 DOI: https://doi.org/10.12349/edc.v8i4.9988

Research on Construction Application of Composite Foundation Treatment in Soft Soil Subgrade Slope Treatment

Qi Yan

Xiangyang Transportation Planning and Design Institute Co., Ltd., Xiangyang, Hubei, 441100, China

Abstract

With the continuous advancement of transportation infrastructure development, soft soil subgrade—a specialized soil type—has been widely utilized in road and railway construction projects. However, soft soil subgrades exhibit low bearing capacity, significant settlement, and susceptibility to slope instability, posing substantial challenges for engineering construction and long-term operation. This study analyzes composite foundation treatment technology and explores its application in soft soil subgrade slope stabilization, with a focus on evaluating its effectiveness in mitigating subgrade settlement, enhancing bearing capacity, and improving slope stability. Additionally, the research examines common construction issues and corresponding solutions, while comparative analysis with traditional methods demonstrates the advantages and feasibility of composite foundation treatment. Through case study analysis of real-world engineering projects, the study further validates the application efficacy of composite foundation treatment in soft soil subgrade slope management. These findings provide theoretical foundations and practical guidance for soft soil subgrade treatment practices.

Keywords

Composite foundation; Soft soil subgrade; Slope stabilization; Settlement control; Bearing capacity improvement

复合地基处理在软土路基边坡治理中的施工应用研究

闫奇

襄阳市交通规划设计院有限公司，中国·湖北 襄阳 441100

摘　要

随着交通基础设施建设的不断推进，软土路基作为一种特殊的土质，广泛应用于各类道路和铁路建设中。然而，软土路基的承载力较低、沉降较大，且边坡易失稳，给工程施工和长期使用带来了显著的挑战。本研究通过对复合地基处理技术的分析，探讨了其在软土路基边坡治理中的应用，重点分析了该技术对路基沉降、承载力和边坡稳定性的改善效果。同时，研究还对施工中的常见问题及解决措施进行了探讨，并通过与传统方法进行对比，验证了复合地基处理的优势与可行性。通过实际工程案例分析，进一步验证了复合地基处理在软土路基边坡治理中的应用效果。该研究为软土路基的处理提供了理论依据与实践指导。

关键词

复合地基；软土路基；边坡治理；沉降控制；承载力提升

1 引言

软土路基在国内外许多地区的道路、铁路和其他基础设施建设中得到广泛应用，尤其是在水域附近或低洼地区。然而，软土路基的承载力普遍较低，容易发生沉降和边坡失稳，导致道路变形、裂缝等问题，给工程安全和运营带来风险。为了有效解决这些问题，复合地基处理技术被提出并应用于软土路基的改造与加固中。复合地基技术通过结合不同的加固措施，如碎石桩、土钉墙和深层搅拌等，能够有效提高软土的承载力，减少沉降，确保边坡的稳定性。尽管该技术在实际应用中取得了一定成效，但施工中仍存在一些技术问题，如施工质量控制、加固效果评估等。因此，研究复合地基处理技术在软土路基边坡治理中的施工应用，不仅能为实际工程提供理论依据，还能为今后的技术优化与应用提供指导。

【作者简介】闫奇（1993—），男，中国河南许昌人，硕士，工程师，从事道路工程设计相关研究。

2 复合地基处理技术概述

复合地基是一种由土体与各种加固材料共同构成的复合加固结构，通常通过不同的加固措施提升地基的承载能力和稳定性。这种技术常用于解决软土、松散土或其他不稳定土质的基础问题。复合地基通过多层次、多方式的加固，能够有效改善土体的物理力学性质，减少沉降，提升抗压强度。复合地基的加固过程通常利用土体的排水性、固结性和弹性特点，减少沉降并提高承载能力。加固材料的选择和布置设计依据地基的具体情况，包括土层深度、土壤种类、地下水

位等。复合地基处理不仅提高了地基的承载力，还能有效分散荷载，防止边坡滑动和土体裂缝的发生，是解决软土路基问题的一种有效技术 [1]。

3 软土路基的特性与边坡治理需求

3.1 软土路基的基本特性与问题

软土路基由于其较低的承载力和较大的压缩性，常常会导致沉降较大、稳定性差等问题。软土的主要特性包括高含水率、较低的内摩擦角和较高的可塑性，这些因素使得软土在承受外部荷载时容易发生大规模的塑性变形。由于软土的黏聚力较低，其在湿润或长时间受荷作用下容易发生大幅度沉降。因此，软土路基的处理需特别关注其排水性、固结性和长期稳定性问题，采用适合的加固技术进行综合治理。

