

# 滨海地区淤泥质堤基处理措施

李伟<sup>1</sup>, 帅永波<sup>2</sup>, 赵旭<sup>3</sup>

(1. 山东省水利勘测设计院有限公司, 山东 济南 250014; 2. 山东省水利科学研究院, 山东 济南 250014;

3. 山东省科源工程建设监理中心, 山东 济南 250014)

**【摘要】** 小清河防洪综合治理工程滨海区段施工清表期间发现现状堤内脚存在较厚淤泥层, 为保证堤防填筑施工质量, 对该段复杂地质情况提出了堤基基础处理方案。对不良堤基抛石挤淤, 将堤脚高程抛至淤泥顶高程, 上覆一层土工格栅, 以上用素土分层夯实, 然后按规范要求筑堤, 坡脚处设置齿墙和格宾石笼防冲, 堤防迎水坡采用闭孔连锁砖防护。堤基处理后, 堤防运行良好, 未发现沉降、裂缝等问题。

**【关键词】** 防洪; 小清河; 堤基处理; 抛石挤淤

**【中图分类号】** TV223

**【文献标志码】** A

**【文章编号】** 1009-6159(2026)-01-0052-03

## Treatment Measures for Silt-Filled Dyke Foundations in Coastal Areas

LI Wei<sup>1</sup>, SHUAI Yongbo<sup>2</sup>, ZHAO Xu<sup>3</sup>

(1. Shandong Survey and Design Institute of Water Conservancy co., Ltd, Jinan, Shandong 250014, China; 2. Water Resources Research Institute of Shandong Province, Shandong Key Laboratory of Water Resources and Water Environment, Jinan, Shandong 250014, China;

3. Keyuan Engineering Construction Supervision Center of Shandong Province, Jinan, Shandong 250014, China)

**Abstract:** During the surface cleaning construction of the coastal section of the Xiaoqing River Flood Control and Comprehensive Improvement Project, a thick silt layer was found at the inner foot of the existing dyke. To ensure the construction quality of dyke filling, a foundation treatment scheme was proposed for the complex geological conditions of this section. For the problematic dyke foundation, the measure of rubble compaction to displace silt was adopted: the elevation of the dyke foot was filled to the top elevation of the silt layer, covered with a layer of geogrid, and then plain soil was tamped in layers on top. After that, the dyke was built in accordance with specifications. A cutoff wall and gabion cages were set at the slope foot for erosion control, and the water-facing slope of the dyke was protected with closed-cell interlocking bricks. After the dyke foundation treatment, the dyke has been operating well, with no issues such as settlement or cracks observed.

**Key words:** Flood control; Xiaoqing River; Dyke foundation treatment; Rubble compaction to displace silt

为提升小清河流域整体防洪除涝能力, 2019年年底, 小清河防洪综合治理工程全面开工建设。施工期间, 在入海口感潮河段堤基清理过程中发现新塌河口对岸桩号 206+600—208+700 段左堤现状堤内脚存在流塑状较厚淤泥层, 分布宽度约 25 m, 需针对该段复杂地质条件制定堤基基础处理方案以保障堤防填筑质量。经勘察分析, 淤泥层含水量高、压缩性大, 常规堤基处理方法难以满足工程要求, 亟待探寻有效的应对策略。

## 1 地质条件

### 1.1 建基面形态及岩性

小清河冲积海积平原段堤基地层自上而下呈现出多元的分布情况, 具体如下: IV-①层轻粉质壤土(Q<sub>4</sub><sup>al</sup>)状态可塑至硬可塑, 局部软可塑, 粉粒含量相对较高, 接近轻壤土的形态, 局部夹黏土薄层, 该层位于表层, 层厚 0.60~5.50 m, 层底高

收稿日期: 2025-09-25

作者简介: 李伟(1980—), 女, 高级工程师

程-2.74~3.30 m。IV-①-1层黏土( $Q_4^{\text{al}}$ )状态可塑,网状裂隙发育,含铁质浸染,偶见贝壳碎片,层厚0.60~3.00 m,层底高程-0.55~3.41 m。IV-②层砂壤土( $Q_4^{\text{al}}$ )松散~稍密状态,粉、砂粒含量不均匀,局部呈粉砂状,层厚0.50~6.60 m,层底高程-5.53~2.19 m。IV-③层粉细砂( $Q_4^{\text{al}}$ )湿~饱和状态,夹残余贝壳碎片,层厚0.50~2.60 m,层底高程-1.78~1.28 m。IV-④层粉细砂( $Q_4^{\text{al}}$ )饱和状态,含贝壳碎片,局部较富集,呈砂壤土状,夹灰褐色壤土、淤泥质壤土透镜体,层厚0.80~8.20 m,层底高程-11.77~0.86 m。该层在该工程地质段分布连续。IV-④-1层淤泥质壤土( $Q_4^{\text{m}}$ )软塑~软可塑状态,局部可塑状,夹砂壤土薄层,夹残余贝壳碎片。该层呈透镜体及夹层分布在④层粉细砂上部或中部,层厚0.40~4.70 m,层底高程-6.49~-1.41 m。

