

# 某船主锅炉过热器管束爆管原因分析及解决措施

沈志刚, 李彦军, 马云翔, 张明昌

(哈尔滨\*第七〇三研究所, 黑龙江 哈尔滨 150036)

**摘要:** 针对某船主锅炉过热器管束的爆管问题, 对管束材料、过热器结构及系统运行等方面进行试验、计算及分析讨论, 明确了爆管产生的原因——过热器集箱隔板装置因运行操作不当, 突然承受大的压差而变形, 导致蒸汽短路而爆管。为此, 提出了解决措施, 消除了产生爆管的因素。

**关键词:** 过热器; 爆管; 隔板装置; 变形

中图分类号: U664; TK223.3<sup>+</sup> 文献标识码: A

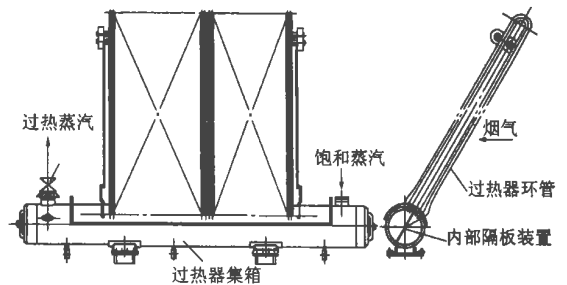


图1 过热器

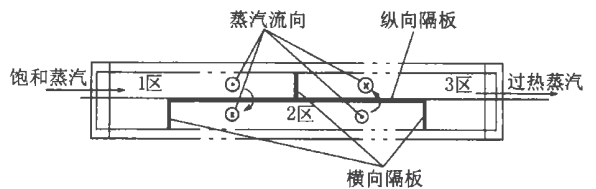


图2 过热器集箱内部隔板装置

## 1 前言

某船采用新型船用主锅炉, 由于装船前未进行必要的陆上试验, 交付使用后运行不到一年, 过热器管束先后发生4次爆管。本文对爆管原因进行分析讨论, 并提出了相应的解决措施。

## 2 锅炉概况

锅炉型式为立式水管单烟道自然循环燃油船用主锅炉, 具有内置式过热器和翅片管经济器。过热器结构为单集箱立式环管式, 见图1。集箱内部装有横向和纵向隔板, 将集箱内部分隔成三个空间, 见图2。蒸汽按两个流程(每个环管为一个流程)流动。饱和蒸汽进入过热器集箱的1区后, 由于内部隔板装置的阻隔, 蒸汽通过过热器环管进入第2区, 同样蒸汽通过环管又进入第3区, 再由过热蒸汽出口截止阀流向汽轮机。隔板与集箱间采用螺栓连接。过热器管束材质为1Cr19Ni11Nb, 最高使用温度为650℃。

过热器管束的4次爆管均发生于航行期间, 表现为主锅炉开始供汽时, 开启过热蒸汽出口截止阀后, 过热蒸汽出口温度较正常运行时低60℃~100℃, 继续运行随即发生爆管。此时, 锅炉额定过热蒸汽温度应为430℃±20℃。

## 3 取样试验分析

为分析过热器管束爆管原因, 取样进行了试验分析。

### 3.1 宏观观察

管沿纵向开裂, 爆口中间部分张口最大, 已全部张开, 为爆裂起始部位。爆口厚度在1.0~1.25mm之间, 与未裂管段的壁厚相比, 壁厚明显减薄, 是具有一定蠕变胀粗的脆性爆口。爆口附近存在着大量的与爆口平行的纵向裂纹, 同时又存在着更细的横向裂纹, 纵向裂纹较长, 横向裂纹被纵向裂纹所分割而短小。

### 3.2 化学分析和力学性能试验

在爆口附近截取试样, 分别进行化学分析和拉伸、压扁、扩口及硬度试验, 分析和试验结果均符合GB/T5310-1995要求。

### 3.3 金相分析

为了比较,从爆口附近截取金相试样,然后从未爆裂管上同样截取金相试样。观察金相组织,图3为爆口附近的金相组织,说明爆口附近出现了较多空洞,考虑到空洞数量较多以及过热器管的工作条件,这种空洞应为蠕变空洞。图4则是未爆裂且管径未胀粗的管段的金相组织,基本上未见图3那样的空洞。金相观察结果说明爆管内部发生了蠕变损伤,在爆口附近出现了较多的蠕变空洞,显然这种缺陷应与爆管有直接关系。

