

广州港新沙港区板桩码头结构设计方案 比选分析

刘洪超, 李 华

(中交第四航务工程勘察设计院有限公司, 广东 广州 510230)

摘 要:介绍了广州港新沙港区板桩码头主要内力计算方法及常用软件,结合设计过程、工程地质情况、现场实际施工情况,着重从受力合理性、施工便利性、节省造价方面,对提出的钢板桩方案、钢管板桩方案进行比较分析,确定了钢管板桩结构更合理,并对优势进行总结。研究表明相对于钢板桩结构,钢管板桩结构在抗弯、抗变形、拉杆拉力和锚碇墙稳定性、对复杂地基(软弱土层较厚、岩层标高较高的地基)适应性、兼顾桩基基础、施工速度等方面更具备优势,且钢管板桩结构可更好的适应码头的大型化和深水化发展,在类似工程设计中可优先采用钢管板桩结构。

关键词:钢板桩;钢管板桩;设计方案;比选分析

中图分类号:U66

文献标识码:A

文章编号:1671-6647(2020)01-0053-07

doi:10.3969/j.issn.1002-3682.2020.01.006

引用格式:LIU H C, LI H. Comparison and analysis of structural design schemes of sheet piled wharf in Xinsha Port area of Guangzhou Port[J]. Coastal Engineering, 2020, 39(1): 53-59. 刘洪超, 李华. 广州港新沙港区板桩码头结构设计方案比选分析[J]. 海岸工程, 2020, 39(1): 53-59.

近年来随着我国经济的快速发展,环保施工工艺得到认可和推广,高强度钢材的使用使钢板桩质量更轻,在成功解决锁扣问题后,钢板桩沉桩施工便利的优势得以突显。随着码头泊位的大型化和深水化,板桩码头逐步出现了钢管板桩、遮帘板桩、灌注桩排桩等结构型式,板桩码头得到更多应用^[1-4]。

广州港新沙港区驳船码头采用了钢管板桩结构,并取得良好的效果。在结构设计过程中如何选择经济合理的水工主体结构方案是项目设计的难点,本文结合受力、施工、造价等因素着重对钢板桩和钢管板桩两种方案进行比较分析,确定合理的设计方案并进行总结,以供类似工程设计参考。

1 工程概况

工程位于广州港新沙港区(图 1),距离广州市区约 40 km,驳船码头位于挖入式港池内,码头总长度 1 000 m,共布置 4 个 3 000 吨级和 5 个 2 000 吨级集装箱船泊位,4 个工作船泊位。平面布置如图 2 所示。

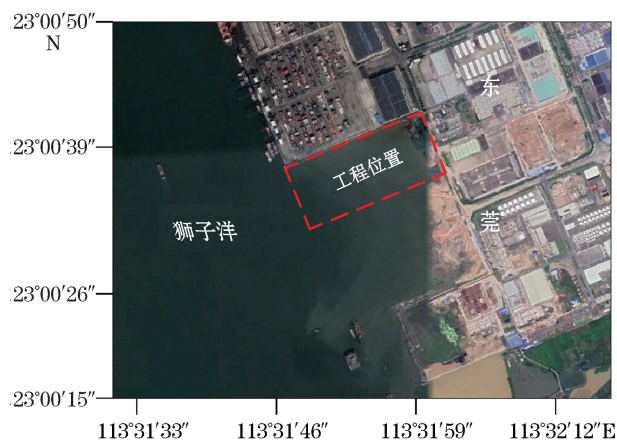


图 1 工程位置

Fig.1 Location of the project

收稿日期:2019-09-21

作者简介:刘洪超(1988-),男,工程师,硕士,主要从事港口与航道工程水工结构方面研究. E-mail: 459454329@qq.com

(陈 靖 编辑)

