

火电厂除尘脱硫脱硝系统能耗分析与节能策略

刘华翔

锡林郭勒热电劳动服务有限公司 内蒙古 锡林郭勒 026000

摘要:为响应火电厂超低排放政策要求,解决除尘脱硫脱硝系统能耗偏高、浪费突出的问题,本文结合主流工艺及设备特性,系统分析该系统能耗构成、各子系统能耗特性及核心影响因素,诊断当前能耗与行业标杆的差距及现存问题。基于分析结果,从设备优化、运行调控、工艺改进、智能运维四个维度,提出针对性节能策略,为火电厂降低系统能耗、提升运行效率、实现环保与节能协同发展提供理论支撑和实践参考。

关键词:火电厂;除尘脱硫脱硝系统;能耗分析;节能策略

引言:随着环保法规日趋严格,火电厂除尘脱硫脱硝系统已成为污染物达标排放的核心设施,但其高能耗问题制约火电行业绿色低碳发展。当前多数火电厂该系统存在设备效率偏低、协同运行不足、能耗浪费严重等问题,既增加运营成本,也与“双碳”目标相悖。基于此,本文聚焦系统能耗分析与节能优化,梳理系统组成及运行原理,识别能耗影响因素,提出科学可行的节能策略,助力火电厂实现节能降耗与环保达标双赢。

1 火电厂除尘脱硫脱硝系统组成及工作原理

1.1 除尘系统组成及工作原理

(1) 主流除尘设备结构:电除尘由阴极线、阳极板、高压供电装置组成,依靠电场吸附粉尘;袋式除尘核心是滤袋与清灰装置,通过滤料过滤粉尘;电袋复合除尘结合两者优势,前段电除尘预处理,后段袋式深度过滤。(2) 工作机制与核心流程:电除尘利用高压电场使粉尘带电,吸附至极板后振打脱落;袋式除尘通过滤袋拦截粉尘,定期清灰避免堵塞;电袋复合除尘先经电场去除大部分粉尘,再通过滤袋净化达标。(3) 关键运行参数与性能指标:核心参数包括电场强度、滤袋阻力、清灰周期,性能指标以除尘效率($\geq 99.9\%$)、出口粉尘浓度为核,确保达标排放。

1.2 脱硫系统组成及工作原理

(1) 主流脱硫工艺系统构成:石灰石-石膏湿法由吸收塔、浆液制备系统、脱水系统组成;干法/半干法主要包括反应塔、喷氨装置、布袋除尘器,结构相对简洁。(2) 化学反应机制与流程特性:湿法通过石灰石浆液与烟气中 SO_2 反应生成亚硫酸钙,再氧化为硫酸钙(石膏);干法/半干法利用石灰粉与 SO_2 反应生成硫酸盐,流程短、耗水少但效率略低。(3) 核心设备工作特性:吸收塔是湿法核心,实现气液充分接触反应;浆液循环泵保证浆液循环,提升反应效率,需定期维护防磨损、堵塞^[1]。

1.3 脱硝系统组成及工作原理

(1) 主流脱硝工艺系统组成与布置:SCR由反应器、催化剂模块、喷氨格栅组成,布置于锅炉尾部;SNCR无需催化剂,通过喷氨格栅将还原剂喷入炉膛高温区,结构简单。(2) 催化反应原理与还原剂作用:SCR在催化剂作用下,还原剂(氨)将 NO_x 还原为氮气和水;SNCR利用高温使氨与 NO_x 直接反应,还原剂需精准控制喷入量。(3) 脱硝催化剂类型、性能及更换周期:主流为钒钛系催化剂,具有高活性、抗中毒性,性能以脱硝效率、活性温度为核心,更换周期通常为3-5年。

1.4 三大系统协同运行特性

(1) 系统间工艺耦合关系:脱硝系统出口烟气温度影响脱硫效率,脱硫后烟气湿度会影响除尘设备运行,三者需匹配参数避免相互干扰。(2) 协同运行综合影响:合理协同可提升总污染物去除效率,降低整体能耗;参数失衡会导致效率下降、设备损耗加剧。(3) 串联协同主流模式:采用“脱硝-脱硫-除尘”串联布置,先脱硝避免催化剂中毒,再脱硫去除 SO_2 ,最后除尘净化粉尘,是目前火电厂主流配置。

2 火电厂除尘脱硫脱硝系统能耗分析

2.1 能耗构成及核算方法

(1) 系统能耗的主要构成:核心能耗为电耗,占比达85%以上,主要包括各类风机、循环泵、压缩机等动力设备的电能消耗;其次为热耗,集中在脱硫烟气再热、脱硝还原剂加热等环节,需消耗锅炉余热或辅助蒸汽;药剂消耗属于间接能耗,涵盖脱硫石灰石、脱硝氨水/尿素及各类助凝剂、催化剂等,其制备和消耗过程均伴随能耗损耗;此外还包括水耗及设备维护相关的隐性能耗。(2) 能耗核算的标准与关键指标:核算需遵循《火电厂大气污染物治理设施能耗计算方法》,核心指标为单位烟气处理能耗($\text{kWh}/1000\text{m}^3$),用于衡量不同系统的能耗效率;辅

