

公路工程施工中路基加固处理的工艺与技术探究

刘钰

新疆生产建设兵团第十师交通运输服务中心, 新疆 北屯 836099

[摘要]路基作为公路工程核心承重结构,其质量问题直接影响工程整体效益。为解决路基沉降、开裂等常见病害,本文从地质、施工、自然环境三方面剖析病害成因,系统研究物理压实、土体置换等六大类路基加固技术的适用场景与施工工艺要点,并构建施工前勘察设计、施工中工艺把控、施工后检测验收的全流程质量管控体系。研究明确了不同加固技术的应用规范与管控重点,其研究成果可为公路工程路基加固的实际施工提供科学的技术参考。

[关键词]公路工程;路基加固;病害成因;施工工艺;质量管控

DOI: 10.64635/ja.2026.1059

中图分类号: U416.1

文献标识码: A

Construction Processes and Technologies for Subgrade Reinforcement in Highway Engineering

Liu Yu

Transportation Service Center of the Tenth Division, Xinjiang Production and Construction Corps, Beitun 836099, Xinjiang, China

Abstract: As the core load-bearing structure in highway engineering, the quality of the subgrade directly affects the overall engineering performance of a project. To address common defects such as subgrade settlement and cracking, this paper analyzes the causes of these defects from three aspects: geological conditions, construction factors, and the natural environment. It systematically examines the applicable scenarios and key construction process requirements of six major categories of subgrade reinforcement technologies, including physical compaction and soil replacement, and establishes a whole-process quality control system covering pre-construction investigation and design, in-construction process control, and post-construction inspection and acceptance. The study clarifies the application specifications and control priorities of different reinforcement technologies, and its findings provide a scientific basis and technical reference for the practical implementation of subgrade reinforcement in highway engineering.

Keywords: highway engineering; subgrade reinforcement; causes of defects; construction processes; quality control

引言

路基是公路工程的核心承重结构,其稳定性与承载能力直接决定公路的施工质量、运营安全和使用寿命。在公路工程施工中,受地质条件、施工操作、自然环境等多重因素影响,部分路段易出现软土富集、土体压实不足、路基沉降变形等问题,若未采取有效的加固处理措施,会引发路面开裂、塌陷等病害,不仅降低公路的通行能力,还会增加交通事故的发生概率。当前公路工程路基加固技术体系日趋完善,但实际施工中仍存在技术选择与工程实际不匹配、工艺执行不规范等问题,导致加固效果未达设计要求。

1 公路工程路基加固处理的必要性

天然土体物理力学性质差异显著,软土、湿陷性黄土等特殊土质强度低、含水量高,易引发路基沉降、侧向变

形,进而损坏路面结构。科学的路基加固能提升土体密度、抗剪强度与路基承载能力,避免路面病害,保障公路运营稳定。若不良路段未规范加固,会频发沉降、塌陷等问题,既增加维修成本,又影响交通通行。施工阶段针对性加固可从源头减少病害,降低全生命周期成本。路基施工是公路建设基础工序,其质量直接影响后续施工效果,加固能让各项指标达标,为工程奠基,保障整体施工质量,推动公路建设向精细化、高质量发展。

2 公路工程路基病害的成因分析

2.1 地质条件的先天制约

地质条件是影响路基稳定性的先天因素,不同区域的地质构造与土质特性会对路基工程质量产生根本性影响。褶皱带、断裂带等复杂地质构造区域的岩体破碎、节理发育,在地下水渗透与地震等因素的作用下,易引发路基滑

坡、泥石流等灾害；软土地基具有强度低、含水量高、透水性差的特点，在外部荷载作用下会出现长期且显著的沉降，易导致路基边坡失稳；湿陷性黄土遇水后土体结构破坏、强度骤降，会引发路基不均匀沉降；膨胀土受含水量变化影响，会出现反复的胀缩变形，导致路基开裂、隆起，破坏路基结构的完整性。

