

基于北斗系统的深水大直径嵌岩桩施工工法

1 前言

水中桥梁桩基施工，尤其是深水大直径超长桩基的施工，作为桥梁施工的难点和重点，受到广泛的关注。近几年国内国际都在探索大直径钻孔硬岩钻进新工艺新技术，虽总结了一些具有现实意义的结论，但对深水大直径嵌岩桩的施工工艺、施工技术特点缺乏统一、系统的认识。本工法以萍乡至莲花高速公路建设项目 A7 标段特大桥主墩桩基施工为基础，河道通航等级为内河Ⅲ级航道，桩基施工需搭设水上钻孔平台并在平台上完成泥浆循环作业，对通航要求和环保要求较高，本桥主墩桩基桩径 2.5m，在 90m 左右深度入岩，设计要求桩底嵌入中风化岩不小于 2.5 倍桩径，沉渣厚度不大于 5cm，在将近 6.25m 入岩要求下，选用传统冲击钻成孔工效极低，对沉渣厚度控制难以达到设计要求，且反循环成孔与冲击钻组合转换对泥浆比重等各项指标要求较高，容易引起塌孔及混凝土超方。因此，当桩长长、孔径大、沉渣指标严格时，传统方法不能满足施工要求。

为了解决水中大直径嵌岩桩的施工难题，本单位采用北斗监测系统+牙轮钻气举反渣成孔技术：在钻机钻进过程中通过北斗监测系统数据传感器监测桩身垂直度、钻进速率、电流，使用普通刮刀钻头施工至入岩标高后采用牙轮钻头破碎入岩，反循环体系以气体为动力介质，以液流体为延升载运介质携带固体颗粒上返最终完成气、液、固三相混合运动，达到快速成孔并清除钻孔内沉渣、岩屑的目的。该成孔工艺和传统钻进方式的区别就在于能在钻进的同时及时排出孔内

岩渣块，孔底清洁，重复破碎少，故能大幅度提高钻进效率。本工法已成功应用于萍乡至莲花高速公路建设项目 A7 标段及 G25 长深高速德清至富阳段扩容杭州段第 TJ02 标段等工程中，取得了显著的经济、社会效益。

2 工法特点

2.0.1 不同地质层钻头转换提升工效，缩短作业时间，钻入岩层时由牙轮钻代替冲击钻破碎岩体，大幅度提高钻进效率的同时降低桩基塌孔及混凝土超方风险。

2.0.2 钻孔过程中采用气举反循环，排出钻屑能力强，孔底钻屑重复破碎较少，清孔效率高，成桩质量较好。

2.0.3 通过北斗监测系统控制桩基成孔垂直度，及电流数据监测实时监控施工突发状况，有效的保证了成孔质量。

3 适用范围

本工法适用于直径大于或等于 2.5m，桩长大于或等于 90m 的水中大直径超长嵌岩桩的成孔施工。

4 工艺原理

通过采用桩基施工管理终端系统，集成北斗监测系统及多传感器，实现监测数据传输，对水中大直径桩基施工全过程进行即时记录，并采用自动化手段对桩位、桩长、桩身垂直度等重要施工参数进行同步监测，使桩基施工的每一环节有迹可循，经平台数据采集分析，对桩基入岩的判断、桩身的垂直度控制及钻进是否异常做出指导。

在钻机钻进至入岩标高后采用牙轮钻头破碎入岩，牙轮钻头转动

时，各牙轮又绕自身轴滚动，滚动的方向与钻头转动方向相反。牙轮钻头的破碎过程，实际上是压入和压崩两种形式联合作用的效果。牙轮钻机钻孔时，依靠加压、回转机构通过钻杆，对钻头提供足够大的轴压力和回转扭矩，牙轮钻头在岩石上同时钻进和回转，对岩石产生静压力和冲击动压力作用，达到快速破碎岩层的目的。

利用空气压缩机将压缩空气输进风管，空气经风管底部排出和泥浆形成气液混合物。孔底沉渣在喷出气体的冲击作用下悬浮起来，由于管内、外液体的密度差，孔内泥浆、空气、沉渣的三相流沿导管向上运行，被排出孔口，进入接渣篮。过滤出泥浆中的沉渣后，过滤后的泥浆又重新进入孔内，反复循环直至孔底沉渣厚度达到规范要求。

