

坦桑尼亚坦噶港老码头改造关键技术

符成, 赵瑞东, 贝建忠, 朱幸科

(中交第四航务工程勘察设计院有限公司, 广东 广州 510290)

摘要: 坦桑尼亚坦噶港老码头改造工程面临深厚泥炭质土软基、改造空间受限以及老码头严重破损等不利条件。采用适用于深厚泥炭质土软基的后板桩接岸式高桩码头结构, 采用高压旋喷桩对码头岸坡进行加固, 确保码头结构的安全性; 采用 Plaxis 3D 有限元数值分析方法对水泥土桩的内部和外部稳定性进行复核; 针对高有机质土中的高压旋喷桩的成桩质量难控的问题, 采用降低浆液压力、采用复喷工艺、降低浆液水灰比、外掺石膏等措施提升了旋喷桩的成桩质量。

关键词: 码头改造; 深厚泥炭质土; 后板桩接岸结构; 高压旋喷桩

中图分类号: U656.1

文献标志码: A

文章编号: 1002-4972(2024)08-0122-05

Key technologies for old wharf renovation project in Tanga Port, Tanzanian

FU Cheng, ZHAO Ruidong, BEI Jianzhong, ZHU Xingke
(CCCC-FHDI Engineering Co., Ltd., Guangzhou 510290, China)

Abstract: There are the unfavorable conditions in an old wharf renovation project in Tanga Port, Tanzania, such as deep and soft peaty foundation, limited renovation space, and the serious damage of the old wharf. The high piled wharf structure combined with rear sheet-pile for shore connection is adopted, which is suitable to the deep and soft peaty soil foundation. The high pressure jet grouting pile technology is used to reinforce the wharf slope, which ensures the safety of wharf structure. The internal and external stability of cement-soil piles are checked by Plaxis 3D three-dimensional finite element numerical analysis method. In view of the problem that it is difficult to control the forming quality of high-pressure jet grouting piles in high organic content soil, measures such as reducing slurry pressure, using repeated spraying technology, reducing water-cement ratio, and adding gypsum are proposed to improve the quality of jet grouting piles.

Keywords: wharf renovation; deep and soft peaty soil; rear sheet-pile shore-connecting structure; high pressure jet grouting pile

1 工程概况

坦噶港位于坦桑尼亚东北部的坦噶湾内, 濒临奔巴海峡的西侧, 是坦桑尼亚的第二大港。该港建于20世纪20年代, 已服役超过100年, 是非洲最古老的港口之一。港区改造前拥有2个浅水驳船泊位, 泊位总长466 m, 呈折线形布置。港池水深较浅, 高潮时约4.5 m, 低潮时约2.5 m, 大型船舶无法直接靠泊, 须通过驳船转运, 装卸效率低下。老码头为钢板桩结构, 因超期服役、年久失修, 结构已破损严重, 尤其是钢板桩锈蚀严重、局部已断裂, 存在失稳风险。改造前的坦噶港见图1。



图1 改造前的坦噶港

尽管港口基础设施落后, 但得益于其优越的地理位置和受地缘政治的影响, 坦噶港具备改造为区域中心港的潜力。本文以坦桑尼亚坦噶港老

收稿日期: 2024-03-20

作者简介: 符成 (1984—), 男, 硕士, 高级工程师, 从事港口及航道工程设计。

码头改造工程为依托, 介绍老码头改造过程中的一系列关键技术, 可为类似的改造工程提供借鉴。

2 改造方案

根据建设单位要求, 改造方案为: 在现有的 1[#]、2[#]泊位前方新建 2 个 3 万吨级多用途泊位(结构按 5 万吨级预留), 将老码头前沿线向外扩 50~92 m, 将前沿线调整为直线, 泊位总长 450 m。码头前沿港池浚深至-13.0 m, 远期将浚深至-14.5 m。

