

文章编号:1671-6833(2011)06-0046-04

基于外加剂技术的沥青混合料路用性能研究

惠冰, 张超

(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)

摘要:利用外加剂改善沥青混合料路用性能是一项新的技术手段.通过掺加沥青路面增强剂混合料与基质沥青混合料以及SBS改性沥青混合料的多项路用性能试验比较,认为这种增强剂应用效果明显优于SBS改性沥青混合料.试验结果显示,增强剂不仅能够成倍提高沥青混合料的高温稳定性,同时能够较好地改善沥青混合料其它路用性能,如低温稳定性和水稳性等,同时经济性也优于SBS改性沥青混合料.研究表明,增强剂技术是一种全面提高沥青路面路用性能的有效方法.

关键词:道路工程;沥青混合料;沥青路面增强剂;改性沥青;路用性能

中图分类号: U416.217 **文献标志码:** A

0 引言

目前,水泥混凝土外加剂不但能够满足混凝土的各项性能要求,而且使用简单方便,经济、环保.然而沥青混合料的外加剂远未达到和混凝土外加剂相同的研发及普及程度^[1].由于沥青混合料内部的材料及其结构属性,常常面临夏季高温形成车辙,而冬季低温又会开裂等一系列问题^[2].为了改善沥青路面在实际工程中的应用效果,学者对多种改性沥青混合料进行了大量的试验研究^[3-6],但传统方法改性沥青混合料受到改性材料和沥青相容性、储存稳定性等因素影响,所采取的技术措施或是效果不佳难以凑效^[7-8],或是技术要求难度高而不易普及^[9].新型沥青路面增强剂是一种直接投放式改性材料,由多种聚合物与环保型纤维为主料共同混合制成,改性过程仅需经简单机械搅拌即可将增强剂稳定地分散于沥青混合料之中,避免了通常改性沥青中在添加改性剂时,易产生离析和工艺难度大的缺点.笔者通过对不同增强剂掺量条件下沥青混合料路用性能试验,并与有代表性的SBS改性沥青混合料进行性能对比,深入研究增强剂对沥青混合料技术性能的影响.

1 原材料性能和配合比设计

1.1 沥青混合料增强剂

收稿日期:2011-07-28;修回日期:2011-09-19

基金项目:长江学者和创新团队发展计划资助(IRT1050);中央高校基本科研业务费专项资金(CHD2011TD002)

作者简介:惠冰(1982-),男,陕西米脂人,长安大学博士研究生,主要从事道路工程方面的研究,E-mail: huibing323@qq.com.

试验研究采用由北京天成垦特莱科技有限公司研发的垦特莱牌沥青混合料增强剂,是一种由聚合物、天然沥青和纤维聚合组成的颗粒状改性材料,其储存性能稳定且使用方便,与沥青混合料有良好的相融合能力,具体技术指标见表1.

表1 增强剂技术指标

Tab.1 The properties of strength agent

密度/(g·cm ⁻³)	熔点/°C	粒径/mm	阻燃性	安全性
0.97	153	3~4	阻燃	安全

1.2 沥青

试验采用壳牌70#重交道路石油沥青和改性沥青,其中改性剂采用燕山石化的4303(YH2801型)星型结构物SBS作为改性剂与壳牌70#沥青进行改性,掺入量为5%.按照JTJ 052-2000《公路工程沥青及沥青混合料试验规程》规定的方法测定了这两种沥青技术性能指标.具体见表2.

表2 沥青的技术性能

Tab.2 The properties of asphalt

沥青	针入度 (25°C)	软化点 (环球法)	延度 (15°C)	密度 (g·cm ⁻³)	闪点/ °C
壳牌70#	73.2	48.3	>150	1.033	>280
SBS改性	64	54	>150	1.039	>280
规范值	60~80	44~54	100	实测	≥230

1.3 矿料

粗细集料采用辉绿岩.矿粉采用磨细的石灰

岩.经检测各项指标均符合《JTGF 40—2004 公路沥青路面施工技术规范》要求。

1.4 混合料组成

根据现行《公路沥青路面施工技术规范》中 AC-13 沥青混合料矿料级配范围的要求,采用相

应级配中值作为沥青混合料矿料组成,如表 3 所示,相应油石比为 4.5%,增强剂的使用不改变沥青混合料的配合比,其掺量为沥青混合料总质量的 2%~8%。

表 3 沥青混合料的级配

Tab.3 The gradation of asphalt mixture

级配类型	通过下列筛孔(mm)的质量百分率/%									
	16	13.2	9.5	4.75	2.36	1.18	0.6	0.3	0.15	0.075
AC-13	100	90~100	68~85	38~68	24~50	15~38	10~28	7~20	5~15	4~8
设计值	100	95.85	74.69	47.73	27.84	20.37	16.33	12.66	10.58	7.55

