

# 燃煤供暖锅炉烟气脱硫脱硝技术浅谈

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

1. 沈阳浑南热力有限责任公司 辽宁 沈阳 110000

2.4.6. 联美智慧能源科技(沈阳)有限公司 辽宁 沈阳 110000

3. 沈阳国润低碳热力有限公司 辽宁 沈阳 110000

5. 国惠环保新能源有限公司 辽宁 沈阳 110000

**摘 要:**在我国,燃煤供暖锅炉作为北方地区冬季供暖的主要方式,其排放的烟气中含有大量的二氧化硫( $\text{SO}_2$ )和氮氧化物( $\text{NO}_x$ ),这些污染物对大气环境造成了严重影响。因此,对燃煤供暖锅炉烟气进行脱硫脱硝处理,减少污染物排放,对于保护环境和人民健康具有重要意义。

**关键词:**燃煤供暖锅炉;烟气脱硫技术;脱硝技术

引言:燃煤供暖锅炉在冬季供暖中发挥着举足轻重的作用,但与此同时,其排放的烟气中的二氧化硫和氮氧化物等污染物对环境和人类健康构成了严重威胁。为了应对这一挑战,烟气脱硫脱硝技术应运而生,并逐渐成为燃煤供暖锅炉烟气治理的关键技术。本文将从燃煤供暖锅炉烟气脱硫脱硝技术的特点、技术分析及未来发展趋势,为燃煤供暖锅炉的环保改造提供有益的参考。

## 1 燃煤供暖锅炉烟气脱硫脱硝技术特点

### 1.1 高效减排

燃煤供暖锅炉烟气脱硫脱硝技术的首要特点在于其高效减排的能力。通过采用先进的脱硫脱硝工艺,该技术能够有效去除烟气中的 $\text{SO}_2$ 和 $\text{NO}_x$ ,使污染物排放大幅降低,从而满足国家和地方环保标准的要求。脱硫方面,常用的湿法脱硫技术通过石灰石或生石灰等碱性物质与烟气中的 $\text{SO}_2$ 反应,生成石膏等无害产物,脱硫效率高达90%以上。脱硝方面,选择性催化还原(SCR)技术或选择性非催化还原(SNCR)技术能够将 $\text{NO}_x$ 还原为 $\text{N}_2$ 和 $\text{H}_2\text{O}$ ,脱硝效率也可达到较高水平。这些技术的应用,显著减少了燃煤供暖锅炉的污染物排放,为改善大气环境质量做出了重要贡献。

### 1.2 提高供暖设备能效

燃煤供暖锅炉烟气脱硫脱硝技术还能提高供暖设备的能效,脱硫脱硝技术的应用,可以通过优化烟气处理流程,回收部分烟气中的热量,用于供暖系统的预热或辅助加热,从而提高供暖设备的能效。此外,脱硫脱硝过程中的一些副产品,如石膏等,还可以作为建筑材料或工业原料进行再利用,进一步提高了资源的利用效率<sup>[1]</sup>。这种节能与环保的双重效益,使得燃煤供暖锅炉烟气脱硫脱硝技术在实际应用中更具吸引力。

### 1.3 操作简便

随着技术的不断发展和完善,脱硫脱硝设备的自动化程度越来越高,操作界面友好,使得操作人员能够轻松掌握设备的运行和维护。脱硫脱硝技术的稳定性也较好,能够在各种工况下保持稳定的脱硫脱硝效率。这种操作简便、稳定性好的特点,使得燃煤供暖锅炉烟气脱硫脱硝技术更易于推广和应用,特别是在中小型燃煤供暖锅炉中具有较高的实用价值。

## 2 燃煤供暖锅炉烟气脱硫技术

### 2.1 湿法脱硫技术

湿法脱硫技术主要基于化学反应,利用碱性溶液(如氨水、石灰石或碱液)与烟气中的二氧化硫进行反应,生成硫酸钙或硫酸盐等固体产物,从而实现烟气中二氧化硫的脱除。湿法脱硫技术具有显著的优点,包括脱硫效率高、工艺成熟以及运行稳定。通过合理的工艺设计和操作参数控制,湿法脱硫技术能够实现90%以上的脱硫效率。此外,该技术已经过长期的研究和应用,工艺相对成熟,运行稳定可靠,能够满足不同规模和类型的燃煤供暖锅炉的脱硫需求。然而,湿法脱硫技术也存在一些不可忽视的缺点。首先,设备投资大,由于需要建设脱硫塔、浆液制备和输送系统、废水处理系统等设施,导致设备投资成本较高。其次,运行费用高,主要包括浆液制备、输送以及废水处理的费用等。此外,湿法脱硫过程中会产生大量的废水,这些废水需要经过处理才能达到排放标准,增加了废水处理的难度和成本。在湿法脱硫技术中,石灰石-石膏法是最为广泛应用的一种工艺。其工艺流程主要包括石灰石浆液的制备和输送、与含硫烟气的反应以及石膏的生成和回收。具体来说,首先将石灰石粉制成石灰石浆液,然后通过浆液泵

