内河框架式码头岸坡开挖稳定性及加固方案分析

郑鑫涛[1]，高　翔[1]，温友鹏[2,3]
（1. 中交四航局第二工程有限公司，广东 广州 510230；2. 中交四航工程研究院有限公司，广东 广州 510230；
3. 中交集团交通基础工程环保与安全重点实验室，广东 广州 510230）

摘要：针对内河码头建设面临港池岸坡开挖稳定性及对周边环境的影响问题，依托肇庆某在建内河框架式码头，运用 GEO5 软件计算码头岸坡开挖稳定性，以安全系数、桩身内力及桩顶位移为控制指标，对比分析岸坡加固方案。考虑工期因素，最终采用密排桩加固。基于现场监测结果，对比规范允许值，评价加固效果。结果表明：采用坡底水泥搅拌桩、坡腰灌注桩加固方案，适当优化后均可满足规范要求；岸坡开挖完成前后，最大表面位移、深层水平累计位移约 7 mm，小于预警值 20 mm，坡顶建筑物倾斜率及变化速度未超预警值。密排桩加固有效减少了岸坡开挖对整体稳定性及坡顶建构筑物的影响，保障岸坡及周边环境的安全，可在加固方案比选及分析方法上为类似工程提供参考。

关键词：内河框架式码头；岸坡开挖；岸坡加固；加固方案；稳定性；GEO5

中图分类号：U656. 1　　**文献标志码：**A　　**文章编号：**1002-4972(2026)05-0212-08

Excavation stability and reinforcement scheme of bank slope of inland river frame wharf

ZHENG Xintao[1], GAO Xiang[1], WEN Youpeng[2,3]
(1. The Second Engineering Company of CCCC Fourth Harbor Engineering Co., Ltd., Guangzhou 510230, China;
2. CCCC Fourth Harbor Engineering Institute Co., Ltd., Guangzhou 510230, China;
3. CCCC Key Laboratory of Environment and Safety Technology of Transportation Infra-structure Engineering, Guangzhou 510230, China)

Abstract: The construction of inland river wharf is faced with the problems of excavation stability of harbor basin bank slope and its influence on the surrounding environment. On the basis of an inland river frame wharf under construction in Zhaoqing, GEO5 software is used to calculate the excavation stability of wharf bank slope. Taking safety factor, internal force of pile body and displacement of pile top as control indexes, the reinforcement scheme of bank slope is compared and analyzed. Considering the construction period, the dense row piles are finally used for reinforcement. On the basis of the field monitoring results, the reinforcement effect is evaluated by comparing the allowable values of the code. The results show that the reinforcement scheme of slope bottom cement mixing pile and slope waist cast-in-place pile can meet the requirements of the code after appropriate optimization. Before and after the completion of bank slope excavation, the maximum surface displacement and deep horizontal cumulative displacement are about 7 mm, less than the early warning value of 20 mm, and the slope top building inclination rate and change speed do not exceed the early warning value. The reinforcement of dense row piles effectively reduces the influence of bank slope excavation on the overall stability and slope top structures, and ensures the safety of bank slope and surrounding environment. It can provide reference for similar projects in the selection and analysis methods of reinforcement schemes.

Keywords: inland river frame wharf; bank slope excavation; bank slope reinforcement; reinforcement scheme; stability; GEO5

收稿日期：2025-09-26　　**录用日期：**2025-12-12

作者简介：郑鑫涛(1992—)，男，工程师，从事港口工程施工管理工作。

随着国内港航运输需求的快速增长，码头改扩建的需求日益迫切[1]。内河航运具有运能大、成本低、占地小、能耗低、污染小等优势，对地区经贸发展和生态文明建设具有重要促进作用。内河码头的建设常需要进行港池疏浚施工，其中疏浚工艺、岸坡开挖方案设计是关键技术问题[2-3]。围绕码头岸坡稳定性分析，现有研究多采用有限元强度折减法，周世良等[4]研究架空斜坡式码头岸坡在水位变化条件下的稳定性；杨艳等[5]分析库水位下降对码头岸坡稳定性的影响；贺林林等[6-7]分析水位骤降对岸坡稳定安全系数的影响，通过建立高填方岸坡框架码头三维有限元模型，研究水位循环次数对岸坡承载特性的影响；宋学鹏等[8]通过现场长时序监测方法，分析高桩码头岸坡长期累积变形规律。

