

水泥混凝土路面裂缝成因与修补技术探讨

王大明

本溪公路监理有限公司 辽宁 本溪 117000

摘要: 水泥混凝土路面裂缝成因复杂, 涵盖材料、设计、施工、环境及荷载等因素。材料缺陷、基层强度不足、切缝不及时、温度应力、重载交通及地基沉降等都会诱发裂缝。裂缝类型多样, 按形态与深度可分为横向、纵向、斜向、网状及表面、贯穿裂缝等。修补技术需遵循及时、有效、经济原则, 采用表面修补、局部修补或整体修补法, 并适配材料与工艺, 同时加强预防措施, 以延长路面使用寿命。

关键词: 水泥混凝土路面; 裂缝成因; 修补技术

引言: 水泥混凝土路面作为现代交通体系的关键构成, 凭借强度高、耐久性好等优势, 承担着繁重的交通荷载。但在实际使用中, 裂缝问题频繁出现, 成为影响其性能与寿命的突出病害。裂缝不仅破坏路面平整度, 降低行车舒适性与安全性, 还易引发其他病害, 增加养护成本。深入探究裂缝成因, 涵盖材料、设计、施工、环境及荷载等多方面, 并针对性研究修补技术, 对保障路面质量、提升交通运行效率、推动交通基础设施可持续发展意义重大。

1 水泥混凝土路面裂缝分类与特征

1.1 裂缝分类

(1) 按裂缝形态分类: 横向裂缝, 走向与路面行车方向垂直, 多呈断续或连续直线状; 纵向裂缝, 走向与行车方向平行, 常沿车道轮迹带分布, 可单条或多条并存; 斜向裂缝, 走向与行车方向呈 45° 左右夹角, 多为不规则断续状; 网状裂缝, 由多条相互交错的裂缝组成, 呈网状或龟纹状, 裂缝密度较大。(2) 按裂缝深度分类: 表面裂缝, 仅发生在路面表层, 深度不超过2cm, 多为细微裂缝, 宽度较小; 贯穿裂缝, 裂缝贯穿路面全厚度, 深度与板厚一致, 宽度通常大于0.2mm, 易贯通板体; 板底脱空裂缝, 伴随板底脱空产生, 多为纵向或横向裂缝, 荷载作用下裂缝会明显张开。

1.2 裂缝特征描述

(1) 外观特征、产生位置及扩展规律: 横向裂缝多产生于板体中部或端部, 初期为断续细缝, 后期逐渐贯通加宽; 纵向裂缝集中在车道轮迹带或板边, 由局部开裂逐渐向两端延伸; 斜向裂缝多出现于交叉口或急弯路段, 扩展方向多指向受力集中处; 网状裂缝始于路面表层水损害区域, 由细小花纹状裂缝逐渐发展为密集网状。表面裂缝无明显扩展趋势, 贯穿裂缝随荷载反复作用持续加宽延长, 板底脱空裂缝在脱空区域扩大后会伴随板

体下沉。(2) 对路面结构性能的影响: 表面裂缝虽短期影响较小, 但会加速水分渗透, 引发表层剥落; 贯穿裂缝破坏板体整体性, 导致承载力大幅下降, 易诱发断板; 板底脱空裂缝会加剧板体受力不均, 引发错台、沉陷等病害; 网状裂缝会使路面表层松散, 丧失抗滑性能, 严重时导致路面结构提前失效, 大幅缩短使用寿命, 增加养护成本^[1]。

