

# 多模态信息化监控技术在软基处理中的应用

何旭明<sup>1,2</sup> 胡杰<sup>1,2</sup> 操凡<sup>1,2</sup> 薛旭涛<sup>1,2</sup> 李松晏<sup>1,2</sup> 张志勇<sup>1,2</sup> 刘尚<sup>1,2</sup> 徐杰<sup>1,2</sup> 郑杰<sup>1,2</sup>

1 中国建筑第四工程局有限公司 2 中建四局第一建设有限公司

DOI:10.12238/gmsm.v7i4.1719

**[摘要]** 本文以工程项目为实例,将多模态信息化监测控制技术用于软土地基处理施工中,介绍了其研究背景和目的,并详细阐述了其关键技术和在高压旋喷桩施工中的具体应用。

**[关键词]** 多模态; 信息化监控; 软土地基处理

中图分类号: TN954 文献标识码: A

## Application of multimodal information monitoring and control technology in soft soil foundation treatment

Xuming He<sup>1,2</sup> Jie Hu<sup>1,2</sup> Fan Cao<sup>1,2</sup> Xutao Xue<sup>1,2</sup> Songyan Li<sup>1,2</sup> Zhiyong Zhang<sup>1,2</sup>  
Shang Liu<sup>1,2</sup> Jie Xu<sup>1,2</sup> Jie Zheng<sup>1,2</sup>

1 China Construction Fourth Engineering Bureau Co., Ltd

2 China Construction Fourth Engineering Bureau First Construction Co., Ltd

**[Abstract]** This article takes engineering projects as an example and applies multimodal information monitoring and control technology to the construction of soft soil foundation treatment. The research background and purpose are introduced, and its key technologies and specific applications in high-pressure rotary jet grouting pile construction are elaborated in detail.

**[Key words]** Multimodal; Information monitoring and control; Soft soil foundation treatment

## 引言

在沿海软土地基处理中,较多的采用了复合地基加固(水泥搅拌桩、高压旋喷桩)处理技术,但传统的施工技术存在对地下施工过程欠缺直观、可视化的质量控制手段。通过使用多模态信息化监测控制技术辅助施工,不仅保证了施工质量,同时提高了施工效率,加快了施工进度,响应了国家信息化、高质量、高效率的施工理念与政策。

## 1 绪论

### 1.1 研究背景及意义

近年来,随着我国经济和城市建设的快速发展,尤其是粤港澳大湾区的建设作为国家的重点战略规划发展中心,各类基础设施建设正快速施工中。其中,涉及深层软弱复杂地质条件下的软土地基施工,在城市的基础设施的建设中扮演了重要的角色。

深厚软弱土层其力学性质差,淤泥层厚,主要特征为天然含水量高,孔隙比大,压缩性高,强度低,渗透系数小;工程性质表现为触变性、流变性、高压缩性、低透水性、低强度和不均匀性。为保证地基有足够的强度、稳定性和耐久性,一般选用排水固结、水泥土搅拌桩或高压旋喷桩的施工方式。但是排水固结施工周期长、工后沉降难以满足要求;水泥土搅拌桩对施工空间和土质要求较高;一般高压旋喷桩施工存在对地下施工过程

欠缺直观、可视化的质量控制手段。

在工程项目中参建各方高度关注施工安全、施工质量与现场管理。软基处理施工作为现场管控要点,参建各方均对其施工安全、施工进度和施工质量提出极高要求。在淤泥、淤泥质土等软土地基进行复合地基加固处理施工时,保证成桩深度和成桩质量是关键控制标准,是保证施工工期及工后沉降满足设计要求的前提,是保证行车舒适性和安全性的关键控制点。选用合适处理工艺直接影响软基处理的施工进度、施工质量和施工成本等重要指标。

### 1.2 国内外研究现状

目前国内外较少对沿海地区城市道路软土路复合地基加固处理(水泥搅拌桩、高压旋喷桩)施工进行一体化、全过程、立体式研究。其一般多采用传统施工工艺,但传统施工工艺难以完成对地下施工全过程质量监测控制,经常在施工过程中出现钻进提升过程中桩身倾斜、喷浆量不均匀、桩身直径不够等问题,不仅成桩质量差,而且严重影响施工进度。

### 1.3 研究目的

本篇将通过剖析传统高压旋喷桩施工工艺存在的不足,深入研究履带式液压支撑臂桩架平台与多模态信息化监测控制技术进行辅助施工,提供一种根据现场实际情况要求施工高效、保证质量的施工方法,在保证施工安全和施工质量的前提下,以克

服传统复合地基加固处理(水泥搅拌桩、高压旋喷桩)中桩身易倾斜、成桩质量差等难题。

#### 1.4 关键技术介绍

履带式液压支撑臂桩架平台采用履带式行走底盘,防止表土层软弱导致沉陷并方便现场行走,可适用于各种施工环境;并增加了四个液压支撑臂,配合信息化监控系统的倾角传感器进行平台与钻杆姿态调整。并在桩架上设置简易放置平台,方便钻杆快速安装、拆卸与清理。

