

文章编号:1005-0523(2016)03-0029-05

阻燃沥青混合料的阻燃性能试验研究

丛林,吴敏,徐肖龙

(同济大学道路与交通工程教育部重点实验室,上海 201804)

摘要:设计沥青混合料大型燃烧炉试验方法,用来评价阻燃沥青混合料的阻燃性能,试验结果表明:阻燃剂在沥青混合料燃烧的前5 min内能明显降低沥青混合料的燃烧速率,燃烧2 min时阻燃效果最佳,2 min后阻燃效果越来越不明显,5 min后温度过高阻燃剂失去阻燃效果。

关键词:阻燃沥青混合料;大型燃烧炉;阻燃性能;燃烧速率

中图分类号:U414

文献标志码:A

DOI:10.16749/j.cnki.jecjtu.2016.03.005

由于沥青路面抗滑具有性能好、噪声低、行车舒适等特点,沥青路面在高等级公路中得到广泛使用^[1-2],我国新建和在建的隧道路面多采用沥青混凝土路面。但是由于沥青是易燃材料,在封闭的隧道内一旦发生交通事故引起车辆火灾,汽油滴落在沥青路面上引燃沥青,产生大量的热、烟和毒气,给救援带来极大的困难,造成严重的人员伤亡和经济损失。因此,对隧道沥青混凝土路面进行阻燃性能的评价显得非常重要。

闪点和燃点可以有效评价沥青在储存及施工过程中的安全性,但它们都只是描述了沥青能够燃烧的条件,不能评价沥青的持续燃烧能力^[3]。对于沥青的阻燃性能的评价,大多参照塑料阻燃性能的测试方法。杨群等提出氧指数评价方法评价用来评价沥青的阻燃性能,其稳定的持续燃烧可以用来评价沥青的阻燃性能^[4]。我国2010年5月1日发布了沥青燃烧氧指数法的国家标准,制定了标准的氧指数测定方法^[5]。然而沥青路面阻燃性能的测试和评价不应局限于沥青阻燃性能的测试和评价,因为即使相同的沥青,当沥青混合料的级配不同时,其阻燃性能也会存在较大的差异,所以要对沥青混合料的阻燃性能进行测试和评价。对沥青混合料的阻燃性能的研究较少,李立寒、丛培良等采用汽油引燃的方法测试,用燃烧前后沥青混合料的变化来评价阻燃性能^[6-8],却未对整个燃烧过程中温度随时间的变化过程进行分析。

本文对阻燃沥青混合料的阻燃性能进行试验研究,探讨阻燃沥青混合料的阻燃性能测试方法。

1 试验

1.1 试验材料

1.1.1 原材料

试验选取了沥青为Shell牌70号基质沥青进行阻燃性能测试,与4.5%的SBS改性剂采用高速剪切混合机设备制备SBS改性沥青,阻燃剂为13%复合式阻燃剂,其中复合式阻燃剂为自制的十溴二苯乙烷、硼酸锌和氢氧化镁合物,各成分的质量比例为5:4:1。将Shell牌70号SBS改性沥青在110℃下脱水30 min,升温到175℃,加入复合阻燃剂剪切10 min,制成阻燃改性沥青,添加阻燃剂前后的性能指标测试结果见表1。均满足JTG F40-2004《公路沥青路面施工技术规范》中对I-D改性沥青的技术要求^[9]。一般认为氧指数大于27%时该材料是可自熄灭材料,根据工程应用要求,阻燃沥青的氧指数需要达到25%以上就可以了^[10]。本试

收稿日期:2015-11-30

作者简介:丛林(1974—),男,副教授,博士生导师,博士,主要研究方向为道路材料与结构。

验的阻燃沥青的氧指数为 26.9%, 满足要求。

表 1 改性沥青主要性能指标测试结果
Tab.1 Test result of main performance index of modified asphalt

沥青	针入度 (25 °C)/(0.1 mm)	软化点/°C	延度 (5 °C)/cm	黏度 (135 °C)/(Pa·s)	氧指数 /%
不添加阻燃剂	75.7	55.6	40.3	1.4	19.4
加 13% 阻燃剂	72.9	56.7	33.4	1.7	26.9

