

高性能环氧树脂改性沥青道路材料的研究综述

张光鹏

黄河交通学院 河南焦作 454950

【摘要】近年来,随着交通运输业的迅速发展,道路交通的负荷日益增加,对道路材料提出了更高的性能要求。环氧树脂作为一种优异的高分子材料,因其出色的特性已广泛应用于各种工业领域。在此背景下,本文将选取高性能环氧树脂改性沥青作为研究对象,旨在通过科学方法提升沥青性能,以解决传统沥青在现代道路建设中遇到的问题。

【关键词】高性能; 环氧树脂改性沥青; 道路材料

引言:

在当今时代,高性能环氧树脂改性沥青在现代道路建设中,已展现出巨大的优势。环氧树脂改性沥青不仅能提高道路的抗疲劳寿命、减少其维修频率,还具备良好的抗水损害能力。在施工现场,施工人员必须严格按照技术规范,精确控制环氧树脂与沥青的混合比例,获得具有不同性能指标的改性沥青,以满足不同交通强度的需求,提升其承载能力。

1 环氧沥青的改性原理

环氧树脂改性沥青是一种结合了传统沥青与先进环氧树脂技术的路面材料。科研人员需精选化学改性剂对普通沥青进行改性,之后加入适量的固化剂、促进剂和其他添加剂,均匀混合后得到改性沥青的A组分。同时,科研人员将环氧树脂作为改性沥青的B组分,使其与A组分相结合,形成一种新型的改性沥青结合料。在这个过程中,环氧树脂与固化剂的反应使沥青分子分散在由环氧树脂形成的网状结构中,这种结构固化后可形成稳定且不可逆的物质,提高了改性沥青的性能。环氧改性沥青能有效提升路面的承载能力,减少路面的维护需求,抵抗温度变化、水损害和化学物质的腐蚀等各种环境因素,进一步延长道路的使用寿命。在环氧改性沥青的研制过程中,科研人员必须考虑不同条件下材料的表现,保证新材料能够满足现代交通高速发展的需求,提高路面的抗变形能力,优化路面的防滑性能,为驾驶提供更高的安全性。环氧改性沥青的开发反映了现代道路材料科学的进步,通过改良传统沥青的化学结构和物理特性,有效提高了路面的性能。这种材料的应用,不仅有助于提高道路建设的技术标准,还能使道路更加耐用,减少维护成本。

梁聪在2024年《交通世界》第8期的研究文章《聚氨酯/环氧树脂改性沥青混合料路用性能研究》详细阐述了环

氧沥青的改性原理和实际应用。该研究深入探讨了聚氨酯和环氧树脂如何共同作用于普通沥青,通过化学改性提升其性能,主要关注了这些改性剂对沥青混合料的效果。杨国林、闫兆柏、王朝辉和林海娟在2019年《筑路机械与施工机械化》第36卷第8期,共同发表了《环氧树脂/聚氨酯改性乳化沥青的强度和柔韧性》,深入探讨了环氧沥青的改性原理及其对路用性能的影响,关注环氧树脂作为改性剂,在添加到乳化沥青中对其物理性质的改进程度。

2 应用高性能环氧树脂改性沥青道路材料的问题

2.1 环氧树脂和沥青的相容性

环氧树脂与沥青的相容性是指两种材料在分子层面上能否形成均匀且稳定的混合物,对于最终沥青混合料的机械强度、耐久性、环境适应性均有深远的影响。环氧树脂本身具有优良的化学稳定性,但与疏水性较强的沥青结合时,可能因分子结构的差异导致两者间的界面张力增大,从而影响混合物的均匀性。若没有适当的改性剂或兼容剂,环氧树脂将与沥青分离,在混合料中存在特定的弱点,影响其整体的使用寿命。进一步而言,沥青与环氧树脂的比例将直接关联两种材料能否有效相容,若比例不当,即便环氧树脂可以提高沥青性能,也可能因为相容性问题而导致材料性能不达标,出现裂纹、脱层等现象。此外,不同组分对环氧树脂有不同的影响,而沥青中含有多种化学组分,可能会在混合过程中形成不同程度的相容性问题,使得改性沥青的制备过程更加复杂。

