

沥青路面裂缝修复技术与实践案例分析

文 / 牛美运 徐州市铜山区公路管理站

摘要: 沥青路面裂缝修复作为公路养护重要环节,对路面使用寿命和行车安全有直接重大影响,在剖析不同类型裂缝成因及传统修复技术局限性时,探讨新型填缝材料和先进修复设备应用,经裂缝预处理、填缝施工和环境适应性分析提出多工艺组合修复技术,经过G206线和G310线实际案例验证其在延长路面使用寿命、提高修复效果的优越性,合理选择修复技术可显著提高路面耐久性和修复效率、减少后期维护成本。

关键词: 沥青路面; 裂缝修复; 新型材料; 多工艺组合; 案例分析

【DOI】10.12254/j.issn.2096-6539.2025.02.065

引言

沥青路面裂缝作为道路使用过程中极为常见的一种病害,对公路的使用寿命以及行车安全产生着直接且重大的影响,伴随交通负荷的不断增加以及气候条件的持续变化,裂缝问题愈发突出,传统的修复技术已然难以充分满足当前的养护需求。对高效且耐久的裂缝修复技术展开研究,具备至关重要的实际意义。对不同裂缝类型的成因进行深入分析,进而探讨新型修复材料与技术的应用,并借助实际工程案例对其有效性加以验证,以期为沥青路面裂缝修复提供科学依据与技术支持,最终实现提高道路养护质量与效率的目标。

一、沥青路面裂缝修复的现状与挑战

(一) 沥青路面裂缝的常见类型与成因分析

沥青路面的裂缝主要有横向裂缝、纵向裂缝、网裂、块状裂缝、边缘裂缝、沉降或沉陷裂缝以及构造物接头裂缝等类型。其中,横向裂缝通常是因温度变化产生的温缩裂缝,或是由半刚性基层的反射裂缝所引发,且多出现在温度应力集中区域。纵向裂缝和网裂一般是由于疲劳破坏或者材料老化所致,其表现为从路面表层向下或者从下向上进行裂缝扩展。块状裂缝通常是由地基不均匀沉降或者沥青老化引起,呈现出不规则的块状裂纹。边缘裂缝大多发生在路面边缘,主要是由于路基支持力不足或者排水不良所造成。沉降裂缝则是由路基不均匀沉降或者地基软弱所导致。不同类型的裂缝往往具备不同的成因以及发展规律,且裂缝的深度和影响范围也各不相同,所以需要有针对性地进行修复。裂缝的出现不但会影响路面的行车舒适性,还会进一步削弱路面的结构强度,加速路面的劣化进程。

(二) 传统裂缝修复技术的局限性与面临的问题

传统裂缝修复技术的修复方法存在诸多局限性,改性沥青在裂缝较窄或较深的情况下难以有效渗入裂缝深层,致使裂缝无法被完全填充而留下空隙,无法形成牢固结合;在寒冷气候条件下,改性沥青易因温度变化而脆裂,失去密封性,使得水分渗入路面结构层,进一步加剧路面损坏^[1]。传统灌缝技术对施工设备要求较高,施工过程中难以保证灌缝材料的均匀性和一致性,进而影响修复效果。路面修补后的外观效果不佳,可能会出现因膨胀或收缩而导致的材料挤出或脱落现象。传统修复方法还存在施工复杂、成本高、对交通干扰大的

问题,尤其是在交通繁忙的道路上,难以进行大规模修复作业。传统的裂缝修复技术在应对现代道路养护需求时,已经显得力不从心,急需改进和创新。

二、新型沥青路面裂缝修复技术的探索

(一) 新型填缝材料的选择与特性

新型填缝材料在选择时,不仅需具备良好的黏结性,还必须在各种气候条件下保持性能的稳定。近年来广泛应用的高分子聚合物材料,因其优越的弹性和抗裂性能,逐渐成为替代传统改性沥青的首选。此类材料在低温下能够保持柔韧性,有效避免因温度变化而引起的脆裂现象;在高温环境中也能保持足够的强度,不会出现流淌情况。这些新型材料通常具有较高的抗老化性能,能够长期保持与旧路面材料的良好相容性,防止因材料老化而导致的再次开裂。在施工过程中,新型填缝材料的流动性和自密实性使其能够更好地填充裂缝,减少空隙的存在,从而提高修复的持久性。这些材料的选择,不仅改善了裂缝修复的质量,还有效延长了路面的使用寿命,减少了频繁维修带来的交通干扰。

