

# 火电厂制粉系统的优化调整对锅炉效率的影响

胡宇明

华电库车发电有限公司 新疆 阿克苏地区库车 842000

**摘要:** 火电厂制粉系统对锅炉效率影响显著。本文先阐述制粉系统运行参数,如煤粉细度、通风出力等对锅炉燃烧的作用,接着分析单、双制粉系统运行等运行方式对锅炉热效率的直接影响。随后探讨设备改造、参数协同优化等关键技术路径,最后揭示优化调整在提升燃烧效率、降低排烟热损失等方面的潜在影响机制,为火电厂提高锅炉效率提供理论依据。

**关键词:** 火电厂;制粉系统;锅炉效率;运行参数;优化调整

**引言:** 在火电厂运行中,锅炉效率是衡量能源利用水平的关键指标,而制粉系统作为锅炉的重要辅助系统,其运行状况直接影响锅炉的燃烧效果与热效率。制粉系统通过将原煤磨制成合适细度的煤粉,并输送至锅炉炉膛进行燃烧,为锅炉提供能量。然而,制粉系统运行参数不合理、运行方式不恰当以及系统严密性不足等问题,会导致锅炉燃烧不稳定、热损失增加,进而降低锅炉效率。因此,深入研究制粉系统的优化调整对锅炉效率的影响具有重要的现实意义。

## 1 制粉系统运行参数对锅炉燃烧的影响

### 1.1 煤粉细度与均匀性

煤粉细度在锅炉燃烧进程里扮演着关键角色,对燃烧速率与燃尽率有着直接影响。当煤粉颗粒较为细小时,它的表面积大幅增加,与氧气的接触面积显著扩大,使得化学反应速率加快,燃烧速率得以提升。根据化学反应动力学公式: $r = kcn$  (其中 $r$ 为反应速率, $k$ 为反应速率常数, $c$ 为反应物浓度, $n$ 为反应级数),煤粉细度减小,比表面积增大,相当于增大了反应物与氧气的接触浓度 $c$ ,从而加快了反应速率 $r$ 。在相同时间内,细煤粉能够更充分地跟氧气反应,进而提高燃尽率,减少未燃尽碳的损失<sup>[1]</sup>。相反,若煤粉颗粒较粗,比表面积小,氧气难以充分渗透到煤粉内部,燃烧速率变慢,燃尽率降低,不仅造成能源浪费,还可能影响锅炉的稳定运行。煤粉均匀性对炉内温度场分布的作用同样不可忽视,煤粉均匀性用均匀度系数 $n$ 表示,一般要求 $n \geq 1.2$ 。均匀的煤粉进入炉膛后,能在各区域相对均衡地燃烧,使炉内温度场分布较为均匀,温度偏差可控制在 $\pm 50^\circ\text{C}$ 以内。这有助于维持锅炉燃烧的稳定性,避免局部温度过高或过低。局部温度过高可能引发炉管结焦、过热器超温等问题,缩短设备使用寿命;局部温度过低则会导致燃烧不充分,降低锅炉效率。而不均匀的煤粉会使燃烧集中在某些区域,造

成温度场分布不均,温度偏差可达到 $\pm 120^\circ\text{C}$ 以上,增加锅炉运行风险。

### 1.2 通风出力与风煤比

一次风量在煤粉输送与燃烧初期氧供给调节方面起着重要作用,对于300MW机组,一次风量通常控制在22000~28000 $\text{m}^3/\text{h}$ 。合适的一次风量能够将煤粉顺利输送至炉膛,并在燃烧初期为煤粉提供足够的氧气,促进煤粉的着火与稳定燃烧。若一次风量过小,低于20000 $\text{m}^3/\text{h}$ ,煤粉输送不畅,易在管道内沉积,导致堵塞,同时燃烧初期氧气不足,煤粉着火延迟,燃烧不稳定;若一次风量过大,超过30000 $\text{m}^3/\text{h}$ ,会降低炉膛温度,延长燃烧时间,还可能将煤粉吹离燃烧中心,造成燃烧不完全。风煤比失衡会引发一系列问题。当风量大于煤粉燃烧所需量时,过多的空气会带走大量热量,降低炉膛温度,使燃烧速率减慢,导致不完全燃烧,增加排烟热损失;当风量小于煤粉燃烧所需量时,氧气供应不足,煤粉无法充分燃烧,同样会造成不完全燃烧,产生大量黑烟,降低锅炉效率,还可能因局部缺氧引发高温腐蚀等问题。