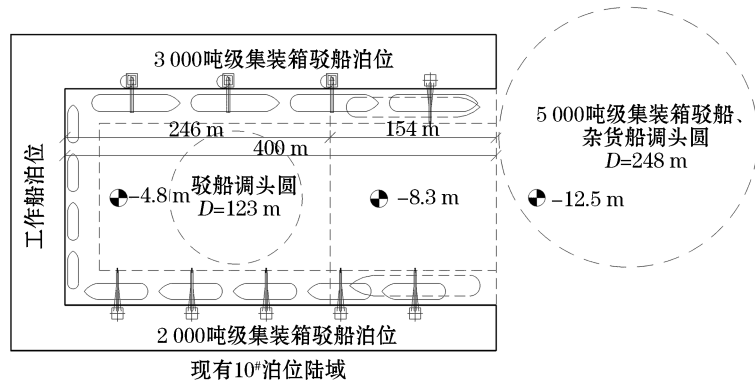


图2 驳船泊位平面布置

Fig.2 The layout of barge berth

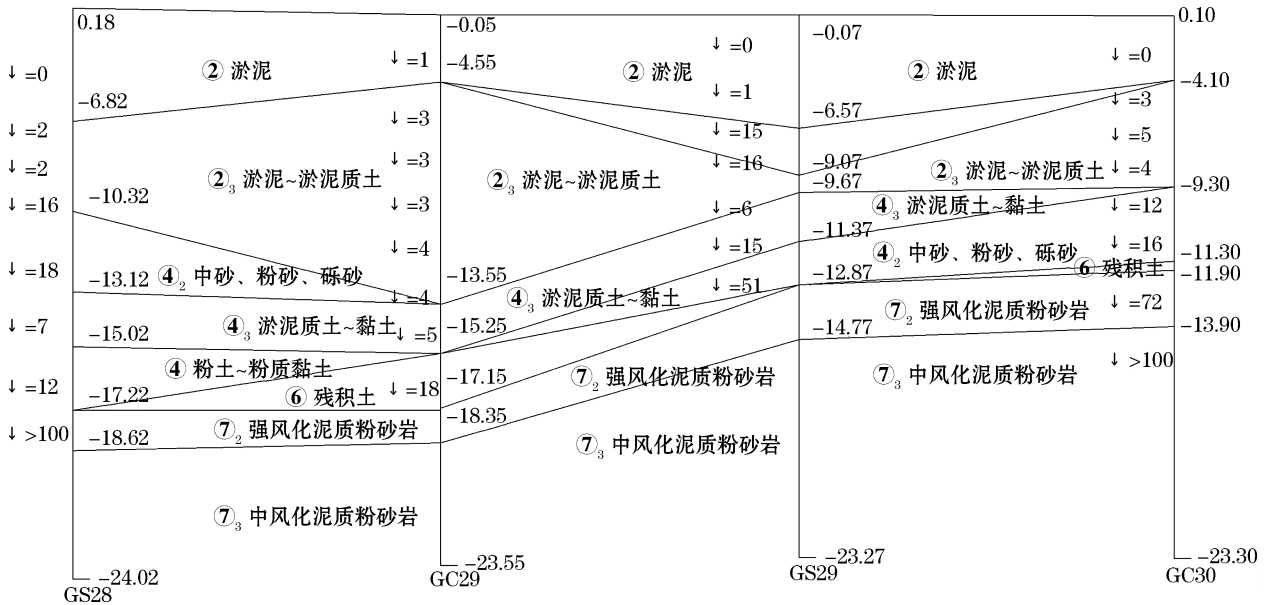
2 自然条件

2.1 设计水位和波浪

工程所在地潮汐为不正规半日潮混合潮,高程系统采用当地理论最低潮位。设计高水位:3.05 m(高潮累积频率 10%的潮位);设计低水位:0.37 m(低潮累积频率 90%的潮位);极端高水位:4.06 m(50 年一遇);极端低水位:-0.41 m(50 年一遇)。驳船泊位位于挖入式港池内,掩护条件良好,基本不受波浪影响。

