

16MnR 钢高压除氧器焊接接头裂纹的成因

王少清

张宝昌 焦 伟*

(徐州市锅炉压力容器检验所) (哈尔滨焊接研究所)

葛兆祥

(江苏省电力试验研究所)

摘 要 本文采用电镜、X射线衍射分析、裂纹扩展速率 da/dN 及门槛值 ΔK_{th} 试验,研究了火力发电厂 16MnR 钢高压除氧器焊接接头裂纹的形成原因。结果表明,原发裂纹为延迟裂纹,运行工况下,裂纹以应力腐蚀裂纹 (SCF) 方式扩展。

关键词 除氧器; 焊接接头; 裂纹

0 序 言

除氧器是火力发电厂的重要压力容器,其能否安全运行,直接关系到人身和发电机组的安全。近年来的统计资料表明,除氧器焊接接头产生裂纹并因此而造成不同程度的事故,已成为严重危及电力安全生产急待解决的全国性课题。

查清裂纹成因,是采取有效措施,根治这一严重隐患的依据。为此,特对某电厂一台裂纹十分严重的除氧器进行了裂纹成因解剖研究。

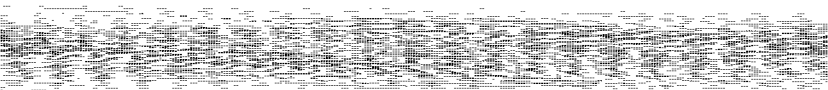
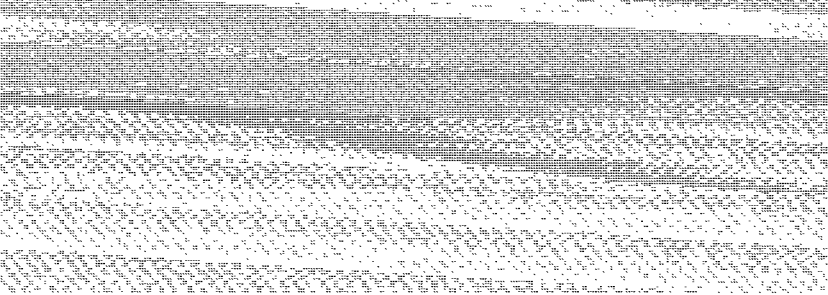
该项研究,既可指导生产,防止裂纹的产生,又可作为制订补焊修复工艺措施的依据。

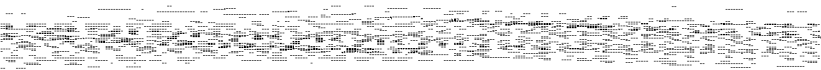
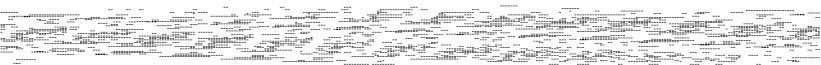
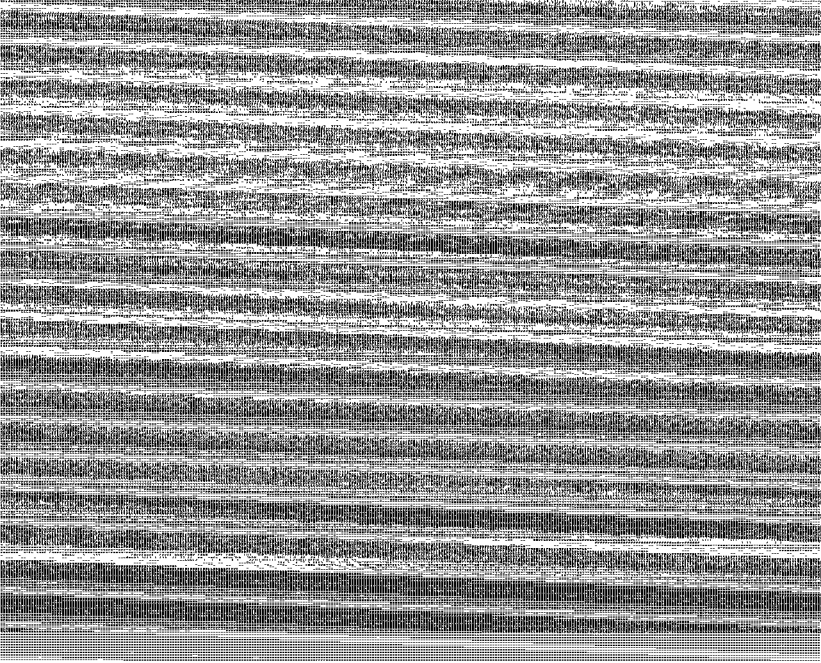
1 容器概况

