

文章编号: 0451-0712(2005)07-0019-05

中图分类号: U445.551

文献标识码: B

# 利用常规仪器完成 海上打桩定位的探索与实践

杨天宇, 陈 强, 刘成龙

(西南交通大学测量工程系 成都市 610031)

**摘 要:** 结合杭州湾跨海大桥北航道桥栈桥工程实践, 在打桩船未安装商用海上 GPS 打桩定位系统的条件下, 本文提出了一种新的利用常规仪器完成海上桩基钢管桩的插打测量定位方法, 并实现了快速准确地对钢管桩的插打测量定位。通过对沉桩进行的偏位检查表明, 该方法完全能够满足钢管桩测量定位的精度和配合施工作业进度。

**关键词:** 打桩船; 打桩; 钢管桩; 全站仪; 360°棱镜

## 1 工程概况

杭州湾为世界三大强潮海湾之一, 与美洲的亚马逊河河口、南亚的恒河河口并称为世界三大强潮海湾。这里常年受风、流、潮的影响, 潮流紊乱, 冲刷严重。在自然条件方面, 受风、流、潮、气的影响比

较大<sup>[1]</sup>。

杭州湾跨海大桥全长 36 km, 超过了美国切萨皮克海湾桥和巴林道堤桥等世界名桥, 而成为目前世界上已建成或在建中的最长的跨海大桥<sup>[1]</sup>。其中的北航道主桥为双塔双索面斜拉桥, 主桥全长 908 m,

收稿日期: 2005-01-25

整; 如果标高差值大于 20 mm, 调整值为 1/2 标高差值。通过梁段的标高调整, 可以有效保证合拢段的平顺对接, 合拢时, 中线标高合拢误差要求小于 15 mm。

## 6 结语

在我国大力发展交通基础设施的过程中, 连续

刚构桥这一桥型得到了迅猛发展, 对称型连续刚构桥的设计、施工经验均比较成熟, 非对称连续刚构桥的设计、施工目前国内还不多见。本文对云南三界怒江大桥的设计和关键施工技术做了介绍, 旨在对非对称连续刚构的设计、施工积累宝贵经验, 可供今后同类桥梁的设计、施工参考借鉴。

## Sanjie Bridge over Nujiang River-Design of Asymmetric Continuous Rigid Frame Bridge

PAN Wen-yue, CHEN Kong-ling

(Yunnan Provincial Highway Planning Survey and Design Institute, Kunming 650011, China)

**Abstract:** The frame of Sanjie Bridge over Nujiang River is an asymmetric continue rigid frame which is unusual in China and its spans of the main bridge is 55 + 138 + 95 meters. In this paper, the key technology of this bridge in design and construction is emphatically introduced.

**Key words:** Sanjie Bridge over Nujiang River; asymmetric continuous rigid frame; double thin-walled pier; design

主跨跨径为448 m,距离北岸约3 km。在每个主墩桩基施工之前,首先搭设施工平台作为桩基础施工作业的工作平台,通往平台的快速通道就是栈桥。

杭州湾跨海大桥北航道桥栈桥与高墩区引桥各墩和北侧主墩的施工平台衔接,是北航道桥及高墩区引桥施工材料、机械设备转运的主要通道,同时也是施工人员的上下班便道。由于施工栈桥作为施工中的通道和平台,除承受竖向施工车辆荷载外,还受到海湾风浪的作用,因此对栈桥施工就提出了较高的要求。北航道桥栈桥全长 699 m,钢管桩共计 107

根。根据结构形式及施工工艺,栈桥施工分成三个区,栈桥一区(1~7号墩)钢管桩基础采用履带吊配合振动锤施打;栈桥二、三区(8~41号墩)钢管桩基础采用“长大36”165 t打桩船插打,栈桥设普通墩及加强墩。普通墩横向每排2条钢管桩,布置为两边各设1根竖角为14°的斜桩;每72 m或54 m在靠近主桥桥墩承台处设双排桩作加强墩,加强墩为四边形布置的4条钢管斜桩,钢管桩竖角11°,水平扭角15°。北航道桥栈桥总体布置如图1所示。

