水泥土搅拌桩在复杂地质条件下的地基处理效果研究

易超 徐源鹏 王杰 戚猛 邹霞

中国建筑第五工程局有限公司, 湖南 长沙 410000

摘要: 文章聚焦水泥土搅拌桩在复杂地质条件下的地基处理成效,以火山引擎长三角无为算力中心项目作为实例,该项目所处区域属河漫滩地貌,场地内广泛分布淤泥质粉质粘土夹砂这类特殊的岩土类别,这直接弱化了地基稳定性指标。面对诸如此类的地质条件带来的难题,例如土壤加固难度大、桩体质量控制困难及与周围环境之间的关联影响等棘手问题,提出了诸如优设参数、调整工序、强化检测之类的方法论思路,并稍带提及此项技术在未来复杂地层应用的可能走向,核心目的在于为后续类似工程案例供给理论依据与实践参照,力求达成地基处置的最佳效益,同时让工程整体的稳态性能得到显著提升,相关成果或具有一定的借鉴意义值得挖掘与记录。

关键词: 水泥土搅拌桩; 复杂地质条件; 地基处理

基础设施建设中地基处理是确保工程安全稳定的重中之重,随着工程建设向地质环境复杂的区域扩展,常规处理方式往往显得捉襟见肘,水泥土搅拌桩作为一种常用技术以其独特的优势,在复杂地质条件下展示了较强的适用性与潜力,就拿火山引擎长三角无为算力中心项目来说,其场地坐落于安徽无为经济开发区,这片河漫滩地貌区域存在特殊岩土特性,给地基处理制造了不小的麻烦,此技术在这一场景中的应用及其成效值得关注和剖析,无论是对项目质量的把控、投入成本的优化还是工程进度的平稳推进,都展现出不容小觑的实际意义,这为类似复杂工况条件下的施工提供了有价值的借鉴。

1 复杂地质条件下水泥土搅拌桩地基处理面临诸多挑战

1.1 土体加固难度大

火山引擎长三角无为算力中心项目场地存在淤泥质粉质粘土夹砂,其含水量高且孔隙比偏大,均匀性欠佳,局部甚至掺杂砂土夹层,给水泥土搅拌桩的施工增加了难度,过高水分弱化了水泥胶凝作用的效能,延长了强度形成

周期,不稳定的土体则容易造成塌孔风险,进一步影响成桩质量,尤其在深度区域,自重应力增大致使设备深入操作受阻,加固工作也因此面临更大挑战。非均质土体加剧了不同位置强度的参差性,难以达成统一设计标准,最终对地基整体稳定性产生负面影响与拖累效应彼此交织。

1.2 桩身质量控制困难

复杂地质环境中,水泥土搅拌桩的桩身质量控制难度陡增,场地内土体性质独特,在钻进与提升阶段,搅拌设备经常遭遇不均匀阻力问题,此时搅拌速度难以维持恒定,直接影响水泥土混合的均匀程度,遇到砂土夹层时更可能出现卡顿现象,这些部位的混合效果往往不尽人意,成为桩身缺陷的主因之一,而施工过程隐匿于地下,无法对桩身实行实时监测,传统开挖检查或取芯检测手段局限性突出,难以精准反映桩身具体情况,人为因素的干扰也不可小觑,操作人员的技术熟练度和责任感都会在某种程度上影响最终的桩身状态,这类不确定性无疑使质量控制难上加难。

1.3 与周边环境相互影响

火山引擎长三角无为算力中心项目场地周边分布着既有建筑物和地下管线,施工难免对这些设施产生干扰,水泥土搅拌桩作业自带振动与挤土效应,振动波及邻近建筑地基后,裂缝或倾斜这类安全隐患便可能浮现,而挤土效应对地下管线的影响表现为位置偏移甚至形态改变,其正常使用因而受阻,加之施工中泥浆等废弃物料若未妥善处置,周边环境被污染的风险也随之增加,场地局促则让施工设备难以安放、材料无处堆放,交通秩序与环境卫生也难免遭受波及,理顺施工与环境间的协调关系无疑成为一大棘手问题。

2 复杂地质条件下水泥土搅拌桩地基处理方法

2.1 优化设计参数

火山引擎长三角无为算力中心项目中,设计团队围绕场地地质报告展开研究,聚焦于淤泥质粉质粘土夹砂的特性推进参数优化,室内配比实验成为关键手段用以确定水泥掺量,其目的在于探寻不同含水量土壤与水泥混合后的强度规律,在一块含水量高达 60%的淤泥质区域,经过多次试验后,将水泥掺量从 15%提升至 18%,28 天抗压值可从 0.8MPa 升至 1.2MPa,达到承载要求,而桩长设计则基于岩土剖面及力学分布特征进行规划,最终确认桩身需穿透 20 米软弱层进入稳定的下伏粉砂质基底以确保支撑性能。上部结构传递下来的荷载经过一番计算后,综合桩径与桩长的相互关系,1.2 米的桩径成为很自然的选择,这样既能保证单桩承载力符合要求,又避免了因桩径过大而造成材料浪费,再说桩间距的确定,既要考虑桩间土和桩体如何协同工作,也得兼顾施工便利性,通过有限元模拟分析后,最终定为 1.5 米,这个间距能让桩间土的承载能力充分展现出来,同时还能有效控制挤土效应,相邻桩在施工时也不会互相影响,地基处理便在这