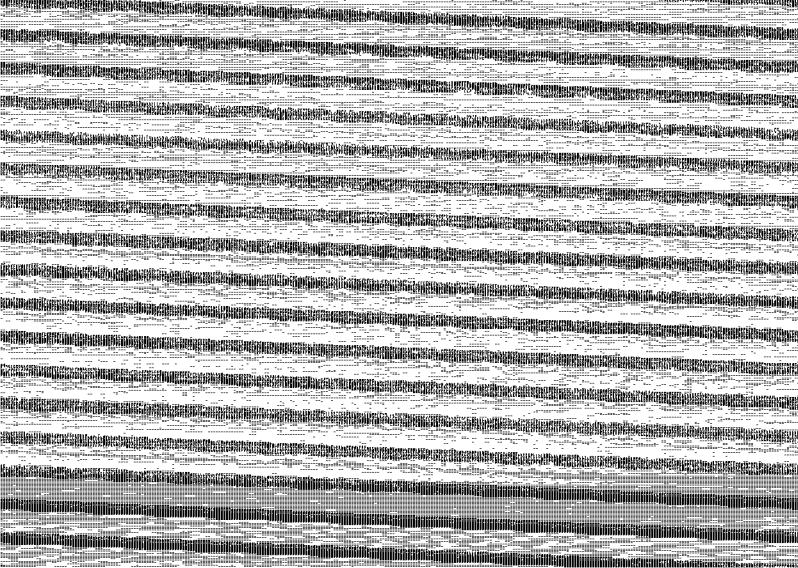
该除氧器配于 125MW 机组,出力 400t/h,容积 150m³,长 18.8m,内径 3.5m,壁厚 0.014m,材质为 16MnR。筒体共有 49 条焊缝。其中,两封头各为 8 块瓜皮式钢板手工焊拼接而成,共有 16 道手工焊缝;筒体中部有一现场组装手工焊环缝(以下简称中环缝)。其余均为埋弧自动焊缝。12#角钢弯制而成的 12 道加强环均布并直接焊于内壁(为交错分段焊缝,段焊长度约为 0.2 ~ 0.3m,以下称加强环角焊缝)。除氧器外观图见图 1。

除氧器工作温度为 158℃,工作压力为 0.49MPa。每次开机用汽加热水时,因汽-水温差大(300/20℃),且为急剧加热,故引起容器较大的振动。其振频 $f = 30 \sim 40\text{Hz}$;振

*参加本项工作的还有陈佩寅、闫家树等。







6 裂纹成因分析

综合以上分析,根据裂纹的启裂位置、形态、金相组织及断口形貌可以确定,初始裂纹为延迟裂纹,在应力、腐蚀及疲劳共同作用的运行工况下扩展。

造成延迟裂纹的主要原因为:强行装配、烘干焊条和清理坡口表面污物不严格,加强环角焊缝和对口拉筋随意点焊,不采取预热和焊后热处理措施等。如此不合理的焊接工艺,造成接头富氢、产生淬硬组织和存在较高的应力。三因素综合作用的结果,导致了接头的开裂。

裂纹端部尖细的特征表明,其有扩展行为。而腐蚀产物覆盖于断口且充满裂尖的现象说明裂缝内形成以 Fe_3O_4 的形式在断口结晶的电化学腐蚀过程。

焊接接头表面启裂后,缝内是一个狭小的闭塞区,内外交流不畅。因此,缝内的化学和电化学状态与外部不同,形成了所谓的“闭塞电池腐蚀”- 电化学腐蚀^[1]。水中的溶解氧是引起金属腐蚀的主要原因。在 $\text{Fe}-\text{O}$ 组成的腐蚀电池中, Fe 为阳极,被腐蚀;氧为阴极,被还原。即: $\text{Fe}-2\text{e}=\text{Fe}^{2+}$; $\text{O}_2+2\text{H}_2\text{O}+4\text{e}=4\text{OH}^-$ 。 Fe 被溶解氧腐蚀后产生 Fe^{2+} 在水中进行二次反应,生成 Fe_3O_4 (结晶于断口表面)和 Fe_2O_3 (积于焊口)。随着腐蚀的继续进行,断口表面的结晶层越来越厚,甚至充满裂缝的端部;而疏松的二次腐蚀产物层(如 Fe_2O_3),也在裂缝口越积越多,初始对容器表面进行宏观检查时,发现裂缝口均堆积有这种二次腐蚀产物。

当初始阶段裂纹自由表面形成的钝化膜破裂时(主要是裂纹尖端),新的裸金属便露出表面。无膜的尖端和有膜的两侧所产生的较高电位差,使缝尖成为腐蚀的活性点, Fe 因此而继续溶解,其一是再生 Fe_3O_4 ,二是发生放氢反应: $\text{Fe}^{2+}+2\text{H}_2\text{O}=\text{Fe}(\text{OH})_2+\text{H}_2$ 。其结果一方面使金属继续被腐蚀,另一方面放出的氢进入缝尖金属后,大大降低了裂纹的临界扩展应力,使裂纹发生低应力扩展。反应放出的氢与焊接过程中的扩散氢相加,大大提高了接头的富氢程度,甚至造成氢脆扩展。测试结果表明,水侧焊接接头的残留氢高于汽侧近一倍。

