

汽轮机蒸汽入口管线管座焊缝裂纹失效分析

张双喜 中海油惠州石化有限公司

【摘要】中海油惠州石化有限公司芳烃联合装置抽提装置贫溶剂泵拖动用汽轮机蒸汽入口管线上一个加强管座（台）焊缝处发生了开裂。蒸汽主管线运行时间不足两年，此前未曾出现问题。蒸汽管线外有保温。管线内介质为中压蒸汽；蒸汽温度为400~425℃，压力为3.5MPa。

【关键词】汽轮机；蒸汽主管线；管座管壁

【DOI】10.12316/j.issn.1674-0831.2022.02.019

一、检验分析

1.宏观、低倍分析

中压蒸汽管线加强管座（台）的结构：蒸汽管线与加强管座由焊缝连接在一起，见图1-1。蒸汽管线规格为： $\phi 114 \times 9\text{mm}$ ；加强管座规格为： $\phi 40 \times 9\text{mm}$ 。将蒸汽管线的加强管座切割下来，确认该管座上有两条明显的裂纹，为了分析的方便，将两条裂纹编号为裂纹A和B。在蒸汽管线与管座的焊缝处（内壁）有焊接缺陷-焊瘤存在，A、B两条裂纹均是起源于焊瘤处，裂纹处的管座管壁未见塑性变形，为脆性断裂，图1-2至1-4。

将切割下来的管座沿蒸汽管线的轴线切开，得到裂纹A打开后的断口A，见图1-5；在断口A上，裂纹起源于管座内壁焊缝处，由内向外扩展，断口上有“贝纹状”的疲劳弧线，见图1-6和1-7。

再将管座裂纹B人为地打开后，又得到了断口B。在断口B上，裂纹起源于管座内壁焊缝处，由内向外扩展，断口上也有“贝纹状”的疲劳弧线，见图1-8和1-9。

通过对于加强管座上裂纹（断口）A、B的宏观、低倍分析，确认加强管座的开裂失效具有疲劳断裂的特征；而且，管座断口呈蓝黑色，表明加强管座在疲劳断裂过程中还受到了高温氧化的影响。



