

论述水泥搅拌桩在路桥施工技术应用分析

魏智国

新疆北新路桥集团股份有限公司, 新疆 乌鲁木齐 830000

[摘要]路桥工程在提高交通效率以及促进区域经济发展方面发挥重要作用, 而地基处理技术选择对工程质量以及稳定性具有重要影响, 水泥搅拌桩作为一种有效的地基加固方法, 在路桥工程中得到广泛认可以及应用。基于此, 本篇文章研究中将首先对水泥搅拌桩原理进行阐述, 并对其施工重点控制要素进行分析, 在此基础上, 结合实际案例对其施工应用要点进行深入探究。

[关键词]水泥搅拌桩; 施工技术; 应用

DOI: 10.33142/ect.v3i3.15687

中图分类号: U445.4

文献标识码: A

Discussion on Analysis of the Application of Cement Mixing Pile in Road and Bridge Construction Technology

WEI Zhiguo

Xinjiang Beixin Road and Bridge Group Co., Ltd., Urumqi, Xinjiang, 830000, China

Abstract: Road and bridge engineering plays an important role in improving traffic efficiency and promoting regional economic development. The choice of foundation treatment technology has a significant impact on the quality and stability of the project. Cement mixing piles, as an effective method of foundation reinforcement, have been widely recognized and applied in road and bridge engineering. Based on this, this article will first elaborate on the principle of cement mixing piles and analyze the key control elements of their construction. On this basis, combined with practical cases, the key points of their construction application will be deeply explored.

Keywords: cement mixing pile; construction technology; application

引言

在现代路桥工程施工中,地基处理技术在保障工程安全、稳定以及经济性发挥关键作用,而水泥搅拌桩技术在其独特的加固机理以及工程效益优势支持下,逐渐得到施工领域广泛认可,并在路桥施工中得到广泛应用。水泥搅拌桩在实际应用中主要通过将水泥浆以及土体原位进行搅拌混合,进而形成具备较高强度以及稳定性的水泥土加固体,最终实现提高地基承载力与减少沉降目标,切实保障路桥工程实际施工质量。

1 水泥搅拌桩原理概述

水泥搅拌桩作为高效的地基处理技术,其在工程领域得到广泛认可与应用,该技术具体应用中,需首先利用专业施工设备将钻头深入至预定土层深度,随后利用设备向土层中喷射水泥砂浆,此过程作业中,喷射、搅拌以及钻头的上提动作需保持高度同步性。随着钻头不断深入以及搅拌,水泥砂浆与周围土体可有效实现充分混合,进而促使两者在物理层面紧密交融,同时在化学反应作用下,大幅提升地基强度以及稳定性,进而保障路桥工程等建设项目可充分满足既定设计要求。水泥搅拌桩成桩机制主要涵盖如下两方面:

(1) 水泥的水解以及水化反应机制是成桩机制的主要基础。硅酸盐水泥是水泥搅拌桩技术施工中的主要施工材料,其主要由氧化钙、二氧化硅、三氧化硫等水硬性胶

结材料构建。在水泥与水混合过程中,其中所蕴含的矿物质成分可快速与水产生化学反应,进而生成一系列新水化物。相关水化物具备良好的水溶性,可迅速溶解于水中,以此暴露出更多水泥颗粒以供继续与水反应,同时其也可在水泥颗粒间形成强大的化学键合作用,进而为后续固化过程提供坚实基础保障。

(2) 水泥化合物与土壤颗粒间的化学反应过程是水泥搅拌桩成桩机制的核心关键环节。在此反应过程中,水泥水化物凝胶颗粒可与土壤颗粒产生团粒化作用、凝硬作用和碳酸化作用等化学反应,生成新化合物以及结构体。其中,团粒化作用主要为土壤中的二氧化硅等矿物质与水进行反应后形成的硅胶微粒,会在水泥水化物催化作用下发生相应化学反应,生成体积更大、结构更稳定的土团粒;凝硬作用主要为水泥中的钙离子等矿物质成分析出并与土壤中的其他矿物质的反应,其可生成不溶于水的硅酸钙等结晶体,相关结晶体可显著提高水泥化合物强度,同时也可为土壤颗粒间提供更紧密的连接;碳酸化作用则主要利用水中的二氧化碳与溶液中剩余的氢氧化钙等碱性物质反应,生成不溶于水的石灰石等碳酸盐类化合物,相关化合物可显著增强土质结构强度以及稳定性。虽然碳酸化作用反应速度相对较慢,但其在水泥搅拌桩成桩机制中发挥重要作用,是提升地基整体稳定性以及耐久性的关键环节。

