

路基路面常见病害分析与防治措施

赵 强

青岛鑫隆公路建设工程有限公司 山东 胶州 266300

摘 要：路基路面作为公路工程的核心组成部分，其稳定性直接关系到公路使用寿命与行车安全。然而，受地质条件、气候环境、施工工艺及交通荷载等多重因素影响，路基路面病害频发，导致路面平整度下降、结构强度衰减，甚至引发交通中断。本文系统分析了路基沉陷、边坡滑塌、路面裂缝、翻浆等典型病害的成因机制，结合工程案例提出针对性防治措施，并探讨新材料、新技术在病害治理中的应用前景，为公路养护决策提供理论依据。

关键词：路基病害；路面裂缝；防治措施；工程加固；智能监测

1 引言

我国公路总里程已突破530万公里，高速公路里程达18万公里，形成了以高速公路为骨架的交通网络。然而，随着交通量持续增长与重载车辆比例提升，路基路面病害问题日益突出。据统计，全国公路养护里程占比达99.4%，其中路基病害处理费用占养护总预算的30%以上。病害不仅导致路面使用寿命缩短，还可能引发交通事故，造成重大经济损失。因此，系统分析病害成因并制定科学防治策略，成为公路工程领域亟待解决的关键问题。

2 路基常见病害及成因分析

2.1 路基沉陷

路基沉陷主要表现为路基在垂直方向产生不均匀沉降，进而导致路面出现波浪形变形或断板裂缝，严重影响行车舒适性与安全性。其成因复杂多样，填料缺陷是重要因素之一。当使用淤泥、冻土或含有机质的软弱土作为填料时，这类土体的压缩系数往往超过 0.5MPa^{-1} ，在车辆荷载的反复作用下，易产生显著的塑性变形。压实不足也是导致路基沉陷的常见原因。若分层填筑厚度超过30cm或压实度低于93%（重型击实标准），土体内部将存在大量孔隙，在荷载作用下，这些孔隙会逐渐被压缩，导致路基沉降。此外，地基软弱同样不可忽视。当原地面为泥沼、流沙或垃圾堆积层时，其承载力往往不足50kPa，难以承受路基的自重，进而在路基作用下发生侧向挤出，引发路基沉陷。

2.2 边坡滑塌

边坡滑塌是路基工程中另一种常见的病害类型，主要表现为土体沿滑动面整体或局部失稳，根据失稳范围的不同，可分为溜方（浅层滑动）与滑坡（深层滑动）两类。边坡滑塌的成因与坡度设计、水文作用及施工扰动等因素密切相关。坡度设计不当是引发边坡滑塌的重

要原因之一。当填方边坡坡率陡于1:1.5时，其安全系数将降低至1.0以下，边坡稳定性难以保证。水文作用对边坡稳定性的影响也不容忽视^[1]。坡面径流冲刷会导致表层土流失，形成冲沟，进而削弱边坡的抗滑能力；地下水渗透则会降低土体的抗剪强度，使边坡更容易发生失稳。此外，施工扰动也是引发边坡滑塌的重要因素。爆破开挖或机械振动会破坏岩体结构面，导致节理裂隙发育，进而降低边坡的稳定性。

2.3 路基翻浆

路基翻浆是季节性冻土区或排水不畅地区常见的病害类型，主要表现为春融期或雨季路基含水量骤增，在行车荷载作用下出现弹簧、冒浆等现象，严重影响道路的使用性能。冻融循环是引发路基翻浆的主要原因之一。在季节性冻土区，路基土含水量往往超过液限，冻结时体积膨胀10%-15%，形成冰晶体；融化时冰晶体融化成水，导致路基土体含水量骤增，形成软塑状土体。在行车荷载作用下，这种软塑状土体容易发生变形和破坏，进而引发翻浆。排水不畅也是导致路基翻浆的重要因素。边沟堵塞或盲沟失效会导致地表水渗入路基内部，使地下水位上升至路基工作区。当地下水位上升至一定高度时，路基土体将处于饱和状态，其强度将显著降低。此外，土质不良也会加剧路基翻浆的发生。粉质黏土或黏性土的渗透系数小于 10^{-6}cm/s ，水分难以排出，容易在路基内部积聚。

3 路面常见病害及成因分析

3.1 沥青路面裂缝

沥青路面裂缝是公路工程中最为常见的病害之一，主要包括横向裂缝、纵向裂缝与网状裂缝三种类型。裂缝的出现不仅影响路面的平整度，还会降低路面的结构强度和使用寿命。温度收缩是引发沥青路面裂缝的重要原因之一。沥青混合料具有热胀冷缩的性质，其线膨胀

