

# 660MW超超临界集箱管座焊缝开裂分析及措施

杨定龙, 陈晓东

(江苏射阳港发电有限责任公司, 江苏 射阳 224345)

**摘 要:** 电厂锅炉压力容器受压元件的安全运行, 是电力生产普遍关心的问题, 而焊缝裂纹是电厂锅炉运行的巨大隐患。本文针对射阳港发电有限责任公司三期超超临界锅炉三次集箱管座焊缝产生的裂纹进行分析和处理, 通过一系列措施的实施消除了设备隐患, 保证实施后锅炉的安全、稳定运行。

**关键词:** 管座焊缝; 裂纹; 原因分析; 措施

## 0 概述

射阳港发电有限责任公司三期工程#5 炉为 660MW 超超临界参数燃煤发电机组, 锅炉为东锅 DG2060/26.15-II2 型超超临界参数变压直流炉、一次再热、平衡通风、露天布置、固态排渣、全钢结构架、全悬吊结构 II 型锅炉, 采用前后墙对冲燃烧方式。额定蒸发量 2060t/h, 主蒸汽出口温度为 605℃, 额定工作压力为 26.15 MPa; 再热蒸汽出口温度为 603℃, 额定工作压力为 5.14 MPa。

## 1 存在的问题

#5 炉于 2011 年 8 月投入商业运行至今, 而集箱管座焊缝在近两年分别出现四次裂纹, 停机处理三次, 带压堵漏处理一次, 严重影响了机组的安全运行, 给公司带来了巨大的经济损失。

### 1.1 集箱疏水管座裂纹发生情况及参数

#### 1.1.1 #5 炉 A 侧高再集箱管座裂纹

2011 年 8 月 29 日, 检修人员巡查发现#5 炉 A 侧高再集箱保温内就出现频繁渗水现象, 将保温彻底拆除进行检查发现#5 炉 A 侧高再集箱疏水管座漏汽严重, 9 月 2 日机组临检停役期间进行处理。见图 1。



图 1 #5 炉 A 侧高再集箱疏水管座裂纹

#5 炉高温再热器集箱材质为 SA-335P92, 规格为  $\phi 812.8 \times 54$ , 其连接于集箱疏水管座材质为 SA-213T91, 规格为  $\Phi 37.3 \times 4.5$ , 疏水管材质为 SA-213T91, 规格为  $\Phi 33.4 \times 3.8$ 。再热蒸汽出口介质额定压力为 6.3MPa, 温度为 603℃。产生裂纹处材质为 T91 钢。

#### 1.1.2 #5 炉 B 侧屏过至高过连接管疏水管座裂纹

2012 年 5 月 30 日上午, 检修人员巡查时发现#5 炉 B 侧屏过至高过连接管疏水管座 T91 材质焊缝开裂泄漏。31 日再次现场检查焊缝裂开达 1/2 圈, 比初期检查只有 1/3 圈时已经裂纹延伸了, 焊接裂纹极有断裂的可能, 对未停机进行带压堵漏处理。见图 2。



图 2 #5 炉 B 侧屏过至高过连接管疏水管座裂纹

#5 炉屏过出口混合集箱材质为 SA-335P92, 管径  $\Phi 520.7 \times 89.6$ 。屏过出口至高过连接管疏水管座材质为 SA-213T91, 管径  $\Phi 33.4 \times 7.1$ , 系统介质压力最高为 28MPa, 温度为 551℃。产生裂纹处材质为 T91 钢。

#### 1.1.3 #5 炉 B 侧高再集箱管座裂纹

2012 年 9 月 8 日, 检修人员在日常巡检发现#6

炉 B 侧高再集箱保温内就出现轻微渗水现象。2012 年 9 月 15 日停机 B 级检修，将管座切除后，发现集箱壁内存在裂纹，进行裂纹挖补，直至集箱扩至直径 55mm 裂纹消失。后由东锅定加工管座、弯头及管道配件进行恢复，对其六道焊口进行超声与拍片全部合格。该处集箱及疏水管参数同 1.1.1。见图 3。