稳定性和经济性之间找到了平衡点。

2.2 改进施工工艺

火山引擎长三角无为算力中心项目中,施工单位选用了双轴深层搅拌设备,这设备叶片采用高强度合金钢材质,还经特殊热处理工艺加工,强度与耐磨性兼备,复杂土体搅拌难题也可应对,钻进时施工人员依靠设备的自动调速系统,依据实时土体阻力数据调整速度,以求稳定行进减少晃动。遇到砂土夹层时则要手动减速至正常速度的六成,且搅合时间要多出三成,这样才能让水泥和砂土混合得更到位;至于水泥浆制备方面,现场设有标准搅拌站来操作,水泥和水都需用电子秤精准称量,误差得控制在正负百分之一以内,强制搅拌机搅拌三分钟以上确保水泥浆均匀且流动性良好才行。提升施工人员技术水准成为重要突破口,施工单位制定固定周期的培训方案,邀请领域专家剖析复杂地质条件下水泥土搅拌桩的施工重点与常见问题解决思路,现场组建质量监督小组负责工序检查工作,发现问题立即纠正,内容涉及人力资源安排、器械调度、原料管理到操作规范多个维度保障流程合规执行,助力水泥土搅拌质量逐步提升。

2.3 加强质量检测

火山引擎长三角无为算力中心项目中构建了一套覆盖面宽且技术前沿的质量检测体系,施工过程中搅拌设备装配高精传感器,钻进速度、搅拌扭矩与水泥浆压力等参数会被即时采集,接着借助无线传输模块将数据发送至施工现场监控中心,如果参数出现异常波动例如钻速突然降低或扭矩显著升高,系统便会立即发出警报,技术员能够迅速判断是土体状况还是设备问题并做出及时应对,成桩之后则综合多种方式来查验质量,比如采用低应变动力检测法对所有桩身完整性进行检测,通过分析反射波信号结果查看桩身是否存在缩颈或者断桩之类的缺陷。随机抽取了 10%的桩开展静

载荷试验,借此模拟实际受力情形来评估水泥土搅拌桩的承载能力,取芯检测则专门瞄准地质条件复杂的桩体进行,取出芯样后随即展开抗压强度测试,从而直观掌握桩身各段水泥土的强度特征,基于检测获取的数据,发现少量不达标桩后很快敲定了补救措施,对于那些仅存在轻微缺陷的桩直接通过压力注浆方式进行加固即可,而问题较严重的桩就要采取补桩措施处理,这样整个地基才能满足设计方案要求,保障项目后续建设的顺利推进。

3 复杂地质下水泥土搅拌桩地基处理技术的发展趋势

3.1 新型材料与工艺的研发应用进展

未来复杂地质环境催生新型水泥土搅拌桩材料与工艺研发的脚步加快,高强度、早强型水泥脱颖而出,成为提升地基处理能力的关键突破口,这类建材依托独特化学构成与微观结构,在应对淤泥质粉质粘土这类富含水分与较大孔隙的土体时展现优势,促成水化反应高效启动,快速生成胶凝成果,工期紧迫时其强度指标可短期内达标,工程推进争取时间。同时新式外加剂的研发也为水泥土性能增色不少,特别是抗渗类外加剂,它们能够有效封堵内部空隙阻断水侵路径,即便处于高地下水位或侵蚀性环境中也能助力水泥土延长服役时间保持持久稳固状态。在寒冷地带开发抗冻外加剂,可以增强水泥土对抗冻融循环的破坏能力,为低温地基稳定性添份保障,工艺上有新突破的话,多轴搅拌技术会愈发普及,比起单轴搅拌装置,多轴搅拌凭借多个搅拌轴协同作业,能扩展搅拌范围,在更大的空间实现水泥与土体混合更均匀,桩身品质也随之提升,智能施工设备的引进,则让水泥土搅拌桩施工朝自动化控制迈出了一大步。

