

# 防洪墙水泥土换填地基加固 施工工艺应用分析

周 彭

(中国葛洲坝集团三峡建设工程有限公司, 湖北 宜昌 443000)

**摘 要** 防洪墙作为城市防洪设施的重要组成部分, 对保障城市安全以及发展有着重要作用。然而, 在防洪墙的建设与运营过程中, 仍存在压缩性高、原状素填土承载力不足等问题, 无法满足防洪墙运行安全性与可靠性。本文以绵江河左岸瑞金宾馆段防洪墙建设施工作为案例, 探讨防洪墙施工中存在的缺陷与不足, 采用水泥土换填地基加固施工工艺, 需从测量放线、基坑开挖、水泥土配合比设计、分层摊铺、碾压、检测验收的全流程工艺出发, 确保防洪墙施工效果合格。通过本文案例分析表明, 在水泥土换填地基加固施工工艺优化后, 防洪墙安全性、稳定性达到要求。

**关键词** 防洪墙; 水泥土换填; 地基加固; 测量放线; 场地清理

**中图分类号**: TV871

**文献标志码**: A

**DOI**: 10.3969/j.issn.2097-3365.2026.22.029

## 0 引言

城市防洪墙是保障人民群众生命财产安全以及城市稳定发展的关键, 而防洪墙地基稳定性对防洪构筑物运行效果有直接影响。在防洪墙施工过程中, 软土、杂填土、松散素填土分布较多区域, 对防洪墙施工产生不利影响, 极易造成防洪墙沉降、开裂、倾覆等严重事故。防洪墙施工中, 通过水泥土换填法进行施工能加固地基, 将软弱土层挖除并替换为规定比例拌和的水泥土材料, 利用水泥水化反应与土体颗粒胶结作用, 进而提高防洪墙地基强度以及刚度性能<sup>[1]</sup>。该技术具备较高环保性与经济性, 可解决浅层地基缺陷问题。本文选择绵江河治理工程进行分析, 通过对复杂河岸条件以及严格景观协调的研究, 采取优化水泥土换填地基加固施工工艺, 以期为保证防洪墙地基结构强度达到要求提供参考。

## 1 工程概况

本工程隶属于绵江河两岸堤防新建及加高项目, 治理范围上游起于云集二桥, 下游至七堡河汇合口, 河道全长 17 km。项目旨在维持现有河道走向基础上, 对未达标矮堤段进行加高, 无堤防段新建堤防, 总建设长度 16.886 km, 涵盖生态护岸及景观配套。其中, 左岸瑞金宾馆新建堤防工程位于绵江大桥下游约 234 m 至迎宾大道一江两岸公园广场停车场处, 全长 1.411 km, 是连接

城市核心景观区的关键节点。该段堤防根据地形与景观需求分为三个主要建设段落: KMZ 9+236.50 ~ KMZ 10+130.40 段采用 U 型 C30 钢筋混凝土仿古城墙式防洪墙, 内设素填土回填, 顶部设青砖城垛, 持力层位于原人行道侧素填土区; KMZ 10+130.40 ~ KMZ 10+206.14 段利用现状 C20 挡墙进行倍厚处理, 上部新建 L 型悬臂式防洪墙, 外贴仿古砖; KMZ 10+405.82 ~ KMZ 10+647.32 段则采用“C30 混凝土基座+装配式防洪墙”形式。由于沿线原状土多为松散素填土, 承载力特征值仅为 80 kPa ~ 100 kPa, 无法满足防洪墙基底压力要求, 故决定对墙踵板及底板下方深厚素填土层实施水泥土换填加固, 以确保结构安全。

## 2 工程方案设计

通过对瑞金宾馆段地质勘察报告分析, 发现其存在素填土松散、均匀性不足等问题。技术人员综合地质勘察报告, 最终确定采用水泥土换填法进行地基处理, 其遵循彻底清除软弱层、分层压实强固结的原则施工。在该方案施工阶段, 将防洪墙底板与墙踵板影响范围的原状素填土挖除, 开挖深度结合沉降量计算结果确定, 通常为 1.5 m ~ 2.5 m, 直到触及下部软硬土层即可停止开挖作业。而换填施工选择普通硅酸盐 P.042.5 水泥与现场挖掘的黏性土充分混合, 或者外购优质黏土拌和形成。

**作者简介**: 周彭 (1982-), 男, 本科, 副高级工程师, 研究方向: 水利施工技术、软基处理。

本项目设计参数如下:水泥掺入比例12%~15%,最佳含水率20%~24%。换填施工压实度系数超过0.97,28天无侧限抗压强度超过1.5 MPa,地基承载力应180 kPa以上。现场施工环节,采用机械集中拌和、分层摊铺、振动压路机碾压工艺方案。在现场换填施工阶段,每层虚铺厚度250 mm~300 mm,碾压遍数通常为6遍~8遍,需进行现场试验确定以增强碾压效果。对于有些位置地下水位较高时,需在现场设置降水设施,确保施工作业范围达到干燥度。此外,本项目设计方案还确定伸缩缝断开以及边坡防护处理,避免换填土从侧向挤出,以增强防洪墙稳定性。