2 增强剂改性工艺

增强剂采用基于“干法”的改性工艺,即在普通沥青混合料拌和过程中直接添加增强剂以改性沥青混合料.在实验室利用增强剂改性沥青混合料主要流程为:先将 RA 抗车辙剂和热集料干拌 15~30 s,以使增强剂均匀分散在矿料中.然后将沥青按照预定用量加入,拌和 90 s;最后加入矿粉,再拌和 90 s.增强剂改性工艺温度控制要求见表 4.

表 4 增强剂改性工艺温度控制要求

Tab.4 The temperature control requirements of strength agent modification process

试验过程	温度控制要求/℃
矿料加热	185
沥青混合料拌和	175
马歇尔和车辙试件成型	165

3 试验结果与分析

在相同级配和最佳油石比条件下,按照 JTJ 052—2000《公路工程沥青及沥青混合料试验规程》对增强剂改性沥青混合料、基质沥青及 SBS 改性沥青混合料进行路用性能的比较。

3.1 高温稳定性

采用车辙试验进行沥青混合料的高温稳定性的评价,试验的温度条件以 60℃ 为准.但如果仅以目前试验规程规定的 60℃ 温度条件评价沥青混合料高温抗变形能力,还不足以体现极端气候条件的沥青混合料高温性能的表现,因此增加 70℃ 条件下车辙试验,结果见表 5.

(1)由表 5 结果可见,与采用基质沥青组成的普通沥青混合料相比,SBS 改性沥青混合料的动稳定度有显著的提高,当使用增强剂后,这种高温性能的改善能力得到进一步增强.表中数据显

表 5 沥青混合料的动稳定度

Tab.5 The DS of asphalt mixtures

混合料类型	60℃ 动稳定度/(次·mm ⁻¹)	60℃ 累计总变形/mm	70℃ 动稳定度/(次·mm ⁻¹)	70℃ 累计总变形/mm
基质沥青	1 444.9	2.526	624.4	9.315
SBS 改性沥青	4 256.8	2.117	1 354.8	4.369
2%增强剂	3 917.3	3.099	1 563.3	4.054
4%增强剂	10 924.4	2.434	2 135.6	3.866
6%增强剂	13 404.3	1.597	4 344.8	2.329
8%增强剂	18 529.4	0.699	12 600.0	1.390

示,随增强剂掺量增加,沥青混合料的动稳定度不断提高,可见增强剂表现出比 SBS 改性沥青更好的高温改性效果。

(2)当温度由 60℃ 升高到 70℃ 时,各类混合料的动稳定度都有大幅度的衰减,表明高温是沥青路面产生车辙的主要因素.对于基质沥青和 SBS 改性沥青混合料,70℃ 动稳定度比 60℃ 时动稳定度降低了 60% 左右.尽管掺入增强剂的沥青混合料也在 70℃ 时稳定度也有明显的降低,但随着增强剂用量的不断增加,动稳定度的衰减幅度减小,而且绝对动稳定度仍然能达到较高水平,可见通过采用调整增强剂用量的方法,能够适应更为苛刻的高温稳定性要求。

(3)无论在何种温度条件下,增强剂的使用能够明显降低沥青混合料的在荷载作用下的总变形量,且随着增强剂用量的不断增大,这种特点得到进一步发挥.目前的车辙试验是采用 45~60 min 时间段的变形量,忽略之前的初期荷载压密过程产生的变形.所以这种总变形量的减小说明增强剂的应用不仅仅是在规定条件下增强了相对

抗变形能力,而且是从整体上提高了沥青混合料在高温环境下的绝对抗变形能力,因而从根本上减缓夏季高温沥青路面产生永久塑性变形问题。

3.2 低温抗裂性

沥青混合料低温抗裂性评价方法采用规范要求低温弯曲试验,试验温度 $-10\text{ }^{\circ}\text{C}$,加载速率 50 mm/min ,结果见表6。

