



燃气-蒸汽联合循环机组余热锅炉典型缺陷修复

曾小云 吕一仕 刘正宇 孙斌

【摘要】某电厂燃气-蒸汽联合循环机组余热锅炉在技术监督检验中,发现高压锅筒、中压锅筒管座角焊缝存在裂纹缺陷,以及再热冷段管道异种钢接头焊缝硬度超标等典型缺陷。针对缺陷的主要特征提出了修复方案,最终成功修复了上述缺陷。

关键词:联合循环机组;金属技术监督;典型缺陷

某电厂燃气-蒸汽联合循环机组燃机型号为日本三菱提供的M701F,汽机型号为东汽提供的TC2F—30,余热锅炉为杭锅制造的三压、再热、卧式、无补燃、自然循环余热锅炉,型号为NG—M701F—R。该机组采用日起停调峰运行方式,部件失效除了在基建中存在的缺陷导致外,大部分为热-机械疲劳、腐蚀等原因造成,以往发生过多起金属部件失效情况。某次技术监督检测过程中,发现锅炉高压锅筒、中压锅筒管座角焊缝存在缺陷,

再热冷段管道不等厚P91/P22异种钢接头焊缝硬度严重超标,均为机组建造、维修中经常出现的典型缺陷。

1. 缺陷情况

(1) 高压锅筒下降管角焊缝气孔缺陷(缺陷1) 余热锅炉高压锅筒设计工作温度329℃,设计工作压力12.07MPa,检查中发现高压锅筒下降管角焊缝存在表面气孔。打磨清除后,测得打磨沟槽长61mm,最深5.5mm,开口最宽10mm,沟槽形貌如图1所示。该高压锅筒筒体材料为

SA516Gr70钢,内径1900mm,取用壁厚105mm,长13400mm。下降管材料为SA105,接管外径566.4mm,取用壁厚106.2mm,管端外径406.4mm,壁厚26.19mm。

(2) 中压锅筒上升管角焊缝裂纹缺陷(缺陷2) 余热锅炉中压锅筒设计工作温度257℃,设计工作压力4.07MPa,检查中发现扩建端上升管角焊缝出现裂纹,形貌如图2所示。该中压锅筒筒体材料为SA516Gr70钢,内径1250mm,厚度28mm,

量、进度、成本管理,实现了单月完成焊道18700道、连续三个月单月完成焊道突破17000道的施工记录,如期、高效、环保的完成了该项目的焊接施工。焊后一次探伤合格率99.5%,完成了水压、冲管、168运行一次成功,2015年12月23日完成168h试

运行移交投产,目前该机组已正常平稳运行约7000h。该项目于2016年10月24~27日在珠海举办的中国工程建设焊接协会第七次会员大会获得2016年全国优秀焊接工程一等奖,该奖项是对莱芜6#机组安装焊接施工作业莫大的肯定。

8. 结语

本工程的焊接施工管理经验必将为今后更多的焊接施工提供可靠的借鉴,具有较好的推广价值。

作者简介:程文俊等,山东电力建设第一工程公司。

MW 20170504



图1 打磨后的沟槽形貌

直段长度13400mm。上升接管材料为SA105，规格为 $\phi 182.9\text{mm} \times 27.4\text{mm}$ 。

(3) 再热冷段管道三通异种钢焊接接头硬度超标缺陷(缺陷3) 再热冷段管道与高再旁路管道通过三通连接，因结构需要此处存在4个不等壁厚异种钢焊接接头，如图3所示。在对这4个焊接接头的检查中发现其中3个接头硬度超标。其中H1焊缝硬度为280~414HBW；H2焊缝硬度为298~340HBW；H4焊缝硬度260~280HBW。光谱检验表明，P91/P22焊接接头采用的是与P91钢焊接匹配的焊材(9Cr-1Mo-Nb-V)；P22/20G焊接接头采用的是与P22钢焊接匹配的焊材(2.25Cr-1Mo)。

在现场对管道规格进行实测：测得三通主管外径556mm，壁厚41mm；P22管外径527mm，壁厚26.5mm；20G管外径506mm，壁厚16mm。

2. 缺陷修复

(1) 缺陷1修复 首先对高压锅筒下降管角焊缝打磨区域进行强度校核。根据现场实测数据，按照GB9222—2008标准，对筒体强度、焊缝补强面积进行校核，然后对打磨形成的沟槽进行补焊。焊接修复能根本上解决此缺陷带来的强度损失，彻底地



