

# 火电厂循环流化床锅炉脱硫脱硝系统运行调整方法研究

寇宏伟

国能亿利能源有限责任公司电厂 内蒙古 鄂尔多斯 014300

**摘要：**本文深入研究了火电厂循环流化床锅炉脱硫脱硝系统的运行调整方法。通过优化脱硫剂和还原剂的喷入量、调整系统参数以及引入先进的自动化控制技术等手段，显著提高了系统的运行效率和污染物去除率。研究结果表明，运行调整不仅能有效降低二氧化硫和氮氧化物的排放浓度，还能降低能耗和成本，对环境保护和火电厂的可持续发展具有重要意义。

**关键词：**火电厂；循环流化床锅炉；脱硫脱硝；运行调整

## 1 火电厂循环流化床锅炉脱硫脱硝系统运行调整概述

火电厂循环流化床锅炉脱硫脱硝系统的运行调整是确保火电厂排放符合环保标准、实现清洁燃烧的重要环节。（1）循环流化床锅炉脱硫脱硝系统主要包括烟气脱硫（FGD）和烟气脱硝（SCR/SNCR）两个子系统。烟气脱硫系统通过向烟气中喷入脱硫剂（如石灰石），在锅炉内或锅炉尾部与二氧化硫（ $\text{SO}_2$ ）发生化学反应，生成硫酸盐类物质，从而实现脱硫。烟气脱硝系统则通过向烟气中喷入还原剂（如氨水、尿素等），在催化剂的作用下将氮氧化物（ $\text{NO}_x$ ）还原为氮气（ $\text{N}_2$ ），达到脱硝的目的。（2）保证脱硫脱硝效率：根据烟气中 $\text{SO}_2$ 和 $\text{NO}_x$ 的浓度，调整脱硫剂和还原剂的喷入量，确保脱硫脱硝效率满足环保要求。优化系统参数：通过调整循环流化床锅炉的运行参数（如床温、床压、风量等），优化脱硫脱硝系统的运行环境，提高系统稳定性和可靠性。节能减排：在保证脱硫脱硝效率的前提下，通过优化系统运行参数和采用先进的节能技术，降低系统能耗和排放，实现节能减排。（3）脱硫系统调整：根据烟气中 $\text{SO}_2$ 的浓度和脱硫效率要求，调整脱硫剂的喷入量和喷入位置<sup>[1]</sup>；加强对脱硫剂质量的控制，确保脱硫剂的有效成分和粒度满足要求；还需定期对脱硫系统进行检查和维护，确保系统正常运行。脱硝系统调整：根据烟气中 $\text{NO}_x$ 的浓度和脱硝效率要求，调整还原剂的喷入量和喷入位置；优化催化剂的选择和布置方式，提高脱硝效率。此外，还需加强对脱硝系统的监测和控制，确保系统稳定运行。系统参数优化：通过调整循环流化床锅炉的运行参数（如床温、床压、风量等），优化脱硫脱硝系统的运行环境。节能减排措施：采用先进的节能技术降低系统能耗和排放，例如，采用高效除尘器减少烟气中的粉尘排放；采用烟气再循环技术降低烟气排放量；采用余热回收技术提高能源利用效率等。

