

环保电厂烟气脱硫脱硝技术优化与应用研究

付宏杰 杨逸飞

华能国际电力江苏能源开发有限公司南京电厂 江苏 南京 210035

摘要：本文聚焦环保电厂烟气脱硫脱硝技术。先阐述烟气脱硫的湿法、干法和半干法，以及烟气脱硝的选择性催化还原法（SCR）和选择性非催化还原法（SNCR）的技术特点。接着分析运行中的关键问题，包括脱硫脱硝系统自身问题及协同控制瓶颈。随后提出技术优化方向与具体措施，涵盖材料、工艺、设备及智能化控制等方面。最后通过案例分析，验证优化措施可提升脱硫脱硝效果，实现经济与环境效益双赢。

关键词：环保电厂；烟气脱硫；烟气脱硝；技术优化

1 环保电厂烟气脱硫脱硝技术基础

1.1 烟气脱硫技术概述

在环保电厂的运行中，烟气脱硫技术是控制二氧化硫（SO₂）排放的关键手段。二氧化硫是大气污染物的主要成分之一，它不仅会形成酸雨，对生态环境造成严重破坏，还会危害人体健康。目前，常见的烟气脱硫技术主要分为湿法、干法和半干法。湿法脱硫技术应用最为广泛，其中石灰石-石膏湿法脱硫技术占据主导地位。该技术以石灰石作为脱硫吸收剂，石灰石经破碎磨细成粉状与水混合搅拌制成吸收浆液。当烟气进入吸收塔时，与吸收浆液充分接触，其中的二氧化硫与浆液中的碳酸钙以及鼓入的氧化空气发生化学反应，最终生成石膏。此方法脱硫效率高，一般可达95%以上，技术成熟可靠，副产物石膏还可综合利用。但湿法脱硫存在系统复杂、占地面积大、投资和运行成本较高、设备易腐蚀等问题。干法脱硫技术是在干燥状态下进行脱硫反应，常用的有循环流化床法。该方法将石灰石粉等脱硫剂喷入循环流化床反应器中，与烟气中的二氧化硫发生反应，生成硫酸钙等产物^[1]。干法脱硫工艺简单，设备腐蚀小，占地面积少，但脱硫效率相对较低，一般在70%-90%之间，且对脱硫剂的粒度和反应活性要求较高。半干法脱硫技术结合了湿法和干法的特点，旋转喷雾干燥法是典型代表。它利用喷雾装置将石灰乳液雾化成细小的液滴，与烟气在吸收塔内进行传热传质和化学反应，使二氧化硫被吸收并转化为干燥的固体产物。半干法脱硫具有流程简单、能耗低、占地面积较小等优点，脱硫效率处于湿法和干法之间，能达到85%-92%左右。

1.2 烟气脱硝技术概述

氮氧化物（NO_x）是电厂烟气中的另一类重要污染物，主要包括一氧化氮（NO）和二氧化氮（NO₂）等，它们是形成光化学烟雾和酸雨的前体物，对环境和人体

健康危害极大。烟气脱硝技术主要分为选择性催化还原法（SCR）和选择性非催化还原法（SNCR）。选择性催化还原法（SCR）是目前应用最成熟、脱硝效率最高的技术。在催化剂的作用下，向烟气中喷入氨或尿素等还原剂，将氮氧化物还原为氮气和水。SCR技术通常在300-420°C的温度窗口内运行，脱硝效率可达80%-90%以上。该技术对烟气条件适应性强，运行稳定可靠，但催化剂成本较高，且需要定期更换，同时对催化剂的抗中毒和抗磨损性能要求严格。选择性非催化还原法（SNCR）是在没有催化剂的条件下，将氨或尿素等还原剂直接喷入炉膛内高温区（850-1100°C），与氮氧化物发生还原反应。SNCR技术设备简单，投资和运行成本较低，但脱硝效率相对较低，一般在30%-60%之间，且对反应温度窗口要求严格，温度过高或过低都会影响脱硝效果。

2 烟气脱硫脱硝技术运行中的关键问题

2.1 脱硫系统问题

在脱硫系统运行过程中，常见的问题之一是脱硫效率不稳定。这可能是由于脱硫剂质量不佳、供应不足或反应条件不适宜导致的。例如，石灰石品质波动会影响吸收浆液的酸碱度和反应活性，进而降低脱硫效率。此外，吸收塔内的气液分布不均匀也会造成局部脱硫不充分，影响整体脱硫效果。设备腐蚀和磨损也是脱硫系统面临的严重问题，湿法脱硫系统中，吸收塔、管道等设备长期接触含有酸性物质的浆液，容易发生腐蚀。浆液中的固体颗粒会对设备内壁产生磨损，缩短设备使用寿命，增加维护成本。另外，脱硫副产物的处理和处置也是一个难题，如石膏的品质不稳定会影响其综合利用价值，若处理不当还可能造成二次污染。

