

高速公路改扩建工程旧路面病害处置技术研究

赵建军

中铁十七局集团第二工程有限公司, 陕西 西安

收稿日期: 2026年7月25日; 录用日期: 2026年8月16日; 发布日期: 2026年8月27日

摘要

随着国民经济的快速发展,我国早期建成的部分高速公路已不能满足现代化物流的需要,改扩建工程已成为提升路网容量和服务水平的关键措施。特别在经济发达的东南沿海地区,由于交通流量的不断增长,部分高速公路已普遍进入病害高发期。在长期自然环境侵蚀、重载负荷等多重因素作用下,旧路面频繁出现裂缝、坑槽、车辙、沉陷等典型病害。如何科学有效地识别和处理老路病害,成为高速公路改扩建工程中亟待解决的核心问题之一。本文结合沪昆高速公路某段改扩建过程中旧路面典型病害形态与分布特征,从自然环境、结构设计、交通荷载、施工养护四个方面深度剖析病害的成因与演化规律;研究采用了传统调查方法与先进检测技术相结合的方式进行了病害调查,并针对不同类型的病害提出了相应的处理方案。结合高速公路改扩建旧路面铣刨、新旧路面结构拼接等工程特点,重点提出非开挖注浆在裂缝、基层脱空等病害分级处置工艺与成套改造技术,并建立全过程施工质量管理控制体系。通过实际案例表明,能够有效控制改扩建路面后期病害复发,提升工程耐久性与经济性。

关键词

高速公路改扩建, 病害成因, 非开挖注浆, 质量管理控制

Research on Old Pavement Damage Treatment Technology for Expressway Reconstruction Projects

Jianjun Zhao

China Railway No.17 Bureau Group Second Engineering Co., Ltd., Xi'an Shaanxi

Received: July 25, 2026; accepted: August 16, 2026; published: August 27, 2026

Abstract

With the rapid development of the national economy, some early-built expressways in China have

failed to meet the needs of modern logistics. Reconstruction projects have become a key measure to enhance the capacity and service level of the road network. Especially in economically developed coastal areas, due to the continuous growth of traffic volume, some expressways have generally entered the period of high incidence of damage. Under the combined effects of long-term natural environment erosion, heavy load, etc., old pavements frequently suffer from typical damages such as cracks, potholes, ruts, and subsidence. How to scientifically and effectively identify and handle old road damage has become one of the core issues that need to be urgently solved in expressway reconstruction projects. This paper, based on the typical damage forms and distribution characteristics of old pavements during the reconstruction of a certain section of the Huizhou-Kunming Expressway, deeply analyzes the causes and evolution patterns of damage from four aspects: natural environment, structural design, traffic load, and construction maintenance; the traditional investigation methods and advanced detection technologies are combined to conduct damage investigations, and corresponding treatment plans are proposed for different types of damage. Combining the engineering characteristics of old pavement milling and new-old pavement structure connection in expressway reconstruction, the paper focuses on proposing non-invasive grouting technology for graded treatment of cracks, base layer voiding and other damage, and establishing a full-process construction quality management control system. Through practical cases, it is shown that it can effectively control the recurrence of later damage of reconstructed roads and improve the durability and economy of the project.

Keywords

Expressway Reconstruction, Damage Causes, Non-Invasive Grouting, Quality Management Control

Copyright © 2026 by author(s) and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY 4.0).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

1. 高速公路旧路面典型的病害类型及特征

高速公路旧路面典型的病害主要分为裂缝类病害、路面变形类病害、表层破损类病害、结构水损害类病害四类[1]。

(1) 裂缝是旧路面最普遍、最早出现的病害,也是其他次生病害发育的源头。主要分为横向裂缝、纵向裂缝、网状/龟裂 3 种类型,是改扩建路面后期主要病害来源。

(2) 路面变形主要分为车辙、局部沉陷、波浪拥包 3 种类型,主要是因沥青混合料稳定性不足、层间粘结失效、车辆频繁制动剪切,导致路面局部起伏隆起而形成。

(3) 路面表层破损主要分为坑槽、松散剥落、泛油 3 种类型,主要因沥青长期老化、混合料油石比偏大、粘结力下降、雨水长期侵蚀造成。

(4) 结构水损害类病害是基层稳定层受损,也是最主要的病害。雨水下渗浸泡基层,行车动水压力冲刷带走基层细集料,裂缝处外溢灰白泥浆,长期发展造成基层空洞、整体失稳。层间脱离使面层和基层之间形成夹层空隙,结构层受力传递中断,荷载单独作用面层,加速开裂破碎与沉陷发展[2]。

