

道路工程路基路面病害治理研究

柴玉婷

宁夏公路勘察设计院有限责任公司 宁夏 银川 750000

摘要:随着我国公路建设快速发展,道路服役过程中路基路面病害频发,严重影响通行安全与使用寿命。本文梳理了路基沉陷、边坡滑塌等病害特征与路面裂缝、车辙等病害表现;其次从自然环境、设计施工、交通维护三方面剖析病害成因;最后针对性研究路基病害治理技术(换填法、抗滑桩等)、路面病害治理技术(灌缝法、换板处理等)及预防性养护技术(稀浆封层、微表处等),并明确各技术适用场景与质量控制要点。研究通过室内试验与工程实践结合,提出差异化治理方案,为提升道路工程耐久性、降低养护成本提供技术支撑,对同类地区道路病害治理具有参考价值。

关键词:道路工程;路基路面病害;治理技术

引言:宁夏地区受气候、地质条件影响,道路工程路基路面病害问题尤为突出。当前虽有相关病害治理研究,但多聚焦单一技术,缺乏系统的类型、成因与技术适配分析,难以满足复杂工程需求。开展道路工程路基路面病害治理研究,可填补现有研究空白,完善治理理论体系。同时为宁夏及相似地区公路养护提供科学方案,减少病害造成的经济损失,保障交通网络高效运行。

1 道路工程路基路面常见病害类型及特征分析

1.1 路基常见病害类型及特征

路基沉陷多表现为路基局部或整体下沉,路面出现低洼,发展中易伴随裂缝,会削弱路基承载能力,影响道路平整度。路基边坡滑塌可见边坡土体失稳下滑,严重时覆盖路面,初期多有裂缝显现,直接破坏路基整体稳定性。路基冻胀与翻浆在低温时路基隆起、路面开裂,春季解冻后路基软化、路面变形泥泞,会反复损伤路基结构,降低其耐久性,不同病害特征为后续选择换填、加固等治理方案提供依据。

1.2 路面常见病害类型及特征

沥青路面裂缝多呈横向、纵向或网状,初期细缝易扩展,会导致雨水渗入基层;车辙表现为轮迹处永久凹陷,影响通行舒适性;松散为表层材料脱落,坑槽则是局部破损形成凹陷,这些病害均会降低路面抗损能力。水泥混凝土路面断板为板块断裂,裂缝多贯穿板厚;错台是相邻板块高度差,唧泥为板底泥浆溢出,此类病害会破坏路面结构完整性,其特征差异可指导后续选择灌缝、铣刨重铺或换板等针对性治理方案^[1]。

2 道路工程路基路面病害成因分析

2.1 自然环境因素的直接作用

自然环境是诱发路基路面病害的基础因素,通过长

期物理、化学作用改变结构状态。降水渗透路基会增加土体含水率,降低黏聚力与内摩擦角,导致承载力下降,引发沉降、变形;同时雨水冲刷路面表层,破坏材料整体性。温度变化使路面材料热胀冷缩,反复波动产生的交变应力长期积累易致裂缝;季节性冻土区低温让路基水分冻结膨胀形成冻胀,春季解冻后土体强度骤降,进而引发翻浆,破坏路基稳定性。此外,地质条件差异也会影响病害,如软弱地基因承载力不足易致路基沉陷,酸性土壤可能化学侵蚀路面基层材料,削弱结构强度。

2.2 设计与施工环节的先天缺陷

设计阶段若对区域自然条件勘察不足,未结合地质、水文优化结构参数,会使结构承载能力与实际需求不匹配,长期使用易出现过度损伤。施工中原材料质量管控不严,使用不合格砂石、沥青或水泥,会直接降低路基路面整体强度与耐久性;施工工艺不规范,会导致结构内部出现空隙、分层等缺陷,降低抗变形能力。设计与施工衔接不畅,如施工擅自调整图纸工序或参数,会破坏设计合理性,加剧病害风险。