2.2 脱硝系统问题

脱硝系统的主要问题集中在催化剂方面。催化剂的活性会随着运行时间的延长逐渐降低，这是由于烟气中

的飞灰、二氧化硫等物质会附着在催化剂表面，堵塞催化剂孔道，导致催化剂中毒。高温、高湿度等恶劣环境条件也会加速催化剂的老化和失活。催化剂更换成本高昂，且更换过程复杂，需要停机检修，影响电厂的正常运行^[2]。SNCR技术存在反应温度窗口窄的问题，在实际运行中，很难精确控制炉膛内的温度，导致脱硝效率不稳定。而且，氨逃逸现象也是脱硝系统需要关注的问题。过量的氨未参与反应而逃逸到大气中，不仅会造成氨的浪费，还会形成二次污染，对环境产生不良影响。

2.3 协同控制瓶颈

目前，大多数电厂的脱硫和脱硝系统是独立运行的，缺乏有效的协同控制机制。在实际烟气中，二氧化硫和氮氧化物的浓度会随着锅炉负荷、燃料种类等因素的变化而波动，独立控制系统难以根据烟气成分的实时变化进行精准调整，导致脱硫脱硝效率无法同时达到最优状态。脱硫和脱硝过程中可能会产生相互影响，例如脱硫过程中产生的某些物质可能会对脱硝催化剂产生毒害作用，进一步增加了协同控制的难度。

3 环保电厂烟气脱硫脱硝技术优化方向

3.1 提高脱硫脱硝效率，降低能耗与运行成本

提高脱硫脱硝效率是环保电厂的核心目标之一。通过优化脱硫脱硝工艺参数，如调整吸收塔内的液气比、反应温度、停留时间等，可以提高化学反应的充分程度，从而提高脱硫脱硝效率。研发新型高效的脱硫脱硝剂也是提高效率的重要途径，例如新型复合脱硫剂可以在更低的用量下达到更高的脱硫效果。降低能耗与运行成本对于提高电厂的经济效益至关重要。在脱硫方面，可以采用节能型设备，如高效风机、泵等，优化系统流程，减少能量损失。对于脱硝系统，优化催化剂的布置方式，提高催化剂的利用率，降低催化剂的用量和更换频率，从而降低运行成本。另外，通过余热回收利用技术，将脱硫脱硝过程中产生的余热进行回收，用于锅炉给水加热或其他工艺过程，实现能源的梯级利用，进一步降低能耗。

3.2 减少副产物生成，实现资源化利用

脱硫脱硝过程中会产生大量的副产物，如石膏、硫酸铵等。减少副产物的生成不仅可以降低处理成本，还能减少对环境的潜在影响。通过优化脱硫脱硝工艺，控制反应条件，可以减少副产物的产量。实现副产物的资源化利用是提高资源利用率、实现可持续发展的关键。对于脱硫石膏，可以经过加工处理后用于水泥缓凝剂、建筑石膏制品等领域。硫酸铵可以作为化肥的原料，经过进一步提纯和加工后用于农业生产。通过拓展副产物

的应用领域，提高其附加值，不仅可以解决副产物处理难题，还能为电厂带来额外的经济效益。

3.3 增强技术的适应性与稳定性

环保电厂的燃料种类和负荷变化较大，这就要求脱硫脱硝技术具有较强的适应性。研发具有宽负荷适应性的脱硫脱硝工艺和设备，能够在不同工况下稳定运行，保证脱硫脱硝效率。例如，开发适用于低负荷运行的脱硝催化剂，确保在锅炉低负荷时仍能保持较高的脱硝效率。提高技术的稳定性是保障电厂长期稳定运行的基础。加强对脱硫脱硝系统的监测和诊断，及时发现设备故障和潜在问题，采取有效的维护和检修措施，延长设备使用寿命^[3]。同时建立完善的应急预案，应对突发情况，确保在设备故障或异常工况下，脱硫脱硝系统仍能维持一定的运行水平，减少污染物排放。

4 环保电厂烟气脱硫脱硝技术具体优化措施

4.1 材料创新

材料创新是推动脱硫脱硝技术发展的关键。在脱硫方面，研发新型脱硫剂是重点方向之一。例如，纳米级脱硫剂具有更大的比表面积和更高的反应活性，能够显著提高脱硫效率。一些有机脱硫剂也在研究中，它们具有选择性好、反应速度快等优点，有望在特定工况下得到应用。对于脱硝催化剂，开发新型高效催化剂是关键。低温催化剂的研究受到广泛关注，它可以在较低的温度下实现高效的脱硝反应，降低能耗和运行成本。抗中毒性能强的催化剂也是研发重点，能够提高催化剂在复杂烟气环境中的稳定性和使用寿命。探索新型催化剂载体材料，如碳纳米管、分子筛等，可以提高催化剂的分散性和活性。