表6 沥青混合料的弯曲破坏试验结果

Tab.6 The results of bending damage test of asphalt mixtures

混合料类型	抗弯拉强度/MPa	劲度模量/MPa	破坏应变/ μe
AC-13	7.8	3 881.8	2 003.1
SBS改性AC13	8.8	3 161.0	2 769.4
AC-13+2%增强剂	9.2	4 130.9	2 232.8
AC-13+4%增强剂	9.1	3 630.8	2 506.8
AC-13+6%增强剂	9.0	3 245.7	2 775.6
AC-13+8%增强剂	8.6	3 156.9	2 709.4

(1)试验结果显示增强剂改性沥青混合料的破坏应变要明显高于普通沥青混合料,表现出良好的低温性能。

(2)在采用增强剂后,随着高温性能的大幅度提高,并未出现以往易于发生的高温性能改善,相应低温时会产生质硬性脆的问题,而是表现出良好的低温变形能力。试验结果说明在低温应变和破坏强度得到明显提高的同时,相应模量却在下降,从而很好地协调了沥青混合料的高低温性能要求,这是沥青路面增强剂的应用的一个显著特点。

增强剂改性沥青混合料在4%~8%用量条件下能够满足低温性能技术要求,达到与SBS改性沥青混合料接近的低温性能,产生这种效果的原因来源于增强剂中高聚物成分形成的内聚力较基质沥青要大得多,从而促使沥青与矿料形成的界面强度较普通沥青混合料油石界面强度得以提高。采用弯曲应变能密度函数的概念在一定程度上能够反映这种油石界面能的变化状态^[3],定量地反映不同类型混合料各自的低温性能表现。弯曲应变能计算公式^[10]为:

$$\frac{dW}{dV} = \int \varepsilon_{ij}^y \sigma_{ij} d\varepsilon_{ij}, \quad (1)$$

式中: dW/dV 为应变能密度函数,其临界值是断裂时应力-应变关系曲线下的面积; σ_{ij} 、 ε_{ij} 分别为应力、应变分量。

计算时,根据试验结果,绘出应力-应变关系曲线进行回归,回归方程为三次抛物线。根据试验

结果,计算得出各类型混合料的弯曲应变能见表7。

表7 沥青混合料试件的弯曲应变能

Tab.7 Bending strain energy of asphalt mixtures specimen

混合料类型	基质沥青	SBS改性沥青	2%增强剂	4%增强剂	6%增强剂	8%增强剂
弯曲应变能/ ($\times 10^{-3}\text{ N}\cdot\text{m}$)	165	201	185	214	223	205

由表7可以看出,弯曲应变能从大至小依次为4%~8%增强剂>SBS改性沥青>2%增强剂>基质沥青。在增强剂用量为4%~8%时,低温时沥青混合料的弯曲应变能最高。应变能密度越大,材料发生破坏所需的能量也越大,材料的性能也就越好。可见,增强剂的加入提高混合料的允许变形能力,强化了低温时沥青混合料中沥青与矿料界面之间的连结效果,从而提高了沥青混合料低温变形能力,增强了沥青路面低温抗裂性。

3.3 水稳定性

采用冻融劈裂和残留稳定度试验评价不同类型混合料的水稳定性,结果如表8所示。

表8 沥青混合料的冻融劈裂和残留稳定度试验结果

Tab.8 The TSR and residual stability value of asphalt mixtures

混合料类型	残留强度比(TSR)/%	提高幅度	残留稳定度/%	提高幅度
AC-13	82.6	—	87.1	—
SBS改性AC13	92.5	12.0	93.2	7.0
AC-13+2%增强剂	96.7	17.1	93.4	7.2
AC-13+4%增强剂	97.4	17.9	90.6	4.0
AC-13+6%增强剂	96.9	19.3	86.1	-1.1
AC-13+8%增强剂	88.1	6.7	87.5	0.5

(1)由表8可知,当分别掺入增强剂后无论是冻融劈裂强度比还是马歇尔残留稳定度都较好的达到规范要求,较普通沥青混合料都有一定程度的提高,从而表现出增强剂对沥青混合料水稳定性的积极影响。

(2)两组试验结果中,增强剂在冻融劈裂中效果表现要好于残留稳定度试验结果,在一定掺量范围里甚至要优于SBS改性沥青混合料。根据相关试验规程可知,表征水稳定性的试验中冻融劈裂试验条件要明显高于残留稳定度的试验要求,这样的现象说明,增强剂能够更有效地抵御水的破坏作用,在更为苛刻的水的侵入考验条件下,更好地增强沥青路面的抵御水的破坏。