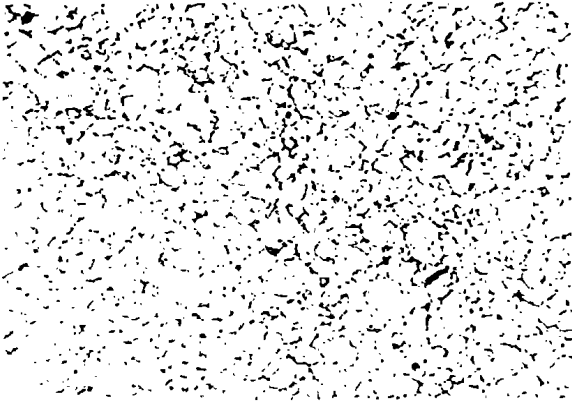


图3 爆口附近的金相组织(基体为奥氏体)( $\times 400$ )

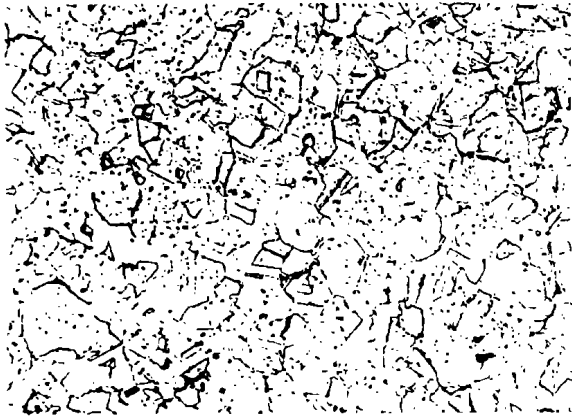


图4 未爆管金相组织(基体为奥氏体)( $\times 400$ )

#### 4 爆管原因分析及讨论

在工作状态下管子的环向应力导致纵向裂纹产生,轴向应力引起横向裂纹,由于前者的量值是后者的二倍,使得纵向裂纹先于横向裂纹而产生,这与爆口的宏观观察结果是一致的,说明爆口处裂纹是在工作应力作用下形成的。另外,金相观察说明爆管发生了明显的蠕变损伤,其特点是形成了大量沿晶界分布的蠕变空洞。显然,蠕变损伤是在钢管处于高温工作状态下过热而出现的。由此说明,爆口处裂纹的形成和扩展与蠕变空洞有着密切联系,过热器

器管的爆裂是由于管材过热发生蠕变而造成的。

每次发生爆管时,锅炉工作压力  $P$  均为 5.5 MPa 左右,钢管的平均直径  $D$  ( $= (D_n + D_w)/2$ ) 为 23 mm,壁厚  $t$  为 2 mm,则钢管受到的环向应力为:

$$\sigma = PD/2t = 31.6 \text{ MPa}$$

根据文献[1]介绍,该材料在  $740^\circ\text{C}$  下的持久极限  $\sigma_b = 31 \text{ MPa}$ ,只有在相当于或超过此条件时,管壁过热并受到应力  $\sigma = 31.6 \text{ MPa}$ ,过热器管子才能以蠕变方式产生胀粗现象。随着胀粗程度的加大,壁厚逐渐减薄,以致发生爆管。由此推断,管材在发生蠕变而胀粗时,管壁温度已达到  $740^\circ\text{C}$  以上。此分析与计算的启航期间过热器管束平均烟气温度  $797.5^\circ\text{C}$  相接近。

通过以上的观察、试验、分析及讨论,我们初步得出以下结论:

(1) 过热器管子材质基本符合 GB/T5310 技术要求;

(2) 造成多次爆管的原因是由于该管段壁温超过  $740^\circ\text{C}$ ,此时钢管受到的环向应力达到该温度下材料的蠕变极限而胀粗,从而导致爆管。

那么,究竟是什么原因导致管束壁温过高以致达到与烟气接近的温度呢?

从4次爆管所伴随发生的现象来看,每次均有程度不同的集箱内部隔板装置变形现象发生。隔板装置将过热器集箱分成3个空间,确保蒸汽沿规定的流程流动。一旦隔板装置脱落或变形,蒸汽则不再沿管束流动,而出现短路。这样势必造成流经过热器管束内的蒸汽量大为减少,导致管壁温度升高至  $740^\circ\text{C}$  以上而爆管。由于部分蒸汽短路,未按流程流过受热面管束,故过热蒸汽温度较正常运行时偏低,这就找出了每次爆管前过热蒸汽温度比正常运行时低  $60^\circ\text{C} \sim 100^\circ\text{C}$  的原因。

