

常减压炉炉管温度异常原因分析

王 伟 段天全（甘肃省特种设备检验检测研究院，甘肃 兰州 730050）

摘 要：本文对某化工厂常减压炉 3#、4# 炉管的温度异常问题展开分析，通过了解运行情况，结合炉管运行条件及工艺特点，并使用宏观检查、壁厚测定、硬度测定、电镜扫描、金相组织分析等技术，研究炉管出现问题的原因。最终确定导致炉管出现温度异常的原因主要有两点：①来自于炉管内部的严重结焦，导致局部过烧，造成材质劣化；②在之前的运行周期内炉管表面的氧化层堆积严重，在过烧后，由于金属伸缩率的差异，导致炉管表面的氧化层剥离脱落。通过对分析结果研究，提出了使用工艺改进建议。

关键词：炉管；温度异常；分析；结焦

某化工厂常减压炉在 2017 年停车检修后运行至今，近半年内，多次出现炉管局部温度异常升高情况。经过停车检查，发现温度异常炉管表面局部地方有氧化层剥离脱落情况，炉管的运行温度为 $385^{\circ}\text{C} \pm 2^{\circ}\text{C}$ ，炉管规格为： $\phi 102 \times 8.0\text{mm}$ 。该炉处于低负荷运行状态。为解决事故问题，对该炉管的情况进行了分析，并对后续管理工作提出了建议。

1 炉管运行情况分析

该炉管为常减压炉南炉膛辐射室第 3#、4# 路炉管，材质为 1Cr5Mo，原设计为 28 根，于 2007 年更换，运行至 2017 年，停车检修，此后运行至今，未进行过烧焦和水力清焦，从 2017 年常减压炉水力学清焦情况来看，减压炉炉管整体结焦严重，特别是第 3#、4# 路炉管，结焦厚度达到 2.0–2.5CM（2017 年清理出的焦子如图 1 所示）。结合近期常减压炉炉管的温度异常现象以及炉管表面氧化层的剥离情况分析，本次常减压炉 3#、4# 路炉管的温度异常及表面氧化物剥离情况极有可能是结焦引起。



图 1 焦子及热成像照片

2 理化分析

2.1 宏观检查及壁厚测定

宏观检查发现，存在温度异常情况的 3#、4# 路炉管表面均有明显的红褐色锈蚀层覆盖，且局部地方有剥离脱落现象，剥落的氧化皮厚度约 2–3mm（如图 2 所

示）。用稀盐酸清洗后继续对炉管目视观察，发现脱落的氧化皮结构较致密，断口位置呈暗红色。

运用笔式电磁超声腐蚀检测仪对异常氧化炉管逐根进行厚度测定，共测得 56 组厚度值，3#、4# 路炉管的实测最小壁厚分别为 7.06mm 和 7.10mm；对所有测厚数据进行汇总分析并强度校核，满足使用要求。

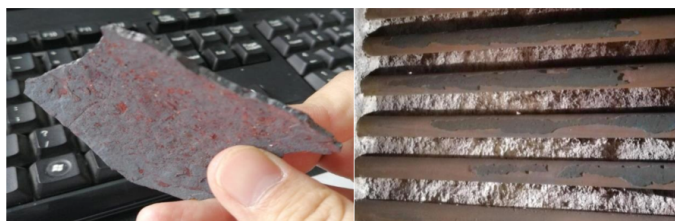


图 2 外观形貌照片

2.2 硬度测定

依据 GB/T4340.1 的方法，使用 Qualitip 型硬度计，分三组对温度异常及未异常氧化炉管分别进行硬度测定：①对同一炉管进行不同位置的硬度值测定；②对不同炉管进行相同位置、相同角度的硬度值测定；③对温度异常炉管和未异常氧化炉管进行相同位置、相同角度的硬度值测定。最后测得三组硬度值，对所得数据进行汇总分析，得出以下结论：温度异常部位硬度值低于标准值。测定结果见表 1。

2.3 断口扫描电镜分析

使用 EDS 能谱分析法对脱落的氧化皮进行观察，发现清洗之前断口位置被腐蚀层覆盖，但是断口的形貌依然有不清晰的问题（如图 3 所示）；对氧化皮进行成分分析，发现氧化皮中富含铁元素和氧元素，同时还有一定成分的碳元素（C）、砷元素（As）、硅元素（Si）和铝元素（Al），各元素的能谱图及含量如图 3、图 4 所示。由于该炉管处于高温环境中，其氧元素和碳元素

表 1 硬度值测定结果汇总表

炉管	3# 炉管	硬度值	4# 炉管	硬度值	1# 炉管	硬度值
测定位置	①	98/102/94/107	①	116/129/111/128	①	187/174/188/214
	②	129/119/130/126	②	111/106/119/110	②	166/163/166/172
	③	112/144/130/137	③	130/124/111/117	③	175/179/157/188
	④	116/102/124/131	④	128/129/136/122	④	174/168/214/239

