



智能化管控在钻孔灌注桩施工全过程中的应用

郭德宇¹, 曲贝贝¹, 赵建豪², 侯 婕²

(1. 中交天津航道局有限公司, 天津 300042; 2. 中交(天津)生态环保设计研究院有限公司, 天津 300461)

摘要: 钻孔灌注桩是航道整治工程构筑物的基础结构形式之一, 具有承载力高、强度刚度大、桩身变形小等优点, 但作为隐蔽工程却存在施工监测难、信息化管控水平较低等问题。依托京杭运河长江口门段航道整治工程, 基于北斗定位技术、接触式仪器组合法、谐振音叉传感技术、BIM 技术以及智慧工地管理云平台, 应用相应的施工智能化设备, 实现对钻孔灌注桩施工中测放桩位、成孔检查、泥浆监测、混凝土浇筑及质量溯源的智能化管控。通过一体化管控平台集成各类监控设备, 形成灌注桩施工全过程的智能化监测模式, 实现工地施工及管理的数字化、精细化、智慧化, 提升工程建设项目的施工质量和技术管理水平。

关键词: 护岸工程; 灌注桩; 智慧工地; 智能化管控; BIM

中图分类号: U 443.15⁺4

文献标志码: A

文章编号: 1002-4972(2021)09-0206-06

Application of intelligent management and control in the whole process of bored pile construction

WU De-yu¹, QU Bei-bei¹, ZHAO Jian-hao², HOU Jie²

(1. CCCC Tianjin Dredging Co., Ltd., Tianjin 300042, China;

2. CCCC (Tianjin) Eco-Environmental Protection Design & Research Institute Co., Ltd., Tianjin 300461, China)

Abstract: Bored pile is one of the basic structural forms of waterway regulation engineering structures, which has the advantages of high bearing capacity, high strength and stiffness, small deformation of pile body, etc. However, as a concealed project, it has the problems of difficult construction monitoring and a low level of information management and control. Relying on the waterway regulation project of the Yangtze River Estuary of the Grand Canal, and based on the Beidou positioning technology, contact instrument combination method, resonant tuning fork sensing technology, BIM technology, and intelligent construction site platform, we apply corresponding intelligent construction equipment to realize the intelligent control of pile location measurement and placement, hole inspection, mud monitoring, concrete pouring and quality traceability in the bored pile construction. The integrated management and control platform integrates various monitoring equipment to form an intelligent monitoring mode for the whole process of cast-in-place pile construction, realize the digitalization, refinement, and intelligence of the construction and management on the site, and improve the construction quality and technical management level of engineering construction projects.

Keywords: revetment engineering; cast-in-place pile; smart site; intelligent control; BIM

随着经济社会的快速发展和日益增长的航运需求, 内河航道整治的建设规模不断扩大, 航道等级逐渐提高^[1], 而钻孔灌注桩作为航道整治工

程构筑物的基础结构形式之一, 具有施工方便、实用性强、承载力高、强度刚度大、桩身变形小等优点, 因而被广泛应用于各种码头、护岸工

程中。

目前, 已有学者对灌注桩的承载力、施工方法、质量检测和数值模拟等进行研究及应用, 并多侧重于事后控制和理论分析^[2-5]; 在 BIM 技术应用上, 多在 BIM 模型创建方法、4D 施工进度模拟等方向开展研究应用^[6-7]。而灌注桩属于隐蔽工程, 须在施工现场短时间内连续完成, 施工质量较难监测和检测, 一旦工程完工后发现质量缺陷, 修复难度高, 进而造成重大的经济损失, 因此需要在监测方法、管控方式上进行提升改进。随着工程建设规模和建设等级的不断提高, 在灌注桩的施工和运维各阶段, 传统的实施方法已不能满足建设强度和精度要求, 其施工过程须逐步向智慧化和信息化转变。

针对以上问题, 笔者以京杭运河施桥船闸至长江口门段航道整治工程为例, 基于北斗定位技术、接触式仪器组合法、谐振音叉传感技术、BIM 技术以及智慧工地管理云平台, 应用相应的施工智能化设备, 对钻孔灌注桩施工中测放桩位、成孔检查、泥浆监测、混凝土浇筑及质量溯源进行过程管控, 形成了灌注桩施工全过程的智能化监测模式, 提升了工程项目建设的技术和管理水平。

