

文章编号:1671-8879(2006)02-0001-05

沥青胶浆对沥青混合料高低温性能的影响

张争奇¹, 王永财²

(1. 长安大学 特殊地区公路工程教育部重点实验室, 陕西 西安 710064;

2. 鞍山市 公路工程质量监督站, 辽宁 鞍山 114001)

摘 要:在沥青混合料设计中,对沥青胶浆在沥青混合料中的作用认识模糊,并且对沥青胶浆的作用重视不够。按照胶浆理论,将沥青胶浆作为沥青混合料构成中的重要部分,研究了粉胶比变化、纤维对沥青混合料高、低温性能的影响。研究表明,沥青混合料的性能不仅受沥青用量和填料量的影响,更重要的是受填料与沥青相对比例的影响;在沥青混合料设计时应注意结合工程实际作出相应的设计和控制;减少粉胶比,并加入适量纤维,可显著改善沥青混合料的低温柔性的低温松弛能力,同时也使沥青混合料的高温性能得到较大的提高。

关键词:道路工程; 沥青胶浆; 粉胶比; 纤维; 沥青混合料; 路用性能

中图分类号:U414.75 **文献标识码:**A

Influence of Asphalt Mortar on Hot Mix Asphalt Performance at High and Low Temperature

ZHANG Zheng-qi¹, WANG Yong-cai²

(1. Key Laboratory for Special Area Highway Engineering of Ministry of Education, Chang'an University, Xi'an 710064, Shaanxi, China; 2. Quality Supervising Station for Highway Engineering of Anshan City, Anshan 114001, Liaoning, China)

Abstract: The mortar is one important phase of asphalt mixture in accordance with mortar theory, the effect of ratio of filler/asphalt (F/A) and the effect of fiber on the property of hot mix asphalt (HMA) are studied. The test results show that the asphalt content and filler dosage have effect on the properties of HMA, the relative ratio of the two component of asphalt mortar-filler/asphalt ratio play a more important role, which affect the performance of HMA more greatly. It is recommended that the F/A ratio should be controlled strictly during the mix composition design and asphalt pavement construction. The investigation indicates that, by reducing the ratio of F/A and incorporating of some quantity of fiber into HMA instead, the flexibility and stress relaxation of HMA at low temperature can be improved, while the high temperature performance is kept or better. 6 tabs, 3 figs, 7 refs.

Key words: road engineering; asphalt mortar; ratio of filler/asphalt; fiber; HMA; performance

0 引 言

沥青混合料具有明显的流变学性质,其性质随

温度和荷载作用时间而变化,在不同条件下表现为弹性、粘弹性和粘性性质。沥青混合料的这种粘弹性质是由于沥青的加入而出现,并受矿料中细成分

收稿日期:2005-02-13

基金项目:国家自然科学基金项目(50478095);陕西省自然科学基金项目(2003E229)

作者简介:张争奇(1967-),男,陕西扶风人,副教授,工学博士。

的影响很大。按照现代胶浆理论,具有粘弹性质的沥青混合料是一种 3 级空间网状结构的分散系。在沥青混合料的 3 级分散系中,沥青胶浆(填料和沥青组成,又称细胶泥)的构成和性质对混合料性能起着决定性作用^[1-2]。在工程实践中,虽然人们注意到沥青以及矿粉对沥青混合料粘弹性的重要影响,国内外在此方面也进行过大量的研究^[3-7],但较少从胶浆的角度研究其对沥青混合料性能的作用。在与矿料拌和过程中,沥青与小于沥青膜厚的填料相混合并交互作用,所起的粘附作用将矿料胶结在一起。沥青与填料相对比例的变化直接影响着沥青胶浆的性质,并影响着沥青混合料的粘弹性和流变性质,对沥青混合料的高、低温性能、疲劳耐久性和水稳性都有很大的影响。

