

水泥搅拌桩施工过程中的智能化快速评估方法

万明栋, 刘齐星

(中国水利水电第七工程局有限公司, 四川 成都 610213)

摘要: 水泥搅拌桩技术在地基处理和加固工程中广泛应用, 其施工质量直接影响到整个工程的整体质量, 而传统的质量评估方法既耗时又复杂。介绍了一种基于智能化技术的快速评估方法, 其通过实时监测与人工智能算法快速评估桩体的质量, 进而能够提升水泥搅拌桩的施工效率和质量控制水平。

关键词: 水泥搅拌桩; 智能化; 快速评估; 实时监测; 人工智能

中图分类号: TU473; TU473.1+6

文献标志码: B

文章编号: 1001-2184(2024)05-0080-04

Rapid Assessment Methods for Cement Mixing Pile Construction

WAN Mingdong, LIU Qixing

(Sinohydro Bureau 7 Co., Ltd., Chengdu Sichuan 610213)

Abstract: Cement mixing pile technology is widely applied in foundation treatment and reinforcement engineering, and its construction directly affects the overall quality of the entire project. Traditional quality assessment methods are often time-consuming and complex. This paper proposes a rapid assessment method based on intelligent technology, utilizing real-time monitoring and artificial intelligence algorithms to quickly evaluate the quality of the piles, thereby improving the construction efficiency and quality control level of cement mixing piles.

Key words: Cement mixing pile; Intelligent; Rapid assessment; Real-time monitoring; Artificial intelligence

1 概述

水泥搅拌桩(Cement Mixing Pile)技术作为一种重要的地基加固手段因其施工简便、适用范围广而被广泛应用于软土地基的加固、基础加固和环境修复等工程领域, 通过将水泥浆液和土体搅拌均匀形成复合地基, 进而提高地基的承载力和稳定性。然而, 对水泥搅拌桩施工质量的评估一直是工程界关注的焦点。传统的质量评估方法主要包括钻芯取样、室内实验和静载试验等。这些方法虽然能够提供详尽的质量信息, 但存在以下几方面的不足:

(1) 耗费时间: 从搅拌桩施工完成到等强取样检测, 通常需要一个月左右的时间, 无法满足现代施工过程中对实时质量控制的需求。

(2) 成本高昂: 传统的水泥搅拌桩质量评估方法周期较长, 如果发现水泥搅拌桩施工质量不合格则需要进行返工, 进而增加了机械设备和人工资源的投入, 既加大了施工成本, 又影响到整体工

程的进度。

(3) 局限性: 由于取样点的局限, 难以全面反映整个桩体群的质量情况, 存在一定的局限性和代表性不足问题。

随着信息技术和智能化技术的迅猛发展, 工程质量控制逐渐向智能化、实时化方向发展。施工技术人员通过在施工过程中引入传感器、物联网、大数据分析和人工智能等先进技术, 已可以实现对施工过程进行实时监测和快速评估, 进而提高了施工质量控制的效率和准确性。

基于工程实践, 笔者提出了一种基于智能化技术的水泥搅拌桩快速评估方法, 旨在通过实时监测系统和人工智能算法对施工过程中采集到的各项数据进行分析 and 处理, 以实现桩体质量的实时评估。

2 一种新的质量评估方法与技术

(1) 建立残差网络模型。此次研究首先建立了分层数据驱动的残差网络模型。通过收集大量的工程数据, 构建了“低保真”数据层及“高保真”

数据层并引入了残差结构。

低保真数据层:低保真数据层的作用主要是处理基础的施工数据和初级传感器数据,包括打设时间(s)、喷浆量(m^3)、水泥浆流速(m^3/min)及打设深度(m)。这些数据为低维度且对成桩质量有初步影响的信息。低保真数据层的残差网络用于捕捉这些数据的基本特征。

高保真数据层:高保真数据层的作用是处理更为精细的传感器数据和复杂的工程参数,包括孔压(Pa)、侧摩阻力(N)、土体渗透性(m/s)及土体强度(kPa)。这些数据对成桩质量具有直接且关键的影响。高保真数据层的残差网络用于提取这些数据的深层次特征和复杂关系。

