，淤泥性状发生了变化，整体疏水性能增强，且加入固化剂后的淤泥并未出现溶解及溢散现象。经过 2 周时间多次充填和脱水干化，改性淤泥具有了一定强度和水稳定性，其物理力学指标为：最大干密度 1.51 g/cm^3 ，凝聚力 35.6 kPa ，内摩擦角 29.4° ，渗透系数 0.42 cm/s ，无侧限抗压强度 1010.5 kPa 。通过现场试验比较，方案 1 在脱水效率和堆叠稳定性方面较优。

3 方案设计及计算

3.1 断面设计

由于工程区域正常情况下水深较小，湖底滩面较为平坦，导堤设计堤高为 4 m 左右，参考以往工程经验及充泥管袋相关设计理论^[6]，导堤采用全棱体充泥管袋堤心的结构形式，使用混凝土联锁块软体排护底。坝坡采用 1 m 块石覆盖护面，边坡为 1:2，堤顶采用 1 m 厚块石压顶，坡脚采用块石棱体镇脚，抛石棱体高 1.0 m，宽 2.0 m，边坡为 1:2。导堤断面设计方案见图 3。

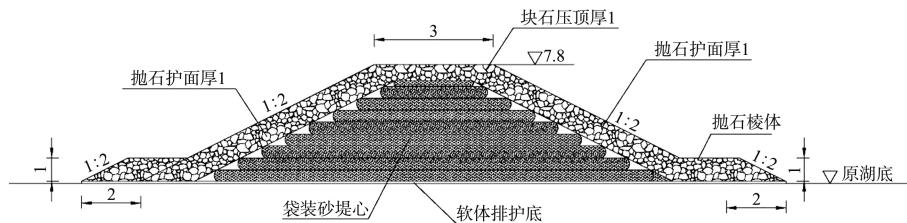


图 3 导堤断面设计方案 (单位: m)

3.2 整体稳定性计算

考虑管袋对堤心改性土的加筋作用，将管袋按抗拉强度简化为土工格栅，采用瑞典条分法用导堤破坏模式为弧形滑动破坏的情况进行研究，

分别对完建工况、使用工况和地震工况(7 级烈度)的安全系数进行计算，结果分别为 6.314、7.488 和 1.488。

图 4 显示了导堤稳定计算的土条划分和完建

工况下的危险滑弧。管袋堤是由充填管袋叠置而成的棱体, 管袋抗拉强度较大, 整体性较强, 滑弧不通过坝体。随着滑弧半径加大, 滑弧面也转向深处, 安全系数的计算结果表明该导堤结构具有足够的安全储备。

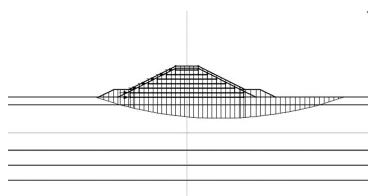


图4 完建工况下的导堤稳定性分析

3.3 地基沉降计算

将堤底外轮廓按纵、横向划分成若干条形基础, 取堤顶以下的堤身自重应力作为基础附加应力, 采用附加应力系数面积分层总和法对完建期地基沉降进行计算:

$$S = \psi_s \cdot S' = \psi_s \sum_{i=1}^n \frac{p_0}{E_{si}} (z_i \bar{\alpha}_i - z_{i-1} \bar{\alpha}_{i-1}) \quad (1)$$

式中: S 为最终沉降量; S' 为按分层总和法计算出的最终线沉降量; ψ_s 为线沉降量经验系数; p_0 为基础地面附加应力; n 为计算深度范围内划分土层数量; E_{si} 为基础底面下第 i 层土的压缩模量; $\bar{\alpha}_j$ 为基础底面到第 j 层土底面范围内的平均附加应力系数。其中 ψ_s 、 $\bar{\alpha}_j$ 可查表获取。

计算得上部结构施工完毕后堤底的沉降量为 81 mm。选取堤身设计断面作为计算断面对完建工况沉降量进行计算校核, 堤底沉降曲线见图 5。由图可知, 最大沉降发生在堤心处, 沉降量约为 88 mm, 堤心与堤脚沉降差约为 15 mm, 有限元计算结果与分层总和法接近。

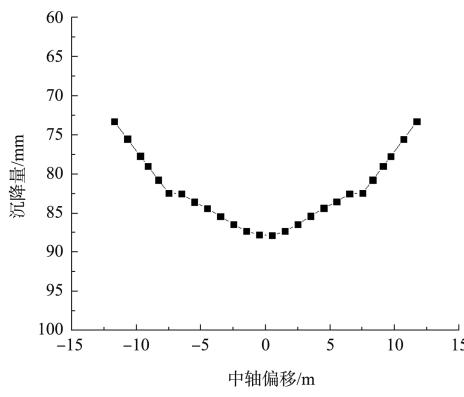


图5 导堤堤底沉降曲线

3.4 充填袋层间抗滑稳定计算

设计方案中充填管袋垂直于堤轴线方向铺设, 上下袋体错缝排列, 由静力平衡理论得出满足稳定性的管袋平衡条件, 即管袋间摩擦阻力大于波浪荷载, 考虑最上层管袋受最小竖向力的最不利情况, 计算波浪作用下的管袋间抗滑稳定^[7]:

$$H_s = \Delta_t \cdot b \quad (2)$$

式中: H_s 为临界波高; Δ_t 为管袋的相对密度; b 为垂直于堤轴线布设的管袋宽度。

取管袋相对密度为 0.7, 经计算得临界波高为 2.1 m, 满足设计波浪条件下的稳定性要求。设计方案中使用护面碎石对波浪消力, 并采取厚块石压顶增加管袋竖向荷载, 进一步增强了结构整体性和管袋间的稳定性。

4 效益分析

根据现场试验结果对土工管袋构筑导堤方案进行建设成本分析, 处理 1 m³ 干方淤泥所需分项费用见表 2。

表2 充填管袋分项费用

项目	脱水剂	固化剂	土工管袋	电费	施工费	总计
费用/(元·m ⁻³)	66.0	85.0	82.0	4.4	65.0	302.4

筑堤方案施工过程均由机械设备控制, 主要消耗脱水剂、固化剂、土工管袋及电能, 处理 1 m³ 干方淤泥所需平均成本为 300 元左右。与传统抛石筑堤方案相比, 该方案可节约成本 20% 以上。同时, 利用疏浚淤泥进行脱水充填还可以解决巢湖清淤产生的淤泥消纳困难、占用农业及建设用地、环境污染等问题, 具有较大的环境效益和社会效益。

5 小结

- 1) 现场试验表明 2.8 m×1.6 m×0.6 m 扁平形管袋充填方案在脱水效率和堆叠稳定性方面较优。
- 2) 计算结果表明由于管袋对充填淤泥的加筋作用, 导堤设计方案的整体稳定性具有足够的安全储备; 管袋较好地分散了地基的集中受力, 堤心与堤脚沉降差较小, 且设计方案满足设计波浪荷载下袋间抗滑稳定要求。

(下转第 244 页)