

# 循环流化床锅炉烟气脱硝工艺研究

贺利强

国能亿利能源有限责任公司电厂 内蒙古 鄂尔多斯 014300

**摘要:** 循环流化床锅炉烟气脱硝是大气污染防治的重要环节。本研究旨在探究循环流化床锅炉烟气脱硝工艺,通过对烟气脱硝系统的设计和优化,提高脱硝效率和能源利用效率。研究表明,采用适当的还原剂和供给系统设计,结合热能回收系统的布置,可以实现循环流化床锅炉烟气脱硝的高效、经济和环保。

**关键词:** 循环流化床; 锅炉烟气; 脱硝方案; 研究

## 1 循环流化床锅炉概述

### 1.1 循环流化床锅炉工作原理

循环流化床锅炉是一种采用循环流化床技术进行燃烧的高效节能锅炉。它通过在炉膛中将燃料与固体颗粒材料(如沙子或颗粒煤)混合并悬浮,形成一种循环流化床状态。下面将详细介绍循环流化床锅炉的工作原理。循环流化床锅炉的主要组成部分包括炉膛、空气分配设备、燃料供给系统、循环固体材料输送系统、床温控制系统等。工作开始时,通过底部供给空气分布器向炉膛内提供一定的空气速度,使固体颗粒材料以足够的速度悬浮在床内。同时,燃料通过燃料供给系统被喷射并与循环材料混合燃烧。在循环过程中,炉膛内的固体颗粒材料会因为气流的携带而以循环床的形式不断上升和下降,形成循环流化床。这种循环床的作用使燃烧过程得以充分,烟气与固体颗粒材料充分接触,有助于燃料的完全燃烧,提高燃烧效率。在燃烧过程中,炉膛内产生的燃烧烟气会通过锅炉的传热面冷却,释放热量来产生蒸汽。固体颗粒材料在燃烧过程中会不断吸收和释放热量,保持炉膛内的温度稳定。通过烟气与水之间的传热,锅炉产生高温高压的蒸汽供应给热力设备或发电机组。循环流化床锅炉还具有良好的燃烧调节性能和低污染排放的优势。通过调节循环床速度和燃料供给量,可以实现对燃烧过程的控制。循环流化床锅炉采用了先进的燃烧技术和废气处理装置,能够有效减少氮氧化物和硫氧化物等有害气体的排放<sup>[1]</sup>。

### 1.2 循环流化床锅炉的特点

循环流化床锅炉是一种采用循环流化床技术进行燃烧的锅炉,具有以下特点:(1)高热效率:循环流化床锅炉燃烧过程中,固体颗粒材料与燃料充分混合,形成循环流化床,使得燃烧反应充分进行,热量传递效率高。床内气固两相的良好接触,有效提高了燃烧效率,使锅炉的热效率可达到90%以上。(2)良好的燃烧调节

性能:循环流化床锅炉通过调节循环床速度和燃料供给量,能够灵活控制燃料的燃烧过程,实现对锅炉运行状态的精确调节,适应不同工况的需求。(3)低污染排放:循环流化床锅炉在燃烧过程中,通过优化废气处理装置和使用先进的燃烧技术,有效控制氮氧化物和硫氧化物等有害气体的排放。同时,床内的石灰石等固体颗粒材料能够吸附和固定排放的二氧化硫。(4)良好的燃料适应性:循环流化床锅炉适用于多种不同的燃料,包括煤炭、生物质、废弃物等。床内循环床的形成使得燃料的燃烧更加均匀,燃烧温度稳定,适应性强<sup>[2]</sup>。(5)操作灵活可靠:循环流化床锅炉结构简单,操作方便。床内的循环材料可周期性添加和更换,维护方便,炉膛运行稳定可靠,具有较长的使用寿命。(6)应用广泛:循环流化床锅炉广泛应用于化工、发电、热力等领域。特别适用于含高硫、高灰等不同质量燃料的燃烧。