多模态信息化监测控制技术主要在于利用由流量计、深度传感器、北斗天线、倾角传感器、监控仪主机等协同组成的监控系统对桩架姿态监测调整,也可对高压旋喷桩下钻、提升、喷浆施工过程进行多项参数的实时监测与控制。桩机进场检验调试完成后,通过北斗天线、倾角传感器、监控仪主机对高压旋喷桩机进行桩位对中与姿态调整。桩位对中还可通过现场施工放样的控制桩进行复核,保证钻杆中心位置与桩位坐标一致,位置偏差小于设计规范要求(应小于5cm)。桩身姿态调整主要在于调整桩架的水平与钻杆的垂直,并通过在施工过程中进行全过程信息监控保证高压旋喷桩施工桩身垂直度(桩身垂直度误差不大于1%)。

当钻杆下钻至设计深度后,可通过深度传感器与钻杆上标明的刻尺进行核对,保证桩身长度。通过流量计、压力表等对高压旋喷桩施工过程中的提升速率、喷浆流量、喷浆压力等各项参数进行实时监控,并生成施工记录,方便发现施工异常并及时进行调整。

### 2 在高压旋喷桩施工中的具体应用

#### 2.1 施工准备

(1) 场地平整。正式进场施工前,进行管线调查后,清除施工场地地面以下2米以内的障碍物,不能清除的做好保护措施,然后整平、夯实;同时合理布置施工机械、输送管路和电力线路位置,确保施工场地的“三通一平”。

(2) 施工机械、材料及人员准备。主要机械设备已进场验收合格,施工所需P042.5普通硅酸盐水泥进场试验合格。施工人员已进场三级教育和培训合格,各种安全标志配置齐全。调试设备,保证运转正常,校验钻杆长度,保证孔底标高满足设计深度。检查高压设备和管路系统,其注浆压力和流量必须满足设计要求,注浆管及喷嘴内不得有任何杂物,高压泵管接头密封完好。

根据“多模态信息化监控系统”,辅助水泥用量统计,提高材料进场计划的准确性,避免计划量过小或过大,导致水泥罐水泥储量不足或水泥罐车充装过量发生安全事故。

(3) 测量定位。由项目专业测量员使用全站仪承担测量放样工作,根据布桩图,放出控制桩的具体位置,用小竹片桩钉入土中,顶上用红油漆涂上桩中心点,并撒上白灰。

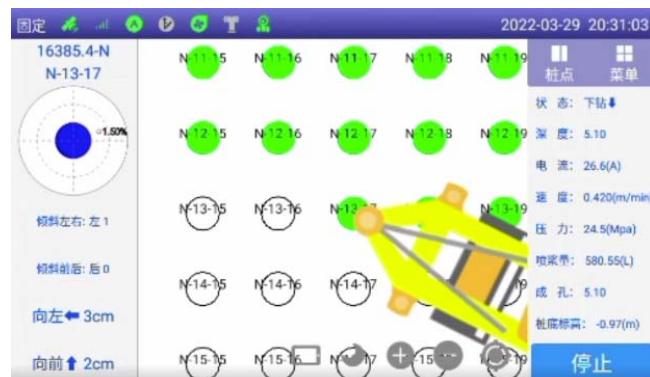
将布桩图桩位坐标数据导入信息化监控系统,并根据控制桩或相邻桩位复核进行核对。

(4) 设置水泥浆拌制系统。水泥浆拌制系统主要设置在水泥罐附近,便于作业。主要由自动化制浆机、储浆池、高压注浆设

备组成。由于一个水泥浆拌制系统负责两台高压旋喷桩机同时施工,需单独设置储浆池,保证制浆机和旋喷机的连续作业。

#### 2.2 钻机就位

钻机就位后,通过多模态信息化监控系统的倾斜度传感器、北斗天线、监控仪及终端一体机对高压旋喷桩机进行调平、调整桩机的垂直度,桩位对中,保证钻杆与桩位一致。钻孔位置偏差应小于5cm,桩身垂直度误差不大于1%,桩间距偏差不大于10cm。桩位对中时,要检查桩机桩位对中位置是否与测量放样控制桩桩中位置一致,若存在较大误差,应及时复核检查,确认无误方可正式施工。



监控仪主机工作界面



泥浆比重检测

#### 2.3 浆液制备

水泥浆根据设计及试桩确定的相关水灰比参数进行掺配,采用质量计量法,将计算出来的单盘水泥、水用量、搅拌速度、搅拌时长等参数输入进自动化制浆设备控制面板。采用两次搅拌法,一级搅拌机为投料高速搅拌机,二级为过滤低速搅拌机,再流入储浆池中。浆液应在过筛后使用,并定时检测其比重,通过高压泵机和高压泵管为注浆管提供高压水泥浆。

