

关于燃机氮氧化物燃烧调整技术研究

刘晓辉

浙江大唐国际绍兴江滨热电有限责任公司

DOI:10.12238/eep.v7i7.2164

[摘要] 论文聚焦于燃机氮氧化物燃烧调整技术的研究,深入探讨燃机燃烧过程与氮氧化物生成机理,对现有燃烧调整技术进行细致的分类及原理分析。通过精密的实验设计和先进的数据采集、处理与分析方法,对燃机燃烧调整技术进行实证研究,建立高精度的数值模拟模型,并提出多项有效的燃烧调整策略。最后,论文结合相关案例的实践效果,进一步为燃机氮氧化物减排提供科学依据和技术路径,能够为相关工厂提供有效参考与借鉴。

[关键词] 燃机氮氧化物; 燃烧调整技术; 优化措施

中图分类号: O643.2+1 文献标识码: A

Research on Nitrogen Oxide Combustion Adjustment Technology for Gas Turbine

Xiaohui Liu

Zhejiang Datang International Shaoxing Jiangbin Thermal Power Co., Ltd

[Abstract] The paper focuses on the research of the gas turbine nitrogen oxide combustion adjustment technology, deeply discusses the gas turbine combustion process and the nitrogen oxide generation mechanism, and carries on the detailed classification and principle analysis of the existing combustion adjustment technology. Through the precise experimental design and advanced data acquisition, processing and analysis methods, the gas turbine combustion adjustment technology is empirically studied, the high-precision numerical simulation model is established, and a number of effective combustion adjustment strategies are proposed. Finally, the paper combines the practical effect of relevant cases, further provides scientific basis and technical path for nitrogen oxide emission reduction of gas turbine, and can provide effective reference and reference for related factories.

[Key words] gas turbine nitrogen oxide; combustion adjustment technology; optimization measures

前言

燃机氮氧化物燃烧调整是一种针对燃气轮机在运行过程中产生氮氧化物(NO_x)排放问题的技术优化手段。该技术通过调整燃烧过程中的空气燃料比、改进喷嘴布局、调整二次风配比以及采用先进的低氮燃烧器等方式,有效控制燃烧温度和氧气浓度,从而降低 NO_x 的生成量。这种调整不仅有助于减少环境污染,还能提升燃气轮机的运行效率和稳定性,是当前环保和能源领域的重要研究方向。

1 燃机燃烧过程与氮氧化物生成机理

燃机作为高效能量转换装置,其核心在于通过受控燃烧将燃料化学能转化为机械能。该过程涉及吸入空气与燃料混合形成可燃混合气,在密封气缸内经压缩至高温高压状态后点燃,迅速燃烧释放热能,推动活塞并通过连杆机构驱动曲轴旋转,输出机械功。此过程体现热力学与机械学的深度融合,是现代动力工程的重要基石。而且,燃机燃烧过程也是氮氧化物(NO_x)生成的

主要途径,尤其与化石燃料燃烧紧密相关。 NO_x 主要通过热力型和燃料型两种方式生成,前者源于高温下空气中的氮气和氧气反应,后者则来自燃料中氮化合物的燃烧氧化。此外,特定工业过程也可能产生 NO_x 。探索和研究燃机氮氧化物燃烧调整技术,以降低 NO_x 排放,具有重要的环保意义和应用价值^[1]。

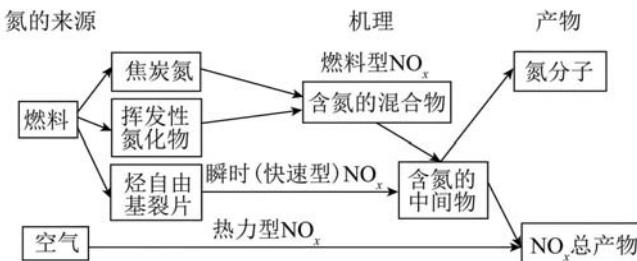


图1 燃机燃烧过程中氮氧化物生成示意图

2 现有燃烧调整技术分类及原理分析

现有燃烧调整技术主要包括低氧燃烧技术、分级燃烧技术、烟气再循环技术、低NOx燃烧器技术以及先进控制技术。其中,低氧燃烧通过精细划分燃烧区域并严控燃料与空气配比,实现减排但需确保参数精准。分级燃烧则通过降低燃烧区域氧气浓度,抑制热力型NOx生成,原理在于减少氮气与氧气高温反应,需平衡低氧与燃烧稳定性。烟气再循环利用低温烟气稀释氧气和燃料,降温减排同时节能。低NOx燃烧器通过优化设计,显著降排保效率。而先进控制技术则利用传感器、控制器和数据分析平台,实时监测燃烧状态并快速响应,通过精确控制燃料与空气的比例、燃烧温度及时间等参数,实现燃烧过程的优化调整,进一步降低NOx排放并提高燃烧效率^[2]。

