

复合抑烟沥青的性能与作用机制研究

陈永亮

(邢台市公路工程管理中心, 河北 邢台 054000)

摘要: 为了研究氢氧化镁与可膨胀石墨复合抑烟沥青的性能和抑烟作用机制,首先采用5%氢氧化镁(MH)与1%可膨胀石墨(EG)复配制备抑烟沥青,试验测出其基本物理性能、抑烟性能,并基于热重试验分析复合抑烟沥青的质量剩余率。而后通过扫描电子显微镜(SEM)试验,分析复合抑烟沥青的微观作用机制。试验结果表明:氢氧化镁与可膨胀石墨复配后沥青抑烟率达到18.3%,质量剩余率比基质沥青的提高4.942%,抑烟性能明显提高;氢氧化镁在受热过程中产生的氧化镁(MgO)和可膨胀石墨受热膨胀形成的炭层在基质沥青表面形成了网状结构,提高了沥青的热稳定性,有助于减少沥青烟气的释放,达到了抑烟效果。

关键词: 道路工程;改性沥青;抑烟机制;热重分析;SEM

中图分类号: U416.217

文献标志码: B

文章编号: 1009-7716(2024)09-0243-03

0 引言

热拌沥青混合料施工过程中的过高温度需求,不仅需要消耗能源,还会产生很多的沥青烟气等有害气体,危害人民的身体健康^[1]。生产抑烟沥青、减少沥青烟气的排放是实现我国沥青路面绿色可持续发展中急需解决的问题。赖湔等^[2]梳理了抑烟阻燃沥青混合料的研究进展,阐述了抑烟沥青混合料的研究方向。张梦茹等^[3]通过在沥青中添加阻燃剂来实现沥青的阻燃与抑烟效果,并分析了阻燃剂对于沥青技术性能的影响规律。沥青混合料的阻燃和抑烟有一定的关联性,但是阻燃和抑烟的设定场景及温度阶段不同,侧重点也相应有较大的差别。孙吉书等^[4]通过在沥青中添加多种外加剂,对沥青进行复合改性以改善沥青的高温稳定性,减少沥青轻质组分的挥发,起到了良好的抑烟效果。在众多的沥青外加剂中,可膨胀石墨(EG)、氢氧化镁(MH)、Sasobit等材料常被用来作为抑烟剂使用^[4-6]。目前的研究中,进行单一抑烟剂掺入,沥青的抑烟效果不明显,需要进行多重复合抑烟的研究,并且对于抑烟作用机制的研究尚不够透彻。

本文依托邢台市重点研发计划项目(2022zz055),

首先在基质沥青中单掺可膨胀石墨(EG)和氢氧化镁(MH),进行EG和MH的复配,研究其不同情况下的基础性能及抑烟效果,而后通过扫描电子显微镜(SEM)试验,从沥青质量剩余率、微观形貌等方面对其抑烟机制进行更深入的分析,为抑烟沥青的开发提供一定理论依据。

1 试验材料

1.1 基质沥青

本试验中制备抑烟沥青时,基质沥青采用70#石油沥青,主要技术指标见表1。

表1 基质沥青的主要技术指标

基质沥青	针入度 / 0.1 mm	15℃延度 / cm	软化点 / ℃	蜡质量 分数 /%	RTFOT 质量 损失 /%
实测值	69.2	102.5	49.5	1.50	0.03
技术要求	60~80	≥100	≥45	≤2.2	≤±0.8

1.2 氢氧化镁(MH)

本试验用氢氧化镁(MH)的主要技术指标见表2。

表2 氢氧化镁(MH)的主要技术指标

氢氧化镁(MH)	水分 /%	熔点 /℃	pH值	粒度 /目
技术参数	0.8	350	10.5	600

1.3 可膨胀石墨(EG)

本试验用可膨胀石墨(EG)的主要技术指标见表3。

收稿日期: 2023-08-02

基金项目: 邢台市重点研发计划项目(2022zz055)

