

测试条件对 SBS 改性沥青表观黏度影响研究

徐鸥明<sup>1</sup>, 韩 森<sup>2</sup>, 牛冬瑜<sup>1</sup>, 刘亚敏<sup>2</sup>

(1. 长安大学 交通铺面材料教育部工程研究中心, 陕西 西安 710061; 2. 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: 黏度是沥青的一项重要性质, 与沥青混合料施工温度和施工和易性密切相关, 为了评价测试条件对黏度的影响, 采用布洛克菲尔德黏度计, 研究了不同时间、温度和转速条件下 SBS 改性沥青表观黏度变化情况. 结果表明: SBS 改性沥青表观黏度值随时间增加逐渐趋于稳定, 温度越高、剪切速率(转速)越大, 黏度趋于稳定的时间越短, 且初始黏度与稳定黏度之间的差值越小; 当温度超过 150 ℃ 时, 黏度与转速无关; 不同温度下进行 SBS 改性沥青黏度测定时, 转速应不小于 20 r/min.

关键词: SBS 改性沥青; 表观黏度; 时间; 温度; 转速

中图分类号: U416.214 文献标志码: A doi:10.3969/j.issn.1671-6833.2015.01.020

0 引言

国民经济持续快速发展促使了交通量迅猛增加, 车辆重载和大型化比例显著提高, 以及气候因素影响对沥青路面提出了高性能要求, 高质量的公路沥青需求量呈上升趋势<sup>[1]</sup>. 苯乙烯-丁二烯-苯乙烯(SBS)改性沥青由于具有优良的高、低温性能而在工程中得到了广泛应用. 沈金安<sup>[2]</sup>认为, SBS 改性沥青是我国改性沥青发展的主要方向. 黄卫东等<sup>[3]</sup>从微观角度研究了 SBS 改性沥青的储存稳定性和结构之间关系, 发现改性剂粒子的分布状态有重要贡献. 张玉贞<sup>[4]</sup>通过沥青四组分试验, 研究了基质沥青成分对 SBS 改性沥青效果的影响. 王仕峰等<sup>[5]</sup>采用光学显微镜、动态力学分析对 SBS 与基质沥青间的相互作用进行了研究. 梁晓丽<sup>[6]</sup>对 SBS 改性沥青的试验特性进行了研究, 探讨了 SBS 改性沥青各项指标影响因素和变化规律. 耿九光等<sup>[7]</sup>和原健安等<sup>[8]</sup>应用凝胶色谱对改性沥青的改性机理及交联结构进行了分析, 解释了 SBS 改性沥青的高低温性能改善机理. 郝培文<sup>[9]</sup>和梁乃兴等<sup>[10]</sup>对 SBS 改性沥青相容性和配伍性、SBS 改性沥青贮存稳定性进行了研究, 发现芳香分含量高的基质沥青与 SBS 相容性较好. 综上所述, 目前对 SBS 改性剂、基质沥青配

伍性、SBS 改性沥青贮存稳定性、SBS 改性沥青性能以及 SBS 改性沥青机理等研究较多, 但对于不同条件下 SBS 改性沥青表观黏度特性研究较少. 因此, 笔者选择一种沥青和 SBS 改性剂, 研究不同温度、转速、时间的 SBS 改性沥青黏度变化规律, 对于进一步正确认识和应用 SBS 改性沥青具有积极意义.

1 材料制备与试验方法

1.1 原材料

试验采用的基质沥青为针入度等级为 90 号道路沥青, 其主要技术性质如表 1 所示.

表 1 基质沥青主要技术性质

Tab.1 The main technical properties of base asphalt	
技术指标	数值
针入度(25 ℃, 100 g, 5 s)/0.1 mm	84
针入度指数	-1.18
延度(15 ℃)/cm	>150
软化点环与球法/℃	43.5

试验采用的聚合物改性剂为星型结构 SBS 改性剂, 外观呈白色, 其物理力学性能指标如表 2 所示.

