

火电厂锅炉燃烧优化技术研究

王建国

江西赣能股份有限公司丰城发电厂 江西 宜春 331100

摘要: 随着电力需求攀升与环保要求趋严,火电厂锅炉燃烧优化迫在眉睫。本文聚焦火电厂锅炉燃烧优化技术研究。首先梳理其发展脉络,历经燃烧理论建模、检测技术驱动、人工智能融合阶段。接着深入分析关键技术,涵盖基于燃烧理论的建模、检测技术、人工智能及控制算法的燃烧优化。最后展望发展趋势,包括多模态数据融合、边缘计算与5G应用、碳捕集与燃烧优化协同、人工智能与控制理论深度融合等。该研究对提升火电厂锅炉燃烧效率、降低污染物排放、实现节能减排目标具有重要意义,为行业技术发展提供参考。

关键词: 火电厂; 锅炉燃烧; 优化技术; 发展趋势

引言: 火电厂作为电力供应的重要支柱,其运行效率与环保性能备受关注。锅炉燃烧是火电厂的核心环节,燃烧效率直接影响发电成本与能源利用率,同时燃烧产生的污染物排放对环境造成严重威胁。因此,开展锅炉燃烧优化技术研究至关重要。随着科技的不断进步,燃烧优化技术经历了从理论建模到检测技术驱动,再到人工智能融合的发展历程。深入研究这些技术,探索其发展趋势,有助于火电厂提升运行水平,实现经济效益与环境效益的双赢,推动电力行业可持续发展。

1 火电厂锅炉燃烧优化技术发展脉络

1.1 燃烧理论建模阶段

在燃烧理论建模阶段,科研人员致力于从理论层面剖析锅炉燃烧过程。通过构建数学模型,模拟燃料在炉膛内的燃烧反应、热量传递等物理化学过程。借助流体力学、热力学等基础学科知识,分析燃烧产物的生成与分布规律。该阶段虽模型存在一定简化,与实际复杂工况有差异,但为后续研究提供了理论框架和方向指引,让人们初步认识到锅炉燃烧的内在机制和关键影响因素。

1.2 检测技术驱动阶段

检测技术驱动阶段,各类先进传感器和检测设备的应用成为锅炉燃烧优化的关键。温度传感器、压力传感器、气体成分分析仪等能实时、精准地获取锅炉运行中的关键参数,如炉膛温度、氧含量、一氧化碳浓度等。基于这些精确数据,运行人员可及时调整风量、煤量等燃烧参数,优化燃烧工况。此阶段显著提高了燃烧优化的及时性和准确性,有效提升了锅炉的燃烧效率和运行稳定性。

1.3 人工智能融合阶段

人工智能融合阶段,机器学习、深度学习等算法为锅炉燃烧优化带来革命性变化。人工智能能够处理海量

复杂数据,挖掘数据中的潜在规律和关联。通过对大量历史运行数据的学习和分析,人工智能模型可以精准预测不同工况下的最佳燃烧参数,并实现自适应优化控制。与传统方法相比,该阶段使锅炉燃烧优化更加智能化、精准化,能更好地适应复杂多变的运行环境,进一步提升火电厂的经济效益和环境效益^[1]。

2 火电厂锅炉燃烧优化关键技术分析

2.1 基于燃烧理论的建模技术

基于燃烧理论的建模技术是火电厂锅炉燃烧优化的重要基础,它从理论层面深入剖析锅炉内的燃烧过程,为优化提供科学依据。(1) 该技术以燃烧学、流体力学、热力学等基础学科理论为支撑,构建精确的数学模型来模拟锅炉内的复杂燃烧现象。通过这些模型,可以详细分析燃料在炉膛内的燃烧反应,包括燃料的着火、燃烧速率、火焰传播等过程,以及燃烧过程中热量的传递和分布情况。例如,利用计算流体力学(CFD)方法,能够对炉膛内的气流运动、温度场和浓度场进行数值模拟,从而直观地展示燃烧过程的空间分布特征,帮助研究人员理解燃烧的物理机制。(2) 基于燃烧理论的建模技术有助于确定影响锅炉燃烧效率的关键因素。通过对模型的参数分析和敏感性研究,可以明确燃料性质、风量配比、炉膛结构等因素对燃烧效果的影响程度。这为优化燃烧参数提供了理论指导,使运行人员能够有针对性地调整操作,提高燃烧效率,降低不完全燃烧损失。(3) 该技术能够预测不同工况下的燃烧性能。在实际运行中,锅炉的负荷、燃料种类等会发生变化,基于燃烧理论的模型可以根据这些变化预测燃烧的稳定性及污染物排放情况。运行人员可以根据预测结果提前调整运行策略,确保锅炉在各种工况下都能实现高效、清洁燃烧,提高火电厂的经济效益和环境效益。

