

Construction of air pollution source emission inventory and study on emission reduction potential of coal-fired power plants

Wang Zengguo¹ Zhang Tao²

1. Ecological Environment Monitoring Center, Jinan, Shandong, 250101, China

2. Xiamen Longlide Environmental Technology Development Co., Ltd., Xiamen, Fujian, 361008, China

Abstract

Coal-fired power plants are an important source of air pollutant emissions in China. The establishment of a scientific and refined pollution source emission inventory plays a fundamental role in achieving emission reduction targets. This paper systematically sorted out the emission characteristics of major pollutants in coal-fired power plants, identified various emission sources and their contribution ratios, established a high-spatio-temporal resolution emission inventory construction model based on the emission factor method, and verified and corrected the actual monitoring data. On this basis, by setting a variety of control technology paths, this paper evaluates the emission reduction potential and the synergistic reduction effect of pollutants under different scenarios, further analyzes the feasibility of emission reduction measures at the technical and economic levels, and provides theoretical support and decision-making basis for accurate governance and policy formulation of the power industry, which has significant practical significance and engineering guidance value.

Keywords

coal-fired power plant; Emission inventory; Atmospheric pollutants; Emission reduction potential; Control technology

燃煤电厂大气污染源排放清单构建与减排潜力研究

王增国¹ 张涛²

1. 山东省生态环境监测中心, 中国·山东 济南 250101

2. 厦门隆力德环境技术开发有限公司, 中国·福建 厦门 361008

摘要

燃煤电厂是我国大气污染物排放的重要来源, 构建科学、精细化的污染源排放清单对于实现减排目标具有基础性作用。本文系统梳理燃煤电厂主要污染物的排放特征, 明确各类排放源及其贡献比例, 基于排放因子法建立高时空分辨率的排放清单构建模型, 并结合实际监测数据进行验证与修正。在此基础上, 本文通过设定多种控制技术路径, 评估不同情景下的减排潜力与污染物协同削减效果, 进一步分析减排措施在技术与经济层面的可行性, 为电力行业精准治理和政策制定提供理论支撑与决策依据, 具有显著的现实意义与工程指导价值。

关键词

燃煤电厂; 排放清单; 大气污染物; 减排潜力; 控制技术

1 引言

近年来, 燃煤电厂在保障能源供给的同时, 也成为造成区域大气环境质量下降的重要因素。面对更加严格的环境监管要求与“双碳”战略背景, 如何系统掌握其污染排放规律、科学化排放总量并制定高效可行的减排措施, 成为当前研究的重点。排放清单作为污染防控的基础数据支撑, 其准确性直接影响后续政策的针对性与减排效果评估的科学性。相比传统估算方式, 结合实时数据构建动态排放清单已成为趋势, 能够实现污染物排放的精准识别与动态追踪。本

文围绕清单构建方法与减排潜力评估展开系统研究, 以期为燃煤电厂污染控制提供更具实效性的参考路径。

2 燃煤电厂大气污染物排放特征分析

2.1 燃煤电厂污染物种类与排放机制

燃煤电厂在燃烧过程中释放出多种大气污染物, 主要包括二氧化硫、氮氧化物、颗粒物、重金属以及挥发性有机物等。这些污染物的产生与煤质成分、燃烧温度、氧气供给量及燃烧方式密切相关。二氧化硫主要来源于煤中硫分的氧化反应, 氮氧化物则在高温条件下通过燃料氮和热力型反应形成, 颗粒物则源自煤灰及不完全燃烧产物的排放。不同污染物在形成机制、反应路径和物理形态上具有显著差异, 直接影响其在烟气中的分布状态与后续处理难度, 对排放清单

【作者简介】王增国(1971-), 男, 中国山东潍坊人, 本科, 高级工程师, 从事环境监测(监控)研究。

编制的准确性提出更高要求。

2.2 不同机组运行方式对排放特性的影响

燃煤电厂机组的负荷变化、启停频率以及调峰运行策略会对污染物排放特性产生明显影响。在低负荷运行阶段，燃烧效率下降，燃料利用率降低，导致烟气中污染物浓度上升。频繁启停过程中燃烧不稳定，催化还原装置难以维持最佳运行状态，使得氮氧化物与颗粒物排放增多。调峰运行过程中，为应对快速负荷变动，部分控制系统运行参数调整滞后，脱硫脱硝效率下降。不同运行方式下的排放数据呈现波动性特征，对动态排放清单构建提出高时效性与灵活性要求。

2.3 典型污染物（SO₂、NO_x、PM）排放强度统计特征

燃煤电厂典型污染物的排放强度受燃煤类型、锅炉种类、燃烧方式及环保设施配置影响显著。二氧化硫的排放强度在高硫煤使用率较高地区普遍偏大，氮氧化物在采用常规燃烧技术的老旧机组中排放量显著偏高，颗粒物排放则与除尘设备类型密切相关。在多源数据汇总与统计分析中发现，不同地区燃煤电厂排放强度存在一定的地理分异特征，部分区域季节性差异也较为明显。通过建立统一数据口径和排放因子标准，可有效提高排放清单的代表性与适用性，为后续减排潜力评估提供可靠基础。

