

# 热动系统能效提升的燃料预处理技术路径

赵禹博 靳强 刘洋 赵嘉宇

北方联合电力有限责任公司达拉特发电厂 内蒙古 鄂尔多斯 014300

**摘要:** 本文聚焦热动系统能效提升的燃料预处理技术路径。分析了燃料特性与热动系统能效的关联及能效损失机制,阐述了物理、化学、生物、智能四种预处理技术原理与应用。探讨多技术耦合、基于燃料类型的路径选择以及经济性与环保性评估策略,最后从技术经济性与环境效益两方面评估预处理技术,为热动系统燃料预处理提供全面参考。

**关键词:** 热动系统; 能效提升; 燃料预处理; 燃烧优化; 清洁能源

引言: 在能源需求持续增长与环保要求日益严格的背景下,提升热动系统能效成为关键。燃料作为热动系统的能量来源,其特性对系统能效影响显著。燃料预处理技术可优化燃料特性,降低其对系统的不利影响,提升燃烧效率与环保性能。深入研究燃料预处理技术路径,对提高热动系统能效、降低运行成本、减少污染物排放具有重要意义。

## 1 燃料特性与热动系统能效关联分析

### 1.1 燃料特性对热动系统的影响

燃料特性对热动系统的影响体现在燃烧工况、设备运行稳定性及能效输出等多个维度,是系统设计与运行调控的关键依据。水分含量过高时,燃料在燃烧前需消耗额外热量蒸发水分,导致炉膛温度降低,燃烧不完全,不仅降低锅炉蒸发量,还会使排烟温度升高,增加排烟热损失;水分还会加剧低温腐蚀,缩短受热面使用寿命。灰分的存在会引发受热面结渣、积灰和磨损问题,结渣会隔绝受热面与火焰的热量交换,积灰增加传热热阻,两者均会导致系统热效率下降,而磨损则需增加设备维护成本。挥发分含量决定燃料着火速度与燃烧稳定性,挥发分过低易出现着火困难、燃烧延迟现象,甚至引发炉膛熄火;挥发分过高可能导致燃烧过于剧烈,造成炉膛压力波动<sup>[1]</sup>。燃料热值直接决定单位发电量的燃料消耗量,热值越低,耗煤量越大,运行成本越高,同时灰熔点、可磨性等特性也会影响制粉系统能耗与燃烧调整难度,间接影响系统整体运行效能。

### 1.2 热动系统能效损失机制

热动系统能效损失是多环节、多因素叠加的结果,核心损失机制围绕燃烧、传热、排烟及辅助系统运行展开。燃烧损失是主要损失来源,包括化学不完全燃烧损失和机械不完全燃烧损失,前者因燃料中可燃成分未充分氧化生成一氧化碳等可燃物导致,后者源于飞灰、炉

底渣中未燃尽碳的流失,其占比与燃料特性、燃烧器结构及配风方式密切相关。传热损失主要由受热面结渣、积灰、腐蚀及保温性能不足引发,结渣和积灰增加传热阻力,降低换热效率,保温不良则导致散热损失。排烟热损失占比次之,受排烟温度和排烟量影响,燃料水分过高、过量空气系数不当会加剧该损失。另外,辅助系统能耗损失(制粉、送引风、除灰等系统耗电)、灰渣物理热损失及系统泄漏损失等,也会降低整体能效。不同损失机制相互关联,需通过精准监测与调控,针对性抑制各类损失,提升系统能效。

## 2 燃料预处理技术路径

燃料预处理技术路径是通过物理、化学、生物及智能手段,优化燃料特性,降低其对热动系统不利影响,提升燃烧效率与环保性能的关键环节。

### 2.1 物理预处理技术

物理预处理技术是燃料预处理中应用最广泛、操作最简便的基础技术,核心依托物理作用改变燃料形态、去除杂质,不改变燃料化学性质,具有成本低、无二次污染的优势。常见技术包括破碎、筛分、干燥、脱灰、分选等,适配各类固体燃料(煤、生物质、垃圾等)。破碎与筛分可将燃料调整至适宜粒度,提升燃烧均匀性,避免大颗粒燃料燃烧不完全;干燥技术通过热风、蒸汽等热源去除燃料水分,降低燃烧热损失,常用滚筒干燥、气流干燥等工艺,适用于高水分褐煤、生物质燃料。重力分选、磁选、电选等技术可针对性去除燃料中的灰分、金属杂质,减少受热面磨损与结渣风险。物理预处理技术的处理效果取决于燃料初始特性与工艺参数匹配度,例如干燥温度需控制在合理范围,避免燃料挥发分过度析出引发安全隐患。该技术常作为预处理环节的第一道工序,为后续深度处理提供合格原料。

