

电站锅炉过热器接头管开裂原因分析



扫码了解更多

■ 马竖

摘要: 针对某电厂350MW机组一段开裂泄露的过热器接头管开裂原因进行分析, 分别开展宏观检查、化学成分分析、室温及高温(400℃)力学性能试验、金相组织检测、断口SEM微观分析及能谱分析等试验。分析结果表明, 接头管开裂原因为原始焊接缺陷引起的应力集中导致了接头熔合线位置裂纹萌生, 裂纹以沿晶形貌的再热裂纹形式在热影响区的粗晶区扩展, 并最终导致接头管开裂泄露。

关键词: 12Cr1MoV接头; 过热器管; 开裂

1. 概述

某电厂2号锅炉是从日本三菱重工成套引进的机组, 于1983年11月投入运行。锅炉结构为半露天型式, 可以混烧高炉煤气、焦炉煤气和煤, 最大持续出力1160t/h, 额定功率350MW。2017年12月, 电厂对该锅炉一级过热器进行改造, 改造后的机组启停不久即发生一级过热器管开裂泄露。一级过热器管母材材质为12Cr1MoV, 运行温度约400℃, 泄露位置位于U形弯水平段的同种钢焊接接头处。

泄露处焊缝为现场安装焊

缝, 采用的焊接工艺为GTAW工艺, 焊前未进行预热, 焊后未进行回火热处理。为了查明管段开裂原因, 防止过热器管再次泄露或爆管发生, 电厂随后将泄露管割下, 对泄露管和临近的一段未泄露的对比管进行了各项检测分析。

2. 试验方法和结果

(1) 宏观检查 图1为泄露管和对比管焊接接头宏观形貌, 按照管子在锅炉的原始位置, 将泄露管和对比管分别编号为18-5和17-3。检查发现, 泄露管18-5焊接接头熔合线位置存在一环

向裂纹, 裂纹开口较小, 长度约90mm。裂纹中部有一段长约25mm, 由裂纹内凸出且颜色发亮的线状金属物。对比管17-3在焊缝附近有吹损减薄特征, 但未发现宏观裂纹。泄露管及对比管在焊缝附近均存在一定的弯度。

(2) 化学成分分析 表1为泄露管18-5和对比管17-3接头两侧母材取样化学成分分析结果。结果表明, 两管段母材取样化学成分均满足GB 5310—2008《高压锅炉用无缝钢管》对12Cr1MoV钢化学成分要求。

(3) 力学性能测试 根



(a) 泄漏管18-5



(b) 对比管17-3

图1 焊接接头宏观形貌

表1 化学成分

编号	化学成分 (质量分数, %)							
	C	Si	Mn	P	S	Cr	Mo	V
18-5-1侧	0.13	0.30	0.58	<0.010	<0.010	1.04	0.30	0.23
18-5-2侧	0.12	0.26	0.59	<0.010	<0.010	1.05	0.29	0.23
17-3-1侧	0.13	0.27	0.58	<0.010	<0.010	1.04	0.28	0.22
17-3-2侧	0.12	0.26	0.58	<0.010	<0.010	1.04	0.28	0.22
GB/T 5310—2008 12Cr1MoV	0.08~0.15	0.17~0.37	0.40~0.70	≤0.025	≤0.010	0.90~1.20	0.25~0.35	0.15~0.30

据试验需要分别对两管段不同位置取样，进行室温和高温（400℃）拉伸试验、焊接接头室温冲击性能试验、以及母材和焊接接头硬度测试。其中焊接接头冲击试验中，由于壁厚限制，试样采用2.5mm×10mm×55mm的小尺寸试样。各项试验结果分别如表2～表4所示。

由表2～表4试验结果可见，各取样位置室温及高温（400℃）拉伸性能均满足GB 5310对12Cr1MoV钢性能要求。泄露管焊缝的冲击韧性相对明显较低，表明接头位置脆性较大。对比管两侧母材及焊接接头硬度，以及泄露管接头两侧母材硬度均满足标准要求，但泄露管焊缝的硬度值超出标准规定的上限值。

（4）金相组织检验 图2为泄露管18-5焊接接头及附近母材取样微观组织形貌。接头一侧母材组织为铁素体+珠光体（见图2a），另一侧母材组织为铁素体+珠光体+贝氏体（见图2b），组织正常。焊缝组织为贝氏体，组织较为粗大（见图2c），裂纹位于热影响区粗晶区，开裂特征为典型的沿晶开裂（见图2e）。亮白色线状金属呈近似倒三角形嵌于裂纹中（见图2f）。

