

R-302 混合碳四球罐表面裂纹缺陷修复分析

许巍

(中石化工程质量监测有限公司 北京 100101)

摘要: 本文通过对 R-302 混合碳四球罐全面检验结果的分析, 准确概括了球罐全面检验发现表面裂纹后焊接返修的步骤, 并对每一步骤的注意事项和标准做出了详细的说明, 为以后其他球罐全面检验发现表面裂纹时焊接返修提供参考。

关键词: 球罐; 表面裂纹; 焊接返修

1 概述

2019 年 8 月, 燕山石化锅炉压力容器检验所对燕山石化储运一厂 R-302 混合碳四球罐进行全面检验, 磁粉检测发现 9 条内表面裂纹, 裂纹最长 50mm, 最短 8mm, 所有的裂纹均分布在赤道带上下两环焊缝上。

R-302 球罐工艺参数如下:

容积: 1000m³; 公称壁厚: 22.0mm; 腐蚀裕度: 1.5mm; 直径: 12300.0mm; 体材质: 16Mn; 设计压力: 0.8 MPa; 设计温度: 50℃; 工作介质: 碳四; 操作压力: 0.6 MPa; 操作温度: 常温; 制造时期: 1975 年 1 月 1 日; 投用日期: 1976 年 5 月 30 日。

2 确定修复方案

《压力容器定期检验规则》第三十八条规定, 内、外表面不允许有裂纹。如果有裂纹, 应当打磨消除, 打磨后形成的凹坑在允许范围内的, 不影响定级; 否则应当补焊或者进行应力分析, 经过补焊合格或者应力分析结果表明不影响安全使用的, 可以定为 2 级或者 3 级。根据这一规定, 结合球罐工艺参数及材质情况, 制定返修方案。

2.1 9 处裂纹分布情况

9 处裂纹的长度、深度依次为: L1=10mm, H1=1mm; L2=50mm, H2=7mm; L3=48mm, H3=7mm; L4=45mm, H4=7mm; L5=10mm, H5=1mm; L6=40mm, H6=1mm; L7=50mm, H7=8mm; L8=8mm, H8=1mm; L9=10mm, H9=4mm。

2.2 砂轮打磨消除缺陷

用砂轮打磨裂纹所在部位, 当打磨深度达 0.5mm 时, 用磁粉探伤方法确认裂纹是否消除干净。若磁粉探伤显示磁痕消失, 说明裂纹已消除; 若磁痕还在, 说明裂纹还在, 需要继续打磨, 并按 0.5mm 为一个打磨梯度, 边打磨边磁粉检测确认, 避免打磨过度。

2.3 碳弧气刨式消除缺陷

当用砂轮打磨累计深度达到 2mm 后裂纹仍无法消除时, 应通过射线或超声检测方法对缺陷的数量以及位置予以确认, 以避免返修时造成部分缺陷遗漏而影响整体质量。确认之后再采用碳弧气刨方式清除缺陷。采用碳弧气刨时, 碳弧气刨的深度不应超过板厚的 2/3, 当缺陷仍未清除时, 应在焊缝修补后, 从另一侧气刨。因为碳弧气刨是利用在碳棒与工件之间产生的电弧热将金属熔化, 同时用压缩空

气将这些熔化金属吹掉, 从而在金属上刨削出沟槽的一种热加工工艺, 所以碳弧气刨有烟雾、粉尘污染、弧光辐射及因操作不当容易引起槽道增碳等缺点。所以在采用碳弧气刨消除缺陷并经过渗透检测或磁粉检测合格后, 应将碳弧气刨的渗碳层打磨清除, 并且缺陷边缘以外 50mm 的范围内均应打磨。

经过砂轮打磨及碳弧气刨, 9 处裂纹的深度见 2.1。

2.4 确定是否需要补焊

裂纹打磨后形成凹坑的深度如果小于壁厚余量 (壁厚余量 = 实测壁厚 - 名义壁厚 + 腐蚀余量), 则凹坑允许存在。否则, 将凹坑按照其外接矩形规则化为长轴长度、短轴长度及深度分别为 2A (mm)、2B (mm) 及 C (mm) 的半椭圆凹坑, 计算无量纲参数 G_0 , 如果 $G_0 < 0.10$, 则该凹坑在允许范围内, 否则该凹坑需进行补焊。