1 工程概况

京杭运河施桥船闸至长江口门段航道整治工程位于江苏省扬州市, 起自施桥船闸止于六圩长江口, 全长 5.37 km, 按Ⅱ级航道标准整治, 主要建设内容为新建护岸和航道疏浚。新建护岸结构以桩基承台式和格宾式护岸为主, 其中桩基承台式护岸(图 1)全长 5 271 m, 全线需建设 3 944 根灌注桩, 布置形式为双排列式, 受地质条件和河岸走势影响, 各部位桩长、桩径、间距均不相同。钻孔灌注桩施工质量控制要点包括桩位测量放样、过程中的纠偏控制、成孔垂直度、孔深、孔径、泥浆质量^[8], 以及混凝土生产信息的采集、

汇总、分析等质量追溯环节, 亟需新技术、新工艺对施工全过程进行管控, 以提升施工效率及工程质量。

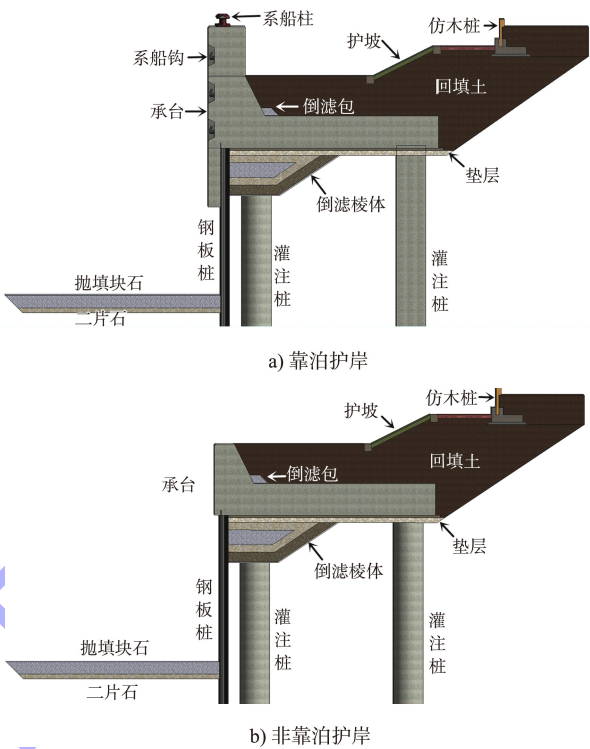
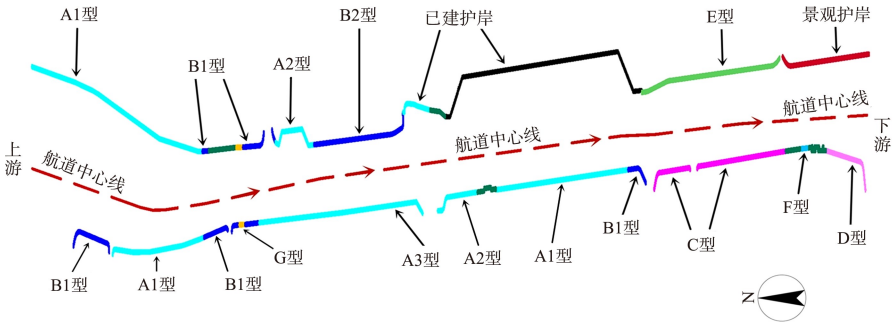


图 1 桩基承台式护岸典型断面

护岸包括停泊区、非停泊区和特殊段护岸, 停泊区护岸解决航道大量船舶无序停靠的问题, 非停泊区护岸改善航道沿线生态环境, 特殊段护岸适用于个别特殊的区域。按照护岸是否具备靠泊功能, 停泊区护岸分为靠泊段和非靠泊段, 均为桩基承台式板桩墙+护坡结构型式。A 型护岸适用于停泊区靠泊段, 根据不同地质情况分为 A1、A2 和 A3 型, 其承台宽度、灌注桩桩径和桩长有所区别。B 型护岸适用于停泊区非靠泊段, 根据不同墙前泥面线和地质情况, 分为 B1、B2 型, 其灌注桩间距、桩长等有所区别。非停泊区护岸采用格宾挡墙生态结构, 分为 C、D、E、G 型。F 型护岸属于特殊段护岸, 位于现有相邻两个码头之间的间隙, 长度仅 19 m, 采用桩基承台式板桩结构(图 2)。各护岸灌注桩分布情况见表 1。



注：A、B、F 型为桩基承台式护岸，C、D、E、G 型为格宾式护岸。

图 2 各类型护岸平面分布

表 1 各护岸灌注桩分布情况

护岸类型	护岸长度/m	灌注桩桩径/m	灌注桩桩长/m	灌注桩间距/m	灌注桩数量/根
A1 型	2 802.3	1.2	20/21	2.5	2 242
A2 型	793.3	1.2	21	2.5	636
A3 型	235.5	1.3	22	2.5	188
B1 型	864.8	1.0	16	3.5	494
B2 型	556.4	1.0	17	3.0	370
F 型	19.0	1.0	17	3.0	14

