

环境空气和废气中挥发性有机物监测及治理技术研究

李美娇

天津永诚检验检测有限公司 天津 300451

摘要: 随着工业化进程的加速和城市化水平的不断提高,挥发性有机物在环境空气和废气中的排放问题日益凸显。挥发性有机物作为大气中一类重要的污染物,不仅会导致光化学烟雾等环境问题,还对人体健康构成严重威胁,如增加呼吸系统疾病和癌症的风险。因此,对挥发性有机物的监测与治理技术的研究显得尤为迫切。

关键词: 挥发性有机物; 来源; 监测技术; 治理技术

引言: 挥发性有机物是指在标准状态下具有较高饱和蒸气压、低沸点、小分子量,并在常温下易于挥发的有机化合物。这些化合物广泛存在于大气、水体和土壤中,是大气的主要污染物之一。挥发性有机物的分类多样,主要包括非甲烷碳氢化合物、含氧有机化合物、卤代烃、含氮有机化合物和含硫有机化合物等。

1 环境空气和废气中挥发性有机物的来源与危害

1.1 来源

挥发性有机物的来源多种多样,既包括自然源也包括人为源。自然源主要是植物释放的挥发性有机物,如松树、桉树等释放的萜烯类化合物;人为源则更为复杂,包括工业生产过程、机动车尾气排放、溶剂使用、油品储运等多个方面。工业生产是挥发性有机物的重要来源之一,石油化工、涂料生产、印刷包装等行业在生产过程中会排放大量挥发性有机物。以石油化工行业为例,原油炼制、乙烯裂解、聚合物生产等多个环节都会产生挥发性有机物排放。涂料生产过程中溶剂的使用和挥发也是重要的挥发性有机物来源。印刷行业使用的油墨、稀释剂等含有大量挥发性有机物,在印刷过程中会逐步挥发进入大气。机动车尾气是城市地区挥发性有机物的主要来源之一,汽油、柴油等燃料在发动机中不完全燃烧会产生烷烃、芳香烃等多种挥发性有机物。

1.2 危害

首先,许多挥发性有机物本身就具有较强的毒性。苯系物等芳香烃类挥发性有机物具有致癌性,长期接触会增加白血病等癌症的发病风险。醛类物质如甲醛、乙醛等具有刺激性和致敏性,可引起眼睛、呼吸道刺激症状。某些含氮挥发性有机物如三氯乙烯、四氯乙烯等还具有肝肾毒性。其次,从生态环境角度看,挥发性有

机物会影响植物的光合作用和生长,导致农作物减产。某些挥发性有机物还具有温室效应,会加剧全球气候变化。同时,在水体中挥发性有机物会影响水生生物的生存环境,破坏水生态系统平衡。

2 挥发性有机物监测技术

2.1 气相色谱法

气相色谱法是基于不同挥发性有机物组分在固定相和流动相之间分配系数的差异,通过色谱柱将混合物中的各组分分离,然后用检测器检测并定量。气相色谱法具有分离效率高、灵敏度高、选择性好等优点,可以同时分析多种挥发性有机物组分。常用的检测器包括火焰离子化检测器(FID)、电子捕获检测器(ECD)、光离子化检测器(PID)等。气相色谱法通常需要对样品进行预处理,常用的预处理技术包括顶空进样、吹扫捕集、固相微萃取等。顶空进样适用于挥发性较强的挥发性有机物,操作简单但灵敏度较低;吹扫捕集技术通过惰性气体吹扫将挥发性有机物从样品中脱离,然后在吸附管上富集,可以显著提高检测灵敏度;固相微萃取技术使用特殊涂层的石英纤维吸附挥发性有机物,操作简便且无需有机溶剂。气相色谱法虽然分析精度高,但设备较为复杂,需要专业人员操作,难以实现连续在线监测。

2.2 在线监测技术

常用的挥发性有机物在线监测技术包括光学法和传感器法。光学法主要包括傅里叶变换红外光谱法(FTIR)和差分光学吸收光谱法(DOAS)。FTIR技术利用挥发性有机物分子对红外光的特征吸收,可以同时检测多种挥发性有机物组分,具有较高的选择性和灵敏度。DOAS技术利用挥发性有机物分子对紫外-可见光的吸收特性,通过长光程吸收来提高检测灵敏度,适用于大气挥发性有机物的远程监测。传感器法主要包括半导体传感器、电化学传感器和光离子化传感器等。半导体传感器利用挥发性有机物与传感器表面发生氧化还原