## 2 循环流化床锅炉介绍及脱硫脱硝系统运行原理

循环流化床锅炉（Circulating Fluidized Bed Boiler，简称CFB锅炉）是一种高效、清洁的燃烧设备，广泛应用于火电厂中。它以流化床技术为基础，利用高速气流使固体燃料颗粒在床层内处于悬浮状态，实现燃料与空气的充分混合和高效燃烧。在循环流化床锅炉中，脱硫脱硝系统是其重要的环保设施之一，用于减少烟气中的二氧化硫（ $\text{SO}_2$ ）和氮氧化物（ $\text{NO}_x$ ）排放。脱硫系统通常采用的是湿式石灰石法。在CFB锅炉的尾部，湿式石灰石作为脱硫剂被喷入烟气中。石灰石在高温下与烟气中的 $\text{SO}_2$ 发生化学反应，生成亚硫酸钙（ $\text{CaSO}_3$ ）。随后，亚硫酸钙在氧化剂的作用下进一步氧化为硫酸钙（ $\text{CaSO}_4$ ），即石膏。石膏通过除尘器从烟气中分离出来，而清洁的烟气则排放到大气中。这种脱硫方法具有脱硫效率高、操作简便、石膏可综合利用等优点。脱硝系统则通常采用选择性催化还原法（Selective Catalytic Reduction，简称SCR）或选择性非催化还原法（Selective Non-Catalytic Reduction，简称SNCR）。在SCR系统中，还原剂（如氨水或尿素）在催化剂的作用下与烟气中的 $\text{NO}_x$ 发生化学反应，生成氮气（ $\text{N}_2$ ）和水（ $\text{H}_2\text{O}$ ）。而在SNCR系统中，还原剂则直接喷入高温烟气中，与 $\text{NO}_x$ 发生化学反应，实现脱硝。SCR系统具有脱硝效率高、对燃料种类和燃烧方式适应性强等优点，而SNCR系统则具有设备投资少、运行成本低等优点。

## 3 火电厂循环流化床锅炉脱硫脱硝系统运行现状分析

火电厂循环流化床锅炉（CFB）脱硫脱硝系统作为火电厂环保设施的重要组成部分，近年来在减少大气污染物排放方面发挥了关键作用。目前，火电厂CFB锅炉脱硫脱硝系统的运行现状整体呈现出几个特点：（1）技术成熟稳定。经过多年的发展和技术积累，CFB锅炉脱硫脱硝系统的技术已经相当成熟和稳定。无论是脱硫系统还是

脱硝系统,都能够实现高效、稳定的运行,确保烟气中的二氧化硫( $\text{SO}_2$ )和氮氧化物( $\text{NO}_x$ )排放达到国家环保标准。(2)自动化程度高。现代CFB锅炉脱硫脱硝系统普遍采用先进的自动化控制技术,实现了对系统运行的精确控制和监测。通过实时监测烟气排放数据,系统能够自动调节脱硫剂和还原剂的喷入量,确保脱硫脱硝效率的稳定性和可靠性。(3)节能减排效果显著。CFB锅炉脱硫脱硝系统的运行不仅有效降低了大气污染物排放,还带来了显著的节能减排效果。脱硫过程中产生的石膏可以作为副产品综合利用,脱硝过程中使用的还原剂也能够被有效利用,减少了资源浪费。系统的高效运行也降低了火电厂的能耗和运营成本。(4)面临挑战与改进空间。尽管CFB锅炉脱硫脱硝系统的运行取得了显著成果,但仍面临一些挑战和改进空间。随着环保法规的不断升级和公众对环保要求的提高,系统需要进一步提高脱硫脱硝效率,降低排放浓度。系统的运行稳定性和可靠性也需要进一步提升,以减少故障率和维护成本<sup>[2]</sup>。

#### 4 火电厂循环流化床锅炉脱硫脱硝系统运行调整方法

##### 4.1 脱硫系统运行调整方法

在火电厂循环流化床锅炉的脱硫系统中,运行调整是确保系统高效稳定运行、满足环保排放标准的关键环节。脱硫剂喷入量调整:脱硫剂(如石灰石)的喷入量是脱硫系统效率的决定性因素之一。根据烟气中 $\text{SO}_2$ 的浓度变化,及时调整脱硫剂的喷入量,以保证脱硫效率。当烟气中 $\text{SO}_2$ 浓度升高时,需增加脱硫剂的喷入量;反之,则适当减少。脱硫剂粒度调整:脱硫剂的粒度直接影响其与 $\text{SO}_2$ 的反应效率。较细的脱硫剂颗粒具有更大的比表面积,能更有效地与 $\text{SO}_2$ 反应。因此,定期检测脱硫剂的粒度分布,并根据实际情况调整其粒度,以提高脱硫效率。脱硫反应温度控制:脱硫反应温度是影响反应速率和效率的重要因素。通常,脱硫反应在较高的温度下进行得更快。过高的温度可能导致脱硫剂烧结,降低其活性。需要通过调整循环流化床锅炉的运行参数,如床温、风量等,来控制脱硫反应温度,使其保持在最佳范围内。在半干法脱硫工艺中,高温烟气与加入的吸收剂、循环脱硫灰在吸收塔的进口段充分预混合,进行初步的脱硫反应,在这一区域主要完成吸收剂与 $\text{HCl}$ 、 $\text{HF}$ 的反应。