1.2 SBS 改性沥青制备

先将基质沥青加热到 160 ℃~170 ℃, 将高

收稿日期:2014-08-30;修订日期:2014-11-19  
基金项目:中央高校基本科研业务费专项资金资助项目(2013G1211007)  
作者简介:徐鸥明(1979-),男,安徽巢湖人,长安大学副教授,博士,主要从事路面结构与材料研究方面的工作,E-mail:joe52005@126.com.

速剪切分散乳化机的剪切头浸入基质沥青液面下 3 cm 左右;将调速旋钮调至 3~4 档之间,剪切速率控制为 2 500~3 750 r/min,缓慢加入称量好的 SBS 改性剂(4% 质量分数),同时用玻璃棒搅拌,使 SBS 在基质沥青中形成回流;待剪切 5 min 后,将调速旋钮调至 5~6 档之间,控制剪切速率为 5 000~6 000 r/min,再剪切 10 min 后,加入适量稳定剂,继续剪切 30 min,完成剪切工作,制备好的 SBS 改性沥青留待试验。

表 2 SBS 改性剂技术性质  
Tab.2 The technical properties of SBS

技术指标	数值
嵌段比 S/B	30/70
挥发分/%	0.50
300% 定伸应力/MPa	2.5
拉伸强度/MPa	12
扯断伸长率/%	600
硬度(邵氏 A 值)	82
熔体流动速率/(g·10 min <sup>-1</sup> )	1.0

1.3 试验方法

试验采用 Brookfield 公司生产的 RV. DV-II + Pro 型布氏黏度计,将制备好的 SBS 改性沥青加热制样,分别测试不同时间、温度和转速条件下 SBS 改性沥青黏度值。

2 试验结果与讨论

2.1 时间对 SBS 改性沥青黏度试验结果的影响

对于非牛顿流体,在不同的测试时间,所测得的黏度不同.在试验过程中,通过软件自动采集数据,记录黏度随时间的变化规律.图 1 为基质沥青与 SBS 改性沥青在 135 ℃ 和 20 r/min 条件下测得的黏度值随时间增加的变化曲线。

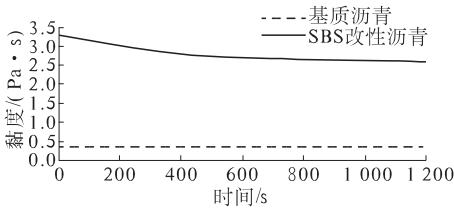


图 1 基质沥青与 SBS 改性沥青黏度-时间曲线  
Fig.1 Relationship between viscosity and time of base asphalt and SBS modified asphalt

由图可以看出,SBS 改性沥青的黏度远高于基质沥青的黏度.对于基质沥青的黏度,除了开始旋转的瞬间有轻微波动外,随着时间的增长,黏度值趋近为一条直线.这是因为,基质沥青在

135 ℃ 时属于典型的牛顿流体,对时间没有依赖性,因而黏度是一个常量<sup>[11]</sup>.对于 SBS 改性沥青的黏度,在开始旋转阶段,黏度值会急速增加,大约经 10 s 达最大值,然后又迅速减小,经过 600 s 后达到相对稳定,此后黏度值虽然随时间增长继续降低,但降低幅度非常小.这是因为 SBS 的加入,改变了基质沥青的胶体结构:一方面,SBS 吸附了基质沥青中轻质组分,使得沥青内部相对运动变得困难;另一方面,SBS 吸附基质沥青中的轻质组分后会自身发生溶胀,当溶胀到一定程度时,SBS 会形成交联结构,成为连续相,此时沥青的运动会受到网状结构的 SBS 滞留作用,从而使 SBS 改性沥青的黏度较基质沥青高很多;同时,SBS 改性沥青属于不均匀触变性流体,对时间有依赖性,虽然 SBS 在沥青中形成物理交联的网状结构,提高了 SBS 改性沥青的结构黏度,但随着剪切时间的增加,流体中沥青相与 SBS 相在界面力、氢键等相互作用下,产生局部扰动,造成物理交联结构不稳定的部分被破坏,又会导致黏度下降<sup>[12]</sup>.

