

脉冲工况氧气缓冲罐裂纹修复实践

梁建峰, 保德顺

(楚雄滇中有色金属有限责任公司, 云南 楚雄 675000)

[摘要] 本文通过对制氧系统氧气缓冲罐裂纹的原因分析, 确定产生裂纹原因, 制定维修方案, 修复后按压力容器维修规范检测、试压, 消除泄漏, 运行使用效果良好。

[关键词] 压力容器; 裂纹; 焊接; 补强圈

[中图分类号] TH49 [文献标志码] B [文章编号] 1003-8884(2021)04-0069-05

DOI:10.19611/j.cnki.cn11-2919/tg.2021.04.016

0 概述

压力容器在化学工业、冶金等行业应用广泛, 工作介质有腐蚀、有毒、易燃易爆的特点, 工作条件具有高温、高压、高真空等特点。其中裂纹缺陷损坏具有隐蔽性、突发性特点, 是压力容器中最常见, 危害最大的缺陷之一。本文介绍的压力容器用于制氧系统, 作为氧气压缩机的进气和排气缓冲罐, 按 GB/T 150.1-150.4-2011《压力容器》和 TSG 21-2016《固定式压力容器安全技术监察规程》设计制造, 用于储存氧气压缩机进出口氧气, 本文介绍了缓冲罐泄漏的维修经验。

1 缓冲罐及裂纹基本情况

制氧三期 2# 氧压机缓冲罐, 在 2019 年 11 月 22 日运行中发现筒体氧气泄漏, 检查发现筒体产生裂纹, 裂纹位置在 N2 管口(进气口)附近, 长约 50 mm, 如图 1 所示。

2# 缓冲罐属于压力容器, 卧式安装, 来自制氧吸附塔的氧气(纯度 75%、温度 25℃、压力 0.04 MPa)进入 2# 缓冲罐, 经过缓冲罐后进入压缩机入口, 压缩机二级压缩增压(压力 0.2 MPa)送到熔炼炉富氧熔炼, 具体设计参数如表 1 所示。

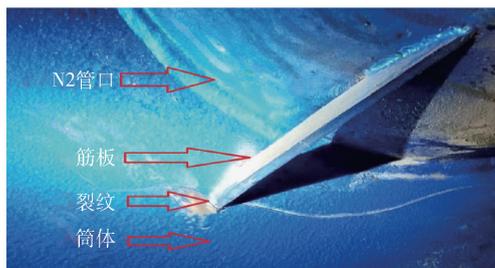


图 1 缓冲罐裂纹情况

表 1 缓冲罐产品数据表

产品名称	缓冲罐	耐压试验压力	0.13/ 0.38 MPa
容器容积	1.30/1.28 m ³	主体结构形式	管壳
壳体材质	S30408	封头材质	S30408
壳体厚度	6 mm	封头厚度	5 mm
吸气腔设计压力	0.1 MPa	排气腔设计压力	0.3 MPa
吸气腔设计温度	50℃	排气腔设计温度	160℃
内径	1 000 mm	长	3 757 mm

2 产生裂纹原因分析

2.1 筒体强度计算校核

分别对壁厚、最大允许工作压力、设计温度下计算应力进行复核, 验证设计壁厚强度是否满足运行压力^[1]。

计算名义厚度:

$$\delta = \frac{p_c D_i}{2 [\sigma]^t \phi - P_c} = 1.30 \text{ mm}$$

有效厚度: $\delta_e = \delta_n - C1 - C2 = 5.70 \text{ mm}$

[收稿日期] 2020-12-02

[作者简介] 梁建峰(1973-), 男, 机械工程师, 大学本科, 主要从事特种设备管理工作。

[引用格式] 梁建峰, 保德顺. 脉冲工况氧气缓冲罐裂纹修复实践[J]. 有色设备, 2021, 35(4): 69-73.

设计温度下计算应力:

$$\sigma_t = \frac{p_c(D_i + \delta_e)}{2\delta_e} = 2.647 \text{ MPa}$$

最大允许工作压力:

$$[pw] = \frac{p_c(D_i + \delta_e)}{2\delta_e} = 1.30652 \text{ MPa}$$

经核算设计强度满足运行工况。

2.2 选材及材质化验分析

S30408 牌号即中国 0Cr18Ni9 牌号,是不锈钢的一种,具有高韧性和塑性,强度较低,属于奥氏体材料,在常温下具有奥氏体组织,化学成分: C ≤ 0.08%, Si ≤ 1.0%, Mn ≤ 2.0%, Cr: 18.0% ~ 20.0%, Ni: 8.0% ~ 10.5%, S ≤ 0.03%, P ≤ 0.035%, N ≤ 0.1%。使用温度 196 °C ~ 800 °C, 抗拉强度 520 MPa, 屈服强度 205 ~ 210 MPa, 伸长率 40%, 硬度 HB187 HRB90 HV200。

