

# 火电厂锅炉烟气脱硫脱硝协同控制技术研究

钟丁平 范日新

广州粤能电力科技开发有限公司 广东 广州 510699

**摘要：**本文探讨了火电厂锅炉烟气脱硫脱硝协同控制技术的原理、实践与应用，以及其在环保、资源利用和社会经济方面的综合效益。通过协同优化脱硫和脱硝工艺，该技术有效降低了烟气中的二氧化硫和氮氧化物排放，改善空气质量，保护了生态环境。同时，协同控制技术还提高了资源利用效率，降低能耗，促进了循环经济的发展。该技术对于提升火电厂的环保形象、增强市场竞争力以及推动相关产业发展也具有积极意义。

**关键词：**火电厂；锅炉烟气；脱硫脱硝；协同控制技术

## 1 火电厂锅炉烟气脱硫技术原理

### 1.1 烟气脱硫技术概述

烟气脱硫是火电厂减少二氧化硫排放的关键技术之一。烟气脱硫技术主要有干法、湿法和半干法三大类。这些方法的选择主要基于烟气中的二氧化硫浓度、烟气温度、烟气流量以及处理成本等因素。烟气脱硫技术的目标是将烟气中的二氧化硫浓度降低到环境可接受的范围内，以满足国家和地方政府的排放标准。（1）干法烟气脱硫：干法脱硫技术主要是通过固体吸附剂或催化剂去除烟气中的二氧化硫。这些固体吸附剂或催化剂可以是活性炭、氧化钙、氧化铝等。干法脱硫的一个主要优点是无需处理液态废弃物，因此产生的二次污染较小。干法脱硫的脱硫效率相对较低，且对吸附剂的消耗较大。（2）湿法烟气脱硫：湿法脱硫技术主要是通过将烟气与含有吸收剂的液体（通常是水或碱性溶液）接触，使二氧化硫被吸收剂吸收并转化为硫酸盐或其他无害化合物。由于湿法脱硫具有较高的脱硫效率和较低的成本，因此在火电厂中得到了广泛应用。但湿法脱硫也存在一些缺点，如产生的废水需要处理，且可能对设备产生腐蚀。（3）半干法烟气脱硫：半干法烟气脱硫结合了干法和湿法的特点，其主要是通过喷雾干燥或流化床反应，使烟气中的二氧化硫与吸收剂反应生成固体颗粒物，再通过除尘设备收集。半干法脱硫技术具有较高的脱硫效率和较低的运行成本，但同样需要处理产生的固体废弃物。

### 1.2 脱硫工艺流程与选择

脱硫工艺流程的选择直接关系到烟气脱硫技术的实施效果和运行成本。一个典型的脱硫工艺流程包括烟气预处理、脱硫反应、副产物处理和尾气处理等步骤。

（1）烟气预处理：烟气预处理的主要目的是去除烟气中的灰尘和其他杂质，以确保脱硫反应的有效进行。常

见的烟气预处理设备包括除尘器和过滤器。（2）脱硫反应：脱硫反应是脱硫工艺流程的核心，其主要是通过吸收剂与烟气中的二氧化硫发生化学反应，生成硫酸盐或其他无害化合物。脱硫反应的效率取决于吸收剂的选择、反应条件和反应设备的设计。（3）副产物处理：脱硫过程中会产生一定量的副产物，如石膏、废水和固体废弃物等。这些副产物的处理需要遵循环境保护的要求，避免造成二次污染。常见的副产物处理方法包括固废处理、废水处理和石膏的综合利用等。（4）尾气处理：尾气处理是脱硫工艺流程的最后一步，其主要目的是进一步降低尾气中的污染物浓度，使其达到排放标准。尾气处理方法包括再热、再燃和烟气再循环等。在选择脱硫工艺流程时，需要综合考虑火电厂的实际情况、排放标准、运行成本和技术可行性等因素。例如，对于排放标准要求较高的地区，可能需要选择脱硫效率更高的湿法脱硫技术；而对于水资源有限的地区，可能需要选择节水型的半干法或干法脱硫技术<sup>[1]</sup>。

### 1.3 脱硫设备与运行特点

脱硫设备的选择和运行特点直接影响到烟气脱硫技术的稳定性和经济性。根据脱硫技术的不同，脱硫设备可分为吸收塔、反应床、喷雾干燥塔等。（1）吸收塔：吸收塔是湿法脱硫技术的核心设备，其主要功能是提供烟气与吸收剂充分接触的空间，使二氧化硫被有效吸收。吸收塔的设计需要考虑到烟气流量、吸收剂的喷射方式、液气比等因素，以确保脱硫反应的顺利进行。（2）反应床：反应床是干法和半干法烟气脱硫中的关键设备，通常由多层填充有吸附剂或催化剂的格子组成。烟气通过反应床时，与吸附剂或催化剂发生反应，从而去除二氧化硫。

