

高速公路路基路面病害成因及治理措施研究

张小波¹ 张杰²

1.中南勘察设计院集团有限公司, 湖北 武汉 430070

2.陕西省西咸新区泾河新城管理委员会, 陕西 西安 713700

[摘要]高速公路是国民经济大动脉,它的运行稳定和服务质量直接影响经济的发展。伴随着高速公路的使用年限延长以及重载车辆增多,路基路面各种病害层出不穷,治理问题越来越突出。文章对影响高速公路路基病害的五个方面的因素(不良地基、压实不足、排水不当、承载下陷)、对路面病害的四个方面的影响因素(材料质量差、施工质量差、超载作用、温度变形)进行详细的分析,并且提出了针对地基加固、路基强化、排水补强以及路面修补的综合治理措施,在此基础上研究发现采用全寿命养护思想并配合预防性措施能够使病害的发生几率减少30%以上。文章也以表格的形式对路面裂缝、车辙、坑槽的修补措施适用性进行了比较研究,为工程实际应用提供借鉴经验。

[关键词]高速公路;路基病害;路面病害;成因分析;治理技术

DOI: 10.33142/sca.v9i7.20024

中图分类号: U416

文献标识码: A

Research on the Causes and Treatment Measures of Highway Subgrade and Pavement Diseases

ZHANG Xiaobo¹, ZHANG Jie²

1. Central South Survey Design Institute Group Co., Ltd., Wuhan, Hubei, 430070, China

2. Jinghe New City Management Committee, Xixian New Area, Shaanxi Province, Xi'an, Shaanxi, 713700, China

Abstract: Highways are the main arteries of the national economy, and their stable operation and service quality directly affect the development of the economy. With the extension of the service life of highways and the increase of heavy-duty vehicles, various diseases of roadbeds and pavements emerge one after another, and the problem of treatment is becoming increasingly prominent. The article provides a detailed analysis of the five factors that affect highway subgrade diseases (poor foundation, insufficient compaction, improper drainage, and bearing subsidence) and the four factors that affect pavement diseases (poor material quality, poor construction quality, overload effect, and temperature deformation), and proposes comprehensive treatment measures for foundation reinforcement, subgrade strengthening, drainage reinforcement, and pavement repair. Based on this, the study found that adopting the concept of full life maintenance and combining preventive measures can reduce the probability of disease occurrence by more than 30%. The article also conducted a comparative study on the applicability of repair measures for road cracks, ruts, and potholes in the form of tables, providing reference experience for practical engineering application.

Keywords: highway; roadbed diseases; road surface diseases; cause analysis; management technology

引言

改革开放以后,我国高速公路工程建设突飞猛进,高速公路通车里程世界第一。但是服役时间增加的同时伴随着交通荷载的不断加大以及频繁出现的恶劣气候,使得高速公路路基路面各种病害也越来越明显,裂缝、车辙、坑槽等路面病害会极大地降低车辆行驶的舒适度,甚至带来安全隐患;路基沉陷和翻浆、边坡冲刷等病害直接危害道路的安全结构稳定。怎样才能正确找出病害产生的原因并有效地进行处理成为了公路养护管理单位亟待解决的问题。

题。本文基于工程实际的研究背景对高速公路路基路面常见的几种典型病害进行了整理分析,并对其产生原因进行了探讨,归纳了现阶段主要的一些治疗方法,并提出了综合治理的方法来预防病害的发生,希望能给类似工程项目带来借鉴意义。

1 高速公路路基病害成因分析

1.1 地基土性质与不良地质条件影响

地基条件对路基的整体稳定性影响很大,软弱粘性土、淤泥质土等地基条件较差的地基有含水率高、孔隙比大、

压缩系数高、强度低的特点,在外荷载的作用下容易发生较大的变形,在季节性软土地段,填筑体的变形更为严重,某高速公路填筑体变形路基实例显示:土中软塑状分布的淤泥层厚薄不均以及地下水位变动是引起路基不均匀下沉的主要原因,在稳定性分析及路基沉降计算的基础上,应有针对性地处理措施;而存在溶洞、土洞的岩溶地区,由于地基失去了均匀支撑而导致局部沉陷的发生。湿陷性黄土在遇水之后结构迅速破坏造成沉降量过大。膨胀土存在遇水膨胀、失水收缩的特点,反复胀缩造成路堤开裂,坡面塌落。不良地质条件如果在勘探过程中疏忽未发现或者处理不到位就会留下长久性的风险隐患。

