

40 t/h 燃气锅炉过热器爆管原因分析

范卫东¹, 洪梅², 章明川

(1. 上海交通大学 机械与动力工程学院, 上海 200240; 2. 上海锅炉有限公司, 上海 200240)

摘要: 针对一台燃气工业锅炉出现的低温级过热器爆管问题, 从设计、过热器结构、布置等诸方面分析了引起爆管的原因, 并提出了解决爆管的措施。

关键词: 工业锅炉; 过热器; 爆管

中图分类号: TK229.8 文献标识码: B

1 前言

过热器超温爆管现象是锅炉运行中最常见的事故之一, 严重影响到锅炉的安全经济运行。本文针对某厂一台燃气锅炉过热器爆管现象进行分析, 找到了引起爆管的原因, 并提出了改造该炉的方案, 基本可根除爆管事故的再次发生。

2 锅炉概况

该锅炉为意大利 1994 年设计制造的中参数燃油双汽包锅炉, 自然循环。汽水流程如图 1 所示。

锅炉主要设计数据如下: 锅炉最大连续蒸发量 (MCR): 40 t/h; 过热蒸汽温度: 380 °C; 过热蒸汽压力: 4.2 MPa; 给水温度: 150 °C; 锅炉效率 (MCR): 87%; 锅炉控制负荷 (%MCR): 40%; 锅炉最小负荷 (%MCR): 20%。

该炉原设计燃料是重油, 用户现采用的燃料是高炉煤气, 成分随时间变化, 但变化幅度较小。表 1 是某时燃气的主要成分。

表 1 燃气成分

气体名称	CH ₄	H ₂	C ₂ H ₆	C ₂ H ₄	C ₃ H ₈	C ₃ H ₆	O ₂	N ₂	其它气体
体积百分比/%	38.53	32	0.78	0.64	0.108	0.377	1.01	5.5	1.055

该炉炉型及各受热面布置位置如图 2 所示。沿炉膛前墙高度方向布置两只燃气燃烧器, 炉膛及对流烟道四壁都布置了膜式壁以减轻炉墙重量, 两级过热器布置在炉膛出口的烟道中, 每级过热器都有

三个蒸汽流程串联布置, 来自汽包的饱和蒸汽先进入低温级过热器, 在此吸热引出后经喷水减温再进入高温级过热器, 吸热达到合格蒸汽。对流管束布置在尾部烟道中, 其上下管端与上下汽包连接, 上下汽包沿尾部烟道轴向方向布置。

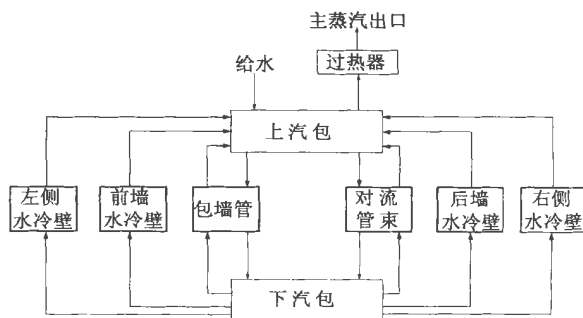


图 1 汽水循环流程图

3 过热器的过热爆管情况及原因分析

该炉投运后其低温级对流过热器就频繁发生爆管事故, 爆管部位见图 2 所示。爆管只发生在该级过热器靠左侧最外排或紧邻的管屏上, 主要是左侧最外排管屏, 且具体爆管位置在该管屏外圈管朝向炉膛一侧并接近蒸汽出口, 见图 3 所示。管屏与对流烟道轴线(即烟气流向)垂直, 图中管屏左侧紧邻炉膛, 右侧集箱在炉外, 管屏中用虚线表示的管朝向炉膛侧即为易爆裂部位。从对爆管管样的分析结果看, 导致其爆管的主要原因是超温过热引起的失效。下面从几方面分析爆管产生的原因, 以便提出合理的改进方案。

(1) 本台锅炉在设计时为考虑该炉能在较宽负荷下进行, 选用了较低的负荷(40%)作为临界喷水减温负荷, 亦即锅炉在该负荷以上运行时过热蒸汽的温度均能达到额定温度 380 °C。该炉采用两级过