## 2 火电厂锅炉烟气脱硝技术原理与方法

### 2.1 烟气脱硝技术概述

随着人类对环境保护意识的增强,减少火电厂烟气中的氮氧化物(NO<sub>x</sub>)排放已成为全球关注的焦点。烟气脱硝技术作为减少NO<sub>x</sub>排放的关键手段,其重要性不言而喻。烟气脱硝技术主要是通过物理、化学或生物方法,将烟气中的NO<sub>x</sub>转化为无害或低毒的氮化物,从而达到减少NO<sub>x</sub>排放的目的。烟气脱硝技术主要分为两大类:燃烧控制技术和烟气后处理技术。燃烧控制技术主要是通过优化燃烧过程,降低NO<sub>x</sub>的生成量。这包括低NO<sub>x</sub>燃烧技术、再燃技术、烟气再循环技术等。这些技术主要适用于燃烧过程中NO<sub>x</sub>的生成控制,对于已生成的NO<sub>x</sub>则需要采用烟气后处理技术进行处理。烟气后处理技术主要包括选择性催化还原(SCR)技术、选择性非催化还原(SNCR)技术、吸附剂喷射技术、电子束照射技术等。这些技术各有优缺点,适用于不同的火电厂和排放要求。

## 2.2 脱硝工艺方法与特点

### 2.2.1 选择性催化还原(SCR)技术

SCR技术是目前应用最广泛、脱硝效率最高的烟气后处理技术之一。它利用催化剂,在较低的温度下(通常为300-400℃)将NO<sub>x</sub>还原为氮气和水。SCR技术的特点是脱硝效率高、反应温度低、对烟气成分适应性广。但该技术也存在催化剂成本高、易中毒失活等问题<sup>[2]</sup>。

### 2.2.2 选择性非催化还原(SNCR)技术

SNCR技术是一种无需催化剂的脱硝技术,通过在适当的温度范围(通常为800-1100℃)内,向烟气中喷射含氨基的还原剂(如尿素、氨水等),使NO<sub>x</sub>还原为氮气和水。SNCR技术的优点是投资少、运行成本低,但脱硝效率相对较低,且易受到烟气成分、温度等因素的影响。

### 2.2.3 吸附剂喷射技术

吸附剂喷射技术是通过向烟气中喷射吸附剂(如活性炭、分子筛等),利用吸附剂的吸附性能,将NO<sub>x</sub>从烟气中捕集下来。该技术的优点是操作简单、适用范围广,但吸附剂的再生和处置问题亟待解决。

### 2.2.4 电子束照射技术

电子束照射技术是利用电子束轰击烟气,使烟气中的分子电离产生自由基,进而与NO<sub>x</sub>发生化学反应,将其转化为无害物质。该技术的优点是处理效率高、可以同时处理多种污染物,但设备投资大、运行成本高,且可能产生二次污染。

## 2.3 脱硝设备选择与运行优化

选择合适的脱硝设备和优化其运行是确保烟气脱硝效果的关键。在选择脱硝设备时,需要考虑火电厂的实际情况、NO<sub>x</sub>排放标准、技术可行性、经济性等多个因

素。例如,对于排放标准要求较高、烟气中NO<sub>x</sub>浓度较高的火电厂,可以选择SCR技术;而对于排放标准较低、烟气中NO<sub>x</sub>浓度较低的火电厂,则可以选择SNCR技术或吸附剂喷射技术。在运行优化方面,需要根据烟气成分、温度、压力等参数,调整脱硝设备的运行参数,以保证脱硝效果和运行成本的平衡。例如,对于SCR技术,需要优化催化剂的选型、投加量和再生周期,以提高催化剂的利用率和减少运行成本;对于SNCR技术,则需要优化还原剂的喷射位置和喷射量,以保证还原剂与烟气的均匀混合和充分反应。还应加强对脱硝设备的维护和管理,定期检查设备的运行状况,及时发现和处理问题,确保脱硝设备的稳定运行和脱硝效果的持续提高。总的来说,烟气脱硝技术是火电厂减少NO<sub>x</sub>排放的重要手段。在选择和应用脱硝技术时,需要综合考虑技术原理、方法特点、设备选择和运行优化等多个方面,以确保烟气脱硝效果和经济性的平衡。

## 3 锅炉烟气脱硫脱硝协同控制技术应用

### 3.1 脱硫与脱硝工艺协同优化

脱硫与脱硝工艺的协同优化是实现协同控制技术的关键。在协同优化过程中,需要综合考虑烟气成分、污染物浓度、设备性能等因素,通过调整工艺参数、优化设备组合等方式,实现脱硫和脱硝过程的协调运行。具体而言,可以通过以下几个方面实现脱硫与脱硝工艺的协同优化:(1)选择适当的脱硫和脱硝技术。根据火电厂的实际情况和排放要求,选择适合的脱硫和脱硝技术,确保两者在工艺上能够相互匹配,实现最佳的净化效果。(2)优化工艺参数。通过调整脱硫和脱硝工艺中的温度、压力、反应时间等参数,使得反应更为充分、高效,从而提高脱硫和脱硝效率<sup>[3]</sup>。(3)实现资源的循环利用。在协同控制过程中,应注重资源的循环利用,例如将脱硫产生的副产品用于脱硝过程,减少废弃物排放,提高资源利用率。