作者简介: 陈永亮(1976—),男,硕士,高级工程师,从事公路工程质量、新型建筑材料研发工作。

表3 可膨胀石墨(EG)的主要技术指标

可膨胀石墨(EG)	水分 /%	膨胀体积 /(mL·g ⁻¹)	pH 值	粒度 / 目
技术参数	0.7	200	4	350

2 试验方案

2.1 试验仪器

沥青烟气的采集使用自制仪器,热重分析系统采用的是HCT-3型,扫描电镜(SEM)为Quanta 450 FEG型,其他试验采用常规试验仪器。

2.2 试验方案

本试验首先需要制备复合抑烟改性沥青,而后测试各项指标。根据前期的研究成果,试验方案设计为:MH掺量选择为0%、5%、10%、15%,EG掺量选择为0%、1%、2%、3%。具体步骤为:(1)将基质沥青置于恒温烘箱中135℃加热0.25 h,称取300 g;(2)将称重后的基质沥青加热至熔融状态,根据试验设计的MH、EG不同掺量,分别掺入这些选定的沥青添加剂,并快速搅拌0.25 h;(3)开启高速剪切乳化机,以3 500 r/min的速度剪切0.5 h;(4)将剪切完成后的不同沥青式样,分别置于恒温烘箱中溶胀1 h;(5)进行复合改性沥青各项指标的测试。

3 试验结果与分析

3.1 沥青基本性能

按照标准的测试方法^[7],分别测试出70#基质沥青、抑烟改性沥青(MH与EG单掺及复配)的延度、针入度、软化点等基本物理性能,如图1所示。

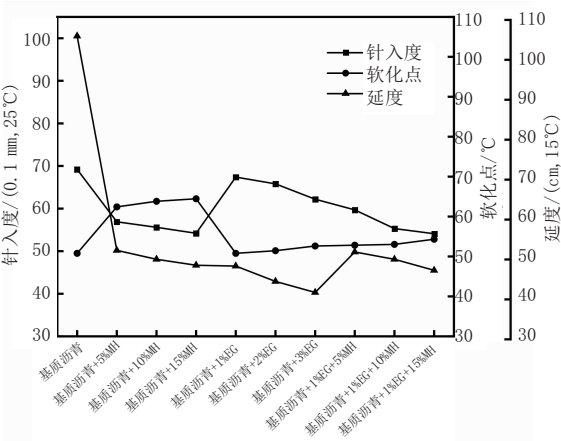


图1 不同沥青的基本物理试验测试结果

由图1可知,不同种沥青的延度和针入度,随着MH和EG掺量增加而下降。MH掺量大于5%、EG大于1%时,延度和针入度呈现下降趋势;1%EG与5%MH的综合物理性能最好。基质沥青+1%EG+5%MH复合抑烟沥青的延展性优于其他两种复合抑烟

沥青。随着MH掺量增加,三种复合抑烟沥青软化点均增加,但软化点的增加幅度较小。综合考虑经济成本与物理性能,认为5%MH和1%EG复配效果最佳。

3.2 复合抑烟沥青的抑烟效果

参照相关测试方法^[8],将不同沥青加热至180℃。在这一温度下加热4 h,计算得出的单位质量沥青所产生的烟气质量作为沥青烟气产生量,以基质沥青烟气产生量与改性沥青烟气产生量的差值占基质沥青烟气产生量的百分比为抑烟率,测出复合抑烟沥青的烟气产生量与抑烟率,详见表4。

表4 沥青混合料拌合过程中的烟气排放量

沥青类型	沥青烟气产生量 / (mg·100 g ⁻¹)	抑烟率 /%
基质沥青	192.5	—
基质沥青+5% MH	174.6	9.3
基质沥青+1% EG	165.2	14.2
复合抑烟沥青 (基质沥青+5% MH+1% EG)	157.2	18.3

