

DOI:10.16799/j.cnki.esdqyfh.2023.03.054

阻燃剂对沥青混合料性能的影响

刘怀星, 王 华

[济南市市政工程设计研究院(集团)有限责任公司, 山东 济南 250002]

摘 要: 中国的公路建设发展迅速, 公路隧道建设的规模和数量在逐年增加。隧道内传统路面表现出一定的弊端, 隧道空间较封闭, 用沥青混凝土也有潜在的风险。现采用不同的阻燃剂制备阻燃沥青, 通过氧指数试验、直接燃烧试验、车辙试验、低温弯曲试验、浸水马歇尔试验、冻融劈裂试验等方法, 分析不同的复掺阻燃剂对沥青混合料的阻燃性能和路用性能影响。研究表明: 自制的阻燃剂有良好的阻燃效果, 最佳掺量为 6%, 掺入阻燃剂可以使沥青混合料的高温性能有所提高, 低温性能有所改善, 水稳定性有所降低, 减少了燃烧时间, 燃烧后的残留动稳定度有一定程度的提升, 即复掺阻燃剂可以在很大程度上改善沥青混合料的阻燃性能。

关键词: 阻燃剂; 沥青混合料; 阻燃性能; 隧道工程

中图分类号: U416.217

文献标志码: A

文章编号: 1009-7716(2023)03-0213-04

0 引言

近年来, 随着中国经济的快速发展, 中国的公路建设也发展迅速。为完善公路建设网, 公路隧道建设的规模和数量在逐年增大, 大量隧道主要采用沥青混凝土路面^[1]。相比水泥混凝土路面, 其具有良好的抗滑性能、易于养护以及行车较舒适等优点。但是, 在近些年的应用中, 它表现出一定的弊端。沥青属于易燃材料, 隧道一旦发生火灾, 必然会产生大量的有毒烟气, 主要包括 CO、SO_x、挥发性有机化合物(VOCs)和多环芳烃(PAHs)等^[2-4]。沥青会在隧道内持续燃烧, 并释放大量的热, 导致火灾难以被扑灭, 从而阻碍救援的最佳时间, 进一步造成严重的生命财产损失。

为了解决这些弊端, 许多学者对阻燃沥青进行了不同方面的研究。黄亚东^[5]等人采用热重法研究了单一的氢氧化镁阻燃沥青的燃烧特性, 添加氢氧化镁后沥青的燃烧特性有所提高, 但添加量应小于 25%。袁玲^[6]等人也基于氢氧化镁做了一系列的研究, 得出氢氧化镁不仅有阻燃性能, 而且具有良好的抑烟效果, 当氢氧化镁添加量为沥青量的 30%时, 极限氧指数才可达到 23.6%, 表明单一的氢氧化镁不宜作为阻燃剂, 可与其他材料复配。为了解决单一氢氧化镁阻燃剂所出现的弊端, 丁庆军^[7]等研究了氢氧化铝、氢氧化镁及 Zeolite 沸石粉的复合阻燃沥青配合比设计和阻燃性能, 氧指数高达 29.2%, 但填充量

依然略大。郭进存^[8]等人研究了十溴联苯醚、三氧化二锑、硼酸锌和氢氧化镁复合, 采用氧指数试验, 氧指数高达 36.5%, 但是卤-锑组合毒性较大, 易于致癌。郭寅川^[9]和 Yang^[10-11]等研究了氢氧化铝与有机蒙脱土的复合型阻燃剂, 氧指数大于 27%, 即达到了自熄材料的标准, 但氢氧化铝添加量依然为 10%才可以保证沥青的物理性能和阻燃性能。在不影响沥青基本指标及路用性能的同时, 现提出了一种新型的低掺量沥青阻燃剂。

该自制阻燃剂的原材料主要包含氢氧化镁、三聚氰胺、聚磷酸铵, 先用三种原材料按照一定的比例来制备中间体, 再用钛酸四丁酯处理液进行表面处理, 从而制备出阻燃剂。通过室内试验的方法, 分析阻燃剂对沥青混合料性能的影响, 着重考虑阻燃剂对阻燃性能及沥青混合料路用性能的影响。