2.2 裂缝问题

虽然环氧树脂改性沥青具备优良的抗变形能力,但在实际道路应用中,裂缝问题仍不可避免,这主要与材料的内部应力管理、外部环境的影响及施工技术有关。裂缝的形成通常与材料内部应力、外部负载之间的相互作用有关。环氧树脂改性沥青以其化学网络结构提升了材料的整体强

度，但在长期承受温度变化、湿度调整及重载压力的影响下，仍会导致材料内部应力超过其抗裂性能的极限。在温度急剧变化的环境下，材料的热膨胀与收缩行为难以与沥青基质中的其他组分同步作用，从而产生微观裂缝。这些微裂缝在反复的热应力和机械负载的共同作用下逐渐扩展，最终形成宏观裂缝。除此之外，裂缝问题也与改性沥青的固化过程有关。除此之外，材料铺设不均、压实不足或施工中的材料处理不当都可能在道路表面形成应力集中区域，从而导致裂缝的发生。

2.3 适用期和施工固化时间的控制

环氧树脂改性沥青混合物的适用期主要是指混合物在可施工状态下的稳定时间，而固化时间则是材料从施工到一定的设计强度所需的时间，直接关系到改性沥青道路材料的性能表现。若环氧树脂改性沥青适用期较短，将对铺设质量造成不利影响，可能出现铺设不均、材料浪费等问题。反之，适用期过长则会导致施工后期沥青的固化速度不足，影响道路交通的早期开放。固化时间短虽然可以加快施工进度，早日开放交通，但过快的固化速度使得材料未能充分释放内部应力，增加未来使用过程中出现裂纹或其他结构损伤的风险。而固化时间过长，则会延迟道路的使用，不仅影响施工效率，还会增加施工成本。因此，精确控制固化时间，使其既能满足快速施工的需求，又能保证材料充分发挥性能是一项技术挑战。

3 高性能环氧树脂改性沥青道路材料的有效应用

3.1 有效利用双酚A环氧树脂

双酚A环氧树脂因其出色的机械性能已广泛应用于道路材料中，通过固有的高强度来增强沥青的性能，提高道路材料的耐久性。施工人员在使用双酚A环氧树脂的过程中，要根据沥青的基本性质调整环氧树脂与沥青的最优配比，当双酚A环氧树脂的添加量达到沥青总质量的4%到6%时，可以提升改性沥青的稳定性。在混合双酚A环氧树脂和沥青时，施工人员将温度控制在150至180℃，持续搅拌30至60分钟，保证两者充分融合，让环氧树脂在沥青中均匀分散。为进一步优化双酚A环氧树脂的性能，施工人员还需考虑使用适当的固化剂和加速剂。常见的邻苯二甲酸酐（PA）或脲醛树脂等固化剂，其添加量通常基于环氧树脂的重量进行计算，一般在15%至20%。适当的加速剂则可以缩短固化时间，使改性沥青更快达到施工要求的性能标准。施工人员要对双酚A环氧树脂改性沥青进行详细的性能测试，测试其拉伸强度、压缩强度和疲劳寿命，确保材料达到设计要求。具体来说，在加入适量双酚A环氧树脂后，改性沥青的拉伸强度可以提高40%，压缩强度提高30%，疲

