水泥混凝土路面早期裂缝成因与预防方法

郭　浩

湖北省当阳市玉阳办事处子龙路 湖北 宜昌 当阳 444100

【摘　要】：水泥混凝土路面早期裂缝多在材料收缩、板块接缝、施工衔接和温湿度梯度尚未稳定时形成，裂缝一旦越过预设接缝弱面，便会削弱板底支承、接缝传力和路面抗渗耐久性。本文分析浆体失水收缩、板厚与接缝偏差、摊铺振捣收面失稳、基层摩阻和昼夜温湿度梯度对裂缝敏感区的影响，提出低收缩配合比、接缝传力构造、连续保湿养护、分段温湿控制和微裂缝封闭处置方法。预防重点应由事后修补转向早龄期边界控制，把板块尺寸、接缝下切、保湿时长和封闭时点统一到施工窗口内，使收缩释放沿受控接缝完成。

【关键词】：水泥混凝土路面；早期裂缝；材料收缩；接缝传力；养护控制

DOI:10.12417/2811-0528.26.21.007

引言

水泥混凝土路面在摊铺成型后即进入水化放热、表面蒸发、体积收缩和基层约束共同作用阶段，板块抗拉强度尚未充分发展时，局部拉应力容易超过早龄期材料承载能力。早期裂缝会削弱接缝传力、板底支承和抗渗耐久性，后期容易演化为渗水、错台和断板。公路水泥混凝土路面早期裂缝的成因与材料、结构、施工和环境连续耦合。预防工作应从拌合物性能、板块几何、切缝时机和养护湿度同步入手。

1 水泥混凝土路面早期裂缝成因分析

1.1 水泥混凝土路面材料收缩因素

水泥混凝土路面早龄期材料收缩来自浆体水化和表层蒸发的不同步。水泥用量偏高、细集料含泥量波动或外加剂适应性不足时，泌水与凝结时间发生偏移，表层失水快于内部补水，砂浆层便在抗拉强度不足时形成细裂[1]。粗集料级配不连续会削弱骨架嵌锁，浆体承担更多体积变形，收缩应变集中于板面、板边和浆骨界面。材料收缩与温度、荷载作用叠加后，早期微裂缝会成为后续贯通裂缝的起裂位置。

1.2 早期路面板厚度接缝设计偏差因素

路面板厚度、板块长宽比和接缝位置决定收缩应力释放路径。板厚不足时，板底受基层摩阻约束后的拉应力储备偏小；板块过长时，收缩位移在接缝之间累计，随机裂缝会先在薄弱处释放。横向缩缝、纵向缩缝和传力杆若与板块几何不协调，接缝附近会共同承受收缩拉应力和轮载弯拉应力[2]。设计偏差的实质不是单项尺寸错误，而是板厚、接缝、基层支承和传力构造没有共同服务于诱导释放。接缝弱面设置不清晰时，板块收缩不能沿预设断面释放，轮载初期反复作用会把微裂缝推向板角和施工接头。路面板接缝传力构造关系见图 1。

