

管束式除尘器堵塞机理分析及冲洗系统优化对策研究

高江宇

河北大唐国际王滩发电有限责任公司, 河北省唐山市, 063000;

摘要: 管束式除尘器作为高湿、高黏性烟气工况下的重要末端除尘装备, 其运行稳定性在很大程度上受堵塞问题制约。本文围绕管束式除尘器堵塞的形成机理与工程危害展开系统分析, 从含尘气体特性、结构与运行参数、运行维护管理等方面阐明堵塞产生的内在原因及其对系统安全性、能耗水平和排放稳定性的不利影响。在此基础上, 针对传统冲洗系统存在的覆盖不足、冲洗效率低和协同控制能力弱等问题, 提出以冲洗方式优化、喷淋布置完善、水质管理强化和监测联动为核心的系统化优化对策。结合工程实例, 对改进型管束式除尘除雾系统的技术要求、改造措施及运行效果进行验证。结果表明, 通过结构与冲洗系统的协同优化, 可在不显著增加能耗的前提下有效缓解堵塞风险, 提升捕集效率与运行可靠性。

关键词: 管束式除尘器; 堵塞机理; 冲洗系统优化; 除尘除雾

DOI: 10.64216/3080-1508.26.03.062

引言

随着工业烟气治理标准的不断提高, 管束式除尘器在高湿烟气和细颗粒物控制领域得到广泛应用。然而, 在长期运行过程中, 堵塞问题已成为制约其性能发挥和系统稳定性的突出瓶颈。堵塞不仅导致设备阻力持续升高、能耗增加, 还可能引发除尘效率波动、排放超标甚至安全隐患^[1]。实践表明, 单纯依赖经验性维护或局部改造, 难以从根本上解决问题。系统梳理堵塞机理并从冲洗系统、结构设计及运行管理层面实施针对性优化, 是提升管束式除尘器可靠性的关键途径。

1 管束式除尘器堵塞机理和危害分析

1.1 含尘气体特性不匹配引发的堵塞问题

管束式除尘器对进入系统的含尘气体物性条件具有较高敏感性, 若设计工况与实际运行工况存在偏差, 极易诱发管束堵塞问题。其中, 粉尘粒径分布、比电阻、黏附性及含湿量是影响堵塞风险的关键因素。当气体中细颗粒粉尘比例偏高、表面活性强或含有易吸湿成分时, 粉尘在管束内壁更易形成黏结沉积层, 逐渐缩小有效通流截面^[2]。同时, 若含尘气体温度接近或低于露点, 水汽冷凝会显著增强粉尘黏结性, 加速积灰过程。此外, 气体成分中若含有未完全反应的焦油、碱金属蒸汽或硫酸雾等物质, 也会在管束表面形成黏性膜层, 为粉尘附着创造条件。因此, 含尘气体特性与除尘器结构及运行参数不匹配, 是管束式除尘器发生堵塞的根本诱因之一。

1.2 结构与运行参数不合理导致的堵塞

管束式除尘器的结构参数和运行工况对内部流场分布和积灰状态具有直接影响。若管束直径选择偏小、管长过长或排列过于密集, 在高负荷运行条件下容易造成局部流速降低, 形成粉尘沉积死角。同时, 气流分布装置设计不合理, 会导致入口气流偏流, 使部分管束长期处于高负荷或低速区, 加剧不均匀积灰。此外, 运行过程中若系统风量波动频繁或长期超设计工况运行, 会破坏原有稳定流态, 使已沉积粉尘发生二次堆积甚至架桥堵塞^[3]。清灰周期设置不当、清灰强度不足或清灰方式与粉尘特性不匹配, 也会导致管内积灰不能及时有效脱落。由此可见, 结构与运行参数的不合理配置, 是管束式除尘器堵塞问题的重要技术原因。

1.3 运行维护管理不到位加剧堵塞风险

除尘系统的长期稳定运行高度依赖规范的运行维护管理, 管理不到位往往会放大管束式除尘器的堵塞隐患。在实际工程中, 部分运行单位对工况变化响应不及时, 未能根据原料波动、工艺调整或季节变化对除尘参数进行动态优化, 导致系统长期处于非最优状态。同时, 管束内部积灰状态具有隐蔽性, 若缺乏有效的在线监测手段, 仅依靠压差异常进行判断, 往往已进入较为严重的堵塞阶段。此外, 定期检查和检修不到位, 如清灰装置磨损失效、管束局部变形或内壁结垢未被及时处理, 均会降低通流能力并诱发连锁堵塞。运行维护环节的疏忽, 使本可通过早期干预化解的问题逐步演变为系统性故障。

