

# 关于主蒸汽管道裂纹产生原因分析及处理对策的探讨

褚衍领 郭英恩

临沂市特种设备检验研究院 山东 临沂 276000

**【摘要】**：高压锅炉的主蒸汽管道中的裂纹是发电厂中的常见问题。本文通过相关实例对此进行研究，揭示管道破裂的原因，并提出适当的措施，以防止在电厂中出现重复的相关问题时，能够确保主蒸汽管道的平稳运行。

**【关键词】**：主蒸汽管道；支吊架；裂纹；处理工艺

## 引言

2017年，该公司的压力管综合调查发现，在5#烤箱主蒸汽管的4#支架和吊架下方的盖子中，有一个75mm的裂缝（见图1），盖板和主蒸汽管破裂了。检查面板为400mm×240mm×18mm的角焊缝的外观，焊脚尺寸为7至10mm，焊脚尺寸差为2mm，并且焊缝末端线的总长度为380mm，深度和1到2毫米的深度。目视检查是否存在带有咬边的咬边，表明焊接质量不符合DL/T869-2004“火力发电厂焊接技术规程”的要求。后来，对裂纹进行了部分抛光并准备进行焊接，在局部磨削过程中，发现裂纹扩展到母材，并且在纵向方向上有明显的膨胀，因此去除了所有涂层。去除后，在覆层和母材之间的接合点发现了长度和深度不同的间歇性裂纹，最长的裂纹约为250毫米，最深的裂纹为7毫米。根据《压力管道安全管理和监督规定》，不得对管道进行维修。分析了裂纹产生的原因，并提出了对策，以确保管道的安全运行。

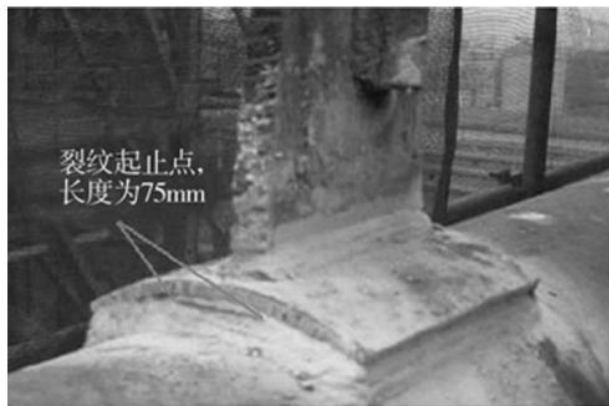


图1 5#炉主蒸汽管道4#支吊架上的裂纹

## 1. 主蒸汽管道原材料及焊缝调查

### 1.1 化学成分调查

第一，检查人员测试了管道和涂层的化学成分。不论焊

接方法如何，管材和涂层的化学成分，材料均符合相关规范的要求，并检查接头的材料以及所使用的化学材料，发现焊接方法和所使用的化学材料均符合规范。

### 1.2 硬度检查

尽管相关规范中未指定特定的材料硬度要求，但通常对于低合金焊缝，应根据母材的硬度确定热处理过的焊缝的硬度。基材的布氏硬度不能超过，规定值在100~270以上的范围内。在焊接过程中使用拉伸测试件非常困难，因为焊缝的尺寸通常很小，并且必须做许多准备工作。首先，人员必须计算焊缝的机械性能，其次，对母材和焊缝进行硬度测试，并仔细记录相关数据。分析数据时，焊缝的硬度严重超出规格，极限值太高，表明热处理过程中存在问题。硬度指数也很高，表明焊缝区的整体机械性能较差，这会影响焊缝的延展性和韧性，这可能是主蒸汽管线破裂的主要原因。

### 1.3 拉伸性能试验

在人员比较了相关材料的热力学性质之后，可以从蒸汽管的基础材料的强度值上看出，尽管该值是可比较的，即使已使用了多达12万个电锅炉小时。货物标准成本的最低限额是相似的，但仍符合相关标准。即使长时间使用主蒸汽管道，也可以说可以忽略不计，尽管强度指数与过去相比有下降的趋势。另外，主蒸汽管的延展性指标相比略有提高，但其热力学性能也满足要求。

