

垃圾焚烧余热锅炉受热面腐蚀原因及防护措施

李天依

中国电建集团四川工程有限公司 四川 成都 610000

【摘要】：针对垃圾焚烧余热锅炉受热面在高温氯盐沉积、低温酸露点、积灰结渣和飞灰冲蚀共同作用下出现的减薄失效问题，梳理运行工况、烟气组分、壁温和灰层状态之间的影响关系。以管排分区测厚、烟气参数跟踪和停炉检修记录为依据，提出高温区配风调节、冷端壁温裕度控制、定向清灰、耐蚀材料配置及在线监测闭环等措施。结果表明，防护应按风险部位和腐蚀机理组合实施，并以重复测厚和检修复验校正处置效果。

【关键词】：垃圾焚烧；余热锅炉；受热面腐蚀；防护措施

DOI:10.12417/2811-0528.26.19.034

引言

垃圾焚烧装置承担减量化和能源回收任务，余热锅炉长期处于成分波动的烟气环境中。受热面腐蚀会降低传热效率，严重时引发泄漏和非计划停炉。仅依据单次外观或平均壁厚难以判断腐蚀主导因素，必须将运行参数、灰层形态、壁温变化和管排坐标纳入同一分析链。文章针对典型腐蚀类型、成因及防护动作展开讨论，为运行维护和检修决策提供可执行的判断依据。

1 余热锅炉受热面腐蚀类型与表现

1.1 高温区白色盐沉积腐蚀

高温区白色盐沉积腐蚀主要分布在炉膛出口、水冷壁及过热器迎风侧。垃圾燃料中的氯、碱金属和硫在燃烧过程中形成可迁移组分，附着于管壁后会改变保护性氧化膜的稳定性^[1]。运行中应把烟气氧量、负荷、管壁温度与灰层颜色同步记录，并在停炉时比较同一管排迎风面和背风面的坑蚀密度。若局部壁温持续偏高，应先检查配风和燃料混合均匀性，再安排定向清灰和复测，避免用单纯增加吹灰强度替代原因治理。高温区应把盐类沉积位置与配风调整前后的壁温曲线对应归档，并结合灰样成分和管壁颜色判断沉积物活性，避免把短时负荷波动误判为持续性腐蚀。灰样复核可重点观察氯、钠、钾与硫的共存状态，并将取样点与管排高度、迎背风方向对应。若沉积层外观相近而壁厚变化不同，应检查局部壁温、火焰偏斜和清灰覆盖范围，不能把颜色作为唯一判据。检修决策宜采用同一点位连续测厚形成趋势线，只有减薄速度在相近负荷窗口仍持续上升时，才提高该管排的检修优先级。

1.2 烟气流动与腐蚀综合机理

烟气流动决定飞灰颗粒的撞击位置和灰层沉积条件，弯头、变径、穿墙管及流场突变区域容易同时出现冲蚀和腐蚀减薄^[3]。检查时应按烟气流向标记磨损带宽度、坑蚀密度和壁厚

极差，判断机械作用与化学腐蚀的相对贡献。对反复出现异常的区域，可调整局部流场、设置耐磨层、改变清灰顺序并缩短复测周期。分析结论应限定在相近炉型、燃料组成和运行阶段内，换炉或燃料明显变化后重新建立基准。流场异常区应保存磨损带坐标和复测壁厚，用于辨识冲蚀主导位置，同时比较颗粒粒径、流速变化与管排结构，防止只凭单点减薄决定更换范围。冲蚀主导时磨损带通常沿颗粒来流方向展开，化学腐蚀主导时沉积层下方更容易出现不规则坑蚀。两种特征同时存在时，应先用导流或整流降低颗粒撞击，再处理沉积介质和材料防护。对穿墙管和烟道转角等空间受限部位，还要把保温破损、支吊架位移和膨胀受限一起核对。若外弧磨损、内侧积灰和焊口邻近坑蚀同时存在，说明局部流场已经改变颗粒停留和热应力分布，防护顺序应先恢复流动边界，再安排材料修补和停炉复验。烟气流动与腐蚀要素的关系见图1。

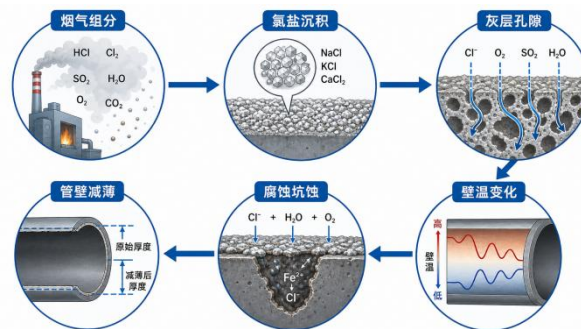


图1 烟气流动、积灰与受热面腐蚀机理关系

图1表明，流场突变不会直接等同于腐蚀失效，而是经颗粒撞击与灰层沉积共同改变管壁条件。现场判读应把流速变化、磨损带和测厚结果放在同一管排坐标下比较，才能区分冲蚀主导区与沉积腐蚀主导区。