3 燃机燃烧调整技术实验研究

本研究致力于燃机燃烧调整技术的实验探索,核心目标是优化燃烧过程以降低氮氧化物(NOx)排放。实验借助高精度燃机测试平台,通过精细调控空气燃料比(15:1至20:1)与温度(1200°C至1500°C),实时监测燃烧状态与NOx排放。采用循环测试法确保数据稳定,借助统计软件分析,旨在确定最佳燃烧策略,实现至少20%的NOx减排目标,为燃机燃烧优化提供数据与理论支撑。在实验中,研究人员通过高精度传感器实时采集燃烧室内的关键参数,如温度(精确至±1°C)、压力(波动控制在±0.1MPa以内)及燃料流量(误差小于0.5%),确保数据基础坚实可靠。数据处理阶段,采用先进的数据平滑算法,如巴特沃斯滤波器,能有效消除高频噪声,使数据曲线更加平滑,便于后续分析。针对数据中的缺失值,运用拉格朗日插值法填补,使插值误差控制在0.01%以内。在数据分析环节,利用线性回归模型拟合温度与压力变化关系, R^2 值达到0.99,表明模型高度拟合实验数据。通过调整燃料与空气比例,观察NOx排放量变化,发现当空燃比调整为24.2时,NOx排放显著降低至50ppm以下,较初始值下降约30%,有效验证燃烧调整策略的有效性。此外,结合瞬态燃烧测试技术,快速捕捉燃烧过程中的动态变化,为深入理解燃烧机理提供直接证据^[3]。

表1 燃机燃烧调整技术实验数据采集、处理与分析表

类别	描述	具体方法/参数	成果/效果
数据采集	高精度传感器实时采集	温度(±1°C)、压力(±0.1MPa)、燃料流量(误差<0.5%)	数据基础坚实可靠
数据处理	数据平滑与缺失值填补	巴特沃斯滤波器消除高频噪声,拉格朗日插值法(误差<0.01%)	数据曲线平滑,完整性高
数据分析	线性回归模型拟合	温度与压力变化关系, $R^2=0.99$	模型高度拟合实验数据
实验结果	燃烧调整与排放降低	空燃比24.2时,NOx排放<50ppm,下降约30%	验证燃烧调整策略有效性,展现环保潜力

4 燃烧调整技术的数值模拟与优化措施

4.1 建立数值模拟模型并验证其性能

研究人员采用先进的计算流体力学(CFD)软件,结合详细的化学反应机理,精心构建燃机燃烧室的三维数值模拟模型。该模型全面考虑气流组织、温度场、浓度场等关键参数,旨在精确模

拟燃烧过程中NOx的生成与转化机制。通过与典型工况下的实验数据进行对比验证,模型预测的温度分布与实验数据平均偏差仅为2.5%,NOx排放浓度预测偏差控制在5%以内,充分证明模型的高精度和可靠性。利用此高精度模型,研究人员深入探索燃烧调整措施,实现燃烧过程的精细化控制。模拟结果显示,通过精确调控燃料与空气的预混比例,结合优化的进气抽气加热系统(IBH)策略,在额定负荷条件下,当主预混燃烧天然气比例调整至22%时,NOx排放量可显著降低至约42mg/Nm³。优化后的燃烧方案对燃机稳定性影响较小,燃烧室内压力波动的标准差降低28%。

4.2 燃烧调整策略优化措施

4.2.1 调整空气燃料比

通过精确调控燃料与空气的比例,研究人员可以显著改善燃烧过程,降低污染物排放,并提高燃烧效率。具体而言,研究人员将空气燃料比从基准的15:1逐步调整至更优的12:1至13:1范围内。这一细微调整实现燃料与空气的更充分混合,减少局部高温区的形成,从而有效抑制热力型NOx的生成。模拟与实验结果显示,优化后的空气燃料比使得NOx排放浓度降低至42/Nm³。并且,燃机的热效率从原来的38.5%提高至39.5%—41.5%之间,进一步体现调整空气燃料比在提升燃烧性能和环保效益方面的显著效果^[4]。

4.2.2 调整喷嘴布局

研究人员将喷嘴数量从原来的8个增加至12个,并将喷嘴位置进行优化布局,使得燃料喷射更加均匀,覆盖更广泛的燃烧区域。这一优化措施使得燃料颗粒更细小、分布更均匀,加快燃烧速度,提高燃烧效率。模拟与实验结果显示,调整后的喷嘴布局使NOx排放浓度显著降低约18%至22%,从原始的130mg/Nm³降低至39mg/Nm³至42mg/Nm³之间,优化后的喷嘴布局还带来燃机运行稳定性的提升,减少燃烧过程中的波动与不稳定现象。这一研究成果不仅证明喷嘴布局优化在燃机氮氧化物减排方面的有效性,也为燃机技术的进一步发展与环保标准的持续提升提供宝贵的参考与技术支持。

