

化工生产环境中有害物质的监测与治理及经济性评价

徐小丹（广州雅皓检测科技有限公司，广东 广州 511400）

摘要：在化工生产环境里，创新监测技术的运用十分关键，借助新型传感器与光谱分析技术搭建起智能化远程监控系统，能实时捕捉有害物质。同时实施多元控制手段，涵盖源头把控、过程优化以及末端治理。并且强化管理优化，完善监测控制管理制度，加强人员培训，优化设备管理，建立监督考核机制，以此全方位保障监测控制工作的长效运行。这些措施不仅能有效降低有害物质排放，还能显著提升生产效率、降低生产成本，带来可观的经济效益，推动化工企业的可持续发展。

关键词：化工生产；有害物质监测；控制手段；管理优化；经济性评价

中图分类号：X78 文献标识码：A 文章编号：1674-5167(2025)014-0049-03

Monitoring and Management of Hazardous Substances in Chemical Production Environment and Economic Evaluation

Xu Xiaodan (Guangzhou Yahao Testing Technology Co., Ltd., Guangzhou Guangdong 511400, China)

Abstract: In the chemical production environment, the application of innovative monitoring technology is crucial. With the help of new sensors and spectral analysis technology, an intelligent remote monitoring system can be built to capture harmful substances in real time. Simultaneously implementing multiple control measures, including source control, process optimization, and end of pipe treatment. And strengthen management optimization, improve monitoring and control management system, enhance personnel training, optimize equipment management, establish supervision and assessment mechanism, in order to comprehensively ensure the long-term operation of monitoring and control work. These measures can not only effectively reduce harmful substance emissions, but also significantly improve production efficiency, reduce production costs, bring considerable economic benefits, and promote the sustainable development of chemical enterprises.

Keywords: chemical production; Monitoring of harmful substances; Control measures; Management optimization; Economic evaluation

化工生产过程中产生的有害物质不仅直接威胁生产现场工作人员的健康，一旦泄漏至环境，还会引发土壤、水源、空气污染，对生态系统造成严重且难以逆转的破坏。此外，有害物质的排放还会导致企业面临高额的环保罚款、治理成本增加以及市场竞争力下降等问题。因此，加强化工生产环境中有害物质的监测与治理，具有重要的环境意义与经济价值。通过创新监测技术、优化控制手段和强化管理措施，可以有效降低有害物质排放、提高生产效率、降低生产成本、提升产品质量，从而增强市场竞争力，实现经济效益与环境效益的双赢。

1 创新监测技术，实现有害物质实时捕捉

1.1 新型传感器技术的应用

金属氧化物半导体传感器基于表面吸附反应原理，当有害气体分子吸附在其表面并与氧物种反应时，半导体电导率会发生变化，通过测量电导率改变即可检测气体浓度。在实际应用中，需根据化工生产环境（如高温、高湿度）选择合适的传感器，如高温区域可选用耐高温的二氧化锡基传感器。安装时，依据有害气体扩散模型，在大型反应装置周边每隔8m-12m

设置一个传感器，确保区域有效监测。每2个月对传感器进行一次性能检测，包括灵敏度和选择性等指标，保障其在复杂环境下稳定运行。

1.2 光谱分析技术的创新运用

拉曼光谱技术通过激光照射物质分子，产生非弹性散射光，形成独特的拉曼光谱。不同分子的拉曼光谱各异，可用于识别和定量检测有害气体。操作时需先校准激光源和光谱仪，确保激光波长稳定和仪器分辨率准确。随后将激光照射待测气体区域，收集散射光导入光谱仪，并通过专业软件与标准数据库比对，确定有害气体种类和浓度。日常使用中，每半年检测激光源功率和波长，清洁光谱仪光学部件，确保检测准确。复杂环境下还可采用共振拉曼技术，增强信号强度，提高检测灵敏度和准确性。

1.3 智能化监测系统的构建

构建覆盖化工生产区域的传感器网络，将气体、温度、压力等传感器通过有线工业以太网或无线ZigBee、LoRa技术连接至数据采集节点。节点每5分钟采集一次数据并传输至数据处理中心，中心利用高性能服务器和大数据平台，结合卷积神经网络（CNN）

和循环神经网络（RNN）等深度学习算法进行分析。系统基于正常生产状态的多参数关联模型，当数据异常时自动触发预警，分为轻度（黄色）、中度（橙色）和重度（红色）三级。同时，系统生成包含实时数据、历史趋势和异常记录的监测报告，为环境评估和生产调整提供支持。

