

燃煤发电厂高效燃烧技术的研发与应用研究

王 雷

国家能源集团华北电力有限公司廊坊热电厂 河北 廊坊 065000

摘要：燃煤发电厂高效燃烧技术的研发聚焦于燃烧器优化、过程精准控制、高温高压技术突破及燃料全链条处理。通过创新设计低NO_x燃烧器，结合智能控制系统，实现燃烧效率显著提升与污染物排放大幅降低。高温高压技术的应用则进一步提升蒸汽热效率，而燃料预处理与后处理技术的完善，确保资源高效利用与环保目标并行。本研究为燃煤发电行业的绿色转型提供了坚实的技术支撑。

关键词：燃煤发电厂；高效燃烧技术；应用研究

引言：燃煤发电厂作为能源供应的重要支柱，其燃烧效率与环保性能直接关乎能源利用效率和环境质量。随着全球对节能减排的日益重视，燃煤发电厂高效燃烧技术的研发与应用研究显得尤为重要。通过技术创新与优化，旨在提升燃烧效率、降低污染物排放，实现经济效益与环境效益的双赢。本研究将深入探讨燃煤发电厂高效燃烧技术的最新进展与应用实践，为行业的绿色转型提供理论支持与实践指导。

1 燃煤发电厂高效燃烧技术概述

燃煤发电厂高效燃烧技术是当前能源利用和环境保护的重要方向。该技术通过优化燃烧设备和燃烧过程，显著提高了燃煤发电的能源利用效率，并有效减少了环境污染。高效燃烧技术主要包括超超临界技术和高效燃烧技术。超超临界技术通过提高锅炉的压力、温度和热效率，使燃煤发电的能源利用效率达到50%以上，大大降低了单位发电量的煤耗。而高效燃烧技术则通过优化燃烧设备，如采用先进的燃烧器和燃烧控制系统，使煤粉在炉膛中充分燃烧，减少了不完全燃烧产生的污染物。高效燃烧技术还结合了先进的尾气处理系统，如脱硫、脱硝和除尘装置，进一步降低燃煤发电过程中的二氧化硫、氮氧化物和粉尘等污染物的排放。这些技术的应用，不仅提高燃煤发电的清洁度和环保性，还显著降低企业的运营成本和煤炭的消耗，为我国能源结构的优化和可持续发展做出重要贡献。

2 燃煤发电厂高效燃烧技术的重要性

燃煤发电厂高效燃烧技术的重要性不言而喻。随着全球能源需求的持续增长和环境保护意识的日益增强，提高燃煤发电的能源利用效率、减少污染物排放已成为行业发展的迫切需求。高效燃烧技术通过优化燃烧过程，能够显著提升燃煤发电厂的能源转换效率，降低单位发电量的煤耗，从而有效缓解煤炭资源紧张的局面^[1]。

该技术还能大幅减少二氧化硫、氮氧化物和粉尘等有害物质的排放，改善空气质量，保护生态环境，对于应对气候变化、实现可持续发展目标具有重大意义，燃煤发电厂高效燃烧技术的推广和应用，不仅是电力行业转型升级的必由之路，也是实现经济社会与环境保护和谐共生的关键举措。

3 燃煤发电厂高效燃烧技术的关键机理与创新点

3.1 提升燃烧效率的机理分析

燃煤发电厂高效燃烧技术的核心在于提升燃烧效率，其关键机理主要包括几个方面：（1）优化燃烧设备设计：采用先进的燃烧器结构，如低NO_x燃烧器，通过优化喷煤口布局和煤粉气流组织，使煤粉与空气充分混合，提高燃烧反应的速率和完全度。（2）提高炉膛温度与压力：通过超超临界技术，提升锅炉的运行压力和温度水平，使燃煤在更高能量状态下燃烧，从而提高热效率。高温高压环境还能促进煤中挥发分的析出和焦炭的燃烧，进一步提升燃烧效率。（3）精确控制燃烧过程：利用先进的燃烧控制系统，实时监测炉膛内的温度、压力、氧气浓度等参数，并据此调整煤粉流量、空气配比等，实现燃烧过程的精确控制。这不仅能确保燃烧的稳定性，还能避免燃烧不充分或过度燃烧造成的能量损失。

3.2 降低污染物排放的关键技术

燃煤发电厂在提升燃烧效率的同时，也需关注污染物排放的控制。以下是降低污染物排放的关键技术：第一、低NO_x燃烧技术：通过优化燃烧器结构和调整燃烧条件，如降低过量空气系数、采用分级燃烧等方式，抑制NO_x的生成。同时，部分燃烧器还配备有再燃区或SNCR（选择性非催化还原）装置，进一步降低NO_x排放。第二、烟气脱硫技术：主要包括湿法脱硫和干法脱硫两种。湿法脱硫以石灰石-石膏法为代表，通过石灰石浆液与烟气中的SO₂反应，生成石膏等副产物，实现脱硫。干

