

改性沥青防水卷材生产中沥青烟气检测与质量控制探究

韩 岩¹, 王彩军², 崔树亮²

¹唐山德创环境检测有限公司, 河北 唐山

²新京喜(唐山)建材有限公司, 河北 唐山

收稿日期: 2026年4月8日; 录用日期: 2026年6月10日; 发布日期: 2026年8月4日

摘 要

改性沥青防水卷材生产过程中会释放沥青烟气, 其成分较为复杂, 并且其排放具有固定源和局部无组织的混合特性。本文对沥青烟气主要产生环节和核心特征结合该污染特性进行了分析, 提出了沥青烟气检测具体适配方案; 并从采样过程、样品前处理、实验操作过程、数据处理等方面, 加强对沥青烟气检测过程的控制; 提出了生产中沥青烟气控制措施。本文为精准管控生产环节沥青烟气污染、保障检测数据可靠性和质量控制提供参考。

关键词

沥青烟气, 检测, 质量控制

Exploration on Asphalt Smoke Detection and Quality Control in the Production of Modified Asphalt Waterproofing Membrane

Yan Han¹, Caijun Wang², Shuliang Cui²

¹Tangshan Dechuang Environmental Testing Co., Ltd., Tangshan Hebei

²Xinjingxi (Tangshan) Building Materials Co., Ltd., Tangshan Hebei

Received: April 8, 2026; accepted: June 10, 2026; published: August 4, 2026

Abstract

Asphalt fume will be released during the production of modified asphalt waterproofing membrane, and its composition is complex, and its emission has the mixed characteristics of fixed source and

文章引用: 韩岩, 王彩军, 崔树亮. 改性沥青防水卷材生产中沥青烟气检测与质量控制探究[J]. 世界生态学, 2026, 15(3): 436-442. DOI: 10.12677/ije.2026.153047

local disorganization. In this paper, the main production links and core characteristics of asphalt smoke are analyzed in combination with the pollution characteristics, and the specific adaptation scheme of asphalt smoke detection is put forward. The control of asphalt flue gas detection process is strengthened from the aspects of sampling process, sample pretreatment, experimental operation process and data processing. The control measures of asphalt smoke in production are put forward. This paper provides a reference for accurately controlling asphalt smoke pollution in production, ensuring the reliability of test data and quality control.

Keywords

Asphalt Fume, Detection, Quality Control

Copyright © 2026 by author(s) and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY 4.0).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

1. 引言

改性沥青防水卷材作为应用广泛的防水材料，其生产过程中会持续释放沥青烟气。该烟气含多环芳烃、苯系物、挥发性有机物等有毒有害物质；其组成成分复杂，粒径小，温度较高，粘性大，易燃易爆，化学稳定性差，毒性强。并且其特征污染物具有明确健康风险，车间工人长期吸入高浓度烟气，易引发呼吸道刺激和皮肤过敏，烟气可通过大气扩散到周边居民。沥青烟气中的异味物质主要为含硫化合物，焦油，芳烃及杂环化合物，并在高温时释放苯并吡等致癌物[1]。

目前烟气收集方法分为现场收集与室内收集，但现场收集时现场环境因素的复杂性会影响烟气收集的准确性[2]。防水行业普遍存在烟气收集不充分、采样操作不规范、检测方法不合理、治理设施运行维护不到位等问题。导致监测数据偏差较大、排放浓度不稳定。建立一套贴合生产实际、可操作强的沥青烟气检测与质量控制体系，对企业环保治理、安全生产和绿色发展具有重要现实意义。

沥青烟气检测主要有分析重量法、紫外分光光度法、便携式检测仪和气相色谱联用仪(GC-MS)。重量法操作简单，但误差较大；沥青烟气一般以颗粒态、气溶胶和蒸汽态形式存在，紫外分光光度法检测时间短，结果精度高，吸收剂可吸收气溶胶和蒸汽态物质[3]，无法确定沥青颗粒物含量。便携式检测仪和气相色谱联用仪(GC-MS)仪器成本均较高。因此需要结合沥青烟气污染特性，分析适配的采样与分析技术，寻找最佳适配方案。目前处理沥青烟气方法有四种类型，即燃烧法、电捕法、吸附法和吸收法。改性沥青防水卷材生产中沥青烟气控制措施需综合运用四种方法，综合治理效果更好。

