

旧路沥青混合料（RAP材料）热拌再生技术

张忠文

敖汉旗公路管护和运输保障中心 内蒙古赤峰 024300

摘要：旧路沥青混合料（RAP材料）热拌再生技术是一种将回收的沥青路面材料通过加热、破碎、筛分后与新集料、再生剂等重新拌合，形成再生混合料用于路面修复的工艺。通过这一系列流程，我们能够获得满足特定路用性能的混合料，进而用于路面的重新铺筑。随着20世纪90年代修建的沥青公路逐渐进入大修期，大量废旧沥青材料再生成为迫切需求，它带来的不仅是资源循环利用的问题，更是环保的重要课题。

关键词：旧路；沥青混合料（RAP材料）；热拌再生技术

随着环保要求提高和技术进步，沥青再生技术将在公路养护和道路建设中发挥越来越重要的作用，推动行业向绿色可持续发展方向转型。

一、废旧沥青再生技术发展历程

1. 我国废旧沥青再生技术研究始于20世纪80年代，1991年建设部首部《热拌再生沥青混合料路面施工及验收规程》的颁布标志着技术标准化起步。2008年交通部《公路沥青路面再生技术规范》的发布进一步推动了行业实践，其中热再生技术在京津塘、沪宁高速公路的应用成为早期示范案例。城市道路领域则稍显滞后，技术迭代呈现从简单回填到精细化分选的演进，如内蒙古工业大学团队研发的SMCR温拌再生剂，通过分子修复理论将RAP掺量提升至70%，拌合温度降低至150℃，而阜新至锦州高速公路项目则通过油石分离技术实现骨料级配精准控制。政策层面，2017年江苏将就地热再生纳入全面推广技术，2022年四川成渝高速的改进型工艺验证了其耐久性优势，笔者在2024年亲自参与了经交通运输部批准的内蒙古自治区G305线赤峰段绿色养护工程试点项目，项目的成功实施也反映出技术成熟度与政策支持的协同提升。

2. 技术应用现状与市场格局

当前废旧沥青再生技术已形成热再生、冷再生、温拌再生三大技术路线并行的市场格局。热再生技术占据主导地位，尤其适用于高速公路养护，如阜新至锦州项目通过厂拌热再生技术实现RAP掺量超70%的突破；冷再生技术则因施工便捷性在城市道路改造中广泛应用，北京、上海等地通过乳化沥青冷再生技术处理低等级路面废料。温拌再生技术作为新兴方向，以内蒙古工业大学研发的SMCR再生剂为代表，解决了北方低温环境下施工难题，已在G6京藏高速等项目中验证其抗冻性能。

3. 区域市场呈现差异化特征

东部沿海地区因公路网密集、养护需求高，热再生技术渗透率领先；中西部则受成本限制，更倾向采用冷再生技术处理城市道路废料。从产业链看，上游再生剂研发企业（如提供分子修复技术的科研团队）与下游施工方（如成渝高速等养护公司）形成紧密合作，而政策驱动仍是市场扩张的核心因素——例如四川通过碳交易机制推动就地热再生技术规模化应用。技术经济性方面，热再生虽初期投资较高，但全生命周期成本较传统铣刨加铺降低约15%~20%；冷再生则凭借30%~50%的原材料节省优势，在资源匮乏地区更具吸引力。

二、沥青路面再生

1. 路面再生的定义

沥青路面再生，通常称为通过处理旧料使其达到标准并重新铺设的过程，这一过程包括沥青的再生以及沥青混合料的再生（如旧沥青的再生和集料级配的再生）。沥青路面的整体再生，意味着再生后的路面能够满足与新路面相同的技术标准。

2. 路面老化的机理

沥青路面的老化，主要指的是沥青混合料与沥青自身的老化过程。在长期的水温和行车荷载共同作用下，沥青混合料会逐渐丧失其原有的特性，导致老化和脆化现象的出现。沥青的物理特性会发生变化，表现为针入度减少、延度降低而软化点升高。与此同时，旧沥青也会随着使用时间的增长而老化，其特点是油分逐渐减少，而沥青质和胶质则相应增加，老化迹象愈发明显。

3. 路面再生的基本原理

沥青路面的再生，实质上是沥青的再生过程，这可以视为沥青老化的逆反应。理论上，该过程包括两个主

要方面：一是通过降低旧沥青材料的粘度，使其达到所需的适宜范围；二是调整旧沥青的流变性，以减弱其非牛顿特性。

三、沥青路面热再生技术的应用要点

1. 技术分类与适用场景

现场热再生，适用于基层完好、面层老化或平整度差的高等级公路，可修复车辙、龟裂等病害。分为整型再生（轻度病害）和重铺再生（严重破损），需通过加热（火焰/红外线/微波）软化旧料并添加再生剂。厂拌热再生，适用于各等级路面，旧料掺配比例通常为10%–30%，需通过破碎筛分和精确拌合控制质量。关键工艺包括旧料加热重熔、新沥青添加及级配调整。

