

DOI:10.20035/j.issn.1671-2668.2022.05.029

复合阻燃剂对 SBS 改性沥青混合料路用性能的影响

刘光辉

(湖南省潭衡高速公路管理中心, 湖南 湘潭 411100)

摘要: 配制一种复合阻燃剂,通过室内试验研究该复合阻燃剂对 SBS 改性沥青混合料路用性能的影响。结果表明,随着复合阻燃剂用量的增加,SBS 改性沥青的阻燃效果增强,考虑到安全性和经济效益,复合阻燃剂的最佳用量为 10%;掺入 10% 复合阻燃剂,沥青混合料的高温稳定性得到提高,低温抗裂性能及水稳定性出现一定程度降低,其中 AC-13 与 SMA-13 沥青混合料的动稳定度分别提高 8.8%、9.6%,低温破坏应变分别降低 11.5%、9.4%,水稳定性分别降低 5.1%、5.0%,但均满足规范要求。工程应用实例表明,掺入 10% 复合阻燃剂,SMA-13 沥青路面通车 2 年内平整度高,无车辙病害及明显裂缝产生,路用性能良好,低掺量复合阻燃剂对沥青路面路用性能的影响不大,可推广应用。

关键词: 隧道;复合阻燃剂;SBS 改性沥青混合料;路用性能

中图分类号: U453.8

文献标志码: A

文章编号: 1671-2668(2022)05-0116-04

沥青路面行车舒适性好、施工便捷及运营期养护维修封闭交通时间短,隧道工程多采用沥青路面。长大隧道相对密闭,通风性较差,而沥青混合料特别是掺加 SBS 改性剂的沥青混合料中包含大量易燃有机化合物,遇明火会迅速燃烧并产生大量浓烟,造成不可控制的严重后果。因此,应特别注意长大隧道路面及衬砌材料的阻燃性能。国外已在较多隧道工程中开展了阻燃沥青研究与应用,并研发了多种阻燃剂。但国内研究较晚,已有成果较少涉及阻燃沥青对路用性能的影响及在实际工程中的应用效果。本文在常规阻燃剂研究的基础上配制一种阻燃性能更高的复合阻燃剂,通过室内试验分析其对 SBS 改性沥青混合料路用性能的影响,并通过工程应用验证其实际应用效果。

1 室内试验方案

1.1 试验材料

(1) 沥青。选用东海牌 SBS(1-C)改性沥青,其主要性能见表 1。

表 1 SBS 改性沥青的主要性能指标

项目	检测结果	规范要求
针入度(25℃)/(0.1 mm)	72.2	60~80
软化点/℃	65.5	≥55
延度(5℃)/cm	47.6	≥30
弹性恢复(25℃)/%	92.4	≥65
黏度(135℃)/(Pa·s)	2.2	≤3

(2) 阻燃剂。以氢氧化镁:硼酸锌:十溴二苯乙烷=1:4:5(质量比)的配比制备复合阻燃剂。选用常用镁盐晶须阻燃剂及无氯阻燃剂进行对比。

(3) 集料。粗集料采用玄武岩,矿粉采用石灰岩粉末,其性能检测结果见表 2。

表 2 集料的物理力学性能检测结果

集料类型	抗压强度/MPa	压碎值/%	吸水率/%	表观密度/(g·cm ⁻³)
玄武岩	187	11.3	1.25	2.94
石灰岩	68	18.5	0.76	2.78
规范要求	—	≤25	≤2	≥2.5

1.2 复合阻燃剂的最佳用量

通过高速剪切混合器制备掺有不同阻燃剂的改性沥青。先将 SBS 改性沥青加热至 175℃,再掺入不同类型阻燃剂机械剪切 10 min。

制作涂抹阻燃改性沥青的玻璃纤维试件(长×宽=15 cm×4.5 cm)进行氧指数试验,测定燃烧后试件的氧指数。氧指数 O_1 的计算公式为:

$$O_1 = \frac{[O_2]}{[O_2] + [N_2]} \times 100$$

式中:[O_2]、[N_2]分别为氧气和氮气的体积流量(L/min)。

氧指数试验结果见图 1。从图 1 可以看出:SBS 改性沥青的 O_1 随着不同类型阻燃剂用量的增加而增加,其阻燃效果越来越好。复合阻燃剂掺量大于

8%时, O_1 迅速增加,掺量为10%时达到26.1%,满足隧道阻燃沥青路面 $O_1 > 25\%$ 的要求,且优于掺加其他两种阻燃剂的改性沥青;之后,随着掺量的增加, O_1 缓慢增长。综合考虑安全性与经济效益,复合阻燃剂的最佳掺量为10%。

