

锅炉管内腐蚀结垢过程的实验研究

裴 炜,王树众,佟振霞

(西安交通大学 动力工程多相流国家重点实验室 陕西 西安 710049)

摘 要: 管内腐蚀结垢是影响锅炉安全运行的主要因素之一,为了研究高温高压下锅炉管内的腐蚀结垢过程,在一定工况下进行挂片实验,利用 SEM,EDS,XRD 等分析手段,结合称重法,得出以下结论:金属表面的腐蚀结垢层分 3 层,依次为:氧化层、中间层、结垢层;腐蚀结垢过程也分为 3 个阶段:氧化膜形成期、结垢迅速成长期、稳定期;浓度的增加会促进金属的腐蚀和结垢速率;表面粗糙度增加对腐蚀的影响不大,但会促进结垢。

关 键 词: 腐蚀结垢;分层;反应过程;影响因素
中图分类号:TK224.9 文献标识码:A

引 言

锅炉的工作介质是水和蒸汽,当锅炉水质不符合相关标准时,将会因受热面结垢腐蚀而危及锅炉的安全稳定运行。结垢会使管壁温度急剧增加,超过正常工作所允许的温度,金属强度显著降低,引起锅筒或炉管过热变形、鼓泡、裂纹等,而腐蚀则会使锅炉的金属构件减薄,出现凹坑,降低金属强度,缩短使用年限,腐蚀或结垢情况严重时,甚至会发生爆管等安全事故。

目前,有关结垢方面的研究主要集中在 0.1 MPa 常压下,换热器表面的污垢成长,以 Kern - Seaton 模型为例,认为结垢过程是沉积和脱除的共同作用,并且有不少研究者根据实验数据整理出适用于特定条件下的经验关联式^[1]。而腐蚀方面的研究主要侧重于腐蚀结果,如腐蚀膜、点蚀裂纹、爆管研究等^[2-3],对锅炉管道的腐蚀过程研究不多。

高温高压下锅炉管道的腐蚀和结垢是一个复杂多变的过程,水中的一些物质既会促进腐蚀,又能引起结垢,并且结垢和腐蚀二者又会相互影响,而目前国内外对结垢和腐蚀都是做单一的分析,还没有把二者结合起来进行研究分析。本研究通过用高温反应釜模拟锅炉的工作环境,并配置一定的溶液模拟锅炉水环境,在设定工况下对 T22 钢结垢和腐蚀的

过程进行研究,得出其相互影响的过程,可以为锅炉受热面的结垢腐蚀提供理论依据。

1 试验介绍

1.1 试验方法

本次实验要研究锅炉受热面的结垢腐蚀过程,因此选用一种水冷壁常用钢材 T22 作为研究对象,其化学成分如表 1 所示。材料可加工成 20 mm × 10 mm × 3 mm 长方体试片,分别用 260 号、600 号、800 号和 1200 号水砂纸逐级打磨,去离子水冲洗,丙酮除油,干燥后测量工作面的尺寸并称重。

表 1 T22 钢的化学成分(质量分数/%)

Tab. 1 Chemical composition of T22 steel (mass fraction/%)

钢号	C	Si	Mn	Cr	Mo
T22	0.12	0.3	0.45	2.25	1.0

用高温反应釜模拟锅炉受热面高温高压的工作环境,用配制的溶液模拟锅炉水,把金属试片悬挂在釜中,要使金属试片完全浸没在溶液中,在设定条件下运行一定时间后取出,用称重法分析,然后对实验后的金属试片进行电镜扫描(SEM),能谱分析(EDS),X 射线衍射分析(XRD)。

在锅炉的实际运行中,其水质条件是复杂多变的,为了方便观察分析,本次实验中采用分析纯 CaCl₂ 和 NaHCO₃ 按 1:1 摩尔比例混合而成,是因为 Ca 含量是造成锅炉管内结垢的主要因素,而 Cl⁻ 离子和 H⁺ 离子也是造成锅炉管内腐蚀的主要原因,在实验过程中,既有 CaCO₃ 的沉积结垢,又有金属的电化学腐蚀,基本可以反应锅炉内的情况,因此可以观察分析其腐蚀和结垢相互影响的过程。设定的工作参数为压力 15 MPa,温度 350 °C。

