

1000MW 锅炉水冷壁 T23 管泄漏原因分析及措施

汪建飞

(江苏常熟发电有限公司, 江苏 常熟 215536)

摘 要: 江苏常熟发电有限公司#5 锅炉 1000MW 水冷壁采用 T23 材料, 在机组调试及 168 试运阶段都出现了泄漏现象。通过分析原因, 提出了解决措施。

关键词: 水冷壁; T23; 泄漏; 措施

1 机组概况

我公司#5 锅炉为上海锅炉厂生产的 3098t/h 超超临界参数变压运行螺旋管圈水冷壁直流炉, 单炉膛、一次中间再热、四角切圆燃烧、平衡通风、固态排渣、全钢悬吊结构、塔式、露天布置燃煤锅炉; 锅炉水冷系统采用下部螺旋管圈和上部垂直管圈的型式, 螺旋管圈分为灰斗部分和螺旋管上部, 垂直管圈分为垂直管下部和垂直管上部。螺旋段水冷壁由 716 根 $\Phi 38.1\text{mm}$ 的管子组成, 节距为 53mm。螺旋段水冷壁经水冷壁过渡连接管引至水冷壁中间集箱, 经中间集箱混合后再由连接管引出, 形成垂直段水冷壁, 两者间通过管锻件结构来连接并完成炉墙的密封。垂直段水冷壁下部由 1432 根 $\Phi 38.1\text{mm}$ 的管子组成, 节距为 60mm; 垂直段水冷壁上由 716 根 $\Phi 44.5\text{mm}$ 的管子组成, 节距为 120mm, 垂直管圈之间的过渡通过 Y 型三通来实现。39.4m 以上水冷壁均为 T23 材料。

2 水冷壁泄漏情况

#5 机组自调试及 168 试运期间锅炉水冷壁共发生内、外漏共计 70 余处, 且漏点都集中在漏点分布在螺旋水冷壁转角刚性梁附件、填块与水冷壁管焊

缝处、燃烧器区域转角弯头焊缝与鳍片焊缝相交处、垂直段与螺旋段过渡段加强筋板处、水冷壁锻造 V 型三通 (F23)、十二通 (F23) 焊口与鳍片焊缝处、梳形板与管子焊缝处, 泄漏均为裂纹形式。从结构上看, 漏点处束缚力较大。(见图 1)



图 1 泄漏裂纹

3 测试分析

3.1 化学成分分析

据苏州热工院提供的化学成分分析报告(见表 1), 水冷壁材料成分除焊缝 W 元素含量略低于标准要求外, 其余化学元素成分均符合标准要求。

表 1 水冷壁材料化学成分分析报告

标准	Wt / %												
	C	Si	Mn	P	S	Cr	Mo	V	W	Nb	B	N	Al _{tot}
ASME	0.04		0.10	≤	≤	1.90	0.05	0.20	1.45	0.02	0.0005	≤	≤
SA213	~	0.50	~	0.03	0.010	~	~	~	~	~	~	0.40	0.030
T23	0.10		0.60			2.60	0.30	0.30	1.75	0.08	0.0060		
GB5310	0.04		0.10	≤	≤	1.90	0.05	0.20	1.45	0.02	0.0005	≤	≤
07Cr2Mo	~	0.50	~	0.025	0.010	~	~	~	~	~	~	0.03	0.030
W2VNB	0.10		0.60			2.60	0.30	0.30	1.75	0.08	0.0060		
A 侧母材	0.07	0.25	0.37	0.013	0.009	2.28	0.14	0.25	1.60	0.05	0.002	-	-
B 侧母材	0.07	0.27	0.38	0.012	0.008	2.35	0.14	0.24	1.68	0.03	0.002	-	-
焊缝	0.08	0.29	0.58	0.013	0.010	2.05	0.15	0.21	1.32	0.03	0.001	-	-

3.2 金相组织分析

根据金相试验结果分析，送检水冷壁 A、B 侧母材均为回火贝氏体组织，金相组织正常（见图 1）。而存在裂纹的焊缝部位及断口部位金相组织为块状铁素体+珠光体/贝氏体（见图 2）。其对侧无裂纹的焊缝部位则为贝氏体组织（见图 3），两者差异极大，其中前者焊缝区域出现的较多块状铁素体为非正常焊缝组织。

