

# 火力发电厂烟气治理及脱硫脱硝技术分析

张战强

国能石嘴山发电有限责任公司, 宁夏 石嘴山 753200

**[摘要]**随着全球环保意识的不断提高,火力发电厂烟气治理已成为环境保护的重要领域之一。烟气中的二氧化硫(SO<sub>2</sub>)和氮氧化物(NO<sub>x</sub>)是主要的污染物,其排放会对大气环境造成严重污染。因此,开展火力发电厂烟气治理及脱硫脱硝技术的研究对于改善环境质量具有重要意义。通过采用先进的脱硫脱硝设备和工艺,有效降低二氧化硫和氮氧化物的排放,最大限度地减少对大气环境的影响,从根本上改善了火力发电厂的环境友好型,促进了可持续发展和生态平衡的实现。

**[关键词]**火力发电厂;烟气治理;脱硫脱硝技术;分析

DOI: 10.33142/hst.v8i1.15166

中图分类号: X773

文献标识码: A

## Analysis of Flue Gas Treatment and Desulfurization Denitrification Technology in Thermal Power Plants

ZHANG Zhanqiang

Guoneng Shizuishan Power Generation Co., Ltd., Shizuishan, Ningxia, 753200, China

**Abstract:** With the continuous improvement of global environmental awareness, the treatment of flue gas from thermal power plants has become one of the important areas of environmental protection. Sulfur dioxide (SO<sub>2</sub>) and nitrogen oxides (NO<sub>x</sub>) in flue gas are the main pollutants, and their emissions can cause serious pollution to the atmospheric environment. Therefore, conducting research on flue gas treatment and desulfurization denitrification technology in thermal power plants is of great significance for improving environmental quality. By adopting advanced desulfurization denitrification equipment and processes, the emissions of sulfur dioxide and nitrogen oxides are effectively reduced, minimizing the impact on the atmospheric environment and fundamentally improving the environmental friendliness of thermal power plants, promoting sustainable development and ecological balance.

**Keywords:** thermal power plants; flue gas treatment; desulfurization denitrification technology; analysis

### 引言

随着社会经济的快速发展,能源需求不断增加,火力发电作为主要的能源生产方式之一,已成为我国重要的能源供应来源。然而,火力发电过程中的烟气排放问题,尤其是二氧化硫(SO<sub>2</sub>)和氮氧化物(NO<sub>x</sub>)的排放,严重影响了环境质量。为了减少对环境的污染,火力发电厂烟气治理及脱硫脱硝技术已成为能源领域的重要研究方向。本文将对火力发电厂的烟气治理以及常用的脱硫脱硝技术进行分析与探讨。

### 1 火力发电厂烟气排放成分

火力发电厂在燃煤过程中会排放大量有害气体,主要污染物包括二氧化硫(SO<sub>2</sub>)、氮氧化物(NO<sub>x</sub>)、颗粒物(PM)和挥发性有机化合物(VOCs)。其中,二氧化硫和氮氧化物是最为关键的污染物。二氧化硫在大气中与水蒸气反应形成酸性物质,导致酸雨的生成,对土壤、水体以及植被造成严重影响。同时,氮氧化物在空气中与其他物质反应,生成臭氧等污染物,进一步加剧了大气污染,影响人类健康。颗粒物和VOCs则可通过呼吸进入人体,导致呼吸道和心血管疾病,严重时甚至引发癌症。针对这些污染物的控制已成为环保领域的紧迫任务,需要采取有效的技术和政策措施以减少火力发电厂的排放,保护空气质量和生态

环境<sup>[1]</sup>。

### 2 烟气脱硫技术

#### 2.1 湿法脱硫技术

湿法脱硫是目前应用最广泛的烟气脱硫技术之一,特别是在火力发电厂中,它主要通过石灰石-石膏法(LSFO)实现。该技术的核心原理是将石灰石粉末与水混合,形成石灰石-水浆液,并通过喷淋方式将其与烟气中的二氧化硫(SO<sub>2</sub>)进行接触。烟气中的二氧化硫与石灰石浆液中的钙离子发生化学反应,生成石膏(CaSO<sub>4</sub>)作为副产品,完成脱硫过程。石膏作为副产品不仅可以被回收利用,用于建筑材料生产,还能够有效减少二氧化硫对环境的污染。湿法脱硫技术具有较高的脱硫效率,通常可以达到90%以上,能够显著降低烟气中的二氧化硫浓度,减轻空气污染,并且由于其运行稳定性较好,在长时间使用过程中能够保持较高的脱硫效果。然而,湿法脱硫技术也存在一些局限性。首先,湿法脱硫系统的设备投资较大,包括烟气脱硫塔、石灰石浆液制备装置等,需要较高的初期投入。其次,湿法脱硫过程中需要消耗大量的水资源,且操作时能耗较高,增加了整体运行成本。因此,尽管湿法脱硫技术在脱硫效率和稳定性方面具有优势,但在能源消耗和成本方面仍需进一步优化。

