

沥青路面低温开裂成因及预防性养护施工技术探究

芦 恒

淅川县公路事业发展中心 河南 南阳 473000

摘 要：低温开裂是寒冷及温差较大地区沥青路面的典型病害，长期冻融循环与温度应力作用，易引发路面裂缝扩展、渗水及路基破损，严重影响道路通行稳定性与服役年限。本文结合公路现场施工与养护实际，系统梳理沥青路面低温开裂的材料、环境、施工及结构荷载四类核心成因，归纳各类开裂病害形态与次生危害。针对性开展低温养护施工准备工作研究，详细阐述低温改性预处理、灌缝封缝、薄层罩面、微表处与稀浆封层四项核心预防性养护技术。通过技术工艺梳理与质量管控分析，可为低温地区沥青路面病害防控、常态化养护施工提供工程参考。

关键词：沥青路面；低温开裂；成因；预防性养护；核心技术

引言

沥青路面具备平整度高、行车舒适度好的优势，被广泛应用于各级公路建设，但沥青材料温敏性较强，低温环境下易出现脆化收缩开裂问题。我国多数地区冬季低温持续时间长、昼夜温差大，路面长期承受反复温度应力与冻融作用，低温开裂病害频发，逐步衍生坑槽、沉陷等结构性破损，增加道路运维压力。现阶段部分路段养护存在重修补、轻预防的问题，低温专项预防性施工工艺落实不到位。基于此，本文结合现场工况分析低温开裂成因，总结实用预防性养护技术，为提升低温路面耐久性能提供实践依据。

1 沥青路面低温开裂主要成因

沥青路面低温开裂是寒冷地区常见路面结构性病害，由材料、环境、施工、结构荷载等多重因素共同引发，是路面低温稳定性不足的直观体现，具体成因如下：（1）材料性能缺陷。沥青属于温感敏感性材料，低温环境下自身硬度提升、柔韧性大幅下降，低温劲度模量超标，极限拉伸应变降低，无法适配路面温度收缩变形。部分工程所用沥青混合料级配不合理，矿料搭配不均、空隙率把控不当，混合料整体低温抗裂性能不达标，低温状态下易产生内部微裂纹，逐步发展为贯通裂缝。（2）低温气候与温差作用。极端低温、昼夜大幅温差是开裂的核心诱因。低温环境中，沥青路面整体产生均匀收缩，当路面收缩形变受到基层、路基约束时，内部会产生较大温度应力。若温度应力持续累积并超出沥青混合料极限抗拉强度，路面便会出现规则横向裂缝。反复冻融、昼夜温差循环会持续加剧应力疲劳，扩大裂缝宽度与数量。（3）施工工艺管控不当。路面摊铺、

压实环节质量不达标会埋下开裂隐患。施工温度把控偏差、摊铺不均匀、压实度不足或过压，会造成混合料密实度不均、内部残余应力较大。施工接缝处理不规范、新旧路面衔接处理不到位，会形成结构薄弱面，低温环境下薄弱位置极易率先开裂。（4）路面结构与行车荷载影响。部分路面结构设计未适配区域低温气候，面层、基层结构组合不合理，基层刚度不足、抗变形能力差，无法有效缓冲低温形变应力。此外，长期行车荷载反复作用，会加剧路面疲劳损伤，促使原有微裂缝快速扩展，形成规模化低温开裂病害^[1]。

2 沥青路面低温开裂病害类型及危害特征

2.1 沥青路面低温开裂主要病害类型

结合公路工程现场检测情况，低温环境引发的沥青路面裂缝具有明确的形态特征与分布规律，主要分为三类常见病害。（1）横向裂缝：属于低温收缩主导型病害，裂缝垂直于行车方向，排布规整、间距均匀，多产生于冬季极端低温及昼夜温差较大路段，是低温开裂最普遍的病害形式。（2）纵向裂缝：裂缝平行于车辆行驶方向，多集中在路面拼接缝、车道边缘及路基填筑不均匀路段，由低温收缩变形与路面结构薄弱缺陷叠加形成。（3）网状裂缝：又称龟裂，由大量细微裂纹交错交织而成，无固定延伸方向，多出现于沥青老化、混合料粘结力衰减的路面表层，低温会加速材料脆化，促使微裂纹快速连通成型。

2.2 低温开裂病害的主要危害特征

低温裂缝并非单一表层病害，会随环境与荷载作用持续发展，对道路结构和运营造成多重实质性损害。（1）破坏路面结构完整性：裂缝出现后，沥青面

层整体连续性被打破,路面刚度分布不均,局部承载能力下降,易出现应力集中问题,加剧路面结构性损伤。(2)诱发路基次生病害:贯通性裂缝会形成渗水通道,雨雪水分渗入基层与路基,低温条件下发生冻融循环,导致路基土体冻胀、松散、承载力衰减,进而引发路面沉陷、坑槽、剥落等病害。(3)降低道路通行质量:开裂路面平整度变差,车辆行驶颠簸抖动明显,轮胎抓地稳定性下降,雨雪天气易出现打滑现象,直接影响行车安全。(4)提升道路运维成本:低温裂缝具备不可逆发展特性,若未及时养护修补,病害会持续扩散,缩短路面服役年限,大幅增加后期维修、加固及翻新的工程费用^[2]。