### 1.3 干燥出力与煤粉水分

干燥风温对煤粉水分控制至关重要。较高的干燥风温能够快速蒸发煤粉中的水分,使煤粉达到适宜的干燥程度。合适的煤粉水分有利于煤粉的输送与燃烧,若煤粉水分过高,在燃烧过程中,水分蒸发需要吸收大量热量,导致炉膛温度降低,燃烧效率下降。同时,过多的水分会使煤粉粘结,影响煤粉的流动性,导致给煤不均匀,进而影响锅炉的稳定燃烧,还可能对制粉系统设备造成腐蚀,缩短设备使用寿命。

## 2 制粉系统运行方式对锅炉热效率的直接影响

### 2.1 单制粉系统与双制粉系统运行对比

单制粉系统运行时,煤粉输送路径相对单一集中,对炉膛火焰中心位置影响显著。由于煤粉从固定位置进

入炉膛,在炉内燃烧时,火焰中心易偏向煤粉入口一侧,导致炉膛内温度分布不均,局部区域温度过高或过低<sup>[2]</sup>。局部高温可能使炉管金属材料强度下降,加速结焦过程,影响锅炉安全运行;局部低温则会造成燃烧不充分,降低热效率。双制粉系统运行时,三次风量增加会严重扰动炉内温度场。三次风携带未完全燃烧的细煤粉及部分空气进入炉膛,其风量增大使得炉内气流速度和方向发生改变。原本相对稳定的温度场被打破,高温区域与低温区域相互交错,热量传递变得复杂。这不仅影响煤粉的燃烧过程,使部分煤粉未能充分燃烧就被带出炉膛,增加固体未完全燃烧热损失,还可能导致炉膛出口烟温偏差增大,影响后续受热面的吸热均匀性。

### 2.2 三次风特性与燃烧稳定性

三次风具有温度低、风速高的特点,对煤粉着火延迟作用明显,三次风温度通常为80~120℃,风速可达35~45m/s。低温的三次风进入炉膛后,会降低周围环境温度,使煤粉达到着火温度的时间延长。高风速则加速了气流运动,缩短了煤粉在着火区的停留时间,进一步阻碍煤粉着火。着火延迟会导致燃烧过程后移,火焰中心上移,炉膛出口烟温升高,增加排烟热损失,降低锅炉热效率。三次风射流方向与炉内烟气旋转动量关系紧密。若三次风射流方向与炉内烟气旋转方向一致,会增强烟气旋转动量,使炉内气流旋转更加剧烈,导致火焰贴壁,引发炉管局部过热;若射流方向相反,则会削弱烟气旋转动量,破坏炉内气流组织,使煤粉与空气混合不均匀,造成燃烧不稳定,降低燃烧效率。

### 2.3 系统漏风对锅炉效率的间接影响

系统漏风会使空气预热器进风量减少,进而导致排烟温度升高。漏入的冷空气未经预热直接进入炉膛或烟道,降低了空气预热器的热交换效率,使排烟携带的热量增多,排烟温度上升。排烟温度升高意味着锅炉热损失增加,热效率降低。一般而言,系统漏风率每增加1%,排烟温度可能升高2~3℃,锅炉热效率降低0.5%~1%。漏风还会影响炉膛出口烟气偏差与过热器吸热均匀性。漏风改变了炉内气流分布,使炉膛出口烟气速度和温度分布不均,导致过热器各管圈吸热量差异增大。部分管圈吸热过多,管壁温度超限,影响设备寿命;部分管圈吸热不足,蒸汽温度达不到要求,影响锅炉正常运行,降低整体热效率。

