

过热蒸汽管道失效分析

苏宣机

(福建省锅炉压力容器检验所, 福建 福州 350002)

摘 要: 针对中压锅炉过热蒸汽管道发生爆管的情况, 进行宏观断口分析、理化分析和金相组织分析, 经过分析表明管道长期超温运行和材质质量问题是发生爆管的主要原因。

关键词: 蒸汽管道 爆管 金相组织 失效分析

中图分类号: TE832 **文献标识码:** A **文章编号:** 1672-4801 (2008) 03-39-03

1 引言

某单位中压锅炉的过热蒸汽管道, 在服役 10 年后, 发生爆管事故, 而该管道正常设计使用寿命应达 20 年以上。过热蒸汽管道作为锅炉的重要组成部分, 一旦发生爆管, 不仅造成锅炉机组的非计划停车, 影响整个生产系统的正常运转, 甚至会造成群死群伤, 后果非常严重。因此对失效管道进行深入分析研究, 确定失效原因, 对于保证过热蒸汽管道的安全运行具有现实意义。

2 管道失效检查与分析

失效的管道规格为 $\Phi 219 \times 10$, 材质为 20# 碳素钢, 工作压力为 3.8MPa, 工作温度为 450℃。当对发生爆管的管道进行检查时, 发现管道出现严重的胀粗现象, 外径最大处为 241.6mm, 胀粗率达 10.3%, 胀粗处呈现一条长约 20mm 的穿透性裂纹。管道爆口位于距对接焊缝 (直管段与弯头的对接焊缝) 100mm 的直管段处, 破口宽约 2mm, 呈厚唇状, 无明显塑性变形, 如图 1 所示。在破口周围及附近直管段上有大量平行于管道轴向方向的蠕变裂纹, 有较强的方向性, 裂纹之间互不相连, 管壁无明显减薄, 管子外壁氧化严重。



图 1 爆口及附近的蠕变裂纹

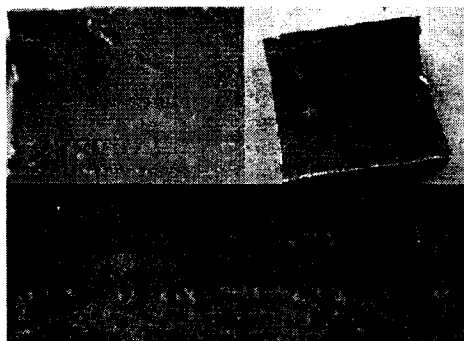


图 2 过热蒸汽管道的内表面

将过热蒸汽管道剖开后, 其内表面的局部区域如图 2 所示, 管道内壁腐蚀严重, 存在许多凹坑, 个别区域的凹坑已形成链状, 凹坑的最大直径达 20mm, 深度达 6mm, 爆口的穿透性裂纹就位于最大凹坑处。

2.1 断口分析

将过热蒸汽管道带裂纹部分割取出来, 在万能材料试验机上将裂纹前沿拉断, 然后将断口放在扫描电镜下观察, 断口形貌如图 3 所示。从断口中清楚看出, 断裂面粗糙不整齐, 边缘粗钝, 呈脆性断裂特征。材料内部存在明显的平行于管壁的夹层, 夹层的内表面上存在着氧化物, 这将阻止缝隙中的金属结合, 形成一种尖锐的不连续缺陷, 引起应力集中, 易形成裂纹源。



图 3 断口形貌

2.2 理化分析

2.2.1 化学成分分析

在失效管道上取样进行化学成分分析,与 GB3087—1999 “低中压锅炉用无缝钢管”标准进行比较,其结果见表 1。由分析结果可知,失效管道化学成分中的 P 和 S 的成分超过了 GB3087 标准用材的要求,而且碳的含量也达到 GB3087 的上限值。钢中硫、磷含量的超标,以及碳含量的偏高,将使材料在高温环境下工作时塑韧性下降,脆性增加。

表 1 化学成分分析结果 (%)

项目	C	Si	Mn	P	S	Fe
失效管道	0.23	0.26	0.52	0.041	0.039	98.94
GB3087-1999	0.17~0.24	0.17~0.37	0.35~0.65	≤0.035	≤0.035	

2.2.2 力学性能分析

割取失效过热蒸汽管道上的材料进行力学性能试验,结果见表 2。由试验结果可知,过热蒸汽管道的力学性能与 GB3087—1999 “低中压锅炉用无缝钢管”标准进行比较,其抗拉强度已下降至低于 GB3087—1999 标准值,已不能满足正常运行要求。