2 水泥混凝土路面裂缝成因分析

2.1 内部因素

(1) 材料因素: 选用水化热过高的水泥易使混凝土内部产生温差应力, 引发裂缝; 骨料级配不合理、含泥量超标会降低混凝土密实度和强度, 增加开裂风险; 外加剂选型错误或掺量不当, 可能破坏混凝土内部结构稳定性, 导致早期收缩裂缝。(2) 设计因素: 路面结构设计未充分结合交通荷载等级, 基层承载力不足; 面板厚度未满足强度要求, 无法抵御荷载与温度应力; 配筋间距过大或位置偏差, 难以有效约束混凝土收缩变形, 均会诱发裂缝。(3) 施工因素: 混凝土配合比失控, 水胶比过大导致收缩量增加; 搅拌时间不足使材料混合不均, 局部强度薄弱; 振捣不密实产生蜂窝、孔隙, 降低结构整体性; 切缝不及时或深度不足, 无法释放早期收缩应力, 易产生横向贯穿裂缝。(4) 环境因素: 温度骤变使混凝土表面与内部产生温差, 引发温度应力裂缝; 干湿循环导致混凝土反复收缩膨胀, 加速裂缝发展; 酸雨、盐碱等化学介质侵蚀, 破坏水泥石结构, 使路面表层出现网状裂缝^[2]。

2.2 外部因素

(1) 荷载作用: 重载车辆频繁通行产生的反复弯拉应力, 超过混凝土疲劳强度, 先在板底出现微裂, 逐渐向上扩展形成贯通裂缝, 多表现为横向或斜向裂缝。(2) 地基沉降: 路基压实度不足、软土地基未充分处理, 导

致地基不均匀沉降,使面板承受附加应力,在沉降差较大区域产生纵向或斜向裂缝,严重时伴随板体错台。(3)排水不畅:排水系统设计不合理(如坡度不足、排水口堵塞)或维护不及时,路面长期积水渗透至基层和路基,降低地基承载力,同时加剧混凝土水蚀,诱发裂缝并加速其扩展。

2.3 案例分析

(1)典型工程案例:某一级公路水泥混凝土路面通车3年后,出现大量横向贯通裂缝,部分伴随错台现象。经勘察,裂缝多分布在行车道轮迹带,间距10-15m。成因分析:设计阶段未充分考虑重载交通增长需求,面板厚度较设计标准薄2cm;施工时切缝时间滞后24小时,早期收缩应力未及时释放;路基局部压实度不足,通车后出现不均匀沉降;排水边沟堵塞未及时清理,雨天积水渗透加剧地基软化。发展过程:初期为板底细微裂缝,经重载车辆反复作用逐渐向上贯通,雨季积水渗透后裂缝宽度从0.2mm扩展至0.8mm,最终出现错台。后果:路面承载力下降,行车舒适性变差,局部板体出现断裂风险,需大面积维修,增加养护成本。(2)案例验证:该案例中裂缝成因涵盖设计厚度不足、施工切缝不及时、地基沉降、排水不畅等内外部因素,与前文成因分析完全契合;裂缝从细微发展至贯通的过程,符合荷载与环境共同作用下的裂缝扩展规律,验证了成因分析的准确性与可靠性,为同类路面裂缝防控提供了实践依据。

3 水泥混凝土路面裂缝修补技术

3.1 裂缝修补原则

裂缝修补需严格遵循三大核心原则:一是及时性,裂缝出现初期需立即处理,避免水分、杂物渗入加剧结构损伤;二是有效性,修补方案需适配裂缝类型与严重程度,确保修补后能恢复路面承载能力和使用功能;三是经济性,在保证修补质量的前提下,合理选择材料与方法,控制施工成本,避免过度维修。同时,修补工作还应兼顾耐久性,确保修补效果长期稳定。

3.2 修补方法分类

(1)表面修补法:适用于深度 $\leq 2\text{cm}$ 、宽度 $\leq 0.5\text{mm}$ 的浅细裂缝。常用方法包括压注灌浆法,通过压力设备将浆液注入裂缝填充充实;扩缝灌浆法,先将裂缝扩凿成V型槽,清理后灌注浆液;直接灌浆法,针对较窄浅裂缝直接注入低黏度浆液,实现表层封闭与填充。(2)局部修补法:适用于裂缝宽度0.5-2mm、未出现板体断裂的情况。条带罩面法是沿裂缝走向切割形成条带,移除破损部分后浇筑新混凝土并补强;非全厚度切除条块修复法,仅切除裂缝所在的局部表层混凝土,清理后

