DOI:10.16799/j.cnki.csdqyfh.2024.12.038

深厚淤泥层超长大直径桩基钢护筒施工测量控制技术分析

梁 招[1],张 健[2],张 敏[1],李 义[1],师秀锋[1],郭鑫义[1]
(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 技术中心,上海市 201203)

摘 要: 浙江温州新建永宁大桥位于飞云江下游入海口段,水域部分地质以淤泥质黏土为主,河床以下 30 m 为淤泥不良地质。由于深厚淤泥层对主墩超长大直径桩基钢护筒施工带来巨大困难,为克服江水流速快、定位困难、钢护筒稳定性差等问题,通过对超长大直径桩基钢护筒施工测量控制技术进行分析,采用相应测量控制技术,能保证钢护筒精准沉桩。

关键词: 入海口;深厚淤泥层;钢护筒;测量控制技术
中图分类号: U445.4 **文献标志码:** B **文章编号:** 1009-7716(2024)12-0175-04

0 引 言

近年来,随着国内基建工程的飞速发展,跨海跨江大型桥梁的规模及数量也与日俱增,促使超长大直径类型的桩基钢护筒应用的程度不断提高。目前,我国将深水大直径桩基定义为:流域的水深不低于 6 m、桩基的直径不低于 2 m、钻孔深度不低于 80 m 的桩体。这种类型的桩基施工难度比较大,相应的钢护筒沉桩也十分困难,尤其所面临的地质条件过于复杂,所以在实际施工过程中,会对钢护筒施工测量控制技术进行研究分析[1-2]。

1 工程简介

1.1 项目概况

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、市政管线过江等功能于一体的复合型特大桥,采用双层桥梁建设。该桥是浙江省首座“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。

永宁大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。

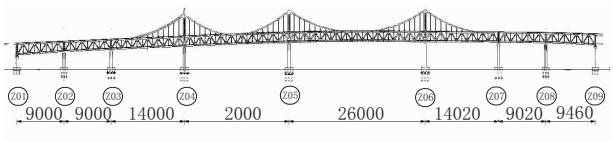

图 1 永宁大桥主桥立面图(单位:cm)

1.2 钢护筒概况

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 52 m;Z03、Z07 墩钢护筒直径 2.3 m,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。钢护筒底部进入黏土层及粉质黏土层,约 5~8 m。桩基及钢护筒概况见表 1。

表 1 桩基及钢护筒概况表

墩号	护筒直径 /m	下部桩径 /m	最大桩长 /m	根数
Z02#、Z08#	2.1	1.8	115	19
Z03#、Z07#	2.3	2.0	114	19
Z04#	2.8	2.5	123	19
Z05#、Z06#	2.8	2.5	123	22

1.3 地质概况

永宁大桥桥址区位于飞云江下游入海口段,地貌单元属滨海堆积平原区,河道呈顺直开阔形,两侧潮间浅滩带发育,因人工筑堤影响,浅滩带缩小。沿线

收稿日期:2024-01-01
作者简介:梁招(1992—),男,学士,助理工程师,从事桥梁施工工作。
通信作者:张健(1995—),男,硕士,助理工程师,从事路桥施工技术研究工作。电子信箱:1453445404@qq.com