浆液的搅拌时间大于3分钟,停留时间不超过2小时,超过2小时浆液废弃。在旋喷过程中防止水泥浆沉淀、离析,造成浓度降低,必须不间断搅拌。

#### 2.4 钻孔下沉

桩机施工前,宜对钻管、喷嘴是否堵塞,丝扣磨损、密封情

况是否有问题进行检查,不合格者切忌使用,应首先在地面进行试喷,在机械设备试运转正常后,开始引孔钻进。钻进过程中通过信息化监控系统,实时监测机身、钻管水平和立轴垂直姿态,进行实时纠偏,保证钻孔垂直。

由于高压旋喷桩喷嘴孔径为2~3mm,为防止在钻进过程中喷嘴被颗粒、杂物堵塞,可在钻进过程中,保持适当喷浆压力,避免堵管。

旋喷钻具下至设计孔深后即可准备喷射注浆。钻孔过程中根据信息化监控系统的深度传感器反馈数据实时监控钻孔深度,同时也可记录好钻杆节数,两者校核保证钻孔深度的准确。

## 2.5 高压旋喷提升

钻进至设计深度后,根据信息化监控系统对桩身水平、垂直姿态及深度情况进行再次检查确认及纠偏。完成确认后,开启高压注浆,然后由下向上旋喷。喷射时,先应达到预定的喷射压力、喷浆后再逐渐提升旋喷管,以防扭断旋喷管。为保证桩底端的质量,喷嘴下沉到设计深度时,在原位置旋转10秒钟左右后再旋喷提升。钻杆的旋转和提升应连续进行,不得中断,钻机发生故障,应停止提升钻杆和旋转,以防断桩,并立即检修排除故障,恢复正常后其应该上下复喷搭接,搭接长度不得小于10cm。为提高桩底端质量,在桩底部1.0m范围内应适当增加钻杆喷浆旋喷时间。在旋喷提升过程中,可根据不同的土层,调整旋喷参数。

旋喷时可通过信息化监控系统完成对压力、流量、提升速率、深度等各项参数的实时监控工作,并生成施工记录。

在旋喷过程中,发现压力、流量异常,可能是喷嘴局部或全部被堵,若在适当加大注浆压力后仍无法恢复正常,则要拔管清洗后重新进行旋喷。

喷射注浆中需拆除注浆管时,应停止提升和回转,同时停止送浆。拆卸完毕继续喷射注浆时喷射注浆的孔段与前段搭接,防止固结体脱节,搭接长度复喷长度不小于10cm。

如冒浆量大于注浆量20%或完全不冒浆时,应查明原因和采取相应措施后,再继续旋喷。

喷射注浆作业完成后,由于浆液的析水作用,一般均有不同程度的收缩,使固结体顶部出现凹穴,要及时用水泥浆补灌。

## 2.6 钻机移位

旋喷提升到设计桩顶标高时停止旋喷,提升钻头出孔口,挪移至下一桩位。施工完毕后,立即清洗注浆管及输送管道,彻底

清洗注浆泵和水泥浆搅拌罐。泵内及管内不得有残存水泥浆,防止凝固堵塞输浆管路和喷嘴,影响下一孔的施工。

## 2.7 成桩质量检查

(1) 钻芯法。抽芯检验主要用于评价桩身质量,如抗压强度、含灰量、坚硬度、搅拌均匀性等。在成桩28d后进行钻探取芯,取芯位置宜在桩直径2/5处。采用水磨钻取芯设备,取完芯样后送实验室进行检测分析,满足要求后方可进入下一道工序。

(2) 平板载荷试验。平板载荷试验用于评价复合地基承载力要求到达涉及复合地基承载力要求。采用组合钢梁和砼块(重物)组成的压重平台置于检测桩两侧的地基土上作为施荷反力系统。试验时,由电动高压油泵给置于试桩帽面的油压千斤顶逐级加、卸荷载,利用RS-JYC型桩基静载测试分析系统按规定时间测读桩顶沉降量。

## 3 结论

通过在复合地基加固处理(水泥搅拌桩、高压旋喷桩)施工中使用多模态信息化监测控制技术,能够解决传统施工工艺中缺乏对地下施工全过程质量监测控制措施的问题,并能有效控制桩位、桩长、桩身垂直度、桩身直径等符合设计规范要求。保证成桩质量,提高施工效率。该应用能有效保证工程质量、提高施工效率、节约施工工期与成本,推广了“信息化施工”先进理念在建筑工程实际项目施工中的建设。

## 参考文献

[1] 曾昭宇.《公路软土地基路堤设计与施工技术细则》(JTGD31-02-2013)宣贯培训班报道[J].广东公路勘察设计,2013,(4):48.

[2] 吴玉刚,刘吉福,刘事莲,等.广东省公路软土地基设计、施工地方规定研究[Z].广东省公路建设有限公司,2011.

[3] 中铁三局集团广东建设工程有限公司,中铁三局集团有限公司.一种用于高压旋喷桩控制的多模态数据处理方法及装置:CN202311743236.X[P].2024-01-19.

[4] 张勇.高压旋喷桩施工技术在软基处理中的应用[J].四川建材,2023,49(10):88-90.

## 作者简介:

何旭明(1996--),男,汉族,四川巴中人,大专,助理工程师,道路桥梁工程专业,从事研究道路桥梁施工方向。