5 工艺流程及操作要点

5.1 工艺流程

施工操作流程如图 5.1 所示。

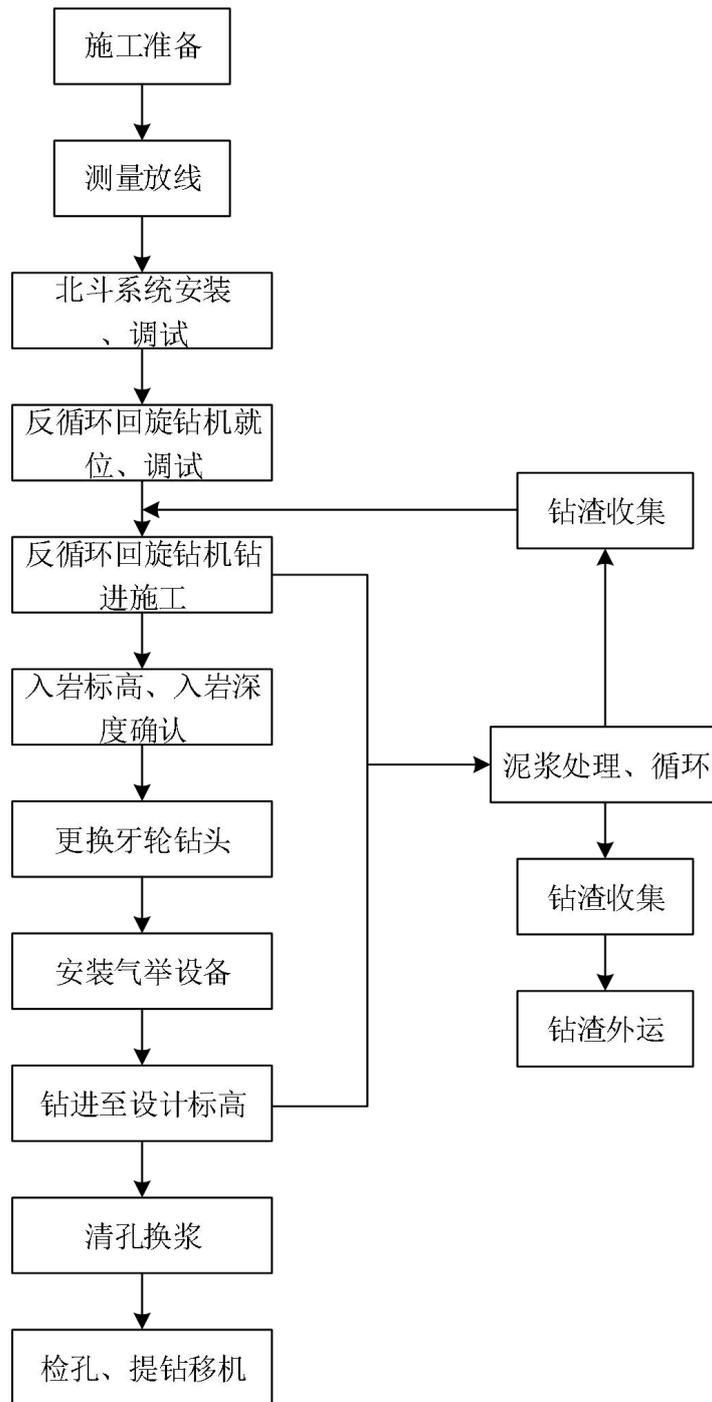


图 5.1 基于北斗系统的深水大直径嵌岩桩施工操作流程图

5.2 操作要点

5.2.1 施工准备

钻孔施工采用了反循环回旋钻机及牙轮钻气举反渣钻进的施工工艺，主要包括泥浆护壁、钻进成孔及清孔。

1 钻孔顺序

桩基施工要求跳孔进行，以减少后面桩基施工对前一个桩基混凝土未达到设计强度前的影响。

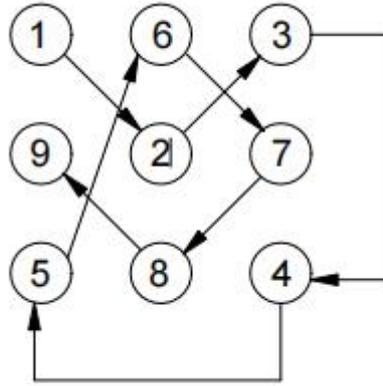


图 5.2.1-1 桩基钻孔顺序图

2 钻机选型

主墩共计 36 根钻孔灌注桩，从护筒顶面到孔底深达 110m 左右，对钻机的扭矩及钻杆质量要求较高。选用技术性能先进，提升能力较强的 6 台车载式鑫峰 351 型反循环回旋钻机进行软弱地层钻进，每台钻机配备 1 个牙轮钻头进行岩层钻进。鑫峰 351 型反循环回旋钻机性能指标见表 5.2.1-1。

表 5.2.1-1 钻机性能指标表

鑫峰 351 型反循环回旋钻机	
适用地层	淤泥、粉质黏土
投入数量	6 台
最大钻孔口径 (m)	2.5
最大钻孔深度 (m)	140

动力头扭矩 (KN·m)	42000
最大提升能力 (KN)	600
最大钻速 (r/min)	24
