

# 预制桩静力压桩监测技术方案研究

张董朝 姚进强

(浙江数智交院科技股份有限公司 杭州 310030)

**[摘要]** 上世纪60年代国内就陆续开始将预应力管桩应用到各种基础设施建设领域,但是隐蔽工程施工过程的管控一直是一个难题,这直接影响了施工质量,文章对预应力管桩在静力压桩施工工艺下的施工过程监测管理提出了一些建议和想法,总结出一套可以应用的预应力管桩施工监测系统,提高工程施工质量,具有很好的推广意义。

**[关键词]** 管桩;静力压桩;施工监测;隐蔽工程

## 0 引言

公路软基处理预制桩施工质量检验项目主要包括:桩距、桩长、单桩承载力等,打桩施工过程中主要通过压桩力来判断单桩承载力是否满足设计需求,进而确定预制桩是否需要加长。虽然设计要求施工单位每打设一根预制桩都要记录压桩力数据,但现实中施工班组往往不记录或者后期补写施工记录。最后只能通过静载试验抽检单桩承载力,考虑到静载试验费用较贵,【《公路软土地基路堤设计与施工技术细》JTG/T D31-02-0216】要求的抽检频率仅为0.2%-0.5%,所以单靠抽检进行静载试验难以保证整个项目的预制桩施工质量。

以往项目中也存在预制桩实际施工桩长或桩距与设计不符的现象,且路基一旦填筑后预制桩的施工质量难以评价,以至于出现质量事故后,难以界定责任方。因此,有必要研发一种预制桩施工监测系统,通过采用一系列高精度自动化传感器,在压桩过程中实时监测桩位坐标、桩身垂直度以及压桩力,并通过物联网技术将监测数据传送至后台存储,方便业主、设计、监理、施工单位等项目参建各方随时通过手机或者PC端查看预制桩施工过程中的监测信息,该系统有助于改善预制桩施工质量,也有助于后期责任追溯。

## 1 预制桩压桩的要点分析

在具体的软基处理施工期间,针对相关施工质量问题,虽然相关人员已经强化了重视,但是由于受到一些主观因素以及客观因素的影响,致使施工过程中,管理单位并不能非常便捷地获取到各项关键数据。这里的关键数据主要为:

(1) 桩间距,根据国家规范和相关工艺标准,预制桩可按正方形或等边三角形布置,预制桩的最小中心距:排数不少于3排且桩数不少于9根的摩擦型桩基:非饱和土4d;饱和黏性土4.5d。其他情况:非饱和土3.5d;饱和黏性土4.0d。【《建筑桩基技术规范》JGJ94-2008】<sup>[1]</sup>

(2) 桩长,根据国家规范和相关工艺标准,预制桩桩长一般根据工程对地基稳定和变形要求,结合地质条件,通过计算确定。

(3) 单桩承载力,根据国家规范和相关工艺标准,一般按下式计算: $Q_{uk} = Q_{sk} + Q_{pk} = u \sum q_{sik} l_i + q_{pk} A_p$ ,其中u为桩身周长; $l_i$ (m)为土层计算厚度; $q_{sik}$ (kPa)为极限侧阻力; $q_{pk}$ (kPa)为极限端阻力; $A_p$ 为桩端面积。

(4) 桩身垂直度,根据国家规范和相关工艺标准,钢筋混凝土预制桩:插入土时垂直度允许偏差 $\leq 0.5\%$ ;允许桩位偏差(1~3根 $\leq$

收稿日期:2020-12-15

作者简介:张董朝(1994-),男,主要从事物联网技术在智慧工地上的应用。

100mm; 4~16 根 $\leq D/2$ ; 16 根以上, 边桩 $\leq D/3$ , 中间桩  $D/2$ ; 有桩顶梁, 顺梁轴方向 $\leq 150+0.01H$  mm, 垂直梁轴方向 $\leq 100+0.01H$  mm)。

在实际生产施工过程中, 针对施工过程的分析<sup>[2]</sup>, 以及因为隐蔽工程施工限制, 所以常常无法对各项数据进行有效而精确地测量。以桩身垂直度为例: 大多数静力压桩机压桩的垂直度都是通过水平仪测试, 不够直观、精度低、操作复杂, 这种主要依靠施工工人的素质的检测方式, 往往会出现不可避免的误差和纰漏。随着人机界面和仪器仪表的迅速发展及其在工程机械应用的增多, 以及工程管理的高精度、高效率、实时监控等系统化要求的出现, 静力压桩桩机监测系统方案的开发要求日益紧迫。

