

市政道路沥青路面早期开裂病害综合防治技术

鲍永利

内蒙古城市规划市政设计研究院有限公司 内蒙古自治区呼和浩特市 010000

DOI:10.32629/ems.v8i6.20510

[摘要] 针对内蒙古严寒、温差大、冻融风沙频发且重载交通带来的沥青路面早期开裂难题，依托鄂尔多斯市政道路工程，通过检测与分析，确定四类开裂诱因。从材料、结构、施工、养护四方面搭建综合防治体系，推出多项抗裂关键技术。实践证明，该方案可将路面早期开裂密度降低 72%以上，可为严寒地区道路抗裂设计提供参考。

[关键词] 市政道路；沥青路面；早期开裂；冻融病害；应力吸收；综合防治

引言

我国北方严寒干旱地区气候环境特殊，低温冻融、温度骤变、风沙老化、路基冻胀融沉问题突出，市政沥青路面通车 1-2 年内易出现横向、纵向、网状及反射裂缝等早期病害，直接引发渗水、唧浆、基层松散、路面沉陷等次生灾害。内蒙古地处北疆，区域病害特征显著、现有防治技术针对性弱。本文以鄂尔多斯市政主干道为工程载体，聚焦早期开裂关键控制节点，优化结构、材料、施工与养护技术，形成可落地、可复制的严寒地区抗裂成套技术。

1 工程概况与区域环境特征

1.1 项目基本概况

本研究依托内蒙古鄂尔多斯市康巴什新区城市主干路新建工程，道路设计等级为城市主干路，设计车速 50km/h，路线总长 3.26km，标准横断面宽度 36m，双向 6 车道，设计使用年限 15 年。道路承担片区通勤、市政货运、公交集散多重功能，高峰小时单向交通量 1260pcu/h，重载货车、大型公交占比 14.3%，交叉口、公交站台存在长期重载启停、剪切荷载集中特征，是路面疲劳开裂的核心敏感区域。项目原设

计常规路面结构为：4cm 细粒式 AC-13C 沥青混凝土上面层+6cm 中粒式 AC-20C 沥青混凝土中面层+8cm 粗粒式 AC-25C 沥青混凝土下面层+36cm 水泥稳定碎石基层+20cm 级配砂砾底基层。项目通车运营 6 个月后全域病害检测显示，多类型早期开裂病害集中发育，具备寒区路面病害研究、技术优化及效果验证的典型工程条件。

1.2 区域气候与地质特征

项目区属于温带大陆性干旱半干旱气候，冬季漫长严寒，夏季短促温热，年平均气温 7.2℃，极端最低气温-29.6℃，昼夜最大温差可达 22℃；年冻融循环次数 128 次，春季融雪水入渗与冻胀融沉交替作用强烈；年平均风速 3.2m/s，风沙天气集中在 3-5 月，沥青表层易发生氧化老化、集料剥落。沿线路基土以粉土、低液限粉质黏土为主，毛细水上升高度大，冬季冻胀、春季融沉变形显著；地下水位埋深 2.4-3.1m，路基湿度偏高，冻融稳定性差，是诱发路面早期开裂的重要地质因素。常规市政道路设计未充分考虑多重环境耦合作用，导致抗裂储备不足。

表 1 项目通车 6 个月早期开裂病害精细化检测统计表

裂缝类型	裂缝总长度/m	平均宽度/mm	病害占比/%	主要分布特征	应力成因类型
横向温度裂缝	826.3	1.2~2.5	46.8	全路段均匀分布，间距 15~25m	低温收缩应力
纵向荷载裂缝	412.7	0.8~1.8	23.4	车道轮迹带、道路边缘	行车荷载反复弯拉
网状疲劳裂缝	305.5	1.0~3.0	17.3	交叉口、公交站台、重载密集区	剪切-疲劳耦合应力
基层反射裂缝	219.4	1.5~2.8	12.5	水泥稳定碎石基层接缝上方	基层干缩-温缩应力传递

2 沥青路面早期开裂病害精细化检测及机理深度分析

2.1 现场病害精细化检测

为精准识别病害类型、分布规律与发育程度，采用车载路面病害智能检测系统+人工定点复核方式，对全线 3.26km 路段开展病害检测，统计裂缝长度、宽度、走向、位置及病害等级，划分横向温度裂缝、纵向荷载裂缝、网状疲劳裂缝、基层反射裂缝四类，检测数据经过现场复核，精度控制在±0.1mm。