码头为高桩大板结构, 采用后板桩结构接岸。新建结构可分为高桩平台和后方回填区, 其中高桩平台宽 38.5 m、排架间距 8.05 m, 每榀排架设 6 根直径 1 100 mm 灌注桩; 上部结构由现浇横、纵

梁、叠合面板和预制靠件组成。大板结构通过优化减少了纵梁数量, 仅前、后方各设置 1 根纵梁, 钢板桩伸入后纵梁, 与上部平台结合为整体。为满足码头岸坡的稳定和回填区的沉降要求, 对钢板桩墙前、后的软弱地基采用高压旋喷桩进行处理。

旋喷桩处理区域可根据岸坡稳定和沉降的不同要求进行分区, 采用不同的置换率。A 区为板桩海侧被动区, 宽度 13.2 m, 置换率为 30%; B 区为板桩陆侧宽度 12.3 m 范围内, 该区域为主动土压力分布集中区域, 对岸坡稳定影响大, 置换率为 30%; C 区为后方陆域剩余的其他区域, 以控制沉降为主, 置换率为 20%。改造后的码头平面布置和典型断面见图 2。

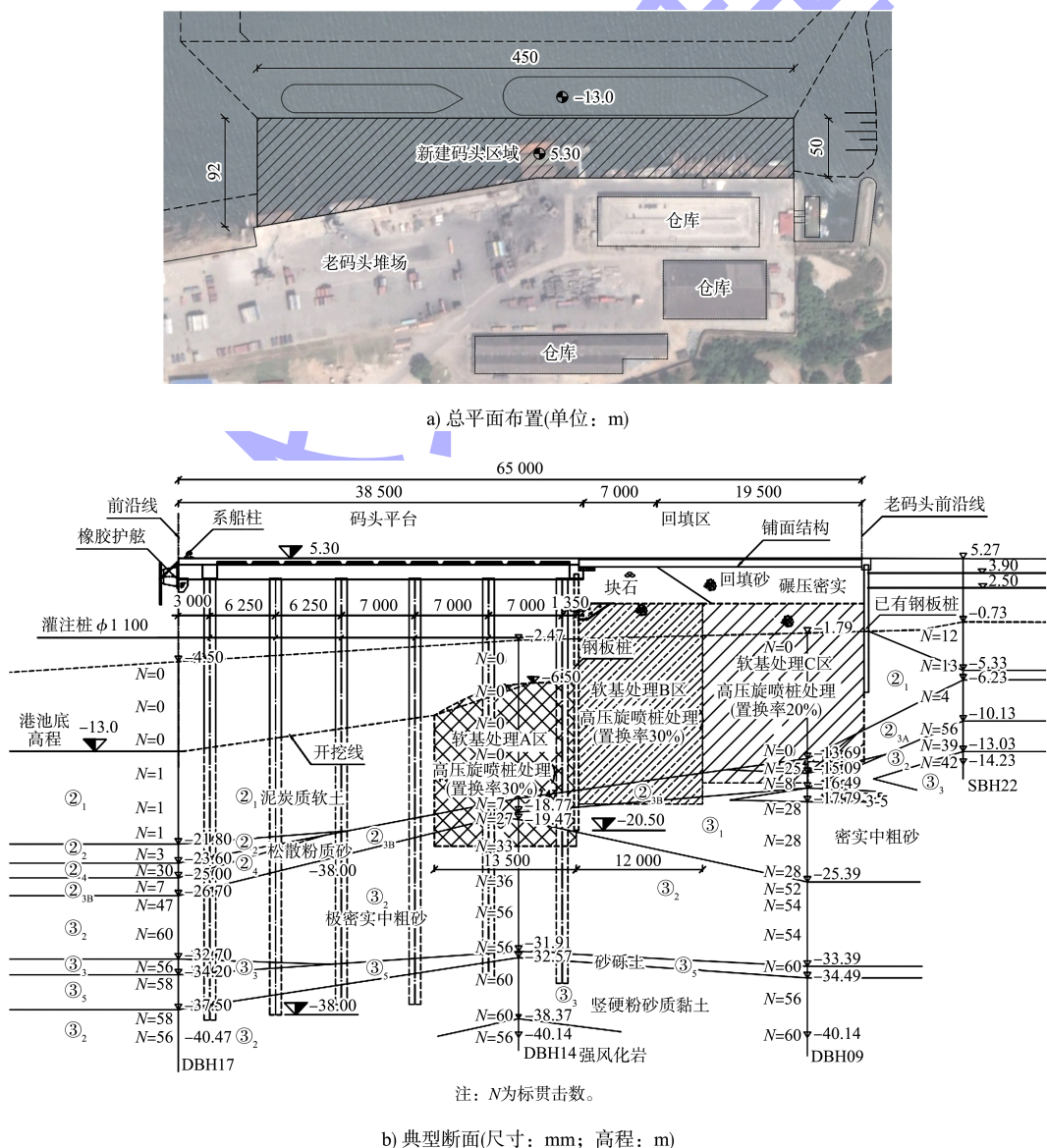


图 2 改造后的码头平面布置和典型断面

3 老码头改造关键技术

3.1 后板桩接岸式高桩码头结构

工程区泥炭质土深厚,不适合采用重力式码头结构;不具备设备陆上打桩和安装拉杆的施工条件,故也不适合采用板桩码头结构。因此,本工程采用高桩结构方案,考虑到当地船机设备缺乏、国内调遣费用高,故桩基采用灌注桩。

旧码头已使用了100年,改造后仍需要使用60年,其结构安全和耐久性为首要关注的问题。原则上要求新结构对旧结构形成良好的掩护,使旧结构基本处于不受力状态,方能达到较高的可靠度。因此,衔接码头平台与后方陆域的接岸结构是设计的关键之一。