2. 改性沥青防水卷材生产中沥青烟气主要产生环节和核心特征

2.1. 改性沥青防水卷材生产中沥青烟气主要产生环节

2.1.1. 沥青熔融和保温工段

高温储罐持续加热导致轻组分大量挥发从而产生烟气。

2.1.2. 浸涂和涂盖工段

胎基通过高温沥青槽时，烟气从表面快速逸出。

2.1.3. 碾压和冷却工段

卷材表面持续保持高温状态并释放烟气。

2.1.4. 输送管道和阀门密封处

因热胀冷缩或设备老化导致微量烟气从密封处泄露。

2.2. 改性沥青防水卷材生产中沥青烟气核心特征

2.2.1. 排放源集中且类型混合

主要排放源为固定源与局部无组织源。固定源排放浓度稳定，无组织源受车间通风影响大，浓度波动比较大。

2.2.2. 污染物组分复杂

除苯、甲苯及苯并芘等常规沥青烟气污染物外，因防水卷材改性沥青混合料中添加了 SBS (苯乙烯 - 丁二烯 - 苯乙烯嵌段共聚物)、APP (无规聚丙烯)、胶粉等改性剂，烟气中还含有丁二烯、苯乙烯等烯烃类 VOCs 等成分。

2.2.3. 干扰因素突出

生产过程中产生的卷材粉尘易随烟气附着在采样材料表面，可能吸附污染物或堵塞采样管路，直接影响检测准确性。

3. 改性沥青防水卷材沥青烟气适配检测技术

3.1. 具体适配方案

需根据固定源和无组织源的排放差异及污染物特性，针对性选择采样与分析技术，具体适配方案如下表 1 所示：

Table 1. Specific adaptation scheme
表 1. 具体适配方案

检测对象	排放类型	推荐采样技术	推荐分析技术	核心优势	适用场景
沥青储罐/ 改性沥青 搅拌罐排 气	固定源(有 组织)	玻璃纤维 + XAD-2 树脂吸 附管联用	气相色谱联用 仪(GC-MS)	1. 滤膜截留颗粒态 PAHs, XAD- 2 树脂吸附气态组分, 可区分污 染物形态 3. GC-MS 分辨率高	精准测定固定源排 放浓度, 支撑环保设 施(如活性炭吸附装 置)效果评估
卷材成型 周边空气	无组织排 放	便携式活性炭 采样管(带粉尘 预滤层)	热脱附 - 气相 色谱法(TD- GC)	1. 预滤层可拦截卷材粉尘, 避免 干扰 2. 热脱附无需溶剂萃取, 30 分钟 内完成分析, 可实时监测逸散浓度	车间无组织排放快 速筛查, 评估作业人 员职业暴露风险

3.2. 适配方案的适用性与创新性

PUF 棉采样的优势：吸附容量大、适合高浓度长时间采样；比普通吸附管不易穿透；成本低、易获取、耐湿；样品可保存、可复测。PUF 棉采样的劣势：前处理极繁琐、耗时；溶剂用量大、不环保；检出限偏高；空白高、易受环境影响。

热脱附管采样的优势：前处理极简、速度快；无溶剂；灵敏度高、检出限低；空白低、污染小；适合现场在线、自动化。热脱附管采样的劣势：吸附容量小、易穿透；不耐湿、怕水；只能测一次、无法复测；设备贵、维护成本高[4]。

液相色谱检测的优势：适合沥青烟气特征组分；荧光检测器 FLD 灵敏度极高；定性定量稳、抗干扰强。液相色谱检测的劣势：分析时间长、通量低；流动相成本高、有污染；不适用强挥发或弱保留组分[5]。

综上, 适配方案针对不同的检测对象和排放类型, 采取了最佳采样方式和检测分析技术, 发挥出其优势的同时, 尽量降低其劣势造成的不利影响, 因此该适配方案具有较好的适用性和创新性。

