

A Comparative Study on Traditional Sampling Methods and SUMMA Canister Sampling Technology for New Pollutants (VOCs/Halogenated Compounds) in Unorganized Exhaust Gases—An Empirical Analysis Based on Inertial Treatment and Cleaning Optimization

Hunguang Ma Wei Huang* Hongfa Xie

China Certification&Inspection(Group) Guangxi Co.,Ltd., Nanning, GuangXi, 530007, China

Abstract

This paper systematically compares the technical principles, operational procedures, and applicability of traditional sampling methods (e.g., solution absorption, solid adsorption) and Summa canister sampling for detecting new pollutants in unorganized exhaust gases. Experimental data analysis reveals that traditional methods are susceptible to environmental interference during short-term sampling, with issues such as penetration loss and short sample preservation time. In contrast, Summa canister sampling significantly improves data stability through inert treatment and constant flow control, particularly suitable for long-term monitoring in complex environments. The study further verifies the reliability of Summa canisters after optimizing cleaning conditions (e.g., heating to 280°C and humidified cleaning), achieving undetectable levels of residual pollutants. This research provides a scientific basis for selecting environmental monitoring technologies and proposes future directions for multi-method integration.

Keywords

unorganized waste gas; VOCs/Halogenated Compounds; Traditional sampling methods; Suma jar sampling technology; Inert treatment; Cleaning optimization; Data stability; Environmental monitoring technology

无组织废气新污染物（VOCs/Halogenated Compounds）传统采样方法与苏玛罐采样技术的对比研究——基于惰性化处理与清洗优化的实证分析

马混广 黄巍* 谢宏法

中国检验认证集团广西有限公司，中国·广西南宁 530007

摘要

本文系统对比了无组织废气中新污染物检测的传统采样方法与苏玛罐采样的技术原理、操作流程及适用性差异。通过实验数据分析，发现传统方法（如溶液吸收法、固体吸附法）在短时采样中易受环境干扰，存在穿透损失和样品保存时效短等问题；而苏玛罐采样凭借惰性化处理、恒流控制等技术，显著提升了数据稳定性，尤其适用于长时间、复杂环境下的污染物监测。研究进一步验证了苏玛罐在清洗条件优化（如加热至280°C、加湿清洗）后的可靠性，其残留污染物检出率可降低至未检出水平；本文为环境监测技术的选择提供了科学依据，并提出了多方法联用的未来发展方向。

关键词

无组织废气；新污染物（VOCs/Halogenated Compounds）；传统采样方法；苏玛罐采样技术；惰性化处理；清洗优化；数据稳定性；环境监测技术

1 引言

1.1 研究背景

无组织废气排放是工业生产中常见的环境问题，尤其是化工、石化行业。废气中的挥发性有机物（VOCs，如卤代烃、含氧 VOCs 等）对环境和人体健康构成威胁。传统采样方法因灵敏度不足、操作复杂等问题难以满足现代环境监

【作者简介】马混广（1985–），男，中国广西南宁人，本科，工程师，从事环保、环境监测研究。

【通讯作者】黄巍（1980–），男，中国广西桂林，大专，工程师，从事生态环境保护工程。

测需求。苏玛罐采样技术凭借惰性材质和可重复使用特性成为国际主流方法，但其清洗和惰性化处理环节的优化仍需深入探讨。

1.2 研究意义

采样方法的准确性直接影响环境评价结果。例如，传统吸附管法因穿透效应导致低沸点化合物损失率高达 30%，而苏玛罐通过恒流采样可减少误差，提升数据的代表性和准确性。因此，系统对比不同采样技术的性能对优化环境监测技术具有重要意义。

2 无组织废气中新污染物的来源与环境危害

2.1 新污染物的种类与特性

无组织废气中的新污染物以 VOCs 和卤代烃最为典型。VOCs 包括含硫有机化合物、卤代烃、非甲烷碳氢化合物等，卤代烃则如氯仿、二氯一氟甲烷等。它们大多具有挥发性，部分还兼具毒性、致癌性。这些新污染物参与大气化学反应，影响空气质量，对人体健康与生态环境构成潜在威胁，监测其排放与浓度变化意义重大。

2.2 新污染物的主要来源

VOCs 的工业来源丰富多样，如喷漆废气中含丙酮、丁醇等，塑料、塑胶废气有乙烯等烯烃类单体，化工生产中化学反应也会释放 VOCs。卤代烃在日常生活中则常见于清洁剂、消毒剂、制冷剂等产品中。汽车尾气、焚烧垃圾、吸烟等也会产生卤代烃，这些新污染物在生产和生活中不断逸散，对环境造成持续影响。