现有研究多聚焦水位变动对岸坡稳定性影响，鲜有针对软弱地层岸坡开挖、岸坡加固方案比选、开挖对坡顶建构筑物影响方面的研究。依托肇庆封开港区公用综合码头一期工程，存在坡顶与既有建筑物距离较近的特点(最小间距约 2 m)，港池岸坡开挖可能会对既有建筑产生影响。本文参照常用的边坡稳定性分析方法[9-11]，对内河框架式码头岸坡开挖稳定性、岸坡加固方案及加固效果评价进行研究，其成果可为类似工程的设计施工及监测提供技术参考。

1　工程概况

1.1　建设概况

工程位于肇庆市封开县长岗镇西江都乐滩河段左岸，见图 1。工程拟建设 8 个 3 000 吨级干散货泊位，水工结构按靠泊 5 000 吨级船舶设计，计划吞吐量 300 万 t/a，并建设相应的道路堆场、辅助建筑等设施，陆域面积约 29.2 万 m^2。码头主要包括码头平台、引桥、变电所平台。码头平台采用高桩框架结构，长 770 m、宽 22 m，为典型内河框架式码头。码头面高程 28.10 m，设计河底高程-4.70 m，码头前沿泥面高程 6~15 m，需要进行港池疏浚。

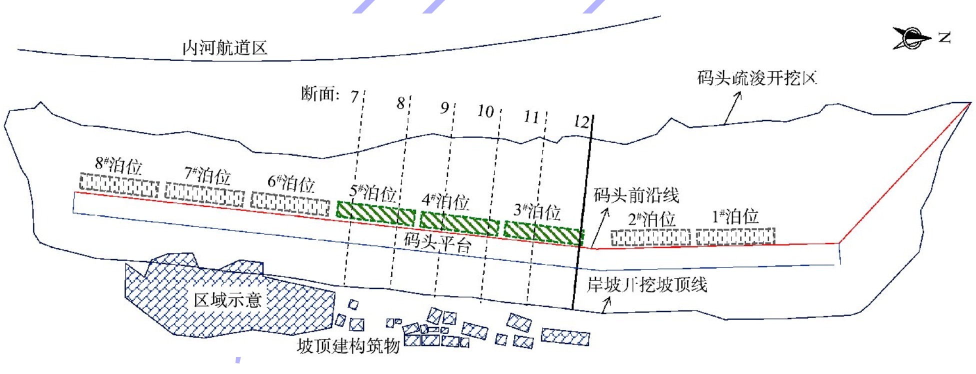


图 1　码头疏浚平面布置

Fig. 1　Dredging plan layout of wharf

1.2　工程地质条件

工程场地紧邻西江，临江地段为冲洪积的河流一级阶地，地势起伏较大，地面高程 6~22 m，后方陆域经改造后地貌较平，但多堆土，地面高程为 27~29 m，地表多覆盖填土，其下为花岗岩风化土。根据钻孔揭露，场地岩土层从上至下依次为填土、粉质黏土、粉砂和砾砂、花岗岩残积土和风化岩，以及中风化花岗岩。地下水分为孔隙潜水、承压水和基岩裂隙水。其中孔隙潜水主要分布于第四系覆盖层中，与河水联系紧密，承压水主要赋存于粉砂和砾砂层。

1.3　岸坡开挖方案

岸坡开挖典型断面(断面 12)见图 2，码头港池疏浚原设计分三级放坡，一级坡比 1:2，二、三级坡比均为 1:2.5，坡脚高程-4.70 m，在高程 3.4、14.2 m 处各设置 1 条马道，马道分别宽 3、5.55 m。高程 14.2 m 以下为抛理块石岸坡，以上为草皮岸坡。疏浚超深 0.5 m、超宽 4 m，疏浚量合计 95.94 万 m^3。设计高水位 25.64 m、低水位 0.92 m，施工及运营期水位波动较大。结构桩位于斜坡上，岸坡开挖、桩基施工、上部结构施工存在交叉作业，安全及质量控制要求高。

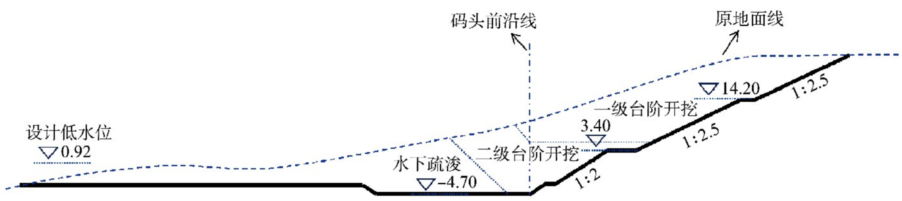


图 2　岸坡开挖典型断面(单位:m)