河漫滩比较宽广，分布于河床的两侧，沉积物主要为深厚淤泥层。

主桥水域部分地质以淤泥质黏土为主，河床以下 30 m 为淤泥不良地质，见图 2。

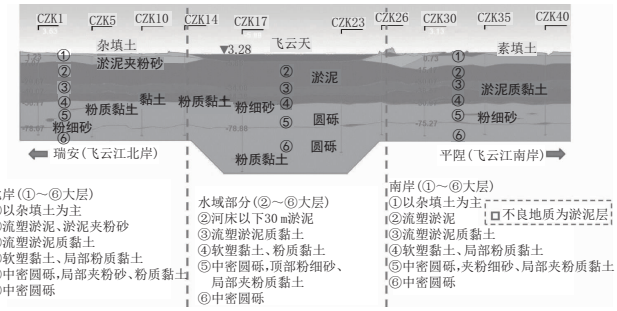

图 2　飞云江地质条件图

2　钢护筒沉桩工艺

本项目超长大直径桩基钢护筒施工采用全回转打桩船“海力 801”进行沉桩[3]。

（1）打桩船采用“GPS 定位抛锚”的方法来确保打桩船抛锚的准确性，配备 1 艘专用抛锚船进行打桩船的抛锚定位，见图 3。

图 3　打桩船抛锚定位

（2）钢护筒运桩船运至施工现场，待打桩船锚抛好后，运桩船靠紧打桩船进行就位，见图 4。

图 4　运桩船靠泊打桩船

（3）打桩船下放吊索，船员将吊索卸扣挂设在钢护筒的吊耳之上，主、副吊索同步提升准备起桩，见图 5。

（4）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，旋转吊机起吊钢护筒，将钢护筒送进抱桩器进行插打，见图 6、图 7。

图 5　打桩船起桩

（a）　（b）

图 6　打桩船立桩

（a）　（b）

图 7　抱桩器合龙锁定

（5）钢护筒自沉稳桩后，慢慢下放主吊索，使钢护筒在重力的作用下自动插桩。插桩过程中逐步解除副吊索卸扣，插桩后再次复核桩位，桩位偏差满足设计要求，可以进行锤击沉桩，见图 8。

（a）　（b）

图 8　钢护筒沉桩

（6）钢护筒顶标高距离设计顶标高约 1 m 时，停锤复测标高，继续锤击，满足设计要求时即可停锤，

不满足要求时，再次锤击，见图 9。

图 9 钢护筒沉桩施工图

3 钢护筒施工控制测量方法计注意事项

为保证深厚淤泥层超长大直径桩基钢护筒沉桩精度、垂直度等满足要求，现场测量控制施工时，分别从平面控制、垂直度控制、高程控制等方面进行精准把控[4-5]。

3.1 平面控制方法

本项目对桩基施工平面位置控制要求在 50 mm 内，故钢护筒插打精度平面位置也应控制在 50 mm 以内。

钢护筒平面位置控制方法采用全站仪极坐标放样法，全站仪架设好完成设站后进入坐标放样界面方位角调整至计算方位角然后测距可得实测点位与设计点位之间的距离，对比钢护筒半径可得钢护筒所需要调整的距离。同理通过拨角法可求得另一个方向所需要调整的值。

此方法对全站仪与钢护筒中心点之间距离有严格要求，当距离不满足要求时是不可取的，以本项目 Φ2 800 mm 钢护筒为例，要求仪器与钢护筒的距离大于 60 m，才可采用以上方法。仪器与护筒因距离所产生的误差见图 10。

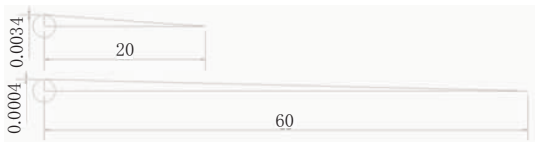

图 10 仪器与护筒因距离所产生的误差示意图（单位：m）

当钢护筒插打完成后，采用三点求圆心的方法求出实际钢护筒的圆心位置并与设计值做对比。

三点求圆心坐标法：仪器架置已知控制点上，设置测站，在精调钢管上部外边缘布置打磨除锈后，任意三个待测点（A 、B、C），测出坐标并记录，设实测坐标为 A（X_A，Y_A）、B（X_B，Y_B）、C（X_C，Y_C）连接 AC、AB、BC 三条边，过三条边的中点做垂线 L_1、L_2、L_3，其中任意两条垂线的交点即圆心 O，见图 11。