### 3 防洪墙水泥土换填地基加固施工工艺分析

#### 3.1 测量放线与场地清理

本项目防洪墙施工前,需按照设计方案要求测量放线,以全站仪作为主要测量设备,精准标注防洪墙轴线与换填基坑开挖边线。因为该项目地质条件较差,在现场开挖时以设计方案为基准,向外延伸0.5 m~1.0 m。同时,现场施工间隔10 m布置标高基准点,设置高程控制桩,以确保现场换填施工达到高程精准控制要求。而在施工阶段需将现场树根、杂草、生活垃圾、大块建筑垃圾清理干净,开挖排水沟将地表积水排放到集水井。如果施工现场存在腐殖土或淤泥,则将其清理到原状土层,经过验收合格再继续施工<sup>[2]</sup>。

#### 3.2 基坑开挖与边坡防护

基坑开挖选择挖掘机械和人工辅助方式,采取分层开挖、严禁超挖的原则开挖作业。在机械开挖环节,将其开挖到设计标高以上20 cm~30 cm,再由人工修整处理,以免机械开挖扰动基底原桩土层引发工程质量缺陷。开挖施工需监测边坡结构稳定性,并根据土质条件确定适宜放坡比例,通常黏性土放坡系数为1:0.75~1:1.0。如果现场场地有限无法放坡,则在现场使用钢板桩或木支撑临时支护处理。雨季施工需在基坑周边设置截水埂,以防雨水灌入造成基础结构损坏。现场开挖后土体采取分类存放方式,且换填原料的黏性土覆盖防尘网。

#### 3.3 基底验槽与处理

基坑开挖施工完毕后,需由监理、设计、勘察等单位共同进入现场联合检查。该环节需对基坑平面位置、几何尺寸、开挖深度、基底土质勘测,确保各项指标与勘察结果保持一致。在基底验槽环节通过轻型动力触探仪检测基底土层,测定其承载力是否达到要求。如果现场检测阶段存在软弱下卧层、古井、墓穴

或橡皮土,则根据工艺方案进行超挖作业,再使用同级水泥土或级配砂石回填夯实。基底验槽完成后及时封闭处理,需在表面铺设厚度50 mm的碎石垫层或喷洒乳化沥青,避免基底水分蒸发过快或雨水浸泡产生土体软化。基底验槽做好详细记录工作,为后续工程质量验收提供依据<sup>[3]</sup>。

#### 3.4 水泥土配合比设计

防洪墙水泥土换填地基加固技术应用中,水泥土配合比设计极为重要,需保证配比达到科学性要求。在本项目施工前选择代表性土样送入实验室进行标准击实试验与无侧限抗压强度检测,确定10%、12%、15%、18%的不同水泥掺量下最大干密度与最优含水率曲线。根据本项目设计强度1.5 MPa以及压实系数要求,最终确定水泥掺入比和施工含水率。该项目选择P.042.5普通硅酸盐水泥,土料经过过筛后去除粒径超过50 mm土块。在水泥土配合比试验确定后,在现场进行试拌处理,保证水泥土搅拌均匀且工作性能达到要求。如果土料天然含水率较高,则需要进行翻晒处理;如果土料含水率较低,则需要进行洒水闷料。

#### 3.5 水泥土分层摊铺

水泥土拌和选用厂拌法或路拌法进行,优先采用强制式搅拌机集中拌和,保证水泥与土体颗粒充分搅拌均匀。在水泥土搅拌完成后进行质量检测,确保其颜色一致、无灰团、无灰条的情况。水泥土拌合结束后使用专用设备运输到作业现场,避免长时间存放导致水泥初凝影响后续施工。水泥土摊铺以分层方式逐步进行,每层虚铺厚度250 mm~300 mm。在水泥土摊铺后,使用推土机或平地机将混合料大致摊平,而后由人工配合细平。水泥土摊铺设置厚度控制桩,并及时检查松铺厚度,禁止一次性倾倒厚度过大造成压实度不足。墙角、边缘等机械无法进入的区域,采用人工铁锹方式细致摊铺,确保其厚度均匀<sup>[4]</sup>。

#### 3.6 机械分层碾压夯实

水泥土摊铺完成后,需立即进入碾压阶段,这是保证换填结构强度合格的关键。本项目是用18 t~22 t振动压路机碾压,按照先轻后重、先慢后快、先边后中、轮迹重叠的方式初压施工,选择静压1遍~2遍,速度1.5 km/h,使混合料达到初步稳定的效果;复压施工碾压4遍~6遍,开启振动功能,将碾压速度提升到2.0 km/h~2.5 km/h;终压施工静压1遍~2遍,消除表面轮迹,使表面结构达到平整度。而在碾压环节相对位置重叠1/3轮宽,相邻行重叠0.3 m~0.5 m。

