



精轧螺纹吊底平台 在大体积高桩墩台中的应用与创新

姚迪¹, 陈明伟¹, 张福亮²

(1. 中交第二航务工程勘察设计院有限公司, 湖北 武汉 430060; 2. 中交一航局第一工程有限公司, 天津 300456)

摘要: 从工程实际出发, 对墩台施工水上作业平台工艺进行对比分析, 介绍精轧螺纹吊底平台的工艺特点、原理、流程及操作要点。结合全直桩基墩台结构特点, 对桩基与上部结构连接方式的设计进行创新, 在钢管桩外侧设置4块扇形钢板, 并围焊成环形, 与精轧螺纹吊底平台共同形成一种新型组合支承结构, 提高吊底和底模的周转率, 加快工程进度, 确保大体积高桩墩台施工的安全和质量, 经济和技术效益明显。可为类似墩台施工、钢管桩与上部结构连接方式设计提供参考。

关键词: 精轧螺纹吊底平台; 桩基与上部结构连接; 组合支承; 大体积高桩墩台

中图分类号: U65

文献标志码: A

文章编号: 1002-4972(2024)06-0234-05

Application and innovation of precision rolled threaded hanging bottom platform in large volume high pile piers and abutments

YAO Di¹, CHEN Mingwei¹, ZHANG Fuliang²

(1. CCCC Second Harbor Consultant Co., Ltd., Wuhan 430060, China;

2. No. 1 Engineering Co., Ltd. Of CCCC First Harbor Engineering Co., Ltd., Tianjin 300456, China)

Abstract: Based on the engineering practice, the paper compares and analyzes the process of the water operation platform for pier construction, and introduces the process characteristics, principles, flow and operation points of the precision rolled rolling threaded hanging bottom platform. Combined with the structural characteristics of the fully straight pile, the design of the connection between the pile foundation and the upper structure is innovated. Four fan-shaped steel plates are installed on outer side of the steel pipe piles and welded into circular shape, forming a new type of composite support structure together with the precision rolled threaded hanging bottom and bottom mold, accelerates the project progress, ensures the safety and quality of the construction of large volume high pile piers and technical benefits. This can provide reference for similar pier and abutment construction, as well as the design of connection methods between steel pipe piles and upper structures.

Keywords: precision rolled threaded hanging bottom platform; connection between pile foundation and upper structure; combination support; large volume high pile pier and abutment

深水泊位的油气化工码头多为高桩墩式结构, 其工作平台、系靠船墩、系缆墩及引桥墩等通常采用大体积墩台^[1], 其结构质量对水上作业平台的支承要求标准较高。在海边及相关施工水域中, 安全稳定的水上作业平台是控制墩台施工质量、执行技术要求以及保证安全稳定的关键因素。蝶

形布置的高桩码头^[2]需要大量的离岸式大体积高桩墩台, 选择一种有效可靠的水上作业平台, 对保证墩台结构施工质量、提高施工效率具有重要意义。

天津某工程担负着京津冀等北方地区的天然气保障供给任务, 大体积高桩墩台数量多, 对施

收稿日期: 2024-01-04

作者简介: 姚迪 (1982—), 男, 硕士, 高级工程师, 从事水运工程咨询、设计及研究, 项目管理等工作。

工进度要求极为严格,墩台能否如期完工是整个项目成败的关键。结合 EPC 工程项目的特点,前期选择精轧螺纹吊底平台作为墩台的水上作业平台,对全直桩墩台的桩基与上部结构连接方式进行改进,在钢管桩外侧设置 4 块扇形钢板并围焊成环形,与精轧螺纹吊底平台共同组成一种新型组合式支承结构,确保大体积高桩墩台的施工质量和进度,旨在为类似墩台施工、桩基与上部结构连接方式提供参考。