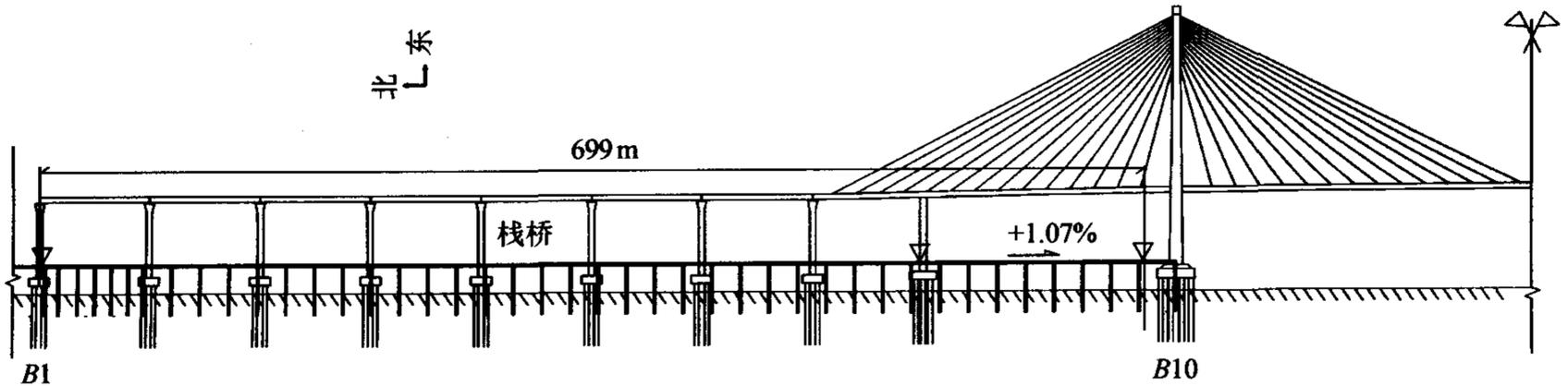


图1 北航道桥栈桥总体布置

海上作业钢管桩插打定位的方法,传统上多依赖经纬仪交会法,但由于视线较远和气候因素的影响,在这种情况下根本不可行,尤其对于这种海上大规模的打桩作业。为此,利用GPS、测距仪等现代测绘新技术、新设备已成为新趋势,有相关部门为打桩船设备开发研制了专门的整套GPS打桩定位系统,如海桩8号打桩船<sup>[2]</sup>。然而,为打桩船配备完整的GPS打桩定位系统,至少需要花费上百万元的经费<sup>[3]</sup>,这对某些工程或一些临时性工程来说是无法接受的。本文结合现场实际情况,解决了用“长大36”打桩船插打杭州湾跨海大桥北航道桥栈桥及临时码头近150根钢管桩的测量定位问题,这是打桩船在未安装GPS打桩定位系统情况下,完成打桩定位的一种简易实用的方法。

## 2 钢管桩插打测量定位方法

### 2.1 直桩定位

#### 2.1.1 原理

直桩的定位,直接采用全站仪极坐标法放样。在“长大36”打桩船抱紧钢管桩后,可以利用桩架上的倾斜仪自动调整钢管桩于铅垂位置,且船体的抛锚定位较打斜桩而言比较随意,故完全可以直接利用全站仪的极坐标放样功能,完成直桩的放样。具体做

法是,在已知控制点上架设全站仪,对好方位角后,输入相应设计桩中心坐标开始放样,指挥、调整桩身直至其中心线与全站仪竖丝基本重合时,在抱桩器上可以在钢管桩的中心线上安置棱镜,指挥打桩船操作人员调整桩身,通过控制距离,精确放样桩身到设计位置,考虑到强潮的影响,可以预留出一定的偏位。