从表4的试验结果可知,复合抑烟沥青的烟气排放量最小,复配后沥青的抑烟效果更好,相对于基质沥青而言,抑烟率可达18.3%。

研究表明^[9-10],热重试验通过测试物质质量与温度之间的关系,来表征材料的温度稳定性。沥青烟气是沥青加热过程中挥发的“轻质”物质,热重试验通过测试沥青加热后的质量剩余率,能够表征不同温度条件下沥青中可挥发物质的挥发规律。此外,部分学者也用热重试验的质量剩余量来辅助评价沥青烟气排放量^[6,8,11]。单掺及复配情况下,抑烟沥青的热重试验分析(TG-DTG)结果,如图2所示。

从热重试验结果图2(a)可知,沥青从281.1℃左右开始分解;在281~459℃之间,沥青质量剩余率急剧下降。MH、EG两种抑烟剂单掺时,均可使沥青的质量损失减少,复配后抑烟效果更好。复合抑烟沥青质量剩余率为19.201%,比基质沥青提高了4.942%;比1%EG改性沥青提高2.149%,比5%MH提高了2.348%。从图2(b)可以看出,基质沥青的峰值位于459℃,而复合抑烟沥青的峰值位于449℃,在315℃和391℃处存在两个较微小的峰,这由EG和MH的物理化学性质造成。复合抑烟沥青的峰值向左移动且峰强和峰面积增大,沥青的分解速率提高,最大失重温度降低10℃,这表明加入MH、EG两种抑烟剂能够共同使沥青在短时间内达到最

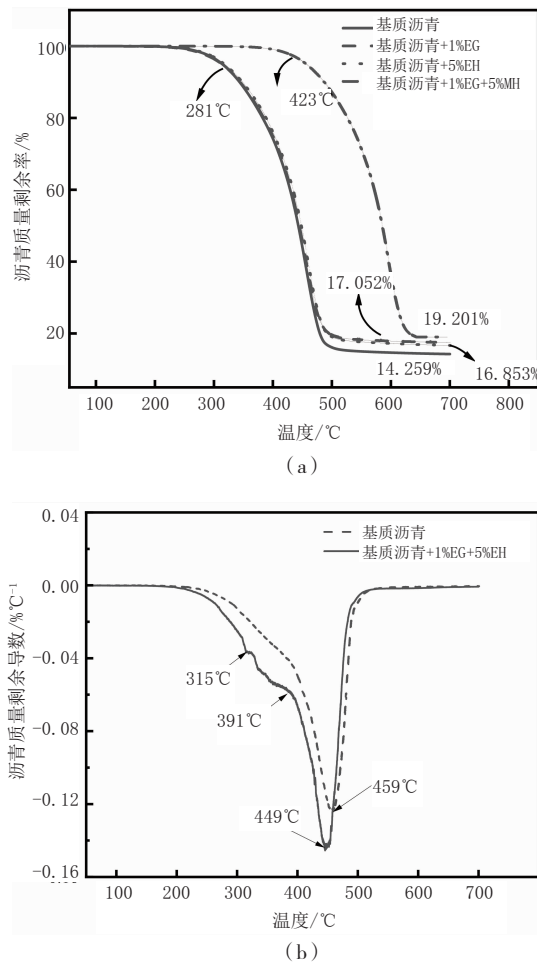


图 2 复合抑烟沥青的 TG-DTG 曲线

大失重。MH 在高稳定的情况下分解产生 MgO 并分散在沥青之中,MgO 可以与脱氢环化的分子形成致密的炭层。同时,EG 在沥青中受热膨胀产生膨胀炭层,MH 与 EG 复配后形成的炭层在基质沥青表面形成了网状结构,阻碍热量的传递,以及氧气与沥青的相互作用,提高了沥青的热稳定性。这些 EG 膨胀前的阻隔作用和 MH 无机粒子的特性增强了炭层的隔热和隔氧作用,提高了抑烟性能、降低了燃烧热释放,使得复合抑烟沥青具有更好的抑烟性能。

3.3 扫描电子显微镜 (SEM) 试验结果

为了探究 MH 和 EG 掺入对基质沥青抑烟的作用机制,对基质沥青和复合抑烟沥青进行扫描电子显微镜 (SEM) 测试,扫描倍数分别为 100 倍和 1 000 倍,结果如图 3 所示。

