公路施工中软土路基的施工技术处理研究

汪 攀
新疆兵团水利水电工程集团有限公司 新疆 乌鲁木齐 830000

摘 要：本研究聚焦公路工程软土路基处置领域，系统梳理软土高含水量、高压缩性、低抗剪强度、固结周期长的核心物理力学特性，明确传统粗放式施工工艺在深层处置、沉降控制等方面的现存短板。结合工程实践需求，对换填垫层、排水固结、原位土体加固三类主流核心处理技术的作用机制、适用工况与管控要点开展系统性分析，从前期勘察参数把控、施工过程工艺精细化管控、成型后检测养护三个维度，构建全流程软土路基施工质量控制体系。研究结果可为不同工况下的软土路基处置提供标准化技术参考，有效降低工后不均匀沉降风险，提升公路路基整体结构稳定性与长期服役性能。

关键词：公路施工；软土路基；路基处理；施工技术；质量控制

引言：软土路基处置是公路路基施工领域的核心技术难点，直接决定公路工程的整体建设质量与长期运营安全。我国多个区域广泛分布厚度不均、性质差异显著的软土地层，传统粗放式施工模式极易引发路基失稳、长期沉降、路面开裂等系列工程病害，大幅缩短公路服役寿命。当前公路工程建设对路基结构的稳定性、耐久性要求持续提升，针对软土路基开展系统化的施工技术与质量管控研究具备明确的工程实践价值。本文从软土基本特性与施工难点切入，梳理核心处置技术体系与全流程质量控制要点，为同类工程的标准化施工提供严谨的技术支撑。

1 软土路基基本特性及施工难点

1.1 软土路基基本物理力学特性

软土最显著的特征为天然含水量高，土体内部孔隙发育、孔隙体积大，土体颗粒之间结合力较弱，整体结构松散。高含水量状态下的软土处于饱和或近饱和状态，土体流动性强、固结程度低，在外力荷载作用下极易发生压缩变形。同时，软土抗剪强度极低，土体抗剪切、抗滑移能力差，无法承受较大的上部结构荷载，整体承载能力远低于普通路基土体。此外，软土固结周期长，土体排水固结速度缓慢，施工完成后仍会出现长期、缓慢的沉降变形，变形持续性与不确定性较强，对路基整体稳定性影响极大[1]。

1.2 软土路基核心施工难点

软土路基施工的首要难点为土体稳定性差，施工过程中机械碾压、开挖填筑等作业极易扰动原有土体结构，引发路基局部塌陷、边坡滑移等问题。其次，软土排水难度大，土体内部细小孔隙多，水分渗透通道狭窄，自然排水速度极慢，常规压实工艺无法有效排出土体内部积水，难以提升路基密实度。同时，软土路基沉降控制难度高，土体压缩变形量大且变形不均匀，路基成型后易出现局部沉降差异，导致路面出现裂缝、沉陷、起伏等病害。此外，软土路基施工一致性难以保障，不同区域软土厚度、含水量、土质成分存在差异，无统一施工标准，需针对性调整施工技术与工艺参数。

2 软土路基施工处理核心原则与不良影响分析

2.1 软土路基施工处理核心原则

一是稳定性原则。所有施工处理技术均以保障路基整体结构稳定为核心，通过改良土体性能、优化路基结构，彻底消除路基滑移、塌陷、失稳等隐患，提升路基整体抗变形、抗破坏能力。二是针对性原则。结合施工现场软土厚度、含水量、土质类型、埋深条件等实际土体指标，适配对应的施工技术，杜绝通用化、盲目化施工，保障处理效果贴合路基实际工况。三是均匀性原则。重点解决软土路基不均匀变形问题，通过标准化、精细化施工，保障路基各区域密实度、承载力均匀一致，避免局部沉降差异。四是经济性与适用性原则。在保障路基施工质量的前提下，选用工艺成熟、适配性强的施工技术，优化施工流程，实现路基质量与施工效益的双向平衡。

2.2 软土路基对公路施工的不良影响

未处理或处理不达标的软土路基，会大幅降低路基整体承载能力，无法均匀传递上部路面荷载，荷载集中区域易出现局部压缩变形，引发路基不均匀沉降。路基沉降会直接牵拉、挤压上部路面结构，导致路面出现横向裂缝、纵向裂缝、网裂等病害，严重时会出现路面沉陷、坑槽、变形等问题，破坏路面平整度。同时，软土路基抗冲刷能力、抗侵蚀能力较弱，土体结构松散，在

