

脱硫系统中石灰石石膏浆液密度计的选型与应用研究

孔思维

(华电国际电力股份有限公司邹县发电厂, 山东 邹城 273500)

摘要 湿法脱硫系统中, 石灰石和石膏浆液的密度控制对于保证脱硫效率和设备安全运行至关重要。本文分析了浆液密度测量在脱硫系统中的重要作用, 总结了当前密度计选型中需要考虑的测量范围、精度、耐腐蚀性、安装便利性等关键因素; 针对脱硫浆液测量环境的特殊性, 提出了安装位置优化、信号处理、智能诊断和与DCS系统协同等应用优化策略。研究成果旨在为电厂脱硫系统密度计选型和运行维护提供参考。

关键词 脱硫系统; 浆液密度; 密度计; 选型

中图分类号: TH715

文献标志码: A

文章编号: 2097-3365(2024)11-0070-03

湿法脱硫技术是燃煤电厂控制二氧化硫排放的主要手段, 在石灰石-石膏湿法脱硫系统中, 石灰石浆液和石膏浆液的制备和输送是关键工艺环节, 其中浆液密度作为重要的工艺参数, 直接影响脱硫剂的利用率和脱硫效率。准确测量和控制浆液密度, 是保证脱硫系统长周期稳定运行的关键, 但脱硫工况下浆液的高温、高压、高固含量等特性, 对密度计的选型和应用提出了严峻挑战。不合理的密度计选型和配置, 易导致测量失准、频繁堵塞等问题, 影响脱硫效率, 因此研究脱硫系统中浆液密度计的选型依据和应用优化策略, 对于提升密度测控水平、保障脱硫系统安全经济运行具有重要的意义。

1 脱硫系统中石灰石石膏浆液密度测量的重要性

石灰石-石膏湿法脱硫系统的核心是浆液循环和SO₂吸收过程, 系统效率和稳定运行在很大程度上取决于浆液密度的准确控制。浆液密度直接影响脱硫剂的利用率, 脱硫剂通常采用石灰石制浆, 浆液密度过低, 会降低单位体积浆液的吸收剂含量, 导致Ca/S摩尔比下降, 脱硫效率降低; 密度过高, 则会加重泵和管路磨损, 增加电耗, 并易引起堵塞, 因此精确控制石灰石浆液配制浓度, 对于在满足脱硫效率的同时降低成本非常关键。浆液密度与脱硫塔内物化反应过程密切相关, 浆液密度影响浆液在塔内的雾化效果和滴液分布, 进而影响脱硫剂与烟气的混合效果和液气接触时间, 合理的密度有利于提高烟气在浆液中的扩散传质效率, 保证脱硫反应充分进行。浆液密度是湿法脱硫工艺优化控制的重要依据, 通过测量进出脱硫塔浆液

的密度变化, 可间接判断脱硫剂的消耗速率和SO₂的吸收量, 为优化工艺参数、节省脱硫剂用量提供参考, 浆液密度的波动也是塔内喷淋堵塞、液位异常等故障的重要预兆, 密度测量有助于及时发现问题, 确保系统安全可靠运行。

2 脱硫系统中石灰石石膏浆液密度计的选型考虑因素

2.1 测量范围与精度要求

脱硫系统对石灰石和石膏浆液的密度测量范围和精度有明确要求, 密度计的选型必须满足工艺控制需求, 石灰石浆液配制浓度通常在10%~35%之间, 折算密度在1.05~1.25 g/cm³。较宽的测量范围对密度计的线性度提出了较高要求。脱硫工艺优化对浆液密度控制的精度要求较高, 测量偏差超过±0.5%即会对脱硫效率产生明显影响, 因此密度计的重复性和长期稳定性要达到较高水准。石膏浆液的密度测控要求更高, 浓度范围在15%~25%, 对应密度1.12~1.19 g/cm³, 测量精度要求优于±0.2%, 除了量程和精度指标外, 密度计还要具有良好的动态特性, 满足浆液配制和输送过程中快速波动的测量需求, 一般要求测量间隔优于1 s, 响应时间优于10 s, 针对脱硫工况的复杂性, 密度计要具有较强的抗干扰能力, 确保振动、气泡等因素不影响测量准确性。

