

# 燃煤锅炉烟气治理与脱硫脱硝技术分析

金 潇<sup>1</sup> 王 群<sup>2</sup> 丁岳峰<sup>3</sup> 高学全<sup>4</sup> 马宏亮<sup>5</sup> 耿 莹<sup>6</sup>

1. 沈阳国润低碳热力有限公司 辽宁 沈阳 110000

2. 沈阳浑南热力有限责任公司 辽宁 沈阳 110000

3.4.6. 联美智慧能源科技(沈阳)有限公司 辽宁 沈阳 110000

5. 国惠环保新能源有限公司 辽宁 沈阳 110000

**摘要:** 燃煤锅炉作为工业生产中重要的热能设备,其燃烧过程会产生大量含有二氧化硫、氮氧化物及颗粒物等有害物质的烟气,对大气环境及人类健康构成严重威胁。本文深入分析了燃煤锅炉烟气治理与脱硫脱硝技术,重点探讨了SNCR、PNCR及SCR等主流脱硝技术,以及炭基催化技术在脱硫脱硝中的应用,旨在为燃煤锅炉烟气治理提供科学依据和技术支持,推动环保产业的发展和可持续发展目标的实现。

**关键词:** 燃煤锅炉; 烟气治理; 脱硫脱硝技术

## 引言

随着工业化进程的加快,燃煤锅炉作为主要的能源转换设备,在电力、供暖等领域发挥着重要作用。然而,其燃烧过程中产生的大量烟气污染物,如SO<sub>2</sub>、NO<sub>x</sub>及颗粒物等,已成为大气污染的主要来源之一。这些污染物不仅导致酸雨、光化学烟雾等环境问题,还对人类健康产生严重影响。因此,燃煤锅炉烟气治理与脱硫脱硝技术成为当前环境保护领域的重要课题。

## 1 燃煤锅炉烟气治理

### 1.1 机械式除尘

机械式除尘技术是借助机械设备的物理作用原理来实现烟气中颗粒物的分离与去除,该技术核心在于利用高速旋转的机械设备(如旋风除尘器)产生的强大离心力场,当含有颗粒物的锅炉烟气进入除尘器后,气流受到导流叶片的引导而旋转上升,形成类似龙卷风般的涡旋运动。在这一过程中,由于离心力的作用,烟气中的大颗粒及部分中等粒径的颗粒物被甩向除尘器的内壁,并沿着壁面下落至集尘斗中,从而实现与气流的分离。净化后的烟气则通过除尘器的上部出口排出,进入后续处理环节或直接排放至大气中<sup>[1]</sup>。机械式除尘技术的显著优势在于其成本低廉、结构简单、占地面积小且维护方便,这使得它成为众多中小型企业燃煤锅炉烟气治理的首选方案。尤其对于烟气中粒径较大的颗粒物,机械除尘器表现出极高的去除效率,能够显著降低烟气中的颗粒物浓度,减轻对环境的污染。此外,该技术对烟气温度、湿度及化学成分等条件适应性较强,运行稳定可靠,进一步增强了其在实际应用中的竞争力。然而,机械式除尘技术也并非完美无缺,其最大的局限性在于对

细微颗粒物的捕集效率较低,尤其是对于粒径小于5微米的颗粒物,由于其质量轻、惯性小,难以在离心力作用下有效分离,因此往往随净化后的烟气一同排出,影响了整体的除尘效果。这一缺陷在环保标准日益严格的今天显得尤为突出,迫使企业不得不寻求更为高效的除尘技术或是对现有机械除尘器进行升级改造,以提高对细微颗粒物的捕集能力。

