

文章编号: 1000-7466(2003)05-0011-03

焦炭塔疲劳寿命评估

张玉福¹, 贾振柱², 金玉琴², 孙凤全², 王洪¹, 王纪兵¹

(1. 兰州石油机械研究所, 甘肃 兰州 730050; 2. 中石油大庆石化分公司, 黑龙江 大庆 163711)

摘要: 通过对焦炭塔失效形式的分析和材料疲劳试验, 用 JB 4732—95 中疲劳寿命评估的一般方法, 对已运行 38 a 的焦炭塔的剩余寿命进行了评估, 并计算出了该焦炭塔的剩余使用寿命。

关键词: 焦炭塔; 疲劳; 寿命; 评估

中图分类号: TQ 054.4 **文献标识码:** A

The residual failure life valuation of the cooking column

ZHANG Yr-fu¹, JIA Zhen-zhu², JIN Yr-qin², SUN Feng-quan², WANG Hong¹, WANG Ji-bing¹

(1. Lanzhou Petroleum Machinery Research Institute, Lanzhou 730050, China;

2. Daqing Petrochemical Ltd. CNPC, Daqing, 163711, China)

Abstract: Through analysis the failure model of the cooking column and fatigue testing using general method of predicting fatigue life in JB 4732—95, the residual life of cooking column have been predicted.

Key words: cooking column; fatigue; residual life; prediction

焦炭塔是延迟焦化装置中的核心设备之一, 操作条件苛刻, 在 470 的操作温度下, 每 48 h 进行 1 次从常温至操作温度的循环, 在温度变化过程中, 由于塔体内、外壁温度不同产生的瞬间温差给塔体带来了极高的温差应力, 最大温差应力远高于焦炭塔材料的屈服极限, 使焦炭塔始终工作在恶劣的高应力低周疲劳状态下, 焦炭塔的裙座和接管等处经常发生破坏。目前, 对焦炭塔的温差应力既没有准确的通用计算方法, 又无精确的测量手段, 特别是对接近或超过设计寿命的焦炭塔剩余寿命的正确评估仍是空白。因而研究焦炭塔的失效形式, 提出焦炭塔剩余寿命的评估方法非常重要。

大庆石化分公司所属 4 台焦炭塔建于 1964 年, 至 2002 年已运行 38 a, 其设计压力 0.25 MPa, 设计温度 480, 工作压力 0.17 MPa, 工作温度 470, 工作介质有焦油、汽、油及瓦斯, 主体材质 20K。按照 JB 4732 - 95 计算, 其使用寿命不超过 30 a, 实际使用已超过其计算寿命。该塔能否继续使用及其剩余使用寿命是 1 个值得关注的问题。为探讨该焦炭塔

剩余使用寿命, 对该公司 4[#] 焦炭塔进行现场检验和实验室评定, 结合疲劳寿命评估方法, 给出了剩余使用寿命。

1 疲劳失效

焦炭塔的温度载荷复杂, 最高温度约 470, 最低温度约 85, 每 48 h 进行 1 次冷热循环, 在每一循环中至少有 3 次压力和温度变化, 造成塔体各截面不同部位的应力随之变化。焦炭塔周期性连续工作, 从常温到高温的循环过程以及时间为: 瓦斯预热 7 h, 进油 24 h (油温 490), 吹蒸汽降温 12 h, 水冷 5 h。除焦升和降温过程外, 热油或水都是分别从底部注入, 塔的内、外壁及纵向都存在着温差, 各部位温差的存在会引起各部位不同的热应力。尽管塔外壁有 200 mm 厚的保温层, 但塔壁在厚度方向仍存在温差, 在升温进油初期, 内壁温度高于外壁温度, 温差最大可达 87。随着进油时间的延长, 温差逐渐减小。进油后期, 外壁温度高于内壁温度, 特别是水冷除焦阶段, 外壁和内壁的温差可达 75^[1]。热应力比其它应力要大得多, 频繁的开停工及温度变化

收稿日期: 2003-03-21

作者简介: 张玉福(1976), 男(汉族), 甘肃永登人, 助理工程师, 学士, 现从事压力容器及压力管道的检验及其失效分析工作。

造成了焦炭塔的热疲劳损伤,开裂往往发生在裙座焊缝和堵焦阀的焊缝部位^[2~5]。

复杂的应力水平、频繁的温度变化是造成焦炭塔局部产生疲劳失效的主要原因。通常温差应力在 10~15 A 就会造成裙座及堵焦阀的焊缝开裂,开裂一般在焦炭塔使用 10~15 a 发生,这类破坏容易发现并能够及时处理且工艺简单,故不会对焦炭塔的使用造成威胁。但是塔体材料在疲劳载荷作用下,是否会产生疲劳破坏,这是管理和使用者最为关心的问题。对焦炭塔的剩余寿命评估中对塔体材料进行了实验室疲劳试验,以评估 38 a 后该焦炭塔的实际剩余使用寿命。

