

火电机组烟气脱硫系统的节能优化

姚东旭

中国能源建设集团东北电力第二工程有限公司大连分公司 辽宁 大连 116086

摘要: 本文聚焦于火电机组烟气脱硫系统的节能优化运行, 分析其价值、技术要点与优化对策。文章阐述了节能优化对降低成本、提升能效及环境保护的重要性, 并深入探讨了湿法、半干法及干式脱硫技术。节能优化方面, 强调了调整循环泵流量、控制脱硫剂消耗及维持适宜脱硫温度等关键措施。同时, 提出采用变频调速、优化设备启停、废水处理回用及水系统优化等策略, 助力火电厂绿色转型, 提升经济效益, 以符合日趋严格的环保要求。

关键词: 火电机组; 烟气脱硫系统; 技术要点; 运行要点; 优化对策

引言

在全球环保意识日益增强及法规政策日趋严格的背景下, 火电厂作为关键的能源转换站, 其烟气脱硫系统的节能优化运行已成为不可忽视的议题。本文深入剖析火电机组烟气脱硫系统的节能优化价值、核心技术要点及实施策略, 旨在为火电厂的环保升级与能源高效管理提供科学指导与实践参考, 推动电力行业向绿色可持续发展迈进。

1 火电机组烟气脱硫系统的节能优化运行价值

火电机组烟气脱硫系统的节能优化运行具有多方面的显著价值, 这在现代环保要求和能源管理的大背景下显得尤为重要。随着全球环境保护意识的提升和法规政策的不断完善, 火电厂作为重要的能源转换设施, 其排放问题日益受到关注。特别是二氧化硫(SO_2)的排放, 已成为大气污染的主要来源之一, 对人类健康、生态系统和气候变化均产生深远影响。因此, 火电厂必须采取有效的烟气脱硫措施, 以满足日益严格的环保标准。然而, 脱硫过程并非没有代价。传统的烟气脱硫技术, 如石灰石-石膏湿法脱硫, 虽然效果显著, 但往往伴随着较高的能耗。这些能耗主要包括电力消耗、水资源消耗以及脱硫剂的消耗等, 不仅增加了火电厂的运营成本, 也对能源利用效率构成了挑战。因此, 对烟气脱硫系统进行节能优化, 不仅是环保法规的硬性要求, 更是火电厂提高经济效益、实现绿色转型的重要途径。节能优化运行的价值首先体现在降低运营成本上。通过优化脱硫系统的运行参数、改进工艺流程、采用高效节能设备等措施, 可以显著降低脱硫过程中的能耗, 从而减轻火电厂的经济负担。此外, 节能优化还能提高能源利用效率, 将原本在脱硫过程中浪费的能源转化为有用功, 为火电厂的能源管理提供更加高效、可持续的解决方案。除了经济效益外, 节能优化还具有深远的意义。通过减

少脱硫过程中的能耗, 可以间接减少温室气体的排放, 从而减缓全球气候变化的速度。同时, 优化后的脱硫系统还能提升脱硫效率, 更有效地去除烟气中的二氧化硫, 进一步改善空气质量, 保护人类健康和生态系统。此外, 节能优化还能提升脱硫系统的稳定性和可靠性。优化后的系统能够更好地适应火电厂的负荷变化, 减少因脱硫系统故障而导致的停机时间, 确保火电厂的合规运行和可持续发展。这对于维护火电厂的声誉、保障电力供应的稳定性和可靠性具有重要意义。

2 火电机组烟气脱硫的技术要点

2.1 湿法脱硫脱硝技术

湿法脱硫脱硝技术是当前应用较为广泛的一种。其核心原理是利用碱性溶液作为吸收剂, 在喷淋塔等设备中与烟气充分接触, 使烟气中的二氧化硫(SO_2)和氮氧化物(NO_x)等酸性污染物发生化学反应而被吸收脱除。