3.2 智能化监测与质量控制

在科技迅猛发展的浪潮下,智能化监测与质量控制逐步渗透进水泥土搅拌桩地基处

理领域,传感器、物联网以及大数据分析技术相互交融,构建起一套全面覆盖且实时在线的施工监测体系,施工现场多种高精度传感装置分别嵌入搅拌设备、桩体及周边土壤中,采集各种动态数据,钻进速度类传感模块捕获钻进时的细微波动并及时将信息回传,为参数微调提供依据以防操作失误损害质量。浆料流速感应系统锁定水泥浆注入量的变化曲线,确保各分区段满足预定的配合比,应变监测单元追踪桩身从施作到承载过程中力学性能的状态转换预判潜在风险随即触发警告提示以避免突发状况,通过多样化感知手段联动解析,工地实现实时监管和精准干预从而推动地基工程质量迈向新台阶。物联网技术支撑下传感器采集的数据快速流向数据处理中心,海量信息随即交由大数据分析展开深度挖掘,施工中的质量问题因而无处藏身,像水泥土强度增长迟缓这类情况,系统会自行回溯施工参数,从水泥浆制备或者搅拌工艺等环节追根溯源并触发警报通知施工人员调整,智能化监测系统不仅能应对眼前麻烦,还对桩身长期性能担起监控职责,持续跟踪沉降和位移等指标为工程安全护航,一旦察觉异常变动即刻启动应急预案,给维护加固行动送去可靠依据以维系地基处理效果的长久稳固。

3.3 绿色环保技术的发展

绿色环保理念悄然融入水泥土搅拌桩地基处理技术的发展进程,施工中的节能减排渐成焦点,新型电动搅拌设备开始取代传统燃油设备,展现出更优的动力表现与能源效率,从源头降低了碳排放,节能装置的设计改良让运行愈发高效,减少了单位工程的能耗。面对泥浆废弃物的巨大压力,专门处理设备应运而生,完成脱水分离后,回收的固体颗粒被重新利用于建筑砖块生产或道路基层铺设,这种资源化路径有效分散了环境负担,削减了污染风险,同时也为行业呈现了一种可借鉴的循环利用范例。水泥土材料的研究逐步迈向绿色环保领

域,粉煤灰和矿渣这类工业废料被引入以部分取代水泥用于制备水泥土,这样一方面降低了水泥生产中的能耗与碳排放,另一方面也让废料摇身变为资源,连建筑垃圾经过破碎筛分后都能作为骨料加入其中,减少了对天然资源的索取,助推了资源循环利用;施工工艺也正默默发生变化,像封闭式搅拌能够管控粉尘扩散,合理调整施工时段以避开居民休息时的高噪音作业等,这些办法让水泥土搅拌桩技术日益契合可持续发展理念,在开展工程建设的同时实现了和环境的和谐共处。

3.4 多学科交叉融合发展

未来水泥土搅拌桩地基处理技术将迈向多学科深度融合的新阶段,岩土工程为搅拌桩的设计与施工提供了理论框架,对复杂地质条件下土体力学特性的深入探讨,使得强度、变形特征以及荷载响应规律的解析更为精确,这也为桩长等核心参数的设定明确了方向,材料科学在新型水泥土材料的研发中扮演关键角色,通过优化水泥等材料的配比与内部结构,设计出具备高强度、高耐久性且环境友好的水泥土材料来满足多样化需求,机械工程则专注于先进设备的开发以提升施工效率和质量表现。从搅拌设备的结构设计、动力系统优化与

自动化控制技术的引入,设备性能和可靠性渐渐攀高,使水泥土搅拌桩施工跃升至高效精准层面,计算机科学凭借智能化监测与数据分析手段,在施工中达成精准把控并提升质量的效果;大数据技术梳理应对施工中的繁琐信息,问题能被迅速定位且伴随可行解决思路;人工智能进一步对施工参数深度核算完成优化任务,为项目流程嵌入更多智能要素。多学科交叉融合各取所长,在推进水泥土搅拌桩地基处理技术创新迭代之外,还给复杂地质下的工程基础作业提供了愈加周全高效的解法。

结束语

水泥土搅拌桩于复杂地质条件下处理地基时地位显著,却常受制于土体加固棘手、桩身质量波动大及周边环境相互掣肘等难题,而设计参数优化、施工工艺改良以及质量检测加强可在不小程度上扭转局面。随着新型材料与工艺推陈出新、智能化监控嵌入质量管理,加上绿色环保技术步入视野,并在多学科交叉融合的推动下,这一技术正稳步迈向完善,有望成为未来工程建设中更可靠、高效同时兼顾环保需求的技术方案,在可持续发展进程中注入积极变量。

参考文献

- [1]张剑锋.水泥土搅拌桩地基的桩偏位标准分析[J].宁波大学学报(理工版),2005(3):393-395.
- [2]宗岩,孙树林,吴正松,等.深层搅拌桩机的小直径多钻头间偏移分析[J].中国煤炭地质,2019,31(7):57-59,70.
- [3]周宇宽.水泥搅拌桩处理道路软土地基施工实例分析思路构建[J].中国设备工程,2023(4):263-265.
- [4]卢丽春.钉形水泥土双向搅拌桩在市政道路路基处理中的应用[J].江西建材,2022,26(09):322-323.
- [5]孟范兵,夏珊珊.钉型水泥土双向搅拌桩在穿堤泵站软弱土地基处理中的应用[J].广东水利水电,2021,04(07):92-96+103.
- [6]黄俊谦,王旭锋,薛武强.高压旋喷桩在软土区地基处理中的应用[J].江西建材,2020(11):162-164.