整浇装配式高桩码头关键技术与工程应用探究

马季

中交第四航务工程勘察设计院有限公司，中国·广东 广州 510290

摘要：本文以北海港铁山港西港区啄罗作业区 30 号 5 万吨级石化泊位工程为基础，对整浇装配式高桩码头的技术内容以及工程的适应性进行详细的说明，研究组合桩基施工、预制构件的工业化生产、装配安装和节点整浇、面层工艺改进、海洋耐久性控制等方面，在此基础上，总结全过程的质量控制措施以及应用效果。经过研究可知，整浇装配式技术可以保证结构的整体性，也可以提高工业化的建造速度，有关实践可以为其他沿海高桩码头工程给予技术参照。

关键词：整浇装配式；高桩码头；石化泊位；施工工艺；耐久性控制

Research on Key Technologies and Engineering Applications of Monolithic Cast-in-Place Prefabricated High Pile Wharves

Ma Ji

China Communications Fourth Marine Engineering Investigation and Design Institute Co., Ltd., China Guangdong Guangzhou 510290

Abstract: Based on the 50,000-ton petrochemical berth project No. 30 in the Zhuoluo Operation Area of the Tieshan Port West Wharf, Beihai Port, this paper provides a detailed explanation of the technical aspects and applicability of monolithic prefabricated high-pile wharves. The study focuses on the construction of composite pile foundations, industrialized production of prefabricated components, assembly and installation, monolithic joint pouring, surface layer process improvements, and marine durability control. On this basis, the quality control measures and application effects throughout the entire process are summarized. The research demonstrates that monolithic prefabrication technology ensures structural integrity while enhancing industrialized construction speed. The relevant practices can serve as a technical reference for other coastal high-pile wharf projects.

Keywords: Integral cast-in-place prefabricated; High-pile wharf; Petrochemical berth; Construction technology; Durability control

0 引言

目前我国有关整浇装配式高桩码头的系统工程实践总结比较少，对于北部湾地区复杂地质、气象条件下的石化码头来说，其关键技术、管理经验还需要进一步总结。

1 工程概况

北海港铁山港西港区啄罗作业区 30 号泊位工程处在广西北海市铁山湾的西岸，属于中国石化北海炼化所建的 5 万吨石化专用码头，也是北部湾地区成品油运输网络的主要节点。项目建设一个 50000DWT 的液体散货泊位，可以停靠一艘 5000DWT 的成品油船、一艘 3000DWT 的成品油船，满足北海炼化成品油外输、配套储备基地周转的需求。

工程建设的内容就是码头的主体结构、引桥、接岸管廊和道路、油气回收系统、水电油气管线、辅助建筑物、停泊回旋水域的疏浚等各个方面的工程。码头岸线总长为 325m，由长为 55m、宽为 12m 的引桥同陆域相接，陆域上建有 2 层的综合工作楼，即丁类厂房，面积为 1120m^2，1 层的溢油应急设备库，即丙类仓库，面积为 212.2m^2，相应的道路以及地基处理设施也已经建成，安装工程即工艺管道的长度为 10300m，电气电缆的数量为 14.3 万 m，自控、通信、消防系统也已经完成安装，港池疏浚的工程量大约是 400 万 m^3。

码头为连片式高桩梁板结构，由靠船工作平台、4 个系缆墩和混凝土箱梁联系桥组成，引桥用 PHC 管桩和钢管桩做基础，接岸段用灌注桩墩台。工程采用整浇装配式建造方式，纵梁 142 榀，面板 220 块，靠船构件 27 件在工厂预制，横梁、节点核心区、码头面层等部分在现场开展整浇施工。由于项目所在地区台风多，地质条件复杂，在施工期间就会出现纳泥区少、交叉作业的协调工作量大等问题，合同总工期为 660 天[1]。

2 整浇装配式高桩码头关键施工技术

2.1 组合桩基施工与成桩质量控制

桩基就是高桩码头的受力基础，本工程用 PHC 管桩、冲孔灌注桩作为建筑物的基础，布置 PHC 管桩 174 根来承受码头主体以及引桥的竖向荷载，设置冲孔灌注桩 6 根对岸墩台和岸坡进行加固，由于该地区地质情况比较复杂，水上施工环境也较差，因此对成桩的质量进行分级控制。

PHC 管桩在施工的时候用打桩船实施水上沉桩工作，在施工之前依照三维地形模型对桩位进行准确的放样，沉桩主要是按照设计标高来控制，贯入度的检查只是次要的。施工过程中对桩架的垂直度严格控制，用软垫桩帽来减小锤击产生的应力，防止桩头损坏、桩身倾斜，每根桩沉桩之后马上对桩位的偏差予以检查，保证桩位的偏差在规范允许的范围之内。成桩之后用高应变法对单桩的承载力进行检验，用低应变法对桩身的完整性加以检查，抽检的 6 根高应变桩、18 根低应变桩的检测结果都是合格的。