接岸结构根据桩台结构和岸坡形式、软基加固方法的不同而有多种结构形式,大体上可分为后板桩式和挡土墙式^[1]。考虑到工程区软土深厚、挡土高差大、码头两端需要设置封头段等因素,设计采用后板桩接岸式高桩码头结构,联合高压旋喷桩对软基进行加固处理。板桩与后纵梁浇筑一体,岸坡的侧向水平土压力通过后板桩作用在桩台上,桩台结构的受力较为复杂。

一般来说,当码头前沿水深较大、岸坡土较软且土压力较大时,应尽量将桩台和板桩结构分离,尤其对有抗震要求的地区,应使后板桩结构成为独立稳定体系,承受岸坡土的变形和动土压力,避免地震时桩台在承受自身及工艺荷载惯性作用的同时承受土压力的作用。但本工程的改造空间有限,也不允许利用老码头结构受力,分离式的板桩挡土结构无法实现。此时整体受力的后板桩接岸式高桩码头形式联合高压旋喷桩地基处理成为解决问题的最优方案。该结构形式具有一定的新颖性,解决的主要问题为:1)后板桩接岸结构的设置使得新建结构分为码头平台和后方回填区,码头宽度固定为38.5 m,可避免复杂的异型结构,减少工作量;回填区宽度可灵活调整,较好地适应了码头前沿线拉直后新建区的不规则形状;2)后板桩接岸结构对老码头掩护效果好,

实现大高差的挡土功能,可采用自然边坡,简化了码头岸坡设计,灵活适应两端封头段的复杂结构,也方便了后方回填区的施工。

3.2 基于Plaxis 3D有限元分析的三维高压旋喷桩处理岸坡分析

工程位于河口地区,广泛分布有深厚泥炭质土,平均厚15 m,最大厚度超过22 m,有机质含量超过35%。泥炭质土地基具有有机质含量高、强度低、压缩性高、固结慢、自然边坡缓等特点,地基处理难度较大。