系数为 $2.5 \times 10^{-5}/^{\circ}\text{C}$ 。在冬季低温条件下,沥青混合料会收缩产生拉应力;当拉应力超过沥青混合料的抗拉强度时,就会产生裂缝。基层反射也是导致沥青路面裂缝的重要原因。半刚性基层在硬化过程中会产生收缩裂缝,这些裂缝会向上扩展至沥青面层,形成反射裂缝。红外热成像检测显示,裂缝处温度梯度达 $15^{\circ}\text{C}/\text{m}$,这表明裂缝处存在明显的应力集中现象。荷载疲劳也是引发沥青路面裂缝的重要因素。随着交通量的不断增加和重载车辆比例的提升,沥青路面承受的荷载作用越来越频繁和强烈。当重载车辆轴载超过 130kN 时,面层底部拉应力将增加40%,加速裂缝的扩展和发育。

3.2 水泥混凝土路面断板

水泥混凝土路面断板是另一种常见的路面病害类型,主要表现为板块出现横向或纵向断裂。断板的出现会破坏路面的整体性,降低路面的使用性能和使用寿命。基层失稳是引发水泥混凝土路面断板的重要原因之一。基层材料抗冲刷能力不足时,在行车荷载作用下会产生唧泥现象,即水分和细料在荷载作用下从接缝或裂缝处挤出,形成泥浆。唧泥现象会导致基层材料流失和板底脱空,进而降低路面的承载能力^[2]。温度应力也是导致水泥混凝土路面断板的重要因素。昼夜温差会导致混凝土板产生翘曲应力,当翘曲应力超过混凝土的抗折强度时,就会发生断裂。接缝损坏同样不可忽视。传力杆锈蚀或填缝料老化会导致接缝传荷能力下降,使接缝处产生应力集中现象。接缝处应力集中系数达1.8~2.5,这显著增加了接缝处发生断裂的风险。

4 病害防治技术体系

4.1 设计阶段防治措施

设计阶段是预防路基路面病害的关键环节。通过地质勘察精细化、结构组合优化和排水系统完善等措施,可以有效提高路基路面的稳定性和耐久性。地质勘察精细化要求采用地质雷达与钻探相结合的方式,全面查明地下水位、软弱土层分布及不良地质体等情况。某高速公路通过三维地质建模技术,对12处高填方路段进行了优化设计,减少了填方量 18万m^3 ,显著降低了工程造价和施工难度。结构组合优化是提高路基路面稳定性的重要手段。在路基设计中,可以设置30cm级配碎石垫层+20cm水泥稳定碎石底基层,提高路基的整体刚度和承载能力。在路面设计中,可以采用SBS改性沥青+玄武岩纤维的复合结构,提高路面的抗车辙能力和抗裂性能。试验表明,这种复合结构路面的抗车辙能力比普通沥青路面提高了40%以上。排水系统完善是防止路基路面病害的重要保障。在路基设计中,可以设置纵向盲沟(直

径10cm软式透水管)与横向排水管(间距10m),降低地下水位,防止地下水对路基的浸泡和软化。在路面设计中,可以采用透水沥青面层+防水黏结层+刚性基层的“三明治”结构,减少水分渗入路面内部,保护基层和路基不受水损害。

4.2 施工阶段质量控制

施工阶段是确保路基路面质量的重要环节。通过填筑材料改良、压实工艺优化和边坡防护强化等措施,可以有效提高路基路面的施工质量和稳定性。填筑材料改良是提高路基稳定性的重要手段。对于软弱土等不良填料,可以采用掺入水泥、石灰或砂砾等方法进行改良。例如,掺入5%~8%水泥进行固化的软弱土,7d无侧限抗压强度可达 1.5MPa 以上,满足路基填筑的要求。对于高液限土等含水量较高的填料,可以采用掺入30%砂砾或石灰的方法进行改良,降低其塑性指数至15以下,提高其压实性能和稳定性^[3]。压实工艺优化是确保路基压实质量的关键。采用振动压路机(激振力 300kN)与冲击压路机(冲击能量 30kJ)组合碾压的工艺,可以显著提高路基的压实度。试验表明,采用这种组合碾压工艺的路基压实度比传统碾压工艺提高了2%~3%,有效减少了路基的工后沉降。边坡防护强化是防止边坡滑塌的重要措施。可以采用生物防护与工程防护相结合的方法进行边坡防护。生物防护方面,可以种植紫穗槐(根系深度2m)与狗牙根(覆盖度95%)等植物,其固土能力达 $0.8\text{kg}/\text{m}^2$,可以有效防止边坡土体的流失。工程防护方面,可以采用C25混凝土拱形骨架护坡,骨架间距 $3\text{m} \times 3\text{m}$,抗冲刷能力比传统护坡提高了5倍以上。