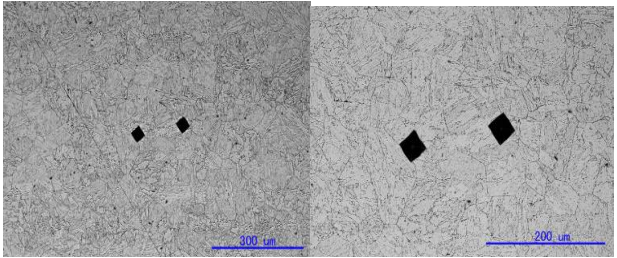


图 1 水冷壁管母材金相组织

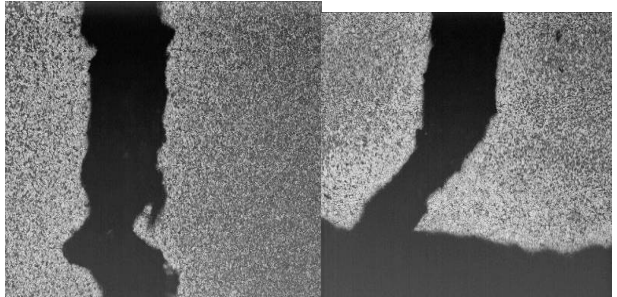


图 2 断口部位材料金相组织图

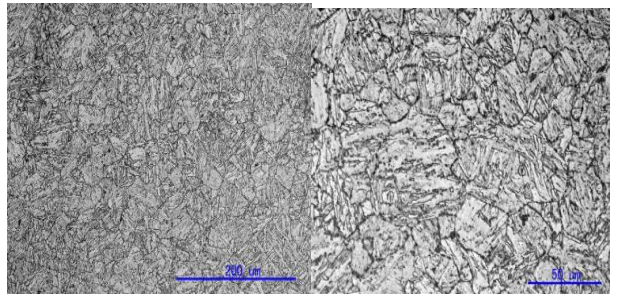


图 3 断口对侧材料金相组织图

3.3 显微硬度测试分析

表 2 焊接接头显微硬度测试分析

显微硬度	HV _{0.2}	
	测试值	平均值
B 侧母材 1	175, 179	177
B 侧母材 2	167, 167	167
鳍片部位 1	218, 220	219
鳍片部位 2	216, 220	218
焊缝 HAZ 粗晶区	232, 246	239
焊缝 HAZ 细晶区 1	311, 313	312
焊缝 HAZ 细晶区 2	325, 327	326
焊缝断口部位	215, 229	222

对焊接接头各区域进行显微硬度测试(见表 2)，

载荷 200g，保载时间 15s，鳍片、水冷壁母材和焊缝部位硬度值均处于正常水平，但焊缝热影响区的贝氏体细晶区硬度值明显偏高，两处测试平均值分别为 312 HV_{0.2}和 326 HV_{0.2}，超出GB5310-2008 和 SA213 相关要求。

3.4 应力分析

根据江苏方天电力科技有限公司对现场 50m、70m、89m 三个不同部位的应力测试报告分析，T23 水冷壁应力主要有残余应力、拘束应力和部分工作应力组成。水冷壁对接焊口附近鳍片开应力释放槽对于释放调整局部区域的应力分布作用效果明显；在某一开槽长度下，测点理开槽位置越近，应力变化越大，随着距离的增大，应力值变小；随着开槽长度逐渐加长，各点的应力值也逐渐增加，开槽释放应力影响范围与开槽相对位置和长度有关。综合各点应力变化趋势来看，开槽长度在 500mm 左右时，其释放范围大致在 5-7 根水冷壁。

4 泄漏原因分析

4.1 T23 钢的冷裂纹倾向

根据有关资料介绍，T23 钢对冷裂纹的敏感性很低，其无裂纹倾向的预热温度为室温 20℃，在焊接薄壁、小直径锅炉受热面管子时，若环境和工件温度在 20℃以上，就可以不做焊前预热。并据有关试验结果显示，根据斜 Y 型拘束裂纹试验得到，裂纹敏感性大致是按 T23≥P91≥T22 的顺序依次增大。但是根据上锅厂生产实践表明，T23 钢有一定的冷裂倾向。因此对于厚壁大拘束构件的焊接，还是推荐做适当的预热，可有效的防止厚壁大拘束情况下冷裂纹的产生。

4.2 T23 钢的再热裂纹倾向

再热裂纹是指焊后对焊接接头再次加热时所产生的开裂现象，焊后未经再次加热并无裂纹产生。再热裂纹的特征是沿晶开裂，开裂的前提条件是：①存在焊接残余应力，②存在敏感的化学元素。由于残余应力的作用，在一定高温范围加热时，应力松弛应变超过蠕变塑性，以促成再热开裂。

