# 厂区环境空气质量监测系统建设与应用研究

黄培兵　刘清汉　马全成
新疆广汇煤炭清洁炼化有限责任公司　新疆　哈密　839000

**摘　要：**针对厂区无组织排放复杂、工况波动大带来的空气质量监测难点，本文开展厂区环境空气质量监测系统建设与应用研究。梳理厂区大气污染物来源及工况对监测的干扰因素，明确系统功能需求，完成系统总体方案、硬件单元配置与软件平台开发，阐述现场施工、调试校准及试运行全流程实施要点。通过构建感知-传输-平台一体化监测体系，实现厂区多因子连续监测、数据质控与污染预警，可为同类厂区环境监测工程建设与环境管控提供实践参考。

**关键词：**厂区；环境空气质量；监测系统；无组织排放；数据质量控制

引言：工业厂区生产过程产生多种大气污染物，无组织排放具有阵发性、随机性特征，传统人工监测难以持续反映厂区真实空气质量状况。为实现厂区污染动态监管，建设自动化空气质量监测系统具备现实必要性。本文结合厂区污染特征与生产工况，从需求分析、方案设计、软硬件开发到现场落地实施开展系统研究，解决点位布设、设备适配、数据质量管控等实际问题，探索适配厂区生产场景的监测系统建设路径，为厂区环境治理提供技术支撑。

## 1 厂区空气质量特征与监测需求分析

### 1.1 厂区主要大气污染物来源及污染特征

厂区大气污染物来源可分为固定源、无组织源与移动源三类。固定源主要包括生产锅炉、工艺炉窑等燃烧与加工装置的排放口；无组织源涉及原料堆场、装卸转运、储罐呼吸阀与装置跑冒滴漏等环节；移动源以场内运输车辆和机械作业为主。不同类型污染物在厂区的扩散规律存在差异：颗粒物多集中于下风向和装卸作业面，二氧化硫、氮氧化物随燃烧工况波动，挥发性有机物与恶臭气体则呈阵发性排放特征，受气象条件影响明显。

### 1.2 厂区生产工况对空气质量监测的影响因素

生产工况是影响监测数据代表性的主要变量，其影响体现在以下几个方面：（1）负荷波动。装置启停、负荷升降会直接改变排放强度，造成污染物浓度在时间尺度上呈周期性或突变性变化，监测数据需结合工况识别有效性。（2）工艺介质差异。不同生产单元排放的污染物种类和浓度区间差异较大，监测点位与因子设置须与工艺特性对应，避免以单一断面代表全厂。（3）泄漏与检修状态。设备检修、置换吹扫及临时开停车期间，无组织排放明显增强，对厂界及敏感点监测结果形成叠加干扰。（4）气象与地形叠加。风向、风速、逆温层及厂区建筑物布局共同影响污染物迁移，监测点位布设和结果判读须纳入这些环境因素。

### 1.3 厂区环境空气质量监测系统功能需求

结合上述污染特征与工况影响，系统功能需求可归纳为四方面：（1）多因子实时监测。覆盖颗粒物、气态污染物及特征因子，满足连续自动采样与数据即时上传要求。（2）数据质量控制。具备定期校准、比对及异常数据甄别能力，保证监测结果的准确性与可比性。（3）报警与溯源支撑。针对超标或异常波动及时预警，并能结合气象与工况信息辅助污染溯源分析。（4）管理应用与展示。实现历史数据统计、报表生成和可视化展示，为厂区环境管理与治理决策提供依据[1]。

## 2 厂区空气质量监测系统总体方案设计

厂区空气质量监测系统总体方案遵循"传感器感知—数据采集传输—平台集中管理"的分层架构思路，充分考虑厂区复杂生产工况、气象条件干扰以及后期运维迭代要求，在满足监测精度与运行稳定性的前提下，兼顾建设成本、运维便利与后续扩展需求，方案设计要点如下：（1）系统架构层面，采用"现场监测层+数据传输层+平台管理层"三级结构，现场监测层部署多因子监测站与无组织点位，兼顾厂界、重点产尘产污单元的监测覆盖；数据传输层依托有线与无线方式完成数据上送，适配厂区网络波动的实际工况；平台管理层承担数据存储、分析与展示，三者通过统一接口标准实现互联互通，降低不同设备间的对接适配难度。（2）点位布设层面，按照固定源排放口、厂界环境质量、敏感目标及主导风向下风向等原则统筹规划，兼顾上风向对照点位，有效扣除区域本底污染带来的结果干扰，保证监测结果在空间上的代表性，点位数量与因子配置结合厂区平面布局与生产工艺确定，避免点位盲目增设造成资源浪费。（3）硬件组成层面，主要包括污染物感知传感器、数据采集传输单元、供电与防护装置及校准质控配套设

