

软土地基加固技术在公路路基施工中的应用研究

陈峰

沧州交发工程项目管理有限责任公司

DOI:10.12238/jpm.v6i6.8080

[摘要] 公路路基在软土地基上的施工面临沉降控制、承载力提升和长期稳定性等核心挑战。软土地基的工程特性决定了其必须经过合理加固才能满足公路建设要求。国内外学者在软土地基处理领域开展了大量研究，形成了包括换填法、强夯法、化学固化等多种技术体系。随着计算机模拟和智能监测技术的发展，软土地基加固过程的可控性和精确性得到显著提升，推动交通基础设施的高质量发展。

[关键词] 软土地基加固技术；公路路基施工；应用

Research on the application of soft soil foundation reinforcement technology in highway subgrade construction

Chen Feng

Cangzhou Jiaofa Engineering Project Management Co., Ltd.

[Abstract] The construction of highway subgrade on soft soil foundation faces core challenges such as settlement control, bearing capacity improvement and long-term stability. The engineering characteristics of soft soil foundation determine that it must be reasonably reinforced to meet the requirements of highway construction. Scholars at home and abroad have carried out a lot of research in the field of soft soil foundation treatment, and have formed a variety of technical systems including replacement method, strong compaction method, chemical curing, etc. With the development of computer simulation and intelligent monitoring technology, the controllability and accuracy of the soft soil foundation reinforcement process have been significantly improved, and the high-quality development of transportation infrastructure has been promoted.

[Key words] soft soil foundation reinforcement technology; highway subgrade construction; apply

引言

软土地基具有高压缩性、低承载力和显著流变特性，直接影响公路路基的长期稳定性。在公路工程建设中，软土地基处理技术是确保路基均匀沉降和结构安全的关键环节。随着交通荷载的不断增加，传统加固方法已难以满足现代公路工程的高标准要求。近年来，新型加固技术如真空预压、深层搅拌桩和土工合成材料等得到广泛应用，显著提升了软土地基的工程性能，对提高公路工程质量和耐久性具有重要意义。

1 软土地基加固技术概述

1.1 软土地基特性

软土地基主要由高含水量、低渗透性的黏性土构成，其物理力学性质表现为高压缩性和低抗剪强度。这类土体在荷载作用下会产生显著的塑性变形，导致工程结构出现不均匀沉降。软土的矿物成分以黏土矿物为主，具有较强的亲水性，使得土体在水分变化时表现出明显的胀缩特性。软土地基的工程特性还包括固结时间长、承载力低等特点，这些特性直接影响路基

的稳定性和耐久性。在自然状态下，软土通常处于欠固结或正常固结状态，其结构强度主要依赖于孔隙水的排出程度。

1.2 加固技术原理

软土地基加固技术的核心在于改善土体的工程性质，提高其承载能力和抗变形性能。加固原理主要包括土体置换、密实固结、化学改良和加筋增强等方法。置换法通过替换软弱土体来直接提高地基强度；密实固结技术利用外力作用促使土体排水压缩，加速固结过程；化学改良则通过添加固化剂改变土体结构，形成强度更高的复合地基；加筋技术利用合成材料或天然纤维增强土体的整体性。这些原理的应用需结合具体工程条件和地质环境，确保加固效果满足设计要求。

1.3 常见加固技术类型

软土地基处理技术主要包括物理加固和化学加固两大类。物理方法包括换填法、强夯法、排水固结法等传统工艺。化学加固主要采用水泥、石灰等胶凝材料进行土体改良。复合地基技术如桩网结构、加筋土等结合了多种加固原理。现代技术发

展出真空预压、电渗排水等新型处理方法。每种技术都有其特定的适用条件和处理效果。技术选择需要考虑地质条件、工程要求和经济效益等因素。这些方法构成了完整的软土地基处理技术体系。

2 公路路基施工中软土地基的影响

2.1 对路基稳定性的影响

软土地基在公路路基施工中直接影响整体结构的稳定性。由于软土具有高含水量、低承载力和高压缩性的特点，在荷载作用下容易发生不均匀沉降，导致路基结构变形。这种变形可能表现为路基侧向位移或纵向沉降，进而影响上部结构的受力状态。在施工过程中，软土地基的固结过程较为缓慢，若未采取有效加固措施，路基填筑后可能持续产生沉降，造成路面开裂或结构破坏。软土地基的稳定性问题在雨季或地下水位较高的区域更为显著，水分渗透会进一步降低土体抗剪强度。为确保路基稳定，需通过地质勘察准确掌握软土分布范围与物理力学性质，并据此选择合理的加固方案。

2.2 对路面平整度的影响

软土地基的沉降特性对路面平整度具有显著影响。由于软土压缩性较高，在车辆荷载反复作用下，路基可能产生局部沉降，导致路面出现波浪形起伏或凹陷。这种不平整现象会降低行车舒适性，并增加车辆振动与噪音。在软土地基路段，即使施工时严格控制填筑与压实工艺，工后沉降仍可能持续较长时间，使得路面高程发生变化。为保障路面平整度，需在路基施工阶段加强沉降监测，并采用动态调平技术，如分层填筑与预压处理，以减少不均匀沉降对路面的影响。

