

重载交通下水泥混凝土路面破损修复施工工艺探究

武 斌

阿拉善盟交通运输事业发展中心 内蒙古 阿拉善盟 750300

摘 要：内蒙古阿拉善盟辖区货运干线超限重载车辆通行量大，水泥混凝土路面病害频发，常规修补工艺耐久性不足，易反复破损。本文结合辖区道路现场踏勘数据，分析重载荷载作用下路面疲劳开裂、板底脱空等破损机理，划分表层、结构性两类病害。依托公路现场施工实操，梳理前期勘察预处理、局部病害修补、整板更换全套施工工艺，明确裂缝灌缝、板底注浆、杆件布设、混凝土浇筑关键工序，制定原材料、工序、养护专项质量管控措施。实践表明，分级适配修复工艺可提升路面抗荷载能力，降低二次破损概率，适配西北重载干线路面养护施工。

关键词：重载交通；水泥混凝土路面；破损类型；修复施工工艺；质量控制

引言：阿拉善盟境内货运公路承担工矿物资、跨境货运运输功能。近年道路养护作业中发现，普通修补工艺无法适配往复剪切荷载，板块错台、接缝渗水、修补脱落病害频发，增加道路养护成本与行车隐患。为贴合本地戈壁路段路基特点、气候条件，优化养护施工流程，本文结合一线养护施工经验，区分局部修补、整块换板工艺，细化各工序施工标准，总结适配西北重载公路的标准化修复工艺，为区域同类路面养护提供实操参考。

1 重载交通工况下水泥混凝土路面破损机理及类型

1.1 重载交通路面破损核心形成机理

常规公路水泥混凝土路面按照标准轴载开展结构设计，近年来货运车辆超限超载常态化行驶，远超路面设计承载限值，是路面破损的核心诱因。重载车辆通行时，轮胎接地压强成倍增大，混凝土路面板底产生远超设计值的弯拉应力，长期反复荷载作用下，板底率先产生细微疲劳裂纹，裂纹逐步向上贯通形成结构性破损。同时重载车辆制动、转弯产生水平剪切力，会破坏路面接缝粘结结构，加之区域雨水下渗、路基压实度不足、基层软化脱空等叠加影响，路面板失去均匀支撑，单点受力加剧板块开裂、沉降。

1.2 重载路段路面主要破损类型划分

依据现场公路踏勘情况，可将重载交通混凝土路面破损分为表层功能性破损、板块结构性破损两类。（1）表层破损多为浅层裂缝、路面起皮、集料剥落、接缝啃边，多由荷载摩擦、雨水冻融、密封胶老化导致，病害仅作用于混凝土面层，不影响整体板块受力。（2）结构性破损危害性更强，包含板角断裂、贯穿性纵横向断

板、板块不均匀沉陷、板块错台、路基脱空开裂五大类型，这类破损直接破坏路面整体受力体系，也是重载公路主要病害。此类结构性病害无法依靠简单灌缝修复，必须结合板块加固、基层注浆、板块更换工艺施工，适配重载通行长效使用要求^[1]。

2 重载交通路面修复施工前期勘察与预处理技术

重载货运公路混凝土路面修复前期勘察与基面预处理直接决定后期修补结构稳定性，规避修复后板块错台、开裂、脱空复发问题，前置施工流程如下：（1）现场病害专项勘察检测。采用回弹仪、弯沉仪完成全路段病害板块检测，精准标记裂缝贯通深度、板角破损范围、板块弯沉差值；钻孔抽检路基基层密实度，判定板底脱空位置、脱空厚度，区分表层病害与结构性基层病害，同步记录路面接缝老化、填料破损点位，出具分级勘测台账，划定局部修补、板块更换施工分区。（2）现场重载车流交通导改布设。结合路段货车通行频次，采用半幅封闭、分段施工模式，设置重型车辆限行导流围挡、减速标识；施工区域加装防撞墩，杜绝重载车辆碾压未固化基面，规划专用货车绕行路线，保障施工连续性，避免车流干扰预处理作业。（3）破损面层标准化清凿处理。依据勘测标线使用金刚石切割机切缝限位，控制切缝垂直度，避免伤及完好混凝土板块；采用小型风镐人工清凿破损松散骨料、风化面层，严禁大功率破碎锤扰动板底基层；清凿完成后高压空压机全面吹扫基面浮尘、碎屑，保证修补结合面粗糙洁净。（4）板底基层预处理加固。针对弯沉超标、板底脱空板块，布设注浆孔，采用水泥复合注浆料低压注浆填充空隙；对压实度不足的软化基层，挖除软弱填料后回填级配碎石并夯实，统一把控基层顶面平整度，为面层修复