其中, 裂纹 L1、L5、L6、L8 打磨形成的凹坑深度为 1mm, 小于 R-302 混合碳四球罐的腐蚀裕度 1.5mm, 所以不需要补焊。

对于裂纹 L4, 打磨后凹坑外接矩形的长轴 2A=122mm, 短轴 2B=83mm, 深度 C=7mm, 凹坑所在部位压力容器的壁厚为 T=14.1mm, 压力容器平均半径 R=6150mm。

由公式 (1) 得出:

$$\text{裂纹 L4 处的无量纲参数 } G_0 = \frac{C}{T} \times \frac{A}{\sqrt{RT}} = \frac{7}{14.1} \times \frac{61}{\sqrt{6150 \times 14.1}} = 0.103 > 0.1$$

所以, 裂纹 L4 处的凹坑需要补焊。

对于裂纹 L9, 打磨后凹坑外接矩形的长轴 2A=50mm, 短轴 2B=38mm, 深度 C=4mm, 凹坑所在部位压力容器的壁厚为 T=17.1mm, 压力容器平均半径 R=6150mm。

由公式 (1) 得出:

$$\text{裂纹 L9 处的无量纲参数 } G_0 = \frac{C}{T} \times \frac{A}{\sqrt{RT}} = \frac{4}{17.1} \times \frac{25}{\sqrt{6150 \times 17.1}} = 0.018 < 0.1$$

所以, 裂纹 L9 处的凹坑不需要补焊。

L2、L3、L7 处的裂纹长度均比 L4 的长, 并且裂纹深度均大于等于 L4, 所以 R-302 混和碳四球罐的 9 处裂纹中的 L2、L3、L4、L7, 共 4 处裂纹需要补焊, 另外 5 处不需要补焊。不需要补焊的部位要修磨成 1:3 的坡度。

2.5 对于需要补焊的部位编制相应方案

2.5.1 焊条的选用原则

(1) 保证焊缝金属的使用性能。对于普通结构钢通常要求焊缝金属与母材等强度。对于焊缝性能 (延性、韧性)

要求高的重要结构,或容易产生裂纹的钢材和结构,焊接时应选用抗裂性好的低氢焊条。

(2)有良好的工艺性能。如电弧稳定、操作方便,抗气孔、夹渣、未焊透性能好,因此在能满足焊缝金属使用性能前提下,首选酸性焊条为好。

(3)在保证使用和工艺性能前提下,应选用成本低、效率高的焊条。

在 16Mn 钢焊接时,焊条电弧焊应选用碱性焊条 J506 和 J507;结构刚性不大或板厚小于 14mm 时,可选用酸性焊条 J502 和 J503;当厚度小、坡口窄或强度要求不高时可选用 J426 和 J427。本次补焊是采用焊条电弧焊,本次补焊的焊条可以选用 J506,直径为 $\Phi 3.2\text{mm}$ 。

2.5.2 焊条烘干

(1)焊条设专人负责烘干、保管、发放和回收;

(2)施焊时焊条应放在保温筒内携带,携带时间不宜超过 4h,超过时间后应重新烘干,但重新烘干次数不宜超过二次;

(3)焊条烘干规范严格执行厂家规定。

2.5.3 清理补焊部位

用干布对补焊部位进行仔细清理。

焊条烘干和清理补焊部位的目的都是为了减少焊缝中的氢,氢主要来自焊条药皮或者焊剂中的水分、药皮的中有机物、焊丝与母材表面的油污和铁锈,以及空气中的水分。氢的影响主要是使材料脆化,可在焊缝中形成气孔,以及促使接头产生冷裂纹。