1.4 管束堵塞对系统运行与安全的危害

管束式除尘器一旦发生堵塞,将对系统运行效率、安全性及经济性产生多方面不利影响。首先,堵塞会导致设备阻力显著升高,风机负荷增加,系统能耗上升,运行成本明显提高。其次,局部或整体通流能力下降,会造成处理风量不足,除尘效率降低,排放浓度波动甚至超标,影响环保合规性。更为严重的是,堵塞引发的气流分布失衡可能导致部分管束长期承受异常压差和温度应力,加速结构疲劳和材料老化,增加设备失效风险。在高温或易燃粉尘工况下,局部积灰过厚还可能形成热点,带来安全隐患。因此,管束堵塞不仅是运行性能问题,更是关系系统安全与稳定的关键风险点,必须予以高度重视。

2 管束式除尘器冲洗系统优化对策

2.1 优化冲洗方式与工艺参数配置

管束式除尘器冲洗系统的首要优化方向在于冲洗方式与关键工艺参数的合理匹配。不同工况下粉尘黏附特性、沉积形态及结垢强度存在明显差异,若冲洗方式单一或参数设置僵化,难以实现高效清除积灰。实际运行中,应结合粉尘含湿量、黏结性和沉积位置,科学选择连续冲洗、间歇冲洗或分区轮换冲洗方式,并合理控制冲洗压力、流量和持续时间。冲洗强度过低难以破坏沉积结构,而过高则可能造成管束内壁冲蚀或水耗显著增加。通过试运行和数据反馈,对冲洗周期和参数进行动态修正,可在保证清洗效果的同时降低对设备本体的不利影响,从而提升冲洗系统运行的针对性与经济性。

2.2 完善喷淋布置与管束覆盖均匀性

喷淋系统布置的合理性直接决定冲洗效果的均匀程度,是防止局部堵塞反复发生的关键环节。在部分工程中,由于喷嘴布置密度不足或角度设计不合理,容易形成冲洗盲区,使管束局部积灰长期得不到有效清除。针对该问题,应结合管束排列形式和内部流场特征,对喷淋点位进行系统优化,确保水流能够覆盖管束内壁的主要沉积区域。必要时可采用多角度喷淋或可调喷嘴结构,提高水流对顽固积灰的冲刷能力。同时,应通过运行检查及时发现喷嘴堵塞、偏移等问题,保持喷淋系统长期稳定运行。喷淋布置的优化,有助于提升整体冲洗效率并降低系统堵塞风险。

2.3 强化冲洗水质管理与循环利用控制

冲洗水水质是影响管束式除尘器冲洗系统长期稳

定运行的重要因素。若冲洗水中悬浮物含量较高或硬度偏大,易在管束内壁形成二次沉积或结垢,不仅削弱冲洗效果,还可能加剧堵塞问题。因此,在系统设计与运行中,应对冲洗水进行必要的预处理,如沉淀、过滤或软化处理,确保水质满足冲洗要求。同时,针对采用循环水系统的工况,应合理控制循环倍率和排污频率,防止污染物在系统内富集。通过水质监测与管理相结合,可在降低水耗的同时保障冲洗系统清洁性,为除尘器稳定运行提供可靠支撑。

2.4 建立冲洗系统与运行监测的协同机制

冲洗系统优化不应局限于设备层面,还需与运行监测和管理机制形成有效协同。通过对除尘器压差、风量及冲洗频次等关键参数进行联动分析,可实现冲洗系统的智能化调度,避免无效或过度冲洗。在实际应用中,可根据压差变化趋势自动触发冲洗程序,使冲洗行为更加贴合积灰发展状态。同时,应建立冲洗效果评估机制,通过对堵塞发生频率和运行稳定性的对比分析,持续优化冲洗策略。冲洗系统与运行监测的协同,有助于推动管束式除尘器由被动维护向主动预防转变,显著提升系统整体可靠性和运行效率。

3 案例分析

3.1 技术需求

在典型燃煤或工业炉窑烟气治理系统中,管束式除尘除雾器通常布置于脱硫吸收塔之后,处于整个烟气处理系统的末端位置,其运行工况具有气流动能不足、烟气湿度高、粉尘与雾滴耦合复杂等显著特征。在该工况下,常规除尘除雾装置普遍面临两类突出问题:一是系统阻力偏高,进一步加重引风机负荷,影响整体能耗水平;二是雾滴与细颗粒物捕集效率不足,难以在低能耗条件下稳定满足超低排放要求。资料显示,现有管束式除尘器多采用三层分体式导流环结构,覆盖率有限,对低速烟气的整流和旋转诱导能力不足,导致部分烟气呈非理想流态通过分离区域,降低了雾滴和粉尘的有效碰撞概率,从而制约整体捕集效率的提升。

另一方面,在长期运行过程中,除尘器底层分离器区域易出现石膏浆液和细颗粒物聚集问题,尤其是在传统“1-2-4-4”三级冲洗结构条件下,冲洗水在高速旋转烟气中易发生上飘,无法对关键部位形成有效冲刷,反而加剧了底层叶轮表面的结垢和堵塞风险,进而导致系统