1.2 试验设备

高温反应釜材质为 316 L 不锈钢,容积为 0.5

收稿日期:2010 - 07 - 02; 修订日期:2010 - 07 - 09

基金项目:教育部新世纪优秀人才支持计划基金资助项目(NCET - 07 - 0678)

作者简介:裴 炜(1985 -),男,山西运城人,西安交通大学硕士研究生。

L 设计压力为 32 MPa ,设计温度为 600 °C ,加热功率 3.5 ~ 4 kW。

扫描电子显微镜为日本电子株式会社生产的 JSM - 6390A 型 ,并配有能谱分析仪(EDS) ,分析探头为 Si(Li) 硅锂半导体探头 ,探测面积为 4 平方毫米。X 射线衍射设备为日本理学株式会社生产的 D/max - Ultima IV 型 X 射线衍射仪。

2 试验结果分析

2.1 SEM 和 EDS 分析

选用在同一溶液浓度下(CaCl₂ 溶液的质量浓度为 100 mg/L ,NaHCO₃ 溶液的质量浓度为 75.68 mg/L) 运行不同时间后的金属试片进行电镜扫描和能谱分析 如图 1 和图 3 所示。

图 1 是 1 h 后试片的表面形貌 ,可以发现金属表面已经形成大量的细小颗粒 ,经 EDS 能谱分析可知 ,金属表面的元素含量为: Fe ,40.66%; O ,58.73%; Cr 0.61%; 没有 Ca 元素。说明金属表面还没有形成 CaCO₃ 结晶 ,这些细小颗粒为铁的氧化物 ,覆盖在金属表面上。通过对金属表面氧化膜的研究分析可知 ,高温高压水环境中形成的氧化膜一般为双层结构 ,内层为富 Cr 层 ,颗粒较细小且均匀紧密 ,外层为富 Fe 氧化物层 ,外层颗粒较大 ,其粒度不均匀且比较疏松 ,并且在清洗或切割过程中容易发生剥落 ,其粘附性差^[4~5] 图中所示的金属表面颗粒大小不一 ,分布不均匀 ,说明金属表面还没有形成完整致密的氧化膜。

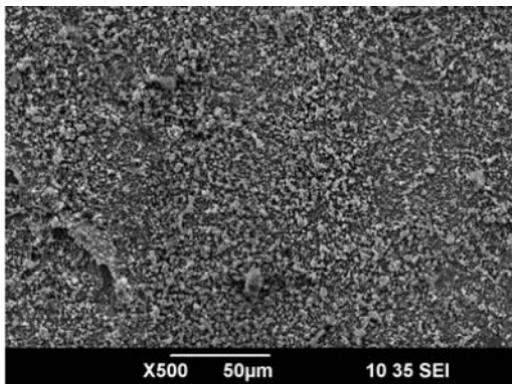


图 1 1 h 后试片的表面形貌

Fig.1 Surface morphology of the test piece after 1 hour

图 2 为 3 h 后金属试片的表面形貌 ,其表面已经形成比较均匀致密的氧化膜 ,并且有少量的晶状颗粒 ,利用 EDS 能谱分析 ,可以发现晶状颗粒的元

素分布主要为 O、C、Ca ,说明其为 CaCO₃ 结垢 ,而其它部分则为金属氧化膜。金属表面的凹凸不平处为 CaCO₃ 结垢提供了核化点 ,使得溶液中的 CaCO₃ 以核化点为结晶核心 ,逐渐在表面沉积下来 ,因而形成了如图中所示的晶状颗粒。

