

胶粉改性沥青烟气释放影响因素及影响机制

张争奇¹, 韩焱知¹, 雷志坤^{1,2}, 石杰荣³, 杨新红³, 杨 觅³

(1. 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; 2. 中南勘察设计院集团有限公司, 湖北 武汉 730064; 3. 陕西交通控股集团有限公司, 陕西 西安 710065)

摘要: 为探究胶粉改性沥青烟气释放的影响因素及影响机制, 在制备不同胶粉改性沥青的基础上, 利用自制烟气发生与检测装置, 结合重量法、便携式气体检测仪和气相色谱质谱联用仪(GC-MS)3种检测手段测定沥青烟气及有害成分浓度, 并采用灰色关联法分析影响因素与烟气浓度的关联度; 此外, 通过四组分分析、红外光谱分析和荧光显微镜探究不同因素对烟气释放的影响机制。结果表明: 基质沥青标号和添加剂类型是影响沥青烟气释放的主要因素; 四组分测试表明, 胶粉改性沥青的烟气主要来自轻质组分的挥发; 红外光谱测试显示, 芳烃与烷烃含量是影响烟气及 VOCs 浓度的主要因素, 而沥青中的总硫含量则是控制 H_2S 释放量的关键因素; 荧光显微试验进一步证实, 稳定的内部结构能在一定程度上抑制胶粉改性沥青的烟气释放。

关键词: 胶粉改性沥青; 沥青烟气; 重量法; 便携式气体检测仪; GC-MS; 影响机制

中图分类号: U414; TQ317.2

文献标志码: A

doi: 10.13705/j.issn.1671-6833.2026.01.006

胶粉改性沥青由于其良好的路用性能和环保效益被广泛运用在道路建设中^[1-2]。与基质沥青和常用的改性沥青相比, 在施工过程中, 胶粉改性沥青需要更高的施工温度, 导致其释放大量沥青烟气, 烟气中的多环芳烃、固体颗粒污染物、氮氧化物、硫化物、碳氧化物以及挥发性有机化合物(VOCs)等对人体健康有严重危害^[3-4]。此外, 沥青烟气中的有害成分还会进入到土壤和水体中, 对环境产生不利影响^[5-6]。因此, 研究胶粉改性沥青的烟气释放特性对其推广应用具有重要意义。

为了研究沥青烟气的释放特性, 国内外学者主要采用重量法、便携式气体检测仪、GC-MS 技术等检测手段对沥青烟气和有害成分进行检测分析^[7-9]。其中重量法使用吸附性材料对沥青烟气进行吸附, 以吸附前后的质量差来确定烟气释放量, 该方法原理简单、操作方便, 因此被广泛运用^[10]。徐永丽等^[11]使用微孔 PTFE 滤膜过滤沥青烟微粒, 探究了不同因素对沥青烟气释放的影响。Mo 等^[12]通过重量法检测了不同类型沥青的烟气浓度, 并指出烟气浓度与沥青来源、沥青组分和加热温度有关。

为进一步满足对烟气成分和浓度定量分析的需求, 部分学者采用便携式气体检测仪对沥青烟气成分和浓度进行定量分析^[13-16], 并获得了较好的检测效果。此外, GC-MS 技术因其能够对沥青烟气的组分和浓度进行精确的定性定量分析, 被引入到沥青烟气研究领域。曹嘉慧等^[17]通过 GC-MS 技术研究了煤焦油沥青掺量及加热条件对共混沥青烟中 16 种 PAHs 的释放影响。目前, 国内外学者虽已对沥青烟气的释放特性开展了大量研究, 但多集中于部分有害成分的检测, 难以全面揭示其整体特征, 且对不同因素作用下的释放机制研究相对不足。

鉴于此, 本文为探究胶粉改性沥青施工过程中烟气释放的影响因素及机制, 利用自制烟气发生与检测装置, 结合重量法、便携式气体检测仪和气相色谱质谱联用仪(GC-MS)3种检测手段测定不同胶粉改性沥青的烟气浓度及有害成分(H_2S 、CO、 NO_2 、VOCs)浓度, 采用灰色关联法分析影响因素与烟气浓度的关联度; 并通过 GC-MS、四组分分析、红外光谱分析和荧光显微镜分析不同因素对烟气释放的影响机制。

收稿日期: 2025-07-10; 修订日期: 2025-08-20

基金项目: 2023 年度陕西省交通运输厅交通运输科研项目(23-71R)

作者简介: 张争奇(1967—), 男, 陕西扶风人, 长安大学教授, 博士, 博士生导师, 主要从事道路工程材料及养护技术研究,

E-mail: z_zhengqi@163.com。

1 原材料与烟气测试方法

1.1 原材料

本文选用 7 种基质沥青,基本性能指标如表 1 所示。胶粉目数分别为 20,40,60 和 80,两种脱硫胶粉的脱硫程度分别为表层脱硫和 50%脱硫。SBS 改性剂来自中国石化燕山石化公司的线型 SBS。稳定剂选用青岛鲁川化工有限公司的硫磺稳定剂。

