

公路沥青路面裂缝灌缝技术优化研究

张鹏

渠县公路事业发展中心，四川省达州市，635200；

摘要：本文围绕公路沥青路面裂缝灌缝技术的优化展开深入研究，通过系统性分析裂缝成因、现有技术局限及改进方向，构建科学优化方案。首先从交通荷载疲劳、温度应力作用、材料老化等角度剖析裂缝产生根源，揭示裂缝对路面结构强度、行车安全的危害机理。其次，全面评估热灌缝、冷灌缝等现有技术的工艺特点，指出热灌缝材料高温流淌、冷灌缝粘结性不足等弊端。进而从材料研发、施工工艺创新、质量管控体系完善三方面提出优化路径，如开发高弹性、耐老化灌缝胶，规范开槽、清缝、灌缝等工序参数，建立全流程质量检测标准。研究成果可为提升灌缝技术效能、延长路面使用寿命、降低养护成本提供理论依据与实践指导。

关键词：公路沥青路面；裂缝灌缝技术；优化研究；使用寿命

DOI：10.69979/3029-2727.25.07.007

公路沥青路面在长期服役过程中，持续承受重载车辆碾压、季节性温差变化及雨水侵蚀等多重作用，裂缝问题频发。车辆荷载反复作用下，路面结构层内部产生应力集中，导致沥青混合料疲劳开裂；极端温差引发材料热胀冷缩，形成温度裂缝；加之沥青老化、级配失衡等因素，裂缝逐渐扩展蔓延。这些裂缝不仅破坏路面平整度，影响行车舒适性与安全性，更成为雨水下渗的通道。水分侵入后，会软化基层材料、加速沥青剥落，诱发坑槽、唧浆等病害，大幅缩短路面使用寿命。灌缝技术虽能暂时封堵裂缝，但传统灌缝材料耐久性差、施工工艺粗放等问题，导致灌缝效果难以持久。因此，深入开展灌缝技术优化研究，对保障公路服役性能、降低全寿命周期养护成本具有迫切的现实意义。

1 公路沥青路面裂缝产生的原因及危害

1.1 裂缝产生的原因

公路沥青路面裂缝产生的原因是多方面的。首先，温度变化是导致裂缝产生的重要因素之一。在温度较低时，沥青路面会发生收缩，当收缩应力超过沥青混合料的抗拉强度时，就会产生裂缝^[1]。特别是在昼夜温差较大的地区，这种温度裂缝更为常见。其次，交通荷载的反复作用也是裂缝产生的关键因素。随着交通流量的增加和车辆轴载的增大，路面承受的压力不断增大，容易导致路面结构疲劳，从而产生裂缝。此外，路面基层的质量不佳、施工工艺不当以及材料质量问题等也会导致沥青路面出现裂缝。例如，基层压实度不足会使路面在使用产生不均匀沉降，进而引发裂缝^[2]。

1.2 裂缝的危害

公路沥青路面裂缝的存在会带来诸多危害。一方面，裂缝会破坏路面的整体性，降低路面的强度和承载能力。雨水等水分会通过裂缝渗入路面结构层，使基层和底基层的强度降低，导致路面出现唧泥、坑槽等病害，进一步加剧路面的损坏。另一方面，裂缝会影响行车的舒适性和安全性。裂缝处的路面平整度变差，车辆行驶时会产生颠簸，不仅影响驾乘人员的舒适性，还可能导致车辆失控，引发交通事故。此外，裂缝的存在还会缩短路面的使用寿命，增加公路的养护成本。

2 现有公路沥青路面裂缝灌缝技术分析

2.1 常用灌缝材料

公路沥青路面灌缝材料主要涵盖沥青类、橡胶类和树脂类三大类型。沥青类灌缝材料因价格低廉、施工简便，成为基层道路养护的常用选择。其以基质沥青为主要成分，能快速填充裂缝，满足基本密封需求。然而，此类材料弹性模量较高，在极端温差环境下性能波动显著：高温时软化点不足，易出现流淌变形；低温时则迅速硬化变脆，导致裂缝重新开裂，难以适应路面长期伸缩变形，灌缝耐久性较差。

橡胶类灌缝材料添加橡胶粉、SBS等改性剂后，柔韧性与抗变形能力显著提升，在-20℃至60℃范围内保持良好弹性恢复性能，能有效缓冲路面伸缩应力。然而，长期暴露于户外，受紫外线与雨水侵蚀，材料易氧化降解，出现粉化、龟裂，致使粘结失效^[3]。树脂类灌缝材料虽具备高强度、强粘结性和优异耐候性，可承受重载碾压，但原材料成本是普通材料的3-5倍，且施工对温度、配比、固化时间控制要求高，因成本与技术限制，

