

公路路基工程建设中的换填施工工艺探析

曾超

(四川川交路桥有限责任公司, 四川 广汉 618300)

摘要 在公路工程施工中, 路基工程是非常重要的基础性工程, 其施工质量不仅直接决定了公路整体结构的稳定性和耐久性, 更是保障公路长期安全运行的关键因素。科学实施换填施工能改善地基强度, 减少沉降差异并延长路基使用寿命, 本文系统探析了换填施工工艺, 分析了路基换填的技术原理及控制要点, 提出了施工前的勘测准备、材料选用及施工组织优化策略, 重点剖析了压实控制、分层填筑与质量检测等核心技术, 以期为提升公路路基工程施工质量提供理论参考。

关键词 公路路基; 换填施工工艺; 地质勘察; 压实质量管理; 软基处理

中图分类号: U416

文献标志码: A

DOI:10.3969/j.issn.2097-3365.2025.32.016

0 引言

在公路路基施工中, 软土层结构的施工易发生沉降问题, 因而若想提高公路安全性, 就要加强对地基换填工艺的应用。地基换填工艺成本较低, 操作也较简单, 在公路路基施工中应用该工艺, 可有效提升公路路基的稳固性能。在实际操作中, 要想达到最佳的路基换填施工效果, 施工单位需要结合公路工程的实际情況, 全面深入地分析并制定科学的施工方案, 加强施工过程质量控制, 从而延长整个公路工程的使用寿命。

1 公路路基换填施工工艺概述

1.1 换填施工的基本概念

公路路基换填施工是指在地基土质松软、承载力不足或压缩性过大的地区, 挖除原有不良土体并以高强度或者低压缩性的材料回填, 其核心目的在于形成一个强度稳定的人工地基结构, 使上部路面结构受力均匀。换填施工广泛应用于软土、湿陷性黄土、膨胀土及冻融敏感地区的公路工程中, 是地基处理最为直接且经济的方式之一, 施工过程中需结合勘察资料及设计标准合理确定换填深度, 科学选择填料, 从而确保换填层形成致密稳定的受力模式^[1]。

1.2 换填施工的技术机理

换填施工的技术机理主要体现为承载重构、排水固结与应变协调三个方面, 用高强度或者低压缩性材料替代原有软弱土体, 地基的应力重新分布传递路径, 换填层成为新的主要承载结构, 切实提升地基的整体稳定性。应用高透水性材料可以迅速排出孔隙水, 加快软弱土体的固结速度。此外, 合理控制换填层厚度、

压实度与颗粒级配, 使其与下卧土体在应变上保持协调, 避免界面滑移与剪切破坏, 形成“刚柔相济”的复合受力状态。在动力碾压或强夯作用下, 换填层与原地基可形成一体化结构, 进一步改善地基的应力响应特性。换填施工不仅是简单的土体置换过程, 更是一种重构地基结构的系统工程。其成功实施依赖于地质分析、材料特性及施工参数的科学匹配, 是提升地基承载能力的关键环节^[2]。

1.3 换填施工的影响因素

换填的范围及深度是首要考虑的因素, 需要精确计算软土层承载力、沉降量及下卧持力层位置综合确定垫层厚度, 通常有一个经济合理的适用范围(一般不超过3米), 过浅则处治效果不显著, 过深则经济性较差; 同时换填宽度必须充分大于路基底宽, 以满足应力扩散角的要求, 防止因侧向约束不足而导致地基土体发生侧向变形。换填材料的工程特性是影响处理效果的核心因素, 不良的材料特性则可能导致垫层强度不足或产生过大变形。地下水与气候条件是关键的外部环境因素, 地下水位的高低直接影响基坑开挖的边坡稳定性、施工降水方案的选择以及换填材料的碾压效果, 特别是对于细粒土填料, 控制含水率尤为重要; 气候条件则关系到施工期间填料含水率的自然变化以及基坑的防护措施, 雨季施工需要特别考虑降雨对基坑稳定性和填料含水率的负面影响。此外, 施工工艺与质量控制水平是决定工程质量的实施性因素, 每一个施工环节的精度都直接关系到换填体的整体质量, 而严格的过程检测作为质量管理的核心环节, 是保障设计蓝图精准落地于实体工程的坚实基础。

2 公路路基工程换填施工前准备

2.1 地质勘察工作

详尽的地质勘察是换填设计方案的基石，也是指导施工的首要环节。勘察工作需要查明软土层的空间分布规律，并获取其关键的物理力学指标，同时必须查明地下水的稳定水位、年变化幅度及补给排泄条件。这些数据是科学确定换填深度、范围、边坡坡率以及预判施工中可能遇到问题的根本依据，任何勘察疏漏都可能导致设计方案偏离实际，为后续施工埋下隐患。