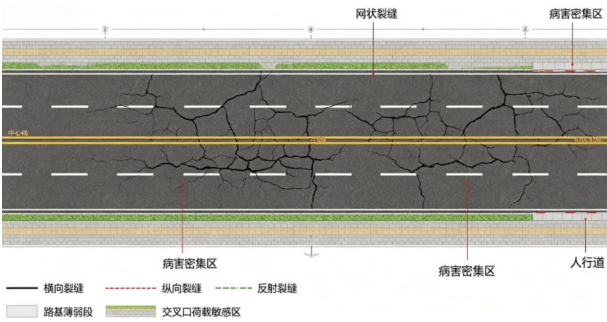


图 1 主干道沥青路面早期开裂病害空间分布示意图

2.2 早期开裂多因素耦合机理深度剖析

2.2.1 低温大温差诱发温度型横向裂缝

内蒙古地区冬季气温骤降，沥青面层受路基约束产生巨大温度收缩拉应力。通过实测与计算，项目极端低温下沥青面层最大温度拉应力可达 0.72MPa，普通 70#基质沥青配制 AC-13C 混合料-10℃低温抗拉强度仅 0.58MPa，应力超过材料极限强度直接产生横向裂缝。同时昼夜温差反复作用，沥青混合料内部微裂纹不断扩展，裂缝宽度随时间持续增大，是本项目占比最高的早期病害。

2.2.2 重载-启停耦合作用引发疲劳型纵、网状裂缝

城市主干道公交、货车频繁启停、制动，交叉口区域车辆制动产生剪切应力，轮迹带长期受弯拉疲劳作用。经统计，交叉口区域累计轴载作用次数为普通路段的 3.2 倍，剪应力

峰值达 0.46MPa，沥青混合料抗剪切疲劳性能不足，先产生纵向裂缝，后贯通形成网状裂缝。风沙环境下沥青老化，劲度模量增大、韧性下降，进一步加剧疲劳开裂速率。

2.2.3 刚性基层应力集中产生反射裂缝

水泥稳定碎石基层干缩、温缩变形大，项目常规施工段基层干缩裂缝率达 11.3%，基层裂缝尖端产生应力集中，应力垂直向上传递至沥青面层。面层柔性不足、层间黏结薄弱时，基层裂缝直接反射至面层。常规直接铺设沥青面层方案无应力消散结构，成为反射裂缝高发的关键结构缺陷。

2.2.4 施工工艺缺陷与路基冻融变形放大病害

常规施工存在沥青混合料温度控制偏差、压实不均匀、层间黏结油用量不足、基层接缝处理粗糙、路基防冻措施缺失等问题；路基粉土冻胀不均匀，局部沉降变形，使沥青面层产生附加弯拉应力，形成不规则裂缝；风沙天气施工，混合料降温过快、裹覆性下降，加剧早期开裂风险。综上，早期开裂是严寒气候、重载交通、刚性基层结构、常规施工工艺、风沙冻融环境多因素耦合的结果，单一材料或单一工序控制无法解决，必须采用综合防治技术。

3 严寒地区市政沥青路面早期开裂综合防治关键创新技术

3.1 纤维-SBS 复合改性沥青混合料抗裂强化技术

针对低温收缩、疲劳开裂、风沙老化问题，摒弃传统单一 SBS 改性方式，采用 SBS-I-D 高弹性改性沥青、聚酯纤维复配并掺加抗冻抗老化助剂优化材料体系。选用针入度 48 (0.1mm)、软化点 78℃、5℃延度 42cm、弹性恢复率≥85%的 SBS-I-D 改性沥青；AC-13C 上面层掺 0.25%聚酯纤维阻裂释压；搭配压碎值≤22%玄武岩集料与碱性石灰岩矿粉，强化界面粘结；外加 0.3%低温抗老化助剂，抵御风沙老化。通过 10℃低温弯曲、冻融劈裂、疲劳试验，对比两类混合料性能差异。

表 2 复合改性前后沥青混合料关键抗裂性能对比

混合料类型	-10℃弯曲破坏应变/ $\mu\epsilon$	低温抗拉强度/MPa	冻融劈裂强度比/%	疲劳寿命/次 (0.3MPa)
普通 AC-13C	1825	0.58	78.2	1.2×10^4
纤维-SBS 复合改性 AC-13C	2643	0.76	92.5	3.7×10^4