提供均匀支撑^[2]。

3 适配重载工况的水泥混凝土路面局部破损修复施工工艺

3.1 浅层裂缝灌缝、贴缝补强施工工艺

本工艺适用于缝深 $\leq 3\text{cm}$ 、无板块错台、无板底脱空的表层干缩裂缝、行车疲劳细纹,为重载路面最常规浅层修复工艺。(1)裂缝开槽清理:采用专用路面开槽机沿裂缝开设U型槽,槽宽1.2cm、槽深2cm,开槽边线顺直规整,避免扩槽损伤完好混凝土;使用高压吹风机配合毛刷清理槽内砂石、积水、老化碎屑,潮湿槽体需烘干处理,保证槽壁干燥洁净。(2)灌缝材料灌注:选用重载专用高弹性沥青灌缝胶,加热至施工标准温度后匀速灌注,灌缝胶顶面略低于路面面层1mm,预留荷载压缩余量,防止车辆碾压溢料。(3)表层贴缝加固:宽度大于0.8mm的细纹,灌缝固化后粘贴改性沥青高强贴缝带,贴缝带宽度超出裂缝两侧各5cm,压实贴合路面,提升裂缝横向抗剪切能力,抵御重载车辆水平推力。

3.2 深层断板、角隅破损微创修补施工工艺

适用于板角缺损、缝深大于5cm单边深层裂缝、非贯通性断板病害,施工保留原有主体板块,采用微创修补,不破坏板块原有传力结构。(1)破损区域切边界定:沿破损轮廓采用金刚石切割机切封闭式边界,切缝深度统一为6cm,切缝垂直路面,杜绝不规则斜切口,防止修补边缘受力开裂。(2)松散基体破除:使用小型静音风镐剔除内部松散混凝土、风化骨料,禁止大型破碎设备震动扰动板块基层,打磨修补侧壁,形成粗糙咬合面。(3)植筋锚固施工:重载路段必须增设锚固钢筋,在修补侧壁钻孔植入直径12mm螺纹钢,钢筋植入深度8cm,外露长度5cm,双向交错布置,加固新旧混凝土结合强度。(4)高强修补料浇筑:涂刷界面粘结剂,一次性浇筑重载专用聚合物修补混凝土,振捣密实后收光,保证修补面与原路面平整度一致。

3.3 板块沉陷、脱空注浆加固专项施工工艺

针对板块完好、无大面积开裂,但弯沉超标、单点沉陷、板底空隙病害,属于隐性局部破损修复,重点填充板底空隙,恢复基层支撑力。(1)注浆点位布设:单块病害板块布设3-5个注浆孔,孔径5cm,孔深穿透面层至基层底部2cm,孔位避开路面接缝、钢筋位置。(2)浆液配比制备:采用水泥+粉煤灰复合注浆浆液,水灰比控制0.45,掺入微量膨胀剂,提升浆液固结密实度,适配重载承压要求。(3)低压稳压注浆:采用低压注浆设备匀速注浆,注浆压力控制0.3-0.5MPa,周边接缝均

匀溢浆后停止注浆,封堵孔口,避免高压注浆顶起完好板块。(4)后期找平处理:浆液初凝后打磨板块顶面高差,板块错台高差控制 $\leq 2\text{mm}$,满足重载车辆平稳通行条件。