2 水泥搅拌桩施工控制重点

2.1 浆液喷射

浆液喷射量不足是水泥搅拌桩施工作业中需重点关注的问题,导致此问题出现的主要原因在于输送管道过长导致压力衰减以及管道自身损伤情况。为有效解决该问题,施工单位应从源头层面对浆液输送管道质量标准进行把控,切实保障施工符合相关要求。在使用长管道情况下,可采用有效措施切实增强泵入口压力,以切实提升浆液输送能力,如对泵的工作参数进行调整,或者采用更高效的泵型。此外,施工单位也可在适当位置增设浆液储存池,利用其缓冲和调节作用,进一步提升浆液输送效能。

2.2 砂浆喷射堵塞

砂浆喷射过程中堵塞问题会对水泥搅拌桩施工造成明显影响,这主要是受制备砂浆时滤网破损,或者砂浆储存和运输过程中受潮凝结导致。在堵塞情况发生后,施工进度必然会受到负面影响,同时还会导致设备损坏情况出现。因此,施工单位应注意对滤网进行定期检查和维修,确保其完好无损,同时还需对水泥材料储存条件进行优化,切实保持储存区域干燥通风,避免砂浆出现受潮情况。针对已受潮的砂浆,应及时作出处理,避免继续使用造成堵塞情况出现。

2.3 桩基速度控制

在水泥搅拌桩施工作业中,桩基速度控制具有重要作用。桩基速度不稳定情况主要由操作不当、设备故障或设备不兼容等因素导致。为有效控制桩基速度,施工单位应积极加强操作人员专业技能培训力度,切实提高其操作水平以及责任意识。同时,技术人员应注意基于施工实际需求选用相应施工设备,避免因设备不兼容导致问题出现。施工单位还需定期对设备进行维护以及保养,切实保障设备工作状态始终保持良好。

2.4 桩机进入不畅

在水泥搅拌桩实际施工中,桩机进入不畅问题较为普遍,此情况主要由石块、树根等地下障碍物造成。为此,施工单位在正式开展施工前,首先对施工现场进行勘察,明确地下障碍物分布以及性质。在此基础上,结合所用技术以及实际情况制定采用挖掘机等工具进行清理等具备针对性的障碍物清除方案。若障碍物较大或难以清除情况下,则可考虑对桩机进入路径进行重新规划,或者采用其他施工方法进行作业。

3 水泥搅拌桩技术施工应用要点

3.1 案例概况

为深入探究水泥搅拌桩技术施工应用要点,本文研究中将选取具体案例进行详细阐述。案例工程为某地公路建设项目,工程高度在4~5m范围内。项目上部结构层地质存在明显软弱性,且该软弱层较厚。地基部分土岩层深埋

地下,深度达到45m以上,同时,该公路工程沿线广泛分布水塘以及农田。施工单位对工程施工区域进行详细勘察后发现,土体水分含量较高,土层渗透性能相对较差,且内部存在较大数量的孔隙。为有效应对复杂地质因素,设计单位最终决定采用水泥搅拌桩施工工艺,以切实提升公路地基稳固性,进而保障高速公路实际运营中的安全性以及稳定性。

3.2 水泥搅拌桩施工准备以及试桩作业要点

在水泥搅拌桩施工作业正式开始前,施工单位需首先对施工技术规范、质量标准以及施工指导原则进行深入分析与详细掌握,并对施工设计图纸进行严格审核,切实保障施工过程中各环节操作均充分遵循设计图纸标准以及相应技术要求。在水泥搅拌桩布局方面,施工单位决定采用正三角形排列方式,并将桩间距精准控制在0.9~1.1m区间范围内,而桩径则设定为0.5m。为切实保障实际加固效果,加固层需穿透软弱土层,深入至下部沙砾层或风化层中,且其深入深度应达到0.5m以上。在桩顶铺设方面,施工单位设计设置一层厚度为0.4m的碎石垫层,并在其中夹带土工格栅结构,以切实增强整体稳固性。在桩体材料配置方面,案例工程主要采用粉煤灰、普通硅酸盐水泥(P.042.5)以及水所构成的混合材料,相关材料可与土体进行充分混合搅拌,进而形成坚实可靠的桩体。