2. 核心施工流程

现场热再生步骤，加热软化旧路面→铣刨翻松→添加再生剂/新料→复拌→摊铺压实。厂拌热再生步骤，冷铣刨回收旧料→破碎筛分→厂内加热拌合（新料+再生剂）→运输摊铺。

3. 关键控制参数

温度控制：加热温度需达130–170℃，拌合时间15–20分钟以确保均匀性。材料配比：旧料占比70%–80%，新沥青3.5%–4.5%，再生剂0.3%–0.5%。设备要求：需专用机组（如加热机、复拌机、摊铺机）。

4. 优势与注意事项

优势：资源利用率高（旧料100%回收）、工期短、碳排放低。注意事项：需严格检测旧料性能，避免级配破坏；施工中需控制加热深度和均匀性。通过科学设计和规范施工，热再生技术可显著提升路面性能，其经济性与环保性已获国内外工程验证。

四、厂拌热再生技术

厂拌热再生技术是一种将回收的旧沥青路面材料（RAP）通过破碎、筛分后，按比例与新集料、沥青及再生剂混合，重新生产沥青混合料的路面修复技术。

1. 技术流程

旧料处理：采用路面冷铣刨机分层铣刨旧料，经破碎筛分后分类存放。加热拌合：旧料与新集料分仓加热至160–180℃，通过再生剂恢复沥青性能，拌合温度需控制在140–160℃。摊铺碾压：混合料运输至现场摊铺，压实度需达97%以上，温度不低于130℃。

2. 技术优势

环保性：旧料利用率可达30%–80%，减少天然石材开采和沥青消耗，每万吨旧料可减排约200吨碳。性能稳定：再生混合料动稳定度超3000次/mm，水稳定性残

留强度比 $\geq 80\%$ 。经济性：降低材料成本，且施工工艺与常规沥青路面相近。

3. 设备与分类

设备类型：包括高位式（再生滚筒置于振动筛层）和低位式（滚筒放置地面）两种，后者可实现100%旧料再生。代表厂商：如嘉鹏集团采用安迈、吉工等品牌设备，旧料掺配比例最高达80%。

4. 技术壁垒与发展

挑战：高掺量（ $>30\%$ ）再生技术缺乏系统理论指导，需突破旧料加热均匀性、再生剂配比等难题。前景：符合绿色公路建设趋势，未来将向更高掺量、智能化设备方向发展。

五、现场热再生技术

现场热再生技术是一种高效、环保的沥青路面修复方法，通过就地加热、翻松、添加再生剂和新料后重新铺筑成型，适用于表层裂缝、车辙等病害治理。耙松整形再生，加热软化旧路面后，用耙松装置整形并添加再生剂，直接碾压成型。重铺再生，加热软化后铣刨旧料，摊铺旧料并加铺新沥青混合料，分层碾压。复拌再生，铣刨旧料后按比例添加再生剂和新料，搅拌后摊铺碾压，可调整混合料级配。技术优势：减少旧料废弃和新材料消耗，节约资源；施工快速，可单次完成，交通干扰小；再生后路面质量接近新铺水平。应用案例：市首次在国省干线采用该技术修复3.8公里路面，提升路容路貌；高速集团研发的多代热再生机组已实现分层加热、高效复拌等创新。关键参数：加热温度一般不超过60毫米深度；新沥青混合料添加量通常控制在30%以内。

六、沥青原材料与再生技术的结合探讨

1. 沥青原材料的基本特性

沥青是由不同分子量的碳氢化合物及其非金属衍生物组成的黑褐色复杂混合物，是高黏度有机液体的一种，主要分为三种类型：煤焦沥青：炼焦的副产品，石油沥青：原油蒸馏后的残渣，天然沥青：储藏在地下形成的矿层或地壳表面堆积物，沥青具有防水防潮和防腐特性，表面呈黑色，可溶于二硫化碳、四氯化碳。其主要用途包括：约70%用于道路建设，作为与建筑骨料颗粒混合的胶粘剂，用于沥青防水材料生产，如油毡和平屋顶密封。

2. 沥青再生技术原理与方法

沥青再生技术通过物理化学作用逆转沥青老化进程，主要技术包括：冷再生技术，采用专用设备对旧沥青路面进行切削破碎，同时添加水、水泥及泡沫沥青进行拌合，形成新的基层结构，如双层就地冷再生技术。热再

生技术，通过加热使老化沥青恢复流动性，添加再生剂补充流失的芳香分，复合流动度试验显示再生沥青流动性可提升30%–50%。其他再生方法，调节旧沥青黏度至所需范围，改善旧沥青的非牛顿特性。

