

混掺纤维沥青混合料路用性能及经济效益分析

任建立 李 刚 许三虎 (山东胜星化工有限公司, 山东 东营 257300)

摘要: 沥青混合料, 以其独特的粘弹性特征而著称, 呈现出一种随着温度变化, 其本身的强度和刚度表现出显著不同的现象。这种特性意味着沥青混合料在不同的环境条件下能展现出不同的物理性质。通过向混合料中添加特定的纤维成分, 能够在很大程度上改善和调节这些性质。这种特性不仅可以在技术上增强道路材料的使用性能, 更在经济角度上为企业带来直接的利益。改性沥青混合料的应用, 可以有效延长路面寿命, 减少维护和修复的需求, 从而降低长期的道路维护成本。本文将针对混掺纤维沥青混合料路用性能及经济效益展开详细分析, 以供参考。

关键词: 混掺纤维沥青; 混合料路用; 性能; 经济效益

0 引言

沥青混合料在遭受高温环境的影响时, 加入的纤维可以提升整体材料的稳定性和安全性。这一改进不仅是在静负荷下表现出来, 同样也影响到材料在动态负载作用下的稳定性。而在低温条件下, 纤维的引入能有效地分散负载和由温度引起的应力, 同时, 较高的沥青含量也使得混合料呈现出更好的柔韧性, 这在冷季和冷地区尤为重要。通过改进混合料的综合路用性能, 能够为道路使用者提供更安全、更平稳的行车环境, 进一步减少因路面问题引起的交通事故, 从而间接地增加社会经济效益。

1 原材料和纤维微观特征

在本项研究中, 所选用的沥青材料为盘锦产的 AH-90 级沥青, 而实验涉及的纤维类型包括了聚酯纤维、聚丙烯腈纤维、木质素纤维以及石棉纤维。在矿质集料方面, 选择石灰岩碎石、花岗岩砂和石灰岩矿粉作为基本材料。此外, 为了确保实验过程中级配的一致性, 进而减少级配变动对结果的影响, 我们根据规范选取了 AC-16 I 与 AC-13 I 两种级配, 并通过室内筛分与重新配置, 以得到规定的级配中值。

为深入理解不同类型纤维对沥青混合料特性的影响, 本研究采用扫描电镜 (SEM) 对纤维进行微观结构的拍摄与分析。从拍摄的微观图像中可以明显观察到, 木质素纤维表现出的是较为疏松的质地, 伴随着大量的分支及纤维之间的缠绕, 这使得其具有较大的比表面积和较粗糙的表面, 同时纤维的粗细也呈现出一定的不均匀性。在石棉纤维的图像中, 纤维相对较细, 分叉情况较多, 但比起木质素纤维, 其比表面积较小且表面更为光滑。而聚酯纤维和聚丙烯腈纤维则呈现出相对较粗的纤维直径, 尤其是与玻璃纤维相比, 其

中聚丙烯腈纤维的直径不均匀性较为明显。这两种纤维的端部明显突出, 形似“触角”, 这种结构特征有助于纤维间的相互勾连和缠绕。

通过这些微观图像的详细比较与分析, 能够为人们提供关于如何通过纤维的物理结构来优化沥青混合料性能的重要信息。纤维的微观结构特征, 如其形态、表面粗糙度以及比表面积等, 都在很大程度上决定了纤维在沥青混合料中的加固和改性效果, 从而影响整个混合料的综合性能。

2 纤维沥青混合料的高温稳定性

参考《公路工程沥青及其混合料实验规范》(JTJ052—2000) 所规定的实验方法, 对比 8 种纤维增强沥青混合料与 2 种传统沥青混合料, 在适宜的沥青用量下, 观察 60℃ 时的材料的动态稳定性。不难发现: AC-16 I 型混合料在动态稳定性上普遍优于 AC-13 I 型, 体现在其变形速率更低; 加入纤维的沥青混合料在动态稳定性方面均表现出提升, 提升效果按材质可排列为: 聚丙烯腈纤维 > 聚酯纤维 > 木质素纤维 > 石棉纤维; 尽管 AC-16 I 型混合料的动态稳定性整体超过 AC-13 I 型, 改善高温稳定性的效果却是 AC-13 I 型混合料更为显著; 通过车辙试验的变形曲线发现, 各类混合料在初期的轮压作用下, 变形发展趋势基本一致, 反映了压实过程。但随着轮压次数的增加, 变形增速有产生了新的差别, 其中, 聚丙烯腈纤维和聚酯纤维混合料的变形速率较低, 而石棉纤维混合料在四种纤维中变形速率最高, 尽管如此, 这些加入纤维的混合料的变形速率都显著低于未加纤维的混合料。

研究结果清楚地揭示了纤维的形态对沥青混合料性能的深远影响。首先, 聚丙烯腈纤维和聚酯纤维端头独特的“触角”状结构优势不言而喻。这种结构不

仅促进了纤维之间的有效连接，还大大加强了其在沥青混合料中的“桥接”与“加筋”作用。通过这种作用，路面承受的荷载得以迅速在矿质骨料和沥青砂浆中分散，有效增强了抗车辙的能力。