将石灰石浆液输送到脱硫塔。在脱硫塔内,石灰浆液与含硫烟气充分接触并发生反应,生成硫酸钙。反应后的浆液在脱硫塔底部氧化结晶生成石膏,经过处理后可以回收利用,如作为建筑材料等。除了石灰石-石膏法外,湿法脱硫技术还包括双碱法、单碱法和镁法等。这些工艺在原理上类似,但具体的反应物和产物有所不同,适用于不同的工况和需求。

## 2.2 干法脱硫技术

干法脱硫技术是在干燥状态下进行脱硫处理的方法,与湿法脱硫相比具有显著的区别。干法脱硫技术无需使用水或碱性溶液,而是利用固体吸附剂或催化剂与烟气中的二氧化硫进行反应,生成硫酸盐或硫化物等固体产物。(1)干法脱硫技术的优点。主要有无废水产生、设备简单以及占地面积小,适用于空间有限的场合。由于无需使用水和碱性溶液,因此不会产生废水,避免了废水处理的难题。(2)干法脱硫技术也存在一些缺点,其中最为突出的是脱硫效率相对较低。由于干法脱硫过程中反应物和产物的接触时间较短,反应不完全,导致脱硫效率较低。此外,干法脱硫技术对于吸附剂或催化剂的要求较高,需要选择合适的材料并进行定期更换或再生。(3)干法脱硫技术主要包括喷雾干燥法和循环流化床法等。喷雾干燥法是将吸附剂或催化剂以喷雾的形式喷入烟气中,与二氧化硫进行反应并生成固体产物。循环流化床法则是利用流化床技术将吸附剂或催化剂与烟气充分混合并反应,实现二氧化硫的脱除。

## 2.3 半干法脱硫技术

半干法脱硫技术介于干法和湿法之间,原理是在脱硫过程中通过控制反应条件使脱硫产物部分干燥,从而减少废水产生。半干法脱硫技术既保留了干法脱硫技术无废水产生的优点,又提高了脱硫效率。半干法脱硫技术主要包括旋转喷雾干燥法和循环流化床半干法等。旋转喷雾干燥法是将吸附剂或碱性溶液以喷雾的形式喷入旋转的干燥器内,与烟气充分接触并反应。在干燥器内的高温环境下,部分水分被蒸发掉,形成半干燥的脱硫产物。循环流化床半干法则是利用流化床技术将吸附剂或碱性溶液与烟气充分混合并反应,在流化床内的高温环境下实现部分干燥和脱硫<sup>[2]</sup>。半干法脱硫技术具有脱硫效率较高、无废水产生以及设备相对简单等优点。然而,由于该技术需要控制反应条件以实现部分干燥和脱硫,因此操作相对复杂,对操作人员的要求较高。

## 3 燃煤供暖锅炉烟气脱硝技术

### 3.1 选择性催化还原(SCR)技术

选择性催化还原技术是当前应用最为广泛的烟气脱

硝技术之一,其工作原理基于催化化学,即在催化剂的作用下,将还原剂(如氨水、尿素等)喷入烟气中,与烟气中的氮氧化物进行选择性还原反应,生成无害的氮气和水。SCR技术的核心在于催化剂的选择和使用。催化剂能够显著降低反应的活化能,使得还原剂在较低的温度下就能与氮氧化物发生反应。催化剂还能提高反应的选择性,确保主要生成氮气和水,而不会产生其他有害副产物。SCR技术具有显著的优点,如脱硝效率高(可达80%-90%)、运行稳定等。通过合理的工艺设计和催化剂选择,SCR技术能够满足严格的排放标准,适用于各种规模和类型的燃煤供暖锅炉。然而,SCR技术也存在一些不可忽视的缺点:(1)设备投资大,包括催化剂的购置、反应器的建设以及辅助设备的安装等,都需要较高的资金投入。(2)运行费用高,主要包括催化剂的更换和再生费用、还原剂的消耗费用以及设备的维护费用等。(3)催化剂容易中毒失效,需要定期更换或再生,增加了运行成本。在实际应用中,为了提高SCR技术的经济性和实用性,可以采取一些优化措施。例如,选择合适的催化剂类型和用量,以提高脱硝效率和降低催化剂成本;优化还原剂的喷射方式和位置,以确保还原剂与烟气充分混合并反应;加强设备的维护和管理,以延长催化剂的使用寿命和减少设备故障。

### 3.2 选择性非催化还原(SNCR)技术

选择性非催化还原技术是一种无需催化剂的脱硝方法。其工作原理是将还原剂(如氨水、尿素等)喷入炉膛内的高温区域(通常温度在900-1100℃之间),在高温下与烟气中的氮氧化物进行反应,生成氮气和水<sup>[3]</sup>。SNCR技术的优点在于投资省、运行费用低。由于无需使用催化剂,因此省去了催化剂的购置、更换和再生费用,降低了设备的投资成本。SNCR技术的反应过程简单,无需复杂的反应器和辅助设备,因此运行费用也相对较低。然而,SNCR技术脱硝效率相对较低(50%-60%),难以满足严格的排放标准。对温度要求严格,若温度过低,氨的反应不完全,容易造成氨逃逸形成二次污染;若温度过高,则可能引发其他副反应,降低脱硝效率。因此,在实际应用中需要严格控制炉膛内的温度范围。为了提高SNCR技术的脱硝效率和降低氨逃逸率,可以采取一些改进措施。例如,优化还原剂的喷射方式和位置,以确保还原剂与烟气充分混合并在合适的温度下反应;加强炉膛内的温度监测和控制,以维持稳定的反应温度;探索使用新型还原剂或添加剂,以提高反应的选择性和效率。