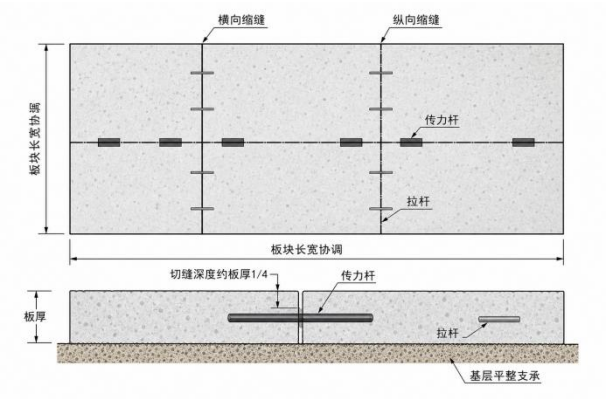


图 1 路面板接缝传力构造示意图

图 1 显示，横向缩缝和纵向缩缝限定板块变形边界，传力杆跨缝传递竖向荷载，拉杆控制纵缝张开，板厚和基层支承共同影响诱导裂缝能否沿预定弱面发展。

1.3 路面施工工艺过程失稳诱发因素

路面施工工艺失稳常发生在拌和、运输、摊铺、振捣、整平和切缝的衔接段。运输时间过长会造成坍落度损失，摊铺后补水会破坏水胶比；振捣不足降低板底密实度，振捣过度又会造成泌水通道和浆体上浮。整平收面过早会封闭泌水，收面过晚使表层在风、日照和低湿环境下快速失水。施工质量波动与早期裂缝、表面剥落及板底支承缺陷常同时出现。强度尚未建立时切缝过晚，裂缝会自行寻找薄弱路径。摊铺班组还应把切缝准备、养护覆盖和交通封闭连续衔接，避免已成型板面在无人管护间隔内失水开裂。

1.4 昼夜温湿度梯度基层约束诱因

昼夜温湿度梯度会使混凝土板产生翘曲和恢复变形，基层约束则把变形转化为板底或板面拉应力。白天表层升温、失水较快，夜间表层降温收缩，板角和板边接触状态随基层平整度

变化而改变。基层含水率不均、局部松散或平整度不足时，板底摩阻和支承反力不连续，收缩位移被局部锁定后便形成斜向或角隅裂缝。环境因素必须同基层支承一起分析。基层排水不畅时，板底湿度变化滞后于板面，翘曲恢复过程会反复拉开已经形成的细裂缝。裂缝诱因组合关系见图 2。

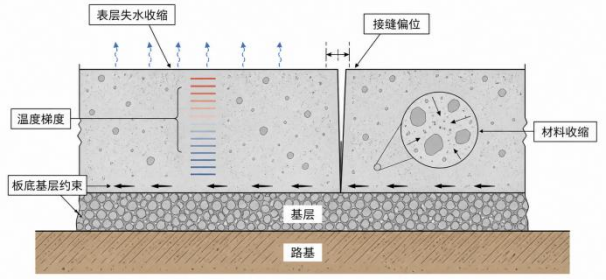


图 2 水泥混凝土路面早期裂缝成因示意图

图 2 显示，表层失水收缩、温度梯度和板底基层约束分别作用于板面、板厚方向和板底界面，接缝偏位与材料收缩叠加后，裂缝敏感区更容易出现在约束集中位置。

2 水泥混凝土路面早期裂缝综合预防措施

2.1 材料收缩与配合比稳定优化方法

材料收缩控制应从低收缩骨架、稳定水胶比和凝结时间匹配开始。粗集料宜保证级配连续、针片状含量受控和洁净度稳定，细集料含泥量、石粉含量和含水率应在拌和前复核，避免现场临时加水[3]。配合比优化不能只追求早强，应把水泥品种、掺合料活性、减水剂保坍能力和养护方式共同纳入。水化放热偏快或蒸发条件偏强时，可通过降低浆体体积、改善集料骨架和延长保湿时间减少表层拉应变。

2.2 路面板接缝传力构造优化要点

路面板接缝传力构造应把板块几何、切缝下切值、传力杆位置和基层支承作为整体优化对象。横向缩缝间距要与板厚、集料类型和温度变形能力匹配，纵向缩缝应避开长期轮迹压边；传力杆保持水平、居中和防粘结自由滑移，拉杆主要约束纵缝张开[4]。接缝设计越能提前指定裂缝释放位置，随机裂缝在板中、板角和施工接头附近出现的概率就越低。传力杆安装完成后应核对居中、平直和套筒滑移状态，接缝清缝后再进行封闭，避免杂物阻碍板块收缩。板块与接缝控制参数组合见表 1。