孔压(Pa):与打设时间及水泥浆流速呈非线性关系。快速打桩会导致孔压急剧上升,而缓慢打桩则有助于孔压的稳定消散。鉴于孔压的消散速率与土体的渗透性密切相关,高渗透性的土体能够更快地消散孔压,从而有利于桩体的固结。

侧摩阻力(N):侧摩阻力与土体强度密切相关。土体强度高则其侧摩阻力大,桩体的稳定性和承载能力更强。水泥浆的质量和注入方式也会影响侧摩阻力。高质量的水泥浆能够更好地填充桩体与土体之间的空隙,进而提高侧摩阻力。

土体渗透性(m/s):高渗透性土体能够加快孔压的消散,减少水流对桩体的冲击,促进桩体的固结。不同土层的渗透性差异大,可以导致水泥浆在不同土层中的扩散和固结速度,从而影响成桩质量。

土体强度(kPa):土体强度高,桩体与土体界面的侧摩阻力大,桩体的承载力和稳定性更强。打桩深度与水泥浆流速等施工参数也会影响土体强度。合理的施工参数可以优化土体强度的分布,提高成桩质量。

(2)传感器的应用。此次研究采用孔压传感器和侧摩阻力传感器实时监测土体的渗透性和强度特性,用于评估搅拌桩顶部孔压消散系数和侧摩阻力对打设时间、喷浆量、水泥浆流速和打桩深度等参数的影响。

① 孔压传感器。此次研究采用 RST Instruments VW2100 Series 振弦型孔压传感器,用于实时监测搅拌桩顶部孔压的变化,反映土体中水泥浆料在其注入后的压力消散情况,提供数据用

于评估土体中水泥浆料的渗透性和孔隙结构变化,进而评价搅拌桩的成桩质量。

安装于搅拌桩钻杆端头的孔压传感器可实时监测孔压的变化。此次研究项目之水泥搅拌桩的打设采用“四搅二喷”工艺,其单次提升或下钻时间为 10 min,单桩打设深度为 9 m。研究时选取了不同深度的多处监测点位,在搅拌与提升过程中,监测了同一点位在不同时间的孔压数据,经过滤波、去噪、平滑处理后,按以下公式进行了孔压消散系数的计算:

$$C_v = \frac{T_{v50} H_d^2}{t_{50}}$$

式中: C_v 为孔压消散系数; H_d 为有效路径排水长度; T_{v50} 为时间因子,是一个已知常数,取 0.197; t_{50} 为达到初始孔压 50%时的孔压消散所需的时间。

孔压消散系数为反映土体固结特性的关键参数之一,可反映土体在外部荷载作用下孔隙水压力消散和土体压缩的速率。高孔压消散系数意味着土体固结速度快、土体变形趋于稳定所需的时间较短,适合于需要快速完成基础沉降的工程;而低孔压消散系数则表示土体固结速度慢、基础沉降稳定需要较长的时间,在这样的土体中施工需要更长的时间方能达到设计要求的沉降。

在搅拌桩施工过程中,孔压消散系数是影响其打设时间、喷浆量、水泥浆流速和打桩深度等参数的重要因素之一。

a. 对打设时间的影响。在低孔压消散系数条件下,土体中的孔隙水压力无法迅速消散,可能会导致土体软化或局部液化,进而增加钻杆推进的难度,延长打设的时间。如果孔压消散较慢,施工过程中可能需要暂停以等待孔压消散而导致总的施工时间增加。

b. 对喷浆量的影响。在孔压消散较慢的情况下,土体承载能力受到影响,其喷浆量的分布可能不均匀而导致浆液无法有效地渗透或扩散。而孔隙水压力的存在可能会阻碍浆液的正常流动,使喷浆过程中遇到阻力,进而影响到喷浆量的控制和均匀性。

c. 对水泥浆流速的影响。孔压消散较慢会导致土体中孔隙水压力较高,使水泥浆在土体中流动时遇到更大的阻力而导致流速减缓。孔隙水压

力高的土体容易导致水泥浆流动受阻,进而增加堵塞的风险,影响流速的稳定性。

d. 对打桩深度的影响。低孔压消散系数会导致土体中的孔隙水压力难以消散,进而增加钻杆推进的阻力,影响打桩深度。高孔隙水压力可能会导致土体局部液化,钻杆在推进过程中可能会出现不稳定而影响到对打桩深度的精确控制。

