

# 高速公路路基沉降处理技术研究

杨钧宇

广西贵岑高速公路有限公司

DOI:10.12238/etd.v5i4.8556

**[摘要]** 本文深入探讨了高速公路路基沉降这一棘手问题的处理技术。通过对现有文献的系统性梳理和分析,结合实际工程案例,本研究全面剖析了路基沉降的成因、影响因素及其处理的关键技术。重点探讨了注浆加固、置换法、深层搅拌法等主流处理方法的优缺点及适用条件,并提出了因地制宜、综合施治的创新思路。研究表明,精准把握地质条件、合理选择处理技术、严格控制施工质量是有效解决路基沉降问题的关键所在。本文的研究成果为高速公路路基沉降处理提供了理论依据和实践指导,对提升公路工程质量和使用寿命具有重要意义。

**[关键词]** 高速公路; 路基沉降; 处理技术; 注浆加固; 质量控制

**中图分类号:** U412.36+6 **文献标识码:** A

## Research on settlement treatment technology for highway subgrade

Junyu Yang

Guangxi Guicen Expressway Co., Ltd

**[Abstract]** This article delves into the treatment techniques for the thorny problem of highway subgrade settlement. Through a systematic review and analysis of existing literature, combined with practical engineering cases, this study comprehensively analyzes the causes, influencing factors, and key technologies for treating roadbed settlement. The advantages, disadvantages, and applicable conditions of mainstream treatment methods such as grouting reinforcement, displacement method, and deep mixing method were mainly discussed, and innovative ideas of tailored and comprehensive treatment were proposed. Research has shown that precise understanding of geological conditions, rational selection of treatment techniques, and strict control of construction quality are the key to effectively solving the problem of roadbed settlement. The research results of this article provide theoretical basis and practical guidance for the settlement treatment of highway subgrade, which is of great significance for improving the quality and service life of highway engineering.

**[Key words]** highways; Roadbed settlement; Processing technology; Grouting reinforcement; Quality Control

### 引言

路基作为高速公路的重要组成部分,其稳定性直接关系到整个工程的质量和耐久性。然而,由于地质条件复杂、施工工艺不当等多重因素的影响,路基沉降已成为困扰高速公路建设与运营的一大难题。

面对这一挑战,业界和学术界展开了广泛而深入的研究,开发出了多种路基沉降处理技术。本文旨在通过全面分析路基沉降的成因和影响因素,系统梳理现有处理技术的特点和应用,为高速公路路基沉降问题的有效解决提供新的思路和方法。

### 1 路基沉降的成因及影响因素分析

#### 1.1 地质因素

路基沉降的根源往往可以追溯到地质条件。软土地基、膨胀土、岩溶地区等特殊地质环境下,路基的稳定性面临严峻挑

战。以软土地基为例,其高含水量、高压缩性和低承载力的特性,使得路基在荷载作用下极易产生不均匀沉降。而在岩溶地区,地下暗河和溶洞的存在则可能导致路基突发性塌陷,造成严重的安全隐患。

#### 1.2 水文条件

水是影响路基稳定性的关键因素之一。地下水位的季节性变化、降雨入渗、毛细水上升等水文现象,都可能引起路基含水量的变化,进而导致路基强度和变形特性的改变。特别是在雨季,路基含水量的急剧增加可能引发严重的沉降问题,甚至导致路基失稳。

#### 1.3 施工因素

不当的施工工艺和管理也是导致路基沉降的重要原因。填料选择不当、压实度不足、排水系统设计缺陷等问题,都可能在工程

竣工后引发路基的持续沉降。例如,使用含有大量有机质的填料,在长期荷载作用下会发生分解,导致路基体积减小和强度降低。

#### 1.4 荷载条件

随着交通量的增加和车辆载重的提高,路基所承受的荷载不断增大。长期的动态荷载作用会导致路基材料的疲劳效应,累积塑性变形,最终表现为路面的不均匀沉降。特别是在桥头跳车等应力集中部位,这种问题更为突出。

#### 1.5 环境因素

气温变化、冻融循环等环境因素也会对路基的稳定性产生显著影响。在寒冷地区,冻土的融化会导致路基强度急剧下降,引发沉降问题。而在干旱地区,土体的干缩效应则可能导致路基开裂,为后续的沉降埋下隐患。

## 2 路基沉降处理技术的分类与特点

### 2.1 注浆加固技术

注浆加固技术是一种广泛应用的路基沉降处理方法,其核心原理是通过向路基或地基中注入浆液,填充土体孔隙,增强路基整体强度和稳定性。这种方法具有操作灵活、适应性强的特点,特别适用于已建成高速公路的沉降处理。

邓少梅的研究表明,注浆加固技术在处理高速公路路基沉降问题时展现出显著优势<sup>[1]</sup>。通过精确控制注浆参数,如浆液配比、注浆压力和注浆量,可以有效改善路基的承载能力和变形特性。

### 2.2 置换法

置换法是一种直接而有效的路基处理技术,其原理是将软弱地基土挖除,用性能更好的材料替代。置换法的优点在于其效果显著、可靠性高。通过选用优质的填料,如碎石、砂砾等,可以显著提高路基的承载力和抗变形能力。