1 原材料

1.1 沥青

采用的是克炼 90# 基质沥青, 依据规范对沥青进行试验检测, 并对试验结果的有效性进行判定, 其性能如表 1 所列。

1.2 集料

集料采用玄武岩碎石, 细集料选择机制砂, 密度为 2.638 g/cm³, 矿粉选用石灰岩矿粉, 密度为 2.74 g/cm³, 实测指标均满足要求。采用 AC-13 级配, 级配如图 1 所示。

1.3 阻燃剂的原材料

现采用的阻燃剂主要成份: 氢氧化镁、三聚氰胺、

收稿日期: 2022-06-07

作者简介: 刘怀星(1979—), 男, 工学硕士, 高级工程师, 从事道路、桥梁工程设计工作。

表1 克炼90#基质沥青技术性能指标一览表

试验项目	克炼90#	规范要求
密度(15℃)/(g·cm ⁻³)	0.998	实测
软化点/℃	48	≥44
延度(5 cm/min, 10℃, cm)/cm	29.7	≥20
针入度(25℃, 5 s, 100 g)/0.1 mm	98	80~100
RTFOT后		
质量损失/%	-0.188	≤±0.8
残留延度(10℃)/cm	28.8	≥8
残留针入度比(25℃)/%	80	≥57

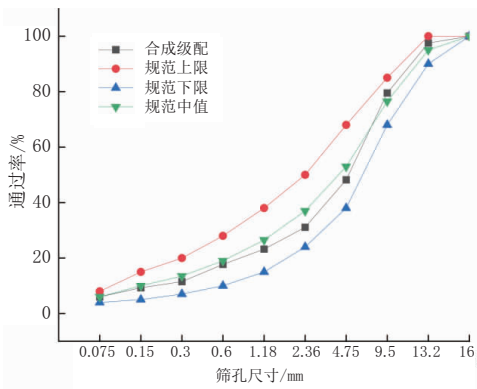


图1 级配图

聚磷酸铵、钛酸四丁酯。检测结果如表2、表3、表4和表5所列。

表2 氢氧化镁基本性能一览表

项目	指标
外观	白色粉末
密度	2.388/(g·cm ⁻³)
溶解性	18℃水中溶解度<0.000 9 g/100 mL
热稳定性	起始分解温度>300℃
毒性	无毒

表3 聚磷酸铵(APP)基本性能一览表

项目	指标
外观	白色粉末,分散性好
密度	1.732/(g·cm ⁻³)
PH值	中性
热稳定性	起始分解温度>250℃
毒性	低毒

表4 三聚氰胺/密胺(MEL)基本性能一览表

项目	指标
外观	白色单晶体
密度	1.572(g·cm ⁻³)
PH值	弱碱性
热稳定性	起始分解温度>300℃
毒性	低毒

表5 钛酸四丁酯基本特性一览表

项目	指标
性状	浅黄色油状液体
分子式	C ₁₆ H ₃₆ O ₄ Ti
密度/(g·mL ⁻¹)	0.999~1.003

2 沥青混合料制备及试验方案

2.1 阻燃剂掺量设计及沥青混合料的制备

采用氢氧化镁复配的自制阻燃剂,制备阻燃沥青,从而解决了填充量大的问题。添加了钛酸酯偶联剂,也改善了阻燃剂与沥青的相容性。选择了在沥青中添加0、4、6、8、10五个掺量,进行阻燃沥青的氧指数测试,图2展示了试验结果。