钻杆内径 (mm)	375
整机重量 (T)	30
循环方式	反循环

鑫峰 351 型反循环回旋钻机工作原理：泥浆从钻杆与钻孔之间注入，随着钻杆喷气削土，由于管径比孔小很多，所以泥浆加削下来的土渣等快速从钻杆内排出地面，进入泥浆沉淀池处理后，可循环使用。

3 泥浆制备及性能指标

护壁泥浆在钻孔中非常重要，尤其是对本工程大直径深孔，淤泥层、砂层造浆性能差，泥浆控制显得尤为重要，拟选用不分散、低固相、高粘度的 PHP 泥浆。

为保证钻孔桩成孔施工的顺利进行，在正式开钻之前，选用不同产地的钙基膨润土和不同比例的水、膨润土、火碱、PHP 等再次进行了试配和验证，选择泥浆各项指标最优的泥浆配比。泥浆的制备在平台泥浆制备区进行。

钻孔施工前首先在泥浆制备区采用泥浆搅拌机搅拌膨润土泥浆，然后利用泥浆泵泵送至钢护筒内，当钢护筒内泥浆性能指标满足施工要求后开孔钻进。泥浆各施工阶段的性能指标要求详见表 5.2.1-2。

表 5.2.1-2 泥浆性能指标一览表

性质	阶段	试验方法
----	----	------

	新制泥浆	回旋钻钻进	清孔泥浆	
比重 (g/cm ³)	≤1.06	≤1.15	1.03~1.10	泥浆比重称
粘度 (s)	22~25	20~25	17~20	粘度计
含砂量 (%)	<0.5	<3.0	<2.0	含砂量测定 仪
PH 值	8~10	8~10	8~10	试纸

