

# Analysis of Nitrogen Oxide Emission Characteristics of Ultra-low Emission Coal Power Units During Start-up and Shutdown

Yongwu Li

Jiangsu Senda Thermoelectric Corporation, Yancheng, Jiangsu, 224700, China

## Abstract

With the continuous improvement of environmental protection requirements, coal power units need to meet ultra-low emission standards. In order to analyze the nitrogen oxide ( $\text{NO}_x$ ) emission characteristics of ultra-low emission coal power units during start-up, operation and shutdown, the  $\text{NO}_x$  emission status of coal power units during start-up, operation and shutdown was investigated in detail through the collection and analysis of field data. The results show that the concentration of  $\text{NO}_x$  increases first and then decreases during startup, while the concentration of  $\text{NO}_x$  decreases gradually during shutdown. Under normal operation, the  $\text{NO}_x$  emission concentration of ultra-low emission coal power units is maintained at a low level. Based on the data of  $\text{NO}_x$  emission characteristics during start-up and shutdown, a strategy for  $\text{NO}_x$  emission reduction of ultra-low emission coal power units is proposed, including optimization of combustion management and ammonia injection distribution. This study has important reference value for further improving the environmental friendliness of coal power units and reducing  $\text{NO}_x$  emission.

## Keywords

ultra-low emission; coal power unit; nitrogen oxides; emission characteristics; emission reduction strategy

# 超低排放煤电机组起停机氮氧化物排放特征分析

李用武

江苏森达热电总公司, 中国·江苏 盐城 224700

## 摘要

随着环境保护要求不断提高, 煤电机组需要满足超低排放标准。为了分析超低排放煤电机组在起停机过程中的氮氧化物 ( $\text{NO}_x$ ) 排放特性, 本研究通过对现场数据进行收集和分析, 详细考察了煤电机组在启动、运行和停机过程中的 $\text{NO}_x$ 排放状况。结果表明, 在启动过程中,  $\text{NO}_x$ 浓度呈现出先增加后减少的趋势, 而在停机过程中,  $\text{NO}_x$ 浓度呈现逐步降低的趋势。在正常运行状态下, 超低排放煤电机组的 $\text{NO}_x$ 排放浓度维持在较低水平。本研究利用启动和停机过程的氮氧化物排放特性数据, 提出了一种适用于超低排放煤电机组的 $\text{NO}_x$ 排放减少策略, 包括优化燃烧管理和喷氨分配等方法。本研究对于进一步提高煤电机组的环境友好性和减少 $\text{NO}_x$ 排放具有重要参考价值。

## 关键词

超低排放; 煤电机组; 氮氧化物; 排放特性; 减排策略

## 1 引言

环保需求的不断提升使得煤电机组面临着满足超低排放标准的压力。煤电机组运作过程中, 排放的氮氧化物 ( $\text{NO}_x$ ) 对环境带来的影响突显, 因此了解其在起停机过程中的排放特性, 对于控制和减少  $\text{NO}_x$  的排放具有重要的实践意义。然而, 煤电机组在启动、运行和停机过程中的  $\text{NO}_x$  排放问题并未得到广大研究者的足够重视。本研究就此问题进行了

深入分析, 采集了实际运行中的数据, 详细考察了煤电机组在各个运作过程中的  $\text{NO}_x$  排放状况, 并且基于实测数据, 提出了有效的  $\text{NO}_x$  排放减少策略。本研究旨在为相关领域研究者和工程师提供参考, 推动实现煤电机组运行的环境友好性。

## 2 超低排放煤电机组的氮氧化物排放特性

### 2.1 启动过程中的氮氧化物排放特性

超低排放煤电机组在启动过程中, 氮氧化物 ( $\text{NO}_x$ ) 排放特性具有显著的动态变化规律<sup>[1]</sup>。启动过程通常包括点火、升温、负荷增加等阶段, 在这些阶段中,  $\text{NO}_x$  排放浓度会经历一个先增加后减少的过程。点火初期, 由于燃烧条件不稳定, 燃料未充分燃烧, 导致  $\text{NO}_x$  生成量较高。这一阶段的