2.3 交通荷载与运营维护的持续影响

交通量增长背景下,超载、重载车辆频繁通行,产生远超设计预期的竖向应力与水平推力,导致路面车辙、基层疲劳破坏,同时加速路基土体压缩变形。交通荷载反复作用还会使路面材料产生累积损伤,超过承受极限即出现裂缝、松散等病害。运营维护中,若未定期检测评估,或发现初期病害后未及时养护,会让微小病害扩大;且养护措施选择不合理,不仅无法根治病害,还可能引发新问题,缩短道路使用寿命^[2]。

3 路基病害治理技术

3.1 路基沉陷治理技术

路基沉陷治理需依成因选以下适配技术,核心是改善土体结构或增强承载力。(1)换填法适用于沉陷浅、范围小且地下水位低的场景,开挖后分层回填级配砂石等材料,每层压实度 $\geq 93\%$ (重型击实),质量控制侧重材料级配与压实度检测,优势是施工简便、见效快,成本随深度增加上升,浅表层经济性最优。(2)注浆加固法针对深层或隐蔽性沉陷,钻孔注入水泥浆等,凝固后胶结土体,施工需控压力、注浆量与浆液配比,质量靠钻孔取芯与载荷试验验证,对深层沉陷适应性强,但需结合地质定参数,周期较长。(3)强夯法适用于粗颗粒土路基,用10-40t重锤从6-20m高度落下压实土体,施工划分夯击能级与点位,黏性土需间隔7-14d,质量通过夯沉量与原位测试评估,加固范围广、成本低,但对周边有振动,需避敏感区。(4)灰土挤密桩法用于湿陷性黄土路基,成孔后填灰土夯实形成复合地基,控桩径(300-600mm)与压实系数(≥ 0.97),质量检测桩身完整性与承载力,能消除湿陷性,但对机械精度要求高。

3.2 路基边坡滑塌治理技术

治理要先分析稳定性因素(坡度、土体抗剪强度等),通过以下技术组合实现抗滑与排水,核心是提抗滑力、降下滑力。(1)抗滑桩适用于深层滑塌(滑面 $\geq 5\text{m}$),在滑体前缘设0.8-2.0m直径钢筋混凝土桩,桩长超滑面3-5m,设计依推力算内力定间距(2-5m)与配筋,施工控垂直度与浇筑质量,质量靠超声检测与抗滑力验算,抗滑能力强但难度大、成本高。(2)挡土墙针对浅层滑塌或陡坡,分重力式、悬臂式(8-12m高)等,靠自重或结构强度抗推力,施工控砌筑质量与基底承载力,需配套排水防积水,施工简便、适应性广。(3)锚杆(索)加固用于岩质边坡,钻孔植入后施预应力(100-500kN),设计定长度(锚固段超滑面2-3m)、间距与预应力,施工控钻孔角度(偏差 $\leq 1^\circ$)与注浆饱满度,质量靠张拉试验验证,对岩质边坡效果好,需定期查预应力损失。(4)植被防护适用于边坡稳定但易风化场景,种固土植物,依气候选品种,控密度(灌木3-5株/ m^2 ,草本覆盖率 $\geq 90\%$),施工先平整边坡铺植生毯,质量看成活率($\geq 85\%$)与水土流失,环保经济但抗滑弱,需配工程措施。(5)截排水系统是基础,含坡顶截水沟(宽 $\times$ 深0.4 $\times$ 0.4m)、坡面排水沟与坡底盲沟,控纵坡 $\geq 0.3\%$,施工做防渗处理,质量靠通水试验验证。

3.3 路基冻胀与翻浆治理技术

季节性冻土区治理核心是控水分迁移、改土体冻胀性或阻断冻融,需结合冻土类型与含水率选以下技术。(1)换填非冻胀性材料适用于冻层 $\leq 1.5\text{m}$ 、含水率高