2. 旧路面病害综合成因分析

(1) 设计与结构先天不足

早期公路设计标准偏低,路面整体结构层偏薄,基层强度储备不足,无法适应如今大流量重载交通长期作用。路面排水系统设计简单不完善,边部排水、内部排水缺失,雨水无法快速排出,长期滞留结

构内部持续侵蚀破坏。新旧拓宽路段衔接设计考虑不足,未设置有效防裂、过渡、补强构造,天然存在结构薄弱带,后期极易拉开开裂、差异沉降[3][4]。

(2) 自然环境长期侵蚀

四季温差、昼夜温差交替变化,沥青反复热胀冷缩,不断产生温度收缩应力,诱发并持续扩展各类裂缝。降雨入渗长期浸泡路基基层,干湿循环弱化材料强度;北方冻融循环、南方雨水浸泡,进一步放大水损害破坏效果。阳光紫外线和氧气共同加速沥青老化脆化,粘结性能逐年衰减,路面抗裂、抗水、抗松散能力持续下降。

(3) 交通荷载持续作用

随着信息物流的不断发展,实际交通流量远超当初设计预测值,大型货车、重型挂车比例逐年上升,加之超载超限现象普遍存在,路面长期处于超负荷疲劳受力状态。行车荷载集中作用轮迹带位置,局部应力反复叠加累积,逐步产生永久变形与疲劳开裂。车辆启停、制动产生水平剪切力,进一步加剧面层推移、拥包和层间分离破坏。

(4) 施工缺陷与养护滞后

建设施工期路基基层局部压实不足、存在施工薄弱区,后期自然固结沉降持续发生;沥青摊铺碾压温度控制不当,空隙率偏大透水严重。层间透层、粘层施工不到位,杂质清理不干净、粘结不牢固,形成天然薄弱夹层。日常预防性养护缺位,细微裂缝、轻微病害长期放任不管,小病拖大病、单点变连片,最终发展成大面积结构性损坏。改扩建前期检测粗略,隐蔽基层病害排查不清,只修面不治里,埋下后期复发隐患[5]。

3. 改扩建工程旧路面病害处置技术

在病害处置前首先要对道路的基本情况进行调查,主要包括外观调查、平整性调查,探地雷达调查等方式。① 外观调查是肉眼可见的裂缝进行逐条核查,记录裂缝类型(横/纵)、桩号、车道、方向、长度,以及是否有支缝、沉陷、龟裂等次生病害,并进行记录。② 平整性调查先用扫帚等清扫工具将裂缝附近清扫干净,保证表面无凸起物。量测采用塞尺法,在距离裂缝左右各 1 m 处测量间隙高度,并做好记录。③ 雷达探测是对裂缝内部状态进行逐条,通过分析雷达图像得知裂缝发展层位,是否存在结构松散、层间不良等隐性病害,并做好记录[6]。

(1) 裂缝、变形及表层类病害分级处置技术

因改扩建工程沥青面层全幅摊铺在新旧路面上方、需先铣刨旧路面一定厚度面层再进行全幅摊铺,因此,细微裂缝、轻度车辙变形和表层破损类坑槽通过面层铣刨清理可满足要求。中等裂缝、重度车辙沉陷需探明破坏深度及范围,如深度及范围过大或 100 m 内盲沟数量大于等于 7 条,全部挖除或铣刨清除软弱结构层,盲沟位置回填 C30 混凝土至新路上基层底,其余段落单元铣刨后分层摊铺沥青恢复面层。新旧拼接位置铺设土工布、应力吸收层,主动阻断反射裂缝向上扩展路径。

(2) 隐蔽结构病害专项改造工艺

唧浆脱空区域需采取非开挖注浆充填加固,固结松散基层、封堵渗水通道,从根源解决唧浆沉陷。施工作业应按雷达探测、布孔、钻孔、清孔、预埋密封圈、注浆、封孔稳压、恢复路面的工序进行。具体工艺为:

1) 采用探地雷达对路面裂缝进行检测,分析裂缝发展纵向深度及水平位置,检测方法为:垂直裂缝检测并在基层裂缝对应处做标记。根据探地雷达检测基层裂缝所在位置,采用与路面颜色相差较大的喷漆或记号笔标记打孔位置,相邻孔中心间距为 $35\text{ cm} \pm 5\text{ cm}$,实际布孔间距应根据试验段效果确定[7]。

