

固定污染源烟气在线监测与手工监测数据对比研究

唐力勇

衡阳县生态环境监测站

DOI:10.32629/eep.v9i5.3220

[摘要] 为探究固定污染源烟气在线监测系统(CEMS)与手工监测数据的一致性及差异成因,以某陶瓷厂3套脱硫塔排气筒为研究对象,选取二氧化硫(SO₂)、氮氧化物(NO_x)、颗粒物三项核心污染物指标,开展为期6个月的同步监测。依据《固定污染源监测质量保证和质量控制技术规范(试行)》(HJ/T 373-2007)、《固定污染源烟气排放连续监测技术规范》(HJ 75-2017)等标准要求,通过统计分析、相关性检验、误差评估等方法,对比两类监测数据的准确性、稳定性及适用性。

[关键词] 固定污染源; 在线监测; 手工监测; 数据对比; 误差分析; 陶瓷厂; 脱硫塔

中图分类号: X83 文献标识码: A

Comparative study on online monitoring and manual monitoring data of flue gas from fixed pollution sources

Liyong Tang

Hengyang County Ecological Environment Monitoring Station

[Abstract] In order to explore the consistency and differences between the fixed source flue gas online monitoring system (CEMS) and manual monitoring data, three sets of desulfurization tower exhaust pipes in a ceramic factory were selected as the research objects. Three core pollutant indicators, sulfur dioxide (SO₂), nitrogen oxides (NO_x), and particulate matter, were selected for synchronous monitoring for six months. According to the requirements of the "Technical Specification for Quality Assurance and Quality Control of Fixed Pollution Source Monitoring (Trial)" (HJ/T 373-2007), "Technical Specification for Continuous Monitoring of Fixed Pollution Source Smoke Emissions" (HJ 75-2017) and other standards, the accuracy, stability, and applicability of the two types of monitoring data are compared through statistical analysis, correlation testing, error evaluation, and other methods.

[Key words] fixed pollution sources; Online monitoring; Manual monitoring; Data comparison; Error analysis; Ceramic factory; desulfurization tower

引言

固定污染源是大气污染物的主要排放来源,其烟气排放浓度及总量的精准监测是大气污染防治、环境执法监管的重要依据。目前我国固定污染源烟气监测主要采用在线监测系统(CEMS)连续监测与手工监测定期校验相结合的模式。CEMS具有实时性强、数据连续、自动化程度高等优势,已成为污染源日常监管的核心手段;手工监测则凭借操作规范、原理成熟、准确性高的特点,作为CEMS数据有效性审核的基准方法,其操作流程严格遵循《固定污染源排气中颗粒物测定与气态污染物采样方法》(GB/T 16157-1996)《固定污染源废气 低浓度颗粒物的测定 重量法》(HJ836-2017)等国家标准。

1 资料与方法

1.1 监测对象

选取某陶瓷厂3套脱硫塔排气筒,均配备石灰石-石膏湿法

脱硫系统、选择性催化还原(SCR)脱硝系统及电袋复合除尘器,为陶瓷生产线配套的烟气净化处理设施。监测点位设置于每套脱硫塔排气筒出口烟道,严格遵循HJ 75-2017中关于采样位置的要求,手工采样点在CEMS下游30cm处,确保监测环境一致性,采样平台符合安全防护及操作空间要求,满足陶瓷厂现场生产作业的安全规范。

1.2 监测指标与方法

1.2.1 监测指标

核心污染物: 二氧化硫(SO₂)、氮氧化物(NO_x,以NO₂计)、颗粒物;辅助参数: 烟气温度、湿度、流速、压力(用于数据折算与工况分析),符合HJ/T 373-2007中工况核查的相关要求,适配陶瓷厂烟气成分及排放特性。

1.2.2 监测方法

(1)在线监测(CEMS): 采用紫外差分吸收光谱法(DOAS)监测

SO₂和NO_x, 激光散射法监测PM, 设备型号为某品牌CEMS-2000, 经计量检定合格, 日常按HJ 75-2017要求进行零点、跨度校准。监测频率为1次/分钟, 数据自动存储并上传至环保监管平台, 满足数据传输标准要求, 适配陶瓷厂连续生产的监测需求。

(2) 手工监测: 严格按照GB/T 16157-1996、《固定污染源废气二氧化硫测定的定电位电解法》(HJ57-2017)、《固定污染源废气 氮氧化物的测定定电位电解法》(HJ693-2014)、《固定污染源废气 低浓度颗粒物的测定重量法》(HJ836-2017)执行。每套脱硫塔排气筒每月开展1次手工监测, SO₂、NO_x每次采集6个数据, 每组采样时间不少于5分钟, 颗粒物每次采样准体积不小于1立方米, 取平均值作为手工监测结果, 实验室分析质量控制符合HJ/T 373-2007中实验室分析质量控制要求。