的路基,换填砂砾等($\leq 5\text{mm}$ 颗粒 $< 15\%$),分层压实度 $\geq 96\%$,深度超冻深0.3-0.5m,质量控材料级配与压实度,能消冻胀源但成本随换填量增加,适用于局部严重区。(2)设置隔温层针对冻深 $> 1.5\text{m}$ 场景,铺EPS板等(导热系数 $\leq 0.04\text{W}/(\text{m}\cdot\text{K})$),依冻深定厚度(50-150mm),施工确保拼接紧密,上下铺土工布防老化,质量靠导热系数检测与温度监测,施工简便、效果稳定。(3)优化排水系统是关键,含地表与地下排水,控地下水位在冻深下0.5m,盲沟填碎石包土工布防堵,纵坡 $\geq 0.5\%$,质量靠通水与水位监测,需配其他措施,单用于轻度冻胀区。(4)掺加化学改良剂适用于黏性土路基,掺3%-8%石灰或2%-5%水泥等,路拌机拌和压实,质量靠击实试验定参数,检测冻胀率($\leq 1\%$),成本低、适用性广,需防环境影响。(5)经冻融循环试验(20-30次)与现场监测,冻层浅、含水率高区用换填法,冻深大且成本不敏感工程用隔温层,大面积黏性土路基用化学改良剂,排水系统全程配套。严寒区用“隔温层+换填+排水”,温和区选“化学改良+排水”,确保冻胀量 $\leq 50\text{mm}$ 、融沉系数 $\leq 0.05^{[3]}$ 。

4 路面病害治理技术

4.1 沥青路面病害治理技术

沥青路面病害治理要根据以下病害类型匹配针对性技术。(1)裂缝治理分灌缝法与贴缝法。灌缝法适用于宽度5-15mm的裂缝,施工需先清缝(用高压空气或钢丝刷清除杂物),再加热灌注专用密封胶(如改性沥青灌缝胶),控制胶体温控(180-220 $^\circ\text{C}$)与灌注饱满度,表面需刮平压实,质量控制重点是密封胶与缝壁黏结性,避免出现脱空;贴缝法适用于宽度 $\leq 5\text{mm}$ 的细微裂缝,选用自粘式贴缝带,施工前清理裂缝表面灰尘与水分,确保贴缝带与路面贴合紧密,边缘压实无气泡,该技术施工速度快,适合低温或紧急养护场景。(2)车辙治理以铣刨重铺与沥青再生技术为主。铣刨重铺适用于车辙深度 $\geq 15\text{mm}$ 的严重病害,先铣刨车辙区域沥青层清理铣刨面后喷洒粘层油,再摊铺新沥青混合料,控制摊铺温度(160-180 $^\circ\text{C}$)与压实度($\geq 96\%$),质量检测路面平整度与构造深度;沥青再生技术(现场热再生)适用于车辙较浅且基层完好场景,通过加热机软化旧沥青层,铣刨后掺入再生剂与新料,重新拌和摊铺,施工需控加热温度(140-160 $^\circ\text{C}$)与再生剂掺量(通常3%-5%),该技术能节约原材料,减少废料排放。(3)松散与坑槽治理侧重局部修补。松散治理需清除松散表层(深度2-3cm),清理后喷洒透层油,铺筑薄层沥青混合料并压实;坑槽治理需按“圆洞方补”原则切割坑槽,