法脱硫则利用吸收剂（如活性炭、氧化钙等）在干态下与 SO_2 反应，达到脱硫目的。第三、烟气脱硝技术：主要包括SCR（选择性催化还原）和SNCR两种。SCR技术利用催化剂在较低温度下将 NO_x 还原为氮气和水，是目前应用最广泛的脱硝技术。SNCR则无需催化剂，在高温下即可实现 NO_x 的还原，但效率相对较低。第四、高效除尘技术：采用静电除尘器、布袋除尘器等高效除尘设备，对烟气中的粉尘进行捕集和处理，确保排放的烟气满足环保标准。同时部分除尘设备还具备脱除重金属等有害物质的功能。

4 燃煤发电厂高效燃烧技术的研发

4.1 燃烧器设计与优化：创新引领高效燃烧新时代

在燃煤发电厂高效燃烧技术的研发版图中，燃烧器的设计与优化无疑是核心中的核心。这一领域的进步，不仅关乎到燃烧效率的直接提升，更是实现低碳环保、节能减排目标的关键。现代燃烧器的设计，已不再是简单的机械构造，而是融合了空气动力学、燃烧科学、材料工程以及先进计算技术等多学科交叉的复杂系统。首先需对煤种特性进行深入研究，包括煤的挥发分含量、灰分含量、固定碳比例等，以此为基础定制化设计燃烧器。通过精细化的喷煤口布局，确保煤粉与助燃空气能够均匀、充分地混合，形成有利于高效燃烧的火焰结构^[2]。为了降低 NO_x 等有害气体的生成，低 NO_x 燃烧技术被广泛应用，如分级燃烧、浓淡燃烧等策略，通过改变燃烧区域的氧气浓度和温度分布，有效抑制热力型和燃料型 NO_x 的生成。燃烧器的材料选择也是至关重要的一环，在高温高压的恶劣环境下，燃烧器不仅要承受巨大的热应力，还要具备良好的耐腐蚀性和耐磨性。耐高温合金、陶瓷复合材料等先进材料被广泛应用于燃烧器的制造中，以确保其长期稳定运行。随着智能制造和数字化技术的发展，燃烧器的设计与优化正逐步迈向智能化。通过集成传感器、执行器和智能控制系统，燃烧器能够实现自我监测、自我调整和自我优化，进一步提高燃烧效率和环保性能。例如，利用大数据分析技术，可以实时监测燃烧过程中的各项参数，并基于历史数据和模型预测，提前调整燃烧策略，以应对煤质变化、负荷波动等不确定因素。

4.2 燃烧过程控制：精准调控，追求卓越

燃烧过程的控制是实现高效燃烧和清洁排放的重要保障。现代燃煤发电厂普遍采用先进的燃烧控制系统，通过精准调控燃烧过程中的各项参数，确保燃烧过程始终保持在最优状态。燃烧控制系统的核心在于其强大的数据处理能力和智能算法。系统通过集成多种传感器，

实时监测炉膛内的温度、压力、氧气浓度、煤粉流量等关键参数，并将这些数据传输至中央处理器进行处理和分析。基于预设的控制策略和算法模型，系统能够自动调整煤粉流量、空气配比、燃烧温度等参数，以实现燃烧效率的最大化和污染物排放的最小化。为了进一步提高控制精度和响应速度，许多燃煤发电厂还引入了先进的预测控制和自适应控制技术。这些技术能够基于实时数据和历史经验，提前预判燃烧过程的变化趋势，并自动调整控制策略以适应新的工况条件，系统还具备自我学习和自我优化的能力，能够不断优化控制参数和算法模型，以提高控制效果和稳定性。

4.3 高温高压技术：突破极限，提升效率

高温高压技术是提升燃煤发电效率的重要手段之一。通过提高锅炉的运行压力和温度水平，可以显著提高蒸汽的热效率和做功能力，从而增加发电量和降低煤耗。在超超临界技术的应用下，燃煤发电厂的锅炉参数已经达到了前所未有的高度。超超临界锅炉采用先进的材料和结构设计，能够承受更高的压力和温度水平，使得蒸汽的温度和压力均大幅提升。这种高温高压的环境不仅提高了蒸汽的热能转换效率，还减少了蒸汽在输送过程中的能量损失。为了确保高温高压锅炉的稳定运行，研发团队在材料选择、结构设计、冷却系统等方面进行了大量创新。他们采用了耐高温合金材料制造锅炉受热面，通过优化汽水循环系统设计以提高热回收效率，并采用了先进的冷却技术来降低高温部件的温度梯度。这些措施不仅提高了锅炉的可靠性和耐久性，还为其长期高效运行提供了有力保障。