2 灌注桩施工全过程智能化管控

2.1 测量放样定位

传统灌注桩定位方法为交叉法^[9]，主要采用全站仪或 RTK(实时差分定位)放样。为保证桩机及钻杆位置不发生偏移，必须全过程由测量人员通过全站仪进行前后方交汇测量，或通过 RTK 监测钻杆的平面位置并通过计算得知钻杆的偏移情况。往往偏差较大后才能发现问题，仅能做到事后预警，纠偏时仅能重新微调桩机及钻杆位置。

本工程利用北斗导航定位技术，分别在施工区域和履带式旋挖钻机设置基准站和 workstation，使用基于北斗导航的载波相位差分定位技术^[10-11]对

水平与高程位置进行定位，经坐标换算得出打桩点坐标，并与智慧工地管理云平台上的桩坐标信息进行比对分析，实现对打桩位置的自动定位与导航，使得定位精度满足施工要求^[12-14](图 3)。同时，将桩机施工的数据实时上传到智慧工地管理云平台(图 4)，提升了施工信息化管理水平。该技术的应用可以大幅提高灌注桩钻孔效率，节省打桩人力，改进管理方式。

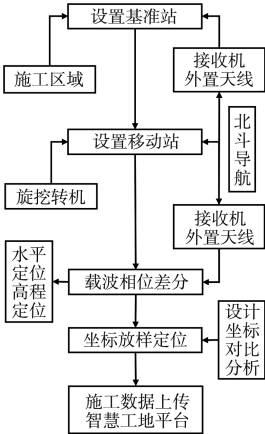


图 3 桩位测量放样流程



图 4 打桩过程实时管控

2.2 成孔检测管控

灌注桩成孔完成后, 多采用测绳及吊锤测量孔深, 但测绳在泥浆和大气环境中切换使用时, 会因形变造成检测误差。探测孔深时, 以吊锤触底作为孔深计算依据, 以绳体瞬时手感触变作为判别依据, 容易产生人为误差。而采用钢筋笼式探孔器进行通过性试验时, 在下放和提升过程中容易对孔壁造成挤压、刮蹭, 严重时会造成二次

塌孔。

以上检测手段无法直观展现测桩孔的孔径周身及孔身整体倾斜变化。通过对传统成孔检查方法进行优化, 使用接触式仪器组合法^[15-16], 利用高精度倾角传感器、微处理器等对成孔进行测量, 可通过成孔及成渣探头对孔径、孔深、垂直度、沉渣以及二清后的沉渣厚度等参数进行实时检测, 并能同时生成三维模型图(图 5)。

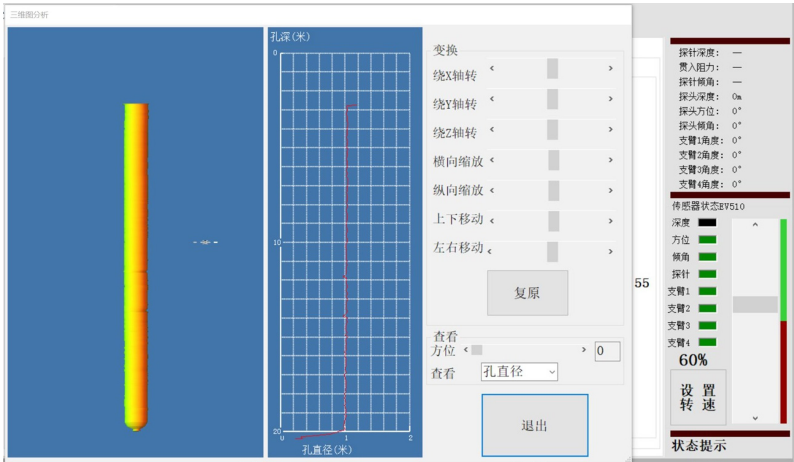


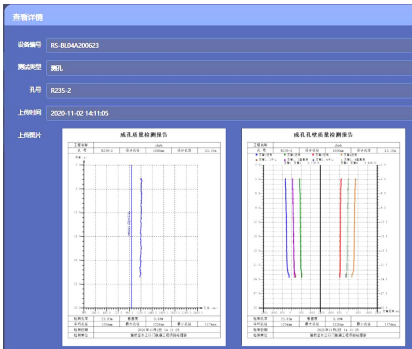
图 5 成孔三维模型

该技术的应用能够取代传统的测绳、钢筋笼探孔器等成孔检测设备, 相较于超声波成孔检测法不受泥浆比重、含砂量、密度、气泡等外界因素影响, 整个操作流程可以在短时间内完成。同

