

GR

济南高熔防腐科技院

Jinan High Melt Corrosion Prevention Technology Park



高熔陶瓷金属复合涂层技术 成功防护高温熔盐飞灰对垃圾锅炉腐蚀结焦问题的报告



二〇二六年八月

一、成功解决新沂高能公司燃烧室结焦堵塞造成非计划停炉的问题。

背景：两台焚烧量400吨/天的垃圾锅炉，掺烧污泥。2025年，两次因前后拱侧墙结焦严重堵塞，被迫停炉清焦，造成公司严重损失。

技术使用情况：

2026年1月14日，1#炉试喷。

面积：40m²。

喷涂部位：

后拱底部更换的浇注料；

前拱底部部分更换的浇注料；

连接前后拱的侧墙高度1米；

喷氨口部位水冷壁。

图为施工效果图



2026年3月6日运行效果图

后拱对比效果图



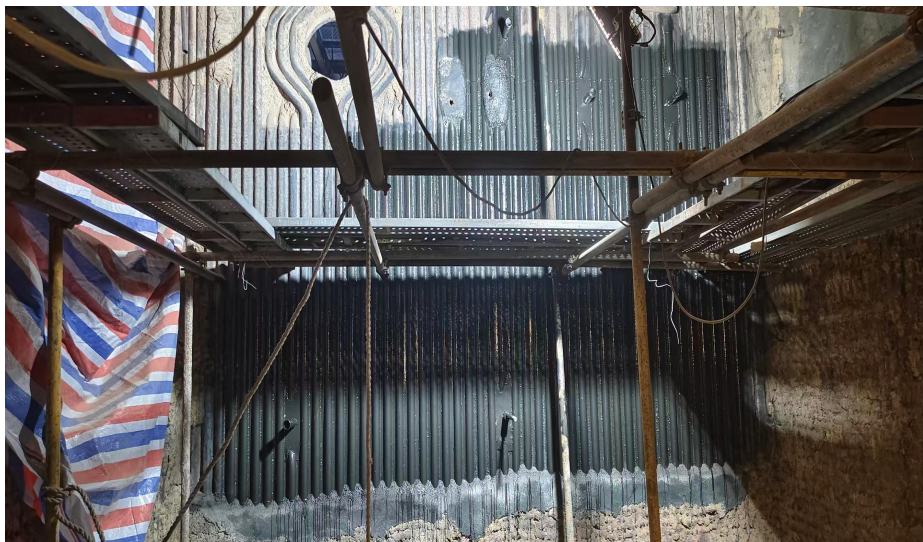
前后拱侧墙对比效果图
(侧墙上开的捅焦孔)