图 3 #5 炉 B 侧高再集箱疏水管座裂纹

1.1.4 #5 炉 B 侧主蒸汽取样一次阀管座裂纹断裂

2013 年 3 月 15 日 18:35 分机组负荷 543MW，主汽压 23MPa，集控运行人员巡查发现#5 炉 73 米层锅炉前墙 B 侧主蒸汽管道处有较大泄漏声，检修人员现场检查确认为主蒸汽取样管道泄漏。16 日 24:40 分，泄漏声骤然变大，检修人员现场检查确认主蒸汽 B 侧取样一次阀管道断裂，主蒸汽集箱取样一次阀连接管道对空泄漏，遂即申请停机抢修。见图 4。



图 4 #5 炉主蒸汽取样一次阀连接管道焊口开裂

#5 炉主蒸汽取样一次阀与连接管道的焊口失效开裂，焊接接头处环向性破裂，阀门本次焊接部分光谱检查材质为不锈钢 314，其连接管道材质为 SA-213T91 管道，取样一次阀集箱管座材质为

1Cr18Ni9 不锈钢材质，发生断裂的部分为不锈钢 314 与 SA-213T91 管道焊缝。

2 裂纹产生的原因分析

2.1 材料因素

经过焊接技术人员、基建质检人员及检修技术人员进行沟通，对 T91 小口径裂纹的原因进行了详细分析，投入以来#5 炉四起集箱管座处裂纹来看，发生裂纹及断裂部分的材质均为 SA-213T91。

2.1.1 SA213-T91 钢材料不合格

钢材料不合格，导致母材在热态运行中，介质温度和压力的变化产生热应力等诸多复杂应力同时作用在管座上，当管壁厚选用裕度不够时，易在应力最大的管接头区域产生裂纹。

T91 钢是一种典型的新型强韧化铁素体耐热钢，组织为回火马氏体。具有较低的线膨胀系数和良好的导热性。基体和回火时析出的第二相在 600℃ 以上不是很稳定，因此长期使用温度不能超过 600℃，各国规定 T91 钢使用极限温度 593℃。见表 1、2。

表 1 T91 钢化学成分

钢	C	Si	Mn	Cr	Mo	V	Nb	N
T91	0.08~	0.20~	0.30~	8.0~9.5	0.85~	0.18~	0.06~	0.06~
	0.12	0.50	0.60		1.05	0.25	0.10	0.07

表 2 T91 钢常温力学性能

钢种	$\sigma_b$ /MPa	$\sigma_{0.2}$ /MPa	$\delta$ /%	$A_{kv}$ /J
T91	>585	>415	≥20	220

2.1.2 SA213-T91 焊接性能极差，易出现冷裂纹

钢的焊接性能通常采用碳当量[C]来衡量，在 0.4 以下说明钢具有好的焊接性能，否则钢的焊接性能就很差，根据经验公式计算如下：

$$\begin{aligned}[C] &= \omega_c + \omega_{Mn}/6 + \omega_{Cr}/5 + \omega_{Mo}/4 + \omega_{Ni}/15 \\ &\quad + \omega_{Si}/24 + \omega_{Cu}/13 + \omega_p/2 \\ &= 0.10 + 0.45/6 + 8.75/5 + 0.95/4 + 0.20/15 \\ &\quad + 0.35/24 + 0 + 0.01/2 \\ &= 2.195\end{aligned}$$

可以明显看出这个结果远大于 0.4，说明它的焊接性能极差，易出现冷裂纹。

2.1.3 部分疏水管座 SA213-T91 材质制造不合格

从切除的管座硬度测试来看，测硬度为 120HB 左右，而合格的 T91 钢硬度应在 ≤250 HB 左右。

2.2 环境因素

温度影响 SA213-T91 的许用应力，当温度超过 400℃ 时，T91 钢的许用应力降低较快，特别在 550℃

以上时随温度的升高,许用应力明显降低。许用载荷比许用应力低的更多,一旦存在过大的应力集中就可能造成材料的局部损伤。

射阳港发电有限责任公司#5 炉一次汽系统疏水(见图 5)与二次汽疏水合并一集箱,导致一次汽疏水后通过集箱将疏水渗入至二次汽系统管座,同样二次汽疏水后通过集箱也会疏水渗入至一次汽系统管座。由于高温疏水管座均为 T91 材质,疏水管中冷凝水进入管座和集箱处,疏水管内积蒸汽凝结水,水面波动导致内壁热疲劳及由于温差较大发生交变应力产生裂纹。

