

# 锅炉压力管道检验裂纹的措施分析

黄彬

(江西省检验检测认证总院特种设备检验检测研究院宜春检测分院, 江西宜春336000)

摘要：由于工作人员对锅炉使用过程中存在的一些安全问题重视程度不高，压力管道经常会出现裂纹，从而大幅降低锅炉质量，增大设备安全运行风险。为强化安全生产、促进行业的发展，对锅炉压力容器的压力管道裂纹问题进行深入研究，并针对一些常见裂纹提出有效的维修保护措施，提高工作效率。

## 0引言

目前锅炉压力容器已经成为现代工业中最常用的一种设备，在冶金、机械、电力、石化等行业的应用日益受到人们关注。从生产工艺来看，为达到节能的目的，现在锅炉压力容器主要是以大型设备为主，结构更加复杂。在运行过程中锅炉压力容器会发生不同程度的结构破坏，从而引起压力管道内的裂纹，对整个容器的质量造成较大影响，成为管道破裂的安全隐患。腐蚀孔隙的压力也会使管道产生裂纹。

随着社会经济的发展，电站锅炉技术逐步发展，压力管道是火电站锅炉的主要承压设备，其参数变化也在逐渐增加，因此火电站对管道质量要求也在逐渐提高。近年来，电站发生了大量压力管爆裂和故障，并逐步引起业界对其质量监管的重视。在压力管道中，合金高压锅炉管（12Cr1MoVg）是一种广泛应用的耐热管材，关于其焊接性能与材料性能已经进行了大量研究，相关理论日趋完善，然而由于电站的施工现场环境十分复杂，合金高压锅炉管的施工很难获得理想效果。本文将某火电站锅炉的压力管道为例，对裂纹的产生展开分析与处理。

## 1裂纹理论——应力强度系数

在裂纹理论中，应力强度系数是根据裂纹尺寸确定的。裂纹产生的主要原因是应力强度系数增大，而临界应力强度系数可以反映材料的裂纹性能，因此理论上可以将其定义为裂纹韧性。针对应力腐蚀裂纹而言，由于锅炉内钢板与高浓度介质的接触，导致其晶间和金属晶体之间的电势差异，从而导致高的晶粒电势成为阴极；而作为阳极的晶间，会在晶粒与晶间形成微小的电流，不断侵蚀锅炉的结构，使其内部结构产生裂纹。

裂纹是由内部向外部扩散的苛性脆性因子引起的，并最终集中于应力最大的位置，从而导致该区域出现裂纹。由于裂纹产生的时间很短，而且会随着锅炉之间的晶体结构而发生改变，在微电流的作用下裂纹面积会逐渐增大，加重裂纹的问题。

裂纹理论定义了由裂纹引起的裂纹现象，即裂纹尖端的应力强度系数 $K$ ，大于或超过裂纹材料的裂纹韧度 $K_{IC}$ ，这意味着裂纹已经进入了一种不稳定的状态，会穿过结晶、沿着结晶结构继续发展。最后，显微镜下如果出现一种辐射状裂纹，则是由锅炉内部的裂纹引起的，随着裂纹的扩大裂纹形状也会发生改变，从而导致整个结构的裂纹。

## 2压力容器和压力管道检验内容和方法

根据现行国家标准，对锅炉压力容器、管道等检验方法主要分为3类，通过它们能够使其符合规定的使用要求。这3种检查方式为内部检查、外部检查和水压检查，测试必须遵循一定的程序。在正式测试前，首先要对各类仪器的外观、安全监控系统的运行情况进行检查，在保证所有员工都具备相应的资格后，然后是对所有设备和管道进行全方位检查。无论是内部检查还是外部检查、水压试验，都要按照技术规范和规范进行。

在完成检测后，通常需要对实际使用环境进行预试验，以判断该装置能否正常工作；对设备进行检查，确认无任何问题，方可投入使用。同时，要重视易产生裂纹的部位的检查工作，定期对其进行安全、完整性的检验，发现问题的要及时进行处理。

## 3压力容器压力管道常见的裂纹

在锅炉压力容器的管道检查中，大多数裂纹表现为表面裂纹，其尺寸远小于其本身的弯曲半径。对于裂纹问题的分析，可以把裂纹等效为带有半椭圆形裂纹的板受拉问题（表1）。某锅炉压力容器的轴向应力为83.2MPa，环向应力为146MPa。根据应用力学的原理，在锅炉压力容器的压力管道中内部压力将会产生最大主应力 $\sigma_1$ 和环向应力 $\sigma_2$ 。

$$\sigma_1 = \frac{PD}{2\delta}$$

$$\sigma_2 = \frac{PD}{4\delta}$$

其中，P是指锅炉内压力容器的内部压力，D、 $\delta$ 表示压力容器的内径和壁厚。从应力公式可以看出，在容器压力管道中，环向应力是最大的主应力，将其应用于裂纹端应力强度系数的计算，并将其与相应的计算模式相结合[1]。