对于流塑状泥炭质土,一般的地基处理方法难以满足岸坡的稳定和变形要求,可优先考虑水泥土桩的复合地基方案。其中,高压旋喷桩和水泥搅拌桩均可达到较好的处理效果,但旋喷桩的优势主要体现在:1)旋喷桩的处理深度可达30 m,而水泥搅拌桩处理深度多为5~15 m,而本工程最大处理深度超过20 m;2)地基处理须搭设施工临时平台,旋喷桩具有设备轻便、钻孔小、施工灵活等优势,可减少施工荷载、降低平台造价。

高压旋喷桩用于码头岸坡加固时,除水泥土桩的完整性及强度应有较高的保证率外,复合体的外部和内部稳定性也应满足要求。本工程采用Plaxis 3D进行三维数值分析,可直观、准确地反映水泥土桩体的位移和内力分布情况及规律。模型采用摩尔-库仑理想弹塑性本构模型,采用实体单元模拟桩体、桩底土体及下卧层,采用强度折减法进行外部稳定性计算,通过应力分析复核水泥土桩的内部稳定性。

计算结果表明,滑动面穿过处理土层底部,采用强度折减法得到的码头整体稳定系数计算值为2.5,处理土层的最大水平位移约为36 mm,土体未发生整体滑动破坏,外部稳定性可满足要求。计算桩体的最大有效拉应力 $\sigma'_{xx,max} = 190.5$ kPa,在容许抗拉强度 $[\sigma] = 200$ kPa范围内;最大剪应力 $\tau_{max} = 181.1$ kPa,在容许剪切强度 $[\tau] = 400$ kPa范围内。部分计算结果见图3。