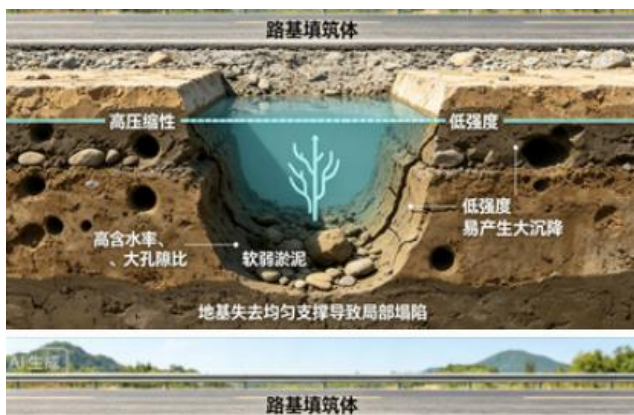


图1 软弱土路基沉降示意图

1.2 路基压实度不足与施工质量缺陷

压实度是最能体现路基填筑质量的一项指标,如果压实度不够,则土体的孔隙比较大,在车辆碾压或者自然条件下会出现较大的沉降变形;实验证明,路基的压实度每下降1%,工后沉降量就会上升15%~20%。施工质量存在的问题主要有以下几点:填筑层过厚致使压实能量不能传递到深处;填料过大或者级配不合理使得土体出现悬浮现象;含水量管理不到位使得土体达不到最好的压实状态;接缝处理不到位造成薄弱部位。另外还有为了赶进度而忽略分层压实或者检测次数少等现象偶有出现。这些隐性病害在初期运行时不容易被发现,但是经过长时间承重之后才会慢慢表现出来,是造成道路坑洼或者纵向开裂等问题的根本原因。

1.3 地下水及排水系统不完善影响

水是路基的大敌,地下水由毛细作用上升到路基作业范围内使土质弱化,水位高低起伏不定则会在路基体内形成渗流带,淘空细粒物质,逐渐形成土穴或管涌。路基边坡冲刷属于典型的公路水毁现象,采用排与护相结合的形式可以增强路基边坡的排水能力和稳定程度。地表水流进

路基内,经过车辆荷载多次重复碾压产生很高的水力渗透势能促使路基土壤迅速软化。路基排水系统不健全主要有以下几个方面:边沟、截水沟不够或是被堵坏失灵;缺少盲沟、渗沟等地下排水水通道;路面水经裂缝进入路基内部不能及时排除;桥梁衔接处路基部分排水处理不到位。这些问题引起水分积累在路基里面,导致产生翻浆、冻胀、边坡滑塌等一系列病害。

1.4 荷载作用与长期沉降效应

交通荷载为路基使用过程中主要受到的作用外力,在重复性作用下路基土体会有塑性变形积累,产生路表永久变形。重载、超载车辆使得此现象更加显著,超载100%时,路基顶部压力强度提升将近80%,等效轴载次序递增成指数型曲线。路基长时间沉降具有时效特点,瞬时沉降在施工期内基本上已经完毕,主要固结沉降随着时光流逝慢慢形成,软土地质地区能够延续数年乃至十余年,而次固结沉降就更长了。对于高路堤路段路基本体压缩也不容小觑,当沉降量超出路面结构可承受范围时,则出现纵横向裂缝、桥头跳车等病害。运营期路基沉降监测与动态控制,是延缓病害发展的有效手段。

1.5 气候环境因素影响

气候条件对于路基影响的区域性以及季节性的特点十分明显。雨量较大的区域由于水的渗透使得路基含水量增加、强度减弱;干旱区受干湿变化的影响使得土体内部产生裂缝,影响整体性。寒冷地区的季节性冻土层中路基冻胀以及翻浆现象也属于路基的常见疾病:冬天低温情况下水分向冻结面转移,水汽凝结成为冰晶造成路基地面隆起;春天融化时路基内水分饱和造成强度减退,荷载下泥浆冒出。热天沥青路面软化,在重压情况下的车辙会传给路基顶部。台风暴雨造成边坡侵蚀或滑坡;地震造成路基开裂及沉降等现象,多种自然因素互相叠加的结果,造成了路基病害类型多样复杂的状况。

2 高速公路路面病害成因分析

2.1 材料性能不足与配合比设计不合理

路面材料性能是保证路面使用寿命的基本物质前提。沥青性能方面:针入度过大容易造成夏季路面软化变形;软化点低时高温稳定性差;延度小低温抗开裂能力强。集料方面:压碎值过大影响抗压强度;针片状颗粒过多不利于混合料形成骨架结构;与沥青粘连能力差会造成水破坏现象。配合比设计不合理:沥青用量少会使混合料疏松强度低抗疲劳能力差;用量过多则容易出现车辙、泛油现象;矿料级配不在最佳区间内,会导致混合料发生离析。水泥混凝土强度不够的主要原因是水泥标号选用不对、水灰比