烟气通过吸收塔下部的文丘里管的加速,进入循环流化床床体;与物料在循环流化床里,气固两相产生激烈的湍动与混合,充分接触,塔内颗粒的床层密度,使得床内的 $\text{Ca/S}$ 比高达50以上, $\text{SO}_2$ 充分反应。在文丘里的出口扩管段设有喷水装置,喷入的雾化水用以降

低脱硫反应器内的烟温,使烟温降至 $75^\circ\text{C}$ 左右(高于烟气露点 $25^\circ\text{C}$ 左右),从而使得 $\text{SO}_2$ 与 $\text{Ca}(\text{OH})_2$ 的反应转化为可以瞬间完成的离子型反应。吸收剂、循环脱硫灰在文丘里段以上的塔内进行第二步的充分反应,生成副产物 $\text{CaSO}_3 \cdot 1/2\text{H}_2\text{O}$ ,此外还有与 $\text{SO}_3$ 、 $\text{HF}$ 和 $\text{HCl}$ 反应生成相应的副产物 $\text{CaSO}_4 \cdot 1/2\text{H}_2\text{O}$ 、 $\text{CaF}_2$ 、 $\text{CaCl}_2 \cdot \text{Ca}(\text{OH})_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ 等。

##### 4.2 脱硝系统运行调整方法

脱硝系统作为火电厂循环流化床锅炉的另一重要环保设施,其运行调整同样至关重要。还原剂喷入量调整:还原剂(如氨水、尿素等)的喷入量是脱硝系统效率的决定性因素之一。根据烟气中 $\text{NO}_x$ 的浓度变化,及时调整还原剂的喷入量,以保证脱硝效率。当烟气中 $\text{NO}_x$ 浓度升高时,需增加还原剂的喷入量;反之,则适当减少。催化剂活性维护:催化剂是SCR脱硝系统的核心部件,其活性直接影响脱硝效率;需要定期检测催化剂的活性,并采取有效措施维护其活性。脱硝反应温度控制:脱硝反应温度是影响脱硝效率的重要因素。不同催化剂的最佳反应温度可能有所不同,需要根据所使用的催化剂类型,调整循环流化床锅炉的运行参数,使脱硝反应温度保持在最佳范围内。氨逃逸控制:氨逃逸是SCR脱硝系统中的一个常见问题,它可能导致氨气排放超标。

##### 4.3 脱硫脱硝系统协同调整方法

在火电厂循环流化床锅炉中,脱硫系统和脱硝系统通常是相互关联的。协同调整两个系统可以实现更好的环保效果和经济效益。确保脱硫系统和脱硝系统之间的烟气流量平衡是关键。通过调整烟气挡板、风机频率等方式,可以平衡两个系统的烟气流量,使其保持一致,从而提高整体环保效果。根据烟气中 $\text{SO}_2$ 和 $\text{NO}_x$ 的浓度变化,协同调整脱硫剂和还原剂的喷入量,以实现两种污染物的同时控制。这可以提高整体环保效率并降低运行成本<sup>[3]</sup>。

##### 4.4 系统协同优化

除了上述运行调整方法外,系统协同优化也是提高火电厂循环流化床锅炉脱硫脱硝系统性能的有效途径。通过引入先进的控制技术和优化算法,可以实现脱硫脱硝系统的自动化控制和智能化运行。对系统进行定期维护和检修,及时发现和解决潜在问题,可以进一步提高系统的稳定性和可靠性。此外,加强与其他电厂的交流和合作,分享运行经验和优化成果,也可以促进整个行业的技术进步和发展。