同时,在施工作业实际开始前,施工单位还需选取与主体工程地质条件相似的地段进行水泥搅拌桩试桩作业。此次试验中共设置2根试验桩,依托于试验结果明确淤泥黏土地质条件下,水泥搅拌桩应达到的技术指标要求,进而为后续正式施工提供有利基础。在试验开始前,施工技术人员应对试验所有材料进行严格的试验检测,切实保障各项性能指标均符合工程技术标准要求。试桩直径设定为500mm,数量则设定为2根。试验过程中,施工人员对材料配合比参数进行精细设定,并将水胶比设定为0.5,以获得最佳施工效果。

3.3 水泥搅拌桩施工作业要点

3.3.1 桩位精确测设

在施工作业开始前,为切实保障水泥搅拌桩定位精准性,案例施工人员在实际作业中,严格基于设计图纸开展三维坐标放样作业。此过程中,需采用钢钎对桩位中心位置进行精确定位,将平面位置误差控制在50mm以内。为切实保障桩位精准无误,需由专业测量人员对桩位坐标进行复核,并在桩位处设置明显标识,为后续施工作业提供便利条件支持。

3.3.2 设备精准定位与调试

在桩机就位环节中,施工单位需确保设备精确对准预设桩位。具体施工中,为保障桩机稳定性以及垂直度,案例工程施工人员应利用双向铅锤仪对立柱垂直度进行校

正, 确保垂直度偏差控制在 1% 以下。在完成桩机调试作业后, 还需对管路压力进行测试, 确保工作压力控制在 0.4MPa 以上, 以保障输浆系统工作压力充分满足实际施工要求, 该步骤在提升水泥搅拌桩施工质量与稳定性方面发挥重要作用。

3.3.3 预搅下沉与动态调控

在启动搅拌机冷却系统并等待温度稳定后, 案例工程施工人员即可操作搅拌头沿导向架匀速下沉。为确保下沉过程平稳性以及可控性, 施工人员应基于电机工作电流监测结果进行动态调节。具体操作中, 工作电流应控制在额定值的 80% 以下, 以避免电机过载情况出现。在下沉过程中遭遇地层阻力异常情况时, 应及时注入减阻浆液, 以此对地质条件进行有效改良, 切实保障搅拌头顺利下沉。为获得最佳下沉效果, 建议将下沉速率控制在 1.2~1.8m/min 区间范围内。

3.3.4 浆液科学制备与质量控制

在水泥搅拌桩实际施工作业中, 浆液制备占据重要地位。施工人员在实际工作中, 应注意依照水灰比 0.45~0.55 的设计范围开展水泥浆制备作业, 并通过筛分预处理对杂质进行彻底清除, 随后将经过处理的水泥浆输送至集料斗备用。为有效改善浆液流动性, 每立方 m 浆液中应添加 2% 的膨润土。此外, 为切实保障浆液性能稳定性, 浆液滞留时间应控制在 2h 以下, 避免浆液出现沉淀或变质情况。该步骤在确保水泥搅拌桩强度以及稳定性方面发挥重要作用。

3.3.5 喷浆搅拌作业

当钻具达到设计标高后, 即可正式开展喷浆搅拌作业。具体操作中, 施工单位应开启灰浆泵并保持钻头处于反转状态, 此时需匀速提升钻杆。提升速率应注意参照工艺试验参数进行精确控制, 以确保搅拌均匀性以及桩体质量。

在具体提升作业中, 当距离桩顶约 1m 时, 应将提升速率降低至 0.8m/min, 以强化桩顶部搅拌效果。在首次提升至地表后, 还需开展二次下沉复搅作业, 持续搅拌 10~20s, 以保障桩端部分密实度以及强度达到预期。

3.3.6 复搅强化作业

在完成首轮喷浆搅拌作业后即可关闭输浆系统, 并开展二次下沉搅拌作业。施工人员应基于规范要求实施“四搅二喷”工艺, 即在桩体施工全流程中进行四次搅拌以及两次喷浆作业。复搅次数应在 2 次以上, 以保障桩体均匀性和密实度达到标准要求。此外, 技术人员应设定相邻搅拌轨迹重叠量达到 200mm 以上, 以避免出现搅拌盲区或薄弱环节, 以此切实提高桩体整体质量以及承载能力。

