

路基软土地基换填施工的沉降控制

朱剑贵

盐源县公路养护事业发展中心，四川凉山 615700

DOI:10.61369/ETQM.2025120030

摘要：在公路路基工程建设中，软土地基因自身承载力低、压缩性高的特性，易导致路基出现沉降变形，影响工程结构安全与使用寿命。换填施工作为处理软土地基的常用技术手段，其沉降控制效果直接决定路基工程质量。本文从软土地基的基本特性与换填施工原理出发，系统分析换填施工各环节中沉降控制的关键要点，深入探讨分层换填、排水固结辅助、加筋增强等沉降控制技术措施的应用逻辑，结合施工质量控制体系构建与工程实践案例，提出一套适配路基软土地基换填施工的沉降控制方案，为同类工程提供理论参考与实践借鉴。

关键词：路基工程；软土地基；换填施工；沉降控制；质量保障

Settlement Control of Soft Ground Foundation Replacement Construction

Zhu Jiangui

Yuanxian County Road Maintenance Development Center, Liangshan, Sichuan 615700

Abstract : In highway subgrade engineering, soft soil exhibits low bearing capacity and high compressibility, which can easily lead to settlement deformation of the subgrade, compromising structural safety and service life. As a common technique for addressing soft soil foundations, the effectiveness of settlement control in replacement construction directly determines subgrade quality. This paper systematically analyzes key points of settlement control across various stages of replacement construction, starting from the fundamental characteristics of soft soil foundations and the principles of replacement construction. It explores the application logic of settlement control technologies such as layered replacement, drainage consolidation assistance, and reinforcement with steel bars. By integrating construction quality control system development and practical engineering cases, this study proposes a settlement control solution tailored for soft soil foundation replacement construction, providing theoretical references and practical guidance for similar projects.

Keywords : roadbed engineering; soft soil foundation; replacement construction; settlement control; quality assurance

引言

随着我国交通基础设施建设向复杂地质区域延伸，软土地基路段的路基施工成为工程建设的重点与难点。软土地基由淤泥、淤泥质土、泥炭土等软弱土层构成，这类土层具有天然含水量高、孔隙比大、抗剪强度低等特点，在路基荷载作用下易产生长期且过量的沉降，引发路基开裂、路面不平整、结构失稳等问题，严重威胁交通通行安全。换填施工通过挖除路基范围内的软弱土层，回填强度高、压缩性小的合格填料，可有效改善地基受力状态，提高地基承载力，减少沉降变形。但换填施工过程中控制不好，如填料选择不合理、压实度不足、分层厚度过大等，仍会造成路基后期沉降。因此，对路基软土地基换填施工沉降控制技术进行深入研究，明确各个环节的控制标准与方法，对提高路基工程质量，保障工程的长期稳定性，具有重要的现实意义。

一、软土地基特性与换填施工原理

(一) 软土地基的核心特性

换填法（Replacement Method）又称换土法，是将基础底面以下一定范围内的软弱土层挖除，分层回填强度高、压缩性较低

且没有侵入性的砂、碎石、灰土等材料并压实的地基处理方法。该方法通过置换低承载力土层提高地基稳定性，适用于淤泥、湿陷性黄土、杂填土等浅层地基处理，处理厚度通常为0.5~3m，处理深度通常为0.5~3m。还能消除膨胀土胀缩、湿陷性黄土湿陷及季节性冻土冻胀危害。软土地基的工程特性直接决定其沉降

作者简介：朱剑贵（1986.05-），男，四川盐源人，本科，助理工程师，研究方向：路基软土地基换填施工的沉降控制，（道路与桥梁方向）。

风险，主要表现为以下三个方面：其一，高压缩性。由于软土颗粒间孔隙较大，而且孔隙水难以迅速排除，在路基荷载作用下，土颗粒将逐渐挤压孔隙，导致地基产生较大的压缩沉降，而且沉降过程持续时间长，分为瞬时沉降、固结沉降与次固结沉降三个阶段；其二，承载力低。软土的抗剪强度小，在天然状态下难以承受路基传递的荷载，极易发生剪切破坏，从而造成路基整体沉降或局部塌陷；三是触变性与流变性。软土在开挖、振动等扰动作用下结构容易破坏，抗剪强度急剧下降，具有触变特性；同时，在长期荷载作用下，软土流变发生缓慢变形，即使荷载没有超过极限承载力，也会随时间的发展产生不断的沉降。