Fig. 2　Typical section of bank slope excavation(unit:m)

前期因征地、工期等因素影响，岸坡后缘区域的勘察工作滞后于设计。待条件具备，完成补勘后，显示 3#~5#泊位后方岸坡下方存在软弱土层(③$_2$ 粉土)，该土层大面积分布，厚度 5~8 m，其力学参数指标较低。基于补勘资料，重新验算岸坡稳定性。结果表明，低水位工况岸坡安全系数为 1.16，水位骤降工况安全系数为 1.03，处于临界值附近，存在失稳风险。且坡顶分布有大量自建房，存在开挖对坡顶既有建筑的影响风险。为此需要对 3#~5#泊位后方长约 300 m 的岸坡进行加固。以此为背景，采用 GEO5 软件分析典型断面不同岸坡加固方案的稳定性，并结合实测数据评价加固效果。

2　岸坡加固方案分析

综合考虑工程经验、设备、场地等施工可行性及经济性，设定两种岸坡加固方案。方案 1 为边坡腰部水泥搅拌桩(42.5 水泥，置换率 20%，直径 0.6 m，间距 1.2 m)+坡顶灌注桩(直径 0.8 m，间距 1 m)；方案 2 为边坡腰部灌注桩(直径 1.0 m，间距 2.0 m)。其中，灌注桩混凝土强度等级为 C30，钢筋为 32 根直径 32 mm 的 HRB400。

运用 GEO5 软件中的“土质边坡稳定分析模块”采用隐式不平衡推力法(GB 50330—2013《建筑边坡工程技术规范》[12]的传递系数法)计算岸坡稳定性，自动搜索得到岸坡最小安全系数，运用“抗滑桩设计模块”验算灌注桩的受力和变形。其中，灌注桩作为抗滑桩考虑，通过设置抗滑桩的最大抗滑承载力 V_u，在边坡稳定性计算时提供一个抗力，参照 GB 50010—2010《混凝土结构设计规范》[13]，仅考虑混凝土提供的抗剪力估算抗滑桩的最大抗滑承载力。灌注桩受力验算包括桩嵌岩段的地基横向承载力及桩截面的抗剪、抗弯、配筋率验算。

2.1　分析工况

两种加固方案见图 3。考虑从原泥面开挖至现状地面、临时道路、最终护岸面 3 个阶段。相应施工顺序及考虑荷载为：1)现状地面施工水泥搅拌桩和灌注桩，考虑荷载为坡顶房屋 5 000 kN(长、宽均为 10 m)，水泥搅拌桩机 220 kN(含 1.1 系数，基础尺寸长 2 m、宽 1 m)、钻孔灌注桩机 150 kN(含 1.4 倍动载系数，基础长 2 m、宽 1 m)；2)开挖/回填形成临时道路，考虑坡顶房屋及平板车荷载 480 kN(含 1.2 系数，基础长 4 m、宽 0.6 m)；3)开挖/回填形成最终护岸，考虑坡顶房屋荷载。

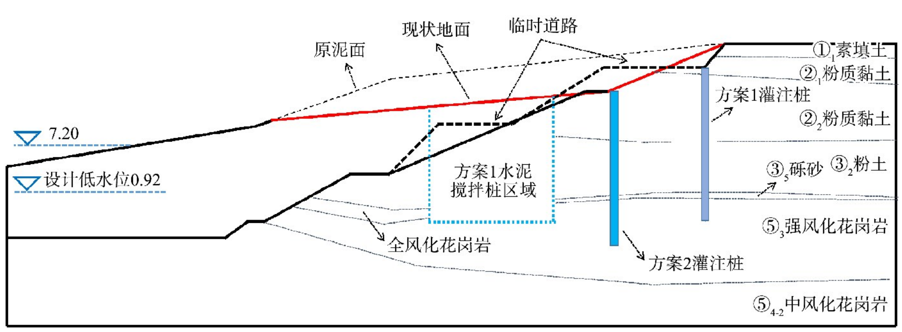


图 3　岸坡加固方案(单位:m)

Fig. 3　Bank slope reinforcement scheme(unit:m)

根据港池水位和地下水位不同，设置分析工况见表 1，其中，工况 2、6、10 分别对应现状地面、临时道路、最终护岸 3 种施工阶段。工况 1 为原泥面，工况 5、9 为填挖方计算的过渡断面，未在表中显示。