表 1 7 种基质沥青的基本性能指标

Table 1 Basic performance indicators of seven types of base asphalt

基质沥青	针入度/(0.1 mm)	软化点/℃	15℃延度/cm
SK70	64.0	50.0	>100
壳牌 70	65.0	47.0	>100
东明 70	67.0	47.5	>100
京博 50	49.8	50.6	86.3
京博 70	71.0	48.1	>100
京博 90	88.0	46.3	>100
京博 110	106.0	44.6	>100

1.2 胶粉改性沥青制备工艺

1.2.1 胶粉改性沥青及脱硫胶粉改性沥青

基质沥青加热至 180~190℃后加入质量分数为 20%的胶粉(脱硫胶粉),并以 800 r/min 的转速搅拌 30 min,然后在 180℃~190℃下以 4 000 r/min 速率剪切 60 min 后,加入质量分数为 1‰的硫磺稳定剂继续剪切 30 min,最后 165℃发育 60 min。

1.2.2 SBS/胶粉复合改性沥青

基质沥青加热至 160℃后,加入质量分数为 3%的 SBS 以 800 r/min 的转速搅拌 30 min,然后以 4 000 r/min 的转速剪切 30 min。完成后,温度加热至 180℃加入胶粉并以 800 r/min 速率搅拌 30 min,然后以 4 000 r/min 的转速剪切 60 min,加入质量分数为 1‰的硫磺稳定剂剪切 30 min,最后 165℃发育 60 min。

1.3 试验方法

1.3.1 烟气发生与检测方法

自制沥青烟气发生与检测装置主要包括氦气泵、沥青烟气发生单元和烟气检测单元 3 部分,整个系统为密闭环境,各部件通过玻璃导管和橡皮胶套连接,并添加干燥剂去除水分干扰。

氦气泵提供惰性氦气载气,减少样品在采集与输送过程中的分解反应;沥青烟气发生单元由锥形瓶和磁力搅拌器组成,用于稳定产生沥青烟气;烟气检测单元使用玻璃纤维滤筒吸附烟气颗粒,并通过重量法测定烟气浓度;便携式气体检测仪用于测定

有害成分(H_2S 、 CO 、 NO_2 、 $VOCs$),同时使用正己烷溶剂收集 $VOCs$ 。

除研究特定因素(如基质沥青类型、胶粉目数等)对烟气释放的影响外,其余各参数固定为 SK70 基质沥青、60 目胶粉、20%掺量(质量分数,下同)胶粉、加热温度 180℃、加热时间 60 min。

1.3.2 组分与微观测试方法

采用气相色谱质谱联用仪(GC-MS)分析沥青烟气中 $VOCs$ 的 10 种代表性有害成分含量;采用四组分分析法(SARA)测定不同胶粉改性沥青的组分构成;傅里叶红外光谱仪用于检测沥青样品的化学结构,波数范围为 $500\sim4\,000\text{ cm}^{-1}$;荧光显微镜用于分析胶粉改性沥青的微观结构。

2 结果与分析

2.1 胶粉改性沥青烟气释放影响因素

2.1.1 基质沥青对沥青烟气释放的影响

不同基质沥青制备的胶粉改性沥青的烟气数据如图 1 所示。

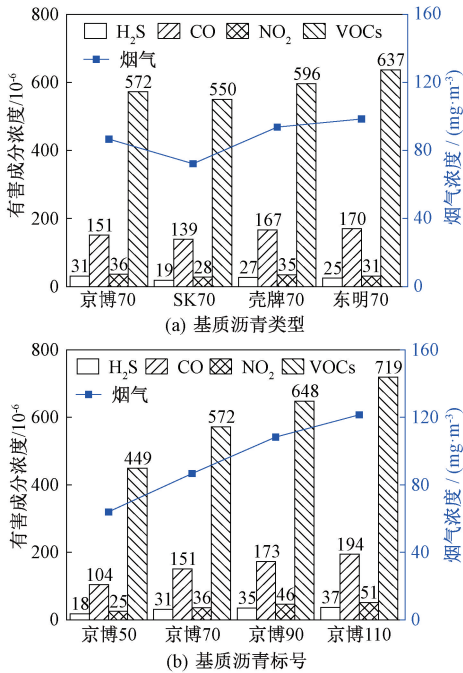


图 1 不同基质沥青备制的胶粉改性沥青烟气数据
Figure 1 Fume data of crumb rubber modified asphalt with different base asphalts

