

火力发电厂给煤机主动滚筒轴承密封结构优化研究

吴永春

国家电投朝阳燕山湖发电有限公司 辽宁朝阳 122000

摘要: 针对 HD-BSC26 型给煤机主动滚筒轴承因煤粉侵入导致的频繁损坏问题, 本文提出一种基于机械密封原理的填料式密封改造方案。通过将传统骨架密封替换为三层盘根填料结构, 结合子母槽压盖设计和动态调节螺栓, 显著提升密封性能。两年期工程实践表明, 该技术使轴承密封寿命从 6 个月增加到 18 个月, 提高了 200%; 14 台给煤机轴承密封年均故障次数由 42 次下降至 10 次, 降低了 76.2%; 单台设备年均维护时间由 15 小时下降至 2.1 小时, 降低了 86%; 单台设备年均维护成本从 15.12 万元下降至 1.1 万元, 降低了 92.7%, 为高粉尘工况下的旋转设备密封设计提供新思路。

关键词: 给煤机; 轴承密封; 盘根填料; 动态调节

火力发电厂输煤系统中, 给煤机主动滚筒轴承长期处于高温、高粉尘环境。高温环境源于锅炉制粉系统的热风, 使轴承腔体长期处于高温状态; 高粉尘则来自煤粉输送过程的持续性逸散, 细微颗粒物在密封区域形成高浓度积聚。这种高温与高粉尘的协同作用, 构成了对轴承密封系统的严峻挑战。某电厂 14 台给煤机的运行记录清晰揭示了传统骨架密封的结构性缺陷: 其狭窄的线性接触面导致密封唇口单位面积压力过大, 材质的耐温性能与耐磨性不足, 在热应力与磨粒磨损的持续作用下, 密封唇缘快速老化变形。当密封唇口出现微观裂隙后, 煤粉沿轴向侵入轴承, 导致轴承润滑能力下降, 甚至轴承损坏。直接后果体现为设备可靠性严重下滑, 统计数据显示单台给煤机轴承密封年均故障频次高达 3 次, 年直接维修成本累计超过 15.12 万元。这种从密封失效到轴承损坏的连锁反应, 不仅造成设备频繁停机维修, 更威胁到输煤系统的连续稳定运行, 亟需开发具有更优密封界面与材料适应性的新型密封结构。

1 设备系统说明

在火力发电厂复杂的能量转换体系中, 给煤机扮演着燃料输送中枢的关键角色。作为燃煤制粉系统的核心设备, HD-BSC26 型称重式计量给煤机^[1]承担着精确调控锅炉“口粮”的重要使命。它不仅是简单的物料输送装置, 更是实现锅炉燃烧效率与发电负荷动态平衡的智能控制系统。通过持续稳定的煤炭供给机制, 配合精密的实时计量能力, 确保发电机组能够响应电网负荷的瞬息变化, 维系整个电厂安全高效运行的生命线。设备采用全封闭耐压壳体设计, 具备抵

抗内部正压环境的特殊结构, 有效防止煤粉逸散污染环境。给煤机结构如图 1 所示, 主要包含四大功能模块: 首先是物料输送通道, 配备可调节的进煤闸门和防堵型出煤装置; 其次是精密的称重计量单元, 通过特殊布置的承重机构与传感系统实现动态监测; 再次是动力传动系统, 由电动机、减速装置和主动滚筒构成动力传递链; 最后是关键的轴承密封结构, 作为防护旋转部件免受外界侵害的重要屏障。

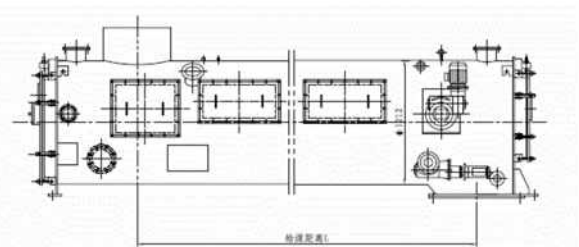


图 1 给煤机结构图

设备长期处于极端恶劣的运行环境, 面临多重严苛挑战。高温环境源于锅炉系统热辐射和热风的影响, 使设备表面温度显著升高; 高粉尘浓度则是由于细微煤粉在封闭空间内持续飘散积聚; 更严峻的是化学腐蚀威胁, 煤中特定成分在温湿环境下形成具有侵蚀性的介质。这种“高温-高粉尘-强腐蚀”三重叠加的极端工况, 对设备材料的耐久性构成严峻考验。

原设计的骨架密封存在明显的结构性弱点。其密封接触形式过于单薄, 仅依靠狭窄的线性接触面实现密封效果, 在持续运转过程中极易产生磨损。材料选择方面也存在局限, 在长期高温作用下逐渐丧失弹性, 无法适应轴系的动态