表 1 水泥混凝土路面早期裂缝预防控制参数

控制对象	板厚 (mm)	板块长度 (m)	板块宽度 (m)	接缝下切 (mm)	保湿时长 (d)	封闭时点 (h)
低温阴湿段	260	4.50	3.50	65	7	48
常温标准段	240	4.20	3.50	60	6	36
高温大风段	240	4	3.25	60	8	24
基层摩阻偏大段	260	4	3.25	65	7	24
早期交通衔接段	280	4.20	3.50	70	8	36
夜间降温段	260	4.20	3.50	65	8	36

表 1 中高温大风段和基层摩阻偏大段的板块长度更短，接缝下切与板厚同步变化；保湿时长和封闭时点随蒸发风险调整，说明预防边界应共同约束板块尺寸、接缝弱面和早期养护窗口。

2.3 施工工艺过程精细养护持续管控方法

施工现场应把连续摊铺、适度振捣、及时收面和全过程保湿作为同一套控制动作执行。拌合物从出机到摊铺的时间应与运输距离、气温和外加剂保坍性能匹配，现场不得用反复补水替代坍落度管理。振捣棒间距和停留时间要保证板底密实，又不能造成粗集料下沉和浆体上浮。收面完成后，表面蒸发量若超过泌水补给能力，应立即喷雾、遮阳、覆盖或施作养护剂成膜。养护记录应跟随板块编号保存，便于发现同一风口、同一基层湿区或同一施工接头附近的重复裂缝风险。

2.4 温湿度梯度分段养护裂缝封闭处置

温湿度梯度控制应按昼夜变化、风速、日照和基层含水状态分段安排养护强度。高温、低湿或大风天气下，摊铺后应缩短暴露时间，采用雾化补湿和覆盖保湿降低表层蒸发；昼夜温差较大时，覆盖材料既要保水，也要减少表层温度骤降。已经出现的微裂缝应先判断宽度、走向、深度和贯通状态，再清缝、干燥、封闭和表面保护。封闭目标是阻断水分进入和裂缝扩展。温湿度梯度风险响应见图 3。

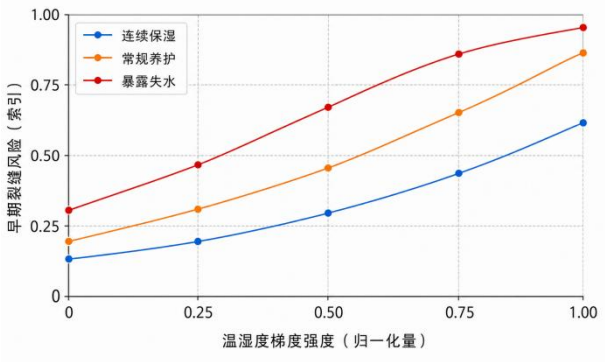


图 3 温湿度梯度下早期裂缝风险响应图

图 3 显示，在相同温湿度梯度强度下，暴露失水曲线始终高于常规养护和连续保湿曲线；梯度强度由 0.50 增至 1 时，连续保湿仍保持较低风险索引，说明保湿措施能够压低风险上升幅度。

3 结语

水泥混凝土路面早期裂缝控制应把材料收缩、板块约束、施工连续性和温湿度梯度放在同一质量链条中处理。级配波动会改变浆体收缩和泌水状态，板厚及接缝偏差会改变应力释放位置，养护中断会扩大表层失水差异。低收缩配合比、可靠接缝传力、连续保湿养护、切缝窗口控制和微裂缝封闭能够使随机开裂转化为受控接缝释放，降低早期缺陷向断板和错台扩展的可能。

参考文献：

[1] 田清伟,侯辉.公路水泥混凝土路面早期裂缝成因及预防措施[J].汽车画刊,2026,(3):182-184.

[2] 高成.水泥混凝土路面裂缝形成机理及防治策略[J].汽车画刊,2025,(12):146-148.

[3] 沙林.农村公路水泥混凝土路面裂缝成因及路面养护技术研究[J].水泥,2026,(8):108-110.

[4] 胡高首.农村公路水泥混凝土路面裂缝处治与预防措施[J].交通世界,2026,(13):73-75.