经现场坑探及测绘调查,桩号206+600—208+700段淤泥厚度约0.5~2.0 m左右,分布宽度约25 m,该淤泥层位于松散至稍密状态的砂壤土之上,受长期涨潮影响,地表水位高,土层含水量饱和。地表遍布芦苇、杂草,进一步印证该区域长期积水、淤泥富含有机质的特性。此类地质条件为堤防填筑带来显著挑战,需针对性制定基础处理方案以保障工程安全。

## 1.2 成因分析

该段位于临近入海口的特殊区位,受潮汐作用影响显著。周期性的涨潮、落潮使海水频繁倒灌河道,导致地下水水位较高,地表水时常漫过滩涂,河滩地基常年在水位下浸泡。淤泥分布处为原填筑堤防的取土坑,在河滩地内呈狭长条带状顺大堤向展布,涨潮时海水裹挟着大量泥砂涌入取土坑,落潮时部分泥砂便沉积下来。同时,河道内丰富的鱼类、藻类遗体以及大量芦苇等植被腐质物在水流作用下不断堆积在取土坑内。长年累月,各类物质相互混合,逐渐在原取土坑内形成现状的淤泥。受原取土坑宽窄、深浅不一的影响,淤泥层厚度分布极不均匀,厚度最深处达2 m,且其流塑状特性明显。

## 2 处理方案

### 2.1 方案比选

针对该段复杂的淤泥地质条件,经现场勘察和专家咨询论证,综合研究提出抛石挤淤和换填

素土两种方案进行比选。

1) 抛石挤淤方案。利用石料自重和机械外力,将淤泥挤出置换,形成稳定的堤基持力层,该方案施工效率较高,对周边环境扰动相对较小,但需考虑石料供应及抛填过程中的精准控制。该段淤泥厚度约0.5~2 m左右,呈流塑状态,适宜采用抛石挤淤方案,抛至淤泥顶高程后碾压,直至抛石层顶面平整无明显孔隙。

2) 素土换填方案。在现有围堰的基础上用挖泥船和泥浆泵将淤泥抽至排泥区,然后换填符合要求的素土,采用管井、轻型井点等方式加强降水,保证施工作业区干地状态,然后将淤泥坑清至原状土后回填素土夯实,可从根本上改善堤基土的物理力学性质。

3) 方案比选。素土换填方案存在主要问题:一是开挖和运输都比较困难,需要将淤泥远距离调运存放,施工及处理难度大,且需要征用盐田作为弃淤场,移民迁占工程投资较大;二是本段淤泥最深2 m,淤泥顶基本高程为0.0 m,淤泥底高程最低约-2.0 m,且项目区位于小清河入海口感潮段,受涨潮影响地下水水位较高,换填素土时施工降水难度特别大,难以迅速排除基坑积水,堤基、齿墙和格宾石笼无法保证干地施工;三是小清河防洪综合治理工程为省重点水利头号工程,要求汛前完成主体工程,工期紧张;该方案的主要优点是将淤泥有效清除出河滩地。

抛石挤淤方案:适用于流塑态的淤泥处理,不需要施工降水,施工迅速方便,工期短;方案可提高地基承载力、减小沉降量,质量可控。两方案优缺点分析见表1。

表1 两方案优缺点分析

方案	优点	缺点
抛石挤淤	1.适用于流塑态的淤泥处理,施工迅速方便,工期短	挤出淤泥堆积在河滩
	2.可提高地基承载力、减小沉降量,质量可控	
	3.移民迁占投资较低	
素土换填	将淤泥有效清除出河滩,改善土的物理力学性质	1.地下水水位高、降水困难,无法保证干地施工,排水所需时间长,工期所需时间长 2.堤外为大片盐田,就近排淤场需占压盐田,移民迁占投资造价高 3.施工质量控制难度相对较大

综上分析, 抛石挤淤方案石材购置费用较高, 但是施工简单、质量可控且不需新征地; 素土换填方案材料费用较低, 但是存在施工降水困难、弃土场占地迁占投资大、施工质量难以控制等问题。总之, 经对比两方案综合造价差别不大。在保证工程质量的前提下, 最终推荐采用抛石挤淤方案。