2.2 施工环节的人为疏漏

施工环节的操作不规范是导致路基病害的重要人为因素，施工过程中的各类疏漏会直接降低路基的施工质量。路基压实度是评价路基密实程度的核心指标，部分施工过程中存在压实遍数不足、压实设备选择与土体特性不匹配的问题，导致路基压实度未达设计要求，土体空隙率过大，在荷载作用下易出现沉降；工程设计阶段未充分结合现场地质、水文条件制定方案，清表不彻底、半填半挖路段台阶设置不科学，会降低路基基底的稳定性；路基填料选择不当，采用高渗透性、低稳定性的土石混合料，或填筑过程中纵向分幅填筑不规范，会导致路基整体受力不均，引发局部变形与裂缝。

2.3 自然环境的外部影响

公路工程投入施工与运营后，长期处于自然环境中，各类自然因素的持续作用会逐步侵蚀路基结构，降低路基的稳定性。雨水的冲刷与浸泡会破坏路基土体的结构，使土体含水量升高、强度降低，河流、湖海周边的公路路基还会受到水流的长期冲刷，导致路基边坡坍塌、基底淘空；温度的周期性变化会使土体出现热胀冷缩，尤其膨胀土路基受温度影响更为显著，反复的胀缩变形会加剧路基裂缝的发展；车辆荷载的反复作用会使路基土体产生塑性变形，长期的荷载累积会导致路基沉降逐步加剧，最终引发路面病害。

3 公路工程路基加固的核心工艺与技术应用

3.1 物理压实类加固技术

3.1.1 机械碾压技术

机械碾压技术依托重型压路机的静态压力或激振力，对路基土体进行分层碾压，使土体颗粒紧密结合，提升土体的密实度与承载能力。该技术适用于填土高度较低、浅层软土分布的路基路段，施工时需根据土体的含水量、颗粒级配等特性选择压路机类型，振动压路机适用于砂性土、粉质土路基，静碾式压路机适用于黏性土路基。施工过程中需严格控制分层填筑厚度，一般控制在 25~30cm，遵循先静压后振压的碾压原则，控制碾压速度与遍数，确保路基土体的压实度均匀达标，避免因碾压不均出现局部沉

降隐患。

3.1.2 强夯处理技术

强夯处理技术基于动力固结原理，利用重锤从一定高度自由落下产生的强冲击力，对路基土体进行反复夯击，使土体产生塑性变形，优化土层的物理力学性能，同时可击穿浅层溶洞顶板、填充土体裂隙，适用于溶蚀裂隙区、浅层溶洞路段以及松散填土路基的加固。施工前需对施工现场进行地质勘察，准确测量土层密实度，构建隔水层抑制地下水渗漏，避免溶洞因地下水作用再次发育；施工中需严格控制单点夯击能、夯击部位与夯击次数，根据土体沉降情况及时调整施工参数，夯击完成后土体与岩体将形成坚实的硬壳层，有效提升路基的整体稳定性。

3.2 土体置换类加固技术

3.2.1 路基换填处理工艺

路基换填处理工艺适用于软土、淤泥、腐殖土等不良土层厚度较小的路基路段，施工时需先通过地质勘察确定不良土层的厚度与分布范围，明确换填深度与换填范围。换填材料优先选择级配良好的天然砂砾、山皮石等强度高、透水性好的土体，对换填材料进行破碎、筛分预处理，确保填料粒径分布合理、无杂质。换填作业采用挖掘机挖除不良土层，清除坑内杂物与积水后，分层回填填料，每层填料厚度不超过 30cm，采用压路机分层压实，控制压实设备的运行速度与碾压遍数，确保填料层的密实度与均匀性达到设计标准。

3.2.2 填筑垫层技术

填筑垫层技术适用于填土高度超过 2m 的高路堤路基加固，通过分层填筑稳定填料并设置垫层，分散路基荷载，减少路基沉降。施工前需清除路基表面的草皮与表土，平整基面，根据设计要求分层填筑天然砂砾、风化砂等填料，每层填料厚度控制在 60~80cm，分层碾压密实。针对软基分布的高路堤路段，需设置反压护坡道，平衡路基的侧向土压力，防止填筑过程中路基出现侧向位移与变形，同时可在垫层中设置排水层，及时排出路基内部的积水，提升垫层的整体稳定性。