图1-1 蒸汽管线加强管座处的宏观形貌（外壁）

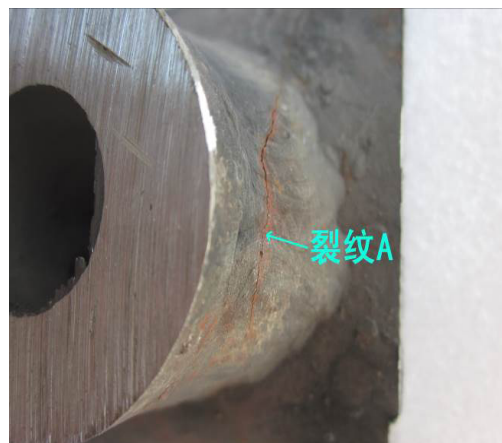


图1-2 蒸汽管线加强管座处的宏观形貌（切割后，外壁）





图1-3 加强管座裂纹A的低倍形貌（外壁）

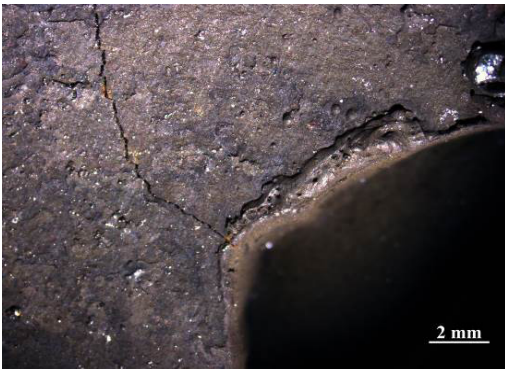


图1-4 加强管座焊缝处的宏观、低倍形貌（内壁）

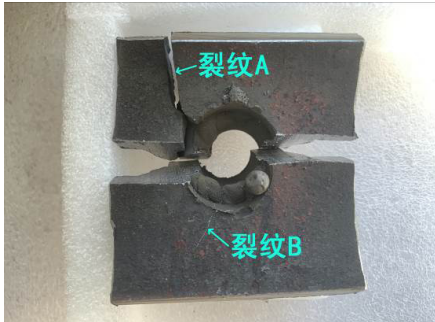


图1-5 加强管座裂纹A的低倍形貌（内壁）

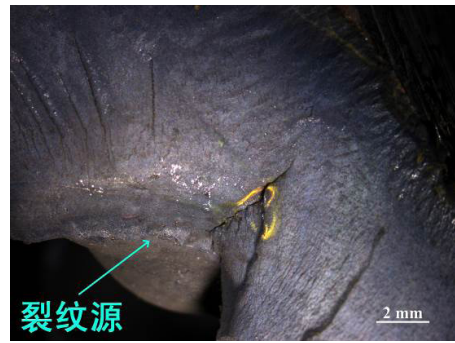


图1-6 蒸汽管线加强管座处的宏观形貌（切割后）

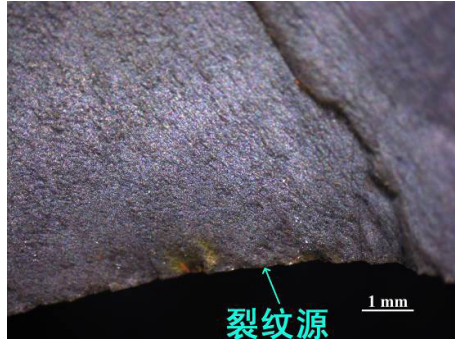
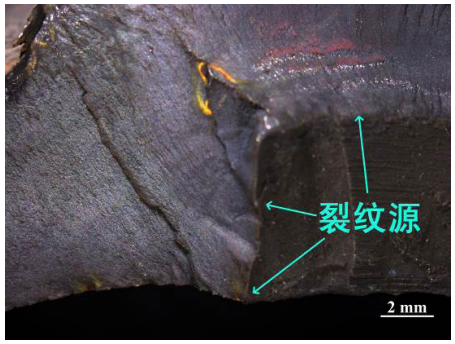


图1-7 加强管座断口A处的低倍形貌

2. 材质分析

分别从两个螺旋焊管上切取块状样品，依据相关标准，使用光谱仪等，对其材质进行化学分析。结果表明，管线1、2材质均为低碳钢，管线2的含碳量高于管线1的含碳量，见表1-1。

表1-1 管线材质的化学成分（wt%）

项目	C	Si	Mn	P	S	Cr	Ni	Cu
管线1	0.207	0.230	0.366	0.0203	0.0193	< 0.0030	< 0.0020	0.0106
管线2	0.250	0.0805	0.334	0.0154	0.0293	< 0.0030	< 0.0020	0.0158

3. 金相分析

在蒸汽管线、管座及两者的焊缝裂纹处取金相样品，经预磨、抛光、腐蚀后，在显微镜下观察分析，并使用显微硬度计进行硬度测试。蒸汽管线管壁厚度均匀，其金相组织为铁素体+珠光体，未见异常；管座管壁厚度均匀，其金相组织为铁素体+珠光体，未见异常。

常；裂纹起源于蒸汽管线与加强管座内壁的焊缝根部，裂纹由内向外扩展并贯穿了整个管壁，导致管内蒸汽介质的泄漏；蒸汽管线及管座（焊缝附近）的组织为铁素体+珠光体；蒸汽管线硬度HV0.2 133.8；管座硬度HV0.2139.6；焊缝硬度HV0.2151.8。

二、电镜及能谱分析

使用扫描电镜，对管座断口进行形貌观察和元素成分能谱分析。裂纹起源于加强管座内壁的焊缝处，由此向外扩展，断口上产生大量的“贝纹状”疲劳弧线；由于该疲劳断口产生于高温蒸汽环境中，导致断口表面发生了高温氧化，形成了一层氧化物，使得难以看到管座断口表面的疲劳辉纹等微观精细形貌；能谱分析表明，加强管座断口上的主要元素为O和Fe，在裂纹源区有少量的C、Mn等元素存在。