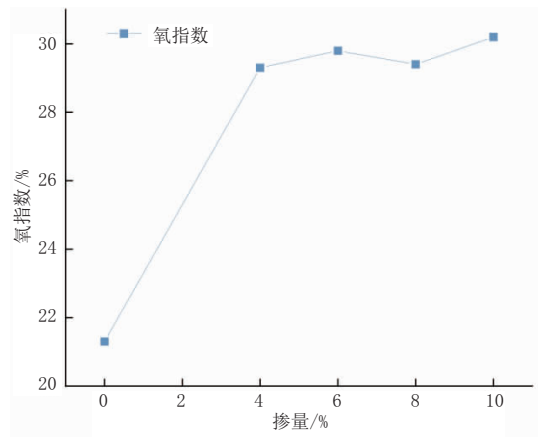


图2 氧指数图示

根据《建筑材料及制品燃烧性能分级》(GB 8624—2012)中的评级指标,采用氧指数数值的大小将燃烧性能分为三个等级。易燃材料是指氧指数小于22%,可燃材料是指数值在22%~27%之间,难燃材料是指数值大于27%。目前一般认为随着阻燃剂掺量的增大,其阻燃效率会逐渐下降,而为保证阻燃沥青达到一定安全标准,其极限氧指数不应小于24%^[12]。从图中可以看出,基质沥青的氧指数21.3%,属于易燃材料。当掺量为4%时氧指数达到了29.3%,已经达到了难燃材料的标准。增幅为8%,随着掺量的增大,氧指数逐渐升高。但在8%时又有所下降,结合氧指数及其经济性来考虑,选择最佳掺量为6%,氧指数高达29.8%,达到了难燃材料级别,可以表明在沥青中添加的自制阻燃剂发挥了良好的阻燃性能。

阻燃剂的添加方式有内掺法和外掺法两种。依据文献以及经验,现以外掺法将阻燃剂加入到沥青混合料中^[13],掺量为6%,用阻燃剂代替等质量矿粉,并先将阻燃剂与矿粉混合。为了避免出现拌合不均

匀的现象,搅拌 30 min 至均匀,然后成型试验所用试件。

2.2 试验方法

2.2.1 路用性能试验测试方法

采用车辙试验、低温弯曲、浸水马歇尔和冻融劈裂试验对三组不同的混合料进行成型试件测试其阻燃剂对沥青混合料的高低温性能以及水稳性能。

2.2.2 阻燃性能试验测试方法

制备三组不同类型的马歇尔试件,通过直接燃烧法来模拟沥青路面的燃烧。其中:A-1 试件采用普通沥青混合料制备,A-2 试件采用购买的 A 阻燃剂进行制备的沥青混合料,A-3 试件采用自制的阻燃剂进行制备。对 A-1、A-2、A-3 组试件浇洒 50 ml 汽油后立即点燃,并测试其燃烧时间、动稳定度等变化,质量损失等来评价阻燃性能。

3 结果与讨论

3.1 高温性能

阻燃剂对沥青混合料的高温稳定性通过车辙试验来判别,图 3 展示了其动稳定度的试验结果。

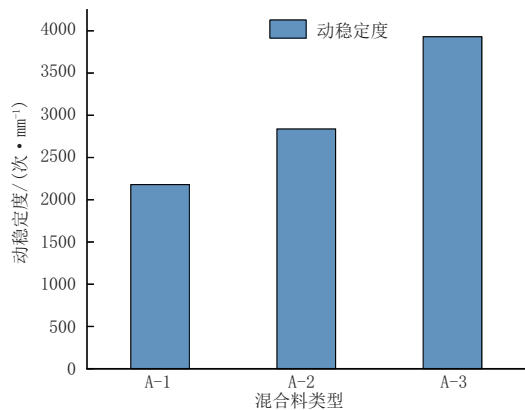


图 3 动稳定度示意图

由图 3 可以看出,A-2 和 A-3 比 A-1 的动稳定度略高,A-2 和 A-3 的动稳定度值相较而言,A-3 的动稳定度较高。可以看出自制的阻燃剂制备的沥青混合料的高温抗车辙能力较强。主要原因是 A-2 和 A-3 的混合料中加入了不同类型的阻燃剂,使得未添加阻燃剂的沥青混合料 A-1 组的动稳定度小于 A-2 和 A-3 组的动稳定度值,但从数值上来看,添加自制阻燃剂的 A-3 组的动稳定度值最大,即自制阻燃剂的 A-3 组沥青混合料的高温抗车辙能力较强。此外,还可以看出,三组沥青混合料均大于等于 800(次/mm),满足规范要求。

