干熄焦锅炉过热器失效机理分析及防漏实践

金纯祥[1,2],陈伟鹏[1],唐丽莉[2]

(1. 内蒙古科技大学能源与环境学院,内蒙古 包头 014010;
2. 内蒙古包钢钢联股份有限公司焦化厂,内蒙古 包头 014010)

摘 要: 干熄焦余热锅炉承压部件的安全运行对整个干熄焦的安全生产至关重要。过热器位于余热锅炉入口部位,最先受到高温循环气体的冲刷、磨损,是最容易发生泄漏的部位。文章结合包钢干熄焦实际,分析了过热器爆管泄漏的机理、原因及实际采取的一些对策,以求对锅炉过热器设备的完好运行有所裨益。

关键词: 干熄焦; 余热锅炉; 过热器; 爆管

中图分类号: TQ520.5 **文献标识码:** B **文章编号:** 1009-5438(2017)01-0005-03

DOI:10.13647/j.cnki.btgkj.2017.01.002

Failure Mechanism Analysis and Leak Proof Practice for Superheater of CDQ Boiler

JIN Chun-xiang[1,2], *CHEN Wei-peng*[1], *TANG Li-li*[2]

(1. *School of Energy and Environment, Inner Mongolia University of Science and Technology, Baotou* 014010, *Nei Monggol, China*;
2. *Coking Plant of Steel Union Co. Ltd. of Baotou Steel (Group) Corp., Baotou* 014010, *Nei Monggol, China*)

Abstract: The safe operation for pressure-bearing parts of waste heat recovery boiler is essential to the safe production of CDQ. Located in the waste heat boiler inlet, superheater is the most prone to leakage since it is the first to be eroded and worn by the high temperature recycle gas. In this paper, combined with the actual production of CDQ in Baotou Steel, analyzed the mechanism, reasons and practical measures of superheater tube burst to facilitate the superheater equipment to run well.

Key words: CDQ; waste heat recovery boiler; superheater; tube burst

干熄焦余热锅炉作为干熄焦装置的重要组成设备,它的稳定运行是确保干熄焦装置稳产顺行的关键。据统计,包钢焦化厂干熄焦余热锅炉事故主要是锅炉承压部件泄漏事故,而过热器管束的泄漏约占锅炉承压部件泄漏事故的56%以上. 每次锅炉承压部件泄漏需停产检修4~7 d,给干熄焦生产带来巨大损失。因此迫切需要大幅度降低锅炉泄漏次数,尤其是降低过热器泄漏次数。包钢干熄焦余热锅炉型号有QC177/980-74.4-4.42/450、额定蒸发量74.4 t/h,Q177/960-74-4.34/450、额定蒸发量74 t/h两种,露天悬挂布置,过热器由一级过热器、二级过热器两部分组成,两级过热器管束用Φ38 mm×4 mm的12Cr1MoV钢管组成。减温水采用给水直接喷入。

1 干熄焦余热锅炉工作原理

1.1 干熄焦锅炉工艺流程

干熄焦余热锅炉是干熄焦系统的重要组成部

收稿日期: 2016-10-18

作者简介: 金纯祥(1985-),男,河北省承德市人,在读硕士,工程师,现从事干熄焦相关设备管理维护与生产操作。

中国知网 https://www.cnki.net

分，循环气体在干熄炉与红焦直接进行热交换，吸收了红焦的显热后经一次除尘器除去粗颗粒焦粉后进入锅炉，与除盐水进行间接热交换产生高品质蒸汽，降温后的循环气体经二次除尘器除去细颗粒焦粉后，再由循环风机送入干熄炉继续循环冷却红焦。