### 1.4 金相检查

人员进行金相检查，以详细了解长时间高温操作后主蒸汽管材料的微观结构是否发生了变化。金相研究的主要目的是检查材料中碳化物的特定条件，包括沉淀和球化，并检查材料在高温下是否蠕变。经过测试，在检查管道金相组织的实验中，发现取样的金相组织包含三个主要成分，即铁素体、贝氏体和游离碳化物。铁素体的晶体和晶界都有不同程度的碳化物析出，贝氏体中碳化物的沉淀更为明显，并且发生了全球化，但是区域形态没有太大变化，从而全球化程

度很低。在确定壳上的金相组织的测试中,样品中的金相组织的组成是铁素体,珠光体和游离碳化物这三种类型相同,并且测试结果与金相测试的结果大致相同。在金相检查期间,仅发现碳沉积和球形化,但未观察到高温蠕变现象。管道的金相结构检查如图2和图3所示。

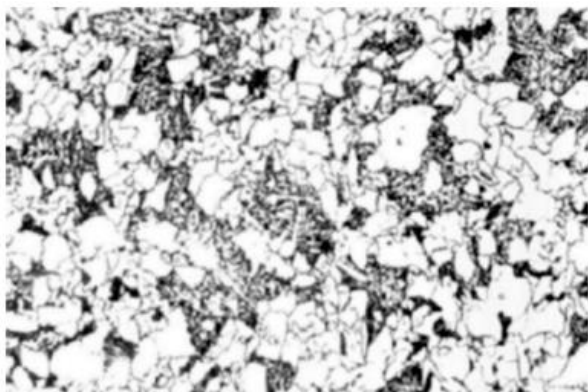


图2 管道金相组织

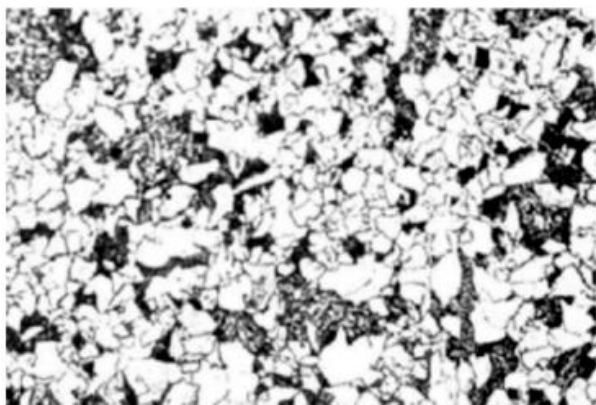


图3 覆板金相组织

### 1.5 试验总结

完成上述测试后,可以通过对结果进行具体分析得出以下结论。在进行化学成分测试时,管材和涂层板的材料以及化学成分中主要元素的含量均符合相关标准的要求;从拉伸试验结果可知,基材既是强度又是延展性。当通过对管道和涂层的某部分的金相组织进行取样来检查金相组织时,即使该材料具有一定程度的损坏,即碳化物的沉淀和球形,但其影响可以忽略不计,因为金相检查表明材料的微观结构良好,不影响正常操作。因此,如果主蒸汽管道中的裂纹受到材料质量变化的影响,但是焊缝的破坏发生了两次,那么在裂纹的情况下,这种原因就不能排除。断裂很可能是由于焊接质量不合格引起的;在分析了控制硬度测试后,可以得出结论,焊缝的硬度高于标准值,可能的温度问题。但是,这不会直接导致主蒸汽管破裂。