铺设修补材料,恢复路面平整性与强度。(3)整体修补法:适用于裂缝宽度 $> 2\text{mm}$ 、板体断裂或结构严重受损的情况。全深度补板是将破损板体整体切除,重新浇筑混凝土板,彻底恢复结构承载力;加铺层法则在原路面铺设沥青或混凝土加铺层,提升路面整体性能,适用于大面积裂缝病害路段^[3]。

3.3 修补材料选择

(1)常用修补材料:主要包括环氧树脂类材料、聚氨酯类材料及水泥基修补材料。环氧树脂类材料含低黏度灌浆料、环氧砂浆等;聚氨酯类材料以弹性灌浆料为主;水泥基修补材料包括快硬水泥浆、聚合物水泥砂浆等。(2)性能特点与适用范围:环氧树脂类材料粘结强度高、抗压性好,适用于浅细裂缝灌注及表层修补,施工需控制环境温度在5-35℃,确保浆液充分固化;聚氨酯类材料弹性好、抗渗性强,适配动态荷载区域的裂缝修补,施工时需保证材料配比精准,避免气泡产生;水泥基修补材料强度发展快、与原混凝土相容性好,适用于局部或整体修补,施工需严格控制水灰比,确保振捣密实。

3.4 修补施工工艺

(1)施工工艺流程:各类修补方法均需遵循基础流程:①裂缝清理,采用高压气流、钢丝刷等清除裂缝内杂物、灰尘及松散碎屑,确保界面洁净;②材料配制,按说明书精准配比材料,搅拌均匀至无结块、气泡;③灌注/铺设施工,表面修补采用压力灌浆或刮涂方式,局部及整体修补需浇筑后振捣密实;④养护,表面修补后养护不少于7天,整体修补养护不少于14天,期间严禁车辆通行^[4]。(2)质量控制要点:清理后需检查裂缝界面干燥度,避免水分影响粘结效果;材料配制需全程计量,搅拌时间符合要求;灌注时确保浆液充满裂缝,无遗漏、空洞;养护期间需控制环境温湿度,及时覆盖保湿材料。注意事项:雨天、大风或极端温度天气严禁施工;施工前需对裂缝进行全面勘查,精准匹配修补方法与材料;施工后需定期巡检,监测修补效果。

4 水泥混凝土路面裂缝预防措施

4.1 设计优化

(1)优化路面结构设计:结合路段交通荷载等级、轴载组成及使用年限,精准计算面板厚度,重载交通路段需适当加厚面板,一般路段面板厚度不宜小于24cm。科学确定配筋率,采用双层钢筋网或边缘钢筋补强,钢筋间距控制在15-20cm,确保钢筋能有效约束混凝土收缩变形,降低开裂风险。合理设置胀缝、缩缝及传力杆,缩缝间距按4-6m布设,传力杆选用 $\phi 20-25\text{mm}$ 光圆钢筋,

确保接缝传荷能力。(2)充分考量环境与荷载影响:设计前开展详细地质勘察与气候调研,针对温差大的地区,采用低热水泥配合比设计,增设温度应力吸收层;寒冷地区需考虑冻融循环影响,优化基层结构防水性能。荷载设计需预留一定安全系数,充分考虑重载车辆通行需求,对交叉口、急弯等受力集中路段,强化路面结构承载力,避免局部应力过大引发裂缝。

