

沥青路面热再生技术在公路工程的应用

文 / 牟 军 莱西市交通运输局

张 磊 青岛通达公路工程有限公司

摘要：目前，我国的公路工程建设有了很大进展，公路在长期运行后会出现不同程度的老化和损坏，为解决传统路面修复方法施工周期长、成本高、资源消耗大等问题，本文首先分析热再生技术工程特性，其次探讨沥青路面热再生技术在公路工程的应用，然后研究低碳耐久性沥青路面热再生技术的挑战，最后就低碳耐久性沥青路面热再生技术的挑战与对策进行研究，以期为同类工程提供参考。

关键词：沥青路面；热再生技术；公路工程

【DOI】10.12254/j.issn.2096-6539.2025.09.058

引言

在公路建设项目中，大多数为沥青混凝土路面，沥青路面主要由沥青胶结料、级配碎石、填料矿粉、添加剂、改性剂等材料构成，通过一系列拌和、摊铺、碾压、养护等环节施作而成，其耐久性、平整度、舒适性、抗滑性等均比其他传统路面材料更加优异。由于沥青路面的使用寿命有限，长时间的高温、暴晒、车轮磨损、积水浸泡等作用影响，沥青路面难免会存在病害问题，因此，需进行必要的养护维修，而如何充分利用原有沥青混凝土资源，达到变废为宝，可持续发展的效果，需要重点研究，而热再生技术可较好地满足这一要求。

一、热再生技术工程特性

针对公路沥青路面的病害问题，如车辙、严重裂缝、唧浆、坑槽等，简单的灌缝注浆作业无法根治路面病害问题，需将结构层进行整体铣刨，再铺筑新的、性能优异的沥青混凝土。厂拌热再生就是将铣刨料（RAP料）二次利用，与新的沥青混合料进行拌和，制得复合性能优异的再生沥青混凝土，通过摊铺、碾压后形成的路面不仅使用性能满足要求，而且可有效改善病害问题，同时也提高了旧料的重复利用率，节约成本，保护环境。因此，在热再生施工技术应用中，铣刨料的处理及掺量的设定是热再生施工应用的关键。低碳耐久性沥青路面热再生技术宜采用就地热再生（HIR）方式。就地热再生技术能够100%利用旧沥青混合料，从而降低材料成本。据相关研究表明，相比传统维修方法，就地热再生技术可节省约30%的成本。就地热再生是在原路面现场进行，无需将旧料运输到拌和厂再运输回施工现场，因此节省了运输成本，也减少了因运输过程中可能产生的损耗和污染。就地热再生施工速度快，时间短，通常采用单车道施工，对道路运营影响程度低。施工后2-3小时即可开放交通，可有效降低因施工导致的交通延误和额外成本。就地热再生技术采用流水化作业，一次性完成各个工序，施工效率高，可以有效减少碳排放，减轻环境污染。低碳耐久性沥青路面热再生技术具体工艺流程如下：

①旧路面检测。首先，对旧沥青路面进行详细的检测，包括油石比、级配、沥青性质等，以评估其再生潜力。②施工准备。组织施工人员对旧路面进行必要的预处理，对纵向裂缝进行压浆处理，注入水泥浆等等，确保再生施工的质量。③就地加热。使用红外线加热设备将旧路面表层加热至适宜温度（一般不超过260℃），以软化沥青并降低其粘度。④翻松与拌和。通过专用耙松装置或铣刨机将软化的路面材料翻松，将软化的路面材料倒入双轴搅拌机，并加入一定比例的新沥青、新沥青混合料及再生剂，进行高温热态拌和，使新旧材料充分混合。⑤摊铺与碾压。组织施工人员使用摊铺机，将拌和好的再生混合料摊铺到路面上，最后使用压路机进行充分碾压，确保路面平整度和密实度。⑥性能检测。完成碾压作业后，对再生路面进行各项性能检测，包括平整度、抗滑性、水稳定性、高温稳定性等，以确保其满足设计要求。

二、沥青路面热再生技术在公路工程的应用

现场热再生技术施工工艺主要包含重铺法和复拌法，前者主要用于沥青老化现象不严重的病害路段；后者则用于沥青老化现象严重路段。因此，文章结合研究工程的病害情况，选择复拌法完成高速公路的现场热再生技术施工，有效完成裂缝、车辙等病害的处理，提升路面结构层强度。

（一）准备工作

在旧路面改造工程中，热再生技术的应用需要进行全面的准备工作。第一，该项目团队通过现场踏勘、路况调查、交通监测等方式，全面了解道路损坏程度、交通流量、周边环境等，为合理确定施工方案提供可靠依据。第二，根据检测数据对旧路面材料进行系统评估，分析级配、针入度、软化点等理化指标，优化配合比设计。第三，项目团队与热再生设备供应商、材料供应商等进行深入对接，选择先进可靠的施工装备，优选高品质的新增材料，确保各项资源到位。第四，考虑到热再生施工会对周边交通、居民生活等造成一定的影响，项目团