劳寿命延长倍数达到原材料的三倍以上。

3.2 采用有效的增容办法

3.2.1 极性基团法

具有特定极性的化学基团能够改变环氧树脂的分子结构，使其更容易与沥青中的非极性组分相融合。在实际操作中，科研人员通常会添加含氧、含氮或含硫的极性基团（如羧基、氨基或硫醇基），这些基团通过化学键与环氧树脂及沥青的分子相互作用，有效提高了两种材料的界面黏合力。羧基化合物可以与环氧树脂中的环氧基团发生反应，形成稳定的酯键，从而提高沥青与环氧树脂的相容性。实验数据显示，在引入羧基化合物后，改性沥青的剪切强度可以提高20%至30%，明显增强了材料的抗剪切能力。氨基与环氧树脂中的羧基或环氧基反应，能够形成酰胺或醚键，也可以有效提升沥青混合物的整体性能，在低温下提高近40%改性沥青的柔韧性，减少低温环境下的脆裂现象。极性基团法不仅能够提升环氧树脂与沥青的相容性，还能优化改性沥青的综合性能。这种方法通过调整极性基团的种类，可以精确控制改性沥青的弹性，以适应不同的施工条件。在高温地区使用较多含硫极性基团的改性沥青，可以提高其高温稳定性，而在寒冷地区则更倾向于使用含氧极性基团，以增强其低温下的耐裂性。因为由于某些极性化合物成本较高，施工人员还需考虑成本效益实施极性基团法，可以优化添加比例，平衡成本与性能，或是利用系统的道路试验，精确调节极性基团的添加量，保证环氧树脂改性沥青在实际应用中达到预期的道路性能要求。

3.2.2 共溶剂法

在高性能环氧树脂改性沥青道路材料制备中，共溶剂法常用于提高材料的相容性，通过添加同时溶解环氧树脂和沥青的共溶剂，能够使两种材料在微观层面均匀混合，从而改善宏观性能。共溶剂必须对环氧树脂和沥青均具有良好的溶解能力，且不应应对最终固化的沥青性能产生负面影响。在实施共溶剂法时，施工人员首先需确定合适的共溶剂种类。某些醇类或酮类化合物（如异丙醇或丙酮），因其极性与非极性平衡的特性，能够有效与环氧树脂和沥青进行相互作用。其次，施工人员要通过实验确定最佳的共溶剂添加量，基于沥青和环氧树脂总重量的5%至10%，改善两种材料的相容性。添加共溶剂后，混合物应在特定的条件下进行充分混合。施工人员通常将温度控制在环氧树脂流动点附近，保证环氧树脂可以充分流动，在沥青基质中形成均一的分布。搅拌过程应维持30分钟~1个小时，以确保共溶剂完全发挥作用，促进环氧树脂与沥青的完全

融合。在共溶剂的帮助下，施工人员能够控制改性沥青在应用过程中的温度，改善其在高温和低温条件下的性能表现，具体可提高20%的高温稳定性，降低低温下的脆性，增强延展性。在沥青混合料铺设过程中，施工人员需在一定的条件下让共溶剂挥发，防止材料性能因挥发不完全而受到影响。

3.2.3 添加增容剂

增容剂能够介入两种不同材料相互作用的化学功能团中，使环氧树脂与沥青在分子层面上有效结合。施工人员主要考虑增容剂的化学性质，观察其是否能与环氧树脂和沥青的组成相匹配。含有长链烷基的增容剂能够通过疏水作用增强与沥青的相容性，而含有极性基团的增容剂则可以根据极性作用与环氧树脂形成较强的化学键。在实际应用中，施工人员选择环氧化植物油或聚酯类增容剂，在不增加成本的同时，有效提高混合物的稳定性。施工人员一般按照总混合物重量的1%至5%在环氧树脂中加入增容剂，先进行预混合，保证增容剂能够充分与环氧树脂反应，随后将预混合的环氧树脂与热沥青在高温下混合，保持温度在150至180℃，使得两种材料能够在增容剂的作用下形成均一的混合物。施工人员需控制温度，在搅拌过程中保持足够的时间（通常不少于30分钟），让增容剂充分发挥作用。添加增容剂后的改性沥青，其软化点提高了5℃，而断裂温度则降低了3℃，这表明材料在极端温度条件下，能够明显提升自身的适应性。这种方法还能优化改性沥青的机械性能，增强其抗拉强度，在实际道路铺设中展现出稳定的性能表现。