## 2.2 工程设计

抛石采用粒径 20~80 cm 的未风化石料, 将块石的较大平面垂直于地基方向安置以增加承载力, 同时, 严格把控石料粒径组成, 确保粒径不足 30 cm 的石料含量在总量中占比不得超过 20%。采用分层抛石挤淤, 下层抛石粒径 50~80 cm, 上层抛石粒径 20~50 cm, 最终抛石顶高程不低于淤泥顶高程。

抛填作业时, 借助自卸汽车把石料运送至淤泥边缘, 由挖掘机将块石进行分层抛投, 按照自高向低的顺序展开抛填, 以此将淤泥向高程较低的一侧挤出, 直至抛填面得以露出, 随后使用挖掘机对抛填面推平处理, 之后采用小粒径块石进行嵌缝。

在抛投过程中, 首先由挖机来回走动进行碾压, 使块石逐渐沉淀并稳定下来, 当清理出一定的作业面后, 再运用振动式压路机进行碾压, 在碾压过程中, 人工使用小石填满并铺平空隙, 直至抛石层的顶面变得平整且无明显孔隙, 在其上覆一层土工格栅之后, 采用素土进行分层夯实, 最后按照设计要求进行筑堤, 坡脚处齿墙顶高程为 1.50 m, 格宾石笼下碎石底高程与齿墙底高程持平, 齿墙尺寸 1.50 m×0.8 m, 格宾石笼 1.0 m×2.0 m, 护坡结构自上而下为 C25 预制混凝土闭孔式连锁砖厚 15 cm+碎石垫层厚 10 cm+12 kN/m 土工布+中粗砂垫层厚 10 cm。

## 3 施工技术要求

### 3.1 抛石挤淤

1) 抛填石块前应清除石块表面的树根、杂草、垃圾等。挤淤的石块要石质坚硬, 不允许使用薄片、条状、尖角等形状的石块, 风化石、泥岩等不得用作抛石料。

2) 抛石采用粒径 20~80 cm 的未风化石料, 大块石在最底层, 粒径在 50~80 cm, 上层粒径

20~50 cm, 抛石顶高程不低于淤泥顶高程控制。完成后用重型机械进行碾压, 选用 20T 振动碾, 碾压 4~5 遍。待石块无明显沉降时, 在抛石上方填充级配砂石层嵌缝, 直至抛石层顶面平整, 无明显孔隙。

3) 若地下水位过高, 抛石前应采取措施降水, 将地下水降至适合抛石挤淤施工的高程。控制填筑速率, 做好降排水, 使地基强度增长与上部加载一致。

4) 抛石挤淤应保证同步进占, 否则影响后续抛填石料稳定, 达不到同步下沉的效果, 影响抛填面平整, 继而影响后续堤防的填筑, 易产生不均匀沉降。

5) 及时清除四周被挤压出的淤泥, 确保所抛块石层层沉底。

6) 抛石前, 选取试验段对石块粒径大小及级配、碾压机械、碾压层厚、控制标准等进行验证并确定施工工艺和方法, 确保抛石挤淤施工质量, 经验收合格后方可进行下道工序。

7) 严格控制上坝速率, 并请第三方进行位移观测, 跟踪做好监测预报工作。施工过程中, 若发现堤脚外冒水、冒泡, 降水井或地表水出现浑水, 应立即停止施工, 做好应急准备。

### 3.2 土工格栅

1) 在抛石顶层铺设 TGSG4040HDPE 塑料土工格栅, 并双向拉伸。首先对抛石面进行全面清理, 清除碎石、杂物及松散颗粒, 确保下承层平整坚实, 其次采用人工铺设方式, 严格把控格栅强度较高的方向, 使其垂直于路堤轴线布置, 利用格栅横向与纵向的高抗拉强度, 有效分散堤身荷载, 抑制土体侧向位移。

2) 在搭接环节方面, 相邻格栅通过绑扎的方式进行连接, 其搭接长度应不小于 30 cm, 确保连接的牢固性, 防止格栅在受力时出现错位分离的情况; 与此同时采用 U 型钉进行固定, 让格栅能够与抛石面紧密贴合, 避免产生空隙, 进而保证压力能够有效地传递。当进行上层路基土摊铺时, 采用分层填筑工艺, 将每层厚度控制在 20~30 cm 之间。而且在摊铺前仔细检查作业面, 把尖锐石块等杂物移除掉, 以防刺穿格栅, 影响摊铺效果。在摊铺的过程中, 确保格栅始终保持绷紧扯平状态。  
(下转第 59 页)