首先, 含硫烟气从烟道进入喷淋塔底部, 与从塔顶喷淋而下的吸收液逆流相遇。吸收液通常为石灰石-石膏法中的石灰石浆液, 富含碳酸钙(CaSO_3)成分。 SO_2 与浆液中的 CaCO_3 发生反应, 生成亚硫酸钙(CaSO_3), 化学方程式为: $\text{CaSO}_3 + \text{SO}_2 + \frac{1}{2}\text{O}_2 \rightarrow \text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ 。在这一过程中, 为保证反应充分进行, 喷淋塔内配备高效的雾化喷头, 确保吸收液均匀分散, 增大与烟气的接触面积^[1]。同时, 通过搅拌装置维持浆液的均匀性, 防止沉淀堵塞管道。

湿法技术具有脱硫效率高的显著优势, 一般可达90%以上, 在优化条件下甚至能接近98%, 对 SO_2 的控制效果卓越, 能有效降低火电机组的硫排放。而且, 该技术成熟可靠, 运行稳定性强, 经过多年实践改进, 在大型火电机组中有大量成功应用案例, 运维团队积累了丰富的经验。然而, 湿法脱硫也存在一些问题。一方面, 设备庞大复杂, 占地面积大, 初期投资成本高, 从喷淋塔、浆

液循环系统到氧化风机等一系列设备购置、安装费用不菲。另一方面,运行过程中会产生大量的脱硫石膏副产物,后续处理成本较高,若处理不当还可能造成二次污染。此外,由于系统处于潮湿环境,设备腐蚀问题较为突出,需要定期进行防腐维护,增加了运行成本与停机检修时间。

2.2 半干法脱硫

以常见的旋转喷雾干燥法为例,将消石灰($\text{Ca}(\text{OH})_2$)制成一定浓度的浆液,通过高速旋转的喷头雾化成微小液滴喷入反应塔。烟气从塔底进入,与雾滴充分混合,在高温烟气的作用下,雾滴中的水分迅速蒸发, $\text{Ca}(\text{OH})_2$ 与 SO_2 发生反应生成亚硫酸钙和硫酸钙(CaSO_4),实现脱硫目的,反应式为: $\text{Ca}(\text{OH})_2 + \text{SO}_2 \rightarrow \text{CaSO}_3 \cdot \frac{1}{2}\text{H}_2\text{O} + \frac{1}{2}\text{H}_2\text{O}$;
 $2\text{Ca}(\text{OH})_2 + 2\text{SO}_2 + \text{O}_2 \rightarrow 2\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ 。

相较于湿法,半干法脱硫系统设备相对简单,占地面积较小,投资成本有所降低。同时,由于水分蒸发迅速,产物呈干燥态,无需像湿法那样处理大量湿态石膏,减少了后续处理环节,一定程度上降低了运行成本。其脱硫效率能达到70%-90%,基本满足中等环保要求地区的火电机组需求。但半干法脱硫技术对操作参数要求较为严格,如喷雾量、烟气温度、湿度等,任何参数波动都可能影响脱硫效果与产物特性。而且,由于反应在气固、气液混合状态下进行,反应动力学复杂,要实现精准控制难度较大。此外,干燥后的脱硫产物收集较困难,容易出现粉尘飞扬问题,对后续除尘设备要求较高。

2.3 干式脱硫技术

典型的活性炭吸附法中,利用活性炭具有丰富孔隙结构和较大比表面积的特性,当烟气通过装填活性炭的吸附塔时, SO_2 被活性炭吸附富集,在活性炭表面的催化作用下,与氧气发生反应生成硫酸,被吸附在活性炭孔隙内,化学方程式为: $\text{SO}_2 + \frac{1}{2}\text{O}_2 + \text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{H}_2\text{SO}_4$ 。当活性炭吸附饱和后,通过热再生或化学再生方式使其恢复活性,循环使用。