### 2.3 深层搅拌法

深层搅拌法是一种原位地基处理技术,通过将固化剂与原状土进行机械搅拌,形成具有较高强度和稳定性的复合地基。这种方法既可以用于新建高速公路的地基处理,也可以用于既有路基的加固改造。

深层搅拌法的显著优势在于其环境友好性和施工效率。与传统的换填法相比,深层搅拌法减少了土方开挖和运输,降低了对周边环境的影响。同时,通过优化搅拌参数和固化剂配比,可以实现对不同深度和不同性质土层的针对性处理,提高处理效果的均匀性和可控性。

### 2.4 轻质材料填筑法

在一些特殊地质条件下,如高含水量的淤泥质地基,传统的路基填筑材料可能导致过大的沉降。轻质材料填筑法通过使用泡沫混凝土、EPS(发泡聚苯乙烯)等轻质材料代替常规填料,显著减轻路基自重,从而控制沉降。

## 3 路基沉降处理技术的创新与发展趋势

### 3.1 智能监测与预警系统

随着物联网和大数据技术的发展,路基沉降监测正朝着智能化、实时化方向发展。通过埋设各类传感器,如光纤传感器、

MEMS加速度计等,可以实时监测路基的变形状态。结合人工智能算法,这些系统能够对路基的长期沉降趋势进行预测,为及时采取预防性措施提供决策支持。

### 3.2 新型材料的应用

纳米材料、地聚物等新型材料在路基处理中展现出巨大潜力。例如,纳米SiO<sub>2</sub>的加入可以显著改善水泥土的强度和抗渗性能。而地聚物作为一种环保型胶结材料,不仅可以提高路基稳定性,还能减少碳排放,符合可持续发展的要求。

### 3.3 生物加固技术

生物加固技术是通过利用微生物的代谢活动,诱导碳酸钙等矿物质在土体孔隙中沉淀,从而增强土体强度。这种方法具有环境友好、成本低等优点,特别适用于一些环境敏感区域的路基处理。

### 3.4 复合处理技术的优化

单一处理技术往往难以满足复杂地质条件下的路基沉降问题。因此,复合处理技术的研究和应用成为一个重要趋势。例如,将真空预压与电渗透相结合,可以显著提高软土地基的固结效率。又如,注浆加固与深层搅拌法的组合应用,能够实现对不同深度土层的针对性处理。

### 3.5 数字孪生技术在路基设计与施工中的应用

数字孪生技术通过创建路基的虚拟模型,实现对实体路基全生命周期的模拟和优化。这种技术能够整合地质勘察、设计、施工和运营维护等各个阶段的数据,为路基沉降的预测和处理提供全面的决策支持。通过虚拟仿真和参数优化,可以在实际施工前评估不同处理方案的效果,降低工程风险。

## 4 路基沉降处理技术的工程应用与质量控制

### 4.1 软土地基高速公路的快速施工处理

在涉及软土地区高速公路建设的工程中,传统的处理方法往往难以满足快速施工的要求。付韶铨的研究对比了几种快速施工处理技术的效果<sup>[2]</sup>。研究发现,采用真空预压与堆载预压相结合的方法,不仅加快了软土固结速度,还显著提高了地基承载力。该方法通过优化堆载材料和真空系统设计,实现了工期缩短和成本降低的双重目标。

### 4.2 高速公路扩建工程中的差异沉降处理

高速公路扩建过程中,新旧路基的差异沉降问题尤为突出。李长城等人的研究针对这一问题提出了创新性解决方案<sup>[3]</sup>。通过采用轻质材料填筑结合桩板结构支撑的复合处理技术,有效控制了新旧路基间的差异沉降。该方法不仅保证了路面平整度,还最大限度地减少了对既有路基的扰动,为类似工程提供了宝贵借鉴。

### 4.3 岩溶地区高速公路路基的沉降处理

在岩溶发育地区,路基突发性塌陷是一个严峻的挑战。一项针对某西南地区高速公路的工程实践中,采用了“探测-灌浆-监测”的系统处理方法。首先,利用地质雷达等先进探测技术,精确定位地下暗河和溶洞位置。然后,采用分段、分层的高压旋喷灌浆技术,对岩溶发育区进行全面加固。最后,安装了长期监

测系统,实时监控路基的变形情况。这种综合处理方法不仅有效解决了即时的沉降问题,还为后续的维护管理提供了可靠保障。

#### 4.4 设计阶段的质量控制

高质量的路基沉降处理始于科学合理的设计。首先,需要进行详细的地质勘察,准确掌握工程地质和水文地质条件。基于勘察数据,应用先进的数值模拟技术,对不同处理方案进行比较分析,选择最优方案。在设计过程中,要充分考虑到施工便利性和经济可行性,确保设计方案的可操作性。

#### 4.5 施工过程中的质量控制

施工质量直接决定了路基沉降处理的效果。对于注浆加固等技术,需要严格控制浆液配比、注浆压力和注浆量,确保加固体的均匀性和连续性。在深层搅拌法施工中,搅拌深度、搅拌速度和固化剂添加量都是关键控制参数。此外,还应建立完善的现场检测体系,包括承载力测试、密实度检测等,及时发现并解决施工中的问题。