查阅《压力容器制造技术规程》,用于制造压力容器的不锈钢,应满足 C ≤ 0.25%、P ≤ 0.035%、S ≤ 0.035%, 该容器设计选材满足现行规范。

对材料进行了取样分析复检,化验指标符合标准,化验记录如表 2 所示。

表 2 材料复检化验记录

元素名称	标准要求/%	复检值/%	元素名称	标准要求/%	复检值/%
C	≤0.08	0.05	Mn	≤2.0	1.13
Si	≤1.0	0.44	Cr	18 ~ 20	18.15
S	≤0.03	0.011	Ni	8.00 ~ 10.5	8.24
P	≤0.035	0.023			

2.3 其他原因分析

通过对还原罐筒体壁厚计算校核、强度计算校核、材质分析、排除设计材料缺陷因素。拆卸法兰螺栓后检查法兰安装时没有对缓冲罐产生外加应力,管道支撑正确有效,没有松动,初步分析产生裂纹的原因与运行工况有关。

2.4 压力容器运行工况分析

活塞式压缩机具有往复工作的特点,缓冲罐累计运行 23 040 小时,每小时完成 51 360 次吸气排气循环,产生的脉冲式气流通过多次循环,筒体承受交变载荷,现场测量振动值,振动位移 65 ~ 117 mm,速度 4.6 ~ 6.1 mm/s, 振动加速度 12.4 ~ 11.9 m/s²。由于氧气压缩机往复工作的特点,长期在运行中经

过多次循环,缓冲罐长期经受交变应力,具备产生疲劳条件。

2.5 金属疲劳分析

2.5.1 金属疲劳

金属在承受多次循环应力后,发生的断裂叫疲劳,这时虽然作用的应力幅值低于疲劳强度,但是在多次交变应力作用下,金属晶体间的粘合剂降低产生脆性,然后产生裂纹,裂纹逐渐扩大,最后断裂^[2]。

2.5.2 金属疲劳的极限与应力分析

通过查询材料的试验曲线得到对应的数值,叫做疲劳极限值。但是这样的数值要考虑零件表面光洁度、大小及形状,包括集中载荷等因素应选择的修正系数。图 2 中 S-N 曲线 N 是循环次数, S_a 是最大应力幅值, S_m 是平均应力值。

S_m = 0 是基本曲线,当 S_m > 0, 即拉伸平均应力作用时, S-N 曲线在敏感区,表示材料寿命下降,也就是说在安全使用周期内疲劳强度降低,容易产生疲劳。S_m < 0, 即压缩平均应力作用时,材料寿命提高,表示材料寿命延长,也就是说在安全使用周期内疲劳强度增大^[3]。

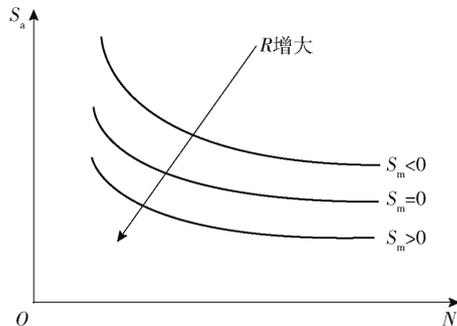


图 2 S-N 曲线

通过分析缓冲罐运行在有限寿命区,设计中没有考虑活塞式压缩机的往复工作工况存在的脉冲气流周期脉动,确认筒体产生裂纹的主要原因是气流周期脉动产生交变应力,超过疲劳极限产生裂纹, N2 管口附近脉冲气流最大,产生的应力幅值最大,工艺系统不允许降低应力值和循环次数,应考虑管口 N2 附近筒体补强。

3 维修过程

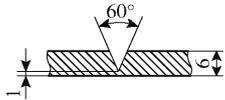
3.1 筒体裂纹去除补焊

用磨光机打磨裂纹,关键点是用渗透试验检测

母材裂纹已经彻底去除,打磨成 Y 字型坡口,如表 3 所示,坡口角度 60° ,然后焊接,采用氩弧焊打底、手工焊填充,焊缝高度高于母材表面,焊接完成后打磨

至母材平齐,焊条选用 A102,焊接工艺按 NB/T47015-2015 执行。

表 3 焊接坡口要求

项次	厚度 δ /mm	坡口名称	坡口形式	坡口尺寸		
				间隙 b /mm	钝边 p /mm	坡口角度 α
1	6	Y 型坡口		0	1	60

3.2 管口补强计算

壳体管口四周所需补强面积计算公式^[4]:

$$A = d_{op}\delta + \delta\delta_{et}(1 - f_r)$$

式中 f_r —取 1.0;