2.2 基于检测技术的燃烧优化

基于检测技术的燃烧优化在火电厂锅炉运行中起着至关重要的作用，它通过精准获取燃烧过程中的各类参数，为优化燃烧提供坚实的数据支撑。（1）先进的检测技术能够实时、准确地监测锅炉内的关键参数。温度传感器可精确测量炉膛不同位置的温度分布，帮助了解燃烧的热量释放情况，判断燃烧是否均匀，避免局部过热或过冷导致的燃烧效率下降和设备损坏。压力传感器能实时反映炉膛内的压力变化，稳定的压力是保证燃烧稳定进行的重要因素，压力异常可能预示着燃烧工况出现问题，及时检测可避免事故发生。（2）检测技术可以对燃烧气体成分进行详细分析。通过气体成分分析仪，能够实时掌握氧气、一氧化碳、二氧化碳等气体的含量。氧气含量直接影响燃烧的充分程度，合适的氧量可保证燃料完全燃烧，提高燃烧效率；一氧化碳含量过高则表明燃烧不充分，存在能源浪费和污染物排放增加的问题。根据这些气体成分数据，运行人员可以及时调整风量，优化燃烧空气配比。（3）基于检测技术获取的数据可构建燃烧状态评估体系。通过对多个参数的综合分析，能够全面评估锅炉的燃烧状态，判断燃烧是否处于最佳工况。当检测到燃烧状态偏离最优时，系统可自动发出调整指令，指导运行人员进行参数调整，实现燃烧的动态优化，提高锅炉的整体运行效率和稳定性，降低污染物排放，实现火电厂的节能减排目标。

2.3 基于人工智能的燃烧优化

在火电厂锅炉燃烧优化领域，基于人工智能的技术正展现出巨大潜力，为提升燃烧效率、降低污染物排放提供了创新解决方案。（1）人工智能具备强大的数据处理与分析能力。火电厂锅炉运行过程中会产生海量数据，包括温度、压力、氧含量、燃料流量等。传统方法难以从这些复杂数据中提取有价值的信息，而人工智能算法，如机器学习中的神经网络、决策树等，能够对大量历史数据进行深度挖掘。通过学习数据中的模式和规律，人工智能可以准确识别出影响燃烧效率的关键因素，以及各因素之间的复杂关系，为优化燃烧提供精准依据。（2）人工智能可实现燃烧过程的智能预测与控制。基于训练好的模型，人工智能能够根据当前的运行参数，预测未来一段时间内锅炉的燃烧状态和性能指标。例如，预测不同负荷下燃烧的稳定性和污染物排放情况。运行人员可以根据预测结果，提前调整燃烧参数，如风量、煤量等，使锅炉始终运行在最佳工况。同时，人工智能还能实现自适应控制，根据实时监测数据自动调整控制策略，确保燃烧过程的稳定性和高效性。

（3）人工智能有助于实现燃烧优化的智能化决策。在面对复杂的燃烧工况和多变的环境条件时，人工智能可以综合考虑多个目标，如提高燃烧效率、降低氮氧化物排放、减少运行成本等，通过优化算法找到最优的决策方案。这种智能化的决策方式能够克服人工决策的局限性，提高燃烧优化的科学性和准确性，推动火电厂锅炉燃烧技术向智能化、高效化方向发展。

2.4 基于控制算法的燃烧优化

在火电厂锅炉燃烧优化进程中，基于控制算法的优化策略发挥着不可或缺的作用，它通过精准调控燃烧参数，实现燃烧过程的高效、稳定与环保运行。（1）先进控制算法能实现燃烧参数的精确跟踪与调节。锅炉燃烧涉及众多参数，如风量、煤量、给水流量等，这些参数相互关联且对燃烧效果影响重大。传统的控制方式难以应对复杂多变的工况，而先进的控制算法，如模糊控制、自适应控制等，可根据设定的目标值，实时、精确地调整各参数。模糊控制能处理不确定性和非线性问题，依据经验规则对参数进行柔性调节；自适应控制则可根据系统运行状态的变化，自动调整控制参数，确保燃烧参数始终跟踪最优值，提高燃烧效率。（2）控制算法有助于增强燃烧系统的抗干扰能力。火电厂锅炉运行过程中会受到多种干扰因素影响，如燃料品质波动、负荷变化等。基于控制算法的优化系统能够快速感知这些干扰，并通过调整控制策略来抵消干扰对燃烧过程的影响。例如，当燃料热值发生变化时，控制算法可及时调整风量和煤量的配比，保证燃烧的稳定性和效率，避免因干扰导致燃烧不稳定、污染物排放增加等问题。（3）控制算法可实现多目标优化控制。火电厂锅炉燃烧优化不仅要考虑燃烧效率，还需兼顾污染物排放、设备寿命等多个目标。先进的控制算法能够构建多目标优化模型，通过协调各控制变量，在满足不同目标要求的前提下，找到整体最优的控制方案。这种多目标优化控制方式，可使锅炉在高效运行的同时，降低污染物排放，延长设备使用寿命，实现火电厂的综合效益最大化^[2]。

