

# 燃煤锅炉耦合生物质直燃技术

于祎雷

国能宝清煤电化有限公司 黑龙江 双鸭山 155600

**摘要:** 燃煤锅炉耦合生物质直燃技术作为一种创新的能源利用方式,将生物质燃料与煤炭在锅炉中直接混合燃烧。该技术通过优化燃烧过程,实现生物质能源的高效利用,降低煤炭消耗与污染物排放。其具备燃料来源广泛、技术改造相对简单、成本较低等优势,能有效缓解能源压力与环保问题。研究表明,此技术可显著提高能源利用效率,减少温室气体排放,对推动能源结构调整、促进可持续发展具有重要意义,具有广阔的应用前景。

**关键词:** 燃煤锅炉;耦合生物质直燃;优化策略

## 1 燃煤锅炉与生物质能源基础

### 1.1 燃煤锅炉的工作原理

燃煤锅炉作为传统能源利用设备,在工业生产和居民供暖中占据重要地位。其工作原理基于煤炭燃烧产生的热能转化为蒸汽或热水的物理过程。具体而言,煤炭通过给煤机均匀送入锅炉炉膛,在高温环境下与空气中的氧气发生剧烈的氧化反应,释放出大量热能。这些热能以辐射和对流的形式传递给炉膛周围的水冷壁,使水吸收热量并逐渐升温汽化,形成高温高压的蒸汽。蒸汽随后进入汽轮机推动叶轮旋转,进而带动发电机发电,或通过管道输送至热用户用于供暖或工业生产。燃煤锅炉的运行效率受多种因素影响,包括煤炭品质、燃烧控制技术、热交换效率及排烟温度等。为提高燃烧效率,现代燃煤锅炉普遍采用先进的燃烧器设计和自动控制系统,通过精确控制空气与燃料的混合比例及燃烧温度,实现高效清洁燃烧,锅炉尾部安装的省煤器、空气预热器等设备,能够回收烟气中的余热,进一步提高整体热效率。

### 1.2 生物质能源的种类

生物质能源作为一种可再生、低碳环保的能源形式,正逐渐成为能源领域的研究热点。其种类繁多,根据来源和形态可分为以下几类:(1)林业废弃物,包括树枝、树叶、木屑等,是森林管理和木材加工过程中的副产品。这些废弃物经过收集、压缩成型后,可作为生物质燃料直接用于燃烧发电或供热<sup>[1]</sup>。(2)农业废弃物,如秸秆、稻壳、玉米芯等,是农业生产中的剩余物。通过气化、液化等技术处理,农业废弃物可转化为生物质气、生物柴油等清洁能源,实现农业废弃物的资源化利用。(3)城市有机垃圾,随着城市化进程的加快,城市有机垃圾(如厨余垃圾)的处理成为一大挑战。通过生物发酵技术,这些垃圾可转化为沼气,用于

发电或作为城市燃气供应。(4)能源作物,如速生薪炭林、能源甘蔗等,是专门为生物质能源生产而培育的植物。这些作物生长周期短、生物量大,是生物质能源的重要原料来源。

## 2 燃煤锅炉耦合生物质直燃的关键问题

### 2.1 燃烧稳定性问题

燃煤锅炉耦合生物质直燃时,燃烧稳定性是首要面临的挑战。生物质燃料与煤炭在物理和化学特性上存在显著差异,生物质燃料通常具有较低的密度、较高的挥发分含量以及较低的固定碳含量。这种特性差异导致生物质在燃烧过程中燃烧速度较快,火焰温度分布不均,容易引发局部过热或燃烧不完全现象。生物质燃料的粒度分布不均、含水率波动大等因素也会进一步加剧燃烧的不稳定性。燃烧不稳定不仅影响锅炉的热效率,还可能导致炉膛内结渣、积灰等问题,严重时甚至引发炉膛爆炸等安全事故。

### 2.2 污染物排放问题

污染物排放是燃煤锅炉耦合生物质直燃面临的另一大挑战。尽管生物质燃料相较于煤炭具有较低的硫含量和灰分含量,但在燃烧过程中仍会产生一定量的氮氧化物(NO<sub>x</sub>)、颗粒物(PM)以及挥发性有机化合物(VOCs)等污染物<sup>[2]</sup>。特别是当生物质燃料与煤炭混合燃烧时,由于两者燃烧特性的不同,可能导致污染物生成机制发生变化,使得污染物排放控制变得更加复杂。例如,生物质燃料的高挥发分含量可能促进NO<sub>x</sub>的生成,而煤炭中的灰分则可能加剧颗粒物的排放。此外,生物质燃料中的某些微量元素(如氯、钾等)在燃烧过程中可能形成腐蚀性物质,对锅炉设备造成损害。