接岸段冲孔灌注桩在岸坡回填砂土平台上建立施工通道，用冲击成孔的方法来适应该地区含砾石的地层。施工过程中对泥浆的比重、黏度进行严格的控制，保证孔壁的稳定，钢筋笼采用整体吊装、分节对接的方式，主筋用直螺纹套筒连接来保证对接的准确，混凝土浇筑用导管法落实水下连续作业，对拔管的速度加以准确的控制，防止出现断桩的情况。成桩之后对桩身的质量开展超声波检测以及取芯检测，抽检的 6 根超声波检测桩、3 根取芯检测桩都符合Ⅰ类桩的要求。

2.2 预制构件工业化生产与精度管控

预制构件的生产精度、质量就是整浇装配式码头的保证，本工程预制构件为纵梁、面板、靠船构件三种，建立专门的预制场集中生产，实行工厂化、标准化的控制方式。

模板体系按照构件种类的不同来设置，纵梁用定型钢模，面板用定制的木模，模板的设计考虑结构的刚度以及拆装的速度，在模板的表面涂刷专用的脱模剂来保证混凝土的外观质量。模板安装完毕之后对其几何尺寸进行严格检查，把误差控制在 2mm 之内，给以后的现场装配精度打下基础。钢筋工程在预制场集中下料、数控加工，钢筋骨架在胎架上绑扎，使钢筋的间距、保护层厚度均匀，主筋连接以直螺纹套筒为主，接头的性能符合Ⅰ级接头的要求[2]。

混凝土浇筑用的是商品混凝土罐车，用插入式振捣器分层振捣，对坍落度、振捣时间严格控制，防止出现漏振、过振的情况。养护过程中装设自动喷淋养护装置，即由 DN50 的主管、DN25 的支管所组成的网络布置，装设压力补偿式的喷头，喷头之间的距离为 1.5m，可以对养护面进行全方位的覆盖，具有遥控启停的功能，随着气温、湿度的变化而改变喷淋的次数，在夏季高温的时候可以防止由于人工养护造成的滞后、不均。该系统可以改善混凝土的养护质量，也可以对水资源进行循环利用，符合绿色施工的理念。

构件出运之前对构件的几何尺寸、外观质量、混凝土强度等各方面进行检验，不合格的构件不能流转出去。在运输过程中用汽车吊把构件吊到运输平板车上，在运输过程中由于临时加固而造成的磕碰损伤就小一些，水上构件的转运工作由多功能驳船来完成，整个过程都是平稳的。本工程所有的预制构件出厂验收合格率都达到了 100%，给现场的装配施工打下了良好的质量基础。

2.3 构件装配安装与现浇节点整浇技术

预制构件的安装以及节点的整浇属于整浇装配式码头的主要工作，对结构的整个受力情况起着决定性的作用，本工程按照由下到上、先主梁后面板的顺序安装，水上构件用多功能驳船加上履带吊来安装，引桥段依靠钢栈桥上的汽车吊进行作业。

构件吊装之前，在桩顶上设置临时支撑、标高调节装置，根据测量控制点准确地对支撑的顶面标高进行调整，把误差控制在 ±3mm 之内。纵梁吊装就位之后马上对轴线的位置以及标高进行调整，经过检查没有问题之后就进行临时固定，防止构件出现滑移或者倾覆的情况。面板安装按照由岸到海、逐跨前进的方式进行，把板缝的宽度控制在设计的范围之内，给以后的整浇面层提供良好的作业条件。靠船构件的安装主要是对垂直度和前沿线的位置进行控制，保证护舷安装之后的线形是平顺的。

节点整浇就是把预制构件和桩基结合起来受力的过程，本工程现浇横梁用钢抱箍支撑体系，在前沿侧用组合钢模，在后沿用木模加固，模板支撑系统都经过受力的计算，保证浇筑过程中刚度、稳定性能达到要求。由于节点处的钢筋施工属于工序的难点，预制构件留下的钢筋同桩顶的锚固钢筋、横梁的主筋相交的地方很多，施工之前对钢筋进行碰撞的模拟，对绑扎的顺序加以改善，焊接同直螺纹相接起来，使接头的性能可以达到标准。新旧混凝土结合面凿毛处理，浇筑前洒水湿润，涂刷界面剂，提高新旧混凝土的粘结强度。

横梁混凝土用分层浇筑的方法，每一层的厚度不大于 500mm，用插入式振捣器对混凝土进行充分的振捣，主要是对钢筋密集的地方进行振捣，防止出现蜂窝麻面之类的外观缺陷。浇筑完毕之后立即进行覆盖养护，对外部和内部的温度差加以严格的控制，防止大体积混凝土出现温度裂缝。由于现浇横梁同预制构件、桩基之间就形成了一个刚性的整体，因此结构受力的连续性可以得到保证。

2.4 码头面层整浇工艺优化

码头面层就是车辆的荷载、堆载以及外界环境的作用对象，由于传统的施工工艺存在龟裂、平整度不好等现象，从而造成结构的观感不良，使用寿命变短。经过对同类工程的经验和教训进行总结之后，在对面层整浇工艺进行系统的改进之后就形成了分层施工、跳仓浇筑、两次割缝这三种技术方案。