表 1 压力管道中不同表层裂纹的受力情况

对象	表层裂纹的状态	受力情况
压力管道	周向穿透裂纹	拉弯组合
	周向半椭圆内表面裂纹	纯弯曲
	轴向外部长表面裂纹	内压

### 3.1 疲劳裂纹

在长期使用中，某些压力容器、压力管道会因交流负载而产生裂纹，如蒸压釜、灭菌锅、压力管道的膨胀节等，在运转时会由于受力不均极易产生裂纹。在许多压力管道难免会产生一些裂纹，称为疲劳裂纹。所以，有关主管部门应根据管道的质量和工作环境，对管道进行定期的检查和维修，以及时发现问题。在检修和维护此类管道时，应重点关注应力集中的位置。这种疲劳裂纹的产生通常与设计工艺、材料、焊接工艺密切相关，可以通过改进工艺流程、合理选用材料，改进现有的不合理之处。其中每一步都是相辅相成、相互影响的，任何一个环节出现问题都会影响制造和生产，从而造成疲劳裂纹。

根据工作实践判断疲劳裂纹的不同成因，将其划分为机械疲劳裂纹和腐蚀裂纹：机械疲劳裂纹是由管道的各个部位应力分布不均引起的，初期裂纹很小，但在持续的加压下裂纹不断扩大（图1）；腐蚀破坏是因为管道中含有腐蚀性的物质，在压力的作用下出现裂纹（这种腐蚀裂纹会逐渐发展成机械疲劳裂纹）并有逐渐扩大的趋势，其在设备使用中会逐渐加长，从而对管道的寿命造成较大影响。无论是哪种疲劳裂纹，都应及早发现、及早处置，以免裂纹逐渐增大、影响设备的正常使用。



**图 1 机械疲劳裂纹**

3.2蠕变裂纹

随着现代机械制造水平的提高，对各种工艺技术的要求越来越高，对压力容器、压力管道的设计也越来越严格。长时间处于高温、高压的环境中，很容易产生蠕变裂纹，特别是某些金属材料的压力容器、管道，在高温、高压的作用下会产生裂纹（图2）。这直接关系到设备的正常使用，所以应对进行全面检查，找出存在的安全隐患，防止因裂纹而影响设备的正常工作。



**图 2 材料蠕变裂纹**

一般认为蠕变裂纹的形成可以分成3个阶段：从稳定蠕变期到加速蠕变，再到加速蠕变，初期的蠕变，这个阶段非常隐蔽；其产生与环境压力、温度、时间等因素密切相关，许多因素都会对其产生影响，应及早发现、及早处置，确保设备安全、稳定。

#### 4 检验合金高压锅炉管的对接焊缝裂纹

在本电站中，1号锅炉过热器蒸汽出口压力为18MPa，过热蒸汽温度为539℃，最后级的过热器有两个三通，位于炉右侧和炉左侧。出水头的左、右两个出水头通过连通管与最后级的过热水头相连。连接管和三通均采用高强度合金烧成钢管，连接管尺寸为650mm×85mm。对最终过热器左侧三通与连接管道的对接焊接接头进行磁粉检测，发现3条纵向焊接裂缝，它们贯穿整个焊接接头，并逐步向热影响区延伸。通过焊接接头，超声波探头的中心线，对焊缝的两边进行平行扫描，发现有一道裂缝，深度为54mm。仅查看裂纹的外部，裂纹表面是不连续的、开口较大，并且末端较圆。然后，用切割器对其进行切割，发现这道横切的裂痕深57mm、长61mm，如同焊缝中有刀片插入。

为提高检测缺陷率，首先修整焊接余高，然后用超声波再次检测及磁粉检测，在焊接接头的表面上发现了许多横断面上密布裂缝。这么多的裂缝，仅凭超声波根本无法确定它们到底有多深，因此应一层层地将裂纹进行横磨，每磨到30mm的深度就做一次磁性检测。每一层中均有较细的裂隙，但裂隙并非完全连续，且在分布上有不同程度的差别。