#### 4.6 后期监测与维护

路基沉降是一个长期过程,因此建立长效监测机制至关重要。通过埋设沉降板、倾斜仪等监测设备,结合定期的实地检查,可以及时掌握路基的变形趋势。基于监测数据,制定科学的维护计划,采取针对性的补强措施,如裂缝灌浆、局部换填等,确保路基长期稳定。

欧阳龙的研究强调了全生命周期监测的重要性,提出了一种基于物联网技术的智能监测系统<sup>[4]</sup>。该系统通过实时数据采集和分析,能够准确预测路基的长期沉降行为,为预防性维护提供科学依据,有效延长了路基的使用寿命。

### 5 路基沉降处理技术的环境影响与未来展望

#### 5.1 生态环境影响评估

某些路基沉降处理技术可能对周边生态环境造成影响。例如,大规模的换填工程可能破坏原有地貌,影响地下水系统。因此,在技术选择和方案设计时,需要充分考虑生态环境因素,尽量采用对环境友好的处理方法。如优先考虑生物加固、轻质材料填筑等低干扰技术。

侯满忠的研究探讨了高速公路路基差异沉降处理对环境的影响<sup>[5]</sup>。研究指出,通过合理选择处理技术和优化施工工艺,可以显著减少对周边生态系统的扰动。例如,采用深层搅拌法代替传统的换填法,不仅能有效控制沉降,还能最大限度地保护地表植被和土壤结构。

#### 5.2 资源消耗与碳排放

传统的路基处理技术往往涉及大量的材料运输和重型机械使用,导致高能耗和高碳排放。为此,业界正在积极探索低碳处理技术。例如,利用工业固体废弃物如粉煤灰、钢渣等作为路基填料或固化剂,不仅能够减少天然资源消耗,还能实现废物资源化利用。同时,优化施工工艺,提高设备能效,也是降低环境影响的有效途径。

#### 5.3 智能化与自动化趋势

随着人工智能和自动化技术的快速发展,路基沉降处理领

域正迎来新的机遇。未来,我们可能会看到更多智能化设备的应用,如自主导航的注浆机器人,能够根据实时监测数据自动调整注浆参数。此外,基于机器学习的沉降预测模型将更加精准,为预防性维护提供强有力的支持。

#### 5.4 新材料的开发与应用

材料科学的进步将为路基沉降处理带来新的解决方案。例如,自修复材料的应用可能彻底改变路基维护的模式。这种材料能够在微小裂缝出现时自动填充,防止裂缝扩展,从而延长路基使用寿命。另外,纳米改性材料的进一步发展,有望显著提高路基材料的强度和耐久性。

#### 5.5 跨学科融合与全生命周期管理

未来的路基沉降处理技术将更加注重跨学科的融合。例如,结合生物技术和土木工程,开发出更加环保高效的生物加固方法。又如,将先进的地球物理探测技术与大数据分析相结合,提高对地质条件的认知精度,为精准处理提供基础。

同时,全生命周期管理理念将在路基沉降处理中得到更广泛的应用。从设计阶段就开始考虑路基的长期行为,通过数字孪生技术,实现路基全生命周期的虚拟仿真和优化。在施工和使用过程中,借助物联网技术,构建“智慧路基”系统,实现对路基状态的实时监控和预测性维护,最大限度地延长路基使用寿命,提高公路的整体服务水平。

### 6 结论

高速公路路基沉降处理是一个复杂的系统工程,涉及地质、材料、施工等多个领域的知识和技术。本研究系统梳理了路基沉降的成因、影响因素及其处理技术的发展现状。研究表明,没有一种万能的处理方法能够适用于所有情况,关键在于根据具体工程条件,选择合适的技术或技术组合。

总的来说,高速公路路基沉降处理技术的进步不仅关乎公路工程质量的提升,更是推动交通基础设施可持续发展的重要支撑。未来,随着跨学科研究的深入和新技术的不断应用,我们有理由相信,路基沉降这一“顽疾”将得到更加有效的控制和治理,为建设更加安全、舒适、耐久的高速公路网络奠定坚实基础。

#### [参考文献]

- [1]邓少梅.高速公路路基沉降注浆加固处理技术[J].交通世界,2020,(34):70-71.
- [2]付韶銓.高速公路软土地基快速施工处理技术对比研究[J].价值工程,2024,43(10):158-161.
- [3]李长城,王二强,刘云浩.高速公路扩建工程新旧路基差异沉降处理技术研究[J].黑龙江交通科技,2015,38(02):14-15.
- [4]欧阳龙.高速公路路基沉降处理技术的探讨[J].工程建设与设计,2021,(16):158-159+180.
- [5]侯满忠.高速公路路基差异沉降处理技术探究[J].中国公路,2020,(22):114-115.

#### 作者简介:

杨钧宇(1996--),男,汉族,广西壮族自治区平南县人,本科,初级,公路方向。