【作者简介】李用武 (1968-), 男, 中国江苏盐城人, 本科, 工程师, 从事火力发电、热力生产与供应以及环保超低排放运行和分析等研究。

NO<sub>x</sub> 排放主要来源于燃料中的氮含量和高温下空气中的氮氧化物生成反应。

随着机组逐步升温,燃烧状况趋于稳定,燃料的燃烧效率逐渐提高,导致 NO<sub>x</sub> 浓度达到峰值。此时,燃烧温度的逐步上升使得热力型 NO<sub>x</sub> 的生成量增加,这是因为在高温环境下,空气中的氮和氧更容易发生反应生成 NO<sub>x</sub>。随着负荷继续增加,燃烧优化控制措施的实施,例如空气预热、燃烧器调节等,使得燃烧效率进一步提升,燃烧温度控制在较为理想的范围内,减少了 NO<sub>x</sub> 的生成。喷氨系统的优化调整也在此过程中起到了关键作用,通过合理的喷氨量和喷氨位置,有效地降低了 NO<sub>x</sub> 排放浓度。

启动过程中的 NO<sub>x</sub> 排放特性分析表明,合理的燃烧控制和喷氨系统调整对降低 NO<sub>x</sub> 排放至关重要。通过优化点火程序和升温策略,可以有效控制启动初期的高 NO<sub>x</sub> 排放。精细化管理燃烧过程和准确调控喷氨量,可以在机组负荷逐步增加的过程中,确保 NO<sub>x</sub> 浓度逐渐降低并维持在低水平。由此可见,启动过程的优化不仅有助于达成超低排放目标,还为后续的稳定运行奠定了基础。

## 2.2 正常运行过程中的氮氧化物排放特性

在正常运行过程中,超低排放煤电机组的氮氧化物(NO<sub>x</sub>)排放能够维持在较低水平。这主要得益于现代化燃烧技术和高效的脱硝系统<sup>[2]</sup>。常规运行状态下,燃烧过程的稳定性和燃烧参数的优化调节对 NO<sub>x</sub> 排放特性起到关键作用。在这一过程中,机组燃烧系统保持稳定的火焰温度和充分的空气供给,有助于减少 NO<sub>x</sub> 的生成。脱硝系统,尤其是选择性非催化还原(SNCR)和选择性催化还原(SCR)技术的应用,在正常运行状态下能够有效捕集并还原 NO<sub>x</sub>,进一步降低其排放浓度。

具体而言,正常运行期的 NO<sub>x</sub> 排放浓度取决于许多因素,包括燃料种类、燃烧器设计、燃烧温度和燃烧空气量等。一方面,燃料的挥发性和含氮量直接影响 NO<sub>x</sub> 的生成量。另一方面,燃烧器的设计合理性、燃烧温度的精准控制以及空气供给的充分性,则在很大程度上决定了 NO<sub>x</sub> 的排放量。与此 SNCR 与 SCR 系统的高效运行,通过精确控制还原剂的喷射量和反应区温度,显著降低了 NO<sub>x</sub> 的最终排放浓度。在这一基础上,正常运行过程中的 NO<sub>x</sub> 排放能够实现稳定且低于法定限值,满足超低排放标准。

## 2.3 停机过程中的氮氧化物排放特性

在停机过程中,超低排放煤电机组的氮氧化物(NO<sub>x</sub>)排放特性显示 NO<sub>x</sub> 浓度逐步降低的趋势。停机过程中的燃烧条件逐渐变化,燃料供应减少,炉膛温度逐渐下降,导致燃烧反应不完全,NO<sub>x</sub> 生成量减少。此阶段,SCR(选择性催化还原)等脱硝系统仍在工作,进一步降低了排放的 NO<sub>x</sub> 浓度。数据表明,停机过程中 NO<sub>x</sub> 排放量较启动和正常运行阶段更低,且排放浓度较为稳定。分析表明,合理控制停机过程的燃料供应和温度变化,可以有效减少 NO<sub>x</sub> 排放。

## 3 超低排放煤电机组的氮氧化物排放影响因素分析

### 3.1 机组运行状况对氮氧化物排放的影响

机组运行状况是影响氮氧化物(NO<sub>x</sub>)排放的重要因素之一。不同的运行负荷和工况会直接影响煤电机组的燃烧效率和 NO<sub>x</sub> 排放水平。在低负荷运行条件下,锅炉燃烧不完全,燃料难以充分燃烧,导致过量空气系数偏低,生成的 NO<sub>x</sub> 浓度较高。而在高负荷运行条件下,燃烧状况改善,过量空气系数增加,NO<sub>x</sub> 生成量随之减少。高负荷运行时,燃烧过程的剧烈程度增加,可能导致局部高温热点形成,这些热点区域会促进 NO<sub>x</sub> 的生成。