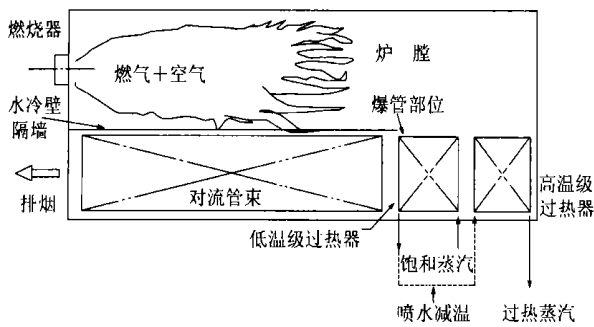


图2 炉型及受热面布置情况

热器,两级过热器间进行一级喷水减温(故对低温级过热器没保护作用),见图2,为达到宽负荷运行要求,两级过热器的受热面积必然较大,这势必导致满负荷下低温级过热器中蒸汽温升较大(该级过热器温升随负荷增大而增大,满负荷时达最大,而高温级过热器中蒸汽温升在临界负荷以上时是不随负荷变化的),其受热面管的工作条件就会很恶劣,尤其是该级过热器最后流程中的末级管屏的受热面管,且离该级过热器出口越近或离减温点越近的管段过热趋势最严重(因为温升最大)。图4和图5表示两级过热器出口蒸汽温度随负荷变化关系以及减温水量投用量关系,两图直观地阐明了这些分析情况。实际上本台锅炉并不是处于负荷较低状况下运行,而是长期在满负荷下运行,不考虑其它爆管因素的影响单从此方面分析可知,低温级过热器的末级管屏的受热面管爆管的可能性增大了,实际的爆管部位也正是离该级过热器出口越近或离减温点越近的管段,见图3。

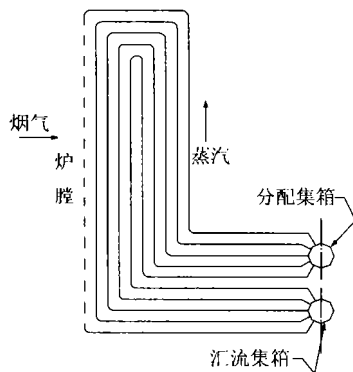


图3 过热器管屏爆管位置示意图

(2) 从两级过热器的布置位置来看,都在炉膛出口,见图2。若假设炉膛出口流场和烟温分布较均匀,则两级过热器面临的烟气侧传热条件是相同的,但它们的材料却不同,低温级过热器管壁材料选用的是与炉膛水冷壁管相同的耐热较低等的C14 UNI5462-64,许用壁温 ≤ 371 °C。本文按前苏联热力计算标准计算其壁温为364 °C,低于许用壁温

7 °C,裕度较低。实际上前苏联热力计算标准计算的壁温是较粗糙的,在计算上作了较多简化,许多影响因素并没精确考虑(如流量偏差、烟温分布、受热条件、管段吸热不均等)^[1],计算壁温往往要比实际壁温低^[2]。因此,壁温计算裕度不大也增加了该级过热器爆管的可能性。

图4 高温和低温过热器出口汽温与运行负荷关系曲线

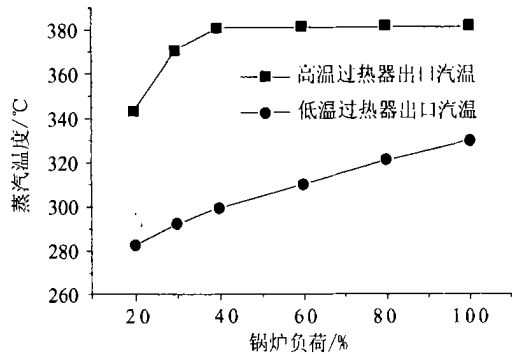


图4 高温和低温过热器出口汽温与运行负荷关系曲线

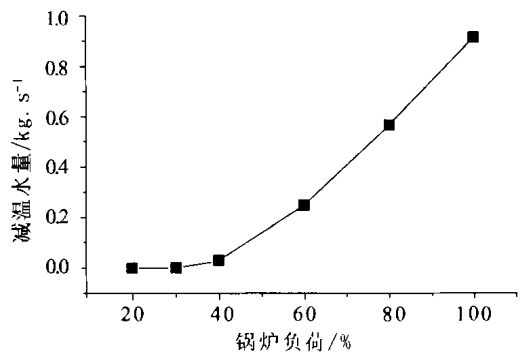


图5 减温水量与运行负荷关系曲线

(3) 除了受热条件较恶劣外,低温过热器的末级管屏在末级流程(由四个管屏组成)的流量分配上也处于最不利地位,因为此流程在流量分配上属“Z”型布置。而从末级管屏中受热管布置来看,最外侧管又处于流量分配最不利地位,见图3,该管中流量会偏小,这会导致对该管壁冷却不好而易发生爆管。