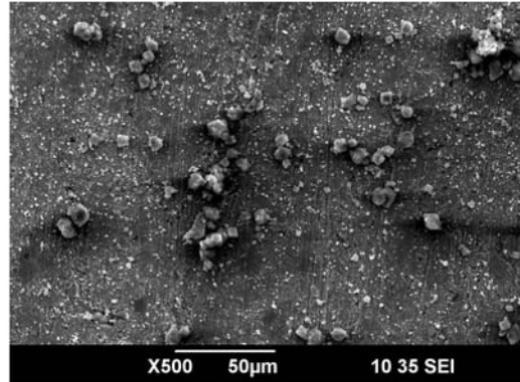


图 2 3 h 后试片的表面形貌

Fig.2 Surface morphology of the test piece after 3 hours

图 3 为 5 h 后金属试片的表面形貌 ,污垢的沉积量明显增多 ,颗粒体积增大。通过 EDS 能谱分析可以发现: 金属表面的 Fe 含量显著降低 ,而 Ca 含量增加。说明在这个阶段 ,CaCO₃ 迅速沉积在金属表面 ,并且在金属表面的分布很不均匀。在清洗金属表面的过程中 ,发现污垢比较容易脱落 ,说明生成的 CaCO₃ 结垢对表面的附着力还不大 ,容易清除。随着运行时间的增加 ,污垢将覆盖整个金属表面 ,并且会逐渐变硬 ,不易脱落 ,最终形成难以清除的水垢。

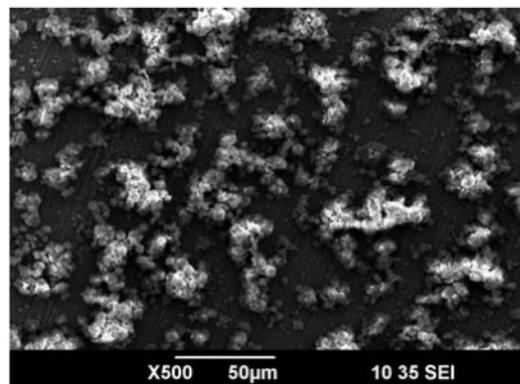


图 3 5 h 后试片的表面形貌

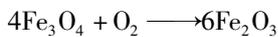
Fig.3 Surface morphology of the test piece after 5 hours

2.2 XRD 分析

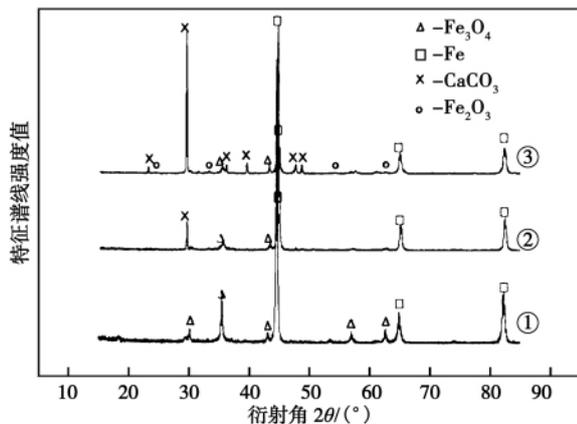
利用 XRD 对金属表面腐蚀结垢产物进行物相分析 如图 4 所示 ,反应后的金属表面物质主要是 Fe ,CaCO₃ ,Fe₃O₄ ,Fe₂O₃ ,其中 Fe 是金属基体 ,Fe₃O₄ 和 Fe₂O₃

是金属的腐蚀产物,而 CaCO_3 则是结垢物质。从图中可以发现 随着反应时间的增长 CaCO_3 和 Fe_2O_3 的衍射峰逐渐增高,说明其含量逐渐增加,而 Fe_3O_4 的衍射峰逐渐降低,含量逐渐减少。

如图 4 中曲线①和曲线②所示 Fe_3O_4 的衍射峰比较强,直到曲线③才出现 Fe_2O_3 的衍射峰,说明金属表面发生腐蚀,腐蚀初期的产物是 Fe_3O_4 ,随着反应的进行,逐渐生成 Fe_2O_3 ,在高温高压的水作用下,金属 Fe 发生了以下反应:



这些金属氧化物会紧贴在表面形成氧化膜,能够在一定程度上阻止金属的腐蚀。对结垢过程来说,1 h 后的金属表面没有 CaCO_3 的衍射峰,说明在 1 h 之内金属表面还未形成 CaCO_3 沉积,3 h 后的金属表面发现了 CaCO_3 的沉积,并且随着时间的增加, CaCO_3 的沉积量迅速增加。



①-1 h 后的表面形貌;②-3h 后的表面形貌;③-5 h 后的表面形貌
图 4 金属表面的 XRD 分析

Fig.4 XRD analysis of metal surface (In the drawing:
1 - surface morphology after 1 hour 2 - surface morphology
after 3 hours 3 - surface morphology after 5 hours)

