

5mm黑色防滑路面铺装（改性环氧树脂+陶瓷颗粒）铺装

张 磊

城市道路桥梁管理事务中心道路第一分中心 天津 300222

摘要：本文聚焦5mm黑色防滑路面铺装（改性环氧树脂+陶瓷颗粒），介绍其材料特性，包括改性环氧树脂的优异力学、耐候等性能及陶瓷颗粒的防滑、耐久等特点。详述施工工艺，涵盖施工前准备、流程及质量控制要点。通过试验路段，对其短期性能、1-2年中长期性能展开评价与监测，并分析经济与社会效益。结果表明，该路面性能良好，经济与社会效益显著，值得推广应用。

关键词：改性环氧树脂；陶瓷颗粒；防滑路面；薄层铺装；5mm厚度

引言：城市道路交通安全与品质备受关注，传统路面在防滑、耐久等方面存在不足。5mm黑色防滑路面铺装技术（改性环氧树脂+陶瓷颗粒）应运而生。改性环氧树脂提供可靠胶结基础，陶瓷颗粒作为核心防滑骨料。这种薄层铺装技术不仅能提升路面防滑性能，保障行车安全，还具有美观、耐久等优点。深入研究该技术，对改善城市道路状况、推动交通事业发展具有重要意义。

1 5mm 黑色防滑路面铺装材料特性

1.1 改性环氧树脂特性分析

5mm黑色防滑路面所用改性环氧树脂作为胶结料，具备优异的综合性能。其通过特定改性工艺优化分子结构，拉伸强度达15MPa以上，弯曲强度超过20MPa，能承受车辆碾压产生的应力而不破损。粘结性能突出，与混凝土、沥青等基层的粘结强度 $\geq 2.5\text{MPa}$ ，有效避免层间剥离问题。耐候性经过专项改良，在-30℃低温至60℃高温环境下循环测试无开裂、变色现象，抗紫外线老化能力优异，长期暴露在户外仍保持性能稳定^[1]。该材料固化速度可控，常温下4-6小时初步固化，24小时完全固化，适配不同施工节奏需求。同时具备良好的耐化学腐蚀性，能抵御车辆尾气、雨水冲刷带来的酸碱侵蚀，且固化后无挥发性有害物质释放，符合环保要求，为防滑路面提供可靠的胶结基础。

1.2 陶瓷颗粒特性分析

5mm黑色防滑路面采用的陶瓷颗粒为核心防滑骨料，粒径经过精准筛选控制在2-3mm，颗粒形状呈不规则棱角状，表面粗糙多孔。其莫氏硬度高达7级，经过500次磨损测试后磨损率仅0.3%，远优于普通骨料，能长期保持防滑效果。颗粒自身吸水率低于0.5%，遇水后不发生膨胀变形，避免因水分侵入导致的结构破坏。颜色为深邃黑色，采用高温烧着色工艺，日晒雨淋后无褪色现象，能长期保持路面美观一致性。密度为 2.6g/cm^3 ，与

改性环氧树脂胶结料适配性良好，混合后能均匀分散且牢固结合。陶瓷颗粒具备优异的耐高温性，在200℃高温下性能稳定，遇明火不燃烧，同时抗冻融性能突出，经过50次冻融循环后无破损，适配不同气候环境下的路面使用需求。

2 5mm 黑色防滑路面铺装施工工艺

2.1 施工前准备工作

施工前，一系列细致且关键的准备工作必不可少，基层处理是基础中的基础。需对基层进行全面且彻底的清理，运用高压水枪强力冲洗表面附着的灰尘与油污，让基层恢复洁净。针对裂缝、坑槽等缺陷，使用专用修补材料精心填补，修补完成后，严格把控基层平整度，误差必须控制在3mm/2m以内，同时确保基层强度达到C30混凝土强度标准，为后续施工筑牢根基。材料备料环节，要依据施工面积精准计算改性环氧树脂和陶瓷颗粒的用量，保证材料批次统一，质量稳定。改性环氧树脂需提前放置在25℃的环境中静置24小时，使其性能稳定；陶瓷颗粒则要过筛处理，去除其中夹杂的杂质。设备调试方面，对涂布机、撒布机、碾压机等关键设备进行细致调试^[2]。将涂布机喷头间隙调整至与5mm厚度适配，撒布机出料速度校准到颗粒覆盖率达95%以上。现场设置围挡划分施工区域，悬挂醒目的安全警示标识。施工人员务必佩戴防滑鞋、防护手套、护目镜等防护用品。同时编制详细的施工方案，明确各工序施工时间与人员分工，并提前查看天气预报，避开雨天、大风及低于5℃的不利施工天气。