#### 5 分析合金高压锅炉管的对接焊缝裂纹

高强度合金锅炉钢管是一种具有珍珠岩结构的耐热钢种，一般在700~750℃高温回火、再在980~1020℃正火来供应。通过对电站现场进行无损检测试验，找出产生裂纹的主要原因。

##### 5.1 管道外表面微波无损检测

本文提出一种基于点频和扫频的方法，利用具有开放末端的矩形波导管做检测器，对金属表面进行扫描。裂缝的出现会导致高阶模态出现，进而影响已经在波导中形成的微波性质。

所设计的扫频法微波检测装置如图3所示，采用非破坏式线缆，将微波反射电桥的一端与微波向量网络分析器的输出端、输入端相连，而电桥的另一端与波导探头相连，在测量过程中对波导探头的开口与被测量的金属表面垂直进行扫描，测量结果与实际一致。

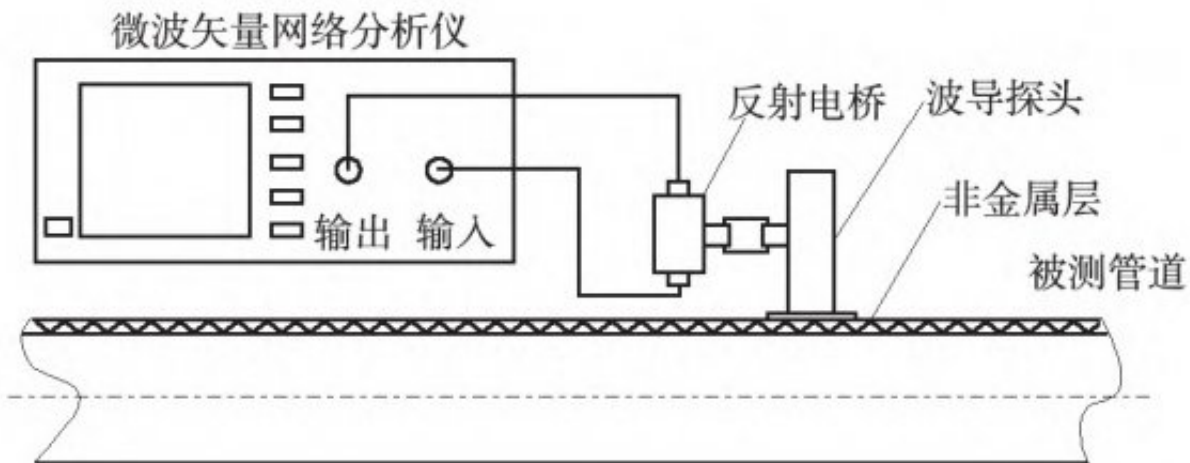


图3 管道外表面检测方案

在微波矢量网络分析装置中，通过微波信号源馈入电桥，通过波导探测器输出与待测物质发生作用，物质的电磁性质会改变待测物质的空间分布状态，进而改变待测物质的幅值、相位等基础参数，通过反射电桥将待测物质反射、反馈到装置中，从而实现对待测物质的扫描。

最后，通过网络分析仪观测到的特性参数输入计算机，对数据进行分析和统计，进而对被检测物质的缺陷状况和其他物理参数做出判断。

## 5.2管道内表面微波无损检测

将被测金属管当作是一种波导，利用矢量网络分析法测量管子的透射与反射性能，判定与定位管子的缺陷。波导中微波的传输特性主要由3个因素决定：一是微波的特征参量，如频率、模式等；二是波导的特征参量，如波导断面的形态和大小参量等；第三个是被填入波导内的物质的特征参量，如媒质的导电系数等。其中，任何一个参数的改变都会引起波导中电磁波传输性质的改变。在试验探测过程中，可以在管壁上预加特定尺寸的裂纹等缺陷，从而改变波导的特征参量，影响管壁的电磁环境，造成其他模式在管壁的传播，从而对管壁的电磁波产生反射与散射，影响管壁电磁波的传播。在此基础之上，对不同形状、不同尺度试样的类型等进行测试。