2.3 腐蚀结垢层分析

为了研究金属表面的氧化层和结垢层之间各个元素的分布情况,利用电镜 SEM 观测其断面的分层情况,并利用能谱仪对试片从基体到外层进行线扫描分析,测试各元素的含量变化,如图 5 和图 6 分别是运行 5 h 后,试片表面的分层情况和浓度变化曲线。由图 5 可见左侧为金属基体,右侧是腐蚀结垢层,金属基体表面的划痕是断面摩擦过程中造成的,不影响外层的分析,图 6 是金属表面元素的浓度变化曲线,结合两图进行分析,可以发现金属表面的腐

蚀结垢层大致可分 3 层:

第一层紧贴在基体表面,为比较致密的氧化层。如图 6 中大约 10 ~ 15 μm 阶段,Fe 元素含量逐渐降低,而 O 元素含量升高,说明金属表面生成了氧化膜。该氧化膜能阻滞金属原子或侵蚀性介质的分子穿过该膜向金属表面的扩散,在一定程度上阻止金属腐蚀过程的发展,从而使腐蚀速度降低,但粗糙的氧化膜也为 CaCO_3 结垢提供了结晶核心,因此该层也会有少量 Ca 元素,并且含量有些浮动。

第二层为中间层,如图 6 中大约 15 ~ 20 μm 阶段,在该层金属的腐蚀和 CaCO_3 的沉积同时发生,但垢层和氧化层之间的粘结不紧密,中间会有一些空洞。图中可以明显看见沉积层和氧化层之间的空洞,在锅炉运行中,这些空洞是造成金属垢下腐蚀的主要原因。因为垢层导热性差,使得管壁温度升高,渗透到沉积层下面的锅炉水会发生急剧蒸浓,并由于受到结垢层的阻碍,不易与炉管中的水混合均匀,最终使结垢层下各种杂质的浓度很高,从而加剧了金属的腐蚀。

第三层为结垢层,如图 6 中大约 20 ~ 22.61 μm 阶段,Ca、C、O 元素的含量明显升高,Fe、Cr 元素的含量逐渐降低。该层的成分主要是 CaCO_3 ,随着时间的增加,这个垢层会越来越厚,并且慢慢变得坚硬致密,形成水垢,从而严重影响金属的导热性。

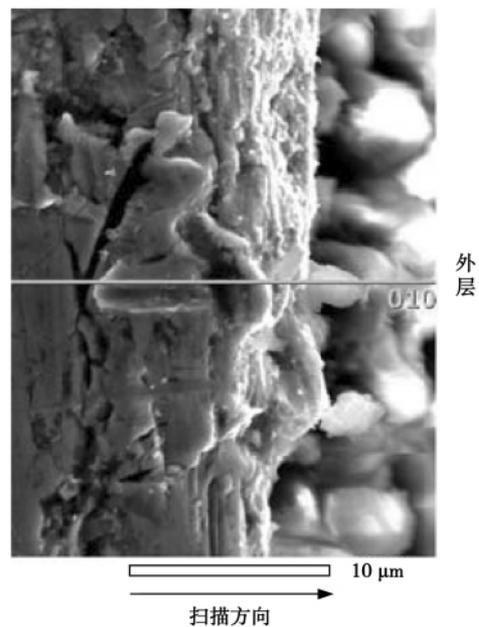


图 5 表面分层情况

Fig.5 Surface layer division

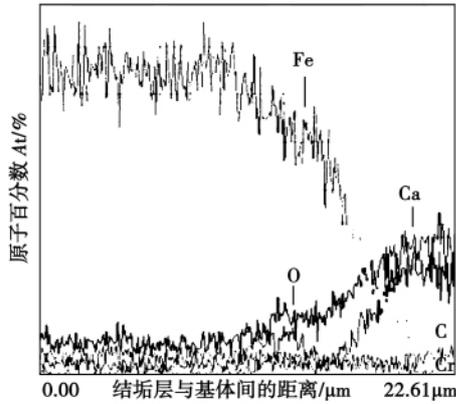


图 6 各元素的浓度变化曲线

Fig. 6 Curves showing a change of the concentrations of various elements

2.4 结垢腐蚀过程的机理分析

为了分析金属腐蚀结垢的过程,对金属试片进行称重分析,利用单位面积的质量变化分析腐蚀结垢程度。图 7 是用 260 号砂纸打磨后的金属试片,在 CaCl_2 溶液(浓度为 50 mg/L)和 NaHCO_3 溶液(浓度为 37.84 mg/L)中进行金属腐蚀结垢实验后的质量变化曲线。