### 1.2 静电除尘

静电除尘技术是利用静电原理对烟气中的颗粒物进行高效捕集与去除的一种技术,其工作原理精妙而复杂,首先,通过一系列的电离装置,将燃煤锅炉产生的高温、密闭环境中含有的二氧化硫、二氧化氮等有害气体以及烟尘颗粒带电。这些带电粒子随后进入一个精心设计的高压静电场区域,该区域由一系列金属极板(通常为阳极)和放电电极(阴极)构成,两极之间维持着强大的电势差。当带电的烟尘颗粒进入静电场后,它们会受到电场力的作用而发生定向移动。具体而言,由于阳极和阴极之间存在电势梯度,带电粒子会向与其电荷相反的电极移动。在移动过程中,由于电场的加速作用,粒子会获得较高的速度,并与周围的气体分子发生碰撞,进一步促进电荷的传递与扩散。最终,这些带电粒子会在电场力的作用下,被吸附到阳极板上,形成一层厚厚的烟尘层。随着时间的推移,这层烟尘层会逐渐积累并增厚,最终通过机械振动或冲洗等方式进行清除,从而实现烟气中烟尘的有效去除。另外,静电除尘技术的优势在于其极高的除尘效率。由于电场力对带电粒子的强大吸引作用,即使是粒径极小的烟尘颗粒也能被有效捕集,从而保证了烟气排放的清洁度。

### 1.3 布袋除尘

布袋除尘技术，作为近年来在燃煤锅炉烟气治理领域迅速崛起的一种新型高效除尘技术，以其独特的优势逐渐赢得了市场的广泛认可和应用。该技术通过巧妙利用布袋的过滤作用，实现了对烟气中烟尘颗粒物的有效捕集与分离，为燃煤锅炉的环保排放提供了又一重要解决方案。布袋除尘技术的核心在于其过滤介质——布袋的选择与设计。目前，市场上广泛采用的布袋材料以无纺布为主，这种材料以其优异的密封性和良好的透气性成为了布袋除尘器的理想选择。无纺布布袋不仅能够有效阻挡烟气中的烟尘颗粒，防止其通过除尘器排放到大气中，同时还能保持较低的阻力损失，确保除尘系统的稳定运行。此外，无纺布布袋还具有一定的耐高温、耐腐蚀性能，能够在恶劣的工况条件下长期使用，进一步提升了布袋除尘技术的可靠性和经济性<sup>[2]</sup>。同时，在布袋除尘技术的工作过程中，烟气首先通过除尘器的进风口进入布袋室，与悬挂于室内的布袋发生接触。此时，烟气中的烟尘颗粒在惯性、扩散、拦截等多种机制的作用下被布袋表面的纤维层所捕集，而清洁的烟气则穿透布袋层，经过除尘器的出风口排出。随着除尘过程的持续进行，布袋表面会逐渐积累一层厚厚的烟尘层，即滤饼，这层滤饼的存在不仅提高了布袋的过滤效率，还增强了其对细小颗粒物的捕集能力。

### 1.4 旋转电极除尘器

该技术不仅继承了传统电除尘器的基本原理，即利用阴阳两极间的高压电场使烟气中的粉尘颗粒带电并沉积，更在此基础上进行了创新性的改进，引入了可旋转的电极装置，从而实现对粉尘更为彻底、高效的清除。旋转电极除尘器的核心在于其独特的阳极设计，与传统电除尘器固定不动的阳极板不同，旋转电极除尘器在阳极区域安装了能够持续旋转的除尘装置。这一创新设计使得除尘过程不再局限于固定的空间位置，而是随着电极的旋转，实现了对整个除尘区域的全覆盖。当烟气中的粉尘颗粒在电场作用下被带电并沉积在阳极表面时，随着除尘装置的旋转，这些积累的粉尘会被及时、有效地清除，避免了传统电除尘器中因粉尘积累过多而导致的除尘效率下降问题。在旋转电极除尘器的工作过程中，烟气首先通过除尘器的进风口进入电场区域，在高压电场的作用下，烟气中的粉尘颗粒被电离并带上电荷。随后，带电的粉尘颗粒在电场力的作用下向阳极移动，并沉积在旋转的除尘装置上。随着除尘装置的持续旋转，沉积的粉尘被不断刮落并收集到下方的灰斗中，从而实现了粉尘与烟气的有效分离。

