

焦炉炉墙剥蚀机理分析与热态修补维护工艺研究

连武军

宁夏宝丰能源集团股份有限公司 宁夏 银川 750000

摘要: 高温连续运行环境下的各类介质、温度循环与机械外力持续作用, 会逐步破坏焦炉炉墙耐火砌体表层结构, 各类剥蚀损伤持续缩短炉体服役时长。本文梳理炉墙砌体构造、耐火材质与长期运行工况带来的基础影响条件, 分别拆解热力、化学、机械单一因素及多因素耦合带来的剥蚀演化规律, 本文围绕不同损伤形态梳理适配的热态喷涂、灌浆、局部补强施工工艺, 搭建分层落地的常态化、预防性长效维护体系, 以此减缓炉墙砌体劣化速度, 维持炉体结构完整稳定。

关键词: 焦炉炉墙; 剥蚀机理; 热态修补; 耐火砌体; 长效维护

引言: 焦炉是焦化生产的核心高温热工设备, 炉墙砌体结构的完整性与稳定性, 直接决定焦炉运行状态与生产连续性。长期高温循环、炉内复杂介质侵蚀及频繁机械作用, 会持续破坏炉墙耐火砌体的致密结构, 引发墙体剥蚀破损, 逐步削弱炉体服役性能。各类损伤问题的持续发展, 会缩短焦炉使用寿命, 影响焦化生产稳定开展。依托炉墙实际服役特性, 深入拆解墙体剥蚀内在机理, 优化适配各类缺陷的热态修补工艺, 搭建系统化长效维护体系, 对保障焦炉安全稳定运行具备重要的工程价值。

1 焦炉炉墙基础结构与服役工况特性

1.1 焦炉炉墙砌体结构组成

焦炉炉墙为整体式耐火砌体承重结构, 依托标准化耐火砖砌筑形成封闭式炉体腔体。墙体整体划分炭化室墙体与燃烧室墙体两大主体单元, 两类墙体分区承担炼焦加热与煤炭干馏的对应功能。砌体内部设置多层砖体排布结构, 各类耐火砖按照固定错缝方式堆砌, 砌筑缝隙填充专用耐火浆料, 保障墙体整体整体性与结构稳定性。炉墙预留规整的气流通道与换热结构, 通道排布方式适配炉体内部热量传递路径^[1]。墙体边角、交接位置设置加固型砌体构造, 弱化炉体结构形变带来的墙体损伤。不同功能区域的砌体厚度、砖体规格存在差异化设计, 适配炉内不同区域的受力与环境状态。

1.2 炉墙耐火材料材质固有特性

焦炉炉墙砌筑主材以硅质耐火材料为主, 辅以配套黏土耐火材料与特种砌筑辅料。硅质耐火材料具备稳定的高温耐受能力, 高温环境中可维持固定结构形态, 不会出现快速形变与结构溃散问题。材料自身具备专属的热膨胀属性, 温度变化过程中会产生规律性的体积变动。耐火材料内部存在天然微孔结构, 孔隙分布状态直

接影响材料抗渗透与抗侵蚀能力。材料高温力学性能保持稳定, 可长期承载炉体自重与内部气流冲击产生的作用力。各类配套辅助耐火材料具备良好的粘结性能与密封性能, 可填充砖体缝隙, 阻断外界介质侵入砌体内部。材质本身的物化属性, 决定炉墙基础抗损伤与抗剥蚀能力。

1.3 炉体长期服役热力工况特征

焦炉处于不间断连续运行状态, 炉墙长期承受高温环境作用, 内部温度维持在固定高温区间。生产运行环节存在规律性温度升降变化, 炉体升温阶段温度缓慢爬升, 降温阶段温度逐步回落, 形成周期性温度波动状态。炉墙不同结构区域受热状态存在区别, 燃烧室墙体长期处于高温集中区域, 炭化室墙体温度随炼焦工序产生规律性变动。持续高温环境会改变耐火材料内部组织结构, 温度波动会让砌体内部产生持续性应力作用。长期热力循环作用会逐步改变砖体结构状态, 引发砌体表层与内部结构出现差异化变化, 为炉墙结构损伤与剥蚀提供基础条件。