2.3 对公路使用寿命的影响

软土地基的长期沉降行为会直接影响公路的使用寿命。由于软土固结过程缓慢，路基在运营阶段仍可能发生渐进式沉降，导致路面结构层出现疲劳损伤。这种损伤表现为裂缝扩展、基层松散或面层剥落，进而加速路面功能退化。在软土地基路段，若未采取有效的排水措施，水分滞留会进一步削弱路基强度，加剧结构破坏。为延长公路使用寿命，需在设计和施工阶段充分考虑软土地基的长期变形特性，并采取加固措施以提升路基的耐久性。

2.4 对施工进度的影响

软土地基的存在可能延长公路路基施工周期。由于软土处理需要额外的加固工序，如换填、强夯或排水固结，这些工艺往往耗时较长，影响整体施工进度。例如，排水固结法需等待超孔隙水压力消散，而水泥搅拌桩施工则受限于机械效率与天气条件。软土地基路段通常需要更严格的质量控制与监测，进一步增加施工时间。为优化进度安排，需在施工前制定详细的软基处理计划，并合理调配资源，确保各工序紧密衔接。

2.5 对施工成本的影响

软土地基处理会增加公路路基施工的总成本。由于软土

加固需要采用特殊材料、设备或工艺，如土工合成材料、深层搅拌桩或真空预压，这些技术的应用均涉及较高的材料与机械费用。软土地基路段通常需要更频繁的检测与监测，以确保加固效果，进一步增加管理成本。为控制成本，需在方案设计阶段比选不同加固技术的经济性，并结合工程实际选择性价比最优的处理方法。

3 软土地基加固技术在公路路基施工中的应用

3.1 换填法的应用

换填法是一种通过置换软弱土层以提高地基承载力的技术，适用于浅层软土地基处理。该方法的核心在于将路基范围内的软弱土体挖除，并分层回填强度高、压缩性低的材料，如砂砾、碎石或改良土。施工过程中需严格控制回填材料的粒径级配与压实度，确保其具备良好的排水性能和抗变形能力。换填法不仅能有效消除软土的沉降隐患，还能改善地基的整体稳定性，尤其适用于地下水位较高且软土厚度较小的区域。在公路路基施工中，换填法常与其他排水措施结合使用，如设置盲沟或渗井，以加速地基固结。回填材料的选用需结合当地资源条件，优先采用经济环保的天然材料或工业废渣，以降低工程成本。施工时需分层碾压，每层厚度不宜过大，并采用重型压路机或振动碾压设备，确保压实均匀。换填法的优势在于施工工艺简单、工期较短，且处理效果直观可控，因此在公路软基处理中具有较高的适用性。

3.2 强夯法的应用

强夯法是一种利用重锤自由落体产生的冲击能对软土地基进行动力固结的技术，适用于处理深厚松散填土或饱和软黏土地基。该技术通过反复夯击地面，使土体颗粒重新排列，孔隙水压力迅速消散，从而提高土体密实度和承载力。强夯施工需根据土质条件设计夯击能、夯点间距及夯击次数，通常采用高能级夯击（如 $1000\text{kN}\cdot\text{m}$ 以上）以穿透较深软土层。在公路路基施工中，强夯法可有效减少工后沉降，尤其适用于处理新近填筑的土质路基或湿陷性黄土地区。施工时需分遍夯击，每遍夯击后需间隔一定时间，待超孔隙水压力消散后再进行下一遍夯击，以避免“橡皮土”现象。强夯法的优势在于无需添加外来材料，施工效率高，且能处理大厚度软土地基。强夯振动对周围环境的影响可通过设置隔振沟或控制夯击能级来降低，确保施工安全。

3.3 排水固结法的应用

排水固结法是一种通过加速软土排水以促进地基固结沉降的技术，适用于处理饱和黏性土地基。该方法的核心是在软土层中设置竖向排水体（如塑料排水板或砂井），并结合堆载预压或真空预压，迫使孔隙水快速排出，从而缩短固结时间。在公路路基施工中，排水固结法能显著减少工后不均匀沉降，尤其适用于处理深厚软黏土地基。施工时需合理设计排水体间距与深度，确保排水路径畅通；预压荷载需分级施加，避免因

加载过快导致地基失稳。排水固结法的优势在于处理深度大、成本较低,且能与其他加固技术(如强夯或搅拌桩)联合使用,形成复合地基。真空预压技术通过负压排水,可减少堆载土力量,适用于场地受限的工程。