1 工程概况

天津某海港离岸式 LNG(液化天然气)码头水工主体为高桩墩台结构(图 1),其中大体积高桩

墩台共 13 座,分别为 1 座工作平台墩、4 座系靠船墩、6 座系缆墩、2 座补偿平台墩。系靠船墩和系缆墩的桩基为 $\phi 1\ 400\text{ mm}$ 钢管桩,以斜桩布置;工作平台墩桩基为 $\phi 1\ 200\text{ mm}$ 钢管桩,以斜桩和直桩布置;补偿平台墩桩基为 $\phi 1\ 200\text{ mm}$ 钢管桩,结合施工水域受限因素及结构受力特性,以直桩布置。各墩台结构承受较大的水平力,为满足桩基与上部墩台结构连接处能承受桩顶弯矩、剪力和轴向力等作用,桩基均伸入墩台结构 1 倍桩径,钢管桩与墩台之间达到刚性连接^[3]。各墩台厚度均较大,分别为 2.2 或 2.5 m,设计要求分 3 步进行浇筑:第 1 步浇筑 0.8 m,第 2 步浇筑 1.3 或 1.6 m,第 3 步浇筑 0.1 m 厚面层。

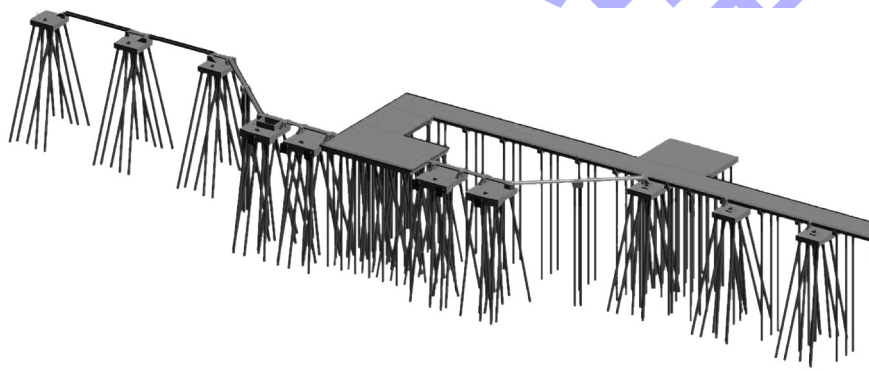


图 1 高桩墩台结构

2 水上作业平台工艺特点及比选

水上大体积高桩墩台混凝土浇筑用的底模和侧模需要可靠的水上作业平台支承,结合工程实践,通过分析传统吊底平台工艺,对钢抱箍工作

平台^[4]、兜攀吊底工作平台及精轧螺纹吊底平台的工艺特点进行对比,见表 1。综合表 1,选取精轧螺纹吊底平台作为离岸式大体积高桩墩台结构水上施工作业平台。

表 1 平台工艺比选

平台类型	特征	安全性	质量易控性	施工效率
钢抱箍工作平台	1)需根据钢桩直径制作特定钢抱箍;2)采用高强螺栓进行紧固抱箍;3)利用钢抱箍与桩的摩擦力固定;4)需定型制作加工	钢抱箍受力分析复杂,安全风险控制点多,安装标准高,安全性低	钢抱箍加工要求高,固定螺栓紧固力要求高,不易于对钢桩防腐层的保护	慢
兜攀吊底工作平台	1)需定型加工兜攀构件;2)桩顶支撑点要求面支撑;3)对深入墩台桩顶高程不得太高;4)不便应用于斜桩结构兜底	适用范围小,不适用于大型墩台或受力较大的结构,不适用于斜桩结构,因此不适合大型钢管桩墩台结构	兜攀构件加工要求高,需要控制焊接质量,不易于调节吊底主梁高程,因此对桩头切割精度要求高	快
精轧螺纹吊底平台	1)利用扁担梁吊筋传力钢管桩;2)施工方便快捷;3)依靠吊筋传力;4)整体稳定受控制	整体受力稳定,安全风险控制点少,需要起重设备配合,安全性较高	满足受力计算要求,利用吊筋固定,可上下调节底板高程	快