作者简介: 李美娇(1988年5月-),女,汉族,吉林省通化市人,研究生学历,中级工程师,主要研究方向为环境监测。

反应导致电阻变化的原理进行检测,具有响应快、成本低的优点,但选择性较差。电化学传感器基于挥发性有机物与电极表面发生电化学反应产生电流信号的原理,对特定挥发性有机物具有较好的选择性。光离子化传感器利用紫外光电离挥发性有机物分子产生离子电流的原理进行检测,对芳香烃类挥发性有机物具有较高的灵敏度。这些在线监测技术虽然在精确定量分析方面不如实验室色谱法,但能够实现连续实时监测,为工业过程控制和环境空气质量监测提供了重要手段。

2.3 质谱分析法

质谱分析法是通过将样品中的分子离子化,再根据质荷比进行分离和检测,可以获得物质的分子量和结构信息。常用的质谱分析技术包括电子轰击离子源(EI)、化学离子源(CI)、大气压化学电离(APCI)等。质谱分析法可以检测极低浓度的挥发性有机物,且具有较高的准确性。然而,传统质谱仪体积大、成本高,限制了其在现场监测中的应用。为解决这一问题,便携式质谱仪和小型化质谱仪的研发成为近年来的热点。此外,质谱与其他技术的联用也得到了广泛应用,如气相色谱-质谱联用(GC-MS)、液相色谱-质谱联用(LC-MS)等,进一步提高了分析的灵敏度和选择性。

2.4 液相色谱法

液相色谱法作为挥发性有机物监测的补充技术,主要用于分析难以气化或热不稳定的挥发性有机物。该方法通过液相流动相将样品中的各组分分离,再由检测器进行检测。常用的检测器包括紫外-可见光检测器(UV-Vis)、荧光检测器(FLD)、电化学检测器等。液相色谱法的优点是在室温下进行分析,避免了样品的热分解,适用于极性和非极性挥发性有机物的分析。然而,液相色谱法的分离效率和灵敏度通常低于气相色谱法。为了提高分析性能,高效液相色谱(HPLC)和超高效液相色谱(UPLC)技术得到了广泛应用。这些技术通过使用更小粒径的填料和更高的压力,大大提高了分离效率和分析速度。

3 挥发性有机物治理技术

3.1 吸附处理技术

吸附处理技术是利用多孔吸附剂的表面作用力将气相挥发性有机物分子吸附到固体表面上,从而实现气体的净化。常用的吸附剂包括活性炭、分子筛、活性氧化铝等。活性炭因其较大的比表面积和发达的孔隙结构,对多种挥发性有机物具有良好的吸附效果,是应用最为广泛的吸附剂。分子筛则因其均匀的孔道结构,对特定尺寸的挥发性有机物分子具有选择性吸附作用。吸附处

理技术操作简单、投资成本较低,适用于处理低浓度挥发性有机物废气,但吸附剂需要定期再生或更换,产生二次污染的问题需要妥善解决。

3.2 燃烧处理技术

燃烧处理技术是通过将挥发性有机物氧化分解为CO₂和H₂O等无害物质来实现净化。根据操作温度的不同,燃烧处理可分为直接燃烧和催化燃烧两种方式。直接燃烧通常在700-1000℃的高温下进行,适用于处理高浓度挥发性有机物废气,但能耗较高。催化燃烧则在催化剂的作用下,可在较低温度(200-500℃)下实现挥发性有机物的氧化分解,具有能耗低、效率高的优点。常用的催化剂包括贵金属催化剂(如Pt、Pd)和过渡金属氧化物催化剂(如CuO、MnO₂)等。为了提高燃烧效率和降低能耗,研究人员开发了蓄热式燃烧(RTO)和蓄热式催化燃烧(RCO)技术,通过热量回收实现了能源的高效利用。

3.3 冷凝处理技术

冷凝处理技术是通过降低气体温度,使挥发性有机物从气相凝结为液相,从而实现分离。这种方法适用于处理沸点较高、浓度较大的挥发性有机物废气,尤其是在挥发性有机物回收利用方面具有优势。冷凝处理的效果主要取决于冷凝温度和挥发性有机物的饱和蒸气压,通常需要将废气冷却到挥发性有机物露点以下才能实现有效分离。根据冷却方式的不同,冷凝技术可分为直接接触式和间接接触式。直接接触式冷凝通过将冷却介质直接与废气混合实现热交换,而间接接触式则通过热交换器进行热量传递。为了提高冷凝效率,研究人员开发了多级冷凝、深冷技术等改进方法。多级冷凝通过逐级降温,可以实现不同沸点挥发性有机物的分级回收。深冷技术则利用液氮等超低温冷源,可以处理沸点极低的挥发性有机物。

3.4 光催化氧化技术

光催化氧化技术是利用光催化剂在光照条件下产生强氧化性物质(如羟基自由基),从而实现挥发性有机物的氧化分解。这种技术具有操作条件温和、能耗低、无二次污染等优点,特别适用于处理低浓度挥发性有机物废气。常用的光催化剂包括TiO₂、ZnO、WO₃等半导体材料。其中,TiO₂因其良好的光催化活性、化学稳定性和低毒性而被广泛研究和应用。然而,传统TiO₂光催化剂主要对紫外光响应,限制了其在可见光下的应用。为了提高光催化效率,研究人员采用了多种改性方法,如金属/非金属掺杂、贵金属负载、半导体复合等,以拓展光吸收范围和提高电子-空穴对的分离效率。