3.2 低温性能

沥青混合料的低温性能检测,采取弯曲试验进

行测试,图 4 展示了低温性能的结果。

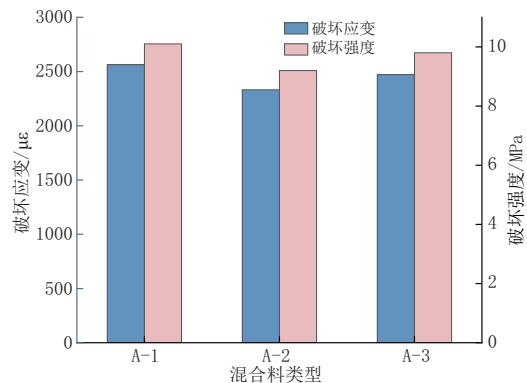


图 4 低温弯曲示意图

从图 4 的低温弯曲试验结果可以看出:

A-2 沥青混合料的破坏强度低于 A-3 的破坏强度值,但是 A-2 和 A-3 的破坏应变和破坏强度均低于 A-1 沥青混合料的试验数值。由此可以得出,A-3 组沥青混合料由于添加了自制阻燃剂,提高了其低温性能。同时,三组试验的破坏应变也均满足规范要求。

3.3 水稳定性

对 A-1、A-2 和 A-3 三组沥青混合料进行水稳定性测试,依据试验规程,通过浸水残留稳定性和冻融劈裂抗拉强度比两个试验指标来评价其水稳定性。图 5、图 6 展示了其试验结果。

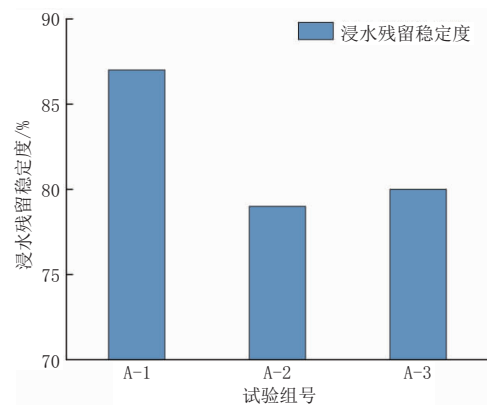


图 5 浸水马歇尔试验结果示意图

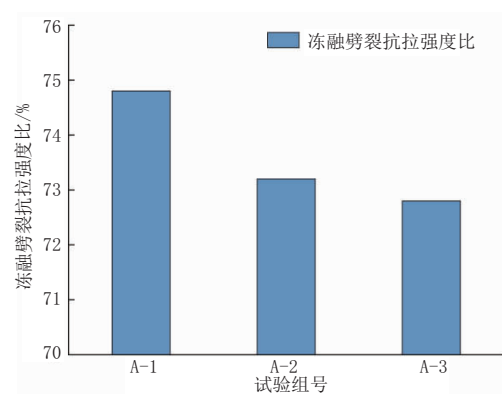


图 6 冻融劈裂试验结果示意图

依据图5和图6的结果可以得出:A-2和A-3沥青混合料的残留动稳定度区别较小。同时,添加自制阻燃剂的A-3组沥青混合料的残留稳定度值略高于A-2组。A-1组未添加阻燃剂的混合料的残留动稳定度最高。A-2和A-3组的沥青混合料的冻融劈裂强度值差别较小,但是A-1组普通沥青混合料的值高于A-2和A-3组。

由以上试验结果可以看出,A-2和A-3组沥青混合料的残留稳定度与冻融劈裂强度比有所下降,是因为在其加入了不同类型的阻燃剂。虽然下降的幅度不太明显,但是这两个指标均满足规范要求。即阻燃剂的加入降低了混合料体系内部之间的黏附性,同时,水稳定性有所下降。

