

Research on the Construction of Technical System for Diagnosis and Reinforcement of Structural Diseases of Highway

Yunhu Wu

Kunming Huangma Expressway Co., Ltd., Kunming, Yunnan, 650000, China

Abstract

The diagnosis and reinforcement of highway structural diseases are crucial for ensuring the safe operation of highways. With the increase in traffic volume and the impact of natural environments, the incidence of highway structural diseases continues to rise, presenting a severe challenge to traffic safety. This paper analyzes the classification, diagnostic methods, and reinforcement technologies of highway diseases, exploring diagnostic technologies and reinforcement measures for common diseases. It focuses on the traditional disease diagnosis methods and emerging non-destructive testing technologies, detailing the characteristics and application conditions of various reinforcement technologies. The study provides scientific evidence for the early diagnosis and reinforcement of highway diseases, with significant theoretical and practical implications.

Keywords

Highway diseases; Structural diagnosis; Non-destructive testing; Reinforcement technologies; Technical system

公路结构性病害诊断与加固技术体系构建研究

武云虎

昆明黄马高速公路有限公司，中国·云南 昆明 650000

摘要

公路结构性病害的诊断与加固是保证公路安全运行的重要环节。随着交通流量的增加与自然环境的影响，公路结构性病害的发生率不断上升，给交通安全带来了严峻挑战。本文通过对公路病害的分类、诊断方法及加固技术进行分析，探讨了常见病害的诊断技术与加固措施。重点分析了传统的病害诊断方法与新兴的无损检测技术，阐述了不同加固技术的特点与应用条件。本文的研究为公路病害的早期诊断与加固提供了科学依据，具有重要的理论与实践意义。

关键词

公路病害；结构性诊断；无损检测；加固技术；技术体系

1 引言

随着中国交通网络的不断发展，公路成为现代社会交通的重要组成部分。然而，由于环境因素、交通负荷以及工程老化等多重因素的影响，公路结构性病害问题日益突出，严重影响了公路的安全性与使用寿命。病害的发生不仅增加了维护成本，还可能对交通安全造成直接威胁。为此，准确及时地诊断病害并采取有效的加固措施，成为确保公路设施长期稳定运行的关键。现有的病害诊断技术不断迭代更新，传统方法与现代无损检测技术相结合，为公路病害诊断提供了更精确的手段。同时，加固技术的选择与实施也面临着诸多挑战，需要根据不同病害类型与病害程度进行个性化设计。

【作者简介】武云虎（1980-），男，中国云南昆明人，本科，高级工程师，从事道路运营养护相关研究。

2 公路结构性病害的分类与诊断方法

2.1 公路结构性病害的定义与分类

公路结构性病害是指影响公路路基与路面结构性能、耐久性和服务功能的各类损伤与缺陷。根据受损部位和病害特征，可分为路基沉陷、边坡塌方、路面裂缝、车辙、坑槽、拱胀、翻浆、剥落等类型。路基沉陷与变形多由地基承载力不足、地下水变化或交通荷载增大引起；路面裂缝常源于温度收缩、基层疲劳及材料老化；车辙与坑槽则与长期重载碾压及沥青老化有关。此类病害主要分布于行车荷载集中路段、填挖交界处和排水不畅区域，若不及时处理，将导致结构层应力扩散异常、路面破坏加剧，进而影响行车安全与使用寿命。

2.2 常见公路结构性病害的诊断标准与方法

公路结构性病害的诊断标准依据具体病害类型和影响程度而定。常见的病害如裂缝、沉降、变形等通常通过视觉检测、传统测量法、结构强度测试以及地质勘察等手段进行

诊断。裂缝的宽度、深度及其扩展情况通常采用裂缝宽度计、超声波测量等方式评估；沉降和变形则通过水准仪、激光测量、全站仪等设备进行精确监测。对于更为复杂的病害，需结合综合分析方法，结合监测数据对病害进行分类，并判断其严重性及对结构安全的影响。

2.3 病害诊断技术的应用与发展趋势

随着科技的进步，病害诊断技术也逐步向高精度、高效率的方向发展。传统的病害检测方法虽然能够识别出较为明显的病害问题，但面对复杂的病害情况时，检测精度和效率往往受到限制。近年来，无损检测技术的应用逐渐兴起，成为病害诊断领域的重要发展方向。超声波检测、雷达成像、红外热成像等技术使得诊断可以在不破坏路面和结构的情况下完成，大大提高了诊断的准确性与全面性。同时，随着智能化技术的发展，人工智能与大数据分析逐步引入病害诊断领域，为数据处理和分析提供了更强大的支持，病害的诊断速度和准确性不断提高，预测能力也得到了显著增强^[1]。