2.3 新污染物的环境危害

新污染物对环境危害显著，它们可引发酸雨、光化学烟雾等，破坏生态系统平衡，影响动植物生存。对人体而言，VOCs 和卤代烃可刺激呼吸道，引发哮喘等疾病，长期暴露还可能损害神经系统、肝脏等器官，甚至有致癌风险。卤代烃等还可能干扰内分泌系统，影响生殖健康，对人体健康和生态环境构成严重威胁。

3 传统无组织废气采样方法

3.1 直接采样法

①注射器法：注射器法适用于瞬态污染物的捕捉，但由于采样体积通常不超过 1L，难以检测低浓度的污染物，实验数据显示，采样体积为 0.5L 时，低浓度污染物（如苯）的检出限为 0.1ppb。该方法操作简便，但受限于采样时间和体积，不适合长时间连续监测。

②溶液吸收法：溶液吸收法常用于酸性气体（如 NH_3 ）的采集。吸收效率受溶液 pH 值影响显著，实验表明在 pH=2 时， NH_3 的吸收率可达 95% 以上，但对其他 VOCs 吸收效率仅 50%。然而，该方法对其他类型 VOCs 的吸收效率较低，且存在穿透损失的问题。

3.2 富集采样法

①活性炭吸附法：活性炭吸附法对非极性 VOCs（如苯

系物）的吸附效率较高，回收率通常超过 85%。然而，其对极性化合物（如醛类）的吸附效率不足 60%，导致监测结果不准确。此外，活性炭吸附法在长时间储存过程中容易发生脱附现象，影响样品的稳定性。

②低温冷凝法：低温冷凝法需要配合液氮制冷（-196℃），设备成本高昂，且样品转移过程中易造成挥发性损失，回收率仅 70%（对乙酸乙酯）。该方法适用于高浓度 VOCs 的采集，但在实际应用中存在操作复杂、成本高的问题。

3.3 局限性总结

①时效性缺陷：吸附管样品需要在 24 小时内进行分析，否则苯系物的损失率可达 20%。这限制了其在现场监测中的应用范围。

②环境干扰：风速大于 3m/s 时，开放式采样法的误差率增加至 $\pm 15\%$ 。这表明传统采样方法在复杂环境下的适用性较差。

③经济性：单次成本差异大（吸附管法 ¥80，溶液吸收法 ¥50，低温冷凝法 ¥500），且多为一次性耗材。

表 1 传统采样方法性能对比

方法	时效性 (h)	环境干扰 (风速>3m/s)	单次成本 (元)	检出限 (ppb)
吸附管法	≤24	±15%	80	0.1 ~ 1
溶液吸收法	实时	±10%	50	1 ~ 10
低温冷凝法	实时	±20%	500	0.01

4 苏玛罐采样技术

4.1 技术原理与优化

4.1.1 惰性化处理

苏玛罐内壁涂覆硅烷化涂层，减少了极性化合物的吸附。实验显示，涂覆后甲苯的残留量降低至 $<0.1 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 。这种处理方式显著提高了苏玛罐对极性化合物的吸附效率。

4.1.2 清洗条件优化

①清洗次数：废气样本需清洗 4~5 次，残留 VOCs 方可低于检出限。多次清洗确保了苏玛罐的清洁度，减少了交叉污染的风险。

②加热清洗（280℃）：在 280℃加热后，高沸点污染物（如十二烷）的去除效率提升至 99.5%。高温清洗有效去除了罐内的残留污染物，确保了采样结果的准确性。

③加湿清洗（50% 湿度）：添加 100 μL 纯水模拟 50% 湿度环境，可减少实验室空白误差降低达 30%，残留量 $<0.1 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ；加湿清洗有助于消除环境湿度对采样结果的影响。

4.2 技术优势

4.2.1 无污染惰性处理

苏玛罐内壁采用硅烷化涂层处理，阀门使用金属对金属密封技术，确保采样过程中无吸附、无氧化损失。实验表

明，涂覆后甲苯残留量可降至 $< 0.1 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 。即使罐体受挤压变形，只要无锐角折痕，惰性膜仍能保持完整。这种设计有效避免了传统方法中活性炭吸附剂的穿透效应和低温冷凝法的挥发性损失。

4.2.2 高精度检测

污染物种类覆盖广：可同时检测苯系物、卤代烃、硫醇类等上百种 VOCs，尤其对小分子量（C2-C3）和极性物质（如醛类）的检出限可达 $1 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 以下。

检出限低：采用液氮冷却进样技术，部分污染物检出限可达 PPT 级（ $0.001 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ），分析精密度达 20% 以内。