(二) 先进裂缝修复设备的开发与应用

裂缝修复设备的研发正逐步朝着智能化与多功能化的方向迈进,先进的裂缝修复设备通常配备精确的裂缝探测系统,能够实时监测裂缝的宽度、深度以及走向,从而为修复工作提供准确的数据支持^[2]。这些设备还集成了高效的加热系统以及自动化的填缝装置,能够在短时间内完成从裂缝清理、材料加热至填充压实的一系列操作,极大地提高了施工效率。这些设备的设计更加注重操作的简便性以及施工的安全性,降低了人工操作的复杂度,减少了施工风险。随着环保要求的不断提高,部分裂缝修复设备已然开始采用低能耗、低排放的技术,以减少对环境的不良影响。这些先进设备的应用,不但提升了裂缝修复的质量与效率,还为沥青路面的长期维护提供了更为可靠的技术保障。

三、裂缝修复技术的优化与实施

(一) 裂缝预处理技术的必要性与操作要点

裂缝预处理包括裂缝的清理、扩缝和干燥等步骤,需采用高压气流或真空吸尘设备对裂缝进行彻底清理,以去除裂缝内的灰尘、碎石、植物根系等杂质,确保裂缝内部清洁。根据裂缝的宽度和深度,使用专用的开缝

机进行扩缝处理，将裂缝的边缘修整成规则的形状，通常推荐的裂缝扩宽宽度为10至15毫米，深度为20至25毫米，以便为填缝材料提供足够的黏结面。对于裂缝较深且宽度较小的情况，扩缝的深度可适当加大，确保填缝材料能够深入裂缝底部。在裂缝修复过程中，干燥处理是确保修复质量的关键步骤，尤其在湿度较大的环境下更为重要。因为裂缝内部若存在水分，会显著降低填缝材料的黏结强度，导致修复效果不理想。

在施工前，必须对裂缝进行彻底的干燥处理，通常情况下，会使用专业的加热设备，诸如热风枪或烘干机，对裂缝进行定向加热，促使其内部的水分充分蒸发。裂缝壁的温度需控制在适宜的范围之内，防止加热过度而损伤路面材料，确保内部无残留水分。干燥处理不但需要确保裂缝表面无水迹，更要高度关注裂缝深处的干燥度，尤其是对于深度较大的裂缝而言。整个过程需在对环境温湿度进行监控的情况下进行，以此确保达到最佳的施工条件。当裂缝干燥后，应立即进行后续的填缝操作，以防止湿气再次侵入。经过严格的干燥处理，能够显著提高填缝材料的黏结性能，确保修复后的裂缝具有更好的耐久性和稳定性，进而延长路面的整体使用寿命。

(二) 填缝材料的施工工艺与质量控制

在选择填缝材料时，需根据实际的裂缝类型和环境条件选择合适的材料，如高弹性聚合物改性沥青或其他高分子材料。此类材料在高温条件下具有良好的流动性，能够有效填充裂缝并与路面形成紧密结合。在施工过程中，填缝材料应保持在150℃至180℃的施工温度，以确保材料具有最佳的黏结性和流动性。为确保材料的

均匀性，应采用专用的加热设备对材料进行持续加热，并定期搅拌防止材料分层或沉淀^[3]。在填充过程中，采用专用的填缝机沿裂缝走向均匀填充材料，避免出现空隙或气泡。填缝后，应立即进行压实处理，通常采用小型压路机或压板进行压实操作，压实次数应不少于3次，以确保材料与裂缝壁紧密接触。填缝材料的冷却和养护同样重要，通常建议自然冷却至室温，避免外界干扰。在冷却期间，应防止车辆碾压或外力干扰，确保填缝效果的持久性。

(三) 施工环境对修复效果的影响及应对措施

施工环境对修复效果有着显著的影响，在低温环境下，填缝材料的黏结性和流动性会受到限制，进而导致填缝效果可能不理想；而在高温环境下，材料则容易出现流淌或未充分固化的问题。湿度大的环境容易致使裂缝内壁潮湿，极大地影响材料的黏结性。为有效应对这些问题，应选择适宜的施工季节和时间段，一般而言，建议在温度为15℃至30℃之间、湿度低于60%的条件下进行施工。在低温或高温环境下，需采取额外的措施，例如在低温下加热设备对裂缝进行预热处理，以使裂缝壁达到适宜的温度；在高温下则应加快填缝材料的冷却速度，避免材料因高温流动性过强而产生质量问题。施工期间应尽量选择无风的天气，防止风速过大导致填缝材料在填充过程中产生不均匀现象。如果在施工过程中遇到突发天气变化，应立即停止施工，并采取临时防护措施，以防止施工质量受到影响。合理的环境监测和应对措施，能够最大限度地降低施工环境对裂缝修复效果的负面影响，确保修复工程的质量和耐久性。如表1所示。