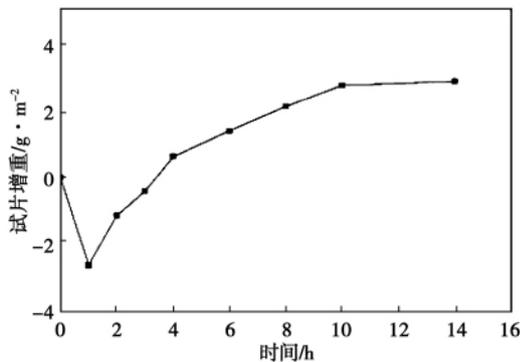


图 7 金属试片的质量变化曲线

Fig. 7 Curves showing a change of the mass of the metal test piece

可以看出,试片的质量变化趋势是先失重,然后增重,随着时间的增加,增重速度逐渐平缓,并趋于稳定。通过试片的称重法,并结合之前的 SEM 和 XRD 进行分析,可以得出金属的腐蚀结垢过程,主要可分为 3 个阶段:

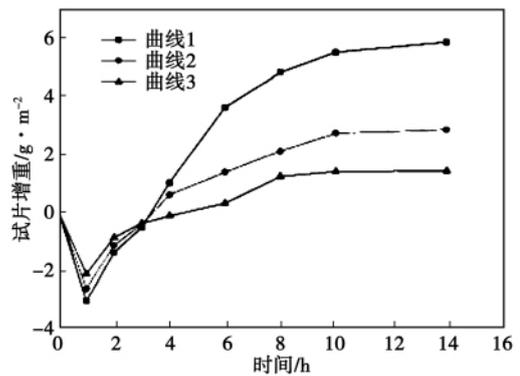
第一阶段为氧化膜生成期(图中 0~1 h),金属试片浸入溶液的初期,会与高温高压的溶液发生腐蚀反应,表面生成金属氧化物,覆盖在金属表面。在这个过程中,试片表面的一部分 Fe 会变成 Fe^{3+} 溶

于水中,而使试片质量减轻。而这段时期也处于 CaCO_3 结垢的诱导期,是结垢的潜在孕育阶段,还未形成结垢,诱导期的长短与材料、流速、浓度和温度等因素有关^[6]。

第二阶段为结垢迅速成长期(图中 1~8 h),试片表面大部分区域已经形成氧化膜,能在一定程度上阻止腐蚀过程的发展,使腐蚀速度降低。同时随着运行时间的增加,试片表面生成的氧化膜比较疏松,从微观上看会有些凹凸不平处,并且金属氧化膜表面的“剩余化合键力”具有吸附能力,所以会为非均相成核提供许多核化点,吸附作用将使晶胚在这些位置优先形成,形成结晶核心,从而使溶液中的 CaCO_3 向结晶核心聚积,形成沉积物。这些先期沉积的附着物,破坏了水中的溶解平衡状态,使得盐分向这些区域很快析出,使结垢迅速增加。

第三阶段为稳定期(图中 8 h 之后),试片表面大部分区域已经形成比较致密的氧化膜,可以很大程度地保护金属,使腐蚀速度缓慢。而表面沉积物经过快速增加的成长期之后,最终会覆盖整个金属表面,污垢的增加也趋于稳定。因而在这个阶段金属的腐蚀和结垢速度都趋于稳定。

2.5 溶液浓度的影响



曲线 1: CaCl_2 : 100 mg/L, NaHCO_3 : 75.68 mg/L
 曲线 2: CaCl_2 : 50 mg/L, NaHCO_3 : 37.84 mg/L
 曲线 3: CaCl_2 : 20 mg/L, NaHCO_3 : 15.14 mg/L。