2.2 耐腐蚀性与耐磨性

脱硫浆液呈弱酸性, pH在4.5~6, 对密度计的材质选择和结构设计提出了严苛要求, 浆液中含有的氯离子、重金属离子等杂质会加剧金属元件的电化学

腐蚀,因此密度计的接液部件宜选用高质量的 316 L、904 L 等奥氏体不锈钢或哈氏合金 C 等耐腐蚀材料制造,关键部位还需做表面钝化处理,提高耐蚀性,悬浮物含量高、颗粒粗大是脱硫浆液的显著特点。浆液中 $10 \sim 800 \mu\text{m}$ 的颗粒物占比可达 20% 以上,磨损性很强,常规密度计的接液部件磨损严重,使用寿命短。针对这一特点,密度计要采用耐磨材料,在叶轮、轴承等关键部件增加耐磨涂层,并优化流道设计,减小磨损风险,对于非接触式密度计,还应考虑外壳的耐磨蚀性,必要时采取陶瓷、聚四氟乙烯等特殊材料衬里,确保长期测量性能。

2.3 安装与维护便利性

脱硫系统工况恶劣,现场环境复杂多变,给密度计的安装和维护带来不便,因此选型时要着重考虑安装适应性和可维护性。在安装方式上,插入式密度计适应性较好,可直接插入管路法兰中,施工方便,但其测量探头直接浸没在浆液中,易受堵塞、磨损等影响。另一种安装方式是旁通式,将密度计安装在与主管路平行的旁路管中,可有效隔离主液流的扰动,减少磨损,但增加了系统阻力,两种安装方式各有利弊,需根据现场管路条件、检修空间等因素综合考虑。在便于维护方面,应优先选择少维护密度计,对于采用射线原理的密度计,要评估其在脱硫工况下的寿命,尽量减少现场更换频次,对于振动式、科里奥利式密度计等,要具有自诊断功能,实现故障的远程诊断和预警,密度计的清洗、校准等日常维护须便捷可行,如具备自清洗功能、现场简易校准方法等。

2.4 温度补偿与压力影响

脱硫浆液的温度变化范围大,进塔浆液温度在 $40 \sim 80 \text{ }^\circ\text{C}$,温度变化会引起浆液密度的明显波动,为保证不同温度下测量准确度,温度计须具备可靠的温度补偿功能。常见的温度补偿方法有温度-密度函数补偿法、温度-体积修正系数补偿法等,补偿方法的合理性直接影响密度测量的准确性,脱硫系统中密度计安装位置的工作压力差异也较大,入塔泵前压力通常低于 0.3 MPa,塔顶喷淋管路工作压力在 0.8 MPa 以上。压力变化对密度测量有一定的影响,一般压力每增加 10 MPa,测量值将增加千分之几,因此在选型时需评估密度计的耐压性能,超过 1 MPa 的应采用耐高压型号,对于差压式等敏感元件直接感受压力的密度计,还需评估压力变化引起的零点漂移,必要时进行静压补偿,消除由于静压变化引起的测量误差。