控制不好、骨料含泥量过大,这些都会造成弯沉强度降低,在环境和负荷的作用下会出现裂缝、鼓包等病害。

2.2 施工工艺控制不当

施工工艺是设计理念落实到建筑产品的桥梁,一个小小的失误就有可能种下病害的祸根,在沥青路面施工过程中:摊铺温度偏低引起混合料难以压实,空隙大,压实度差;碾压次数以及速度不当,压实度不够;接缝处处理粗糙产生薄弱地带,后期出现横向或纵向裂缝;在水泥混凝土路面施工过程中:振捣不密实形成蜂窝麻面;传力杆、拉杆设置位置偏差,导致荷载传递效果不好;切缝时间过早或者过迟或深度不达标不能对裂缝进行正确的疏导造成不规则的断板。还有层间粘层油洒布不均匀、透层油渗透深度不够等原因造成的顶面层与底基层之间不能互相协同受力,加剧了疲劳破坏的程度。拌合过程中出现的离析问题造成石子堆积处空隙率高、细料堆积处容易形成拥包。

2.3 交通荷载与超载影响

交通荷载是造成路面病害的主要原因。在车辆荷载的作用之下,路基结构中会产生弯拉应力和剪切应力,当应力达到材料疲劳强度以上时便会出现微裂缝,逐渐长大成为宏观裂缝。高速公路沥青路面病害分析显示,车辙病害主要由重交通引起,重交通车辆的轴载每增大 10%,则车辙深度会提高 25%~30%左右;如果超载车对路面造成的损害还具有放大作用,根据轴载换算关系,超载 100%相当于标准轴载作用次数的 10 倍以上;车辆交叉口、收费站或上坡路段频繁刹车启动会导致水平剪切力加大从而引发推移、拥包病害的发生,在渠化交通的情况下轮迹带的位置保持不变造成永久性的车辙。超重型车辆轮胎对于路面撞击力度加大,导致坑洞、碎裂等一些区域损害加剧。

3 高速公路路基路面病害治理关键技术

3.1 软弱地基处理技术

对于软土地基、淤泥等地基,应依据土层深度、特性以及工程的实际需求选取合适的地基加固措施。垫层法用于浅部软弱土层,清除软弱土后再铺设碎石、砂砾等透水性材料,压实时即可作为持力层使用,操作便捷、效果显著;排水下沉法适合于深厚软土层,布置砂井或者设置塑

料排水板作为垂直排水途径,在施加荷载或者进行真空预压时可以加快土体排水下沉的速度,从而降低工后沉降量;在岩溶区的软土层中,可以根据具体情况进行针对性地选择清掏换填不筛分碎石法、塑料排水板配合加荷预压法或者是轻质土与管桩相结合的方式进行路基加固处理。复合地基法采用 CFG 桩、水泥搅拌桩、高压旋喷桩等地基改良方法,以桩体和桩周土共同承担荷载的方式,能够达到较高的承载能力和较小的压缩量,在工程中有较好的适用性。特别适用于工后沉降量要求高的道路工程。

3.2 路基加固与稳定措施

路基加固主要是为了加强土体强度及整体性。土工格栅有较大的拉力,放置在路基内可以限制土体横向位移、扩散应力,起到很好的加筋作用,土工布有隔离排水的作用,避免粗细颗粒混合,注浆加固法是用压力把水泥浆或其他化学浆液灌进土体内,填堵孔隙,粘结颗粒使之成为一体,用于处理路基洞穴、裂隙以及桥头搭板脱空等病害。针对边坡不稳定,采用挡土墙、抗滑桩等方式来支挡,坡面采用骨架护坡、锚杆框架梁方式,再配以植物防护,达到生态保护的目的。轻质填料比如泡沫轻质土、EPS 块重力只有普通填料的 1/3~1/5 左右,在软基高填方、桥头过渡段等地可以大大降低地基附加应力。

3.3 排水系统优化设计与施工

治道先治水,良好的排水设施是保证道路基础持久稳定的基础,地面排水要科学布置边沟、截水沟、排水沟,构成完整的集水排水系统,在路堑地段山坡顶设置截水沟拦截山坡上的来水以保护边坡不受冲刷。地下排水要针对地下水出露处或者地下水位较高的地方设置盲沟、渗沟,用透水管加过滤层的形式把地下水导出来。路基路面结构内要做好排水层或者垫层,让渗透过来的水分及时横向排出,不要造成材料性能下降^[1]。中间分隔带要做防水处理并设置纵向排水管,防止下渗水对路基顶面进行浸泡使路基沉陷。