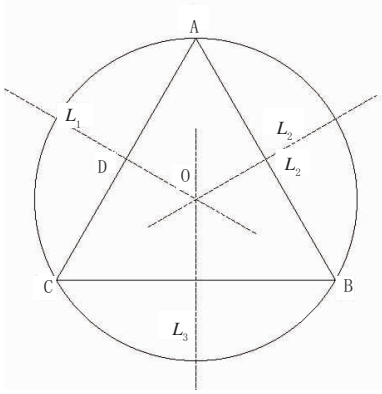

图 11 三点求圆心坐标图

通过已知坐标可求得 L_1、L_2 的斜率分别为 $K_1=-\frac{X_C-X_A}{Y_C-Y_A}$，$K_2=-\frac{X_E-X_A}{Y_E-Y_A}$；中点 D、E 坐标为

$$D\begin{cases}X_d=-\frac{X_A+X_C}{2}\\Y_d=-\frac{Y_A+Y_C}{2}\end{cases},\ E\begin{cases}X_e=-\frac{X_A+X_{AE}}{2}\\Y_e=-\frac{Y_A-Y_E}{2}\end{cases}$$

可求 L_1、L_2 的直线方程：

$Y=K_1X+b_1$、$Y=K_2X+b_2$（将 D、E 两点分别代入所对应方程可求 b_1、b_2）

联立 L_1、L_2 的直线方程：

$$\begin{cases}Y=K_1X+b_1\\Y=K_2X+b_2\end{cases}$$

可求出钢护筒实际状态下的圆心坐标 $O(X_O, Y_O)$，即实测圆心坐标。

3.2 垂直度控制测量方法

钢护筒插打施工中垂直度测量应采用两台全站仪（A、B），A、B 与钢护筒形成夹角接近 90°，见图 12。

图 12 钢护筒夹角图

然实际操作过程中很难满足两台仪器形成 90° 夹角的仪器架设位置，故采用一台全站仪观测（仪器与打桩船之间夹角需接近 90°），另一台辅助校核的方法进行垂直度观测，见图 13。

仪器架设好用免棱镜模式测南北方向垂直度 K_1（平距法测量即为 $\frac{SOA-SOC}{H}$，即为南北向垂直度），K_1 为正值代表钢护筒向南偏，需要向北调整；负值相反。东西方向垂直度 K_2 通过拨角法计算，即 OB 边水

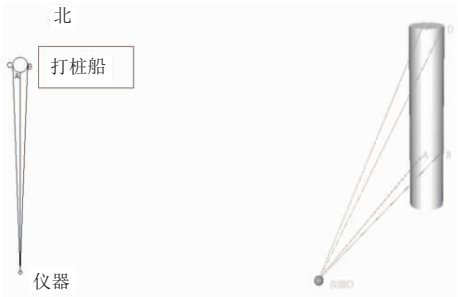

图 13　垂直度观测图

平角与 OD 边水平角的角度差值 α。

然后测出水平距离 S，其垂直度表示为：$\frac{S\tan\alpha}{H}$。为正值代表钢护筒向西偏，需要向东调整；负值相反。再用另一台仪器与仪器 O 所成夹角大于 30°校核垂直度。保证最弱边垂直度满足垂直度要求。

钢护筒插打过程中严格按照钢护筒插打施工顺序进行垂直度观测，过程中需时刻注意观测，当垂度偏差较大时需及时进行调整，保证插打完成后的垂直度精度要求[6]。

3.3　高程控制测量方法

钢护筒插打之前要在钢护筒顶端往下 8 m 处 10 cm 一道依次向顶端做好刻度标线至 3 m 处（钢护筒顶设计标高 6.7 m，潮水最低水面高 −1 m，最高水位 3 m，通过计算可得钢护筒标线为 3 ~ 8 m），见图 14。

