生物质锅炉受热面沉积物的热分析研究

马启磊[1]，谢红[2]

（1.国电科学技术研究院，江苏南京 210018；2.安徽省电力科学研究院，安徽合肥 230601）

摘要：对某生物质直燃发电炉排炉的炉内腐蚀情况进行分析，利用XRD对炉排渣块、过热器沉积焦成分进行了定量分析，利用高温热天平对其进行深入的热反应动力学研究。试验结果表明：渣块的形成是因为物料堆积造成生物质燃料长时间缺氧燃烧热解，成分主要是未燃尽碳。过热器沉积焦的形成是因为生物质燃烧过程中碱金属及碱土金属的沉降凝结，遇高温可再次析出。

0引言

近年来，生物质直燃发电锅炉蓬勃发展的同时带来了很多不同于传统燃煤锅炉的问题。根据国内外生物质锅炉运行的经验，全直燃生物质锅炉停炉对受热面沉积物进行清理的周期约为12个月。

木质生物质灰的硫分结渣指数约为0，碱酸比较高，硅铝比较低。有研究指出，这些特性决定了它的灰熔点会比较高并且即使在辐射换热面上的积灰也比较疏松。

草本生物质灰中的主要成分为Si和K，Ca和P的含量比木质生物质中的低，但是仍比煤灰的含量高。草本生物质的灰成分取决于植物种类、生长地域和土壤结构。常见生物质燃料一般收到基Cl含量超过0.5%。烟气中K、Cl的浓度偏高会加剧炉内受热面的高温腐蚀。

炉内高温下，燃料中的碱金属类易挥发物质与烟气、飞灰一起在受热面上凝结、粘附或者沉降。当烟气温度低于飞灰软化温度时，沉积物大多会形成一个界限较明显的坚硬壳，堆积以固态颗粒为主要形式。阎维平按照煤灰研究基本理论对11种生物质灰进行了分析研究，对比理论分析与实测生物质灰特性得出结论：适用于煤灰的硫分结渣指数、软化温度及铁钙比均不能正常反映生物质灰的相关特性；在草本类生物质灰的研究中发现，碱酸比、硅铝比和硅比判别方法与界限值有一定的适用性。木质类生物质燃料，则需要研究新的判别界限；在对碱性氧化物的研究中，该指数判别生物质结渣具有相对较高的可靠性，可以在判别不同产地生物质的结渣特性或不同生物质混合燃料的结渣特性时作为重要参考依据。

1锅炉受热面检查结果

锅炉为130t/h，中温中压振动炉排炉，燃料以皖北地区麦秸秆为主。投产13个月后检查发现：柔性管区域膜式水冷壁上存在大量黑色渣块，质地疏松，轻压可成粉末状；炉内中温过热器管壁上结焦现象严重，部分管壁已成“炸鸡腿”状。焦块质地坚硬致密，块状，呈土黄色。

2试验结果及分析

2.1灰成分分析

由中国科技大学理化试验中心对样品进行X衍射成分分析（XRD）。主要分析结果如表1所示。

表 1　XRD 分析结果
Table 1 Analysis result of XRD

元素	焦 mol 当量比/%	灰 mol 当量比/%
Si	16.160	3.360
Fe	7.770	2.030
Al	2.520	0.850
Ca	26.520	2.760
C	4.720	83.250
K	15.040	1.820
Mg	13.420	1.180
P	6.370	0.190
S	0.730	0.810
Na	1.420	0.000
Cl	2.990	0.970

分析认为，柔性管区域渣块的形成主要是因为落料口物料堆积造成的长时间缺氧燃烧，极度缺氧、不通风的环境下灰熔点下降明显且局部温度过高，造成物料缺氧热解烧结。

2.2热重试验分析

2.2.1焦块的热重分析

将焦块破碎并磨制成粉，利用德国耐弛公司STA409PC型热综合分析仪进行热解试验。纯氮气环境下，以25°C/min的速率升温。焦块热解TG-DTG曲线如图1所示。