## 2.主蒸汽管道裂缝产生原因分析

### 2.1 支吊架管部结构分析

悬架管道结构根据与管道的连接方法大致可分为两种:一种是一体型,另一种是非一体型。连接单个管道的具体方法是将它们焊接在一起,但是在焊接过程中会出现许多问题。例如,在焊接过程中,人员难以控制焊接质量并进行后续的热处理焊接工作。碳钢管的焊接不再使用结构型焊接,连接非集成管道的方法可以分为两种:一种是带夹子的,另一种是带支撑的。这两种连接方法的使用不仅简化了管道的安装,而且还方便了对已安装管道的下游计划的调整。本研究中的电锅炉的主要蒸汽管采用集成连接方法,因此将盖和管焊接在一起。由于焊接的缺点,每当打开或关闭电锅炉时,由于相关的热应力,在管道和焊接部件中都会出现裂纹,并且原始裂纹会加深并扩大。

### 2.2 管道受力状况分析

在分析管道破裂的原因时,工作人员首先仔细检查管道制造商在施工过程中提供的管道图,然后根据现场情况计算主蒸汽管道的强度值。计算后,确定作用在管道上的力没有超过其可承受的负荷,主蒸汽管道是根据专业图纸在支撑和悬架的方向和位置上进行设计的。因此,管道的强度不是问题,因为它会导致管道破裂。

### 2.3 对支吊架管部结构分析结果的验证

想要验证结果从而保障管道的正常使用,需要分别检查了永久连接的主蒸汽管道,并在涂层下的管道中发现了长度和深度不同的裂纹。同时,研究还发现某些裂纹焊缝具有一个共同的特征,即焊缝基部的尺寸小于正常尺寸,并且焊缝的咬边也更严重。这种现象证实了焊缝的质量,这是管道中出现裂纹以及裂纹扩展和加深的原因之一。

## 3.处理措施

### 3.1 支吊架管部结构换型

焊接的管道连接器是一种非常不合理的设计类型,这是造成裂纹的根本原因,在维修管道时,吊环与管道之间的连接更改为包箍方式。

### 3.2 更换覆板下方管段

出于经济原因,可以通过挖掘和修复管道缺陷来对其进行修复。但是,金属材料中最严重的缺陷是裂纹。尽管在表面检查方法中磁性颗粒检查方法的灵敏度高,但是对于裂纹宽度仍存在一定要求。管道表面的微裂纹很容易被忽略,从而导致维修不彻底,钢的热脆温度也为 $500\sim 550^{\circ}\text{C}$ 。在此温

度下长时间使用，钢会变脆，工作时间越长，热脆性的趋势越大。尽管电子显微镜扫描显示该材料仍然具有显著的延展性，但是随着工作时间的增加，该材料可能发生的严重脆化不可避免地会加速裂纹的扩展，出于安全原因，已损坏的管段已被更换。

### 结束语

（1）主蒸汽管道出现裂纹的主要原因在于支架和管架的不合理性，管道中的高应力集中和热应力很容易引起破裂和膨胀。（2）用滑轮等非整体式结构代替支撑和悬挂管结

构，可以从根本上解决裂纹问题；（3）焊脚尺寸、焊脚尺寸差值、咬边长度和深度以及位置差异很大。要求焊缝经常会加宽，外表面表明焊缝质量对裂纹的形成和扩展有一定的影响。（4）整体管结构焊接到位，PWHT使用不当也会对开裂产生一定影响；（5）根据改变管子和管接头横截面的方法，依次加工了10条主蒸汽管道的66个吊架，并全部在专用设备上进行了测试。其中，第5号和第6号熔炉的主要蒸汽管线在2018年。通过了第二次全面检查，2019年1号和2号锅炉的主要蒸汽管道通过了此次清洗活动的第二次全面检查。

### 参考文献：

- [1] 丁超.关于主蒸汽管道裂纹产生原因分析及处理对策的探讨[J].中国设备工程,2019(06):73-74.
- [2] 周文.主蒸汽管道裂纹产生原因分析及处理对策[J].压力容器,2010,27(08):47-50+23+39.