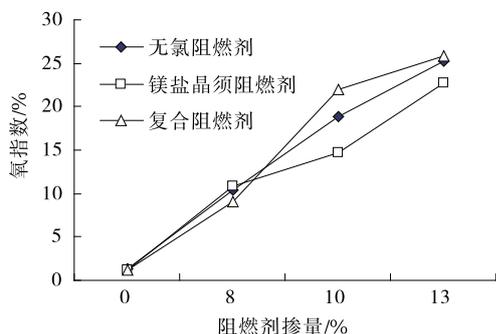


图1 不同阻燃剂及掺量下SBS改性沥青的氧指数

1.3 配合比设计

分别选用AC-13及SMA-13级配类型,参照JTG F40—2004《公路沥青路面施工技术规范》中中级配中值进行目标级配设计,结果见表3、表4。

表3 AC-13矿料级配设计

孔径/mm	规范要求/%	合成级配/%	孔径/mm	规范要求/%	合成级配/%
0.075	4~8	6.3	2.360	24~50	36.7
0.150	5~15	10.1	4.750	38~68	53.0
0.300	7~20	13.8	9.500	68~85	76.2
0.600	10~28	18.6	13.200	90~100	95.5
1.180	15~38	26.5	16.000	100	100.0

表4 SMA-13矿料级配设计

孔径/mm	规范要求/%	合成级配/%	孔径/mm	规范要求/%	合成级配/%
0.075	8~12	11.0	2.360	15~26	23.8
0.150	9~15	12.3	4.750	20~34	30.7
0.300	10~16	12.6	9.500	50~75	70.1
0.600	12~20	15.1	13.200	90~100	98.8
1.180	14~24	19.0	16.000	100	100.0

按JTG F40—2004《公路沥青路面施工技术规范》对10%复合阻燃剂掺量沥青混合料进行马歇尔试验,确定AC-13、SMA-13混合料的最佳油石比分别为4.8%、6.2%。

1.4 试验方案

按设计级配及最佳油石比制备掺10%复合阻燃剂的SBS改性沥青混合料试件,根据JTG E20—

2011《公路工程沥青及沥青混合料试验规程》分别进行高温车辙试验、小梁弯曲试验及浸水马歇尔试验,分析其路用性能。

2 室内试验结果分析

2.1 高温稳定性

分别制备复合阻燃剂掺量为10%的不同级配类型SBS改性沥青混合料试件进行车辙试验,分析其高温稳定性,试验结果见图2。

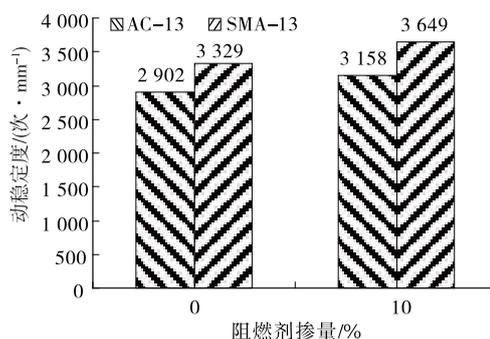


图2 车辙试验结果

由图2可知:不同级配类型SBS改性沥青混合料在掺入10%复合阻燃剂后,其动稳定度得到提高,AC-13与SMA-13混合料的动稳定度分别提高8.8%、9.6%,高温稳定性得到改善。掺入复合阻燃剂后,SBS改性沥青的软化点与黏度在复合阻燃剂中无机材料的改性下得到提高,进而提高了高温稳定性能。10%复合阻燃剂掺量下,SMA-13混合料的动稳定度比AC-13高15.6%,表明SMA-13具有更好的高温稳定性,适用于隧道路面。

2.2 低温抗裂性能

在温度为-10℃时,采用SANS万能试验机,通过单点加载的小梁弯曲试验测试复合阻燃剂掺量为10%的不同级配类型SBS改性沥青混合料的低温抗裂性能,试验结果见图3。

