

交通工程路面病害成因及处治研究

王 鹏

山东省路桥集团有限公司 山东 济南 250014

摘要: 交通工程路面质量直接关系到交通系统的安全与高效运行,本文聚焦交通工程路面病害成因及处治研究。对道路工程、机场道面、桥隧结构的病害分类与特征进行阐述,分析自然环境、材料与结构、荷载与使用等因素对病害形成的影响。介绍道路、机场、桥隧结构病害的处治技术体系,提出材料创新、工艺改进、智能监测与预防等处治技术优化方向,为提升交通工程路面质量、保障结构安全与使用性能提供参考。

关键词: 交通工程; 路面病害; 成因分析; 处治技术; 优化方向

引言: 交通工程作为基础设施建设的核心领域,其路面及结构质量关乎交通运行安全与效率。随着交通流量增大、重载车辆增多,各类路面病害问题日益凸显。道路出现裂缝、变形、松散等病害,影响行车舒适性与安全性; 机场道面病害威胁航班起降安全; 桥隧结构病害危及结构稳定性。深入研究路面病害成因,构建科学有效的处治技术体系,对提升交通工程整体质量、保障交通系统稳定运行具有重大意义。

1 路面病害分类与特征

1.1 道路工程病害

道路工程病害类型多样,裂缝类病害较常见。横向裂缝多因温度收缩应力,寒冷或昼夜温差大,路面材料收缩应力超抗拉强度便会出现^[1]。地基沉降也是重要因素,地基处理不当或地质复杂,局部下沉会拉裂路面。纵向裂缝源于路基不均匀沉降,路段压实度不一或填挖交界处理不当会引发。施工接缝缺陷不可忽视,接缝处理不精细,车辆反复荷载下易产生纵向裂缝。网状裂缝与材料老化、疲劳损伤相关,路面材料性能随时间衰减,车辆荷载及环境影响下,内部微小裂缝扩展成网状。变形类病害对路面使用性能影响大。车辙是高温稳定性不足和重载反复作用结果,高温下沥青软化,混合料抗剪强度降低,重载反复碾压使路面产生永久变形。沉陷多因地基承载力不足或水文地质变化,地基无法承受上部荷载会下沉,地下水位变化致土体性质改变也会引发路面沉陷。波浪拥包与层间粘结失效、基层强度不足有关,层间粘结不良使面层与基层相对滑动,基层强度不足无法有效分散荷载,致路面波浪起伏。松散类病害影响行车舒适性与安全性。坑槽与材料粘结性差、水损害有关,沥青与集料粘附性不佳,水分侵入和车辆荷载下集料易剥落形成坑槽。脱皮多因层间结合不良、养护不当,层间结合不良使层间在荷载作用下分离,养护

不及时或方法不当会加速脱皮。

1.2 机场道面病害

机场道面病害分为结构性断裂与功能性损伤。结构性断裂中,板角断裂是荷载应力集中与传力杆失效共同作用的结果,飞机起降时,道面板角部位承受较大荷载,若传力杆无法有效传递荷载,板角处应力集中,易产生断裂。接缝破裂主要受温度应力与嵌缝料老化影响,温度变化使道面板伸缩,嵌缝料老化后弹性降低,无法适应这种伸缩,导致接缝破裂。功能性损伤方面,表面磨损由轮胎摩擦与环境侵蚀造成,飞机轮胎与道面频繁摩擦,以及环境中的化学物质、紫外线等侵蚀,会使道面表面材料逐渐磨损。局部坑洞多因材料疲劳与重载冲击,在飞机重载反复冲击下,道面材料疲劳损伤积累,形成局部坑洞。

1.3 桥隧结构病害

桥隧结构病害包含桥面铺装病害与隧道衬砌病害。桥面铺装病害中,裂缝的产生与温度应力、结构变形有关,温度变化达25℃以上使桥面铺装层产生温度应力,桥梁结构变形达5mm以上也会对铺装层产生拉应力,当应力超过铺装层材料抗拉强度达3MPa以上时,便会出现裂缝,裂缝宽度达1mm以上。脱层是层间粘结失效与动载作用的结果,动载作用下,若层间粘结不良,铺装层与桥面板易发生分离,分离面积达2m²以上。隧道衬砌病害方面,渗漏水多因防水层失效或地下水压力,防水层施工质量不佳或老化失效达5年以上,地下水压力达0.5MPa以上作用下,水分会渗入隧道,渗漏水量达5L/min以上。衬砌开裂与围岩压力、施工缺陷有关,围岩压力达100kN/m²以上或施工时存在缺陷,会使衬砌结构受力不均,产生裂缝,裂缝长度达2m以上。