队与交管部门、社区居委会等加强沟通协调，制订周密交通导改方案，合理安排施工时段，最大程度地减少对公众出行的干扰。第五，组建一支技术精湛、经验丰富的施工队伍，对其进行热再生工艺、操作规范、安全注意事项等方面的专项培训，确保施工过程高效、有序。

（二）施工路段界定以及加热处理

采用液压镐对施工起点位置的路面病害路面彻底清除，该清除深度为热再生摊铺机工作深度的1.4倍左右，清除长度为1m，清除宽度即为设备施工宽度。施工开始后，热再生摊铺机依据该开挖位置对施工区域和非施工区域进行区分，并开始进行施工。预加热设备按照设定的顺序进入待施工区域后启动液压系统，控制加热器，使其位于地面上 $7\pm 1\text{cm}$ 的位置，对路面开始加热，并按照设定的速度匀速行驶，完成整个病害路段的加热；在该加热的基础上，启动第二台预加热设备，在距离第一台设备 $7\pm 1\text{m}$ 的位置，以第一台预加热设备的相同速度进行二次加热。

（三）旧沥青路面混合料再生剂确定

（1）再生剂选用。该公路沥青路面再生施工选用英达 RAF0010 型再生剂，其常温下为黑色黏稠状液体，闪点为 241°C ， 15°C 密度为 $1.029\text{g}/\text{cm}^3$ ；芳香分和饱和分含量分别为39.81%和26.04%；薄膜烘箱试验前后黏度比为1.59，质量变动0.83%。此类再生剂黏度低，渗透性及高温稳定度性更好。其技术指标见表1。（2）再生剂掺量。为确定再生剂掺量，将旧沥青路面混合料加热后均分为5组，分别按0%、1.0%、3.0%、5.0%、7.0%的比例掺加再生剂，在 175°C 的试验温度下持续搅拌均匀后，按照旧集料的30%选取新集料。新沥青混合料中纤维掺量为0.3%，沥青含量6.4%，充分搅拌后制备再生沥青混合料马歇尔试件并展开马歇尔试验。根据试验结果，沥青混合料孔隙率随再生剂掺量的增大而骤降，但掺量超出3.0%后降速减缓；沥青混合料稳定度随再生剂的掺加而缓慢减小。综合考虑再生效果，将再生剂掺量控制在3.0%。

表1 PA102型再生剂技术要求及检测结果

检测项目	技术要求	检测结果	实验方法
60℃黏度/(Pa·s)	>140	172	T 0619
闪点/℃	≥220	260	T 0633
饱和分含量(%)	≤30	22	T 0618
密度(15℃)/(g/cm ³)	实测记录	0.98	T 0603
薄膜烘箱实验前后黏度比	≤3	1.3	T 0619
薄膜烘箱实验前后质量变化(%)	[-3,4]	0.2	T 0619

（四）混合料运输

再生剂喷洒过程中，需现将制备好的沥青混合料运送至施工现场，在运输过程中对于混合料的温度控制标准较高，因此，需最大程度控制混合料从拌合机到再生机的时间，避免时间过长导致混合料温度降低。混合料达到施工现场后并利用复拌机料斗滚轮顶靠和推动，将混合料输送至料斗中，当料口达到料条起点时，启动新料添加程序，依据设备的设置结果完成混合料的自动添加。添加完成后，料条为双层结构，上下两层分别为新料层和旧铣刨料层，双层结构混合料在充分的热交换作用下，可有效提升路面的修复养护效果，保证路面结构强度。

（五）热再生路面的性能评价

热再生路面的性能评价主要包括以下几个方面：①平整度。通过测量路面的平整度指标，评估热再生路面在行车过程中的舒适性和安全性。平整度良好的热再生

路面能够减少车辆的颠簸和震动，降低行车风险，提高驾乘体验。同时，平整度也是衡量路面施工质量的重要指标之一，它反映了热再生工艺对路面原有不平整处的修复效果。②抗滑性。通过摩擦系数测试，评估路面在不同天气条件下为车辆提供的抓地力。良好的抗滑性能可以有效防止车辆打滑，减少交通事故的发生。③承载能力。通过静态或动态加载试验，评估热再生路面能够承受的车辆重量和交通流量。足够的承载能力确保路面在长期使用过程中不会出现过度变形或损坏。④水稳定性。进行水稳定试验（如马歇尔残留稳定度试验和冻融劈裂试验），评估路面在潮湿环境下的性能。⑤高温稳定性。进行车辙试验，评估路面在高温重载条件下的抗变形能力。