#### 5 火电厂循环流化床锅炉脱硫脱硝系统运行调整的效果评估

##### 5.1 系统运行效率及排放指标的改善

火电厂循环流化床锅炉脱硫脱硝系统经过运行调整之后,体现在系统运行效率和排放指标的显著改善上。通过精确控制脱硫剂和还原剂的喷入量,以及优化系统参数,脱硫和脱硝效率得到了有效提高。这意味着更多的二氧化硫(SO<sub>2</sub>)和氮氧化物(NO<sub>x</sub>)被有效去除,从而降低了烟气中的污染物浓度。运行调整后,二氧化硫和氮氧化物的排放浓度明显降低,达到了或超过了国家环保标准的要求。这不仅有利于改善火电厂的环保形象,也为环境保护做出了积极贡献。随着污染物排放的减少,烟气净化设备的负担也相应减轻,有助于提高整个系统的运行稳定性和可靠性。在评估系统运行效率时,除了考虑污染物排放浓度外,还需要关注系统的运行稳定性和故障率。运行调整后的系统,由于参数优化和自动化控制技术的应用,运行稳定性得到了显著提升,故障率明显降低。这不仅减少了因故障导致的停机时间,也降低了维修成本和人工成本,提高了系统的整体经济效益。

### 5.2 能耗及成本的变化

火电厂循环流化床锅炉脱硫脱硝系统运行调整在降低能耗和成本方面也起到了重要作用,通过优化系统参数和引入先进的节能技术,系统的能耗得到了有效降低。采用高效除尘器、烟气再循环技术等节能措施,也可以进一步降低系统的能耗。在成本方面,运行调整同样带来了积极的变化。由于脱硫剂和还原剂的喷入量得到精确控制,避免不必要的浪费,降低原材料成本。通过提高系统的运行稳定性和降低故障率,减少维修成本和人工成本<sup>[4]</sup>。随着系统效率的提高和污染物排放的减少,火电厂还可能获得一定的环保补贴或税收优惠,进一步降低成本。需要注意的是,在降低能耗和成本的同时,也要确保系统的环保性能不受影响。在运行调整过程中需要综合考虑各种因素,找到最佳的平衡点。

### 5.3 运行调整对环境保护的影响评估

火电厂循环流化床锅炉脱硫脱硝系统的运行调整对

环境保护产生了深远影响,通过提高脱硫和脱硝效率,系统显著降低了烟气中的二氧化硫和氮氧化物排放浓度。这些污染物是造成大气污染和酸雨等环境问题的重要因素之一。降低它们的排放浓度对于保护大气环境和生态系统具有重要意义。运行调整还改善了火电厂的环保形象,随着公众对环境保护意识的提高和环保法规的日益严格,火电厂面临着越来越大的环保压力。通过优化脱硫脱硝系统的运行参数和引入先进的环保技术,火电厂可以显著降低污染物排放浓度并达到国家环保标准的要求。这不仅有助于改善火电厂的环保形象,也有助于提高其社会责任感和公信力。运行调整还促进了环保技术的创新和发展,在追求更高效、更环保的脱硫脱硝技术过程中,火电厂不断探索和尝试新的技术路线和解决方案。这不仅推动了环保技术的进步和创新,也为整个行业的可持续发展提供了有力支持。火电厂循环流化床锅炉脱硫脱硝系统的运行调整对环境保护产生了积极影响。

### 结束语

火电厂循环流化床锅炉脱硫脱硝系统的运行调整是确保环保排放达标、提高经济效益的关键环节。通过本文的研究,提出了一系列有效的运行调整方法,并验证了其在实际应用中的效果。未来,随着环保法规的日益严格和技术的不断进步,将继续探索和优化运行调整方法,为火电厂的绿色发展贡献更多力量。

### 参考文献

- [1]张伟.王志超.火电厂循环流化床锅炉脱硫脱硝技术及其运行优化[J].动力工程学报.2022.32(7):561-568.
- [2]李明.刘晓龙.火电厂循环流化床锅炉脱硫脱硝系统运行稳定性研究[J].电力科学与工程.2021.37(9):67-73.
- [3]王刚.陈勇.火电厂循环流化床锅炉脱硫脱硝系统参数优化与调整[J].热力发电.2023.52(2):78-84.
- [4]杨柳.陈丽华.火电厂循环流化床锅炉脱硫脱硝系统运行效率提升策略[J].电力技术经济.2020.32(4):62-67.