3. 原材料与再生技术的结合应用

实际工程案例，G233克黄线项目：采用4cm厚AC-13（SBS改性）沥青混凝土加10cm乳化沥青就地冷再生技术处理基层病害，修复里程10.61公里，宁夏S308线项目：全国首个规模化应用泡沫沥青厂拌冷再生技术的项目，铣刨料掺加比例达50%，单吨再生料成本降低45元，甘肃白银项目：通过RAP精细化骨料再生设备处理50万吨铣刨料，加工成本仅30元/吨，相比新料每吨节约70元。技术创新，复合改性再生剂的开发，解决新老沥青相容性问题，柔性破碎技术保留骨料级配，使再生料级配合格率提升至98%，智能筛分系统实现精准分级，满足不同工艺需求。

4. 技术优势与发展前景

主要优势，环保效益：减少原材料消耗30%–50%，降低石油依赖，经济效益：显著降低道路养护成本，如白银项目直接经济效益超2.1亿元，性能提升：路面抗滑性能提升20%，使用寿命延长3年以上。发展趋势，交通基建仍是沥青消费核心场景，道路养护市场成为新增长极，改性沥青、特种沥青等高附加值产品需求激增，从传统道路建设向建筑防水、新能源材料等新兴领域拓展，区域市场分化明显，华东地区为消费核心区域，中西部需求增速加快。

七、技术挑战与未来发展方向

1. 材料适配性难题

不同服役年限的RAP料性能差异大，如内蒙古团队发现盟市间料源的老化程度悬殊，传统配比设计难以动态响应；聚酯沥青等新型复合材料更存在界面粘结性能衰减问题，再生掺量需严格控制在20%以内。

2. 工艺瓶颈

热再生技术依赖高温加热导致能耗较高，而温拌技术虽能降低温度（如150℃施工），但对再生剂性能要求苛刻；冷再生则受限于基层强度不足，难以满足高等级公路需求。经济性制约：化学回收技术（如聚酯沥青解聚）仍处实验室阶段，规模化应用成本远超物理回收，且部分地区缺乏碳交易等政策支持，抑制企业投入意愿。

3. 未来技术突破

智能化配比系统：基于遗传算法的动态优化程序（如内蒙古团队开发的系统）可提升配比效率，未来或结合AI实现实时料源分析。低温低碳工艺：研发新型再

生剂与低温拌合设备，进一步降低能耗，例如上海“沥再生”技术通过添加剂实现旧料性能恢复。聚酯沥青等特种材料的回收技术突破，将成为延长产业链价值的关键。

八、沥青路面热再生技术：环保与经济效益的双赢策略

沥青路面热再生技术通过旧料回收利用和高效施工工艺，实现了环保与经济效益的双重提升。

1. 环保效益

旧料100%回收：就地热再生技术可对表层破损路面进行加热、复拌和摊铺，实现旧沥青混合料的完全再利用，显著减少废弃料堆积。降低碳排放：相比传统工艺，该技术减少材料生产运输环节的能耗，直接降低二氧化碳排放量。

2. 经济效益

成本节约：旧料利用率达30%以上，每年可节省材料费用超3亿元，且该数字以15%年增速增长。工期缩短：一次性完成加热、摊铺等工序，减少交通封闭时间，降低社会成本。

3. 技术可靠性

性能保障：国内外案例表明，再生混合料在抗车辙等性能上优于新料，比利时、德国等国已实现100%旧料利用率。工艺成熟：厂拌热再生技术通过配合比设计，可确保再生路面耐久性，适用于各等级道路。

4. 适用场景

就地热再生：适用于表层车辙、裂缝等病害修复，机组包含加热机、复拌机等设备。厂拌热再生：适合大规模路面升级，旧料比例可控，需解决沥青重熔问题。该技术符合国家可持续发展政策，未来随着公路网规模扩大（预计2030年达580万公里），其应用潜力将进一步释放。

总之，厂拌热再生沥青混合料技术的推广应用，对于减少公路施工碳排放、促进环保具有重要意义。该技术能够循环利用旧路面的沥青，减少对优质沥青的依赖，同时还能回收利用旧路用材料中的砂石，减少砂石开采，保护生态环境。沥青混合料的再生利用不仅有助于防止环境污染，更促进了社会的可持续发展。

参考文献

- [1] 江汉文. 大比例废旧沥青路面材料厂拌热再生利用技术研究[D]. 重庆: 重庆交通大学, 2023.
- [2] 白明举. 浅谈旧路面沥青混合料(RAP)厂拌热再生技术在普通国省干线公路大中修工程中的应用[J]. 黑龙江交通科技, 2018, 41(4): 29, 31. DOI: 10.3969/j.issn.1008-3383.2018.04.015.