2.5 数据传输与系统集成能力

脱硫 DCS 系统对密度数据的采集和处理能力要求较高,在密度计选型时需充分考虑其数据传输和系统集成能力。现场总线技术在 DCS 系统中的应用已十分普及,密度计已具备现场总线通信接口,支持 Profibus、HART、Foundation Fieldbus 主流协议,实现工艺参数与诊断数据的数字化双向通信。数字通信可有效避免模拟信号受干扰引起测量值漂移,提高控制精度,数字化密度计能根据 DCS 系统的控制策略,实现远程配置、组态和管理,极大地提高了系统集成的灵活性。在脱硫工况下,现场环境的高温、高湿、强腐蚀性也对密度计通信电缆提出较高要求,须选用屏蔽性能好、绝缘性能优异的特种电缆,如采用 PUR 护套的 Profibus-DP 总线电缆等,对于不具备数字通信功能的密度计,也应具有 $4 \sim 5 \text{ V}$ 标准电压信号输出接口,配套使用 D/A 转换模块,确保与 DCS 系统的兼容性。

3 脱硫系统中石灰石石膏浆液密度计应用优化策略

3.1 安装位置与方式优化

合理选择密度计安装位置和安装方式,是确保测量可靠性和系统安全性的重要前提。针对脱硫工况,密度计宜安装在浆液搅拌稳定、气泡分离充分的管段,如在石灰石浆液箱出口、循环泵入口前的管段,浆液混合均匀,流速适中,密度计测量偏差小,应避免在离心泵出口、管路弯头等扰流严重或夹气频发的位置安装,减少气泡、漩涡等因素对测量的影响,对于插入式密度计,通常采用垂直安装于管路底部,避免悬浮物的沉积;同时插入深度不宜过大,以减小浆液对密度计的冲刷作用,对于旁通式密度计,旁通管道应尽量短小,与主管道平行布置,避免形成死角或沉积,确保与主管中浆液等密度^[1]。旁通管路应设置冲洗接口,定期排渣清洗,必要时设置自动排渣装置,针对工况恶劣的脱硫系统,密度计的安装还应坚持“便于检修、易于维护”的原则,如在仪表周边预留足够的检修空间,配备必要的吊装和检修工具,做好备品备件管理等,最大限度地减少检修维护的人力物力投入。

3.2 信号处理与数据滤波技术

工业现场复杂的环境干扰,使得密度计输出信号中往往混入噪声或其他异常信号,影响测量结果的可靠性,因此 DCS 系统须对密度计信号进行必要的处理和滤波,提高数据质量。针对脱硫工况下密度信号的特点,可采用限幅滤波、中值滤波、一阶滞后滤波等算法对数据进行修正,如中值滤波算法通过去除一定

时间窗口内的极大值和极小值,可有效去除由于气泡夹带等原因引起的毛刺信号;一阶滞后滤波算法则可以平滑短时间的密度波动,输出相对稳定的控制量。滤波参数的整定需综合考虑信号的变化频率、系统采样周期等因素,既要充分抑制干扰,又要尽量减少信号延迟,DCS系统还应具备完善的信号诊断功能,通过分析密度值的变化率、超差等特征,及时发现仪表故障,确保系统可靠运行。如当密度测量值超出仪表量程20%以上时,系统应报警提示仪表异常;当密度值长时间波动异常时,系统应提示仪表堵塞或结垢等故障隐患,智能诊断结果应反馈至维修管理系统,形成工单任务,指导检修人员及时处置。采用合理的信号处理算法和智能诊断策略,可显著降低脱硫工况对密度计测量准确性的影响,提高系统的控制性能和运行安全性^[2]。

3.3 智能诊断与预测性维护

密度计作为脱硫系统的关键仪表,其健康状态直接影响工艺控制的安全性和经济性,传统的定期校验和事后维修模式已难以满足日益复杂的脱硫系统对测量仪表的可靠性要求,因此需建立密度计智能诊断与预测性维护体系,实现由“事后维修”到“预防维护”的转变。加强对密度计关键部件的实时监测,采集叶轮转速、轴承温度、驱动电流等健康指标参数,并上传至DCS系统,DCS系统须嵌入智能诊断模型,综合判断密度计的健康状况,如针对阻尼振动式密度计,可基于模态叠加原理,建立叶轮振动特性与测量误差的映射模型,通过分析频谱特征变化,及时发现密度计测量精度下降等故障征兆。系统还应具备故障预测和寿命评估功能,通过分析密度计关键部件的劣化趋势,预测其失效时间,制定最佳检修策略,如可采用寿命应力模型,评估弹性元件在脱硫工况下的使用寿命,合理安排更换周期。引入机器学习算法,通过对历史运行数据的训练,建立测量误差与关键参数间的预测模型,及时预警流量计损坏风险,温度计系统的预测性维护还应与备品备件管理、检修排程等流程充分集成,形成全生命周期的智能化设备管理体系,最大限度地提高系统可靠性,降低检修成本^[3]。