2 余热锅炉受热面腐蚀原因与防护措施

2.1 高温区白色盐燃烧工况控制

高温区防护应从燃烧工况控制开始。垃圾热值和含水率波动会使炉排速度、一次风量、二次风配比和过量空气系数发生连锁变化,并改变局部还原性气氛和氯盐沉积条件^[1]。运行人员按班次关联记录负荷、氧量、炉膛温度和灰层变化,对异常时段锁定对应管排坐标并进行重复测厚。设计示例中,可把炉膛出口温度控制在850—1050℃,氧量稳定在6%—9%,单个风险管排布置不少于5个测厚点;同一负荷窗口连续4h仍出现壁温峰值上移时,再启动配风复核和定向清灰。处置后用相同测点、相同量程和不大于0.1 mm的测厚分辨率复查,保证前后结果具有可比性。燃烧调整后应核对氧量波动与白色盐沉积范围是否同步收敛,并在相同负荷窗口复测迎风侧壁厚,确认工况调整没有转移新的高温腐蚀风险。配风调整以稳定燃烧和限制局部还原性气氛为边界,不能为了降低某一测点温度而造成炉排燃尽恶化。给料变化后观察氧量波动、炉膛出口温度和灰层附着位置是否同步改变,并以连续运行窗口而非瞬时读数评价效果。若异常只在特定垃圾组分或高负荷时出现,应建立燃料特性与管排风险的对应记录,并在下一个同负荷窗口优先复测迎风侧管排。受热面腐蚀速率按式(1)计算。

$$v = \frac{m}{S \cdot t} \quad (1)$$

式(1)中: v 为腐蚀速率; m 为测得的腐蚀失重; S 为受热面暴露面积; t 为对应运行时间。式(1)中, m 的腐蚀失重增加会提高 v ,而较大的 S 或较长的 t 会改变同一管排的速率口径;图纸坐标、测量方法和运行窗口一致时,才能据此判断高温区的减薄趋势。计算前应统一清除表面松散灰层,核对试样暴露边界和称量精度,并把启停阶段、异常负荷及清灰时点从有效运行时间中单独标记。该速率只用于相同测量条件下的趋势排序,检修范围仍结合剩余壁厚、缺陷长度和泄漏后果确定。

2.2 传热管壁温与清灰调控

冷端管壁一旦因灰层热阻和漏风出现温差异常,凝露条件会在短时间内反复形成,并使积灰腐蚀向相邻管排扩展。应根据排烟温度、给水温度、受热面温差和压差趋势划分风险区,

对冷端保持必要的壁温裕度,对高灰负荷区域采用分区、定向和适度清灰。清灰后不能只看压差是否下降,还要检查灰层残留、管壁外观和壁厚极差,防止高强度冲刷带来新的磨损。检修记录应包含清灰前后参数、异常位置、处理人员和复验时间,作为下一轮运行策略的核对依据。表1中序号1至6依次对应高温区、冷端、迎风区、弯头外弧、穿墙管和尾部烟道;表内数值为检修方案编制时的设计示例,用于说明复测间隔、壁温偏离、压差增幅、测厚点数和处置时限之间的判读关系。对异常管排可在同一运行班次内安排2次复核,并保留清灰时窗与管壁温差;当温差异常扩大时,应优先排查灰层热阻和漏风,而非盲目提高吹灰频率。清灰调控还应保留吹灰介质、喷口编号和阀门开启时长,便于判断压差下降究竟来自灰层剥离还是烟气旁路变化。若表1中序号5和6的处置时限被压缩,应同步增加停炉外观复核,防止密封修复或积灰清除遗漏背风侧低温腐蚀。受热面分区风险判读参数见表1。

表1 受热面分区腐蚀风险判读参数

序号	复测间隔(h)	壁温偏离(℃)	压差增幅(%)	测厚点数(个)	处置时限(h)
1	8.00	15.00	12	7	24.00
2	12.00	10.00	8	5	36.00
3	24.00	8.00	5	5	48.00
4	16.00	13.00	11	7	24.00
5	20.00	11.00	9	6	36.00
6	36.00	6.00	4	4	72.00

表1显示,序号1和4的壁温偏离、压差增幅及处置时限更接近急性风险特征,序号2和6则更依赖复测间隔与冷端积灰状态判读。现场采用该类参数时,应先确认炉型、负荷窗口和测点布置,再把清灰强度同测厚结果放在同一台账中复核。

3 结语

垃圾焚烧余热锅炉受热面腐蚀具有多因素耦合特征,高温氯盐沉积、酸露点凝露、积灰传热恶化和飞灰冲蚀常在不同部位交替出现。防护工作应以风险分区为基础,把燃烧配风、壁温控制、清灰方式、材料修复与在线测厚组合使用。对异常区域应保留测点坐标、参数窗口和复验结论,利用腐蚀速率、壁厚极差和缺陷扩展趋势评估效果。不同炉型和燃料条件下仍需重新核定监测边界与处置阈值。

参考文献:

- [1] 陈作淳.垃圾焚烧炉受热面改造分析[J].中国科技纵横,2025,(22):92-94.
- [2] 周哲鹏.电厂锅炉尾部受热面低温腐蚀原因分析及防护措施[J].电力设备管理,2025,(13):62-64.
- [3] 吕治伟.垃圾焚烧余热锅炉受热面安装创优体系及工程验证[J].工业锅炉,2026,(3):86-91.
- [4] 万中波,张晓忠.垃圾焚烧余热锅炉水冷壁高温腐蚀机制研究[J].工业锅炉,2026,(3):78-85.