2.2 地质条件

根据中交第四航务工程勘察设计院 2017-07 编制的《广州港新沙港区 11 号 12 号通用泊位及驳船泊位工程施工图阶段勘察报告》^①中沿码头前沿的勘察钻孔分析结果可知:由上至下依次为淤泥、淤泥-淤泥质土、淤泥质土-粘土、粉土-粉质粘土、残积土、全风化泥质粉砂岩、强风化泥质粉砂岩和中风化泥质粉砂岩(图 3)。强风化泥质粉砂岩顶标高变化起伏较大,顶标高约为-12~-22 m。土层物理参数如表 1 所示。

图3 典型地质剖面^①(m)Fig.3 Typical geological profiles^①(m)

① 中交第四航务工程勘察设计院. 广州港新沙港区 11 号 12 号通用泊位及驳船泊位工程施工图阶段勘察报告, 2017.

表 1 土层物理参数^①
Table 1 Physical parameters of soil layers^①

地 层	天然重度 /(g·cm ⁻²)	直剪快剪		直剪固快	
		内聚力/kPa	内摩擦角/°	内聚力/kPa	内摩擦角/°
② 淤泥	15.6	4.7	1.2	4.9	17.0
② ₃ 淤泥~淤泥质土	16.2	10.3	2.9	6.9	17.3
④ ₂ 中粗砂	18.0		30		30.0
④ ₃ 淤泥质土~粘土	16.6	18.7	2.8	14.4	15.1
④ 粉土~粉质粘土	20.0	30.4	7.8	24.1	16.4
⑥ 残积土	18.9	27.1	12.0	26.1	18.2
⑦ ₂ 强风化泥质粉砂岩	19.2	45.2	25.1	33.8	20.1

注:空白表示无数据

3 水工结构设计方案

驳船码头工程区域,风、浪、流均较小,但根据勘察钻孔揭示地质条件复杂,岩面高程变化大,强风化岩面顶标高为-12~-22 m,根据初期筛选后确定了钢管板桩和钢板桩设计方案,着重对 2 个设计方案进行介绍和比选。

3.1 钢管板桩方案

钢管板桩前墙由壁厚 18 mm 直径 1 200 mm 钢管桩与壁厚 10 mm 的 AZ18-10/10 热轧钢板桩(材质为 S430GP)组合形成,码头后方设现浇锚碇墙,前墙和锚碇墙通过 GB/T 20934—2007 GLG550-OU-80×34200 钢拉杆连接,钢管板桩顶设胸墙,胸墙内设水电管沟并兼顾门机前轨,胸墙后方设置 1 条独立轨道梁,基础采用直径 600 mm 间距 2 520 mm 的 B 型 PHC 桩(壁厚 130 mm)。钢管桩主要起到支撑门机前轨和抗水平土压力的作用并形成直立岸壁,根据受力需进入强风化泥质粉砂岩或中风化泥质粉砂岩;钢管桩间采用钢板桩连接形成整体,钢板桩需穿透软弱土层进入相对密实的粘土层或砂层,主要起到挡土作用。钢管板桩方案典型断面如图 4 所示。