2026年4月5日，2#炉喷涂。面积：115m²。

喷涂部位：
辅燃孔以下前后拱和侧墙（后拱更换新浇注料，其他部位较平整）；
喷氨口部位水冷壁。

图为施工效果图



2026年6月21日，因电网检修，全厂停炉。以下为停炉后效果图。

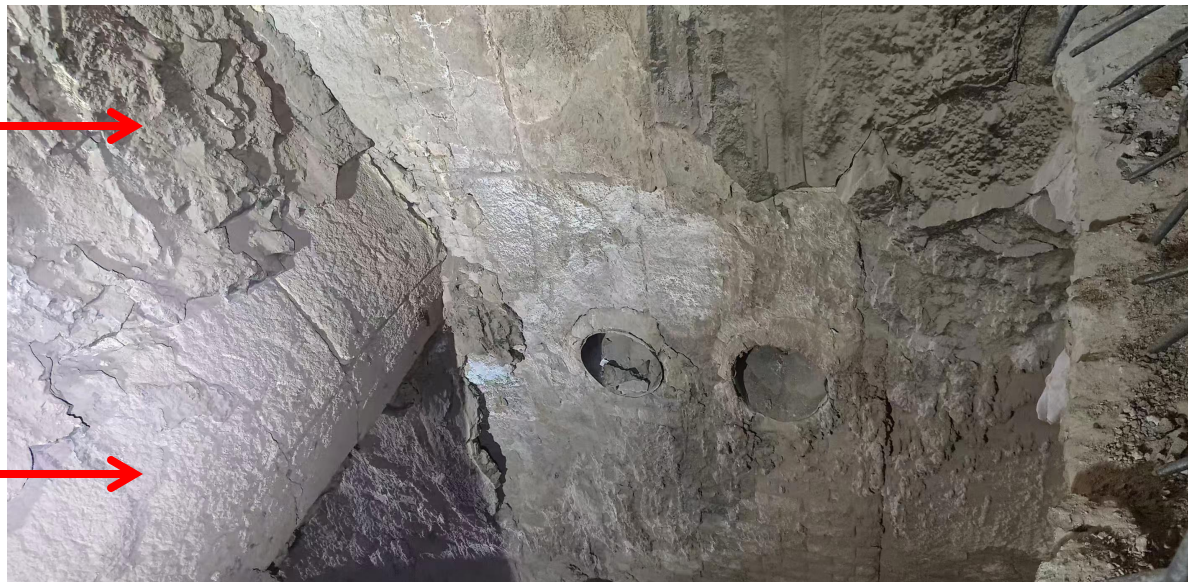
1#炉停炉后全貌。
后拱覆盖焦层20-30cm。



2#炉停炉后全貌。
后拱覆盖焦层2-3cm。

1#炉

无涂层区域清焦后
参差不齐。



涂层区域平整，
焦层易脱落。



涂层完好

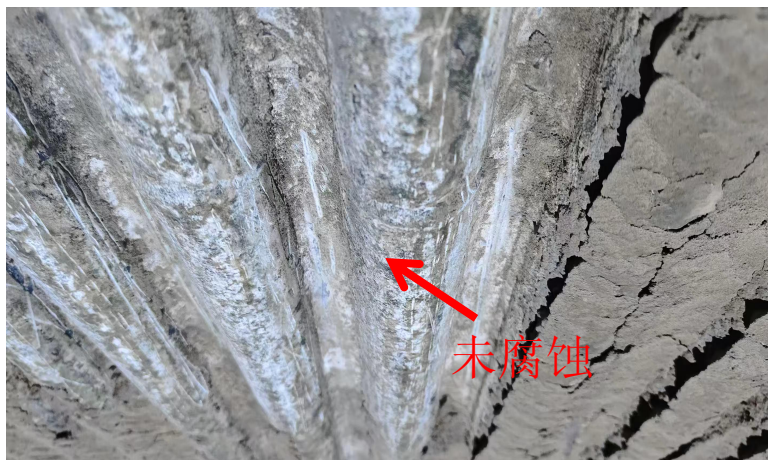
2#炉

侧墙、前后拱平整，无需除焦。



薄垢层下涂层完好。

水冷壁效果对比



再次运行后，2026年8月11日
后拱效果图。

结论：

- 1、垢层厚度大幅减薄。根据1#、2#炉后拱垢层厚度对比，同期减少90%。
- 2、结焦性质发生改变。阻止了高温熔盐飞灰和耐材的矿化反应，焦层易清理。
- 3、有效防护了耐材和炉管的腐蚀。
- 4、完全解决了结焦堵塞燃烧室非计划停炉问题。

二、腐蚀结焦机理。

腐蚀结焦的元凶：高温熔盐飞灰——含碱性金属离子、氯离子、硫酸根离子的飞灰。

在Cl的“导演”下，腐蚀和结焦“狼狈为奸”，加速对基体的腐蚀和焦层的烧结增强增厚：

- ①始沉积：飞灰粘附，形成初始灰层（物理粘附，焦层开始生长）。
 - ②灰层增厚，热阻增大管壁外温↑，界面温度↑。
 - ③氯化物在焦层/基体界面富集（浓度↑）。
 - ④形成液相熔盐膜。
 - ⑤炉管：电化学腐蚀加速，消耗管壁金属/耐材：侵入耐材，破坏耐材结构。
 - ⑥炉管：腐蚀产物 FeCl_2 ，释放到焦层中/耐材：与耐材发生矿化反应。
 - ⑦炉管：与 KCl/NaCl 反应，生成更低熔点共晶盐/耐材：Cl持续向耐材深处侵蚀。
 - ⑧焦层烧结增强 → 更致密、更难清除。
- 返回步骤②，循环加速。