助指标包括单位污染物去除能耗(kWh/kg)、设备运行能耗率等,同时需核算药剂、水、热的折算能耗,确保核算结果全面准确,为能耗优化提供依据^[2]。(3)不同机组容量下的能耗核算差异:大型机组(600MW及以上)采用规模化运行模式,设备负荷率高,单位烟气处理能耗较低,核算需重点关注系统协同能耗;中小型机组(300MW及以下)设备容量小、负荷波动大,单位能耗偏高,核算需兼顾负荷变化对能耗的影响,同时考虑小型设备效率偏低导致的能耗损耗,核算标准需根据机组容量进行针对性调整。

2.2 各子系统能耗特性分析

(1)除尘系统能耗及影响因素:核心能耗为风机电耗(占除尘系统总能耗的70%-80%),用于克服烟气阻力,其次为清灰能耗(脉冲喷吹、振打装置耗电)。影响因素主要包括滤袋/极板阻力、烟气流量、清灰周期,阻力越大、烟气流量越高,风机能耗越高;清灰过于频繁会增加能耗,间隔过长则会导致阻力上升,需平衡两者关系。(2)脱硫系统能耗特性:主要能耗为浆液循环泵电耗(占脱硫系统总能耗的60%-70%),循环泵流量、扬程直接决定能耗高低;其次为烟气再热能耗,湿法脱硫后烟气湿度高,需加热至120℃以上避免腐蚀,消耗大量余热或蒸汽;此外,浆液制备系统的搅拌、输送设备也会产生一定能耗,能耗水平与脱硫效率要求正相关。(3)脱硝系统能耗分析:核心能耗为风机电耗,包括烟气混合风机、还原剂输送风机,用于保证烟气与还原剂充分混合;其次为还原剂制备能耗,尿素热解、氨水蒸发均需消耗电能或热能,占脱硝系统总能耗的20%-30%;SCR系统催化剂加热、吹灰设备运行也会产生少量能耗,能耗水平受脱硝效率、还原剂类型影响较大^[3]。

2.3 能耗影响因素识别与分析

(1)设备参数对能耗的影响:设备型号与效率直接决定能耗,高效节能型风机、循环泵可降低电耗30%左右;催化剂活性、滤袋材质影响设备运行阻力,活性下降、滤袋老化会导致能耗上升;设备密封性能不佳会造成烟气泄漏,增加风机负荷,间接提升能耗。(2)运行参数的影响:烟气流量增大、温度升高会显著增加风机、再热系统能耗;烟气中污染物浓度过高,需提高药剂用量和设备负荷,导致能耗上升;运行参数偏离设计值(如循环泵流量过大、喷氨量过剩),会造成不必要的能耗浪费,合理调控运行参数可降低能耗10%-15%。(3)间接影响因素:煤质特性方面,高硫、高灰分煤会增加脱硫、除尘负荷,提升能耗;环境条件中,低温、高湿度会降低设备效率,增加能耗;操作水平方面,不合理的启停

操作、维护不及时(如滤袋堵塞、泵体结垢),会导致设备能耗升高,规范操作可减少隐性能耗损耗。

2.4 能耗现状评价与问题诊断

(1)能耗水平与行业标杆的差距:当前多数火电厂除尘脱硫脱硝系统单位烟气处理能耗为8-12kWh/1000m³,而行业标杆水平可降至6-8kWh/1000m³,差距主要源于设备效率偏低、协同运行不足,中小型机组与标杆差距更为明显,部分机组能耗甚至超出标杆50%以上。(2)能耗浪费的主要环节与典型问题:风机、循环泵等动力设备“大马拉小车”,负荷率不足导致能耗浪费;清灰、喷氨等操作不规范,造成电能、药剂浪费;烟气再热系统热回收利用率低,余热浪费严重;设备维护不及时,导致运行阻力上升、能耗增加。(3)协同运行中能耗优化的薄弱点:各子系统独立运行,未实现参数协同调控,如脱硝出口温度过高增加脱硫再热能耗,脱硫后烟气湿度超标增加除尘能耗;系统启停、负荷调整时,各设备协同性差,导致瞬时能耗激增;缺乏统一的能耗监测与调控体系,难以精准识别协同运行中的能耗浪费点。

3 火电厂除尘脱硫脱硝系统节能策略

3.1 设备优化与升级策略

(1)高效节能设备选型:优先选用变频风机、高效循环泵,借助变频技术根据烟气流量、机组负荷动态调节转速,避免设备长期满负荷运行造成的能耗浪费,可降低相关设备电耗20%-30%;同步选用低阻力滤袋、高效雾化喷嘴等配件,搭配高效节能型除尘、脱硫设备,从源头减少烟气阻力,提升运行效率。(2)现有设备改造:升级除尘系统老旧滤袋,更换为低阻力、长寿命覆膜滤袋,降低风机运行阻力以减少电耗;对失活脱硝催化剂采用高温焙烧、化学清洗等工艺再生,恢复活性并替代直接更换,既降低成本,又减少再生环节能耗;对浆液循环泵、风机等设备优化密封、更换高效叶轮,提升运行效率^[4]。(3)系统集成优化:推进多污染物协同脱除设备一体化设计,整合除尘、脱硫、脱硝功能,减少设备重复布置和烟气输送阻力,降低动力能耗;优化管路布局,缩短输送距离、减少漏风,实现各设备参数协同匹配,提升系统整体运行效率,减少内耗。