表 2 管材力学性能试验结果

试样	屈服强度 (MPa)	抗拉强度 (MPa)	断裂延伸率 (%)
1	263.2	381.17	37.67
2	261.5	382.72	37.17
3	259.5	378.92	30.17
4	262.3	380.49	35.13
GB3087-1999	≥226	392~588	≥20

2.2.3 选材分析

根据《蒸汽锅炉安全技术监察规程》要求,20#碳素钢 (GB3087—1999) 用于蒸汽管道时,允许使用温度应当小等于 430℃,而该过热蒸汽管道的工作温度达到 450℃。从温度角度考虑,管道在运行中其工作温度若超出技术要求的范围,则材料就处于超温状态。超温一般分为短期超温和长期超温两种,出现的破坏现象也不相同。短期超温爆管是金属在较短时间内较大幅度超过额定温度运行而发生的,它是由于超温幅度较大使金属强度严重下降,在介质的压力作用下突发爆裂,通常为撕裂状韧性断口。长期超温爆管是金属长

期处于超温幅度不大的情况下运行,由于超温幅度不大,金属在应力作用下发生蠕变而使管子爆裂,其断口具有蠕变断裂的脆性特征。该过热蒸汽管道的爆口形貌具有明显的长期超温爆管特征。

2.3 金相组织分析

在裂纹附近区域取金相试样,然后在光学显微镜下观察,如图 4 所示,其金相组织为铁素体+沿晶界、晶内分布的碳化物,珠光体区域中的碳化物已明显分散,并已向晶界聚集。其中局部区域的珠光体形态已消失,球化碳化物分布在晶界及铁素体上,已长大,分散度较大,说明珠光体已出现严重球化现象。

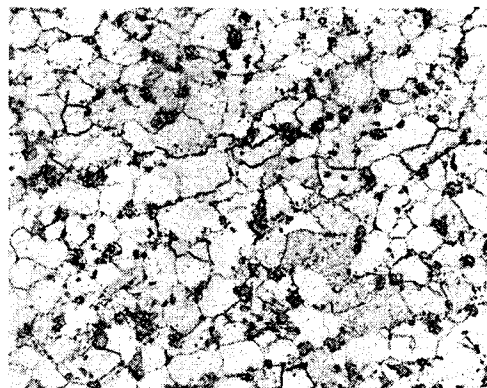


图 4 500×

通常过热蒸汽管道在正常的允许工作温度下运行,球化一般在较长的时间内进行,其蠕变速度非常缓慢。而在超过其技术要求的温度下运行,材料将会在较短的时间内发生球化,金相组织出现劣化,蠕变速度加剧。这是由于材料在高温和应力的作用下,碳化物将力求由表面能较高的片状变为表面能较低的球状,发生珠光体球化和碳化物聚集,严重的球化可使持久强度明显下降。同时高温下处于粘滞状态的晶界,其强度低于晶内强度,在载荷作用下会先在晶界处形成蠕变空洞,逐渐形成显微裂纹,随着裂纹的扩展和连接最终导致管子爆破。温度越高,材料抗蠕变能力下降越明显,就越容易发生这种现象。

3 结论和措施

(1) 该过热蒸汽管道爆管为长期过热脆性爆管,管道在长期运行过程中,钢中的珠光体完全球化,析出碳化物,金相组织发生劣化,出现蠕变空洞和显微裂纹。

(下转第 46 页)

