

水上方桩施工中偏差控制的系统分析与研究

张博

(中交一航局第一工程有限公司)

摘要:为进一步解决 GPS 打桩定位系统偏差控制及 GPS 信号质量等问题,确保桩位的精准打设,依托黄骅港(煤炭港区)五期工程总承包项目方桩施工,研究了 GPS 打桩定位系统的应用,在水上方桩沉桩时实现桩位精度的有效管理与调控。通过 GPS 打桩定位系统的前期校准调试、GPS 信号在打桩过程中的干扰因素预防分析及打桩过程中偏差控制等方法,在满足水运工程规范要求误差的基础上,更进一步缩小海上桩基施工的桩位误差,保证码头主体结构安全稳定,可为类似工程施工提供参考借鉴。

关键词:GPS 定位系统校准;沉桩;信号干扰判断;沉桩实测控制

0 引言

在现代水工建设领域,方桩施工是构建各类水工建筑物基础的关键环节,其施工质量直接关系到整个工程的安全性及稳定性。在全球定位系统(GPS)技术推广应用之前,常常采用全站仪、经纬仪及水准仪通过前方交会法进行定位及高程控制,不仅在时间效率上较慢,而且在施工精度上虽满足规范要求,但不能更精确的控制偏差^[1]。GPS 技术飞速发展,并广泛应用于水上方桩施工中,逐渐取代了传统测量仪器交会方法。为沉桩施工定位提供了更为精确和高效的方法。然而,GPS 水上方桩施工过程中不可避免地会出现各种偏差,这些偏差可能由技术本身的局限性、复杂的水下环境以及施工操作等多种因素引起。对 GPS 水上方桩施工中的偏差进行有效控制,是确保施工精度、提高工程质量、降低成本和缩短工期的重要保障。因此,深入分析 GPS 水上方桩施工中偏差控制的相关问题,具有重要的现实意义和工程应用价值。

1 工程概况

黄骅港(煤炭港区)五期工程总承包项目包含新建 4 个 7 万吨级煤炭装船泊位(可同时组合靠泊 5 艘 3.5 万吨级~7 万吨级散货船),突堤长度 1 349 m(其中引桥长度 126 m,泊位长度 1 223 m),码头布置 3 条装船作业线;码头所处海域为港池内部,海况相对良好,主要受潮流涨落影响和小规模海浪。码头桩基区域土层自上而下划分为 8 个岩土土层,分别为:①₄淤泥质粉质黏土(Q_4^m)、②₀淤泥(Q_4^m)、②₁淤泥质粉质黏土(Q_4^m)、③₂粉

质黏土(Q_4^m)、③₃粉土(Q_4^m)、④₁粉质黏土(Q_3^{al+pl})、④₂粉土(Q_3^{al+pl})、④₃粉砂(Q_3^{al+pl})、④₄粉质黏土(Q_3^{al+pl})、⑤₁粉质黏土(Q_3^m)、⑥₁粉质黏土(Q_3^m)、⑥₂粉土(Q_3^m)、⑦₁粉质黏土(Q_3^m)、⑧₁粉质黏土(Q_3^{al+pl})、⑧₂粉土(Q_3^{al+pl})。码头采用高桩梁板式结构,主要桩基为预制混凝土方桩,共施打方桩 1 738 根。预应力混凝土空心方桩为 70 cm×70 cm,桩长 48.5~53 m,采用高性能混凝土 C50F300。GPS 打桩船分区作业,分为一、二区,安排 2 艘打桩船同时进行沉桩施工,其中打桩船 1 号在一流水(D—J 轴)作业一区自陆侧向海侧施工,打桩船 2 号在一流水(D—J 轴)作业二区由陆侧向海侧施工。

2 GPS 桩定位系统的校准

通过静态观测第一级控制网 3 个已知点,计算出基站设立的控制点,再以这 3 个控制点计算出的 7 个参数建立基准站,然后对海上 GPS 打桩定位系统进行校核。莱卡激光测距仪、GPS 双频接收器、声控感应器、数字信号感应器以及一体化串口卡等部件组成了海上 GPS 打桩定位系统。桩基施工时,即使打桩船舶出厂前已通过严格验收,仍需要频繁核对桩架、船体倾角和桩位。

