公路预防性养护中同步碎石封层施工技术应用研究

庄成龙[1]，郑洪锋[2]

（1. 葛洲坝武汉道路材料有限公司，湖北 武汉 430075；
2. 葛洲坝（武汉）公路养护有限公司，湖北 武汉 430030）

摘 要 同步碎石封层施工技术具有“同步洒布、快速成型、经济高效”的工艺特征，已成为沥青路面预防性养护的重要技术手段。本文概述了同步碎石封层施工技术原理及其适应用条件，然后从材料组成设计、施工工艺控制、质量检验验收三个维度展开技术分析，重点探讨了改性乳化沥青与单一粒径集料的匹配关系、同步碎石封层车作业参数控制及碾压工艺优化等关键环节。结果表明，同步碎石封层可有效封闭路面微裂缝、提升抗滑性能与防渗能力，施工后 2 h 内即可开放交通，单位面积养护成本仅为传统铣刨罩面的 25% ~ 35%。该技术可为公路预防性养护工程中同步碎石封层的设计与施工提供技术参考。

关键词 同步碎石封层；预防性养护；改性乳化沥青；同步洒布；碾压

中图分类号：U418；U416.2 **文献标志码**：A **DOI**：10.3969/j.issn.2097-3365.2026.30.019

0 引言

沥青路面是我国公路工程中应用占比最高的路面结构形式，随着全国公路路网规模持续扩张，大量早期建成的公路已逐步进入养护周期。我国公路养护需求呈现“存量巨大、增量迅速”的态势，传统养护通常在路面出现结构性破坏后进行铣刨重铺，存在成本高、施工周期长、交通干扰大等局限。预防性养护理念由此受到行业广泛重视，其核心在于在路面结构尚处良好状态时，主动采取干预措施以延缓病害发展、延长服役寿命，符合“高效、经济、绿色”的行业发展要求。同步碎石封层施工技术与传统的异步碎石封层相比，可显著提升封层与原路面的层间结合力，同时兼具施工速度快、开放交通早、综合造价低等经济优势。

1 同步碎石封层施工技术概述

1.1 同步碎石封层施工技术原理

同步碎石封层施工技术的本质是“沥青膜黏结碎石”形成的超薄功能层。其结构可分解为三个组成部分：下承层（原路面）、沥青胶结料膜、集料层。专用同步碎石封层车将沥青喷洒系统与集料撒布系统集成于同一底盘，通过车速与泵送系统的联动控制，实现沥青与集料的同步输出。沥青从喷嘴喷出后形成扇形雾状薄膜，集料随即覆盖于尚未破乳（乳化沥青）或尚未冷却（热沥青）的沥青膜上，两者在压路机的碾压作用下完成嵌入与嵌挤。乳化沥青在破乳前完成集料撒布，热沥青则需在温度降至黏结有效区间前完成碾压。同步工艺可获得更优的黏结效果，封层成型后，沥青膜、集料层共同作用实现防水、抗滑、耐磨的功能恢复[1]。

1.2 预防性养护适用条件

同步碎石封层并非适用于所有路面状况，其应用应满足严格的准入条件。同步碎石封层的核心功能定位是“功能恢复”。当路面结构强度充足、仅表面功能退化时，封层可发挥最佳效益；当中下面层或基层已出现结构性破坏时，封层仅能暂时改善表面，无法抑制病害继续向上反射。

2 同步碎石封层施工材料组成设计

2.1 沥青胶结料

沥青胶结料是影响封层黏附力、道路寿命、对温度变化敏感程度的关键因素。在选择沥青材料时，应根据公路等级、交通量大小、气候环境及施工方便等因素进行综合考量，在一级、二级公路优先采用 SBS 改性沥青或改性乳化沥青作为预防性养护的沥青胶结料。SBS 改性沥青能够提高高低温性能及耐久性。虽然 SBS 改性沥青的材料成本比普通沥青高 30% ～ 80%，但全生命

作者简介：庄成龙（1988-），男，本科，工程师，研究方向：道路施工及养护。

周期效益突出，长期道路维护成本可降低40%～60%。改性乳化沥青需控制破乳速度、筛上剩余量、恩格拉黏度等乳化性能指标。快裂型阳离子乳化沥青是同步碎石封层的首选，其破乳速度与集料撒布窗口的匹配性最佳[2]。