表 1　加固方案分析工况设置

Tab. 1　Reinforcement scheme analysis condition setting

工况序号	港池水位/m	地下水位/m
2、6、10	0.92	7.20
3、7、11	7.20	7.20
4、8、12	0.92	0.92

2.2　材料参数

本文采用 Morh-Goulomb 本构模型，采用有效抗剪强度进行计算。材料参数取值见表 2。其中，水泥搅拌桩复合地基的黏聚力、内摩擦角参考 DB44/T 182—2004《广东省海堤工程设计导则（试行）》[14]附录 R 按土质分层计算所得。

表 2　模型材料参数取值

Tab. 2　Reinforcement scheme analysis condition setting

材料名称	重力密度/($kN \cdot m^{-3}$)	黏聚力/kPa	内摩擦角/(°)
①$_1$ 素填土	18.8	12.40	7.70
②$_1$ 粉质黏土	19.5	17.00	10.90
②$_2$ 粉质黏土	19.3	22.30	13.20
③$_{2-1}$ 淤泥质粉土	17.8	11.00	9.00
③$_2$ 粉土	19.0	15.00	13.00
③$_5$ 砾砂	20.1	0.00	32.00
⑤$_2$ 全风化花岗岩	20.5	20.00	24.00
⑤$_3$ 强风化花岗岩	21.0	15.00	32.00
⑤$_{4-2}$ 中风化花岗岩	24.0	12.00	34.00
②$_1$ 粉质黏土（水泥搅拌）	19.5	25.78	14.00
②$_2$ 粉质黏土（水泥搅拌）	19.3	30.02	15.03
③$_{2-1}$ 淤泥质粉土（水泥搅拌）	17.8	20.98	13.58
③$_2$ 粉土（水泥搅拌）	19.0	24.18	17.00
③$_5$ 砾砂（水泥搅拌）	20.1	12.18	31.70
⑤$_2$ 全风化花岗岩（水泥搅拌）	20.5	28.18	23.44
⑤$_3$ 强风化花岗岩（水泥搅拌）	21.0	24.18	30.65
100~200 kg 护面块石	18.0	0.00	42.00
混凝土（刚性材料）	25.0	–	–

3　计算结果分析

岸坡稳定性及对坡顶建筑物的变形控制是工程的关键，取边坡安全系数、灌注桩受力、桩顶位移等 3 个指标作为方案评估标准。其中，依据 GB 50330—2013《建筑边坡工程技术规范》，按一级边坡、一般工况控制，取边坡稳定安全系数控制值为 1.35；对于坡顶灌注桩水平位移，该规范规定土质边坡支护结构坡顶的最大水平位移报警值为开挖深度的 1/500，本文分析断面开挖深度约 25 m，坡顶位移的警戒值取 5 cm，即灌注桩顶水平位移应小于 5 cm。同时，应满足灌注桩的受力验算。

3.1　加固方案计算结果

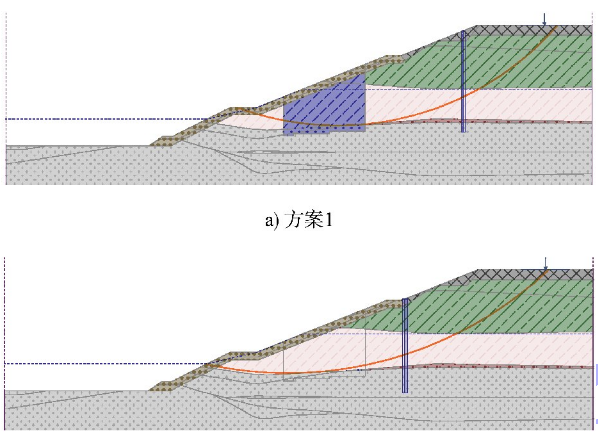
通过 GEO5 软件建模分析，两种加固方案不同工况下的计算结果见表 3。对于边坡安全系数，同一施工阶段下，港池处于低水位，地下水处于高水位时安全系数最小，港池和地下水位均处于设计低水位时安全系数最大。其中安全系数最小的工况 10，两种加固方案的最危险滑动面见图 4，滑入点均在坡顶建筑物基础处，方案 2 滑动面滑出区域大致位于粉土层与全风化花岗、强风化花岗岩的交界处，方案 1 滑动面分布与方案 2 相近，说明边坡中部相对软弱层的分布对最危险滑动面及安全系数的影响较大。