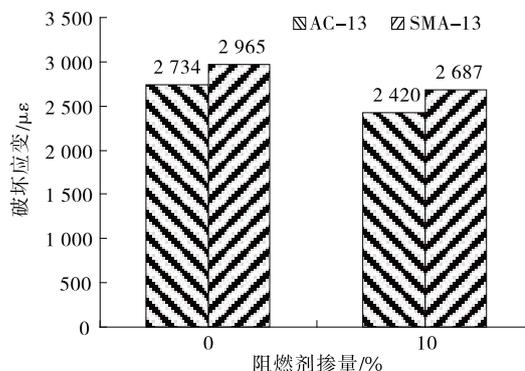


图3 小梁弯曲试验结果

从图3可以看出:不同级配类型SBS改性沥青混合料在掺入10%复合阻燃剂后,其破坏应变均降低,低温抗裂性能出现一定程度降低,AC-13与SMA-13混合料的低温破坏应变分别降低11.5%、9.4%,AC-13混合料的低温抗裂性能已不能满足规范要求,SMA-13混合料的低温抗裂性能仍满足规范要求。掺入复合阻燃剂后,SBS改性沥青的黏稠度增大,低温下的劲度大幅下降,较大程度影响了其抗变形能力。但10%复合阻燃剂掺量对SMA-13沥青混合料的影响较小,混合料仍具有较好的低温抗裂性能。

2.3 水稳定性

复合阻燃剂的掺量取10%,按最佳油石比分别制备不同级配类型SBS改性沥青混合料试件进行浸水马歇尔试验,试验结果见图4。

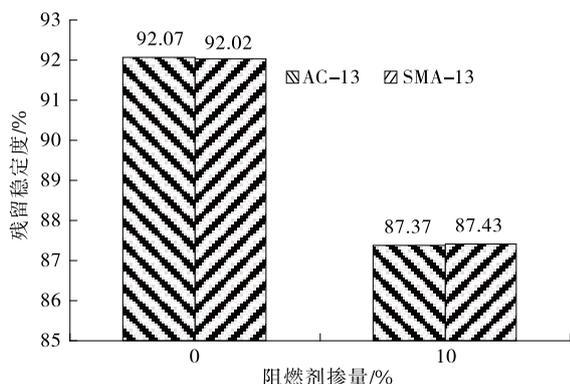


图4 浸水马歇尔试验结果

由图4可知:不同级配类型SBS改性沥青混合料在掺入10%复合阻燃剂后,水稳定性均出现一定程度降低,AC-13与SMA-13混合料的水稳定性分别降低5.1%、5.0%,但均满足规范要求。这是因为掺入复合阻燃剂后,沥青与集料之间的黏结力降低,其在水分作用下更容易剥离,水稳定性降低。

3 工程应用

3.1 工程概况

某新建公路K342+210—K345+350段为双向两车道隧道。以K342+210—520段作为试验段,沥青路面上面层铺筑掺复合阻燃剂的SMA-13 SBS改性沥青混合料,路面结构形式为20 cm 4%水泥稳定碎石底基层+20 cm 5%水泥稳定碎石基层+8 cm AC-25下面层+6 cm AC-20中面层+4 cm SMA-13上面层。该路段施工所采用材料类型及检测方法均同室内试验。复合阻燃剂掺量取

10%,油石比为6.2%。

3.2 现场性能检测

在SMA-13 SBS改性沥青混合料出料后对其进行随机抽样,抽样检测结果见表5。由表5可知:施工现场拌合的混合料的相关性能均优于室内试验结果,路用性能良好。

表5 SMA-13型SBS改性沥青混合料抽样检测结果

项目	检测结果
动稳定度/(次·mm ⁻¹)	3 671
低温破坏应变/ $\mu\epsilon$	2 695
残留稳定度/%	87.54

K342+210—520段铺筑完成后,每隔20 m对其钻芯取样,进行验收检测,取平均值作为检测结果(见表6)。由表6可知:试验段的各项验收检测结果均满足规范要求,施工质量优异。

表6 试验段验收检测结果

项目	检测结果
压实度/%	98.4
渗水率/(mL·min ⁻¹)	23
构造深度/mm	0.62
平均抗滑摩擦因数	62.8

3.3 持续观测与评价

该隧道工程于2017年3月建成,同年4月该新建公路全线通车。通车2年内对试验段持续进行观测,结果显示:掺复合阻燃剂的SMA-13沥青路面平整度高,无车辙病害及明显裂缝产生,路用性能良好。低掺量复合阻燃剂对沥青路面的路用性能影响较小,可推广应用。

4 结论

(1) 随着复合阻燃剂掺量的增加,SBS改性沥青的阻燃效果增强,考虑到安全性和经济效益,复合阻燃剂最佳用量为10%。

(2) AC-13与SMA-13沥青混合料在掺入10%复合阻燃剂后,高温稳定性得到提高,动稳定度分别提高8.8%、9.6%。

(3) 掺入10%复合阻燃剂后,沥青混合料的低温抗裂性能出现一定程度降低,AC-13与SMA-13沥青混合料的低温破坏应变分别降低11.5%、9.4%,AC-13沥青混合料的低温抗裂性能已不能满足规范要求,但SMA-13沥青混合料的低温抗