图3为对比管取样的微观组

表2 室温及高温（400℃）拉伸试验结果

试样编号	室温			高温400℃		
	R_m /MPa	$R_{p0.2}$ /MPa	A (%)	R_m /MPa	$R_{p0.2}$ /MPa	A (%)
18-5-1侧母材	516	323	30.0	433	256	29.0
	503	324	27.5	418	253	29.5
18-5-2侧母材	568	398	25.5	457	341	25.0
	549	383	27.5	459	347	23.5
17-3-1侧母材	547	396	25.5	471	320	26.0
	554	407	26.5	486	347	23.5
17-3-焊缝	546	390	21.0	—	—	—
	561	401	19.0	—	—	—
GB 5310规定12Cr1MoV	470~640	≥255	≥21	—	≥219	—

表3 室温冲击试验结果

编号	缺口位置	测试结果KV ₂ /J	
17-3	焊缝	26.0	8.5
18-5	焊缝	1.5	0.5
GB 5310 12Cr1MoV 母材		≥40	

表4 接头维氏硬度试验结果 (HV)

样品编号	检测位置	测试值 HV10			均值
17-3-①	左侧母材	174.1	176.8	172.3	174.4
	焊缝	255.9	251.4	255.3	254.2
	右侧母材	175.9	175.2	178.0	176.4
17-3-②	左侧母材	171.6	171.3	172.9	171.9
	焊缝	264.8	264.2	266.3	265.1
	右侧母材	177.5	178.5	181.3	179.1
18-5-①	左侧母材	177.4	179.1	177.7	178.1
	焊缝	321.7	315.9	325.9	321.2
	右侧母材	155.7	154.1	154.1	154.6
18-5-②	左侧母材	175.1	173.8	175.6	174.8
	焊缝	304.7	309.7	314.6	309.7
	右侧母材	156.3	157.0	154.3	155.9
18-5-③	左侧母材	188.1	183.1	181.2	184.1
	焊缝	295.3	301.5	290.6	295.8
	右侧母材	154.0	152.7	153.2	153.3

注：DL/T 438—2016标准对12Cr1MoV钢硬度控制范围为135~195 HBW（参考标准ISO 18265标准相当于142~205 HV10），DL/T 869—2012标准规定焊缝硬度不超过母材布氏硬度值加100HBW，且合金总含量≤3%，布氏硬度值≤270HBW。