4.2 施工质量控制

(1)严控施工关键参数:严格按设计配合比计量原材料,水胶比控制在0.4-0.5之间,避免因水胶比过大导致混凝土收缩量增加。搅拌时采用强制式搅拌机,搅拌时间不少于90秒,确保材料混合均匀,无离析现象。振捣采用插入式振捣器与平板振捣器组合作业,振捣至混凝土表面泛浆、无气泡溢出为止,杜绝漏振、过振导致的结构缺陷。及时开展切缝施工,常温下浇筑完成后24-48小时内完成切缝,切缝深度不小于面板厚度的1/3。(2)强化施工管理与监督:建立全流程质量管控体系,明确各施工环节责任人,开展岗前技术交底,确保施工人员熟悉规范要求。引入第三方检测机构,对施工过程中的混凝土坍落度、抗压强度等指标进行实时监测,不合格工序严禁进入下一道流程。加强施工现场巡查,重点管控基层平整度、压实度及面板浇筑振捣质量,及时纠正施工偏差^[5]。

4.3 材料选择与检验

(1)严格材料质量管控:原材料质量是保障路面抗裂性能的基础,需建立严格的材料检验与验收标准,实行“进场必检、不合格不使用”制度。优先选用水化热低、安定性好的硅酸盐水泥或普通硅酸盐水泥;骨料选用级配良好、质地坚硬的碎石,含泥量控制在1%以内,针片状颗粒含量不超过15%;外加剂选用符合国家标准的高效减水剂、缓凝剂,严禁使用质量不稳定的廉价产品。(2)规范材料检验方法与指标:水泥需检验安定性、凝结时间、抗压强度等指标,安定性采用雷氏夹法检测,初凝时间不小于45分钟,终凝时间不大于600分钟。骨料通过筛分试验检测级配,采用压碎值试验评估强度,压碎值不大于26%。外加剂需检测减水率、含气量等指标,减水率不小于12%,含气量控制在3-5%。所有检测指

标需符合《公路水泥混凝土路面施工技术规范》(JTG/TF10)要求。

4.4 养护管理

(1)加强日常养护管理:建立常态化路面巡查机制,每月至少开展1次全面检查,雨季、冬季增加巡查频次,及时发现并记录裂缝、剥落等初期病害。对发现的细微裂缝,立即采用密封材料封闭处理,防止水分渗入;定期清理路面及排水系统,确保边沟、排水口畅通,避免积水长时间浸泡路面基层。合理设置交通标志,限制超载车辆通行,减少重载对路面的损伤。(2)重视养护长效价值:养护工作是延长路面使用寿命的关键举措,通过早期预防、及时修补,可有效延缓裂缝发展,降低大修成本。实践表明,科学的养护管理能使水泥混凝土路面使用寿命延长5-8年,大幅提升路面使用效益。需建立养护档案,记录路面病害发展及修补情况,为后续养护方案优化提供数据支撑,实现路面全生命周期精细化养护。

结束语

水泥混凝土路面裂缝问题不容忽视,其成因复杂多样,涉及材料、设计、施工、环境及外部荷载等诸多环节。精准剖析成因,是有效修补裂缝、预防病害反复的基础。本文探讨的多种修补技术,各有适用场景与优势,需依裂缝实际情况科学选用。同时,强化设计优化、严控施工质量、精选材料并加强养护管理,能从源头减少裂缝产生。未来,随着技术发展,裂缝防治手段将更完善,助力水泥混凝土路面性能提升与交通事业高质量发展。

参考文献

- [1]张宏,李强.水泥混凝土路面裂缝成因及修补技术研究[J].公路交通科技,2020,36(2):97-101.
- [2]常红梅.公路工程施工中混凝土裂缝的成因及对策研究[J].中国水泥,2024,(08):102-103.
- [3]崔清柱.公路工程施工中水泥混凝土路面裂缝成因与解决方法[J].运输经理世界,2022,(35):152-154.
- [4]李建洲.探究水泥混凝土路面裂缝成因及预防治理措施[J].甘肃科技纵横,2020,49(01):40-42.
- [5]王晓东.道路工程中水泥混凝土裂缝修补技术的应用分析[J].工程与建设,2020,34(4):52-56.