2 疲劳寿命评估

2.1 评估原理

疲劳寿命评估依据 JB 4732 - 95《钢制压力容器——分析设计标准》中的附录 C 进行。附录 C 规定,承受循环载荷的压力容器及其受压元件,当使用条件苛刻时,要求进行疲劳分析或疲劳试验,以确定结构承受预计循环载荷而不发生疲劳的能力。附录 C 中提出的设计疲劳曲线,对于材料的剩余疲劳寿命评估具有十分重要的意义。

疲劳评定按照附录 C 中图 C-1, b_1 552 MPa 的碳钢设计疲劳曲线进行。由于疲劳数据影响因素较多,所以数据比较分散,图 C-1 曲线是参考了 ASME 标准,采用寿命安全系数为 2.0,应力安全系数为 2.0,并取其最小值得到的设计疲劳曲线。在寿命安全系数中主要考虑了数据分散度(从最小到平均) 2.0、尺寸因素 2.5、表面粗糙度及环境因素等 4.0 以及安全裕度 4^[6]。

在进行疲劳寿命评估时,标准中的应力强度值是基于结构的弹性名义应力值确定的。其基本思路是,通过对总体和局部结构不连续以及热效应所引起的 6 个应力分量的计算,引入循环条件极端时刻的应力分量,计算此时的交变应力强度幅 S_{alt} ,用应力强度幅在相应的疲劳设计曲线上进行校核,从而得出设备的使用寿命。

2.2 疲劳寿命

分 2 种工况计算焦炭塔疲劳寿命,第一种工况为焦炭塔生焦阶段,此时塔体内壁温度 495 °C,外壁温度 360 °C,即内外壁最大温差达 135 °C;第二种工况为焦炭塔除焦阶段,此时塔体内壁温度 269 °C,外壁温度 360 °C,即内外壁最大温差为 91 °C。

计算采用轴对称模型,边界约束条件为上封头节点位移 $U_x = 0$,裙座底板上的点 $U_y = 0$ 。采用有

限元分析软件进行计算机模拟分析。

2 种工况的计算机模拟分析结果显示,焦炭塔最小循环次数 $N = 5\ 747$,按每年 170 次考虑,其允许的使用年限为 28 a,最大允许使用年限为 46 a。最小允许次数出现在裙座焊缝及裙座以上第 1 道环焊缝内表面附近。从计算机应力分析的结果还可看出,出现变化最大值的点位于焊缝下熔合线上,在 1 个循环周期中,其最大 y 方向总应变为 $1\ 857 \times 10^{-6}$,最小应变为 -983×10^{-6} ,这是引起焊缝开裂的主要原因。

3 疲劳试验

对 4[#] 焦炭塔温度场和应力场的分析可知,塔体由于温度和压力的作用,经历了 1 个受拉应力作用的过程,重复性循环开停构成热疲劳,由于在高温区有一定的停留时间,焊缝中的制造缺陷在一定程度上成为热疲劳的裂纹源。现场检测未发现明显的材料损伤,各部位组织为铁素体 + 珠光体,有轻微球化迹象,硬度略有下降。材料的疲劳性能,特别是高温疲劳性能在现场检测中无法得到,因此对塔体材料进行了疲劳试验。

3.1 取样

在 4[#] 焦炭塔计算最薄弱的部位——裙座焊缝以上第 1 道环焊缝上取样,因此,疲劳试验所用材料代表了焦炭塔的实际工况,样品上分布有环焊缝和纵焊缝,代表了焦炭塔最薄弱部位的基本状况。

3.2 疲劳试验

按 GB/T 15248 - 94《金属材料轴向等幅低循环疲劳试验方法》,在 LST 50 t 油压伺服材料疲劳试验机上分别进行常温和高温疲劳试验。通过函数记录仪记录试验数据。

在 (470 ± 5) °C 的高温下,4 个试样在变形量为 $1\ 857 \times 10^{-6} \sim -983 \times 10^{-6}$ 的拉压应变疲劳试验结果显示,其平均寿命为 74 862 次。室温条件下,5 个试样在应变量为 $1\ 857 \times 10^{-6} \sim -983 \times 10^{-6}$ 的拉压应变疲劳试验结果显示,其平均寿命为 108 076 次。较 20g 材料(高温平均寿命为 159 650 次)下降了近 30%,显然,该焦炭塔在运行 38 a 后材料抗高温疲劳性能明显下降。