2.1 桩架校核

采用前交会法将打桩船转移到指定桩位,在预定桩位的正前方及正右方(或左方)各安装 1 台全站仪。然后紧绷缆绳以维持船体的稳固性。核查步骤如下:

1) 利用全站仪观测桩架竖向偏移差量,若偏移过大,在保持横向倾斜值与原安装参数误差在

$\pm 0.1^\circ$ 范围内的情况下,通过调整首压水仓的方法,可使桩架垂直。

2) 根据全站仪的要求,需要调整桩架使其保持垂直状态,可通过查看 GPS 打桩定位监测系统数据监控桩架的倾斜角度。若该角度的变化不超过 $\pm 0.2^\circ$,则符合建设标准和精确度需求。另外,必须保证横向倾斜角与其初始设定参数相比不会出现 $\pm 0.1^\circ$ 的较大偏差。

2.2 桩位校核

在完成上述桩架及船体参数校对后,将直接进行吊桩的校对工作。使用 2 个全站仪精准地标定要起吊的桩的位置,并确保其预设位置的平面角度误差不超过 $\pm 0.2^\circ$ 。当船舶达到稳定姿态时,根据图 1(预先设定的性能参数)中提到的 B 、 $L1$ (B 为观测基准点到船体中轴线的垂直距离, $L1$ 为观测基准点到桩架转轴线的垂直距离)对参数进行微调,通过反复校对,使 GPS 打桩定位系统测量数据与全站仪数据的差值保持在 ± 20 mm 以内,同时要求 B 、 $L1$ 的变化幅度不能超过 ± 100 mm^[2]。



图1 预设船体参数

在直桩校核的基础上,进行斜桩位置的检查。定位状态下以桩心为原点 O ,将船体纵向轴心设为 X 轴(前方为正),将横向轴心设为 Y 轴(右方为正),锤线方向设为 Z 轴,建立了独立的坐标系,见图 2。其中 B_0 为沉桩表面定位点。

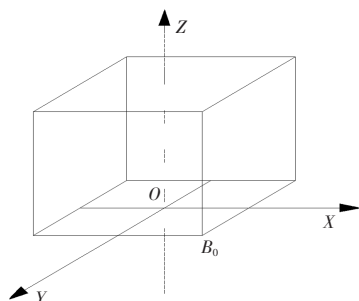


图2 独立坐标系

对所吊桩右前角处通过 2 台免棱镜全站仪进行校核,将 B_0 点桩心 O 点的坐标输入 GPS 打桩定位软件,再通过全站仪对坐标 B_0 进行计算,在调整吊桩仰俯角度和平面角度后重新定位稳定,通过 O 点与 B_0 点的标高关系校核 GPS 打桩定位系统与全站仪平面坐标,以保证符合精度要求。 B_0 点旋转过程示意图如图 3 所示,其中 B_1 为斜桩对原直桩上 B_0 点的移动位置。

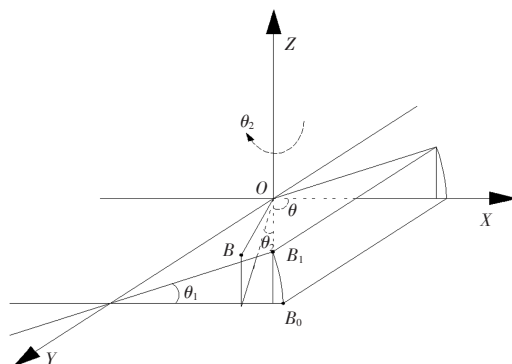


图3 B_0 点旋转过程示意图

桩位校核步骤主要包括:

1) 首先调整桩架的方向和桩的倾斜角度 θ_1 (向后倾斜为正值,向前倾斜为负值), B_1 点在 XOY 平面上的投影与 O 点连线的长度 L 计算公式为:

$$L = \sqrt{(R \cos \theta_1)^2 + R^2} \quad (1)$$

式中: R 为方桩的内切圆半径, m。

投影 L 与 X 轴所成角度 θ 计算公式为:

$$\theta = \arctan\left(\frac{1}{\cos \theta_1}\right) \times \frac{180^\circ}{\pi} \quad (2)$$