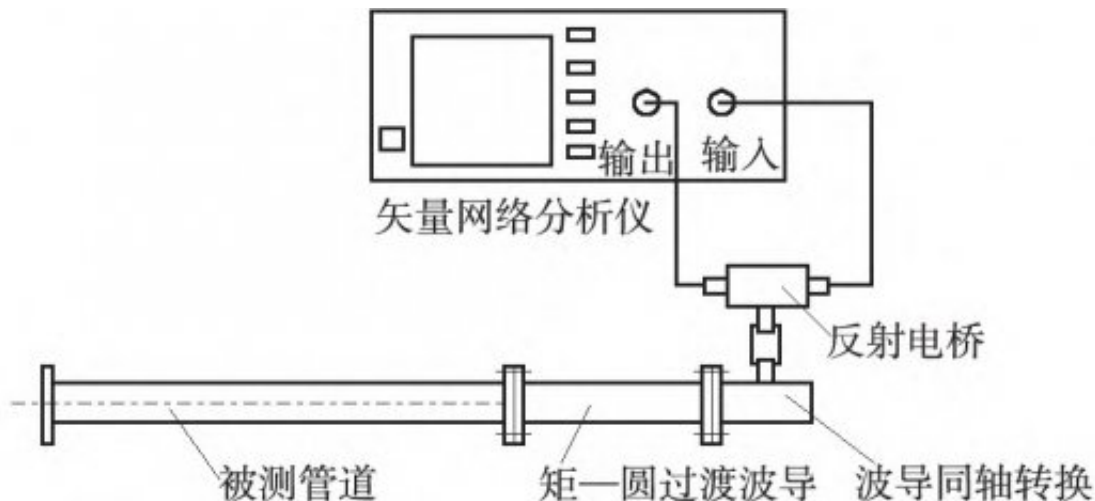


图4 管道内表面检测方案

管道的内表面检测方案如图4所示：将电桥两端连接到微波向量网络分析仪的输入端，而电桥则连接到波导同轴变换器，并在被测管与波导同轴变换器之间连接矩—圆波导，实现TE<sub>10</sub>-TE<sub>11</sub>模态的变换。管道的末端在开口期间为开路状态，封闭时为短路状态，在两种状态下均可检测管道内壁缺陷。

## 6处理合金高压锅炉管的对接焊缝裂纹

从上面的分析可以看出，该对接焊缝裂纹数量、深度、长度较为特殊，在进行了多方考量之后，最终决定采用环切坡口机彻底清除焊缝缺陷。

首先切一个深61mm、宽13mm的切口，利用坡口刀将上下的坡口推出，再利用圆角刀切掉槽底下下的圆角，检查完毕、确认合格后，利用坡口刀将圆角、修切坡口平滑过渡，变成一个U形的坡口。根据上述对高温合金锅炉管裂纹成因的分析，应使用不含有任何杂质的Ti作为焊缝物质，而且这种物质必须符合光谱的要求，即焊接前必须采用电加热的方式进行预热，在200~300 进行焊接。

实施焊接作业时，必须使层与层之间的温度保持在200~400 。单层焊缝的厚度比电极直径长2mm，但轨的旋转宽度比电极直径小5倍。焊接时，要注意每一层的焊接并注意收弧、起弧的焊接质量。由于是对集箱三通和连通管进行焊接，因此要有适当的温度补偿，合理、科学布置加热器，在焊缝的中央要对称布置，两侧均要超过4个，以确保焊缝的温度准确、可靠。室温下在任何一个受热区域内，两个测量点的温度差不得超过50 。另外，应采用合适的焊接方式，最大限度提高焊接质量。

修复工作结束后，对焊接接头进行各项试验，未发现任何缺陷，而且焊缝为回火贝氏体组织，硬度也很高，这表明裂纹得到了有效控制。

## 7结束语

在正常使用时锅炉、压力容器和压力管道不允许发生裂纹问题，裂纹是由内部和外部两方面因素共同作用而形成的，会对设备和管道的正常使用造成较大影响。为了提高锅炉、压力容器、压力管道的使用安全性，必须严格对设备进行检查和维修，合理运用现行的检测技术，以最低的成本发现裂纹，并采用相应的防治措施保障锅炉、压力容器及压

力管道的安全、平稳运行。

#### 参考文献

- [1]高聪.锅炉压力容器压力管道检验中的裂纹问题分析[J].中国设备工程, 2022(19): 158-160.
- [2]郑于贤.锅炉压力容器压力管道检验中的裂纹问题[J].化学工程与装备, 2022(9): 270, 269.
- [3]郭素琴.锅炉压力容器压力管道检验中的裂纹问题研究[J].中国新技术新产品, 2022(14): 79-81.
- [4]钱冰, 张树川, 姚新宽.锅炉和压力容器及压力管道检验中裂纹问题分析[J].新型工业化, 2022, 12(7): 67-70.
- [5]万鹏.压力容器压力管道检验中裂纹问题的解决措施[J].新疆有色金属, 2022(3): 30-31.

原文地址：<http://www.china-nengyuan.com/tech/209057.html>