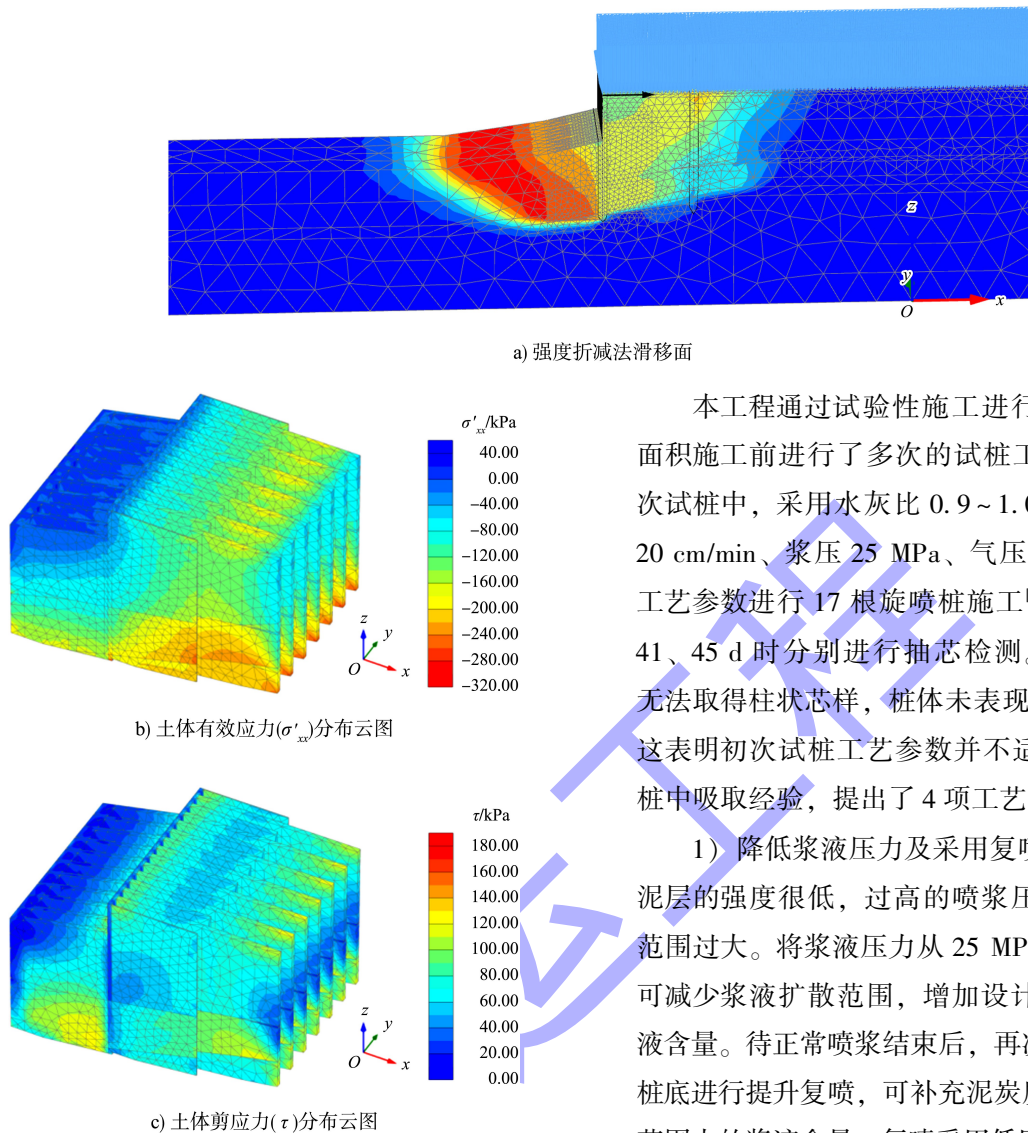


图3 三维数值分析的计算结果

3.3 高压旋喷桩质量控制关键技术

泥炭质土的特点为有机质含量高,有机质的主要成分为富里酸和胡敏酸,使土体具有较大的水容量和塑性、较大的膨胀性和低渗透性,并使土体呈酸性,这些因素都阻碍水泥水化反应的进行,最终影响土体的加固效果^[21]。

工程界普遍认可有机质土对水泥土的强度影响显著,认为有机质含量的增加会导致水泥土强度的显著降低,甚至导致水泥土桩的加固完全失效^[3]。本工程泥炭质土的有机质含量在 15.7%~33.3%,属于高有机质土体,对加固效果影响很大。同时,地基土位于水下,富含孔隙水,平均达 83.1%,进一步增加了施工及质量控制难度。

本工程通过试验性施工进行经验摸索,在大面积施工前进行了多次的试桩工作。在东侧的初次试桩中,采用水灰比 0.9~1.0、提升速度 15~20 cm/min、浆压 25 MPa、气压 0.7~1.0 MPa 的工艺参数进行 17 根旋喷桩施工^[4],并于龄期 31、41、45 d 时分别进行抽芯检测。芯样呈软塑状,无法取得柱状芯样,桩体未表现出明显固结特征。这表明初次试桩工艺参数并不适用。在后续的试桩中吸取经验,提出了 4 项工艺改进措施^[5]。

1) 降低浆液压力及采用复喷工艺。泥炭质淤泥层的强度很低,过高的喷浆压力会使浆液扩散范围过大。将浆液压力从 25 MPa 降低至 21 MPa,可减少浆液扩散范围,增加设计桩径范围内的浆液含量。待正常喷浆结束后,再次下注浆管至设计桩底进行提升复喷,可补充泥炭质土层中设计桩径范围内的浆液含量。复喷采用低压力(10 MPa)及高提速(80~100 cm/s),其他参数与正常喷浆相同。

2) 降低浆液水灰比。浆液水灰比由初次试桩的 0.9~1.0 调整至 0.83,可减少浆液水分,降低水泥土桩中的含水量。

3) 浆液中外掺石膏。适量的石膏掺量不仅可调节凝结时间,还可提高水泥的早期及后期强度。外掺石膏后水泥中 SO_3 含量在 3%~4% 时,水泥强度最佳,明显高于其他掺量。基于具体的水泥及石膏的成分含量,推算出对应的 SO_3 含量的外掺石膏量为 1.3%~3.7%,取 2.1% 的石膏掺量。