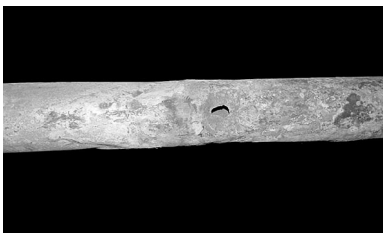
1.2 锅炉本体汽水系统流程

锅炉给水由锅炉给水泵升压后向锅炉上水，经省煤器预热后进入汽包。在汽包处，炉水循环可分为两部分：一部分是自然循环，即汽包炉水经水冷壁下降管进入膜式水冷壁，炉水吸热汽化成汽水混合物经膜式水冷壁上升管返回汽包；另一部分是强制循环，即由强制循环泵从汽包底部抽水送入鳍片管蒸发器与光管蒸发器，炉水汽化成汽水混合物经蒸发器上升管返回汽包。此两部分产生的汽水混合物在汽包内进行汽水分离，饱和蒸汽由汽包上部导出，进入一次过热器升温后，再经喷水减温器降温进入二次过热器继续升温，从二次过热器引出的蒸汽及为主蒸汽。

2 干熄焦余热锅炉过热器失效机理分析

2.1 过热器爆管的直接原因

高温循环气体的磨损是过热器爆管的直接原因，图1、图2、图3是过热器爆管最典型的爆破口。从图中可以看到几乎所有的爆破口都存在明显磨损的痕迹，破口附近壁厚减薄，且破口面与烟气来流方向呈45°夹角。这是焦粉和受热面间的不断冲击及不断剪切同时作用的结果。影响磨损最重要的因素是烟气速度和焦粉浓度。



1 二次过热器吊挂管爆破口



图2 过热器导流板处爆破口



图3 二次过热器靠近吊挂管处爆破口

2.1.1 过热器管束受循环气体冲刷磨损

磨损和循环气体流速的3次方成正比，因此速度影响很大。因离心力的作用，过热器的顶部、中部及底部，是烟气流速特高区，加之炉膛烟气残余旋转带来的影响，形成了局部烟气走廊，有时可比平均流速大3～4倍，这样磨损就要大几十倍，从而导致磨损问题变得十分突出。从爆管统计上看，正是这些位置上的管子发生了明显磨损。

2.1.2 循环气体中夹杂的焦粉对过热器的磨损

磨损的根源是循环气体中夹杂的焦粉，它来自干熄炉中焦炭中的细小焦粉。尤其是当一次除尘器挡墙损坏或一次除尘器内部积灰不能及时排出时，循环气体中夹杂的焦粉浓度会大大增加，且灰粒具有和烟气同样的流速，于是引起了强烈的磨损。

2.1.3 焦炭二次燃烧带来的烧损

焦炭二次燃烧带来过热器的烧损。运行中的锅炉工况受外界影响很大，当循环系统中导入空气时，焦粉会在过热器区域发生二次燃烧。根据干熄焦大中修对余热锅炉检查，不少过热器管上结有焦渣，除去焦渣后局部有烧蚀的痕迹。烧损与磨损的双重作用，无疑使过热器工作条件恶化，增加了爆管的可能性。

2.2 过热器爆管的间接原因

长期超温过热是导致过热器爆管的间接原因，通过对包钢干熄焦余热锅炉近几年来过热器爆破口的观察，未发现明显的胀粗或鼓包，这表明不是短期过热所致。相反，这些破口具有某些长期过热爆管的特征，如胀粗不严重，破口不大，断面粗糙等。事实上，干熄焦余热锅炉在实际运行中由于导入空气量偏多、减温水调整不及时等原因导致主蒸汽温度偏高问题，这无疑增添了爆管的风险。在锅炉受热面中，过热器的工作条件最差，根据设计，二级过热器的入口烟气温度是850～950 ℃左右，由于过热蒸

中国知网 https://www.cnki.net

汽的传热性能较差，因而二级过热器管经常处在钢材耐热极限温度条件下工作，当管壁温度超过550 ℃时，其蠕变极限和持久强度将显著降低。过热器局部超温原因有分析如下。

2.2.1　过热器管排存在的热偏差

对流烟道的热负荷分布是不均匀的，烟道中部的热负荷往往是烟道两侧热负荷的 1.8 倍，这使得部分管排受热过于集中。一旦实际运行的管壁温度超过钢材的耐热极限温度和高温氧化温度，必将引起管子蠕变爆管和氧化腐蚀。