2.2 集料

集料为同步碎石封层的骨架，对封层的抗滑耐久性、抗飞散能力起着重要作用。集料通常选用单一粒级，如4.75 mm～9.5 mm及9.5 mm～12.5 mm等，根据沥青洒布量选择适当的集料尺寸。集料技术标准由力学性质、形状特点以及清洁度三部分指标组成。（1）力学性能。压碎值和洛杉矶磨耗损失表示集料在承受荷载作用下抵抗破碎的能力，直接影响着封层寿命长短（如表1所示）。（2）形状特点。针片状含量为同步碎石封层有别于常规沥青混合料的重要控制指标，集料针片状含量≤10%，远高于普通沥青面层的15%。（3）清洁度。集料清洁、干燥，不含泥土、有机杂质；施工前对集料进行筛分及预裹覆，增强其与沥青的粘附性[3]。

表1 同步碎石封层集料技术指标

技术指标	技术要求	试验方法
压碎值（%）	≤20	T 0316
洛杉矶磨耗损失（%）	≤25	T 0317
针片状含量（%）	≤10	T 0312
与沥青黏附性（级）	≥4	T 0323
水洗法＜0.075 mm颗粒含量（%）	≤1	T 0310
表观相对密度（g/cm^3）	≥2.5	T 0304
吸水率（%）	≤2	T 0304

2.3 沥青洒布量与集料撒布量匹配

沥青用量和集料用量之间的精确配比关系是同步碎石封层配合比设计的关键所在。沥青用量过少会导致无法完全包裹集料，封层容易出现松散脱落现象；沥青用量过多会造成封层泛油、表面构造深度不够的问题。集料撒布量采用“满铺率”进行控制，一般取覆盖率为80%～90%。根据原路面构造深度、集料粒径、沥青种类确定集料用量，随着集料粒径的增大，沥青洒布量也随之增大。洒布改性乳化沥青一般为1.4 kg/m^2～2.0 kg/m^2；集料的撒布量取决于粒径大小和满铺率的要求（如表2所示）。

3 同步碎石封层施工工艺

3.1 施工准备

做好施工准备工作是保证封层效果的基础。人工清扫原路面，并配合鼓风机吹扫或高压水冲洗，彻底清除路面的泥土、油污及松散颗粒。存在轻微车辙或局部沉陷的路段应修补找平，以免封层厚度不均。同步碎石封层车的标定是施工准备的重要环节。标定内容包括：沥青泵输出量与车速的联动关系、喷嘴雾化状态与喷洒扇形角度、集料料门开度与撒布辊转速的对应关系。正式施工前在试验段完成标定，确保沥青洒布量、集料撒布量与车速参数匹配。

3.2 同步洒布

同步洒布施工质量直接影响车速稳定性、洒布均匀性与衔接连续性。同步洒布要点：（1）车速控制。严格控制作业车辆行驶速度，使其与沥青泵排量、集料输送速率精确匹配，通常控制在4 km/h～6 km/h为宜。驾驶员应沿预设控制线匀速直行，避免中途变速或停车。（2）洒布均匀性。一般情况下沥青洒布最大偏差不超过±0.20 kg/m^{2}的设计值。沥青洒布装置应保证恒定的泵压，并关注喷头状况，以免温度过低或者杂物堵塞导致洒布不均匀。同时，根据喷头型号、洒布宽度严格控制喷洒高度，使相邻喷头之间的喷洒扇形有效搭接，形成等厚的沥青薄膜。集料撒布滚筒应匀速转动，料门开合适当，不得出现集料上下重叠或者漏撒的情况。（3）接缝处理。纵向接缝宜设置在车道标线处，采用对接方式，尽量减少接缝数量。横向接缝的处理更为关键：在每一幅施工的起点和终点铺设油毡，使洒布杆在油毡处启停，可获得平直的横向接缝。接缝处重叠10 cm～15 cm，下一幅施工前需清理干净预留沥青边缘的集料[4]。

表2 同步碎石封层沥青与集料参考用量

集料粒径（mm）	集料撒布量（kg/m^2）	乳化沥青洒布量（kg/m^2）	适用场景
9.5～19.0	22～27	1.8～2.3	下封层、应力吸收层
12.5～4.75	14～16	1.4～2.0	上封层（重交通）
9.5～2.36	11～14	0.9～1.6	上封层（中轻交通）
4.75～1.18	8～11	0.7～0.9	桥面防水或精细封层

3.3 碾压

碾压是使集料嵌入沥青膜、形成嵌挤结构的关键步骤。同步碎石封层的碾压作业需精准把握时机：碾压过早，热沥青黏度低，集料易被压路机轮胎黏走；碾压过晚，沥青已冷却或破乳，集料无法有效嵌入。热沥青同步碎石封层施工，通常在沥青温度降至 100 ℃时开始碾压，采用 9 t～16 t 胶轮压路机稳压 1 遍～2 遍，行驶速度 5 km/h ～ 8 km/h；改性乳化沥青封层施工应在乳化沥青破乳后、集料尚未被粘走前及时碾压，碾压遍数通常为 2 遍～ 4 遍，轮迹重叠约 30 cm。碾压过程中压路机不能天然转弯、刹车，否则造成集料推移[5]。

