

面向多排放源的 VOCs 环保治理智能化策略分析

张小凤¹ 冷斌² 张修进²

1. 青岛谱尼测试有限公司; 2. 青岛深远生态环境技术有限公司

摘要: 针对多源异构 VOCs 排放治理难题, 文章提出面向多排放源的智能化环保治理策略, 系统架构包含请求识别、自检验证、全过程控制与协同治理的 6 个模块, 对泄漏、检修及超压等不同排放类型进行解析与响应。引入排放浓度与速率双阈值标准体系, 设计多层套管结构与风量分配序列, 实现对排放源的全过程跟踪与分级控制。研究表明, 该系统具备良好的治理适应性、安全性与资源效率, 环境与经济效益显著。

关键词: VOCs 治理; 多排放源; 智能化控制; 协同策略; 全过程管理

VOCs 作为典型的大气污染物, 广泛存在于石化、化工及涂装等行业的各类排放活动中。面对泄漏、检修和超压等多类型排放源, 传统治理手段难以实现统一、高效响应。本文围绕多源 VOCs 排放治理的智能化需求, 提出系统化的控制策略与技术架构, 探索全过程协同治理路径。

1 多排放源 VOCs 治理需求分析

1.1 VOCs 排放源分类与排放特征

VOCs 排放源主要分为泄漏排放、检修排放、超压排放 3 类。泄漏排放通常因管道腐蚀、密封失效等设备缺陷引发, 具备隐蔽性强、预警困难的特点; 检修排放多在设备维护阶段产生, 具有计划性强、集中释放的特性; 超压排放则在系统压力异常时突发释放, 呈现高强度、短时性的应急特征^[1]。

1.2 多源排放带来的治理难题

多种类型 VOCs 排放源并存, 使治理工作面临非连续性、高风险和复杂工况的叠加挑战。泄漏源多点分散、监测难度大; 检修排放的时间上高度集中,

需快速调度响应; 而超压排放则突发性强, 易引发安全事故。传统治理手段难以动态适应各类排放源特征, 导致资源浪费、处理滞后与环境风险叠加。

2 VOCs 治理系统的结构与方法设计

2.1 总体架构

系统整体架构围绕“请求驱动—规则检验—流程治理—标准引导—框架管理—协同响应”的闭环逻辑构建, 设置 6 大核心功能模块, 如图 1 所示。请求接收模块用于实时捕捉来自不同源的 VOCs 废气治理请求; 请求解析模块对请求进行分类识别并配置差异化管道封闭自检规则; 流程触发模块在自检通过的基础上启动治理流程; 标准引入模块用于加载排放浓度与速率的安全阈值; 自组织框架模块负责整合多个治理项目, 形成动态管理体系; 全过程治理模块实现从源头到末端的路径识别与控制策略协同。6 模块协同运行, 可实现对多类型 VOCs 排放源的智能感知、精准处置与全流

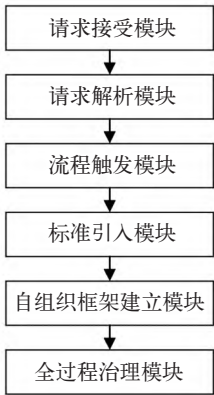


图 1 VOCs 智能治理系统功能架构图

程管控。

2.2 VOCs 废气治理请求的分类与解析机制

系统接收到的 VOCs 治理请求主要包括 3 类: 泄漏排放标记、检修排放标记与超压排放标记。每类标记均包含排放源位置、排放类型、排放周期及时间窗口等关键信息。请求解析模块首先与请求发送端建立数据连接, 提取排放背景与实时状态参数, 并结合系统数据库进行对照判断。在识别排放类型后, 系统自动配置匹配的管道封闭自检规则, 并生成相应的响应

策略。该机制打通了“排放类型—治理路径—控制策略”的链条，增强了系统对多源排放的适配能力，实现请求响应的自动化与智能化，有效提升 VOCs 治理的实时性与准确性。

2.3 管道封闭自检规则与差异化配置方法

为防止治理过程中 VOCs 二次泄漏，系统引入管道封闭自检规则作为流程触发前的前置判断机制。系统通过排放时间窗口与预设周期，进行差异化自检频次与策略配置：高风险点加强监测频次与阈值判断，低风险区域则适度简化^[2]。引入正向与反向弹性调配机制，可根据泄漏排放高发或低发时段，动态调整检测范围与敏感性，实现资源的优化分配与风险的精准控制，提升治理效率与安全保障水平。

3 自组织治理框架与全过程协同策略

3.1 多源头治理项目的统一标记与管理

在复杂工况下，为实现多点 VOCs 排放的协同治理，系统构建自组织框架，对多个排放源实施统一标记与动态管理。通过源头识别机制，系统可对各治理项目进行 ID 编码、风险级别标记、周期绑定等操作，实现对泄漏、检修、超压等不同类型排放的归类管理。系统将源头信息与末端处理单元相匹配，形成“源-末”映射表，便于全过程控制逻辑的实施。