对比而言，其他类型的纤维在“桥接”方面表现不尽人意，因此，聚丙烯腈纤维和聚酯纤维在提升沥青混合料抗车辙性能方面具有明显优势，尤其是长径比更大的聚丙烯腈纤维，其效果更为显著。这进一步证明了在提升高温性能方面，纤维的“加筋”作用至关重要，使得这两种纤维增强的沥青混合料表现出最佳的高温性能。

其次，纤维的加入对沥青的稠度产生了正面影响，有效提升了沥青的稳定性，尤其在高温环境下。这种稳定作用不仅限制了沥青的流动性，还显著降低了沥青混合料的塑性变形。显而易见，纤维对沥青的稳定性越好，其高温性能也越强。在对比中发现，木质素纤维在稳定性方面优于石棉纤维，进一步佐证了纤维材质对沥青混合料性能的影响。

再次，纤维对沥青的稳定作用降低了矿料之间的相对滑移，从而有效提升了矿质骨料的相对稳定性。这种抑制作用不仅减少了剪切变形，也减少了竖向变形，结果是高温形变的显著下降。这说明在高温条件下，纤维的稳定作用对于沥青混合料性能至关重要。

最后，着重于材料的微观结构。细级配的沥青混合料因其较高的均匀性，更有利于纤维与细粒子之间的有效粘结，形成网络结构，对较大颗粒形成有效约束，从而增强了整体结构的稳定性。相比之下，粗级配混合料中，纤维与细颗粒间的网络约束作用相对减弱，进一步表明在提升细级配混合料性能方面，纤维的作用更为显著。尽管如此，研究还是揭示了粗级配混合料在抗车辙性能方面的优势，强调了矿质骨架在高温稳定性方面的主导作用。

3 纤维沥青混合料的低温性能

通过小梁弯曲试验和弯曲蠕变试验对沥青混合料的低温抗裂性能进行了细致评估，试验测定了它们在不同条件下的破坏应变和蠕变速率。研究揭示了几个关键发现：

首先，无一例外，所有沥青混合料在0℃时表现出较10℃时更优秀的抗弯拉强度和更低的劲度模量，同时破坏应变也有所增大。其中，纤维增强的沥青混合料在抗弯拉强度和破坏应变上均高于传统沥青混合料，显示出劲度模量的增加现象。

其次，对于同等级配的纤维沥青混合料，尽管最大破坏应变基本相似，但它们的抗弯拉强度差异显著，尤其是木质素纤维和石棉纤维增强的沥青混合料表现出更高的抗弯拉强度。抗弯拉强度在不同温度下的对比显示，AC-13 I型在同等条件下优于AC-16 I型；而关于最大破坏应变，10℃下AC-16 I型略占优势，但在0℃时两者差异不大；劲度模量方面，10℃下AC-13 I型展现出更高的值。

从蠕变速率的测试结果来看，在0℃的条件下，除木质素纤维外，其他纤维增强的沥青混合料的蠕变速率普遍高于传统混合料，其中聚酯纤维和聚丙烯腈纤维的平均蠕变速率显著高于石棉纤维，超出1.5倍以上。木质素纤维的蠕变速率虽然也高于石棉纤维，但低于其他类型的纤维。当考虑到级配的影响时，纤维混合料中AC-16 I型的蠕变速率高于AC-13 I型；对于传统混合料而言，级配变化对蠕变速率的影响较为有限。

在深入探索沥青混合料对抗低温裂缝的能力时，一系列实验揭示了纤维的引入对提高混合料性能具有不可小觑的影响。

首先，棱柱体小梁在经历弯曲破坏的过程中，主要破坏模式是沿着颗粒间界面的拉裂。在裂缝进一步扩展时，遇到的较大颗粒可能引发挤压和剪切作用，导致材料经受压剪性破坏。这一过程强调了在低温条件下，沥青与矿料界面的强度对抗裂缝形成的重要性。当纤维被添加进混合料时，不仅沥青的用量有所增加，由于轻组分被吸附导致的沥青稠度增大，而且在低温条件下沥青的劲度也随之提高，进一步增加了沥青与矿料之间的界面强度。因此，纤维的加入显著提升了混合料的整体强度，尤其是细小的木质素纤维和石棉纤维由于沥青用量更大，其抗弯拉强度更为显著。

其次，纤维的引入不仅仅通过增加沥青的用量和稠度来提高混合料的性能。其独有的“桥接”与“加筋”作用，在AC-13 I型混合料中表现尤为突出，这种作用显著提高了材料的抗弯拉强度。更重要的是，这种加筋效果在抑制裂缝生成方面起到关键作用，纤维沥青混合料的破坏应变明显大于普通混合料，展示出其在耐裂性上的优势。

纤维的加入还带来了另一项优势，它不仅使沥青用量增加，而且略微提升了孔隙率，从而增加了混合料的柔韧性。纤维的加强效果还能够有效分散应力，使得纤维混合料的蠕变速率超过了普通混合料，这说