2.2 施工流程详解

2.2.1 改性环氧树脂涂布

改性环氧树脂涂布是施工核心工序，需严格控制涂布厚度与均匀性。施工前先对基层进行干燥度检测，确保表面含水率低于8%，采用吹风机再次清理基层表面浮

尘。将改性环氧树脂A、B组分按3:1的比例倒入搅拌罐，使用电动搅拌机高速搅拌3分钟，确保混合均匀无沉淀。采用专用自行式涂布机进行涂布，涂布机行进速度设定为0.5m/s，喷头与基层距离保持15cm，通过机械加压使胶结料均匀覆盖基层。涂布过程中安排专人跟随，使用湿膜测厚仪实时检测厚度，确保每平方米涂布量控制在3.5kg，对应湿膜厚度达5mm。涂布顺序遵循从边缘到中间、从一端到另一端的原则，相邻涂布区域搭接宽度控制在5cm，避免出现漏涂、堆料现象。若施工过程中出现胶结料粘度过大，可在规定范围内加入少量专用稀释剂，严禁过量添加影响粘结强度，涂布完成后立即进入下道工序。

2.2.2 陶瓷颗粒撒布与固定

陶瓷颗粒撒布需在改性环氧树脂涂布后30分钟内完成，确保颗粒与胶结料充分结合。采用全自动撒布机进行撒布，撒布机料斗高度调整至1.2m，使颗粒自由下落均匀覆盖涂布面，撒布量控制在 $5\text{kg}/\text{m}^2$ ，确保颗粒完全覆盖胶结料表面且无堆积。撒布过程中安排人员在两侧巡视，对边角、设备盲区采用人工补撒，补撒时使用铁锹均匀抛撒，避免局部颗粒不足。撒布完成后静置10分钟，待颗粒初步嵌入胶结料后，采用轻型碾压机进行碾压，碾压机重量设定为1.5吨，行进速度0.3m/s，碾压次数为2遍，确保颗粒牢固嵌入胶结料中，且表面平整度符合要求。碾压过程中避免碾压机在同一位置停留，防止胶结料挤出导致厚度不均。碾压完成后检查颗粒嵌入深度，确保嵌入深度达颗粒粒径的2/3以上，对嵌入不足的颗粒进行人工按压固定。

2.2.3 养护与质量检查

养护阶段需严格控制环境条件，确保路面强度稳步形成。养护期间设置禁止通行标识，严禁车辆、行人进入施工区域，常温环境下养护24小时，若环境温度低于 15°C ，需延长养护至48小时，可采用覆膜保温措施加速固化。养护24小时后拆除围挡，进行初步质量检查，重点检测路面厚度、平整度及防滑性能。厚度检测采用钻芯取样法，每 100m^2 取3个芯样，确保芯样厚度均在4.8-5.2mm范围内；平整度采用3m直尺检测，最大间隙不超过3mm；防滑性能采用摆式摩擦系数测定仪检测，摩擦系数不低于60BPN。养护7天后进行最终质量检查，包括外观、粘结强度等，外观无裂缝、脱皮、颗粒脱落现象，粘结强度采用拉拔试验检测，数值不低于2.5MPa，符合要求后方可开放通行。

2.3 施工过程中的质量控制要点

施工过程质量控制需覆盖各工序关键环节，确保最

终路面性能达标。基层处理阶段，每 500m^2 检测10个点的平整度和强度，平整度误差超3mm需重新打磨，强度不足需进行补强处理。改性环氧树脂混合时，专人监督配比并记录，搅拌完成后取样检测粘度，粘度控制在 $1500\text{-}2000\text{mPa}\cdot\text{s}$ 范围内，超出范围需调整配比或更换材料^[3]。涂布过程中，每 100m^2 检测5个点的厚度，厚度偏差超 $\pm 0.2\text{mm}$ 时及时调整涂布机行进速度或喷头压力。陶瓷颗粒撒布前检测颗粒含水率，含水率超0.5%需烘干处理，撒布后每 50m^2 检查3个点的覆盖率，覆盖率不足95%需补撒。碾压阶段实时监测碾压机重量和行进速度，避免重压或漏压。养护期间定期检测环境温度和湿度，温度低于 5°C 或雨天需停止施工并采取防护措施，同时做好各工序质量记录，形成完整质量追溯体系，发现问题及时整改并重新检测。

3 5mm 黑色防滑路面现场应用与性能监测

3.1 试验路段选取与设计

试验路段选取城市主干道与支路交叉口区域，该区域日均车流量8000-10000辆，包含小型轿车、货车等多种车型，且行人流量大，具备复杂使用场景代表性。路段长度设定为200m，宽度6m，总面积 1200m^2 ，基层为已使用5年的沥青混凝土路面，经检测基层平整度、强度符合施工要求。设计采用5mm黑色防滑路面结构，自上而下依次为2-3mm陶瓷颗粒防滑层和改性环氧树脂胶结料层，总厚度5mm。设计参数明确：粘结强度 $\geq 2.5\text{MPa}$ ，摩擦系数 $\geq 60\text{BPN}$ ，平整度 $\leq 3\text{mm}/2\text{m}$ ，耐候性满足 -30°C 至 60°C 环境使用。施工前绘制详细施工图纸，标注施工边界、材料堆放区域、施工通道等，制定分阶段施工计划，避开交通高峰期施工，采用半幅施工半幅通行方式，配备交通疏导人员确保施工期间交通顺畅，同时在路段两端设置监测点，为后续性能检测提供基准数据。

