

公路路基路面病害成因与防治研究

戴林荫

新疆北新路桥集团股份有限公司, 新疆 乌鲁木齐 830000

[摘要]公路路基路面在服役期中受到施工质量、材料性能、水文环境、交通荷载等多种因素的共同影响,各种病害不断发生,并且互相影响,严重地影响到道路的通行能力和使用寿命。文中从路基填筑及施工质量控制、路面材料及结构性能、排水条件及自然环境、交通荷载及车辆作用四个方面分析病害原因,提出建立全过程质量控制体系、完善病害检测与监测体系、推进预防性养护管理、提高病害处治技术水平等综合防治措施。研究显示,把防治重点由被动修复转向主动预防,创建起“成因识别-过程把控-动态监测-精确处理”的闭环体系,这是改善路基路面耐久性的主要途径。

[关键词]公路路基路面;病害成因;全过程质量控制;防治措施

DOI: 10.33142/aem.v8i8.20497

中图分类号: U416.5

文献标识码: A

Research on the Causes and Prevention of Road Subgrade and Pavement Diseases

DAI Linyin

Xinjiang Beixin Road and Bridge Group Co., Ltd., Urumqi, Xinjiang, 830000, China

Abstract: During the service life of highway subgrade and pavement, various factors such as construction quality, material performance, hydrological environment, traffic load, etc. are jointly affected. Various diseases continue to occur and affect each other, seriously affecting the traffic capacity and service life of the road. The article analyzes the causes of diseases from four aspects: roadbed filling and construction quality control, pavement materials and structural performance, drainage conditions and natural environment, traffic loads and vehicle effects. It proposes comprehensive prevention and control measures such as establishing a whole process quality control system, improving disease detection and monitoring system, promoting preventive maintenance management, and improving the level of disease treatment technology. Research shows that shifting the focus of prevention and control from passive repair to active prevention, creating a closed-loop system of "cause identification - process control - dynamic monitoring - precise processing", is the main way to improve the durability of roadbed and pavement.

Keywords: highway subgrade and pavement; disease causes; whole process quality control; prevention and control measures

引言

公路是交通运输体系的根基,路基路面的服役状况同行车安全、运输速度和养护费用有着直接联系。伴随着公路网规模不断扩大、交通荷载不断加大,路基路面病害出现早发、多发、复合化的趋势,传统的以事后修复为主的养护模式已经不能满足现代交通对于耐久性的要求了。病害成因包含施工质量、材料性能、水文地质、交通荷载等各方面,各个因素之间不是孤立存在的,而是通过耦合机制加快病害的发展和蔓延。本文从病害特征出发,对各种原因的作用机理进行系统的分析,进而提出包含质量控制、检测监测、预防养护和处治技术在内的综合防治框架,以期给公路路基路面病害的科学防治提供一定的借鉴。

1 路基路面病害特征

公路路基路面病害可以分为裂缝类、变形类、松散类和结构性损坏等,破坏特征及发育机理存在较大差别。裂缝是早期病害中最常见的一种,横向裂缝主要是由于温度应力或者半刚性基层收缩造成的,当温差引起的拉应力大于混合料的抗拉强度时,就会出现规则的横向裂缝;纵向裂缝一般与路基压实不够、半填半挖差异沉降或者新旧路基拼接不当有关,在重载车辆反复作用下逐渐扩展延伸,严重的时候会贯穿整个行车道。龟裂、块状裂缝属于网状开裂,是结构承载能力降低的一种信号,一般意味着基层有疲劳损伤,如果不及时封闭就会使水损害加重。路基不均匀沉降和车辙属于不可逆结构性病害,软弱地基在自重、

荷载、雨水的作用下压缩固结,沉降超过限值就会造成路面开裂、起伏,且很难通过表面修补恢复。季节性冻土区还会出现冻胀、融沉、翻浆等冻害,具有隐蔽性、累积性,常在春融期集中出现,给路基整体稳定带来持续影响。各种病害互相影响,裂缝给水分的渗透留有通道,水损降低基层的承载能力,基层失效又加快了面层开裂和沉降的速度,形成了一个恶性循环,即裂缝、水损、沉降、碎裂,所以病害防治要从单个处治转向系统防控。