由图 1(a)可见,基质沥青为 SK70 时,烟气及有害成分浓度均最低;基质沥青为东明 70 时,烟气、 CO 及 $VOCs$ 浓度最高。由图 1(b)可见,随着基质沥青标号从 50 号提高至 110 号,烟气及有害成分浓度增加:烟气浓度增加 90%,有害成分 H_2S 、 CO 、 NO_2 、 $VOCs$ 浓度分别增加 100.6%、86.5%、100.4%、

60.1%。这可能是高标号沥青轻质组分更多、热稳定性较弱,导致高温下烟气及有害成分释放量增加。

2.1.2 胶粉类型及掺量对沥青烟气释放的影响

不同胶粉改性沥青烟气数据如图 2 所示。由图 2(a)可见,随着脱硫程度的提高,H₂S 浓度降低,而烟气、CO、NO₂ 和 VOCs 浓度增加。这可能是脱硫工艺降低了胶粉的硫含量,但硫的脱离削弱了胶粉与基质沥青的交联作用。

由图 2(b)可知,与胶粉改性沥青相比,SBS/胶粉复合改性沥青的烟气浓度增加,但增长幅度较低,且 H₂S 含量有所下降,可能是 SBS 与基质沥青形成的交联结构抑制了烟气的释放。

由图 2(c)可见,随着胶粉目数的增大,烟气、CO 和 VOCs 浓度均升高,H₂S 和 NO₂ 浓度无明显变化。20 目增至 60 目时烟气浓度提升 4.2%,而 60 目增至 80 目时烟气浓度增加 42%。这可能是胶粉

目数增加使得比表面积增大,使得胶粉与基质沥青的共混更充分所致。

由图 2(d)可见,随着胶粉掺量的增加,烟气和有害成分浓度提高,这是因为烟气来源不仅包括基质沥青,还与胶粉的热解有关。胶粉掺量增加,胶粉热解产生的烟气总量增多,同时胶粉中的烷烃与芳烃在高温下分解导致 VOCs 浓度上升,硫元素增加促使 H₂S 浓度增加,而胶粉掺量提高引发的有机物不完全燃烧加剧则使 CO 浓度增大。

2.1.3 加热条件对沥青烟气释放的影响

不同加热条件下胶粉改性沥青烟气的数据如图 3 所示。由图 3 可知,当温度从 170 ℃ 升至 200 ℃ 时,烟气浓度翻倍,有害成分浓度显著增大,这可能是高温加剧了轻质组分挥发、重质组分裂解和胶粉的热解。而加热时间对烟气浓度的影响较小,可能由于加热超过 45 min 后,烟气释放趋于稳定。