3 大气污染源排放清单构建方法

3.1 排放清单构建的基本原则与流程

排放清单构建是实现燃煤电厂污染排放精细化管理的重要基础，需遵循系统性、可核查性与可更新性原则，确保各类污染源数据的完整性与一致性。构建流程通常从污染源识别开始，明确不同类型燃烧设备、脱除设施及辅助系统的排放特征，进而收集生产活动数据、燃料性质与运行负荷等基础信息。随后根据污染物种类选用合适的排放因子或建立定量计算模型，结合设备运行情况对排放总量进行核算，形成基础清单数据。在形成初步清单后，还需对数据进行一致性审查和不确定性分析，通过排放总量与监测数据对比进行校核调整，提升清单的准确性。最终将清单数据按时间和空间维度进行分配，生成适用于空气质量模拟与政策评估的高分辨率数据产品。整个流程中需保证数据来源清晰、计算逻辑闭环、结果可追溯，以支持多场景下的大气污染防治应用。

3.2 活动水平与排放因子的选取与计算

活动水平和排放因子是决定排放清单精度的核心变量，前者体现污染源的运行强度，后者反映单位活动量所产生的污染排放强度。对于燃煤电厂而言，活动水平主要包括燃煤消耗量、锅炉运行小时数与负荷率等参数，需要依据生产记录、设备台账与调度系统数据进行系统整合。在数据整理过程中应注重一致性与可比性，避免因不同统计口径造成计算偏差。排放因子的选择需充分考虑设备技术水平、燃料品质、

排放控制工艺与地域特征，优先采用本地实测数据进行修正，若无条件则引用权威数据库中具备代表性的数值。在计算过程中需建立污染物与能源消耗之间的数学关系式，并引入温度、湿度、压力等影响因素进行多因子修正，以提升模型拟合度。多源数据融合与因子动态更新是提升排放清单时效性与准确性的有效路径，能够有效弥补传统静态因子在复杂工况下的局限性。

3.3 时间尺度与空间分辨率设置方法

排放清单在应用中需具备足够的时间动态性与空间适应性，以满足多种环境管理与模拟需求。时间尺度的设定主要基于污染过程的时序特征与控制策略的响应周期，年尺度用于统计分析与政策评估，月、日甚至小时尺度则适用于污染过程模拟与预警系统构建。构建高时间分辨率清单需结合设备运行负荷、燃料投运记录及在线监测数据，通过时间加权分配方式还原真实排放过程。空间分辨率则决定了排放数据在地理空间上的分布精度，需依据污染源密度、区域规模与研究目标合理设定网格划分方案。空间信息的获取可通过遥感影像、地理信息系统与现场调查进行数据叠加与精细化定位，从而实现排放数据的空间化映射。不同尺度下的清单需保持逻辑一致，保障数据转换过程中污染物总量不失真，为大气污染传输模拟与区域联防联控提供坚实支撑。

4 燃煤电厂排放清单应用与验证

4.1 区域尺度排放清单应用场景分析

区域尺度的排放清单作为污染控制与环境治理的基础工具，在多种管理与研究场景中发挥关键作用。在能源结构高度依赖燃煤的区域，通过排放清单可量化电力行业对大气污染物总量的贡献比例，为制定差异化控制目标提供数据支撑。在生态环境分区管控中，清单数据可用于识别污染物高值区与重点排放单元，指导资源配置与治理重点调整。在污染防治攻坚任务推进过程中，排放清单支持污染成因分析与溯源判断，提升区域联防联控的科学性与靶向性。在政策实施效果评估中，通过不同年份清单对比可揭示控制措施的减排绩效与结构变化趋势，从而调整或优化排放控制策略，为实现区域空气质量改善目标提供动态支撑与定量依据。

4.2 排放清单与监测数据的对比验证

排放清单的科学性需通过实测监测数据进行客观验证，以确保排放估算的准确性与适用性。在验证过程中，通常选取与清单时间尺度一致的在线连续排放监测系统数据或环境空气质量监测数据作为参照，通过污染物浓度趋势对比、排放量估算值与监测值差异分析、源解析模型结果印证等方式开展系统校核。若出现较大偏差，需分析误差来源是否来自排放因子失真、活动数据偏差或时空分配模型不合理，进而调整相应参数。在实际应用中，通过监测数据反向推演排放总量与清单数据进行耦合，可实现模型闭环修正，有效提升清单动态响应能力。验证结果的准确性还决定了清单数据