本文将沥青与矿料中的细成分构成的胶浆作为影响沥青混合料性能重要的一相,研究其构成变化

对沥青混合料性能的影响、粉胶比变化对沥青混合料高、低温性能的影响,同时尝试采用适量纤维取代部分矿粉,考察其对沥青混合料高、低温性能的影响,为沥青混合料设计提供指导。

1 试验方案及混合料试验结果

矿料采用玄武岩石料,沥青采用盘锦 90# 沥青,矿料级配借鉴 SHRP 级配思想,并参考中国现行规范中的级配 AC-16,表示为 S-16。同时为了研究粉胶比对沥青混合料高、低温性能的影响,对级配作微小调整(0.075 mm 通过量),表示为级配 S-16A,见表 1。在两种级配混合料中加入 0.3%(以沥青混合料质量计)的木质素纤维,以考察纤维对胶浆性能的影响。

按马歇尔法求得各沥青混合料的最佳沥青用量,并测得此沥青用量下的马歇尔指标,见表 2。

表 1 矿料级配表

级配编号	不同筛孔(mm)通过率/%										
	19.00	16.00	13.20	9.50	4.75	2.36	1.18	0.60	0.30	0.15	0.075
级配 S-16	100	97	85	71	50	34	22	17	10	8	5.5
级配 S-16A	100	97	85	71	50	34	22	17	10	8	4.0

表 2 纤维沥青混合料马歇尔试验结果汇总表

级配编号	沥青用量/%	密度/(g·cm ⁻³)	理论密度/(g·cm ⁻³)	空隙率/%	矿料间隙率/%	沥青饱和度/%	稳定度/kN	流值/0.1 mm	残留稳定度/%
级配 S-16	4.90	2.460	2.580	4.600	16.00	71.00	8.25	2.28	95.0
级配 S-16+0.3%纤维	5.10	2.443	2.580	5.310	16.70	68.20	10.20	3.20	95.8
级配 S-16A	4.75	2.467	2.578	4.305	15.80	72.80	9.03	2.29	94.6
级配 S-16A+0.3%纤维	5.20	2.452	2.578	4.887	16.30	70.00	10.32	3.21	97.2

(1)由于级配 S-16A 的 0.075 mm 通过量略小于级配 S-16,沥青最佳用量略有降低。

(2)纤维沥青混合料的最佳沥青用量比不加纤维的沥青混合料有所增大。由于木质素纤维的比表面积大,且纤维属木材管胞具有中空结构,中空的内径一般为 40~60 μm,管胞长度大致为 1~3 mm,在管胞的细胞壁上还有许多大大小小的具缘孔(它是纤维素在细胞壁上定向排列的缺陷,也是管胞间的物质交换通道),需要更多的沥青包裹,所以其最佳沥青用量有所增大。

(3)纤维沥青混合料的密度较普通沥青混合料有所降低,由于纤维加入后混合料的最佳沥青用量

均增大,而纤维和沥青的相对密度均比矿料低,且要占据一定空间,使相同体积下混合料的密度值下降;另外由于纤维有弹性能传递作用,将击实功转化的弹性能及时传递,使密实过程更加困难,这也是纤维沥青混合料密度有所下降、空隙率略有增大的原因。另外试验结果表明,在最佳沥青用量下,纤维沥青混合料的马歇尔稳定度有所提高,这在一定程度上表明纤维加入对沥青混合料的高温性能有所改善。

研究表明,胶浆是影响沥青混合料粘弹性能的关键,为了考察粉胶比、纤维等对各级配沥青混合料性能的交互影响,将各级配沥青混合料的胶浆构成情况汇总于表 3。

表 3 各级配沥青胶浆组成

级配类型	级配 S-16	级配 S-16+0.3%纤维	级配 S-16A	级配 S-16A+0.3%纤维
沥青用量/%	4.90	5.10	4.75	5.20
粉胶比	1.12	1.08	0.84	0.77
纤维用量/%	0	0.30	0	0.30