在寻找隔板变形原因时,从运行记录及实际操作过程中发现,当锅炉压力升至 4 MPa 及以上时,运行人员在 5~10 s 内将通径 DN150 的过热蒸汽出口截止阀打开。此时阀后背压仅有 1 MPa 表压左右,其前后压差已达到 3 MPa。按此操作方法,在开启过热蒸汽阀门的瞬间,3 区内的过热蒸汽迅速流经过热器集箱,压力急剧下降。同样在压力作用下,2 区内的蒸汽通过受热面管子迅速流向 3 区,管内流速急剧增加,流动阻力大幅度提高。此时,由于 1 区的蒸汽也同样加快流向 2 区,故 2 区的压力虽略有下降,但其变化幅度不大。由此造成 2 区与 3 区间

(下转第 422 页)

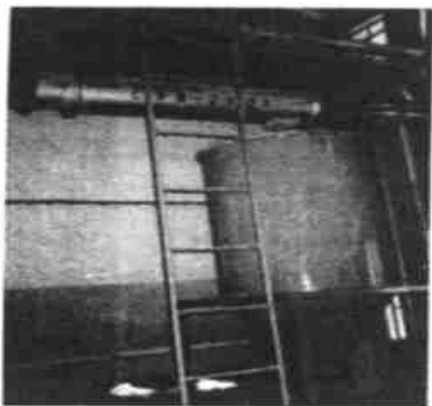


图 5 CRM-250A 环栅式动力除尘器在内蒙古乌兰浩特卷烟厂的应用实例

环栅式动力除尘器可广泛地应用于锅炉、烟草、水泥、电力、冶金、化工、粮食及木材加工等领域的除尘和物料回收。目前,环栅式动力除尘器已在烟厂和锅炉除尘方面

得到应用,并取得较好的除尘效果。例如:对乌兰

浩特卷烟厂卷接包车间 4 台/套 MK9-5 卷接机组除尘系统改造工程,采用了单级 CRM-250A 型环栅式动力除尘器(见图 5),除尘风量为  $2\ 800\ \text{m}^3/\text{h}$ ,压损为 710 Pa,除尘效率可达到 97%,满足了用户要求,并已经开始广泛地推广应用。

#### 参考文献:

- [1] 刘长和. 船用增压锅炉技术的新进展[J]. 热能动力工程, 1999 14(4): 241-245
- [2] 谭天佑, 梁凤珍. 工业通风除尘技术[M]. 北京: 中国建筑工业出版社, 1998.
- [3] 化工部热工设计技术中心站. 热能工程设计手册[M]. 北京: 化学工业出版社, 1998.
- [4] 林明清. 通风除尘[M]. 北京: 化学工业出版社, 1982

(辉 编辑)

(上接第 419 页)

的压差迅速增大,远远超过隔板装置设计的强度极限,首先在最薄弱处造成隔板变形。隔板装置的作用是作为阻隔蒸汽沿规定的流程流动,因此实际设计中不能作为受压元件考虑。作为结构件,该隔板装置仅能承受 0.3 MPa 的压差。由于运行操作不当而造成的 3 MPa 压差,显然是隔板装置无法承受的。

该锅炉过热器管子材质基本符合 GB/T5310 的要求,导致管子爆管的原因是其主锅炉启动过程中,因过热蒸汽出口截止阀开启速度过快,开启时阀门前后压差过大,导致过热器集箱内部隔板装置承受的压差过大而产生变形,蒸汽在集箱内短路,使流经过热器管束的蒸汽量大大减少,管壁温度急剧上升,最终导致管束材料发生蠕变胀粗,从而造成爆管。

## 5 防止爆管措施

从前面的讨论分析可知,如何防止隔板装置变形,是解决过热器爆管的关键所在。为此,从以下两个方面进行改造调整:

(1) 过热器集箱隔板装置设计时虽然不作为受压件考虑,但作为结构件其在承受压力冲击方面的安全系数偏小。原设计隔板装置可承受 0.3 MPa 的压力,可满足正常工作时承受每个流程最大为 0.1 MPa 流动阻力的压力条件,但若满足某些突发或不规范操作所带来的不利影响,却略显不足。为此,对隔板装置的材料、结构重新进行了调整和加强,使

得隔板装置的承压能力提高到 0.5 MPa,增大了安全系数。

(2) 进一步明确锅炉运行操作规程,同时为确保运行人员的操作满足规程要求,在过热蒸汽出口截止阀前后增设一条通径为 DN25 的平衡管路,当过热器压力超过蒸汽母管压力 0.5~1 MPa 时,接通平衡管路,以提高过热蒸汽阀门的背压,确保阀门开启时其前后压差不超过 1 MPa,减小了阀门的快速开启对隔板装置造成的压力冲击,从而保证了过热器安全可靠工作。

## 6 结束语

该船主锅炉按上述措施改造后,至今已运行了数千小时,并曾一次连续运行上千小时无任何故障。几次对过热器集箱内部隔板装置进行检查,未发现任何变形迹象。以上说明,导致过热器管束爆管的因素已彻底消除。

#### 参考文献:

- [1] 潘家楨. 压力容器材料实用手册[M]. 北京: 化学工业出版社, 2000.
- [2] GB/T5310-1995. 高压锅炉用无缝钢管[S].
- [3] 宋贵良. 锅炉计算手册[M]. 辽宁: 辽宁科学技术出版社, 1999.