2.2 选择换填材料

砂砾石料因其级配良好、颗粒坚硬、透水性好、CBR 值高而成为首选理想材料，需严格控制其含泥量。碎石及卵石强度极高，适用于承载力要求极高的路段，但施工中应注意填充空隙以保证压实均匀。石灰土或水泥土适用于含水率较高的黏性土原状地基处治，无机结合料的稳定作用可显著提高土体强度和水稳定性，但施工工艺相对复杂。性能稳定的矿渣、粉煤灰等工业废渣，在满足环保与力学性能要求的前提下可废物利用，当原材料运输至现场后，应检测材料的质量性能，在检测合格的情况下才能够使用在项目工程中^[3]。

3 公路路基工程换填施工核心技术

3.1 规范施工流程控制

规范化的施工流程控制是保证工程质量的基本保障，也是标准化管理的核心内容。建立科学合理的施工流程，明确各道工序的技术标准，是精细化施工管理的基础。系统化的流程控制，可以避免施工过程中的不确定性，从而为整体工程质量提供可靠保证^[4]。

整个换填施工流程是一个环环相扣的系统工程，始于精确的测量放样与彻底的挖除清理阶段，在这个阶段必须严格按照测量放样结果进行开挖作业，根据土质条件合理确定边坡坡率并采取必要的支护措施防止塌方，同时要建立完善的基坑临时排水系统，在坑顶、坑底设置排水沟以及集水井，及时排除积水和地下水，确保作业面干燥，此外还要按照规定将挖除的软土运输至指定弃土场，做好弃土场的防护措施，防止对环境造成二次污染。接着进入关键的基底处理阶段，这个阶段需要人工配合机械彻底清除基底表面的松散浮土、淤泥等杂物，并按照规范要求进行严格的基底验收，经验收合格的基底应当立即进行回填作业，最大限度地减少基底暴露时间，防止雨水或地下水浸泡而降低承载力。

进入分层填筑环节后，要根据压实机具性能和材料类型严格控制每层松铺厚度，这个厚度通常需要通过试验段确定，一般砂砾料控制在 30~40 厘米，素土、

灰土控制在 20~30 厘米，施工时应在基坑边缘设置明显的层厚标线，采用网格法上料，使用推土机初步摊铺后再用平地机精细整平，确保层厚均匀、表面平整并形成利于排路的横坡。随后的压实控制是整个流程的核心环节，压实前必须检测填料的含水率并将其控制在最佳含水率的 ±2% 范围内，轮迹重叠宽度要达到 1/3 至 1/2 轮宽，做到碾压均匀无死角，对于压路机无法压实的边坡区域要采取专门的压实措施。此外，每一层压实完毕后都必须立即检测压实度，检测合格后方可进行上一层的填筑施工，同时要建立完整的施工记录，满足质量追溯的管理要求。

3.2 强化压实质量管理

压实质量是影响换填处理效果的关键因素，压实质量管理的水平直接关系到路基工程的长期使用性能，采用先进的检测手段以及科学的控制方法，可以提升垫层的整体质量，使其满足设计要求的力学性能。

为全面提升压实质量管理的科学性，需建立系统化的控制模式，应在不同施工区域铺筑试验段，系统试验确定各类填料的最佳松铺厚度、含水率范围等关键技术参数，并在全线施工中严格实施这些标准化参数，保证施工工艺的统一性。此外，应积极推进过程监控的信息化建设，为压路机加装智能压实管理系统，实时监测并记录碾压遍数、振动频率等关键参数，完成压实过程的数字化管理，从而避免发生漏压或过压的情况，以此提高压实质量的均匀性。同时，需建立填料含水率的动态调控模式，配备快速含水率测定仪，根据天气变化及材料状况及时调整控制策略，并配置充足的洒水与翻晒设备，保证填料始终在最佳含水率状态下压实，保障垫层的整体均匀性。在此基础上，还应完善压实质量检验制度，采用多种检测方法相互验证，及时发现并处理质量问题，保障各施工区段的压实效果均符合设计要求。

3.3 完善排水防渗体系

水的侵蚀渗透会降低路基土的强度指标，引发多种路基病害，因此必须建立系统完善的排水防渗系统，这个系统应当综合考虑地表水、地下水的排除与隔离，采取“以防为主、防排结合”的技术原则，形成多层次的防护体系^[5]。

采用透水性垫层本身就构成了一个高效的水平排水体，此时需要在垫层底部或侧向合理设置反滤层，可以采用铺贴土工布或设置级配砂砾滤层等方式，防止周围细粒土随水流侵入垫层造成结构淤堵；同时垫层顶面应设置与路拱一致的横向坡度，并与路基边沟、排水沟等排水设施顺畅衔接，能够及时排除从路面或

者路基内部渗入的地下水。当采用灰土、水泥土等低透水性材料作为换填料时，保证其自身的压实质量以及结构整体性是防渗的关键，要通过严格的施工控制防止垫层内部产生裂缝及薄弱面而形成渗水通道；同时要做好路基表面的防水封闭系统，及时填筑上路床并且铺设高质量的防水层，阻止地表水向下渗透。在多年冻土区域或地下水位较高的地区，还需要考虑采取特殊的防渗排水措施，设置隔热层或者防冻胀层，这些措施需要根据具体工程条件专门设计。一个完善的排水防渗体系能控制各种来源的水分对路基稳定的不利影响，为路基长期性能提供保障。

