

Analysis of Energy Consumption and Energy-Saving Optimization of FGD and SCR Systems in Coal-Fired Power Plants

Peng Li

China MCC South Urban Environmental Engineering Technology Co., Ltd., Wuhan, Hubei, 430000, China

Abstract

Under the “dual carbon” goals, China’s power industry is facing increasingly intense competition and the dual challenges of energy conservation and emission reduction. The flue gas desulfurization and denitrification technologies in flue gas are confronted with energy-intensive problems, which have seriously affected the healthy development of China’s coal industry. Taking the country’s main coal-fired units as research subjects, this study systematically examines their energy consumption composition and main influencing factors. Based on their operational status, targeted energy-saving plans are formulated and their effectiveness is verified to reduce the energy consumption of desulfurization and denitrification systems in coal-fired units, improve operational economy and environmental protection, ensure overall operational efficiency and environmental benefits, and further implement energy-saving and emission-reduction strategies. This promotes the low-carbon transition of the power industry and is a key measure to support the achievement of the “dual carbon” goals as well as alleviate energy supply and demand conflicts. It has irreplaceable practical value and significant scientific importance.

Keywords

Coal-fired power plant; Desulfurization and denitrification; Energy consumption composition; Influencing factors; Energy-saving optimization

燃煤电厂烟气脱硫脱硝系统能耗分析与节能优化研究

李鹏

中冶南方都市环保工程技术股份有限公司，中国·湖北 武汉 430000

摘要

在“双碳”背景下，我国电力行业面临日益激烈的竞争和节能减排的双重挑战，烟气中的烟气脱硫脱硝技术面临的能源密集型难题，已经严重影响了我国煤炭行业的健康发展。以我国目前主要的燃煤机组为研究对象，系统地研究其能耗组成和主要影响因子，根据其运行状态，制定有目标的节能方案，并验证其有效性，减少我国燃煤机组的脱硫脱硝系统能耗，提高其运行经济性和环境保护效果，保障整体的运行经济性和环境效益，更是落实节能减排战略、推动电力行业低碳转型的关键举措，对助力“双碳”目标落地、缓解能源供需矛盾具有不可替代的现实价值，具有重要的科学意义。

关键词

燃煤电厂；脱硫脱硝；能耗构成；影响因素；节能优化

1 引言

能源密集型的发电企业，其运行费用增加，利润下降；从另一个角度看，提高能源消费也就是更高的矿物消费，这也是对二氧化碳的直接影响，这与我国当前的节能减排思想相违背。因此，推进燃煤电厂烟气脱硫脱硝系统节能优化，降低能源消耗，成为当前电力行业落实节能减排任务、实现低碳发展的迫切需求。

2 燃煤电厂烟气脱硫脱硝系统能耗构成

我国火力发电厂采用的是石灰石-石膏湿法脱硫技术，该技术的能源消耗在烟气处理、吸收剂制备和输送以及石膏脱水等方面。各环节的能耗分布直接影响系统整体节能减排效果，明确能耗构成是精准推进节能优化、落实节能减排目标的基础。风机的能量消耗，以烟气在烟气中的阻力为主，并将烟气输送到吸收塔中，在整个烟气处理过程中，消耗的能量约为40%-55%，是整个脱硫体系的重要耗能装置。利用循环泵将石灰浆从吸附塔中循环到喷射层，使之与水泥浆进行充分的接触和化学反应，这一过程所消耗的能量约为20%-30%，其能量消耗与循环泵功率、运行台数和循环比有很大关系。物料制备和运输过程中的物料消耗，主要包括石灰石粉碎、粉碎和制浆过程中破碎机、球磨机和浆液泵等装

【作者简介】李鹏（1981—），中国湖北武汉人，本科，高级工程师，从事脱硫脱硝研究。

置,约为整个脱硫过程能源消耗的5-10%;对石膏进行脱水,即真空皮带脱水机和真空泵等装置,对吸附塔中的石膏浆料进行脱水,使其达到一定的水分含量,约为整个脱硫体系能源消耗的5-10%;其它能源消耗包含了过程用水输送泵、搅拌器和阀门控制等附属设施,大约有5%。从节能减排视角来看,上述各环节均存在节能潜力,通过针对性优化的每一个能耗节点,均可实现能源消耗降低与污染物减排的协同推进,助力电厂达成整体节能减排指标。

3 燃煤电厂烟气脱硫脱硝系统能耗影响因素分析

3.1 烟气工况参数对能耗的影响

研究结果表明随着风速的增大,风扇的能量消耗会随着风速的增大而增大33%。在全负荷情况下,锅炉具有稳定的烟流,风机和循环泵等装置在额定负荷下工作,能量利用率高;在小负载工况下,虽然降低了烟气排放,但如果风机和循环泵等装置仍然以正常的速度工作,则会造成能源利用率的降低,从而使整个过程的能量消耗大幅增加。漏烟还会使实际处理的烟气流增大,从而使风机的能量消耗增大,一些电站因其不够好的原因造成了电站的烟气漏失量高达5%~10%,使风机的能量消耗进一步增大了15%~30%。而烟气工况的优化调整,不仅能降低系统能耗,更能减少能源浪费带来的间接碳排放,是实现节能减排的重要抓手。