形变。更严重的是材料耐化学腐蚀能力不足，在含硫介质中长期服役后出现明显劣化现象。这些缺陷共同导致密封系统难以满足长周期稳定运行的需求。

当密封系统出现失效时，会触发连锁性的设备损伤过程。细微煤粉通过密封间隙侵入轴承腔体，与润滑介质混合形成研磨性物质，加速轴承工作表面的磨损。随着磨损加剧，设备振动水平显著上升，最终导致轴承过早损坏。这种失效不仅造成设备本身停机维修，更会引发系统性的运行紊乱——给煤精度产生明显偏差，制粉系统平衡被打破，甚至可能因煤粉外泄带来安全隐患。

从系统影响维度观察，密封失效的后果具有明显的放大效应。微观层面的煤粉侵入，在未及时干预的情况下会逐步发展为宏观的设备故障。单点故障可能通过动力传输链影响整个输送系统的稳定性，计量偏差则直接影响锅炉燃烧效率。最终表现为机组供电质量波动，设备维修频率上升，电厂运营成本增加等系统性影响。这种由局部密封缺陷引发的全局性问题，凸显了基础部件可靠性在复杂系统中的关键作用。设备系统说明揭示了在特殊工况下传统密封技术的局限性，为后续创新性改造提供了理论基础。通过深入分析失效机理，研究人员认识到解决密封问题需要从密封结构上进行系统性优化。据此，开发设计出了新型给煤机主动滚筒密封结构。

2 改造方案

新型密封装置结构示意图如图 2 所示，改造方案的核心创新在于三重动态密封机制^[2]。新型密封装置的核心构件是三层直径 12mm 的石墨盘根填料，这些预压缩材料在填料室中形成多重密封，显著扩展轴与密封接触面积至原骨架密封的数倍。这种设计从根本上解决了传统线接触方式易磨损的缺陷，实现粉尘侵入路径的阻断。装置结构的关键在于子母槽压盖，将传统平面端盖改为凹凸嵌合结构，使轴向密封效果得到显著提升。两颗紧固调节螺栓构成调节系统，通过监测给煤机主动滚筒电机电流，实现密封压紧力的精准调节。该调节机制解决了旋转设备密封领域的经典矛盾：过度压紧导致摩擦损耗加大，压紧不足则致使密封失效。

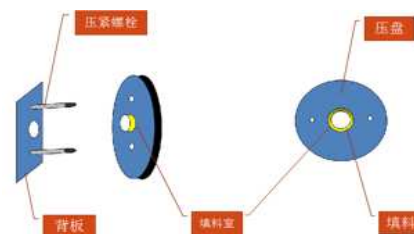
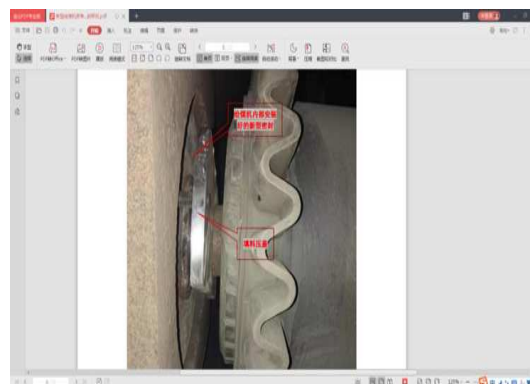
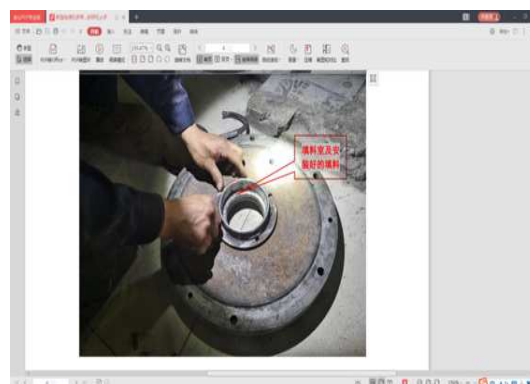