即腐蚀和结焦共同发生、相互作用。解决腐蚀和结焦的根本是阻止Cl的“导演”。

三、高熔陶瓷金属复合涂层技术的验证数据。

1、“盐浴”验证：氯化钠、氯化钙4：6比例混盐。该混盐熔点为500℃。此温度下，形成液相熔盐膜粘附在炉管表面，与实际运行中的高温过热器相似。



浙江归零环保科技有限公司锅炉管混盐腐蚀实验数据和结论：

分别选用未喷涂锅炉管、喷涂锅炉管，氯化钠：氯化钙 4：6，500℃腐蚀 22h，空气中自然冷却，采用空气自然冷却，水洗			
空白（裸管）		涂层	
清洗前外观	清洗后外观	清洗前外观	清洗后外观
清洗前荧光枪数据： ①顶部熔盐蒸汽腐蚀区 Ca:42.93%、Fe:20.14%、Cl:0.57%、Mn:0.20%、Zn:0.14%、Cr:0.04% ②中部熔盐蒸汽腐蚀区 Cl:25.62%、Ca:18.44%、Fe:14.69%、Cr:0.02%、Zn:0.009% ③熔盐与空气交界面 Cl:48.24%、Ca:30.87%、Fe:1.74%、Zn:0.01% ④熔盐浸泡区 Cl:27.05%、Ca:21.26%、Fe:3.86%、Cr:0.01%、Zn:0.005%		清洗前荧光枪数据： ①顶部熔盐蒸汽腐蚀区 Cr:17.93%、K:8.40%、Cl:5.53%、Fe:0.71%、Zn:0.006% ②中部熔盐蒸汽腐蚀区 Cr:19.31%、K:8.40%、Cl:3.26%、Fe:0.80%、Zn:0.006% ③熔盐与空气交界面 Cl:34.42%、Ca:14.63%、Cr:2.69%、Fe:0.22% ④熔盐浸泡区 Cl:15.27%、Ca:11.06%、Cr:1.97%、Fe:0.44%	
清洗后荧光枪数据： ①顶部熔盐蒸汽腐蚀区 Fe:20.14% Ca:6.81% Mn:0.37% Zn:0.19% Cr:0.08% ②中部熔盐蒸汽腐蚀区 Fe:20.14% Mn:0.33% Cr:0.11% K:0.006% ③熔盐与空气交界面 Fe:20.14% Ca:1.05% Mn:0.22% Cr:0.08% Zn:0.02% ④熔盐浸泡区 Fe:20.14% Ca:3.86% Cl:2.76% Cr:0.48% Mn:0.13% Zn:0.04%		清洗后荧光枪数据： ①顶部熔盐蒸汽腐蚀区 Cr:26.89% K:6.51% Fe:1.07% Pb:0.04% Zn:0.01% ②中部熔盐蒸汽腐蚀区 Cr:25.49% K:6.72% Fe:1.02% Zn:0.01% ③熔盐与空气交界面 Ca:21.48% Cr:10.90% Cl:5.48% Fe:0.55% ④熔盐浸泡区 Ca:24.45% Cr:15.95% Cl:2.09% Fe:0.93%	