针对此类问题, 笔者设计了一种多款传感器融合的软基预制桩压桩监测技术方案, 以工控机为核心处理器, 配合激光测试仪、倾角仪、增量编码器、压力传感器、RTK 定位系统等, 将实时数据、动态图形显示相结合, 用来实现对桩位坐标 (GPS)、桩身姿态、压桩桩深、压桩力等数据的实时采集, 并将所有上述传感器数据上传至云端服务器, 对所有获取到的数据进行处理和分析, 解析优化成具有较高可读性的实时施工数据, 从而协助管理人员管理施工质量, 智能化、物联网化的监控系统可以体现远程监控的便利性, 通过从监控系统软件和人机交互设备就能查看实时数据、历史数据、异常预警等, 减少因为需要实地调研考察而浪费的人力和物力。

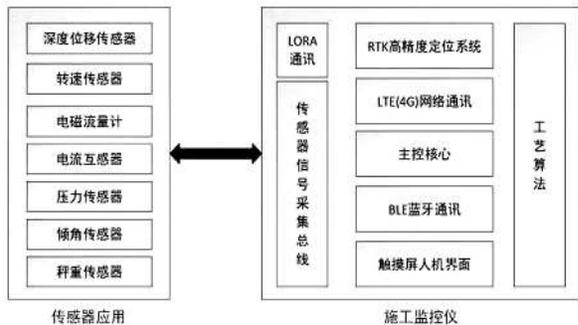


图 1-1 硬件终端结构原理示意图

## 2 方案初步设计

### 2.1 桩间距的监测

对于预制管桩的桩间距以及桩位的 GPS 坐标, 拟采用 RTK 高精度定位技术, RTK 定位技术<sup>[3]</sup>就是基于载波相位观测值的实时动态定位技术, 在 RTK 工作模式, 基准站通过数据链将观测值和测站坐标一起传送给流动站, 通过计算在指定坐标系内的三维定位结果, 给出厘米级精度的定位信息。

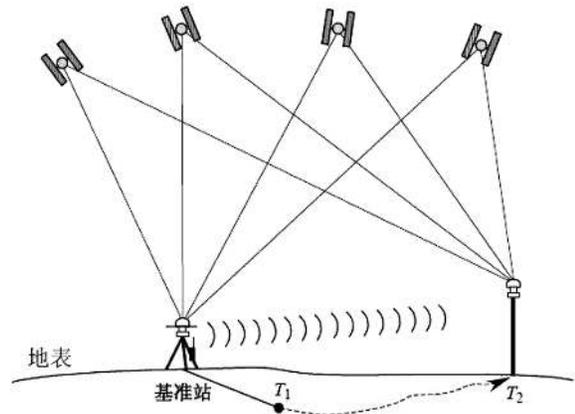


图 2-1 RTK 定位系统工作原理示意图

### 2.2 桩长的监测

针对桩长的测试, 拟采用两种类型不同的监测方案。第一种, 通过短距激光测距<sup>[4]</sup>, 将短距激光传感器安装至桩锤部位, 固定激光传感器, 使其垂直向下测距, 当桩锤上下移动时, 即可通过时间打点以及测距获取  $\Delta X$  的变化, 获得位移量。第二种, 通过增量编码器, 设计一款机械结构, 将增量编码器的出轴与一个定滑轮固定, 并将定滑轮固定在控制桩锤升降的缆绳位置, 保证定滑轮与缆绳之间为无缝隙接触, 通过缆绳上下移动的摩擦力, 带动定滑轮转动, 通过计算定滑轮转动的圈数, 得出位移量。

值得关注的是, 在实际生产过程中, 常常会有些无效位移, 例如调整桩锤位姿、接桩等情况, 因此, 计算位移量的同时, 需要借助同一时间的压桩力数据做支持, 当压桩力在一个符合要求的情况下时, 获取到的位移量才是可靠的桩长。