（二）换填施工的基本原理

换填施工的实质是“土质替换与受力优化”，通过将路基范围内的软弱土层挖除，替换为物理力学性能更优的填料，从根本上改善地基的承载条件与变形特性。其作用原理可概括为两点：一是荷载传递路径优化。合格的换填填料具有较高的强度与刚度，能够将路基上部荷载均匀传递至下卧稳定土层，避免荷载集中导致下卧层产生过量压缩；二是压缩变形量削减。^[1]换填填料的压缩系数远小于软土，在相同荷载作用下，换填层自身的压缩沉降量显著降低，同时通过控制换填层的压实度，可减少填料颗粒间的孔隙，进一步抑制后期沉降。此外，换填施工还能消除软土的触变与流变隐患，降低地基在长期使用过程中的沉降风险。换填施工过程中，优质填料形成的稳定结构还能增强地基抗侧向变形能力，避免因路基侧向位移引发附加沉降。同时，合理的换填方案可适配不同气候与地质环境，比如在多雨地区，透水性好的换填材料能减少雨水下渗对地基的影响，进一步保障地基长期承载稳定，为路基工程筑牢基础。^[2]

二、换填施工各环节的沉降控制要点

（一）施工前期准备阶段的沉降控制基础

施工前期准备是沉降控制的前提，需从勘察、方案设计与材料选型三方面筑牢基础。首先，详细勘察软土地基分布范围、厚度、物理力学参数（天然含水量、孔隙比、抗剪强度）与下卧层地质条件，明确换填深度与范围——如果勘察数据不准确，易造成换填深度不够，残留的软土层仍会诱发后期沉降；其次，制定换填施工专项方案，明确换填分层厚度、压实机械选型、压实遍数、检测标准等关键参数，方案需结合工程实际进行优化。^[3]

（二）软土开挖环节的沉降控制关键

软土开挖过程如果操作不当，容易扰动下卧层土体，破坏土体结构，造成下卧层承载力下降，后期沉降的风险增大。因此，在开挖环节应实行“分层开挖、快速换填”的原则。的原则：一是控制开挖分层厚度，根据软土厚度与开挖机械性能确定分层高度，避免单次开挖深度过大，导致基坑侧壁坍塌或下卧层受扰动；二是限定开挖范围，严格按照设计边界开挖，防止超挖或欠挖——超挖会增加填料用量，且若超挖区域未及时回填，易受雨水浸泡导致土体软化，欠挖则残留软土，引发沉降；三是缩短开挖与回填的间隔时间，软土开挖后，下卧层土体暴露于空气中，

易因含水量变化产生收缩或软化，需快速回填换填材料，减少土体扰动时间，保护下卧层结构稳定性。^[4]

三、换填施工中沉降控制的具体技术措施

（一）分层换填与递进压实技术

分层换填技术是控制换填层自身沉降的核心手段，其核心逻辑是通过“薄层多遍”的回填与压实方式，确保每一层填料都能达到设计压实度，减少填料颗粒间的孔隙。在实际应用中，需根据填料特性与压实机械性能动态调整分层厚度与压实遍数：例如，对于级配良好的碎石填料，采用20t振动压路机时，分层厚度可设为25~30cm，压实遍数控制在4~6遍；对于灰土填料，因灰土需经历灰土反应形成强度，分层厚度宜设为20~25cm，压实遍数增加至6~8遍，同时需在压实后及时覆盖养护，防止灰土失水影响强度形成。递进压实技术则是在分层压实的基础上，采用“先静压后振动”的压实顺序，先通过静压将填料颗粒初步排列整齐，减少颗粒间的空隙，再通过振动压实使颗粒进一步密实，提升换填层的整体密实度，降低后期压缩沉降量。^[5]

（二）排水固结辅助技术

软土地基中的孔隙水是导致固结沉降的主要因素，若换填施工过程中软土中的孔隙水无法及时排出，会导致换填层下方软土固结缓慢，引发后期沉降。因此，需结合排水固结辅助技术，加速软土排水固结：一是设置临时排水系统，在软土开挖前，在基坑周边设置排水沟与集水井，通过抽水降低地下水位，减少软土含水量，提高软土自身强度，同时避免开挖后基坑积水；二是在换填层底部铺设排水垫层，排水垫层可采用级配砂石或碎石，厚度通常为20~30cm，其作用是汇集下卧软土中的孔隙水，通过排水垫层将水排出路基范围，加速下卧软土的固结过程，减少固结沉降量；三是采用塑料排水板辅助排水，若软土厚度较大（2~3m），可在换填前在软土中插入塑料排水板，形成竖向排水通道，缩短孔隙水排出路径，加速软土固结，待软土沉降稳定后再进行换填施工，进一步降低后期沉降风险。