分别选用未喷涂锅炉管、喷涂锅炉管，氯化钠：氯化钙 4：6，600℃腐蚀 6h，空气中自然冷却，采用空气自然冷却，水洗、毛刷清理			
空白（裸管）		涂 层	
清洗前外观	清洗后外观	清洗前外观	清洗后外观
清洗后壁厚变化： 1. 熔盐浸泡区壁厚减少 0.23mm 2. 熔盐蒸汽腐蚀中间段壁厚减少 0.15mm 3. 熔盐蒸汽腐蚀顶部段壁厚减少 0.13mm		1. 熔盐浸泡区壁厚增加 0.13mm 2. 熔盐液面上方混盐附着区壁厚增加 0.3mm 3. 熔盐腐蚀顶部壁厚未增加	
1. 底部熔盐浸泡区涂层易清洗，腐蚀中部及以上涂层不易清洗； 2. 底部熔盐管壁厚度未发生变化。			
结论：600℃下，涂层对混盐腐蚀有较好的防护作用。			

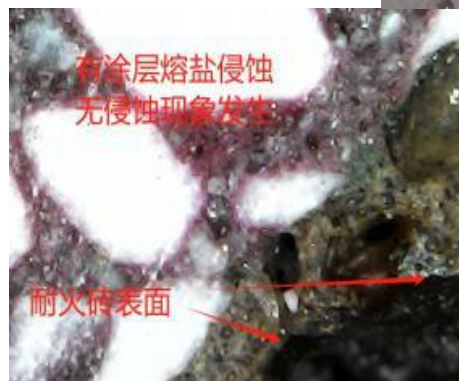
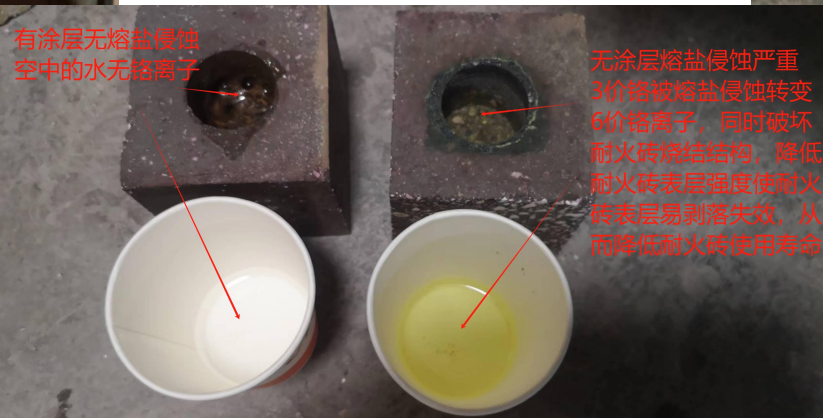
2、致密性耐火砖“坍塌”验证。