3 精轧螺纹吊底平台工艺

3.1 工艺原理

结合墩台桩基础结构形式，利用切割桩头后的钢管桩作为支承基础，在桩顶部设置吊底扁担梁，通过精轧螺纹钢筋连接扁担梁与主梁进行受力传导^[5]。根据墩台结构尺寸、桩间距大小以及单次浇筑厚度等进行受力结构分析，确定单肢吊筋的承受荷载理论值，选定扁担梁、吊筋、双拼工字钢主梁、单拼工字钢次梁以及固定高强螺栓等尺寸型号，满足墩台浇筑以及承载上部荷载的水上施工作业平台，为后续模板支承奠定基础。吊底工艺见图 2。

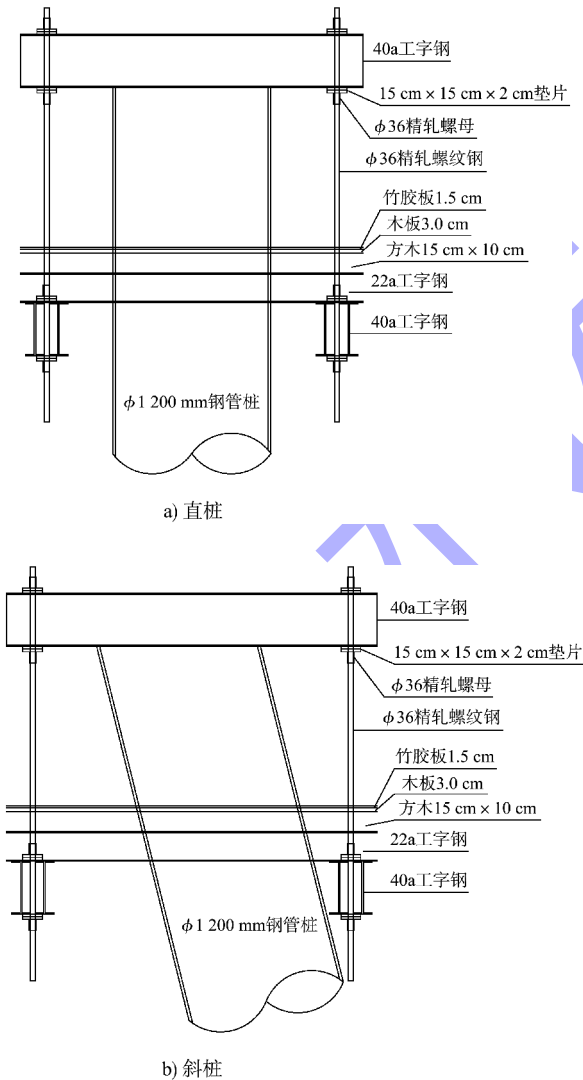


图 2 吊底工艺

3.2 工艺流程

精轧螺纹吊底平台的工艺流程见图 3。

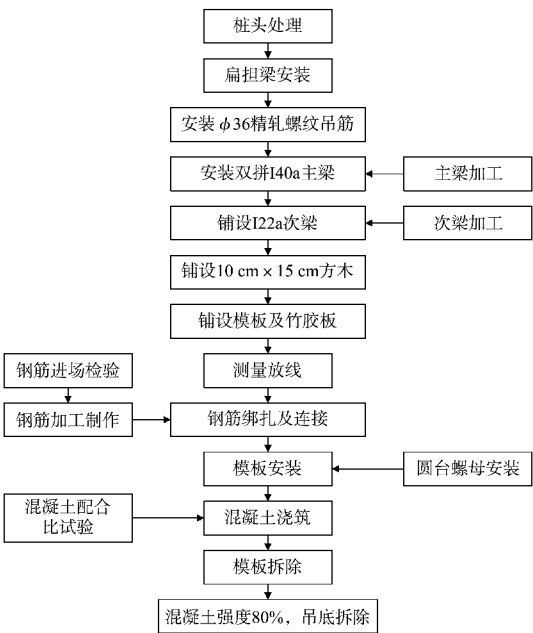


图 3 工艺流程

3.3 工艺操作要点

- 1) 吊底受力需满足施工荷载及单次浇筑混凝土自身荷载的要求，根据结构受力分析结果配置吊底的材料型号及尺寸。
- 2) 扁担梁和主梁采用双拼 I40a 工字钢，上下采用钢板焊接，扁担梁固定在钢管桩中心位置，上端与 $\phi 36$ 精轧螺纹钢筋固定，下端与 $\phi 36$ 精轧螺纹钢筋固定，安装完毕后调整主梁高程。
- 3) 次梁采用 I22a 工字钢与主梁点焊固定，在桩基两侧对称摆放，次梁顶部设置数量配套的硬质方木。木板垂直于次梁方向布置，竹胶板满铺于木板上方，竹胶板间采用泡沫止浆条封堵，桩位处按照桩基形状切割，使用封闭胶进行拼缝封堵，保证模板底部不漏浆。

4 精轧螺纹吊底平台创新设计

根据墩台设计分层浇筑要求和精轧螺纹吊底平台工艺流程，结合项目墩台数量多、工期紧等特点，当墩台第 1 步混凝土强度达到 80% 时，需拆除吊底结构用于下一墩台吊底，提高吊底和底模的周转率，用以加快墩台施工进度。

各墩台桩基均伸入墩台结构 1 倍桩径，只浇筑第 1 步 0.8 m 厚混凝土时，无法将桩顶桩芯钢筋笼与墩台有效连接，此时拆除吊底，第 1 步混