3.4 阻燃性能

阻燃性能的评价主要从燃烧时间、燃烧前后质量、稳定度等来进行评价。通过直接燃烧法对不同阻燃沥青混合料的阻燃性能进行测试。

3.4.1 燃烧时间

燃烧时间采用马歇尔试件进行测定,测定了四次,得出平均燃烧时间,试验结果如图7所示。

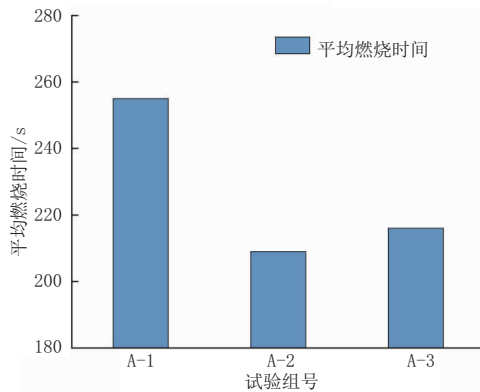


图7 马歇尔试件燃烧时间

从图7的试验结果得出,A-2阻燃沥青混合料的燃烧时间最短,添加自制阻燃剂的A-3组混合料燃烧时间略长,两者仅相差7s,A-1组的普通沥青混合料的燃烧时间最长。

马歇尔试件燃烧前后质量变化,结果见表6所列。

表6 马歇尔试件燃烧质量损失结果一览表 单位:g

混合料类型	燃烧前的质量	燃烧后的质量	质量损失
A-1	1 211	1 199.91	11.09
A-2	1 198	1 190.2	7.8
A-3	1 233	1 224.1	8.9

根据结果可知,A-1组的普通混合料试件的燃烧质量损失最大,为马歇尔试件 11.09 g;添加了阻燃剂的A-2和A-3组的燃烧质量损失相对较小,且

添加自制阻燃剂的A-3和A-2组阻燃沥青混合料,两者质量损失相差较小。

3.4.2 燃烧残留马歇尔稳定度

对A-1、A-2和A-3三组混合料试件进行燃烧前后马歇尔稳定度对比试验研究,表7给出了测试结果。

表7 马歇尔试件残留稳定度对比一览表

混合料类型	燃烧前稳定度/kN	燃烧后稳定度/kN	燃烧残留稳定度/%
1#	9.58	8.14	84.97
2#	9.34	7.86	84.15
3#	9.11	8.23	90.34

从表7可以看出,在马歇尔试件稳定度试验中,A-3组混合料试件的残留稳定度为90.34%,比A-1组普通沥青混合料84.97%高,比A-2混合料84.15%高。这是由于自制阻燃剂中的改性成分钛酸酯通过对阻燃剂中间体的改性,改善了混合料的力学性能,增加了其抗冲击强度。

4 结论

根据对阻燃剂的介绍,以及阻燃剂对沥青混合料的性能影响,可以得出以下结论:

(1)自制的阻燃剂是一种新型的低掺量阻燃剂,最佳掺量为6%,氧指数可达29.8%,满足阻燃沥青的安全标准,提高了沥青材料的阻燃等级至难燃级,即将自制的阻燃剂加入沥青中可以具有良好的阻燃效果。

(2)复掺阻燃剂可以很好地改善沥青混合料的路用性能。沥青混合料的高温稳定性也由于阻燃剂的加入有所提高。此外,还可以有效地改善沥青混合料的低稳定性;但其水稳性略有降低。

(3)复掺阻燃剂的加入,有效地减少沥青混合料的燃烧时间,降低了燃烧质量损失,提升了燃烧后的残留动稳定度。沥青混合料的阻燃性能由于阻燃剂的加入在阻燃剂的加入后有很大程度的改善。

参考文献:

[1] 王嵩.公路隧道沥青路面燃烧机制及影响因素的研究[D].重庆交通大学,2016.
 [2] Autelitano F, Bianchi F, Giuliani F. Airborne emissions of asphalt/wax blends for warm mix asphalt production [J]. Journal of Cleaner Production, 2017: S0959652617314166.
 [3] Boczkajg,Przyjaznya,Kami'Nskim.Characteristics of volatile organic compounds emission profiles from hot road bitumens [J]. Chemosphere, 2014, 107:23-30