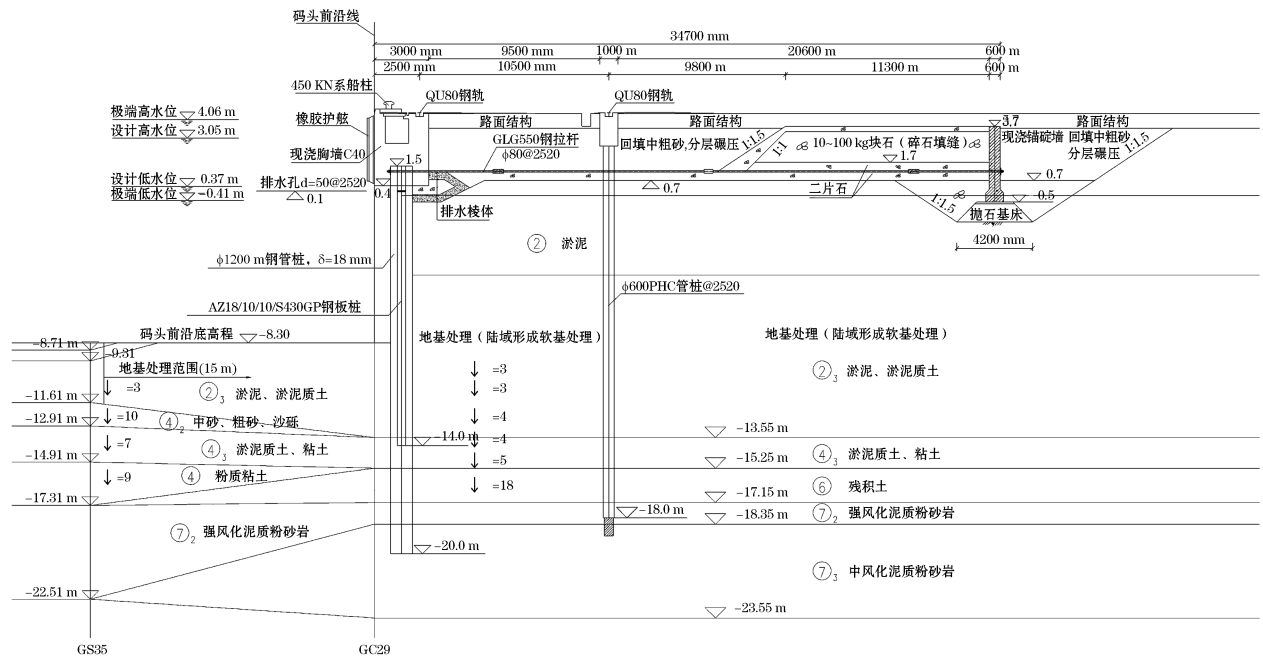


图 4 钢管板桩方案典型断面
Fig.4 Typical section of the steel tubular piled scheme

3.2 钢管桩方案

钢板桩前墙采用壁厚 17.0 mm 的 AZ52-700 热轧钢板桩(材质 S430GP),胸墙后方设置 2 条独立轨道梁,基础采用直径 600 mm 间距 2 520 mm 的 B 型 PHC 桩(壁厚 130 mm)。其余结构与钢管板桩方案相同。钢管板桩和钢板桩方案前墙结构见图 5。

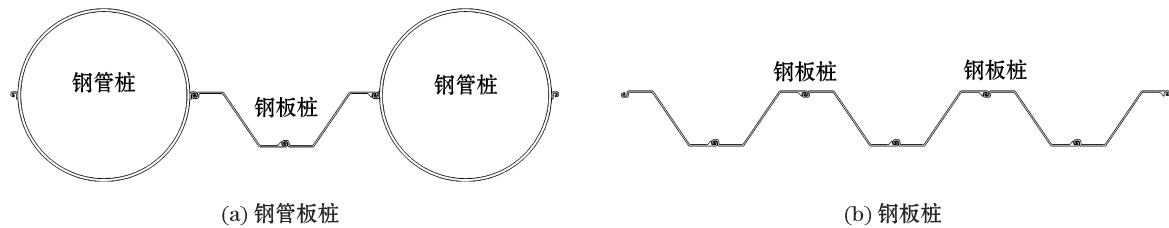


图 5 前墙结构

Fig.5 The front wall structures in the steel tubular piled and the steel sheet piled schemes

4 受力分析

目前板桩码头计算理论以弹性线性法、竖向弹性地基梁法为主。在内力分析时,多采用有限元计算方法进行二维或三维模拟分析,有限分析方法主要分为模拟土体、考虑土体结构相互作用和人工施加土压力对结构进行静力分析两种。模拟土体的有限元分析主要采用 PLAXIS3D, PLAXIS2D 和 ABAQUS 等软件^[5-8],人工施加土压力、对主体结构进行静力分析的有限元分析主要采用 ANSYS, ROBOT, WALLAP 和 SAP2000 等软件^[5-8]。

