

Application of Different Standard Methods in Organized Particulate Matter Monitoring in the Steel Industry

Jin Jia

Shanxi Steel Group Hanzhong Iron and Steel Co., Ltd., Hanzhong, Shaanxi, 724200, China

Abstract

Organized particulate matter monitoring in the steel industry serves as a critical link between production operations and environmental compliance. The selection and application of monitoring technologies directly impact regulatory effectiveness and corporate green production standards. This paper focuses on the application of three mainstream monitoring techniques—gravimetric, optical, and β -ray methods—in typical steel production processes. As the benchmark method, gravimetric analysis provides authoritative data for enforcement and calibration in sintering flue gas monitoring. The optical method, with its rapid response characteristics, is suitable for real-time monitoring of primary flue gas in converters. The β -ray method, with its high-precision continuous measurement capability, has become a key technology for total emission accounting in continuous emission sources such as hot rolling. Each method should be scientifically applied based on specific operational conditions, and a rigorous quality control system must be established. Together, these methods form a precise and efficient particulate emission monitoring network in the steel industry.

Keywords

steel industry; organized emissions; particulate matter monitoring

不同标准方法在钢铁行业有组织颗粒物监测中的应用探讨

贾津

陕钢集团汉中钢铁有限责任公司，中国·陕西汉中 724200

摘要

钢铁行业有组织颗粒物监测是连接生产运营与环保合规的核心环节，其技术选择与应用直接影响监管效力和企业绿色生产水平。本文重点探讨了重量法、光学法和 β 射线法三种主流监测技术在钢铁典型工序中的应用。重量法作为基准方法，在烧结烟气监测中为执法与校准提供权威数据；光学法凭借快速响应特性，适用于转炉一次烟气的瞬时过程监控； β 射线法则以其高精度连续测量能力，成为热轧等连续排放源总量核算的关键技术。各方法需结合具体工况进行科学应用，并建立严格的质量控制体系，共同构成钢铁行业精准、高效的颗粒物排放监控网络。

关键词

钢铁行业；有组织排放；颗粒物监测

1 引言

为深入打好污染防治攻坚战，推动工业领域绿色低碳转型，国家近年来连续出台《关于推进实施钢铁行业超低排放的意见》等一系列强制性环保政策，明确提出对烧结、炼钢、轧钢等重点工序的有组织排放口实施严格监管与连续监测要求。在此背景下，发展并应用精准可靠的颗粒物监测技术，不仅是企业履行法律义务、应对环境监管的必然要求，更是其实现精细化环境管理、挖掘节能减排潜力的内在需求。针对钢铁生产流程复杂、排放特征各异现状，探讨不同标准监测方法的技术原理、适用场景与应用要点，对于构建科学、经济、高效的监测体系，支撑行业高质量可持续发展具有重要的现实意义。

2 钢铁行业有组织颗粒物监测的重要性

2.1 为环保监管提供客观依据

钢铁行业有组织颗粒物的监测，是环境管理不可或缺的客观基石。其核心价值首先体现在为环保监管提供了科学、精准的数据支持。监测数据直接判断企业排放是否达到国家标准，是执行排污许可、实施总量控制以及核定环境保护税的关键依据，确保了环境执法工作的公信力与公正性。对于政策制定者而言，这些持续积累的监测数据，有助于准确评估区域环境质量状况，为制定和调整更合理的排放标准与产业政策提供实证基础，从而推动环境治理体系的现代化。从社会监督角度看，依法公开的监测数据保障了公众的环境知情权，是构建政府、企业、社会三方共治的监督网络的基础。它使企业的环境表现变得可量化、可比较，将环保

【作者简介】贾津（1988-），男，中国陕西勉县，本科，工程师，从事环境监测研究。

行为置于阳光之下,促进了从“要我环保”到“我要环保”的深刻转变,夯实了社会信任。

2.2 为企业绿色转型提供核心动力

对企业自身而言,有组织颗粒物的监测是驱动内部绿色生产与降本增效的核心数据引擎。精确、连续的监测数据不仅是满足合规要求、规避法律风险的证明,更是企业提升环境管理精细化水平的决策基础。通过对排放数据的深度分析,企业能够实时评估除尘等环保设施的运行效能,实现从被动维护到主动预判设备状态的转变,从而优化工艺参数,提升治理效率,并有效降低不必要的能耗与运维成本。这直接转化为生产资源利用效率的提高和运营风险的降低,增强了企业的成本控制能力与市场韧性。长远来看,监测驱动的持续改进机制,引导企业将环保压力转化为技术创新动力,主动探索更高效的污染治理与资源回收技术,为最终实现超低排放乃至低碳转型指明了具体路径,塑造了面向未来的可持续竞争优势。