位,并能适应梁体的转动,见图9所示。在桥台处浇筑两根钢筋混凝土限位立柱,立柱横向限位处增设液压千斤顶,在梁体向一侧偏移时,可以对液压千斤顶进行加压,防止梁体产生横向偏移。

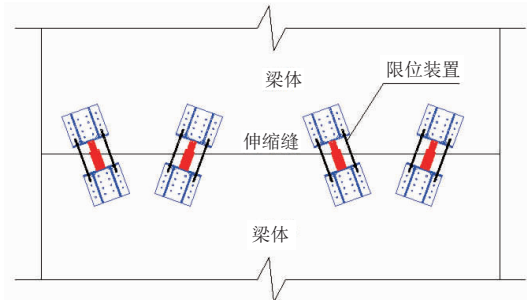


图9 纵横限位装置示意图

该工程桥梁为调坡顶升,梁体随着顶升坡度的不断变化进行转动,梁端伸缩缝的宽度也会相应地变小。根据计算结果,箱梁顶升到位后最不利位置的伸缩缝宽度缩小5.56 cm,这会影响后期上部箱梁的

正常使用。因此,在顶升前需要对上部箱梁的梁端采用静力切割设备进行切割。

桥梁顶升在上部箱梁与千斤顶之间设置钢结构分配梁,分配梁设置在上部结构箱梁的横梁位置,避免设置在箱梁的薄弱部位。分配梁直接承担上部结构重量,并将力传递给千斤顶,避免出现千斤顶直接与上部箱梁底板接触,造成箱梁局部承压的不利情况。

5 结语

该工程桥梁调坡顶升技术保障施工安全,提高施工效率,节约工程成本,有助于推进城市化进程的建设,做到了技术先进、安全适用、保证质量、节能减排、绿色环保,创造显著的社会和经济效益。目前该工程已经竣工通车,投入正式运营。这对今后类似工程提供设计借鉴,同时在今后城市更新桥梁建设中有着更为广阔的应用场景。

(上接第216页)

[4] Possebhonep, Spechtlp, Pereirds, et al. PAHs emissions by 12 Brazilian bitumens: procedure and results[J]. Road Materials and Pavement Design, 2019, 20(6):1481-1499.

[5] 黄亚东,朱凯,吴珂,等. 基于氢氧化镁的沥青阻燃机理研究[J]. 消防科学与技术, 2013, 32(11):1263-1266.

[6] 袁玲. 基于MH的阻燃改性沥青上面层(SMA-13)路用性能研究[J]. 公路交通技术, 2021, 37(2):19-25.

[7] 丁庆军,沈凡,黄绍龙. 基于氢氧化铝阻燃体系的开级配沥青磨耗层防火面层研究[J]. 中南大学学报(自然科学版), 2009, 40(4):932-939.

[8] 郭进存,廖克俭,等. 阻燃沥青的研制[J]. 辽宁石油化工大学学报, 2005(2):5-8.

[9] 郭寅川,王涵,申爱琴,等. ATH/OMMT复合改性沥青阻燃抑烟性能与机理分析[J]. 硅酸盐通报, 2020, 39(6):1989-1997.

[10] 杨小龙,申爱琴,蒋宜馨,等. 基于阻燃抑烟的纳米黏土改性沥青综述[J]. 交通运输工程学报, 2021, 21(5):42-61.

[11] Yang X, Shen A, Su Y, et al. Effects of alumina trihydrate (ATH) and organic montmorillonite (OMMT) on asphalt fume emission and flame retardancy properties of SBS-modified asphalt [J]. Construction and Building Materials, 2020, 236(6):117576.

[12] 魏建国,谢成,付其林. 阻燃剂对沥青与沥青混合料性能的影响[J]. 中国公路学报, 2013, 26(6):30-37.

[13] 李小玲. 阻燃沥青的制备及其混合料性能研究[D]. 兰州交通大学, 2014.