## 3 制粉系统优化调整的关键技术路径

### 3.1 设备改造与性能提升

磨煤机分离器挡板的优化是精准控制煤粉细度的有效手段。在制粉系统运行中,分离器挡板的角度与开度

直接影响煤粉的分离效果。通过深入研究和多次试验,调整挡板角度与开度,能够改变煤粉在分离器内的运动轨迹和停留时间<sup>[3]</sup>。合适的挡板设置可使粗煤粉被有效截留,重新返回磨煤机进行研磨,而细煤粉则顺利通过进入后续流程,从而实现对煤粉细度的精确控制,满足不同煤种和锅炉燃烧对煤粉细度的要求,提高燃烧效率。将三次风喷口改造为水平浓淡相喷嘴,能显著改善燃烧稳定性。传统的三次风喷口喷出的气流均匀性较差,不利于煤粉的稳定着火与燃烧。水平浓淡相喷嘴可将三次风气流分为浓相和淡相两部分。浓相气流中煤粉浓度高,能够在着火初期迅速释放热量,为淡相气流的着火提供稳定的热源,形成良好的着火环境。这种改造方式增强了煤粉与空气的混合效果,使燃烧更加充分稳定,有效减少了燃烧波动和灭火现象的发生。

### 3.2 运行参数协同优化

磨煤机出口温度与一次风压的匹配调节至关重要。磨煤机出口温度过高可能导致煤粉自燃,存在安全隐患;温度过低则会使煤粉水分含量增加,影响煤粉的流动性和燃烧性能。一次风压的大小决定了煤粉的输送能力和初始燃烧氧气的供应量。根据煤种特性和锅炉负荷变化,精确调整磨煤机出口温度与一次风压,使二者相互匹配。合适的匹配关系能够保证煤粉以良好的状态进入炉膛,实现稳定着火和高效燃烧,提高锅炉热效率。给煤量与通风量的动态平衡控制是维持制粉系统和锅炉稳定运行的关键。给煤量决定了进入制粉系统的煤粉数量,通风量则影响着煤粉的输送和燃烧过程中的氧气供应。在锅炉运行过程中,随着负荷的变化,给煤量和通风量需进行动态调整。通过先进的控制系统,实时监测锅炉运行参数,根据负荷需求自动调节给煤量和通风量,使二者始终保持动态平衡,确保煤粉在炉膛内充分燃烧,避免出现燃烧不完全或通风不足等问题。

### 3.3 系统严密性治理

封闭给煤槽与减少系统漏风点的技术措施是治理系统严密性的重要环节。给煤槽若密封不严,会导致冷空气漏入制粉系统,影响煤粉的干燥和输送,降低制粉系统效率。采用合适的密封材料和密封结构对给煤槽进行封闭处理,能够有效阻止冷空气进入。同时,对制粉系统进行全面检查,找出漏风点并采取有效的封堵措施,如使用密封胶、焊接等方法,减少系统漏风,提高系统运行的稳定性和经济性。密封风系统升级对抑制磨煤机漏风具有重要作用。密封风能够防止磨煤机内部的高温煤粉和气体外泄,同时阻止外界冷空气进入。升级密封风系统,提高密封风的风压和风量,增强密封效果。采