据文献报道，上海锅炉厂曾进行了“HCM2S 钢（T23 钢）再热裂纹敏感性试验研究”的相关工作。结果表明，在 600℃到 760℃之间 T23 钢均有不同程度的裂纹产生，最敏感的温度范围是 690℃-760℃。并且，在相同的再热温度下，预热温

度越高,再热裂纹率低,可见提高预热温度可在一定程度上避免再热裂纹的产生。

5 综合分析

通过对 T23 钢材料本身的焊接性分析并借鉴有关资料报道的焊接性试验研究结果表明,该钢具有一定的冷裂纹倾向,在 T23 钢结构拘束度大以及应力集中处如水冷壁,焊接工艺欠合理及焊后未消应力处理的情况下,会导致冷裂纹的产生。结合我厂水冷壁 T23 焊缝裂纹,现场安装焊接接头产生冷裂纹倾向更大。加之焊接工艺针对具体结构及特殊环境的实施情况可能会出现一些偏差,在结构应力大且工艺欠合理的情况下,也可能产生再热裂纹。焊后不进行热处理,很难保证得到具有良好冲击韧性的对接焊缝。在早期运行过程中,在复杂的结构应力和焊接残余应力作用下,容易在薄弱环节(起弧、收弧处或其他组织不均匀、淬硬处)产生裂纹,焊缝的粗大晶粒导致裂纹迅速扩展。当锅炉整体结构应力和焊接应力得到释放后,裂纹的出现概率将大大降低。

6 措施

2013 年 2 月,我公司根据水冷壁的运行状况决定对现场焊接的 T23 水冷壁焊缝进行全面检查处理。

6.1 处理范围

1) 39.4m 至 69.2m 水冷壁四角 T23 安装对接焊口 ($\Phi 38.1 \times 6.8$ 约 3500 只)。

2) 70.6m 水冷壁四周 T23 安装对接焊口 ($\Phi 38.1 \times 6.8$ 1432 只)。

3) 90.7m 水冷壁四周 T23 安装对接焊口 ($\Phi 44.5 \times 7.3$ 716 只)。

4) 以上区域水冷壁鳍片密封焊缝。

6.2 处理要求

1) 现场焊接的 T23 水冷壁焊口拍片检查,对有缺陷焊缝进行更换管段处理。

2) T23 管焊接前光谱复核,坡口附近清理干净。

3) 对口时应做到内壁齐平,错口值不得超过 0.5mm。

4) 对接焊口焊接前用火焰进行预热,预热温度推荐 100-150℃;预热的宽度推荐从对口中心两侧不小于 100mm,采用远红外测温仪进行检查预热温度,以确保焊前能达到所需的预热温度。

5) 对接焊口焊后再用火焰进行后热,温度推荐 200-400℃,范围为焊口两侧各 150mm。

6) 鳍片与 T23 管子焊接前用火焰进行预热,预热温度推荐 100-150℃。

7) 及时处理不合格的外观,做好焊缝的 100%MT/PT 检查。

8) 鳍片与 T23 水冷壁管子角焊缝焊接时应尽可能采用间隔跳焊、对称焊等手段进行。

9) 螺旋段四角水冷壁管每隔 6 根开设应力释放槽,开设长度为焊口两侧各 200mm。

7 结论

T23 水冷壁工作应力不是导致安装焊口开裂的主要原因,而是安装过程中焊接缺陷、焊接接头区域材料局部性能劣化和多种焊缝导致复杂的残余应力集中有关。必须严格按照焊接工艺,控制焊接工艺参数,保证预热、焊后热处理温度,落实焊后保温措施。通过对水冷壁现场对接焊口附近鳍片开应力释放槽对于释放和调整局部区域的应力分布的作用也很明显。

参考文献:

- [1] 上海锅炉厂有限公司.锅炉使用说明书[Z].
- [2] 江苏方天电力科技有限公司.江苏常熟电厂二期#5 锅炉水冷壁焊口裂纹试验分析[R].
- [3] 江苏方天电力科技有限公司.超超临界塔式炉水冷壁应力分析与研究报告[R].
- [4] 上海锅炉厂有限公司.T23 水冷壁工地安装焊接工艺参考[Z].
- [5] 苏州热工研究院.神华国华宁海电厂#5、#6 锅炉 T23 钢水冷壁裂纹原因分析[R].