

软土路基处理施工工艺对比及质量监测对策研究

刘 珊

房县交通建设工程公司 湖北 十堰 442100

摘 要：软土路基普遍具备孔隙大、含水率高、承载力薄弱的工程特性，施工过程中极易出现形变、沉降等质量问题，对道路路基施工稳定性造成明显制约。针对软土路基施工管控难点，本文系统梳理软土路基的结构属性、力学特征与施工干扰因素，对比换填垫层、排水固结、深层搅拌、强夯置换四类主流工艺的施工差异与适配场景，结合不同工艺的资源投入、适用局限与管控要点，搭建覆盖施工全流程的监测管控体系，细化前期布设、动态监测、数据纠偏及长效养护等实操对策，切实提升软土路基施工的整体稳定性与成型质量。

关键词：软土路基；施工工艺；工艺对比；质量监测；路基本管

引言：道路工程建设时常遭遇软土路基施工工况，特殊土体的结构与力学缺陷，容易引发路基不均匀沉降、土体变形失稳等常见病害，大幅提升现场施工管控难度。不同软土处理工艺的适配场景、施工节奏与管控重点存在明显区别，工艺选型不当、现场监测不到位，会直接影响路基成型后的使用稳定性。结合软土路基的施工特征，梳理各类改良工艺的实操要点，对比工艺差异化优势与应用短板，搭配系统化的质量监测管控手段，能够有效规避软土路基施工隐患，保障路基施工品质达标。

1 软土路基基本属性与施工特征

1.1 软土路基物质组成与结构特性

软土路基多由淤泥、淤泥质土、粉质黏土等细颗粒土体构成，土体内部颗粒粒径细小，整体颗粒排布松散。土层内部孔隙分布密集，孔隙体积占比偏大，土体天然含水率处于较高水平，水分大量填充于颗粒间隙当中。土体胶结物质含量较少，颗粒之间的粘结力度薄弱，无法形成紧密稳定的整体结构^[1]。这类土体长期在积水、潮湿环境下沉积成型，土层分布大多厚薄不均，横向延展状态杂乱。局部土体还会夹杂粉土薄层或细小碎屑杂质，土层整体均匀性较差。松散多孔的内部结构，让软土路基先天具备不稳定的结构特质。

1.2 软土路基力学与工程施工特性

软土自身抗剪强度处于较低水平，土体承受外部荷载的能力偏弱。受到外力挤压作用时，土体容易产生持续性的压缩变形，压缩空间大且变形恢复能力极差。土体透水性能较差，水分渗透速率缓慢，荷载作用产生的孔隙水压力消散速度慢。外力持续作用下，土体容易出

现缓慢的沉降形变，形变过程持续时间久。软土还具备明显的触变特性，土体结构受到扰动破坏后，原有稳定状态会快速丧失。各类特殊的力学属性，让软土路基难以直接作为道路工程的承重基底。

1.3 软土路基施工固有难点分析

软土路基土层分布随机性较强，同一施工区段内的土体性质存在明显差异，施工前期土体状态摸排难度较大。土体承载力不足，施工机械进场作业时，容易出现土层塌陷、基底沉降等问题，常规施工设备难以直接开展作业。土体扰动敏感性高，轻微的施工碾压、机械行走、土方开挖操作，都会破坏土体原有结构。路基填筑施工过程中，土体固结速度缓慢，填筑成型后的路基沉降周期长。施工过程可控难度高，常规路基施工工艺无法直接适配软土地基的施工需求。

1.4 软土路基施工质量干扰因素梳理

土体自身含水率波动会直接改变土体密实状态，含水率过高会持续降低土体承载能力，增加路基成型隐患。土层厚度的不均匀分布，会造成路基不同区段受力状态不一致，引发不均匀沉降问题。施工过程中的土方开挖、填筑、碾压作业方式，会直接影响土体结构的完整度与密实度。施工场地的积水、潮湿环境会持续浸润路基土体，弱化土体结构稳定性。施工工艺的选用与现场作业管控力度，也会直接决定软土路基施工的整体成型质量。

2 软土路基主流处理施工工艺梳理

2.1 换填垫层施工工艺施工流程与操作要点

换填垫层是软土路基浅层处理的常用工艺，适配表

层软土厚度较小的施工区段。施工开展前,清理路基作业范围内的软弱土层、杂物及积水,彻底挖除稳定性不达标的土体。清理完成后,选用砂石、灰土、碎石等强度高、稳定性好的硬质填料分层铺设于路基基底。每层填料铺设厚度保持均匀,通过碾压、夯实的方式提升填料密实度,逐层完成压实作业后再进行下一层铺设^[2]。施工全程把控填料粒径与铺设均匀度,规避局部厚薄不均、填料松散等问题。分层压实的作业模式,能够有效替换浅层软弱土体,优化路基基底的承载结构。

