

## 一台生物质发电锅炉的过热器管高温腐蚀分析

韦震高<sup>1</sup>，朱霖<sup>1</sup>，魏玉伟<sup>1</sup>，陈伟崇<sup>1</sup>，方新良<sup>2</sup>

(1.广西壮族自治区特种设备检验研究院，广西南宁530219；2.广西南宁会当节能技术有限公司，广西南宁530031)

摘要：对广西某生物能源有限公司一台HX170/10.5-1生物质发电锅炉高温过热器管发生高温腐蚀的情况进行了分析，并建议使用单位将12Cr1MoVG材质的高温过热器管更换为12Cr1MoVG+TP347材质。

生物质发电项目在全国发展速度极快。广西拥有2.26亿亩林地，人工林、速丰林、经济林、商品林均居全国第1位，是名副其实的林业资源大省（自治区），相应木材加工行业产生的树皮、刨花、边条、木屑等加工废弃物数量众多，促使广西工业及发电锅炉大量利用生物质燃料发电[1]。但随着生物质直燃锅炉参数的提高，锅炉过热器管常出现严重的高温腐蚀现象[2]，全国遇到了几乎一致的过热器管高温腐蚀问题，但其腐蚀机理不同于燃煤锅炉[3]。本文结合广西的林业条件对生物质发电锅炉燃料种类的影响，对一台使用桉树皮燃料的电站锅炉高温过热器管腐蚀情况进行分析探讨，并结合检验过程中的大量实际经验，综合可行性、经济性、安全性方面的考虑，提出了将12Cr1MoVG低合金耐热钢更换为12Cr1MoVG+TP347异种钢材质的处理方案，对广大已运行的生物质发电锅炉具有重要的参考价值。

### 1 情况概述

广西某生物能源有限公司于2011年安装一台型号为HX170/10.5-1生物质发电锅炉，锅炉额定蒸发量为170t/h，额定过热蒸汽压力为10.5MPa，额定过热蒸汽温度为525℃，设计给水温度为165℃，设计进风温度为80℃。锅炉为单汽包自然循环、全悬吊膜式水冷壁、固定炉排、平衡通风、D型结构。锅炉由前部及尾部两个竖井烟道组成，前部竖井上部为悬吊膜式水冷壁，下部燃烧区域为支承结构护板炉墙，炉底采用固定炉排，尾部竖井为支承结构，竖井内交叉布置省煤器及管式空气预热器。前后竖井之间通过水平烟道连接，水平烟道内依次布置中温过热器、高温过热器和低温过热器，上述三种过热器管均为垂直式蛇形管，其后布置对流管束。其中，高温过热器管材质为12Cr1MoVG，规格为42×5mm。

该锅炉自投产运行以来，由于高温过热器外表面腐蚀严重，每2~3年即需要大面积更换一次高温过热器管，在2018年11月对该炉子进行的内部检验过程中，再次发现高温过热器管外表面存在明显的高温腐蚀现象（见图1），据使用单位描述，该炉管仅刚刚更换使用1年。



## 图 1 高温过热器管外表面高温腐蚀照片

为便于分析腐蚀原因，查阅了使用单位该锅炉的运行记录，记录显示高负荷运行期间炉膛出口（中温过热器前）烟气温度平均值约为769℃，中温过热器后（高温过热器前）烟气温度平均值约为701℃，高温过热器后（低温过热器前）烟气温度平均值约为644℃。

另外对该锅炉使用的生物质燃料及飞灰进行了取样化验，化验结果见表1。Vassilev等学者对各类典型的生物质燃料特性已经做了详细研究[4]，典型的桉树皮灰成分数据如表2所示。综合表1、表2数据可知，生物质树皮燃料为一种高湿低硫低热值的燃料，灰分含量较燃煤低但高于生物质成型颗粒、木柴、蔗渣等其他广西常见的生物质燃料，燃料中导致灰结渣积灰和腐蚀的有关元素[5]有Si、K、Na、S、Cl、P、Ca、Mg、Fe。

**表 1 生物质燃料化验数据**

序号	项目 单位)	符号	化验数据
1	收到基碳/%	$C_{ar}$	21.51
2	收到基氢/%	$H_{ar}$	2.44
3	收到基氧/%	$O_{ar}$	17.36
4	收到基硫/%	$S_{ar}$	0.02
5	收到基氮/%	$N_{ar}$	0.06
6	收到基灰分/%	$A_{ar}$	4.41
7	收到基水分/%	$M_{ar}$	54.20
8	干燥无灰基挥发分/%	$V_{daf}$	81.83
9	收到基低位发热量( kJ/kg)	$Q_{net,v,ar}$	6220.00
10	飞灰可燃物含量/%	$C_{fh}$	18.08

**表 2 桉树皮灰成分数据**

序号	项目 单位)	符号	化验数据
1	二氧化硅/%	$w(SiO_2)$	10.04
2	氧化钙/%	$w(CaO)$	57.74
3	氧化钾/%	$w(K_2O)$	09.29
4	五氧化二磷/%	$w(P_2O_5)$	2.35
5	氧化铝/%	$w(Al_2O_3)$	03.10
6	氧化镁/%	$w(MgO)$	10.91
7	氧化铁/%	$w(Fe_2O_3)$	1.12
8	三氧化硅/%	$w(SO_3)$	3.47
9	氧化钠/%	$w(Na_2O)$	1.86
10	二氧化钛/%	$w(TiO_2)$	0.12