（三）加筋增强技术

加筋增强技术通过在换填层中铺设土工合成材料（如土工格栅、土工布），增强换填层的整体性与抗变形能力，减少沉降变形。土工格栅的应用需注意以下要点：一是格栅选型，需根据换填层厚度与路基荷载选择具有相应抗拉强度的土工格栅，通常选用双向拉伸塑料土工格栅，其抗拉强度不低于20kN/m；二是铺设位置，土工格栅宜铺设在换填层的中上部，若换填层厚度较大（超过1.5m），可分层铺设，每层格栅间距不超过80cm，确保格栅能有效分散荷载，抑制换填层的侧向变形与竖向沉降；三是铺设工艺，土工格栅铺设时需拉直、绷紧，避免褶皱，相邻格栅的搭接长度不小于20cm，搭接处采用绑扎或焊接固定，确保格栅整体受力，同时在格栅上下层需铺设5~10cm厚的砂石保护层，防止格栅被填料颗粒刺破，影响使用效果。

四、换填施工沉降控制的质量控制体系

(一) 施工前质量控制

施工前质量控制需从人员、材料、设备三方面构建防线。人员方面，组织施工人员进行技术交底与培训，明确换填施工的沉降控制要点、操作规范与质量标准，考核合格后方可上岗，避免因人员操作不当导致质量问题；材料方面，建立换填材料进场检验制度，每批次材料进场后需检测其颗粒级配、含泥量、强度等指标，不合格材料严禁入场，同时对材料存储进行规范管理，防止砂石填料受雨水浸泡导致含水量超标，灰土填料受潮结块影响灰剂量；设备方面，对压实机械、开挖机械、检测设备进行检修与校准，确保设备性能稳定，检测数据准确，如振动压路机的振幅、频率需符合施工要求，压实度检测设备需定期校验，避免因设备问题影响压实质量与检测结果。

(二) 施工中质量控制

施工中质量控制需依托“工序验收”制度，实现全过程管控。一是建立工序交接检验流程，每道工序（如软土开挖、填料回填、压实）完成后，施工班组需先自检，自检合格后报监理单位验收，验收通过后方可进入下道工序，杜绝不合格工序进入后续施工；二是加强关键环节旁站监督，对填料压实、换填深度控制等关键环节，监理人员需全程旁站，记录施工参数（如分层厚度、压实遍数、压实机械型号），及时纠正违规操作；三是开展平行检测，监理单位需对施工单位的检测结果进行平行检测，检测频率不低于施工单位检测频率的10%，确保检测数据真实可靠，若平行检测发现压实度不达标，需责令施工单位返工处理，直至合格。

(三) 施工后质量控制

施工后质量控制需聚焦沉降监测与后期评估。一方面，持续开展沉降监测，根据监测数据绘制沉降曲线，分析沉降趋势，判断路基是否达到稳定状态，若沉降未稳定，需延长监测时间，并采取补充措施（如超载预压）加速沉降；另一方面，对换填施工质量进行后期评估，结合沉降监测数据、现场检测结果与工程使用情况，评估换填施工的沉降控制效果，总结经验教训，为后续同类工程提供参考。同时，建立质量追溯体系，将施工过程中的技术交底记录、材料检验报告、工序验收记录、监测数据等整理归档，若后期出现沉降问题，可通过追溯体系查找原因，明确责任。

五、结论

本文通过对路基软土地基换填施工沉降控制的研究，得出以下结论：其一，软土地基的高压缩性、低承载力是导致路基沉降的根本原因，换填施工通过替换软弱土层，可有效改善地基受力状态，但其沉降控制需贯穿施工全过程；其二，换填施工各环节均存在沉降控制要点，施工前期需做好勘察与方案设计，开挖环节需避免土体扰动，回填压实环节需控制分层厚度与压实质量，顶部处理需加强界面衔接；其三，分层换填、排水固结、加筋增强与信息化监测等技术措施，可从不同维度提升沉降控制效果，联合应用可实现协同增效；其四，构建“施工前—施工中—施工后”的质量控制体系，是保障沉降控制效果的关键，需通过人员培训、材料检验、工序验收与沉降监测，确保施工质量达标。

参考文献

- [1] 尤慧敏.论软土地基处理技术在公路路基设计中的应用 [J].产品可靠性报告,2025,(06):137-138.
- [2] 弓文俊.软土地基施工技术在道路工程路基施工中的应用研究 [J].居业,2025,(05):64-66.
- [3] 陈永康,吴明珠.软土地基处理技术在路基工程中的应用研究 [J].工程机械与维修,2025,(05):41-43.
- [4] 赵宇泽.铁路路基结构下软土地基处理技术研究 [J].现代盐化工,2025,52(01):60-62.
- [5] 骆天明.路基施工中软土地基施工技术运用分析 [J].低碳世界,2024,14(09):166-168.