图 8 试片质量变化曲线

Fig. 8 Curves of a change of the mass of the test piece

图 8 是在不同溶液浓度下,金属试片的质量变化曲线。可以看出,曲线 1 的腐蚀量和结垢量都要明显高于曲线 2,而曲线 2 又高于曲线 3,这说明溶液浓度的增加会促进金属的腐蚀和结垢速率。因为溶液浓度的增加会使电导率增加,促进了金属表面的电化学反应,并且由于溶液中含有 Cl^- , Cl^- 半径小,穿透力强,容易穿过金属表面的保护膜与金属反

应产生点蚀。

而对于结垢来说,溶液过饱和度是影响盐类成核的重要参数,因而浓度的增加会使溶液的过饱和度增加,促进结晶的形成,缩短了结晶时间,使得污垢的形成量增加。

2.6 表面粗糙度的影响

为了观察金属表面粗糙度对腐蚀结垢的影响,对试片表面分别用260号、600号、1200号砂纸打磨,打磨的砂纸越粗,试片表面粗糙度越高。粗糙度不同的试片在本次试验条件下,试片的质量变化曲线如图9所示。

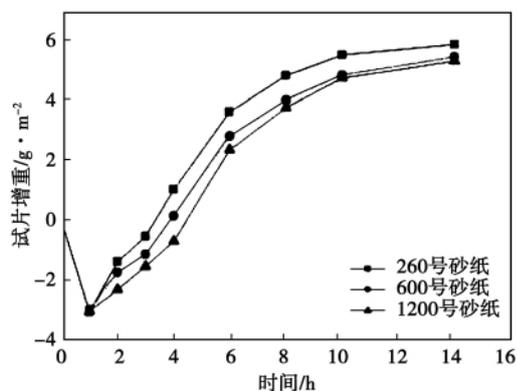


图9 不同表面粗糙度的试片质量变化曲线

Fig. 9 Curves showing a change of the mass of the test piece at various surface roughnesses

从图9中可以发现,表面粗糙度对腐蚀的影响不大,而粗糙度的增加明显会促进结垢速率与结垢量的增加,这是由于粗糙表面生成氧化膜后,将会使表面变得更加的凹凸不平,这些部位为成核、附着和化学表面活性提供了附加场所,缩短了结垢的诱导期,并使结垢速率增加,并且在流动条件下,粗糙度的增加也减小了流体层流底层的厚度,有利于污垢的沉积^[7]。

3 结 论

通过用高温反应釜模拟锅炉受热面高温高压的工作环境,并利用分析纯 CaCl_2 和 NaHCO_3 按 1:1 摩尔比例配置一定的溶液模拟锅炉水环境,在压力 15 MPa,温度 350 °C 的工况下对 T22 钢结垢和腐蚀的过程进行研究。对实验后的金属试片进行电镜扫描 (SEM),能谱分析 (EDS),X 射线衍射分析 (XRD) 并结合称重法分析,最终得出以下结论:

(1) 金属表面的腐蚀结垢层分 3 层: 第一层为比较致密的氧化层,紧贴在基体表面; 第二层为中间

层,结垢层和氧化层之间的粘性不够紧密,中间会有一些空洞,这些空洞是造成金属垢下腐蚀的主要原因; 第三层为结垢层,随着时间的增加,这个垢层会越来越厚,并且慢慢变得坚硬致密,形成水垢。

(2) 腐蚀结垢过程分 3 个阶段: 第一阶段是氧化膜形成阶段,而这段时期也是 CaCO_3 结垢的诱导期,不会在试片表面形成结垢; 第二阶段是结垢迅速成长期, CaCO_3 以核化点为结晶核心,迅速向金属表面沉积; 第三阶段是稳定期,腐蚀和结垢的速度都趋于稳定。

(3) 溶液浓度的增加会促进金属的腐蚀和结垢,因为浓度增加会促进金属的化学腐蚀,并且会使过饱和度增加,促进结晶的形成,缩短了结晶时间,使得结垢增加。

(4) 金属表面粗糙度对腐蚀的影响不大,但会促进结垢,这是因为表面的凹凸不平处容易形成结晶核心,而粗糙表面生成氧化膜后,将会使表面变得更加凹凸不平,这些部位为成核、附着和化学表面活性提供了附加场所,缩短了结垢的诱导期,使结垢速率增加。