4 泥浆循环系统

为防止水上桩基施工对环境的污染，需专门配置水上定型钢化钢结构泥浆池及沉淀池。

①水上定型钢化钢结构泥浆池及沉淀池基本构造

基础：φ630mm×10mm 圆钢管

平联、斜撑：[20a]槽钢

承重梁：2*45a 双拼工字钢

主纵梁：321 型贝雷片，每个断面 6 片

联系梁：[8]槽钢@300cm

桥面板：12cm 厚定型桥面板

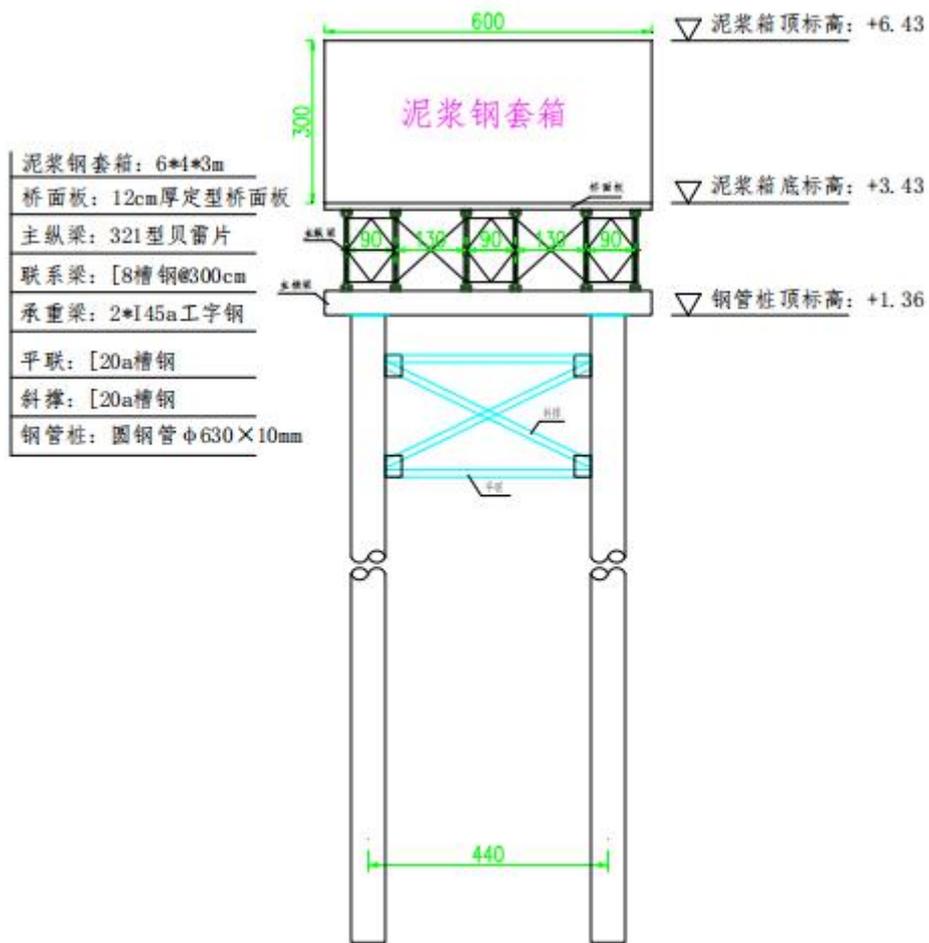