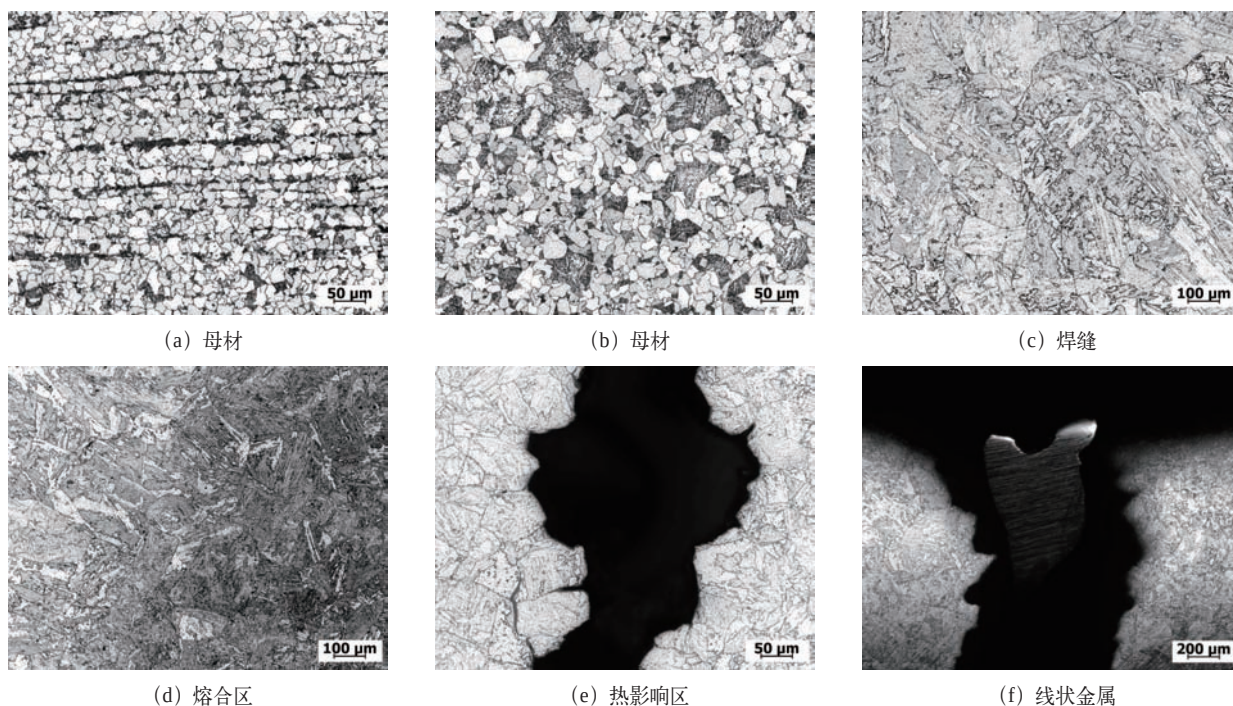


图2 泄露管取样微观组织形貌

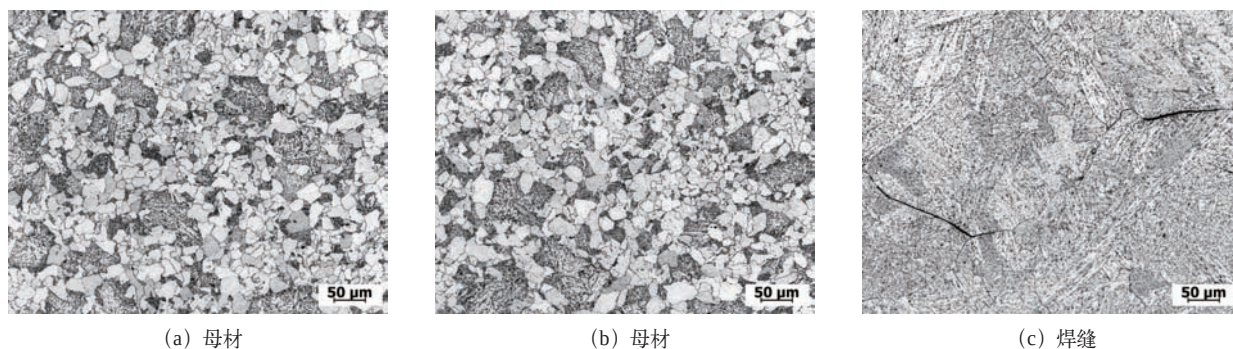


图3 对比管取样微观组织形貌

组织形貌。接头两侧母材（见图3a、图3b）组织均为铁素体+珠光体+贝氏体，组织正常。焊缝（图3c）组织为贝氏体，焊缝内可见多处沿晶微裂纹。

（5）扫描电镜（及能谱分析）将开裂泄露管沿裂纹位置打开，置于扫描电镜下进行断口形貌进行观察，如图4所示。结果表明，断口各区域均为典型的沿晶断口特征，断口靠近外壁侧的氧化程度略重于内壁侧的氧化程度，从断口各区域的氧化程度并

结合断面上隐约可见的扩展放射线判断，裂纹的主扩展方向应为由外壁侧向内壁侧扩展。

3. 试验结果分析

综上理化检验结果，泄露管裂纹中部有一段长约25mm、由裂纹内向外凸出的亮白色线状金属物，线状金属截面呈倒三角形，嵌在裂纹内，与基体熔合较差。这些特征表明，该线状金属区初始可能存在未熔合缺陷，发现后未按规定进行补焊。补焊时存在补焊区域未经清理，焊丝错

用等问题，导致了补焊金属和基体间熔合不良，补焊区呈现为凸起的线状发亮金属物。该区域也成为应力集中区，机组启机运行后，裂纹即在此处萌生并快速扩展至发生泄漏。

裂纹位于粗晶区，表现为典型的沿晶开裂裂纹特征，符合再热裂纹的位置特征和形貌特征。12Cr1MoV钢为铬钼系低合金珠光体耐热钢，焊接性能优良，在580℃以下具有较好的抗氧化和耐蚀性能，广泛应用于我国电站