2 沥青胶浆对沥青混合料高温抗车辙性能的影响

采用车辙试验对沥青混合料的高温性能进行评价,按照马歇尔法确定最佳沥青用量,以马歇尔试件密度成型车辙板,试验轮与试件接触压强为(0.7±0.05) MPa,试验温度为 60℃,对几种沥青混合料进行了车辙试验,结果见表 4。

表 4 沥青混合料车辙试验结果

级配类型	级配 S-16	级配 S-16+0.3%纤维	级配 S-16A	级配 S-16A+0.3%纤维
动稳定度/(次·mm ⁻¹)	1 370	1 980	1 103	1 654

(1)级配 S-16 与级配 S-16A 的级配曲线走向基本相同,差别仅在于 0.075 mm 的通过量。由此可以看出,虽然级配 S-16 的沥青用量大于级配 S-16A,但级配 S-16 沥青混合料的车辙试验动稳定度大于级配 S-16A。其他两种级配相似的沥青混合料(级配 S-16+0.3%纤维混合料与级配 S-16A+0.3%纤维沥青混合料)沥青用量基本相同,但车辙动稳定度却也有较大差别,说明沥青混合料的高温稳定性并不与沥青混合料的沥青用量直接相关。从试验结果可看出,沥青混合料的车辙动稳定度与沥青胶浆粉胶比有良好的相关关系。对比分析所选用的两组相似级配的粉胶比与动稳定度,可以看出:粉胶比越大,则车辙动稳定度越大。研究表明,在级配基本相同的情况下,对沥青混合料真正起关键作用的不是沥青用量,而是沥青胶浆性质。沥青胶浆的品质和性能对沥青混合料的性能有非常重要的影响,粉胶比是影响沥青胶浆的主要因素。粉胶比决定了沥青胶浆的相对组成,粉胶比增加,矿粉相对数量增加,结构沥青量增加,使沥青的稠度和劲度增加,从而使沥青混合料的高温抗车辙性能改善。

试验结果也说明:级配微小的变化,特别是级配 0.075 mm 通过量微小的变化,会引起沥青混合料高温性能较大的变化。因此,在沥青混合料配合比设计和生产过程中,不仅要 对沥青用量进行严格控制,也更应注重对粉胶比的控制。

(2)两种级配 S-16 和级配 S-16A 在加入纤维后,沥青混合料的车辙动稳定度有较大的提高(图 1),说明纤维对改善沥青混合料高温性能有较好的作用。纤维对沥青混合料高温性能的改善在 3 个方面起到作用:①纤维对沥青的稳定作用,木质素纤维表面疏松、比表面积大,具有中空结构特点,纤维表面的沥青得到了稳固,故在高温下纤维阻止了沥青的软化,使沥青变稠;②纤维的加筋和桥接作用,由于这种相互搭接形成纤维沥青砂浆网络,有效增强了对矿质骨架的约束,从而增加了骨架的稳定性,同时延缓了沥青与胶浆的滑移;③纤维的应力分散与均衡作用,阻止或减小了矿料间的相对滑移。均匀分布的纤维通过“桥接”和“加筋”作用可使路面上传递的荷载及时地分散到矿质骨架和沥青胶砂中,不会引起矿料沿其接触面滑移,或减小了这种滑移的趋势。

(3)级配 S-16A+0.3%纤维与级配 S-16 相比,粉胶比低 0.26,但掺加了 0.3%的纤维,通过沥青混合料的车辙试验发现,纤维的加入抵消了由于粉胶比降低对高温性能的不利影响,并有一定程度的提高,说明纤维对沥青的稳定作用、加筋与桥接作用以及应力分散和均衡作用对沥青混合料高温性能有明显的改善。使用纤维替代部分矿粉不仅不会对沥青混合料的高温性能造成不利影响,反而有一定的改善作用。

