

市政道路工程中软土地基施工技术的创新与实践

郭 聪

淳安县良诚建设有限公司 杭州淳安 311700

摘 要: 在城市化进程持续加速的背景下, 市政道路作为城市基础设施的重要载体, 其建设规模与技术要求不断提升。软土地基具有高含水量、高压缩性、低强度等特性, 广泛分布于沿海平原、河流冲积区等城市建设密集区域, 但传统施工技术如换填法、排水固结法等在处理深度、周期、环保性等方面存在明显局限, 难以满足城市复杂环境下快速施工与长期服役性能的需求, 亟待研究新技术。

关键词: 市政道路; 软土地基; 施工技术创新

《“十四五”现代综合交通运输体系发展规划》《关于推动智能建造与建筑工业化协同发展的指导意见》等政策提出推广绿色建材、智能监控等技术, 这为软土地基施工技术创新提供了战略指引。近年来, 高性能复合地基材料、超快速排水固结工艺等创新成果在长三角、珠三角等软土富集区域的工程应用中展现出显著优势, 但其系统性研究与标准化推广仍需深化。

一、市政道路工程中的软土地基施工概述

1. 软土地基的工程特性

这类土体含水量普遍较高, 常超过液限, 导致土体呈流塑或软塑状态, 自重作用下易发生蠕动变形。压缩模量低, 当应力变化时, 土体体积收缩明显, 尤其是在交通荷载反复作用下, 累积变形问题突出。抗剪强度则呈现明显的低强度特征, 内摩擦角和粘聚力数值小, 土体抗滑能力弱, 易引发路基边坡失稳或基底滑动破坏^[1]。

淤泥质土多分布于沿海滩涂或内陆湖泊沉积区, 黏粒含量高, 有机质含量约5% ~ 10%, 具有触变性和流变性, 受扰动后强度骤降且恢复缓慢。泥炭土主要形成于沼泽环境, 有机质含量超过30%, 结构疏松多孔, 含水量可达200% ~ 300%, 干燥后体积收缩率大, 易产生龟裂。冲填土作为人工堆积软土, 成分复杂且均匀性差, 多为粉土、黏土混杂颗粒, 含水率和压缩性随堆积年限及排水条件变化。

2. 市政道路工程中的施工难点

软土高压缩性与长期固结特性导致沉降控制难度大, 工后沉降易超出设计标准, 尤其在重载交通频繁区域, 路基持续压缩变形可能引发路面结构性开裂。不同地段软土厚度、含水率差异会造成不均匀沉降, 使沥青或混

凝土路面出现纵向裂缝、错台等病害, 影响行车舒适性与安全性。

密集建筑群与地下管线分布使施工空间局促, 大型机械设备难以展开, 同时地铁隧道、老旧民居等周边结构对地基变形敏感, 强振动施工可能引发土体扰动, 威胁既有设施安全。软基处理中的泥浆排放、机械噪声和粉尘污染须符合城市环保规定, 导致传统工艺的污染物排放管理成本显著增加; 而市政工程多要求快速通车, 工期往往压缩, 与软土地基处理所需的固结时间、养护周期存在矛盾, 对高效加固技术和缩短工期的施工工艺提出迫切需求。

3. 传统施工技术的局限性

换填法通过挖除软土层并回填砂石等材料实现地基加固, 但软基分布范围广或埋深较大时, 开挖深度与回填方量剧增, 机械作业成本和能耗显著上升。同时, 大量弃土外运面临堆放场地紧缺、运输成本高及生态破坏风险, 尤其在城市中心区域, 易引发二次污染问题。

排水固结法依赖预压荷载促使软土排水固结, 但



厚度超过10米的淤泥质土层,自然排水固结往往需要3~6个月甚至更长时间,难以满足市政工程快速施工需求。预压荷载管理过程中,堆载材料的选择(如砂袋、土方)与分级加载速率控制要求严苛,技术操作复杂度高^[2]。真空预压法虽可缩短周期,但对密封膜铺设质量、真空泵组持续运行稳定性要求极高,设备维护成本不容忽视。

深层搅拌法通过水泥浆与软土强制搅拌形成加固体,但常规水泥掺量达15%~20%,不仅增加工程造价,且高能耗的水泥生产伴随大量碳排放,与绿色施工理念相悖。施工过程中产生的废弃泥浆含未水化水泥颗粒及重金属离子,若处理不当易污染地下水。