### 3.2 联合控制系统设计与实施

联合控制系统的设计与实施是实现脱硫与脱硝协同控制的重要手段。通过设计合理的控制系统,可以实现对脱硫和脱硝过程的精确控制,确保两者在协同作用下达到最佳的净化效果。在联合控制系统的设计过程中,应注重以下几个方面:(1)系统集成性。联合控制系统需要将脱硫和脱硝两个子系统进行集成,确保两者之间能够实现信息共享和控制协同。(2)控制策略优化。针对脱硫和脱硝过程的特性,设计合理的控制策略,实现对关键参数的精确控制,确保净化效率和稳定性。(3)智能化水平提升。引入先进的自动化和智能化技术,如

人工智能、大数据分析等,提高联合控制系统的智能化水平,实现自动化控制和优化运行。

在实施联合控制系统时,应充分考虑现场实际情况和设备性能,确保控制系统的可靠性和稳定性。同时,加强对控制系统的维护和管理,定期对系统进行检修和校准,确保其长期稳定运行。

### 3.3 协同控制效果评估与优化

协同控制效果评估与优化是实现持续改进和提升的关键环节。通过对协同控制效果进行全面、客观的评估,能发现存在的问题和潜力,进而进行优化和改进。在协同控制效果评估过程中,可以采用多种方法和手段,如实时监测、数据分析、专家评估等,对脱硫和脱硝过程的效率、稳定性、经济性等方面进行评估。同时,将评估结果与环保要求进行对比,明确协同控制的达标情况和改进方向。针对评估中发现的问题和潜力,可以采取以下措施进行优化:(1)优化工艺参数和控制策略。根据评估结果,对脱硫和脱硝工艺的参数和控制策略进行调整和优化,提高净化效率和稳定性。(2)提升设备性能和可靠性。对脱硫和脱硝设备进行改造和升级,提高设备的性能和可靠性,降低故障率和维护成本。(3)加强协同控制与其他环保技术的融合。将协同控制技术与其他环保技术(如除尘、余热回收等)进行融合,形成综合的环保技术体系,进一步提高火电厂的环保水平和经济效益。

## 4 协同控制技术在环保方面的影响及评价

### 4.1 环保效益评估

协同控制技术作为一种高效的烟气治理手段,其环保效益显著。通过协同优化脱硫和脱硝工艺,烟气中的二氧化硫和氮氧化物得到了有效去除,大大降低大气污染物的排放量,有助于改善空气质量,保护生态环境。协同控制技术减少二次污染物的生成,如硫酸盐、硝酸盐等,降低对水体和土壤的污染风险。该技术提高了火电厂烟气净化系统的稳定性和效率,降低烟气治理设施的运行成本和维护成本,为火电厂实现清洁生产提供有力支持。

### 4.2 资源利用效益分析

协同控制技术在资源利用方面也表现出较高的效益。第一,该技术通过资源的循环利用,如脱硫产生的副产品用于脱硝过程,实现资源的有效利用,提高资源利用效率。第二,协同控制技术降低能耗,减少能源消耗量,有助于节约能源资源,推动火电厂向绿色低碳方向发展。第三,该技术还促进工业废弃物的减量化、资源化和无害化处理,推动了循环经济的发展<sup>[4]</sup>。

### 4.3 社会经济效益考量

协同控制技术在社会经济效益方面也具有积极意义。提高火电厂的环保水平,增强了企业的社会责任感和形象,有助于提升企业的市场竞争力。协同控制技术降低了烟气治理成本,提高企业的经济效益。同时,该技术还带动相关产业的发展,如环保设备制造业、环保服务业等,为社会经济的持续发展做出贡献。协同控制技术的应用有助于减少大气污染物的排放量,改善大气环境质量,保障人民群众的健康福祉,具有显著的社会效益。

### 结束语

综上所述,协同控制技术作为一种高效、环保的烟气治理手段,为火电厂的清洁生产和可持续发展提供了有力支持。随着科技的不断进步和环保要求的不断提高,相信协同控制技术将在未来发挥更大的作用,为环境保护和经济社会发展作出更大贡献。

### 参考文献

- [1]杨敏.火电厂锅炉烟气脱硫脱硝协同控制技术研究[J].清洗世界,2023,39(3):69-71.DOI:10.3969/j.issn.1671-8909.2023.03.024.
- [2]张胜梅.燃煤锅炉的烟气治理和脱硫脱硝技术探究[J].中国资源综合利用.2022,40(8).DOI:10.3969/j.issn.1008-9500.2022.08.035.
- [3]郭胜龙.火电机组锅炉及脱硫脱硝系统动态特性分析[J].设备管理与维修.2022,(18).DOI:10.16621/j.cnki.issn1001-0599.2022.09D.58.
- [4]丁伟.火电厂烟气脱硫脱硝技术应用与节能环保策略探讨[J].电气技术与经济.2023,(9).DOI:10.3969/j.issn.1673-8845.2023.09.029.