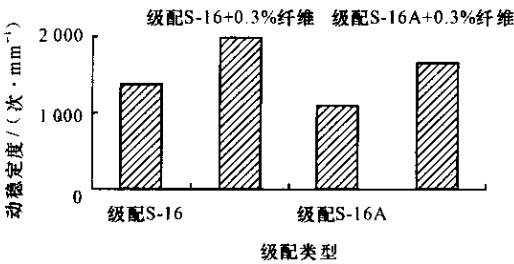


图 1 不同级配沥青混合料车辙试验动稳定度

3 沥青胶浆对沥青混合料低温抗裂性能的影响

沥青路面的低温缩裂是由于温度应力超过了混合料抗拉强度而导致面层开裂的。因此,沥青混合料在低温下若具有较高的强度、较好的抗变形能力和较强的应力松弛能力,就会有较好的低温抗裂性能。

评价沥青混合料低温抗裂性能的方法很多,其中通过沥青混合料低温变形能力来评价低温抗裂性能的方法受到重视。低温破坏应变和低温蠕变速率是最常用表征变形能力的指标。

本文采用低温弯曲试验和弯曲蠕变试验评价沥

青混合料的低温抗裂性能。

3.1 低温弯曲试验

按照马歇尔试验确定试件密度成型板式试件,并切割成 30 mm×35 mm×250 mm 的棱柱体试件,试验温度为-10 ℃,试验在 MTS 材料实验机上进行,试验方法参照《沥青与沥青混合料试验规程》。对 4 种级配沥青混合料进行了低温弯曲试验,并采用低温弯曲破坏应变来评价沥青混合料的低温抗裂性能。破坏应变值越大,则表明沥青混合料的低温变形能力越大,低温抗裂能力越强。弯曲蠕变试验结果见表 5。

表 5 沥青混合料(-10 ℃)弯曲破坏试验结果比较

纤维类型	最大破坏荷载/kN	挠度/mm	抗弯拉强度/MPa	最大弯拉应变(με)	弯曲劲度模量/MPa
级配 S-16	1.110	0.370	5.161	2215.40	2330.0
级配 S-16+0.3%纤维	1.290	0.391	6.051	2344.68	2580.3
级配 S-16A	1.161	0.399	5.440	2390.70	2275.5
级配 S-16A+0.3%纤维	1.242	0.473	5.825	2835.70	2054.1

(1)比较级配 S-16 与级配 S-16A。S-16A 级配混合料弯曲破坏试验结果表明,其抗弯拉强度较高,破坏应变大,抗弯拉劲度模量小。这两种沥青混合料的级配差别不大,虽然级配 S-16 的沥青用量(4.9%)略大于级配 S-16A(4.75%),但其破坏应变并不比 S-16A 大,说明沥青用量大也不能保证混合料具有大的柔性,沥青胶浆才是影响沥青混合料低温柔性的关键。沥青是沥青混合料粘弹性的本源,在加入矿料的拌和过程中,由于纤维、矿粉本身具有体积小、比表面积大的特性,对沥青有较强的亲和性,沥青与矿粉、纤维混合形成的胶浆薄膜,将矿质混合料胶结在一起。沥青混合料是由矿质骨料和裹覆在骨料表面的小于沥青膜厚的矿粉和沥青组成的沥青胶浆膜组成的。由此说明,胶浆影响着沥青混合料的粘弹性,影响沥青混合料高温稳定性、低温抗裂性、疲劳耐久性;沥青与矿粉的品质及其相对构成比例影响着沥青混合料粘弹性和柔性。

级配 S-16 比级配 S-16A 的粉胶比大,胶浆中的矿粉相对数量大。由于矿粉与沥青的相互吸附和扩散作用,使沥青胶浆的稠度增大,柔性降低,表现出沥青混合料强度提高、破坏应变减小。这说明粉胶比的提高会使沥青混合料的低温抗裂性能降低。