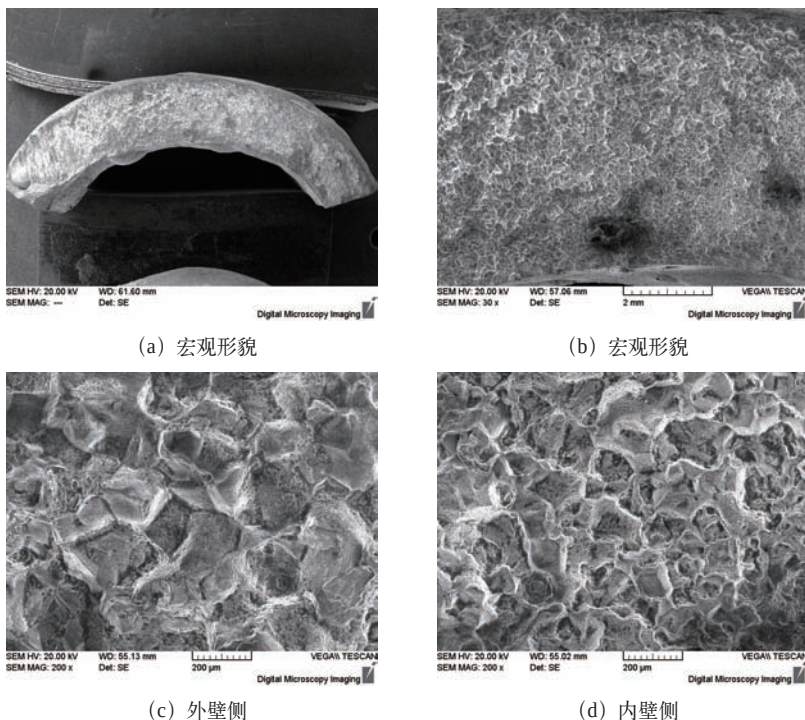


图4 接头断口宏观和微观形貌

锅炉的过热器、再热器、蒸汽管道等高温部件。但12Cr1MoV钢中合金元素均为碳化物形成元素，有析出强化作用，容易在焊接热影响区的粗晶区产生再热裂纹。

综合分析表明，此次爆管是由于该管段存在焊接缺陷，机组运行后，在焊接缺陷位置发生了再热裂纹的萌生和快速扩展。值得一提的是，焊前无预热处理，以及焊接热过程中热输入量过大（表现为焊缝晶粒粗大）等因素也会促进再热裂纹的萌生。

泄露管18-5焊缝硬度偏高，韧性不足，以及晶粒粗大的问题，这是由于施工环境温度较低（上海市11月份，温度约15℃），焊前未进行预热处理，焊后冷速过快造成的。同时，晶粒粗大也表明了焊接时存在焊接热输入量过大的问题。

而关于对比管17-3焊缝内存在较多的沿晶裂纹，从裂纹特征以及分布位置来看，该裂纹属于焊接热裂纹。焊缝一次结晶组织的晶粒越粗大，结晶方向性越强，就越容易促使夹杂偏析，在结晶后期越容易形成连续的液态共晶薄膜，增加热裂纹的倾向。焊接接头温度分布不均匀，冷却速度过快，以及接头厚度较大或受到拘束较强时，焊接热裂纹较容易产生。

4. 结论和建议

通过上述检验结果及分析，导致泄露管开裂的原因为，原始焊接缺陷引起的应力集中导致了泄露管接头位置裂纹萌生，裂纹在焊接热影响区的粗晶区以再热裂纹的形式进行扩展，最终导致接头位置开裂泄露。对比管焊缝中较多的沿晶裂纹为焊接时工艺控制不当（如热输入过大、焊

缝冷速过快等）导致的焊接热裂纹。

（1）对同类型的接头进行监督运行，如条件允许建议定期进行普查，避免超标缺陷或微裂纹扩展引起的爆管。

（2）在后期施工中，特别是环境温度较低时，建议增加焊前预热及焊后热处理工序，并控制好焊接热输入量，以确保达到优良的焊接质量。

参考文献：

- [1] 张栋，等. 失效分析[M]. 北京：国防工业出版社，2013：70-71.
- [2] 李亚江，等. 焊接缺陷分析与对策[M]. 北京：化学工业出版社，2014:181-182.
- [3] 牛锐锋，等. 12Cr1MoVG钢焊接接头粗晶区的再热脆化行为[J]. 机械工程材料，2015，39（6）：79-83.
- [4] 姚钦. HQ-80钢再热裂纹机理[J]. 焊接学报，2004，25（6）：77-81.
- [5] 代小号，冯砚厅. 某电厂再热器出口联箱管接头连续开裂原因分析[J]. 热加工工艺，2012,41（12）：222-223.
- [6] 石云哲，等. 热影响区组织对12Cr1MoVG再热裂纹敏感性的影响. 焊接学报. 2015，36（11）：65-68.

作者简介：马坚，宝山钢铁股份有限公司电厂。

MW 20180425