2.2.2　余热锅炉过热器管壁积灰

干熄焦余热锅炉过热器处长期以来无吹灰设备，不能及时清除管壁积灰积渣。只有在干熄焦装置年修时才能以人工方式对过热器管壁积灰进行清理，而年修周期一般在 1.5 年左右，导致积灰清理周期较长。

2.2.3　锅炉负荷波动的影响

锅炉蒸汽侧的变化往往敏捷于烟气侧，而循环系统循环风量的调整及排焦量的调整总是滞后的。负荷降低过快时，过热器管排蒸汽流量分配不均匀，部分管排蒸汽流速突然降低甚至发生停滞，造成瞬间管壁的过热。超负荷运行的影响更为严重，一方面蒸汽流速加快，管内冲刷剧烈，另一方面烟温提高幅度更大，过热器管因得不到及时冷却而超温。

2.2.4　干熄焦循环系统泄漏

干熄焦循环系统泄漏尤其是负压区泄漏等也是超温的重要原因。

2.3　过热器爆管其它原因

过热器爆管还与外壁腐蚀及停炉腐蚀有关，检查爆破的管子内部，都没有发现白色粉状沉积物，表明过热器处蒸汽品质正常。但管子外部，都有被腐蚀的深色痕迹。其原因在于管子上存在有结灰层，这些结灰层中含有复合硫酸盐 $M_3Fe(SO_4)_3$。在高温作用下，液态的复合硫酸盐对过热器管子金属产生了强烈的腐蚀作用，其反应过程如下[1]：

$$2M_3Fe(SO_4)_3 + Fe \rightarrow 3M_2SO_4 + 3FeS + 6O_2$$

$$3FeS + 5O_2 \rightarrow 3SO_2 + Fe_3O_4$$

$$2SO_2 + O_2 \rightarrow 2SO_3$$

$$3M_2SO_4 + Fe_2O_3 + 3SO_3 \rightarrow 2M_3Fe(SO_4)_3$$

腐蚀的产物是 Fe_3O_4。液态 $M_3Fe(SO_4)_3$ 相当于腐蚀剂，在 O_2 供给的情况下，少量的腐蚀剂可以腐蚀大量的金属。

另外，过热器爆管后，影响邻近管内工质的正常流量，危及正常传热。喷到邻近管子上的蒸汽与高于 400 ℃的铁接触时，还将产生下列反应：

$$4H_2O + 3Fe \rightarrow Fe_3O_4 + 4H_2$$

其产生的氢原子，如果不能很快被蒸汽流带走，则会造成氢致脆裂。因此为避免蒸汽吹刷和腐蚀，以及事故扩大，爆管后的锅炉应及早安排停炉检修。

此外，过热器爆管有时发生在二级过热器弯管处，这或许与停炉腐蚀有关。当干熄焦年修或大中修时，停炉后下弯头积水处常常发生严重腐蚀，不仅在短期内使金属表面遭到大面积破坏，而且加剧投入运行后的腐蚀。

3　干熄焦余热锅炉过热器防漏对策

3.1　对过热器迎风面加装保护套管

图 4 中利用干熄焦停炉机会，对干熄焦余热锅炉二次过热器上三层管束迎风面加装保护套管，保护套管用 3 mm 厚不锈钢管切割制作并用管卡子固定，可有效防止二次过热器管束受循环气体的冲刷磨损而导致的爆管，且对锅炉负荷影响不大。



图 4　二次过热器上三层迎风面加装保护套管

3.2　对二次过热器管子进行耐磨喷涂

对二次过热器上部两排管子进行耐磨喷镀，喷涂材料为 Meteco16C 相当材料，厚 0.3 ~ 0.5 mm。

3.3　气流转弯或气流偏析处的防磨措施

气流转弯或容易造成气流偏析处采取特殊的防磨措施，以防止气流对管或支撑件等的局部磨损。如锅炉入口处吊挂管由于受焦粉的冲击，用不锈钢护罩保护，防止磨损，不锈钢护罩为防止在连接部产生间隙而采用插入式，另外，采用两半式结构，用可分开的焊接方式，以便定期检查等的维修保养。