3.2 系统运行参数对能耗的影响

作为湿法脱硫工艺中最重要的操作指标,其循环比(即浆料再利用量与烟气流量之比)的数值,决定了SO₂吸收及再利用过程中的能量消耗。在较高的循环比下,SO₂的吸收速率提高了,但是循环泵的工作负载也增大了,能源消耗随之增大。在较小的循环比下,SO₂的吸收能力达不到环境标准,需要加大吸附剂用量,造成试剂用量增大。目前一些火力发电厂为了达到脱硫标准而一味地加大了浆料的循环比,使其再循环泵的能量消耗在15~25%之间,从而引起了能量的浪费。这种不合理的运行方式,既增加了能源消耗,也提高了污染物处理的综合成本,与节能减排“减量化、高效化”的核心要求不符,亟需通过科学调控运行参数实现节能与减排的协同。

3.3 设备性能与维护状况对能耗的影响

风机、循环泵、球磨机等核心用能装置的效能与稳定性是其能量消耗的重要指标,如高效风机的能效高于常规风机10%~15%,节能风机可减少10%~20%的能源消耗。脱硫吸收塔和脱硝反应器等反应装置的结构设计不当,会引起烟气阻力增大,反应效率下降,从而增加能源消耗;喷雾层的不够完善将引起浆体分配不均匀,增大再循环泵能量消耗,并影响SO₂的吸收速率。另外材料对能源消耗也有一定的影响,如抗腐蚀、耐磨材料的装置可以减少结垢和磨损,减少维修能量和设备的替换次数。设备的高效稳定运行的核

心是节能减排的重要保障,不仅能降低直接能源消耗,还能减少设备损耗带来的资源浪费,推动脱硫脱硝系统向绿色低碳方向运行。

4 燃煤电厂烟气脱硫脱硝系统节能优化策略

4.1 运行参数优化策略

通过对矿浆再循环比的研究,结合SO₂浓度及机组负荷的变化,对矿浆再循环泵的数量及速度进行动态调节,并构建矿浆再循环比与SO₂浓度及机组负荷之间的相关关系,实现在确保SO₂浓度≥95%的同时,降低循环泵的能量消耗。如当机组负荷低,二氧化硫浓度低时,通过停机1-2个循环泵,或者减少循环泵的速度,可以使循环泵的能量消耗减少15%~25%。通过对石灰浆法制备技术的研究,调控浆料的浓度及粒度,增大吸收剂与烟气的接触面积,从而达到降低吸附剂用量的目的。为防止因pH升高或降低而引起的能源消耗,需对塔底溶液进行适当的pH调节,使其达到5.5-6.5。在脱硝方面,通过对还原剂注入模式的改进,通过分段注入的方法,实现基于NO的浓度场的精确调控,实现对还原剂注入量的精确调控,从而达到提高脱硝效率、降低氨气逸出、降低生产过程中的能耗的目的。

4.2 核心设备节能改造与高效运行策略

在风扇装置上,该项目使用了磁浮技术的罗茨鼓风机,并对其进行了频率转换,抛弃了常规的风门调整模式,利用变频控制实现了对氧化风的准确匹配,从而减小了风扇的节流消耗。还对风扇的隔声量进行了进一步的改进,使其在噪音不超过85dB(A)的情况下,能够有效地减小风扇的通风阻力,提高风扇的散热效果。在烟道方面,要把烟流速度控制在15米/s以下,要经常对烟管鳞状树脂衬里的完整性进行检测,并对烟道中的灰尘和杂物进行及时的清除,以减小气体的流动阻力,减小导风机的压力损失。需要对吸附塔进口意外喷水装置进行改进,使用较低压力、大流量的喷头,在烟气温度达到一定程度后,能够准确地启动洒水,从而有效地防止因人为操作而导致的水量消耗和电能消耗。

在泵的设计方面,项目中的浆液循环泵、排石膏泵、石灰石浆液泵都是一种离心式泵,必须要对各个泵的性能进行检测,替换掉那些低效的泵的轮组,使用高效能和抗磨的Cr30和A49合金叶片来提高泵的工作效率。对水泵进口过滤器进行了改进,采用2205材料制成的大通孔低阻过滤器,减小了因过滤器阻塞引起的压力降,并对过滤器进行定时清洗,以确保泵的进水流量平稳。在出水过程中,按生产过程中产生的石膏浆的数量,采取间歇操作方式,在满足一定条件后才能开始泵送,以防止盲目的持续操作。针对搅拌装置操作的最优,项目拟在吸附塔淤浆槽内加装侧入式搅拌装置,在操作过程中,依据浆液浓度、悬浮浓度等因素,调节搅拌速度。事故淤浆箱、石灰石淤浆箱等搅拌装置,通过变频调速,以减少恒速操作所产生的能量损耗;并对搅拌浆