3.3 加强环氧沥青的韧性

3.3.1 优先使用长链固化剂

长链固化剂能够在固化环氧树脂时形成较长的交联链，能够提高材料的延展性，从而增强整体韧性。在实际应用中，脂肪族胺或多元醇等长链固化剂，因其具有较长的烷基链，可以有效提高固化后材料的韧性，减少脆性断裂的可能性。施工人员需精确控制长链固化剂的配比，使其达到最佳效果，一般推荐的长链固化剂用量为环氧树脂重量的10%到20%。在施工过程中，施工人员要在特定温度下加入长链固化剂，保证其能完全与环氧树脂反应。温度控制通常在25℃至35℃范围内，有助于固化反应均匀进行，防止过快或不均匀固化导致性能不稳定。混合物的搅拌应持续在30分钟以上，使得固化剂与环氧树脂充分融合，避免存在未反应的固化剂，保证材料的可靠性。施工人员使用加入长链固化剂的环氧沥青，能够提高15%至25%的断裂

伸长率，同时提升其抗冲击性能。在承受交通载荷的道路施工中，长链固化剂的使用不仅优化了改性沥青的物理性能，还提升了道路的使用寿命。

3.3.2 加入橡胶弹性体

橡胶弹性体以其优良的抗裂性，能够增强改性沥青的整体韧性，从而提升其在复杂应力环境下的性能表现。合适的橡胶弹性体类型在实际操作中至关重要，施工人员经常选择天然橡胶、丁苯橡胶或SBR（苯乙烯-丁二烯橡胶）。这些橡胶弹性体既能提升材料的伸长率，又能提高沥青混合物的低温柔性和高温稳定性。一般情况下，橡胶弹性体的添加比例为环氧树脂总量的5%至15%。通过精确控制添加比例，可以优化改性沥青的性能。在混合过程中，施工人员利用高剪切搅拌设备，将温度控制在160℃至180℃，持续约30至60分钟，使得橡胶弹性体完全分散于环氧树脂和沥青的混合物中，保证橡胶颗粒均匀分布。这样的处理有助于提高橡胶与沥青的相容性，确保橡胶弹性体充分发挥物理性能。施工人员对改性沥青进行动态剪切试验、拉伸试验和压缩试验，可以观察其在受力后的恢复能力。在常规使用条件下，加入橡胶弹性体后的改性沥青，可提高20%以上的断裂伸长率，有助于减少道路维护的频率。

结束语

综上所述，在高性能环氧树脂改性沥青道路材料的应用中，施工人员采用共溶剂法、添加增容剂，以及利用双酚A环氧树脂和橡胶弹性体，科学地优化了改性沥青的特性。这些方法不仅提升了材料的相容性，还增强了其在复杂环境下的适应能力，保证道路材料的长期稳定性，标志着现代道路建设向着高标准的方向发展，展示出材料科学在实际工程应用中的巨大潜力。

参考文献：

- [1] 梁聪. 聚氨酯/环氧树脂改性沥青混合料路用性能研究[J]. 交通世界, 2024, (08): 35-37.
- [2] 杨国林, 闫兆柏, 王朝辉, 林海娟. 环氧树脂/聚氨酯改性乳化沥青的强度和柔韧性[J]. 筑路机械与施工机械化, 2019, 36 (08): 54-58.
- [3] 李兴富. 水性环氧树脂改性乳化沥青及混合料性能研究[D]. 导师: 何兆益. 重庆交通大学, 2016.
- [4] 何远航. 水性环氧树脂改性乳化沥青及其微表处路用性能研究[D]. 导师: 张荣辉. 广东工业大学, 2008.

作者简介：

张光鹏，男（1992.12—），汉族，籍贯 河南武陟，硕士，工程师，研究方向：道路沥青材料，房屋建筑工程。