表 1 不同施工环境下裂缝修复效果的对比分析

环境条件	温度范围 (°C)	湿度范围 (%)	风速 (m/s)	填缝材料黏结强度 (MPa)	裂缝修复持久性 (年)	平均修复成功率 (%)
理想环境	20-25	40-50	<1	1.8	5	95
低温环境	5-10	50-60	<2	1.2	3	80
高温环境	30-35	30-40	<3	1.4	4	85
高湿环境	15-20	70-80	<1	1.0	2	75
高风速环境	20-25	40-50	3-5	1.5	4	90

四、沥青路面裂缝修复技术的综合应用

(一) 适用于不同裂缝类型的修复策略

面对横向裂缝，通常采用热沥青灌缝工艺，此工艺适用于裂缝宽度较小的情况。施工时，对裂缝进行扩缝处理，推荐扩宽至15毫米，深度为25毫米。将热沥青或改性沥青材料加热至180℃左右，利用灌缝机均匀填充到裂缝中，并使用压实机进行压实，确保填缝材料与裂缝壁紧密结合。对于纵向裂缝和网裂，推荐采用开槽填缝法结合封缝带处理。开槽机将裂缝边缘切割成规则的矩形槽口，深度一般为30毫米，宽度为20毫米。填缝后，使用高弹性聚合物材料或专用的沥青压缝带覆盖裂缝，防止水分渗入并进一步加固修复效果。对于块状裂缝，则需根据裂缝的范围和深度，采取切割和整体修补

的方法。切割机将裂缝周边老化的路面切除，深度一般控制在50至100毫米。切割后清除废料，填入新混合料并进行充分压实，最后覆盖一层防水涂层以增强耐久性。每种裂缝修复策略的选择都需要考虑裂缝的类型、大小和所在的路面位置，修复前的准备工作和修复后的养护同样关键，能够显著影响最终的修复效果。

(二) 多工艺组合修复技术的应用前景

多工艺组合修复技术的应用前景被广泛看好，这种技术将多种修复工艺进行有机结合，能够对复杂裂缝提供更为全面的解决方案。在处理宽度超过20毫米的裂缝时，可以将开槽填缝法与封缝带覆盖相结合，开槽后使用高强度填缝材料填充裂缝，再覆盖高弹性压缝带，从而形成双重防护，确保裂缝在温度变化和重载交通下仍

能保持稳定^[4]。在另一种情况下，当裂缝位置接近路缘或边坡区域时，采用灌缝与排水系统联动的工艺，能够有效防止水分侵蚀，对裂缝进行灌缝处理，随后在裂缝附近铺设排水管道，引导水分远离裂缝区域，降低路基受水侵蚀的风险。使用热再生技术与裂缝修复相结合的多工艺处理，也能有效解决老旧路面上大面积网裂的问题，对沥青表层的热再生处理，再结合灌缝工艺，能够实现路面整体翻新与裂缝修复的同步进行。

（三）修复技术对路面使用寿命的延长效果评估

传统单一修复方法通常仅能延长路面寿命2至3年，然而采用多工艺组合修复技术则能够将路面的使用寿命延长至5年以上，以G206公路为例，在应用心路沥青压缝带修复裂缝后，经过6个月的监测，路面平整度保持

在IRI值（国际粗糙度指数）2.5mm/m以下，修复区域未出现新的裂缝或二次开裂现象。相较之下，未采用多工艺修复的路段，在修复后3个月内裂缝重新出现的概率高达20%。另一个典型案例是G311公路的裂缝修复工程，结合灌缝与热再生技术，路面的疲劳寿命显著提高，修复后5年内未发生任何明显的路面结构性破坏。修复后的路面强度与未受损路段基本一致，这表明修复技术在延长路面使用寿命效果显著。对多个项目的长期跟踪调查发现，综合修复技术不仅提高了路面的短期耐久性，还在长期内有效降低了路面维护的频率和成本。随着修复技术的不断改进和优化，预期未来可以进一步延长路面寿命，减少交通中断和修复成本。如表2所示。