图 2 是转速为 20 r/min 时 SBS 改性沥青在不同温度下黏度值随时间的测试结果。

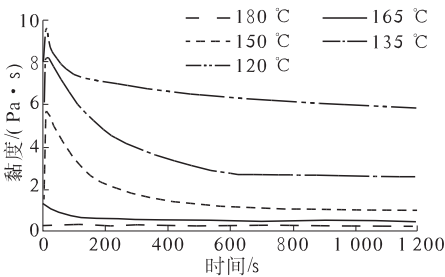


图 2 不同温度 SBS 改性沥青黏度-时间曲线  
Fig.2 Relationship between viscosity and time under different temperatures

由图可以看出,随着时间的增加,除 180 ℃ 时黏度,其他温度下的黏度值都有明显下降趋势;且温度越高,黏度达到稳定阶段所需的时间越短.这是因为,温度越高,对 SBS 改性沥青的假塑性的破坏也越快.120 ℃ 黏度在 1 200 s 时仍未趋于稳定,仍然呈明显的下降趋势;135 ℃ 黏度约在 700 s 时趋于稳定,150 ℃ 黏度约在 600 s 时趋于稳定,165 ℃ 黏度约在 400 s 时趋于稳定,而 180 ℃ 黏度随时间变化曲线近乎于一条直线,表明此时的 SBS 改性沥青已经趋于牛顿流体,剪切时间的长短,对黏度没有影响。

图 3 列出了 135 ℃ 时 SBS 改性沥青在不同转速时黏度随时间的变化曲线。

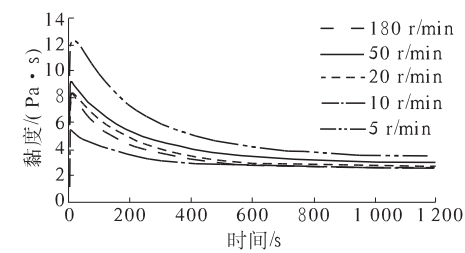


图 3 不同转速 SBS 改性沥青黏度 - 时间曲线

Fig. 3 Relationship between viscosity and time under different shear rates

从图中可以看出,随着时间增加,不同转速时 SBS 改性沥青的黏度值都呈下降趋势;转速越高,黏度越小,黏度值达到稳定阶段的时间越短. 转速为 5 r/min 时黏度最高,趋于稳定的时间最长,大约需 800 s;而转速 100 r/min 时黏度稳定时间约为 600 s. 这表明, SBS 改性沥青交联结构对转速敏感,转速越高,剪切力越大,胶体结构中不稳定部分破坏越快,则黏度重新趋于稳定的时间越短.

由此可见,黏度值的稳定时间与温度和转速有关. SBS 改性沥青是由沥青相和 SBS 相组成,其分子量以及组成成分都有很大的差别, SBS 改性沥青的内部结构非常复杂,与基质沥青的结构有很大的差异, SBS 具有不同于基质沥青的空间结构,这种结构随着时间、温度、速率趋于稳定,温度越高、速度越大,趋于稳定的时间越短,且初始黏度与稳定黏度之间的差值越小. 稳定后 SBS 改性沥青的黏度远高于基质沥青的黏度,这表明 SBS 的加入提高了沥青总分子量,增加了分子间的相互吸引力,流层相对运动时内摩擦阻力也随之增加,从而使黏度值升高.

2.2 温度对 SBS 改性沥青黏度试验结果的影响

对于一般流体,随着温度升高,分子热运动加剧,流体内部分子间的相对摩擦阻力减小,流动性增强,黏度降低,沥青材料也具有相似的变化规律<sup>[13]</sup>. 图 4 和图 5 分别为基质沥青与 SBS 改性沥青在不同转速下的黏温曲线.