3 沥青路面低温开裂预防性养护施工准备工作

沥青路面低温开裂预防性养护施工对前期准备工作要求较高,低温环境下施工容错率低,准备工作的完善度直接决定养护施工质量与病害处置效果。结合低温季节道路施工实际工况,前期准备工作主要包含病害检测、材料核验、设备调试及施工筹划四项核心内容。(1)路面低温病害检测与现状评估。正式施工前,需对养护路段开展全面排查,采用人工巡查结合仪器检测的方式,统计路面横向裂缝、纵向裂缝及网状裂缝的分布位置、裂缝宽度、深度及延伸范围。同步记录路面平整度、面层密实度、基层破损情况,明确病害等级与处置范围,为针对性制定养护方案提供真实数据支撑,避免盲目施工。(2)养护材料筛选与性能检测。根据低温施工环境要求,优选适配低温工况的灌缝胶、改性沥青、封层集料等养护材料。所有进场材料需完成低温拉伸、低温软化、粘结强度等关键指标检测,杜绝低温脆性大、耐候性差的材料投入使用,保障材料在低温环境下的稳定性与贴合性。(3)施工设备选型与调试校准。结合养护工艺匹配专用施工设备,对灌缝机、摊铺机、碾压设备、清扫设备进行全面检修调试。重点检查设备加热系统、温控系统、出料系统的运行状态,校准施工参数,确保设备可适应低温作业环境,避免施工过程中出现设备故障、温控失准等问题。(4)施工方案规划与技术交底。结合现场路况、气候条件编制专项低温养护施工方案,明确施工工序、温度控制标准、质量管控要点。同时对施工人员开展技术与安全交底,明确低温施工规范、作业禁区及应急处置要求,规范现场施工操作^[3]。

4 沥青路面低温开裂预防性养护核心施工技术

4.1 沥青路面低温改性预处理技术

低温改性预处理技术,主要用于改善原有沥青混合

料低温脆性大、粘结力弱的问题,从材料层面提升路面低温抗变形能力,适用于未出现明显开裂、仅存在老化隐患的路面路段。该技术是低温预防性养护的基础工艺,可有效延缓微裂纹的产生与发展,从源头降低温度应力对沥青面层的疲劳损伤,相较于后期修补病害,预处理方式养护成本更低、道路耐久性提升效果更显著。(1)路面预处理施工工艺。施工前需对路面表层进行彻底清扫,采用高压吹风设备清除路面灰尘、杂物及松动集料,针对路面轻微油污、泛白区域进行打磨处理,保证路面集料裸露、表面干燥洁净。严格把控施工环境温度,低温改性作业需在5℃以上、无雨雪霜冻的天气开展,避免低温潮湿环境影响改性材料粘结效果。同时需避开大风天气,防止喷洒材料快速风干、渗透不足,导致表层起皮、粘结失效。(2)改性材料喷涂施工。工程常用改性乳化沥青、低温高粘改性剂作为预处理材料,采用专用洒布设备均匀喷洒于路面表层,严格控制洒布量,杜绝漏洒、堆积、流淌等问题。喷洒完成后静置固化,使改性材料充分渗透至沥青混合料孔隙内部,激活老化沥青活性,提升集料间粘结强度,改善路面低温柔韧性。改性材料可有效弥补老化沥青组分缺失的问题,优化混合料整体应力松弛性能,适配低温环境下的收缩形变。(3)施工质量控制要点。改性喷涂作业需保证厚度均匀、全覆盖,固化完成后路面无松散、发粘现象。该工艺可有效提升路面整体低温抗拉伸性能,降低温差收缩应力对路面的损伤,为后续养护施工奠定良好基础^[4]。

4.2 裂缝灌缝与封缝预防性施工技术

灌缝、封缝技术主要针对路面已出现的细微裂缝、浅层贯通裂缝,通过密封裂缝通道,阻断水分下渗,避免裂缝在低温冻融、行车荷载作用下持续扩张,适用于各类低温初期开裂病害路段。该技术属于精准微创养护工艺,可针对性处置裂缝病害,无需大面积破除路面,最大程度保留原有路面结构完整性。(1)裂缝清理处理。根据裂缝宽度选用对应清理设备,窄裂缝采用高压气枪吹扫,宽裂缝搭配钢丝刷、开槽机清理,彻底清除裂缝内部灰尘、积水、杂物及松散老化料体,确保裂缝内部干燥洁净,保证灌缝材料与缝壁紧密粘结。清理完成后及时施工,避免二次积尘受潮。对于缝壁风化严重的裂缝,需适当修整缝壁轮廓,保证灌缝胶咬合牢固,杜绝后期脱落脱空。(2)灌缝材料灌注施工。低温环境优先选用低温弹性灌缝胶,该材料具备良好的低温韧性、伸缩性及粘结性,可适配路面低温收缩与膨胀变形。采用专用灌缝机匀速灌注,灌注深度贴合裂缝实际