2) 钻孔及清孔应符合:① 打孔深度按照“深浅交替”控制原则,浅孔应穿过面层至少 2 cm,深孔

应穿过基层至少 2 cm，一般不穿过底基层。② 钻头直径宜为 20 mm。③ 钻孔角度应垂直。④ 钻孔过程中应及时吸走孔内及表面灰尘。钻孔结束后应对孔洞灰尘进行清理，保证孔内干净无灰尘。

3) 埋设密封套件应符合：① 浅孔密封套件应埋设至沥青下面层中部，深孔密封套件应埋设至基层顶部。② 密封套件应按要求埋置指定深度，打入孔洞内应与孔壁之间应具有良好的密封效果。

4) 注浆应符合：① 注浆设备应具有检测压力的功能。② 注浆压力应按照“低压注浆”原则进行控制，注浆压力应控制在 0.3 MPa~0.5 MPa。③ 为配合密封套件注浆，应准备注浆针头并插入并穿过密封套件后打开阀门开始注浆。

5) 当出现以下现象之一时注浆结束：① 密封套件弹起；② 注浆压力超过设定压力；③ 出现邻孔溢浆、裂缝溢浆、注浆孔溢浆；④ 裂缝变宽、出现新的微裂纹；⑤ 注浆作业中，将三米直尺放置于正在注浆孔一侧，当塞尺间隙变化 ≥ 3 mm 时。

6) 其他注意事项：① 注浆停止后应立即关闭注浆阀门，采用软木塞封孔 3~5 min 后拔出。② 注浆结束后及时清除路表溢出的耐水型高聚物注浆材料，并采用冷补料将钻孔遗留孔洞和路面取芯孔洞进行修补，将路面恢复原貌。③ 注浆必须按照一定顺序进行，应先注低处孔，再注高处孔，依次向前推移。④ 注浆时对每个孔位的压力和时间进行严格把握，并安排专员进行旁站并记录注浆时间。⑤ 现场施工人员应穿工作服、佩戴口罩和手套。冬季施工时，应对注浆材料进行加热保温[8]。

4. 改扩建施工全过程质量控制

(1) 前期检测与方案控制

坚持先检测、后设计、再施工原则，全面查清表观病害与内部隐蔽隐患，杜绝经验施工、盲目铣刨。分区分类编制专项处置方案，严格技术交底，确保现场按图施工、对症下药。

(2) 原材料质量控制

沥青、集料、水泥、密封胶、土工材料全部进场复检，不合格严禁使用。混合料通过配合比试验确定最佳配比，保障强度、稳定性、耐久性指标达标。注浆材料应符合以下技术要求：

① 注浆材料为耐水型高聚物，包含 A 组分及 B 组分，A 组分为主剂复合多元醇、催化剂、匀泡剂和增韧剂，B 组分为固化剂异氰酸酯。

② 耐水型高聚物注浆材料各组分应保证纯净无杂质，符合相应的技术要求。见表 1、表 2。

③ 耐水型高聚物注浆材料抽检频率满足工程要求。材料应符合相应的技术指标，见表 3。

Table 1. Technical requirements for component A of water-resistant polymer grouting material

表 1. 耐水型高聚物注浆材料 A 组分技术指标要求

技术指标	单位	A 组分技术要求	试验方法
外观	/	乳白色液体	目测
密度(23℃)	g/ml	1.20~1.50	GB/T 13354
粘度(23℃)	MPa·s	<5000	GB/T 2794

Table 2. Technical requirements for component B of water-resistant polymer grouting material

表 2. 耐水型高聚物注浆材料 B 组分技术指标要求

技术指标	单位	B 组分技术要求	试验方法
外观	/	深褐色澄清液体	目测
密度(23℃)	g/ml	1.05~1.20	GB/T 13354
粘度(23℃)	MPa·s	<500	GB/T 2794

Table 3. Technical requirements for water-resistant polymer grouting materials
表 3. 耐水型高聚物注浆材料技术指标要求

序号	技术指标	单位	技术要求	试验方法
1	凝胶时间(23℃)	s	45-120	HG/T 4574
2	不粘时间(23℃)	s	50-180	HG/T 4574
3	膨胀倍率	倍	≤1.5	GB/T 6343
4	粘结强度(23℃)	MPa	>1 (或水泥砂浆内聚破坏)	GB/T 16777
5	压缩强度	MPa	>3	GB/T 8813
6	最大拉伸应力	MPa	≥3	GB/T 9641
7	剪切强度	MPa	≥0.5	GB/T 10007
8	弯曲强度	MPa	≥0.2	GB 8812
9	酸处理	-	无开裂, 变形现象	GB/T 16777
10	碱处理	-	无开裂, 变形现象	GB/T 16777
11	重金属	-	符合标准卫生要求	GB/T 17219