参考文献:

- [1] 王新祥. 换热设备结垢机理的研究进展 [J]. 现代化工, 2002, 22(4): 22-25.
WANG Xin-xiang. Advancement in the study of fouling mechanism of heat exchange equipment [J]. Modern Chemical Industry, 2002, 22(4): 22-25.
- [2] 周琦, 郭铁明, 马勤等. 不同腐蚀介质中 16Mn 钢高温高压腐蚀行为的比较 [J]. 材料热处理学报, 2009(30): 140-144.
ZHOU Qi, GUO Tie-ming, MA Qin et al. Comparison of high temperature and pressure corrosion Behavior of 16Mn steel in various corrosive media [J]. Transactions of Material Heat Treatment, 2009(30): 140-144.
- [3] 范文武, 丘纪华, 张军营. 220 t/h 锅炉水冷壁腐蚀分析与预防 [J]. 电站系统工程, 2006, 22(6): 51-55.
FAN Wen-wu, QIU Ji-hua, ZHANG Jun-ying. Analysis and prevention of waterwall corrosion of a 220 t/h boiler [J]. Power System Engineering, 2006, 22(6): 51-55.
- [4] WANG SHENGCHUN, YOICHI TAKEDA, TETSUO SHOJI et al. Observation of the oxide film formed in high temperature water by applying electroless Ni-P coating [J]. Journal of Nuclear Science and Technology, 2004, 41(7): 777-779.
- [5] TAKUMI TERACHI, KATSUHIKO FUJI, KOJII ARIOKA. Microstructural characterization of SCC crack tip and oxide film for SUS 316 stainless steel in simulated PWR primary water at 320 °C [J]. Journal of Nuclear Science and Technology, 2005, 42(2): 225-232.
- [6] 张兵强, 李云, 徐志明. CaCO_3 析晶污垢成垢过程影响因素的实验研究 [J]. 东北电力大学学报, 2008, 28(1): 49-54.
ZHANG Bing-qiang, LI Yun, XU Zhi-ming. Experimental study of the factors influencing the fouling period of CaCO_3 -precipitated crystals and dirt [J]. Journal of Northeast University of Electric Power, 2008, 28(1): 49-54.
- [7] HERZ A, MALAYERI M R, MÜLLER STEINHAGEN H. Fouling of roughened stainless steel surfaces during convective heat transfer to aqueous solutions [J]. Energy Conversion and Management, 2008(49): 3381-3386.

& Power. - 2011, 26(5). - 551 ~ 554

The majority of working media used in tests by the predecessors to study the heat transfer performance of microchannels pertain to fluids with a low viscosity and very few pertain to fluids with a high viscosity. With aviation kerosene and water serving as the working medium respectively in the test and Reynolds number in the laminar flow state ranging from 10 to 100, the heat transfer performance of two fluids in microchannels was experimentally studied. The aluminium-base microchannel array included 163 microchannels with their section sizes being 1 mm × 1 mm and the length being 400 mm. The length/diameter ratio $l/D_n = 400$. Under the condition of such a length/diameter ratio, the influence of the inlet section on the overall heat transfer performance can be neglected. It has been found from the test results during the test that the average Nusselt numbers of two fluids are all basically not varied with a change of Re , however, smaller than the theoretical predictive values. From such a sense, the heat transfer performances of kerosene and water have no substantial difference. In addition, within the measurement error range, the overall average Nusselt number of aviation kerosene is about 10% higher than that of water and their average Nusselt numbers are 2.80 and 2.59 respectively. **Key words:** microchannel heat sink, liquid cooling, heat transfer intensification, aviation kerosene

散堆拉西环蓄热室热工特性的数值模拟 = **Numerical Simulation of the Thermotechnical Characteristics of a Randomly Packed Rasching Ring Heat Accumulating Chamber** [刊 汉] LIU Ying-hui, ZHANG Zhi (College of Architectural Engineering Anhui Institute of Technology, Ma'anshan, China, Post Code: 243002) // Journal of Engineering for Thermal Energy & Power. - 2011, 26(5). - 555 ~ 560