3.3.7 接桩处理作业

在水泥搅拌桩实际施工作业中, 不可避免地会受多种原因影响, 出现非计划停机情况。当停机时间达到 30min

以上时, 应将复搅深度控制在中断界面 0.5m 以上, 以保障桩体连续性以及整体性。当停机时间达到 2h 以上, 则应对管道进行拆卸清洗处理, 以避免出现管道堵塞或因残留物对后续施工造成影响。

在重新开展施工时, 为切实提高水泥浆固化效果, 应注意适当将水泥浆流量提升 10%~15%, 以对因停机造成的固化损失进行补偿。

3.3.8 清洗作业要点

在各工班结束后, 均需对管路进行冲洗以及维护作业。实际作业中, 施工单位应利用高压水枪对管壁上的残余浆体进行清洗, 以保障管路畅通性。同时, 施工人员还需对桩顶 500mm 范围内的松散混合料进行人工修整以及剔除。在完成修整作业后, 应注意采用与桩体同级的水泥砂浆进行抹平处理, 切实保障桩顶部分平整度以及美观度, 同时也可实现提高桩体整体质量以及耐久性目标。此外, 施工单位在实际作业中还需注意, 定期开展维护以及保养作业也是保障水泥搅拌桩施工设备长期稳定运行的关键环节。

3.4 施工质量检测要点

在成桩作业完成后, 应在 28d 后对桩体结构进行全面的质量检测, 具体检测项目如表 1 所示。此环节主要工作在于对桩体强度进行确认以及对桩身完整性进行评估, 以保障桩基础满足设计规范以及安全标准要求。依据相关标准规范要求, 检测比例最少应为总桩数的 0.2%, 且该比例所对应的最小检测数量应在 3 根桩以上, 以确保检测结果具备较强代表性以及可靠性。

在实际开展检测工作时, 除关注桩体物理属性以及结构完整性外, 还需对桩身承载性能进行检测。承载性能检测结果是判断桩基础能否有效承载上部结构荷载的关键环节。技术人员可通过静载试验或动载试验, 对桩在受力状态下的变形情况以及承载力进行精准测量, 以此有效验证桩基础设计合理性以及实际应用性能。

表 1 水泥搅拌桩质量检测内容

检查项目	规定值或允许偏差值	检查方法
桩位	±50mm	抽查桩数 10%, 且不少于 5 根
桩径	不小于 50cm	抽查桩数 10%, 且不少于 5 根
竖直度	≤1%	经纬仪或吊线测钻杆倾斜度
桩长 (m)	不小于设计值	查施工记录
单桩喷浆量	不小于设计值	查施工记录
强度	不小于设计值	抽查 0.2%

4 结语

综上所述, 水泥搅拌桩在路桥工程施工中发挥重要作用, 因此施工单位在实际作业中应严格开展施工准备以及试桩工作, 在此基础上积极把握桩位精确测设、设备精准定位与调试、浆液科学制备与质量控制、喷浆搅拌作业等

环节的作业要点,并对成桩质量进行严格检验,为提升路桥施工质量提供必要保障。

[参考文献]

- [1]孟凯.双向水泥搅拌桩在路桥过渡段路基加固处理中的应用[J].江西建材,2023(12):334-336.
- [2]孟震宇.关于水泥搅拌桩在路桥施工技术的实践探索[J].数码-移动生活,2023(9):148-150.
- [3]肖先武.公路工程中水泥搅拌桩首件施工技术研究[J].价值工程,2023,42(27):102-104.
- [4]许建丽.水泥搅拌桩施工技术在高速公路软基处理中

的应用[J].工程建设与设计,2023(23):232-234.

[5]徐悦,周文欢,徐烽.浮筒式水泥搅拌桩在软土地基处理中的施工技术研究[J].广东建材,2023,39(5):95-98.

[6]王丽萍.高速公路水泥搅拌桩质量检测与评价方法[J].交通世界,2024(10):110-113.

[7]郭晓旭.公路工程路基加固施工中深层水泥搅拌桩施工技术研究[J].运输经理世界,2023(1):13-15.

作者简介:魏智国(1979.7—),男,西安理工大学,土木工程,新疆北新路桥集团股份有限公司,项目副经理,助理工程师。