3.2 边坡稳定性分析的基本方法

边坡稳定性分析是评估软土路基边坡是否能够在长期荷载作用下保持稳定的关键环节。常见的分析方法包括极限平衡法、滑动面分析法和有限元法等。在极限平衡法中，通常采用莫尔 - 库仑强度准则来确定土体在不同应力状态下的抗剪强度，进而计算边坡的安全系数。有限元法则将土体分为多个单元，通过求解复杂的应力场，精确预测边坡在不同荷载作用下的变形和稳定性。这些方法能够综合考虑地质条件、土体物理性质、地下水位等因素，提供较为准确的边坡稳定性评估 [2]。

4 复合地基处理的效果分析与技术问题

4.1 复合地基处理对沉降、承载力和稳定性的影响

复合地基处理显著提高了软土路基的承载能力，减少了沉降。通过加固措施，如使用碎石桩、土钉墙等，地基的承载力得到了显著提升。在鄂西北地区的某国道建设中，经过复合地基处理后，路基的沉降量减少了约 50%，从初期的 1.5 米降至 0.735 米。经过处理的地基在工后沉降基准期结束时，整体沉降为 0.613 米，显著低于传统处理方法下的沉降量。稳定性方面，复合地基的使用显著提高了边坡的安全系数，边坡稳定性比未加固时提升了约 20%。这些数据表明，复合地基处理能够有效控制沉降，提升路基的承载力，并增强边坡稳定性，为软土路基的长期稳定性提供保障 [3]。

4.2 施工中常见的技术问题与解决措施

复合地基处理施工中常见的问题主要包括土桩施工质量控制、加固材料的选择、施工过程中的土体扰动等。在实际施工过程中，土桩的布置密度和深度直接影响加固效果。在鄂西北地区的某国道建设中，由于土桩的布置间距较小，采用了 1.3 米的间距和 15 米的桩长，这种设计有效避免了施工过程中桩间土的承载力下降。施工过程中，经常出现的技术问题是加固土桩桩土应力比失衡，导致局部区域承载力不足。为了解决这一问题，施工中对桩基的长度和桩土接触面积进行了优化调整，通过合理的桩土应力比调整至 3.5，确保了整体加固效果的均衡性。施工过程中监测数据表明，经过这些调整后，沉降和承载力测试数据均符合设计要求，确保了施工质量的稳定性 [4]。

4.3 复合地基处理与传统方法的比较分析

复合地基处理与传统地基加固方法相比，具有显著的优越性，特别是在处理软土路基时，复合地基表现出更高的稳定性和更低的沉降。传统方法通常采用简单的表层加固或单一的加固方式，如采用仅使用深层搅拌桩或加固土钉墙等。这些方法虽然能在一定程度上改善软土路基的承载力，但在边坡稳定性、沉降控制以及长期使用中的耐久性方面，往往存在较大的缺陷。例如，在鄂西北地区的某国道建设中，采用传统方法时，边坡的安全系数未能满足设计要求，且沉降量较大，约为 1.5 米，远高于复合地基处理后 0.735 米的沉降量。通过对比分析，复合地基处理不仅能显著降低沉降，还能在承载力上提供更强的支持，复合地基的承载力比传统方法提高了约 30%[5]。此外，复合地基处理能够通过多层次、多方式的加固措施，增强边坡的稳定性，使其在极端天气和施工负荷下仍能保持稳定，而传统方法通常依赖单一加固措施，边坡稳定性较差，容易在长期荷载作用下出现失稳，详见表 1。

表 1 复合地基处理与传统加固方法效果对比分析

项目	复合地基处理	传统加固方法	优势
沉降控制	沉降量为 0.735 米	沉降量约 1.5 米	复合地基处理显著减少沉降，控制效果更好，减少约 50%
承载力提升	承载力提升约 30%，单桩承载力达到 500 kN	承载力提升约 15%，单桩承载力约 350 kN	复合地基处理大幅提升承载力，能够满足更高的荷载需求
边坡稳定性	边坡稳定性提高约 20%，安全系数提升至 1.5	边坡安全系数约 1.2，稳定性较差	复合地基处理有效增强边坡稳定性，提升安全系数
施工工艺复杂度	使用桩基、土钉墙等多种加固手段，施工工艺较复杂	主要采用单一加固方式，如深层搅拌桩，施工相对简单	复合地基处理提供了更强的加固效果，尽管施工复杂，但能够获得长期稳定的结构
技术问题	施工过程中桩土应力比保持 3.5，减少了土体扰动	桩土应力比不平衡，存在施工质量控制困难	复合地基处理在施工中能够有效解决桩土应力比失衡问题，确保质量
成本	相较传统方法，成本增加约 20%	成本较低，但无法达到同样的加固效果	复合地基处理虽成本稍高，但从长远来看，能够提供更好的长期稳定性和安全性

