

再生沥青混合料中旧沥青再生程度影响因素研究

刘 敏 胡玉玺

山东齐通工程检测有限公司 山东 济南 250100

摘 要：本文聚焦再生沥青混合料中旧沥青再生程度的影响因素，通过综合剖析相关理论和实验数据，深入探讨了原材料特性、再生剂性能、配合比设计以及生产工艺等因素对旧沥青再生程度的作用机制。从旧沥青老化状态、集料特性，到再生剂化学组成、添加量，再到配合比各成分比例、生产环节参数，全方位梳理其影响路径。旨在为提高再生沥青混合料性能、推动沥青路面材料循环利用，提供坚实的理论依据与可行的技术参考。

关键词：再生沥青混合料；旧沥青；再生程度；影响因素

引言

随着交通基础设施建设的快速发展，沥青路面的维修与改建工程日益增多，产生了大量的废旧沥青混合料。将这些废旧材料回收再利用，制成再生沥青混合料应用于路面建设，不仅可以降低资源消耗和环境压力，还具有显著的经济效益。然而，旧沥青的再生程度直接关系到再生沥青混合料的性能优劣，因此，深入研究影响旧沥青再生程度的因素具有重要的现实意义。

1 原材料特性对旧沥青再生程度的影响

（1）在再生沥青混合料中，原材料特性对旧沥青再生程度影响显著。旧沥青自身性质是关键因素，其老化程度与再生难度紧密相关。长期受环境因素作用，深度老化的旧沥青发生复杂物理化学变化。光氧化下，沥青分子中不饱和键与氧反应，引发自由基链式反应，芳环不断缩聚，沥青质含量大幅上升。据研究，某使用超10年的道路旧沥青，沥青质含量从15%增至超30%，导致黏度急剧增大，流动性严重受阻。这种情况下，再生剂分子因旧沥青高黏度难以有效渗透，二者无法充分融合，极大增加了再生难度。（2）旧集料性质同样不可忽视。粒径分布决定集料间空隙结构，合理的粒径分布使旧沥青与新添加材料均匀分布，为再生反应提供良好条件。例如，连续级配集料形成的紧密空隙结构，有利于旧沥青与新成分均匀混合。表面纹理粗糙的集料，增大了与沥青的接触面积，从物理吸附和机械嵌锁两方面增强黏附力，促进再生剂扩散，从而提高旧沥青再生程度。相反，含泥量高的集料，泥土吸附部分沥青与再生剂，阻碍再生反应进行，还削弱沥青与集料黏附，最终影响再生沥青混合料性能^[1]。

2 再生剂性能的关键作用

2.1 再生剂的化学组成

（1）再生剂的化学组成宛如一把精准的钥匙，决定

着其能否成功开启旧沥青性能恢复的大门，即与旧沥青的相容性以及对其性能的恢复能力。理想状态下的再生剂，犹如精心调配的药剂，需包含适量的轻质油分与活性成分。轻质油分能够如同溶剂一般，将老化沥青中那些因复杂变化而形成的大分子逐步溶解，使得原本僵硬、流动性差的旧沥青重新焕发出柔韧性与流动性。

（2）不同化学组成的再生剂，在改善旧沥青性能的舞台上各自展现独特的魅力。例如，富含芳烃类物质的再生剂，芳烃分子结构特殊，与旧沥青中的大分子相互作用时，能像神奇的润滑剂，有效降低旧沥青的黏度。实验数据显示，在使用这类再生剂处理老化严重的旧沥青后，旧沥青的黏度可降低30%–50%，同时其延度显著提高，从原本几乎无法拉伸，提升至可拉伸5–10厘米，极大改善了旧沥青的低温抗裂性能。

2.2 再生剂的添加量

再生剂添加量堪称影响旧沥青再生程度的关键旋钮，调节得当与否，直接关系到再生效果的好坏。当添加量过少时，再生剂宛如杯水车薪，难以在旧沥青这个广阔的“海洋”中充分施展其再生魔力，无法对大量老化沥青分子进行有效修复，旧沥青的性能改善微乎其微。反之，若添加量过多，就如同药物过量会产生副作用，再生沥青混合料的性能将陷入不稳定状态。以软化点为例，过量的再生剂会稀释沥青胶体体系，致使软化点降低，在高温环境下，再生沥青混合料容易出现变形、车辙等病害。研究表明，当再生剂添加量超过最佳值的20%时，再生沥青混合料的软化点可下降5–10℃，高温稳定性大幅降低。因此，通过严谨的实验，依据旧沥青的老化程度、性质特点，精确确定合适的再生剂添加量，是保障旧沥青有效再生以及再生沥青混合料具备优良性能的核心要点^[2]。