3.4 局部坑槽高强快硬混凝土修补施工管控要点

适用于轮胎碾磨、集料脱落形成的路面坑槽、啃边病害,多用于行车道轮迹带局部破损,需适配短时通车、高抗压施工要求。(1)坑槽规整处理:坑槽切割为方正矩形立面,彻底剔除底部松动骨料,清理积水杂质,立面涂刷水泥基界面剂,增强粘结性能。(2)修补材料选用:选用早强抗弯重载快硬混凝土,2h抗压强度 $\geq 30\text{MPa}$,适配公路短时封闭施工,减少货运交通停运时长。(3)分层振捣收光:深度大于8cm坑槽分层浇筑振捣,每层厚度不大于6cm,表面拉毛处理,纹理与原路面保持一致。(4)通车养护管控:常温环境养护2h即可开放轻型车辆,养护6h后允许标准重载货车通行,低温环境适当延长养护时长,避免早期受力破损^[3]。

4 重载路段水泥混凝土整块板块更换大修施工工艺

4.1 旧破损板块静力破碎拆除施工工艺

施工严禁大锤暴力破碎,防止震动扰动相邻完好板块及下部基层,避免周边板块出现隐性裂纹、板底脱空。(1)边界切缝施工:沿病害板块四边采用金刚石切缝机切缝,切缝深度22cm,切缝位置距离板边5cm,隔绝新旧板块连接结构,切缝垂直度误差控制 $\leq 3\text{mm}$ 。(2)板块静力分解:使用液压分裂机对旧混凝土板块分体破碎,先将板块分割为80cm-100cm小块,再用小型风镐破碎拆解,禁止触碰原有拉杆、传力杆杆件。(3)废渣基面清理:及时清运混凝土废渣,人工凿除板底残留松散砂浆,高压水枪冲洗基层顶面,排查基层开裂、松散点位,标记需补强区域。

4.2 新旧板块传力杆、拉杆复位安装施工技术

杆件安装为重载换板核心工序,直接管控板块错台、位移问题,横向接缝布设传力杆,纵向接缝布设拉杆,杆件材质选用热轧光圆钢筋。(1)杆件钻孔定位:依托原有杆件孔位施工,无旧杆件点位时,采用钻机水平钻孔,孔径20mm,孔深30cm,钻孔高度距基层顶面12cm,保证杆件水平同轴。(2)杆件防腐锚固:清理孔内粉尘,注入环氧锚固砂浆,植入 $\Phi 16$ 传力杆、 $\Phi 14$ 拉杆,单根杆件长度50cm,相邻板块穿插布设,植入深度25cm。(3)伸缩端处理:传力杆一端套10cm长PVC伸缩套管,套管内部填充泡沫垫板,预留混凝土热胀伸缩空间,杜绝板块挤压拱起。

4.3 重载专用高抗弯混凝土配比选型与浇筑施工

普通 C30 混凝土无法适配重载荷载,本次换板统一采用 C35 重载专用抗折混凝土,严控骨料、水灰比及浇筑振捣流程。(1)原材料配比控制:选用 5-25mm 连续级配玄武岩碎石,中粗砂细度模数 2.6-2.9,水灰比 0.41,外掺减水剂、抗裂纤维,混凝土 28d 抗弯强度 $\geq 5.0\text{MPa}$ 。(2)模板支护加固:采用钢制定型模板贴合切缝边线支护,模板高度与路面板厚一致,外侧加密斜向钢支撑,抵抗混凝土侧压力,模板顶面标高复测无误后方可浇筑。(3)分层浇筑振捣:混凝土一次性卸料入模,采用插入式振捣器配合平板振捣器联合振捣,振捣至表面泛浆无气泡为止,杜绝漏振、过振;振捣完成后初次整平,贴合原路面横坡标高。(4)表面成型处理:混凝土初凝前人工精平、拉毛,拉毛纹理深度 1.8mm,与原有路面纹理统一,保障重载车辆行车防滑性。