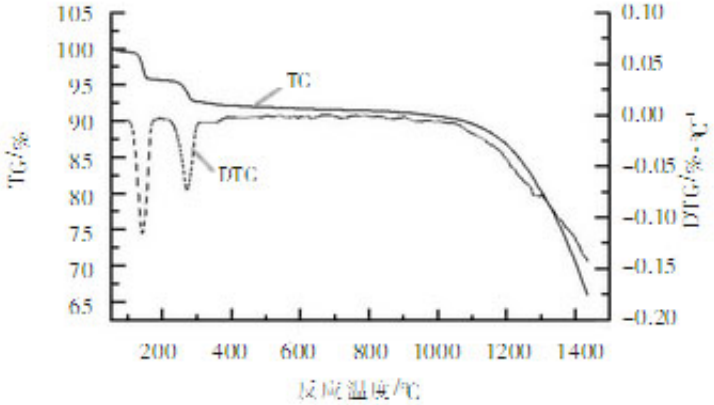

图 1　焦块热解 TG-DTG 曲线
Fig.1 TG-DTG curve of char pyrolysi

重复上述试验，升温到 1 450 ℃，并稳定 10 min，观察焦块在不同温度区段的物性变化及放热特性，试验结果见图 2。

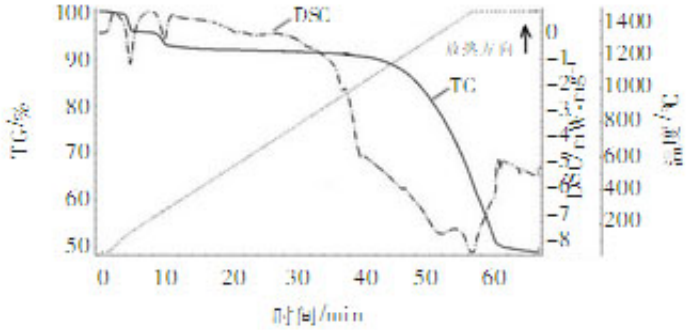

图 2　焦块热解 TG-DSC 曲线
Fig.2 TG-DSC curve of char pyrolysis

对比图1和图2可知，重复性试验的TG曲线吻合性很好。

从TG曲线可以看出，样品在30~1400°C过程中存在3次明显的失重过程，对应有3次明显的吸热峰出现。第一个失重过程发生在150°C左右，为残留水分的蒸发（电厂对炉内受热面进行过水冲洗），伴随有吸热现象；第二次明显失重发生在230~300°C，为部分低温共晶体的挥发，伴随吸热现象。上述两个过程总失重率小于10%，吸热量均不大。在温度为300~1000°C时，样品质量稳定，总失重率约为2%，说明该区间样品物性稳定。在该区间，温度低于750°C时，样品仅少量吸热，此时应为吸热升温阶段；在温度为750~1000°C，样品存在明显的吸热，但质量变化不明显，此过程焦块性状改变，部分组分发生化学反应或熔融，少数挥发物析出；当温度大于1100°C后，样品快速失重，在1450°C维持10min后，焦块质量不再减少。样品总失重率达50%，在温度为1200~1450°C时，样品有明显的吸热峰出现，碱金属共晶体或其他化合物挥发或升华，样品物性发生改变，呈熔融状态。

2.2.2渣块的热重分析

在同样的试验条件下，将保护气氛改为12%氧气，对柔性管处取得的渣块进行了热重分析试验，试验结果如图3所示。

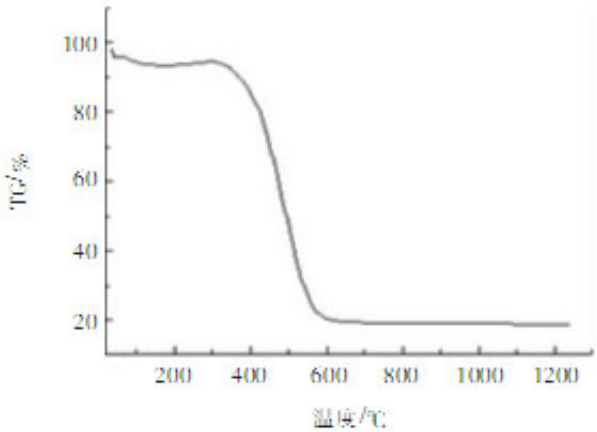

图 3　渣块的 TG 曲线

Fig.3 TG curves of cinder

渣块在有氧环境下加热，失重率超过80%，燃点温度为372℃。由此推测，该渣块主要成分为碳。由于柔性管处为炉排进料口下方，锅炉正常运行时大量生物质燃料堆积此处，形成深度缺氧区域。渣块应该是生物质燃料在高温缺氧环境下经过热解，析出大量挥发分及部分碱金属后所形成的焦炭沉积物。因为挥发分和可挥发碱金属的大量析出，沉积物呈多孔疏松结构。