## 2 脱硫脱硝技术

### 2.1 氧化技术

在燃煤供暖锅炉的环保治理中，脱硫脱硝技术占据着举足轻重的地位，其中，氯酸或氯酸钠氧化钠技术以其独特的氧化与吸收机制，成为了一种高效且具有一定挑战性的解决方案。这项技术通过精准运用氯酸或氯酸钠的强氧化性，对烟气中顽固的二氧化硫（ $\text{SO}_x$ ）和氮氧化物（ $\text{NO}_x$ ）进行深度处理，引领了一场针对大气污染物的绿色革命。具体而言，氯酸或氯酸钠氧化钠技术的核心在于其两步走的处理策略：首先，是氧化阶段。在这一阶段，氯酸或氯酸钠作为氧化剂，凭借其强大的氧化能力，与烟气中的 $\text{SO}_x$ 和 $\text{NO}_x$ 发生化学反应，促使这些有害气体转化为易于处理的酸性气体<sup>[3]</sup>。这一过程不仅有效地打破了 $\text{SO}_x$ 和 $\text{NO}_x$ 的稳定结构，还为其后续的吸收处理奠定了坚实基础。通过这一化学反应的巧妙设计，该技术展现出了对污染物的高效转化能力，为后续的净化处理创造了有利条件。紧接着，是吸收阶段。在这一阶段，经过氧化处理的酸性气体被引入至吸收系统，利用碱性溶液如硫化钠（ $\text{Na}_2\text{S}$ ）和氢氧化钠（ $\text{NaOH}$ ）进行中和吸收。这些碱性溶液作为吸收剂，能够与酸性气体发生酸碱中和反应，生成稳定的盐类物质，从而实现有害气体有效捕集与去除。在这一过程中，氯酸或氯酸钠氧化钠技术展现出了其卓越的净化效率，据研究表明，该技术对 $\text{SO}_x$ 和 $\text{NO}_x$ 的净化效率可高达95%以上，几乎达到了行业内的顶尖水平。

### 2.2 SNCR和PNCR技术

SNCR技术，即选择性非催化还原技术，其核心在于向高温的反应器内精准注入氨基还原剂。在高温环境下（通常介于 $320^\circ\text{C}$ 至 $1150^\circ\text{C}$ 之间），这些还原剂能够无需催化剂的辅助，直接与烟气中的 $\text{NO}_2$ 发生化学反应，生成无害的氮气和水蒸气。这一过程不仅高效，而且成本相对较低，因为它避免了昂贵催化剂的使用。然而，SNCR技术的实际应用也面临着一定的挑战，主要是燃煤供暖锅炉内部负荷变化大，导致温度波动频繁，难以长时间稳定维持在SNCR反应所需的最佳温度范围内。这种温度的不稳定性往往限制了SNCR技术的脱硝效率，使得在某些工况下难以达到理想的脱硝效果。为了解决这一问题，PNCR技术应运而生，作为SNCR技术的一种创新衍生，PNCR技术在保持高效脱硝的同时，进一步提升了系统的适应性和稳定性。PNCR技术摒弃了传统SNCR对催化剂的依赖，转而利用压缩空气作为载体，将氨基还原剂直接喷入锅炉内部，与烟气中的 $\text{NO}_2$ 在相对较低的温度区间（ $320^\circ\text{C}$ 至 $400^\circ\text{C}$ 之间）发生反应。这一改进不仅降

低了对反应温度的严格要求，还显著提高了脱硝反应的转化率，据实验数据显示，PNCR技术的脱硝转化率可高达70%以上。因此，PNCR技术更加适用于那些内部负荷变化大、温度波动频繁的燃煤供暖锅炉，能够在更广泛的工况条件下实现高效稳定的脱硝效果。