1.4 炉墙运行过程介质作用特征

焦炉内部运行会持续产生各类气态与固态介质, 各类介质持续接触炉墙砌体表面。煤炭干馏过程析出多种挥发性组分, 组分扩散附着于炉墙表层, 逐步渗透进入耐火材料微孔结构。炉内留存的残余炭粒、粉尘颗粒会持续覆盖墙体表面, 堆积介质会改变墙体表层的受热状态。部分介质具备酸碱物化属性, 可与耐火材料组分发生生物化反应, 破坏材料原有结构体系。炉内气流持续流动会带动介质冲刷墙体表面, 对砌体表层结构产生持续磨损作用。介质长期附着、渗透与冲刷, 会逐步破坏炉墙表层致密结构, 加速墙体材料劣化进程。

2 焦炉炉墙剥蚀失效机理研究

2.1 热力作用引发的炉墙剥蚀机理

焦炉往复式生产工序会带动炉墙温度持续变动,耐火砖内部晶体结构会随温度高低产生周期性伸缩变形。高温环境会激活耐火材料内部晶格运动,晶体颗粒间距出现扩张。温度回落阶段晶体收缩复位,反复形变会让砖体内部产生细微晶格错位。晶格错位不断累积,会在砌体内部生成微观裂纹。裂纹逐步延伸扩展,会割裂墙体表层致密结构^[2]。高温长期辐照会弱化材料颗粒间结合力,表层砖体致密性持续下降。结构松散的墙体表层无法抵御基础环境作用,会出现逐层脱落、起皮的剥蚀现象。温度梯度分布不均会让墙体不同位置形变程度存在差异,进一步加剧裂纹扩张与表层结构脱落。

2.2 化学侵蚀引发的炉墙剥蚀机理

煤炭干馏反应会生成多种活性化学组分,活性组分可穿透炉墙表层微孔进入砌体内部。酸性、碱性组分与耐火材料中的氧化物、硅酸盐组分发生化学反应,生成结构疏松的新生化合物。新生化合物体积结构不稳定,会改变砖体原有致密构造。炉内水汽、硫化物组分可加速材料基质腐蚀,逐步消融砌体内部骨架结构。腐蚀区域材料硬度持续降低,结构孔隙不断扩大。微孔通道持续贯通后,外部侵蚀介质可更深层次侵入墙体内部。材质基体持续被腐蚀分解,墙体表层会出现粉化、疏松、脱落等剥蚀损伤。

2.3 机械应力作用引发的炉墙剥蚀机理

焦炉生产过程中的推焦、装煤工序会对炭化室墙面产生硬性摩擦与挤压作用。硬质焦炭颗粒、煤炭物料会直接摩擦刮蹭墙体表层耐火结构,磨损表层致密砖体。炉内高速气流运动会携带粉尘、炭粒冲击墙面,形成持续性冲刷磨损。炉体运行产生的结构振动会传递至砌体内部,让砖体砌筑缝隙出现微动位移。微动位移会磨损砌筑浆料,造成缝隙扩张、浆料脱落。墙体局部受力集中区域会出现表层破损、掉块。长期机械磨损会持续削弱墙体有效厚度,破坏表层完整结构,诱发持续性剥蚀问题。

2.4 多因素耦合作用下炉墙剥蚀交互机理

热力作用产生的微观裂纹会打开墙体内部渗透通道,为化学侵蚀介质侵入提供空间条件。化学腐蚀造成的结构疏松会降低耐火材料力学强度,提升机械磨损的作用效率。机械外力造成的表层破损会扩大介质接触面积,让热力形变与化学腐蚀作用范围进一步扩大。单一损伤形式形成后,会改变墙体局部结构状态与环境适配状态,加速其他损伤形式的生成发育。各类损伤方式相互促进、互相加剧,持续破坏炉墙砌体结构完整性,让