针对防洪墙模板或边角等位置,选择使用小型平板夯或冲击夯补夯作业,确保各位置无遗漏问题,且各结构部分碾压效果达到要求。

### 3.7 分层检测验收

水泥土摊铺结束后,在每层碾压完成及时进行质量检测,直到合格后再开展后一层施工作业。分层检测主要从压实系数、无侧限抗压强度试件制作、外观质量检查进行,需结合不同检测参数选择适宜检测方法。压实系数检测采用环刀法或灌砂法进行,通常每  $100\text{ m}^2 \sim 200\text{ m}^2$  取样一组,每组至少 3 个点,要求压实系数超过 0.97。同时,现场随机制作  $70.7\text{ mm} \times 70.7\text{ mm} \times 70.7\text{ mm}$  立方体试件,经过标准 28 天养护后进行抗压强度检测。水泥土结构表面达到平整、坚实的要求,确保无松散、起皮、裂纹、痕迹明显现象。如果现场检测发现存在质量缺陷,需分析形成原因,如含水率控制不当、碾压遍数不足等,采取补救措施以保证防洪墙地基结构强度达到工程要求<sup>[5]</sup>。

### 3.8 换填至设计标高

分层施工时逐层累加换填厚度,所以先按常规方式施工各层,直到达到设计基底标高,而最后一层施工时要严格控制顶面高程,预留防洪墙底板混凝土垫层应有的厚度。同时,在接近设计标高时,须加大高程测量频率,采用水准仪全程、实时跟踪控制,切实避免超填或欠填。若局部超填,绝不可简单铲平,宜挖除该处松散层一定深度后重新进行拌合碾压,若局部欠填则予以补足薄层并就地充分碾压。换填体顶面宜做成适当横坡(一般取  $2\% \sim 3\%$ ),有利于排水降水,防止积水浸泡。最后,到达设计标高后对顶面做最后一次精细整平、光面处理,使其平整度完全符合上部结构施工的要求,也与防洪墙底板衔接。

### 3.9 基底整平封闭

换填施工全部结束后,立即进行基底整平与封闭保护。使用平地机对顶面进行最终刮平,消除微小起伏。随后,及时浇筑 C15 或 C20 混凝土垫层,厚度一般为  $100\text{ mm} \sim 150\text{ mm}$ ,作为防潮隔离层和上部钢筋绑扎的工作面。垫层浇筑需连续进行,振捣密实,表面抹光。若因所以不能立即浇筑垫层,需覆盖土工布或塑料薄膜进行保湿养护,防止水泥土表面失水干裂,并禁止车辆通行扰动。封闭层施工完成后,设置围挡警示,严禁无关人员进入。至此,水泥土换填地基加固主体工程完工,具备防洪墙主体结构施工条件,进入混凝土浇筑阶段。

## 4 施工效果总结

绵江河左岸瑞金宾馆段防洪墙水泥土换填工程完工以后,由第三方检测单位进行系统检测,各指标都满足设计要求,甚至有若干指标优于设计值。现场载荷板试验直接证实了处理后的地基承载力特征值在  $195\text{ kPa} \sim 210\text{ kPa}$  范围内,比设计值  $180\text{ kPa}$  高出不少,因此安全储备十分充分。28 天无侧限抗压强度平均值已达  $1.8\text{ MPa}$ ,各试样离散性极小,说明水泥土拌和均匀,固化质量极佳。此外,施工及防洪墙主体浇筑全过程中的沉降观测结果均表明地基沉降量极小,不均匀沉降差严格控制规范允许范围内,未见任何裂缝或异常变形。本工艺有效解决了原状素填土承载力不足的问题,使仿古城墙式防洪墙能够在松软地基上安全、合理地建设。与桩基方案相比,水泥土换填方案可降低工程造价约 30%,缩短工期 20 天,且施工噪声小、无环境污染,高度契合城市中心区的环保要求。尤为突出的是,换填体与上部钢筋混凝土墙体结合性能优良,经汛期高水位实际检验,未出现渗漏、滑移等问题。施工过程中形成的标准化作业流程及完整质量管理档案,也为后续同类软基处理工程提供了重要参考。

## 5 结束语

防洪墙作为城市安全运营的重要基础设施,关系到人民群众的生命财产安全,需全面落实工程施工控制措施,以提高防洪墙建设水平。在防洪墙施工阶段采取水泥土换填地基加固技术,能解决不良地质条件造成的影响,以增强防洪墙结构运行可靠性,确保地基承载力、抗变形能力达到要求。本文选择绵江河左岸瑞金宾馆段工程作为案例,通过分析水泥土换填加固技术的特点,采取工艺方案优化措施,旨在为提高防洪墙建设水平提供借鉴,以促进现代城市化高质量发展。

## 参考文献:

- [1] 朱巍,宋伟庆.微探水利工程施工中软基基础的处理技术[J].中国设备工程,2021(20):250-252.
- [2] 张慧昌.五华河左岸防洪堤布置及地基加固研究[J].黑龙江水利科技,2021,49(12):75-78.
- [3] 摆敏.水磨河防洪工程设计方案分析[J].陕西水利,2024(08):66-68.
- [4] 何丽梅,郑延鹏.河道防洪工程防洪堤现浇砼板护砌技术[J].陕西水利,2024(06):62-63,71.
- [5] 郭道迁,于志多.水利工程中软土地基处理技术的比选与应用实例[J].水上安全,2026(01):151-153.