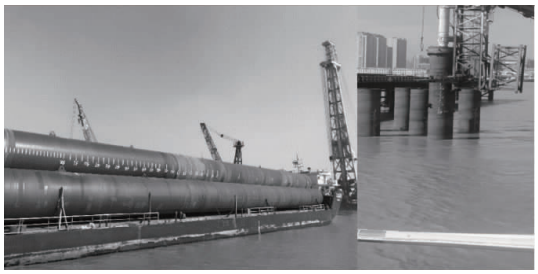

图 14　钢护筒标线

垂直度调整完成，开始锤击后将全站仪仪器十字丝调整到固定高度处，先通过刻度标线判断钢护筒距设计标高 1 m 处，开始放慢锤击速度，再开始用十字丝观测，直至钢护筒达到设计标高。

3.4　注意事项

（1）在钢护筒自沉或压上锤和替打后，如发现桩基偏位较大，必须将护筒拔起后，重定位调整，禁止在沉放钢护筒的过程中挤钢护筒纠偏，以免因过大的调整而使钢护筒变形断裂。

（2）为确保施工安全和护筒起吊是的垂直度，同时防止起吊时变形，护筒起吊应设三个起吊点。

（3）适时松、紧缆绳，以保持船位不变和防止个别锚揽受力过大。

（4）沉放钢护筒应连续，不要中途停止，以免土壤恢复而增加其对沉钢护筒的阻力。

（5）当打桩船吊起钢护筒荷载时，船头下沉，船尾上浮；此时还不能完全把钢护筒调成完全垂直于水面，应调整至护筒与打桩船垂直，通过船头、船尾的下沉上浮量计算出夹角 α，从而求出预偏值 $L=H$（护筒高）$\times\tan\alpha$。

4　结　语

通过永宁大桥超长大直径桩基钢护筒沉设垂直度控制实例，在施工现场无法提供两个近似成 90° 夹角的平台条件下，利用一台全站仪单平台完成钢护筒垂直度及高程的控制工作，且控制结果比较理想具体数据见表 2。

本项目最长桩深 123 m，按图纸设计要求桩身垂直度不大于 1%，且桩底偏位不超过 50 cm，计算可得本项目对钢护筒最低要求为垂直度需满足 1/300，

表 2　Z08 墩钢护筒偏位数据统计表（桩基选取一半）

墩号	桩基编号	钢护筒编号	钢护筒半径 /m	钢护筒顶标高（设计）/m	钢护筒顶标高（实测）/m	钢护筒顶标高（差值）/m	钢护筒偏位（大小里程）/m	钢护筒偏位（上下游方向）/m	钢护筒垂直度（大小里程）	钢护筒垂直度（上下游）
Z08	1	H19	1.05	6.7	6.709	0.009	向小里程偏 0.008	向上游侧偏 0.009	1/564	1/491
	2	H18	1.05	6.7	6.724	0.024	向小里程偏 0.002	向下游侧偏 0.006	1/2470	1/755
	3	H17	1.05	6.7	6.713	0.013	向大里程偏 0.008	向下游侧偏 0.001	1/559	1/3203
	4	H16	1.05	6.7	6.707	0.007	向小里程偏 0.009	向下游侧偏 0.002	1/536	1/2279
	5	H15	1.05	6.7	6.720	0.02	向大里程偏 0.007	向上游侧偏 0.007	1/532	1/532
	6	H14	1.05	6.7	6.711	0.011	向大里程偏 0.007	向下游侧偏 0.007	1/506	1/506
	7	H7	1.05	6.7	6.705	0.005	向小里程偏 0.009	向上游侧偏 0.004	1/504	1/1250
	8	H8	1.05	6.7	6.674	−0.026	向大里程偏 0.009	向上游侧偏 0.005	1/497	1/913
	9	H9	1.05	6.7	6.699	−0.001	向小里程偏 0.008	向上游侧偏 0.009	1/550	1/509
	10	H10	1.05	6.7	6.708	0.008	向小里程偏 0.010	向上游侧偏 0.004	1/519	1/1025