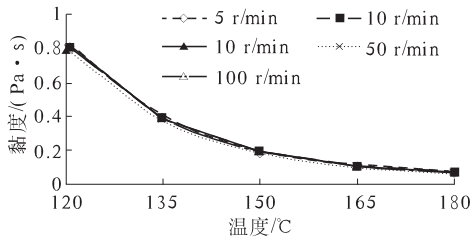


图 4 基质沥青黏度 - 温度曲线

Fig. 4 Relationship between viscosity and temperature of base asphalt under different shear rates

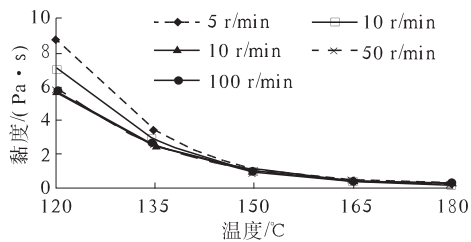


图 5 SBS 改性沥青黏度 - 温度曲线

Fig. 5 Relationship between viscosity and temperature of SBS modified asphalt under different shear rates

由图 4、图 5 可以看出,基质沥青在 120 ℃ 以上是牛顿流体,黏度只与温度有关,与剪切速率无关,且随着温度的变化,黏度值变化范围减小. SBS 改性沥青的黏度随温度改变会发生显著变化,随着温度的升高,黏度值明显下降, SBS 改性沥青的黏度值的下降幅度较基质沥青黏度值的下降幅度大得多. 这表明,加入 SBS 改变了基质沥青胶体结构,能够大幅提升 SBS 改性沥青的低温区域黏度;但随着温度升高, SBS 改性沥青的结构发生变化,沥青的流变性能也随之改变,非牛顿流体特性逐渐减弱, SBS 改性沥青趋近于牛顿流体,其黏度值与基质沥青的黏度值越来越接近.

对于 SBS 改性沥青, 120 ℃ 黏度值与 135 ℃ 黏度值相差最大, 135 ℃ 的黏度值与 150 ℃ 的黏度值相差次之, 165 ℃ 黏度值与 180 ℃ 黏度值相差不大. 这表明,温度越低, SBS 改性沥青的结构性越明显,相对运动时引起的滞留能力越高;随着温度升高, SBS 改性沥青的黏度趋近于基质沥青的黏度,这对于工程实践具有重要意义,低温较高的黏度可以保证路面使用时的高温性能,而高温较低的黏度有助于施工的顺利进行.

2.3 转速对 SBS 改性沥青黏度试验结果的影响

对于高分子材料,当某个分子链段置于速度梯度流场时,由于分子链两端剪切速率不同,会使分子链两端产生相对移动,导致分子发生伸直和取向;剪切速率越大,分子取向就会越明显,这种取向作用会在一定程度上影响黏度的大小.

不同温度时的基质沥青与 SBS 改性沥青的黏度 - 速度曲线如图 6 和图 7 所示.

由图可以看出,温度不同时,转速对基质沥青几乎没有影响. 这是因为,当温度高于 120 ℃ 时,基质沥青近似为牛顿流体,不受剪切速率的影响. 对于 SBS 改性沥青,不同温度时,剪切速率的影响不同;低温 (120 ℃、135 ℃) 时,随着转速的增

加,黏度降低,温度越低,降低幅度越大;当温度高于 150 ℃ 时,转速对黏度的影响减弱,165 ℃ 和 180 ℃ 时,转速对黏度几乎没有影响,此时 SBS 改性沥青也已接近于牛顿流体.这是因为,温度较低时,SBS 改性沥青是典型的非牛顿流体,SBS 改性沥青具有基质沥青所不具有的结构<sup>[14]</sup>.这种结构是由分散在沥青中的 SBS 改性剂微粒之间的相互作用力所形成,微粒之间的性质和结构与微粒的性质和结构不一样,微粒会在外力的作用下发生变形取向,在 SBS 改性沥青结构内,因此形成层流.转速反映了剪切应力,随着转速的增加,外力作用下发生变形取向的程度增加,宏观表现为黏度值的下降.同时,微粒之间的作用力也会随着转速的增加而破坏,也会导致黏度值的下降.