2.3 再生剂的分散性

(1) 再生剂在旧沥青中的分散均匀程度, 犹如阳光能否均匀洒在大地, 直接左右着其与旧沥青的反应效率。分散性优良的再生剂, 能够如同灵动的精灵, 迅速且均匀地渗透到旧沥青的每一个角落, 与旧沥青分子实现全方位、深层次的接触与反应。(2) 在实际生产中, 搅拌设备和工艺对再生剂分散性起着决定性作用。采用高速剪切搅拌设备, 能够将再生剂破碎成微小液滴, 使其在旧沥青中均匀分布。相关研究表明, 相比于普通搅拌工艺, 高速剪切搅拌可使再生剂在旧沥青中的分散均匀度提高30%-40%, 显著提升了旧沥青的再生程度, 进而使再生沥青混合料的各项性能指标更加稳定、优良。

2.4 再生剂与旧沥青的相互作用机理

(1) 深入探究再生剂与旧沥青之间的物理和化学相互作用机理, 是揭开旧沥青再生神秘面纱的关键。从物理层面来看, 溶解与溶胀过程如同一场温和的分子重组。再生剂中的轻质油分溶解旧沥青中的大分子, 使其体积膨胀, 分子间距增大, 旧沥青原本紧密的结构得以松弛, 流动性逐步恢复。(2) 而在化学层面, 氧化还原反应、酯化反应等犹如一场激烈的分子变革。部分再生剂中的活性成分与旧沥青中的老化产物发生化学反应, 改变旧沥青的化学组成。例如, 一些含有活泼氢原子的再生剂能够与老化沥青中的过氧化物发生氧化还原反应, 消除有害的过氧化物基团, 重新构建沥青分子的稳定结构, 从本质上改善旧沥青的性能, 为再生沥青混合料性能的提升奠定坚实基础。

3 配合比设计与生产工艺的影响

3.1 新沥青与旧沥青的比例

(1) 在再生沥青混合料配合比设计的复杂拼图中, 新沥青与旧沥青的比例是极为关键的一块。它宛如天平两端的砝码, 精准调节着旧沥青再生程度与混合料整体性能的平衡。旧沥青历经长期使用与环境侵蚀, 性能严重劣化, 而新沥青具备良好的路用性能。通过合理调配二者比例, 旨在借助新沥青的优质特性, 协同再生剂促使旧沥青性能恢复, 同时确保再生沥青混合料满足路面实际使用需求。(2) 当新沥青比例过低时, 混合料中可用于补充性能损失的优质成分不足。旧沥青因缺乏足够新沥青的稀释与融合, 难以有效改善其老化后的高黏度、低柔韧性等问题, 致使再生沥青混合料在高温稳定性、低温抗裂性以及水稳定性等方面表现欠佳。在实际工程中, 若新沥青占比低于10%, 再生沥青路面在夏季高温时段极易出现车辙病害, 且在冬季低温环境下, 路面开裂风险大幅增加。(3) 反之, 若新沥青比例过高, 虽能显著提升混合料性能, 但从经济与环保角度而言, 却

背离了再生利用的初衷。过高的新沥青用量大幅提高生产成本, 同时减少了废旧沥青混合料的回收利用率, 削弱了资源节约与环境保护效益。研究表明, 当新沥青比例超过30%时, 再生沥青混合料的成本相较于合理比例时增加20%-30%, 而废旧材料利用率相应降低30%-40%。故而, 需通过大量室内试验与实际工程验证, 依据旧沥青老化程度、再生剂性能以及路用性能指标要求, 确定适宜的新、旧沥青比例, 通常该比例范围在15%-25%较为合理^[3]。

3.2 集料级配

(1) 集料级配堪称再生沥青混合料的骨骼架构, 深刻影响着其内部结构与性能表现, 进而对旧沥青的分布与再生效果产生连锁反应。良好的集料级配恰似精心搭建的建筑框架, 不同粒径的集料相互紧密嵌挤, 构建起稳定且密实的空间结构。在此结构中, 旧沥青能够均匀地包裹在集料表面, 并填充于集料空隙间, 实现充分的分散与有效利用。(2) 在连续级配集料体系中, 细集料可填充粗集料间的空隙, 使混合料更加密实, 旧沥青分布更为均匀, 增强了混合料的稳定性与耐久性。而间断级配集料则通过特定粒径集料的缺失, 形成独特的骨架结构, 提升混合料的高温抗变形能力。例如, 在AC-13型再生沥青混合料中, 采用优化后的集料级配, 粗集料形成紧密骨架, 细集料填充空隙, 旧沥青均匀分布其中, 混合料的马歇尔稳定度可提高20%-30%, 动稳定度提升30%-50%, 显著增强了路面抵抗车辙的能力。(3) 为实现理想的集料级配, 需运用先进的级配设计方法, 如Superpave体系等。该体系基于集料的物理特性与路用性能要求, 精确计算不同粒径集料的比例, 通过试配与性能验证, 不断优化调整, 确保集料级配满足再生沥青混合料的各项性能指标, 为旧沥青的高效再生提供坚实的结构基础。