二、市政道路工程中软土地基施工技术的创新方向与实践

1. 材料创新:高性能复合地基材料

工业废料基固化剂通过复配粉煤灰、钢渣粉、矿渣微粉等冶金与能源工业废弃物,加入少量激发剂激活其胶凝活性,替代传统水泥用于软土固化,可降低碳排放30%~50%并减少水泥消耗。微生物固化技术则利用巴氏芽孢杆菌等嗜钙微生物,通过尿素水解诱导碳酸钙沉淀,在土体孔隙中形成胶结晶体,提升软土强度的同时改善透水性,适用于含水量高且环境敏感区域。

高强度土工合成材料选用聚丙烯纤维经编土工格栅或聚酯长丝无纺土工布,其抗拉强度较传统材料提升20%~30%。生态型加筋材料研发生物可降解聚乳酸(PLA)纤维格栅与椰纤维加筋垫,前者在完成地基应力过渡后逐步降解为无害物质,后者利用天然纤维的耐腐蚀性与根系锚固作用,兼顾短期加固效果与长期生态修复功能^[3]。

泡沫混凝土作为轻质填料,在水泥基浆料中引入均匀气泡形成多孔结构,其干密度控制在400~800kg/m³,抗压强度可达3~5MPa,既能满足路基荷载要求,又可减少基底附加应力30%~40%。施工时采用泵送工艺实现大体积连续浇筑,尤其适合地下水位高、运距受限的城市路段。

以某湖滨新区市政主干道工程为例。地基为厚度5~8米的淤泥质土,采用钢渣—粉煤灰基固化剂(水泥替代率40%)与含水率65%的原状土拌合,同步注入含微生物菌剂的固化液,促进土体颗粒间碳酸钙胶结。固化层顶面铺设双向抗拉强度80kN/m的聚酯玻纤土工格栅,格栅节点与固化桩体顶部预留钢筋锚接,形成刚柔

协同受力体系。路基填筑层选用密度600kg/m³的泡沫混凝土,分两层浇筑至设计标高,单次浇筑厚度控制在1.2米以内并设置塑料波纹管排水通道。该方案使软基处理工期较传统水泥搅拌法缩短40%,水泥用量减少35%,工后1年最大沉降量控制在28mm,低于规范限值30mm,且未产生废弃泥浆排放与噪声污染问题。

2. 工艺创新:智能化与机械化施工

智能监控系统通过BIM技术构建三维地质模型与施工方案,集成物联网传感器实现沉降与应力实时监测。在路基关键断面埋设光纤光栅沉降仪与土压力盒,数据通过无线传输模块接入云平台,利用AI算法预测变形趋势,当沉降速率超过0.5mm/d时自动触发预警,指导施工参数动态调整。

搅拌桩机采用四轴或六轴联动设计,单次成桩宽度达2~3米,配合自动配料系统控制水泥浆水灰比在0.45~0.55区间,确保桩体强度均匀性。大面积地基处理,通过分布式液压千斤顶集群对预压荷载进行毫米级调控,解决传统堆载的荷载不均问题。高频振动碾压设备采用25~35Hz变频振动装置,激振力达300~500kN,使回填材料密实度在短时间内提升至95%以上。

超快速排水固结法结合真空预压与电渗技术,在软土层中埋设高密度塑料排水板与电极阵列,通过20~30kPa的真空度联合0.3A/m²的直流电作用,使孔隙水排出速度提升3倍,固结周期从90天缩短至30天。高压喷射注浆优化工艺采用旋摆喷组合技术,针对不同土层调整喷射压力与提升速度,在砂层中形成直径1.2~1.5米的圆柱加固体,在黏土层中形成定向劈裂加固体。

某滨海新区市政次干路工程中,面对厚度12米的流塑状淤泥层与6个月的通车工期要求,首先基于BIM模型规划排水板与传感器布置方案,在200米试验段埋设50个沉降传感器与10个孔隙水压力计,实时监控地基固结进程。采用六轴深层搅拌桩机施工,桩长15米、桩间距1.2米,通过北斗定位系统控制桩体垂直度偏差小于1/200,同步注入掺量12%的水泥—水玻璃双液浆,提升早期强度。针对桥台台背等关键部位,采用高压旋喷桩进行局部加固,喷射压力35MPa、提升速度10cm/min,形成直径1.5米的加固体群。预压阶段启用超快速排水系统,真空度维持在85kPa以上并施加间歇式电渗(每日通电12小时),使地基平均固结度在45天内达到90%。