3.4 养生与开放交通

碾压完成后需进行短期养生，使沥青进一步固化、集料稳固就位。养生期间严禁施工车辆急刹车或掉头。对于热沥青封层，待路面温度降至环境温度后可开放交通；对于乳化沥青封层，破乳完成后通常 2 h 内即可开放交通。开放交通初期应控制车速，利用行车荷载进一步压实封层。

4 同步碎石封层施工质量控制与验收

4.1 施工过程质量控制

同步碎石封层过程控制比事后检验更重要。施工过程需严格控制以下关键参数：

1. 严格控制材料用量。通过同步封层车的计量系统记录每幅的沥青与集料实际用量，与设计值对比。沥青洒布量的最大偏差不应超过设计值的 ±0.20 kg/m^2，部分严格标准要求控制在 ±5% 以内，但需通过现场实测进行校验；碎石覆盖率以 90% ～ 95% 为宜。

2. 实时目测监测洒布均匀性。通过目视检查与铺砂法抽检，观察沥青膜是否连续、集料覆盖是否均匀，局部漏撒或沥青堆积应及时人工修补。

3. 沥青温度与气候条件控制。沥青的洒布温度需根据胶结料类型严格控制：普通石油沥青控制在 160 ℃～ 170 ℃；SBS 改性沥青控制在 170 ℃～ 190 ℃，橡胶沥青则需 180 ℃～ 200 ℃。同时，气温与路表温度同样构成施工的硬性约束。空气温度＜ 10 ℃停止施工；路表温度要求≥ 25 ℃；阴雨天气或路面潮湿时严禁施工，雨后需待路表完全干燥后方可作业。

4. 碾压时机把控。碾压时机的判断因胶结料类型而异，热沥青通常要求在沥青温度降至 100 ℃左右时开始碾压；当下承层温度＞ 40 ℃时应在 20 min 内完成碾压；下承层温度在 18 ℃～ 40 ℃时，碾压窗口缩短至 10 min[6]。

4.2 检查与验收

同步碎石封层的交工验收通常在开放交通 30 d 后进行，以使封层在行车荷载下完成最终稳定。验收检测项目：构造深度、摩擦系数反映封层的抗滑性能恢复效果；渗水系数反映其防水密封效果；碎石覆盖率是同步碎石封层特有的验收指标，反映集料撒布的均匀程度；外观检查重点关注是否存在无泛油、掉粒、推移等病害（如表 3 所示）。

表 3 同步碎石封层交工检查验收指标

检查项目	技术要求	检查频率	检测方法
构造深度	≥ 0.8 mm	每 1 km 测 5 点	铺砂法
摩擦系数	≥ 55	每 1 km 测 5 点	摆式仪
渗水系数	≤ 10 mL/min	每 1 km 测 5 点	渗水试验
碎石覆盖率	≥ 85%	每幅目测	面积法
外观质量	均匀、无泛油、无掉粒	全线	目测

5 结论

同步碎石封层作为沥青路面预防性养护的核心技术之一，该技术在材料、工艺与质量三个层面具有明显应用优势。研究结果表明：（1）同步碎石封层的适用条件具有严格的边界，仅适用于结构强度良好、病害以表面功能退化为主的中轻交通路段，重载交通与结构损坏路段不宜采用。（2）材料设计的关键在于沥青类型与集料品质的匹配。改性乳化沥青是上封层的推荐胶结料，集料针片状含量应控制在 10% 以内，沥青洒布量与集料撒布量的匹配关系需通过试验段标定。（3）施工控制的核心是“时机控制”与“均匀性控制”。同步洒布的车速稳定性、碾压的时机选择、接缝的处理质量是决定封层成败的关键环节。

参考文献：

[1] 熊跃.公路养护工程中同步碎石封层技术施工要点及应用效果评估 [J]. 四川水泥 ,2026(07):255-257.
[2] 路钧.公路碎石封层施工工艺优化技术探讨[J].科技创新与生产力 ,2026,47(06):119-121.
[3] 王明.同步碎石封层技术在公路养护施工中的应用 [J]. 交通世界 ,2026(15):31-33.
[4] 师忠.公路养护橡胶沥青同步碎石封层施工安全管理与质量控制 [J]. 汽车画刊 ,2024(10):218-220.
[5] 张泽涛.公路工程中同步碎石封层施工技术[J].四川建材 ,2024,50(06):186-188.
[6] 党吉.普通公路同步碎石封层养护施工技术研究[J].交通科技与管理 ,2024,05(04):129-131.