3.3 搅拌时间与温度

(1) 搅拌时间与温度是再生沥青混合料生产工艺中的两大核心调控旋钮, 精准控制二者对旧沥青再生进程起着决定性作用。搅拌过程如同一场微观层面的分子交融盛宴, 适当延长搅拌时间, 为再生剂与旧沥青分子的充分接触与反应创造有利条件。在搅拌初期, 再生剂逐步扩散至旧沥青中, 随着时间推移, 二者相互渗透、溶解, 分子间发生物理与化学反应, 旧沥青性能逐步恢复。(2) 搅拌时间并非越长越好。过长的搅拌时间, 会使沥青持续处于高温、高剪切环境中, 加剧其老化进程。沥青分子在过度的机械作用与热氧化作用下, 结构进一步劣化, 黏度再次升高, 延度降低, 导致再生效果

大打折扣。研究显示,当搅拌时间超过30分钟时,再生沥青的针入度降低10%~20%,软化点升高5~10℃,表明沥青老化加剧,再生程度下降。(3)搅拌温度同样举足轻重。适宜的温度能降低沥青黏度,如同为分子运动打开绿色通道,促进再生剂迅速扩散与反应。一般而言,再生沥青混合料的搅拌温度在150~180℃较为适宜。温度过低,沥青黏度大,再生剂难以分散均匀,反应速率缓慢,旧沥青再生效果不佳;温度过高,沥青挥发严重,部分轻质成分损失,同时引发过度老化,降低再生沥青的性能。例如,当搅拌温度超过200℃时,沥青中的轻质油分损失10%~15%,严重影响再生沥青的柔韧性及流动性。

3.4 压实工艺

(1)压实工艺是决定再生沥青混合料最终性能的关键临门一脚,对混合料的密实度与旧沥青的压实状态影响深远。合适的压实功与压实遍数,能够将松散的再生沥青混合料紧密压实,使其达到规定的密实度标准。在此过程中,旧沥青在集料间被均匀挤压、分布,增强了与集料的黏附力,构建起稳固的整体结构。(2)以双钢轮压路机为例,初压时采用较低的压实速度与较小的压实功,使混合料初步稳定;复压阶段增加压实功与遍数,进一步提高密实度;终压则以较高速度消除轮迹,确保路面平整度。通过合理的压实工艺,再生沥青混合料的空隙率可控制在3%~6%的理想范围,有效提高路面的防水性、耐久性与承载能力。(3)压实不足时,混合料内部存在大量空隙,水分易侵入,加速沥青老化,降低路面使用寿命。研究表明,空隙率每增加1%,路面使用寿命缩短10%~15%。而压实过度则可能导致集料破碎,破坏原本的骨架结构,降低混合料的强度与稳定性。因此,需依据再生沥青混合料的特性、施工环境等因素,制定科学合理的压实工艺,确保路面质量^[4]。

3.5 存储条件

(1)再生沥青混合料在存储过程中的条件,犹如一个无形的“幕后操控者”,悄然影响着旧沥青的再生程

度与混合料性能稳定性。存储时间是其中一个关键因素,随着存储时间延长,混合料内部的物理化学反应应持续进行,部分再生剂挥发或与氧气反应,旧沥青可能再次老化。实验表明,存储7天后,再生沥青混合料的马歇尔稳定度下降5%~10%,流值增加10%~20%,表明其性能已发生劣化。(2)存储温度与湿度同样不容忽视。高温环境加速沥青老化,湿度大则易引发沥青与集料的剥离。在高温高湿地区,若再生沥青混合料存储不当,存储3天后,混合料的水稳定性显著下降,残留稳定度降低15%~25%。为保持旧沥青的再生效果与混合料性能,应尽量缩短存储时间,控制存储温度在10~30℃,湿度在40%~60%。同时,采用密封存储方式,减少空气与水分接触,确保再生沥青混合料在使用前性能稳定。

结语

再生沥青混合料中旧沥青的再生程度受多种因素综合影响,原材料特性、再生剂性能、配合比设计以及生产工艺等各个环节都紧密关联。通过深入研究这些影响因素,优化各环节参数,可以有效提高旧沥青的再生程度,提升再生沥青混合料的性能,为沥青路面的可持续发展提供有力支持。未来的研究可进一步探索各因素之间的交互作用,开发更加高效的再生技术和工艺,推动再生沥青混合料在道路工程中的广泛应用。

参考文献

- [1]朱月凤,司春棣,乔亚宁等.沥青标号和用量对再生沥青混合料性能的影响[J].材料导报,2021,35(06):6086-6092.
- [2]豆莹莹,李晓民,姚志杰等.基于表面自由能的再生沥青粘附性及其水稳定性[J].材料科学与工程学报,2020,38(04):648-653.
- [3]闫亚伟.分层热再生沥青混合料配合比设计及路用性能研究[J].交通世界,2023,14(04):169-170.
- [4]左锋,叶奋,宋卿卿.RAP掺量对再生沥青混合料路用性能影响[J].吉林大学学报(工学版),2020,50(04):1403-1410.