1.4 远程监控技术的实施

远程监控技术利用4G、5G或Wi-Fi网络，将化工现场的智能传感器和数据采集终端采集的有害物质及环境参数数据传输至云端服务器。工作人员可通过安装监控软件的电脑或手机终端，随时随地查看监测数据。数据异常时，系统会通过短信或邮件通知管理人员和技术人员。技术人员还可远程对设备进行调试和维护，如校准传感器、调整参数或重启设备，从而确保设备正常运行，提高监测效率和可靠性，降低人工巡检成本和安全风险。通过表1，对这些关键数字型数据进行详细梳理，以便更清晰地了解各类监测技术的实际应用要点：

表1 化工生产环境有害物质监测技术关键数据一览表

监测技术类型	传感器间距（米）	数据采集间隔（分钟）	校准/检测周期	预警级别数	通信网络类型
新型传感器技术（以金属氧化物半导体传感器为例）	8-12	-	每2个月	-	-
光谱分析技术（以拉曼光谱技术为例）	-	-	每半年	-	-
智能化监测系统	-	5	持续优化，定期检查硬件	3	工业以太网、ZigBee、LoRa
远程监控技术	-	-	定期检查	-	4G、5G、Wi-Fi

2 多元控制手段，降低有害物质排放浓度

2.1 源头控制措施实施

其一，实施原料替代行动，选用更为环保的原材料，在某些合成工艺里，原本使用的含重金属催化剂，能够替换为新型的无毒或低毒且催化活性相当的金属有机框架（MOF）催化剂，但在替换之前，需要针对新原料开展全面的兼容性测试，涵盖与其他反应物、反应条件的适配性。其二，对生产工艺进行优化，将传统的间歇式反应工艺转变为连续化反应工艺，就以聚合反应来说，连续化工艺能够使反应更加稳定，减少反应副产物的生成，进而降低有害物质产生量。在改造过程中，需要精确计算物料流量、反应温度和压力等参数，重新设计管道布局和设备连接方式，以此确保连续化生产的高效运行。

2.2 过程优化技术应用

一方面，精准控制反应条件，如温度、压力、pH值等。在氧化反应中，将反应温度控制在特定的狭窄区间，如30-35℃，并将压力稳定在0.5-0.6MPa，同时维持反应体系pH值在7-8之间，可使反应朝着目标产物方向进行，减少副反应产生的有害物质。这需要配备高精度的温度传感器、压力传感器和pH值传感器，实时监测并通过自动化控制系统进行精确调节。另一方面，采用分离与回收技术，如在精馏过程中，涉及到关键参数的调整。其中，回流比R的计算公式为： $R = \frac{L}{D}$ ，式中L为回流量，D为塔顶出料量。塔板数N_{min}的计算则可依据Fenske公式（全回流时）：

$$N_{\min} = \frac{\ln[\frac{X_D(1-X_w)}{X_w(1-X_D)}]}{\ln\alpha}$$

其中X_D为塔顶产品中易挥发组分的摩尔分数，X_w为塔底产品中易挥发组分的摩尔分数，α为相对挥发度，用来体现两组分挥发的难易程度差异。通过优化这些参数，能够提高目标产品的分离纯度，同时对未反应的原料和中间产物进行回收再利用。例如，在某有机合成生产中，通过优化精馏塔参数，将目标产品纯度从90%提高到95%，同时原料回收率从70%提升至80%，有效减少了排放到环境中的有害物质。

2.3 末端治理设备运用

在废气处理方面，采用活性炭吸附-催化燃烧联合工艺，利用活性炭的高比表面积吸附有机废气，待吸附饱和后，将废气输送至催化燃烧装置，在贵金属催化剂作用下，于300-400℃的低温环境中将有机物氧化分解为二氧化碳和水。在废水处理方面，采用混凝沉淀-生化处理-膜过滤组合工艺，通过混凝剂去除悬浮物，利用微生物代谢分解有机物，最后经反渗透膜过滤，确保出水达标。

2.4 综合管理机制构建

建立严格质量控制体系，对每批次原料、中间产物和最终产品进行成分分析、关键指标检测及有害物质含量检测，确保生产全程符合环保要求。制定详尽操作规范和应急预案，每月组织操作技能培训和应急演练，提升员工应急能力。引入信息化管理系统，实时监测原料消耗、产品产量和污染物排放等数据，精准分析问题，优化控制手段，持续降低有害物质排放。

3 强化管理优化，保障监测控制长效运行

3.1 完善监测控制管理制度

制定详细监测计划，明确不同区域、不同生产环

节监测频次，如对高风险的化工反应区域每日至少进行3次有害物质浓度监测，对储存区域每2日进行一次全面检测。制定严格设备维护保养制度，规定设备日常维护、定期检修以及故障处理流程，以气相色谱-质谱联用仪为例，每周进行一次日常清洁和性能检查，每月进行一次包括更换易损部件、校准仪器参数等的深度维护，每半年进行一次全面的计量检定，确保设备始终处于最佳运行状态。在控制措施执行方面，明确各岗位人员职责和操作流程，制定涵盖从原料投入至产品产出全过程控制要求的标准化作业指导书，保证控制措施严格执行。