2.5.4 预热

预热可以减小接头焊后冷却速度,降低热影响区的最高硬度,减少硬化组织产生,同时对焊接热影响区晶粒粗化的影响较小,预热还有利于焊缝中氢的析出。是否预热和预热温度要根据工件材质、板厚、施焊环境温度和具体结构要求,以及有关技术标准和已有的资料确定或实验确定。

因为此次补焊在 2014 年 10 月份进行,气温在 20°C 左右,本次补焊不需要预热。

2.5.5 焊接

焊接设备应完好无损,焊接工艺参数调节可靠,电流表、电压表指示准确。

2.5.6 补焊示意图

补焊后需将焊缝与母材打磨成 1:3 的及以下的斜坡。

2.6 补焊后无损检测

(1)宏观检查:补焊焊缝外型尺寸应符合规范要求,焊缝与母材圆滑过渡;焊缝和热影响区表面不得有裂纹、气孔、夹渣、凹坑、未焊满等缺陷。

(2)对补焊部位进行磁粉检测和超声检测,确保返修补焊合格。经过磁粉检测和超声检测,R-302 混合碳四球罐返修补焊合格。

(3)焊缝返修不合格时必须再次进行返修,但同一部位返修不宜超过二次。若超过两次时应制定专项的技术方案,

并经过车间、锅炉压力容器检验所、施工单位技术总负责人签字确认。

2.7 热处理

焊后热处理是为改善焊接区域的性能,消除焊接残余应力等有害影响,将焊接区域加热到足够高的温度,并保持一段时间,而后均匀冷却的热过程。

2.7.1 热处理参数

(1)焊后热处理厚度(δ PWHT):焊接返修时, δ PWHT 为所填充焊缝金属的厚度;

(2)对于 16Mn,焊后热处理的最低保温温度为 600°C 。R-302 混合碳四球罐裂纹打磨后形成的凹坑最深为 8mm,因此最短的保温时间为 20min。

2.7.2 焊接返修后热处理的加热范围的均温带应覆盖焊缝、热影响区及其相邻母材

均温带的最小宽度为焊缝最大宽度两侧各加 δ PWHT 或 50mm (取两者较小值),在返修焊缝端部方向上加 δ PWHT 或 50 mm (取两者较小值)。

3 结语

通过对 R-302 混合碳四球罐内表面裂纹的返修过程,可以得出球罐表面裂纹缺陷处理的一般思路:

(1)详细地标出裂纹所在的位置,测量每条裂纹的长度并记录;

(2)打磨消除缺陷:用砂轮打磨裂纹时要注意每打磨 0.5mm 时,就要用磁粉探伤方法确认缺陷是否消除干净,以免打磨过渡。当打磨深度达到 2mm 后裂纹仍没有消除时,先用射线或超声检测对缺陷的数量及位置予以确认,再用碳弧气刨方式清除缺陷;

(3)确定是否需要补焊:如果裂纹打磨后形成的凹坑深度小于壁厚余量,则凹坑允许存在。凹坑深度大于等于壁厚余量时要计算凹坑的无量纲参数 G_0 ,如果 $G_0 < 0.10$,则不需要补焊,否则凹坑需要补焊;

(4)对于不需要补焊的凹坑,进行平滑过渡;

(5)对于需要补焊的凹坑,制定详实的焊接方案;

(6)补焊部位的质量检验:对补焊部位进行宏观检查、磁粉检测和超声检测,确保返修补焊合格;

(7)焊后热处理:焊接返修后重新进行热处理,热处理的温度由母材的材质确定,热处理最短保温时间由母材材质、容器壁厚以及凹坑的最深深度确定;

(8)确定是否要做耐压试验:如果返修深度大于二分之一厚度的压力容器,应当重新进行耐压试验。

参考文献:

- [1]TSG R7001-2013,压力容器定期检验规则[S].北京:新华出版社,2013.
- [2]NB/T 47015-2011,压力容器焊接规程[S].北京:新华出版社,2013.
- [3]凌星中.焊接[M].北京:中国石化出版社,2011.
- [4]强天鹏.压力容器检验[M].北京:中国锅炉压力容器检验协会,2008.