试验混合料采用由 10~15 mm, 5~10 mm, 3~5 mm, 0~3 mm 这 4 档辉绿岩集料构成, 粗集料的表观密度为 $2.838 \text{ g} \cdot \text{cm}^{-3}$; 细集料表观密度为 $2.827 \text{ g} \cdot \text{cm}^{-3}$; 矿粉为石灰岩矿粉, 表观密度为 $2.627 \text{ g} \cdot \text{cm}^{-3}$ 。木质素纤维用量为总质量的 0.3%。

1.1.2 级配选择

根据 JTG F40-2004《公路沥青路面施工技术规范》, 结合实际情况确定 SMA-13 为本次试验的级配。

1.1.3 确定最佳油石比

按照 JTG F40-2004《公路沥青路面施工技术规范》SMA 混合料马歇尔试验配合比设计技术要求, 确定 SMA-13 的最佳油石比为 6.2%, 然后对其进行性能检验, 符合规范要求。

1.2 试验设备和试验方法

1.2.1 试验设备

本试验所用设备为同济大学土木工程防灾国家重点实验室的分支实验室的大型燃烧炉, 见图 1 所示。

1.2.2 试验方法

制作最佳配合比下的 SMA-13 马歇尔试件, 无阻燃剂和添加阻燃剂的试件分别 2 个。分为 A、B 两组, 每组均为一个添加了阻燃剂一个没有阻燃剂的 2 个马歇尔试件。将两组试件如图 2 放入燃烧炉内。A 组试件两个试件直接受火, 模拟的是隧道火灾火源附近汽油所及之处路面燃烧状况; B 组试件两个试件不受火, 模拟的是隧道火灾远离火源无汽油处路面烘烤状况。



图 1 大型燃烧炉结构图
Fig.1 Structure of large-scale burner



图 2 试验前试件在燃烧炉内的放置位置图
Fig.2 Position of specimen before test in the burner

试验用 $2 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ 风速下的 50 MW 的火源功率对燃烧炉内进行直接燃烧试验, 在每个马歇尔试件的侧面钻个小孔, 把传感器插入, 传感器实时记录试件表面的温度, 在砖块底下放置耐火天平记录试件质量的变化并通过燃烧炉的玻璃镜观察炉内试件的表面变化情况。

2 试验结果与分析

2.1 试件燃烧的结果

燃烧炉内燃烧到 19.6 min 时,通过观察看到燃烧炉内 A 组试件所在位置有股很亮的黄色火焰,持续时间约为 20 s,据此判断这是在火焰的作用下 A 组试件被引燃后协助燃烧发出的火焰。试验结束后 A 组试件(见图 3)表面呈现白色,这是试件表面燃烧所产生的灰烬。B 组试件(见图 4)则还是原来的黑色,表明距离燃烧源一定距离的 B 组的表面没有被引燃。



图 3 试验后燃烧炉内 A 组试件

Fig.3 Group A specimen after test in the burner



图 4 试验后燃烧炉内 B 组试件

Fig.4 Group B specimen after test in the burner

将 A、B 两组试件分别从燃烧炉内取出, A 组用橡胶锤轻敲打, 试件中的集料随机坍落(见图 5); B 组试件在高温烘烤下, 已有少许集料坍落, 含阻燃剂试件坍落程度较低, 在外力轻击状态下, 试件中集料随即坍落(见图 6)。用橡胶锤轻敲打后, 含有阻燃剂与未添加阻燃剂的试件形态并无明显表征, 表明强在高温作用后阻燃剂的效力并不显著。

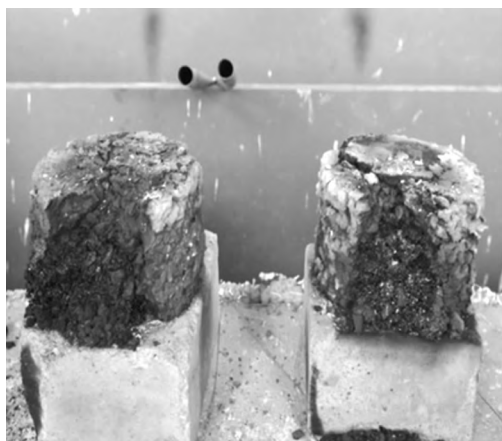


图 5 受火后轻敲 A 组试件图

Fig.5 Group A specimen after hitting



图 6 受火后轻敲 B 组试件图

Fig.6 Group B specimen after hitting

2.2 燃烧速率

试件燃烧过程中记录的时间开始前、燃烧 5 min 后和 20 min 后试件和垫砖块共同的质量, 如表 2 所示。

试件燃烧的速率按照以下公式计算, 计算得燃烧前 5 min、后 15 min 和整个燃烧过程的燃烧速率计算结果绘制成图 7, 其中 A 表示试件在直接受火的位置, B 表示试件在离火源有一定距离的位置, a 表示掺加了阻燃剂的试件, b 表示无阻燃剂的试件。