方案 1 和 2 在不同工况下都难以同时满足控制标准，存在安全风险，需要进一步优化。经对比计算，方案 1 水泥搅拌桩无侧限抗压强度由 0.6 MPa 增加至 1.6 MPa，坡顶灌注桩的桩径增大至 1.4 m、桩间距 1.6 m 时，边坡稳定、灌注桩受力可满足要求，此时灌注桩顶位移 4.6 cm（<5 cm），满足控制标准；方案 2 灌注桩桩间距优化为 1.3 m 后，岸坡稳定最小安全系数为 1.39，灌注桩受力和变形均符合要求。

表 3　加固方案计算结果

Tab. 3　Calculation results of reinforcement scheme

工况序号	方案 1 安全系数	方案 2 安全系数	方案 1 灌注桩受力	方案 2 灌注桩受力	方案 1 灌注桩顶位移/cm	方案 2 灌注桩顶位移/cm
2	1.97	1.96	-	-	-	-
3	1.96	1.97	-	-	-	-
4	2.14	2.10	-	-	-	-
6	1.33(<1.35)	1.21(<1.35)	不满足	不满足	24.0	48.0
7	1.46	1.32(<1.35)	满足	不满足	8.4	30.0
8	1.53	1.38	满足	不满足	0.5	21.0
10	1.28(<1.35)	1.19(<1.35)	不满足	不满足	44.0	33.0
11	1.34(<1.35)	1.25(<1.35)	不满足	不满足	33.0	28.0
12	1.46	1.37	满足	不满足	10.0	18.0



a) 方案1

b) 方案2

图 4　方案 1 和 2 工况 10 的最终护岸断面

Fig. 4　Final embankment section of reinforcement scheme 1 and 2 under working condition 10

基于优化后的方案 1 和 2，进行施工组织设计，结合工程实际，为满足在汛期来临前完成港池及岸坡开挖及码头底层框架浇筑的工期要求，考虑水泥搅拌桩施工工序多，需要额外试桩、临期强度检测等工作，工期较长，而灌注桩施工速度快，结构耐久性好，但造价高，经综合分析选用密排桩墙为实际加固方案。在方案 2 的基础上深化设计，见图 5，在一级平台与皮带廊桥之间，高程 14.20 m 处设连续密排桩墙，桩基桩径 1.0 m、间距 1.3 m，混凝土为 C30，钢筋为 24 根直径 25 mm 的 HRB400 钢筋，桩顶设置宽 1.5 m、高 1.0 m 冠梁，桩长采用双控标准，桩尖达到设计高程的同时，进入强风化花岗岩不少于 4.5 m，桩长范围为 15.8~18.8 m。

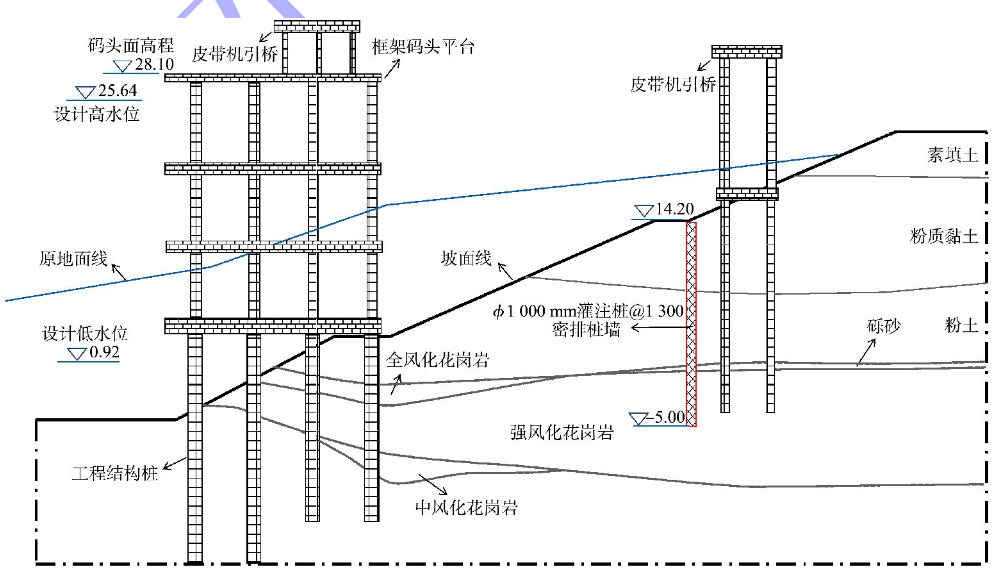


图 5　密排桩墙加固方案(高程:m;尺寸:mm)