(辉 编辑)

某船主锅炉过热器管束爆管原因分析及解决措施 = **An Analysis of the Causes of Tube Explosion in the Superheater Tube Bank of a Marine Main Boiler and the Measures Taken for Resolving the Problem** [刊, 汉] / SHEN Zhi-gang, LI Yan-jun, MA Yun-xiang, et al (Harbin No. 703 Research Institute, Harbin, China, Post Code: 150036) // Journal of Engineering for Thermal Energy & Power. — 2002, 17(4): 418 ~ 419, 422

In connection with the tube explosion occurring in the superheater tube bank of a marine main boiler tests were conducted with respect to the material used for the tube bank, the superheater construction and system operating mode, etc. followed by relevant calculations, a discussion and analysis of the test results. The cause of the tube explosion has thus been identified as follows: an improper operation and manipulation had caused the deformation of the partition plate of a superheater header when it was suddenly subjected to an excessively high pressure difference, eventually leading to a steam short circuit-sparked tube explosion. In view of the above situation relevant measures were proposed to eliminate the causes leading to the tube explosion. **Key words:** superheater, tube explosion, partition plate device, deformation

实用新型除尘装置——环栅式动力除尘器 = **A Novel and Functional Dust-removal Device of the Ring-grid and Dynamic Type** [刊, 汉] / LI Wei-shun, LU Jia, WANG Lin, et al (Harbin No. 703 Research Institute, Harbin, China, Post Code: 150036) // Journal of Engineering for Thermal Energy & Power. — 2002, 17(4): 420 ~ 422

A novel and functional dust-removal device of the ring-grid and dynamic type has been made by adopting an advanced aerodynamic profile and by using fluid calculation techniques. Its operating principle is similar to that of a traditional louver-type dust removal device, but its dust removal efficiency is considerably higher. Moreover, the device under discussion features a variety of merits, such as a simple construction specific to a mechanical dust removal device, low fabrication cost and ease of maintenance. Other advantages include a low operating resistance, a small space occupied, corrosion and high-temperature resistant properties, the absence of secondary pollution and a unique flexibility in the selection of installation modes. It can be widely employed in various engineering sectors, such as cement making, electric power generation, metallurgical and chemical enterprises, food and tobacco processing and lumber processing, etc. **Key words:** dust removal device, ring-grid type

汽轮机旁路与引进型过热器(5 % BMCR)小旁路的特点比较 = **Comparison of a Steam Turbine Bypass with the Small Bypass of a Foreign-made Superheater** [刊, 汉] / YU Ze-zhong, LI Dong-mei, LI Rui (Harbin Boiler works Co. Ltd., Harbin, China, Post Code: 150046) // Journal of Engineering for Thermal Energy & Power. — 2002, 17(4): 423 ~ 425, 430

耒阳电厂 200 MW 汽轮机滑负荷原因分析及调速系统改造 = **An Analysis of the Causes Leading to a Sliding Load of the 200 MW Steam Turbine at Leiyang Power Plant** [刊, 汉] / YANG Ji-ming, et al (Changsha electric Power Institute, Changsha, China, Post Code: 410077) // Journal of Engineering for Thermal Energy & Power. — 2002, 17(4): 426 ~ 428

Through the usage analysis of a speed governing system identified were the causes leading to the sliding load and load jump phenomenon discovered in the mechanical/hydraulic speed governing system of a 200 MW steam turbine, which used a high-speed elastic governor as sensing elements. The implementation of a technical modification scheme has eliminated the sliding load and load jump phenomenon of the speed governing system. **Key words:** steam turbine, speed governing system, sliding load, coupling

600 MW 机组离心式引风机故障分析与处理 = **Failure Analysis of the Centrifugal Induced-draft Fan of a 600 MW Power Plant** [刊, 汉] / ZHOU Kui-ying, JIANG Cun-tao, FU Zhi-fang (Pingwei Power Generation Co. Ltd., Huainan, China, Post Code: 232089) // Journal of Engineering for Thermal Energy & Power. — 2002, 17(4): 429 ~ 430