郑州建信耐火材料试验中心验证

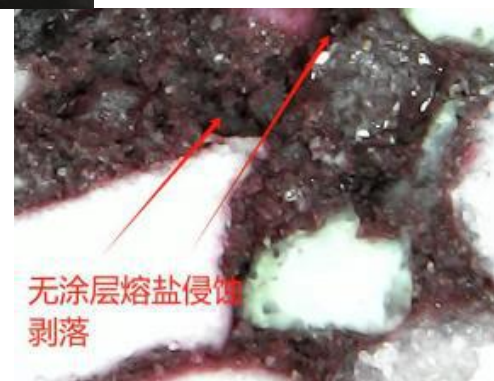


“坍塌”内放置4：6比例氯化钠和氯化钙。

实验温度：1100℃。
试验时间10小时。



“盐浴”“坍塌”实验，验证了涂层具备阻止Cl⁻“导演”的能力。



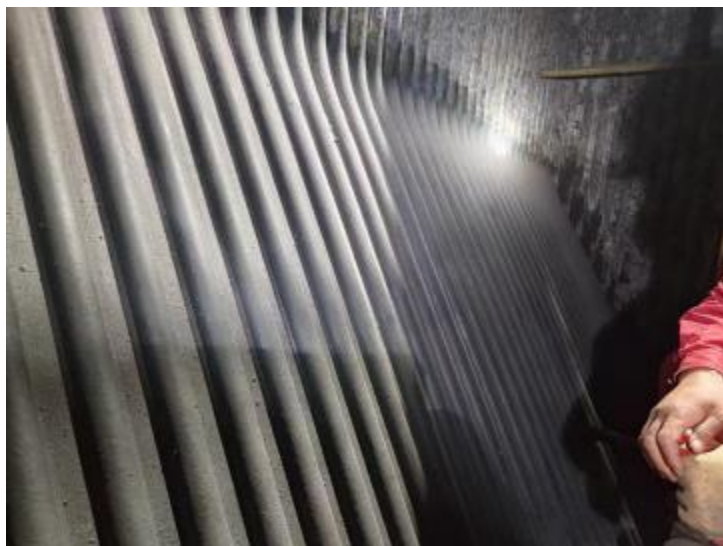
3、危废焚烧回转窑耐材、余热锅炉水冷壁工程验证。

德州正朔工程



- ①水冷壁部位为喷氨口和落灰口。使用寿命超过15个月，验证了抗腐蚀性和抗冲刷性。
- ②回转窑喷涂部位为燃烧区浇注料。运行5个月停窑，涂层阻止了危废和浇注料的矿化反应。

宜兴凌霞固废工程



竣工图



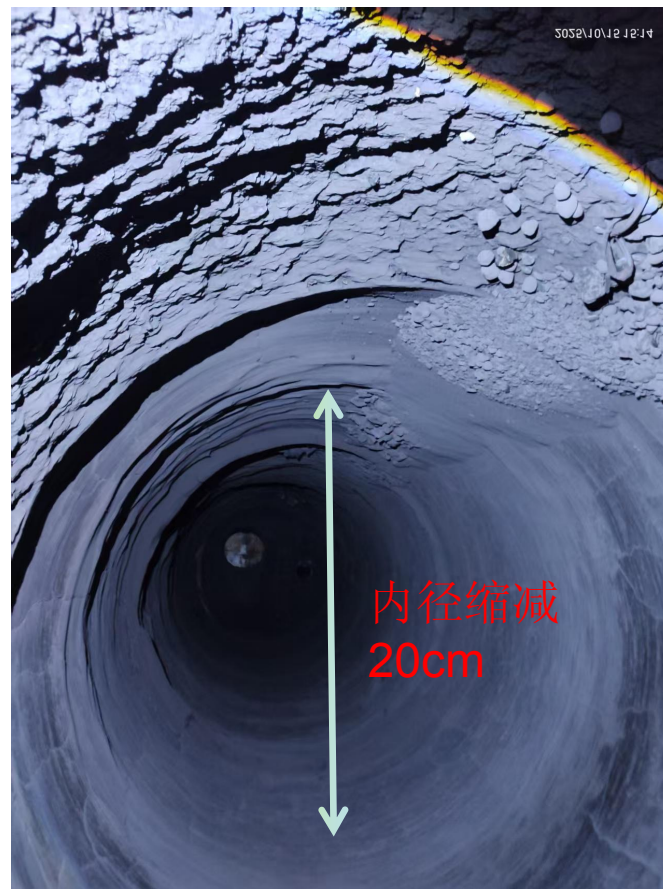
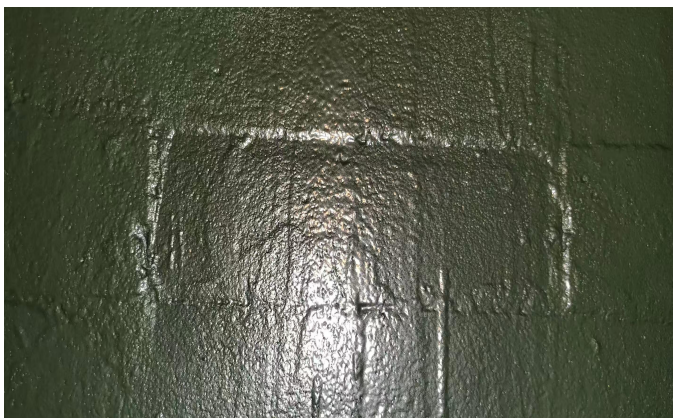
未腐蚀