2.2 排水固结法施工工艺施工流程与操作要点

排水固结法依托排水通道加速软土内部水分排出,推动土体自主固结成型。施工前期在软土路基内部布设竖向排水体,常规采用塑料排水板、袋装砂井等材料搭建排水体系。排水体布设完成后,在路基表层铺设砂垫层,构建横向排水通道,打通土体内部积水的排出路径。通过路基表层堆载施压的方式,迫使土体孔隙水分向外渗透,逐步缩小土体孔隙体积,提升土体密实度与整体强度。施工中保持排水体布设间距规整、埋设深度统一,保障排水通道通畅,为土体固结成型提供稳定条件。

2.3 深层搅拌加固施工工艺施工流程与操作要点

深层搅拌工艺适用于深层软土路基加固处理,依托固化材料与原位软土的混合反应改善土体性能。施工设备就位校准后,搅拌钻头下沉至设计土层深度,同步喷射水泥、石灰等固化浆液。钻头匀速提升、反复搅拌,让固化浆液与原位软土充分融合,发生水化固结反应。持续搅拌形成整体性较强的水泥土桩体,多根桩体相互配合,共同构成复合路基承载结构。施工过程严控搅拌下沉与提升速度,保证浆液分布均匀,避免出现搅拌盲区、桩体断桩或强度不均的情况。

2.4 强夯置换施工工艺施工流程与操作要点

强夯置换工艺依靠机械夯击冲击力改造深层软土结构,适配厚层软弱土路基施工场景。施工前平整处理作业场地,明确夯点布设位置,按照网格形式规整排布夯击点位。起重设备吊起重锤至指定高度,自由下落产生强力冲击,反复夯击路基土体。夯击过程中填入碎石、块石等硬质骨料,利用冲击作用将骨料挤压嵌入深层软土内部,形成高强度置换墩体。墩体与周边改良土体协同受力,提升路基整体承载力。施工依据现场土体状态把控夯击次数与落锤高度,保证置换墩体成型完整、结构密实。

3 各类软土路基处理工艺差异化对比分析

3.1 施工操作流程与施工条件差异对比

不同软土路基处理技术的作业原理各不相同,在施工流程、现场作业条件与设备配套要求上存在明显区别。换填垫层属于浅层置换工艺,工序简单灵活、可分段流水施工,依靠常规土方设备即可作业,无隐蔽工序和静置养护环节,场地限制极少,适配各类常规天气施工。排水固结以土体自然排水固结为核心,工序不可逆,所需施工设备轻便,无需重型机械,但需提前布设完整的排水体系,施工全程严禁扰动土体,对场地完整性和水文条件要求较高。深层搅拌为精细化原位隐蔽加固工艺,需专用桩机与制浆设备,施工过程连续不可中断,对桩位精度、场地平整度和土质条件要求严苛^[3]。强夯置换依托重型设备动力冲击改良土体,施工效率高但振动扰动范围大,对作业场地开阔度要求高,临近构筑物、狭小施工区域无法开展作业。

3.2 场地适配工况与施工场景差异对比

各软土处理工艺的地层适配范围与工程应用场景针对性极强,可依据软土厚度、土质类型和道路等级差异化选用。换填垫层仅适用于 3m 以内浅层软土处理,多用于城市小型支路、路基过渡段等轻型路基工程,仅可改良表层软弱土体,无法处理深层软土问题。排水固结适配 10~15m 深、高含水率的淤泥质软土,广泛应用于大面积滨海软土路基工程,不适用于含碎石、有机质混杂的复杂土层。深层搅拌可处理 5~20m 均质软土,成型的复合地基承载力稳定,适配市政主干道、桥梁路基衔接段等关键工程,对高有机质、酸性土质适配性较差。强夯置换适合 6~12m 厚层杂填土与饱和软土,多用于重载道路路基及场地加固,无法对流塑状淤泥地层成型置换墩体,工况适配局限性较强。

3.3 施工资源投入与施工周期差异对比

各项处理技术在资源消耗、设备投入与施工时效上差异显著,直接决定工程成本与工期管控水平。换填垫层仅需常规土方设备和砂石填料,材料与设备投入成本低,无静置养护工序,施工成型速度快,适配短工期小型路基工程。排水固结设备投入体量小,无需大量置换填料,但需 3~6 个月堆载预压静置周期,场地占用时间久,整体施工工期最长。深层搅拌需投入专用桩机与水泥固化材料,耗材成本相对偏高,但施工工序连续稳定,养护周期短,整体工期可控性极强。强夯置换依赖大型重型夯击设备,设备租赁与骨料采购成本最高,但现场夯击作业效率高,无长期静置工序,施工周期较短,可满足大中型路基工程的施工进度要求。