干式脱硫设备最为简单紧凑,占地面积小,可灵活布置于场地受限的火电机组区域。运行过程中无需大量用水,无废水产生,避免了湿法脱硫的水污染问题,也减少了水资源消耗。并且,对烟气温度、湿度等条件适应性较强,在一些工况波动较大的小型火电机组中有较好应用前景。不过,干式脱硫技术的脱硫效率相对较低,一般在50%-70%,难以满足高环保标准地区的排放要求。活性炭等吸附剂成本较高,频繁再生不仅能耗大,而且再生过程控制不当易导致吸附剂性能衰减,缩短使用寿命,

进一步增加运行成本。此外,吸附饱和后的硫酸处理也较为棘手,若直接排放会造成新的污染风险。

3 火电机组烟气脱硫系统的节能优化运行要点

3.1 调整循环泵的流量

在烟气脱硫系统中,循环泵负责将吸收塔内的浆液不断循环,使其与烟气充分接触,完成二氧化硫的吸收反应。然而,当前许多火电机组在循环泵选型时,为确保脱硫效果,往往预留较大余量,导致实际运行中循环泵流量远超最佳工况需求。这不仅造成大量电能浪费在克服多余的管路阻力与浆液循环上,还可能因浆液流速过高,加剧设备磨损,缩短设备使用寿命。为了优化循环泵的流量,可以采取以下措施:首先,应基于烟气流量、二氧化硫浓度、吸收塔浆液特性等参数,利用专业软件进行精确的水力计算,确定在不同工况下循环泵的最优流量曲线。然后,通过安装变频调速装置,根据实时监测数据动态调整循环泵转速,实现流量的精准控制。例如,当机组负荷降低、烟气量减少时,同步降低循环泵转速,使浆液循环量与实际脱硫需求相匹配,避免“大马拉小车”现象。实践证明,采用变频调速技术后,循环泵电耗可降低30%-40%,节能效果显著。

3.2 合理控制脱硫剂的消耗量

脱硫剂通常为石灰石、石灰等,其消耗量主要受烟气中二氧化硫含量、脱硫效率要求、吸收剂活性等因素影响。在实际运行中,若不能根据实时工况精准投加脱硫剂,易出现投加过量或不足的情况^[2]。投加过量不仅浪费资源,增加成本,而且多余的脱硫剂还可能在系统内造成结垢、堵塞等问题,影响系统正常运行;投加不足则无法保证脱硫效果,导致二氧化硫排放超标。为了合理控制脱硫剂的消耗量,可以采取以下措施:一是安装先进的在线监测系统,实时准确测量烟气中二氧化硫浓度、烟气流量等关键参数,并将数据传输至控制系统。控制系统依据预设的脱硫效率目标与化学反应计量关系,自动计算出脱硫剂的实时投加量,实现精准投加。二是优化脱硫剂的制备与输送环节,确保脱硫剂的粒度、纯度等品质指标符合要求,提高其反应活性,减少无效消耗。例如,通过对石灰石进行精细化研磨,使其粒径分布更均匀,可显著提升脱硫效率,在保证脱硫效果的前提下降低石灰石消耗量10%-15%。

3.3 确保烟气脱硫的适宜温度

烟气温度对脱硫反应有着至关重要的影响。温度过高,一方面会降低二氧化硫在浆液中的溶解度,使脱硫效率下降;另一方面,高温可能加速浆液中水分的蒸发,导致浆液浓度升高,易引发设备结垢、堵塞等问

题。而温度过低,会使烟气中的水蒸气在吸收塔内凝结,造成烟气带水,腐蚀设备,同样不利于脱硫系统稳定运行。为了确保烟气脱硫的适宜温度,可以采取以下措施:在烟气进入脱硫系统前,通过安装换热器或利用余热回收装置,对烟气进行预冷却或预加热,使其温度稳定在适宜的脱硫区间,一般为50°C-60°C。同时,加强对吸收塔内温度的实时监测,根据温度变化及时调整换热器的运行参数或通过喷水降温、蒸汽加热等辅助手段维持温度稳定。此外,优化吸收塔的保温设计,减少热量散失,确保系统在不同季节、不同工况下都能为脱硫反应提供良好的温度环境。