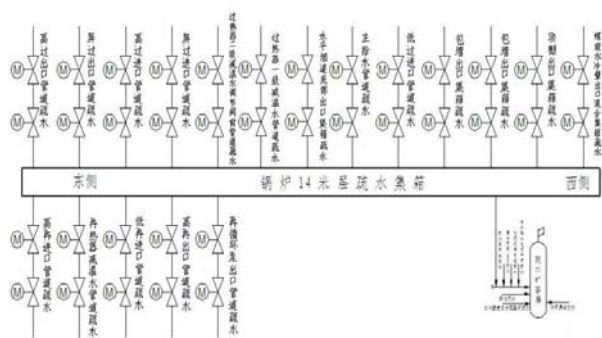


图 5 #5 炉一次汽及二次汽疏水布置

## 2.3 人为因素

### 2.3.1 焊接人为因素

在焊接过程中,由于电流过小,使填充材料不能与被焊材料充分熔合,造成未焊透或未熔合,这是先天微裂纹的根源;如果焊接线能量过大,焊接速度偏慢,又会使焊缝及热影响区过热,使焊缝结晶组织粗大,使热影响区的组织明显劣化,许用应力将大大降低;

### 2.3.2 焊后热处理因素

焊后热处理也是一个值得重视的问题,如果没有及时进行热处理,或者加热温度不够、恒温时间过短、升降温速度过快都会使组织不能完全正确转变,且在降温速度过快的情况下易出现脆性组织;同样道理加热时间过长或者超温处理都会使组织性能变得低下,同样是危险的根源。

### 2.3.3 对缺陷的处理方法因素

在对超标缺陷进行返修时没有充分预热和热处理,使返修处存在残余应力。

结合诸多因素的联合作用,使这坚不可摧的钢管也变得脆弱了,以致产生微观裂纹进而在各种力的作用下促使其继续扩展。

## 3 裂纹的防范措施

660MW 机组锅炉集箱管座裂纹泄漏若导致一次停机,就会造成几百万元的经济损失,故要高度重视及防范,严格执行正确的焊接和热处理措施,保证联箱管座角焊缝质量。

### 3.1 严格控制焊接工艺避免产生裂纹

#### 3.1.1 对于 T91 钢焊前要进行现场焊接工艺评定

一般情况下要先预热至 100~150℃进行氩弧打底,打底完毕后再继续升温至 250~350℃后开始焊接;管座焊接采用手工电弧焊多层多道的焊工艺,第一层焊接时,焊接速度控制的稍快点(焊接速度选择 130-150mm/min 之间),考虑到焊条的可达度,尽量采用  $\phi 2.5\text{mm}$  焊条进行焊接,其余层次改用  $\phi 3.2\text{mm}$  焊条焊接,并采用短弧焊,直道运条,不作横向摆动,焊接时严格控制层间温度,不大于 100℃,以防止堆焊部位过热,层间接头相互错开,以免新的裂纹产生。过度段和弯管采用手工氩弧焊,焊接过程中注意管内充氩或涂免充氩保护剂。

#### 3.1.2 焊接过程中要控制焊接线能量

防止过热和未熔合现象发生,因为 T91 钢的焊接热影响区性能的劣化程度随焊接线能量的增加而加剧,所以在 1100℃以上停留时间要短,从而降低晶粒的粗化程度,同时也要保证层间温度在 300~350℃之间。