Fig. 5　Reinforcement scheme of dense row pile wall(elevation:m;dimension:mm)

针对密排桩墙方案，参照 JTS 167—2018《码头结构设计规范》[15]，采用无锚定桩计算，考虑剩余水压力及墙前斜坡对土体抗力的折减，计算得墙顶位移为 13.2 mm，灌注桩弯矩承载能力极限状态 467 kN·m，正常使用极限状态 285 kN·m，绕桩尖倾覆力矩 26 142(kN·m)/m，抗倾覆力矩 27 107(kN·m)/m，内力及绕桩尖踢脚稳定性满足规范要求。

3.2　加固效果评价

3.2.1　监测方案

对岸坡进行监测，监测点布置见图 6，监测项目包括表面位移、房屋倾斜、深层水平位移、地下水位等。监测频率在岸坡开挖期为 1 次/d，开挖后为 1 次/3 d，开挖期监测约 2 个月，稳定期监测约 4 个月。根据设计文件及 GB 50330—2013《建筑边坡工程技术规范》，主要监测项目的预警值见表 4。根据断面 12 附近监测点数据，分析开挖前后，岸坡的表面位移、深层水平位移，及坡顶建筑物的倾斜率，评价岸坡加固效果。

表 4　岸坡监测项目预警值

Tab. 4　Alarm values of bank slope monitoring project

序号	监测项目	预警值	
		累计值/mm	变化速率
1	表面位移	20	连续 3 d 达 3 mm/d
2	房屋倾斜度	–	连续 3 d 达 0.000 08/d
3	深层水平位移	20	连续 3 d 达 3 mm/d

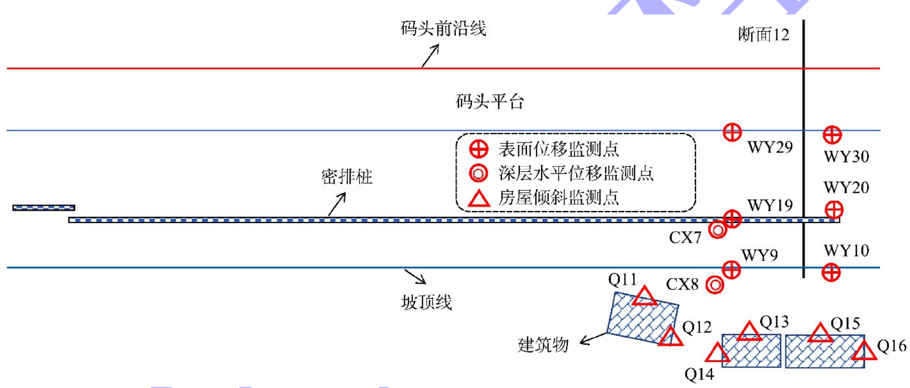


图 6　岸坡监测点布置

Fig. 6　Bank slope monitoring point layout plan

3.2.2　监测结果

不同监测点表面位移累计值随时间变化曲线见图 7。可以看出，岸坡表面位移整体较小，最大累计位移约 7 mm。从断面方向看，靠近密排桩位置的 WY19、WY20 监测点位移较大，靠坡底的 WY29、WY30 监测点位移最小，说明坡中段受开挖卸荷的影响较大，坡顶和坡底区域受开挖影响较小；从时间上，在全面完成土方开挖后岸坡的整体表面位移趋于稳定，且最大累计位移值远小于预警值。

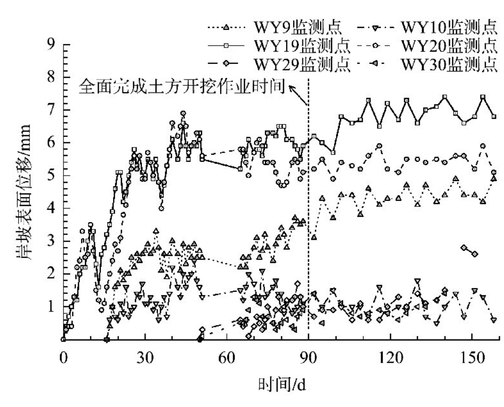


图 7　岸坡表面位移随时间变化曲线

Fig. 7　Curves of surface displacement of bank slope changing with time

深层土体水平位移累计变形最大值随时间变化曲线见图 8(其中负号表示向坡临空面方向变形)。可以看出，CX7 监测点处的位移较大，最大值约 7 mm，CX8 监测点最大位移约 4 mm。结合监测数据可知，CX7 监测点位移最大值点在埋深 0.5~1.0 m，CX8 监测点位移最大值分布在埋深 3~4 m 位置，即深层水平位移最大值主要受第一级边坡的稳定性控制。在岸坡开挖后，深层水平位移最大值整体在 2~6 mm 范围波动，远小于预警值。