图 5.2.1-2 水上定型钢化钢结构泥浆池及沉淀池平台横断面图

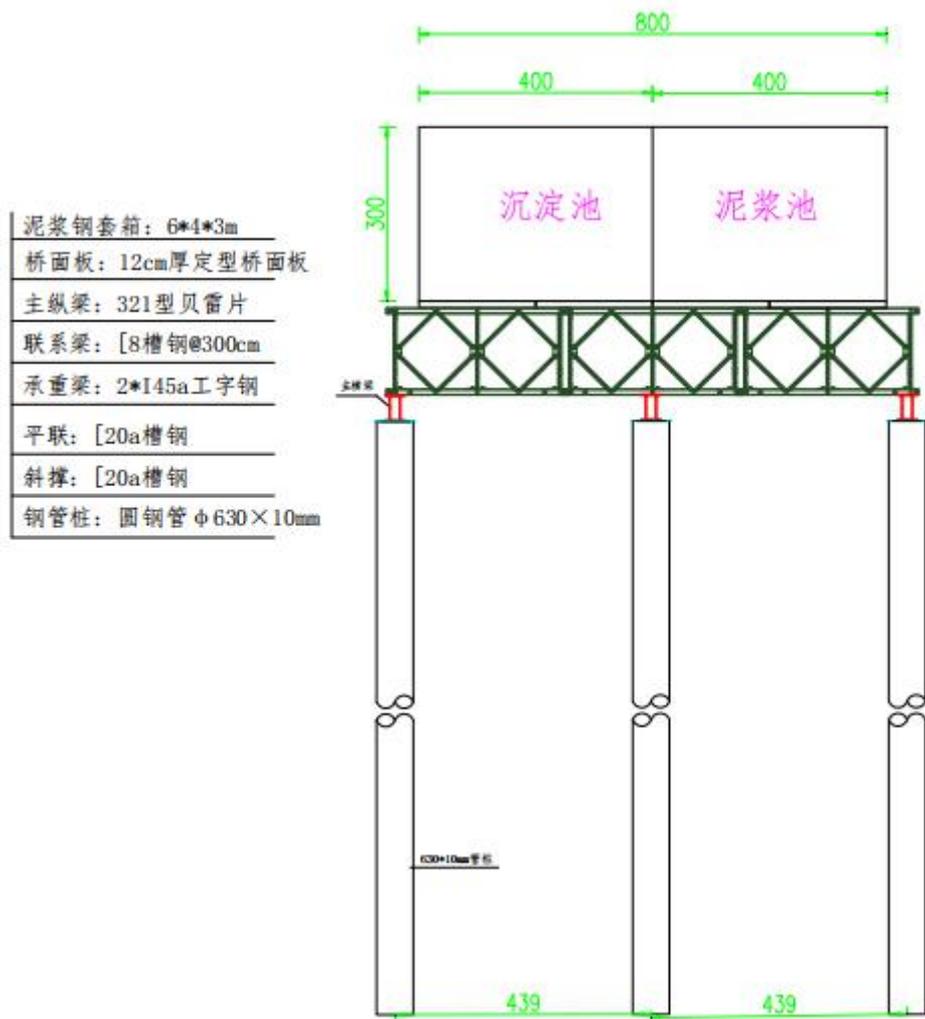


图 5.2.1-3 水上定型钢化钢结构泥浆池及沉淀池平台纵断面图

②水上定型钢化钢结构泥浆池及沉淀池尺寸

单个泥浆池、沉淀池尺寸为 6m（长）*4m（宽）*3m（高），材料选用厚度为 1cm 的钢板，箱体上口、底部采用[8]槽钢进行加固，四周采用[8]槽钢制作剪刀背肋，具体结构详见图 5.2.1-4、图 5.2.1-5。