In the light of the problems present in commonly used heat accumulative bodies, presented was a technical imagination for heat accumulative elements destined for heat accumulative chambers. Through establishing a mathematical model, a simulation study was performed of the thermotechnical characteristics of a randomly packed Rasching ring heat accumulative chamber. The research results show that at different times, the temperature distribution of the heat accumulative body and gas roughly assumes the shape of a logarithm curve. With a decrease of the diversion duration and the flow speed of the gas and an increase of the length of the heat accumulative chamber, the temperature efficiency and thermal one will gradually rise. The average temperature of air at the outlet depends on the lowest temperature of the air at the outlet while that of the flue gas depends on its highest temperature at the outlet. To attain a relatively high waste heat recovery rate, a relatively high air temperature at the outlet and a relatively low flue gas temperature at the outlet will be necessarily guaranteed. **Key words:** heat accumulative technology, Rasching ring, thermotechnical characteristics, temperature, efficiency

锅炉管内腐蚀结垢过程的实验研究 = **Experimental Study of the Corrosion and Fouling Process In Boiler Tubes** [刊 汉] PEI Wei, WANG Shu-zhong, TONG Zhen-xia (National Key Laboratory on Multi-phase Flows in Power Engineering, Xi'an Jiaotong University, Xi'an, China, Post Code: 710049) // Journal of Engineering for

Thermal Energy & Power. – 2011 ,26(5) . – 561 ~ 565

The corrosion and fouling in tubes is one of main factors influencing the safe operation of a boiler. To study the corrosion and fouling process in boiler tubes at a high temperature and pressure , a plate-hanging test was performed under a certain operating condition. By making use of the SEM (scanning electron microscope) , EDS (energy spectrum analysis) and XRD(X-ray diffractometer) etc. analytic means and in combination with the weighing method , the authors have arrived at the following conclusions: the corrosion and fouling layer on metallic surfaces is divided into three layers , namely , oxidation , intermediate and fouling layer in turn. The corrosion and fouling process is also divided into three phases: oxide film formation period ,fouling fast growth period and stabilization period. An increase of the concentration can promote the corrosion and fouling speed of metals. An increase of the roughness has little influence on the corrosion but can accelerate the fouling. **Key words:** corrosion and fouling , layer division , reaction process , influencing factor

BP 神经网络与改进热力计算结合确定锅炉参数基准值 = **Determination of the Reference Values of Parameters of a Boiler By Combining the BP (back propagation) Neural Network With the Improved Thermodynamic Calculation** [刊 ,汉] LI Shao-hua , XU Fang , SONG Dong-hui , XU Le-fei (College of Energy Source and Power Engineering , Northeast University of Electric Power , Jilin , China , Post Code: 132012) // Journal of Engineering for Thermal Energy & Power. – 2011 ,26(5) . – 566 ~ 570

Through analyzing the problems of the prevailing method for determining the reference values of operating parameters of a boiler , the authors presented a method for determining the reference values of parameters of a boiler by combining the BP neural network with the improved thermodynamic calculation. During the calculation , the BP neural network model was used to predict the reference value of the carbon content of the flyash and according to the operating load of the boiler a formulae for calculating the flue gas temperature at the outlet of the furnace was chosen. The method for determining the excess air factor in the “mountain – climbing theory” was used to determine the reference values of the key operating parameters. Finally ,with a HG1025/18.2-M boiler serving as an example ,the reference values of the operating parameters of the boiler were calculated at 50 % and 70% load , obtaining a conclusion that the excess air ratio at the outlet of the furnace will remarkably increase with a decrease of the boiler load and the carbon content of the flyash and the thermal loss due to the mechanical unburn-out combustion will markedly decrease. It has been proven that the method in question can reflect very well the influence of a change of the boiler load and coal quality characteristic parameters on the reference values of the operating parameters. **Key words:** boiler , target value , thermodynamic calculation

洗中煤和煤矸石的混煤燃烧特性分析 = **Analysis of the Blended Combustion Characteristics of a Washed Middle-quality Coal and Gangue with a Low Heating Value** [刊 ,汉] SHEN Bing-yun (College of Energy Source and Power Engineering , Inner Mongolia Polytechnic University , Huhhot , China , Post Code: 010051) ,