

加氢裂化空冷器管板焊缝氢致裂纹分析

徐坚 王红娜 杨奎 孙国华

【摘要】 本文通过宏观形貌、化学成分、金相组织等方法，对某石化公司新购置的Q345R (HIC) 加氢裂化空冷器的管板焊缝开裂情况进行分析研究。结果表明：管板焊缝处裂纹属于氢致裂纹。焊缝中过多的S元素是氢致裂纹产生的主要原因。焊缝及热影响区中存在较多的马氏体组织，加速了裂纹的扩展速率，大大降低了空冷器的使用寿命。

关键词： 加氢裂化；空冷器；氢致裂纹；夹杂物；金相组织

加氢裂化空冷器在石油、化工、冶金等行业中有着广泛应用，而加氢裂化空冷器由于管箱泄漏而导致非计划停机，造成巨大的环境污染和经济损失的不在少数。其中管板焊缝开裂是管箱泄漏的主要原因之一。

1. 设备工况

某石化公司新购置的用于加氢裂化处理的丝堵式空冷器，管箱材质为Q345R (HIC)，换热管材质为10#钢，氩弧焊丝牌号为H09Mn2HG，其工作介质为循环氢 (H_2)、硫化氢 (H_2S)、氨 (NH_3)，属于严重腐蚀工况。在试运行阶段，空冷器出现了多处管板焊缝泄漏的情况。

2. 焊缝开裂原因分析

按NB/T 47013—2015对管板焊缝开裂部位进行着色检测后发现，管板焊缝出现多处裂纹，如图1所示。针对这一情况，从现

场管板焊缝泄漏处取样，通过宏观形貌、化学成分、金相组织等对管板焊缝开裂的原因进行分析研究。

(1) 宏观形貌分析 在1图所示部位，制取金相试样。试样垂直于裂纹，从焊缝的中间位置剖开，该试样命名为裂纹样。所取的裂纹样上共发现两条裂纹，裂纹1、裂纹2宏观形貌如图2、图3所示，裂纹1尖端尖锐，裂纹2尖端表现的比较圆钝。裂纹扩展路径从图中还可以看出，两条裂纹均呈明显的阶梯状，具有氢致裂纹的特征。

(2) 化学元素检测 H元

素检测：对裂纹样上三个不同部位进行H元素的含量测定，测定结果分别为8.5ppm、23ppm、20.7ppm ($1\text{ppm}=1\times 10^{-4}\%$)。相关资料显示，钢液脱氢前H元素含量在4~6ppm，精炼脱氢后H元素的含量可降低至2ppm以

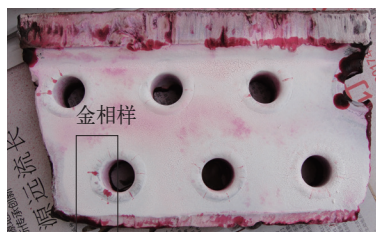


图1 管板焊缝表面着色探伤形貌

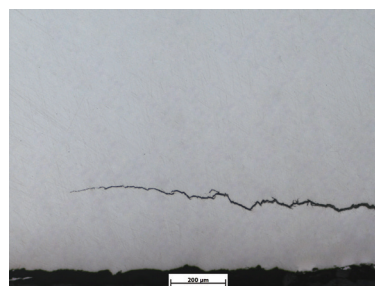


图2 裂纹1抛光态形貌

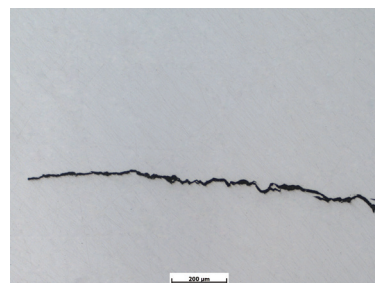


图3 裂纹2抛光态形貌

下。而管板焊缝中，H元素的含量远高于钢中H元素含量的正常水平。由此可见，管板焊缝中渗入了较多的氢，使其内部压力增加，产生较大内应力，同时使钢变脆，导致焊缝裂纹产生。且焊缝处裂纹宏观形呈明显的阶梯状，所以裂纹应为氢致裂纹。