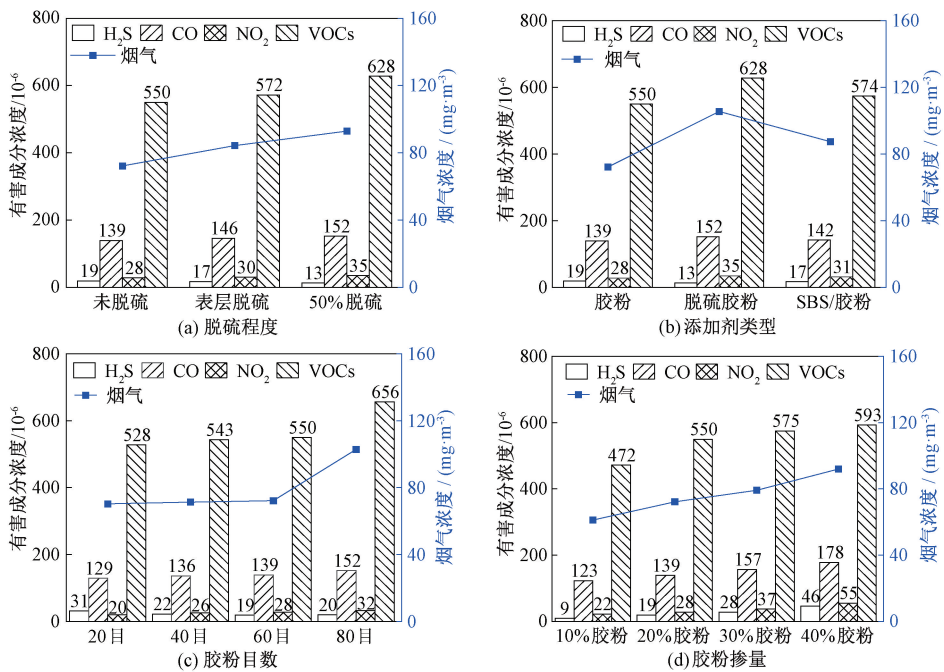


图 2 不同胶粉改性沥青烟气数据

Figure 2 Fume data of different crumb rubber modified asphalt

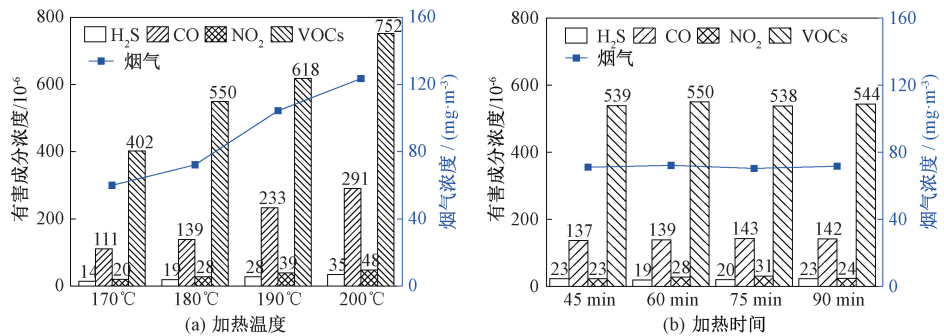


图 3 不同加热条件下胶粉改性沥青烟气数据

Figure 3 Fume data of crumb rubber modified asphalt under different heating conditions

2.2 影响因素与烟气释放浓度的关联度分析

为定量评估各因素对沥青烟气释放的影响,采用灰色关联分析法,计算各影响因素与烟气浓度的关联度。参考数列为烟气浓度,比较数列及各因素量化方式如下:基质沥青类型以软化点表征;基质沥青标号以针入度表示;添加剂类型以交联系数代表;胶粉目数以比表面积量化;胶粉脱硫程度以硫含量反映;胶粉掺量、加热温度与加热时间直接作为分析参数。结果显示,各因素与烟气浓度的关联度均大于0.5,表明这些因素均对烟气释放量有影响。影响程度从大到小排序为基质沥青标号、添加剂类型、胶粉掺量、加热温度、基质沥青类型、胶粉脱硫程度、加热时间、胶粉目数。其中,基质沥青标号和添加剂类型的关联度分别为0.711和0.678,是影响烟气浓度的主要因素。

2.3 胶粉改性沥青烟气释放影响机制分析

宏观烟气试验可以评估不同因素下胶粉改性沥

青的烟气释放水平,但难以揭示其释放机制。为此,通过组分与微观试验进一步探讨不同因素对胶粉改性沥青烟气释放的影响机制。

2.3.1 挥发性有机物(VOCs)组分谱分析

为探究VOCs组成,采用GC-MS对其10种代表性有机化合物进行表征,数据如表2所示。

由表2可见,代表性有机成分含量整体随着标号的提高而增大。在不同添加剂中,脱硫胶粉改性沥青的代表性有机成分含量整体水平最高,而SBS/胶粉复合改性沥青的4-叔丁基苄腈和二十一烷含量高于胶粉改性沥青,其余代表性有机成分均最低。这可能是SBS/胶粉复合改性沥青形成的交联结构抑制了高温下有机小分子物质的释放。

2.3.2 胶粉改性沥青四组分组成

不同胶粉改性沥青四组分如图4所示。结合图1可知,不同类型基质沥青烟气浓度随轻质组分含量的增加而升高,烟气浓度与轻质组分含量从大到

表 2 不同胶粉改性沥青烟气的主要有机化合物峰高

Table 2 Peak heights of major organic compounds in fumes from crumb rubber modified asphalt

中文名称	出峰时间/min	峰高						
		沥青标号				添加剂		
		京博 50	京博 70	京博 90	京博 110	胶粉	脱硫胶粉	SBS/胶粉
对异丙基甲苯	3.640	1 142 131	1 454 944	1 646 997	2 070 275	1 398 985	2 951 858	789 764
D-柠檬烯	3.805	6 654 951	8 477 644	9 596 693	12 063 043	8 345 386	18 169 825	6 933 593
1-甲基-4-环己烯	4.615	393 208	373 513	422 817	531 480	465 708	2 194 967	297 779
十二烷	6.090	344 883	539 342	497 335	625 150	532 688	1 532 287	485 941
苯并噻唑	6.635	328 888	518 966	474 270	596 157	541 645	1 939 249	458 791
正十四烷	7.200	494 569	630 024	613 187	896 476	801 716	1 824 125	532 066
3-甲基-5-丙基壬烷	8.105	462 665	589 383	567 181	838 647	817 537	1 862 617	511 857
4-叔丁基苄腈	8.540	400 572	510 283	577 641	726 094	728 430	1 776 519	875 693
十七烷	8.885	452 167	676 009	652 042	819 617	622 719	2 218 934	532 543
二十一烷	9.625	318 260	405 427	458 944	576 892	314 423	2 146 541	1 345 526