凝土必须有可靠的支撑。对于桩基布置为斜桩的系缆墩、系靠船墩和工作平台墩,可以依靠墩台底部不同斜度和不同平面扭角的桩基共同支撑第1步混凝土。但对于全直桩布置的补偿平台,第1步浇筑完成的混凝土拆除吊底后,只能依靠混凝土与桩基之间的摩擦黏结力来抵抗第1步混凝土的自重力。

通过计算,补偿平台墩长35 m、宽34.5 m、总厚度2.2 m,第1步0.8 m厚混凝土自重力设计值约为27.602 MN,与全直桩之间的黏结力不足以支撑自重力,可能会沿桩基向下滑动,通过在钢管桩外侧增设1圈环形钢板,与精轧螺纹吊底平台共同形成一种新型组合支承结构,应用于支撑第1步浇筑的混凝土,可解决此问题。

4.1 钢管桩与混凝土之间黏结强度取值

国内外对钢管与混凝土之间的黏结强度值的选择有:通过Morishita等^[6]对圆钢管混凝土黏结强度试验研究表明,平均黏结强度为0.2~0.4 MPa;BS5400^[7]和EC4^[8]规定钢管与混凝土之间黏结强度设计值为0.4 MPa;AIJ^[9]规定圆钢管与混凝土之间的黏结强度值为0.225 MPa,对于方形或矩形钢管与混凝土之间的黏结强度值为0.15 MPa。杨有福等^[10]、赵耀灿等^[11]也进行了相关研究。由此可知,国内外均未对钢管与混凝土之间的黏结强度设计值进行统一规定。曾青松^[12]结合工程实践,根据 *Planning, Designing and Constructing Fixed Offshore Platforms-Working Stress Design*^[13],推荐采用钢管内壁与混凝土芯柱间的黏结强度设计值0.184 MPa进行计算。

4.2 钢管桩与混凝土之间黏结力计算

补偿平台墩共设置30根全直 $\phi 1\ 200$ mm钢管桩,第1步0.8 m厚混凝土与钢管桩的总黏结面积为90.48 m²,总黏结力为16.648 MN。总黏结力小于第1步混凝土自重力,若拆除底模,已浇筑的混凝土结构会出现向下滑移的现象,导致第1步浇筑的墩台结构底部高程与设计高程出现较大偏差,影响整个上部结构的施工质量以及后期使用。