4 沥青混合料增强剂的经济性分析

虽然采用增强剂材料增加了沥青路面初期建设投资费用,但可通过全面提高沥青路面使用效果、延缓路面病害、减少养护维修费用中得到回报。对于增强剂改性沥青混合料来说,由于改性工艺简单,操作便利,因而在使用工艺的投入上就具备了一定的优势。

增强剂单价约1.5万元/t,掺量通常在4%~6%,所以每吨沥青混合料增加费用在60~90元之间。如每车道按3.75 m宽、以铺设4 cm厚沥青混合料考虑,混合料密度按 2.4 t/m^3 计时,一个车道1 km投入增加的费用(按照5%添加量考虑)是2.70万元;

对SBS现场改性沥青来说,当混合料沥青用量为4.5%,每吨改性沥青加工费(含SBS材料费)0.18万元计,按照同样一个车道的条件计算,每公里增加的费用是2.916万元,超过增强剂费用约2.1万元。

5 结论

沥青混合料增强剂能较好地改善沥青混合料的低温抗裂性以及水稳定性,且随着掺量的不断增加,其改性效果愈发明显;采用外加剂方法进行改性研究很好地解决了效果与操作难易程度的结合,增强剂在贮存和施工上要求简单,生产过程可直接添加于拌和容器中搅拌即可,施工过程无需特殊要求,易于在实际工程中推广应用;增强剂在经济性上具有一定的优势,具有更加显著的性价比。该结论是在有限的试验样本和范围基础上得到的,故需对增强剂改性沥青混合料的路用性能

作进一步研究,同时对增强剂改性机理也需进行深入探讨。

参考文献:

- [1] 沈金安. 沥青及沥青混合料路用性能[M]. 北京:人民交通出版社,2003.
- [2] 沈金安,李福普,陈景. 高速公路沥青路面早期损坏分析与防治对策[M]. 北京:人民交通出版社,2004.
- [3] 徐皓,倪富健,陈荣生,等. 排水性沥青混合料耐久性[J]. 交通运输工程学报,2005,5(2):27-31.
- [4] 刘树堂,杨永顺,房建果,等. 布敦岩沥青改性沥青混合料试验研究[J]. 同济大学学报:自然科学版,2007,35(3):351-355.
- [5] 肖庆一,芮少权,王航,等. 添加PR PLAST. S抗车辙剂沥青混合料试验研究[J]. 武汉理工大学学报,2006,28(7):36-39.
- [6] 樊亮,申全军,张燕燕. 天然岩沥青改性对沥青路面性能的影响[J]. 建筑材料学报,2007,10(6):740-744.
- [7] 叶超,陈华鑫,李军志. 纳米添加剂量对沥青混合料性能的影响[J]. 大连交通大学学报,2010,31(1):64-67.
- [8] 于海臣,孙立军,张丽杰,等. 硫磺沥青混合料水稳定性分析[J]. 建筑材料学报,2009,12(6):679-683.
- [9] 曹卫东,吕伟民. 废旧轮胎橡胶混合法改性沥青混合料的研究[J]. 建筑材料学报,2007,10(1):110-114.
- [10] 张超,韩伟华,马琳. 纤维沥青混合料中纤维最佳用量的确定方法[J]. 长安大学学报:自然科学版,2009,29(2):9-13.

Study on Pavement Performances Based on Additive of Asphalt Mixture

HUI Bing, ZHANG Chao

(Key Laboratory for Special Area Highway Engineering of Ministry of Education, Chang'an University, Xi'an 710064, China)

Abstract: Using additive to improve the performance of asphalt mixture is a new technology. The comparison of strength agent modified asphalt mixture, SBS asphalt mixture and ordinary asphalt mixtures performance tests, the Strength agent enhancement application is obviously superior to SBS modified asphalt mixture. The experimental results show that the strength agent can obviously improve the high temperature stability of the asphalt mixture. Meanwhile, it can enhance other performances of the asphalt mixture, such as low temperature ability and water stability etc. and it is economic also better than the SBS modified asphalt mixture. Research shows that the strength agent is an effective way to improve the performance of asphalt pavement comprehensively.

Key words: road engineering; asphalt mixture; asphalt pavement strength agent; modified asphalt; performance