其他元素检测：管板、焊缝和换热管的化学成分检测及相关标准值如附表所示。从表中可以看出，管板、换热管中P元素的含量符合其相应标准的要求。但换热管中 $w_S=0.012\%$ ，不符合《石油裂化用无缝钢管GB/T9948—2013》对于 $w_S=0.01\%$ 的要求，且远高于舞钢对抗硫化氢用钢Q345R（HIC）供货技术条件 $w_S=0.004\%$ 的要求。两者相焊，换热管中较多的S元素通过熔池进入焊缝，使得焊缝的 $w_S=0.01\%$ 。

相关研究表明，焊缝中S、P的元素含量决定了焊缝的氢致裂纹敏感性。S、P含量越多，焊缝

的氢致裂纹敏感性越大。当 $w_S>0.005\%$ 或 $w_P>0.016\%$ 时，焊缝中形成的条状非金属夹杂物会显著增多，氢致裂纹能够更容易在上面形核、长大，引起开裂。表中显示，管板焊缝中P元素含量较少，符合要求，不会引起焊缝开裂。但焊缝中的 $w_S=0.01\%$ ，远高于相关标准的要求。随着S含量的增加，焊缝的氢致裂纹敏感性会显著增大，从而导致氢致裂纹产生。由此可见，管板焊缝中过多的S元素是其发生氢致裂纹的主要原因。

（3）金相组织分析 将裂纹样抛光后分别用4%硝酸酒精溶液浸蚀。图4为裂纹样焊缝金相组织，图5为裂纹样热影响区金相组织。由图4、图5可见，两个部位的金相组织都存在较多的马氏体组织，且马氏体的位向比较明显。对两个部位的马氏体区域进行显微维氏硬度检测，硬度分别为405HV0.3，414HV0.3。

管板焊缝含有较多的马氏体

组织，相比于正常焊态下的铁素体+粒状贝氏体组织，其裂纹扩展门槛值显著降低，裂纹扩展速度显著提高。微裂纹产生后，会迅速发展为宏观裂纹，大大降低了空冷器的使用寿命，导致在试运行阶段，管板焊缝出现多处氢致裂纹开裂的情况。

3.结语

（1）从管板焊缝的使用工况、裂纹宏观形貌及H元素含量三方面可判定管板焊缝裂纹为氢致裂纹。

（2）换热管中含有较多的S元素使得管板焊缝中S元素的含量显著增加，同时也增加了管板焊缝氢致裂纹的敏感性，是此次管板焊缝开裂的主要原因。

（3）管板焊缝和热影响区均含有较多的马氏体组织，其裂纹扩展门槛值低，裂纹扩展速度较快，大大降低了空冷器的使用寿命。

参考文献：

- [1]张静，宣征南，侯来灵.加氢裂化装置中反应流出物空冷系统腐蚀问题的发展与现状[J].内蒙古石油化工，2008，16：45-47.
- [2]周琦.管线钢在硫化氢水溶液中的台阶状氢致开裂分析[J].金属热处理，2004，29（3）：52-57.
- [3]雷辉，王地君.130t RH 真空脱氢工艺分析与应用[J]，炼钢，2007，23（2）：18-20.

作者简介：徐坚等，洛阳博创重科有限公司。MW 20170622

化学成分分析结果（质量分数） (%)

检测部件及标准	C	Si	Mn	S	P
管板	0.100	0.219	1.33	0.005	0.005
舞钢Q345(HIC)供货技术标准值	0.20	0.20-0.55	1.20~1.36	0.004	0.015
焊缝	0.121	0.206	1.20	0.010	0.008
焊丝标准值	0.012	0.45-0.75	0.90-1.40	0.006	0.010
换热管	0.093	0.170	0.410	0.012	0.017
10#钢标准值GB/T9948—2013	0.07~0.13	0.17~0.37	0.35~0.65	0.015	0.025

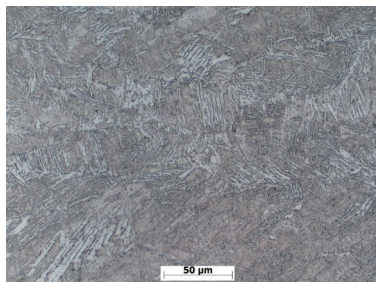


图4 裂纹样焊缝金相组织

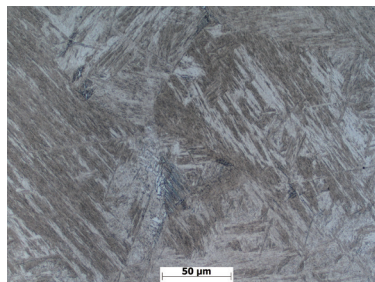


图5 裂纹样焊缝热影响区金相组织