(3) 关键工序过程管控

重度铣刨深度范围、裂缝开槽清理、摊铺碾压全程旁站监管。严控施工温度、厚度、压实度、平整度关键指标, 杜绝离析、松散等质量通病。灌注注浆质量检验应符合要求。见表 4。

Table 4. Detection requirements for measured items
表 4. 实测项目检测要求

序号	检查项目	规定值或允许偏差	检验频率	检查方法
1	注浆压力(Mpa)	±0.1	每天抽检 2 次	观察压力表
2	钻孔位置偏差(cm)	±5	抽检 20%	钢卷尺测量
3	钻孔深度偏差(cm)	+5	抽检 20%	钢卷尺测量

(4) 新旧拼接部位重点管控

台阶开挖尺寸规范、界面清理干净, 粘层喷洒均匀同步摊铺同步碾压, 提高拼接整体性, 消除纵向开裂薄弱带。

(5) 完工验收与后期观测

完工全面检测平整度、压实度、弯沉、抗滑等指标, 非开挖注浆段落完成后需进行取芯检测和结构耐久性评价, 检查不同病害形式的修复情况。达标方可交工运营。通车设置观测期, 定期巡查跟踪裂缝、沉降复发情况, 及时开展预防性养护。

5. 工程实例

(1) 结构层铣刨处理

沪昆高速公路某段在长期自然环境侵蚀、重载负荷等多重因素作用下, 旧路面频繁出现裂缝、坑槽、车辙、沉陷等病害, 改扩建施工过程借助探地雷达探测损坏层的深度与分布范围。针对损坏范围较大, 或 100 米路段内盲沟数量达到 7 条及以上, 对软弱结构层进行整体挖除或铣刨清理, 盲沟部位采用 C30 混凝土回填至新建路面上基层底面, 其余路段则分层摊铺沥青恢复面层。治理前后对比表明, 平均车辙

深度由 16.3 mm 显著下降至 2.1 mm。同时,室内抗车辙试验结果显示,加铺材料的动稳定度相较原路面提升约 30%,验证了该方案的技术可行性。但铣刨重铺工艺成本较高,经济性受限,故仅适用于结构层局部松散的路段。

(2) 非开挖注浆加固处理

沪昆高速公路某标段针对探明老路病害成因,采用非开挖注浆加固技术进行处治。监测显示,月均沉降速率从 3.2 mm 降至 0.5 mm 以内,不均匀沉降差值得到明显控制。数值模拟进一步表明,注浆加固有效增强了地基承载力与整体稳定性,有利于延长道路服役寿命。通过多种沉降处治方案的成本效益对比,本方案相较于传统双层局部修补加抗裂贴、双层铣刨重铺加抗裂贴等做法,在节约成本与缩短工期方面优势显著,综合验证了方案的科学性、可行性与经济适用性。

6. 结论

高速公路改扩建工程旧路面病害处置的有效性取决于对病害类型的准确甄别。因旧路面破损形式多样,成灾机制复杂,与建设阶段材料质量、运营期车辆荷载及自然环境等因素密切相关,同时受施工工艺和日常养护水平的影响。为此,确立“精准勘测、分类治理、内外协同、接缝防裂”的基本策略,将精细化质量控制贯穿于改扩建施工全过程,才能保证路面结构长期稳定,有效延长服役周期。

参考文献

- [1] 张争奇. 沥青路面病害成因与处治技术[M]. 北京: 人民交通出版社, 2020.
- [2] 中华人民共和国交通运输部. JTG 5440-2021 公路路面养护技术规范[S]. 北京: 人民交通出版社, 2021.
- [3] 贾汝涛. 高速公路路面工程中沥青混凝土技术的应用[J]. 工程建设与设计, 2021, 69(4): 104-106.
- [4] 胡潇, 徐超超. 高速公路沥青路面车辙病害处治措施[J]. 工程技术研究, 2026, 11(2): 145-147.
- [5] 郑家伟. 公路路面病害修复研究[J]. 工程建设与设计, 2024(7): 203-205.
- [6] 陈金奎. 高速公路沥青路面早期病害的原因分析及养护措施[J]. 运输经理世界, 2025(24): 106-108.
- [7] 沈安琪, 孙文成. 沥青路面超宽摊铺对路面平整度的影响分析[J]. 工程建设与设计, 2021, 69(9): 89-91.
- [8] 侯培伦. 高速公路沥青路面早期病害防治研究[J]. 交通世界, 2023(23): 76-78.