钢管桩桩顶标高的控制方法,是在控制点上架设全站仪,根据控制点高程、仪器高度、钢管桩桩顶设计标高、控制点到钢管桩距离,反算出全站仪上横丝应安置的竖直角度,通过目镜中的横丝去监视和瞄准钢管桩,当钢管桩插打到桩顶位于横丝上时,则指挥打桩船停锤,钢管桩桩顶标高到达设计标高。

#### 2.1.2 定位方法检验成果

运用上述方法,完成了该工程临时码头所有直桩的定位插打,并对沉桩桩顶中心平面位置进行了常规方法检核,部分沉桩的抽检结果见表1。

从表1可以看出,检测的所有直桩平面位置偏差都在允许偏差范围之内,定位结果满足《杭州湾跨海大桥专用施工技术规范》。现场实践表明,该方法可以满足定位精度,同时定位速度较快,操作简单,能够满足施工的要求和进度。

### 2.2 斜桩定位

表1 沉桩后实测直桩桩顶平面位置与设计值的比较

桩号	设计值/m		实测值/m		偏差/cm		平面位置偏差 cm	允许平面偏差 cm
	X	Y	X	Y	X	Y		
A1	672.440	518.090	672.491	518.050	5.1	-4.0	6.5	20.0
A2	668.641	510.767	668.618	510.938	-2.3	17.1	17.2	20.0
A3	664.497	502.778	664.535	502.855	3.8	7.7	8.6	20.0
A4	660.353	494.789	660.218	494.882	-13.5	9.3	16.4	20.0
A5	656.209	486.800	656.156	486.824	-5.3	2.4	5.8	20.0
A7	647.920	470.821	647.957	470.725	4.0	-9.6	10.3	20.0
E3	681.363	494.029	681.425	494.130	6.2	10.1	11.9	20.0
平均							11.0	20.0

2.2.1 原理

斜桩与直桩的最大差别在于,相对于某一轴线(如桥轴线和铅垂线),斜桩通常既有水平扭角又有竖直倾角。考虑到打桩船抱桩后,船体本身的水平平衡和安全等问题,在插打每条斜桩时,打桩船抱桩后,均需将桩身中心调整至船体的纵轴线上,使之处于标准纵打姿态,通过调整船体轴线的方位来控制斜桩设计的水平扭角,通过抱桩架上安置的倾斜仪来实现斜桩设计的竖直倾角,如图2所示。斜桩的测量定位采用360°棱镜配合全站仪完成,桩顶标高的控制方法类似上述直桩桩顶标高的控制方法。

2.2.2 数学模型

在船体上,有3个与测量定位有关的重要点,这3点位于同一直线且在船体纵轴线上。一个是钢管桩中心点,另2个是安装在船体上的钢架测量点A、B,上面各安置一个360°棱镜,这两点主要用于船体纵轴线方位的定向。船体纵轴线上的钢架测量点分别布置在打桩船操作室楼顶上和抱桩架上。船体上的这3点中,在钢管桩竖直倾角为0°时,B点棱镜中心到钢管桩中心某一高度处(这里采用的替打中心)的垂直距离 $l_1$ 、B点棱镜中心到钢管桩中心的水平距离 $l_2$ 为一常量,需要预先精确测出。船体上各点位置关系见图2。

打桩定位时,在控制点测站准备好后,实时测量A、B两点的三维坐标,然后反算出实际打桩船纵轴线AB方向方位角及设计标高处钢管桩中心实际坐标,与设计值进行比较(此计算过程通过自编程序完成),从而指挥、调整打桩船沿设计方位方向移动。

令: $\alpha$ 为打桩船纵轴线AB方向设计方位角,即钢管桩设计水平扭角;

$\beta$ 为钢管桩竖直倾角;

