

石灰石-石膏湿法脱硫设备的技术特点及其优化

冯子君

华电滕州新源热电有限公司, 山东 滕州 277500

摘 要： 石灰石-石膏湿法脱硫技术是一种高效的脱硫方法，具有高脱硫效率、副产品利用价值高和环境友好等优点。本文首先介绍了石灰石-石膏湿法脱硫技术的原理及工艺流程，然后分析了脱硫设备的技术特点，包括设备组成、技术优势及存在问题。最后，针对设备存在的问题，提出了设备结构、流体力学和控制系统优化的策略，旨在提高脱硫效率，降低能耗，减少设备腐蚀和堵塞。

关 键 词： 石灰石-石膏；湿法脱硫；设备

Technical characteristics and optimization of limestone-gypsum wet desulfurization equipment

Feng Zijun

Huadian Tengzhou Xinyuan Thermal Power Co., LTD. Tengzhou, Shandong 277500

Abstract： Limestone-gypsum wet desulfurization technology is an efficient desulfurization method, which has the advantages of high desulfurization efficiency, high utilization value of by-products and environmental friendliness. This paper first introduces the principle and process of limestone-gypsum wet desulfurization technology, and then analyzes the technical characteristics of desulfurization equipment, including equipment composition, technical advantages and existing problems. Finally, according to the existing problems of the equipment, the equipment structure, fluid mechanics and control system optimization strategies are proposed to improve the desulfurization efficiency, reduce energy consumption, and reduce the equipment corrosion and blockage.

Keywords： limestone-gypsum; wet desulfurization; equipment

引言

随着环保意识的不断提高，火电厂等工业排放源的脱硫技术受到广泛关注。石灰石-石膏湿法脱硫技术作为目前应用最广泛的脱硫方法，具有显著的环保效果。然而，在运行过程中，设备能耗高、腐蚀和堵塞等问题也日益突出。因此，本文将针对石灰石-石膏湿法脱硫设备的技术特点及其优化进行探讨。

一、石灰石-石膏湿法脱硫技术原理

（一）脱硫原理

石灰石-石膏湿法脱硫技术是基于石灰石（主要成分是碳酸钙）作为脱硫剂，与烟气中的二氧化硫（SO₂）发生化学反应，从而去除烟气中的SO₂。脱硫过程通常在一个称为脱硫塔的设备中进行^[1]。当烟气进入脱硫塔时，它会与喷淋系统喷洒的石灰石浆液接触。石灰石浆液中的CaCO₃与SO₂发生化学反应，生成亚硫酸钙（CaSO₃）和二氧化碳（CO₂）。随后，亚硫酸钙在氧化空气的作用下被氧化成硫酸钙（CaSO₄），即石膏。石膏是一种有用的工业副产品，可以用于建筑材料或土壤改良等。通过这一过程，烟气中的SO₂被有效去除，减少了环境污染。

（二）反应机理

烟气中的SO₂溶解在喷淋浆液中，与水分子结合形成亚硫酸（H₂SO₃）。亚硫酸在浆液中进一步分解，释放出SO₂和H₂SO₄。SO₂与浆液中的CaCO₃反应，生成CaSO₃和CO₂。在氧化空气的

作用下，CaSO₃被氧化成CaSO₄。CaSO₄与浆液中的水分结合，形成石膏晶体^[1]。

（三）工艺流程

烟气首先经过预处理，如除尘和冷却，以满足脱硫条件。预处理后的烟气进入脱硫塔，与喷淋的石灰石浆液接触，发生脱硫反应。脱硫后的浆液进入氧化池，在氧化空气的作用下，亚硫酸钙被氧化成硫酸钙。氧化后的石膏浆液通过脱水系统进行处理，得到干燥的石膏产品。脱硫后的烟气经过除雾器去除水分，然后排放到大气中^[2]。生成的石膏可以作为建筑材料或土壤改良剂等，实现资源化利用。

二、石灰石-石膏湿法脱硫设备的技术特点

（一）设备组成

1. 脱硫塔

脱硫塔是石灰石-石膏湿法脱硫系统的核心部件，它的设计和

工作效率直接关系到脱硫效果。脱硫塔通常由塔体、喷淋系统、脱硫剂循环系统、氧化空气系统、除雾器等组成。塔体通常采用耐腐蚀的材料制造,以承受浆液的冲刷和化学侵蚀。喷淋系统负责将石灰石浆液均匀喷洒在烟气中,以充分接触和反应。脱硫剂循环系统确保脱硫剂的连续供应和循环使用。氧化空气系统为亚硫酸钙的氧化提供必要的氧气^[2]。除雾器则用于去除烟气中的水分和雾滴,减少排放的污染物。脱硫塔的设计需考虑气液接触效果、压力损失、塔内件的布局等因素,以保证高效的脱硫性能。