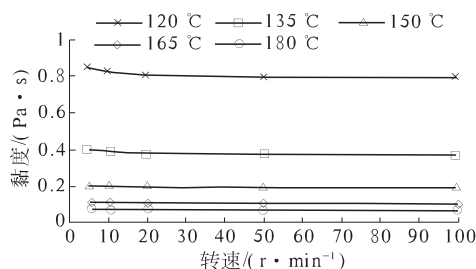


图 6 不同温度时基质沥青黏度-速度曲线

Fig. 6 Relationship between viscosity and shear rate of base asphalt under different temperatures

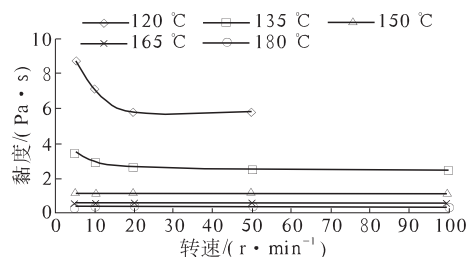


图 7 不同温度时 SBS 改性沥青黏度-转速曲线

Fig. 7 Relationship between viscosity and shear rate of SBS modified asphalt under different temperatures

在黏度测试过程中,靠近转子的区域,转速较快;而靠近管壁的区域,转速较慢,从而使 SBS 改性沥青处于具有速度梯度的流场中. SBS 属于高分子材料,转速越高,剪切速率越大,流场中速度梯度越大,SBS 分子发生应力取向的作用越明显.当转速较低时,由于分子的布朗运动影响,取向不明显.当转速超出一定值后,布朗运动的影响可以忽略,分子进一步取向,随着转速的继续升高,取向稳定,黏度值也逐渐稳定,因此,转速超过 20 r/min 后,黏度值趋于稳定.

### 3 结论

(1) SBS 改性沥青黏度值的稳定时间与温度和转速有关,温度越高、速率越大,趋于稳定的时间越短,且初始黏度与稳定黏度之间的差值越小.

(2) 温度低于 135 ℃ 时,不同转速下测得的 SBS 改性沥青黏度差异较大;继续升高温度到 135 ℃,由于分子热运动效应,部分不稳定交联结构逐渐解离,SBS 对沥青相滞阻效应逐渐减弱,表现为不同转速下测得的黏度差异逐渐减小;当温度达到 150 ℃ 后,SBS 改性沥青黏度与剪切速率无关.

(3) 温度较低时(120 ℃),SBS 改性沥青黏度在低转速区(<20 r/min)对转速变化较敏感,转速越高,SBS 交联结构破坏越厉害,黏度降低越多;当转速超过 20 r/min 后,分子的布朗运动可以忽略,取向作用增强,继续提高转速,则分子取向逐步趋向稳定,黏度值也逐渐趋于稳定.

### 参考文献:

- [1] 姚德宏.我国公路建设与沥青要求[J].石油炼制与化工,2001,32(2):63-65.
- [2] 沈金安.论聚合物改性沥青的发展方向[J].公路交通科技,1998,15(1):4-9.
- [3] 黄卫东,孙立军.聚合物改性沥青显微结构及量化研究[J].公路交通科技,2002,19(3):9-11.
- [4] 张玉贞.SBS 改性沥青的相容性和稳定性机理[J].石油学报,2002,23(2):68-72.
- [5] 王仕峰.苯乙烯-丁二烯共聚弹性体改性沥青的研究[D].广州:华南理工大学化工学院,2001.
- [6] 梁晓丽.SBS 改性沥青试验特性研究[D].西安:长安大学公路学院,2005.
- [7] 耿九光,原键安,戴经梁.用 GPC 研究 SBS 改性沥青交联结构及其稳定性[J].郑州大学学报:工学版,2008,29(2):14-17.
- [8] 原键安,赵可.聚合物改性沥青机理研究(之二)——改性剂粒子的亚微观形态及改性机理综述[J].西安公路交通大学学报,2001,21(3):21-24.
- [9] 郝培文.SBS 与沥青相容性研究[J].西安公路交通大学学报,2001,21(2):54-56.
- [10] 梁乃兴,李明国.SBS 改善沥青路用性能及机理研究[J].长安大学学报:自然科学版,2002,22(2):17-20.
- [11] 史铁钧,吴德峰.高分子流变学基础[M].北京:化学工业出版社,2009.

(下转第 91 页)