图 2 密封装置结构示意图

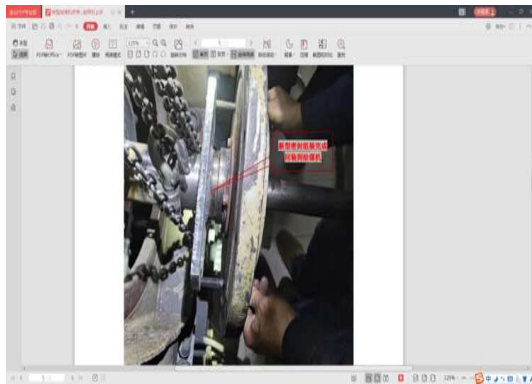
具体改造流程如图 3 所示包含四个步骤：首先对轴颈表面进行抛光处理，消除表面划痕；随后安装填料室基座，接着分层装入预压缩石墨盘根，最后通过扳手实施压盖初紧，在设备空载运行状态下完成动态调节。2023–2024 年间两台机组 14 台设备的改造实践证实，该标准化流程可使单台改造时间稳定控制在 3 小时内。工程创新价值体现在三方面协同作用：盘根填料结构提供基础密封保障，子母槽压盖构建几何密封屏障，而动态调节系统实现运行参数的优化调整。调节螺栓不仅作为紧固件，更承担着密封状态调节器的角色，开创了旋转设备密封维护的预防性调控新模式。整个方案在完全不改变原设备动力结构的前提下，仅通过局部功能重构便实现密封性能的跨越式提升，为高粉尘工况下的工业密封提供了新思路。



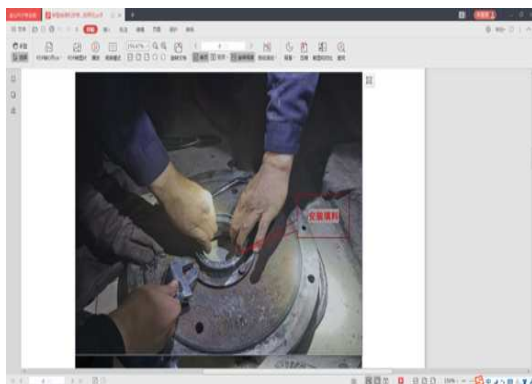
(a)



(b)



(c)



(d)

图 3 改造过程

3 改造效果

在连续运行的两年周期内, 14 台改造设备展现出前所未有的可靠性飞跃。最显著的变革体现在密封寿命的本质提升, 轴承密封平均服役周期从改造前的 6 个月延长至 18 个月以上, 实现了 200% 的寿命增长率。这种持久性源于新型密封对煤粉侵入路径的彻底阻断, 使得轴承工作腔体始终保持洁净状态。改造前 14 台设备年均发生 42 次轴承密封故障的困局被彻底打破, 改造后年均故障次数锐减至 10 次, 降幅高达 76.2%。这种变化直接改变了电厂的维护保养形式: 日常检修从频繁的应急抢修转变为预防性维护, 单台设备年均维护时间从 15 小时骤降至 2.1 小时, 时间效率提升

86%。尤为重要的是维护成本的结构变革——单次密封更换仅需极低成本, 带动单台设备年均维护成本从 15.12 万元下降至 1.1 万元, 降幅达到 92.7%, 创造了设备维护经济性的新范式。

设备可用率持续保持高位运行, 彻底消除了因密封失效导致的非计划停机。因给煤系统故障导致的机组降负荷事件归零, 为电厂连续安全生产提供坚实保障。年直接维修费用节约达 14.02 万元的财务数据, 仅是显性效益的直观体现。更深层次的价值在于: 三层盘根填料结构验证了机械密封在高粉尘工况的适应性, 动态调节螺栓开创了旋转设备密封在线维护的先河, 而模块化设计则为行业同类改造提供了标准化蓝本。这些技术要素共同构成了火力发电设备密封技术升级的里程碑。

4 结论

本研究成功解决给煤机轴承密封频繁失效难题: 三重密封机制使 14 台给煤机轴承密封年均故障次数 42 由下降至 10, 降低了 76.2%; 轴承密封寿命由 6 个月增加到 18 个月, 提高了 200%。动态调节设计实现密封效果在线调节, 模块化结构使单次更换时间从 5 小时减小至 3 小时, 效率提高了 66.7%, 单台设备年均维护从 15 小时降至 2.1 小时。单台设备年均维护成本由 15.12 万元下降至 1.1 万元, 降低了 92.7%, 有效保证延长了密封使用寿命, 降低了设备故障率及维护成本, 保证了机组安全稳定运行。

参考文献:

- [1] 肖榕辉, 俞康. CS2024 型电子称重式给煤机给煤率异常的原因分析及处理 [J]. 华电技术, 2015, 37(01):25-29+77.
- [2] 王志伟. EG-2490 电子称重式皮带给煤机主、从动轮改造 [J]. 湖南电力, 2011, 31(06):56-57.

作者简介: 吴永春, 男, 1973.09, 民族: 满族, 学历: 本科, 职称: 工程师、高级技师, 研究方向: 火力发电厂锅炉检修。