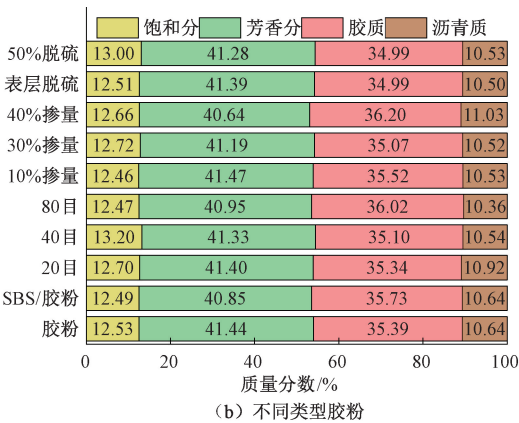
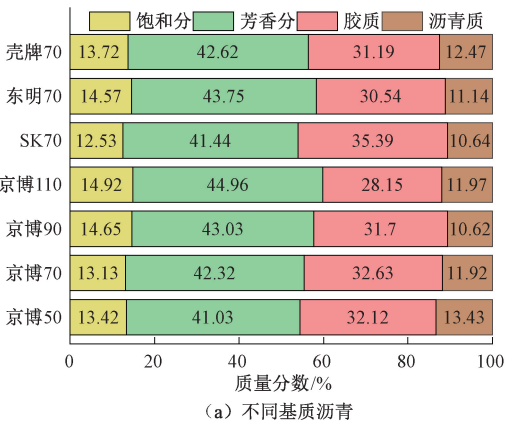


图 4 不同胶粉改性沥青四组分

Figure 4 Four components of different crumb rubber modified asphalt

小排序均为东明 70、壳牌 70、京博 70、SK70;随基质沥青标号增大,胶粉改性沥青中轻质组分含量上升,同时烟气浓度也随之上升。而改性剂类型、胶粉目数、胶粉掺量及脱硫程度对沥青四组分的影响较小,各组之间四组分数数据变化幅度有限,且与烟气浓度大小的排序无明显对应关系。这是因为胶粉与基质沥青的融合主要以物理共混为主,胶粉对基质沥青的四组分不会产生较大影响。

2.3.3 胶粉改性沥青官能团分析

不同胶粉改性沥青红外光谱测试结果如图 5 所示。其在 $2\,930\text{ cm}^{-1}$ 、 $2\,850\text{ cm}^{-1}$ 、 $1\,470\text{ cm}^{-1}$ 和 $1\,380\text{ cm}^{-1}$ 处具有典型的 $-\text{CH}_2-$ 与 $-\text{CH}_3$ 伸缩与弯曲振动峰, $1\,600\text{ cm}^{-1}$ 为芳香骨架振动峰, $1\,030\text{ cm}^{-1}$ 为 $\text{S}=\text{O}$ 特征吸收峰。不同基质沥青制备的胶粉改性沥青在上述特征峰峰高上存在差异,反映其烷烃与含硫组分含量不同。随着标号升高,京博系列改性沥青中烷烃峰增强,芳香峰减弱,尽管饱和组分比例提升,但热稳定性降低,易于释放轻质组分。SBS 的添加在 966 cm^{-1} 与 699 cm^{-1} 处引入新峰,同时增强了烷烃与芳香结构的特征吸收峰;但由于形成了网状交联结构,在高温下具有更好的热稳定性和较低的烟气挥发量。胶粉目数增大时,烷烃相关峰高上升,烟气浓度与 VOCs 浓度同步增加,这可能是目数更大的胶粉有更高的比表面积,与沥青的接触面更大,在基质沥青中混合的均匀程度更高。胶粉掺量提高增强了烷烃峰高,烟气

和 VOCs 浓度上升,这是因为胶粉是一种高分子化合物,其化学组成中含有烷烃,随着掺量增大,胶粉改性沥青的烷烃数量也在增大。脱硫处理后,烷烃峰变化不显著,但 $\text{S}=\text{O}$ 峰随脱硫程度下降, H_2S 释放量降低,表明沥青中总硫含量是控制其释放的关键因素。

2.3.4 胶粉改性沥青微观结构特征

不同胶粉改性沥青的荧光显微镜图如图 6 所示。由图 6 可见,SK70 和京博 70 与胶粉形成了结构均匀、界面模糊的稳定胶团体系,且 SK70 的稳定性最强;而东明 70 和壳牌 70 因轻质组分含量较高,胶团结构不清晰,整体稳定性较差,其中东明 70 的稳定性最差。该结果与图 1 烟气浓度大小排序相同,说明结构稳定性与烟气释放量存在直接关联。

京博 50 胶粉改性沥青图像呈现均匀暗色,表明重质组分含量高、胶粉分散良好,形成稳定结构。随着标号升高,图像亮度增加,出现轻质组分富集和胶粉团聚现象,导致结构稳定性降低。轻组分增加和胶粉分散不均共同加剧了热不稳定性 and 挥发物的释放。