3调整试验及效果

2010年3月及4月，电厂分别对1号锅炉和2号锅炉进行了大修，清理了炉内受热面沉积物，大量更换了管式空预器受热面积，其中1号锅炉更换率为67%，2号炉更换率为63%。

同时，因为原锅炉飞灰带大量火星，布袋除尘系统损坏严重，对除尘布袋也进行了整体更换。大修结束后由电科院进行了空预器漏风率测试，测试结果表明，新更换的空预器运行效果良好（1号炉漏风率为3%，2号炉漏风率为4.2%），飞灰含碳量依然偏高，空预器入口依然带火星。针对锅炉情况进行了如下调整。

首先，更改炉排振动周期及持续时间。更改后振动周期为原周期的80%，持续时间增加15s。

其次，因锅炉已经点火，无法在炉膛内部进行底部漏风整改，所以只能在炉底外侧对炉排四周间隙进行。同时，大修期间电厂对炉排排渣系统进行了漏风整改，大大降低了排渣系统漏风。对空预器进口氧量测点进行校验，并移动测点位置至代表点处；对蒸汽吹灰系统进行整体大修，保证了大修后蒸汽吹灰系统的正常投用。

最后，加强料场管理，减少入炉燃料的土灰含量。

以上整改取得了明显的效果，送风机出力明显增加，修正后锅炉排烟温度下降约12℃，飞灰带火星情况已经彻底消失。2011年9月，锅炉正常运行14个月后对锅炉再次进行检查分析发现：锅炉最大连续蒸发量提高约15t/h；柔性管处沉积物与大修前相比变化不大。中温再热器受热面高温段已无“炸鸡腿状”沉积段存在，受热面表面依然有一层黄褐色沉积物，但厚度已明显降低。低温再热器段沉积物变化不明显，新添加的蒸汽吹灰区域沉积量明显少于其它区域。空预器检查发现，高温段已无明显沉积及锈蚀情况出现；试验人员用手进行触感检查已能明显感觉到空预器管壁上的螺纹刻线，空预器低温段依然存在较明显的腐蚀现象。停炉前的空预器漏风试验表明，两炉空预器漏风率分别达到13%和17%。本次停炉空预器管材更换率分别为27%和30%。

4结语

在生物质直燃锅炉受热面腐蚀问题的研究中，沉积与腐蚀是不可分离的两个过程。直接在金属表面发生的气相腐蚀极少出现，部分出现的都是表面沉积而造成的沉积物对金属材料的碱金属腐蚀。

烟气中的碱金属从生物质燃料而来，氯元素对碱金属的析出有催化作用。在碱金属及氯、硫元素的共同作用下，不断腐蚀金属壁面，而氯元素的催化搬运作用，加速氧化腐蚀。

在该炉过热器各级受热面的检查发现，管壁上沉积物堆积严重，已严重影响炉内换热效果，排烟温度过高，但是金

属壁面无明显腐蚀坑出现。说明过厚的沉积物隔绝了金属壁面与高温烟气中腐蚀性气体及碱金属的直接接触，起到了一定的保护作用，但随着运行时间的增加，由沉积物与壁面之间发生的接触性腐蚀不可避免。

过量空气系数过大，造成烟气携带能力增强，燃料燃烧不完全，飞灰带火星。增加布袋除尘器负荷，影响除尘效果。

通过大修整改及燃烧调整，锅炉经济性及运行安全性都得到了极大的改善。但是威胁运行安全的根本因素依然存在。燃料中具有腐蚀特性的碱金属成分的析出与沉积无法避免，从生产实用的角度而言，主要精力应集中在如何防止其在危险段沉积以及采用合适的方法对沉积物进行在线清灰，避免沉积物生长过快。以期提高锅炉运行的经济性、安全性，并能有效提高锅炉蒸发量及蒸汽品质。

原文地址：http://www.china-nengyuan.com/tech/93983.html