时, 运用物联网技术, 通过传感器可直接将检测数据实时上传至智慧工地管理云平台, 提升了数据信息管理水平, 解决了检测过程信任及追溯难的问题(图 6)。

灌注桩成孔检测				
测试类型: 测孔				
检测列表				
设备编号	测试类型	孔号	上传时间	操作
RS-BLD4A200623	测孔	R235-2	2020-11-02 14:11:05	查看
RS-BLD4A200623	测孔	L430-2	2020-11-02 11:29:02	查看
RS-BLD4A200623	测孔	R224-2	2020-11-01 14:43:14	查看
RS-BLD4A200623	测孔	R226-2	2020-11-01 08:55:21	查看

a) 测孔数据



b) 测孔详情

图 6 灌注桩成孔检测

2.3 泥浆比重检测

泥浆性能指标作为灌注桩施工过程中的重要检测项目, 对成孔质量有很大的影响。目前多采用不等臂天平式泥浆比重测定计测定泥浆比重,

需要试验检测人员及桩机操作人员配合实施, 整个操作专业性要求高, 耗时较长。

本项目采用谐振音叉式传感器实时监测泥浆比重, 通过对制备泥浆、钻孔等施工工序中泥浆

比重的检测方法进行优化，能够实时监测泥浆池中的泥浆比重，监测精度可达 $\pm 0.005\text{ g/cm}^3$ 。通过传感器将数据直接上传至智慧工地管理云平台，施工和技术管理人员可实时查询泥浆浓度，方便对泥浆进行调配，实现了数据信息的可溯性(图 7)。



图 7 泥浆比重检测

2.4 混凝土质量溯源

当前，混凝土质量溯源主要依赖于施工过程资料和档案文件，一旦出现质量问题，只能依靠人工进行资料查阅，管理和实施效率极其低下，仅依据单方面收集的过程资料难以分析工程质量的成因，进而影响后续评估，且无法实现工程质量追溯的准确性与时效性^[17]。

本项目采用 BIM 技术，基于 Dynamo 可视化编程软件(图 8)，通过对灌注桩的排布方式、创建路径、转弯角度、切角向量进行编程计算，实现了对灌注桩沿给定路线、给定间距下的快速放样建模，同时可批量赋予坐标、名称和编号信息，将 BIM 模型上传至智慧工地管理云平台，为灌注桩的测放桩位、智能管控、质量追溯、工序管理等提供模型及属性信息(图 9)。

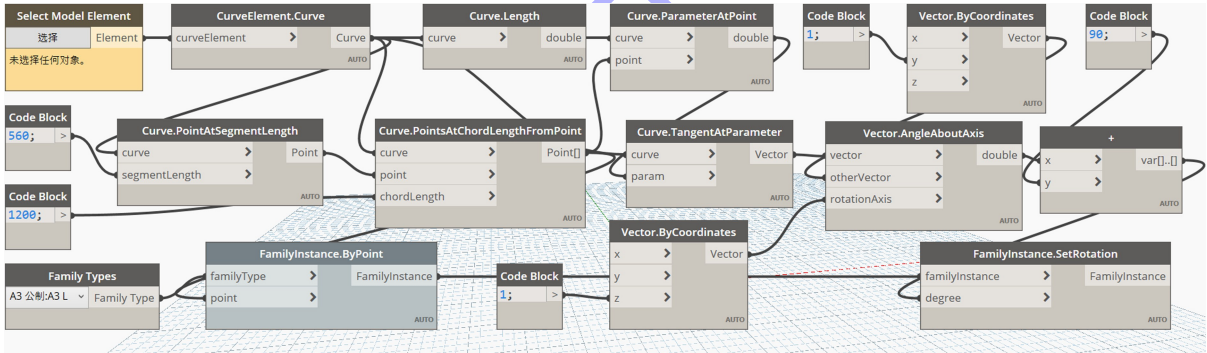


图 8 Dynamo 可视化编程



图 9 桩位分布

基于智慧工地管理云平台，通过对混凝土原材料入仓、拌和时间、试验检测等信息进行统计分析，从源头上加强了数据收集，实现了混凝土拌和过程的实时管控，见图 10a)、b)；同时将每仓混凝土与运输车辆进行绑定联动，通过获取各运输车辆的接料时长、运输时间、运输轨迹等信

息，实现对混凝土运送过程的实时管控，见图 10c)、d)；将运输车辆与浇筑部位、浇筑时间、BIM 模型、施工人员信息进行联动，实现了对混凝土浇筑过程的实时管控，见图 10e)、f)。



a) 产能分析