3.4 工艺适用局限与施工管控重点对比

受技术原理与施工方式制约,各工艺均存在固有短板,对应的现场质量管控侧重点各不相同。换填垫层仅能改良浅层软土,无法加固深层土体,易出现深层沉降引发的路基变形,施工核心管控填料规格、分层摊铺厚度及碾压压实度。排水固结法难以适配有机质、碎石混杂土层,易造成排水通道堵塞、土体固结不彻底,施工需严控排水体布设精度,全程跟踪孔隙水压力变化与预压周期。深层搅拌施工质量隐蔽性强,易出现断桩、浆液分布不均等缺陷,需精准把控浆液配比、喷浆速率与桩体垂直度。强夯置换施工振动影响范围广,流塑淤泥层无法成型有效置换墩,施工需精准核定夯击参数,同步监测周边土体与构筑物变形,规避施工安全与质量隐患。

4 软土路基施工全过程质量监测管控对策

4.1 施工前期监测体系布设与准备工作

软土路基监测工作需要提前统筹规划,为施工阶段的数据采集工作筑牢基础。结合现场土层分布特征与整体施工布局,合理确定监测点位的布置密度与具体布设位置。点位布置主动避开机械通行路径和物料堆放区域,最大程度保护监测点位,避免施工活动造成点位偏移、损坏。提前调试各类监测设备,检查仪器灵敏度与测量精度,修正设备存在的微小误差,完成设备归零校准^[4]。按照施工段落划分独立监测单元,明确各单元的监测重点与数据采集规范。完善的前期筹备工作,可以保障监测作业在施工全程平稳开展。

4.2 路基施工阶段动态监测内容与实施方式

软土路基在施工扰动下,土体结构状态会持续发生变化,监测作业需要贴合施工进度同步推进。针对路基填筑、土体加固、分层碾压等核心工序,开展沉降观测与土体位移监测,精准捕捉土体压缩、形变的动态变化。依托孔隙水压力监测手段,掌握软土内部积水消散进度,直观判断土体固结状态。日常作业保持固定的数据采集间隔,填筑施工强度较高的时段,适当加密采集频次。监测作业贴合各工序施工节奏,全程跟进土体变化,完整记录施工扰动带来的路基状态改变。

4.3 监测数据常态化管控与偏差纠偏措施

现场采集的各类监测数据统一汇总整理,建立连贯完整的数据台账,保证所有监测资料可追溯、可对比。

对比不同时段的数据变化幅度,及时捕捉沉降速率波动、土体位移突变等异常情况。针对数据呈现的不稳定状态,逐一排查现场填筑厚度、碾压频次、施工节奏等关键作业因素。根据现场实际工况调整施工节奏,放缓填筑推进速度、优化碾压作业参数,缓解土体内部应力集中问题。通过及时的数据研判与现场整改,可以有效控制路基异常形变的发展趋势。

4.4 路基成型后长效监测与养护管控举措

路基施工成型后,软土固结变形不会即刻停止,结构状态会在较长时间段内持续微调。施工结束后保留原有监测点位,持续开展常态化监测,长期跟踪路基沉降与位移变化情况。定期疏通路基坡面及两侧排水通道,保持场地排水通畅,杜绝积水长期浸泡土体、弱化路基结构强度。规范成型路基的现场使用状态,杜绝重型机械随意通行、大宗物料长期堆载。结合监测数据变化规律调整养护频次,及时处置路基细微变形问题,通过常态化监测与养护,持续维系路基整体结构稳定性。

结束语

软土路基施工质量管控依托工艺选型与动态监测双向支撑,土体自身的特殊属性让路基改良施工具备较强的专业性与复杂性。通过梳理软土路基基础特性与施工难点,区分四类主流处理工艺的施工差异、适配场景与管控重点,明确不同工况下的工艺应用优势与短板。依托全周期监测管控模式,完善施工筹备、现场作业、后期养护各阶段管控举措,能够有效改善软土路基施工乱象,减少路基形变、沉降等质量问题,持续优化软土路基工程的整体施工品质。

参考文献

- [1] 王朋影. 软土路基处理中排水固结法施工工艺优化探讨[J]. 建筑与施工, 2025, 4(14): 191-192.
- [2] 谢凯, 蓝鲁. 软土路基强力搅拌原位固化工艺与施工控制技术[J]. 建材与装饰, 2026, 22(6): 124-126.
- [3] 孙晓斌. 公路软土路基处理中的水泥搅拌桩施工工艺及质量控制措施研究[J]. 建筑工程与设计, 2025, 4(11): 148-150.
- [4] 张爱然. 高速公路建设中的软土路基施工工艺[J]. 居业, 2022(7): 22-24.