4) 固定桩机档位保证注浆管提速的均匀性。旋喷桩的桩身质量要求是控制沿桩长范围水泥掺量的均匀性,提高水泥有效利用率,还应保证钻杆提速的均匀性。在传统的旋喷桩施工方法中,

一般根据施工经验,按目标速度及实际浆液用量手动操控旋喷机钻杆的提升。这种工艺存在一大弊端:钻杆提速由施工人员主观操控,往往会与目标速度存在偏差,过程中的实际用量也会与理论浆液用量存在偏差。

为了摒弃人为因素对水泥掺入量均匀性的影响,利用桩机档位定速。提升喷浆前,不断调整桩机的提速控制档位,使注浆管提速符合设计提速,然后固定提速档位,禁止在后续的提升喷浆过程操作提速档位,保证注浆管的提速始终等于设计提速,从而保证桩体单位长度水泥掺入量的均匀性。

钻孔取芯检测及室内无侧限抗压强度试验结果证明,上述4项改进措施有效解决了泥炭质淤泥层成桩困难的问题,取得了理想的成桩效果。大规模施工阶段累计完成超100根桩的钻孔取芯检测,芯样连续、完整性好、强度较高,表明加固效果理想。95.1%的泥炭质淤泥层芯样强度超出设计值1.0 MPa,强度平均值为2.6 MPa,超出设计要求。

根据以往工程经验,软土地基的旋喷桩加固土体的水泥掺入比一般在35%~40%,且有机质地基下的水泥掺入比更高,本工程大规模施工的旋喷桩水泥掺量仅为 210 kg/m^3 ,水泥掺入比约26%,大幅降低了水泥用量,经济效益良好。

4 改造效果

目前工程已顺利竣工移交,改造后的坦噶港见图4。



图4 改造后的坦噶港

5 结论

1) 针对坦噶港老码头改造中面临的深厚泥炭质有机软土、改造空间受限、老码头严重破损等不利条件,采用适合深厚泥炭质土软基的后板桩接岸式高桩码头结构,采用高压旋喷桩对码头岸坡加固,新建结构对老码头形成了有效掩护,实现大高差挡土功能,简化岸坡设计,取得良好的效果。

2) 高压旋喷桩处理深度大、设备轻便、施工灵活,可用于深厚软基条件下的码头岸坡的加固。Plaxis 3D 三维有限元数值分析方法可直观、准确地反映水泥土桩体的位移和内力分布情况及规律,确保旋喷形成的水泥土桩的内部和外部稳定性满足要求。

3) 泥炭质土具有高有机质含量、高含水量、高压缩性、低强度、慢固结等特点,高有机质含量会对水泥土的固化起延缓及破坏作用,导致加固处理的难度增大。采用常规工艺参数施工的高压旋喷桩的成桩质量难以控制,存在地基加固失败的风险。在泥炭质土层采取降低浆液压力、采用复喷工艺、降低浆液水灰比、外掺石膏等措施可有效提升旋喷桩的成桩质量。根据实践经验,总结一套适用于高有机质软土的高压旋喷桩成桩质量控制施工工艺参数,在确保施工质量的同时,优化了旋喷桩水泥掺入量,取得较好的经济效益。

参考文献:

- [1] 中交第一航务工程勘察设计院有限公司. 海港工程设计手册(中册)[M]. 2版. 北京:人民交通出版社股份有限公司,2018.
- [2] 龚晓南. 地基处理手册[M]. 3版. 北京:中国建筑工业出版社,2008.
- [3] 周驰. 滇池泥炭土和有机质土旋喷桩与搅拌桩SMW工法研究[D]. 成都:西南交通大学,2012.
- [4] 甘富华,伍琪琳. 软弱淤泥层中的水下旋喷桩试验性施工研究[J]. 中国水运(下半月),2022,22(2):140-142.
- [5] 赵瑞东,伍琪琳. 旋喷桩加固泥炭质软土应用研究[J]. 中国港湾建设,2023,43(8):83-88.

(本文编辑 王聰)