3 公路病害诊断的关键技术与仪器设备

3.1 传统诊断方法与新型技术的对比

传统的公路病害诊断方法主要依赖人工检测与简单的仪器设备，这些方法虽然能够发现一些显著的病害，但存在检测精度低、效率差等问题。随着科技的进步，新型检测技术如激光扫描、三维成像、地质雷达等被逐步引入到公路病害诊断中。这些新型技术能够在较短的时间内获取大量数据，并通过精密算法处理，提高了病害识别的准确性与全面性。例如，地质雷达能够准确探测路面下层的结构问题，而三维激光扫描则能够全面评估公路表面的裂缝和变形情况。相比传统方法，新技术具有更高的自动化程度和更强的数据处理能力，能够大幅度提升病害诊断的效率与精度。

3.2 无损检测技术在病害诊断中的应用

无损检测技术近年来在公路病害诊断中得到了广泛应用。其主要特点是通过不破坏或破坏极少的情况下，获取公路结构的状态信息。常见的无损检测方法包括超声波探伤、雷达成像、红外热成像等技术。超声波探伤可以有效检测裂缝的深度和扩展情况，而雷达成像技术则通过反射波探测地下设施的结构缺陷，能够识别出裂缝和沉降等隐蔽性病害。红外热成像能够通过检测温度差异，发现表面裂缝及其对结构的影响。无损检测技术不仅提高了检测效率，还能提前发现潜在的病害问题，避免了传统方法可能错过的隐蔽性病害，成为现代公路病害诊断的重要技术手段。

3.3 高科技仪器设备在公路病害诊断中的作用

随着测量和诊断技术的发展，越来越多的高科技仪器设备被引入公路病害诊断中，极大提升了诊断的精度和效率。例如，利用无人机搭载高分辨率相机进行航拍，结合图像处理技术，能够快速识别和监测大范围内的病害情况。高精度的地质雷达仪器可以穿透路面，准确识别路面以下的病害，如裂缝、空洞及其他隐患。激光扫描仪能够实现对公路

表面结构的三维成像，帮助分析裂缝的分布与变化情况。此外，基于人工智能技术的诊断系统能够通过分析大量检测数据，提供病害预测、评估与预警功能，进一步提升诊断的智能化水平。随着这些高科技仪器设备的广泛应用，公路病害诊断的准确性与实时性得到了显著提高。

4 公路病害加固技术的发展与应用

4.1 加固技术的基本原理与分类

公路病害加固技术的核心在于恢复路基与路面结构层的整体承载性能与稳定性。其基本原理是通过提高结构层模量、改善地基承载条件或增强层间结合，达到延长使用寿命的目的。常用加固类型包括路基加固、路面结构层加固与基层补强。路基加固多采用换填、强夯、注浆、固化剂加固等方式；路面结构层加固通常采用再生层加铺、冷再生、热再生等技术；基层补强则通过添加无机结合料或高强材料提高抗剪强度。各类加固方法应依据病害性质、结构层受损深度及交通荷载等级综合选取，确保加固后结构稳定、排水顺畅、使用性能提升。

4.2 常见的公路结构加固技术

针对路面病害常用的加固技术包括水泥注浆加固、冷再生混合料加铺、玻纤网复合加筋、乳化沥青薄层罩面以及水泥稳定碎石补强等。水泥注浆法可提高路基密实度，改善沉陷与翻浆问题；冷再生混合料加铺技术通过回收旧料再生利用，提升基层强度与延性；玻纤网复合加筋能有效分散应力，延缓裂缝扩展；乳化沥青罩面能提高防水与抗滑性能；水泥稳定碎石补强适用于重载路段结构层疲劳衰减问题。这些技术具有工期短、经济性好、耐久性高的特点，已在高速公路与省道养护工程中得到广泛应用，显著改善了道路的结构稳定性与使用性能。不同的加固技术根据具体病害类型和加固效果的要求，可以单独应用或组合使用^[2]。

4.3 加固技术的选择与应用案例分析

公路结构性病害的加固技术选择应根据病害类型、损伤程度、地质条件及交通荷载特征进行综合评估。对于路基沉陷和翻浆问题，通常采用注浆加固、换填夯实或固化剂改良法，以提升地基强度与稳定性；针对路面裂缝与车辙，可采用沥青再生加铺、玻纤网复合加筋或薄层罩面技术，提高结构层的抗拉强度与延性。不同技术的选择应兼顾施工环境、气候条件及交通干扰程度。S33 昆明高海高速养护工程为例，项目采用冷再生基层补强与乳化沥青薄层罩面相结合的方式，在施工周期 45 天内完成路面加固，全线弯沉值由原平均 1.78mm 降低至 1.12mm，承载力提升约 37%，行车舒适度明显改善。该案例表明，针对性技术组合能显著提高公路结构性能与耐久性，同时兼顾经济性与施工便捷性。