2. 石灰石制备系统

石灰石制备系统负责将石灰石原料转化为适合脱硫的浆液。系统包括石灰石的破碎、磨粉、浆液制备和输送等环节。破碎和磨粉是为了将石灰石颗粒减小到适当的尺寸,以增加其与SO₂的反应面积。浆液制备是通过将磨细的石灰石与水混合,形成一定浓度的浆液。输送系统则将浆液输送到脱硫塔中^[3]。石灰石制备系统的关键在于保证浆液的稳定性和质量,以确保脱硫效率。

3. 石膏脱水系统

石膏脱水系统是脱硫工艺的后处理部分,它将脱硫过程中生成的石膏浆液转化为干燥的石膏产品。脱水系统通常包括真空过滤机、压滤机或离心机等设备。这些设备通过物理或机械方法去除石膏浆液中的水分,得到含水量较低的石膏。石膏脱水系统的效率直接影响石膏的质量和副产品的价值。此外,脱水过程产生的滤液需要经过处理,以去除其中的污染物,然后才能排放或循环使用^[4]。石膏脱水系统的设计需要考虑脱水效率、能耗、自动化程度等因素。

(二) 技术优势

1. 脱硫效率高

石灰石浆液能够充分与烟气中的SO₂接触,通过液相和气相之间的质量传递,实现高效的SO₂吸收。脱硫塔内部通常设计有多个喷淋层和填料层,增加了气液接触面积,提高了SO₂的去除率。此外,氧化过程确保了亚硫酸钙完全转化为硫酸钙,减少了SO₂的逃逸^[4]。在现代脱硫塔中,脱硫效率可达到90%以上,甚至在某些优化的系统设计中,效率可以超过95%,显著降低了SO₂排放量,符合严格的环保标准。

2. 副产品利用价值高

石灰石-石膏湿法脱硫技术产生的副产品石膏具有很高的利用价值。石膏是建筑材料的重要原料,可用于生产石膏板、石膏砌块等,同时还可以作为土壤改良剂、水泥缓凝剂等。由于石膏的纯净度和质量较高,其在市场上的需求量大,经济价值显著。这不仅为企业创造了额外的经济效益,而且实现了资源的循环利用,减少了废物的排放,有助于形成可持续发展的循环经济模式。

3. 环境友好

石灰石-石膏湿法脱硫技术具有显著的环境友好特性。可以有效减少SO₂的排放,减轻酸雨和空气污染对环境的影响。通过回收利用石膏,减少废物的堆放和处理,降低环境污染。脱硫过程中产生的废水经过处理后可以循环使用,减少对水资源的消耗和废水的排放。脱硫塔的设计和运行也考虑了噪声和振动控制,减少了对周边环境的影响^[5]。因此,石灰石-石膏湿法脱硫技术不仅符合环保要求,而且在实际应用中对环境的整体影响较小。

(三) 存在问题

1. 能耗较高

脱硫塔的喷淋系统需要大量的泵送能量,以保证石灰石浆液的循环和均匀分布。氧化过程需要大量的氧化空气,这也增加了能耗。石膏脱水系统中的设备如真空过滤机和压滤机等,也需要较大的动力消耗。此外,为保证脱硫效率和石膏质量,系统中的浆液循环和净化处理也需要不断消耗能源^[6]。这些因素综合起来,使得整个脱硫系统的能耗较高,不仅增加了运行成本,也限制了其在某些条件下的应用。

2. 设备腐蚀

在石灰石-石膏湿法脱硫过程中,设备腐蚀是一个常见问题。脱硫剂浆液中含有酸性物质,如亚硫酸和硫酸,这些物质对金属设备有较强的腐蚀性。脱硫过程中产生的石膏浆液也会对设备造成腐蚀。长时间的腐蚀会导致设备壁厚减薄、结构强度下降,甚至发生泄漏,影响系统的稳定运行和脱硫效率^[6]。腐蚀不仅会增加维修和更换设备的成本,还可能对环境和操作人员的安全构成威胁。