从图 3(a)中可以看出,基质沥青表面光滑、质地均匀,但是在空气中长时间暴露之后,沥青中的轻质组分会产生一定的挥发,使得沥青表面开裂^[12],如图 3(a)中的“裂纹”。从图 3(b)中可以看出,掺入 MH 和 EG 后的沥青表面更致密,裂纹较少,但存在凹凸不平现象。这是 EG 受热膨胀形成炭层,以及 MH 受

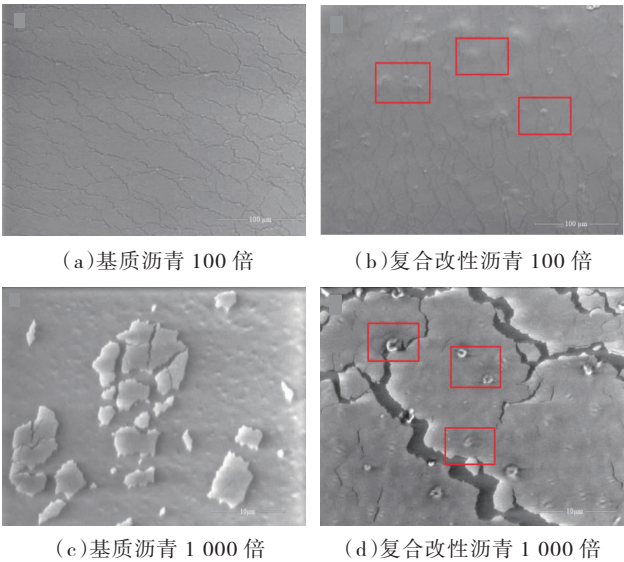


图 3 基质沥青与复合抑烟沥青的 SEM 图

热分解产生 MgO 和水蒸气[图 3(b)中的方框内物质],炭层和 MgO 附着于沥青表面阻碍沥青烟气的挥发,水蒸气释放稀释沥青烟气。复合抑烟沥青放大 1 000 倍 [见图 3(d)]后,复合抑烟沥青表面较为平滑致密且裂缝较小,表面存在细小白色颗粒,这可能是产生的 MgO[图 3(d)中的方框内物质];MH 与 EG 颗粒以及其加热后形成的产物构成了网状结构,在添加剂的作用下,沥青各分子形成更为紧密的连接。复合抑烟沥青表面致密有助于减少挥发性组分的释放,达到了抑烟的效果。SEM 结果与上述试验结果一致。

4 结 语

本文试验研究了 MH、EG 单掺及复配后改性沥青的软化点、针入度、延度等基本物理性能,确定了 EG 和 MH 的最佳掺量。在此基础上,试验研究了复合抑烟沥青的抑烟性能,并通过扫描电子显微镜试验,分析了复合抑烟沥青的作用机制。具体结论如下:

- (1)MH 和 EG 的加入改善了基质沥青的高温稳定性,复合抑烟沥青(基质沥青 +5% MH+1% EG)具有良好的基本物理性能。
- (2)相对于基质沥青而言,本文制备的复合抑烟沥青(基质沥青 +5% MH+1% EG)的抑烟率可达 18.3%。热重试验的质量剩余率提高了 4.942%。复合抑烟沥青具有良好的抑烟性能,有利于降低沥青路面施工过程中的烟气排放。
- (3)通过扫描电子显微镜试验,分析了复合抑烟沥青的作用机制。即:MH 与 EG 颗粒以及其加热后

(下转第 263 页)

(2)围护结构的拱效应阻碍了坑底圆弧滑动面的发展趋势,体现在:在深径比 $h/r > 0.9$ 时,坑底无圆弧滑动趋势;当深径比 h/r 小于 0.9 并逐渐减小后,坑底才出现圆弧滑动面,圆弧滑动面通过围护桩下方的土体,滑动面的圆心指向坑底以上坑内的某一点。

(3)强度折减法下,三维模型的基坑安全系数大于二维模型的基坑安全系数,且是规范法中坑底抗隆起安全系数的 2~3 倍。

(4)强度折减后,三维模型的坑底土体变形量大于二维模型,即二维模型计算结果会低估基坑处于破坏临界点时的土体变形量。

(5)对于圆形顶管井基坑,采用强度折减法计算得到的围护桩插入深度小于规范法得到的围护桩插入深度;强度折减法可作为规范法的进一步补充。

参考文献:

[1] 王洪新.考虑基坑形状和平面尺寸的抗隆起稳定安全系数及异形基

坑的稳定性分析[J].岩石力学与工程学报,2015,34(12): 2559-2571.