4.1 内力计算

本文采用“弹性线法”计算前墙踢脚稳定性、采用 SAP2000 进行内力分析,并将主体结构简化为二维模型来解决。钢板桩结构受力结构为钢板桩,钢管板桩结构主要受力结构为钢管桩,钢管桩整体刚度、截面抵抗矩等远大于钢板桩,钢管板桩方案前墙受力时考虑组合结构共同受力。

前墙、锚碇墙与土体之间模拟简化为弹簧,前墙、锚碇墙、拉杆简化为杆件结构,前墙、锚碇墙受到土体、均载等作用作为主动土压力施加在结构上,计算模型图 6 所示,内力计算结果如表 2 和图 7 所示。

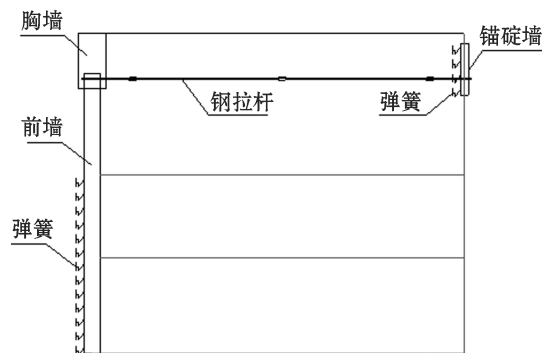


图 6 计算模型

Fig.6 Computation model

表 2 主要计算结果

Table 2 Main calculation results

方 案	前墙最大弯矩 /(kN·m)	前墙应力 /MPa	设计值 /Mpa	拉杆拉力 /kN	桩顶位移 /mm	踢脚稳定性 系数	锚碇墙 稳定性系数
钢管板桩结构	1 667.3	243.3	350	413.5	47.1	1.44	1.25
钢板桩结构	1 808.7	350.9	388	428.3	60.5	1.44	1.21

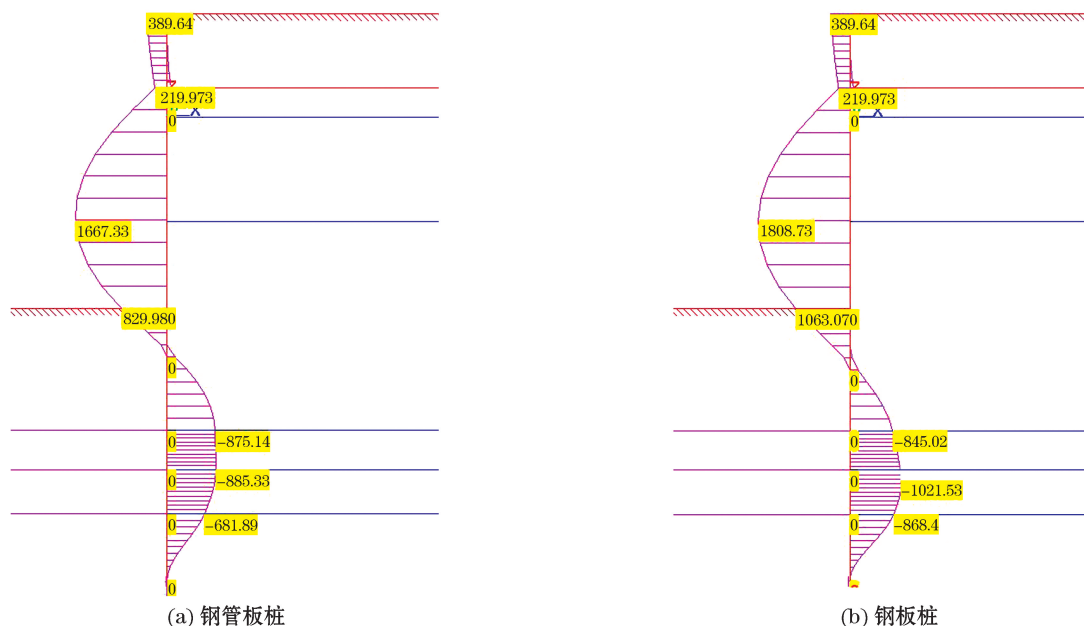


图 7 钢管板桩和钢板桩前墙弯矩(kN·m)