炉墙剥蚀速率持续加快,损伤程度不断加深。

3 焦炉炉墙热态修补核心工艺研究

3.1 热态修补工艺适配性原理

焦炉热态修补全程在炉体高温运行状态下实施,整套施工体系需要贴合高温环境下耐火材料的性能变化规律。修补工艺结合耐火材料高温理化特性设计,借助现场高温条件完成材料固化与烧结成型,以此构建稳定的修补结构。施工工序贴合炉体连续生产状态,无需停机降温,可有效规避生产中中断问题。工艺体系适配原有炉墙的砌体结构特点,缩小修补材料与基层砌体之间的形变差异^[3]。高温环境下材料的粘结特性、固化规律与成型特点,是整套工艺落地实施的核心依据,可保障修补结构牢固附着在炉墙表面。

3.2 炉墙表层剥蚀热态修补工艺

针对炉墙表层出现的粉化、起皮、浅层剥落等轻微损伤,行业普遍采用热态喷涂工艺开展修补作业。施工前期需要彻底清理墙面松散物料与腐蚀变质层,干净坚实的砌体基层为后续修补施工提供基础条件。提前调试耐火喷涂材料状态,让材料性能适配高温墙面的附着条件。施工采用分层喷涂模式,严控每一层喷涂厚度,保证墙面涂层厚薄均匀。依托炉体自身高温热源完成喷涂材料的烧结固化,在墙体表层形成致密的防护结构。施工过程合理把控喷涂厚度与作业节奏,减少高温工况下涂层开裂、脱落的问题,有效恢复炉墙表层的结构完整。

3.3 炉墙裂隙缺陷热态修补工艺

炉墙产生的细微裂纹、贯通缝隙等缺陷,主要通过高温灌浆嵌补工艺进行处置。施工中先清理缝隙内部堆积的粉尘、炭渣和疏松杂质,打通缝隙内部闭塞通道。选用适配高温工况的专用耐火灌浆材料,通过压力输送方式将浆料输送至缝隙最深处。充分填充缝隙内部所有空隙,彻底封堵砌体内部的介质渗透通道。炉内高温环境可推动灌浆材料逐步固化烧结,让破损裂隙形成密实统一的整体结构。作业过程精准控制灌浆压力和填充饱满度,从工艺层面遏制裂隙持续拓展延伸的结构隐患。

3.4 炉墙局部破损热态补强工艺

对于炉墙局部掉块、砖体缺损、小型塌陷等重度损伤,需采用针对性热态补强工艺完成修复作业。先规整破损区域的边缘轮廓,彻底剔除周边松动、破损的砌体结构。选用高强度耐火修补材料分层填充,逐层压实后抹平表面,保证填充区域密实平整。损伤深度较大的部位需要增设补强结构,提升局部墙体的承载能力与抗侵蚀性能。修补材料在炉内高温环境下完成结晶固化,和原有砌体紧密结合,形成稳定的整体结构。施工全程把

控填充密实度,稳步提升修补区域的结构稳定性与使用可靠性。

3.5 热态修补工艺参数匹配逻辑

热态修补的各项施工参数,需要结合炉墙损伤类型、炉内实际运行温度、修补材料性能指标综合确定。施工温度区间参照不同修补材料的固化、烧结温度区间划定。喷涂与填充厚度根据墙体破损深浅、表层磨损程度差异化设定。材料配比依照高温粘结需求、结构致密化需求灵活调整。灌浆压力、施工时长等关键参数,随缺陷形态和填充标准动态优化。各类工艺参数相互匹配、互为支撑,适配炉墙不同位置、不同类型损伤的热态修补施工需求。