## 2 循环流化床锅炉的应用现状

循环流化床锅炉在各个领域的应用现状如下:(1)电力行业:循环流化床锅炉在电力行业的应用主要集中在提供蒸汽和电力上。它不仅适用于燃煤和生物质发电厂,也可应用于废物处理场。因为其具有高燃烧效率和低污染的特点,所以在应对多种燃料上表现优异,既能够燃烧固体废弃物、木屑、秸秆等生物质能源,又能燃烧煤炭、石油焦等传统燃料,且燃烧效果良好。(2)化工行业:循环流化床锅炉可用于化学合成、烟气净化、制氢等化学反应过程。它具有高效、灵活的特性,可以适应各种化学反应条件,为化工生产提供稳定、高效的热能供应。(3)冶金行业:循环流化床锅炉可用于钢铁、有色金属等冶炼行业的高温加热过程。在这些行业中,它能够满足高温度、高效率的工艺需求,同时也具有低污染的优点。(4)环保行业:循环流化床锅炉可用于污染治理领域,如焚烧废弃物、处理工业废水等。其独特的燃烧方式能够有效地降低废弃物排放,同时减少

对环境的污染<sup>[3]</sup>。

### 3 烟气脱硝工艺原理

#### 3.1 烟气脱硝的必要性

烟气脱硝的必要性主要体现在两个方面。首先,随着环境保护意识的增强,减少污染、保护大气环境已成为全社会关注的焦点。烟气中的氮氧化物(NO<sub>x</sub>)是一种重要的大气污染物,其对环境和人体健康的危害越来越受到人们的关注。因此,对燃煤等化石燃料在燃烧时所排放出的氮氧化物进行控制和减少是非常必要的。其次,随着国家对燃煤电厂NO<sub>x</sub>排放的严格要求,多地烟气排放标准限制NO<sub>x</sub>浓度不超过50 mg/m<sup>3</sup>,而循环流化床的原始NO<sub>x</sub>排放量为100~200 mg/m<sup>3</sup>,无法满足超低排放的要求。有必要对循环流化床中普遍应用的低氮燃烧技术、选择性催化还原技术(SCR)和选择性非催化还原技术(SNCR)等脱硝工艺开展经济性分析,为不同条件下循环流化床锅炉选用合适的脱硝技术提供参考<sup>[4]</sup>。

烟气脱硝技术可以有效地减少燃煤等化石燃料在燃烧时所排放出的氮氧化物等有害气体,从而降低对大气环境的污染和危害。在现代工业生产中,烟气脱硝技术是不可或缺的。在选择烟气脱硝技术时,根据具体情况选择适合的设备和技術,以达到减少大气污染和保护环境的目的。还需要注意设备的安装和运行需要严格遵守相关标准和规定,保持设备运行的稳定性和高效性,以达到减少大气污染的效果。

#### 3.2 主要脱硝工艺技术简介

在现有的脱硝工艺技术中,选择性催化还原法(SCR)和选择性非催化还原法(SNCR)是两种最广泛应用的技术。(1)选择性催化还原法(SCR):是一种成熟的脱硝技术,利用还原剂在催化剂的作用下与烟气中的氮氧化物发生反应,将它们还原成无毒无污染的氮气和水。该技术的投资费用相对较高,但是脱硝效率可以达到很高的水平。(2)选择性非催化还原法(SNCR):是一种低成本的脱硝技术,不需要催化剂的参与。在合适的温度范围内,将含有氨基的还原剂(如氨水、尿素溶液)喷入炉内,与烟气中的氮氧化物发生反应,生成氮气和水。该技术的投资费用相对较低,但是脱硝效率不如SCR技术高<sup>[1]</sup>。

在循环流化床锅炉中,SNCR技术得到了广泛应用。通过将还原剂喷入旋风分离器入口烟道处的高温区域,可以促进还原反应的发生,实现氮氧化物的脱除。SNCR技术的脱硝效率可以达到60%以上,甚至在某些情况下可以达到70%以上。同时,该技术的投资费用比SCR技术低60%以上,经济性较好。在实际应用中,需要根据具体情