#### 3.1.3 要正确选用焊接材料

对于 T91 钢来说要使用烘干的低氢型碱性焊条。

#### 3.1.4 提高焊工的理论和实际水平

尽量减少一切焊接缺陷的发生。

#### 3.1.5 焊后要注意保温

防止焊口过速冷却,产生脆硬组织,影响焊接质量,为了防止冷裂纹的出现最好在焊后及时进行热处理,而且要严格控制热处理升降温速度以  $\leq 150^\circ\text{C}/\text{小时}$  为宜,恒温温度为  $750^\circ\text{C} \pm 10^\circ\text{C}$ ,恒温时间按壁厚每 25 mm 为 1 小时计算,且不小于 1 小时。保证正常组织的均匀形成,成型的热处理工艺曲线如图 6 所示,当焊接接头冷却至 120℃时如果不能立即进行热处理,应做加热至 350℃、恒温 1 个小时的后热处理。

对于裂纹修复结束 24 小时后对补焊部位进行机械打磨,焊缝打磨程度要求达到比结合面高出 1mm,并清理掉焊缝周围的药渣及飞溅,借助放大镜观察有无裂纹、夹渣、气孔等缺陷,同时用 UT



检验对焊缝及其周围进行检验，经检验后合格，没有发现新裂纹产生。

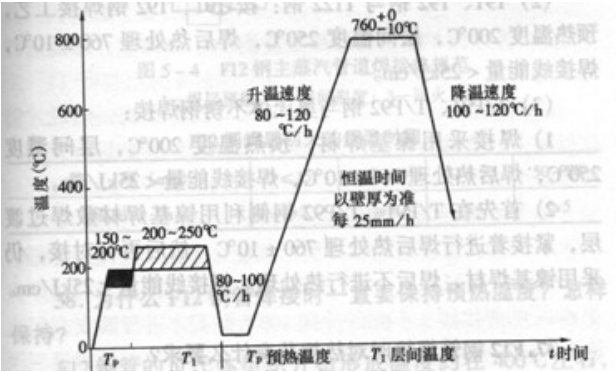


图 6 热处理工艺曲线图

3.2 #5 炉一次汽、二次汽系统疏水集箱需分开布置

新加工再热系统疏水集箱  $\Phi 219 \times 25$ ；L=1400 材质为 12Cr1MoVG，带管座四根，分别接于原低再、高再疏水管。集箱安装现场有固定支座及活动支座，活动支座膨胀方向一致。新装再热系统集箱疏水母管尺寸为  $\Phi 108 \times 12$ ，材质为 15CrMoG，从#5 炉 13 米层引至#5 炉疏水扩容器 N3 管座端部接口，疏水管系较长疏水时扰动大，同时加装弹簧吊架 4 处。



图 7 重新布置的#5 炉一次汽及二次汽疏水

3.3 正确采用检测方法不放过裂纹

无损探伤在条件许可时尽量采用多种方法进行检验，减少漏检范围，及早发现隐藏的危险性缺陷。

4 结束语

综上所述一种缺陷的产生是受多方面因素共同影响的，包括冶金、焊接、检测、热处理、使用环境等诸多因素的共同作用，所以要全面分析，综合防范，消除一切可能的隐患，控制好每一个环节，排除一切不利的干扰因素，全面增强制造、安装、运行人员的综合素质及责任心，这也是保证机组正常运转的必要而基础的条件。

通过一系列措施的落实，经过检修人员及金属监督人员的检验在今年未发现裂纹现象，证明焊接效果良好。可以验证处理 F91 管座裂纹的方法是行之有效的，为以后处理相关缺陷积累了经验，为机组的安全、经济、稳定运行提供有力的保障。

参考文献：

[1] 刘国刚.660MW 机组锅炉联箱管座角焊缝开裂原因分析及建议[J].山东电力技术,2007(01):68-70.  
[2] 郭正民. T91 钢受热面管排组焊检验方法应用探讨[A].2002.

作者简介：

杨定龙（1977—），男，江苏盐城人，电厂锅炉专职，主要从事发电厂锅炉的技术管理、设备管理工作；  
陈晓东（1976—），男，江苏盐城人，助理工程师，主要从事发电厂的锅炉本体点检工作。