(4) 由于本锅炉采用高炉煤气,非设计燃料,锅炉运行时炉膛水冷壁和尾部受热面的吸热量会发生相对变化,这可从炉膛出口烟温来判断。因现在使用的高炉煤气与设计燃料燃烧后产生的烟气辐射特性相比较弱,现在的炉膛出口烟温要比原设计高出近80 °C,达1100 °C(来自热力计算),两级过热器的

工作条件更恶劣。为更详细分析低温级过热器过热情况,图6给出了燃烧器所在的锅炉横截面烟温分布情况。烟温分布是根据编制的三维气体燃烧程序由实际燃烧边界条件计算得到,气相流动采用标准 $k-\epsilon$ 模型,气相燃烧采用多组快速扩散模型(边界条件中各组分气体质量分数按表1数据和实际燃料消耗量计算得到),炉内辐射采用离散坐标法模型。如图6所示,燃烧器出口火焰较长,快达到了炉膛出口,结果炉膛出口的烟温较高,所关心的爆管位置烟温为1299 K左右,虽然高温级过热器所在位置烟温达1390 K,但由于其采用的钢材许用温度较高,且减温器的保护作用,使低温级过热器中工作条件最差的管段较易爆管。

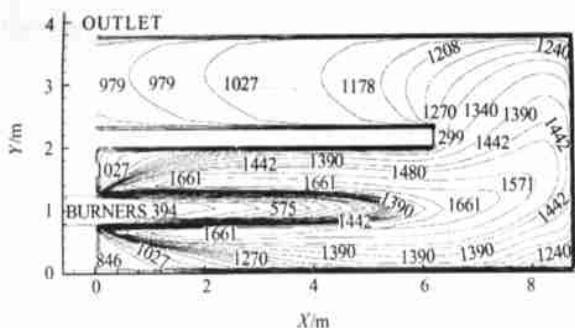


图6 满负荷下燃烧器所在的炉膛截面的烟气温度分布(单位为K)

4 解决过热器爆管的对策

根据以上爆管原因的分析提出一些实用的解决措施:

(1) 由于本锅炉长期在满负荷下运行,基本不在60%以下的负荷情况运行,可提高临界减温喷水的负荷,即减小低温级过热器的受热面积。如把该级过热器的末级流程的管屏去掉,这样可达到降低蒸汽温升的目的,其实际壁温会下降利于减少爆管的可能性。表2给出了100%、60%、50%三个负荷下两级过热器出口汽温和减温水量随负荷的变化关系。从表中数据可见,临界减温负荷为50%,比原设计高出10%,增加幅度较小,是可行的(50%以上时都能达到额定汽温380℃)。特别在满负荷下低温级过热器出口汽温为304.1℃,比原设计(320℃)降低约16℃,利于爆管可能性的降低。当然根据实际长期运行负荷的需要,还可进一步减少低温级过热器的受热管屏来降低该级中蒸汽的温升以此来更大程度减少爆管的可能性,而相应的减温临界负荷

也会上升。总之这是一个可采用的实用方法。

表2 两级过热器出口汽温和减温水量随负荷的变化关系

负荷/%	100	60	50
高温过热器出口汽温/℃	380	380	380
低温过热器出口汽温/℃	304.1	292.7	288.7
减温水量/kg·s ⁻¹	0.617	0.110	0.1

(2) 若临界减温负荷不宜变动时,可采用多点减温的方法,即在低温级过热器中间流程上设一喷水减温点,两级过热器间的喷水减温水量分流一部分到此,使喷水减温点后的低温级过热器的受热管屏汽温降低来减小壁温防止爆管。此外,也可提高材质耐热等级,更换低温级过热器末级流程中的末级管屏的管材为更好,如12Cr1MoV。

(3) 也可单纯从炉膛结构上作一些探索,改变一下炉膛结构使烟气侧换热条件改变,尤其是爆管位置。如图7所示是炉膛出口宽度减小一半后烟温分布情况,在实际改造中可延长水冷隔墙,这正好可把低温级过热器与炉膛隔开,爆管部位的烟温为1089 K,比原结构减少了近200℃,而实际的减少程度更大,因为该计算并没放入过热器等受热面,对流烟道的温降仅是壁面包墙管辐射吸热引起的,实际温降会更大。这样原来的爆管部位会处于烟温较低且更安全的情况;而对于高温级过热器,烟温条件基本没变,即使吸热量加大了(它所在的炉膛出口的烟速增大,对流传热会加强),也可通过增大喷水减温量控制汽温保证壁温不增大,因此,对高温级过热器不会带来工作条件恶化。