清除破损材料后刷黏层油, 分层回填沥青混合料, 每层压实度 $\geq 95\%$, 质量控制坑槽边缘与原路面衔接平顺, 避免跳车。

4.2 水泥混凝土路面病害治理技术

水泥混凝土路面病害治理要针对以下断板、裂缝、错台、唧泥等问题, 结合病害严重程度选择修复技术。

(1) 断板治理分注浆修复、植筋加固与换板处理。注浆修复适用于裂缝宽度 $\leq 3\text{mm}$ 且板体无明显松动的断板, 钻孔后注入水泥浆或环氧树脂浆液, 控制注浆压力 ($0.2\text{--}0.5\text{MPa}$), 确保浆液填充板底空隙与裂缝, 质量检测注浆饱满度与板体平整度; 植筋加固适用于裂缝宽度 $3\text{--}5\text{mm}$ 的断板, 在断板两侧钻孔植入钢筋, 灌注结构胶固定, 表面浇筑混凝土找平层, 施工需控钢筋间距 ($20\text{--}30\text{cm}$) 与结构胶固化时间; 换板处理适用于严重断板 (裂缝宽 $\geq 5\text{mm}$ 或板体松动), 先破碎旧板并清理基层, 铺设土工布或沥青封层, 浇筑新混凝土板 (强度等级 C30-C40), 设置传力杆与拉杆, 养护时间 $\geq 7\text{d}$ (洒水养护), 质量控制新板厚度 (与原板一致)、平整度与相邻板高差 ($\leq 3\text{mm}$)。 (2) 裂缝治理以压力灌浆与贴碳纤维布为主。压力灌浆适用于非结构性裂缝 (宽度 $\leq 2\text{mm}$), 清理裂缝后嵌入泡沫条, 沿缝粘贴胶带形成灌浆通道, 注入低黏度环氧树脂浆液, 压力控制 $0.1\text{--}0.3\text{MPa}$, 固化后去除胶带; 贴碳纤维布适用于结构性裂缝 (宽度 $\geq 2\text{mm}$), 打磨裂缝表面至平整, 涂刷底胶与找平胶, 粘贴碳纤维布 (单层或双层, 宽度 $10\text{--}20\text{cm}$), 压实后养护, 质量检测碳纤维布黏结强度 ($\geq 2.5\text{MPa}$)。 (3) 错台与唧泥治理需同步处理板底与接缝。错台治理先检测错台高度, 磨平法用路面铣刨机打磨高板边缘, 控制打磨深度 ($\leq 10\text{mm}$); 顶升法在板角或板边钻孔, 用千斤顶顶升低板至设计标高, 板底注入水泥浆填充空隙, 养护后恢复路面; 唧泥治理需清除板底泥浆, 钻孔注入水泥粉煤灰浆液, 增强基层承载力,

同时清理接缝, 更换老化填缝料, 防止雨水渗入板底。

4.3 路面预防性养护技术

路面预防性养护要在病害前或初期实施, 主要技术如下: (1) 稀浆封层适用于沥青路面早期松散、抗滑下降, 拌乳化沥青等成稀浆摊铺 (厚 $3\text{--}5\text{mm}$), 控稠度 ($2\text{--}3\text{cm}$)、摊铺速度 ($3\text{--}5\text{km/h}$), 养护 $\geq 4\text{h}$, 检测厚度与抗滑系数 ($\geq 55\text{BPN}$), 成本低、适大面积。 (2) 微表处用改性乳化沥青, 适沥青路面轻度车辙 ($\leq 5\text{mm}$) 与裂缝, 摊铺厚 $5\text{--}10\text{mm}$, 控油石比 ($6\%\text{--}8\%$)、碾压 $2\text{--}3$ 遍, 高温下 1h 开放交通, 寿命 $3\text{--}5$ 年。 (3) 薄层罩面铺 SMA 等混合料 (厚 $2\text{--}4\text{cm}$), 适沥青路面平整度下降或微裂缝, 前喷粘层油, 控温 ($170\text{--}190^\circ\text{C}$) 与压实度 ($\geq 97\%$), 改善使用性能。 (4) 裂缝密封填弹性料 (如聚氨酯), 适水泥路面初裂 ($\leq 2\text{mm}$), 控嵌入深度 ($\geq 10\text{mm}$), 每年 $1\text{--}2$ 次^[4]。

结束语: 本文围绕道路工程路基路面病害治理展开全面研究, 明确了路基路面主要病害类型及特征, 揭示了自然、设计施工、交通维护多因素对病害的诱发机制, 提出了适配不同病害的治理技术与预防性养护方案, 且经分析验证了技术的有效性与经济性。未来可依托智慧检测技术, 构建病害预测模型, 实现病害精准防控, 推动道路工程病害治理向智能化、长效化方向发展。

参考文献

- [1] 庞海宗. 道路工程中路基路面运用的病害治理对策研究[J]. 价值工程, 2020, 39(16): 161-163.
- [2] 李城. 道路工程中路基路面运用的病害治理对策研究[J]. 建材与装饰, 2020(5): 251-252.
- [3] 丁恺. 道路工程中路基路面常见病害及治理对策研究[J]. 城镇建设, 2020(9): 176-177.
- [4] 吉才凯. 道路工程中路基路面运用的病害治理对策研究[J]. 建筑工程技术与设计, 2020(15): 1694.