4. 改性沥青防水卷材沥青烟气检测的质量控制措施

4.1. 采样过程预处理

首先确认活性炭吸附管、滤膜无破损; 玻璃纤维滤膜需在 400℃ 马弗炉中灼烧 2 小时, 去除残留有机物; XAD-2 树脂吸附管需经二氯甲烷索氏提取 8 小时后, 在氮气保护下 120℃ 活化 4 小时。固定源采样器需校准流量和温度传感器。无组织采样用便携式采样泵, 采样前用皂膜流量计校准。

4.2. 采样过程规范

固定源: 按 GB/T 16157-1996 要求, 在排气筒直径 1/3 处设 1~3 个采样点, 采样时间同步生产周期, 避免非生产时段采样。采样管需加热至 120℃。

无组织源: 在成型机上风向 20 m 设对照点, 下风向按扇形布 3 个监测点。采样时避开粉尘直接逸散区域, 若发现预滤层堵塞, 需及时更换采样管。

4.3. 采样环节质量控制

1. 合理布设采样点, 避免涡流、死角区域, 保证代表性。
2. 严格执行等速采样, 确保采集的烟气浓度与烟道内真实浓度一致。
3. 滤筒、滤膜在使用前经恒温恒重处理, 降低系统误差。
4. 样品密封避光保存, 尽快送至实验室分析, 避免组分挥发或氧化。

4.4. 空白样品控制

每批次采样需带 2 类空白样: 现场空白和工艺空白。现场空白为采样材料带至生产现场, 不接触烟气, 随样品运输与前处理。工艺空白为在仅加热纯沥青、不添加改性剂的时段采样。两类空白值均需低于方法检出限, 否则需重新采样。

4.5. 样品前处理质量控制

4.5.1. 固定源样品前处理

滤膜与吸附管分别用二氯甲烷超声萃取, 萃取液经 0.22 μm 有机相滤膜过滤, 彻底去除卷材粉尘残留。收集萃取液后, 在 40℃ 氮吹浓缩至 1 mL, 避免污染物损失。

4.5.2. 无组织样品前处理

活性炭采样管需在热脱附仪中, 300℃ 脱附 5 分钟、氮气吹扫 3 分钟处理后, 脱附气体直接进入气相色谱仪。

4.6. 标准曲线与试剂管理

配制包含 16 种 PAHs (含苯并芘) 及丁二烯、苯乙烯的混合标准溶液, 浓度点设 5 个(1、5、10、50、100 ng/mL), 相关系数 $R^2 \geq 0.999$; 每分析 10 个样品后, 用中间浓度标准品(20 ng/mL)验证, 偏差超 5% 时重新绘制标准曲线。

4.7. 仪器校准与维护

GC-MS 每月校准离子源灵敏度(用全氟三丁胺校准)、色谱柱分离效率(要求苯与甲苯分离度 ≥ 1.5);

每季度由第三方机构进行计量检定, 确保仪器性能达标。

热脱附仪每次使用前, 用标准气体(苯乙烯 100 ng/mL)验证脱附效率, 需 $\geq 90\%$, 否则调整脱附温度与时间。

4.8. 平行样与加标回收

每批次样品做 2 个平行样, 相对偏差 $\leq 15\%$; 每 10 个样品做 1 次加标回收试验(向样品中加入已知量的 PAHs 混合标准品), 加标回收率需控制在 $80\%\sim 120\%$, 确保分析方法可靠。

4.9. 数据与报告质量控制

4.9.1. 数据逻辑性审核

核对采样记录与分析数据的一致性, 排查异常值。异常值需结合现场情况(如通风设备启停)验证, 无法验证则标注“可疑数据”并说明原因; 完整记录: 原始记录包含工况(温度、压力、流量)、仪器参数、试剂批号等关键信息, 不可遗漏。

4.9.2. 报告规范性要求

检测报告需明确采样点位、检测方法、仪器型号、空白值与加标回收结果; 计算结果需扣除空白值, 若出现异常数据, 需回溯采样、分析环节, 排除操作误差后再判定; 重点标注苯并芘浓度是否符合《大气污染物综合排放标准》¹和《工作场所有害因素职业接触限值》²³, 为污染治理与职业防护提供明确依据。