表 2 燃烧过程中燃烧炉内质量变化
Tab.2 Mass change in the burner

	A 组		B 组	
	<i>a</i>	<i>b</i>	<i>a</i>	<i>b</i>
0-5 min	2 230.5	2 212.4	2 228.7	2 218.6
5-20 min	2 228.3	2 207.9	2 227.9	2 217.4
0-20 min	2 219.3	2 198.1	2 224.6	2 213.6

注: *a* 为有阻燃剂的试件, *b* 为无阻燃剂试件。

试验开始后 *m* 分钟到 *n* 分钟的燃烧速率 $(\text{kg} \cdot \text{s}^{-1}) = (m \text{ 分钟时的质量} - n \text{ 分钟时的质量}) \times 10^{-3} / ((n - m) \times 60)$

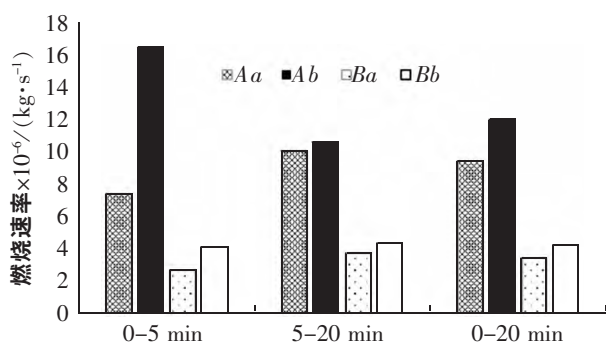


图 7 燃烧速率计算结果图

Fig.7 Calculation results of burning rate

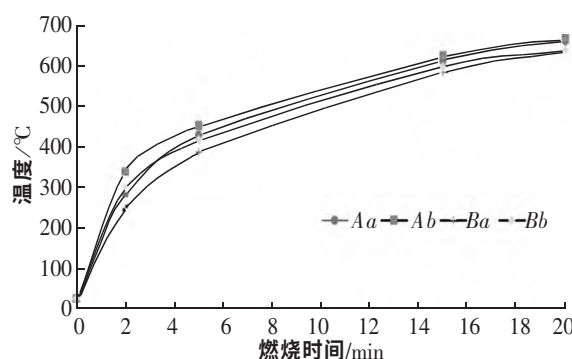


图 8 试件表面温度变化图

Fig.8 Specimen surface temperature change

从图 7 可知,直接受火的 A 组试件掺阻燃剂后对燃烧的前 5 min 的燃烧速率的影响特别明显,能明显降低沥青混合料的燃烧速率,后 15 min 有阻燃剂的试件的燃烧速率基本相同,说明后 15 min 阻燃剂对沥青混合料的燃烧速率基本没有影响,整个过程掺阻燃剂的燃烧速率比无阻燃剂的燃烧速率小,主要是前 5 min 阻燃剂的贡献;距离火源一定距离的 B 组试件的结果与 A 组相同。

2.3 试件表面温度变化

大型燃烧炉试验 20 min 的燃烧过程中,炉内试件表面的温度变化曲线如图 8 所示。

从图 8 可以看出,前 2 min,与无阻燃剂的试件表面温差越来越大,到 2 min 时温差达到最大的 53 ℃,2 min 以后温差越来越小;5 min 时内直接受火的掺阻燃剂的 Aa 组试件表面温度 425 ℃,Ab 试件表面温度 450 ℃,温差为 25 ℃;从燃烧过程来看,前 5 min 燃烧炉内掺阻燃剂的沥青混合料试件表现出火焰小、烟气小的特点,起到一定的阻燃和抑烟作用;最后燃烧 20 min 以后两者基本相同。与火源有一定距离的 B 组试件的表面温度变化与 A 组基本相同,也是前 2 min 内掺阻燃剂的时间表面温度与无阻燃剂的温差越来越大,2 min 时温差达到最大,然后温差越来越小,最后趋于相同。