δ —取 6 mm;

δ_{et} —取开孔处计算壁厚 1.303 1 mm;

d_{op} —圆柱形筒体接管内直径加 2 倍壁厚即 426 mm。

$$A = 426 \times 6 + 6 \times 1.303 1(1 - 1.0) = 2 556 \text{ mm}^2$$

计算确定管口补强面积为:2 556 mm²

表 4 开孔补强计算汇总表

壳体计算厚度 δ	1.303 1 mm	接管计算厚度	0.445 2 mm
补强圈强度削弱系数 ψ_r	0	接管材料强度削弱系数 f_r	1
开孔补强计算直径 d	426 mm	补强区有效宽度 B	150 mm
接管有效外伸长度 h_1	69.507 mm	接管有效内伸长度 h_2	69.507 mm
实际开孔补强面积 A	271 296 mm ²	壳体多余金属面积 A_1	1 770 mm ²
接管多余金属面积 A_2	3 191 mm ²	补强区内的焊缝面积 A_3	21 703.68 mm ²

3.3 设备增加圆环补强圈

圆环补强圈内径 $\Phi 426$ mm,外径 $\Phi 726$ mm,壁厚 6 mm,加强管口四周强度,圆环应与筒体表面接触良好,焊接前应将焊口表面和每侧至少 10 mm 范围内影响焊接质量的污物、铁锈、水分清除干净。

焊缝的焊接采用氩弧焊焊接底部第一道、电弧焊填充盖面,焊缝高度高于母材 1 mm,焊条选用 A102,全部焊缝 100% X 射线检测,Ⅱ级片合格,并出具检测报告,满足规范要求。

4 水压试验密封性压力试验

4.1 水压试验

4.1.1 试压依据

按照压力容器水压试验规范及设计图纸规定,本次维修进行水压试验,所用的水选择除盐工作岗位生产的一级除盐水,且液体温度不得低于 5°C ,氯离子含量必须小于 25ppm。试验压力为:吸气腔 0.13

MPa,排气腔 0.38 MPa。

4.1.2 试压操作

各容积分别试压,打开截止阀,观察压力表,先将压力缓慢升压至 0.10/0.30 MPa,并对所有的焊缝和连接部位进行初次检查,若无泄漏,继续升压到 0.13/0.38 MPa,保压 30 min,若无异常现象,然后降压至 0.10/0.30 MPa 保压足够时间进行检查,检查期间压力应保持不变,且不得采用连续加压来维持试验压力不变,检查压力容器无异常响声、无泄漏,无可见的变形即为合格,先拆除接管,再打开泄压阀,缓慢泄压,如图 3 所示。

4.2 密封性试验

(1)密封性试验介质选择空气,压力为工作压力的 1.1 倍,吸气腔 0.11 MPa,排气腔 0.33 MPa。

(2)安装法兰与生产区压缩空气管口连接,打开阀门缓慢升压,达到 0.11 MPa/0.33 MPa 后保压 30 min,然后降至工作压力 0.1 MPa/0.3 MPa,对所有筒体密封焊缝和法兰密封面涂刷肥皂水检查,无