3.4 与DCS系统的协同控制策略

浆液密度作为影响脱硫效率的关键参数之一,须与DCS系统实现紧密、灵活的协同控制。DCS系统应将密度测量值作为石灰石浆液和石膏浆液配制的重要反馈参数,通过优化搅拌浆叶转速、调节水液比例阀等手段,精确控制浆液配制浓度,DCS系统还应将密度测量值与脱硫塔运行工况相关联,综合考虑SO₂浓度、烟

气量、pH值等因素,通过调整浆液循环量、雾化压力、氧化风量等,在保证脱硫效率的基础上使浆液密度维持在最佳范围,如当烟气SO₂浓度升高时,系统可适当降低循环浆液密度,提高Ca/S比,保证脱硫效率,当塔压差上升时,系统则应提高循环浆液密度,减少雾滴夹带,防止堵塞^[4]。密度测量还可作为优化工艺运行的判据,如在石灰石浆液仓中,密度降低往往预示Ca(OH)₂浓度不足,需及时补加石灰石粉;在氧化浆液循环系统中,密度持续上升则提示结垢风险增大,需及时调整氧化风量,并加强防垢剂投加,密度与工艺参数的协同优化控制,可显著提高系统运行的安全性和灵活性。脱硫DCS系统还应具备工艺仿真和优化功能,通过建立吸收塔三维模型,分析密度、浆液流量、pH值等参数的耦合作用机理,寻求最佳工况点,指导工程师科学决策,在满足排放达标的同时,实现脱硫成本最小化,充分发挥密度计在控制系统中的作用^[5]。

4 结束语

脱硫密度计作为实现系统优化控制和清洁生产的重要手段,代表了烟气治理装备的发展方向。本文通过对石灰石浆液密度计使用过程中出现的问题进行原因分析,总结经验,提出了改造方案,旨在保证火力发电厂脱硫系统石灰石浆液密度测量的准确性,为机组脱硫提供可靠的参数监视,结合石灰石供浆串级控制策略,优化脱硫供浆调节,提高机组脱硫效率。这一改进不仅提供了可靠的参数监视,为机组脱硫提供了坚实的数据支持,还通过结合石灰石供浆串级控制策略,优化了脱硫供浆的调节过程,这一系列的优化措施显著提高了机组的脱硫效率,进一步推动了火力发电厂向清洁生产的目标迈进。

参考文献:

- [1] 陈尼青,阮徐均,万金雄,等.FGD系统中一种吸收塔浆液密度测量方法的应用[J].环境与发展,2022,34(07):72-77.
- [2] 姜山,刘天爱,彭光锋,等.差压式密度测算法在湿法脱硫中的应用[J].黑龙江科技信息,2022(24):6-7.
- [3] 袁晓东.燃煤电厂脱硫浆液密度计的应用及常见问题分析[J].安徽电气工程职业技术学院学报,2023,28(04):106-110.
- [4] 马俊峰,王宏伟,刘海军,等.智能化技术在发电厂脱硫系统中的应用[J].电气技术与经济,2024(01):97-99.
- [5] 水玉蝶,王润芳,金琳琳,等.燃煤电厂石灰石-石膏湿法脱硫系统中痕量元素的迁移分布规律[J].环境科学研究,2023,36(06):1115-1124.