[2] 张明聚,张振波.圆形基坑抗隆起稳定性分析的三维轴对称圆弧法[J].北京工业大学学报,2018,44(8): 1121-1128.

[3] 王卫东,徐中华.基于强度折减法的圆形深基坑坑底抗隆起稳定性分析[J].建筑结构学报,2010,31(5): 195-201.

[4] 孔德森,门燕青,张伟伟,等.软土深基坑坑底抗隆起稳定性数值分析[J].岩土工程学报,2010,32(增刊1): 186-190.

[5] 王洪新.考虑二维和三维尺寸效应的基坑抗隆起稳定安全系数[J].岩土工程学报,2013,35(11): 2144-2152.

[6] 陈秀辉.深大基坑咬合桩支护结构数值模拟研究[J].施工技术,2017,46(13): 72-76,109.

[7] 史立新,李忠.预应力锚索咬合桩深基坑支护三维数值模拟分析[J].甘肃科学学报,2018,30(1): 48-54.

[8] 黄鑫,樊秀峰,安亚洲.HS模型在基坑工程数值模拟中的适用性分析[J].水利与建筑工程学报,2018,16(2): 115-120.

[9] 黄绍铭,高大钊.软土地基与地下工程[M].2版.北京:中国建筑工业出版社,2005.

[10] GB 50497—2019,建筑基坑工程监测技术标准[S].

[11] GB 50007—2011,建筑地基基础设计规范[S].

(上接第 245 页)

形成的产物构成了网状结构,在添加剂的作用下,沥青各分子形成更为紧密的连接,有助于减少挥发组分的释放,达到了抑烟效果。

参考文献:

[1] 孙吉书,王亚萍,王鹏飞,等.抑烟环保型沥青性能试验分析[J].硅酸盐通报,2021,40(7): 2428-2436.

[2] 赖漠,蔡相连,高伟,等.阻燃抑烟沥青混合料研究进展[J].应用化工,2023,52(4): 1237-1242.

[3] 张梦茹,王丽丽,周建光,等.阻燃改性沥青物理性能和阻燃抑烟性能研究[J].山东交通科技,2022(1): 14-17.

[4] 孙吉书,穆欣悦,宋莹,等.抑烟复合改性沥青的性能研究[J].应用化工,2022,51(11): 3224-3229.

[5] 王海成,金娇,刘帅,等.环境友好型绿色道路研究进展与展望[J].

中南大学学报(自然科学版),2021,52(7): 2137-2169.

[6] 孙吉书,李文霞,王鹏飞,等.环境友好型复合抑烟沥青的制备及性能分析[J].环境工程,2022,40(1): 169-174,230.

[7] JTG E20—2019,公路工程沥青及沥青混合料试验规程[S].

[8] 王亚萍.温拌抑烟沥青制备及其混合料性能研究[D].天津:河北工业大学,2021.

[9] 王雪蓉,王倩倩,刘运传,等.基于热重分析法的苯基硅橡胶热分解行为研究[J].橡胶工业,2021,68(9): 699-704.

[10] 张春华,惠菊,王翔宇,等.差示扫描量热法和热重法评估植物油氧化稳定性的研究进展[J].粮食与油脂,2021,34(10): 8-11.

[11] 黄刚.高温条件下抑烟改性沥青开发及混合料性能研究[D].重庆:重庆交通大学,2013.

[12] 李宁利,王猛,赵新坡,等.废轮胎胶粉-废塑料复合改性沥青改性机理[J].塑料,2020,49(3): 17-20.