3.3 排水固结类加固技术

排水固结类加固技术是通过设置排水系统，结合堆载预压的方式，使路基土体中的水分逐步排出，土体发生固结沉降，从而提高土体密实度与强度的加固技术，适用于含水量高、透水性差的软土路基路段，尤其适用于天然沉降层与人工填土层的加固。该技术的核心原理是通过堆载土层向地基施加荷载，使土体中的孔隙水压力逐步消散，

有效应力不断增加,实现土体的固结。施工时需结合路基土体特性设置排水板、排水砂井等排水设施,形成完善的排水体系,确保土体水分能够快速排出;堆载预压的荷载需逐步施加,根据土体沉降情况调整堆载速率,避免因荷载施加过快引发路基失稳,同时需综合考虑施工环境、土体特性等因素,优化排水固结施工参数,提升加固效果。

3.4 加筋增强类加固技术

加筋增强类加固技术是将钢筋网、土工格栅、土工织物等加筋构件铺设于路基结构中,与路基土体结合形成复合结构,利用加筋构件的抗拉性能,分散路基荷载,减少土体侧向变形,提高土体的抗剪强度,适用于路基边坡加固、半填半挖路段路基加固以及软土路基的浅层加固。施工前需详细调查路基土体情况,选择抗拉强度高、耐久性好的加筋材料,清理路基表面的杂物与松散土体,检查施工设备性能。施工过程中需根据设计方案合理布置加筋材料,确保材料铺设紧实、搭接规范,钢筋网需进行焊接与绑扎形成整体;铺设完成后进行分层填土作业,分层压实,控制压实度与压实遍数,使填土与加筋材料紧密结合,形成协同受力的复合结构,提升路基的整体稳定性。

3.5 桩体加固类技术

3.5.1 碎石桩加固工艺

碎石桩加固工艺通过振动、冲击等方式将碎石挤压入软土路基中,形成碎石桩体,桩体与周围土体形成复合地基,利用碎石的挤密作用减小土体空隙率,同时碎石桩可作为排水通道,加速土体排水固结。施工前需选择粒径、含泥量达标的碎石材料,检查振动沉管机、碎石灌装机等设备性能;成孔时可采用振动沉管法或水冲法,控制套管下沉速度,遇坚硬土层时可采用喷气、喷水方式辅助成孔;成孔后向桩孔内灌注碎石,按设计要求控制灌注量,通过振动、夯击压实碎石,拔管时合理控制拔管速度与反插次数,确保碎石桩的连续性与密实性。

3.5.2 生石灰桩加固工艺

生石灰桩加固工艺利用生石灰与土体的化学反应,吸收土体中的水分并形成水化产物,使软弱土体固化,同时反应产生的体积膨胀可对周围土体产生挤密作用,提升土体强度。该技术适用于含水量高、地下水位较高的软土路基路段,施工时将生石灰与粉煤灰等掺合料混合后填入桩孔,生石灰遇水消解后产生的氢氧化钙可与土体中的黏土颗粒发生胶结反应,形成稳定的结晶体,提升土体的黏结性与整体稳定性,同时生石灰的水化反应具有一定的抗溶解性,可有效提升路基的抗水侵蚀能力。

3.6 注浆加固技术

注浆加固技术是通过注浆管将水泥、砂浆、水玻璃等混合浆液注入路基深层或软弱土体中,浆液渗透到土体裂隙与空隙中,与土粒发生化学反应并固化,填充土体空隙,增强土体的黏结性与整体稳定性,适用于地质构造复杂、土体破碎的路基路段以及断层、溶洞分布区域的路基加固。施工前需进行钻孔勘察,明确注浆范围与注浆深度,采用分段注浆技术将注浆区域划分为若干小段,分阶段注浆;注浆材料的配置比例需结合土体特性调整,常规水泥、水、水玻璃的配置比例为1:1:0.03,施工中严格控制注浆压力与注浆速度,确保浆液均匀分布于土体中;注浆完成后需对加固效果进行检测,若发现浆液分布不均,及时进行补注浆,确保路基加固效果达到设计要求。

