

水泥混凝土路面施工接缝处理工艺效果比较研究

史明先¹ 毛明强² 贾玉丹³

1.福建省宁德市寿宁县解放街 234-9 号 福建 宁德 352000

2.浙江省江山市贺村镇八里坂村 浙江 江山 324100

3.浙江省江山市市区江东二区 20 号 浙江 江山 324100

【摘要】：水泥混凝土路面接缝处理是保障路面结构完整性与使用性能的关键环节。围绕不同接缝处理工艺开展对比研究，可揭示工艺差异对路面抗裂性、抗渗性及长期耐久性的影响规律。本研究从施工操作、材料特性及成型质量等方面对典型接缝处理技术进行系统分析，并结合实际工程表现评价各工艺的结构适应性与稳定性。研究结果表明，接缝处理的材料匹配度、施工时机与缝型控制精度对路面性能影响显著，不同工艺在耐久性与经济性上表现出明显差异。研究结论可为接缝工艺优化及工程选型提供依据。

【关键词】：水泥混凝土路面；接缝处理；施工工艺；耐久性；效果比较

DOI:10.12417/2811-0722.26.02.045

引言

水泥混凝土路面在长期荷载与环境作用下极易在接缝部位产生病害，因此接缝处理技术成为影响路面服役状态的关键因素。随着施工材料与工艺的发展，接缝处理方式不断丰富，性能表现差异逐渐显现。对这些工艺进行系统比较，有助于识别不同技术在结构适应性、成型质量及使用性能方面的优劣。通过从工程实际中提取接缝受力特征与病害规律，可以更清晰地理解接缝处理的关键影响因素，从而为合理选择与优化接缝工艺提供依据，并为提高路面整体稳定性与耐久性奠定研究基础。

1 接缝问题表现及成因分析

水泥混凝土路面在长期服役过程中，经常在接缝部位出现开裂、错台、渗水与剥落等损伤，这些现象往往与接缝区域的结构敏感性密切相关。荷载反复作用使板块边缘产生较大弯拉应力，温度梯度导致板面翘曲变形，而接缝正是这些应力集中的位置。当接缝处理不到位时，缝壁无法保持稳定形态，缝内填充材料失去弹性或发生脱黏，从而加速应力传递的不均匀性^[1]。接缝失稳后，板块间的受力协调能力下降，路面结构出现局部弱化，最终形成连续性病害链条。交通量增大和重载车辆频繁通行，使接缝处累积疲劳损伤不断增强，若接缝处理技术匹配不当，病害发展速度会明显加快。

导致接缝问题产生的因素通常呈多元叠加状态，其中施工阶段的操作精度影响尤为显著。切缝时机若控制不当，会使混凝土尚未达到适宜强度便遭受割缝应力，或在强度增长后被迫切缝而引起不规则裂缝。缝宽、缝深及缝型不符合设计要求，会削弱接缝对板块伸缩量的调节能力。嵌缝或封缝材料与缝壁的结合质量不高，也会因热胀冷缩差异而出现脱落或空鼓，使水分与杂质渗入板底，逐渐形成脱空、冲刷等隐性病害。施工环境条件变化较大时，如温差过高、湿度失衡或受雨水干扰，

更容易降低接缝处理的稳定性。施工组织不严密、质量检验不到位等问题往往会进一步扩大接缝缺陷。

从材料性能角度来看，接缝填充体系的耐久性在很大程度上决定路面接缝的稳定性。部分材料在高温环境中易软化、在低温条件下又容易脆裂，无法持续承受板块间位移带来的剪切与压缩作用。当填缝材料老化、硬化或失去回弹能力时，接缝无法有效吸收混凝土板块的伸缩变形，导致应力传递机制发生改变，使板角、板边产生集中拉应力。水分进入缝内后，在荷载冲击下会进一步扩大板底脱空范围，形成泵吸作用，使细料被不断抽出，最终演化成错台与沉陷问题。材料与施工工艺之间的适配性不足，也会造成接缝结构性能下降，影响路面整体服役质量。因此，接缝问题的表现与成因往往与材料特性、结构受力、施工控制及环境条件共同关联，需要从工艺适应性和性能机制层面进行深入分析。