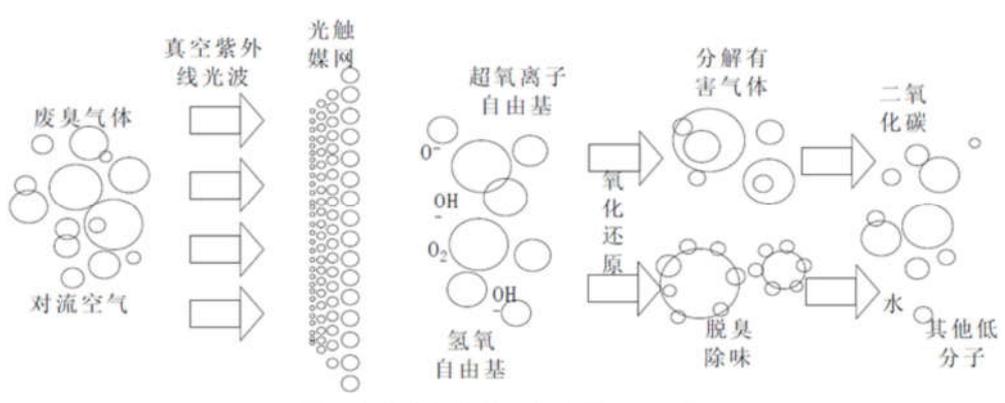


图1 光催化氧化处理技术原理示意图

4 挥发性有机物治理的优化策略

4.1 重视大气环境监测的分析

准确掌握挥发性有机物的污染状况、来源构成和时空分布特征，是制定有针对性治理措施的关键。为此应当建立健全挥发性有机物监测网络，在重点区域和典型场所布设固定监测站点，开展连续自动监测。同时，利用走航监测、卫星遥感等新型手段，拓展监测的时空范围，实现对挥发性有机物污染的立体化监测。在此基础上，运用受体模型、化学质量平衡法等先进分析方法，深入解析挥发性有机物的来源贡献，识别关键污染物种类。此外，还应加强挥发性有机物与其他污染物的协同监测，研究其相互作用机制，为协同控制提供科学依据。通过全面系统的监测分析，我们可以准确把握挥发性有机物污染的动态变化规律，为精准施策提供有力支撑。

4.2 创新与升级处理技术

传统的挥发性有机物处理技术虽然应用广泛，但在处理效率、能耗成本等方面仍存在不足。因此，我们需要持续推进技术创新，开发更加高效、经济、环保的新型处理技术。例如，生物法治理技术具有投资成本低、运行费用少、无二次污染等优势，特别适用于处理低浓度大风量的挥发性有机物废气。等离子体技术则可在常温常压下快速降解挥发性有机物，具有能耗低、适用范围广等特点。此外，光催化氧化、低温等离子体与催化氧化耦合等新兴技术也展现出良好的应用前景。在推广新技术的同时，我们还应注重对现有技术的改进升级，如优化吸附剂性能、提高燃烧效率、改进膜分离工艺

等，以不断提升处理效果。

4.3 加强废气的源头治理与管控

应当从生产工艺、原料替代、设备改造等多个环节入手，全面推进清洁生产。例如，在石化、涂装等重点行业推广使用水性、粉末、高固体分等低挥发性有机物含量的原辅材料，从源头减少挥发性有机物的产生。同时，优化生产工艺，如采用密闭化、连续化、自动化的生产设备，减少挥发性有机物的无组织排放。此外，还应加强设备与管线组件的泄漏检测与修复（LDAR），及时发现并处理泄漏点，有效控制逸散排放。在储存和运输环节，推广使用浮顶罐、气相平衡系统等先进设施，最大限度减少挥发性有机物的挥发损失。

5 总结

总之，挥发性有机物监测和治理技术的研究是一个多学科交叉的领域，涉及环境科学、化学工程、材料科学、信息技术等多个学科。未来的研究应更加注重学科交叉融合，加强基础理论与工程应用的结合，推动监测和治理技术的创新发展。

参考文献

[1]房建.大气环境中挥发性有机物废气的环境监测及治理技术研究[J].皮革制作与环保科技,2023,4(24):59-61.
[2]王荟,李媛,李晨,杨雪,胡冠九.环境空气中挥发性有机物监测技术细化研究[J].环境监控与预警,2022,14(3):55-58.
[3]何丽,谭丽.大气中挥发性有机物监测技术方法研究[J].绿色科技,2023,25(2):214-219+241.