我国印佳敏[6]、刘博[2]等学者对生物质锅炉过热器管材的高温腐蚀特性进行了研究，国外Vassilev[4]等学者也从生物质燃料成分分析的角度入手以期探索生物质对管材高温腐蚀的根源，目前普遍认为腐蚀来源集中于碱金属元素与低合金耐热钢材质的化学反应机理上，与金属表面的温度关系较为密切，但与锅炉的水介质的工况、锅炉燃料的燃尽性、锅炉的运行配风情况关系均不明显，故本文仅针对材料成分的化学反应层面进行分析。

生物质燃料中Cl、K含量较高而含S量极少，因此燃用生物质锅炉的腐蚀主要与KCl在受热面（主要是过热器部分）表面的沉积有关。碱金属的氯化物（KCl及少量的NaCl）可存在于烟气中，并在过热器管表面凝结，与Fe及其它元素一起形成低熔点、强腐蚀性的含碱金属的复合盐。

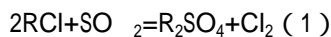
综合该锅炉高负荷运行期间的烟温数据及高温过热器管中的蒸汽温度数据，认为该锅炉的高温过热器管外表面已经具备生物质碱金属高温腐蚀的条件，其腐蚀过程如下：

### （1）碱金属氯化物形成

生物质中的氯、硫元素与钾、钠等碱金属元素在燃烧后以蒸气形态存在在烟气中，并通过均相反应形成微米级颗粒的碱金属氯化物，最终凝结和沉积在温度较低的高温过热器管壁上。

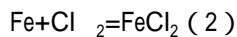
### （2）碱金属氯化物向硫酸盐转变

凝结和沉积在管子外表面的碱金属氯化物（包括氯化钠和氯化钾，以RCL表示）与二氧化硫发生硫酸盐化反应，通过反应方程式（1）生成氯气。



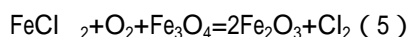
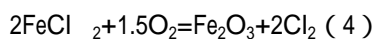
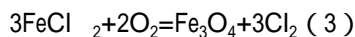
### （3）Cl<sub>2</sub>与Fe元素反应

碱金属硫酸盐化反应产生的氯气从积灰层逸散，所以金属表面附近氯气浓度非常之高，由于部分氯气是游离态，能够穿过多孔状垢层并与铁发生反应，其反应式如式（2）所示。



### （4）FeCl<sub>2</sub>与O<sub>2</sub>反应

FeCl<sub>2</sub>熔点仅为280 左右，而实际高温过热器管外壁温度可达600 以上，此时FeCl<sub>2</sub>发生气化并穿透积灰向烟气方向扩散。烟气侧的O<sub>2</sub>浓度较高，在氧化性气氛条件下FeCl<sub>2</sub>将与O<sub>2</sub>发生反应，反应式如式（3）~（5）所示，反应生产的Cl<sub>2</sub>能够扩散到金属与腐蚀层的交界面上与金属再次发生反应。



在整个腐蚀过程中，Cl元素起到了催化剂的作用，将Fe元素从金属管壁上置换出来，最终导致了严重的腐蚀。此外，合金钢中的铬Cr元素的化学反应机理与Fe元素相同。

## 3处理建议

（1）由于12Cr1MoVG材料在高温下对碱金属高温腐蚀的耐腐蚀性较差[6]，而TP347材质的高温过热器管则已在国内多个生物质发电厂有使用案例，并表现出了较好的耐腐蚀性。建议使用单位在下次锅炉检修期间整组更换高温过热器管，同时考虑到更换成本及现场的施工质量，可采购带有出厂异种钢焊口的12Cr1MoVG+TP347的过热器管组，其中TP347材质部分暴露与烟道烟气之中，而12Cr1MoVG材质部分用于顶部穿墙位置，方便现场与集箱管接头施焊。

(2) 考虑到该使用单位为某糖业集团下的能源公司，建议在锅炉高负荷运行期间尽量使用蔗渣作为燃料，在低负荷期间由于炉膛温度及各级烟温均大幅下降，高温过热器管的腐蚀情况也会相应得到缓解。

#### 4结束语

(1) HX170/10.5-1锅炉高温过热器管外表面在运行过程中经历了碱金属氯化物形成、碱金属氯化物向硫酸盐转变、 $\text{Cl}_2$ 与Fe元素反应、 $\text{FeCl}_2$ 与 $\text{O}_2$ 反应等过程，最终导致管子外表面的严重腐蚀。

(2) 建议使用单位将12Cr1MoVG材质的高温过热器管更换为带有出厂异种钢焊口的12Cr1MoVG+TP347的过热器管，以增强高温过热器的耐腐蚀性。

#### 参考文献：

- [1] 朱霖.《锅炉安全技术监察规程》执行问题浅析[J]. 中国特种设备安全, 2019( 3) : 32-34.
- [2] 刘 博,陈晓平,梁 财,等. 生物质直燃锅炉过热器管材的高温腐蚀动力学特性[J].东南大学学报( 自然科学版), 2018( 1) : 78-84.
- [3] 张宏亮,李宇春,王伟,等.生物质电厂 3 种管材的耐腐蚀研究及爆管分析[J].热能动力工程, 2016( 11) : 101-111.
- [4] Vassilev S V, Baxter D, Andersen L K, et al. An overview of the chemical composition of biomass [J]. Fuel, 2010, 89( 5) : 913-933.
- [5] Aho M, Paakinen K, Taipale R. Quality of deposits during grate combustion of corn stover and wood chip blends[J]. Fuel, 2013( 104) : 476-487.
- [6] 印佳敏,吴占松.12Cr1MoVG 在生物质锅炉过热器气相条件下的腐蚀特性[J].电站系统工程, 2008( 6) : 41-44.

原文地址：<http://www.china-nengyuan.com/tech/174124.html>