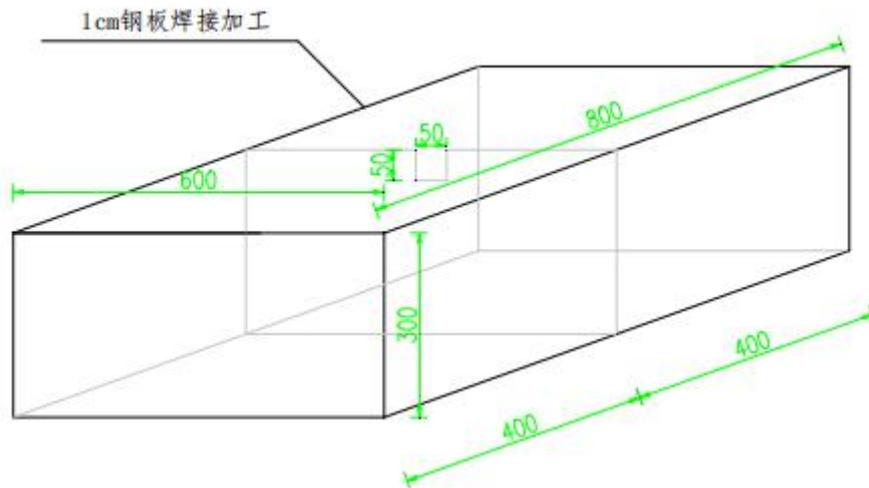


图 5.2.1-4 水上定型钢化钢结构泥浆池及沉淀池立体示意图

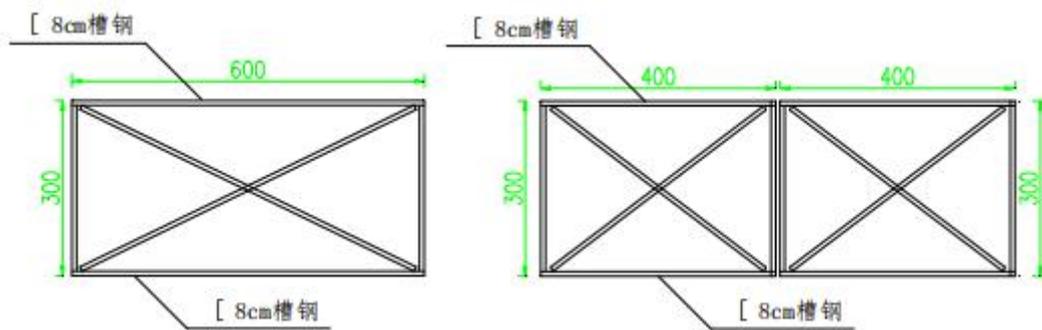


图 5.2.1-5 水上定型钢化钢结构泥浆池及沉淀池立面示意图

新制泥浆在泥浆套箱中配制，并通过泥浆泵送至钢护筒内。开钻后钻机将携钻渣的泥浆抽至 72m^3 沉淀箱沉淀后，通过泥浆泵送至钢护筒，通过钢护筒之间的连通管流入钻孔孔内。钻孔过程中专门配置一台挖机及时清理泥浆套箱内的钻渣，钻渣由运渣车集中运输至弃土场弃置。泥浆循环系统如图 5.2.1-6 所示。

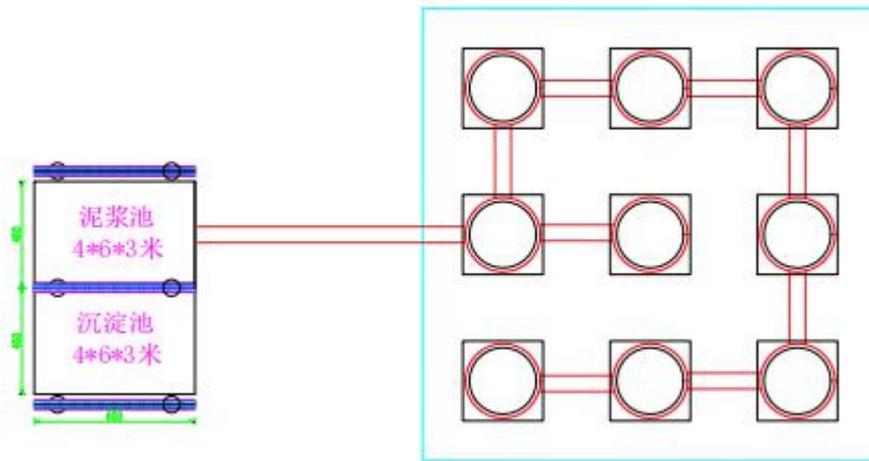


图 5.2.1-6 泥浆循环系统图

5.2.2 测量放线

分别在南北两岸布设导线三角网进行水中放样工作，水中桩基础的放样采用交汇法进行，并在下沉护筒时检查其垂直度，确保位置的准确。

5.2.3 北斗监测系统安装、调试

1 硬件安装

1) 建设 CORS 站

CORS (Continuously Operating Reference Station)，(译为连续运行参考站)是在一个地面已知点上安装一台接收机，并且这台接收机保持连续 24 小时持续观测，并通过采集到的观测数据实时计算局域差分改正参数。

(1) 首先将加工好的 100*100*50 铁架，四块 100*50 和一块 100*100cm 瓷砖，搬运到四楼，使用绳索将天线扼流圈，钢筋，7m 高的避雷针，6m 发射天线杆拉到楼顶。

(2) 焊接六根 6m 长的扁铁，连接一起作为避雷接地用，拐角

处使用膨胀螺栓焊接固定。

(3) 基站安装位置选好，将铁架找平，加固铁架，底部焊接井字形扁铁，再浇筑混凝土与地面贴合，（混凝土共使用两袋 20 号水泥，两袋沙子，一袋石子）。使用 28 号钢筋焊接在铁架四周，固定竖桶，同样使用 28 号钢筋焊接，确保了稳定性，更有效抗风。

(4) 天线连接线穿管，穿线管采用直径为 30mm 的 PVC 管，耐腐蚀，抗热，阻燃。将 30m 天线连接线与 50m 发射天线连接线从四楼楼顶通过穿线管拉到二楼。

(5) 将 7m 避雷针树立，使用铁丝固定三角拉紧。6m 发射天线铁杆同样拉紧固定，用焊机将扁铁与铁杆焊接一起。

(6) 四块 100*50 的瓷砖贴合在铁架四个边，调整水平固定，铁架内添加混凝土，将 100*100 瓷砖套在立柱中间贴合铁架的一面使用玻璃胶加固。安装天线，一切固定好将每个边缘的缝隙使用玻璃胶固定连接，一共使了 12 管玻璃胶，最后刀片修型美缝。