三、综合分析

前面，对蒸汽管线、加强管座（台）及两者焊缝进行了多项理化检验分析。蒸汽管线加强管座（台）焊缝处的开裂失效性质为疲劳断裂，其主要影响因素有：蒸汽管线服役时存在的交变载荷（管线振动、温度变化等），蒸汽管线与加强管座（台）内壁焊缝处存在焊接缺陷（焊瘤等）所形成的局部严重应力集中等。

1. 交变载荷

蒸汽管线的管道系统较长，虽然管线上有若干的固定吊架和支撑，但在运行过程中仍会产生一定程度的振动载荷（局部区域的振动幅度很大，甚至产生共振），当振动载荷传递到管座根部后，就使得蒸汽管座部位产生附加交变应力，进而产生疲劳裂纹。同时，蒸汽管线运行时，还会因温度的变化，而产生交变热应力，也会造成管座根部产生疲劳裂纹。

2. 应力集中

蒸汽管线及相关容器上的管座处，通常存在着一定程度的应力集中，尤其是在管线与管座连接的焊缝处，不仅存在应力集中，还有较大的焊接残余应力，会加速疲劳裂纹的产生；当蒸汽管座焊缝内存在焊接缺陷（夹杂、焊瘤、气孔等）时，焊接缺陷的存在会破坏焊缝金属的均匀连续性，减少了焊缝金属的承载面积，并产生应力集中，对构件危害较大。这些缺陷直接形成疲劳裂纹源，在交变应力的作用下，发生疲劳断裂[1、2、3、4、5]。对于本例加强管座（台）开裂失效而言，蒸汽管线与加强管座内壁焊缝处存在严重的焊接缺陷（焊瘤），这些焊瘤的存在导致管座局部的严重应力集中，疲劳裂纹正是产生于此。

由此可见，蒸汽管线加强管座（台）的开裂过程是在交变载荷（振动、温度）的作用下，蒸汽管线与加强管座的焊缝内壁焊接缺陷（焊瘤）处萌生疲劳微裂纹，随后，这些疲劳微裂纹发展成疲劳裂纹并不断地扩展直至贯穿管座管壁，造成管座的开裂失效。

四、结论

1. 蒸汽管线的材质为20钢。
2. 蒸汽管线和加强管座的金相组织为铁素体+珠光体，未见异常和过热。
3. 加强管座的开裂失效性质为疲劳断裂。
4. 造成加强管座疲劳断裂的主要原因：一是蒸汽管线与管座焊缝内壁焊接缺陷的存在，导致局部的严重应力集中，易促发疲劳裂纹的产生；二是蒸汽管线存在的振动、温度等交变载荷，促进疲劳裂纹的产生和扩展。

五、建议

1. 加强对蒸汽管线上各类管座处的焊接质量控制，防止各种焊接缺陷的产生，降低焊缝区的应力集中程度；焊接后必须对焊缝进行无损检测，如发现存在焊接缺陷，要及时予以消除。
2. 对于蒸汽管线系统布局不甚合理部位，进行必要的更改，增加管线系统的规定和支撑，减少管线系统的振动；同时，做好管线的保温，减少管线系统温度的较大波动，降低热交变应力的影响。

参考文献：

- [1] 王斌. 高温蒸汽管道、联箱中小口径管座的开裂及防范措施[J]. 热力发电, 2003.
- [2] 胡海蓉, 等. 过热器对空排气管座泄漏原因分析[J]. 锅炉制造, 2012.
- [3] 胡新芳, 等. 联箱管座角焊缝裂纹原因分析[J]. 山东电力技术, 2008.
- [4] 王平程. 蒸汽系统焊制三通热疲劳裂纹的规律[J]. 中国电力, 1991.
- [5] 黄桥生, 等. 主蒸汽管道裂纹原因分析及预防措施[J]. 中国电力, 2010.