4.10. 改性沥青防水卷材生产中沥青烟气控制措施

4.10.1. 从源头上控制, 减少沥青烟气生成量

原材料优化: 选用低挥发分改性沥青, 或添加沥青烟气抑制剂(有机胺类、纳米吸附剂); 工艺参数优化: 生产环节控制加热温度, 采用梯度升温, 避免高温直加热, 避免超过 200°C 。

4.10.2. 从过程中收集控制, 阻断烟气扩散

在搅拌罐密闭设置, 上方设置引风管收集废气; 对生产过程产生的有机废气设置集气罩进行收集; 浸涂池、辊压成型、冷却输送等工序均密闭设置, 减少无组织排放。利用无组织源的 TD-GC 快速检测结果实时评价密闭集气罩的捕集效率, 利用固定源高精度的 GC-MS 数据来精算末端治理设施活性炭的击穿时间和更换周期。

4.10.3. 末端治理控制, 净化达标排放

中低浓度烟气: 采用“活性炭吸附 + 催化燃烧”工艺, 活性炭吸附饱和后通过热空气脱附, 脱附后的高浓度烟气进入催化燃烧装置(温度 $300\sim 400^{\circ}\text{C}$), 将有机物分解为二氧化碳和水, 净化效率 $\geq 90\%$; 高浓度烟气: 采用“喷淋吸收 + 静电除雾 + 活性炭吸附”工艺, 先通过碱性喷淋吸收部分可溶性组分, 再经静电除雾去除颗粒物, 最后用活性炭吸附 PAHs, 确保出口浓度符合《大气污染物综合排放标准》。

有机废气处理系统采用干式过滤棉箱 + 活性炭吸附脱附箱 + 催化燃烧装置有机废气处理设备处理。为了避免小颗粒物对活性炭的影响, 在活性炭箱前设置干式过滤棉箱, 密度随着厚度逐渐增大, 最后几层浸用树脂材质, 起支撑作用。过滤时多层纤维对废气中可能存在的颗粒起拦截、碰撞、扩散、吸收等作用。蜂窝状活性炭具有性能稳定、抗腐蚀和耐高速气流冲击的优点, 用其对有机废气进行吸附可

¹https://www.mee.gov.cn/ywgz/fgbz/bz/bzwb/dqjhjbh/dqgdwrywrfbz/199701/t19970101_67504.htm

²<https://www.nhc.gov.cn/fzs/c100048/202211/477f7ef490d345008fddfb0db3638b2e.shtml>

³https://www.nhc.gov.cn/wjw/pyl/200705/39019/files/1739779655603_50074.pdf

使净化效率高达 75%，活性炭吸附饱和后用热空气脱附再生整套吸附和催化燃烧过程由 PLC 实现自动控制。见图 1 所示。废气经封闭装置上方的集气罩收集后由管道送 2#有机废气处理装置(喷淋塔、高压静电净化塔、膜过滤塔)预处理，预处理完成后进入与 1#有机废气处理装置(喷淋塔、高压静电净化塔、膜过滤塔)预处理的废气共同进入干式过滤箱 + 活性炭箱 + 催化燃烧处理，最终经 1 根 40 m 高排气筒排放。