(2)两种级配加入纤维后,沥青混合料的抗弯拉强度提高,破坏应变也相应增大(图 2、图 3)。这是由于沥青混合料加入纤维后,最佳沥青用量有所提

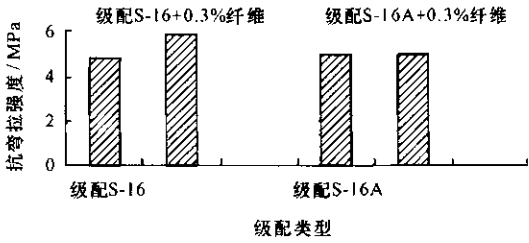


图 2 不同级配沥青混合料低温抗弯拉强度

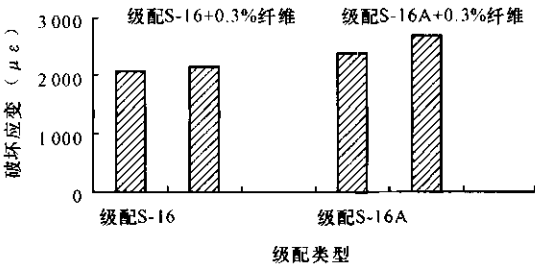


图 3 不同级配沥青混合料低温破坏应变

高,粉胶比有所降低(表 3),从而使沥青混合料的低温柔性增加。纤维加入后,除增大了沥青用量和沥青稠度与劲度外,还对混合料有一定的加强作用,所以其抗弯拉强度有所提高。纤维的这种加筋作用对裂缝的产生和发展有不同程度的阻碍作用,纤维沥青混合料的破坏应变均优于普通混合料。

(3)在级配 S-16 的基础上减少粉胶比(从级配 S-16 的粉胶比 1.12 到级配 S-16A 的 0.84),并加入 0.3%纤维(即级配 S-16A+0.3%纤维),与级配 S-16 沥青混合料相比,沥青混合料破坏应变明显增大,抗弯拉强度也略有增大。其主要原因是沥青用量增大,粉胶比减少,虽然沥青混合料中加入少量纤维,但与矿粉相比,并不会对沥青的柔性产生很大的影响。所以,纤维对胶浆低温性能的不利影响要远小于矿粉的影响,且由于纤维的抗拉、阻裂能力强以及在混合料中的吸附、加筋、桥接作用,使沥青混合料的强度有所增加。试验表明,加入纤维取代部分矿粉,可有效改善沥青混合料低温抗裂性能。

3.2 沥青混合料蠕变试验

蠕变试验能比较直观地定量评价沥青混合料的变形性能。应变速率的大小是表征在试验温度条件和设定荷载水平下的流变参数,它反映的是应力一定时,应变随时间而增长的速率,应变速率大表示材料的低温柔性好,也就不易开裂。另外,蠕变速率可以从应力松弛方面反映沥青混合料的低温变形能力,其值越大,单位时间内沥青混合料的变形能力越大,则沥青混合料的低温松弛性能就好,同时,混合料的低温抗裂性能也就越好。

蠕变试验温度为 0 ℃,采用 30 mm×35 mm×

250 mm 的棱柱体小梁,跨径为 200 mm,试验仪器同弯曲试验。测试中起始应变调为 0,加上相应的应力水平(此处加的是破坏荷载的 10%,为试验荷载 P_0),同时计算机采集数据,以 1 min 1 个点采集数据,直到加载 60 min 为止。据实测,完全可以保证其直线稳定段上的作用时间不少于 30 min。

试验结果见表 6,通过对试验结果的分析,可得出与弯曲破坏试验相似的结论。

(1)通过对级配 S-16 与级配 S-16A 沥青混合料的比较,可知粉胶比减小,沥青混合料的低温柔性增加,沥青混合料蠕变速率增大,沥青混合料的低温抗裂性能改善。

(2)两种级配加入纤维后,沥青混合料沥青含量增加,蠕变速率提高。

(3)级配 S-16 减少粉胶比,并加入 0.3% 纤维(即级配 S-16A+0.3% 纤维),沥青混合料中沥青用量增大,粉胶比减少,使沥青混合料蠕变速率明显提高。在混合料中加入适量纤维可有效改善沥青混合料的低温抗裂性能。