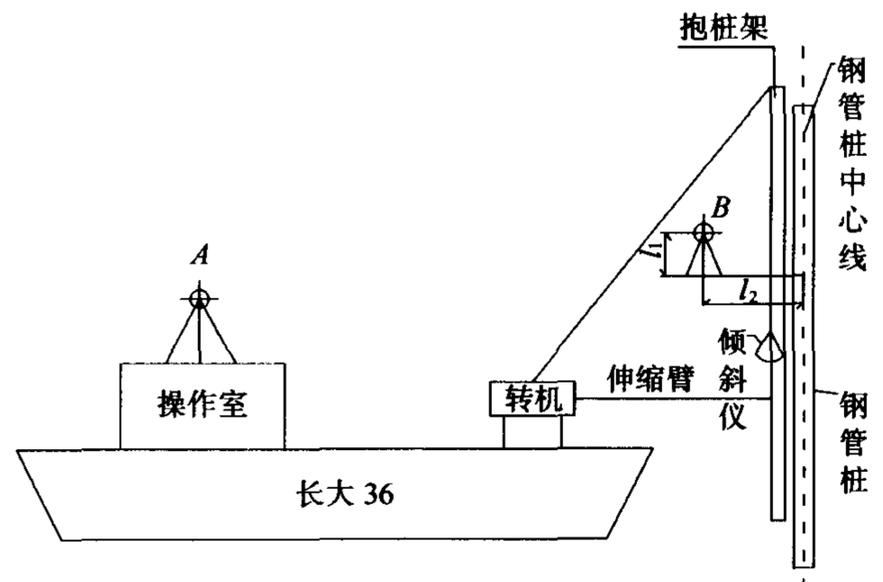


图2 打桩船及测点布置

$x_0, y_0, z_0$ 分别为钢管桩桩顶中心设计坐标;  
 $x, y, z$ 标高处为钢管桩桩顶中心实测坐标;  
 $x_A, y_A, z_A$ 分别为实测A点坐标;  
 $x_B, y_B, z_B$ 分别为实测B点坐标;  
 $\alpha_{AB}$ 为实测船轴线AB方向方位角。

$$\alpha_{AB} = \arctan \frac{y_B - y_A}{x_B - x_A}$$

(1)仰桩。

各点几何关系如图3所示。

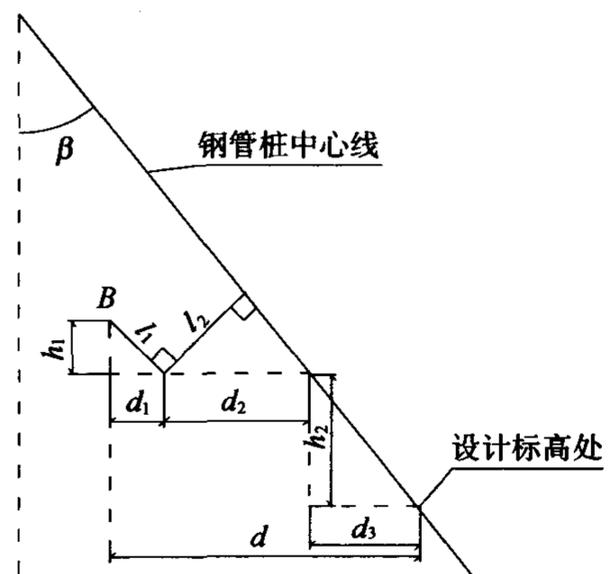


图3 仰桩测点与钢管桩中心点几何关系示意

$$\begin{cases} x = x_B + d \cdot \cos\alpha_{AB} \\ y = y_B + d \cdot \sin\alpha_{AB} \end{cases}$$