2 公路路基路面病害成因分析

2.1 路基填筑与施工质量控制因素

路基填筑质量是保证道路整体承载能力的基础,压实度不够是造成路基病害的最主要施工原因。路基施工时,天气太干燥,局部路堤填料粘土块粉碎不足造成路基压实度不均;暗埋式构造物处因构造物长度限制使路基边缘不能超宽碾压,造成路基边缘压实度不够;某些加减速车道与行车道没有同步施工,当拼接处理得不好时,其拼接处也会产生压实度不足的情况。由于填方土体最佳含水量控制不好,压实效果达不到要求,也是压实度不达标的又一重要原因。填方路堤施工到一定高度时,路堤边缘土体容易出现压实度不足的情况,对于较高填方路基一般都要做相应的处理。填方土体压实度不够,结果就是土体前期固结压力小于自重应力和各种附加应力之和,在自重作用下就会产生沉降变形,从而引起路基两侧纵向裂缝。另外半填半挖路基因填挖两侧土体性质不同容易造成工后差异沉降,新老路基拼接处由于沉降不同而产生顺直拼接裂缝,这些施工环节的质量缺陷在运营荷载和水环境的作用下逐渐发展成结构性病害。

2.2 路面材料与结构性能因素

路面材料性能衰减是病害发展的内在动力。沥青混合料的水稳定性是决定路面抗水损害能力的关键指标,当沥青和集料的粘附性不够好时,水分侵入之后就会使沥青膜从集料表面脱落,造成混合料松散、坑槽等病害。沥青材料的老化也不能忽略,沥青面层长期服役过程中由于氧化、紫外线的照射会变得越来越硬、越来越脆,抗裂性不断下降,路面在荷载、温度应力的作用下更容易出现疲劳开裂。结构设计层面的因素也不能被忽略,路面结构层厚度不够或者各个结构层模量不匹配的时候,路面长期处在结构承载能力饱和的状态下,路面表面容易出现轻微裂缝病害,随着运营期的延长,在雨水和交通荷载的作用下,基层会受到水损坏,从而导致其他病害的发生^[1]。半刚性基层固有的结构性裂缝造成沥青路面产生反射裂缝,如果不及时

封闭就会引起水害;土基的不均匀沉降造成面层病害,沉降和部分车辙也由此而来。反射裂缝已经成为困扰我国高等级公路的主要问题,在温度荷载和交通荷载的反复作用下,向上发展到面层,是半刚性基层沥青路面常见的结构性病害之一。

2.3 排水条件与自然环境因素

水是引起路基路面病害最活跃的环境因素,排水条件好坏直接影响水分对路基路面的侵蚀程度。公路项目中排水工程作业质量、环境温度、路基土质、土壤含水量等都会引起公路路基冻害。路基排水系统不健全的时候,地表水不能及时排出,在路基两侧积存,渗入路基后使土体含水量增大,强度明显下降。季节性冻土区冻融循环对路基路面的破坏更加严重,冬季路基土冻结时水分向冻结锋面迁移聚冰,产生不均匀冻胀,当地下水位较高时,由于地下水位的补给会使路基产生更大的不均匀冻胀。春季融化时路基土处于饱和状态,在车辆荷载的作用下产生翻浆冒泥。另外,伴随着城市化进程的不断推进,城市道路所承受的交通荷载压力也越来越大,在气候条件复杂的地方,经常出现强降雨、高湿的情况,使得道路路面在长时间内要承受重型车辆和高速交通流的影响,从而慢慢出现疲劳损伤以及应力集中等问题。由于气候温差变化太大,造成道路出现裂缝,雨水进入裂缝后会加重道路的破坏,环境因素和荷载因素的共同作用使得病害发展速度大大加快。