用新型的密封装置和密封技术,如机械密封、气膜密封等,能够有效减少磨煤机的漏风,降低制粉系统的能耗,提高锅炉的整体热效率。

#### 4 制粉系统优化调整对锅炉效率的潜在影响机制

##### 4.1 燃烧效率提升路径

煤粉细度优化在提升燃烧效率方面发挥着关键作用,能显著缩短燃尽时间。当煤粉颗粒较细时,比表面积大幅增加,与氧气接触的机会增多,化学反应速率加快。在燃烧过程中,细煤粉能够更迅速地与氧气发生反应,使得燃烧过程更加充分和快速。相较于粗煤粉,细煤粉在炉膛内的停留时间内能够完成更完全的燃烧,减少了未燃尽碳的残留,从而有效缩短了燃尽时间,提高了燃烧效率,为锅炉效率的提升奠定了基础。通风出力调整对改善炉内气粉混合效果意义重大<sup>[4]</sup>。合适的通风出力能够为煤粉输送提供稳定动力,确保煤粉以适宜的速度和浓度进入炉膛。同时,通风能够调节炉内的氧气分布,使氧气与煤粉充分混合。当通风出力合理时,气流能够均匀地携带煤粉在炉膛内扩散,形成良好的气粉混合物,为煤粉的稳定燃烧创造有利条件。良好的气粉混合效果使得煤粉能够在炉内各个区域均匀燃烧,避免了局部燃烧不充分的情况,进而提高了整体燃烧效率。

##### 4.2 排烟热损失降低机制

系统漏风治理是减少排烟温度升高的重要原理所在。系统漏风会使大量冷空气未经预热直接进入炉膛或烟道,降低了空气预热器的热交换效率。原本用于加热空气的热量被漏入的冷空气带走,导致排烟携带的热量增多,排烟温度升高。通过对系统进行全面排查和治理,封堵漏风点,减少冷空气的漏入,能够提高空气预热器的热交换效率,使排烟温度降低,从而减少排烟热损失,提高锅炉效率。干燥出力提升对炉膛温度场均匀性有着积极影响。干燥出力增强意味着能够更有效地去除煤粉中的水分。煤粉水分含量降低后,在燃烧过程中水分蒸发吸收的热量减少,更多的热量用于维持炉膛温度。同时,干燥均匀的煤粉在炉内燃烧时,能够使热量释放更加均匀,避免因煤粉水分不均导致的局部温度差异过大。这有助于形成均匀的炉膛温度场,提高燃烧的稳定性,减少因

温度不均造成的热损失,进而降低排烟热损失。

##### 4.3 炉内热负荷分布优化

三次风射流方向调整对削弱烟气旋转动量具有重要作用。三次风以一定角度进入炉膛时,会与炉内原有的旋转烟气相互作用。若三次风射流方向不合理,会增强烟气旋转动量,导致火焰贴壁,造成炉内热负荷分布不均。通过调整三次风射流方向,使其与烟气旋转方向形成一定夹角或反向,能够削弱烟气旋转动量,使火焰在炉膛内分布更加均匀,优化炉内热负荷分布。火焰中心位置下移是延长煤粉燃烧时间的有效路径。当火焰中心位置下移时,煤粉在炉膛内的燃烧路径延长,有更多的时间与氧气充分混合和反应。同时,下移的火焰中心能够使炉膛下部温度升高,为煤粉的初始燃烧提供更有利的条件,促进煤粉的早期着火和稳定燃烧。随着火焰中心下移,煤粉在炉膛内的停留时间增加,燃烧过程更加充分,从而提高了锅炉效率。

#### 结束语

火电厂制粉系统的优化调整对锅炉效率有着多方面积极影响。通过合理控制煤粉细度、通风出力等运行参数,优化单、双制粉系统运行方式,实施设备改造与参数协同优化等关键技术路径,可有效提升燃烧效率、降低排烟热损失、优化炉内热负荷分布。火电厂应重视制粉系统的优化调整工作,根据实际情况采取针对性措施,以实现锅炉效率的提升,提高能源利用效率,降低发电成本,增强企业的市场竞争力。

#### 参考文献

- [1]康晓光.某660MW火电厂制粉系统运行特性分析及优化[J].山西电力,2022(6):56-58.
- [2]贾小平,刘文仓,王子钊.基于数据驱动的火电厂制粉系统智能启停技术研究及应用[J].电力设备管理,2024(21):142-144.
- [3]孙宇贞,唐毅伟,李帅.基于数据挖掘的火电厂制粉系统能效评估模型研究[J].热能动力工程,2021,36(2):80-85.
- [4]骆鹏超.基于人工智能的火电厂煤颗粒物状态分析与调整技术的制粉系统设计[J].电气技术与经济,2025(10):393-395.