## 2.2 干法脱硫技术

干法脱硫是一种常见的烟气脱硫技术,主要通过干粉喷射方式将脱硫剂直接喷入烟气中,脱硫剂与烟气中的二氧化硫( $\text{SO}_2$ )反应,生成固体副产物,通常为石膏或其他硫化物。这一过程不需要水或其他液体介质,因此被称为“干法”。与湿法脱硫相比,干法脱硫具有设备投资较少、运行费用较低等优点。干法脱硫设备的构造相对简单,主要包括喷射装置、反应塔、布袋除尘器等,且无需处理大量的脱硫废水,减少了水资源的消耗和废水处理的压力。然而,干法脱硫的脱硫效率通常低于湿法脱硫。湿法脱硫通过液相反应,可获得更高的去除率,尤其是在二氧化硫浓度较高的情况下。而干法脱硫由于反应介质为固体,反应速率较慢,可能无法在所有条件下达到湿法脱硫的效果。因此,尽管干法脱硫在很多中小型工业应用中得到广泛使用,但在一些高效脱硫要求较高的场合,湿法脱硫仍然是更优选择<sup>[2]</sup>。

## 2.3 半干法脱硫技术

半干法脱硫是一种介于湿法脱硫和干法脱硫之间的脱硫技术。该技术通常使用石灰石粉、氢氧化钙等脱硫剂与烟气中的二氧化硫( $\text{SO}_2$ )反应,生成的副产物为干态固体颗粒。与干法脱硫相比,半干法脱硫通常通过喷雾干燥塔或其他类似设备将脱硫剂喷入烟气中,与二氧化硫反应后,形成的固体副产物不需要额外的水处理设施,且较容易通过除尘器或滤袋进行收集。半干法脱硫的最大优势是能够在保持较高脱硫效率的同时,降低能源消耗和设备投资。由于反应过程中的水分使用量较少,半干法脱硫不仅节省了大量的水资源,还避免了湿法脱硫中常见的废水处理问题。此外,半干法脱硫设备相对简单,适用于一些对脱硫效率要求较高但又不愿投入过多设备和资源的工业领域。虽然半干法脱硫在脱硫效果上介于湿法和干法之间,但其技术方案的灵活性和较低的运行成本,使得其在许多工业领域成为一种较为理想的选择,尤其是在中小型锅炉和炉窑等应用中。

## 2.4 循环流化床脱硫技术

循环流化床脱硫技术是一种高效的烟气脱硫方法,具有显著的脱硫效果。其核心原理是利用流化床反应器内的高效循环流化床反应,通过对脱硫剂的良好流化和充分接触,使得二氧化硫( $\text{SO}_2$ )与脱硫剂反应,生成固体副产物,从而实现烟气中二氧化硫的高效去除。在这一过程中,脱硫剂在反应器中不断循环,既增强了反应效率,又提高了脱硫剂的利用率。该技术的一个重要特点是能够在较低的温度下实现高效脱硫,这使得它在一些低温燃烧条件下依然能够保持较好的脱硫效果。此外,循环流化床脱硫技术对煤种的适应性非常强,能够应对不同类型的煤燃烧产生的烟气,尤其适合在大规模电力锅炉及工业炉窑等场所应用。由于其具有良好的灵活性,操作过程中可以根据实际需求调节脱硫剂的用量和反应条件,从而进一步优化脱