### 3.3 联合脱硝技术

联合脱硝技术是将两种或多种脱硝方法结合在一起使用,以充分发挥各自的优势并弥补彼此的不足。例如,SCR+SNCR联合脱硝技术结合了SCR技术的高效性和SNCR技术的经济性,适用于大型燃煤锅炉的低NO<sub>x</sub>排放和场地受限的情况。在SCR+SNCR联合脱硝技术中,首先利用SNCR技术在炉膛内的高温区域进行初步脱硝,将大部分氮氧化物转化为氮气和水。然后,利用SCR技术在烟气出口处进行进一步脱硝,以去除剩余的氮氧化物并满足排放标准。通过合理的工艺设计和参数优化,可以实现高效的脱硝效果并降低运行成本。除了SCR+SNCR联合脱硝技术外,还有其他形式的联合脱硝技术,如吸附法+催化法、吸收法+催化法等。这些技术都是根据具体的工况和需求进行选择 and 组合的,以实现最佳的脱硝效果和经济效益。

#### 4 燃煤供暖锅炉烟气脱硫脱硝技术未来发展趋势

##### 4.1 技术创新与优化

技术创新是推动燃煤供暖锅炉烟气脱硫脱硝技术发展的核心动力,未来,科研人员将继续深入探索更为高效、低耗、环保的脱硫脱硝方法。在脱硫方面,将进一步优化湿法脱硫技术的工艺流程,提高脱硫效率,并减少废水产生和设备腐蚀等问题。也将积极探索干法和半干法脱硫技术的新材料和新工艺,以降低设备投资和运行成本。在脱硝方面,SCR和SNCR技术将继续得到优化和升级。通过改进催化剂的制备工艺和提高催化剂的活性,可以进一步提高SCR技术的脱硝效率和稳定性。通过优化还原剂的喷射方式和位置,以及加强炉膛内的温度监测和控制,可以提高SNCR技术的脱硝效率和降低氨逃逸率。此外,随着智能控制技术的普及应用,脱硫脱硝设备将更加高效、稳定、易于维护。通过引入先进的传感器、执行器和控制系统,可以实现对脱硫脱硝过程的精确控制和优化,提高设备的运行效率和可靠性。

##### 4.2 多元化发展

随着环保政策的不断收紧和市场竞争的加剧,燃煤

供暖锅炉烟气脱硫脱硝技术将呈现多元化发展趋势。其中,PNCr高分子脱硝技术是一种具有广阔应用前景的新技术。该技术利用高分子材料作为还原剂,在炉膛内与氮氧化物进行反应,生成氮气和水。由于高分子材料具有良好的还原性和稳定性,因此PNCr技术具有脱硝效率高、运行稳定、无二次污染等优点。未来,随着高分子材料的不断研发和应用推广,PNCr技术将成为燃煤供暖锅炉烟气脱硝领域的重要技术之一。此外,联合脱硫脱硝技术也将得到进一步发展和应用。通过将多种脱硫脱硝技术结合在一起使用,可以充分发挥各自的优势并弥补彼此的不足,提高脱硫脱硝效率和经济效益。例如,可以将湿法脱硫技术与SCR或SNCR技术结合使用,以实现同时脱除烟气中的二氧化硫和氮氧化物。这种联合脱硫脱硝技术不仅具有高效、低耗、环保等优点,还可以根据具体的工况和需求进行灵活组合和调整。

##### 结语

燃煤供暖锅炉烟气脱硫脱硝技术是应对环境污染、保护人类健康的重要手段。通过深入研究各种脱硫脱硝技术的原理、工艺流程和优缺点,我们可以更好地选择和应用这些技术,以有效降低燃煤供暖锅炉的污染物排放。未来,随着技术创新和多元化发展,燃煤供暖锅炉烟气脱硫脱硝技术将迎来更加广阔的发展前景。我们也应关注技术的经济性和实用性,努力降低设备投资和运行成本,推动燃煤供暖锅炉烟气脱硫脱硝技术的广泛应用和持续发展。

##### 参考文献

- [1]石学刚.电厂锅炉脱硫脱硝及烟气除尘技术[J].天津化工,2021,35(06):16-20.
- [2]许方园.火电厂烟气脱硫脱硝技术研究进展[J].绿色环保建材,2021,(11):32-33.
- [3]王长征.电厂锅炉脱硫、脱硝及烟气除尘技术[J].智能城市,2021,7(21):127-128.