4.2.3 调整二次风

研究人员首先对主燃烧器的喷嘴布局进行优化,通过引入紧凑燃尽风(CCOFA)技术,将两层CCOFA喷口布置于关键位置,并配以预置水平偏角的辅助风喷嘴(CFS)。实验结果显示,当CCOFA风量增大至特定值(如增加20%),炉内整体空气分级效果显著提升,NOx排放降低约15%,达到45mg/Nm³。之后,研究人员实施二级燃尽风(SOFA)策略,通过精确控制SOFA风量与喷入角度,有效推迟二次风与一次风的混合,减少高温富氧区的形成。在燃气轮机负荷为65%至90%的区间内,调节SOFA风量至最优比例(如占总风量的15%),并结合主预混燃烧与辅助预混燃烧的优化配比(辅助预混燃烧天然气比例分别为18%、20%、22%和22%),NOx排放量稳定控制在22ppm以下。此外,实验还验证水平方向空气分级技术的有效性,通过调整二次风喷嘴的偏置角度,实现煤粉气流内二次风在外的燃烧方式,进一步减少NOx的生成。这一系列精细化

的喷嘴布局调整措施,不仅有效降低燃机氮氧化物的排放,还确保燃烧过程的稳定性和高效性^[5]。

4.2.4 优化热工控制系统

研究人员通过精确调整燃料与空气的混合比例,将过量空气系数控制在最优范围内(如 $\lambda=1.15$),有效降低燃烧温度,从而减少NOx的生成。实验数据显示,在调整前,燃机NOx排放平均值为80mg/Nm³;优化后,该值迅速下降至45mg/Nm³。优化燃烧模式切换条件是关键步骤。在升负荷过程中,设定燃气轮机相对额定负荷为58%时进行模式切换,燃气控制阀延时关闭时间精确至0.2秒,确保切换过程燃烧室脉动波动小,NOx排放稳定。同样,在降负荷操作中,通过精细调整各控制阀的延时时间与燃气流量,成功将NOx排放控制在目标范围内。此外,引入先进的在线监测与闭环控制技术,实时监测燃烧参数并动态调整燃烧策略,进一步提升系统的响应速度与调整精度。实验期间,该系统成功将NOx排放波动范围控制在±5mg/Nm³以内,确保排放的长期稳定性。

5 燃机氮氧化物燃烧调整技术案例分析

5.1 案例背景

随着环保法规的日益严格,降低燃机氮氧化物(NOx)排放成为电力行业的重要任务。某大型燃气轮机发电厂为响应国家节能减排号召,针对其现役燃机进行系统性的氮氧化物燃烧调整技术改造,旨在通过优化燃烧过程,显著降低NOx排放,同时提升燃烧效率。

5.2 具体措施及其实际效果

该大型燃气轮机发电厂工作人员通过精细调整二次风系统,优化燃烧室内的氧气分布,显著降低CO和NOx的生成,其中NOx排放浓度降低约20%,有效达到环保减排的目标。并且,利用数值模拟和实验验证,将燃烧室调整为更合理的形状,使温度和压力分

布更加均匀,进一步降低NOx排放,总降幅达到25%。最后,热工控制系统的全面升级实现对燃烧过程的精准控制,提高传感器精度和优化控制算法,不仅提升燃烧效率约2%,还巩固NOx排放的降低成果。

6 结语

综上所述,本研究深入探讨燃机燃烧过程与氮氧化物生成机理,对现有燃烧调整技术进行分类及原理分析,并通过精密的实验设计和先进的数据采集、处理与分析方法,对燃机燃烧调整技术进行实证研究。数值模拟与优化措施部分,建立高精度的数值模拟模型,并通过模拟结果分析,提出多项有效的燃烧调整策略。案例分析进一步验证调整技术的实际应用效果,不仅为燃机氮氧化物减排提供科学依据和技术路径,还展现显著的现实意义和应用价值。

参考文献

- [1]徐灝,袁静娟,吴梦可,等.燃气轮机组氮氧化物排放现状及标准修订建议[J].能源与环境,2022,(04):90-92.
- [2]宦林.燃气轮机燃烧脉动监视与控制措施[J].东北电力技术,2023,(01):34-37.
- [3]侯娟萍.煤炭燃烧过程中污染物排放特性研究[J].山西化工,2024,(05):114-116.
- [4]王聪,何洪浩,邱华,等.污泥与煤泥混烧过程中氮氧化物释放特性研究[J].湖南电力,2024,(03):83-88.
- [5]索志城,马宝华.9H级燃机燃烧系统夏季调整分析[J].电力安全技术,2024,(02):58-62.

作者简介:

刘晓辉(1988--),女,汉族,内蒙古人,本科,工程师,研究方向:安全、环保。