Fig.7 The front wall bending moments of the steel tubular sheet pile and the steel sheet pile (kN·m)

4.2 主要结论

分析上述计算结果可知:

1) 抗弯和抗变形能力方面:钢管板桩结构的桩身弯矩和桩顶位移均小于钢板桩结构。钢管板桩主要受力结构为钢管桩,其间连接用钢板桩主要作用为挡土,钢板桩结构为薄壁结构,钢管板桩结构截面抵抗距强于钢板桩结构,刚度更大,因此钢管板桩结构较钢板桩结构,整体性更好、抗弯、抗变形能力更强。

2) 桩身应力和对软弱土层的适应性方面:钢管桩结构桩身应力小于钢板桩结构桩身,本项目钢板桩方案中选取的钢板桩型号为 AZ52-700N 型,为抗弯能力较强的 AZ 型钢板桩,本区域地质条件复杂,存在表层淤泥、淤泥质土更厚的钻孔,在局部会区域出现钢板桩应力超标问题,为解决钢板桩应力超标问题,需加大地基处理深度,在软弱土层较厚的区域钢管板桩结构较钢板桩结构有更强的适应性。

3) 拉杆拉力及锚碇墙稳定性方面:由于钢管桩具有更强的抗变形能力,钢管结构产生的拉杆拉力小于钢板桩结构的拉杆拉力,这使得钢管桩结构的锚碇结构较钢板桩结构具有更好的稳定性,这种现象随着软弱土层的增加更加明显。

5 施工、造价分析

5.1 施工分析

驳船泊位工程区域岩面高程变化大,强风化岩面顶标高为 $-12 \sim -22$ m,着重结合地质条件对施工方面进行比较分析:

1) 入岩可行性:由于岩面起伏较大,钢板桩在部分区域需进入强风化泥质粉砂岩,在施工过程中存在较大的难度,且易出现桩底卷边、桩身偏位问题。钢管桩通过重锤轻打可有效打入岩层,易保证施工质量,钢管桩结构对复杂地质,尤其岩面起伏较大的结构适应性更强。

2)竖向承载力:钢板桩桩底面积较小,竖向承载力较低,不能兼作轨道梁基础,需单独设置轨道梁基础。钢管桩可作为轨道梁基础,减少 1 条轨道梁桩基,可节省施工工期。

5.2 造价分析

钢板桩方案与钢管板桩方案主要区别在于前墙结构和前轨道梁基础,造价分析主要对比工程量差异部分,以一个完整的钢板桩、钢管桩组合长度 2.52 m 范围内的工程量进行对比分析(表 3)。

表 3 造价对比分析
Table 3 Comparison and analysis of the cost

项 目	钢板桩结构	单价/元	合计/元	项 目	钢管板桩结构	单价/元	合计/元
钢板桩/t	13.47	8 600	115 842	钢板桩/t	2.49	8 600	21 414
PHC 桩/m	21.0	365	7 665	钢管桩/t	13.64	6 421	87 582
防腐涂层/m ²	47.0	150	7 050	防腐涂层/m ²	65.4	150	9 810
PHC 桩桩芯混凝土 (每立方米含钢量 453 kg)/m ³	0.236	5 178	1 222	钢管桩桩芯混凝土 (每立方米含钢量 90 kg)/m ³	4.79	2 578	12 349
总计/元			131 779	总计/元			121 074
折算每延米费用/元			52 293	折算每延米费用/元			52 045

由表 3 可知,由于钢板桩每吨单价较钢管桩每吨单价高,且钢板桩方案增加了一排 PHC 桩,钢管板桩结构方案每延米造价与钢板桩结构方案稍有节省,节省约 247 元/m。

6 结 语

通过分析广州港新沙港区板桩码头工程可知,钢管板桩在抗弯、抗变形、对复杂地基(软弱土层较厚、岩层标高较高的地基)的适应性、兼顾竖向桩基基础方面更具有优势。在复杂地质条件下,相比钢板桩结构,钢管板桩结构在造价方面并无劣势,在减少一排独立桩基的情况下也会节省工期也有一定的节省。随着码头泊位的大型化和深水化,钢管板桩结构更具有优势,在类似工程设计中可优先采用钢管板桩结构。

参考文献(References):

[1] WANG F Q, LI T H. Feature & App lication of steel tubular-sheet pile structure in deepwater berth[J]. Port Engineering Technology, 2010 (6): 24-26. 王福强,李庭辉. 钢管板桩组合结构的特点及在深水码头中的应用[J]. 港工技术, 2010(6): 24-26.