3.4 强化施工安全防控

安全是工程施工不可逾越的底线，强化施工安全防控是保障工程顺利实施的首要前提。在换填施工过程中，由于涉及深基坑作业、大型机械操作等高风险工序，安全管理显得尤为重要。施工安全既关系到工程建设的顺利进行，更直接关系到施工人员的生命安全，必须放在各项管理工作的首位。

基坑安全是换填施工中需要首要关注的重点，必须根据地质条件和开挖深度严格按照设计坡率放坡，对于不稳定边坡或深基坑，要在基坑边缘设置牢固的安全护栏和醒目的安全警示标志，严禁在基坑边坡顶部堆置重物或行驶重型设备，同时要建立定期的边坡稳定性监测制度，及时发现并处理边坡变形问题。机械作业安全是另一个重要防控领域，需要制定详细的机械安全操作规程，实行定人定机持证上岗管理，施工现场设立专门的协调指挥人员，统一指挥挖掘机、运输车、压路机等设备的协同作业，明确各种设备的作业区域以及行驶路线，防止机械伤害事故的发生，特别要注意避免车辆靠近基坑边缘行驶，防止坠坑事故。此外，临时用电安全与防汛安全也是不容忽视的方面，基坑内排水用电必须符合临时用电安全规范，电缆线路要采取可靠的保护措施，雨季施工要制定完善的防汛应急预案，准备充足的防汛物资和设备，密切监控天气变化和水情发展，防止基坑被淹造成损失。所有的安全防控措施都需要通过系统的安全教育和技术交底落实到每一个施工人员，建立全员参与的安全管理框架，做到施工全过程的安全可控。

3.5 落实质量检测评估

质量检测是检验换填施工成果的最终关口，落实质量检测评估是保证工程质量的重要手段，建立科学完善的检测评估制度，采用先进的检测技术以及严格的质量验收标准，可以客观准确的评价工程质量。及时的检测反馈可以调整优化施工工艺，现代工程质量检测已经发展成为集现场测试、实验室分析、数据处理于一体的

综合性技术，为工程质量控制提供了可靠的技术支撑。

施工前检验主要针对进场材料的质量，要对各种换填材料的物理力学指标进行全面的试验检测，确保原材料质量符合设计要求，这是保证工程质量的基础。施工中检验是控制过程质量的关键环节，需要重点监控分层厚度、含水率、压实度等过程参数，建立严格的分层验收制度，每一层施工完成后都要及时检测并纠正施工偏差，确保各个施工环节的质量都处于受控状态。施工后检验则是全面评估验收换填体，按规范要求的频率和方法进行整体压实度检测，采用动力触探试验、静力载荷试验等原位测试方法检验地基承载力是否达到设计标准，以及在路基填筑过程中及完成后设置系统的沉降观测点，定期监测路基的沉降变形发展趋势，科学验证处治效果。除了这些常规检测项目外，对于重要工程还应考虑采用附加质量检验方法，从更多维度评价换填体的整体质量。所有的检测数据都应当及时整理分析，形成完整的检测报告，为工程验收和后续养护管理提供依据。采用科学的检测方法以及严格的质量验收标准，才能真正保证换填工程的最终质量，为公路的长期安全运营提供可靠保障。

4 结语

换填施工工艺作为公路软弱地基处治的关键技术，其效能发挥依赖于地质勘察、材料选择与施工控制的系统整合。换填深度需结合土层承载力与沉降计算，而填料的级配优化与含水率控制直接决定垫层的长期稳定性。在现代施工中，智能压实控制与实时监测系统全过程调控碾压参数，提升了垫层均匀性以及界面结合质量。未来应进一步推进信息化施工模式，通过智能压实控制、三维地质建模与施工参数的动态反馈，形成数据驱动的质量控制方案。加强特殊土质条件下换填技术的适应性研究，发展生态友好型换填材料，推动该技术在绿色公路建设中的标准化应用，持续提升路基工程的寿命周期。

参考文献：

- [1] 周林,魏元红.公路工程中软土路基换填施工技术研究[J].交通科技与管理,2025,06(12):84-86.
- [2] 陈晓健.基于地基换填工艺的公路路基设计施工研究[J].运输经理世界,2024(24):10-12.
- [3] 万桂军.高速公路路基工程建设中的换填施工工艺[J].运输经理世界,2023(12):4-6.
- [4] 魏寿庆.地基换填工艺在公路路基施工中的应用[J].建筑技术开发,2022,49(01):162-164.
- [5] 姚成龙.地基换填工艺在公路路基设计施工中的应用探析[J].科技风,2020(18):173-174.