4.2 工艺优化

工艺优化是提高脱硫脱硝效率、降低成本的有效途径。在脱硫工艺方面，采用多级脱硫技术可以提高脱硫效率。例如，在石灰石-石膏湿法脱硫系统中，设置两级吸收塔，使烟气与吸收浆液进行多次接触反应，进一步提高二氧化硫的去除率。同时优化吸收塔的结构和内部构件，改善气液分布，提高传质效率。在脱硝工艺方面，结合SCR和SNCR技术的优点，开发混合脱硝技术。例如，在炉膛内采用SNCR技术进行初步脱硝，然后在尾部烟道设置SCR装置进行深度脱硝，这样可以降低SCR系统的负荷，减少催化剂的用量，同时提高整体脱硝效率。优化脱硝系统的还原剂喷射方式，确保还原剂与烟气充分混合，提高反应效率。

4.3 设备升级

设备升级是保障脱硫脱硝系统稳定运行的重要措

施。在脱硫系统中，采用高效的气液分离设备可以提高吸收塔的分离效率，减少浆液夹带，降低后续设备的负荷。同时，更新换热器设备，提高换热效率，减少能量损失。对于脱硫泵、风机等关键设备，采用变频调速技术，根据系统运行工况自动调整设备转速，实现节能运行。在脱硝系统中，升级催化剂喷射设备，确保催化剂均匀喷入烟气中，提高催化剂的利用率。采用先进的烟气分析仪器，实时监测烟气中氮氧化物的浓度和分布情况，为脱硝系统的优化调整提供准确数据。加强设备的密封和防腐处理，延长设备使用寿命，减少设备故障和泄漏对环境的影响。

4.4 智能化控制

智能化控制是现代环保电厂脱硫脱硝技术的发展趋势。通过建立脱硫脱硝系统的智能监控平台，实时采集系统的运行参数，如温度、压力、流量、浓度等，并运用大数据分析和人工智能算法对数据进行处理和分析，实现对系统运行状态的精准评估和预测。基于智能监控平台，开发自动控制系统，根据烟气成分和负荷的变化自动调整脱硫脱硝工艺参数，实现系统的优化运行。例如，当烟气中二氧化硫或氮氧化物浓度升高时，系统自动增加脱硫剂或还原剂的喷射量，提高脱硫脱硝效率。同时，智能化控制系统还可以实现设备的故障诊断和预警，提前发现设备潜在问题，及时采取维护措施，保障系统的稳定运行。

5 环保电厂烟气脱硫脱硝技术应用案例分析

某大型环保电厂，原采用石灰石-石膏湿法脱硫和SCR脱硝技术。在运行过程中，发现脱硫系统存在脱硫效率不稳定、设备腐蚀严重等问题，脱硝系统则面临催化剂活性下降快、氨逃逸超标等挑战。为了解决这些问题，该电厂采取一系列优化措施。在脱硫方面，采用新型复合脱硫剂，提高了脱硫剂的反应活性和利用率，同时优化吸收塔的液气比和浆液循环量，使脱硫效率稳定在98%以上。对吸收塔内部进行防腐改造，采用新型防腐

材料，有效延长设备使用寿命。另外，还建立石膏品质在线监测系统，根据石膏品质及时调整工艺参数，提高石膏的综合利用价值^[4]。在脱硝方面，电厂更换了新型低温抗中毒催化剂，降低催化剂的更换频率和运行成本。通过优化催化剂的喷射方式和氨逃逸监测系统，将氨逃逸量控制在合理范围内。同时结合智能化控制系统，根据锅炉负荷和烟气成分实时调整脱硝工艺参数，使脱硝效率稳定在90%以上。经过优化改造后，该电厂的烟气脱硫脱硝效果显著提升，污染物排放浓度远低于国家排放标准。同时能耗和运行成本明显降低，副产物资源化利用率大幅提高，取得良好的经济效益和环境效益。这一案例充分证明通过技术创新和优化措施，可以有效解决环保电厂烟气脱硫脱硝技术运行中的关键问题，推动电厂的可持续发展。

结束语

环保电厂烟气脱硫脱硝技术的优化与应用，是减少大气污染、实现可持续发展的关键举措。本文深入剖析现有技术的问题，并从多个维度提出优化方向与具体措施。通过实际案例验证，这些措施成效显著。未来，随着科技不断进步，应持续探索创新，进一步提升脱硫脱硝技术水平，降低成本，实现更高效、稳定、经济的污染物控制，为环保电厂的绿色发展及生态环境改善提供有力支撑。

参考文献

- [1]顾佳男.基于湿法脱硫的电厂烟气脱硫脱硝技术研究[J].中国新技术新产品,2023(18):133-135.
- [2]杨召垒.捣固焦炉烟道气脱硫脱硝技术的应用[J].甘肃冶金,2020,42(5):87-89.
- [3]董延军.焦化厂焦炉烟气脱硫脱硝工艺技术分析[J].山西冶金,2022(1):45-46.
- [4]沈森,苏晖,孙芳婷.探究电厂锅炉脱硫脱硝及烟气除尘技术[J].节能与环保,2020(03)42-43.