3 火电厂锅炉燃烧优化技术发展趋势

3.1 多模态数据融合技术

随着火电厂锅炉运行复杂性的提升，单一数据源已难以满足燃烧优化的精准需求，多模态数据融合技术正成为关键发展方向。该技术通过整合锅炉运行过程中的温度、压力、氧含量、煤粉浓度、图像、振动信号等多维度数据，构建统一特征空间，实现数据深度关联与互补分析。例如，利用电力图像编码器与电气信号编码器，可同步分析炉膛火焰图像与热工参数，精准识别燃

烧异常区域；结合振动传感器与温度数据，能提前预警设备故障，避免非计划停机。多模态融合不仅提升了数据可靠性，还通过特征提取与降维技术，解决了高维数据处理计算瓶颈。此外，基于多模态数据的深度学习模型可实现燃烧状态的动态评估与预测，为自适应控制提供依据。

3.2 边缘计算与5G技术应用

在火电厂锅炉燃烧优化进程中，边缘计算与5G技术的结合正成为推动其发展的重要力量。边缘计算具备低延迟、高实时性的优势，它可在锅炉现场就近处理海量运行数据。在锅炉燃烧时，各类传感器会瞬间产生大量数据，边缘计算设备能快速对这些数据进行初步分析、筛选和预处理，及时提取关键信息，无需将所有数据传输至云端，从而大大减少了数据传输的延迟，让控制系统能迅速做出反应，精准调整燃烧参数，保障燃烧的稳定性与高效性。而5G技术则提供了高速、稳定、大容量的数据传输通道。它能够确保边缘计算设备与云端、其他设备之间实现无缝、高效的数据交互。借助5G网络，远程监控和操作得以更流畅地进行，专家可实时获取锅炉燃烧数据并远程指导优化。

3.3 碳捕集与燃烧优化协同

碳捕集与燃烧优化的协同是火电厂实现深度脱碳与高效运行的关键路径。化学链燃烧技术通过载氧体间接供氧，从源头分离高浓度CO₂，捕集效率达95%以上，且成本较传统技术降低三分之二。该技术与燃烧优化结合时，可动态调整风煤比例，在保证燃烧稳定性的同时最大化CO₂浓度，减少后续分离能耗。例如，东方锅炉5兆瓦中试系统通过化学链燃烧，直接获得90%以上浓度的CO₂，显著降低了捕集成本。此外，富氧燃烧技术通过提高助燃空气氧含量至28%-30%，使烟气中CO₂浓度提升至90%以上，与燃烧优化算法配合，可实现NO_x排放降低50%以上，同时提升锅炉效率3-4个百分点。这种协同模式不仅推动了火电厂的低碳转型，也为高参数机组的效率革命提供了技术支撑。

3.4 人工智能与控制理论深度融合

在火电厂锅炉燃烧优化领域，人工智能与控制理论的深度融合正引领技术变革。人工智能为控制理论赋予了强大的数据处理与学习能力。机器学习算法能对海量燃烧数据进行深度挖掘，精准识别复杂工况下的燃烧模式与规律，为控制策略提供更科学的依据。深度学习模型可预测不同参数组合下的燃烧效果，提前调整控制参数，增强控制的预见性。控制理论则为人工智能提供了坚实的理论框架与稳定机制。经典控制理论中的稳定性分析、鲁棒控制等方法，确保人工智能控制算法在复杂多变的锅炉运行环境中稳定运行，避免因数据噪声或模型误差导致的控制失稳。两者的深度融合，使锅炉燃烧控制从传统的经验驱动转向数据与理论双驱动。系统能根据实时数据自动优化控制策略，实现燃烧效率提升、污染物排放降低，推动火电厂锅炉燃烧优化向智能化、自适应化方向迈进，为能源行业的可持续发展提供有力支撑^[1]。

结束语

火电厂锅炉燃烧优化技术研究意义重大且影响深远。从燃烧理论建模到检测技术驱动，再到人工智能与控制理论的深度融合，以及多模态数据融合、边缘计算与5G技术、碳捕集协同等新兴方向的发展，每一步都推动着燃烧效率提升与污染物排放降低。未来，随着科技持续进步，各技术间的融合将更加紧密。我们应不断探索创新，突破技术瓶颈，让锅炉燃烧优化技术更成熟、高效。如此，才能助力火电厂实现绿色、低碳、可持续发展，为我国能源结构优化和“双碳”目标达成贡献关键力量。

参考文献

- [1]张强.火电厂锅炉炉内低氮燃烧运行优化试验研究[J].工业炉,2023,45(05):19-23.
- [2]赵永设,王士强.火力发电厂锅炉设备燃烧优化方法研究[J].现代制造技术与装备,2023,59(09):18-20.
- [3]吕福山.火电厂CFB锅炉的燃烧技术优化对策[J].化肥设计,2023,61(03):55-58.