4 烟气脱硫系统节能优化对策

4.1 节约设备运行电耗

(1) 优化氧化风机运行。氧化风机在烟气脱硫系统中扮演着至关重要的角色,其运行效率直接影响到脱硫效果和能耗水平。传统氧化风机通常采用定速运行方式,风量调节依赖于出口阀门的节流,这种方式不仅效率低下,还会造成大量的节流损失。为了解决这一问题,可以采用变频调速技术或高效的磁悬浮氧化风机替代传统风机。通过实时监测浆液中亚硫酸钙的浓度和氧化需求,变频调速技术能够精确调整风量,从而有效降低风机电耗20%-30%。同时,磁悬浮氧化风机凭借其高效、低噪音的特点,也能显著提升运行效率,降低能耗。此外,优化氧化空气的分布系统同样至关重要。通过采用均匀布气装置,可以改善氧化空气的分布状况,提高氧化效率,进而减少风机运行时间,进一步节约电能。(2) 合理安排设备启停顺序。火电机组在启停过程中,烟气脱硫系统各设备的启停顺序对电耗有着显著影响。应依据机组负荷变化趋势,制定科学合理的设备启停方案。例如,在机组启动初期,当烟气量较小时,延迟部分高耗能设备如备用循环泵、氧化风机的启动时间;在机组停机过程中,提前关停不必要的设备,避免设备空转造成的能源浪费。通过精细化的设备管理,可有效降低脱硫系统在机组启停阶段的电耗。

4.2 节约水资源

(1) 废水处理与回用。烟气脱硫过程中,废水处理与回用是节约水资源的重要手段。脱硫废水成分复杂,含有重金属离子、氯离子等污染物,直接排放不仅浪费水资源,还会对环境造成污染。因此,采用先进的废水处理工艺至关重要。混凝沉淀、反渗透、蒸发结晶等技术是深度处理脱硫废水的有效方法,能够去除废水中的有害物质,使其达到回用标准。处理后的中水水质清澈,可广泛应用于脱硫系统的各个环节。例如,回用于吸收塔补充水,不仅满足了脱硫反应对水质的要求,还减少了新鲜水的取用。同时,处理后的中水还可作为设备冲洗水,进一步降低了水资源成本^[3]。(2) 优化水系统运行。首先,加强管道、阀门等设备的维护保养,消除跑冒滴漏现象,确保水系统的密封性。其次,利用智能控制系统精准控制工艺水的补充量。根据吸收塔液位、浆液密度等关键参数,智能控制系统能够实时调整补水量,避免过量补水造成的浪费。此外,优化除雾器的冲洗程序也是节约用水的关键。依据烟气含湿量、粉尘浓度等实时工况,合理调整冲洗频率与水量,在保证除雾效果的同时,实现了水资源的最大化利用。

结束语

综上,火电机组烟气脱硫系统的节能优化运行对提升能效、降低成本及满足环保要求至关重要。一系列优化举措的实施,不仅促进了火电厂的绿色转型,还增强了其在市场竞争中的优势地位。展望未来,技术的持续革新将为烟气脱硫系统的节能优化带来更多可能,同时也提出了新的挑战与要求,激励我们不断探索与实践,推动电力行业向更加环保、高效的方向发展。

参考文献

- [1]康彭.低温烟气脱硝技术在火电机组灵活性改造中的运用浅析[J].机电信息,2020(36):93-94.
- [2]杜艳玲,方青帅,王俊杰.湿法脱硫系统石膏浆液pH值测量系统优化[J].硫酸工业,2023,(03):56-58+62.
- [3]孙化军.火电机组烟气脱硫系统的节能优化运行[J].化工管理,2021,(33):24-25.