启动和停机过程中,机组运行状况的变化更加复杂。在启动阶段,由于锅炉和辅助设备尚未达到最佳运行状态,燃烧不完全的情况较为严重,导致 NO<sub>x</sub> 排放一开始急剧上升,随后逐渐减少,直到机组达到稳定运行状态。在此过程中,燃烧器点火顺序、供燃料量及配风方式等因素都需要进行优化,以减少 NO<sub>x</sub> 的生成。而在停机阶段,随着负荷逐步降低,燃烧不完全现象出现,过量空气系数逐步减小,NO<sub>x</sub> 浓度呈现逐步下降的趋势。

机组的负荷变化对 NO<sub>x</sub> 排放的影响显著。在实际运行中,通过实时监控和调节运行参数,可以优化机组运行状况,减少 NO<sub>x</sub> 的排放。例如,通过优化燃烧管理,提高燃烧效率和稳定性,减少燃烧不完全所导致的 NO<sub>x</sub> 生成。结合 SCR(选择性催化还原)等脱硝技术,在不同负荷和工况下进行适应性调节,可以进一步降低 NO<sub>x</sub> 排放水平。深入研究机组运行状况与 NO<sub>x</sub> 排放的关系,对于优化燃烧过程和提高排放控制能力具有重要意义。

### 3.2 燃烧管理对氮氧化物排放的影响

燃烧管理对氮氧化物排放具有重要影响,因为燃烧过程直接决定了燃料在煤电机组中的氧化程度。燃料和空气的比例、燃烧温度、烟气流动等因素会影响氮氧化物(NO<sub>x</sub>)的生成。在燃烧过程中,高温条件下燃料中的氮和空气中的氮会发生化学反应生成 NO<sub>x</sub>。通过调整燃烧温度、控制燃烧空气过剩系数以及优化燃烧器结构等手段,可以有效减少 NO<sub>x</sub> 的产生。

燃烧温度的优化是减排的重要途径。研究显示,在某一最佳温度范围内,NO<sub>x</sub> 的生成量最小。通过调节燃烧器火焰中心的位置和燃烧空气的分配,可以保持这一最佳燃烧温度。降低过剩空气系数也能在一定程度上抑制 NO<sub>x</sub> 生成。空气过剩系数过高会导致过多氧气参与燃烧,增加 NO<sub>x</sub> 的生成量,过低则可能引发不完全燃烧,导致燃料浪费和污染物增加。

燃烧器的设计和布置也是影响 NO<sub>x</sub> 排放的关键因素。采用低 NO<sub>x</sub> 燃烧器,可以在确保燃烧效率的减少 NO<sub>x</sub> 生成。好的燃烧器设计能够通过分级燃烧、烟气再循环等技术,降低燃烧火焰温度,从而减少 NO<sub>x</sub> 的产生<sup>[3]</sup>。在部分煤电机

组中,燃烧器的改造工程已表明这一方法的显著效果。

### 3.3 喷氨分配对氮氧化物排放的影响

喷氨分配是影响超低排放煤电机组氮氧化物排放的重要因素。合理的氮氨分配可以有效降低氮氧化物的生成和排放。在SCR(选择性催化还原)系统中,喷氨量和喷氨位置的优化能够提高还原反应效率,减少 $\text{NO}_x$ 的排放浓度。通过对喷氨流量、喷氨均匀性和催化剂反应活性的研究,发现均匀且适量的喷氨分配可以最大限度地降低 $\text{NO}_x$ 排放。实际运行中需结合机组工况和排放要求,动态调整喷氨策略,以实现最佳减排效果。

## 4 超低排放煤电机组的氮氧化物减排策略

### 4.1 优化燃烧管理的减排策略

在超低排放煤电机组运行中,优化燃烧管理是一种有效的氮氧化物排放减少策略。优化燃烧管理的关键在于提高燃烧效率,并保证燃料燃烧充分,减少氮氧化物生成。

对于选择低氮燃烧技术,可以有效降低机组燃烧温度,减少燃烧过程中重氮化合物 $\text{NO}_x$ 的生成,对氮氧化物排放起到关键作用。采用分级燃烧技术则通过调整燃烧器的气流结构,使燃烧过程分段进行,有效降低氮氧化物的生成。