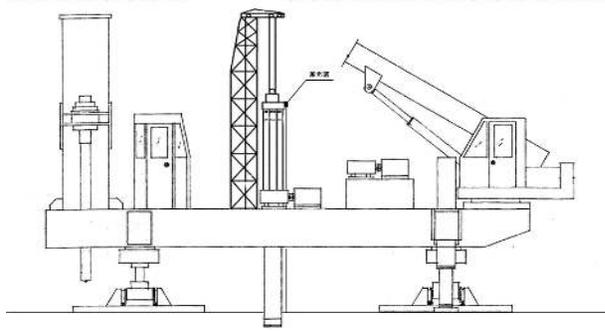


图 2-2 激光测距原理示意图

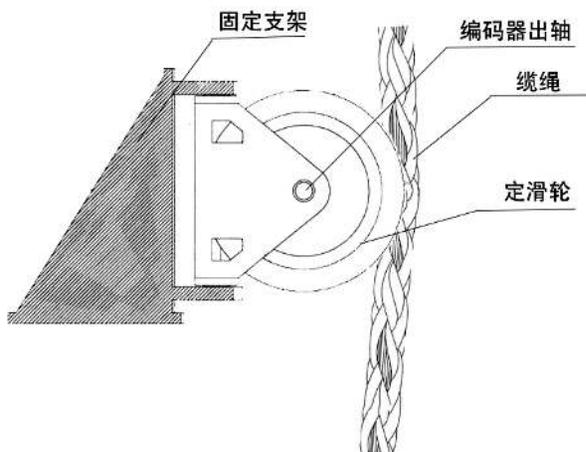


图 2-3 编码器测距原理示意图

### 2.3 单桩承载力的监测

软基桩处理中，单桩的承载力是最核心的参数，它直接影响到软基处理的施工质量。一般在设计之初，设计单位就会根据【《建筑桩基技术规范》JGJ94-2008】的要求，确定施工范围内的预制管桩的型号，以及需要满足的承载力，从而计算出施工过程中需要的压桩力。管桩在打入的过程中所受的总阻力曲线很是相似，终压值也很接近总阻力曲线，而总阻力曲线和压桩力曲线是对应关系，因此通过理论值获取的承载力是可以直接用于现场终压力的参考。

对于压桩力的监测，计划从桩机设备现有的压力传感器上直接获取压桩力，方案中需要做的是将压力传感器接入核心处理模块中，确保实时数据的获取，并且可以对这些数据做更多层次的分析处理。



图 2-4 压力传感器安装位置示意图

### 2.4 桩身垂直度的监测

对于桩身垂直度的监测，拟采用两种不一样的方案；第一种，通过倾角传感器测算<sup>[5]</sup>，将倾角传感器固定在桩锤位置，因为在压桩施工过程中，桩锤和管桩是硬连接的，所以通过监测桩锤的角度变化，可以反映出管桩的角度变化；第二种，通过四个短距激光测距传感器进行测算，将四个短距激光测距传感器放置在管桩的四周，实时监测传感器获取到的距离数据，当数据发生变化时，即可以得出管桩的倾斜和位移情况。