4.3 桩基与上部结构连接方式

1) 在钢管桩外侧位于墩台底部钢筋保护层处加焊2 cm厚的Q235环形钢板,为保证环形钢板与钢管桩和墩台底部钢筋焊接施工的方便性,将

环形钢板四等分成横截面积为90°的扇形钢板。

2) 4块扇形钢板交错间隔对称焊接在钢管桩外侧围成环形钢板,角焊缝高度14 mm;墩台底部钢筋遇环形钢板搁置在环形钢板顶部,并与环形钢板单面焊接固定连接,钢筋焊接长度不小于10倍钢筋直径,见图4。

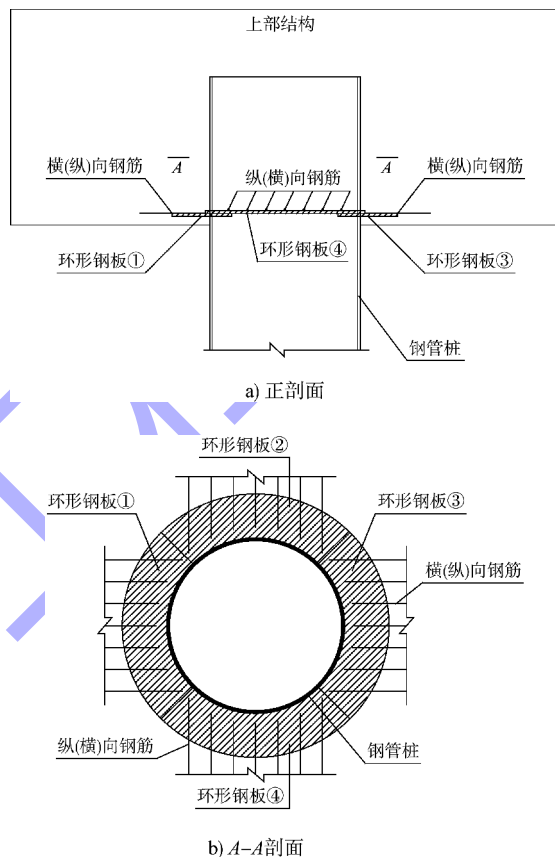


图4 环形钢板与钢管桩、钢筋连接

3) 拆除第1步浇筑混凝土的底模后,其自重力及上部施工荷载通过墩台底部钢筋传递至环形钢板与钢管桩的角焊缝上,由焊缝的抗剪力承担混凝土自重力。

4) Q235钢的角焊缝抗剪强度设计值为160 N/mm²,经计算,30根全直 $\phi 1\ 200$ mm钢管桩外侧高度14 mm环形角焊缝的总抗剪力设计值约为253.338 MN,远大于补偿平台墩第1步0.8 m厚混凝土自重力设计值,并可以同时承受第2步浇筑的混凝土达到设计强度前的自重力和施工荷载。

5 效益分析

5.1 经济效益

1) 精轧螺纹吊底平台可减少材料的一次性投

入量,节约人工及设备投入台班数量,采用的型钢材料能够重复使用,材料反复使用效率相比传统平台提升 50%。

2) 能够避免对平台支承结构的定型加工,降低铁件材料的加工费用,提升材料的投入效率、加快材料的使用周转效率,节约 60%铁件加工成本。

5.2 技术效益

1) 提升墩台结构质量控制及安全保证措施,全过程控制墩台底高程偏差,工艺简单,高程控制质量水平提升明显,基本保证墩台底高程合格率 100%。

2) 工程使用的离岸式大体积高桩墩台结构数量多,施工区域狭窄,受通行 LNG 船舶影响大、施工安全等级高,通过精轧螺纹吊底平台运用,合理调配自有型钢结构等材料,提高材料周转率,降低损耗量,大大提升了墩台施工效率,将原有总体施工计划提前 15 d。