注：1# 炉管使用中未发现温度异常，且表面无氧化层剥离现象；所测硬度均为母材硬度。

可能来自于周围环境作用。

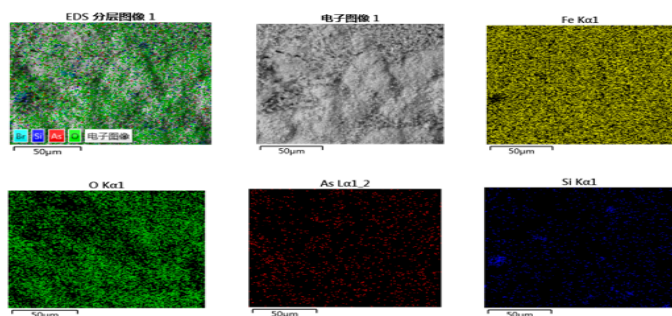


图3 扫描电镜照片

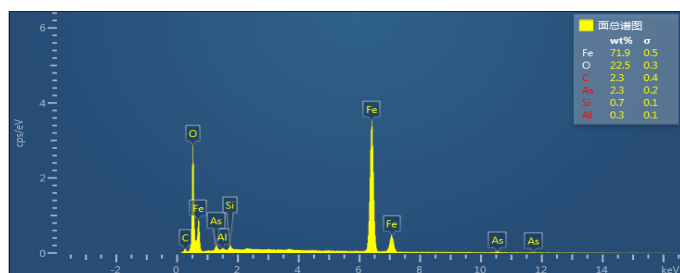


图4 各元素含量图

同时,对本次剥落的物质进行磁铁吸附和氧气灼烧(如图5所示),磁铁吸附表明铁含量较高,1000℃高温灼烧时不容易熔融、容易碎裂,表明此物质晶格简单,由于炉管材质为Cr5Mo,金属伸缩率大于22%,而氧化铁系列化合物晶格结构简单,通常为粉末状,几乎无任何伸缩率。因此,基本可以判定剥落的物质为氧化铁系列化合物。



图5 剥落氧化皮的灼烧及磁铁吸附情况

2.4 金相检验分析

对温度异常炉管进行金相检测,在经过粗磨、精磨、抛光、腐蚀(腐蚀液为硝酸酒精)、清洗、覆膜后,对覆膜片上的显微组织使用光学显微镜进行观察,其金相组织为:铁素体+珠光体;观察发现,异常氧化部位的炉管母材已经出现了很明显的材质劣化,金相组织球化等级为:4-5级(金相组织如图6所示)。对未异常氧化炉管进行金相检测,通过相同的方法,得到其金相组织试样,使用光学显微镜进行观察,其金相组织为:铁素体+珠光体;观察发现,未异常氧化部位的炉管母材并未出现明显的材质劣化现象,金相组织球化等级为:2-3级(金相组织如图6所示)。

结果表明,炉管金相组织为铁素体+珠光体,温度异常部位存在严重的球化情况;温度未异常部位未见明显球化情况。

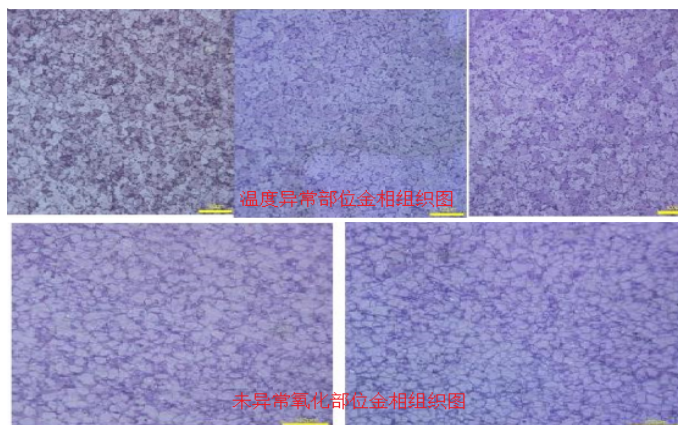


图6 未异常氧化部位金相组织图

3 综合分析结果

根据理化检验的结果,初步判断该常减压炉的3#、4#路炉管在之前的运行周期内表面氧化层较厚,在管内结焦严重的情况下,出现局部过烧,导致母材劣化,当运行状态进入停运状态后,冬季温度低,环境温度差大,炉管表层氧化铁等化合物(Fe_3O_4 、 Fe_2O_3)与1Cr5Mo炉管伸缩率差别过大,在常减压系统停工后出现了氧化层的开裂剥离。

4 工作改进建议

经过分析,此次炉管的局部温度异常,主要是因炉管内部结焦引起,在后续的运行过程中,可以适当增加管内介质流速,减少结焦;做好定期停车检修,清理管内结焦,并安排专人,每天现场进行温度监测并查看火嘴运行情况,坚决杜绝火嘴偏烧、分支偏流情况,运行期间,要严格管控加热炉各分支温度和炉膛温度,利用热成像仪,对加热炉炉管表皮温度进行监测。

5 结束语

经金相分析发现,3#、4#路炉管材料发生了珠光体球化现象,且大部分区域的球化程度达到了4-5级,并且在内外表面均存在渗碳层,局部区域的渗碳层已经开裂。通过对硬度及壁厚的检测,以及对炉管的化学成分分析和炉管壁厚的强度校核,认为在目前的工况条件下该炉管已不满足继续使用要求,需更换炉管,以确保该设备的安全运行。

参考文献:

- [1] 刘兴全,刘玉英,宋天民,张国福,石玉,石秋红,赵娜.1Cr5Mo钢炉管腐蚀原因分析与预防对策[J].材料保护,2007(09).
- [2] 王梓.常减压装置加热炉运行存在问题与提高炉热效率措施[J].低碳世界,2017(29):278-279.

作者简介:

王伟(1987-),男,汉族,甘肃会宁人,本科,研究方向:特种设备检验及使用管理。