硫效果。因此,循环流化床脱硫技术不仅在效率上具有优势,还能够满足多样化的应用需求<sup>[3]</sup>。

## 3 烟气脱硝技术

### 3.1 选择性催化还原(SCR)技术

选择性催化还原技术(SCR)是目前最为广泛应用的烟气脱硝技术之一,主要通过氨或尿素与氮氧化物( $\text{NO}_x$ )反应,在催化剂的作用下将氮氧化物还原为氮气和水。该过程在高温下进行,通常采用金属氧化物、铝土矿或其他贵金属作为催化剂,反应效率非常高,可以显著降低烟气中的氮氧化物浓度。SCR技术特别适用于大规模的火力发电厂、钢铁厂等重工业领域,尤其是在高负荷运行的情况下,能够保持稳定的脱硝效果。SCR技术的脱硝效率通常能够达到90%以上,远高于传统的烟气脱硝方法,因此成为了许多大型工业排放控制的首选方案。此外,该技术对排放标准的适应性较强,能够有效应对不同种类的燃料和变化的操作条件。尽管如此,SCR技术也存在一些缺点,最主要的是催化剂的更换周期。催化剂在长期运行过程中会因积尘和中毒而降低效率,因此需要定期更换和维护。此外,SCR设备的初期投资较高,安装和维护成本也较为昂贵。尽管如此,考虑到其优异的脱硝效果,SCR技术在环境保护领域仍然占据重要地位。

### 3.2 选择性非催化还原(SNCR)技术

选择性非催化还原(SNCR)技术是一种常用于烟气脱硝的技术,它通过向烟气中喷入还原剂(如氨水或尿素),与烟气中的氮氧化物( $\text{NO}_x$ )发生反应,生成无害的氮气和水,从而降低 $\text{NO}_x$ 的浓度。与选择性催化还原(SCR)技术相比,SNCR的投资较少,设备结构简单,运行维护更加方便。它不依赖昂贵的催化剂,而是利用高温环境下的还原剂与 $\text{NO}_x$ 直接反应,因此具有较低的初期投资成本。SNCR技术的脱硝效率通常在30%到70%之间,相较于SCR技术略低,但在一些中小型燃煤锅炉和工业炉窑等场合,仍能有效降低 $\text{NO}_x$ 排放,满足环保要求。其反应效果受烟气温度的影响较大,通常在200°C到1100°C的温度范围内,脱硝效率最为理想。由于该技术不依赖催化剂,因此避免了催化剂更换和维护的成本,但其脱硝效率较低,且可能需要更高的还原剂投加量。尽管如此,SNCR技术凭借较低的投资和简单的操作,成为许多中小型企业和旧有设施改造中的理想选择。

### 3.3 低氮燃烧技术(LNB)

低氮燃烧技术是一种通过优化燃烧过程、调整燃烧条件,以降低氮氧化物( $\text{NO}_x$ )排放的有效手段。氮氧化物主要是在高温燃烧环境中,由氮气与氧气反应生成的,尤其是在燃烧温度过高或氧气浓度过高时,氮氧化物的生成量会急剧增加。低氮燃烧技术通过控制燃烧过程中的火焰温度、氧气浓度以及燃料的混合方式,从源头上减少氮氧化物的生成。这一技术的核心目的是降低燃烧温度,以减

少  $\text{NO}_x$  的生成,同时控制氧气的供应,使燃烧过程更加均匀,防止高温区的过度氧化。低氮燃烧技术通常通过以下几种方式来实现降氮效果:首先,采用分级燃烧技术,通过分段燃烧控制火焰的温度和氧气浓度,减少局部高温区域,从而减少  $\text{NO}_x$  的生成<sup>[4]</sup>。其次,使用空气预混或燃料预混方式,使燃料与空气的混合更加均匀,避免局部燃烧过于剧烈,降低燃烧温度。还有一些方法通过调整燃烧器的设计,如采用燃烧器的扩展火焰或雾化燃烧技术,进一步降低火焰温度和氧气浓度,从而抑制  $\text{NO}_x$  的生成。尽管低氮燃烧技术在减少氮氧化物排放方面具有显著效果,但其脱硝效率并不完全够高,通常只能将  $\text{NO}_x$  的排放降低到一定范围内。因此,低氮燃烧技术通常与其他脱硝技术(如选择性催化还原(SCR)或选择性非催化还原(SNCR)技术)联合使用,以进一步降低烟气中的  $\text{NO}_x$  浓度。SCR 技术和 SNCR 技术可以在低氮燃烧技术的基础上进一步将  $\text{NO}_x$  转化为氮气和水,确保烟气排放满足严格的环保标准。