明纤维的引入对混合料的低温性能具有积极的改善作用。

最后,从劲度模量的角度来看,尽管纤维的添加使得混合料的劲度模量整体增加,这似乎暗示着对低温性能的不利影响。然而,仅仅依据劲度模量来判断材料的抗裂性能并不全面,因为材料的低温抗裂性能不仅依赖于高强度,还需要良好的应变容忍能力。因此,当考虑到一种混合料在抗弯拉强度和破坏应变上的提升超过另一种混合料时,显然前者在低温性能方面表现更佳。

这不仅表现在增强弯拉强度和最大破坏应变,还包括提高蠕变速率方面。此外,尽管本讨论主要集中于低温性质,已有的实践证明,纤维混合料在抗反射裂缝性方面同样获得了显著的提升,这进一步验证了纤维在改善沥青混合料性能方面的重要性。

4 混杂纤维沥青混合料经济效益分析

在现代道路建设技术的研究与实践中,沥青混合料的性能优化始终是一个重要课题。特别是在掺杂纤维以提升沥青混合料性能的研究中,找到最佳的纤维掺杂比例成为了关键。技术分析表明,当纤维与沥青的混合比例为 5:5 时,混合料在路用性能上展示出了最佳表现。然而,仅仅依靠技术指标来评价并不充分,考虑到建设成本与效益的平衡至关重要。因此,结合“性价比”的概念,通过功效系数法进行深入分析,旨在全面评估纤维沥青混合料的经济效益,以识别出成本效益最高的纤维掺杂比例。

功效系数法是一种综合考虑成本与效益的评价方法,通过该方法可以量化的衡量不同纤维掺杂比例下的沥青混合料性能与成本之间的关系。首先分析沥青混合料在不同纤维掺杂比例下的性能,包括耐久性、抗裂性、抗水损伤性等关键技术指标。随后,考虑到纤维材料本身的成本,以及掺杂该纤维所可能带来的成本变化,计算不同掺杂比例下混合料的整体成本。利用功效系数法将每一种比例下的混合料性能与成本结合起来,通过特定的数学公式计算得出每种混合比例的性价比。这个比值越高,说明在维持一定性能标准的前提下成本效益越高,即所采用的纤维掺杂比例在经济效益上更为优越。

经过精准的计算与分析,结果令人瞩目。在众多不同的掺杂比例中,虽然 5:5 的比例在技术性能上表现出色,但当将成本因素融入考量之后,可能并不总是能够得到最高的性价比。因此,通过功效系数法分

析,我们可以确定一个在保证道路使用性能的同时,又能确保经济效益最大化的最优纤维掺杂比例。这一结果不仅为路面材料研发提供了新的方向,同时也为工程决策提供了实用的参考依据。

5 结语

纤维增强沥青混合料技术的应用,代表了将创新融入基础设施建设的一种积极尝试。这种技术的推广不单止响应了企业对于提高经济收益的强烈呼声,它还紧密贴合了当前全球范围内对可持续发展和环境保护日益增长的关注。该技术的实施,无疑是对经典道路材料工艺的一次革新,并且符合当代道路建设新理念的实际需要,标志着向着更加节约成本、环境友好及效率更高的道路建设和养护方法迈出了坚实的步伐。通过深入分析和实践,纤维增强沥青混合料技术已展现其卓越的性能和潜力。它通过增加纤维材料,有效提高了混合料的整体结构强度与耐用性,这对于提升道路的使用寿命,减少维护频率和成本具有重要意义。

参考文献:

- [1] 魏志学.单掺及复掺纤维的高模量沥青混合料路用性能研究[J].合成材料老化与应用,2023,52(01):66-69.
- [2] 李向阳,胡军安,陈月顺,蒋雷鸣.混杂纤维沥青混合料路用性能试验研究[J].湖北工业大学学报,2023,38(01):86-89.
- [3] 张硕.混掺纤维透水沥青混合料路用性能试验研究[J/OL].中国测试:1-6[2024-04-15].
- [4] 王庆,李文凯,邵景干,陈红奎,王菲菲,王新严.混掺纤维 AC-13C 沥青混合料性能及效益研究[J].河南科学,2022,40(03):403-411.
- [5] 李文凯,邵景干.SMA-13 复掺纤维沥青混合料路用性能研究[J].河南科技,2022,41(05):64-67.
- [6] 谭海勤.不同类型纤维沥青混合料路用性能研究[J].公路与汽运,2021(03):61-63.
- [7] 郭丙瑞,李倩倩.混掺纤维沥青混合料路用性能及经济效益分析[J].青海交通科技,2021,33(02):42-48+75.
- [8] 王文国,赵玮栋.混掺纤维沥青混合料耐久性试验研究[J].市政技术,2021,39(02):157-160.

作者简介:

任建立(1983-),汉族,男,山东省东营市,本科,2014年毕业于山东理工大学,职称:无,研究方向:化工工程。