况选择适合的脱硝技术。对于一些特定的场所和条件,如循环流化床锅炉等,SNCR技术可能更加适合。同时,随着技术的不断发展,还会有新的脱硝技术不断涌现,为大气污染治理提供更多的选择和可能性。

#### 3.3 选择性催化还原脱硝工艺原理

选择性催化还原脱硝工艺原理是利用还原剂在催化剂的作用下,将烟气中的氮氧化物选择性还原成无毒无污染的氮气和水。其中,还原剂可以包括液氨、氨水(25%NH<sub>3</sub>)或者尿素。在SCR反应过程中,催化剂的作用是降低反应的活化能,使反应温度降至150~450℃左右,从而使得该技术在燃煤电厂的实际应用成为可能。具体来说,SCR脱硝装置通常包括液氨储运系统、氨气制备和供应系统、氨/空气混合系统、氨喷射系统、烟气系统、SCR反应器系统和氨气应急处理系统等。液氨储运系统是将液氨储存在储罐中,然后通过输送系统输送到氨喷射系统;氨气制备和供应系统是将液氨蒸发后与空气混合,形成一定浓度的氨气;氨/空气混合系统是将氨气和空气混合,形成一定浓度的氨气和空气的混合物;氨喷射系统是将氨气和空气的混合物喷入烟气中;烟气系统是将烟气引入反应器中;SCR反应器系统是在一定温度下,利用催化剂将氨气和氮氧化物反应生成氮气和水;氨气应急处理系统是在出现异常情况下,对氨气进行处理。选择性催化还原脱硝工艺的脱硝效率在大型燃煤机组中可达25%~40%,对小型机组可达80%。该工程的工程造价低、布置简易、占地面积小,适合老厂改造,新厂可以根据锅炉设计配合使用。但是,该工艺受锅炉结构尺寸影响很大,多用作低氮燃烧技术的补充处理手段。此外,还原剂的选择和反应温度的控制也是该工艺的关键因素。

### 4 循环流化床锅炉烟气脱硝系统设计

#### 4.1 脱硝系统的构成与功能

循环流化床锅炉烟气脱硝系统设计主要采用SNCR脱硝技术,其构成与功能如下:(1)还原剂储存及供应系统:此系统主要负责储存还原剂(一般为尿素或者氨水),并将其输送到脱硝反应器中。在这过程中,还原剂会通过一个喷射系统被精确地喷入到烟气中。(2)烟气系统:该系统主要由引风机、烟道、反应器等组成。引风机用于将烟气吸入并确保其在反应器中均匀分布;烟道将烟气导向反应器并确保其在反应器中与还原剂充分混合;反应器则提供了一个适合于SNCR反应的温度和停留时间<sup>[2]</sup>。(3)SNCR反应器:这是脱硝系统的核心部分,它提供了一个适合于SNCR反应的环境。反应器内的温度和停留时间对SNCR反应的效果有着重要影响。

(4) 控制系统: 控制系统用于监控和调节整个脱硝过程, 包括还原剂的喷射量、喷射位置、烟气流量等, 以确保SNCR反应的效率和稳定性。(5) 废水处理系统: 该系统负责对反应后产生的废水进行处理, 避免二次污染。