3 钢铁行业有组织颗粒物主要监测标准的方法

3.1 重量法

重量法以其经典可靠的物理称重原理,成为颗粒物浓度测定的基准方法。该方法的技术核心在于等速采样,即确保采样气流速度与管道内实际流速一致,从而真实捕获流经采样截面的全部颗粒物。技术人员需从固定污染源排气中,将颗粒物捕集于特定材质的滤膜表面,最终依据采样前后滤膜的质量差值和标准状态下的累计采样体积,精确计算出颗粒物质量浓度。其方法优势在于直接测定颗粒物质量,数据可靠,常作为仲裁与其他方法的比对基准。然而,整个流程涉及采样点位代表性选取、采样系统气密性保障、滤膜恒温恒湿平衡与精密称量等一系列复杂且严格的操作环节,对人员技术素养、设备状态及实验室环境控制均提出了极高要求。

3.2 光学法

光学法则是一种基于光与颗粒物相互作用物理原理的间接测量技术。其检测方法是朗伯-比尔定律及相关光散射理论,通过向被测气体发射稳定光束,并检测光束因颗粒物遮挡(光吸收)或方向改变(光散射)而产生的信号衰减或强度变化,从而推算颗粒物浓度。依据检测信号的不同,主要衍生出透射法、散射法及浊度法等技术路线。该方法的显著技术特征在于响应极为迅速,可实现毫秒级的数据刷新,具备连续自动监测能力。其技术复杂性体现在,测量信号本质上反映的是颗粒物的光学等效截面而非直接质量,因此测量结果与颗粒物的粒径分布、形貌、颜色及折射率等物理光学特性密切相关,存在固有的原理性干扰因素,需依赖标准方法进行定期标定转换。

3.3 β 射线法

β 射线法是一种结合了放射性衰变原理与质量累积测

量的技术。其核心技术在于利用低能 β 射线(通常源自碳-14或氩-85等同位素源)穿透物质时发生的衰减规律。 β 射线在穿透特定面积上沉积的颗粒物样品时,其强度衰减程度与沉积颗粒物的质量厚度呈良好的指数关系,而与颗粒物的化学成分、颜色及物理结构基本无关,这一特性是其关键优势。典型系统采用动态采样方式,将环境空气以恒定流量抽取并通过一条洁净的滤带,颗粒物沉积形成测量斑点。测量时, β 射线先后穿透洁净滤带和覆有颗粒物的滤带,通过检测两次穿透强度的差异,直接计算沉积颗粒物的质量,再结合采样体积获得浓度。

4 不同标准方法有组织颗粒物监测中的具体应用

4.1 重量法在钢铁烧结烟气颗粒物基准监测中的应用

重量法作为颗粒物浓度测定的基准方法,在钢铁行业污染源监测体系中具有法规意义上的权威性,尤其适用于对数据准确性与法律效力要求极高的场合,如烧结烟气排放的执法监测、在线系统校准及科研分析。该方法在烧结工序的应用深度契合了该工艺烟气流量大、温度波动、湿度较高且成分复杂的特征。其技术实施严格遵循等速采样原理,需使用能够自动跟踪烟气速度、压力与温度并实时调节流量的高精度采样仪,确保采样嘴入口速度与烟道内气流速度的相对误差控制在 $\pm 10\%$ 以内,以实现对不同粒径颗粒物的代表性捕集。采样点位必须科学布设于脱硫脱硝等治理设施出口的稳定流场区域,严格满足距上游扰动部件不少于 6 倍管径、下游不少于 3 倍管径的直管段要求,以规避烟气再热、补风混合不均带来的干扰。

针对烟气可能的高温高湿及腐蚀性,需选用石英或玻璃纤维等惰性滤膜,并在采样前后于恒温恒湿天平室(如 $20 \pm 1^\circ\text{C}$, $50 \pm 5\%\text{RH}$) 进行不少于 24 小时的严格平衡,使用精度达 0.01mg 的微量天平进行称量。整个过程贯穿严密的质量控制,包括采样系统的气密性校验、流量计的定期标定,以及根据预估浓度合理设定采样时间,确保滤膜增量满足天平最佳称量范围。该方法的核心价值在于其测量结果直接性与溯源性,通过对捕集颗粒物的直接称重,为钢铁企业达标验证、环保监管执法以及在线监测数据的有效性审核提供了不可替代的基准值,构成了整个排放监测体系的计量基础。

4.2 光学法在钢铁转炉一次烟气颗粒物监测中的应用

光学散射法凭借其毫秒级的快速响应能力,在钢铁生产某些工况瞬变、需过程控制的环节展现出独特优势,尤以监测转炉吹炼期产生的高温、高浓度、瞬时波动剧烈的一次烟气最为典型。该方法通过测量颗粒物对入射光的散射强度来间接推算浓度,其关键在于如何在高毒性、高浓度、饱和湿度及存在冷凝风险的苛刻条件下,维持数据的相对准确与设备长期稳定。监测点位通常设于一次除尘排放口,此位置