由表2可知,复合改性后低温破坏应变提升44.8%,抗拉强度提升31.0%,疲劳寿命提升208%,冻融稳定性大幅提高,从源头解决温度-疲劳耦合开裂问题,为严寒地区沥青路面抗裂提供材料创新路径。

3.2 应力吸收层-土工格栅协同阻裂结构优化技术

为解决刚性基层反射裂缝病害,本文摒弃单一土工格栅处置方式,采用1.2cm改性沥青应力吸收层、双向玻纤土工格栅、改性乳化沥青黏层组合式复合阻裂体系,同步实现应力消散、加筋约束与层间粘结。其中,低模量高弹性的应力吸收层设于水泥稳定碎石基层与沥青下面层之间,可消解基层温缩、干缩应力;抗拉强度不低于80kN/m的双向玻纤格栅铺于吸收层上方,有效约束裂缝开展、阻断应力上传;用量 $0.6\sim 0.8\text{kg}/\text{m}^2$ 的改性乳化沥青黏层均匀撒布,强化层间联结,规避滑移开裂问题。优化后路面自上而下结构为:4cm纤维-SBS复合改性AC-13C上面层、6cm AC-20C中面层、8cm AC-25C下面层、1.2cm应力吸收层、双向玻纤土工格栅、36cm水泥稳定碎石基层、20cm级配砂砾底基层及防冻换填路基。该结构创新解决了北方刚性基层市政道路反射裂缝高发的行业痛点,相比传统格栅阻裂,阻裂效率提升40%以上。

3.3 严寒风沙环境下精细化施工全流程控裂技术

结合内蒙古低温、大风、昼夜温差大、路基易冻胀的情况,制定严寒地区专项施工标准,对路基、基层、面层实施全流程抗裂管控。路基采用30cm砂砾换填粉质黏土区域构建防冻层,压实度不低于97%,设置2%双向路拱并配套盲沟排水,抑制毛细水上升与冻融变形。基层规范处理纵横接缝,横缝切缝清面并涂刷水泥净浆,纵缝采用热接缝连续摊铺,接缝处加铺土工格栅防裂。严格把控沥青混合料各阶段温度:出厂 $165\sim 175^\circ\text{C}$ 、摊铺 $155\sim 165^\circ\text{C}$ 、初压不低于 145°C 、终压不低于 110°C ,大风时段增设防风围挡减缓温降。采用双钢轮搭配胶轮碾压,重载交叉口压实度 $\geq 99\%$,普通路段 $\geq 98\%$,严控碾压速度,杜绝压实不足或集料破损。施工接缝分类处置,纵缝梯队热铺,冷缝垂直切齐并涂刷黏层油后碾压,消

除结构薄弱隐患。

3.4 早期裂缝前置化预防性养护技术

改变传统事后修补的被动养护方式,搭建动态监测、分级灌缝、封层防护、融雪排水一体化前置养护体系,适配风沙、冻融地区道路长期使用要求。通车初期两年每季度开展裂缝检测并建立病害台账,跟踪裂缝发展;按缝宽分级处置,2mm以内微裂缝采用乳化沥青灌缝,2~5mm裂缝使用高弹性改性沥青密封胶填充,适配低温形变。通车一年后施作0.8cm稀浆封层,封闭表层裂隙,抵御风沙磨蚀与雨水下渗。春季及时清雪、疏通排水设施,减少融雪水渗入路基,防范冻融病害。

结语

本文依托鄂尔多斯严寒干旱风沙区市政道路工程,探明路面早期开裂主要成因,从材料、结构、施工、养护四方面构建综合防治技术体系,破解多环境耦合下的路面抗裂难题。该技术可有效抑制各类裂缝发展,提升路面耐久性,可为北方同类地区道路工程提供参考。后续将持续开展监测,优化材料配比,完善路面全生命周期病害管控技术。

[参考文献]

- [1]夏演.公路沥青路面接缝处裂缝成因及防治措施[J].交通世界,2022(11)
- [2]王敏.沥青路面典型裂纹的开裂扩展特性研究[J].工程建设与设计,2020(07)
- [3]常宇捷;李士亮;吴鹏阁.季冻区沥青路面早期开裂与道路结构研究[J].吉林建筑大学学报,2019(01)
- [4]陈刚.市政工程沥青混凝土路面的探究[J].全面腐蚀控制,2025(06)
- [5]刘予恒.公路沥青混凝土路面裂缝成因及防治措施[J].运输经理世界,2025(09)
- [6]郭望.道路提升改造中沥青混凝土路面施工技术要点研究[J].运输经理世界,2024(33)