

路桥施工中水泥搅拌桩技术的应用研究

陈勇

新疆北新路桥集团股份有限公司，新疆乌鲁木齐，830000；

摘要：在土体加固工作中，水泥发挥着至关重要的作用，它通过与土体紧密结合，构建出一种新型复合结构体，极大增强了软弱土质的结构稳定性和安全性。水泥土搅拌桩施工技术，凭借其经济高效、环境友好的独特优势，在路桥施工中占据了举足轻重的地位。然而，该技术的有效实施高度依赖于施工人员的专业素养，确保施工各环节的规范性，是保障加固成效的关键所在。当前，城市公路建设广泛采用水泥土搅拌桩技术，通过对现有设施的机械化升级，实现了水泥与土体的深度交融，从而大幅提升了地基结构的承载能力。为进一步拓展其工程应用范围，学术界已深入开展了相关理论研究，旨在不断优化和完善其实际应用效果。

关键词：水泥搅拌桩；路桥施工；施工技术；技术应用

DOI：10.69979/3029-2727.25.01.008

引言

在路桥工程的软土地基处理环节，水泥作为关键材料，通过搅拌桩设备的精确操作，将水泥浆液均匀注入地基土中，引发一系列复杂的化学反应与物理变化，从而显著提高了软黏土的刚度和强度^[1]。本研究聚焦于粉质黏土与淤泥质黏土的特定性质，提出了一种高效、经济且环境友好的施工方案。该方案能够在短时间内显著提升路基的承载能力，对于提高路桥工程的整体施工质量具有深远的意义^[1]。

1 水泥搅拌桩概述

水泥搅拌桩技术，作为一种专为饱和软粘土设计的地基处理方法，广泛应用于路桥施工领域。该技术通过专业搅拌设备，将固化剂与土体进行强制性混合，诱发土体的化学与物理变化。经过深度且均匀的搅拌，所形成的地基复合材料不仅水稳定性卓越，整体结构性亦十分优异，非常适合用于加固公路、桥梁等基础设施的软土地基。在路桥施工中采用水泥搅拌桩技术时，必须严格遵循相关技术标准与规范。施工前，需对施工区域的地质情况进行全面细致的勘探，包括对施工范围内的土壤有机质含量、pH 值进行测定，以及对软土的分布情况进行详细调查。这些地质数据的收集与分析，是制定科学合理施工方案的基础，对于确保施工过程的顺畅进行与工程质量的可靠性至关重要。通过这一系列严谨的前期准备与精心规划，水泥搅拌桩技术能够在路桥工程中充分发挥其效用，为基础设施的安全稳固提供强有力的

支撑。

2 水泥搅拌桩在路桥施工技术的应用策略

2.1 工程项目概述

2.1.1 工程概况

本项目为某工业园区内的景观北路市政公路新建工程，坐落于园区核心区域，交通便捷，四通八达。公路走向为东西方向，起始于规划中的某西路延长线西侧，终止于现有的某大道东侧，规划红线宽度为 30 米，总设计长度为 1813.824 米。本次施工的实际作业段从桩号 KK0+020 延伸至 K-1+800，实际作业长度约为 1780 米，项目规模庞大。公路设计遵循双向四车道标准，设计行车速度为 40 公里/小时，并计划在施工过程中增建一座跨度为 113.1 米的桥梁。

2.1.2 地质与水文条件

通过专业地质勘探，确认项目所在地属于第四系沉积地层，原为滨海平原地貌。地层自上而下依次分布为杂填土、淤泥质粘土、淤泥夹砂层、粉质粘土、中砂层、残积砂质粘土，基底由各类风化花岗岩构成。地质勘察未发现显著的不良地质现象，但存在松散填土与软弱土层，且项目位于地震不利区域，地基与场地稳定性欠佳。地层中岩土种类繁多且分布不均，力学特性差异明显。此外，项目区域地下水丰富，地下水位埋深在 0.11 至 3.90 米之间。综合分析工程实例，杂填土、淤泥及淤泥夹砂层对工程建设构成主要影响，需采取有效手段进行处理。因此，提出采用水泥搅拌桩技术对上述不良地层实