气泡和压降判定为密封性试验合格。升压曲线如

图4所示。

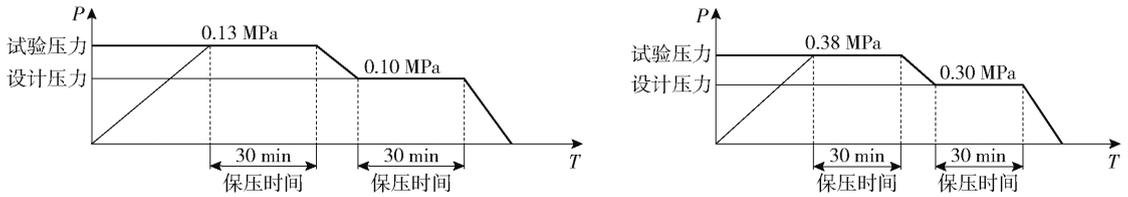


图3 压力试验

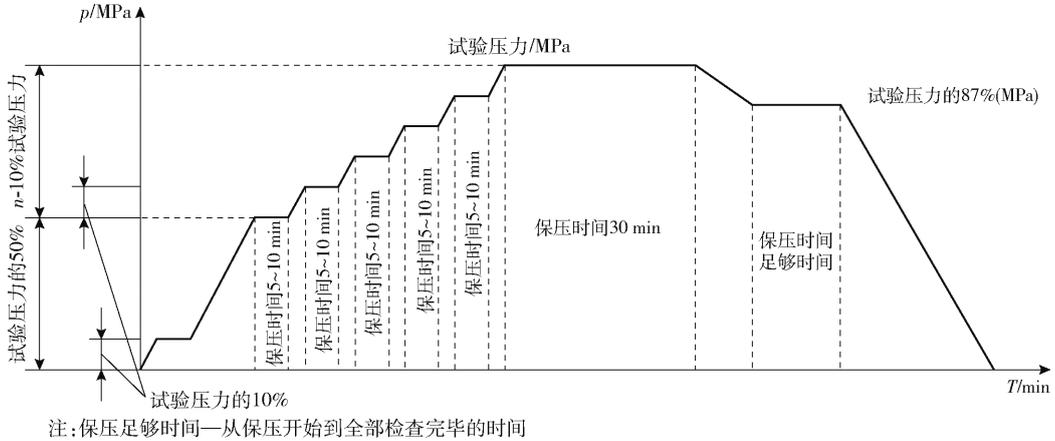


图4 密封性试验曲线

5 脱脂

由于缓冲罐工作介质是氧气,应该脱脂保证表面干净,依据脱脂相关规范,脱脂剂中有机溶剂含量应不大于 50 mg/L,脱脂面积为内表面 100%。脱脂前使罐表面干燥,准备脱脂剂四氯化碳 2 kg,白布 1 m。应使用纤维不易脱落的白布,对压力容器内部清洁后,采用擦拭法,用白布浸泡脱脂剂拧干后擦拭表面。脱脂后用清洁干燥的深色滤纸擦拭罐体表面,纸上无油脂痕迹即为合格。

6 创新点

传统维修方法是对裂纹补焊或者贴补钢板堵住漏点,本文对管口附近筒体进行分析,查找产生裂纹的原因为气流通过多次循环,筒体承受多次交变应力,产生疲劳损坏产生裂纹。在维修时核算补强圈,增加管口强度,彻底消除隐患。

7 结语

通过分析罐体运行中有氧气脉动,长期运行产生疲劳。清除缓冲罐裂纹,打坡口补焊,在管口四周增加了补强圈,解决管口脉动损坏问题,2019年12月20日维修完成后,系统开机运行2个月无异常,维修效果良好。

[参考文献]

- [1] 章顺虎,宋滨娜. I型裂纹失稳扩展的临界力学条件[J]. 科学技术与工程,2015(2):175-178.
- [2] 傅惠民,马学荣. 压力容器寿命控制方法[J]. 机械强度,2004,26(5):506-509.
- [3] 龙伟,严佳兵,李炎炎,等. 基于缺陷安全衰减路径仿真的含埋藏裂纹压力容器剩余寿命研究[J]. 工程科学与技术,2018,50(5):239-243.
- [4] 赵鹏强,李云鹏,刘鹏亮,等. 基于 SiPESC 的焊缝疲劳分析模块开发[J]. 地震工程与工程振动,2019,39(6):68-74.

Repair Practice of Cracks in Oxygen Buffer Tank under Pulse Working Condition

LIANG Jian-feng, BAO De-shun

Abstract: This paper analyzes the causes of cracks in oxygen buffer tank of oxygen production system, determines the causes of cracks and formulates maintenance plans. After repair, the tanks are detected and tested according to the maintenance specification of pressure vessels to eliminate leakage, achieving good operation and use results.

Key words: pressure vessel; crack; welding; reinforcement ring

▲

(上接第 47 页)

Research on the Process of Replacing Flux Additives with Aluminum Additives

YIN Yun-xia, MA Yue

Abstract: To reduce environmental pollution and prevent harmful substances produced from salt additives, salt-free aluminum additives are used to replace the flux additives that contain salts. The feasibility of using the aluminum additives is analyzed from the aspects of appearance, smoke generation, yield rate and so on. Specimens are taken from ingots for analysis. The results show that the ingots casted by using aluminum additives meet the relevant standard no matter by low and high-magnification inspection or in the term of composition segregation; meanwhile, the environmental pollution is reduced and the physical and mental health of operators can be protected.

Key words: aluminum Mn-additive; aluminum Cr-additive; yield rate; environmental protection

▲

(上接第 50 页)

Research on ESP Automatic Protection Device and Its Application in Large Copper Smelters

SU Jiang-feng, SHEN Jian, CHEN Ru-jia

Abstract: An automatic protection device for preventing overtemperature at the inlet of ESPs is introduced. The device can effectively control the inlet temperature of ESPs. The associated spray cooling device humidifies smelting off-gas while reducing the EPS inlet temperature, thus effectively adjusting the specific resistance of the dust and the content of sulfur trioxide in the off-gas, and solving the problems caused by the output increase of smelting system, such as overtemperature at the ESP inlet, deformation of anode plate, decline of duct collection efficiency, equipment corrosion, etc.

Key words: decline of dust collection efficiency; deformation of anode plate; specific resistance

▲