[2] ZENG Q S. Selection and application of hammer for steel combi-wall in quay wall[J]. Port & Waterway Engineering, 2014 (2): 126-129. 曾青松. 钢管板桩码头中桩锤的选择与应用[J]. 水运工程, 2014(2): 126-129.

[3] HU L W, H J, CHEN L Y. Using P-Y curve method to calculate structure of sheet-pile[J]. Port Engineering Technology, 2001 (1): 24-26. 胡立万,郝军,陈鹭纓. 用 P-Y 曲线法计算板桩结构[J]. 港工技术, 2001(1): 24-26.

[4] LIU Y X, WU L D. Calculation theory and method for covered type of deep water sheet pile wharf[J]. Port Engineering Technology, 2005 (Suppl.1): 33-36. 刘永绣,吴荔丹. 遮帘式板桩码头计算理论和方法[J]. 港工技术, 2005(增 1): 33-36.

[5] DAI J S, WU H. Analysis of displacement of steel tubular-sheet pile structure[J]. Port & Waterway Engineering, 2018(6): 257-263. 戴江山,吴辉. 钢管板桩结构位移分析[J]. 水运工程, 2018(6): 257-263.

[6] ZHU Y, WANG F Q. Finite element calculation methods of steel tubular-sheet pile structures[J]. Port & Waterway Engineering, 2011 (10): 24-27, 32. 朱英,王福强. 钢管板桩结构有限元计算方法[J]. 水运工程, 2011(10): 24-27, 32.

[7] LI Z G, WANG F Q, WANG T T. Application of PLAXIS numerical simulation in calculation of separated unloading type berth structure supported on steel tube sheet piles[J]. Port Engineering Technology, 2017(6): 43-48. 李志刚,王福强,王婷婷. Plaxis 数值模拟在分离

卸荷式钢管板桩码头计算中的应用[J]. 港工技术, 2017(6): 43-48.

- [8] SHI H D, LI D D, YU T S. Static analysis of steel tubular-sheet pile structure based on old wharf renovation[J]. Port & Waterway Engineering, 2019(2): 34-40, 88. 史宏达, 李冬冬, 于通顺. 基于旧码头改造的钢管板桩结构静力分析[J]. 水运工程, 2019(2): 34-40, 88.

Comparison and Analysis of Structural Design Schemes of Sheet Piled Wharf in Xinsha Port Area of Guangzhou Port

LIU Hong-chao, LI Hua

(CCCC-FHDI Engineering Co., Ltd., FHDI, Guangzhou 510230, China)

Abstract: The methods for calculating the main internal forces of sheet piled wharf in the Xinsha Port area of Guangzhou Port are introduced and the proposed schemes of the steel sheet piled structure and the steel tubular sheet piled structure are compared and analyzed particularly in the aspects of structural stress, construction and cost by combining the design, the engineering geological conditions and the construction situation. The steel tubular sheet piled structure is considered to be more reasonable and its major advantages are summarized. Comparing with the steel sheet piled structure, the steel tubular sheet piled structure has the advantages of bending resistance, deformation resistance, adaptability to complex foundations (e.g. the foundation with a thick soft soil layer and a high rock elevation), acting as pile foundation and having high construction speed, and can adapt to the large-scale and deep-water development of the wharf. The Steel tubular sheet can be preferred in similar engineering designs.

Key words: steel sheet pile; steel tubular sheet pile; design scheme; compare and analyze

Received: September 21, 2019