2 典型接缝处理工艺的构成与特征

水泥混凝土路面施工中应用较广的接缝处理工艺通常由缝型设计、切缝技术、嵌缝或封缝材料配置等要素构成，各环节之间形成相互制约的技术链条。缝型设计决定板块伸缩控制方式，不同的缝型会对应不同的应力释放路径与板块位移模式。切缝作业在混凝土达到特定强度区间后实施，通过控制切缝深度、切缝间距与刀缝精度，使接缝能够在预定位置诱导收缩裂缝并维持稳定形态^[2]。缝壁成型质量也是工艺体系的重要组成部分，平整度、洁净度及边缘密实性直接影响嵌缝材料的附着效果。嵌缝或封缝材料承担阻水、缓冲与变形协调的功能，其物理性能及与缝壁的界面黏结能力决定接缝整体的抗渗性与耐久性。各项工艺要素之间一旦匹配不当，会造成接缝功能衰减，使路面结构在服役过程中出现应力集聚与界面弱化现象。

常见的接缝处理方式中，割缝诱导工艺、热熔型封缝、胶

结型嵌缝及高弹性嵌缝体系占据主要地位。割缝诱导工艺依托专用切缝设备,通过机械控制实现缝深与缝宽的标准化,使板块变形能沿预设路径释放,减小随机裂缝风险。热熔型封缝材料在加热后具备较高流动性,可迅速渗入缝壁细微孔隙并形成连续封闭层,对温度敏感性较高,在高温时表现柔软,低温时则偏硬。胶结型嵌缝材料以树脂、改性沥青或聚氨酯体系为主,通过胶结作用与缝壁形成稳定界面,具有一定延展性与抗剪性能。高弹性嵌缝体系依靠弹性体材料适应板块位移变化,其回弹性使接缝在多层荷载与温度循环中仍能保持较好的变形协调能力。不同材料体系在施工便捷性、界面黏结力、抗老化性能及环境适应性上均存在差异,使各工艺的适用范围具有明显区分度。

从工程实践角度审视各种接缝处理工艺,可以发现技术构成的差异直接影响路面服役阶段的性能表现。割缝精度高的工艺体系能够最大程度地保证接缝位置的应力可控,而材料密封性高的工艺则更强调阻水与抗老化特性。高交通量路段在重载重复作用下对材料的剪切稳定性要求更高,需要选用耐疲劳性能突出的嵌缝结构。寒冷地区由于温度骤变引起板块频繁收缩与翘曲,更适合采用弹性恢复能力强的材料体系。施工组织方式也会影响工艺发挥效果,设备状态、环境条件、操作经验及缝壁处理质量均可能改变工艺表现。接缝处理工艺的构成具有系统性,各技术环节之间的协调程度决定接缝能否长期维持结构功能,而材料特征与施工控制能力的差异也使工艺的适用性呈现多样化趋势。

3 接缝处理工艺对路面性能的影响规律

接缝处理工艺对水泥混凝土路面性能的影响呈现出明显的结构响应规律,在荷载、温度和湿度共同作用下,接缝区域成为应力集中与变形协调的关键部位。切缝质量与缝型控制精度决定板块能否按预定路径释放收缩应力,一旦切缝深度不足或缝壁形态不规则,裂缝可能偏离设计位置,使板块内部形成复杂的应力场^[3]。嵌缝或封缝材料的弹性模量和回弹能力直接影响板块边缘的变形协调性,高刚度材料在温度梯度作用下容易限制板块自由伸缩,而低刚度材料在重载作用下可能失去承载力,使缝口边缘产生微裂缝。接缝区域的结构完整性一旦受损,路面弯拉疲劳强度下降,抗裂性能随之削弱,累计荷载作用会促使裂缝扩展并引发板角、板边破碎等现象。