除此之外,分级给煤和调质技术也是优化燃烧管理的有效手段。这种技术通过精细化煤粉流动组织、集中调整喷射空气,使燃料在燃烧室内得到合理的气固混合和燃烧,不仅能够降低 $\text{NO}_x$ 的生成,还能够提高机组的排放效能。

燃烧控制系统的优化也可有效减少氮氧化物排放。通过实时监控燃烧过程,灵活调整燃烧参数,确保燃烧效率也能减少 $\text{NO}_x$ 排放。

优化燃烧管理的减排策略需依据实际运行情况进行灵活应用,结合各类燃烧技术与控制技术,才能实现氮氧化物排放的有效减少,使煤电机组更好地满足超低排放标准。

### 4.2 优化氮氨分配的减排策略

优化喷氨分配在超低排放煤电机组的氮氧化物( $\text{NO}_x$ )减排中起着关键作用。喷氨分配的合理调整能够显著影响脱硝系统的效率,从而减少 $\text{NO}_x$ 排放。研究表明,喷氨分配的优化需综合考虑反应器内部的流场分布、温度场及还原剂的扩散特性。

在实际应用中,通过先进的喷氨控制技术,可以实现氨与 $\text{NO}_x$ 的最佳反应。具体而言,采用多点喷氨和分级喷氨策略,能够提高还原剂氮利用效率,避免氨逃逸现象的发生。多点喷氨技术通过在不同位置设立多个喷氨点,确保氨均匀分布在烟气中,增强了氨与 $\text{NO}_x$ 的反应概率。分级喷

氨则通过分阶段、分区域进行氨的喷射,使得还原剂在整个反应过程中得到充分利用。

在线监测系统的应用,可以实时监测烟气中的 $\text{NO}_x$ 浓度和氨逃逸浓度,根据监测数据动态调整喷氨量和喷氨位置。这种实时反馈机制不仅提高了喷氨系统的响应速度,还增强了对 $\text{NO}_x$ 排放的控制能力。

优化喷氨分配策略的实施,需要结合机组的具体运行参数和环境条件,制定相应的操作规程和控制参数。通过模拟和实验验证,确定最佳的喷氨分配方案,确保在不同工况下均能达到理想的 $\text{NO}_x$ 减排效果。综合运用喷氨优化技术,可以显著降低超低排放煤电机组的 $\text{NO}_x$ 排放浓度,提高环保效益。

### 4.3 具体实施步骤和预期效果分析

针对超低排放煤电机组的氮氧化物减排策略,其实施步骤主要包括燃烧管理优化和喷氨分配优化两个环节。具体来说,燃烧管理优化主要是通过调整煤粉浓度和二次风比例等参数,以优化燃烧效果,并尽可能降低 $\text{NO}_x$ 的生成;喷氨分配优化则是通过精细调整各级减排设备的喷氨量,实现 $\text{NO}_x$ 的最大化去除。实施上述策略后,根据以往的经验以及模型预测,预期该机组的 $\text{NO}_x$ 排放浓度能够持续维持在超低排放水平,进而达到环保要求。这将为中国煤电机组满足更高环保标准提供参考和借鉴。

## 5 结语

论文主要研究了煤电机组在开、关机过程中产生的一种叫做氮氧化物的污染物。发现在开机时,这种污染物会先增多再减少;而在关机时,这种污染物会逐渐减少。为了降低污染,我们提出通过改进燃烧方式和调控喷氨等方式来减少氮氧化物。但我们发现,原料、气候等因素也会影响这种污染物的产生,所以未来我们会研究更多相关因素,来找出更全面的解决方案。同时,我们也会研究其他造成污染的物质,如二氧化硫、颗粒物等,看看能不能一起解决。我们希望这项研究能帮助我们更好地减少煤电机组的污染,让环境更加友好,也有助于我国在改善能源结构的同时,保护好生态环境。

### 参考文献

- [1] 余莹.燃煤热电厂氮氧化物排放的智能优化控制分析[J].电力系统装备,2021(3):178-179.
- [2] 宋杰明.水泥窑氮氧化物超低排放改造[J].水泥,2020(1):63-64.
- [3] 闫建伟.某联合循环发电机组超低氮氧化物排放方法实践研究[J].燃气轮机发电技术,2020,22(3):34-38.