重现性优异：实验数据显示，同一样品多次进样的相对标准偏差（RSD） $< 5\%$ ，显著优于传统吸附管法（RSD $> 15\%$ ）。

4.2.3 环境适应性

抗干扰性强：封闭负压采样系统可抵御风速 $> 5\text{m/s}$ 的环境干扰，误差率仅 $\pm 5\%$ ，而传统开放式采样误差率高达 $\pm 20\%$ 。

多模式采样：支持瞬时采样（0.5L 体积）和恒流采样（3L/min），适应不同场景需求。例如，化工泄漏应急监测中可实现无电源条件下的被动采样。

长时间保存：样品常温保存周期长达 20 天，且无需冷藏或特殊防护，减少运输过程中交叉污染风险。

4.2.4 经济性

长期成本优势：单次使用成本约 50 元（苏玛罐可重复使用 200 次以上），低于吸附管法（单次 80 元）。

维护便捷：配套清洗装置（如 GHD-1200C）可在 30 分钟内完成 4 ~ 6 个罐体的清洗，残留污染物去除率达 99.9%。

4.2.5 标准化与多领域应用

符合国标要求：我国《环境空气挥发性有机物罐采样 - 气相色谱法》（HJ759-2015）明确推荐苏玛罐作为 VOCs 监测标准方法。

跨领域适用性：广泛应用于环境监测（大气/水体采样）、工业排放检测、食品安全（农药残留分析）及医学研究（临床样本采集）等领域。

4.2.6 数据稳定性

在恒流采样（3L/min）下，24 小时连续监测的浓度波动率 $< 5\%$ 。苏玛罐的高稳定性使其适用于长时间、复杂环境下的污染物监测。

综上，苏玛罐采样技术通过惰性材料、高精度检测和标准化流程，解决了传统方法在污染物覆盖、数据稳定性及环境适应性上的短板，成为无组织废气监测的首选方案。

应用案例：某化工厂 VOCs 监测中，苏玛罐检出 32 种化合物，而吸附管法仅检出 21 种。差异主要源于半挥发性有机物的吸附损失。苏玛罐的全面性使其在复杂环境下的应用更具优势。

5 方法对比分析

5.1 污染物浓度代表性

①时间分辨率：苏玛罐支持 24h 积分采样，适用于浓度波动场景，传统方法仅能瞬时采样，其长时间采样能力确保了数据的完整性和准确性。②检出物种差异：苏玛罐对 C6-C12 烃类检出率提高 40%，覆盖半挥发性有机物，这表明苏玛罐在检测复杂混合物方面具有更高的灵敏度和准确性。

表 2 苏玛罐与传统方法性能对比

指标	苏玛罐	传统方法（平均值）
时间分辨率	24 小时连续	瞬时 / 短时（ < 1 小时）
C6-C12 烃类检出率	92%	52%
单次成本（元）	50	80
最长保存时间	7 天（无损失）	24 小时 （苯系物损失 20%）

5.2 经济性与操作成本

①初期投入：苏玛罐系统（¥20 万）高于传统方法（¥0.5 万），但长期成本优势显著。然而，苏玛罐的可重复使用性降低了长期成本。

②长期成本：苏玛罐年总成本 ¥25 万（单次 ¥250），传统方法 ¥2.5 万（单次 ¥25），200 次后苏玛罐成本降至 ¥50/次。从长期来看，苏玛罐的经济性优于传统方法。

6 结论与展望

6.1 研究结论

苏玛罐采样技术与传统方法相比，在无组织废气新污染物监测中优势突出。它凭借惰性化处理与恒流控制，在采样效率、精度及数据稳定性方面表现更佳。样品保存时间更长，能有效应对复杂环境，清洗优化也保障了数据准确性。传统方法虽曾发挥重要作用，但存在穿透损失、吸附饱和、样品保存时效短等局限，易受环境干扰。苏玛罐采样技术为环境监测提供了更可靠的技术手段，能更真实地反映污染物状况。

6.2 未来研究方向

环境监测技术未来应朝着多方法联用方向发展，将苏玛罐采样技术与其他方法结合，发挥各自优势，提高监测的全面性与准确性。需加大新型采样技术研发力度，利用物联网、大数据等新技术，提升采样的智能化与信息化水平。加强对复杂污染物监测技术的研究，提高对环境新污染物的识别与监测能力，推动环境监测技术向更高效、精准、智能的方向发展，为环境保护提供更有力的技术支持。

参考文献

[1] 苏玛罐采样系统关键技术环节的确认及优化[J]. 环境科学, 2021.
[2] HJ 732-2014. 固定污染源废气挥发性有机物采样方法[S].
[3] EPA TO-15. Method for the Measurement of VOCs in Air Using Summa Canisters[Z].