3) 墩台施工整体质量稳定可控,墩台结构尺寸均满足设计及规范要求。

4) 钢管桩与上部结构连接方式的设计创新,与精轧螺纹吊底平台共同形成一种新型组合支承结构,并应用到大体积高桩墩台施工中,取得了良好的效果。

6 结论

1) 精轧螺纹吊底平台工艺可减少材料一次性投入,吊底型钢能够重复使用,提升材料的投入效率、加快材料的使用周转效率,节约材料加工成本,经济效益明显。

2) 精轧螺纹吊底平台工艺可有效提升墩台施工安全稳定性,保证安全措施落实到位,安全质量易控,技术效益明显。

3) 较好的桩基与墩台上部结构连接方式,大大降低了水上施工难度。

4) 在钢管桩外侧设置 4 块扇形钢板,并围焊成环形钢板,方便墩台底部钢筋与环形钢板之间焊接固定,构造一种钢管桩与墩台底部钢筋连接的措施,加强钢管桩与上部墩台结构之间的连接性和整体性。环形钢板与精轧螺纹吊底平台共同形成一种

新型组合支承结构,抵抗全直桩基墩台第 1 步浇筑混凝土的自重力,提高吊底和底模的周转率,加快工程进度,结构简单,操作方便,可为类似钢管桩基与上部结构的连接方式设计提供参考。

参考文献:

- [1] 中交第一航务工程局有限公司. 港口工程施工手册(下册) 高桩码头[M]. 2 版. 北京: 人民交通出版社股份有限公司, 2015: 1121-1126.
- [2] 中交水运规划设计院有限公司, 中交第一航务工程勘察设计院有限公司. 海港总体设计规范: JTS 165—2013[S]. 北京: 人民交通出版社, 2014.
- [3] 中交第三航务工程勘察设计院有限公司. 水运工程桩基设计规范: JTS 147-7—2022[S]. 北京: 人民交通出版社股份有限公司, 2022.
- [4] 林良恩. 钢抱箍法在海外某高桩码头承台施工中的应用[J]. 珠江水运, 2020(13): 54-55.
- [5] 张福亮, 张乃超, 张亮, 等. 一种离岸大体积墩台精轧螺纹吊底组合平台: ZL 2021 2 2164949. 3[P]. 2022-04-12.
- [6] MORISHITA Y. TOMII M. YOSHIMURA K. Experimental studies on bond strength in concrete filled square and octagonal steel tubular columns subject to axial loads[J]. Transactions of the Japan concrete institute. 1979 (1): 359-366.
- [7] British Standards Institutions. Concrete and composite bridges: BS 5400 Part 5 [S]. London: British Standards Institutions, 1979.
- [8] European Committee for Standardization. Design of steel and concrete structures: Eurocode 4[S]. Brussels: European Committee for Standardization, 1994.
- [9] Architectural Institute of Japan. Recommendations for design and construction of concrete filled steel tubular structures: AIJ[S]. Tokyo: Architectural Institute of Japan, 1997.
- [10] 杨有福, 韩林海. 钢管与混凝土之间粘结强度的探讨[C]// 第十三届全国结构工程学术会议论文集. 北京: 《工程力学》杂志社, 2004: 151-154. [11] 赵耀灿, 刘佳. 方钢管混凝土粘结强度的计算方法[J]. 科技信息, 2011(5): 732-733.
- [12] 曾青松. 钢管桩桩芯混凝土设计的探讨[J]. 中国港湾建设, 2004(5): 34-36, 40.
- [13] API. Planning, Designing and Constructing Fixed Offshore Platforms-Working Stress Design: RP 2A-WSD [S]. American : API (American Petroleum Institute), 2014.

(本文编辑 赵娟)