为烟气净化后的关键节点,可表征系统最终排放状况。烟气在此处温度适中,且仍处于饱和状态。点位选择需确保光学探头插入深度足以接触代表性气流,并必须集成可靠恒定的电伴热或蒸汽伴热系统,使采样腔体或探头窗口温度持续高于烟气露点 10°C 以上,这是防止水汽冷凝污染光学窗口、导致信号衰减或测量失效的技术核心。

设备选型需针对转炉烟气中金属氧化物与石灰粉尘的特性,优先选用后向散射或直角散射原理的仪器,以降低对颗粒物粒径分布的敏感性。仪器需配备宽量程以适应从背景值到吹炼峰值的巨大浓度跨度,并集成高效自动反吹系统,定期以洁净压缩空气或氮气吹扫光学窗口,避免粉尘粘附。由于光散射法的测量信号受颗粒物粒径、折射率、颜色等物化性质影响显著,其直接读数仅为“等效散射浓度”,故必须通过定期(如每季度)在相同点位使用基准重量法进行同步比对测试,建立适用于特定转炉与原料条件的校准曲线(K因子),对实时测量值进行校正,从而将光学响应值转化为可追溯的质量浓度数据。此法实现了对间歇性、爆发性排放过程的实时趋势监控与快速报警,是优化吹炼工艺与除尘系统运行的重要过程监控工具。

4.3 β 射线法在钢铁热轧精轧机烟气排放监测中的应用

β 射线吸收法基于颗粒物对 β 射线的吸收衰减程度直接测定其质量浓度,因其测量结果受颗粒物化学成分与颜色影响极小、与基准重量法相关性优异,已成为固定污染源连续排放监测系统(CEMS)中颗粒物监测的主流技术。在钢铁行业,该方法特别适用于需长期稳定运行、进行精准总量核算的连续排放源,如热轧精轧机组产生的以氧化铁皮为主的烟气监测。其应用满足了环保部门对重点排污口连续监测数据有效性的考核要求。监测点位通常设于精轧机除尘系统总管道或净化设施后的总排口,在满足前6后3直管段要求的同时,需避开多支管汇合可能造成的气流混合不均区,并考虑车间高温环境下的设备散热与振动防护。

针对热轧烟气特点,CEMS系统多采用“动态加热采样+ β 射线测量”或“稀释采样+ β 射线测量”技术路线。前者通过对采样烟气持续加热保温,后者则以固定比例用干

燥洁净零气稀释样气,二者均旨在消除水汽干扰,确保进入测量腔的为干颗粒物样品(。系统集成精细过滤、流量控制与恒流采样等预处理单元,以保证测量条件的稳定性。设备运行依赖于定期更换承载颗粒物的玻璃纤维滤带,并执行自动零点与跨度校准(使用标准膜片)。根据国家技术规范,至少每六个月在相同点位采用基准重量法进行比对监测,获取至少三对有效数据以验证CEMS准确度,确保其示值误差、相关系数等指标持续合规。 β 射线法用于连续源,能提供近乎实时且可追溯至重量基准的质量浓度信号,不仅用于瞬时监控与超标报警,更为计算小时、日、月、年累计排放总量提供数据基础,是企业履行排污许可、编制执行报告及环保核算的核心技术支撑。

5 结语

综合来看,重量法、光学法与 β 射线法三种监测技术在钢铁行业有组织颗粒物监测中构成优势互补、相互校验的技术体系。重量法奠定数据溯源基石,光学法满足过程控制需求, β 射线法为总量控制与合规管理提供核心支撑。实际应用中,需依据不同生产工序排放特性、监测目的和管理要求,科学选择配置监测技术,辅以规范化运维管理与定期比对校准。未来,随监测技术智能化发展与多技术融合,钢铁行业颗粒物排放监控将朝更精准、实时、高效方向演进,为行业超低排放与绿色低碳发展提供坚实技术保障。

参考文献

- [1] 张健.基于大数据分析的钢铁行业颗粒物自动监测系统优化研究[J].现代工业经济和信
息化,2025,15(7):78-79.
- [2] 文志强.固定污染源废气颗粒物监测结果为负值的分析[J].柳钢科技,2024(1):31-33.
- [3] 潘光,杨雨欣,王在峰,等.济南市钢铁集聚区大气细颗粒物中碳组分污染特征[J].环境化学,2024,43(4):1177-1187.
- [4] 杨富廷,文志强.钢铁行业大气污染物深度治理技术探究[J].山东冶金,2023,45(3):56-59.
- [5] 强晓东.忻州市钢铁产业大气污染物排放和减排潜力估算[J].中国图片(中英文),2024(26).
- [6] 聂海亮,宋立丽,范晓君,等.一种钢铁尘泥冶炼烟气颗粒物分级利用装置:CN202211698587.9[P].