3. 设备堵塞

堵塞主要发生在脱硫塔的喷淋系统和石膏脱水系统。在喷淋系统中,石灰石浆液的颗粒可能会积累在喷嘴和管道中,导致喷嘴堵塞,影响浆液的均匀分布和脱硫效率。在石膏脱水系统中,滤布和滤室可能会因为石膏颗粒的积累而堵塞,影响脱水效率和石膏质量^[6]。设备堵塞需要定期清理和维护,这不仅增加了工作量,也可能导致系统停机,影响正常的生产和排放控制。

三、石灰石-石膏湿法脱硫设备的优化

(一) 设备结构优化

1. 脱硫塔结构优化

改进塔体设计,采用更高效的填料层或喷淋层结构,以增加气液接触面积,提高SO₂的吸收效率。优化喷淋系统的布局,确保石灰石浆液能够均匀分布在塔内,减少死区,提高脱硫效果^[7]。采用耐腐蚀和抗磨的材料,可以提高塔体结构的稳定性和耐用性。还可以通过增加脱硫塔的高度或直径来提高处理能力,同时考虑减轻塔体的重量和风阻,降低能耗。

2. 喷淋系统优化

改进喷嘴设计,使用高效的喷嘴,以增加喷淋覆盖面积和浆液雾化效果,提高脱硫剂与烟气的接触效率。优化喷淋层的布置,减少层间距,增加喷淋层数量,以提供更多的脱硫反应机会。采用可调节的喷淋系统,可以根据烟气中SO₂的浓度实时调整喷淋量,实现精确控制,减少能耗^[7]。同时,考虑喷淋系统的自清洁能力,减少堵塞和维护需求。

3. 除雾器优化

除雾器是脱硫塔后部的重要设备,用于去除烟气中的雾滴,防止石膏浆液随烟气排放。改进除雾器的结构设计,采用高效的除雾器材料,如玻璃钢或聚丙烯,以提高除雾效率。优化除雾器的布置,增加除雾器的叶片数量或间距,以提高雾滴的捕获率。采用可冲洗的除雾器,可以定期清洗除雾器表面,防止堵塞和腐

蚀,延长除雾器的使用寿命^[8]。还可以考虑采用智能监测系统,实时监测除雾器的工作状态,及时发现问题并采取措施。

(二) 流体力学优化

1. 气液两相流动特性分析

优化脱硫塔结构,使气体和液体在塔内均匀分布,有助于提高脱硫效率。通过对脱硫塔内气液两相流动的数值模拟,可以分析气体和液体在塔内的流动轨迹,为优化塔内结构提供依据。气液两相流动过程中,气体和液体之间存在着相互作用,如气体对液滴的曳力、液滴的破碎和合并等。通过对这些相互作用的分析,可以优化喷嘴设计和喷雾参数,提高气液两相接触效果。脱硫塔内气液两相流动的稳定性对脱硫效果有很大影响。通过调整操作参数,如气体流速、喷淋密度等,可以改善气液两相流动的稳定性,提高脱硫效率。

2. 液相流动特性优化

合理选择喷嘴类型和尺寸,可以改善液滴分布,提高液滴与气体的接触面积,增强脱硫效果。通过优化喷嘴设计,可以降低喷嘴阻力,减少能耗。优化喷淋系统的布局,如喷嘴间距、喷嘴布置方式等,可以使液相在脱硫塔内均匀分布,提高脱硫效率。喷淋密度是影响液相流动特性的关键因素。通过调整喷淋密度,可以使液相在脱硫塔内形成稳定的流动状态,提高脱硫效果^[9]。优化液相循环系统,如提高循环泵效率、降低循环阻力等,可以降低系统能耗,提高脱硫效率。

3. 气液两相接触特性优化

通过优化喷嘴设计、调整喷淋参数等手段,增加液滴与气体的接触面积,提高脱硫效果。通过改变脱硫塔内的流动方式,如采用逆流、错流等,可以提高气液两相接触效果。优化脱硫塔结构,减少气液两相流动阻力,可以提高脱硫效率。优化脱硫塔内的气液分离装置,如采用高效分离器等,可以降低液相夹带,提高脱硫效率。同时,合理控制操作参数,如气体流速、喷淋密度等,也有助于提高气液两相接触效果。