3.2 多层套管结构与泄漏扩散序列设置

为有效抑制 VOCs 泄漏扩散风险，系统在排放源关键节点构建多层套管结构。各层套管之间设计有间隙区域，形成安全缓冲区，具备初步封堵、检测和导向能力。当泄漏发生时，VOCs 将按“内层→外层”的路径扩散，形成可控的泄漏扩散序列。系统可基于该序列布设检测传感器与自动切断装置，提升早期响应能力。该结构化设计实现了泄漏路径的可预判与分级控

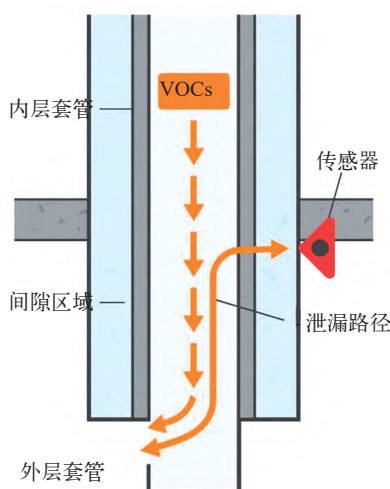


图2 多层套管结构与泄漏路径示意图

制，显著提升应急治理的精度与响应速度，多层套管结构与泄漏路径如图2所示。

3.3 风量调节结构与风量分配序列设计

在末端处理阶段，系统通过部署风量调节结构（如变频风机、流量阀门等）对 VOCs 废气流动进行动态控制。风量调节结构根据实际排放强度、设备负荷与环境条件，自动调配处理气体的流速与流量，从而制定风量分配序列。该序列用于指导废气在不同处理单元间的分布比例与流动节奏，有助于防止局部过载或处理能力浪费。

3.4 多层次协同控制模型构建与功能

系统基于多源项目与控制策略，构建多层次协同控制模型。该模型将第一层至第 M 层控制策略进行逻辑集成，涵盖数据采集、信号处理、控制指令下发与状态反馈机制。模型内部嵌套弹性调控逻辑，可根据排放类型、工况压力与时段分布，进行策略再配置。通过该模型，系统不仅实现了排放全过程的“感知—判断—执行”闭环控制，也为多个治理项目提供跨单元协同调度能力，提升了治理系统的鲁棒性与智能水平^[3]。

4 实施策略与应用场景示例

4.1 实施步骤流程图说明

流程起点为请求接收，系统获取

泄漏、检修或超压排放标记；随后进入请求解析与管道封闭自检阶段，以确保流程触发前的系统密闭性；在自检通过后，系统引入排放安全标准，并根据类型启动定制化治理流程；随后，自组织框架管理多个项目，并在全过程治理模块中实现“源头—末端”协同响应。

4.2 典型泄漏场景下的应急响应流程

以“高温反应区阀门垫片老化引起微泄漏”为典型场景，系统首先由传感器检测出浓度异常并生成泄漏排放标记，请求接收模块立即捕捉信息，解析模块启动相应自检规则并确认风险等级。流程触发模块立即激活第一层控制策略，关闭近区阀门并联动风量调节结构进行导流稀释。系统同步启动末端治理单元，并由全过程治理模块实施动态跟踪与流速控制，最终实现泄漏控制与安全排放。

4.3 多排放源协同治理的实际效益分析

在某典型化工园区试点中，该系统成功接入 15 个 VOCs 治理项目，涵盖定点排放、检修排放与突发泄漏场景。相比传统分散治理方式，协同治理系统实现了治理资源的统一调度、排放过程的动态识别及多项目协同联动，VOCs 总体排放浓度降低 34%，治理响应时间缩短 40%，系统运行能耗下降 18%，不同治理方式下的 VOCs 减排效率与响应时间对比如图3所示。

4.4 与传统技术对比分析

传统治理技术如“氮封+负压抽吸”方式依赖持续氮气供应，运行成本高，密封效果受限于波动压力；“多级洗涤+活性炭吸附”虽然净化率高，但活性炭更换频繁、容量受限，易产生二次污染。