2) 通过大功率电台或者网络将 CROS 站观测到的差分改正参数实时向外发送。

3) 终端通过电台接收到改正数后，对终端处的天线观测值进行改正，最终达到厘米级精度。



图 5.2.3-1 终端搜星情况

4) 服务器搭设

网络机柜安放好位置，将剩余的连接线盘在底部，调节机柜水平高度，安装三块托盘，第一层放置华信电台，GNSS 接收机，第二层放置服务器，第三层放显示器，组装电台与接收机，调试电台与接收机的波特率，设置电台的发射信号频率为 460.125HZ，电台支持低功率与高功率，低功率覆盖范围半径 5km，高功率覆盖范围半径在 15km。

2 平台服务搭设

将地基增强站页面显示接入到大屏，时实显示当前接收到的卫星分布图，以及信噪比比，将基站位置在地图中显示，把每个施工加工厂在大屏展示，更好直观的看到每一个位置。



图 5.2.3-2 地基增强站显示大屏

为验证地基增强站是否能够对本项目作业区域进行全覆盖，我们对项目从 K0+000 到 K16+787 全线的特征点进行了验收。验证是否能够接收到信号，并达到系统精度。

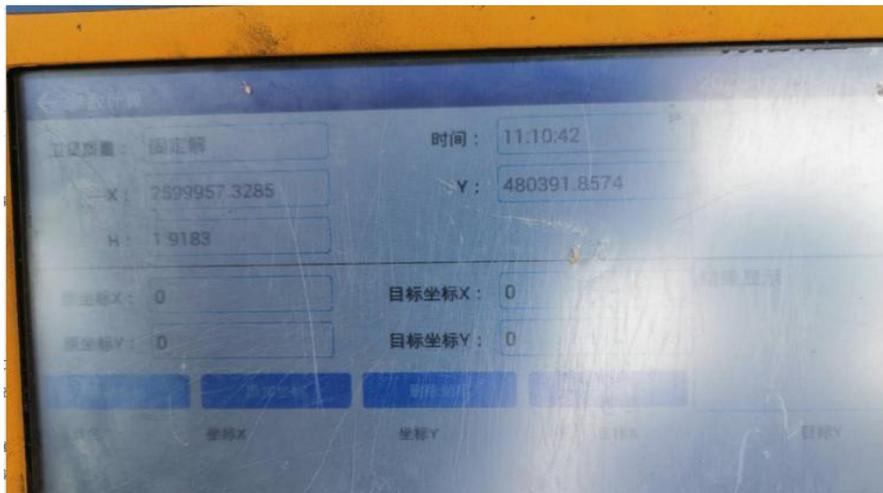


图 5.2.3-3 K16+787 现场验证，距基站直线距离 12.8 公里，精度，信号良好

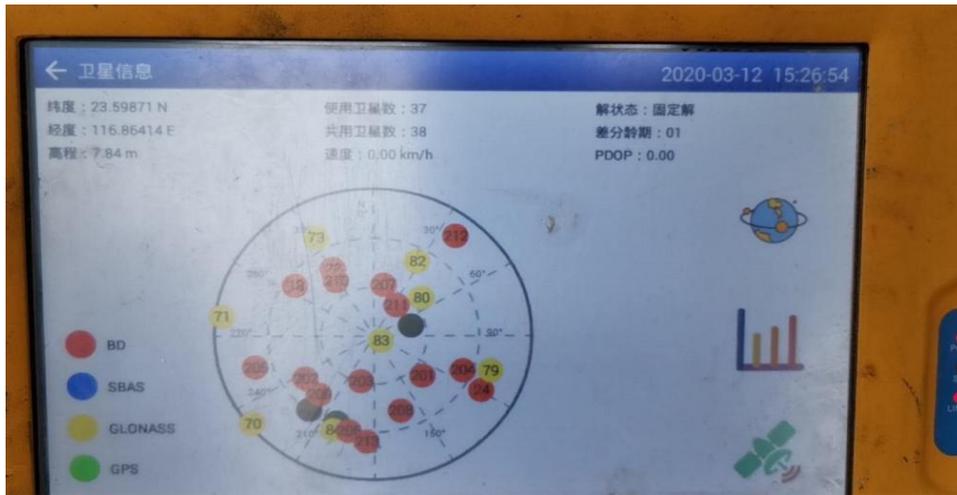


图 5.2.3-4 卫星信号

3 软件系统搭设

软土地层水中超长桩施工过程中成孔方式的选取、钻进过程中泥浆浓度的调配、清孔过程中含砂量的控制、超长钢筋笼对接、安装、定位、超长深孔桩基的混凝土灌注质量控制等均为水中桩基的控制重难点。根据现有技术条件，拟采用北斗高精度服务对灌注桩的垂直度，桩位进行实时监测。