2 病害成因分析

2.1 自然环境因素

自然环境对路面及桥隧结构影响是多方面的。温度作用是引发多种病害重要原因,在道路和机场道面,温度收缩会使微小裂缝不断扩展。环境温度降低,材料收缩,裂缝两侧相互拉扯,致宽度和长度增加^[2]。寒冷地区,冻融循环对材料结构破坏严重,冬季水分渗入冻结膨胀挤压内部,春季融化形成空隙,反复冻融使材料结构疏松、强度降低,引发病害。水文作用不容忽视。雨水渗透是道路出现坑槽重要因素,通过路面裂缝或孔隙渗入基层,使基层材料含水量增、强度降,车辆荷载反复作用下渐失承载能力,最终致路面坑槽。地下水长期侵蚀桥隧地基,会使土体性质改变、承载力下降,引发地基沉降,影响结构稳定性。地质条件也会影响工程结构。软土地基压缩性高、强度低,道路工程中若处理不当,车辆荷载达 80kN/m^2 以上会发生不均匀沉降,致路面沉陷等病害,沉陷量达 3cm 以上。岩土体滑移会引发边坡失稳和隧道衬砌开裂,边坡受降雨达 50mm/h 以上、地震达5级以上等影响,内部应力改变超抗剪强度达 100kPa 以上时会滑移,危及稳定;隧道开挖时围岩压力不均或支护不及时,岩土体滑移达 1m 以上会致衬砌开裂。

2.2 材料与结构因素

材料性能劣化是引发病害的内在因素。沥青老化会使道路抗变形能力下降,随着使用时间增长,沥青中的轻质组分挥发,沥青变硬变脆,在高温和车辆荷载作用下,容易产生车辙等变形类病害。混凝土碳化会降低桥隧结构耐久性,空气中的二氧化碳与混凝土中的氢氧化钙反应,生成碳酸钙,使混凝土碱性降低,钢筋失去碱性保护,容易发生锈蚀,进而影响结构强度和耐久性。结构设计缺陷也会引发各种病害。层间粘结不足是桥面铺装脱层的重要原因,若桥面铺装层与桥面板之间粘结不紧密,在车辆荷载反复作用下,层间会产生相对滑动,导致脱层现象发生。排水系统失效会导致水损害问题,道路和机场排水不畅,雨水积聚在路面或道面,会加速材料老化,引发裂缝、坑槽等病害。

2.3 荷载与使用因素

交通荷载对工程结构的影响显著。重载车辆频繁通行会加速道路和机场的疲劳损伤,重载车辆对路面和道面的压力远大于普通车辆,在长期反复作用下,材料内部微小缺陷不断扩展,导致结构性能逐渐下降,出现裂缝、车辙等病害。动态荷载会引发桥隧结构振动,车辆行驶过程中产生的动态荷载会使桥隧结构产生振动,长期振动会导致结构连接部位松动,材料疲劳损伤加剧,影响结构安全。施工与养护不当也是病害产生的重要原因。道路施工中,若压实度不足,路基土体压实不紧

密,在车辆荷载作用下,路基会发生沉降,导致路面不平整。机场道面嵌缝料老化后若未及时更换,雨水会通过老化嵌缝料渗入道面结构内部,引发接缝破裂等病害。

3 病害处治技术体系

3.1 道路工程处治技术

裂缝是道路工程常见病害,针对不同类型裂缝有相应处治办法。灌缝常用改性沥青或密封胶,改性沥青粘结性和弹性良好,能填充裂缝、阻止水分侵入、防止扩展,可填充宽度达 5mm 以上裂缝^[3]。密封胶密封性能优异,可适应裂缝伸缩,保持密封,可填充宽度达 8mm 以上裂缝。贴缝技术分热黏式和自黏式贴缝胶,热黏式需加热后贴于裂缝表面,与周边材料紧密结合,适用于宽度达 3mm 以上裂缝;自黏式撕去保护膜粘贴,靠自身粘性固定,防水加固,适用于宽度达 2mm 以上裂缝。变形病害影响道路平整度和行车舒适性。铣刨重铺适用于局部车辙修复,用铣刨设备铣刨掉车辙部位路面材料,再铺筑新沥青混合料恢复平整度。就地热再生技术对大面积变形恢复效果显著,利用加热设备软化旧路面材料,添加再生剂和新料,经多道工序实现再生利用,恢复性能。松散病害中,坑槽热补用热拌沥青混合料,先清理坑槽、涂刷粘层油,再填入分层压实,使修补部位与原路面紧密结合。冷补技术用快速修补材料,无需加热,常温修补,施工快,适用于紧急抢修和小面积修补。

3.2 机场道面处治技术

机场道面断裂修复方面,板块更换用于严重断裂情况。当道面板断裂严重,无法通过其他方法修复时,需将破损板块拆除,重新浇筑新的道面板,确保道面结构完整性和承载能力,更换板块面积达 2m^2 以上。灌浆加固针对板底脱空问题,通过向板底注入水泥浆或化学浆液,填充脱空区域,恢复板底支撑,提高道面板承载能力,灌浆量达 0.5m^3 以上。接缝维护是保障机场道面正常使用的重要环节。嵌缝料更新选用硅酮或聚氨酯材料,这些材料具有良好弹性和耐久性,能有效适应道面板伸缩,防止水分和杂物侵入接缝,延长接缝使用寿命,嵌缝长度达 50m 以上。接缝拓宽可防止应力集中,通过适当拓宽接缝宽度达 2cm 以上,减少道面板在温度变化和荷载作用下的应力集中现象,降低接缝破裂风险。