相比之下，本系统通过封闭自检+多层控制策略，强化源头安全隔离；引入风量分配与流动模拟实现动态过程控制；通过协同调度与策略优化，避免了“高成本+低适应性”的弊端。

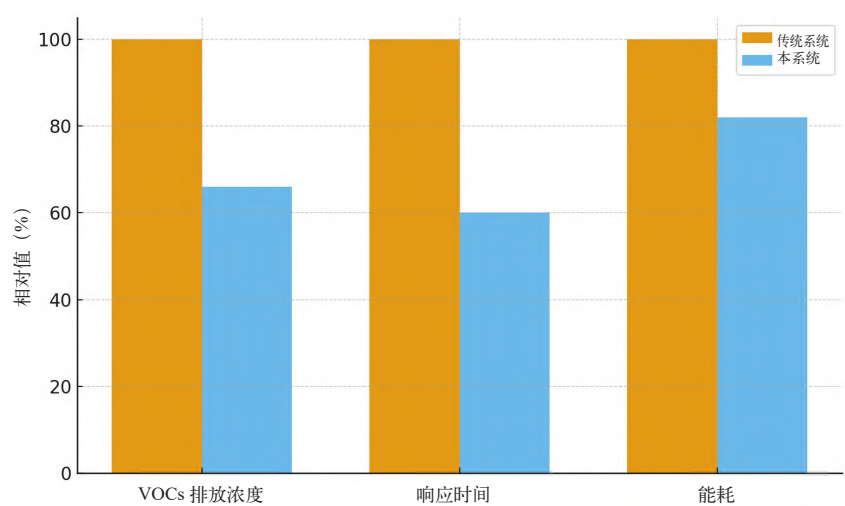


图3 不同治理方式下的 VOCs 减排效率与响应时间对比

5 技术优势与环境效益评估

5.1 安全性提升分析

系统通过配置多层管道封闭自检机制、泄漏扩散序列控制与应急响应策略，实现从源头预防到末端处置的全链条安全控制。

特别是在多源复杂排放场景下，通过泄漏高发时段识别、正反向弹性调配等机制，提前识别潜在隐患并动态调整治理策略，有效降低二次泄漏与爆炸风险。多层套管结构增强了物

理隔离能力，协同治理策略缩短了反应时间，使系统具备强大的抗扰动能力与应急响应水平，大幅提升整体运行安全性。

5.2 治理效果与排放控制能力提升

通过全过程治理与流体路径优化模型，系统可精准控制 VOCs 排放的浓度与速率，确保各类排放场景下均满足环保阈值要求。结合排放浓度阈值、速率阈值双标准，系统在各治理节点实施动态调节，提升处理单元效

率；自组织框架可实现多项目协同运行，避免治理资源浪费与处理盲区。实践表明，本系统在高强度泄漏与短周期检修排放中均保持稳定控制水平，整体治理效率提升 20% 以上，远优于传统静态吸附式处理路径。

5.3 资源优化配置与运行成本对比

图 4 展示了在泄漏响应过程中，传统治理方式与智能治理系统对 VOCs 排放浓度的控制趋势。智能系统在前 6 min 内迅速将浓度降至阈值以下（80 ppm），而传统方式则在 15 min 后仍未达到合格标准，体现出智能策略在污染控制上的显著优势与响应效率。

6 结语

通过对多排放源 VOCs 治理流程的系统设计与分析，本文构建了涵盖排放识别、自检控制、标准引导与协同响应的完整治理框架。该治理体系具备良好的适应性与智能化特征，能够有效提升多源 VOCs 排放治理的精度与响应效率。多层次控制策略与风量优化手段的应用，也使治理过程更具安全性与经济性。

参考文献：

[1] 薛松梅. 低碳环保技术在VOCs治理中的应用案例分析[J]. 节能与环保, 2025(03):56-63.

[2] 工业边缘赋能VOCs治理: 精准控温省气16% 破解环保减排双重难题[J]. 现代制造, 2025 (02):13.

[3] 涂雪峰. 工业源VOCs污染治理存在的问题及对策建议[J]. 黑龙江环境通报, 2024, 37 (12):101-103.

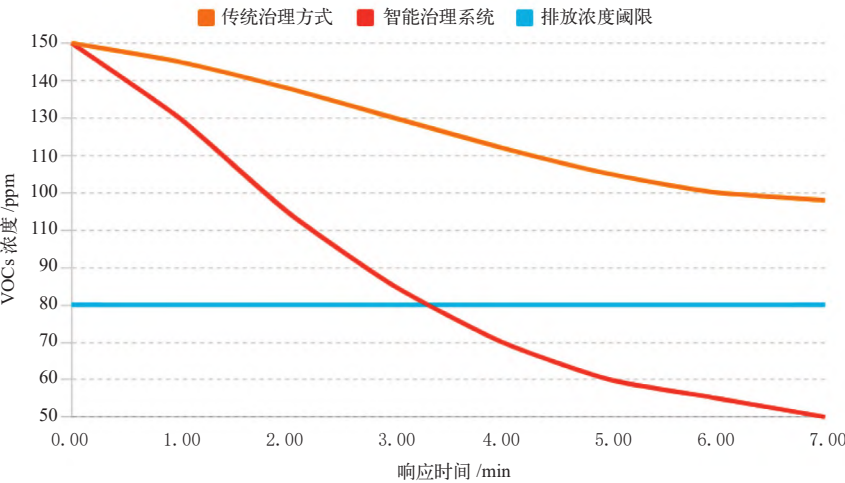


图4 VOCs 排放浓度控制能力随时间变化趋势图