图2 上升管角焊缝出现的裂纹

解决缺陷的影响。焊接修复时存在的主要技术难点是焊后热处理。若加热区域温度梯度过大，则修复处将产生较大残余应力，这将对锅筒长期运行产生不利影响。

(2) 缺陷2修复 首先采用机械打磨的方式去除裂纹，清除区域应集中于角焊缝上，避免对筒体母材造成损伤。然后对打磨区域进行焊接修复，由于位置受限，采用氧乙炔焰对修复区域进行焊前预热。优先使用钨极氩弧焊补焊修复，焊接材料采用TIG—J50焊丝。消氢热处理采用氧乙炔焰加热，加热温度350~400℃，恒温10min，恒温结束后用保温棉包扎缓冷。

(3) 缺陷3修复 对于H4焊缝

接接头，由于采用2.25Cr-1Mo焊材，使焊接热处理的可行性大大降低。原因是20G的焊后热处理最高允许温度为650℃，而在这一温度下，即使延长焊接热处理的保温时间，焊缝金属的硬度值也难以下降。

综合考虑设备的现状和焊缝的硬度值，建议对此焊缝进行监督运行的方式：首先对该焊接接头进行UT、MT检测，若存在超标缺陷，则将整条焊缝切除，并采用与20G材料匹配的焊材(TIG—J50焊丝，E5015焊条)重新焊接，焊后进行650℃×2h的热处理；若无超标缺陷存在，则该接头监督运行，并在下次大修时再进行UT、MT检查。若该两次大修检查均未发现超标缺陷，则该焊缝纳入正常技术监督程序。

H1、H2焊缝焊接接头硬度最高分别达到414HBW、353HBW，同一道焊缝不同区域硬度差最大达134HBW、55HBW，无论硬度值还是硬度差值均远超DL/T869—2004标准

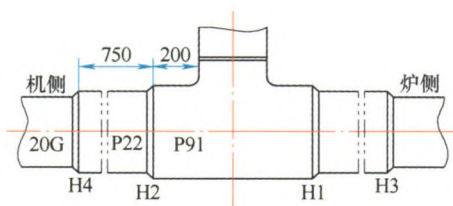


图3 再热冷段管道与高再旁路管道连接焊缝示意

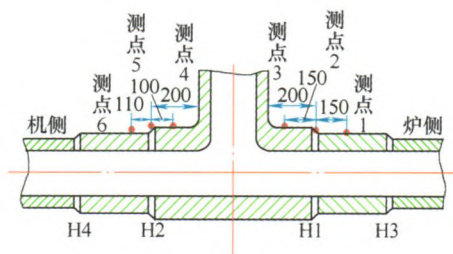


图4 热电偶布置位置

的要求。因此为避免运行中该接头处发生安全事故，必须对H1、H2两个焊接接头进行重新热处理。

3. 缺陷修复性能跟踪

(1) 缺陷打磨区域强度校核 高压锅筒下降管角焊缝打磨区域强度校核包括筒体强度校核与焊缝补强面积校核。经过计算分析，打磨修复后，筒体打磨处的强度能满足标准要求。经校核，打磨处高压锅筒最高允许计算压力=16.77MPa，高压锅筒筒体的计算压力=14.56MPa，说明打磨处筒体强度能满足标准要求；下降管接管开孔需要的补强面积=34066mm²，纵截面上补强面积42048mm²，打磨处补强面积能满足补强要求。

(2) 硬度超标接头再热处理 加热装置、热电偶的布置如图4所示。实际工程中，每个焊接接头布置30kW加热绳，其中P91钢侧布置17kW，P22钢侧布置13kW即可满足加热要求，布置22.0kW加热绳能满足加热要求。

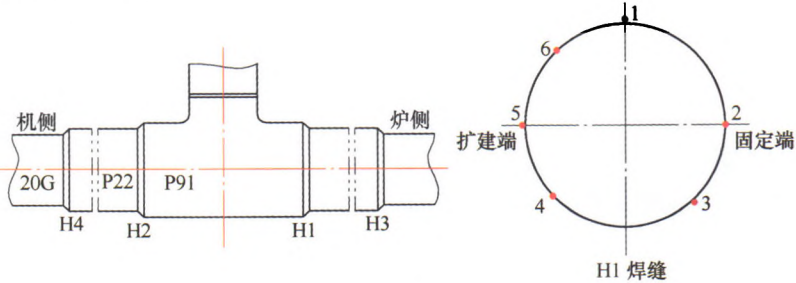
每个接头分别布置3支热电偶，其中1支为控温热电偶，位于焊缝上；2支为测温热电偶，分别位于P91钢和P22钢母材上。热电偶采用点焊的方法固定。处理后接头硬度测点硬度分布如附表所示。经过再次热处理，成功将焊接接头的硬度调整到合理的范围，并且使同一焊缝各测点间的差距控制到标准范围内。H1、H2焊接接头同时热处理。