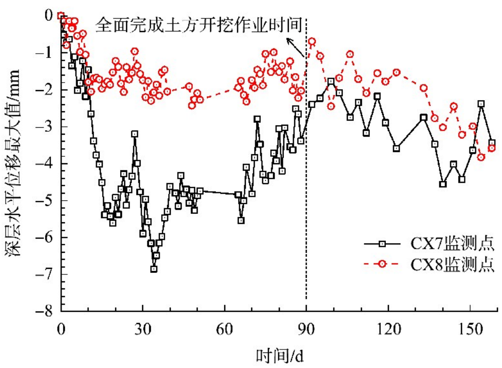


图 8　深层水平位移最大值随时间变化曲线

Fig. 8　Curves of maximum horizontal displacement of deep layer changing with time

进一步分析岸坡开挖对坡顶建筑物的影响。选取坡顶建筑物的不同面的倾斜率作为房屋安全评估指标，其中倾斜率为水平偏移量与垂直高度的比值。岸坡开挖前后坡顶建筑物倾斜率随时间分布的散点图见图 9。可以看出，临近的建筑物倾斜率集中分布在 1‰~4‰，在岸坡完全开挖结束后，房屋的倾斜率未发生明显变化，表明岸坡开挖对坡顶建筑物安全的影响在可控范围内。

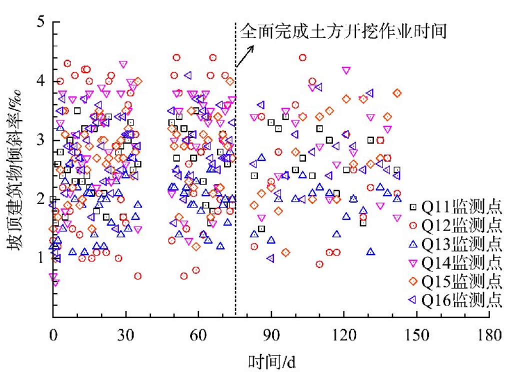


图 9　坡顶建筑物倾斜率随时间变化

Fig. 9　Slope top building tilt rate changing with time

4　结论

1）经 GEO5 软件计算分析，优化后的方案 1 坡底水泥搅拌桩+坡顶灌注桩、方案 2 腰部密排灌注桩都可较好满足岸坡稳定性、桩身内力及位移控制要求。考虑汛期前完成开挖的工期要求，搅拌桩较灌注桩施工慢的特点，现场最终采用密排桩加固方案。

2）基于现场监测数据分析，岸坡开挖前后，岸坡最大表面位移约 7 mm，岸坡中段受开挖卸荷的影响较大，坡顶和坡底区域受开挖影响较小。岸坡土体深层水平位移最大值约 7 mm，岸坡整体的深层水平位移主要受第一级边坡的稳定性影响；坡顶建筑物的倾斜率分布在 1‰~4‰，且波动范围稳定。

3）全面完成岸坡开挖前后，岸坡表面位移、深层水平位移及坡顶建筑物倾斜率均在预警范围内，表明采用密排桩加固岸坡后，有效减小了开挖对岸坡整体稳定性及坡顶建筑物的影响，保障了岸坡整体及周边环境的安全。

4）由于岩土参数、本构模型等因素的不确定性，本文模型计算结果与工程实测数据仍存在一定差异，后续可结合类似工程进一步验证加固方案及分析方法的可靠性与普适性。

参考文献：

[1]　刘聪聪, 刘卫, 邹丰, 等. 高桩码头受限空间疏浚工艺[J]. 水运工程, 2022(7): 107-111, 117.
LIU C C, LIU W, ZOU F, et al. Dredging technology for confined space of high-piled wharf[J]. Port & waterway engineering, 2022(7): 107-111, 117.

[2]　贾雨少, 黄志扬, 侯慷. 小庙洪上延航道工程(一阶段)疏浚方案[J]. 中国港湾建设, 2023, 43 (4): 22-27.
JIA Y S, HUANG Z Y, HOU K. Analysis of dredging scheme for phase I of Xiaomiaohong upper extension channel project[J]. China harbour engineering, 2023, 43(4): 22-27.

[3]　程磊, 王冰. 疏浚工程淤泥质土质岸坡开挖方案优化[J]. 水运工程, 2018 (S1): 39-42.