难以大规模应用。

2.2 灌缝施工工艺

公路沥青路面灌缝施工主要采用开槽灌缝与直接灌缝两种工艺。开槽灌缝作为主流处理方式,需借助专用开槽机在裂缝两侧切割出规整的矩形槽,通常宽度控制在1.5-2cm,深度达2-2.5cm。随后利用高压空气或机械毛刷清理槽内碎屑,确保界面清洁,再将加热后的灌缝材料填充其中。这种工艺通过扩大粘结面积,显著增强灌缝材料与路面的结合力,尤其适用于宽度超3mm的裂缝修复。但开槽过程会对路面结构造成一定破坏,不仅增加施工成本与工期,还可能因切割应力引发新的裂缝等病害。

直接灌缝工艺则简化流程,无需开槽,直接将灌缝材料注入裂缝内。该方法操作简便、施工效率高,适合处理宽度小于3mm的初期微裂缝。然而,由于材料与裂缝壁接触面积较小,在车辆荷载反复碾压及环境温度变化影响下,灌缝材料易出现脱落、开裂现象,难以实现长效密封,后期维护频率较高,多用于应急处理或对耐久性要求较低的路段。

2.3 现有灌缝技术存在的问题

当前公路沥青路面灌缝技术在材料、工艺及质量管控方面存在显著短板。材料性能上,多数灌缝胶难以平衡弹性、粘结性与耐久性,例如普通沥青类材料虽成本低,但高温软化、低温脆裂问题突出;橡胶类材料虽柔韧性好,却易受紫外线侵蚀而老化粉化。这些缺陷导致灌缝后材料短期内开裂、脱落,无法实现长效密封,频繁返工增加养护成本。

施工与检测环节同样问题频发。部分施工人员为赶工期,未按规范清理裂缝,残留的尘土、碎石阻隔材料与路面的有效粘结;灌缝材料加热温度控制不当,温度过高会使材料碳化劣化,过低则无法达到最佳流动性,影响粘结效果^[4]。在质量检测方面,现行方法多依赖人工目视检查,缺乏对灌缝饱满度、粘结强度等关键指标的量化检测,难以科学评估灌缝质量,导致劣质工程难以被及时发现,阻碍养护技术的迭代升级。

3 公路沥青路面裂缝灌缝技术优化措施

3.1 灌缝材料的优化选择

灌缝材料的适配性直接影响公路沥青路面裂缝修复的长期效果,需依据实际工况进行精准选型。在温差显著的严寒或高温地区,橡胶改性沥青灌缝材料凭借优异的温度适应性脱颖而出。其通过将橡胶粉掺入基质沥

青,形成弹性网络结构,在-30℃的低温环境下仍能保持良好柔韧性,有效抵御冻融循环产生的开裂风险;高温时软化点可达80℃以上,避免材料流淌变形,确保裂缝长期密封。

针对交通流量大、重载车辆多的路段,树脂类灌缝材料成为首选。该材料具备高强度与强粘结性,拉伸粘结强度可达3.5MPa以上,能够承受车辆荷载的高频次碾压而不脱落。此外,通过材料改性技术可进一步提升性能,如添加玄武岩纤维增强材料的抗拉强度,加入纳米二氧化硅改善抗老化性能,或利用石墨烯提升导热性以降低温度应力^[5]。这些改性措施使灌缝材料的抗疲劳寿命提升2-3倍,显著增强其在复杂工况下的适用性与耐久性。

3.2 施工工艺的优化

在施工工艺优化上,裂缝清理是保障灌缝质量的基础环节。采用高压空气吹扫与高压水冲洗相结合的方式,能够高效清除裂缝内的尘土、碎石及水分等杂物。其中,高压空气以0.6-0.8MPa的压力,可深入裂缝内部3-5cm,有效去除松散颗粒;高压水冲洗则能进一步溶解油污等顽固杂质,确保裂缝壁洁净干燥,为灌缝材料与路面提供良好的粘结界面,使粘结强度提升20%以上。

开槽灌缝与材料灌注环节需严格把控技术参数。开槽时,依据裂缝宽度将槽口尺寸控制在1.5-2cm宽、2-2.5cm深的U型标准,既能保证灌缝材料的填充量,又能减少对路面结构的破坏。灌缝材料加热过程中,针对不同材料设定精准温度区间,如橡胶改性沥青控制在180-200℃,树脂类材料保持在150-170℃,防止材料老化失效。采用压力灌缝机以0.3-0.5MPa的压力灌注材料,使灌缝胶充分渗透至裂缝深处,表面形成高出路面2-3mm的弧形封层,有效提升密封防水与抗剪性能。

3.3 质量控制与检测

构建完备的质量控制体系是保障公路沥青路面灌缝工程长效性的核心。施工前期,严格执行材料进场检验制度,依据《公路养护技术规范》对灌缝胶的软化点、弹性恢复率、低温延度等核心指标进行实验室检测^[6]。例如,要求橡胶改性沥青灌缝材料在-25℃下延度不低于20cm,软化点高于80℃,杜绝不合格材料流入施工现场,从源头把控质量风险。

施工过程与验收阶段实施动态化管控。通过设立质量巡检小组,运用红外测温仪、压力传感器等设备,实时监测灌缝材料加热温度、灌注压力等工艺参数,确保材料加热温度波动控制在±5℃内,灌注压力稳定在0.