图 5.2.3-5 现场电子传感器安装示意图

4 北斗监测系统运行原理：

1) 钻孔深度确定

桩基采用接管的方式进行钻进，所以北斗定位信息并不能直接反应出钻进深度，此时我们需要通过算法计算得到钻入深度，计算逻辑为：钻进深度=已钻入管数*管长+当前管钻入深度。

通过上图可知，深大桩进行的是往复运动，我们通过安装在电机上的定位天线，可以得到钻机在往复运动过程中的高程信息，再寻找两个特征点，近地点（perigee）和远地点（apogee），将定位天线得到的高程信息，转变为往复区间中，相对于近地点和远地点的相对位置。

将定位天线的高程信息转变为往复区间的相对位置后，我们将往复运动划分为三个部分并分别赋值特征值，分别为：

低于近地点（P），state=-1；

近地点和远地点之间（R），state=0；

大于远地点（A），state=1。

因为过程中存在排水等操作，所以实时记录的值可能会在 R 和 P，R 和 R，P 和 P 三种状态来回切换。完整的换管流程应该为 P>R>A 只有完整的记录到这个状态，才认定为换管，而拆管的时候只存在 R>A。我们通过实时计算状态码然后与换管 P>R>A 特征进行匹配，匹配到后，已钻入管数 N 加一，然后钻进过程中根据天线的高程和远地点，计算当前钻机与远地点的相对距离作为偏移量 Offset，代表当前管的钻进深度，最后根据同一钻孔中，使用的相同规格的管，管长 L 均相等，我们可以得到当前钻入深度 D：

$$D=N*L+Offset$$

从而解决传统工艺中无法获取实时和精确的钻入深度问题。

2) 桩基倾斜度确定

当按照上述方法获取到实际钻入深度后，我们将外部传感器采集到的数据，与当前钻入深度绑定，从而实现对当前钻入深度的数据分析，在深大桩中，我们采用的外部传感器有：

A、双轴倾角传感器：用于实时获取桩在 X 方向和 Y 方向上的倾斜程度，进而计算桩垂直度信息，确保桩垂直。



图 5.2.3-6 双轴倾角传感器

B、电流传感器：用于实时获取钻头电流值，因为在钻进过程中，钻头的电流值根据接触地质条件的不同，具有不同的反馈，采集该电流值，作为地质条件判读的依据。



图 5.2.3-7 电流传感器

在钻进过程中，我们以时间为标准，匹配相同时间下的钻入深度、倾斜程度和电流值作为一条完整的过程数据，针对该过程数据进行分析，可以推算出电流与地质条件的相关性关系，进而为后期通过电流值判读地质条件提供理论依据，辅助传统的岩层取样进行地质记录，从而解决传统工艺中岩土取样和判断问题。

3) 电流大小、波动趋势与地质条件的相对关系确认如下：

A、构建灌注桩机在不同地质类型中成孔单位时间增量数据库平台库；

B、获取下放钻杆在下放过程中的高程下沉频率数据，根据高程下沉频率数据得到单位频率差中的下沉增量数据；

C、根据下放钻杆所处地质类型，查询成孔单位时间增量数据库平台库，得到下放钻杆对应的频次增量预警值，频次增量预警值包括频次增量最大预警值和频次增量最小预警值；

D、将下沉增量数据同频次增量最大预警值或频次增量最小预警值进行比较，当下沉增量数据大于频次增量最大预警值或小于频次增量最小预警值时，发出预警，并导出界面系统，用于将下沉增量数据

以上内容仅为本文档的试下载部分，为可阅读页数的一半内容。如要下载或阅读全文，请访问：<https://d.book118.com/758056115070006030>