备，选型时统一考虑量程、精度、响应时间与环境适应性，针对厂区腐蚀、粉尘多的现场环境做好设备耐受评估，关键部件冗余配置以提升系统可靠性，降低单点故障造成监测中断风险。（4）软件平台层面，功能涵盖实时数据采集存储、统计分析与报表、异常报警预警及可视化展示，平台采用模块化开发，预留与厂区其他管理系统对接的接口，便于后续功能扩展与数据共享。总体方案以实现厂区空气质量"测得准、传得快、管得住"为目标，统筹技术可行性与工程落地性，为系统现场建设、调试运行及后续工程应用提供整体设计依据[2]。

## 3 厂区空气质量监测系统硬件配置与软件平台开发

### 3.1 监测系统硬件单元配置与实现

监测系统硬件单元由污染物感知、数据采集传输、供电防护及校准质控四类部件构成，各单元按"感知—采集—传输—保障"的链路配置，具体实现如下：（1）污染物感知单元。颗粒物监测采用β射线法或光散射法传感器，依据厂区颗粒物浓度水平选择量程，粉尘浓度较高区域优先选用β射线法，其测量受湿度、气溶胶粒径分布影响较小，能有效降低测量漂移；光散射法传感器响应速度快、便于连续观测，宜用于低浓度或趋势监测场景，使用中需结合除湿与自动校准消除零点偏移。气态污染物选用电化学或非分散红外原理传感器，二氧化硫、氮氧化物、一氧化碳及挥发性有机物分项配置，各传感器量程按工艺排放强度设定，并预留裕度应对工况波动，保证高浓度冲击时不致饱和失真。传感器具备自动调零、温度补偿与标气自检功能，统一接口规范，便于现场更换与维护，也降低后续备件管理成本。（2）数据采集与传输单元。采集单元按设定周期轮询各传感器，完成模数转换与本地缓存，异常时段数据予以保留待补，避免瞬时故障造成数据断档；传输单元采用有线与无线双通道冗余设计，正常情况下走厂区网络，断网时自动切换至无线链路，保证数据连续上送。通信协议统一封装，支持远程参数下发、状态查询与固件升级，采集单元内置时钟同步机制，确保多站点数据时间戳一致，为跨点位关联分析提供基础。（3）供电与防护单元。现场监测站配置稳压电源及不间断电源，短时停电由后备电池接管，保障数据采集与传输不中断，恢复供电后自动切换并记录断电事件；机柜按厂区环境特点设置防尘、防潮、防腐蚀及温控措施，传感器进气口安装除湿与过滤装置，滤膜按周期更换，降低环境因素对测量结果的干扰，延长传感器与核心部件使用寿命。（4）校准与质控配套装置。配置标准气体及校准装置，按规范周期对气态污染物传感器开展零点与跨度校准，颗粒物传感器定期与参考仪器比对；校准记录同步上传平台，为数据质量追溯提供依据。硬件选型时统一考虑量程、精度、响应时间与环境适应性，对关键部件实施冗余配置，提升系统整体可靠性，减少单点故障导致的监测中断。

### 3.2 监测系统软件平台功能开发

软件平台以数据管理与应用为核心，采用模块化架构开发，各功能模块职责清晰、接口统一，主要功能如下：（1）实时数据采集与存储模块。接收现场监测站上送的监测数据，完成协议解析、有效性校验与入库存储，支持多站点并行接入与并发处理；存储采用时序数据库，按分钟级与小时级分别建表，保留原始数据与处理数据两套记录，前者用于溯源核验，后者用于统计分析，兼顾查询效率与数据完整性。（2）统计分析模块。对监测数据进行日均、时均等统计处理，计算超标率、达标率等评价指标，按排放源、点位与污染物维度生成统计报表，支持按时间段查询导出，满足厂区环境管理定期上报需要；统计口径与限值判定依据统一设定，保证评价结果的一致性与可比性。（3）报警与预警模块。依据污染物浓度限值与工况参数设定分级报警阈值，数据超过阈值时触发报警并推送至管理人员，同时结合气象与工况信息给出超标原因提示，辅助污染溯源与应急处置；报警事件全程留痕，支持处置闭环跟踪，防止漏报与迟报。（4）可视化展示模块。以趋势曲线、点位分布图及数据表等形式呈现监测结果，厂区平面图上叠加各点位实时浓度，便于直观掌握厂区空气质量状况；平台预留与其他管理系统对接的接口，支持后续功能扩展与数据共享，为厂区环境管理决策提供支撑[3]。