施加固，以减轻其对工程建设的负面影响^[2]。

2.2 水泥搅拌桩施工前期准备

为确保后续混凝土浇筑作业的顺利进行，需首先开展现场平整工作，为混凝土浇筑创造必要的施工条件与质量控制基础。针对雨季排水需求，应在施工场地内合理规划并开挖排水沟，确保雨水能够及时排出。在材料筹备方面，项目启动前需在施工现场建设一座面积不小于 45 平方米、水泥储量超过 85 吨的水泥库，以满足连续施工对水泥原料的需求。按照《水泥搅拌桩施工工艺规程》的相关规定，回填土每层厚度应严格控制在 0.5 米以内，压实系数需达到 70%至 85%，为后续施工打下坚实基础。在水泥搅拌桩桩头对应位置，需安装 6 块横刃，并将其吊装至井架周边及前方，使用红色油漆进行清晰标识。桩基起重机框架上需明确标注零点刻度，并以米为单位设置刻度线，以便后续混凝土浇筑时作为参照。

在正式实施水泥搅拌桩技术前，需制定完善的技术实施方案，建立健全质量管理体系，开展技术交底工作，并对技术人员进行系统的岗前培训与资格审核，确保施工队伍具备扎实的专业技能与良好的综合素质。

2.3 水泥搅拌桩总体施工方案

基于施工场地的实际状况与施工规范，于工程开工前夕，利用 BIM 技术为施工团队构建三维模型，并通过 3D 动画演示对施工团队展开技术指导，以保障施工质量、促进文明施工及落实环保措施。借助 BIM 建模的深度分析，预先发现并妥善处理了施工层次间的潜在冲突及与地下管线的碰撞问题。本项目决定采用四次喷浆与四次搅拌的施工工艺流程^[3]。

第一，在正式开展施工前，需预先通过试桩作业确定并调整各道工序的关键技术参数：水泥类型选定为 P.042.5 普通硅酸盐水泥，推荐掺量设定为 78 千克每立方米，水泥浆的水灰比需维持在 0.45 至 0.55 的区间内。桩体设计直径为 600 毫米，桩长则介于 6.3 米至 7.1 米之间，桩端需深入持力层至少 1.5 米，桩间距被设定为 1.2 米，整体以直角三角形形式排布。注浆作业完成后，需确保桩体在 28 天及 90 天的无侧限抗压强度分别不低于 1.2 兆帕与 1.5 兆帕，同时单桩的承载能力需满足不小于 120 千牛的要求。

第二，在进行堆载预压处理时，需对垫层范围内的

存在质量缺陷的桩基进行人工清除，并采用粒径为 5 至 40 毫米的碎石作为垫层材料，通过静力压实作业，确保垫层的密实度能够超过 95%的标准。

第三，桩机安装作业完成后，需对桩机的底座以及导向框架进行精密的调整与校准，以保证其垂直度误差被严格控制在 1%以内。同时，为确保制备的泥浆在泵送过程中不发生离析现象，需对水泥进行细致的筛分处理，从而保障泵送的连续性与稳定性。注浆作业结束后，桩顶的标高应至少高出设计标高 30 厘米，以满足后续施工的需求。

2.4 成桩施工工艺

第一，依据前期精确测量放线的成果，对钻机进行了精确的位置调整，确保其达到精准的定位要求。为保障钻孔灌注桩导架的稳固性及垂直精确度，需将其水平位移偏差严格控制在 5 厘米以内，同时确保其垂直度偏差不得超过 1.5%的允许范围。