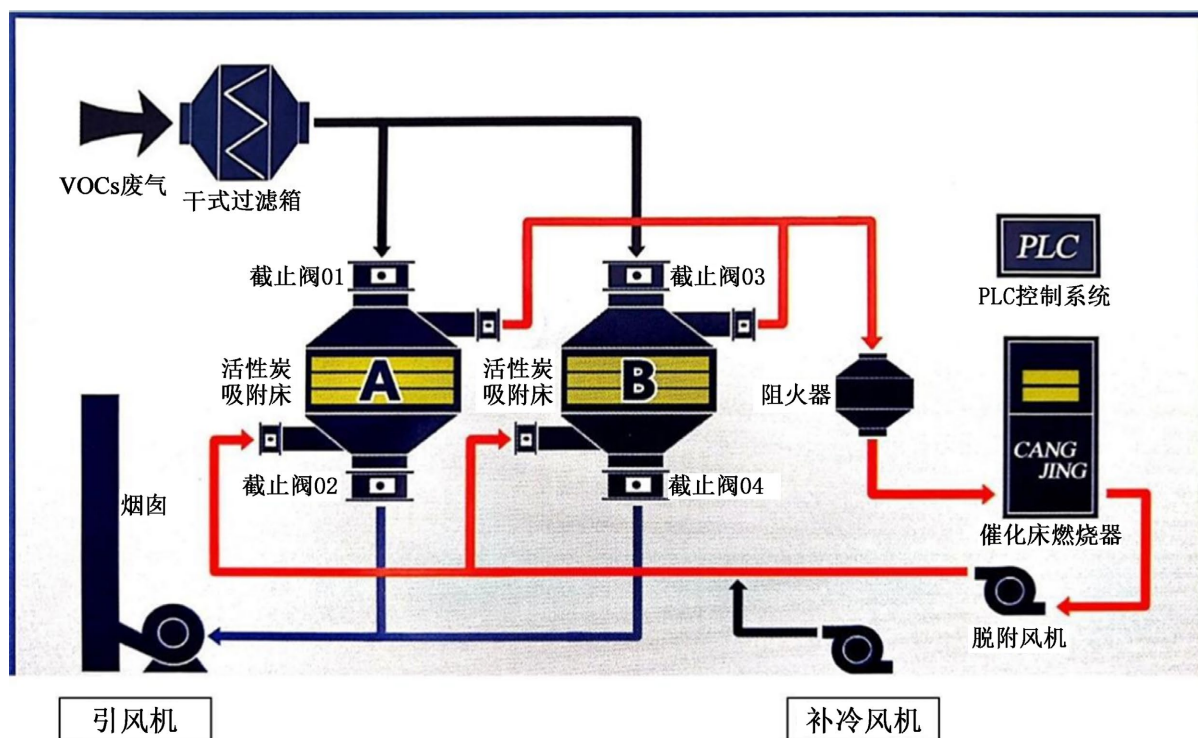


Figure 1. Process diagram of “activated carbon adsorption + catalytic combustion”

图 1. “活性炭吸附 + 催化燃烧”工艺图

4.10.4. 辅助管控，保障操作安全

人员防护：作业人员需佩戴防毒口罩或送风式呼吸器，穿戴耐温防护服，避免直接接触烟气；环境监测：定期对生产车间进行沥青烟气检测，确保环境浓度符合《工作场所有害因素职业接触限值》要求。车间操作员必须熟悉设备的一级保养，正确使用环保烟气管道消防设备，确保人员安全、设备安全运行正常。

5. 结语

改性沥青防水卷材生产的沥青烟气检测，需充分结合混合排放、组分复杂、粉尘干扰的场景特性，通过适配技术选择和全流程质控双重保障数据可靠性。未来，可进一步研发集成粉尘过滤、实时采样、快速分析一体化检测设备，同时完善针对改性剂衍生污染物的检测标准。后续考虑增加对改性剂(SBS/APP)热解产物的专项研究，通过实验室模拟或现场采样，识别并定量更多的特征污染物。

本文提出了改性沥青防水卷材生产中沥青烟气四个维度的控制措施，从源头上控制，减少沥青烟气生成量；从过程中收集控制，阻断烟气扩散；末端治理控制，净化达标排放；辅助管控，保障操作安全；为行业精准治污与绿色生产提供更有力的技术支撑。

参考文献

- [1] 黄婉利, 魏新明, 张敬义. 沥青防水卷材生产过程烟气及成因分析[J]. 中国建筑防水, 2016(1): 33-37.
- [2] 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(3): 1632-1650.
- [3] 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(4): 4-7.
- [4] 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.
- [5] Espinoza, J., Medina, C., Calabi-Floody, A., *et al.* (2020) Evaluation of Reductions in Fume Emissions (VOCs and SVOCs) from Warm Mix Asphalt Incorporating Natural Zeolite and Reclaimed Asphalt Pavement for Sustainable Pavements. *Sustainability*, **12**, Article No. 9546. <https://doi.org/10.3390/su12229546>