其中:  $d = d_1 + d_2 + d_3$

$$d_1 = l_1 \cdot \sin\beta, d_2 = l_2 / \cos\beta, d_3 = h_2 \cdot \tan\beta,$$

$$h_1 = l_1 \cdot \cos\beta, h_2 = z_B - h_1 - z_0$$

(2)俯桩。

各点几何关系如图4所示。

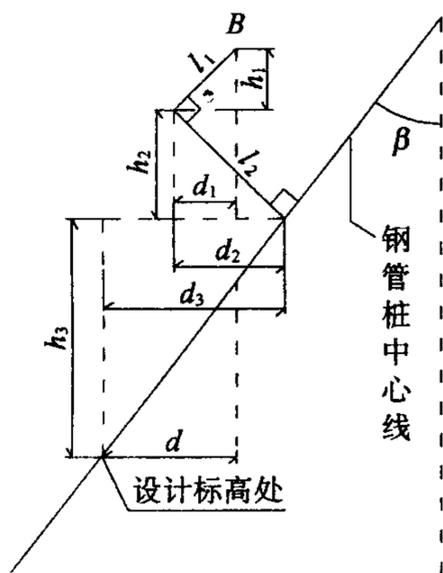


图4 俯桩测点与钢管桩中心点几何关系示意

$$d_1 = l_1 \cdot \sin\beta, d_2 = l_2 \cdot \cos\beta, d_3 = h_3 \cdot \tan\beta,$$

$$h_1 = l_1 \cdot \cos\beta, h_2 = l_2 \cdot \sin\beta, h_3 = z_B - h_1 - h_2 - z_0$$

①  $d_3 \geq (d_2 - d_1)$  时

$$d = d_3 - (d_2 - d_1) \begin{cases} x = x_B + d \cdot \cos\alpha_{BA} \\ y = y_B + d \cdot \sin\alpha_{BA} \end{cases}$$

②  $d_3 < (d_2 - d_1)$  时

$$d = (d_2 - d_1) - d_3 \begin{cases} x = x_B + d \cdot \cos\alpha_{AB} \\ y = y_B + d \cdot \sin\alpha_{AB} \end{cases}$$

实测 AB 方向方位角及设计标高处, 钢管桩中心位置与相应设计值之间的差值:

$$\Delta x = x - x_0, \Delta y = y - y_0, \Delta\alpha = \alpha_{AB} - \alpha$$

### 2.2.3 测量定位过程

运用上述方法, 打桩的主要过程为:

- (1) 测量仪器架设及数据准备;
- (2) 打桩船抱桩及钢管桩竖直倾角调整;
- (3) 打桩船方位定向;
- (4) 指挥打桩船, 沿设计方位方向移动, 使钢管桩到达设计位置;
- (5) 打桩船标准纵打钢管桩。

### 2.2.4 实际应用效果

该方法经过杭州湾跨海大桥北航道桥栈桥及码头近 120 根沉桩的施工应用检验, 沉桩后利用全站仪进行了沉桩后桩中心设计标高处的平面位置检测, 检测结果见表 2。

表2 沉桩后实测斜桩桩顶平面位置与设计值比较

桩号	设计值/m		实测值/m		偏差/cm		平面位置 偏差/cm	允许平面位置 偏差/cm
	X	Y	X	Y	X	Y		
8-1	570.028	499.285	570.1244	499.096	9.6	-18.9	21.2	25.0
12-1	507.304	531.822	507.3226	531.789	1.9	-3.3	3.8	25.0
13-1	491.326	540.110	491.239	540.150	-8.7	4.0	9.6	25.0
14-2	473.414	544.670	473.259	544.630	-15.5	-4.0	16.0	25.0
14-3	472.593	549.602	472.565	549.690	-2.8	8.8	9.2	25.0
14-4	470.751	546.052	470.612	545.946	-13.9	-10.6	17.5	25.0
16-2	438.703	562.451	438.773	562.451	7.0	0.0	7.0	25.0
17-2	422.724	570.739	422.653	570.677	-7.1	-6.2	9.4	25.0
18-1	408.772	582.933	408.821	582.842	4.9	-9.1	10.3	25.0
18-2	406.746	579.028	406.648	578.956	-9.8	-7.2	12.2	25.0
19-1	392.794	591.222	392.741	591.335	-5.3	11.3	12.5	25.0
20-1	376.816	599.510	376.870	599.547	5.4	3.7	6.6	25.0
22-3	342.104	617.291	342.031	617.255	-7.3	-3.6	8.1	25.0
22-4	340.262	613.740	340.320	613.930	5.8	19.0	19.9	25.0
平均							11.7	25.0