3.2 运行参数优化策略

(1)除尘系统运行参数优化:根据烟气粉尘浓度、滤袋阻力动态调整清灰周期,在保障除尘效率的前提下,减少清灰设备电耗15%-20%;结合粉尘比电阻变化,合理调控电场电压,避免过高电压造成的电能浪费,实现能耗与效率的平衡。(2)脱硫系统参数精准调控:根据烟气SO₂浓度动态调整液气比,避免过高液气比导致的循

环泵电耗浪费,同时防止液气比过低影响脱硫效果;严格控制浆液pH值在5.5-6.5的最佳区间,减少药剂消耗和循环负荷,降低相关设备能耗。(3)脱硝系统参数优化控制:将反应温度控制在催化剂300-400°C的最佳活性区间,减少加热能耗并提升脱硝效率;通过在线监测精准控制氨氮比,避免氨过量造成的还原剂浪费和设备腐蚀,同时防止氨不足影响脱硝效果,降低还原剂制备与输送能耗。

3.3 工艺改进与协同节能策略

(1) 脱硫脱硝除尘协同工艺改进路径:优化“脱硝-脱硫-除尘”串联流程,调整各系统运行时序,避免系统间参数冲突,例如合理控制脱硝出口烟气温度,减少脱硝系统烟气再热能耗;采用协同脱除药剂,实现一种药剂同时去除多种污染物,减少药剂消耗和制备能耗,同时简化工艺流程,降低系统整体能耗。(2) 烟气余热回收利用技术应用:推广低温省煤器、MGGH(烟气换热器)技术,回收脱硫脱硝系统进出口烟气中的余热,用于加热锅炉给水、预热空气或供暖,替代辅助蒸汽加热,减少锅炉余热浪费,降低热耗;通过余热回收,可降低系统总能耗10%-15%,同时减少烟气再热环节的能耗损耗,实现节能与环保的双重效益。(3) 新能源耦合节能模式探索:探索光煤互补等新能源耦合模式,利用厂区闲置空间建设光伏电站,将太阳能转化为电能,用于供给除尘、脱硫、脱硝系统的辅助设备运行,替代部分网电,降低用电成本和能耗;结合储能技术,平衡新能源供电波动,确保系统稳定运行,逐步实现能源结构优化,提升系统节能水平^[5]。

3.4 智能管控与运维优化策略

(1) 数字孪生+AI智能控制系统搭建与应用:搭建数字孪生模型,模拟系统运行状态,结合AI算法实时分析能耗数据,精准识别能耗浪费点;通过智能控制系统实现各子系统参数的自动调控,根据烟气负荷、污染物浓度变化动态优化运行参数,避免人为操作失误导致的能

耗浪费,提升系统运行的智能化和节能性。(2) 设备状态监测与预防性维护体系建立:安装设备状态监测传感器,实时监测风机、循环泵、催化剂等核心设备的运行参数,及时发现设备异常和性能下降,提前开展预防性维护,避免设备故障导致的能耗激增和停机损失;定期对设备进行清洁、校准,延长设备使用寿命,维持设备高效运行状态,减少能耗损耗。(3) 运维人员技能提升与节能管理机制完善:加强运维人员专业培训,提升其对节能设备、智能系统的操作水平和能耗优化能力,规范设备操作流程;建立完善的节能管理机制,明确能耗考核指标,将节能成效与运维人员绩效挂钩,激发节能积极性;定期开展能耗分析,总结节能经验,持续优化节能策略,实现系统能耗持续下降。

结束语:

火电厂除尘脱硫脱硝系统能耗优化是一项系统性工程,需兼顾环保达标与节能降耗双重目标。本文通过全面分析系统能耗现状及问题,提出的设备升级、参数调控、工艺改进及智能运维等策略,可有效降低系统能耗、减少浪费。后续需结合火电厂机组容量、煤质特性等实际情况优化策略,持续推进技术创新与管理升级,推动火电行业向绿色、高效、低碳方向转型,助力能源结构优化与“双碳”目标实现。

参考文献:

- [1]王连喜.探讨火电厂烟气脱硫脱硝技术应用与节能环保问题[J].中国设备工程,2024,(17):193-195.
- [2]邓皓.火电厂烟气脱硫脱硝的节能环保研究[J].能源与节能,2023,(05):93-95.
- [3]刘欢.火电厂烟气脱硫脱硝技术的应用[J].化工管理,2021,(25):45-46.
- [4]丁照强.火电厂烟气脱硫脱硝技术与节能环保[J].电力设备管理,2021,(08):168-169.
- [5]王成,寿鹏森.关于火电厂烟气脱硫脱硝技术的节能环保问题[J].科技创新导报,2021,18(23):66-68.