### 2.3 系统经济性问题

系统经济性是制约燃煤锅炉耦合生物质直燃技术发展的重要因素。生物质燃料的收集、运输、储存及预处理

理等环节均需投入大量成本，且生物质燃料的热值相对较低，导致单位热值的燃料成本较高。生物质燃料与煤炭在燃烧过程中的相互作用可能影响锅炉的热效率，增加运行成本。

#### 2.4 技术适用性问题

技术适用性是燃煤锅炉耦合生物质直燃技术面临的又一挑战。不同地区、不同规模的燃煤锅炉在结构、参数及运行条件上存在差异，因此生物质燃料的耦合方式、燃烧控制策略及污染物排放控制技术等也需因地制宜。然而目前关于燃煤锅炉耦合生物质直燃技术的研究多集中在实验室或小型试验台上，缺乏大规模工业应用的数据和经验。生物质燃料的种类、品质及供应稳定性等因素也会影响技术的适用性。因此，如何根据具体情况选择合适的生物质燃料、优化耦合方式及燃烧控制策略，以提高技术的适用性和可靠性，是该技术发展亟待解决的问题。

### 3 燃煤锅炉耦合生物质直燃优化策略

#### 3.1 燃烧系统优化

燃煤锅炉耦合生物质直燃的燃烧系统优化是提高燃烧效率、降低污染物排放的关键。首先，在燃料预处理方面，需针对生物质燃料特性，采用合适的破碎、筛分和干燥技术，确保生物质燃料粒度均匀、含水率适中，以提高其与煤炭的混合均匀性和燃烧稳定性。通过掺混不同种类的生物质燃料或添加助燃剂，调节燃料的燃烧特性，使其与煤炭的燃烧过程更加匹配。在燃烧器设计上，应开发适应生物质与煤炭混合燃烧的新型燃烧器。利用先进的燃烧控制技术，如智能燃烧控制系统，实时监测炉膛内的燃烧状态，自动调节燃料供给量和空气流量，确保燃烧过程始终处于最佳状态。炉膛结构的优化也是燃烧系统优化的重要环节。通过调整炉膛的几何形状、尺寸和内部布置，改善炉膛内的气流组织和热交换效率。合理布置燃烧器喷口，避免火焰直接冲刷受热面，减少结渣和积灰现象的发生。另外，燃烧过程的数值模拟与仿真技术也可应用于燃烧系统优化中。通过建立精确的燃烧模型，模拟生物质与煤炭的混合燃烧过程，预测燃烧效率和污染物排放情况，为燃烧系统的优化设计提供科学依据。

#### 3.2 污染物协同控制

针对燃煤锅炉耦合生物质直燃过程中产生的污染物，需采取协同控制策略，实现多种污染物的同步减排。在氮氧化物（ $\text{NO}_x$ ）控制方面，可采用低氮燃烧技术，如空气分级燃烧、燃料分级燃烧等，降低燃烧过程中的 $\text{NO}_x$ 生成量。结合选择性催化还原（SCR）或选择性非催化还原

（SNCR）等烟气脱硝技术，进一步降低烟气中的 $\text{NO}_x$ 浓度。对于颗粒物（PM）排放，可通过优化燃烧过程，减少不完全燃烧产物的生成。在除尘设备方面，采用高效静电除尘器、布袋除尘器或电袋复合除尘器等先进除尘技术，提高除尘效率，降低颗粒物排放浓度。另外，针对生物质燃料中可能含有的硫分和氯分等污染物元素，需采取相应的脱硫和脱氯措施。对于氯分，可通过优化燃烧条件，减少氯化氢等腐蚀性气体的排放，同时采用耐腐蚀材料对锅炉设备进行防护。值得注意的是，污染物协同控制还需考虑各污染物之间的相互作用和影响。例如， $\text{NO}_x$ 和颗粒物之间可能存在催化反应，通过优化控制策略，可实现两种污染物的协同减排。

#### 3.3 系统集成优化

系统集成优化是提高燃煤锅炉耦合生物质直燃系统整体性能的关键。在热力系统方面，需对锅炉、汽轮机、发电机等主要设备进行优化匹配，提高系统的热效率和发电效率。在辅助系统方面，需对给水系统、除氧系统、排污系统等进行优化设计，确保系统的稳定运行和高效节能。例如，采用变频调速技术控制给水泵的转速，根据锅炉负荷变化自动调节给水量，降低给水泵的能耗。系统集成优化还需考虑生物质燃料的供应和储存问题。通过建立稳定的生物质燃料供应体系，确保燃料的连续供应和品质稳定<sup>[1]</sup>。采用合理的储存方式和技术，减少生物质燃料的损失和变质。在系统集成过程中，还需注重各子系统之间的协调与配合。例如，通过优化控制策略，实现燃烧系统、热力系统和辅助系统之间的信息共享和协同控制，提高系统的整体性能和稳定性。

#### 3.4 经济性提升策略

经济性是燃煤锅炉耦合生物质直燃技术推广应用的关键因素之一。为提高系统的经济性，可从以下几个方面入手：首先，降低燃料成本。通过扩大生物质燃料的来源渠道，降低采购成本；采用先进的燃料预处理技术，提高燃料的热值和利用率，减少燃料消耗量。其次，提高系统效率。通过燃烧系统优化、污染物协同控制和系统集成优化等措施，提高系统的热效率和发电效率，降低运行成本。另外，还可考虑利用政策支持和市场机制来提高系统的经济性。例如，积极争取政府的相关补贴和税收优惠政策，降低项目的投资成本和运营成本；同时参与碳排放权交易等市场机制，通过出售多余的碳排放配额获得额外收益。在项目实施过程中，还需注重风险管理和成本控制。通过建立完善的风险管理体系和成本控制机制，及时发现和解决项目实施过程中可能出现的问题和风险，确保项目的顺利实施和经济效益。