（下转第 192 页）

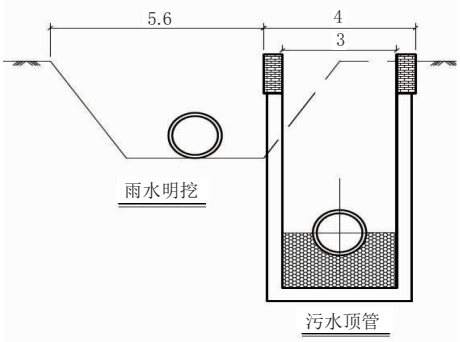

图 5　污水顶管、雨水明挖放坡方案（单位：m）

（2）钢板桩支护、雨污同槽施工方案。该方案的断面图见图 6。采用钢板桩支护，则不需要考虑放坡，沟槽宽度仅需满足基础宽度和检查井宽度要求即可。其中雨污水检查井可交错布置，故仅需考虑最大的雨水井宽度要求即可。

d800、d1 600 的管道同槽施工所需宽度 B=0.8+0.2+1.6+2+0.8+0.1+0.5=6 m（d1 600 基础单侧宽度+d1 600 四通井单侧宽度 +d800 基础单侧宽度）。此方案最小净作业宽度为 6 m，可以减少约 3.6 m 的 1 个车道占用。

（3）方案比选。方案二由于全线钢板桩支护并且沟槽断面增大，导致每延米沟槽土石方工程量约为方案一的 3 倍，造价较高。但因其缩减了作业宽度，

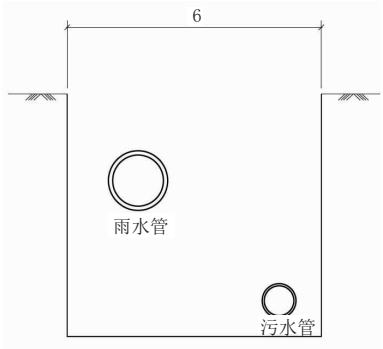

图 6　钢板桩支护、雨污水同槽施工方案（单位：m）

减少了施工过程中的行车道占用，确保了施工过程中的道路通畅，故采用方案二。

5 结　语

城市道路快速化改造过程中的管线迁改方案需结合主体道路改造方案、周边用户需求、施工工艺、不同管理部门要求、相关产权单位需求等进行统筹考虑。施工期间的道路保通更是快速路改建项目不同于普通市政道路的重要控制因素。如何在这类工程中进行管线迁改设计，是设计人员面临的新挑战。

参考文献：

[1] 周驰皓.浅析城市轨道交通等市政工程中管线迁改工作[J].交通建设，2018（2）：280-281.

（上接第 178 页）

数据显示本项目 Z08# 墩垂直度最弱边为 1/424，远超过 1/300，故深厚淤泥层超长大直径桩基钢护筒施工测量控制方法是可行的，对今后类似钢护筒测量控制技术具有一定借鉴意义[7]。

参考文献：

[1] 张盛.大直径全护筒嵌岩式桩基础成孔施工技术[J].工程建设与设计，2021（17）：158-160.
[2] 张大军，王欢.深水浅覆盖层大直径桩基钢护筒沉放施工技术研究[J].珠江水运，2023（7）：99-101.
[3] 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）：10-13.
[4] 康宇飞.浅谈大直径钢护筒插打施工及质量控制[J].中国科技期刊数据库 工业 B，2015（5）：6-10.
[5] 王军. 季节性河流浅覆盖层大直径水中桩基钢护筒关键施工技术[J].公路交通科技:应用技术版，2019（6）：3-5.
[6] 罗文芳.海上桥梁钢护筒施工技术探讨[J].工程建设与设计，2019（23）：227-229.
[7] 余定军，胡文勇，袁锡权.辽河特大桥 39# 主墩桩基钢护筒施工技术[J].北方交通，2010，000（001）：39-42.