CHENG L, WANG B. Optimization of excavation scheme for silty soil bank slope in dredging project[J]. Port & waterway engineering, 2018(S1): 39-42.

[4] 周世良, 王全, 吴飞桥, 等. 内河大水位差条件下的码头岸坡稳定性分析[J]. 水运工程, 2010 (3): 81-84.

ZHOU S L, WANG Q, WU F Q, et al. Stability analysis of wharf slope under large water level difference in inland river[J]. Port & waterway engineering, 2010(3): 81-84.

[5] 杨艳, 王多银, 吴洋, 等. 库水位下降条件下码头岸坡稳定性分析[J]. 水电能源科学, 2013, 31(7): 119-122, 12.

YANG Y, WANG D Y, WU Y, et al. Stability analysis of wharf slope under drawdown of reservoir water level[J]. Water resources and power, 2013, 31(7): 119-122, 12.

[6] 贺林林, 周莉, 梁越. 库水位骤降与桩基作用对高填方岸坡稳定性影响研究[J]. 防灾减灾工程学报, 2020, 40(6): 959-966.

HE L L, ZHOU L, LIANG Y. Research on effect of sudden drawdown of reservoir water level and pile foundation on stability of high filled bank slope [J]. Journal of disaster prevention and mitigation engineering, 2020, 40(6): 959-966.

[7] 贺林林, 李志松, 赵陈雨, 等. 变幅水位影响下高填方岸坡框架码头结构承载特性研究[J]. 重庆交通大学学报(自然科学版), 2023, 42(7): 76-86.

HE L L, LI Z S, ZHAO C Y, et al. Bearing characteristics of the frame wharf structure with high-filled bank slope under the influence of variable amplitude water level [J]. Journal of Chongqing Jiaotong University (natural science), 2023, 42(7): 76-86.

[8] 宋学鹏, 孙亚, 朱永英, 等. 港口高桩码头海岸岸坡水平位移监测及分析[J]. 水运工程, 2025(6): 85-94.

SONG X P, SUN Y, ZHU Y Y, et al. Monitoring and analysis of horizontal displacement of coastal slopes at high-pile wharf in ports[J]. Port & waterway engineering, 2025(6): 85-94.

[9] 桑伟宁, 吴红波. 山区高速公路高边坡稳定性分析及动态设计[J]. 安徽建筑, 2021, 28 (9): 149-152.

SANG W N, WU H B. Stability analysis and dynamic design of high slope in mountainous expressway [J]. Journal of Anhui architecture, 2021, 28 (9): 149-152.

[10] 杨峰, 薛桂澄, 柳长柱, 等. 海南省澄迈县福山镇高铁站前道路土体滑坡的 GEO5 数值模拟研究[J]. 中国地质调查, 2020, 7 (4): 104-111.

YANG F, XUE G C, LIU C Z, et al. GEO5 numerical simulation research on the soil landslide in the front road of Fushan high-speed railway station in Chengmai County of Hainan Province [J]. Geological survey of China, 2020, 7 (4): 104-111.

[11] 赵付勇, 张艺媛. 新疆乌斯通沟水库坝体边坡稳定分析计算[J]. 东北水利水电, 2020, 38 (8): 10-11.

ZHAO F Y, ZHANG Y Y. Analysis and calculation of dam slope stability of Wusitonggou Reservoir in Xinjiang[J]. Water resources & hydropower of Northeast China, 2020, 38 (8): 10-11.

[12] 建筑边坡工程技术规范: GB 50330—2013[S]. 北京: 中国建筑工业出版社, 2013.

Technique code for building slope engineering: GB 50330-2013[S]. Beijing: China Architecture & Building Press, 2013.

[13] 混凝土结构设计规范: GB 50010—2010[S]. 北京: 中国建筑工业出版社, 2010.

Code for design of concrete structures: GB 50010-2010[S]. Beijing: China Architecture & Building Press, 2010.

[14] 广东省海堤工程设计导则(试行): DB44/T 182—2004[S]. 北京: 中国水利水电出版社, 2004.

Design guide for costal levee project of Guangdong Province (trial): DB44/T 182-2004 [S]. Beijing: China Water & Power Press, 2004.

[15] 码头结构设计规范: JTS 167—2018[S]. 北京: 人民交通出版社股份有限公司, 2018.

Design code for wharf structure: JTS 167-2018 [S]. Beijing: China Communications Press Co., Ltd., 2018.

(本文编辑　王璁)