### 2.3 SCR技术

SCR（选择性催化还原）脱硫脱硝技术，作为当前环保领域中一项高效且先进的空气净化技术，其卓越的性能在燃煤供暖锅炉的烟气净化过程中得到了广泛认可与应用。与SNCR（选择性非催化还原）技术相似，SCR技术同样依赖于氨基还原剂的注入，但不同之处在于，SCR技术巧妙地引入了一个高效催化剂，这一关键元素的加入，使得整个脱硝过程在更低的温度范围内就能实现高效转化，同时大幅提升了NO<sub>2</sub>向水和N<sub>2</sub>的转化率。展开来说，SCR技术通过精确的喷射系统将氨基还原剂送入装有催化剂的反应器中，在催化剂的作用下，氨基还原剂与烟气中的NO<sub>2</sub>在相对较低的温度区间内发生选择性催化还原反应，这一反应过程不仅温和可控，而且转化率极高，据实验数据表明，SCR技术的脱硝转化率可轻松突破90%，甚至更高，远超其他同类技术，成为目前市场上脱硫脱硝效率最高的技术之一<sup>[4]</sup>。除了脱硝效率高这一显著优势外，SCR技术还以其设备运行的稳定性和安全性赢得了业界的广泛赞誉。催化剂的引入不仅促进了反应速率的提升，还有效降低了副产物的生成，减少了设备结垢和腐蚀的风险，从而延长了设备的使用寿命，降低了维护成本。

### 2.4 炭基催化

炭基催化技术作为一种集高效、经济、环保于一体的脱硫脱硝解决方案，在燃煤供暖锅炉的烟气净化领域展现出了巨大的应用潜力和广阔的前景。在炭基催化技术的实施过程中，主要分为两个核心步骤。一方面是脱硫阶段，在这一阶段炭基材料利用其优异的吸附性

能，将空气中的SO<sub>2</sub>捕捉并固定在其表面及孔隙之中。随后，通过氧化和催化作用，SO<sub>2</sub>被进一步转化为硫酸（H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>），这一转化过程不仅增强了炭基材料的吸附能力，还使得硫元素以更加稳定的形式存在，便于后续处理。值得注意的是，炭基材料在脱硫过程中不仅发挥了吸附作用，还作为催化剂，加速了SO<sub>2</sub>的氧化反应，提高了脱硫效率。另一方面是脱硝阶段，炭基材料再次发挥其独特优势，作为催化还原脱硝技术的催化剂，参与到NH<sub>3</sub>（氨气）与NO<sub>x</sub>（氮氧化物）的化学反应中。在催化剂的作用下，NH<sub>3</sub>与NO<sub>x</sub>发生选择性催化还原反应，生成无害的氮气（N<sub>2</sub>）和水（H<sub>2</sub>O）。这一反应过程不仅高效，而且能够显著降低烟气中的NO<sub>x</sub>含量，达到环保排放标准。同时，由于炭基材料具有良好的稳定性和再生性，使得其在多次使用后仍能保持较高的催化活性，降低了运行成本。

### 结语

综上所述，燃煤锅炉烟气治理与脱硫脱硝技术是实现大气污染防治、促进可持续发展的关键所在。通过对SNCR、PNCR、SCR及炭基催化等技术的深入分析，揭示了各技术的优缺点及适用范围。未来，随着环保法规的日益严格和技术的不断进步，燃煤锅炉烟气治理技术将朝着更高效、更经济、更环保的方向发展。

### 参考文献

- [1]逢少堃,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.
- [2]胡大龙,余耀宏,于胜利等.燃煤电厂脱硫废水处理技术现状与发展[J].工业水处理,2023,43(02):43-52.
- [3]刘欢,魏泽华,郭洪涛,等.火电厂脱硫脱硝环保设备改造后的控制优化探讨[J].电站系统工程,2022,38(06):79-80+84.
- [4]杜明芳,张传来.探讨烟气脱硝治理技术的选用[J].铁合金,2022,53(02):46-48.