2.4 交通荷载与车辆作用因素

交通荷载是路基路面病害发生的主要力学因素,超载车辆的破坏作用特别大。车辆轴载对路面的破坏效应随轴重增大而呈非线性增长,当轴载超过设计标准时,路面结构层层底弯拉应力、路基顶面压应变明显增大,远远超过结构层的疲劳承载能力。路基压实度不够或者基层存在薄弱处时,重载交通的反复影响就会加快差异沉降的发展速度以及裂缝的延伸。日益严重的车辆超限行驶也加快了公路结构的破坏,超载车辆使路面各层层底应力和路表弯沉明显增大,从而造成重载路段路面容易出现早期破坏。路面结构层过低或者过薄,路面通行交通量大时,路面结构承载能力较低,在得不到及时有效的外力缓解作用下,路面长期处于结构承载能力饱和状态。同时交通荷载和水分^[2]、温度等其他因素之间存在着明显的耦合放大效应,裂缝在受到荷载反复作用时,其宽度会不断增大,给水分入渗创造了更为广阔的通道,而水分侵蚀又会使基层模量不断下降,从而减弱路面结构的承载能力,二者互相促进,使病害的发展速度加快。

表 1 公路路基路面病害成因分类表

病害类型	主要成因	影响因素	作用机理	易发部位
横向裂缝	温度应力、半刚性基层收缩	温差变化、基层材料	温度拉应力超过混合料抗拉强度	路面全幅，北方地区横向裂缝间距较规则
纵向裂缝	路基压实度不足、差异沉降	填料性质、施工质量	路基不均匀变形导致面层拉裂	行车道轮迹带、填挖交界处
龟裂与块裂	沥青老化、基层强度不足	材料性能、荷载	疲劳裂缝发展为网状开裂	行车道、交叉口附近
路基不均匀沉降	压实度不足、软弱地基	施工工艺、地质条件	土体压缩固结引起竖向变形	桥头、高填方、半填半挖段
冻胀与翻浆	水分迁移、冻融循环	地下水位、土质、温度	冻融作用降低土体强度	季节性冻土区低洼路段
松散与坑槽	水损害、沥青粘附性不足	集料性质、排水条件	沥青膜剥落导致集料散失	排水不畅路段、行车道
车辙	重载交通、混合料高温稳定性不足	荷载、温度、材料	荷载作用下永久变形累积	排水不畅路段、行车道

3 公路路基路面病害综合防治管理

3.1 建立全过程质量控制体系

病害防治的根本在于从建设源头控制质量，把防控关口前移到施工过程中。路基填筑工序要严格遵循分层填筑、分层压实的工艺标准，路基填筑时，分层碾压，每层虚方厚度不大于 30cm，桥涵、挡墙台后每层虚方厚度不大于 20cm，每一水平层均应采用同一种填料填筑。压实作业应在填料含水量接近最佳含水量（±2%）的时候进行，优先选用级配较好的粗粒土作为路堤填料。对于含水量偏高、黏性大的粘性土，应采用晾晒或者掺加石灰等方法使它达到压实标准，防止碾压时出现弹簧土。通过对填料指标、压实工艺、检测频率、验收标准的量化控制来形成一个完整的质量控制过程，从而降低路基病害率 30%以上，提高公路工程的耐久性、安全性。路面施工阶段要严格控制沥青混合料的拌和温度、摊铺温度以及碾压温度，以保证摊铺的均匀性及碾压的密实度。全过程质量控制体系还要加强材料进场检验、工序交接验收，形成从原材料到成品完整的质量记录，为后续运营阶段质量追溯提供依据。

3.2 完善病害检测与监测机制

病害早期识别是实施主动防治的前提，检测和监测机制的健全要从技术和制度两方面入手。技术上可以推广应用多功能检测车，CICS 多功能检测车以 40~80km 的速度行驶，对全车道进行路面损坏、平整度、车辙、裂缝等各种信息进行采集，并生成三维病害模型和全景影像。相比传统的手工检测，该设备单日检测里程提高 8 倍，检测误差率小于 1.5%，可以准确发现宽度小于等于 1mm 的细微裂缝，病害识别准确率为 100%。在监测制度上要形成定期检测和日常巡查相结合的常态化的监测机制，对路基沉降、边坡位移、排水设施运行状况等实行长期监测。对高填方路基、桥头段及地质情况复杂的地段，应设置沉降监测点及位移观测桩，采用高精度传感器连续采集结构健康数据，经由智能算法加以分析，迅速察觉到突发的风险状况并发出警报信息^[3]。检测数据的分析应用要创建统一