1.2.3 监测周期与数据筛选

监测周期为6个月(共24周), 每套脱硫塔排气筒获取24组手工监测数据, 同步提取对应时段CEMS的小时均值数据(每组手工监测对应1个CEMS小时均值), 确保两类数据的时间匹配性。数据筛选严格遵循HJ/T 373-2007及《污染源自动监测设备比对监测技术规范(试行)》要求: 剔除CEMS故障、校准期间及手工监测操作异常的数据, 考虑陶瓷厂生产工况波动的影响, 最终有效数据量为#1脱硫塔22组、#2脱硫塔23组、#3脱硫塔21组, 总有效数据76组。

1.2.4 数据处理方法

本研究采用SPSS 26.0统计分析软件对同步监测数据进行系统处理, 具体分析方法如下:

相关性分析: 采用Pearson积矩相关分析方法, 计算CEMS与手工监测数据的相关系数 r , 量化两类监测数据的线性关联强度。参照统计学通用判定标准: $r \geq 0.8$ 时判定为强线性相关, $0.5 \leq r < 0.8$ 为中等线性相关, $r < 0.5$ 时为弱线性相关, 以此验证CEMS对污染物浓度变化趋势的响应一致性。

误差分析: 通过计算绝对误差(AE)、相对误差(RE)及标准差(SD)三维度指标, 综合评估两类监测数据的准确性与稳定性。其中, 相对误差计算公式为: $RE = |\text{CEMS监测值} - \text{手工监测值}| / \text{手工监测值} \times 100\%$ 。误差评估严格参照《固定污染源烟气排放连续监测技术规范》(HJ 75-2017)及《污染源自动监测设备比对监测技术规范(试行)》中的相关要求, 明确数据偏差的可接受范围。

2 监测结果与数据分析

2.1 数据总体情况

6个月监测期间, 陶瓷厂3套脱硫塔排气筒配套生产线运行工况稳定, 生产负荷维持在75%-100%之间, 脱硫脱硝及除尘系统连续正常运行, 符合HJ/T 373-2007中工况核查要求。CEMS监测的SO₂和NO_x平均值略低于手工监测, 其中SO₂CEMS均值为15.6mg/m³, 手工监测均值为17.4mg/m³; NO_xCEMS均值为62.3mg/m³, 手工监测均值为51.5mg/m³; 而颗粒物CEMS均值为13.7mg/m³, 低于手工监测均值15.8mg/m³。

从标准差来看, 两类监测方法的SO₂和NO_x数据离散程度相

近, SO₂CEMS标准差为7.2mg/m³, 手工监测为6.8mg/m³; NO_xCEMS标准差为9.5mg/m³, 手工监测为8.9mg/m³; 颗粒物数据的CEMS标准差(4.3mg/m³)显著大于手工监测(2.1mg/m³), 说明陶瓷厂脱硫塔排气筒颗粒物的在线监测数据稳定性较差。

2.2 相关性分析结果

三类污染物的CEMS与手工监测数据均呈强正相关, SO₂相关系数 $r=0.942$, NO_x $r=0.928$, PM $r=0.896$, 表明CEMS能够较好地反映陶瓷厂脱硫塔排气筒污染物排放浓度的变化趋势, 与手工监测的整体变化规律一致, 符合HJ 75-2017中对CEMS数据相关性的基本要求, 适用于陶瓷行业的日常监测监管。

3 差异成因分析

3.1 监测原理与技术特性差异

SO₂和NO_x监测: 手工监测采用化学分析法, 通过采集烟气样品进行实验室显色反应, 测量精度高, 但受采样效率、样品保存条件影响, 需严格遵循HJ/T 373-2007中样品采集、保存与运输要求; CEMS采用紫外差分吸收光谱法, 基于污染物分子对特定波长光的吸收特性进行实时测量, 响应速度快, 但易受烟气中水分、粉尘、其他气体组分(如CO₂、O₂)的干扰。陶瓷厂烟气中含陶瓷生产特有粉尘及挥发性组分, 烟气湿度较高时, 水分子会对紫外光产生吸收, 导致CEMS监测值偏低, 这与本研究中CEMS的SO₂、NO_x平均值略低于手工监测的结果一致, 符合HJ 76-2017中关于干扰因素的相关说明。

3.2 采样方式与代表性差异

手工监测采用多点采样法, 根据烟道断面尺寸设置3-20个采样点, 严格按照GB/T 16157-1996要求布点, 采集的样品更具代表性; 而CEMS采用单点固定采样, 若烟道内流速分布不均匀(如存在涡流、偏流), 单点采样可能无法反映整个断面的污染物平均浓度。本研究中陶瓷厂脱硫塔排气筒监测点位的烟道断面流速标准差为1.2m/s, 流速不均匀系数为0.32, 未满足HJ 75-2017中烟气分布均匀性要求(相对均方根 $\sigma_r \leq 0.15$), 可能导致CEMS采样代表性不足, 尤其是陶瓷行业颗粒物粒径偏细、易悬浮沉降, 单点采样的偏差更为明显。