2.4 试验结果分析

阻燃剂是质量比例为 5:4:1 的十溴二苯乙烷、硼酸锌和氢氧化镁合物,燃烧开始时,随着试件表面温度的升高,阻燃剂受热产生分解,十溴二苯乙烷受热分解产生的 Br·与沥青反应生成 HBr, HBr 与自由基 HO·反应使 HO·浓度降低,而维持沥青燃烧链反应的是自由基 HO·,捕捉燃烧反应中的自由基,降低燃烧反应速率^[11];同时氢氧化镁热在分解产生放出的结合水吸收大量的热;且硼酸锌起到吸热、放水和形成透明的碳化层阻止聚合物燃烧时的滴落现象^[12],三种阻燃剂组成的混合物发挥协同阻燃作用,随着温度的升高,阻燃剂热分解越来越剧烈,阻燃效果越来越明显,第 2 min 时阻燃效果达到最大,因此 2 min 时阻燃剂和无阻燃剂对比试件的温差达到最大;燃烧了 5 min 时,达到了阻燃剂热分解的最大温度,此后阻燃剂逐渐失去了阻燃

能力,因此后 15 min 有无阻燃剂试件的燃烧速率基本相同;阻燃组燃烧的后 15 min 由于失去了阻燃效果,试件表面温度逐渐跟无阻燃组试件温差逐渐变小,最后温度趋于相同。

3 结语

大型燃烧炉试验可以用于测试阻燃沥青混合料的阻燃性能。阻燃剂在沥青混合料燃烧的前 5 min 内能明显降低沥青混合料的燃烧速率,燃烧 2 min 时阻燃效果最佳,2 min 后阻燃效果越来越不明显,5 min 后温度过高阻燃剂逐渐失去阻燃效果,20 min 时有无阻燃剂试件表面温度基本相同。

参考文献:

- [1] 王坤,陈景雅,王谦,等. DAT 与 SA 温拌排水沥青混合料路用性能对比[J]. 华东交通大学学报,2013,30(3):65-70.
- [2] 徐骁龙,叶奋,宋卿卿,等. 沥青疲劳评价指标试验研究[J]. 华东交通大学学报,2014,31(2):14-19.
- [3] 彭建康,樊德,苏胜斌,等. 沥青及沥青混凝土阻燃性能测试与评价[J]. 材料导报,2009,23(11):65-68.
- [4] 杨群,李望瑞. 沥青阻燃性能的评价方法与性能研究[J]. 建筑材料学报,2008,11(4):431-434.
- [5] 国家能源局. NB SH T 0815-2010. 沥青燃烧性能测定—氧指数法[S]. 中国石化出版社,2010.
- [6] 李立寒,邹小龙,陈春羽. 阻燃沥青混合料阻燃抑烟性能及路用性能研究[J]. 建筑材料学报,2012,15(5):648-653.
- [7] 李立寒,邹小龙,陈春羽. 复配阻燃沥青氧指数和路用性能研究[J]. 建筑材料学报,2013,16(1):76-80.
- [8] 丛培良. 阻燃沥青混凝土的制备与路用性能研究[D]. 武汉:武汉理工大学,2006:55-59.
- [9] 中华人民共和国交通部. JTG F40-2004 公路沥青路面施工技术规范[S]. 北京:人民交通出版社,2004.
- [10] 张厚记. 阻燃沥青路面研究新思路[C]//刘文杰. 第三届全国公路科技创新高层论坛. 北京:人民交通出版社,2006:648-652.
- [11] 邢晓华. 新型阻燃剂十溴二苯乙烷的合成研究[D]. 济南:山东大学,2007:23-25.
- [12] 陈辉强. 新型阻燃沥青的制备及其阻燃机理研究[D]. 西安:长安大学,2009:59-61.

Research on Flame Retardant Property of Flame Retardant Asphalt Mixture

Cong Lin, Wu Min, Xu Xiaolong

(Key Laboratory of Road and Traffic Engineering of the Ministry of Education, Tongji University, Shanghai 201804, China)

Abstract: Large-scale burner experiment of asphalt mixture specimen was designed to evaluate the flame retardant property of retardant asphalt mixture. The experimental results show that the flame retardant can significantly lower burning rate of asphalt mixture in the first 5 burning minutes, and the flame retardant effect is best when it burns for 2 minutes. After burning for 2 minutes, the flame retardant effect is less obvious. After burning for 5 minutes, the flame retardant has no effect because of excessively high temperature.

Key words: flame retardant asphalt mixture; large-scale burner; retardant property

(责任编辑 王建华)