4. 结语

通过上述缺陷修复工艺成功将裂纹缺陷消除，将硬度超标焊缝处理到合适范围，使机组顺利

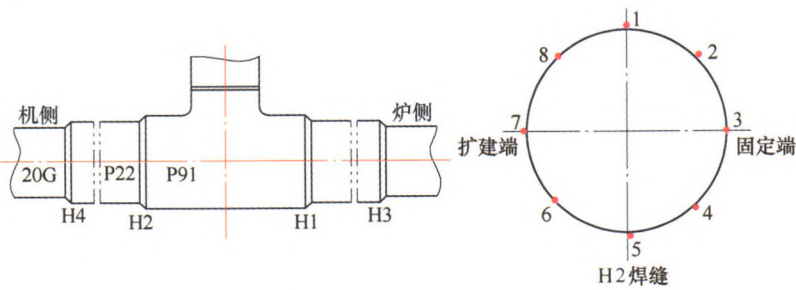
热处理后接头测点硬度统计

测量位置示意图：



测量部件	测点编号	测量值HBW			平均值HBW	备注
H1焊缝	①	289	266	264	273	修复前测量硬度值 280~414HBW
	②	302	305	310	306	
	③	303	305	289	299	
	④	308	296	298	301	
	⑤	294	303	293	297	
	⑥	277	291	288	285	
P91母材	①	220	217	239	225	修复前测量硬度值 220~230HBW
	②	230	222	222	225	
	③	234	240	218	231	
	④	213	225	223	220	
	⑤	204	205	205	205	
	⑥	217	208	220	215	
P22母材	①	173	174	175	174	修复前测量硬度值 135~155HBW
	②	163	169	160	164	
	③	159	169	157	162	
	④	160	166	157	161	
	⑤	152	147	155	151	
	⑥	158	155	145	153	

测量位置示意图：



测量部件	测点编号	测量值HBW			平均值HBW	备注
H2焊缝	①	270	279	271	273	修复前测量硬度值 298~353HBW
	②	283	282	276	280	
	③	280	291	288	286	
	④	296	289	288	291	
	⑤	285	290	298	291	
	⑥	304	302	302	303	
	⑦	288	280	292	287	
	⑧	293	286	289	289	



HG70D低合金高强钢焊接工艺 试验研究

李林 杨永强

【摘要】 本文介绍了HG70D低合金高强度调质钢的焊接工艺试验，包括预热温的确定、焊接方法、焊接材料、接头类型、焊接参数及力学性能试验，结果表明试验所用的焊接工艺是合理可行的。

关键词： HG70D，调质钢，焊接性，焊接工艺试验

1. HG70钢的特点与用途

HG70钢是武汉钢铁公司为满足国内市场需求研制生产的工程结构用钢，主要特点是含碳量低，合金元素含量低，经调质处理后（淬火+回火），屈服强度达700MPa。由于该钢种具有

良好的冷弯性能、优良的焊接性和低温冲击韧性，所以广泛应用于舰船、工程机械、石油管线、锅炉及压力容器、桥梁、汽车、火车及发电设备等领域。但是由于HG70低合金高强钢的强度和硬度较高，在生产中发现焊接热

影响区有一定的淬硬倾向，冷裂倾向增大阻碍了HG70钢的应用和推广。本文从研究HG70D钢的焊接性出发，确定了HG70D钢的最低预热温度，匹配的焊接材料及适合的焊接参数，对HG70钢的应用具有重要的实用意义。

(续)

测量部件	测点编号	测量值HBW			平均值HBW	备注
P91母材	①	235	223	227	228	修复前测量硬度值 210~240HBW
	②	240	243	247	243	
	③	239	241	244	241	
	④	246	247	251	248	
	⑤	228	229	233	230	
	⑥	232	227	223	227	
	⑦	213	225	229	222	
	⑧	216	231	235	227	
P22母材	①	130	133	132	132	修复前测量，硬度值 140~155HBW
	②	156	147	135	146	
	③	146	159	144	150	
	④	155	154	155	155	
	⑤	142	143	146	144	
	⑥	147	154	157	153	
	⑦	149	148	149	149	
	⑧	139	147	144	143	

起机并网发电。对于涉及到锅筒本体缺陷修复必须做好修复工艺规划与构件强度校核工作，并不断进行性能跟踪与工艺实时调节

才能最终成功修复缺陷。

参考文献：

[1] 沈季雄，吕一仕，郑黎峰. 燃

气-蒸汽联合循环机组汽水管
道部件失效分析[J]. 热力发
电，2013，8：112-115.
[2] 吕一仕，等. 某电厂SS304型
奥氏体不锈钢管裂纹性质及
原因分析[J]. 金属热处理，
2015，10：150-153.
[3] 陈忠兵，等. 低碳钢在LNG
电站烟气介质下的应力腐
蚀原因分析[J]. 热力发电，
2014，5：108-112.

作者简介：曾小云，刘正
宇，深圳能源集团股份有限公司
东部电厂；吕一仕，孙斌，苏州
热工研究院有限公司。

MW 20170504