

全回转打桩船沉桩效率分析

张敏¹, 石宏¹, 张健²

(1. 中交路桥建设有限公司, 北京市 100027; 2. 中交路桥华东工程有限公司, 上海市 201203)

摘要:温州市域铁路 S3 线附属配套工程(瑞安段)永宁大桥项目是集市域铁路、快速路、一级公路、慢行系统等功能于一体的复合型特大桥,采用双层桥梁建设。跨飞云江主桥部分设计采用主跨 260 m 刚性悬索桥,水中设计 7 个墩。桩基钢护筒及钢管桩均采用全回转打桩船“海力 801”进行沉桩。通过对永宁大桥钢护筒及钢管桩沉桩效率进行分析,总结相关经验,为后续海上、跨江桥梁工程沉桩施工提供借鉴意义。

关键词:刚性悬索桥;全回转打桩船;沉桩效率

中图分类号: U445

文献标志码: B

文章编号: 1009-7716(2024)10-0225-04

1 工程简介

温州市域铁路 S3 线附属配套工程(瑞安段)永宁大桥项目北起飞云江北岸瑞光大道,南至飞云江南岸纬五路附近,长约 3.127 km,其中跨江范围长约 1.1 km。本项目集市域铁路、快速路、一级公路、慢行系统(人行道/非机动车道)、市政管线过江等功能于一体,采用双层桥梁建设。

永宁大桥是浙江省首座“三桥合一”的复合型交通特大桥,涉及城市、公路和轨道交通三种技术标准,也是国内迄今为止最大跨度的公轨两用多塔钢桁梁悬索桥。

水域正桥从北至南桥跨布置依次为:(90+90)m 简支钢桁梁+(140+200+260+140)m 刚性悬索桥+(90.4+94.6)m 简支钢桁梁,全程 1 105 m,是全线的控制性工程,见图 1。

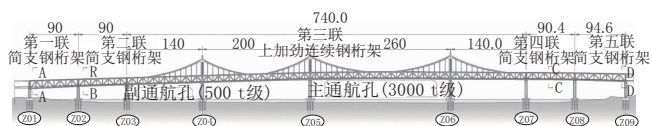


图 1 永宁大桥跨江正桥总体布置图(单位:m)

主桥横跨飞云江,水中共计 7 个墩(Z02~Z08)。桩基钢护筒共计 139 根,其中 Z02、Z08 墩钢护筒直径 2.1 m,壁厚 20 mm,最大长度 52m;Z03、Z07 墩钢护筒直径 2.3m,壁厚 20 mm,最大长度 52 m;Z04、Z05、Z06 墩钢护筒直径 2.8 m,壁厚 24 mm,最大长度 48 m;材质均为 Q345C 低合金钢,最大重量 82 t。

收稿日期: 2023-07-15

作者简介: 张敏(1991—),男,学士,工程师,从事桥梁施工工作。

平台钢管桩均采用 $\Phi 1\ 020\ \text{mm} \times 10\ \text{mm}$ 钢管桩,桩长 48 m,重量 12 t,全桥共计 361 根。钢护筒底部进入黏土层及粉质黏土层,约 5~8 m。

2 沉桩设备选择

随着国内大型桥梁工程和港口工程的快速发展,沉桩设备也在往更大桩径、更高桩架、更大吊重的方向发展,涌现出了“雄程”、“一航津桩”等一系列“大国重器”,并在各类工程中崭露头角。

目前国内主流的打桩船主要分为固定桩架式和全旋转桩架式两种,我公司自有的“路建桩 8”号为固定桩架式打桩船(见图 2),已经参建了东海大桥、港珠澳大桥、舟岱跨海大桥等国内重点桥梁项目,性能参数见表 1。全旋转桩架式打桩船以“海力 801”为代表,参建了象山港大桥、杭州湾大桥及海上风电工程等诸多项目,性能参数见表 2。



图 2 “路建桩 8”号打桩船

表 1 “路建桩 8”号性能参数

船型尺寸	桩架形式	桩架高 / m	吊桩重 / t	沉桩长 / m	桩锤	定位方式
60 m × 27 m × 5 m	固定桩架	99	160	86	D180	GPS

表2 “海力801”号性能参数

船型尺寸	桩架形式	桩架高/ m	吊桩 重/t	沉桩长/ m	桩锤	定位 方式
80 m × 30 m × 6 m	全旋回式	95	100	80	S-280	GPS

根据永宁大桥钢护筒及钢管桩特点,“路建桩8”号和“海力801”号打桩船(见图3)均能够满足本项目需要。由于“路建桩8”号的倒架高度(48 m)超过了永宁大桥下游侧的瑞安大桥和高明大桥的通航净高限制,该船舶无法进入项目现场进行施工,因此,最终选择采用“海力801”号打桩船进行钢管桩及钢护筒的沉桩作业。该打桩船具有以下优势:



图3 “海力801”号打桩船

(1)全回转桩架,吊桩高效

“海力801”号打桩船桩架可360°旋转,在抛锚定位后,运桩船可直接停靠,不需要抛锚。打桩船吊桩、立桩只需要通过旋转桩架即可完成。相比较固定桩架式打桩船通过绞锚的方式进行吊桩、立桩,其效率显著提高,且活动范围更小,对周边环境要求底。

(2)锚泊稳定性好

飞云江属于不规则半日潮,每天2次涨落潮,江水流速大,潮差大,对船舶稳定性影响大。“海力801”号打桩船锚碇系统配备7台50 t锚机和相应的7个10 t铁锚,另有4根1.5 m × 1.5 m × 30 m液压锚碇桩,打桩船驻位稳定性较好。

(3)沉桩适应性强

全旋转桩架可以超出船艏30 m、桩架可以提升18 m,对打桩先后顺序、桩间距离等条件要求明显降低。无需频繁挪船即可进行大面积沉桩。

3 沉桩施工工艺^[1-4]

3.1 沉桩施工顺序

永宁大桥主桥钢桁梁采用双向顶推施工工艺,即南北两岸钢梁均在边跨侧进行拼装,然后逐步向中跨进行顶推施工。因此,其基础钢护筒的沉桩顺序也按照由岸侧向江侧进行,南北岸交替进行。主要沉

桩顺序见表3。

表3 永宁大桥沉桩顺序表

墩位	Z02	Z03	Z04	Z05	Z06	Z07	Z08
顺序	2	3	6	7	5	4	1

3.2 打桩船抛锚定位

(1)采用“GPS定位抛锚”的方法来确保打桩船抛锚的准确性,使得锚绳与船舶的相对位置直观显示在显示屏内,供操作人员实时关注锚绳与船舶的相对位置,确保过往船只的安全。

(2)配备1艘专用抛锚船进行打桩船的抛锚定位,锚绳原则上不侵占既有航道。

3.3 运桩船就位

钢护筒及钢管桩采用运桩船运至施工现场,待打桩船抛锚好后,运桩船靠紧打桩船,完成系缆。运桩船靠泊的时候要注意船艏方向,确保后续打桩船吊桩的时候,桩头朝上(见图4)。



图4 运桩船靠泊打桩船

3.4 打桩船沉桩

3.4.1 吊点连接

打桩船桩架回转至吊钩对准所要吊桩正上方。缓慢下放吊钩准备吊装钢护筒。打桩船下放吊装设备,操作人员将吊装设备安装在钢护筒的吊点位置。钢护筒上共有4个起重吊点和1个立桩吊点,主吊索安装在前2个吊耳,副吊索安装在后2个吊耳上,见图5。钢管桩设2个起重吊耳和1个立桩吊耳。

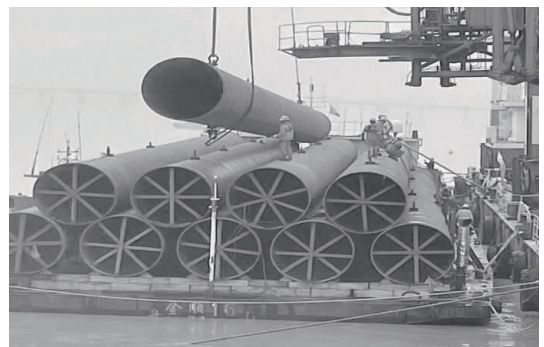


图5 钢护筒吊点连接图

3.4.2 起桩、回转、立桩

钢护筒桩位坐标参数输入后, GPS 定位系统电脑上将显示所有要沉入的钢护筒图形, 根据顺序确定编号, 见图 6。该系统由高精度的三台 trimble5700 双频 GPS 接收机、三台 GPS 大盘天线、两台徕卡免棱镜红外线测距仪、一台摄影机、一个麦克风、一台电脑组成, 可自行放样定位。

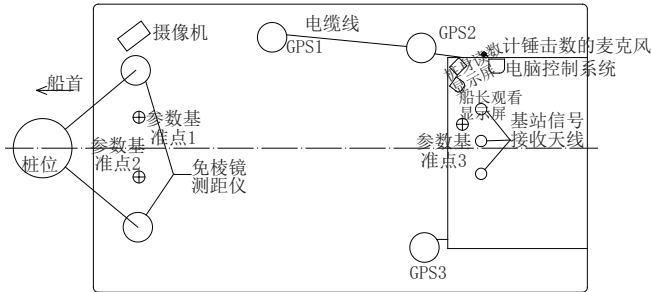


图 6 测量定位系统布置图

打桩船通过紧松锚缆进行移船, 并在过程中缓缓立桩, 使桩成竖直状态, 抱桩器合龙抱桩并锁定。根据“海上打桩 GPS 定位系统”定位, 使钢护筒中心对正设计中心位置, 确认数据无误, 打桩船进行立桩 (见图 7)。



图 7 起桩、回转及立桩图

在飞云江两岸架设全站仪, 通过十字交汇法对钢护筒的桩位坐标和倾斜度进行复测, 其复测结果与打桩船上的 GPS 数据应保持一致, 如果产生偏差, 其偏差应在允许范围内。