阻力持续上升。与此同时,除雾段存在一定程度的“二次带水”现象,小液滴随烟气逃逸,不仅影响出口烟气品质,也会引发后端设备腐蚀隐患。因此,在该工程背景下,迫切需要一种在不额外依赖引风机能力提升的前提下,实现低阻力运行、高捕集效率以及稳定防堵和抑制带水能力的管束式除尘除雾技术方案,以满足系统长期安全、经济运行的综合需求。

3.2 改造措施

针对上述技术需求,本案例在传统管束式除尘除雾器基础上,围绕结构稳定性、流场优化、冲洗强化及带水控制四个关键环节实施系统性改造。首先,在核心分离构件方面,将原有三层分体式导流环升级为四层一体注塑成型导流环结构。该结构通过整体成型方式消除了插片式连接带来的松动与偏心风险,同时显著提高了导流环对低速烟气的覆盖率和整流精度,使烟气在进入分离区前即可形成更加稳定、均匀的旋转流态,从而增加雾滴与粉尘在分离器及筒壁表面的碰撞概率,为高效捕集创造有利条件。

其次,在冲洗系统方面,对传统三级冲洗布置进行重构,采用“1-3-2-2-3”五级冲洗结构,对喷嘴数量和空间位置进行重新分配。通过重点强化底层叶轮区域的冲洗强度,并在其下方增设角度可调喷嘴座,实现对易堵部位的定向冲洗,在不显著增加总用水量的前提下,有效降低石膏和粉尘沉积概率,从源头缓解堵塞问题。

再次,为解决除雾段二次带水问题,在系统中加装新型挡水环结构。该部件采用拉瓦尔喷管型面设计,在有限空间内提升局部气流速度,对系统阻力形成一定补偿;其底部设置的辐射状凹槽构成波浪形液滴聚合界面,可促进小液滴在高速气流中聚并并依靠重力回落,有效抑制雾滴逃逸。通过上述多项结构与系统协同改造,形成了一套兼顾低能耗运行与高捕集效率的改进型管束式除尘除雾系统整体方案。

3.3 结果分析

从运行效果来看,改进后的管束式除尘除雾系统在阻力控制、捕集效率稳定性以及运行可靠性等方面均表现出明显优势。首先,一体化导流环结构显著改善了除尘器内部流场均匀性,低速烟气在进入分离区前即可获

得充分旋转,使雾滴与粉尘在分离器和筒壁表面的有效碰撞面积明显增加。在不额外提高引风机负荷的条件下,系统依然能够维持较高的雾滴与细颗粒物捕集水平,满足深度除尘除雾的工艺需求。其次,优化后的五级冲洗系统有效解决了底层分离器易结垢、易堵塞的问题。通过增强关键区域的定向冲洗能力,运行过程中分离器表面沉积物明显减少,系统阻力随运行时间增长的趋势得到有效抑制,从而避免了因阻力升高导致的能耗增加和非计划停机风险。

此外,新型挡水环的应用显著降低了出口烟气中的夹带液滴含量,二次带水现象得到有效抑制,出口烟气状态更加稳定,有利于后续烟道及烟囱的长期安全运行。综合来看,该案例表明,通过对导流结构、冲洗系统和除雾构件的协同优化,管束式除尘除雾器能够在低动能工况下实现低阻力、高捕集率和高运行可靠性的统一,为类似烟气治理系统提供了具有推广价值的技术路径。

4 结语

综合分析表明,管束式除尘器堵塞问题具有多因素耦合特征,其形成既受含尘气体物性与工况条件影响,也与设备结构设计、运行参数配置及维护管理水平密切相关。堵塞一旦发生,将对系统能耗、排放稳定性及设备安全运行产生连锁不利影响。通过对冲洗系统实施系统化优化,并与结构改进和运行监测机制协同配合,可有效削弱粉尘和浆液沉积趋势,显著提升除尘除雾系统的运行稳定性和经济性。未来,在管束式除尘器应用中,应进一步强化机理认知与运行数据反馈,推动设备由被动维护向主动防控转变,以实现烟气治理系统的长期安全、高效运行。

参考文献

- [1]涂万辉. 锅炉烟气管束除尘器运行总结[J]. 氮肥技术, 2018, 39(06): 47-48.
- [2]尤良洲,杜振,江建平,等. 管束式除尘除雾器在脱硫串塔系统中的应用及性能评价[J]. 中国电力, 2017, 50(12): 173-177.
- [3]刘海龙,蔡向东. 管束式除尘装置与湿式静电除尘装置在电厂的应用分析[J]. 华北电力技术, 2017, (09): 65-70.