SBS/胶粉复合改性体系因形成交联网状结构而呈现暗色图像,显著抑制轻组分挥发。脱硫处理虽然改善了胶粉分散性(脱硫程度越高分布越均匀),但硫桥的断裂降低了胶粉分子链稳定性,烟气释放量增加。胶粉掺量越大,图像中黑色胶粉颗粒越多,证实高温下更多胶粉参与热解反应是烟气释放量增大的直接原因。

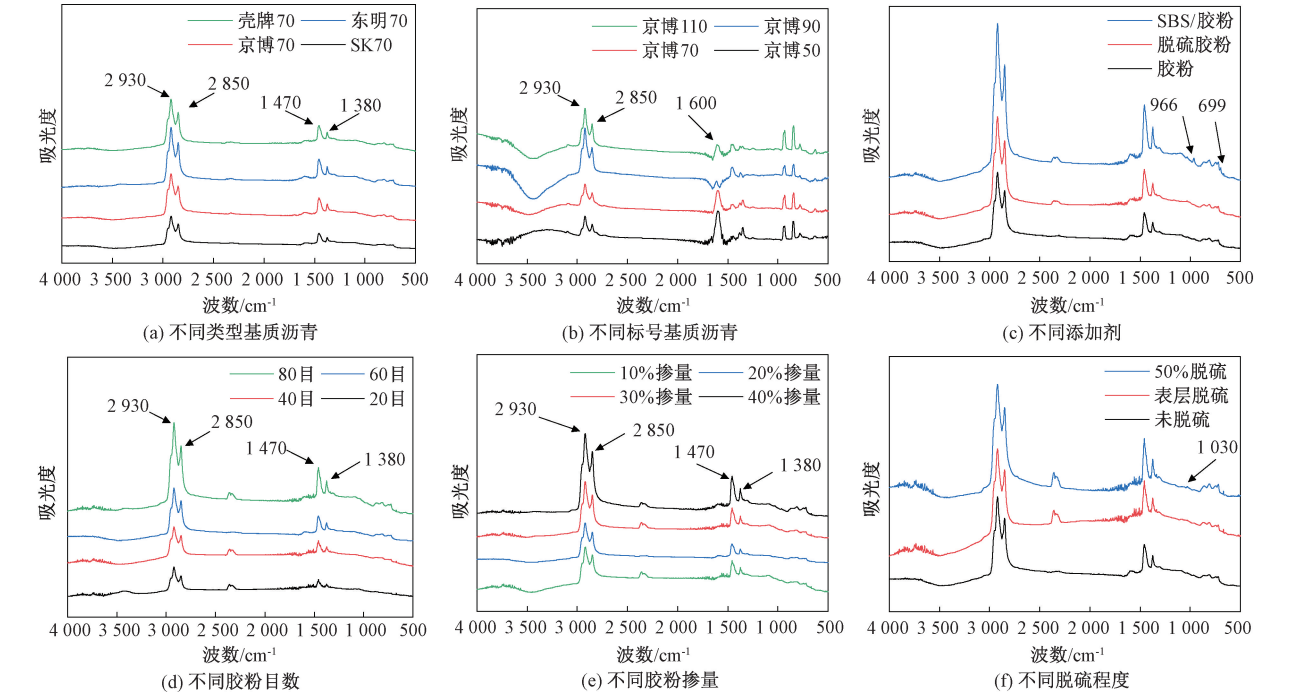


图 5 不同胶粉改性沥青红外光谱图

Figure 5 Infrared spectra of different crumb rubber modified asphalts

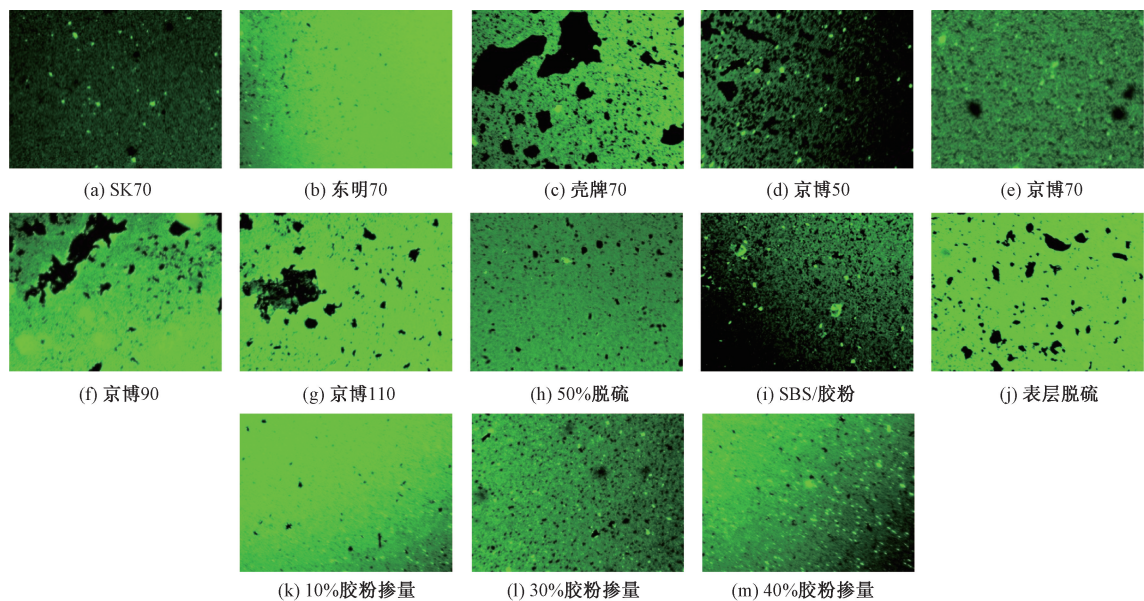


图 6 不同胶粉改性沥青荧光图像

Figure 6 Fluorescence images of different crumb rubber modified asphalts

3 结论

(1)影响胶粉改性沥青烟气释放的因素由大到小排序为基质沥青标号、添加剂类型、胶粉掺量、加热温度、基质沥青类型、胶粉脱硫程度、加热时间、胶粉目数,其中基质沥青标号和添加剂类型是主要影响因素。

(2)胶粉改性沥青烟气的释放与其化学组成和内部结构稳定性密切相关。四组分测试表明,胶粉改性沥青的烟气主要来自轻质组分的挥发;红外光谱测试显示,芳烃与烷烃含量是影响烟气及 VOCs 浓度的主要因素,而沥青中的总硫含量则是控制 H₂S 释放量的关键因素;荧光显微试验进一步证实,稳定的内部结构能在一定程度上抑制胶粉改性沥青的烟气释放。

参考文献:

[1] 丁湛,蒋修明,赵浚凯,等. 橡胶沥青黏度影响因素及黏流特性分析[J]. 郑州大学学报(工学版), 2019, 40(3): 57-62.
DING Z, JIANG X M, ZHAO J K, et al. The influencing factors analysis of viscosity and viscous flow properties for rubber asphalt[J]. Journal of Zhengzhou University (Engineering Science), 2019, 40(3): 57-62.

[2] 马涛,陈葱琳,张阳,等. 胶粉应用于沥青改性技术的发展综述[J]. 中国公路学报, 2021, 34(10): 1-16.
MA T, CHEN C L, ZHANG Y, et al. Development of using crumb rubber in asphalt modification: a review[J]. China Journal of Highway and Transport, 2021, 34(10): 1-16.