### 3.4 烟气再循环技术(FGR)

烟气再循环技术(Flue Gas Recirculation, FGR)是一种通过将部分脱硝后的烟气重新引入燃烧区的技术,旨在降低燃烧温度,减少氮氧化物( $\text{NO}_x$ )的生成。这一技术的基本原理是在燃烧过程中将一部分已经脱硝并冷却的烟气重新引入炉膛,作为燃料与空气的混合气体的一部分,从而降低燃烧区的温度。通过减少局部高温区域,烟气再循环可以有效地抑制氮氧化物的形成,因为  $\text{NO}_x$  的生成主要发生在高温环境下。烟气再循环的主要优点是成本较低,且技术实现相对简单。与其他脱硝技术(如 SCR 或 SNCR)相比,烟气再循环不需要昂贵的催化剂或化学试剂,也不涉及复杂的设备安装,因此其初期投资和运营成本较低。此外,烟气再循环能够减少烟气中的氧气浓度,从而有效降低燃烧温度,减少热损失并提高燃烧效率。该技术还能够与其他脱硝技术,如低氮燃烧技术,进行协同应用,进一步提升整体的脱硝效果。

烟气再循环技术的脱硝效率受多种因素的影响,尤其是燃料种类和运行条件。不同类型的燃料具有不同的化学成分,燃烧特性和热值,这直接影响到烟气再循环的效果。例如,在高硫或低热值的燃料燃烧过程中,烟气再循环可能无法有效降低  $\text{NO}_x$  排放,反而可能导致其它污染物的增加。此外,燃烧炉的设计、烟气流速、再循环烟气的比例以及再循环烟气的温度等因素,也会影响其脱硝效果。过多的烟气再循环可能导致不完全燃烧,增加一氧化碳( $\text{CO}$ )

和未燃尽的碳粒子(如烟尘)的排放,因此需要对再循环量进行精确控制,以保持最佳的燃烧效率和污染物去除效果。尽管烟气再循环技术的脱硝效率受限于一定条件,但其作为一种低成本、低投资的脱硝技术,仍然在许多工业锅炉、火力发电厂等领域得到了广泛应用。尤其在面对较为宽松的排放标准或作为其他脱硝技术的辅助措施时,烟气再循环技术仍然是一种有效的烟气污染控制方法<sup>[5]</sup>。

### 4 烟气治理技术的综合应用与发展趋势

随着环保要求的日益严格,火力发电厂烟气治理技术不断发展和完善。现代火力发电厂通常采取脱硫、脱硝和除尘技术的联合应用,以达到更好的环保效果。在此过程中,技术的选择应根据电厂的具体情况,包括燃料类型、燃烧方式、设备投资及运行成本等因素进行综合考量。未来,火力发电厂烟气治理技术将结合脱硫、脱硝技术和二氧化碳捕集技术(CCS)实现烟气净化,降低温室气体排放,推动火力发电厂向低碳化转型。针对烟气中多种污染物的综合治理,未来的技术将更加注重新污染物的协同治理,例如脱硫脱硝除尘一体化技术。随着人工智能和大数据技术的发展,未来的烟气治理系统将更加智能化,实现实时监控、预测和调控,提高治理效率和可靠性。

### 5 结语

火力发电厂烟气治理及脱硫脱硝技术是改善环境质量、推动绿色发展的关键技术。随着技术的不断创新与优化,未来火力发电厂的污染物排放将逐步得到有效控制,为实现可持续发展目标作出更大贡献。

#### [参考文献]

- [1]李萍,刘鹏飞. 烟气污染排放治理中的脱硫脱硝联合工艺分析[J]. 皮革制作与环保科技, 2024, 5(9): 125-127.
- [2]吴燕斌. 火电厂锅炉烟气除尘脱硫环保治理技术创新实践研究[J]. 环境与生活, 2024(1): 86-88.
- [3]张亚坤,于明强,郑学军. 火电厂大气污染治理中烟气脱硫脱硝技术运用分析[J]. 清洗世界, 2023, 39(6): 1-3.
- [4]逢少莹,孙鹏. 火电厂大气污染治理中烟气脱硫脱硝技术运用分析[J]. 皮革制作与环保科技, 2022, 3(12): 82-84.
- [5]赵梓舒,左欣,赵丹,徐曦萌,石佳慧,丁辉. VOCs 末端治理技术进展及在燃煤电站烟气净化的应用思考[J]. 洁净煤技术, 2022, 28(2): 54-66.

作者简介:张战强(1980—),男,汉族,河北无极人,硕士在读,华北电力大学,研究方向:MBA。