4.4 燃料预处理与后处理：全链条优化，提升整体效能

燃料预处理与后处理是实现燃煤发电厂高效燃烧和清洁排放的重要环节。通过对燃料进行全链条的优化处理，可以进一步提高燃烧效率和环保性能。在燃料预处理阶段，主要通过物理和化学方法将原煤加工成适合燃烧的煤粉。这包括破碎、筛分以去除杂质和大块煤粒，干燥以降低煤粉水分含量提高燃烧效率等。还可以根据煤质特性进行配煤处理，以优化燃烧性能和减少污染物排放。这些预处理措施不仅提高了煤粉的燃烧效率，还降低了燃烧过程中的能耗和排放^[3]。在后处理阶段，则主要关注燃烧产物的处理和利用。通过烟气脱硫、脱硝和除尘技术降低 SO_2 、 NO_x 和颗粒物等污染物的排放浓度；通过余热回收技术将烟气中的热量回收利用于其他工艺过程或加热供暖；通过灰渣综合利用技术将灰渣转化为建筑材料或其他有价值的产品等。这些后处理措施不仅

减少污染物的排放和生态破坏，还提高了资源利用效率和企业经济效益。

5 燃煤发电厂高效燃烧技术的应用

5.1 技术应用案例分析

在全球范围内，燃煤发电厂高效燃烧技术的应用已取得了显著成效。以国内某大型燃煤发电厂为例，该厂引入了超超临界技术与低 NO_x 燃烧器相结合的高效燃烧系统。技术选择上，该厂充分考虑了煤种特性、负荷需求及环保要求，经过精心设计与调试，实现燃烧过程的精确控制。实施过程中，项目团队克服高温高压环境下材料耐久性、系统稳定性等技术难题，确保了改造工程的顺利进行。效果评估显示，改造后该厂的燃烧效率大幅提升，单位煤耗显著降低，同时 NO_x 排放浓度较改造前下降了约30%，达到了超低排放标准。国际上，德国某燃煤发电厂也通过应用先进的燃烧优化控制和烟气净化技术，实现了高效燃烧与清洁排放的双重目标。该厂利用大数据分析和人工智能算法，对燃烧过程进行实时优化调整，不仅提高燃烧效率，还大幅减少污染物的生成，该厂还采用先进的脱硫、脱硝和除尘设备，进一步降低二氧化硫、氮氧化物和颗粒物的排放浓度，为全球燃煤发电行业的绿色转型树立了典范^[4]。

对比分析：通过对比不同燃煤发电厂高效燃烧技术应用的案例，可以发现不同技术方案的优缺点及其适用性和推广价值。例如，超超临界技术虽然能显著提升燃烧效率和发电效率，但对材料和制造技术要求较高，投资成本相对较大；而低 NO_x 燃烧器则能在较低成本下有效减少 NO_x 排放，但可能需要与其他减排技术相结合以达到最佳效果在选择技术方案时，应综合考虑电厂的实际情况、技术成熟度、经济性和环保要求等因素，以实现最优的技术配置和效益最大化。

5.2 技术应用效果评估

燃煤发电厂高效燃烧技术的应用显著提升燃烧效率。通过优化燃烧器设计、改进燃烧过程控制以及采用

高温高压技术等措施，燃煤发电厂的单位煤耗明显下降，发电效率大幅提升。这不仅降低电厂的运营成本，还提高能源利用效率，对缓解能源紧张局势和促进可持续发展具有重要意义。在高效燃烧技术的支持下，燃煤发电厂的污染物排放得到有效控制。二氧化硫、氮氧化物和颗粒物等有害物质的排放浓度显著降低，部分电厂甚至实现超低排放。这不仅改善环境质量，保护生态环境和人民健康，还提升电厂的社会形象和市场竞争力。燃煤发电厂高效燃烧技术的应用带来显著的经济效益和环境效益。经济效益方面，通过降低煤耗和提高发电效率，电厂的运营成本降低，经济效益提升；由于排放标准的提高和环保政策的支持，电厂还可能获得相关的政策补贴和税收优惠。环境效益方面，污染物排放的减少有效改善空气质量和水体质量，减少生态破坏和环境污染；电厂的绿色转型也为当地经济发展提供新的动力和机遇。

结束语

燃煤发电厂高效燃烧技术的研发与应用，是应对能源挑战与环境保护双重压力的关键举措。随着技术的不断进步与创新，燃煤发电正逐步迈向更高效、更清洁的未来。期待通过持续的研究与实践，能够不断优化和完善这些技术，为构建绿色低碳的能源体系贡献力量，共同守护我们美丽的地球家园。

参考文献

- [1]黄晓虎.燃煤发电节能技术浅析[J].机械管理开发, 2019(4): 127-128.
- [2]徐宁.分析燃煤发电节能技术的应用[J].华东科技: 学术版, 2019(5): 223-223.
- [3]索新良,张刚,盖志杰,丛锡龙.火力发电厂四角切圆锅炉燃烧优化调整研究[J].热能动力工程,2021,36(07):116-121.
- [4]王欣.电力锅炉燃烧优化策略探讨[J].中国设备工程,2020(07):137-138.