3. 环保与可持续技术创新

复配粉煤灰、煤矸石粉、赤泥等固废材料,添加少量环保型激发剂,如纳米硅溶胶、木质素磺酸盐,开发出低碱低能耗的胶结配方。此类固化剂的水泥替代率可达60%~70%,碳排放较传统水泥降低40%以上,且重金属浸出毒性低于国家标准,适用于居民区周边等环境敏感区域。

破碎筛分设备将拆除旧路的混凝土块加工为5~40mm粒径的再生骨料,经强化处理(如水泥浆裹覆、树脂浸渍)提升密实度后,用于软基换填或垫层材料。再生骨料替代天然砂石的比例可达80%,既能减少弃渣填埋占地,又能降低矿产资源消耗,其抗压强度与抗冻性能满足市政道路基层设计标准^[4]。

采用可降解生态袋(内填改良渣土与草种混合物)与三维土工网垫结合,在边坡形成植被根系—土工材料—土体的复合锚固体。易冲刷地段喷涂含纤维增强剂的植被混凝土(厚度5~8cm),兼具防护与生态修复功能,使边坡绿化率达90%以上,径流冲刷量较传统浆砌片石边坡减少70%。

某老城区改造市政道路工程中,针对杂填土层下伏的3~5米厚淤泥质软基,先将拆迁产生的2万吨废弃混凝土破碎筛分,经磁选去除金属杂质后,加工为再生骨料用于表层30cm换填层,替代天然砂石约1.6万吨,节省砂石开采成本20%。软基加固采用粉煤灰—矿渣基绿色固化剂(水泥替代率65%),与原状土按1:8比例拌合,配合含水率控制在最优值 $\pm 2\%$,形成强度达1.2MPa的固化层,较传统水泥搅拌法减少CO₂排放1200吨。边坡防护采用“生态袋+自蔓延绿化”工艺,袋体填充再生骨料与腐殖土混合料(比例7:3),袋间铺设椰纤维网垫并播撒狗牙根草种,施工期间同步洒水养护,2个月后边坡植被覆盖率达85%,有效遏制雨水冲刷导致的水土流失。

三、创新技术应用的挑战与对策

1. 技术推广面临的挑战

现行行业标准多基于传统施工工艺,对新型固化剂、智能监控系统等创新技术的材料指标、施工流程及验收标准缺乏明确界定,导致部分地方审批部门对新技术应用持审慎态度,增加工程立项与实施难度。新型工艺对操作精度要求显著提升,如多轴搅拌桩机的数字化控制、

BIM技术与物联网监测系统的协同应用等,均需要操作人员兼具工程经验与信息技术素养,但现有施工队伍普遍缺乏系统培训,易导致技术应用效果与设计预期脱节。

2. 对策与建议

应由行业主管部门牵头组织科研院所、企业编制《市政软土地基创新技术应用指南》,明确新型固化剂性能指标、智能监控系统安装验收规范等技术细节,通过国家级示范工程积累数据并纳入行业标准修订依据。建立新技术应用白名单制度,在长三角、珠三角等软土分布集中地区开展地方标准试点,简化创新工艺的审批流程。

人员培训方面,需施工企业联合高校、设备厂商开发针对性培训课程,重点讲解BIM建模与物联网监测系统协同操作、多轴搅拌桩机数字化控制等核心技能,采用VR模拟施工场景与现场实操结合的教学方式。行业协会应制定智能施工操作人员职业资格认证标准,将新型工艺培训纳入企业资质年检指标,推动建立专业化施工队伍。

结束语

综上所述,材料、工艺与环保技术的协同突破,有效提升软土地基处理的质量、效率与可持续性,为城市道路的长期安全运行奠定了技术基础。面对新型城镇化建设的更高要求,今后需加强创新技术的标准化体系建设,推动智能化监测、低碳材料等技术的深度融合,在解决复杂地质条件适应性问题的同时,构建全生命周期的绿色施工技术体系,为我国城市高质量发展提供坚实保障。

参考文献

- [1] 舒胜东. 市政道路软土地基处理施工技术[J]. 城市建设理论研究(电子版), 2024, (21): 113-115.
- [2] 王许凯. 基于市政工程施工的软土地基处理技术应用[J]. 城市建设理论研究(电子版), 2024, (10): 204-206.
- [3] 林学丽. 软土地基加固技术在市政道路路基施工中的应用[J]. 工程技术研究, 2023, 8(12): 49-51.
- [4] 杨鹏. 市政道路施工中软土地基施工处理分析[J]. 工程设计与设计, 2023, (04): 172-174.