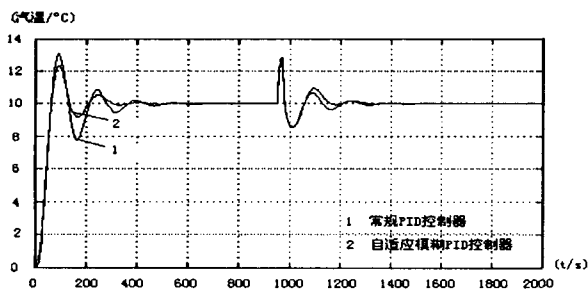


图6 加入烟气扰动时的仿真结果比较图

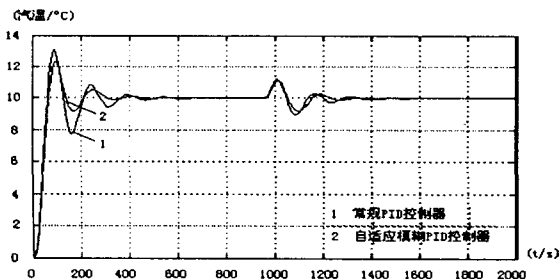


图7 加入蒸汽流量扰动时的仿真结果比较图

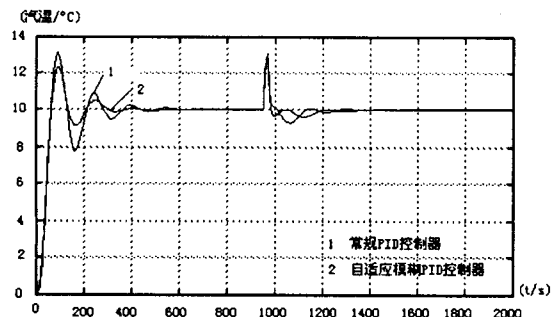


图8 同时加入烟气和蒸汽流量扰动时的仿真结果比较图

参考文献:

- [1] 孙优贤, 孙红. 锅炉设备的自动调节[M]. 北京: 工业出版社, 1982.
- [2] 金以慧. 过程控制[M]. 北京: 华大学出版社, 1993.
- [3] 刘金琨. 智能控制[M]. 北京: 子工业出版社, 2005.
- [4] 陶永华. 新型PID控制及其应用[M]. 北京: 械工业出版社, 2002.

作者简介: 叶润玉 (1970年~), 女, 讲师, 研究方向为过程控制。

(上接第40页)

(2) 管道内壁腐蚀严重, 同时由于夹层的存在, 材料的机械强度显著下降, 最终在剩余壁厚不足以承受管内压力处, 裂纹迅速扩展, 管壁开裂, 形成爆管。

(3) 建议采取以下措施:

参考文献:

- [1] 李正刚等. 670T/h 锅炉高温过热器管爆裂失效分析[M]. 理化检验-物理分册. 2006年第42卷.
- [2] 王鸣等. 2Cr1MoV 过热器管爆破失效分析[J]. 福建电力与电工. 第19卷第3期.
- [3] 王莹等. 大型电站锅炉过热器爆管原因综述及对策[J]. 中国电力. 1998年第10期.
- [4] 李波. 一起过热器爆管事故原因分析[J]. 能源技术. 2007年8月第28卷第4期.
- [5] 孙智. 失效分析—基础与应用[M]. 机械工业出版社. 2005年3月.

作者简介: 苏宣机, 男, (1969年~), 工程师, 从事承压类设备的检验检测工作。

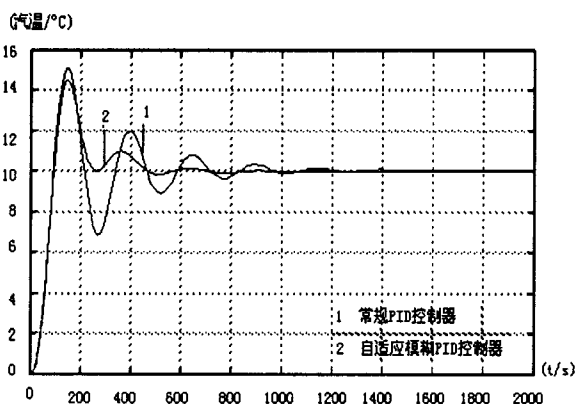


图9 当汽温对象发生变化时的仿真结果比较图

表1 性能比较

对象	常规PID			自适应模糊PID		
	超调量 %	调节时间 T_s (s)	上升时间 T_r (s)	超调量 %	调节时间 T_s (s)	上升时间 T_r (s)
汽温给定值	32	520	62	22	310	60
汽温对象变化值	50	850	65	42	608	63

4 结论

从仿真结果可以看出: 主汽温模糊 PID 控制系统的超调量比较小, 调节时间小, 振荡周期短, 当控制对象参数发生改变时, 自适应模糊控制系统较快平稳, 说明自适应模糊控制的鲁棒性好, 而且系统的静态特性和动态特性都较好, 取得良好的控制效果, 自适应能力强。

①对失效管段更换使用材质为 20G (GB5310-1995) 的管道, 并加强原材料检验。

②加强管道的金属监督, 增设蠕胀测点、金相分析测点、厚度测点, 发现异常现象及早处理, 确保设备的安全运行。