4 焦炉炉墙热态长效维护工艺体系构建

4.1 炉墙常态化工况管控维护工艺

焦炉多为不间断连续生产模式,炉墙砌体长期暴露在高温、气流冲刷与物料作用的复杂环境中。平稳可控的运行工况,能够有效延缓耐火砌体的结构劣化进程。常态化工况管控维护工艺围绕炉内温度变化、气流组织形式、现场作业规范开展精细化管控。细化炼焦升温、恒温、降温各个阶段的操作标准,平缓炉内温度起伏幅度,削弱频繁温度变化对耐火晶格结构的破坏作用。优化炉内气流组织形式,理顺烟气流路,规整炉内气流冲刷范围,降低高速气流对墙体表层的持续磨损作用^[4]。统一装煤、推焦工序的作业标准,稳定生产作业节奏,减少不规范操作引发的炉内环境紊乱。

4.2 炉墙周期性预防性维护工艺

周期性预防性维护依托焦炉运行节律制定标准化作业流程,对炉墙损伤隐患进行前置干预。按照固定生产周期开展炉墙表层清洁作业,彻底清除墙面堆积的炭粉、粉尘以及各类腐蚀沉积物,保证砌体表层干净致密。重点关注墙体砌筑接缝、墙体边角交接、孔洞周边等结构薄弱区域,定期开展养护处理,填充墙面细微缝隙,封堵介质向内渗透的初始通道。对长期处于高温环境、受力频次较高的墙体区域开展表层致密化养护,提升墙体表层密实度,强化耐火结构的抗侵蚀、抗冲刷、抗磨损能力。

4.3 剥蚀隐患靶向处置维护工艺

结合焦炉炉墙不同区域的剥蚀成因与损伤特点,对

高频损伤点位制定靶向维护作业流程。重点针对燃烧室高温富集区域、炭化室推焦摩擦接触面、炉内气流冲刷集中区域等易损部位,落实定向养护作业。细致排查墙面表层疏松、隐蔽微裂纹、浅层脱层等不易察觉的隐性损伤,对各类初期隐患开展专项处置作业,修整受损的墙面结构。彻底清理隐患区域堆积的腐蚀介质与残留杂质,切断化学腐蚀、热力损伤持续作用的基础条件。根据不同区域的工况特点与损伤诱因,匹配对应的养护手段与处置方式。

4.4 热态修补后长效养护工艺规范

热态修补施工完成后,需要配套规范化的养护流程,保障修补区域结构稳定,提升墙体耐久性能。修补施工结束后,严格规范炉温调控方式,控制炉温升降速率,让修补材料在高温环境中逐步完成烧结与熟化成型,规避炉温剧烈波动造成的修补层开裂、脱落问题。定时清理修补区域表层附着的炭渣与粉尘杂质,保持修补面层的致密洁净,保障修补结构稳定发挥防护作用。规范后续生产作业模式,合理控制作业强度,降低机械摩擦、物料撞击与高速气流对修补部位的冲击影响。

结束语

焦炉炉墙剥蚀是热力、化学、机械多因素耦合作用的渐进式损伤过程,也是制约焦炉长效稳定运行的核心难题。通过厘清各类工况下炉墙砌体的剥蚀演化规律,针对性适配表层、裂隙、局部破损等不同缺陷的热态修补工艺,可高效修复炉墙受损结构。搭建工况管控、周期预防、靶向处置及修补后养护一体化的长效维护体系,能够从源头延缓耐火砌体劣化剥蚀,稳固焦炉炉体结构性能,延长设备服役周期,为焦化行业高效、安全、低碳稳产提供坚实的技术支撑。

参考文献

- [1]王雯,阮磊雷.基于三维激光扫描技术的焦炉炭化室炉墙平整度检测及应用[J].化工管理,2022(27):153-155.
- [2]牟彪,曹世海.焦炉燃烧室热维修技术的应用与探索[J].燃料与化工,2022,53(4):24-26.
- [3]王利.焦炉炉体热修维护安全技术创新应用[J].河南冶金,2023,31(1):30-32.
- [4]武岩伟.焦炉炉体维护技术的研究与应用分析[J].中国机械,2022(21):62-64.