### 2.2 化学预处理技术

化学预处理技术通过化学反应改性燃料组分、去除有害杂质,提升燃料燃烧性能与环保性,适用于物理方法难以处理的复杂燃料。常见技术包括氧化、脱硫、脱氮、催化改性等,需根据燃料特性选择适配工艺。氧化处理可通过氧化剂(氧气、臭氧等)氧化燃料中的难燃组分,提升挥发分含量与反应活性,促进燃烧充分;脱硫技术分为干法、湿法与半干法,可去除燃料中的无机硫与有机硫,减少燃烧后二氧化硫排放,降低烟气脱硫系统负荷<sup>[2]</sup>。催化改性通过添加催化剂,降低燃料着火活化能,改善燃烧动力学特性,提升燃烧效率,同时抑制氮氧化物生成。化学预处理技术处理效果显著,但存在试剂消耗、二次废水/废渣处理等问题,部分工艺还需高温、高压条件,运行成本较高。实际应用中需平衡处理效果与经济性,优化试剂用量、反应温度等参数,减少对环境的二次影响。

### 2.3 生物预处理技术

生物预处理技术依托微生物代谢作用,分解燃料中难降解组分、去除有害杂质,具有绿色环保、能耗低的特点,主要适用于生物质燃料、低阶煤等可再生与低品位燃料。核心原理是利用微生物(细菌、真菌、放线菌等)分泌的酶,分解燃料中的纤维素、半纤维素、木质素及硫元素等,实现组分改性与杂质去除。例如,微生物脱硫可通过硫氧化菌将燃料中的硫化物转化为可溶性硫酸盐,实现温和脱硫,避免化学脱硫的强腐蚀性 with 高能耗;微生物降解可分解生物质燃料中的难燃组分,提升燃料反应活性,降低燃烧难度。该技术反应条件温和(常温常压),无二次污染,契合环保需求,但存在反应周期长、处理效率低、受温度湿度等环境因素影响大的短板。目前多处于中试阶段,通过筛选高效菌株、优化反应体系,可提升处理速率,拓展在燃料预处理中的应用场景。

### 2.4 智能预处理技术

智能预处理技术是依托物联网、大数据、人工智能等技术,实现燃料预处理全流程精准监测、自动调控与优化决策的新型技术路径,可大幅提升处理效率与稳定性。核心在于通过传感器实时采集燃料特性参数(水分、灰分、热值等)、设备运行参数(温度、压力、处理量等),经大数据平台分析处理,结合人工智能算法构建预测模型与调控策略。例如,通过在线检测燃料水分含量,自动调节干燥设备的热源供给与运行速率,确保燃料水分达标;基于燃料组分波动数据,智能调整分选、改性工艺参数,提升预处理精度。智能预处理技术可实现工艺参数的动态优化,减少人为干预误差,降低

能耗与物料损耗,同时通过数据追溯实现全流程质量管控。其核心优势在于将“经验调控”转化为“精准智能调控”,适配燃料特性的复杂波动,为后续热动系统高效运行提供稳定原料。

## 3 技术路径选择与优化策略

燃料预处理技术路径选择与优化需兼顾燃料特性、热动系统需求、经济性与环保性,通过系统性分析实现技术适配与效能最大化。

### 3.1 多技术耦合路径

多技术耦合路径是通过整合物理、化学、生物、智能预处理技术的优势,弥补单一技术短板,实现燃料预处理效果升级的核心方向,适配复杂燃料与高标准处理需求。常见耦合模式包括“物理+化学”“物理+生物”“智能+多技术”等,需根据燃料特性与处理目标设计组合方案<sup>[3]</sup>。例如,处理高灰分高硫褐煤时,可采用“破碎筛分+重力分选+化学脱硫”耦合路径,先通过物理方法去除大部分灰分,再通过化学手段深度脱硫,提升燃料品质;处理生物质燃料时,采用“干燥+生物降解+催化改性”耦合路径,缩短生物处理周期,同时提升燃料燃烧活性。智能技术的融入可实现耦合工艺的精准调控,通过实时监测各环节处理效果,动态调整参数,确保耦合系统高效运行。多技术耦合虽可提升处理效果,但需解决工艺衔接、能耗叠加、成本控制等问题,通过优化工艺顺序与参数匹配,实现整体效能最优。

### 3.2 基于燃料类型的路径选择

基于燃料类型选择预处理技术路径,是确保处理针对性与经济性的关键原则,不同燃料的组分、杂质分布、燃烧特性差异,决定了适配技术的不同。对于煤炭燃料,低阶褐煤高水分高挥发分,适配“干燥+破碎分选”物理预处理路径,若硫含量超标,可叠加化学脱硫技术;高阶烟煤灰分较低,重点通过“破碎筛分+可磨性优化”处理,提升制粉与燃烧效率。对于生物质燃料(秸秆、木屑等),富含纤维素与水分,适配“干燥+生物降解”路径,或“物理破碎+催化改性”路径,改善燃烧稳定性,避免结渣。对于固体垃圾燃料,成分复杂、杂质多,需采用“破碎分选+干燥+无害化处理”耦合路径,去除金属、玻璃等不可燃杂质,降低有害组分含量。对于液体燃料,重点通过化学精制(脱硫、脱氮、除杂)技术,提升燃料纯度。路径选择需严格匹配燃料类型,避免技术冗余或处理不足,实现处理效果与成本的平衡。