结构层和磨耗层分开施工，先浇筑下部结构层，待养护、切缝工作结束之后，再对上部的磨耗层进行浇筑，把面层的收缩应力分层释放出来，从而大大降低了整个工程出现裂缝的可能性。在浇筑的时候用跳仓法施工，把码头面层分成很多条带间隔浇筑，利用仓间应力补偿的作用来减少收缩裂缝的出现。切缝工作做两次，混凝土初凝之后进行第一次软切缝，即面层厚度的三分之一，提前把收缩裂缝的走向确定下来，混凝土终凝之后进行第二次正式的切缝，即达到设计的要求，保证缩缝的功能可以正常发挥[3]。

面层浇筑采用分条、分幅的方式进行，对混凝土的坍落度以及振捣的过程加以严格的控制，对面层表面进行机械收光处理，从而改善面层的平整度和密实度。在养护的时候用保湿土工布遮盖起来，洒水养护的时间也相应地延长。由于工艺的改进，本工程码头面层出现的裂缝就得到了很好的控制，整个工程的观感质量明显提高，平整度、抗裂性比传统的施工方法好。

2.5 海洋环境下的耐久性施工控制

对北部湾海洋氯盐腐蚀环境而言，本工程就材料的选择、施工的控制、性能的检验各个方面创建起耐久性控制体系，从而保证码头在设计使用年限内结构的安全。

材料配合比设计的时候，在混凝土中加入粉煤灰、矿粉等矿物掺合料，采用高效减水剂对混凝土的孔隙结构进行改善，从而使得基体的密实度得到提高，另外在混凝土中加入抗腐蚀增强剂，可以改善混凝土的抗氯离子渗透性能。主要部位加大钢筋的保护层厚度来加强防腐，这样就形成了材料和构造两个方面的防护。

施工过程中对混凝土的振捣质量进行严格的控制，保证结构的密实度，预制构件在工厂里进行养护，水化反应完全，现浇结构由于养护时间长、湿度小而使强度稳定地增加。结构表面经过硅烷浸渍之后就形成了一个疏水的保护层，切断了氯离子的渗透途径。本工程共做硅烷施工检测 39 组，结果全部合格，混凝土电通量检测结果 24 组都符合高性能混凝土指标的要求，抗氯离子渗透性能达到标准。

在检测过程中对钢筋的保护层厚度进行检验，对混凝土的强度进行回弹检测，对抗渗性能进行检测，从而保证耐久性指标。本工程所抽检的 25 个钢筋保护层、28 个混凝土强度的验证性检测结果都是合格的，给结构的长久耐久性赋予了可靠的数据支持。

3 全过程质量管控与实施成效

3.1 质量管理体系与管控机制

本工程创建起总承包统筹、分包落实、监理监督、第三方检测验证这四个方面的质量保证体系，在总承包项目部成立专门的质量部门，实行三级质量验收制度，建立质量控制点分级管控体系。对 A 级质量控制点进行全过程的旁站监督，隐蔽工程经过监理的验收签字之后才能进入下一道工序。

项目按照水运工程的强制性条文进行施工，在开工之前对水运工程的地基基础、码头结构、质量检验等各方面的规范进行系统的整理，对所有的人员进行培训考核，保证施工过程中的各个环节都是符合规定的。开展首件制、样板引路工作，在桩基、预制构件、横梁浇筑等各个工序开始之前先做首件施工，对工艺参数和质量控制的重点进行总结之后才开始全面展开，从而可以有效地防止出现大批量的质量问题。

3.2 数字化技术赋能质量管控

项目采用 BIM 技术、智慧工地的管理方法，从而改善质量控制的细致程度。创建起疏浚水域的三维地质模型，对地形以及水深的情况进行准确的模拟，对基槽开挖施工方案加以改进，创建起建筑、结构、机电各个方面的 BIM 模型，在设计的时候就可以把出现的设计错误、遗漏、碰撞等状况给发现出来，从而可以减少现场的设计变更。依照 BIM 模型制作施工漫游动画，把码头的结构以及管线的布置表现出来，对现场的施工和交叉作业进行指导，使施工的差错率变低。

4 结语

该工程的技术实践和管理经验给其他类似的高桩码头建设提供一定参照，之后可以对装配率更高的技术途径加以研究。

参考文献：

[1] 张跃博. 装配式预制构件在港口码头结构设计中的应用技术分析[J]. 珠江水运，2026(13):41-43.

[2] 刘国宝，沈树茂，曹安琪. 高桩码头后平台装配式 T 梁结构体系研究及应用[J]. 水运工程，2026(6):59-65.

[3] 白汶达，王文欢，郝小丽等. 码头装配式沉箱结构设计及有限元分析[J]. 中国港湾建设，2026,46(5):82-88.

作者简介：马季（1992.11-），男，河南信阳人，汉族，本科，助理工程师，研究方向：从事水工研究。