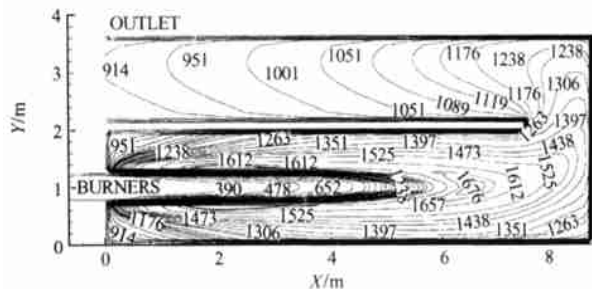


图7 改进后满负荷下燃烧器所在的炉膛截面的烟气温度分布(单位为K)

5 结论

本文针对某厂一台燃气锅炉低温级过热器出口局部管段爆管现象进行了深入分析,认为采用较低的负荷(40%)作为临界喷水减温负荷以及喷水减温

锅炉多管除尘器改进

刘保军, 王铁雁

(哈尔滨红旗锅炉厂, 黑龙江 哈尔滨 150080)

摘要:介绍了高效多管除尘器在环保方面的意义和冬季采暖 1~75 t 锅炉运行中所起的作用, 论叙除尘器的改造情况, 以及除尘效果比较。

关键词:多管除尘器; 旋风子; 沿程阻力; 负压作用

中图分类号: TK229.6 文献标识码: B

1 前言

烟囱冒黑烟现象的发生对大气环境污染已成为日益突出问题。例如一个 4 t 锅炉烟气排放量按每小时 1.6 万 m^3 计算, 那么全市按 200 个锅炉房计算, 每天燃烧 4 h 则废气排放为 128 万 m^3 , 若除尘不好, 严重危害人们的生存环境。究其原因, 是锅炉除尘不够彻底, 除尘效率不高所致, 因此有必要研究燃煤锅炉除尘问题。

2 多管除尘器原理剖析

燃煤锅炉中常用除尘效果较好的除尘器是多管除尘器, 多管除尘器又分为陶瓷型和铸铁型两种。这里只就铸铁多管除尘器加以研究。多管除尘器取代原来牛角式旋风除尘器, 但从原理上而言, 仍是一种旋风除尘器, 它是利用离心力分离烟尘, 将含有烟

尘的气体在负压作用下吸入旋风子中, 然后呈高速螺旋运动, 烟尘在离心力作用下, 被甩向筒壁, 并在其自重作用下沿筒壁滑落灰斗中, 由落灰阀排出完成烟尘与气体分离。从下列公式可看出: $F = mv^2/r$ (式中 F —离心力, m —烟尘质量, v —烟尘在旋风子中运动的线速度, r —旋风子回转半径), 当流速 v 一定时, 离心力 F 与筒壁内半径 r 成反比关系, 即 r 越小, F 越大, 除尘效率越高。实验证明当 $2r = 210 \text{ mm}$ 左右效果最佳。

3 旋风子本身结构改进

根据多年锅炉运行情况, 逐步摸索将除尘器中旋风子结构作如下改进。

(1) 从单一旋风子结构改成左右两种对称结构形式。这样结构与原来相比, 结构更加紧凑, 降低进风阻力, 提高负压作

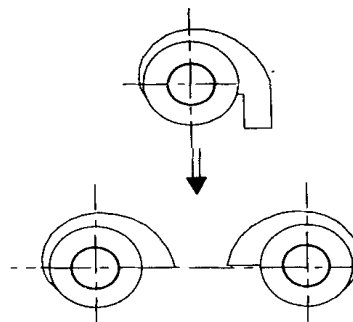


图 1

用(见图 1)。

收稿日期: 2001-12-18

作者简介: 刘保军(1967—), 男, 河北乐亭人, 哈尔滨红旗锅炉厂助理工程师。

对低级过热器未起保护作用, 是引起爆管的重要原因, 管材选用、蒸汽流程结构布置和燃料由油改变为高炉煤气使炉膛出口烟温升高对爆管产生的影响也是不可忽视的。根据这些原因提出了解决爆管的措施, 如减少低级过热器受热面积, 提高临界喷水减温负荷, 以此减少其中蒸汽的温升; 爆管局部管段可选用耐高温等级较高的材料; 炉膛出口宽度减小, 用延长的水冷壁隔墙遮挡来自炉膛的高温烟气对爆管部

位直接冲刷。这些措施基本可根除爆管事故的再次发生, 具体采用哪些措施可根据实际要求确定。

参考文献:

- [1] 郑昌浩. 电站锅炉对流过热器和再热器壁温数值计算方法的研
究[J]. 动力工程, 2000, 20(4): 730-734.
- [2] 袁益超. 大容量电站锅炉汽温问题及过热器与再热器超温爆管
原因的分析[J]. 动力工程, 1994, 14(6): 21-28.