进行周期性的检修,以确保搅拌效果,并避免浆液沉积。通过对烟气流速不超过 1.8m/s 的要求,对阳极管束层及阴极丝进行周期性清扫,确保电场充电效率,降低由于电场内部电阻增大而造成的电能消耗。对湿式电动清洗装置的喷头进行了改进,使用了一种高效率的喷雾式喷头,在确保清洗效果的基础上,降低了冲水量,并使清洗后的污水都回流到了吸附塔中,达到了水源的再利用。对高压电力供应设备进行了优化,将常规的晶闸管替换成了高频开关电源,提高了电力的转化效率,减小了无功损失。与此同时,通过 PC 机对供电参数进行了实时调整,使得该区域的电场工作在功率的 90% 左右,从而在确保了除尘效果的情况下,减小了电能的消耗。

4.3 系统协同调控与辅机节能优化策略

实现烟气、吸收、石灰石配浆、石膏脱水等多个环节的一体化协调,突破各个装置各自单独操作的局面,构建集中式控制体系,实现烟气、吸收、石灰石配浆、石膏脱水等系统的一体化调节,提高系统的综合性能。对于石灰石浆料,项目拟利用外部掺入的石灰石粉进行生产,在生产过程中,通过对星型喂料器及称量喂料器的功率进行实时调整,以达到对石灰石颗粒的需求量,从而达到对石灰石颗粒的需求,从而解决因混合过程中产生的大量浆体所引起的混合能源消耗问题。流化风机是粉仓卸料的重要装置,使用节能风扇,能够依据粉仓的液位和卸荷量,对流态化风扇进行适当的启动和关闭,并对电热器的操作参数进行了最优的调整,使其能够随周围的温度而实时地调整流化风的升温温度,从而防止因发热而导致的能量损耗。我国传统的石膏脱水装置存在着大量的能源消耗,在生产过程中,随着石膏浆的含量及产量的变化,对其运转速率进行了实时调整,具有很大的调整余地,在脱硫率低的情况下,可以减小脱水装置的运转速率,同时还可以降低真空泵的能量消耗。通过对其进行优化设计,对给料压力的适当调节,提高其旋流分离效果,降低上清液中的固相浓度,使其在干燥后水分含量小于 10% 的前提下,解决由于旋流器效率低下而导致的后期处理能量消耗问题。针对分离后的过滤水及旋流上清液,进行全量回收,使其部分回流到吸附塔中进行补水,另一部分送入石灰石浆液中,用于制浆,以降低过程用水量,减小过程泵的工作负载。

在辅助设备的节能上,工艺用水体系中安装二用一备的除雾器清洗泵和工艺水泵,制定了一套泵的联调制度,对

两个泵的功率进行了适当的配置,防止了一台泵的过载。通过对机组内部气体总线的检测,使其能够有效地解决管道渗漏问题,减小其损失;通过对气动阀的供气压力进行优化,使其达到 0.4-0.6MPa 的设计目标,从而达到节能降耗的目的。针对烟气管和装置的隔热体系,要对隔热层进行定期检测,并对损坏的隔热层进行修补,以减小烟气、浆料的温升,防止由于烟气温度太低而引起的烟道侵蚀和能源消耗,减小吸附塔中浆料的温降,减小低温对脱硫速度的影响。

4.4 资源循环利用与能耗梯级利用策略

本着“减耗、循环、高效”的原理,通过对烟气中各种物料及副产品的有效回收,达到对烟气中各种物料的回收与分级,从而达到节能减排的目的,从而达到节能减排的目的。在水的循环使用方面,对吸附塔排水口的冲洗水、石膏脱水系统的滤液水、湿电除尘器的冲洗水等进行综合回收,使其重新使用,达到工艺水的封闭循环,尽量减小新水的补给,从而减小过程泵的操作能量消耗。针对脱硫副产品——石膏,确保水分含量 <10%,充分发挥其资源化、资源化的作用;在生产工艺中,通过对石膏籽种加入方法的研究,将事故渣槽中的渣浆用作石膏籽种,降低籽种制备所需的能量及材料损耗。在能源分级利用上,充分发挥进口烟气高达 130°C 的高温特性,对氧化空气和工艺水进行预处理,降低外界热源损耗;并将脱硫过程中生成的余热引入到湿式电除尘器中,以保持子箱的高温,缩短其工作周期,从而达到对低温余热的高效循环。

5 结语

随着“双碳”目标的深入推进和节能技术的不断发展,燃煤电厂烟气脱硫脱硝系统节能优化将向智能化、一体化、低碳化方向发展。后续可进一步开展多工艺协同节能研究,开发高效节能的新型催化剂和吸收剂,优化智能控制算法,提升系统节能精度和稳定性;加强节能技术的推广应用,完善节能激励机制,推动燃煤电厂实现环保与节能的协同发展,为我国能源结构转型和生态环境保护贡献力量。

参考文献

- [1] 周菁,尚尉. 电厂锅炉脱硫脱硝及烟气除尘技术分析[J]. 清洗世界,2024,40(12):130-132.
- [2] 路光杰. 燃煤烟气污染物治理行业热点及煤电绿色转型的重要举措[J]. 中国环保产业,2024,(12):24-26.
- [3] 陈方. 燃煤电厂石灰石-石膏法烟气脱硫脱硝技术研究[J]. 中国新技术新产品,2024,(13):118-120.