地下水、地表水渗透作用下，易出现土体流失、路基空洞等隐患，进一步加剧路基结构损坏，降低公路整体使用安全性与使用寿命[2]。

2.3 传统软土路基施工存在的不足

传统软土路基施工多采用简单换填、浅层压实等粗放处理方式，仅能解决表层软土问题，无法改善深层软土的力学性能，路基深层土体仍存在压缩变形隐患，后期沉降问题频发。同时，传统施工方式缺乏精细化土体改良思维，未针对软土高含水、高压缩的核心缺陷进行针对性处理，土体固结效果差、密实度提升有限。此外，传统施工工艺管控较为粗放，碾压次数、压实厚度、排水处理等参数把控不精准，易出现路基压实不均、排水不彻底等问题，导致软土路基处理质量稳定性不足。

3 公路施工中软土路基核心处理技术

3.1 换填垫层处理技术

换填垫层处理技术是公路软土路基浅层处置体系中的核心基础技术，针对表层及浅层软弱土体承载力不足、压缩变形过大的工况具备广泛适用性。该技术的实施逻辑是通过机械开挖作业，彻底移除路基影响范围内的全部软弱土层、淤泥质土及有机质含量超标的土体，同步清理开挖基底的浮土与扰动层，确认基底原状土承载力满足设计要求后，分层回填经检验合格的高强度填料。（1）填料优先选用级配连续、性能稳定的碎石、砂砾或素土，严格控制物料中的杂质、腐殖质及大粒径块体占比，避免填料自身缺陷引发垫层内部应力分布不均。填筑作业按分层厚度要求逐层推进，每完成一层铺筑即开展整平与碾压作业，通过压实度检测确认层段施工质量达标后，方可进行下一层填筑，最终形成连续均匀、密实度符合规范要求的人工垫层结构。（2）该垫层可直接承担上部传递的行车荷载与路基自重荷载，有效降低浅层土体的压缩变形量，阻断浅层软弱土层的沉降路径，从根源上规避浅层路基不均匀沉降、侧向滑移等病害，为后续路基主体结构施工提供稳定的作业基础[3]。

3.2 排水固结处理技术

排水固结处理技术是针对高含水量、大厚度软土路基的核心处置技术，适用于天然孔隙比大、渗透系数低、抗剪强度不足的深层软土地基工况。该技术通过人工主动构建定向排水体系，大幅缩短软土内部孔隙水的渗流路径，在附加荷载作用下加速土体固结进程，逐步提升软土的密实度与结构强度。（1）施工阶段先在路基基底铺设级配合格的砂垫层作为水平排水层，同步在软土内部按设计间距打设塑料排水板或袋装砂井等竖向排水体，形成竖向与水平向连通的立体排水网络。后续按分级加载要求开展路基填筑作业，通过逐级施加的荷载使软土内部产生超静孔隙水压力，孔隙水在压力差作用下沿预设排水通道快速排出，土体孔隙体积持续收缩，固结度逐步提升。（2）该技术可在预压周期内完成大部分工后沉降，从根本上改善软土高含水、高压缩、低强度的工程特性，避免深层软土路基在通车运营阶段出现持续沉降、侧向变形等病害，适配厚度超过3米、天然含水量大于液限的大面积软土路基处置场景。

3.3 土体加固处理技术

土体加固处理技术是通过外源固化材料原位改良软土结构、优化土体力学指标的核心处置技术，工程中常用工艺包含深层水泥搅拌加固、石灰掺量改良加固等标准化作业方式。（1）该技术的核心作用机制是将定量固化材料与原状软土充分拌和，固化材料与土体内部的自由水、矿物颗粒发生系列物理化学反应，生成具备胶结作用的水化硅酸钙等稳定产物，粘结原本松散的土颗粒，同步填充土体内部的连通孔隙，从微观层面改变软土天然高孔隙、高压缩、低强度的结构特征，最终形成整体性连续、强度指标达标、水稳定性优良的改良固化土体。（2）其中水泥搅拌加固工艺对各类淤泥质软土、淤泥均有良好适配性，可在短周期内显著提升土体整体承载力；石灰改良加固可快速降低土体天然含水量，有效改善土体塑性指数，大幅提升后续碾压作业的压实效率。该技术无需开展大规模开挖与弃方作业，直接在原位完成软土性能改良，对深层分布、大面积连片的软土路基工况具备极强的工程适配性。