针对上述分析,此次研究采取了以下相关的应对措施:

a. 合理安排施工节奏。根据土体孔压的消散特性合理安排施工时间和节奏,避免长时间连续作业以给予孔压消散的时间。

b. 调整喷浆压力。根据孔压消散情况适当调整喷浆压力,以确保浆液能够克服孔隙水压力达到预期的喷浆量和分布效果。

c. 优化水泥配比。根据土体孔压消散特性调整水泥浆的配比,以确保水泥浆在孔压高的条件下仍然能保持适当的流动性和流速。

d. 逐层推进。采用逐层推进的方式避免一次性深度过大以给予土体孔压消散的时间,保证每层土体的稳定性和均匀性。

② 侧摩阻力传感器。此次研究采用 Geokon Model 4810 振弦式应变计,通过实时监测与调整打桩速度和压力,优化施工过程以避免对土体造成不良影响。控制打桩速度,防止其过快或过慢引起土体扰动和摩阻力不稳定。根据侧摩阻力的变化调整打桩压力,优化桩基与土体的接触条件。

侧摩阻力传感器的测量数据能够用于评估施工参数对桩基性能的影响,其包括打设时间、喷浆量、水泥流速和打桩深度等。具体分析如下:

a. 对打设时间的影响。侧摩阻力的增加会直接增加钻杆推进和提升所需的力,而导致钻杆移动速度减慢,进而延长打设的时间。更大的侧摩阻力会使设备负荷增加,导致设备效率降低,增加施工的时间和能耗。

b. 对喷浆量的影响。侧摩阻力过大会影响到钻杆的稳定性,导致喷浆过程中出现压力波动、使喷浆量不均匀。所增加的侧摩阻力可能会导致喷浆管道或喷嘴堵塞,进而影响到正常的喷浆量。

c. 对水泥浆流速的影响。由于侧摩阻力增大,水泥浆的流动可能会在钻杆内部或喷浆口处受阻而导致流速变慢甚至堵塞,进而影响到桩体

的成型速度及成桩质量。

d. 对打桩深度的影响。侧摩阻力增大会使钻杆推进更为困难,可能导致其无法达到预期的打桩深度、导致打桩深度不均或达不到设计要求。

针对上述情况分析,此次研究采取了以下相关的应对措施:

a. 合理选择施工参数。根据土层情况,调整钻杆的旋转速度和推进速度用于平衡侧摩阻力和施工效率。

b. 监测与调整。实时监测喷浆量和钻杆的运行状态,根据实际情况调整喷浆参数。

c. 适时清洗。施工过程中,定期清洗钻杆和喷浆口,防止其堵塞。

d. 分层施工。根据土层特性分层施工,逐步调整钻杆和推进参数以确保钻杆能达到设计深度及成桩质量。

(3) 智能化成桩质量评估模型。基于上述残差网络模型数据信息及传感器信息建立了土体条件的反馈模型,采用 B-P 神经网络构建出多层训练成桩质量评估模型。该模型能够在复杂土层地质条件下对水泥搅拌桩成桩质量进行智能化评估,进而实现高效、精准的成桩质量监测。

B-P 神经网络是一种多层感知器模型,其通过反向传播算法调整权重能够高效学习复杂的非线性映射关系。在该模型中,输入层包括孔压传感器及侧摩阻力传感器的数据、土体参数和施工参数;隐藏层则通过多层神经元结构提取输入数据的复杂特征;输出层则给出了成桩质量的评估结果,包括桩体的均匀性、密实度和强度等关键性指标。通过训练 B-P 网络,能够根据传感器数据和施工参数实时预测成桩质量,并通过反馈机制实时调整施工参数,如打设速度、喷浆量和水泥浆流速,确保成桩质量达到设计要求。该模型不仅能够实时监控施工过程中的孔压及侧摩阻力的变化,提供土体条件的动态反馈,还能够通过智能化决策系统减少了试错和调整时间,进而提高了施工效率,降低了施工成本。同时,该模型还能够确保桩体的均匀性和密实度,提升桩体的整体强度和稳定性,从而大幅度提高成桩质量和工程的安全性。通过将残差网络模型和 B-P 神经网络相结合,构建出一个高效、精准的施工过程中的成桩质量评估系统,实现了水泥搅拌