(何静芳 编辑)

high-moisture fuels are burned, the heat quantity needed for water evaporation-related heat absorption is relatively great. In view of this, the latter should be taken into account in the thermal energy balance for the flue gases of a fluidized bed.

Key words: high moisture fuel, thermal energy balance equation, fluidized bed boiler

通道形面对PSR性能影响的分析= **An Analysis of the Effect of Plate Corrugation on the Performance of a Primary Surface Recuperator (PSR)** [刊, 汉] / ZHANG Zhi-jun, CHENG Hui-er (Power Engineering Institute under the Shanghai Jiaotong University, Shanghai, China, Post Code: 200030), WEN Xue-you, XIAO Dong-ming (Harbin No. 703 Research Institute, Harbin, China, Post Code: 150036) // Journal of Engineering for Thermal Energy & Power. — 2002, 17(6). — 638 ~ 640

With respect to an innovative type of compact heat exchanger, the so-called primary surface recuperator (PSR), newly emerging in the international arena, analyzed is the effect of plate corrugation formed respectively by elliptic, sinusoid and parabola curves on exchanger core performance. In connection with the design of a PSR sample unit used as the recuperator of a gas turbine the authors have given the main performance of three types of PSR core, based on three plate corrugation configurations. The superior performance of the PSR core can be demonstrated through its comparison with the core performance of plate-fin heat exchangers. **Key words:** primary surface recuperator, plate corrugation, core performance

国产UP直流炉水冷壁改造方案分析= **An Analysis of the Water Wall Modification Scheme for a Chinese-made Once-through Boiler** [刊, 汉] / TANG Ren-hu, HU Zhi-hong, CHEN Ting-kuan, et al (National Key Laboratory of Multi-phase Flows under the Xi'an Jiaotong University, Xi'an, China, Post Code: 710049) // Journal of Engineering for Thermal Energy & Power. — 2002, 17(6). — 641 ~ 643

A hydrodynamic analysis was conducted in connection with the modification scheme of a 300MW once-through boiler at Yaomeng Power Plant. On the basis of a comparison of the boiler water-wall negative and positive flow-rate response characteristics existing prior to and after the modification the authors noted the poor hydrodynamic characteristics of the furnace water-wall composed of vertical tube coils. An excessively high water-wall temperature and the big difference in metal and inter-tube fluid temperatures leading to tube explosion can mainly be attributed to the high mass flow speed and the resulting negative flow rate response characteristics. The above discovery may provide a helpful guide during the modification of analogous boilers. **Key words:** boiler water wall, negative-flow response characteristics, hydrodynamic calculation, mass flow rate, once-through boiler

40 t/h 燃气锅炉过热器爆管原因分析= **An Analysis of the Cause of a Superheater Tube Explosion Occurring in a 40 t/h Gas-fired Boiler** [刊, 汉] / FAN Wei-dong, ZHANG Ming-chuan (School of Mechanical & Power Engineering under the Shanghai Jiaotong University, Shanghai, China, Post Code: 200240), HONG Mei (Shanghai Boiler Co. Ltd., Shanghai, China, Post Code: 200240) // Journal of Engineering for Thermal Energy & Power. — 2002, 17(6). — 644 ~ 647

The tube explosion occurring in a low-temperature stage superheater of a gas-fired industrial boiler was analyzed from various aspects, such as boiler design, superheater structure and layout, etc. With the cause of explosion being identified some effective measures were proposed to solve the problem. **Key words:** industrial boiler, superheater, tube explosion

锅炉多管除尘器改进= **The Improvement of a Multi-tube Dust Separator for a Boiler** [刊, 汉] / LIU Bao-jun, WANG Tie-yan (Harbin Hongqi Boiler Works, Harbin, China, Post Code: 150080) // Journal of Engineering for Thermal Energy & Power. — 2002, 17(6). — 647 ~ 649

A high-efficiency multi-tube dust separator is described. After a modification its use on 1 - 75 t/h boilers for space heating during the winter has played a significant role in the protection of environment. **Key words:** multi-tube dust separator, cyclone, flow resistance, role of negative pressure