3.4 水泥搅拌桩法的应用

水泥搅拌桩法是一种通过机械搅拌将水泥浆与软土混合形成加固桩体的技术,适用于处理高含水量软黏土地基。该方法利用深层搅拌机械将水泥浆喷入土体,通过叶片旋转使土体与水泥充分混合,形成具有较高强度的水泥土桩。在公路路基施工中,水泥搅拌桩可显著提高地基承载力并控制沉降,尤其适用于桥头过渡段或构造物基础处理。施工时需控制水泥掺入比、搅拌速度及提升速度,确保桩体均匀连续;桩位布置可采用正三角形或正方形,以优化复合地基的受力性能。水泥搅拌桩法的优势在于施工噪音小、振动低,且桩体强度可灵活调整,适用于对环保要求较高的城区公路工程。

3.5 土工合成材料法的应用

土工合成材料法是一种通过铺设土工格栅、土工布等合成材料以增强路基整体性的技术,适用于处理不均匀软土地基。该方法利用土工材料的抗拉性能分散荷载,减少差异沉降,同时起到隔离、排水与加筋作用。在公路路基施工中,土工合成材料常铺设于路基底部或填挖交界处,以改善软弱夹层的受力状态。施工时需确保材料搭接宽度与锚固长度,避免因铺设不当导致局部应力集中。土工合成材料法的优势在于施工便捷、适应性强,尤其适用于旧路拓宽或陡坡路段加固。土工材料耐腐蚀、寿命长,可显著延长路基使用寿命。土工合成材料法还可有效提升路基的抗变形能力,减少路面裂缝的产生。其施工过程对周边环境影响较小,且能适应不同地质条件,具有较高的工程灵活性。通过合理设计与施工,可充分发挥材料的加筋与隔离作用,确保路基长期稳定。

4 软土地基加固技术在公路路基施工中的效果评估

4.1 评估指标的确定

软土地基加固效果评估需要建立科学的指标体系,承载力指标包括地基容许承载力和变形模量。变形控制指标关注沉降量和差异沉降,稳定性指标包括抗滑安全系数和整体稳定性。材料性能指标包括无侧限抗压强度和渗透系数,长期性能指标考虑工后沉降和耐久性。环境指标评估施工对周边环境的影响程度,经济指标包括处理成本和维护费用,这些指标需要根据工程特点确定具体控制标准,完善的指标体系能全面反映加固处理的实际效果。

4.2 评估方法的选择

加固效果评估需要采用多种方法相互验证。现场测试包括静载试验、标准贯入试验等直接检测方法。室内试验通过土工试验测定改良后的土体参数,数值模拟可以预测长期变形和应力分布。监测系统通过埋设仪器进行长期观测,对比分析法比

较处理前后的工程性能差异。专家评估结合工程经验进行综合评价,方法选择需要考虑评估目的和工程特点。多种方法的综合应用能提高评估结果的可靠性,评估过程需要重点关注关键性能指标的变化情况。

4.3 评估结果的分析

评估结果分析需要采用科学的统计方法,数据整理包括异常值处理和规律性分析。参数相关性分析可以揭示各因素间的内在联系。趋势分析预测长期性能变化规律,对比分析评估不同处理方案的效果差异。敏感性分析确定关键影响因素,可靠性分析评估处理效果的稳定性。结果分析需要结合工程实际进行合理解释,分析结论应该明确处理效果的优劣和改进方向,完善的分析能为后续工程提供有价值的参考依据。评估结果的分析还应考虑不同地质条件下的适用性差异,结合现场监测数据进行验证。通过建立数学模型量化处理效果,为优化施工工艺提供理论支持。

4.4 评估结果的应用

评估结果的应用主要体现在工程优化方面,成功经验可以为类似工程提供参考案例。发现问题可以指导后续工程的改进方向,评估数据可以完善设计规范和施工工艺。长期监测结果有助于建立性能预测模型,经济分析可以优化技术方案选择。环境评估促进绿色施工技术的发展,评估结论可以指导养护方案的制定。结果应用需要建立完善的信息管理系统,有效的应用能充分发挥评估工作的实际价值,评估结果的推广应用有助于促进行业技术进步。

结束语

软土地基加固技术的合理应用,是保障公路路基安全稳定的关键环节。通过理论与实践验证相结合,可优化现有加固方法并开发新型处理技术。未来研究应进一步探索智能化施工与绿色环保材料的应用,以适应复杂地质条件下的公路建设需求,为交通基础设施建设提供可靠支撑。

[参考文献]

- [1]黄勇.路基施工中软土地基施工技术要点研究[J].运输经理世界,2024,(19):40-42.
- [2]林学丽.软土地基加固技术在市政道路路基施工中的应用[J].工程技术研究,2023,8(12):49-51.
- [3]孙策.软土地基处理及路基填筑施工技术研究[J].工程技术研究,2022,7(22):194-196.
- [4]陈春萍.软土路基的处理方法研究[J].上海建材,2022,(02):41-45.
- [5]魏志远.公路工程软土路基施工技术研究[J].黑龙江交通科技,2021,44(02):18-19.
- [6]马万钦,宋涛.公路施工中软土路基的施工技术处理研究[J].四川水泥,2021,(02):194-195.
- [7]陈海华.软土地基施工技术在公路路基施工中应用探究[J].城市建设理论研究(电子版),2018,(09):148.