3.4.3 沉桩

钢护筒需要锤击沉桩, 松开主吊索, 桩锤沿桩架下滑, 压锤稳桩 (见图 8)。解除抱桩器, 启动打桩锤, 锤击沉桩。沉桩开始阶段重锤轻打, 以防溜桩, 贯入度正常后逐步加大冲击能量。

3.4.4 停锤

当钢护筒及钢管桩的顶标高距离设计顶标高 1 m 左右时, 停锤复测标高, 根据测得的标高及计算的贯入度来确定再次锤击的次数。当锤击次数达到后立即停锤, 复测标高, 满足设计要求时即可停锤, 不满足要求时, 再次锤击。

3.5 复测桩位偏差及垂直度

单根钢护筒沉桩结束后, 应及时用全站仪对钢



图 8 钢护筒沉桩施工图

护筒平面偏位、桩顶高程、倾斜度等复测, 记录相关测量数据, 并及时报验。

4 沉桩精度分析

永宁大桥全桥共计 139 根钢护筒, 平台共计 361 根钢管桩, 每根桩沉桩完成后, 对其平面偏位、桩顶高程、倾斜度进行复测, 平面位置偏差及倾斜度偏差属于精度控制指标, 钢护筒及钢管桩的精度均在允许范围内, 满足规范要求, 具体统计数据见表 4 至表 7。

表 4 钢护筒平面位置偏差表

偏位值 /cm	<2.5	2.5~5	5~7.5	7.5~10	合计
桩数 / 根	31	45	38	25	139
百分比 /%	22.3	32.4	27.3	18.0	100

表 5 钢护筒倾斜度偏差表

偏位值 /cm	<1/400	<1/300	<1/200	<1/150	合计
桩数 / 根	14	36	55	34	139
百分比 /%	10.0	25.9	39.6	24.5	100

表 6 钢管桩平面位置偏差表

偏位值 /cm	<2.5	2.5~5	5~10	10~15	合计
桩数 / 根	35	86	159	81	361
百分比 /%	9.7	61.9	44.0	22.4	100

表 7 钢管桩倾斜度偏差表

偏位值 /cm	<1/400	<1/300	<1/200	<1/100	合计
桩数 / 根	15	77	185	84	361
百分比 /%	4.2	21.3	51.2	23.3	100

沉桩精度影响因素分析:

(1) 涨落潮: 飞云江属于不规则半日潮, 每天 2 次涨落潮, 流速大, 对船舶稳定性影响大, 从而影响沉桩精度, 主要在钢护筒 (钢管桩) 初定位的过程中产生影响。

(2) 天气: 雨雾天气及高温天气, 会影响岸侧全

站仪的观测精度,从而间接影响沉桩精度。

5 沉桩效率分析

永宁大桥钢护筒及临时钢管桩采用全回转打桩船进行沉桩,自2022年5月27日—2022年8月1日,共计66 d,完成主桥139根钢护筒、平台361根钢管桩的沉桩作业,平均每天沉桩8根,最快单日插打钢护筒8根,插打钢管桩达20根。其沉桩工效远超常规“钓鱼法”施工,也比固定桩架式打桩船效率更高。

沉桩效率影响因素分析:

(1)挪船:不同墩位沉桩需要采用拖轮进行挪船,尤其是跨航道挪船需要跟海事部门报备,相关程序手续办理需3 d,经海事部门允许后方可挪船,挪船一般需1 d时间完成起锚、移位、抛锚等过程。而对于非航道挪船,仅需花费1 d时间完成。

(2)更换桩帽:钢护筒与钢管桩交替施工,由于桩径不一致,需要更换桩帽,且每墩更换一次,每换

一次桩帽基本耗时在半天左右,影响整体效率。

6 结语

实践证明,永宁大桥项目主桥钢护筒和平台钢管桩采用“海力801”全旋转打桩船沉桩取得了显著的效果。因其工作精度高、沉桩速度快,环境适应性强等特点,更适用于群桩数量多的海上及江上桥梁施工。

参考文献:

- [1] 永宁大桥项目经理部.永宁大桥水中钢平台安全专项施工方案[Z].银川:永宁大桥项目经理部,2022.
- [2] 王永东,杨胜龙.全旋转打桩船“海力801”超长超重钢管桩沉桩技术[J].中国港湾建设,2011(4):42-46.
- [3] 谢诗咏.大直径环氧涂层钢护筒关键施工技术[J].公路交通科技,2012(12):239-242.
- [4] 汪德隆,曾平喜,宋向荣.杭州湾外海沉桩施工技术[J].水运工程,2005(4):75-80.

(上接第181页)

- [4] 梁庆学,李新星,熊诚.BIM技术在市政道路设计中的应用及难点分析[J].城市道桥与防洪,2018(3):43-45.
- [5] 朱伟南.BIM技术在综合管廊建造过程中的应用[J].城市道桥与防

洪,2020(6):255-259.

- [6] 石胜华.融合BIM与GIS技术的高速公路项目动态管理平台[J].中国交通信息化,2017(11):137-139.