的数据库平台，把历次检测结果做纵向比较和趋势分析，从而达成病害发展态势的动态评价和预警。

3.3 推进预防性养护管理

预防性养护的基本思想就是把养护的时间提前到病害产生之前，用较少的成本阻止病害的发展。预防性公路养护是延长路面使用寿命、降低全寿命周期成本的重要方式，系统介绍了雾封层、稀浆封层、微表处、薄层罩面、碎石封层、灌缝 6 种预防性养护技术。路面早期裂缝要根据裂缝宽度选择不同的处治方法，宽度 0.2~0.5mm 的细微裂缝用改性灌缝胶密封，防止雨水渗入，宽度 0.5~1mm 的裂缝在灌缝的基础上粘贴抗裂贴缝带，提高路面抗拉伸能力，阻止裂缝扩大。对路面抗滑性能下降路段使用微表处封层技术，在路面铺设改性乳化沥青及耐磨集料的薄层，提高抗滑系数并封闭路面微小孔隙。对路基排水系统进行定期检查，边沟、截水沟、排水管等设施的完好性、通畅性要保持，及时清淤，保证地表水、地下水能顺利排出。预防性养护还要建立以路况检测数据为基础的养护决策模型，根据路面技术状况指标变化的趋势来科学地确定养护时机和养护方案，防止出现过度养护或者养护不足的情况。

3.4 提高病害处治技术水平

病害处治技术的提高要以精准诊断为根基，以规范施工为保证。在处治方案的确定上，要按照病害种类、严重程度以及形成原因来挑选相应的技术手段。路基沉陷病害换填施工要减少对老路基的扰动，及时做好开挖回填和防水排水工作；使用透水性材料作为回填材料时，要做好与既有排水设施的衔接。注浆加固中，承包人应按照处治目的和要求、材料性能、适用范围、固结体特性等选择水泥浆液、水泥-粉煤灰浆液或者其他注浆材料，对于早期强度要求较高的情况，可以加入适量的水玻璃来实现速凝效果。对于路基翻浆病害，换填材料应符合设计要求，设计未规定时，宜采用级配较好的砾类土、砂类土等粗粒土，填料最大粒径应小于 100mm，不得采用含草皮、生活垃圾、

树根、腐殖质的土^[4]。处治施工质量控制要严格按照相关技术规范执行,对于地下水位较高的路段,采用路床掺石灰换填等方法来减少地下水对路基的侵蚀,从根本上提高道路结构稳定性。同时积极引进新技术、新材料、新工艺,建立处治效果跟踪评价体系,对处治后路段性能变化进行持续监测,为以后养护决策提供反馈依据。

4 结语

公路路基路面病害防治是包含设计、施工、养护全过程的一个系统工程,它的效果是由对病害原因的准确认识以及对防治措施的正确实施所决定的。本文从病害特征入手,将成因分为路基填筑施工质量、路面材料结构性能、排水与自然环境、交通荷载四个维度,各个因素之间存在互相诱发、互相促进的耦合关系,决定了病害防治不能依靠单一措施,必须采取综合措施。从防治路径来说,创建全过程质量控制体系从源头上削减病害隐患,健全检测监测体系给早期干预赋予信息支撑,推进预防性养护在病害

萌芽期切断其发展,加强处治技术水准保证病害发生后修复成果。四个环节构成从预防到处治的完整链条,其有效运转还要依靠养护管理制度的不断健全、数字化技术手段的广泛使用。

[参考文献]

- [1]钟盛.公路路基路面病害成因与防治技术措施分析[J].科学技术创新,2024(15):187-190.
- [2]孙梁.公路路基路面病害成因及防治措施[J].交通世界,2021(11):68-69.
- [3]蒋名星.公路养护中路基路面病害的处治措施[J].交通世界,2023(16):113-115.
- [4]邓超.公路路基路面病害成因及处治措施[J].交通科技与管理,2023,4(12):138-140.

作者简介:戴林荫(1995—),毕业于长沙理工大学城南学院工程管理专业,现就职于新疆北新路桥集团股份有限公司,中级工程师。