#### 4.2 脱硝催化剂的选择与设计

在循环流化床锅炉烟气脱硝系统设计中, 脱硝催化剂的选择与设计是关键环节。合适的催化剂可以提高SNCR反应的效率和稳定性, 同时还能降低运行成本。首先, 催化剂的选择需要关注其活性、寿命和成本。活性高的催化剂可以促进SNCR反应在较低的温度下进行, 提高脱硝效率; 而寿命长的催化剂则可以在较长时间内保持较高的活性, 降低更换频率; 成本则是需要考虑的重要因素, 合适的催化剂价格可以保证脱硝系统的经济性。推荐使用含有 $V_2O_5$ 或 $Fe_2O_3$ 的催化剂, 如美国Catalent公司的HR-1000和HR-2000系列, 以及国内一些类似产品。这些催化剂在活性、寿命和成本方面均表现出较好的综合性能。催化剂的设计需要关注其放置位置和反应机理。通常, 催化剂会放置在锅炉的烟气通道中或旋风分离器入口处, 以确保其与烟气充分接触, 提高反应效率。反应机理主要包括反应温度、压力、气体流速等因素。在适宜的温度范围内, 催化剂可以有效促进SNCR反应; 适当的压力和流速则有利于反应物在催化剂表面的吸附和扩散, 提高反应速率。工艺设计方面, 需要确定催化剂的装载方式、反应室的尺寸和结构, 以及烟气的流向和流量等<sup>[3]</sup>。催化剂可以制成模块化, 方便安装和更换; 反应室则应根据锅炉的实际结构进行设计, 保证烟气在反应室内充分混合和反应; 烟气的流向和流量也应根据锅炉的运行情况进行调整, 确保催化剂发挥最大效用。

#### 4.3 还原剂的选择与供给系统设计

循环流化床锅炉烟气脱硝是大气污染防治的关键环节之一, 其中还原剂的选择与供给系统的设计对脱硝效果至关重要。首先是还原剂的选择。常用的还原剂有氨水、尿素和氨氮化合物等。在选择还原剂时, 需要综合

考虑其储存、供应、处理成本以及安全性等因素。氨水是应用广泛的还原剂, 具有较高的还原效果, 但储存和供应过程中可能会产生氨气泄漏, 对环境和人体健康有一定的风险。尿素作为一种固体还原剂, 其储存和供应相对比较方便, 且不易泄漏, 因此在一些特殊场合得到广泛应用。而氨氮化合物则是一种通过催化剂将 $NH_3$ 与硝酸盐反应生成的固体还原剂, 储存方便且具有较高的稳定性。其次是还原剂的供给系统设计。在供给系统设计中, 需要考虑的主要因素包括还原剂的储存容器、供给管路、喷嘴、控制系统等。储存容器应具备足够的容量, 能够满足循环流化床锅炉脱硝系统的需要, 并且要安全可靠。供给管路要设计合理, 采用耐高温、耐腐蚀的材料, 以确保还原剂能够稳定地输送到脱硝反应器中<sup>[4]</sup>。喷嘴的选择要考虑到流量调节和均匀喷射, 以获得较好的脱硝效果。控制系统需要实现还原剂的持续供给和流量调节, 确保脱硝效果稳定并满足环境排放标准。

#### 结束语

循环流化床锅炉烟气脱硝工艺的研究对于保护环境、实现可持续发展具有重要意义。通过本研究的探索和实践, 深入了解了循环流化床锅炉烟气脱硝的工作原理和技术特点, 并充分发挥了其在高效能源利用和大气污染控制方面的优势。未来的研究可以进一步优化烟气脱硝工艺, 提高其脱硝效率和能源回收利用效率, 为建设清洁、低碳的发展环境做出更大的贡献。

#### 参考文献

- [1]黄驰, 郁宏飞, 陈海波.循环流化床锅炉烟气脱硝技术探讨[J].化学工程与装备, 2019(11): 259-260.
- [2]杨聪.循环流化床锅炉烟气脱硝工艺探究[J].化工设计通讯, 2019, 45(09): 221-222.
- [3]李军, 张缦, 刘青, 等.循环流化床锅炉超低 $NO_x$ 排放理论与实践[J].洁净煤技术, 2020(3): 139-145.
- [4]王娜, 郑晓东.火电厂循环流化床锅炉低氮燃烧系统改造浅析[J].中国环保产业, 2020(11): 41-43.