的实现。

#### 4 燃煤锅炉耦合生物质直燃技术的发展前景

##### 4.1 技术创新与改进的方向

燃煤锅炉耦合生物质直燃技术正处于快速发展阶段，技术创新与改进是推动其进步的核心动力。未来，该技术将在多个方面实现突破，在燃烧技术上，将更加注重生物质与煤炭的高效混合燃烧，通过优化燃烧器设计、开发新型燃烧控制算法等手段，实现燃烧过程的精准调控，提高燃烧效率并降低污染物排放。在污染物协同控制方面，将深入研究生物质与煤炭燃烧过程中污染物的生成机理和迁移规律，开发更加高效、经济的脱硫、脱硝和除尘技术，实现多种污染物的协同减排。随着数字化、智能化技术的不断发展，燃煤锅炉耦合生物质直燃系统将实现更加智能化的运行和管理，通过集成先进的传感器、控制器和数据分析技术，实现对燃烧过程的实时监测、优化调整和故障预警，提高系统的稳定性和可靠性。在燃料预处理和供应方面，技术创新也将发挥重要作用。建立稳定的生物质燃料供应链体系，确保燃料的连续供应和品质稳定。随着生物质能源转化技术的不断进步，如生物质气化、液化等技术的商业化应用，将为燃煤锅炉耦合生物质直燃技术提供更加多样化的燃料选择，进一步拓宽其应用范围。

##### 4.2 生物质能源利用政策的支持与引导

生物质能源作为可再生能源的重要组成部分，其利用和发展受到国家政策的广泛关注和政策支持。未来，随着全球对环境保护和可持续发展的重视程度不断提高，生物质能源利用政策将进一步完善和强化。政府将出台更多优惠政策，如税收减免、补贴奖励等，鼓励企业和个人积极参与生物质能源的开发和利用。政府还将加强对生物质能源产业的规划和引导，推动产业向规模化、集约化方向发展，提高产业的整体竞争力和可持续发展能力。在燃煤锅炉耦合生物质直燃技术方面，政策支持将主要体现在技术研发、示范应用和推广普及等方面。政府将加大对相关技术研发的投入力度，支持科研机构和企业开展联合攻关，突破关键技术瓶颈；通过建设示范项目、开展试点应用等方式，验证技术的可行性和经济性，为大规模推广应用奠定基础。政府还将加强对生物质能源市场的监管和规范，保障市场的公平竞争和健康

发展。

##### 4.3 耦合技术在未来能源结构中的地位与作用

燃煤锅炉耦合生物质直燃技术作为生物质能源利用的重要方式之一，在未来能源结构中占据重要地位并发挥重要作用。随着全球能源需求的不断增长和化石能源资源的日益枯竭，发展可再生能源已成为保障能源安全、促进经济社会可持续发展的必然选择<sup>[4]</sup>。生物质能源作为可再生能源的重要组成部分，具有资源丰富、分布广泛、可再生性强等优点，是未来能源结构中的重要补充和替代能源。燃煤锅炉耦合生物质直燃技术通过将生物质燃料与煤炭进行混合燃烧，实现了生物质能源的高效利用和化石能源的清洁替代。该技术不仅提高能源利用效率、降低污染物排放，还促进农业废弃物和林业剩余物的资源化利用，具有显著的经济效益和环境效益。随着技术的不断进步和政策的持续支持，燃煤锅炉耦合生物质直燃技术将在工业供热、居民供暖、发电等领域得到广泛应用和推广，为构建清洁低碳、安全高效的能源体系作出重要贡献。

#### 结束语

燃煤锅炉耦合生物质直燃技术为能源利用与环境保护提供了新的解决方案。它不仅有效提升生物质能源的利用效率，降低对传统化石能源的依赖，还在减少污染物排放、缓解环境压力方面发挥了积极作用。随着技术的不断完善与政策的持续支持，该技术有望在更多领域得到推广应用。未来，应继续加大研发投入，优化技术工艺，推动燃煤锅炉耦合生物质直燃技术迈向新的发展阶段，为构建绿色、低碳的能源体系贡献力量。

#### 参考文献

- [1]黄长华,程永霞.生物质直燃发电厂锅炉炉型选择探讨[J].南方能源建设,2021,2(02):70-75.
- [2]马博海,刘志宇.燃煤锅炉耦合生物质直燃技术[J].农业科技与装备,2024(1):90-92.
- [3]郭慧娜,吴玉新,王学斌,等.燃煤机组耦合农林生物质发电技术现状及展望[J].洁净煤技术.2022,28(3). DOI:10.13226/j.issn.1006-6772.CC22011201.
- [4]李少华,刘冰,彭红文,等.燃煤机组耦合生物质直燃发电技术研究[J].电力勘测设计.2021,(6).DOI:10.13500/j.dlkcsj.issn1671-9913.2021.06.006