深度,灌注饱满密实,表面略高于路面,预留材料伸缩余量,防止低温收缩后出现凹陷、脱空问题。(3)表层封缝处理与养护。灌缝胶固化前,在表层均匀撒布细集料,增强表层耐磨性与平整度。施工完成后封闭交通静置养护,待材料完全固化、粘结稳定后开放通行,有效杜绝裂缝渗水、冻胀开裂等次生病害。

4.3 薄层罩面低温养护施工技术

薄层罩面技术属于结构性预防性养护工艺,通过在原有路面铺设薄层改性沥青混合料,修复路面表层老化、细微开裂病害,重构路面表层结构,大幅提升路面低温抗裂、防水耐磨性能,适用于大面积轻微低温开裂、路面整体老化的路段。该技术能够有效弥补原路面表层性能衰减缺陷,优化路面应力传递机制,显著提升道路低温服役稳定性。(1)原路面处置。施工前对原有路面病害进行全面预处理,修补坑槽、封堵裂缝,打磨路面凸起部位,清理路面松散层,保证原路面平整、坚实、洁净。同时对路面进行粘层油喷洒处理,提升新旧路面的粘结整体性。(2)混合料摊铺与低温碾压。选用低温稳定性优异的细粒式改性沥青混合料,严格控制混合料出厂温度与摊铺温度,适配低温施工环境。采用摊铺机匀速摊铺,保证摊铺厚度均匀、平整度达标。碾压遵循“先轻后重、快速压实”原则,低温环境下缩短碾压间隔,避免混合料温度快速下降导致压实度不足。(3)后期成型管控。碾压完成后及时封闭交通,做好降温养护,杜绝早期车辆碾压造成路面变形。薄层罩面可有效抵消低温温度应力,抑制新裂缝产生,修复路面结构性能,延长道路服役周期。

4.4 微表处与稀浆封层低温防护技术

微表处与稀浆封层属于快速预防性养护技术,主要用于修复路面表层微裂缝、磨损、渗水等病害,可快速形成致密防水耐磨表层,提升路面低温抗裂能力,适用于低温地区道路日常预防性养护作业。该工艺施工周期短、对交通影响小,成型后的封层结构可有效抵御冻融侵蚀,是低温地区道路常态化养护的核心技术。(1)施工原材料配比控制。根据低温施工要求,优化混合

料配比,选用快凝、高粘改性乳化沥青,搭配级配合理的集料、填料与外加剂,提升混合料低温成型稳定性,避免低温环境下出现成型慢、粘结差、松散脱落等问题。(2)现场拌和与摊铺施工。采用专用稀浆封层一体机同步完成拌和、摊铺作业,保证混合料拌和均匀、配比稳定,摊铺厚度均匀一致,表面平整密实。低温施工时严格把控施工时段,避开霜冻、低温深夜时段,保障混合料正常凝结成型。(3)成型养护与质量检查。施工完成后根据环境温度确定养护时间,低温环境适当延长封闭交通时长,待表层完全固化、强度达标后开放通行。该工艺可有效封堵路面表层细微孔隙与微裂缝,阻断水分渗透,减少低温冻融对路面结构的损伤,兼具防护与修复双重作用^[5]。

结束语:本文系统分析了沥青路面低温开裂的主要诱因、病害类型及实际危害,明确了低温施工前期准备的核心要点,梳理适配低温环境的四项预防性养护施工技术。研究表明,低温开裂是材料性能、环境条件、施工质量及荷载作用共同导致的结果,提前开展预防性养护可有效抑制裂缝发育扩散。各类养护技术适配不同病害工况,施工中需结合现场温度、路面破损情况择优选用。严格落实低温施工管控标准,能够显著改善路面抗冻抗裂性能,有效延长道路服役周期,保障低温季节道路通行安全稳定。

参考文献

- [1] 陈国利. 公路工程沥青路面病害成因及预防性养护技术研究 [J]. 时代汽车, 2026(4):157-159.
- [2] 田硕. 沥青路面典型病害成因及预防性养护技术分析 [J]. 交通世界, 2025(11):74-76.
- [3] 张洪忠. 沥青路面裂缝成因及预防性养护对策研究 [J]. 现代工程科技, 2025, 4(18):125-128.
- [4] 王国辉. 北京市政道路沥青路面低温抗裂性能优化与施工控制研究 [J]. 低碳世界, 2026, 16(1):125-127.
- [5] 段亚楠. 高寒地区沥青路面低温开裂防治技术应用探讨 [J]. 中文科技期刊数据库(引文版)工程技术, 2025(12):001-004.