3.4　注重工艺参数控制

(1) 尊重锅炉内在的运行规律，严格按操作标准作业，确保正常的运行参数。特别是要避免超负荷。

(下转第 22 页)

中国知网　https://www.cnki.net

变为“强化中心、抑制边缘”的 $O_{4443}^{1098765}$ 以保证中心气流，维持顺行，加重边缘负荷抑制管道频发的现象；在保护砖掉落干净后尤其是炉腹、炉腰区域的热负荷也开始不断活跃、上升，象征着操作炉型的初步成型，此时炉腰直径将由开炉时期的 15 600 mm 扩大至 16 288 mm，炉腹角缩小至 76.938°左右，高径比也将由设计炉型的 2.04 降低至 1.95 左右的水平，此时炉腰直径的扩大导致炉腰处焦炭层厚度将比开炉时期的 200 mm 左右极限厚度要薄，这将使焦窗部位气体通过性降低，故将制度调整为 $O_{33332}^{1098765}$ 调轻边缘焦炭负荷兼稍压制中心以保证边缘气流的适度敞开保证炉况顺行。

4 结论

(1) 设计炉型向操作炉型的转变是此次气流分布失常的主要原因。

(2) 频繁调整混匀料配比，自产矿的大量入炉也给炉况的顺行增添了不稳定因素。

(3) 休减风过多也给炉况调整、恢复增加了困难。

(4) 通过加强原燃料质量监管、加大关键设备保障力度、增强高炉精细化管理水平不断增强高炉适应性、稳定性。

参 考 文 献

[1] 周传典. 高炉炼铁生产技术手册 [M]. 北京：冶金工业出版社，2002.

[2] 朱仁良. 宝钢大型高炉操作与管理 [M]. 北京：冶金工业出版社，2015.

(上接第7页)

(2) 要按设计要求，满足锅炉运行条件。如提高在线监测、氧量计的准确性，严格控制锅炉水质波动问题，加强对 Ca^{2+}、Mg^{2+} 的检测力度。

3.5 加强各个环节的防范

(1) 保证二级减温器喷水装置的正常运行，根据情况每隔 3～6 年，打开二级减温联箱的堵头，用内窥境观察内壁套筒，是否有裂纹以及套筒是否脱落，能否保证正常运行，发现有问题及时处理。

(2) 在检修过程中，搞好过热器的防爆检验工作，如对管材做金相分析，取样化验内外壁腐蚀成分等。

(3) 检查高温区管的氧化皮厚度情况，当氧化皮厚超标时，及时换管。

(4) 做直管段胀粗测量，合金管不大于 2.5%，低碳钢管不大于 3.5% [2]。

(5) 检查管的表面是否有微裂纹，有裂纹时更换。

(6) 检查过热器迎风面高温腐蚀情况，发现有严重腐蚀坑部位，打磨测厚，当厚度不能满足强度要求时，更换管子。

(7) 做好过热器管的寿命预测。每隔 5 年左右，对靠近余热锅炉入口处的过热器最上排迎风面管束进行割管鉴定，进行金相组织分析和机械性能试验。当发现珠光体球化严重(4～5 级)，机械性能试验低于标准要求时，制定更换计划。

(8) 做好记录整理和档案管理，研究过热器管的损坏规律。

4 结束语

本文对包钢干熄焦余热锅炉过热器的使用状况详细深入分析，归纳总结了其失效模式与机理。通过对过热器迎风面加装保护套管，对过热器管子进行耐磨喷涂，在气流转弯或气流偏析处加装防磨装置，注重工艺参数控制等措施，有效防止了余热锅炉过热器的泄漏。其相应做法可推广到同行业当中。

参 考 文 献

[1] 叶江明. 电厂锅炉原理与设备(第二版) [M]. 北京：中国电力出版社，2007.

[2] 武俊峰. 锅炉过热器爆管原因分析及对策 [J]. 河北电力技术，2003，22(4)：26－28.

中国知网 https://www.cnki.net