4.4 接缝密封防水、边缘加固配套施工工艺

接缝渗水是重载板块后期脱空开裂主要诱因,换板完成后需同步完成接缝加固、密封施工,封闭水路通道。(1)接缝槽修整:混凝土拆模后,清理板缝杂物,修整接缝宽度,横向接缝宽 2cm,纵向接缝宽 1.5cm,缝壁打磨平整干燥。(2)缝底衬垫施工:接缝底部嵌入聚乙烯泡沫背衬条,背衬条高度低于路面面层 2cm,固定密封胶灌注深度,避免胶体浪费。(3)密封胶灌注:选用重载专用改性聚氨酯密封胶,灌注饱满密实,胶体表面略低于板面 2mm,防止货车碾压挤出破损。(4)板边补强养护:新浇筑板块四边棱角涂刷养护剂,棱角增设临时防护角;常温洒水养护 7d,养护期间全封闭管控,禁止任何重载车辆驶入,养护期满后放行货运车辆^[4]。

5 重载路面修复施工质量控制及重难点管控措施

依托公路路面施工验收规范,从原材料、工序、通病、验收四方面落实质控工作,规避修复板块短期受力破损,具体管控内容如下:(1)修复原材料质量管控。进场材料需核验出厂检测报告,重载专用 C35 抗折混凝土严控碎石粒径、含泥量;聚氨酯密封胶需具备抗剪切、耐高低温性能;注浆膨胀水泥细度、凝结时间达

标,严禁使用过期、受潮修补粉料,每批次材料现场抽样复检,不合格材料直接清场。(2)施工工况与养护管控。路面修补施工环境温度控制 $5\sim 35^{\circ}\text{C}$,高温时段避开正午浇筑作业;局部修补养护不少于 4h,整板更换洒水养护不少于 7d,养护区域设置硬质围挡封闭,严禁货车提前碾压、刮蹭未成型面层。(3)现场施工通病专项管控。新旧混凝土结合面必须涂刷界面剂,杜绝结合面开裂;接缝施工保证缝深均匀,密封胶灌注密实,阻断雨水下渗;传力杆、拉杆保持水平同轴,严控杆件偏移,防止通车后板块高低错台。(4)完工重载验收质控。完工后检测路面平整度、板块弯沉值、接缝高差,板块错台高差 $\leq 2\text{mm}$,面层构造深度达标;抽检修补部位抗压、抗折强度,各项指标满足重载公路通车标准后方可放行货运车辆^[5]。

结束语: 本文梳理重载路面两类病害成因,形成从前期勘测预处理,到局部微创修补、整板大修更换的完整施工体系。相较于传统粗放修补工艺,本次分级施工工艺严控杆件安装、基面结合、接缝防水核心工序,配套全流程质量管控手段,可有效提升修复部位抗剪、抗弯承载能力,减少后期养护频次。现阶段极端温差、长期超限荷载依旧是路面养护难点,后续可结合本地气候,优化抗冻、高强修补材料配比,进一步提升修复路面服役年限。

参考文献

- [1] 李玉洋.重载交通模式下农村公路水泥混凝土路面典型病害成因与处治技术研究[J].中文科技期刊数据库(引文版)工程技术,2026(1):049-051.
- [2] 王东华.重载交通路段水泥混凝土路面滑模摊铺施工工艺研究[J].交通世界,2025(27):90-93.
- [3] 徐晨.严寒重载环境下水泥混凝土路面局部修补技术[J].交通世界,2026(9):47-49.
- [4] 郭金鹏.重载交通路段水泥混凝土路面快速修复技术研究[J].中文科技期刊数据库(引文版)工程技术,2026(1):073-075.
- [5] 张世磊.重载公路水泥混凝土路面的接缝施工及刻槽技术分析[J].交通科技与管理,2023(11):61-63.