（六）接缝处理

首先，在纵向施工缝方面，应采用分幅错缝的方式进行施工，新旧结合面应相互搭接20~30cm，以增强

纵向接缝的受荷能力。其次，横向施工缝宜设置在受力较小的区域，如桥头、路口等，横缝两侧加热压实区宽度不小于30cm。施工时，对接缝部位进行适当加热、开松，再补充适量新料，采用小型压路机反复碾压平整，确保与主车道平顺相接。最后，在接缝处涂刷热沥青或喷涂黏层油，厚度控制在0.6~1.0mm，以便与旧路面充分黏结。该项目改造后对热再生路面接缝进行质量检测，相关数据如表2所示。根据表2可知，通过科学设计接缝位置、合理控制加热温度、精准压实等措施，热再生路面接缝处的平整度及密实度均达到规范要求。

表2 该项目改造后热再生路面接缝质量检测表

项目	标准要求	实测结果
纵缝高差/mm	≤3	1.5
横缝高差/mm	≤3	1.2
纵缝密实度/%	≥98	99.1
横缝密实度/%	≥98	99.3

(七) 施工质量检测与验收

试验段沥青路面一体化压实施工后按照表6要求展开施工质量检测与验收。试验段沥青路面养护处治后再生层及加铺层厚度，平整度及压实度，渗水性和抗磨耗性等各项性能均满足要求，也体现出试验段沥青路面就地热再生、加铺层摊铺及一体化压实等关键工艺的可靠性和适用性。

三、低碳耐久性沥青路面热再生技术的挑战

低碳耐久性沥青路面热再生技术在实际应用中再生料的性能稳定性是一大挑战。由于旧沥青混合料经过长时间的使用，其性能会有所下降，在再生过程中虽通过加热和添加再生剂进行恢复，但混合料的实际效果会受到旧料掺配比例、加热温度控制等多种因素影响，导致再生后的混合料性能波动较大，可能难以满足高等级公路的使用要求。在热再生过程中，旧沥青路面材料的性能差异较大，难以准确评估和控制再生后的路面性能。不同路段、不同使用年限的旧路面材料在老化程度、化学成分等方面存在差异，这给热再生技术的配方设计和施工质量控制带来了困难。热再生技术对施工设备和工艺要求较高。

四、低碳耐久性沥青路面热再生技术的挑战与对策

(一) 路面铣刨

选定病害情况严重的路段，采用大型铣刨设备进行路面铣刨，要求运输车应紧跟铣刨机，确保铣刨料不飞溅到施工现场，得到的铣刨料应及时运到指定位置存放，便于后续施工。

(二) 在施工质量验收方面

项目团队严格按照现行规范进行压实度、厚度、平整度等指标的检测。检测结果显示，热再生路面的压实度达到98.6%，高于95%的规范要求；厚度合格率100%；平整度指标IRI为0.92，优于1.0的标准值。

(三) 加强人才培养

培养一批熟悉热再生技术的专业人才，提高施工队伍的技术水平和管理能力。可以通过开展培训、技术交流等活动，提高从业人员的专业素养。

(四) 推广示范工程

通过建设一批高质量的热再生示范工程，展示热再生技术的优势和可行性，提高社会对热再生技术的认知度和接受度。同时，总结示范工程的经验教训，不断改进和完善热再生技术。

(五) 完善技术标准

制定更加严格和详细的热再生技术标准，规范施工设备、工艺、质量控制等环节，确保热再生路面的质量。加强对热再生技术的监管和验收，提高行业整体水平。

结语

低碳耐久性沥青路面热再生技术是道路工程领域的一项重要创新。它将低碳耐久性沥青材料与热再生技术相结合，为解决传统热再生技术面临的再生料性能衰减、新旧料相容性差等问题提供了有效途径。通过回收利用旧沥青路面材料，可以显著降低原材料消耗和废弃物产生。该技术符合绿色低碳转型的大趋势，可以实现节能减排和资源循环利用的双重目标。综上所述，低碳耐久性沥青路面热再生技术是一种具有显著经济效益、环保效益和社会效益的路面修复技术，值得在公路养护领域广泛推广和应用。

参考文献

- [1] 杨彦海, 崔宏, 杨野, 等. 沥青路面厂拌热再生技术使用效果分析与评价 [J]. 中外公路, 2023, 43(01): 63-68.
- [2] 胡星云, 黄海兵, 邱绍辉, 等. 精表处技术在新余市公路沥青路面预养护中的应用研究 [J]. 科技通报, 2021, 37(02): 102-105+127.
- [3] 段宝东, 韩东东, 赵永利. 基于最小能耗的沥青路面就地热再生加热机组优化控制 [J]. 公路交通科技, 2021, 38(01): 19-26.
- [4] 洪盛祥, 朱浩然, 陈涛. 沥青路面就地热再生二次养护对策分析研究 [J]. 公路, 2021, 66(01): 303-309.
- [5] 廖春仁. 掺RAP的热再生复合改性橡胶沥青混合料路面技术应用研究 [J]. 西部交通科技, 2024(1): 19-20+58.