5 公路结构性病害加固设计的优化策略

5.1 加固设计的原则与步骤

公路结构性病害加固设计的原则首先是确保结构的安

全性与稳定性，优先解决影响交通安全和路面使用性能的病害问题。在设计过程中，应根据病害的类型、位置和程度进行全面评估，确保加固措施能够满足长期使用需求。加固步骤通常包括病害的诊断与分析、选定加固方法、进行结构评估和计算、设计加固方案，并进行实施前的可行性验证。每一步都需考虑到现有结构的承载能力和加固材料的性能，以确保加固后能达到预期效果，并延长公路的使用寿命。合理的设计方案需要综合考虑施工难度、时间安排和费用预算，以提高加固工作的经济性和施工效率。

5.2 公路加固设计中的技术难点与解决方案

公路加固设计过程中常见的技术难点包括如何选择合适的加固方法、如何处理复杂地质条件下的结构病害以及如何确保加固材料与现有结构的良好结合。加固方法的选择需要考虑到路面或结构的具体病害类型，如裂缝、沉降、变形等，通常需要根据具体的技术要求进行调整。对于特殊地质条件下的病害加固，常常需要采用较为复杂的技术手段，如高压注浆技术或深层加固技术。为了确保加固效果，必须确保新材料与原结构的良好适配，并合理安排加固施工工艺，以防加固后的结构出现新的问题。

5.3 加固设计的经济性与可持续性分析

加固设计不仅要保证结构的安全性，还需要充分考虑经济性与可持续性。在经济性分析方面，需要对加固方案进行成本评估，综合考虑施工成本、材料费用、施工时间等因素，选择性价比最高的方案。在可持续性方面，加固设计应注重材料的环保性与耐用性，优选高强度、长寿命且易于维护的加固材料，减少未来可能的维修费用。此外，应考虑加固方案的长期影响，如对周围环境的影响以及对交通流量的影响，尽可能降低施工对交通运营的干扰^[3]。

6 公路病害诊断与加固技术体系的构建与实施

6.1 公路病害诊断与加固技术体系的构建框架

公路病害诊断与加固技术体系的构建应以病害诊断为前提，以加固设计为核心，整合现代技术与传统经验，形成完整的技术支持体系。该体系应包括病害诊断方法的选择、加固设计技术的更新、材料的选型、施工技术的规范等多个方面，确保从诊断到加固实施的每一个环节都能够得到科学、合理的指导。技术体系还应具备灵活性，能够根据不同的公路结构、地质条件和病害类型进行调整，以达到最佳的

加固效果和最优的成本效益。通过这一技术体系的实施，可以实现对公路结构病害的早期发现与有效加固，提高公路的长期安全性与耐久性。

6.2 技术体系在实际工程中的应用案例

技术体系在公路病害诊断与加固中的应用在多个真实工程中取得了显著成效。例如，G85 昆明东绕城高速公路路面提升整治项目中，利用综合诊断技术体系，结合地质雷达、激光扫描和超声波检测等手段，精准定位了路面裂缝、车辙和局部沉降等病害。根据诊断结果，项目选择了冷再生技术和沥青加铺技术进行路面加固，并针对路基沉降问题采用了高压注浆加固技术。施工后，路面弯沉值从原来的 2.5mm 降至 1.0mm，裂缝修复率达到 85%，车辙深度减少了 35%。通过这一技术体系的应用，公路的整体承载力和使用寿命得到了显著提高，且施工过程中对交通流量的影响被降至最低。该案例不仅验证了技术体系在实际工程中的有效性，也为类似公路养护工程提供了宝贵的经验，优化了加固设计，提高了工程质量与经济效益^[4]。

6.3 技术体系的实施与效果评估

技术体系的实施需要在严格的项目管理下完成，确保每个环节的标准化与规范化。在实施过程中，首先进行病害诊断与评估，然后制定详细的加固方案，并在施工过程中严格监督。加固后的效果评估应包括结构强度、使用寿命、维护需求等方面的综合分析。通过数据采集与长期监测，评估加固效果是否达到预期目标，并进行必要的调整与优化。对于成功的案例，技术体系的实施不仅提高了公路的使用安全性，也降低了维护成本，提升了公路管理的效率。最终，通过持续监测与效果反馈，形成了一个完善的技术闭环，确保了技术体系的长效实施和不断优化。

参考文献

- [1] 鲍曦露,刘涛.高速公路路面常见病害成因与养护措施研究[J].汽车周刊,2025,(12):36-38.
- [2] 劳艺.旧公路桥梁结构病害识别与修复策略研究[J].汽车周刊,2025,(12):226-228.
- [3] 曹小波,王畅,赵忻,袁超,王茂珲.高等级公路路面常见病害及养护措施研究[J].科技与创新,2023,(07):124-126.
- [4] 饶法强,高亮,黄文元,张宏超.基于病害发展阶段分类的公路路面检测方法发展综述[J].上海公路,2022,(01):31-35+142.