2) 当平面的扭转角度 θ_2 以顺时针方向定义为正值,以逆时针方向定义为负值,从这个位置获得桩的右侧前端在独立坐标系下的坐标值 B 为 (a, b, h) 。

$$\begin{aligned} a &= L \cos(\theta + \theta_2) \\ b &= L \sin(\theta + \theta_2) \end{aligned} \quad (3)$$

$$h = R \sin \theta_1$$

3) 用坐标转换公式将独立坐标系的平面坐标转换为施工坐标,从而确定全站仪所测量的 B_1 坐标 (X_B, Y_B, Z_B) 。

黄骅港五期项目方桩沉桩所使用的验证数值如下:分别取 2 根直桩,代表桩号为直桩 1-1、直桩 1-2; 2 根斜桩,代表桩号为斜桩 1-1、斜桩 1-2。通过采用 GPS 及全站仪分别校核沉桩偏差,

得出如下数据。

① 直桩 1-1

GPS 校核偏差为东偏差 15 mm, 北偏差 10 mm; 全站仪校核偏差为东偏差 19 mm, 北偏差 8 mm。

分析数据可知, 全站仪校核相对 GPS 校核的数据偏差为东西方向向东偏差 4 mm, 南北方向向南偏差 2 mm。

② 直桩 1-2

GPS 校核偏差为东偏差 25 mm, 北偏差 40 mm; 全站仪校核偏差为东偏差 28 mm, 北偏差 32 mm。

分析数据可知, 全站仪校核相对 GPS 校核的数据偏差为东西方向向东偏差 3 mm, 南北方向向南偏差 8 mm。

③ 斜桩 1-1

GPS 校核偏差为南偏差 27 mm, 西偏差 38 mm; 全站仪校核偏差为南偏差 35 mm, 西偏差 36 mm。

分析数据可知, 全站仪校核相对 GPS 校核的数据偏差为东西方向向东偏差 2 mm, 南北方向向南偏差 8 mm。

④ 斜桩 1-2

GPS 校核偏差为东偏差 22 mm, 北偏差 48 mm; 全站仪校核偏差为东偏差 19 mm, 北偏差 40 mm。

分析数据可知, 全站仪校核相对 GPS 校核的数据偏差为东西方向向西偏差 3 mm, 南北方向向南偏差 8 mm。

经过上述实践, 直桩与斜桩的校核误差均在允许范围内, 符合高桩码头桩基施工需要, 可以进行桩基施工^[3]。

3 GPS 信号的判断

GPS 打桩定位技术在高桩码头桩基工程中应用时, 由于具备全天候作业能力, 便于海上作业, 定位效果准确而备受青睐。GPS 打桩定位系统相对于传统的沉桩定位测定方法, 在桩基施工过程中更能体现其优越性, 已逐步发展为首选的测量方法。随着 GPS 打桩定位技术的普遍使用, 许多因素造成的虚假信号现象可能导致沉桩位置出现偏差, 倾斜桩碰到其他桩, 负面影响严重^[4]。因此, 迅速识别并妥善解决 GPS 虚假信号成为桩基建造的关键环节。

3.1 同频信号干扰

建筑区域相同品牌的基站或频率可能导致基站信号被频繁接收, 从而造成桩位出错。可以在建筑区域附近进行调查, 通过双方协商的方式规

避同频信号干扰。

3.2 设备电力信号干扰

施工过程中由于特殊原因可能导致电力供应中断, 恢复电源后基准电台(PDL)需要再次启动。但在 GPS 打桩定位系统接收的资料可能出现误导的情况下, 如果桩位偏移不大于 0.5 m, 很难被察觉。特别是在深水中已经下沉的桩组无法显现于水面的情况下, 更容易导致桩位失准, 因此有必要再次设定基准站并复查预设桩位, 以保证 GPS 信号精确无误。

3.3 干扰调整

如果 GPS 没有发出信号或没有固定解法, 在沉桩定位工作已完成并进行沉桩的情况下, 必须马上停止沉桩。桩体重新提起后可进行如下 2 种处理: 1) 利用专业软件对卫星余值的周跳变化进行观测, 从而对 GPS 信号的准确度进行判断。如果余值过高, 为保证卫星信号处于最佳状态, 需要采用卫星截止高度角处理方法, 删除星历数据, 降低多径效应。2) 当方法 1) 不能保证 GPS 打桩定位系统的准确性时, 需使用常规的测量方法进行沉桩作业。