3.2 短期性能评价（施工后1个月内）

施工完成后1个月内，为全面评估工程短期性能，要精心开展了涵盖外观、防滑性能、粘结强度及平整度等多项关键指标的评价工作。外观检查方面，安排专人每周进行1次细致检查，采用目测与拍照记录相结合的方式。结果显示，路面平整如镜，无裂缝、脱皮、颗粒脱落等瑕疵，黑色色泽均匀一致，且无明显褪色现象。防滑性能上，利用摆式摩擦系数测定仪每周检测1次，每次精心选取20个点进行测试。数据显示，摩擦系数稳定在65-70BPN之间，即便在雨天检测，摩擦系数仍保持在60BPN以上，远超普通沥青路面的45BPN，防滑效果极为显著。粘结强度检测采用拉拔试验，每月进行3次，每次取5个芯样，检测数值均稳定在2.8-3.2MPa范围内，完全

满足设计要求。平整度则使用3m直尺每月检测1次,最大间隙仅为2.5mm,符合相关标准。另外,还统计了交通通行情况,施工后1个月内,该路段未发生一起打滑交通事故,车辆通行平稳有序,行人纷纷反映路面防滑效果极佳,短期使用性能完全达到了设计预期。

3.3 中长期性能监测(1-2年)

在为期1-2年的中长期性能监测中,采用定期检测与不定期抽查相结合的方式,着重对路面性能衰减情况进行跟踪。防滑性能方面,每3个月进行一次全面检测。经过1年的监测,摩擦系数稳定在62-68BPN之间;到2年后,虽有一定轻微衰减,但仍保持在58-65BPN,远高于安全标准。粘结强度每6个月检测一次,1年时检测值处于2.6-3.0MPa的良好范围,2年时为2.5-2.9MPa,表明粘结性能始终保持稳定。外观检查每季度开展一次,1年后路面没有出现明显裂缝,仅局部有轻微磨损痕迹;2年后,磨损痕迹略有扩展,但并未出现颗粒大面积脱落的现象。耐候性上,经历夏季高温和冬季低温的考验后,路面没有出现鼓包、开裂等温度损伤问题。同时,要详细记录极端天气后的性能表现,暴雨过后,路面排水十分顺畅,未出现因积水导致的性能下降;暴雪后除雪过程中,路面也没有出现破损情况。综合来看,该路面中长期使用性能表现优异,完全能够满足道路长期使用的需求。

3.4 经济与社会效益分析

从经济效益角度分析,5mm黑色防滑路面施工成本约为80元/m²,相较于普通沥青路面的40元/m²,初始成本看似较高。然而,其使用寿命可达8-10年,而普通沥青路面使用寿命仅为5-6年。若按10年周期进行计算,防滑路面年均成本仅为8元/m²;普通沥青路面在这10年内需要翻

修1次,年均成本高达14.7元/m²,由此可见,防滑路面长期经济性优势明显^[4]。在养护成本方面,防滑路面每年仅需进行简单清扫,年养护成本仅0.5元/m²;普通沥青路面年均养护成本为2元/m²,10年下来可节省养护费用15元/m²。社会效益同样显著,施工后该路段打滑事故发生率较之前大幅下降80%,切实有效地保障出行安全。路面防滑性能提升后,车辆制动距离缩短5-8m,减少交通拥堵时间,经统计该路段通行效率提升了15%。材料环保性避免施工及使用过程中的环境污染,符合绿色交通发展要求。同时,黑色路面美观整洁,极大地提升城市道路景观品质,获得了市民及交通管理部门的高度认可。

结束语

5mm黑色防滑路面铺装(改性环氧树脂+陶瓷颗粒)技术,凭借材料独特优势与科学施工工艺,在实际应用中展现出卓越性能。短期与中长期性能监测均表明其稳定性与可靠性,经济与社会效益显著。该技术不仅提升了道路安全性与通行效率,还符合绿色交通理念,美化城市环境。未来,应进一步优化技术,扩大应用范围,为城市交通建设与可持续发展提供更有力的支持。

参考文献

- [1]高冬元,张广鑫.改性环氧树脂胶粘剂研究进展[J].化学与粘合,2025,47(3):337-342.
- [2]陈允禄,任鹏杰,宋成法,等.聚氨酯改性环氧树脂高温老化研究[J].交通世界,2024(9):20-23.
- [3]辛小俊.掺陶瓷颗粒高性能混凝土力学性能研究[J].江西建材,2024(12):29-31,35.
- [4]王斌,李西军,曹连德.彩色陶瓷颗粒防滑路面施工工艺[J].东方陶瓷,2025(1):62-64.