接缝材料与混凝土之间的界面黏结状态影响路面抗渗性能。当缝壁存在毛刺、附着物或孔隙结构不均匀时,嵌缝材料无法形成连续密封层,会使雨水与杂质沿缝壁渗入板底。水分在板底积聚后,会在车辆荷载作用下产生泵吸效应,使细料不断被抽离,形成脱空、错台等病害。接缝材料的耐老化能力同样对抗渗性能具有显著作用,材料老化后体积收缩、表层硬化,会使密封效果减弱,缝口出现贯通性微裂隙,进一步扩大渗水通道。温度循环对材料性能影响更为敏感,高温软化会降低缝

口的形状保持能力,低温硬化又会降低应力缓释能力,使接缝在极端气候作用下更易产生疲劳损伤。

不同接缝处理工艺对路面整体稳定性的影响还体现在板块协调变形能力上。高弹性嵌缝体系在多层荷载作用下可保持较强的变形恢复能力,有利于缓解板块挤压与拉伸带来的内部应力,但对重载冲击的抵抗力有限。胶结型材料因具有较高的黏结强度,可在一定程度上增强缝壁稳定性,但其延展性不足时可能在低温条件下出现脆裂。热熔型材料在温度变化剧烈的地区会出现性能波动,使接缝在部分时段无法维持密封状态。不同工艺的构造特性决定其与路面结构的匹配能力,而板块尺寸、基层刚度、交通环境与气候条件也会改变接缝区域的应力分布。接缝处理工艺若无法与结构受力特征保持一致,路面性能会呈现明显衰减趋势,表现为裂缝扩展速度加快、错台增大与板块稳定性削弱等现象。

4 不同工艺的适应性评估与施工优化路径

不同接缝处理工艺在实际工程中的适应性受到交通荷载、环境条件、材料特性与结构构造的共同影响,各工艺在性能表现上呈现差异化特征。高交通量路段因重载车辆频繁作用,接缝区域承受的剪切力与冲击力明显增大,对嵌缝材料的抗疲劳性能与界面黏结力提出更高要求。在这种条件下,高弹性材料能够缓解一定的变形压力,但其抗剪强度不足会限制适用范围;胶结型材料虽具备较强的界面稳定性,但在低温条件下的延展性不足可能导致脆裂风险^[4]。气候变化剧烈的地区,接缝材料需要同时满足耐热、耐寒与抗老化要求,若材料温度敏感性过高,则会出现季节性失稳现象,使接缝密封能力下降。

在适应性评估过程中,施工工艺的可控性对最终效果具有直接影响。切缝时机的把握决定裂缝诱导的准确性,过早切缝会导致板面损伤,过晚切缝会引发非预期裂纹。缝壁处理的细致程度关系到材料与混凝土界面的黏结质量,若缝壁未清理干净或存在微裂缝,嵌缝材料难以形成连续密封层,耐久性将受到削弱。材料加热温度、混合比例及注缝方式的偏差也可能改变材料性能,使原本适合的工艺在实施后无法达到预期效果。不同施工组织模式对施工质量影响显著,机械化程度较高的工艺体系可提升施工精度与稳定性,而依赖人工的工序更易受到操作经验和外界环境干扰。

为了提升工艺适应性,需要从材料选型、设备配置以及施工流程控制等方面进行优化。针对高荷载路段,可优先采用具备高弹性与高黏结能力的复合型材料,通过增强界面韧性提高接缝的抗疲劳能力。在气候条件复杂的区域,应选择温度敏感性较低、老化速率慢的材料体系,并强化缝壁密封结构以减少环境侵入。施工环节中,可通过提升切缝设备精度、优化缝壁处理顺序与控制材料施工温度,使接缝成型更加标准化。为减少人为因素造成的质量波动,可在施工过程中配置实时监测工具,对缝宽、缝深、材料温度及注缝速度进行动态控制,使工