3.2 加强人员专业能力培训

定期组织监测人员参加专业技能培训课程，培训内容包含最新的监测技术原理、仪器设备操作技巧以及数据处理方法等，每年至少安排2次为期一周的集中培训，邀请行业专家授课和现场指导。针对控制环节工作人员开展专项培训，使其熟悉各类控制设备工作原理、操作要点以及应急处理方法，例如对废气处理设备操作人员进行专门的吸附-催化燃烧工艺培训，使其熟练掌握设备启动、运行、停止流程以及常见故障排除方法。鼓励工作人员参加行业研讨会和学术交流活动，拓宽知识面，了解最新行业动态和技术发展趋势，不断提升自身专业素养。

3.3 优化监测控制设备管理

针对所有监测设备实施详细登记流程并构建设备档案，详尽记录设备的型号、购置时间、使用年限以及维护记录等关键信息。依照设备的使用频率以及性能特点，量身定制个性化的维护计划。就以在线监测仪器为例，每日执行一次数据准确性检查，每周开展一次仪器校准操作；而对于实验室分析仪器，在每次使用完毕后进行清洁保养工作，每季度开展一次性评估。及时对老化、落后的设备予以更新，依据化工生产环境的动态变化以及监测控制的实际需求，选用更为先进、精准的设备。

3.4 建立严格监督考核机制

成立专门监督小组，每月至少开展一次内部检查，每季度进行一次全面评估，重点检查监测数据准确性、控制措施执行、设备运行状态及人员操作规范。制定清晰考核指标与奖惩措施，将监测控制工作成效与绩效挂钩。对表现优秀者给予物质奖励和精神表彰，对违规者严肃批评并处罚。通过监督考核机制，激励约束并重，推动工作持续改进，确保长效稳定运行。

4 经济性评价与效益分析

在化工生产环境中，有害物质的监测与治理不仅关乎环境保护，更与企业的经济效益密切相关。通过

实施先进的监测技术与多元化的控制手段，企业可以在降低有害物质排放的同时，显著提升生产效率、降低生产成本，从而实现经济效益的提升。

以某大型化工企业为例，该企业引入了智能化监测系统和多元控制手段后，实现了对有害物质的精准监测与高效治理。在源头控制方面，企业通过优化生产工艺，将传统的间歇式反应工艺转变为连续化反应工艺，不仅减少了有害物质的产生量，还提高了生产效率，降低了生产成本。据估算，仅此一项改进，企业每年可节省原材料成本约500万元，同时减少了因有害物质超标排放而面临的环保罚款，预计年节省罚款金额达300万元。

此外，企业通过强化管理优化，完善了监测控制管理制度，加强了人员培训，优化了设备管理，建立了监督考核机制。这些措施有效提高了监测控制工作的效率和可靠性，减少了因设备故障和操作失误导致的生产延误和经济损失。据估算，通过优化管理措施，企业每年可减少因生产事故导致的直接经济损失约100万元。

5 结语

化工生产环境中有害物质的监测与控制是一项需长期推进的复杂任务。创新监测技术利用先进原理和设备，为精准捕捉有害物质提供可能。多元控制手段从源头把控、过程优化和末端治理等多环节降低排放浓度。强化管理优化则通过完善制度、培训人员、优化设备管理和建立监督考核机制，保障监测控制体系的长效运行。这些措施不仅能有效降低有害物质排放，还能显著提升生产效率、降低生产成本、提升产品质量，从而增强企业的市场竞争力，实现经济效益与环境效益的双赢。

参考文献：

- [1] 陈景顺, 张瑶琴, 宣坤飞. 萃取法在化工行业环境监测中的应用 [J]. 山西化工, 2022, 42(04):118-121.
- [2] 于静. 新兴焦化工业园区大气中有害物质分析与控制对策研究 [D]. 哈尔滨工业大学, 2013.
- [3] 卢启冰, 梁长培, 邱哲夫, 等. 氯碱生产离子膜新工艺空气中有害物质监测及评价 [J]. 职业卫生与病伤, 1996, (03):152-153.
- [4] 王磊. 石油化工废水处理技术的研究与实践 [J]. 当代化工研究, 2024, (03):89-91.
- [5] 李秉莹. 精细化工废水处理技术及控制对策研究 [J]. 环境与发展, 2020, 32(11):63-64.

作者简介：

徐小丹（1994），女，本科，汉族，广东阳江人，中级工程师，研究方向：主要从事检测专业。