裂性能仍满足规范要求。

(4) 沥青混合料的水稳定性在掺入10%复合阻燃剂后出现一定程度降低,AC-13与SMA-13沥青混合料的水稳定性分别降低5.1%、5.0%,但均在规范要求范围内。

(5) 掺10%复合阻燃剂的SMA-13沥青路面通车2年内平整度高,无车辙病害及明显裂缝产生,路用性能良好。低掺量复合阻燃剂对沥青路面的路用性能影响不大,可推广应用。

参考文献:

- [1] 杜素军.一种环保沥青阻燃剂的研制[J].山西交通科技,2013(5):1-3.
- [2] 杨太华.越江隧道工程施工质量管理模式探讨[J].交通科技,2004(3):118-119.
- [3] 任梵,张晓娇,孙海斌.国内外路用阻燃沥青的研究现状与展望[J].长安大学学报(自然科学版),2012,32(6):1-10.
- [4] 彭建康,董瑞琨,苏胜斌.长大隧道沥青路面用阻燃剂

种类及阻燃机理研究现状[J].材料导报,2009,23(7):49-51+60.

- [5] 郭进存,廖克俭,戴跃玲.阻燃沥青的研制[J].辽宁石油化工大学学报,2005,25(2):5-8.
- [6] 徐婷.隧道阻燃抑烟沥青及其混合料技术性能与机理研究[D].西安:长安大学,2009.
- [7] 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.
- [8] 樊军,杨群,陈以清.沥青氧指数测试方法[J].解放军理工大学学报(自然科学版),2004,5(6):30-32.
- [9] 交通运输部公路科学研究院.公路沥青路面施工技术规范:JTG F40-2004[S].北京:人民交通出版社,2005.
- [10] 交通运输部公路科学研究院.公路工程沥青及沥青混合料试验规程:JTG E20-2011[S].北京:人民交通出版社,2011.
- [11] 金雷,魏建国,付其林,等.DBDPE复合阻燃剂对SBS沥青性能的影响[J].长安大学学报(自然科学版),2020,40(2):47-55+65.

收稿日期:2021-09-14.

(上接第87页)

交出入口的转向交通量对直行信号灯进行配时优化,减少直行交通的延误和排队等候长度,有条件时尽量在现有被交路两侧设置左、右转向专用车道,降低转弯车辆与直行车辆之间的速度差,提高行车安全性和通行能力。现状互通立交平交口渠化设计过于简单,部分标志缺失,标线施划不全,不能很好地引导不同方向的车辆转弯,且存在不同程度的磨损,夜间可视性不良,影响行车安全。现状互通立交平交口养护和管理水平较低,对现有交叉的直行和转向交通量调查分析不足,造成信号灯配时不合理、交叉口拥堵、排队过长。对于存在安全隐患的平交口,采用禁止左转的方式一禁了之,不能充分发挥平交口的转向功能,右转后再调头左转的方式绕行距离远,通行效率低,进一步加大了被交路的交通压力,调头时左转转弯半径反而更小,不利于行车安全和提升通行能力。太平东互通交叉口采用单喇叭方案可较好地解决左转交通与直行交通的冲突,通行能力较强,安全性较高,但征地、拆迁规模大,造价高,可行性低。菱形立交方案较单喇叭方案对周边的影响较小,征地和拆迁规模较小,工程规模适中,具有较好的可行性。

参考文献:

- [1] 中交第一公路勘察设计研究院有限公司.公路路线设计规范:JTG D20-2017[S].北京:人民交通出版社股份有限公司,2017.
- [2] 中国公路工程咨询集团有限公司.公路立体交叉设计细则:JTG/T D21-2014[S].北京:人民交通出版社股份有限公司,2014.
- [3] 交通运输部公路局,中交第一公路勘察设计研究院有限公司.公路工程技术标准:JTG B01-2014[S].北京:人民交通出版社股份有限公司,2014.
- [4] 陈勛,陈明,杨保兴.长沙绕城高速公路入口立交节点方案研究[J].公路与汽运,2021(2):99-103+107.
- [5] 常斐.服务型立体交叉被交公路等级与平面交叉研究[D].西安:长安大学,2014.
- [6] 赵海娟,陆键,马永锋.高速公路出口匝道与地面道路衔接部的几何安全设计研究综述[J].交通运输工程与信息学报,2010,8(2):48-55.
- [7] 陈恺,张宁,黄卫.出入口管理技术改善立交与地面道路的交通衔接[J].公路,2006(10):111-116.
- [8] 赵庆迁,王亚萍,雷建明,等.基于饱和度的路网交通态势实时辨识[J].交通科学与工程,2019,35(4):104-110.

收稿日期:2021-10-07