## 4 厂区空气质量监测系统现场建设实施

### 4.1 现场施工安装流程

现场施工安装按"点位确认—基础施工—设备安装—线缆敷设—初步检查"的顺序组织实施，具体流程如下：（1）点位确认，依据方案设计点位逐一实地复核，结合厂区建筑物遮挡、障碍物及施工条件微调站位，记录坐标与现场照片；（2）基础施工，按监测站要求浇筑基础或架设立杆，预埋线管与接地装置，确保设备安装面平整、牢固且便于检修；（3）设备安装，将感知传感器、采集传输单元、供电防护装置按接线图纸就位固定，进气口朝向与高度符合采样规范，避免局部气源干扰；（4）线缆敷设，传感器与采集单元间屏蔽电缆分层敷设，动力线与信号线分离，穿管保护并做好标识与封堵，防止信号干扰；（5）初步检查，核对接线、供电与防护措施，清理现场，为后续调试做准备。施工全过程

同步留存施工台账，对安装偏差、现场变更内容做好书面记录，所有隐蔽工序完成后开展复检确认，规避后期因施工缺陷引发的设备故障与监测数据异常，保障安装质量满足系统设计要求。

4.2 设备调试与系统联调测试

设备调试与系统联调是检验建设质量的关键环节，工作分两步展开：（1）单机调试，对各传感器通电检查，核验量程设置、响应状态与输出信号，采集与传输单元测试通信链路，供电单元验证稳压与切换功能，逐台记录调试结果并处理异常；（2）系统联调，将现场各监测站与软件平台接通，测试数据上送、解析与入库全流程，核对各点位数据在平台显示的及时性与一致性，验证报警推送、报表生成及可视化功能，对发现的问题定位到具体单元并整改，直至系统整体运行正常。调试过程完整留存测试记录，针对通信丢包、信号漂移等常见问题建立处置清单，调试完成后开展多次重复模拟测试，排除偶发性故障，为后续系统试运行提供可靠条件。

4.3 传感器校准与数据质量控制措施

数据质量通过校准与过程控制双环节保障，主要措施如下：（1）周期校准，气态污染物传感器按规范周期开展零点与跨度校准，更换标准气体或膜片后立即复核，颗粒物传感器定期与参考仪器比对，校准记录存档备查；（2）异常数据甄别，对平台采集的数据设置有效性判据，剔除传感器漂移、维护期间及明显偏离工况的异常值，异常数据标注原因，不作统计计算处理；（3）质控检查，定期开展标气测试与平行比对，掌握传感器性能变化趋势，发现超差及时标定或更换，确保监测结果准确可比；（4）人员与制度配套，明确校准操作规范与责任人，建立质控台账，保证质量控制措施长期有效执行。

4.4 系统试运行与问题优化整改

系统试运行用于暴露并解决建设遗留问题，确保系统稳定交付。试运行期间重点开展以下工作：（1）连续运行监测，系统按设计工况连续运行一段时间，观察数据完整性、上传稳定性与设备故障率，积累运行记录；（2）数据比对分析，将试运行数据与同期参考数据、历史数据比对，核查监测结果合理性，对偏高或偏低点位复核采样与安装条件；（3）问题汇总整改，对试运行中发现的通信中断、数据跳变、设备防护不足等问题分类登记，逐项整改并复测验证，涉及点位调整的同步更新平台配置；（4）优化完善，根据实际运行反馈调整报警阈值、统计参数与平台展示内容，修订运维制度与操作手册，为系统转入正式运行和后续工程应用奠定基础[4]。

结束语：本文完成厂区环境空气质量监测系统从需求分析、方案设计、软硬件开发到现场建设试运行的整套研究，形成一套可落地的厂区空气质量监测建设技术思路。研究表明，系统建设不仅要重视硬件选型与平台开发，还需把控现场安装、校准质控、试运行整改等实施环节，以此保障监测数据可靠。受现场复杂工况条件限制，传感器长期漂移、多源污染溯源仍存在优化空间，后续可结合气象、生产工况数据进一步提升污染溯源分析能力。

**参考文献**

[1]陈栢健.环境空气质量监测中大数据技术的应用[J].质量与认证,2026,(8):112-114.

[2]周国钳,黄鹤雯,王日超,等.基于传感器技术的环境空气质量监测系统设计[J].粘接,2025,52(10):167-170.

[3]王丽,程芳.环境空气质量监测点位存在的问题及其优化策略[J].生态环境保护与修复,2026,39(4):75-77.

[4]陈雪芬,王丹丹.环境空气质量监测预警系统的建设研究[J].皮革制作与环保科技,2025,6(8):35-36+39.