[3] 丁佳瑛,薛永兵,刘振民,等. 环保型沥青研究进展[J]. 化工进展, 2021, 40(增刊 2): 226-231.
DING J Y, XUE Y B, LIU Z M, et al. Research progress of environmentally asphalt[J]. Chemical Industry and Engineering Progress, 2021, 40(S2): 226-231.

[4] LI Z T, WU Y J, ZHAO Y, et al. Analysis of coal tar pitch and smoke extract components and their cytotoxicity on human bronchial epithelial cells[J]. Journal of Hazardous Materials, 2011, 186(2/3): 1277-1282.

[5] WANG M, LI P, NIAN T F, et al. An overview of studies on the hazards, component analysis and suppression of fumes in asphalt and asphalt mixtures[J]. Construction and Building Materials, 2021, 289: 123185.

[6] QU S, FAN S B, WANG G, et al. Air pollutant emissions from the asphalt industry in Beijing, China[J]. Journal of Environmental Sciences, 2021, 109: 57-65.

[7] 王鹏飞,王亚萍,孙吉书. 不同添加剂对沥青抑烟效果影响的试验研究[J]. 安全与环境学报, 2022, 22(2): 932-940.
WANG P F, WANG Y P, SUN J S. Experimental research on the influence of different additives on asphalt smoke suppression[J]. Journal of Safety and Environment, 2022, 22(2): 932-940.

[8] LIANG H H, ZHAO P, XU R F, et al. Influence of smoke suppressant on the smoke inhibition effect and properties of different types of asphalt[J]. Frontiers in Materials, 2023, 10: 1205050.