第二，在采用深层搅拌工艺时，需利用搅拌叶片深入土层中心，对原始土壤进行充分的拌合处理，并通过探测设备精准控制搅拌叶片的下插深度。搅拌速度应维持在每分钟 0.38 米至 0.75 米的合理区间内。若遇到坚硬土壤，可通过送浆系统适量补充清水，以降低施工阻力，同时确保搅拌叶片能够保持适当的埋设深度。但需注意，补水量需适度，以防土壤湿度过高，影响桩基结构的稳定性。在连续搅拌的过程中，将搅拌叶片下压至设计深度，随后将水泥浆注入软土地基中。

第三，在灌注成桩的施工过程中，需严格控制水泥浆的配合比，确保各项性能指标满足设计要求。若需添加固化剂，应由专业工程师进行配比试验，确定适宜的掺入量，并进行混凝土强度试验，以全面提升工程施工质量。水泥浆配制完成后，应及时投入使用，避免长时间搁置导致离析现象的发生，影响工程质量。在投料环节，需保持泥浆泵输送的连续性，避免因间歇时间过长而影响灌注桩的结构性能。通过合理调节水泵转速，可优化泥浆泵送系统的工作状态。在搅拌过程中，需详细记录物料消耗、工作效率等关键数据，并利用流动泵实时监测泥浆的输送状态。在灌浆作业中，需精准调控灌浆压力，确保浆液与土壤能够充分融合，同时需密切关注灌浆孔内的压力变化，将灌浆压力控制在 0.4 兆帕至 0.6 兆帕的合理范围内。为保持混合料的提升与输送速率一致，需构建平衡的工作体系，防止漏浆量过大或过

小。为进一步提升混凝土浇筑质量,在喷射混凝土时,需保持搅拌轴的持续旋转^[4]。

2.5 后期工作

第一,钻孔灌注桩作业结束后,需遵循设计准则适时调整起吊速率,以防起吊速度不当,通常推荐的起吊速率为每分钟 0.5 米,旨在维护施工质量的稳固性。在整个钻孔灌注桩施工过程中,务必保证各项工艺参数均契合规范要求,同时指定专人负责对施工过程的记录与监控,为后续项目验收提供充分的数据支撑。通过灵活调整施工方案,突破了传统施工模式的束缚,增强了施工流程的灵活性与应变能力。例如,在深打钻机提升至预定高度之际,需将搅拌叶片深入土层,以旋转搅拌的方式促进泥浆与土壤的深度融合。待灌注桩升至预设高度后,再缓缓提升至与地表接触的位置,标志着整个施工流程的圆满完成。

第二,为夯实桩基的施工质量,需进行精细的调整作业,并采纳分阶段提升的施工策略。在注浆达到设计高度后,暂停起吊作业,在此阶段维持一段时间的连续搅拌,以优化灌注头的受力条件。随后,根据工程规范持续推进混凝土灌注桩的施工,直至构建出一个结构稳固、性能卓越的水泥搅拌桩体系。

2.6 质量检查

2.6.1 检测重点

为提升灌注桩的力学性能,施工后的质量检测显得尤为重要。不同检测方法所侧重的检测重点各不相同。例如,在开挖检测环节,需按照设计规范开挖一定数量的桩身,以观测桩身的外形特征,并评估软粘土与水泥浆的拌合均匀程度。在钻孔取样检测时,则需从不同深度采集混凝土试样,通过对比分析其各项参数,以掌握桩身的承载性能。此外,在处理粉喷桩时,还需对桩身的变形状况进行持续监测,以便进行综合性的评估与处理。除了上述检测重点外,还需留意以下具体检测细节:在淤泥处理完毕后 3 天,需开挖桩端以校验桩的直径是否达标。在混凝土灌注桩施工完成后 10 天,采用动力触探设备检测桩身的均匀性。对于成桩 28 天后的检测,需清除桩帽后进行全面的性能测试。在钻孔取样时,需确保芯样的合格率不低于 85%,取样数量不少于总数的 0.5%,且桩身的抗压强度需满足不低于 0.6MPa 的要求^[5]。

2.6.2 检测实施流程

在对水泥搅拌桩进行质量检测时,可采用静载荷测试来评估其力学性能。鉴于单桩测试的局限性,为了更精准地掌握基础的受力状况,建议优先采纳组合基础法进行检测。具体检测实施流程如下:

第一,确保桩基状态符合测试条件,在施工完成后 28 天对试桩数量进行复核,随后开展静力测试。

第二,若静载荷测试后无法直接判定桩身结构是否合格,可采用取样装置对桩身进行取样,并进行强度测试。测试样本总数为 3 个,占总桩数的 0.5%。

第三,在混凝土灌注桩施工完成后 1 天,可对桩顶进行开挖检测,但需注意避免在停浆位置以下 50 厘米范围内进行挖掘,以防对桩身造成损伤。通过观察与测量,判断桩身的直径和拌合程度,检测数量不少于总数的 5%。

2.7 水泥搅拌桩施工期间需要注意的事项

2.7.1 淤渣预防

在路桥施工中,水泥搅拌桩所采用的淤渣混凝土材料,其性能易受外界环境因素影响,尤其是在潮湿或泥泞环境中,易发生结块现象,这对施工效率与质量构成了严峻挑战。特别是在泥塘等复杂地质条件下,长时间使用的滤网易受损,进而在水泥搅拌机的喷射作业中引发淤堵,不仅延缓工程进度,还可能降低混凝土搅拌桩的整体质量。因此,施工前的设施检查与清洁工作显得尤为重要。这要求施工人员对搅拌设备、输送管道及滤网等核心部件进行全面而细致的检查,及时更换受损部件,并彻底清除残留的混凝土及杂质,从而有效预防淤堵问题的发生,确保施工流程的顺畅进行^[6]。

2.7.2 垂直度精准控制

水泥搅拌桩在路桥施工中的应用,其垂直度是衡量施工质量的关键指标之一,直接关系到桩体的承载性能与稳定性。若未能根据现场实际情况进行精准控制,将导致搅拌桩垂直度不达标,进而影响整个路桥工程的稳固性。因此,在施工过程中,必须采取有效措施确保搅拌桩的垂直度。具体而言,使用搅拌机进行作业时,应在主机上悬挂起吊装置,利用其进行竖直方向的精准控制。通过精细调整搅拌机的运行参数,如提升速率、搅拌频率等,确保搅拌桩在施工过程中始终保持垂直状态。此外,还需定期对搅拌机的垂直度进行校验与调整,及时发现并纠正偏差,以确保施工质量的持续稳定与可靠。

3 结论

综上所述,在城市路桥建设的进程中,软弱土层问题不容忽视,其对路桥的建设质量与运营安全构成了潜在威胁。通过采用水泥搅拌桩进行复合地基处理,不仅能够显著提升软弱地基的稳固性与承载能力,还能够有效保障路桥基础的安全可靠性。在此过程中,全面掌握水泥搅拌桩的施工工艺至关重要,需从前期准备、试桩作业、测量放样、成桩施工、后期维护到质量检验等各个环节严格把关,确保各阶段的质量标准得以满足。同时,还应对施工中可能遭遇的问题及施工质量的管理方法进行深入探讨与研究,以期按时、高质量地完成路桥施工任务,为城市交通建设贡献力量。

参考文献

- [1] 宋丽丽. 复合桩在路桥施工技术的应用分析[J]. 石河子科技, 2023, (06): 59-60.
- [2] 乔天龙. 路桥施工中常见问题处理与施工过程管理建议[J]. 四川水泥, 2023, (03): 181-183.
- [3] 孙爱萍. 水泥搅拌桩技术在路桥施工的应用探讨[J]. 工程机械与维修, 2022, (02): 108-109.
- [4] 张蓉. 水泥搅拌桩在路桥施工技术的应用分析[J]. 运输经理世界, 2020, (10): 43-44.
- [5] 史铁奎. 软土地基施工技术在公路桥梁工程中的应用[J]. 城市住宅, 2019, 26 (04): 137-138.
- [6] 黄明辉. 路桥施工中水泥搅拌桩的应用分析[J]. 建材与装饰, 2018, (45): 270-271.