腐蚀严重

有涂层无涂层对比图

光大环保危废工程



运行六个月停窑，耐材不仅没有像以前减薄10余cm，反而因窑皮增厚的缘故，窑内径减少20cm。

结论：

高熔陶瓷金属复合涂层技术终结了CI的“导演”。防护了高温熔盐飞灰对炉管和耐材的腐蚀，改变了高温熔盐飞灰结焦的性质，由键合反应、矿化反应烧结变成物理性粘附，结焦层易清理。

垃圾锅炉中应用预期寿命：

鉴于以上验证数据，由于危废焚烧的腐蚀介质成份远高于生活垃圾和工业垃圾，据分析，危废配伍后的腐蚀速率仍大于生活垃圾的3倍以上。另外，危废在回转窑耐材上滚动焚烧和铁块刮擦的运行工况远恶劣于垃圾锅炉。因此，本涂层技术在垃圾锅炉中的预期使用寿命可达一个大修周期。完全可以确保应用本技术的收益远大于投入。

四、导热验证。

测试报告

委托单位: 济南高熔防腐科技院 (普通合伙)
地 址: 山东省济南市高新区舜华路 2000 号舜泰广场 8 号楼 1-1901 室

以下测试样品信息由委托单位提供并确认

样品名称: 1、2
样品数量: 2 份
样品材质: 薄膜
测试项目: 热导率
样品接收时间: 2025.8.8
样品测试时间: 2025.8.11

检测要求:

测试顺序	测试项目
1	热导率

检测结果: 见报告正文

品质合格章

编制: 孙琪

日期: 2025.8.11

测试项目: 热导率

(1) 测试设备:

设备名称	型号
激光导热仪	耐驰 LFA467

(2) 环境条件: 温度: 25.1℃; 湿度: 48%RH

(3) 测试结果:

样品	测试温度: 500 度			
	热扩散系数 (mm²/s)	密度 (g/cm³)	比热容 (J/(g·°C))	导热系数 (W/(m·K)) $\lambda = \alpha \times C_p \times \rho$
1	7.812	7.515	0.622	36.514
2	8.918	7.274	0.591	38.338

备注:

1. 本报告中的数据结果仅供科研、教学、企业内部质量控制、产品研发等目的。

品质合格章

导热系数高于基体近5个百分点。

五、施工。

施工工艺：

炉管、耐材表面净化处理(喷砂、清扫) → 喷陶瓷金属复合涂层 → 热风固化 (喷涂和固化往复4-5次，至涂层厚度大于0.45mm) → 检查验收 → 烧结。

施工方式：

水冷壁、燃烧室前后拱和侧墙在线施工，按升温曲线随启炉烧结。高温过热器需离线至公司基地实施烧结。

六、应用价值：为企业节能减排、降本增效。

- 1、拒绝腐蚀，延长浇注料、耐火砖、炉管使用寿命，降低更换检修成本。
- 2、杜绝爆管、结焦堵塞的非计划停炉。
- 3、降低检修人工成本。
- 4、减少脚手架搭建拆除使用费用。
- 5、减少因更换耐材的烘炉，大幅降低燃油成本。
- 6、减少燃烧室清焦工作量，降低清焦安全风险。
- 7、延长运行时间，增加运行收益。
- 8、提高热交换率，降低排烟温度，节能减排，增加发电、供热效益。
- 9、恢复高温过热器因腐蚀的降温运行，或熔覆、堆焊导致的热交换率降低，提高发电量。

高熔陶瓷金属复合涂层技术

即是一项防护高温熔盐飞灰对锅炉腐蚀结焦的技术
也是一项给企业带来降本增效的技术

愿与您携手开创美好的明天