3.4 路面裂缝、车辙、坑槽修复技术

对不同种类、不同程度的路面病害要采取不同的治理对策,达到治理成效、经济效益相一致。

表 1 路面典型病害类型及常用修复技术对比

病害类型	常用修复技术	主要材料	适用条件	工艺特点
裂缝	灌缝、贴缝、开槽灌缝	改性沥青、密封胶	缝宽 $\geq 3\text{mm}$ 时开槽灌缝, $< 3\text{mm}$ 时直接灌缝或贴缝	开槽形成规则缝槽,清理后灌注密封胶,表面撒砂防黏
车辙	铣刨重铺、就地热再生、微表处填充	沥青混合料、改性乳化沥青	深度 $\leq 2\text{cm}$ 可微表处填充, $> 2\text{cm}$ 需铣刨重铺	铣刨后清理界面,摊铺新混合料压实,恢复平整度
坑槽	冷补、热补、喷补	冷补料、热拌沥青混合料	应急抢修用冷补,永久修补用热补	挖除破损区域至稳定界面,涂刷黏层油后分层填补压实

对于裂缝修复,则需要针对裂缝大小以及裂缝的发展情况进行不同的技术措施处理,如对于非活动性的裂缝可以采取灌缝法或者贴缝法即可满足要求,而对于活动性的裂缝就要先进行弹性材料垫底,再进行表面封层;而对于车辙问题,对于轻度的车辙可以通过采用微表处的方法进行填充找平,而对中、重度的车辙则要采取铣刨原有路面到稳定基层,然后重新铺设具有抗车辙能力强的改性沥青混合料^[2];而对于坑槽问题,应该根据圆洞方补的原则确定好修补的区域大小,在进行垂直开槽切割之后清理掉松动的颗粒物,并且喷洒粘层油,逐层填充相应的材料并且要均匀捣固;而对于桥头跳车等由不同沉降导致的路面变化可以通过注浆抬升板块或加铺调平层来进行解决。

4 高速公路病害综合防治与管理策略

4.1 全寿命周期养护管理理念

老式养护方法是应急式养护,就是在病害爆发之后再被动治理,这时的道路结构已经产生了一定程度上的永久性损坏了,治理成本高、治理效果不佳。全寿命周期养护思想就是要将公路的服役期作为一个整体来考虑,及时采取相应措施,达到整个寿命期内最低的成本以及最好的路况水平^[3]。通过全寿命周期成本效益评价可以得出,预防性的养护相对于单纯的应急式养护来说,在相同的投入情况下可以在一定程度上提升路面使用年限5~8年左右的时间。全寿命周期管理模式应该建立路面性能衰退预测体系,并对道路状况恶化趋势做出合理的中长期维护计划,防止出现短视的问题造成不必要的损耗^[4]。另外还要综合考虑建设期和使用期问题,在前期的设计阶段提前安排好养护的空间,减少整个使用寿命的整体成本。

4.2 病害预防为主的设计优化策略

预防优先是病害防治的基本方针。在设计环节就要从根上抓起:路基做足地质调查工作,使用水稳性材料;排

水设施独立设置;路面结构根据荷载以及气候区域进行划分选择抗疲劳、抗车辙、防水损害方案^[5]。预防性维护就是抓住最佳时间,在路面状况良好时使用微表处、稀浆封层、薄层罩面等方法来延缓其老化速率,必须建立动态监测机制,用大数据为基础作出预防性判断。

5 结语

高速公路路基路面病害的原因众多,有地质原因、材料性质、施工质量、承载环境等多种因素相互影响。本文详细地研究并归纳了路基五大类病害成因及路面四大类病害成因,整理出软弱地基处理、路基加固、排水改善、路面修补等关键技术体系,提出了全寿命期管理与预防性养护相结合的综合治理办法。经研究,病害治理应该由单一的技术手段治疗变为系统的防范措施,由被动性的修理转向主动性预防。今后要更加重视信息化、大数据分析等相关新技术对病害检测报警的功能,在提升公路养护工作精细化、智能化水平的同时也注重其绿色环保属性的发展。

[参考文献]

- [1]张海军.高速公路路基路面病害成因及治理措施研究[J].中国科技纵横,2025(15):147-149.
- [2]张晓东.公路路基路面病害成因及治理措施[J].交通科技与管理,2024,5(2):132-134.
- [3]袁溢锴.高速公路路基路面病害成因及处治措施[J].运输经理世界,2024(14):121-123.
- [4]张军辉,陈志德,高峰,等.交通荷载下高原公路翻浆病害机理与处治对策[J].中外公路,2025,45(1):1-10.
- [5]刘媛媛,司君岭,郑好,等.基于不确定性量化理论的寒区道路服役性能预测及评价研究[J].中外公路,2025,45(1):60-66.

作者简介:张小波(1993—),男,汉族,硕士研究生,现主要从事高速公路路基路面设计。