从表2可以看出:该方法定位的所抽检钢管桩桩顶平面位置平均偏差11.7 cm,小于允许桩顶平面位置偏差25 cm。有4条桩的平面位置偏差较大,从其单方向坐标偏量来看,大多是Y方向坐标偏差过大所致,分析主要原因,是由于打桩船船头朝西、船尾朝东抛锚,在对桩体定好位到桩锤击打完毕的整个过程中,打桩船对桩身总是有一个向后(即向东)的拉力,再加上杭州湾水域潮水湍急,打桩时潮水呈东西方向涨落潮,从而使沉桩后桩顶平面位置在Y方向的偏差较大。

### 3 误差分析

除去本身的测量误差外,分析表明,影响桩位精度的主要因素如下。

(1)由于打桩船不能自动准确调整斜桩的竖直倾角,故通过桩架上安置的倾斜仪来控制竖直角。而倾斜仪的分辨率只有 $0.5^\circ$ ,假如竖直角有 $0.5^\circ$ 的误差,会导致设计标高处桩顶中心平面位置有约5 cm的偏差。在打桩过程中,所用倾斜仪精度较低,是影响打桩定位精度最主要的因素。

(2)在定位过程中,船体时刻处于晃动状态,实测A、B两点坐标也时刻处于变化状态,杭州湾水域潮水较急,也是影响定位结果的重要因素。

(3)在沉桩过程中,由于船体自重等原因,船体本身会随着钢管桩的沉放而对钢管桩施加向后的拉力,这也是影响定位结果的一个原因。

(4)受波浪的影响,桩体与桩架的相对位置会有一些的变化,会影响定位精度。

### 4 结语

在打桩船未安装商用海上GPS打桩定位系统的情况下,本文所提出的方法只需一台全站仪及其配套棱镜和一台便携式计算机,就能完成打桩船对所有钢管桩的插打定位,大大节省了设备和人力投资。经过杭州湾跨海大桥北航道桥栈桥和临时码头工程打桩定位的应用检验,证明本方法可用于水上插打钢管桩工程的测量定位,且完全能够满足精度和施工进度要求,值得类似工程参考采用。

### 参考文献:

- [1] 姚连璧,刘春. 打桩定位系统中设备船固坐标的测定和计算方法[J]. 工程勘测,2004,(5).
- [2] 邵蔚,郑若奇. 海上GPS打桩定位系统[J]. 中国港湾建设,2003,(4).
- [3] 杭州湾跨海大桥专用施工技术规范[Z].

## Exploration and Practice of Marine Driving Positioned by Normal Surveying Instruments

*YANG Tian-yu, CHEN Qiang, LIU Cheng-long*

(Department of Surveying Engineering of Southwest Jiaotong University, Chengdu 610031, China)

**Abstract:** Through the construction practice of the trestle over the north principal channel of Hangzhou Gulf Bridge, under the condition of a pile driving barge without equipments of the commercial GPS positioning system for offshore pile driving, a new method of marine driving positioned by the use of normal surveying instruments is presented, and the rapid and accurate survey for positioning steel-pipe piles achieved. By the check to the deviation of driven piles, it indicates that the method can completely meet the precision of surveying positioning to steel-pipe piles and can coordinate the progress of construction work.

**Key words:** pile driving barge; pile driving; steel-pipe pile; total station;  $360^\circ$ prism