(三) 控制系统优化

1. 自动控制系统设计

在设计自动控制系统时,需要对脱硫过程中的关键参数进行实时监测,包括烟气流量、温度、SO₂浓度、CaCO₃浆液浓度、pH值等。系统应配备高精度的传感器,确保数据的准确性和实时性。控制系统需要具备强大的数据处理能力,能够对收集到的数据进行分析,并据此调整脱硫塔的喷淋量、浆液循环量、空气流量等关键操作参数。自动控制系统的核心是控制器的设计,它通常采用PID(比例-积分-微分)控制算法,以实现快速的反馈调节。控制系统还应具备自适应功能,能够根据脱硫效率的变化自动调整控制策略^[9]。为提高系统的可靠性和可维护性,控制系统的设计应考虑模块化和冗余设计,便于系统的扩展和维护。在自动控制系统的设计中,还需要考虑用户界面设计应直观易用,便于操作人员监控和调整系统参数。系统应具备远程监控和远程操作功能,以支持集中控制和远程诊断。控制系统应具备数据记录和存储功能,以便于进行历史数据分析。

2. 参数检测与监测

监测系统应包括烟气参数,如烟气流量、温度、SO₂浓度

等,这些参数对脱硫效率有直接影响。浆液参数,包括CaCO₃浆液浓度、pH值、浆液流量等,这些参数反映了脱硫剂的消耗情况和脱硫效果。设备状态,如喷嘴堵塞情况、循环泵工作状态等,这些参数对系统的连续运行至关重要。为实现准确的参数检测,需要选择合适的传感器和检测设备。例如,SO₂浓度可以使用电化学传感器进行监测,而浆液pH值则可以使用pH计进行测量。传感器的选择应基于其测量范围、精度、响应时间和可靠性。传感器的安装位置应合理,以避免干扰和误报^[10]。监测系统应具备数据采集、处理和显示功能,以及异常报警功能。

3. 故障诊断与预警

收集系统运行数据,包括工艺参数和设备状态,进行实时分析。运用逻辑判断、模式识别等算法,检测系统中的异常信号。根据检测结果,判断故障类型和故障级别,提供故障诊断信息。当检测到潜在的故障时,预警系统会发出警报,提示操作人员采取措施。系统应具备高度的智能化,能够自动识别常见的故障模式。能够提供故障原因分析,指导操作人员进行故障排除。具备远程诊断能力,便于专家远程协助分析故障。能够记录故障历史,为未来的故障预防和改进提供数据支持。通过优化自动控制系统、参数检测与监测以及故障诊断与预警,可以有效提高石灰石-石膏湿法脱硫系统的运行效率和可靠性。

四、结语

石灰石-石膏湿法脱硫设备的技术优化对于提高脱硫效率、降低能耗和减少设备故障具有重要意义。通过对设备结构、流体力学和控制系统进行优化,有望解决现有问题,进一步提升脱硫效果,为我国环保事业作出更大贡献。在今后的研究和应用中,应继续探索新的优化方法和措施,以实现脱硫设备的长期稳定运行。

参考文献

- [1] 刘小川. 环保监督下湿法脱硫超低排放技术的应用 [A] 2022年电力行业技术监督工作交流会暨专业技术论坛论文集 [C]. 中国电力技术市场协会, 中国电力技术市场协会, 2022:4.
- [2] 李乐. 浅析石灰石-石膏湿法烟气脱硫吸收塔选型及设计 [J]. 中国设备工程, 2021,(22):146-148.
- [3] 魏建鹏. 石灰石-石膏湿法脱硫系统节能降耗策略研究 [A] 中国环境科学学会2021年科学技术年会——环境工程技术创新与应用分会场论文集(二) [C]. 中国环境科学学会环境工程分会,《环境工程》编辑部, 2021:5.
- [4] 李斌, 卢海中, 朱冠华. 石灰石-石膏湿法脱硫系统节能管理 [J]. 上海节能, 2020,(09):1071-1074.
- [5] 戴志松, 肖绍云. 机组湿法脱硫系统安全性提升措施 [J]. 电力安全技术, 2020,22(04):43-44.
- [6] 李超. 基于石灰石-石膏湿法的火电厂脱硫环保处理工艺研究 [J]. 粘接, 2020,41(03):44-47.
- [7] 张广璞. 基于模型预测控制的超超临界机组脱硫控制系统优化 [D]. 山东大学, 2019.
- [8] 李潜. 火力发电厂烟气湿法脱硫系统存在的问题及对策 [J]. 化学工程与装备, 2022,(03):265-267.
- [9] 曹力威. 电厂脱硫系统检修以及维护注意事项分析 [J]. 应用能源技术, 2022,(02):33-35.
- [10] 李海翠, 陆军, 胡飞, 尹海滨. 石灰石-石膏湿法烟气脱硫旋流分离器工程应用和改进 [J]. 江苏建材, 2021,(01):5-8.