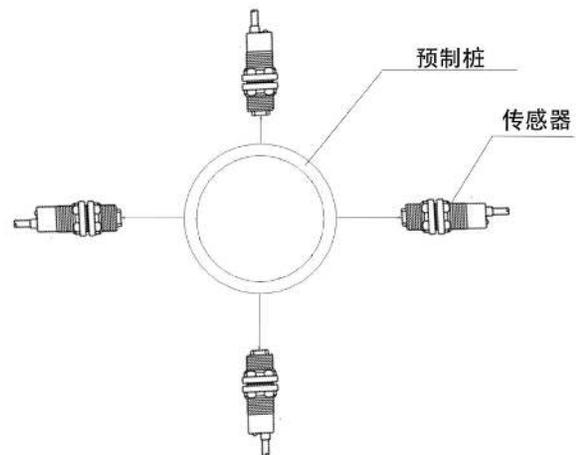


图 2-5 激光测距传感器安装位置示意图

### 2.5 核心处理模块和人机交互设备

核心处理模块主要实现多传感器的供电以及数据通信，一般桩基施工的场景工况情况都比较恶劣，因此需要保证设备的供电稳定以及通讯通信的稳定，保证在电压不稳定、网络信

号不稳定的情况下，所有传感器设备还是正常运行。



图 2-6 人机交互监测仪界面示意图

人机交互设备主要为了实时展现桩机当前

| 选择设备                     | 桩号 | 桩机号              | 开始时间                | 结束时间                | 施工桩长(m) | 最大斜度 | 成桩时间(min) |
|--------------------------|----|------------------|---------------------|---------------------|---------|------|-----------|
| <input type="checkbox"/> | 22 | TP01808020100001 | 2020-11-19 13:15:29 | 2020-11-19 13:33:45 | 59.09   | 1.2% | 18        |
| <input type="checkbox"/> | 21 | TP01808020100001 | 2020-11-19 12:55:34 | 2020-11-19 13:12:06 | 52.23   | 1.4% | 16        |
| <input type="checkbox"/> | 20 | TP01808020100001 | 2020-11-19 11:01:56 | 2020-11-19 11:20:37 | 49.95   | 4.0% | 18        |
| <input type="checkbox"/> | 19 | TP01808020100001 | 2020-11-19 10:42:51 | 2020-11-19 11:01:48 | 42.62   | 0.8% | 18        |
| <input type="checkbox"/> | 18 | TP01808020100001 | 2020-11-19 10:17:27 | 2020-11-19 10:39:04 | 50.93   | 4.0% | 21        |
| <input type="checkbox"/> | 17 | TP01808020100001 | 2020-11-19 09:58:33 | 2020-11-19 10:17:13 | 52.31   | 0.6% | 18        |
| <input type="checkbox"/> | 16 | TP01808020100001 | 2020-11-19 09:19:02 | 2020-11-19 09:34:53 | 51.94   | 0.8% | 15        |
| <input type="checkbox"/> | 15 | TP01808020100001 | 2020-11-19 09:02:25 | 2020-11-19 09:18:28 | 50.22   | 0.3% | 16        |
| <input type="checkbox"/> | 14 | TP01808020100001 | 2020-11-19 08:41:11 | 2020-11-19 08:57:50 | 50.25   | 0.7% | 16        |
| <input type="checkbox"/> | 13 | TP01808020100001 | 2020-11-19 08:24:52 | 2020-11-19 08:39:13 | 55.00   | 0.1% | 14        |

总桩数 140 根      总桩长 7513.67 m

图 2-7 云端平台测试数据展示

### 3 结论

经过多次内、外部的实验测试，确定本监测技术方案具有一定的可行性，但是如何更好的保证设备运行的稳定性，降低系统实施难度仍是本系统研发设计人员今后的主要研究方向。本文依托实际工程项目为研究对象，深入结合项目实际，多科研组织实际方案研究，实验室内部系统搭建测试，项目现场样机测试等得出初步技术方案结论，可为其他工程项目软基系统监测方案提供有效的参考依据。

的运行状态，并且当设备运行过程中出现异常时，人机交互设备可以立即通知操作手暂停施工，并进行问题处理。

### 2.6 云端服务器和监控系统软件

云端服务器和监控系统软件的设计将整个施工过程平台化，信息化，各方管理人员、参与人员可以通过不同的终端设备登录监控系统软件，对施工过程进行监测管理控制，完美解决了施工问题处理的时效性问题。通过对各传感器数据的二次分析处理，可以满足不同部门单位对施工信息的关注优先级，提高各个部门单位的工作效率。

### 参考文献

- [1] JGJ94-2008, 建筑桩基技术规范 [S]. 北京: 中国建筑工业出版社, 2008.
- [2] 李东毅, 吴萍, 黄德敏, 尾矿库区 PHC 桩加筋法静压桩施工工程管理经验探讨 [J]. 科技与创新, 2017, 24 (3): 87-88.
- [3] 张春艳, 李洪超, GPS-RTK 技术及其在道路工程中的应用 [J]. 黑龙江科技信息, 2012, 36 (2): 48.
- [4] 马鸿斌, 尚建华, 潘世光, 罗远, 贺岩, 低成本脉冲激光测距系统研究 [J]. 信息技术与网络安全, 2020, 39 (09): 74-78.
- [5] 张从鹏, 宋来军, 具有温度补偿的高精度二维倾角传感器 [J]. 传感器与微系统, 2019, 12 (6): 86-88.