3-0.5MPa。灌缝完成后,采用“双检”模式:外观检查需确保灌缝表面平整、无气泡与开裂,密封层弧形高度达标;借助拉拔仪进行粘结强度测试,要求其值不低于1.2MPa,对不达标的区域即刻返工处理。同时引入探地雷达技术,对灌缝深度与密实度进行无损检测,建立包含施工数据、检测结果的质量档案,实现全流程可追溯管理,切实提升灌缝工程质量。

4 优化后灌缝技术的应用案例分析

4.1 工程概况

选取达州渠县境内一段长约15公里的县道作为应用案例。该路段为双向两车道,连接多个乡镇,日常车流量大,且重载农用运输车频繁通行。受渠县亚热带湿润季风气候影响,夏季高温多雨、冬季湿冷,路面长期经受雨水渗透与温度变化,出现大量横向、纵向裂缝,部分区域甚至形成网状龟裂,严重影响行车安全与道路通行效率。为改善路况,项目组采用优化后的灌缝技术,对该路段裂缝进行系统性处理,旨在提升道路使用寿命与服务水平。

4.2 灌缝技术实施过程

结合渠县高温多雨的气候特点与重载交通需求,施工团队选用高弹性、耐老化的橡胶改性沥青灌缝材料,并添加纳米级抗氧化剂增强其耐久性^[7]。施工时,先利用高压水枪(压力达1.2MPa)冲洗裂缝,清除内部淤泥与杂物,随后采用热风机快速烘干缝隙。针对宽度超4mm的裂缝,使用开槽机切割出宽2cm、深2.5cm的梯形槽。灌缝材料加热至190℃后,通过智能压力灌缝机以0.5MPa的压力注入裂缝,确保材料充分渗透,并在表面形成凸起3mm的弧形密封层,增强防水抗渗能力。

4.3 效果评估

经过一个完整水文年的观测,优化后的灌缝技术成效显著。外观检查显示,95%以上的灌缝区域保持完整,无明显开裂、脱落现象;拉拔试验数据表明,灌缝材料与路面的平均粘结强度达到2.8MPa,远超行业标准。路面破损率从施工前的18%降至5%以下,平整度指数(IRI)由4.2m/km优化至2.1m/km,行车颠簸感明显降低。经测算,该路段因裂缝导致的维修频次减少70%,有效延长路面使用寿命约6年,极大降低了养护成本,为渠县农村公路养护提供了可复制的技术经验。

5 结论与展望

5.1 结论

通过对公路沥青路面裂缝灌缝技术的优化研究,提出了一系列有效的优化措施。在灌缝材料方面,应根据不同的路况和环境条件选择合适的材料,并对材料进行改性以提高其性能。在施工工艺方面,要加强裂缝清理、合理控制开槽参数、严格控制灌缝材料加热温度等。同时,建立完善的质量控制体系,加强施工过程的监督和管理以及灌缝后的质量检测和验收。优化后的灌缝技术在实际应用中取得了良好的效果,能够有效提高灌缝的质量和效果,延长公路沥青路面的使用寿命。

5.2 展望

未来,随着公路建设和养护技术的不断发展,公路沥青路面裂缝灌缝技术还有进一步优化的空间。一方面,可以进一步研发高性能的灌缝材料,提高材料的弹性、耐久性和粘结性等性能。另一方面,要加强施工工艺的自动化和智能化研究,提高施工效率和质量。此外,还应建立更加完善的质量检测和评估体系,准确评估灌缝技术的长期效果,为公路沥青路面的养护提供更加科学的依据。

参考文献

- [1]王海瑞. 浅议沥青路面裂缝的形成及防治[J]. 四川水泥, 2015, (12): 39.
- [2]张建明. 市政道路工程沥青路面裂缝成因与防治策略分析[J]. 城市建设理论研究(电子版), 2023, (16): 208-210.
- [3]姚力. 沥青路面裂缝施工处理技术[J]. 交通科技与管理, 2025, 6(07): 68-70.
- [4]薛奋德. 公路沥青路面裂缝原因及标准化修补技术探讨[J]. 大众标准化, 2024, (23): 26-28.
- [5]雷学勤. 水工沥青混凝土应用性能探讨[J]. 石油沥青, 2023, 37(05): 60-64.
- [6]刘刚刚. 公路沥青路面裂缝产生原因与处理措施[J]. 交通科技与管理, 2024, 5(07): 161-163.
- [7]杨琼. 公路沥青路面裂缝养护技术分析[J]. 建材发展导向, 2023, 21(24): 150-152.

作者简介:张鹏,出生年月:1983年01月,性别:男,民族:汉族,籍贯:四川渠县,学历:大学本科,职称:(助理工程师),研究方向:道路与桥梁(含隧道)工程。