表 6 沥青混合料(0℃)蠕变速率试验结果比较

级配类型	最大破坏荷载/kN	抗弯拉强度/MPa	蠕变弯拉应力/MPa	弯曲蠕变速率/ ($10^{-6} \cdot s^{-1}$)
级配 S-16	1.883	15.374	1.537	5.2976
级配 S-16+ 0.3%纤维	1.312	10.710	1.071	5.1180
级配 S-16A	1.422	11.610	1.161	5.7803
级配 S-16A+ 0.3%纤维	1.425	11.634	1.163	6.7725

从低温试验结果可知,由于低温下沥青/矿料模量比的变化,沥青混合料的颗粒性特征不再显著,沥青胶浆对沥青混合料低温性能的影响超过其对混合料高温性能的影响。这说明沥青混合料的低温抗裂性能主要取决于沥青胶浆的性能;沥青用量和粉胶比是影响沥青混合料松弛能力的因素,成为影响沥青混合料低温抗裂性能的两个重要因素。

4 结 语

(1)粉胶比是影响沥青混合料粘弹性能的重要指标。粉胶比增大,沥青中的结构沥青数量增加,沥青混合料的高温性能改善,但沥青混合料的低温柔性降低;粉胶比降低,则相反,低温性能改善,而高温性能有所降低。研究结果说明,沥青混合料的性能不仅受沥青用量和填料量的影响,更重要的是受填

料与沥青相对比例的影响,在沥青混合料设计时应注意结合工程的实际作出相应的设计和控制。

(2)在沥青混合料中加入纤维,沥青混合料最佳沥青用量增大,马歇尔指标出现一定变化,密度减小,马歇尔稳定度增大。纤维沥青混合料车辙试验中动稳定度增大,低温破坏应变增大,表明纤维可使沥青混合料的高低温性能都有所改善。

(3)减少粉胶比,并加入适量纤维,可显著改善沥青混合料的低温柔性和低温松弛能力,同时也使沥青混合料高温性能得到较大提高。在低温地区沥青混合料设计中,为了突出低温性能,并保证足够的高温抗车辙性能,控制合适的粉胶比,并在混合料中加入适量纤维是解决高、低温性能难以兼顾的有效方法。

参考文献:

References:

[1] Boussad N. Predication of Mix Modulus and Fatigue Law from Binder Rheology Properties [J]. AAPT, 1996,65(1):40-58.

[2] Todd V S. Rheological Characteristics of Bitumen in Contact with Mineral Aggregate[J]. AAPT, 1996, 65 (1):357-377.

[3] 田小革,郑健龙,张起森. 老化对沥青结合料粘弹性的影响[J]. 交通运输工程学报, 2004,4(1):3-6. TIAN Xiao-ge, ZHENG Jian-long, ZHANG Qi-sen. Effect of Aging on Viscoelastic Performance of Asphalt Binder[J]. Journal of Traffic and Transportation Engineering, 2004,4(1):3-6.

[4] Brown E R. Investigation of Stone Matrix Asphalt Mortars[R]. Washington D C: National Research Council 1996.

[5] Reese R. Properties of Aged Asphalt Binder Related to Asphalt Concrete Fatigue Life[J]. AAPT, 1997, 66 (1):604-636.

[6] 张争奇,张卫平,李平. 沥青混合料粉胶比[J]. 长安大学学报:自然科学版, 2004,24(5):7-10. ZHANG Zheng-qi, ZHANG Wei-ping, LI Ping. Ratio of Filler Bitumen of Asphalt Mixture[J]. Journal of Chang'an University: Natural Science Edition, 2004, 24(5):7-10.

[7] 赵可,卢永贵,魏如喜. SMA 高温稳定性研究[J]. 中国公路学报, 2004,17(2):11-17. ZHAO Ke, LU Yong-gui, WEI Ru-xi. Research on High Temperature Properties of SMA[J]. China Journal of Highway and Transport, 2004,17(2):11-17.