4 沉桩实测控制

对于大型基础建设中的桩基工程, 精确地调整桩的位置至关重要。桩的位置可能因地质而产生不同的误差。为保证桩位准确度达到规定标准, 需对桩位变化进行持续观察和监测, 发现有较大偏差时立即暂停沉桩作业, 将桩升至地面, 查明偏差原因并执行相应的修正方法。针对桩位差异, 提出了以下解决方法。

4.1 前后偏位

当桩在沉击过程中出现较大的前后偏移, 不仅无法确保桩的位置精度, 还会导致桩体产生角度变化, 严重影响锤击时的桩体质量。出现这种情况时选择二次打桩。首要了解预先定位的桩基水位深度, 在此基础上向前移动或向后移动距离 L_3 和桩架调整角度 θ_3 , 完成这些操作后便可启动打桩过程。当桩体进入土层一定深度(通常 1.5~2.5 m)时, 把桩机恢复到垂直状态, 接着持续下沉, 不仅能确保桩基位置的精确度, 也能使桩体的倾斜误差符合规定标准。调整过程中, L_3 和 θ_3 之间的关联如下。

当桩架竖直时转轴与原始定位标高连线所对应的角度为:

$$\theta_0 = \frac{180^\circ}{\pi} \arctan\left(\frac{L_0}{H}\right) \quad (4)$$

式中： L_0 为桩架轴距垂直桩架的垂直距离，m； H 为桩架轴距定位标高高差，m； θ_0 为桩架转轴与原始定位标高的夹角，(°)。

在桩架前倾和后仰过程中， L_3 与 θ_3 之间推导关系式为：

$$L_3 = L_0 - H \tan(\theta_0 - \theta_3) - \left(\sqrt{L_0^2 + H^2} \frac{H}{\cos(\theta_0 - \theta_3)} \right) \cdot \frac{\sin(\theta_0 - \theta_3) - \left(\sqrt{L_0^2 + H^2} \frac{H}{\cos(\theta_0 - \theta_3)} \right) \cdot \cos(\theta_0 - \theta_3) \tan \theta_3}{\cos(\theta_0 - \theta_3)} \quad (5)$$

4.2 左右偏位

若在打桩过程中发现两侧桩位有较大偏移，不可使用锚机调整以减少桩位的误差，否则会导致桩体在被敲击过程中角度发生变动，进而对桩体的结构产生严重破坏。可以采取定量分析方法。当打桩过程中出现向左或向右的偏移度时，需要再次将桩向偏移的反方向移动以观察其是否发生偏离，同时密切注意锚机的运行状况，防止可能发生的脱锚现象。如果桩已经开始朝着设计桩位进行移动且偏移有所减少但是仍超过规定的标准，应继续将其向偏移的反方向方向推进至符合要求为止。

在五期项目实际施工中，部分方桩出现了前后及左右偏差较大的情况，超过规范偏差要求。通过上述 2 种调整方法进行调整，结合现场地质勘探报告，在沉桩前增大富裕偏差角度，成功保证了沉桩的准确性。

5 结语

依托黄骅港(煤炭港区)五期工程总承包项目，结合工程海域海况及地质特点，对海上方桩施工 GPS 技术及桩位偏差控制及校核应用进行总结并深入探讨海上方桩施工的技术方法及要点。该工艺可实现桩基施工一次驻位调整，精准沉桩，有效保证了施工作业效率。后续工程中，如果遇到海域超差，海水暗流，潮流等特殊海域情况，可在该技术基础上，分析特殊海域对船舶驻位、抱桩定位、桩架受特殊海水影响的情况，施工计算时加入预设可能影响的参数，使得在特殊海域沉桩更加精确，保证工程质量。同时，可以学习国外先进的 GPS 打桩技术和激光导向等先进技术，以实现高精度的沉桩定位和施工监控。

参考文献：

- [1] 吕建辉, 欧阳万虎. 浅谈码头工程沉桩测量控制[J]. 中国水运, 2014, 14(9): 312-313.
- [2] JTS 131—2012 水运工程测量规范[S].
- [3] JTS 167—4—2012 港口工程桩基规范[S].
- [4] DB32/T 1223—2008 GPS 高程测量规范[S].