艺稳定性得到保障。各工艺在适应性上的差异使优化路径具有针对性导向,通过调整技术组合和施工控制策略,可使接缝处理在不同工程条件下保持更高的性能可靠度。

5 接缝处理工艺效果差异的综合比较与归纳

不同接缝处理工艺在路面服役阶段展现出的性能差异与其结构构造、材料属性及施工可控性密切相关。割缝诱导体系依赖精确的切缝深度与缝型控制,使板块收缩裂缝能够在预设位置形成,因而在裂缝引导方面表现稳定;但若切缝设备精度不足,裂缝位置偏移会改变板块受力模式,使后期病害风险增加。高弹性嵌缝材料以较强的形变协调能力缓解板块位移带来的界面应力,在温度变化较大的环境中展现较高适应性,但其抗剪切能力在重载作用下仍显不足^[5]。胶结型材料因黏结强度较高,对缝壁稳定性提升明显,但在低温条件下延展性降低,更易出现脆裂,使密封性受到影响。不同工艺在抗裂性、抗渗性与变形协调方面的差异,使其应用条件呈现明显区分度。

在耐久性比较中,各工艺对环境作用的抵抗能力表现不同。热熔型材料在高温季节易出现软化,使缝口形态保持性下降,而在低温季节则易变硬,导致材料内部应力难以释放,容易形成早期微裂缝;其优势在于界面渗透性好,初始密封性能较强。高弹性材料在温度循环条件下保持一定弹性恢复能力,可持续吸收板块伸缩变形,但其老化速率稍高,长期性能需要依赖材料本身的稳定性。胶结型材料具有较好的抗水性能和界面黏附能力,可有效阻隔水分侵入,但若施工过程中温度控制不足,会导致材料胶结反应不充分,使密封效果下降。不同工

艺在环境敏感性上的差异,使其在不同气候区的使用效果呈现显著变化。

从施工实施角度进行横向比较,可以发现工艺的标准化程度与最终效果具有直接关联。切缝质量依赖设备精度与操作熟练度,标准化程度高的工艺体系更能保证接缝位置的准确性。嵌缝与封缝材料施工温度、注缝速度、缝壁清洁度等因素若控制不严,会导致界面黏结不足或密封层不均匀,使原有工艺优势无法有效发挥。高机械化程度的工艺体系能够减少人为干扰,提高接缝成型一致性,而依赖人工经验的工艺更容易受气候变化或施工组织不稳定的影响。不同接缝处理工艺在结构性能、环境适应性与施工可控性方面的差异,使其在实际工程中的表现存在显著分层,表现出与路面结构需求相匹配的技术特性。

6 结语

接缝处理工艺对水泥混凝土路面结构性能的影响贯穿路面全寿命周期,各技术体系在材料特性、结构适应性与施工可控性方面均呈现差异。接缝病害的发展机制揭示出工艺匹配度的重要性,而工艺构成的细微变化又会显著改变路面在荷载与环境作用下的响应特征。不同工艺在抗裂性、抗渗性与耐久性上的表现为工程选型提供了明确的技术依据,也凸显了施工质量控制的重要作用。对典型工艺进行系统比较,有助于形成更为合理的技术选择路径,使路面结构稳定性在实际条件下得到可靠保障。

参考文献:

- [1] 钱炯方.水泥混凝土路面碎石化加铺沥青层的病害处理技术[J].水泥,2025,(12):98-100.
- [2] 陈佳慧.高速公路水泥路面与混凝土路面养护成本对比分析及研究[J].水泥,2025,(12):113-115.
- [3] 胡丞.水泥混凝土路面平整度的影响因素及控制措施[J].工程技术研究,2025,10(20):140-142.
- [4] 刘春军.公路改扩建工程沥青路面接缝处理技术研究[J].工程机械与维修,2025,(08):158-160.
- [5] 路长友,杨金明.建筑地下防水接缝处理技术及质量控制研究[J].中国建筑金属结构,2025,24(13):75-77.