4 公路工程路基加固施工的质量管控策略

4.1 施工前期的勘察与方案设计

施工前期的精细化勘察与针对性方案设计是路基加固施工质量的前提保障。施工单位需组织专业勘察团队,采用地质钻探、标准贯入试验、静力触探技术等多种勘察手段,对施工现场的地质、水文条件进行全面勘察,精准获取土体的含水量、孔隙比、抗剪强度、压缩模量等关键物理力学指标,绘制详细的地质剖面图,明确不良土层的分布范围、厚度以及地质构造的具体情况。基于勘察结果,结合公路工程的设计标准与运营要求,制定针对性的路基加固施工方案,明确加固技术的选择、施工参数的设定、施工工序的安排以及质量控制的标准,同时充分考虑施工过程中可能出现的地质突变、天气变化等问题,制定应急预案,确保施工方案的科学性与可行性。

4.2 施工过程的工艺与参数把控

施工过程是路基加固质量管控的核心环节,需对施工工艺、施工参数、材料质量进行全方位把控。施工材料是路基加固的物质基础,需严格把控换填填料、碎石、水泥、加筋材料等原材料的进场质量,对材料的各项性能指标进行检测,不合格材料严禁进场使用;施工过程中需严格按照施工方案执行施工工艺,控制分层填筑厚度、夯击能、注浆压力、碾压遍数等关键施工参数,安排专业技术人员进行现场指导与监督,及时纠正施工中出现的工艺不规范、参数偏差等问题。同时,做好各施工工序的衔接工作,上一道工序验收合格后方可开展下一道工序,避免因工序衔接不当影响加固效果,确保施工过程的标准化、规范化。

4.3 施工后期的检测与验收

施工后期的检测与验收是检验路基加固效果的关键

环节,需采用科学的检测方法,对路基的各项指标进行全面检测。压实度检测采用灌砂法、核子密度仪法,按照规范要求设置检测点,确保路基土体的压实度达到设计标准;平整度检测采用3m直尺法,弯沉检测采用贝克曼梁法或自动弯沉仪法,评价路基的承载能力。对桩体加固、注浆加固的路段,需通过低应变法、钻芯取样等方式检测桩体的完整性、密实度以及浆液的固结效果。检测过程中若发现指标未达设计要求,需及时分析原因,采取补压、补注浆、重新换填等整改措施,整改完成后再次检测,直至各项指标达标,确保路基加固效果符合工程设计要求。

5 结语

路基加固是公路工程建设的关键环节,直接关系到路基的承载能力与公路运营的安全性、耐久性。各类加固技术均有其适用条件与施工规范,需结合工程现场地质、水文等实际情况合理选型。同时,全流程的质量管控是保障加固效果的核心,唯有落实精细化勘察、标准化施工与严

格化检测,才能从根源规避路基病害,提升公路工程建设质量,助力公路工程行业的高质量发展。

[参考文献]

- [1]刘俊驰.探析公路工程施工不良路段路基加固的处理方法[J].工程建设与设计,2025(6):196-198.
- [2]李顺.公路工程施工中不良路段路基加固处理方法探讨[J].中国科技纵横,2025(15):123-125.
- [3]印刚.公路工程施工中低填浅挖路基施工技术的实践应用[J].建设机械技术与管理,2025,38(04):160-161+167.
- [4]杨磊.公路工程软土路基的加固技术和施工方法研究[J].工程机械与维修,2024(3):190-192.
- [5]高红梅.公路工程施工中路基加固处理的关键技术分析[J].中国科技纵横,2024(9):112-114.

作者简介:刘钰(1995.01—),毕业院校:烟台大学,所学专业:土木工程,当前就职单位名称:新疆生产建设兵团第十师交通运输服务中心,职称级别:助理工程师。