据焦炭塔疲劳试验的结果可计算其剩余寿命。计算中高温疲劳试验的最低疲劳寿命取 62 630 次。考虑载荷误差,取安全系数 2.0,得出总安全系数为 40。其剩余寿命 $N = 2.5 \log\left(\frac{441}{S_{alt}}\right) / (0.124\ 6 \times 2\ 000) = 1\ 565$ 次,按每年工作 180 个周期计算,焦炭塔的剩余寿命为 8.5 a。

文章编号: 1000-7466(2003)05-0013-03

LPG 碱洗罐人孔法兰开裂失效分析

黄梓友¹, 张玉福², 吴学纲², 李三友³

(1. 中国石油化工股份有限公司 洛阳分公司, 河南 洛阳 471012;

2. 兰州石油机械研究所, 甘肃 兰州 730050; 3. 中石油玉门油田分公司, 甘肃 玉门 735200)

摘要: 通过对开裂的液化石油气碱洗罐人孔法兰进行材料理化检验和断口分析认为, 法兰失效是由于介质中的硫化氢引起的氢诱导开裂和应力导向氢致开裂所致, 材料中大量的 MnS 夹杂物对裂纹的形成和扩展起了促进作用。

关键词: 法兰; 硫化氢; 应力腐蚀; 失效分析

中图分类号: TQ 050.7; TQ 050.9 **文献标识码:** A

The failure analysis for flange's cracking on cylinder of LPG alkali washing tank

HUANG Zi-you¹, ZHANG Yu-fu², WU Xue-gang², LI San-you³

(1. Luoyang Petrochemical Company, SINOPEC, Luoyang 471012, China; 2. Lanzhou Petroleum Machinery Research Institute, Lanzhou 730050, China; 3. Yumen Oilfield Company, PetroChina, Yumen 735200, China)

Abstract: The physical testing and chemical analysis for material of the cylinder's flange on LPG alkali washing tank showed that cylinder's cracking were HIC and SOHIC caused by wet H₂S and the large amount of MnS in material promoted the formation and extension of the crack.

Key words: flange; H₂S; HIC; failure analysis

洛阳石化公司液化石油气(LPG)碱洗罐(V702)是按 JB 741 - 80《钢制焊接压力容器技术条件》制造的设备, 焊缝经 100% 超声波检验合格, 1989 年使用。该罐设计压力为 1.65 MPa, 主体材质 16 MnR, 操作介质为液化石油气(C₂ ~ C₅)、H₂S(5 × 10⁻⁶)、RSH(不大于 100 × 10⁻⁶)、S(不大于 200 × 10⁻⁶)以及

NaOH 洗涤液(5% ~ 10%)。运行期间开、停工 7 次。2000 年 3 月定检时判定安全状况等级为 2 级, 检后未作防腐处理。2002 年 6 月在例行巡查时发现 V702 人孔法兰颈部有泄漏, 泄漏发生部位的裂纹长约 400 mm, 在紧急停工处理的过程中, 裂纹扩展到约占法兰圆周的 2/3, 因此割取整个法兰进行失效

4 结语

根据文献[6]的附录 C 对大庆石化分公司所属 4[#] 焦炭塔进行了失效形式的探讨, 认为温差应力是造成其裙座焊缝开裂的主要原因。在塔体上取样进行实验室疲劳试验, 依据实验室结果运用剩余寿命评估的方法计算出其剩余寿命为 8.5 a。

参考文献:

[1] 胡海龙, 陈宝忠, 阎慧菊. 焦炭塔的失效形式[J]. 机械强度,

1996, 18(1): 23-26.

[2] 陈孙艺. 焦炭塔塔壁温度场特征的研究[J]. 压力容器, 2002, 19(1): 6-8.

[3] 陈松艺. 焦炭塔的三维温度场及其应力分析[J]. 石油化工设备技术, 1997, 18(1): 5-12.

[4] 赵莹, 周鸿. 焦炭塔鼓凸损伤分析[J]. 西安石油学院学报, 1998, 13(6): 10-13.

[5] 邓肖明, 蔡业彬, 方子严. 在役焦炭塔的安全检验及综合评定[J]. 茂名学院学报, 2000, 19(4): 20-21.

[6] JB 4732-95, 钢制压力容器——分析设计[S].

(杜编)

收稿日期: 2003-03-25

作者简介: 黄梓友(1960-), 男(汉族), 教授级高级工程师, 学士, 现主要从事石油化工设备技术管理工作。