3.3 设备运维与操作规范性差异

CEMS运维: 部分陶瓷企业对CEMS的日常维护不够规范, 未严格按照HJ 75-2017要求开展定期校准与维护, 如零点、跨度校准频率不足(未达到每周1次的要求)、光学镜片清洁不及时、采样管路漏气等, 都会影响监测数据准确性。陶瓷厂生产现场粉尘含量较高, 易造成CEMS光学部件污染及管路堵塞, 本研究中#3脱硫塔CEMS使用年限较长, 激光发射器功率衰减, 未及时更换核心部件, 导致颗粒物监测灵敏度下降, 数据误差高于其他两套脱硫塔, 这与HJ 75-2017中关于CEMS日常运行管理与质量保证的要求不符。

4 结论与建议

4.1 研究结论

固定污染源烟气CEMS与手工监测数据整体呈强相关, 陶瓷厂脱硫塔排气筒SO₂、NO_x、颗粒物的相关系数分别为0.942、0.

928、0.896,表明CEMS能够有效反映陶瓷行业脱硫塔排气筒污染物排放浓度的变化趋势,可作为陶瓷厂日常监管的可靠依据,符合HJ 75-2017中对CEMS性能的基本要求。

两类监测数据的准确性存在差异:SO₂监测数据准确性最高,平均相对误差为8.3%,无显著性差异;NO_x平均相对误差为9.7%,存在轻微显著性差异;颗粒物监测数据准确性最差,平均相对误差为16.8%,存在极显著性差异,部分样本不满足比对监测技术规定要求,是陶瓷厂脱硫塔排气筒监测质量管控的重点指标。

4.2针对性建议

4.2.1优化CEMS运维管理,严格遵循标准要求

(1)加强日常校准与维护,针对陶瓷厂现场粉尘多的特点,按HJ 75-2017要求增加零点、跨度校准频率(每周至少1次),提高光学镜片清洁频次、定期检查采样管路密封性及及时清理堵塞,对使用年限超过5年的设备及时更换核心部件,建立完整的运维记录档案;

(2)针对颗粒物监测,采用激光散射法与β射线吸收法联用的CEMS设备,结合陶瓷行业颗粒物粒径分布修正模型,提升监测准确性,符合HJ 836-2017中低浓度颗粒物测定的技术要求;

(3)在脱硫塔排气筒烟道内设置流速均匀化装置,按照GB/T 16157-1996及HJ 75-2017要求优化CEMS采样点位,确保采样代表性,对流速不均匀的烟道应增加采样点数量,适配陶瓷厂烟道烟气流动特性。

4.2.2规范手工监测操作,强化质量控制

(1)严格按照国标要求进行多点采样,针对陶瓷厂烟气粉尘黏性强的特点,采样前后彻底清理采样设备,确保采样嘴与烟气流动方向垂直,颗粒物采样标准体积不小于1立方米,采样过程同步记录生产线工况、原料及工艺参数,符合HJ/T 373-2007中工况核查与样品采集要求;

(2)加强实验室质量控制,定期校准分析仪器,规范试剂配制与样品保存流程,严格执行全程序空白、平行样测定等质量控制措施,减少分析误差,确保数据可溯源。

4.2.3完善监测数据审核机制,结合标准规范开展综合评估

(1)建立CEMS与手工监测数据的联动审核制度,参照《污染源自动监测设备比对监测技术规范(试行)》要求,当两类数据相对误差超过±15%(PM为±20%)时,及时排查差异成因,重点核查设备运维、采样操作及陶瓷厂生产工况、工艺调整等情况;

(2)结合陶瓷厂生产线负荷、脱硫脱硝系统运行参数、原料更换等辅助信息,对监测数据的合理性进行判断,避免单一依赖某类监测数据,同时按照HJ/T 373-2007要求完善监测报告,确保数据审核流程规范。

5 结语

随着监测技术的迭代升级与环保标准的不断完善,固定污染源监测将朝着精准化、智能化、全覆盖方向发展。后续需持续关注行业特征污染物监测技术的创新应用,深化多行业、长周期的监测数据对比研究,进一步完善监测质量控制体系,为打赢蓝天保卫战、建设生态环境友好型社会提供更坚实的技术保障。

[参考文献]

[1]张宇,王丽,刘杰.固定污染源颗粒物在线监测技术现状与发展趋势[J].中国环境监测,2021,37(2):1-8.

[2]环境保护部环境监测总站.固定污染源自动监测系统运行与考核技术规范[M].北京:国环境科学出版社,2018.

[3]陈健,林燕,周强.湿法脱硫系统对烟气监测数据的影响及校正方法[J].环境工程,2020,38(8):143-147.

[4]张帅,钱江,李传新,等.傅里叶变换红外光谱技术在多组分烟气在线监测中的应用[J].大气与环境光学报,2016,11(1):31-36.

[5]孙灵芳,于洪.基于TDLAS技术的在线多组分气体浓度检测系统[J].仪表技术与传感器,2017(3):73-77.

作者简介:

唐力勇(1979--),男,汉族,湖南衡阳县人,大专,工程师,研究方向:环境质量监测。