桩成桩质量的智能化监测与优化调整,为复杂地质条件下的工程施工提供了强有力的技术支持和保障。

3 工程应用

笔者通过对智能化水泥搅拌桩质量评估方法在实际工程中的应用进行分析,验证了该方法具有的有效性和可靠性。具体应用情况包括以下几个方面:

(1)施工效率提升。在多个实际工程项目中引入智能化水泥搅拌桩质量评估系统后,其施工效率得到了显著提升。传统的质量评估方法通常需要数天至数周才能获得结果,而通过实时监测系统 and 智能评估模型可以在施工过程中对桩体质量进行实时监控和评估,从而大大缩短了施工周期。笔者在灵昆产业园昆北路及王相东路工程选取了400 m长的试验段进行鉴别得知:水泥搅拌桩的施工周期从原计划的35 d缩短至28 d,施工效率提高了20%。另外,这种实时监测和评估的模式还使施工人员能够及时发现问题并进行调整,从而避免了因质量问题导致的返工和延误。

(2)质量控制优化。该智能化质量评估系统能够实时监控施工过程中的各项参数,通过对数据进行分析 and 反馈,能够优化施工工艺和参数配置。在灵昆产业园昆北路及王相东路工程水泥搅拌桩施工过程中,通过系统监测发现昆北路桥头加强段土体的孔压消散较慢,导致原计划的喷浆量不足以确保桩体的密实度。通过系统反馈,施工人员及时调整了喷浆量和水泥配比,确保了桩体质量的均匀性和稳定性。与传统方法相比,该项目成桩质量的均匀性提高了15%,密实度提升了20%,有效避免了因施工参数不当导致的质量问题。

(3)成本的降低。智能化质量评估方法的应用提高了施工效率,降低了施工成本。传统的质量评估方法需要大量的人力和物力投入,而智能化系统通过传感器和算法自动化完成数据采集和分析,大幅度减少了人工和设备的使用。在灵昆

产业园道路一期工程(昌绣路等四条路)项目中,智能化评估系统的引入使得软基处理质量评估成本降低20%,节约了大量的工程资金。

综上所述,智能化水泥搅拌桩质量评估方法在实际应用中取得了显著成果,不仅提高了施工效率和质量控制水平,还显著降低了施工成本,提升了工程的安全性和技术应用价值。随着科学技术的不断发展和应用经验的积累,该方法将在更多的工程领域发挥重要的作用,进一步推动工程质量控制向智能化、实时化方向发展。

4 结语

笔者针对水泥搅拌桩成桩质量评估难以实时、精准和系统化的问题,提出了一种智能化快速质量评估方法。该方法通过构建分层数据驱动的残差网络模型和B-P人工神经网络模型,结合孔压和侧摩阻力传感器,实时监测并分析了各项施工参数,智能化评估了成桩质量并能动态调整施工工艺,确保了桩体的均匀性和密实度。通过现场应用和实验结果表明:该方法具有较高的预测精度及施工效率,可为实际工程中的质量控制提供科学依据。

参考文献:

- [1] 吴彦铭.市政道路工程软土地基处理施工技术[J].交通世界(上旬刊),2019,26(6):26-27.
- [2] 王雅宁,景泽涛,李保民.智能化水泥搅拌桩监测系统在软基处理中的应用实测[J].现代信息科技,2023,7(15):166-178.
- [3] 郭玥秀,杨伟,刘琦,等.残差网络研究综述[J].计算机应用研究,2020,37(5):1292-1297.
- [4] 何春梅.人工神经网络模型、算法及应用[M].北京:电子工业出版社,2022.
- [5] 彭勃.物联网技术对水泥搅拌桩施工质量智能监控[J].浙江建筑,2022,39(4):47-51.

作者简介:

万明栋(1978-),男,广西陆川人,分局副总工程师兼项目经理,正高级工程师,从事市政、水利等工程施工技术与管理工
刘齐星(2000-),男,四川眉山人,助理工程师,学士,从事建设工程施工技术与管理工

(编辑:李燕辉)