表 2 不同裂缝修复技术对路面使用寿命的影响

修复技术类型	裂缝类型	使用寿命延长 (年)	平均修复成本 (元/米)	裂缝复发率 (%)	IRI 值变化 (mm/m)	典型应用案例
热沥青灌缝	横向裂缝	5	30	15	2.0	G206
高弹性聚合物改性沥青	纵向裂缝	4	35	18	2.3	G310
开槽填缝法结合封缝带	网裂	6	40	10	1.8	G311
热再生技术与灌缝技术结合	块状裂缝	7	50	5	1.5	G104

五、沥青路面裂缝修复的实践应用与效果分析

（一）G206 线裂缝修复案例分析

在G206线威海-汕头（威汕线）的裂缝修复案例中，针对沥青路面裂缝的修复工作至关重要。裂缝作为沥青路面最主要的一种破损形式，根据成因不同，可分为横向裂缝、纵向裂缝和网状裂缝。这些裂缝不仅影响路面的美观度，更会降低路面的耐久性和行车的安全性。在修复过程中，采用了基于大数据检测分析的半刚性基层沥青路面裂缝识别及分类处治关键技术，这项技术通过Unet神经网络的裂缝图像自动识别技术，结合等距弯沉响应的裂缝损伤检测技术，对裂缝进行分类、分级，并制定相应的处置策略。此外，还建立了适用于半刚性基层沥青路面裂缝修复材料的技术评价体系，提出了裂缝高效处治成套工艺及质量控制标准。通过这些技术的应用，G206线的裂缝修复工作取得了显著成效，有效延长了路面的使用寿命，提高了行车的安全性和舒适性。

（二）G310 线裂缝修复效果的长期观测与评估

对于G310线连云港-共和（连共线北）的裂缝修复效果，进行了长期的观测与评估。裂缝修复的长期效果评估是通过定期检测路面的使用状况来进行的，包括裂缝的宽度、深度以及修复材料的性能等指标。在实践中，采用了精细抗滑保护层施工成套技术，该技术通过在原路面上撒布底层界面剂、单一粒径集料和表面稳固剂，形成具有低噪、高抗滑的沥青路面功能层。底层界面剂为SBS改性乳化沥青，具有良好的抗滑和封水性能，可降低行车噪音3-5分贝。此外，通过冷再生技术，利用原有道路材料配合添加相应的细料和水、再生剂等，按照一定比例拌合，在常温下重新回填入沉陷

面，整平后再使用压实设备进行处理，完成整体路面的重新恢复。这种维修方法适合大面积、浅表性沉陷的使用，施工速度快，通车时间短，修复后的外观效果好。通过这些技术的实施，G310线的裂缝修复效果得到了有效的长期维护，确保了路面的稳定性和耐久性。

结语

本文经由对沥青路面裂缝修复技术的详尽分析以及实际案例的验证，提出了多工艺组合修复技术在复杂裂缝修复中的应用价值，这些技术不但有效地延长了路面的使用寿命，还显著地提高了修复质量与效率。研究结果清晰地表明，选择适宜的修复策略和材料，结合先进的施工工艺，能够有效解决不同类型裂缝的问题，降低修复成本，并减少后续的养护工作量，为公路养护管理提供了全新的技术路径。

参考文献

- [1] 任英. 灌缝技术在沥青路面养护维修中的应用[J]. 交通世界, 2023, (28): 88-90.
- [2] 樊亮, 石南, 梁皓, 等. 路用耐水型聚氨酯注浆材料的修复效果与工程评价[J]. 交通科学与工程, 2023, 39(04): 24-31.
- [3] 佟春阳. 公路养护工程中沥青路面修复技术的应用研究[J]. 交通世界, 2023, (21): 100-102+142.
- [4] 程富学. 沥青路面裂缝成因分析及防治措施[J]. 四川水泥, 2023, (06): 200-202.
- [5] 全刚. 市政道路养护中沥青路面裂缝修复技术研究[J]. 江西建材, 2023, (03): 387-388+393.

作者简介: 牛芙运, 男, 江苏徐州, 1974年9月, 汉族, 本科, 高级工程师, 研究方向: 路桥工程。