造成裂尖钝化膜破裂的主要因素有:

- (1) 裂纹端部因应力集中而产生的变形。
- (2) 水中含有一定氯化物 (MgCl 、 CaCl) 时,其在缝内与水生成沉积物和 HCl 。而 HCl 的作用一是使缝内酸化破坏保护膜,二是放出氢;
- (3) 充满缝内的沉积物因体积膨大而造成楔入应力高达 68.9MPa。
- (4) 运行工况下疲劳载荷的作用。

腐蚀环境中,在拉应力与疲劳载荷共同作用下,裂纹扩展后露出新的裸金属继续被腐蚀,形成所谓的“活性通道”,裂纹便沿着此“通道”不断扩展^[2]。

“凝汽器”泄漏并使生水进入容器,是水中溶解氧含量高和含有氯化物的主要原因,泄漏越频繁,上述腐蚀越严重。造成裂纹扩展的力学条件主要为膜应力、焊后残余应力和强行组装应力。随开停机而呈周期性变化的膜应力、温差应力,汽-水冲击力及其振动所

引起的应力波和容器体大壁薄,刚度不足,因压力和温度波动而引起筒体的交变弹性变形则是造成容器疲劳的主要因素。

取该容器焊接接头于空气及热水介质(取自电厂除氧器)中进行裂纹扩展速率 da/dN 和门槛值 ΔK_{th} 试验,其结果如下:

(1)热水介质中的 da/dN 约为空气介质的两倍。

(2)热水介质中不存在 $\Delta K_{th}^{[2,3]}$ 。

(3)试验条件下,由 Paris 公式得空气介质中的条件门槛值 $\Delta K_{th} = 140 \text{ N/mm}^{3/2}$ 。

(4)在 $\Delta\sigma = 61.25 \text{ N/mm}^2$ 的条件下,由当量裂纹 $\bar{a} = \pi^{-1} \Delta K_{th}^2 \Delta\sigma^{-2}$ 得对应于 ΔK_{th} 的 $\bar{a} = 1.66 \text{ mm}$ 。

以上结果表明,水线以下,由于腐蚀疲劳的作用,致使水介质中的焊接接头一旦产生裂纹即扩展(无 ΔK_{th}),且扩展速率比在空气中快一倍^[4]。而水线以上,由于不具备腐蚀疲劳条件,所以由氢或其它因素所引发的裂纹,当 $\bar{a} < 1.66 \text{ mm}$ 时,在运行工况的应力幅条件下,裂纹不发生扩展。这就是为什么表 1 所示的裂纹均产生于水侧,而水线以上未发现宏观可见裂纹的原因。

综上所述,不合理的焊接工艺和结构,增加了诱发裂纹的几率;应力腐蚀的环境,降低了裂纹扩展的临界应力;腐蚀疲劳的作用,加速了裂纹的扩展。

7 结 论

(1)该容器手工焊接头的原发裂纹主要为氢等因素所导致的延迟裂纹。

(2)裂纹所处环境,具备应力腐蚀扩展的条件且承受疲劳载荷。因此裂纹在运行工况下,以 SCF 方式扩展。

(3)裂纹均产生于水侧焊接接头的主要原因是其在腐蚀疲劳作用下不存在门槛值。而水线以上由于不具备水侧的腐蚀条件,因此运行工况下, $\bar{a} < 1.66 \text{ mm}$ 的裂纹不发生扩展,故水线以上的焊接接头未见宏观裂纹。

(4)该容器焊接接头产生裂纹,并非 16MnR 钢材的自身问题。

(1993 年 11 月 5 日收到修改稿)

参 考 文 献

- 1 左景伊,应力腐蚀破裂,西安交通大学出版社,1985.
- 2 张宝昌,焊接结构安全评定技术,北京:机械工业出版社,1990.
- 3 洪起超,工程断裂力学基础,上海交通大学出版社,1978.
- 4 葛兆祥等,热水及空气介质中火电厂除氧水箱接头裂纹扩展行为的研究,第六届全国焊接学术会议论文集,1990.

Cause of cracks in welded joints of higher-pressure deaerator made of 16MnR steel

Wang Shaoqing

(Xuzhou Boiler and Pressure Vessel Inspection Institute)

Zhang Baochang, Jiao Wei

(Harbin Research Institute of Welding)

Ge Zhaoxiang

(Jiangsu Power Test & Research Institute)

Abstract In this paper, the cause of cracks in the welded joints of higher-pressure deaerator made of 16MnR steel for thermal power plant was studied with electron microscopy, X-ray spectroscopic analysis, da/dN and ΔK_{th} test. The results show that the cracks were the delay cracking which propagated in a way of stress corrosion cracking in operation.

Key words deaerator; welded joint; crack