### 3.3 经济性与环保性评估

技术路径选择需以经济性与环保性双重评估为支

撑,确保预处理技术在满足需求的同时,兼顾成本控制与环境影响。经济性评估涵盖初始投资、运行成本、维护成本及收益回报,初始投资包括设备购置、工艺改造费用,运行成本涉及能耗、试剂、人力成本,维护成本则与设备损耗、故障维修相关,需计算投资回报率与静态/动态回收周期,优先选择低成本高收益路径。环保性评估聚焦污染物排放与资源利用,包括预处理过程中废水、废渣、废气的产生量与处理达标情况,以及燃料预处理后燃烧过程中污染物(SO<sub>2</sub>、NO<sub>x</sub>、粉尘)的减排效果。同时,需结合环保政策要求,评估技术路径的合规性与可持续性,避免因环保不达标增加额外成本。通过建立量化评估体系,综合权衡经济性与环保性,筛选出既符合成本预算,又能满足环保标准的最优技术路径。

#### 4 预处理技术经济性与环境效益评估

预处理技术的经济性与环境效益评估是衡量技术可行性、推动产业化应用的核心环节,需建立全面量化体系,兼顾短期成本与长期效益、局部影响与全局价值。

##### 4.1 技术经济性分析

预处理技术经济性分析采用全生命周期成本法,涵盖技术落地至报废的全流程成本与收益,核心是通过量化核算,评估技术的经济可行性与竞争力。成本端包括初始投资成本、运行成本、维护成本及处置成本,初始投资涉及设备采购、安装调试、厂房改造等费用,不同技术差异显著,智能预处理因设备与系统复杂度高,初始投资高于传统物理预处理;运行成本涵盖能耗、试剂、辅料、人力等,化学预处理因试剂消耗量大,运行成本较高,而物理预处理能耗占比更高。收益端包括直接收益与间接收益,直接收益为预处理后燃料热值提升、消耗量降低带来的成本节约,间接收益包括热动系统能效提升、设备损耗减少、环保罚款规避、碳减排收益等。通过计算投资回报率、静态回收周期、单位处理成本等指标,对比不同技术的经济性,同时结合项目规模、燃料价格波动等因素,评估技术的抗风险能力,为技术选型提供经济依据。

##### 4.2 环境效益评估

预处理技术环境效益评估围绕污染物减排、资源高效利用、生态保护三大维度展开,采用量化指标体系,客观衡量技术对环境的积极贡献与潜在影响。污染物减排方面,通过预处理去除燃料中的硫、氮、灰分等杂质,可显著降低燃烧后SO<sub>2</sub>、NO<sub>x</sub>、粉尘及灰渣排放量,减少烟气脱硫、脱硝、除尘系统的运行负荷与污染物排放总量,同时降低重金属等有害组分的环境释放风险<sup>[4]</sup>。资源利用方面,物理预处理的分选回收、生物预处理的废弃物降解转化,可实现资源循环利用,提升燃料利用率,减少资源浪费;对于可再生燃料,预处理可推动其规模化应用,替代化石燃料,降低碳排放强度。生态影响方面,需评估预处理过程中废水、废渣的处置效果,避免二次污染,同时考虑技术对土地、水资源的占用与影响。通过计算单位燃料预处理后的污染物减排量、碳减排量、资源回收利用率等指标,综合评估技术的环境效益,契合绿色低碳发展需求。

##### 结束语

热动系统能效提升的燃料预处理技术路径多样且各有特点。多技术耦合、依据燃料类型选择路径以及兼顾经济性与环保性的评估策略,为技术选择提供了科学依据。通过全面评估技术经济性与环境效益,能筛选出最优技术路径,推动燃料预处理技术在热动系统中的广泛应用,助力能源高效利用与绿色低碳发展。

##### 参考文献

- [1]焦林生.电厂热动系统节能优化策略探析[J].硅谷,2023(13):123-124+70.
- [2]李俊.发电厂热控自动化系统设计与优化分析[J].仪器仪表用户,2024,31(03):92-94.
- [3]高磊.试论城市供热锅炉选型及其节能环保技术[J].全面腐蚀控制,2025,39(04):23-25.
- [4]杜浩,刘振鹏.基于智能仪表的供热系统节能技术研究[J].仪器仪表用户,2024,31(09):64-66.