[9] 王超,任正阳,周波超,等. 不同种类道路沥青材料异味特征及析源分析[J]. 材料导报, 2024, 38(2): 268-272.
WANG C, REN Z Y, ZHOU B C, et al. Odor characteristics and source analysis of different kinds of road asphalt

- materials[J]. *Materials Reports*, 2024, 38(2): 268–272.
- [10] 刘燕燕,周帅,何紫琪,等. 沥青烟气检测方法及抑制措施研究进展[J]. *化工进展*, 2025, 44(3): 1632–1650.
- LIU Y Y, ZHOU S, HE Z Q, et al. Research progress on test methods and inhibition strategies of asphalt fumes[J]. *Chemical Industry and Engineering Progress*, 2025, 44(3): 1632–1650.
- [11] 徐永丽,杨松翰,周吉森,等. 基于重量法的沥青烟释放量影响因素研究[J]. *森林工程*, 2022, 38(2): 119–124, 132.
- XU Y L, YANG S H, ZHOU J S, et al. Research on influencing factors of asphalt fume release based on quality method[J]. *Forest Engineering*, 2022, 38(2): 119–124, 132.
- [12] MO S C, WANG Y H, XIONG F, et al. Changes of asphalt fumes in hot-mix asphalt pavement recycling[J]. *Journal of Cleaner Production*, 2020, 258: 120586.
- [13] 莫菊青. 紫外分光光度法测定空气中沥青烟[J]. *理化检验-化学分册*, 2014, 50(4): 498–499.
- MO J Q. Determination of asphalt smoke in air by ultraviolet spectrophotometry[J]. *Physical Testing and Chemical Analysis (Part B: Chemical Analysis)*, 2014, 50(4): 498–499.
- [14] 乔志,陈谦,王朝辉,等. 新型电气石复合材料及其沥青烟吸附性研究[J]. *重庆交通大学学报(自然科学版)*, 2021, 40(8): 126–131, 149.
- QIAO Z, CHEN Q, WANG C H, et al. New tourmaline composite and its asphalt smoke adsorption performance[J]. *Journal of Chongqing Jiaotong University (Natural Science)*, 2021, 40(8): 126–131, 149.
- [15] 叶伟. 隧道抑烟沥青的研制与抑烟沥青混合料路用性能研究[D]. 重庆: 重庆交通大学, 2014.
- YE W. Development of tunnel smoke suppression asphalt and research on road performance of smoke suppression asphalt mixture[D]. Chongqing: Chongqing Jiaotong University, 2014.
- [16] 朱洪洲,苏春力,唐乃鹏,等. 胶粉改性沥青排放物采样及定量分析方法[J]. *吉林大学学报(工学版)*, 2024, 54(10): 2922–2929.
- ZHU H Z, SU C L, TANG N P, et al. Sampling and quantitative analysis method of emissions from crumb rubber modified asphalt[J]. *Journal of Jilin University (Engineering and Technology Edition)*, 2024, 54(10): 2922–2929.
- [17] 曹嘉慧,申峻,王玉高,等. 共混沥青烟中16种多环芳烃的释放规律[J]. *煤炭转化*, 2019, 42(5): 88–96.
- CAO J H, SHEN J, WANG Y G, et al. Release of 16 kinds of polycyclic aromatic hydrocarbons in blended asphalt fume[J]. *Coal Conversion*, 2019, 42(5): 88–96.

Influencing Factors and Mechanisms of Fume Emission from Crumb Rubber Modified Asphalt

ZHANG Zhengqi¹, HAN Yanzhi¹, LEI Zhikun^{1,2}, SHI Jierong³, YANG Xinhong³, YANG Mi³

(1. Key Laboratory for Special Area Highway Engineering of Ministry of Education, Chang'an University, Xi'an 710064, China; 2. Central South Survey Design Institute Group Co., Ltd., Wuhan 730064, China; 3. Shaanxi Transportation Holding Group Co., Ltd., Xi'an 710065, China)

Abstract: To investigate the influencing factors and mechanisms of fume release from crumb rubber modified asphalt, based on the preparation of different crumb rubber modified asphalts, a self-developed fume generation and detection device was utilized, combined with three detection methods including gravimetric method, portable gas detector, and gas chromatography-mass spectrometry (GC-MS) to determine the concentrations of asphalt fumes and harmful components. The grey relational analysis was performed to evaluate the relationship between various factors and fume concentrations. Further characterization using four-component analysis, infrared spectroscopy, and fluorescence microscopy was conducted to explore how different factors affect the underlying mechanisms of fume release. The results showed that the base asphalt grade and additive type were the main factors affecting asphalt fume release. The four-component test showed that fumes from crumb rubber modified asphalt mainly came from the volatilization of light components. The infrared spectroscopy test indicated that the contents of aromatic hydrocarbons and alkanes were the main factors affecting fume and VOCs concentrations, while the total sulfur content in asphalt was the key factor controlling H₂S release. The fluorescence microscopy test further confirmed that a stable internal structure could suppress fume release from crumb rubber modified asphalt to a certain extent.

Keywords: crumb rubber modified asphalt; asphalt fumes; gravimetric method; portable gas detector; GC-MS; influencing mechanism