4.3 养护阶段维修技术

养护阶段是保持路基路面良好使用性能的重要环节。通过裂缝修复技术、断板处理技术和滑坡治理技术等措施,可以及时修复路基路面的病害,延长其使用寿命。裂缝修复技术是处理沥青路面裂缝的有效方法。对于宽度较小的裂缝,可以采用开槽灌缝的方法进行处理。使用密封胶(黏度 $150\text{--}300\text{Pa} \cdot \text{s}$)进行灌缝处理,可以有效防止水分渗入裂缝内部,延缓裂缝的扩展。对于宽度较大的裂缝或网状裂缝,可以采用贴缝带(抗拉强度 $\geq 15\text{MPa}$)进行处理。贴缝带具有良好的柔韧性和抗拉强度,可以有效封闭裂缝,防止水分和杂物进入裂缝内部。试验表明,采用开槽灌缝与贴缝带组合处理的方法,裂缝复发率可降低60%以上。断板处理技术是处理水泥混凝土路面断板的有效方法。对于局部损坏的板块,可以采用快凝混凝土(3h强度达 20MPa)进行板块置换处理。快凝混凝土具有早期强度高、施工速度快等优点,

可以在短时间内恢复路面的使用性能。对于全深度损坏的板块,可以设置传力杆(直径28mm,间距30cm)与拉杆(直径16mm,间距75cm)进行补强处理。传力杆和拉杆可以有效传递荷载,提高板块的整体性和承载能力。试验表明,采用这种补强处理方法后,接缝传荷能力可恢复至85%以上。滑坡治理技术是处理路基边坡滑塌的有效方法。对于小型滑坡,可以采用抗滑桩进行治理^[4]。抗滑桩采用直径2m的钢筋混凝土桩,桩间距6m,嵌入稳定岩层深度不小于1/3桩长。抗滑桩可以有效抵抗滑坡体的推力,防止滑坡的进一步发展。对于大型滑坡,可以采用预应力锚索进行治理。预应力锚索设计吨位500kN,锚固段长度8m,安全系数取1.8~2.0。预应力锚索可以通过预应力作用将滑坡体与稳定岩体连接在一起,提高滑坡体的稳定性。

5 新技术应用与展望

5.1 智能监测技术

智能监测技术是未来路基路面病害防治的重要发展方向。通过光纤光栅传感器和无人机巡检等技术的应用,可以实现对路基路面病害的实时监测和预警。光纤光栅传感器具有高精度、长寿命和抗电磁干扰等优点,可以在路基中埋设FBG传感器,实时监测应变(分辨率 $1\mu\epsilon$)与温度(精度 $\pm 0.1^\circ\text{C}$)等参数。当监测到异常数据时,可以及时发出预警信号,提前48h预警路基变形等病害的发生,为养护决策提供科学依据。无人机巡检技术具有高效、灵活和全面等优点,可以搭载高分辨率相机(像素2000万)与红外热成像仪等设备,自动识别裂缝(精度0.5mm)与翻浆区域等病害。与人工巡检相比,无人机巡检效率提高了5倍以上,可以大大缩短巡检周期和降低巡检成本。

5.2 绿色养护材料

绿色养护材料是未来路基路面养护的重要发展方向。通过采用生物基固化剂和再生沥青混合料等绿色养护材料,可以降低养护成本、减少环境污染和实现资源

循环利用。生物基固化剂采用木质素磺酸盐与纳米二氧化硅复合材料制成,可以替代传统水泥固化软弱土。与水泥相比,生物基固化剂具有碳排放低、环保性能好等优点,碳排放可降低70%以上。再生沥青混合料通过回收旧沥青路面材料(RAP料)并掺配一定比例的新沥青和新集料制成,可以实现旧料利用率90%以上。与全新沥青混合料相比,再生沥青混合料成本降低了30%以上,同时减少了废旧沥青路面材料的堆放和环境污染。

5.3 3D打印技术

3D打印技术是未来路基路面养护和修复的重要发展方向。通过采用3D打印技术制造定制化护坡构件和快速修复模具等,可以实现个性化定制、快速施工和降低成本等目标。定制化护坡构件可以根据复杂地形和边坡稳定性要求进行个性化设计,采用3D打印技术制造异形混凝土护坡模块。与传统护坡构件相比,定制化护坡构件具有适应性强、施工周期短等优点,施工周期可缩短60%以上。

结语

路基路面病害防治需贯穿公路全生命周期,通过地质勘察精细化、结构组合优化、施工工艺标准化与养护技术智能化,可显著提升公路耐久性。未来应加强多源数据融合的智能监测系统研发,推广绿色养护材料与3D打印技术,构建“预防-治理-修复”一体化管理体系,为交通强国建设提供技术支撑。

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]廉建辉.公路工程路基路面常见病害及防治对策[J].大众标准化,2023,(23):88-90.
- [3]石强强.关于路基路面的常见病害及防治措施研究[J].居舍,2020,(02):189.
- [4]许康.道路桥梁过渡段路基路面常见病害及防治措施[J].交通世界,2021,(09):18-19.