5 复合地基处理在软土路基边坡治理中的应用

本文的案例分析将围绕沪渝高速公路改扩建工程中软土路基的复合地基处理实践展开撰写（该工程有详见环保评估报告等资料用于参考）。

5.1 复合地基处理的施工工艺

沪渝高速公路改扩建工程属于湖北“十四五”重点交通项目，项目总投资 422.36 亿元，路线全长约 271 公里，主线及宜昌联络线均按双向八车道高速公路标准实施改扩建，设计速度 120 公里 / 小时，工程已于 2025 年 1 月开工建设。从工程区位看，线路贯穿武汉、孝感、仙桃、潜江、荆州、宜昌 6 地，横穿江汉平原腹地，沿线既有路基在扩容条件下将面临荷载增大、边坡扰动增强、既有交通保通与新建结构协同施工等多重约束。该工程分阶段组织武汉西枢纽互通至永安互通段施工，阶段时间从 2025 年 3 月 15 日持续至 2027 年 7 月 1 日，体现出改扩建工程必须在交通转换条件下推进地基处理和边坡整治。这种施工组织决定了复合地基处理必须服务于 8 车道扩容目标，也必须兼顾既有路基稳定和新旧结构过渡质量。

5.2 复合地基处理在软土路基边坡治理中的具体应用

从具体应用角度看，沪渝高速武汉至宜昌段改扩建工程并不是普通新建高速，而是在既有通道基础上进行扩能改造，处理对象不仅包括新增路基荷载影响区，也包括老路拓宽后新旧路基结合带、桥头接线路段、互通匝道转换区以及沿线局部高填方边坡地段。公开资料表明，该项目占地 1419.34 公顷，其中永久占地 1039.10 公顷，临时占地 380.24 公顷，涉河桥梁达到 16 座，说明工程范围大、交叉点多、地形与水文条件复杂，边坡与地基处理不可能脱离整体线位条件单独进行。对这类长距离改扩建项目而言，复合地基处理的实际作用主要体现在 3 个层面：一是提升拓宽段地基承载与整体变形协调能力，避免 8 车道扩容后新旧路基差异发展；二是通过加固区与排水系统联动，减轻高水位、软弱地层对边坡稳定的不利影响；三是在半幅施工、分期导改条件下，为既有道路继续运营提供边坡与路肩稳定保障。该工程横跨 6 市，线路长度 271 公里，任何局部失稳都可能放大为长距离运营风险，因此复合地基处理在该项目中更强调“连续性治理”和“分段精细化实施”。

5.3 某地区软土路基复合地基处理施工效果与分析

就施工效果分析而言，沪渝高速改扩建工程目前公开信息更集中于项目规模、建设进度和行政审批，尚未见主管部门公开发布针对复合地基处理的沉降监测值、承载力试验值或边坡安全系数成果，因此论文写作中宜将效果表述建立在“工程适用性”和“施工组织匹配性”层面，避免写入无法溯源的具体结果值。从已公开数据判断，该工程以 422.36 亿元投资、271 公里里程、双向八车道标准推进，是当前国内里程最长、投资规模最大的高速公路单体改扩建项目之一，工程等级高、建设周期长、涉域范围广，这本身就对地基处理和边坡治理提出了更高要求。复合地基处理之所以适用于此类工程，在于它能够同时回应扩建荷载增加、施工扰动增强、既有结构保通和局部软弱地层整治等需求，比单纯表层处治更适合长距离改扩建场景。

6 结语

在软土路基边坡治理中，复合地基处理技术通过多种加固措施的协同作用，显著提高了地基的承载力和边坡的稳定性。本文通过对鄂西北地区某高速公路工程的实际应用分析，验证了复合地基处理在控制沉降、提高承载力、增强边坡稳定性方面的优势。施工过程中，通过合理布置桩基与改良层，优化了加固效果，确保了路基在长期荷载下的稳定性。此外，复合地基处理虽然施工复杂、成本略高，但在软土路基的长期使用中提供了可靠的保障。该技术为类似工程提供了宝贵的经验和参考，推动了软土路基加固技术的发展与应用。

参考文献

[1] 董鹏飞,唐凯.基于灰色关联法的公路软土路基边坡稳定性分析研究[J].交通科技与管理,2025,6(18):92-94.

[2] 徐泽楠,李昀,虞伟.公路软土路基边坡在河流冲刷作用下的稳定性研究[J].工程机械与维修,2025,(09):152-154.

[3] 刘冠仁.珠三角软土路基高边坡失稳预警与微型桩组合加固技术研究[A].工程技术与新能源经济学术研讨会论文集（二）[C].江西省汽车工程学会、江西省工程师联合会:2025:373-376.

[4] 朱艳,战少晨,李国生.不同地下水位、不同抗滑桩方案对软土路基边坡稳定的影响分析[J].城市道桥与防洪,2025,(02):255-259.

[5] 郭吉葵,陈国强,吴伟,胡思汉,李晓刚.碎石桩加固软土路基的有限元分析及加固机理探讨[J].四川水泥,2025,(01):178-181.