能否嵌入政策制定与模拟模型中,其校核质量直接影响后续决策的科学基础。

4.3 排放清单在空气质量模型中的嵌入实践

将燃煤电厂排放清单嵌入空气质量模型是实现污染物输送规律模拟与环境响应评估的重要手段。模型运行依赖于具有高时间分辨率与空间精度的排放数据,清单需通过预处理模块转换为模型可识别的输入格式。嵌入过程中需结合气象场数据与地形地貌信息,模拟污染物在大气中的扩散、沉降与化学反应过程,进而还原污染过程的时空演化特征。在多源污染协同影响背景下,电厂排放清单与交通、工业、居民等其他排放源清单协同建模,可实现整体污染负荷的定量拆分与控制路径优化。模型模拟结果经与观测数据对比验证后,还可用于提前预判重污染天气过程,服务于环境管理的应急响应机制构建,提高污染防控的前瞻性与针对性。

5 减排潜力评估与优化路径分析

5.1 不同控制技术路径的减排效果比较

燃煤电厂污染控制技术路径多样,其减排效果存在显著差异。采用石灰石-石膏湿法脱硫工艺后,二氧化硫去除效率可达到95%以上,配套低氮燃烧与选择性催化还原技术可使氮氧化物排放削减80%,电袋复合除尘系统则能将颗粒物排放浓度控制在 $10\text{mg}/\text{m}^3$ 以下。在多技术路径对比中,传统电除尘器与湿法脱硫的组合减排效果相对有限,整体污染物削减率不超过75%,而全流程协同控制方案中的深度脱硫脱硝技术配合精细化燃烧调控系统,其三类污染物协同减排率可超过90%。在控制系统升级基础上引入高效烟气循环利用技术,还可进一步减少尾气中残留污染物,提升污染物捕集效率与控制连续性。不同路径在污染物减排覆盖面、稳定性与适配性上差异明显,需根据机组运行特征与地区环境目标进行最优技术选择。

5.2 典型情景下的减排潜力模拟分析

在设定典型情景下对燃煤电厂减排潜力开展模拟分析,可量化各类控制策略在不同时空维度的实施成效。在基准排放情景中,以单台600MW机组为例,其年均 SO_2 、 NO_x 、PM排放量分别为9000吨、11000吨、2200吨。引入中强度减排情景,包括常规脱硫脱硝与高效除尘系统,污染物总量可削减45%,即分别降至4950吨、6050吨与1210吨。在强化减排情景中,叠加SCR深度脱硝系统与炉内掺烧优化控制,可实现 SO_2 削减率70%、 NO_x 削减率80%、PM削减率65%,排放量分别下降至2700吨、2200吨、770吨。

通过综合建模分析发现,强化减排路径可实现单位发电污染强度的大幅下降,有效缓解区域空气质量压力,但对能源转换效率与运行成本的影响需进一步评估,以保障政策实施的科学性与经济合理性。

5.3 减排措施经济性与可行性评估

减排措施的实施不仅依赖于技术成熟度与控制效果,还需综合考虑经济投入、运行成本与政策配套。以大型燃煤电厂为分析对象,引入湿法脱硫系统的初期投资约为1500元/kW,年运维成本占机组总运行成本的5%左右,平均单位 SO_2 减排成本为320元/吨。应用选择性催化还原技术进行氮氧化物控制,投资成本约为1200元/kW,运行成本维持在年20元/kW水平,单位 NO_x 减排成本约420元/吨。若采用深度协同控制措施,整体投资成本上升至2500元/kW以上,单位综合减排成本超过600元/吨,但在政策补贴机制下具备一定推广价值。相比之下,中强度控制技术路径在成本与减排效率之间具备较好平衡,适用于中短期减排目标的快速实现。在评估可行性时,还应结合不同地区环保考核强度与电价机制差异,开展区域性经济效益分析,推动减排方案的差异化落地与政策精准对接。

6 结语

燃煤电厂作为大气污染防治的重点行业,其排放清单构建与减排潜力评估对实现环境治理目标具有关键作用。通过系统识别污染物种类、构建精细化清单模型并结合实测数据进行验证,可有效提升排放数据的准确性与应用价值。在此基础上,针对不同控制技术路径开展减排效果模拟与经济性评估,有助于明确优化方向与实施重点。未来应加强数据获取手段的多元化建设,完善动态清单更新机制,推动区域治理策略与电厂减排措施协同发展,持续提升空气质量改善的科学性与系统性。

参考文献

- [1] 余玲.超低排放改造后燃煤电厂周边大气污染时空分布特征仿真分析[J].煤化工,2023,51(05):112-115.
- [2] 王明.燃煤电厂大气污染防治分析[J].科技资讯,2021,19(21):82-83+99.
- [3] 田明,张志华,李琨琪.燃煤企业有色烟羽治理对大气污染的影响[J].辽宁化工,2021,50(04):497-498+501.
- [4] 田明,李琨琪,雷旭阳.燃煤企业防治大气污染的主要应对措施[J].山东化工,2021,50(04):288-289+291.
- [5] 韦丹.燃煤电厂大气污染防治现状及超低改造技术[J].资源节约与环保,2020,(04):73.