4 软土路基施工质量控制关键要点

4.1 施工前期土体勘察与参数把控

软土路基施工质量控制关键要点中，施工前期土体勘察与参数把控是全流程质量管控的前置核心环节。（1）施工前需按规范布设勘察点位，采用原位测试与室内试验结合的方式，完成精细化路基土体勘察作业，精准获取施工区域内软土的分布厚度、层位埋深、天然含水量、孔隙比、直剪抗剪强度、固结压缩系数等核心力学指标，同步梳理不同区段土层的物理力学参数差异，全面掌握路基土体的实际工程工况。（2）基于完整勘察数据开展软土路基危害等级判定，结合对应公路等级的路基施工技术标准，完成处理技术选型与施工工艺参数的精准确定，明确不同作业区段的填筑速率、压实标准、预压周期等控制指标。同步排查路基影响范围内的地下水赋存分布、局部土层突变、软弱夹层分布情况，提前预判施工过程中可能出现的排水通道堵塞、土体结

构扰动、路基边坡失稳等风险，针对性制定前置预处理与动态防控方案，为后续各工序标准化施工提供准确数据支撑，从源头规避软土路基施工的系统性质量隐患[4]。

4.2 施工过程工艺精细化管控

施工过程工艺精细化管控是软土路基质量控制的核心执行环节，需针对不同处置技术的作业特性，严格落实各工序工艺标准，实现全流程闭环质量管控。（1）换填垫层施工阶段，需对软土开挖深度、基底清淤范围进行逐段复核，进场填料按批次开展性能指标检测，严格控制分层填筑厚度在规范允许偏差范围内，通过分区碾压工艺管控压实遍数与碾压速度，杜绝填料杂质超标、填筑厚度超限、碾压盲区漏压等质量问题。（2）排水固结施工阶段，需对竖向排水体的布设间距、插入深度逐点核验，确保排水板、砂井无回带、无断裂，水平砂垫层含泥量符合要求，保证立体排水通道连续通畅无堵塞。土体改良加固施工阶段，需通过计量系统精准控制固化材料掺量，全程跟踪拌和深度与拌和均匀度，避免出现夹层、素土区，保障改良土体强度分布均匀一致。同时严格规范施工机械作业路径与荷载限值，避免重型机械过度扰动周边原状软土，破坏路基原有应力平衡状态，确保各工序施工质量全程受控、指标达标。

4.3 路基成型后质量检测与养护

路基成型后质量检测与养护是软土路基全流程质量管控的最终闭环环节，直接决定路基长期服役性能的稳定性。（1）软土路基主体施工完成后，需按规范布设检测点位，开展全覆盖的专项质量检测工作，重点核验路基压实度、地基承载力、弯沉值、平整度、工后沉降预测系数等核心技术指标，所有检测数据需同步与前期设计参数、施工过程记录进行交叉核验，确认各项指标完全满足对应等级公路的路基施工质量验收标准。对检测结果不达标的区段，立即划定处置范围开展针对性二次补强作业，直至所有指标全部符合规范要求。（2）同步落实路基成型后的专项养护管控措施，采取覆盖防渗土工布、设置临时排水导流设施等方式，避免路基表层长期受阳光直射失水开裂、雨水径流冲刷、路面积水浸泡，防止表层土体松散、胶结结构受损。在路基预压固结的完整周期内，严格管控作业区域通行荷载，禁止重型施工车辆随意通行扰动未完全固结的土体，为软土内部孔隙水持续排出、土体强度逐步增长提供稳定条件，保障路基土体完成充分固结，从管控层面杜绝运营阶段出现路基不均匀变形、持续沉降等遗留质量问题[5]。

结束语

软土路基处置是贯穿公路工程全生命周期的关键技术环节，其技术选型合理性与施工管控精细化程度，直接决定路基结构的长期稳定性。本研究通过梳理软土核心工程特性、明确施工处置原则，系统阐释三类主流核心处理技术的适用场景与作业要求，搭建覆盖勘察、施工、验收养护全链条的质量管控体系，形成完整的软土路基施工技术逻辑框架。后续工程实践中，需进一步结合不同区域软土的差异化工程特性，持续优化工艺参数与管控标准，推动软土路基处置技术向更精准、更高效、更经济的方向发展，为公路工程长期安全运营提供坚实的技术保障。

参考文献

[1]王志远.公路软土路基换填施工技术研究[J].中文科技期刊数据库（全文版）工程技术,2026,(6):074-077

[2]王利.公路工程膨胀土路基填筑施工技术研究[J].奥秘,2026,(20):211-213.

[3]王忠生.干线公路土石混填路基材料的压实施工技术研究[J].中文科技期刊数据库（全文版）工程技术,2026,(7):133-136

[4]李长成.软基处理技术在公路路基施工中的应用研究[J].中文科技期刊数据库（全文版）工程技术,2026,(5):170-173

[5]向飞.公路软土路基沉降控制技术及施工工艺优化研究[JL].中文科技期刊数据库（全文版）工程技术,2026,(7):025-028