3.3 桥隧结构处治技术

桥面铺装修复中,薄层罩面采用高弹改性沥青,在桥面铺筑一层薄的高弹改性沥青层,可提高桥面抗滑性能和防水性能,改善行车条件。结构补强使用钢纤维混凝土,钢纤维的加入可显著提高混凝土的抗拉、抗剪和抗裂性能,增强桥面铺装结构强度,延长使用寿命。隧

道衬砌加固方面,注浆加固包括围岩注浆和衬砌背后空洞填充。围岩注浆可改善围岩物理力学性能,提高围岩稳定性;衬砌背后空洞填充能消除衬砌背后空洞,使衬砌受力均匀。碳纤维布加固利用碳纤维布高强度、高弹性的特点,将其粘贴在隧道衬砌表面,可有效增强衬砌抗裂能力,提高结构安全性。

4 处治技术优化方向

4.1 材料创新

在道路、机场及桥隧结构的病害处治中,材料创新是提升处治效果的关键^[4]。高性能沥青混合料成为重点研发方向之一。这类混合料具备出色的抗车辙能力,在高温环境下,车辆反复碾压下不易产生变形,能有效保持路面平整度,延长道路使用寿命。同时,抗老化性能也显著提升,可抵御紫外线、氧化等因素的侵蚀,减缓材料性能衰减速度,降低后期维护成本。针对机场道面应急修复需求,快速固化修补材料应运而生。机场道面在运行过程中,一旦出现病害需及时修复,否则会影响航班起降安全。快速固化修补材料能在短时间内达到较高强度,满足机场快速恢复运营的要求。这种材料固化速度达2h以内,施工后短时间内即可开放交通,大大缩短了机场道面修复时间,减少对航班正常运行的干扰,修复时间缩短达4h以上。

4.2 工艺改进

工艺改进对于提高病害处治质量与效率至关重要。无损检测技术为病害精准定位提供了有力手段。传统的病害检测方法往往需要对结构造成一定破坏,而无损检测技术利用声波、电磁波等原理,在不损伤结构的前提下,准确检测出病害位置、程度等信息。通过对检测数据的分析,可制定更具针对性的处治方案,提高处治效果,检测精度达1mm以上。机械化施工是提高修复效率的重要途径。在病害处治过程中,采用机械化设备可实现快速、高效的施工操作。例如,在道路坑槽修复中,使用专业的机械化修补设备,可完成坑槽清理、材料填充、压实等一系列工序,大大缩短施工时间。机械化施工还能保证施工质量的一致性,减少人为因素对施工质

量的影响,提升整体修复水平。

4.3 智能监测与预防

智能监测与预防技术的应用为病害处治带来了新的变革。结构健康监测系統可实时评估病害发展情况。通过在道路、桥隧结构中布置各类传感器,实时采集结构的应力、应变、位移等数据,利用数据分析技术对结构健康状况进行评估。一旦发现异常情况,及时发出预警,以便采取相应措施进行处理,防止病害进一步恶化^[5]。预测性维护基于大数据的病害预警成为未来发展趋势。通过对大量历史病害数据、运行数据等进行分析,挖掘病害发生规律,建立预测模型。利用该模型可提前预测病害可能发生的时间、位置及程度等信息,为维护决策提供科学依据。提前安排维护工作,将病害消除在萌芽状态,降低病害对结构安全和使用功能的影响,实现从被动维修向主动预防的转变。

结束语

交通工程路面病害成因复杂,处治技术需不断优化。材料创新可提升处治效果,高性能沥青混合料与快速固化修补材料等为病害修复提供有力支撑。工艺改进借助无损检测与机械化施工,提高病害定位精度与修复效率。智能监测与预防技术实现病害实时评估与提前预警。通过多方面优化,能有效提升交通工程路面质量,降低病害发生率,保障交通工程结构安全与使用性能,推动交通事业持续健康发展。

参考文献

- [1]张航.公路交通工程路面养护工程病害成因及处治研究[J].现代工程科技,2025,4(6):145-148.
- [2]吴宇.高速公路路面结构结合部病害成因及处治措施[J].交通世界,2025(21):53-55,61.
- [3]陆晶晶,李康.柔性沥青路面病害成因分析及修复措施研究[J].建筑机械,2025(1):16-21.
- [4]薛毅,陶新宇,张秋晨,等.大山塘隧道路面水泥混凝土病害处治研究[J].西部交通科技,2025(10):91-93.
- [5]赵庆,祝学勇,李鑫鑫.重载交通下沥青路面车辙形成机理及处治技术研究[J].山东交通科技,2024(2):54-57.