服役超 32 年 10CrMo910 铂重整反应器检验分析

李元松　李飞

（江苏省特种设备安全监督检验研究院无锡分院　江苏　无锡　214000）

摘要：中国石化扬子石油化工有限公司芳烃厂铂重整反应器是芳烃联合装置的核心设备。江苏省特检院无锡分院对中石化扬子公司芳烃厂服役超 32 年、运行时间超过 260000h、材料为 10CrMo910 的铂重整反应器进行定期检验，运用硬度检测、金相分析包括覆膜金相分析和应力分析等方法，检测发现珠光体球化级别为 4 级，判定该设备材质发生劣化，并且根据强度校核结合材质劣化扩展可能性进行定级。

关键词：10CrMo910；材质劣化；珠光体球化；应力分析

0　引言

中国石化扬子石油化工有限公司芳烃厂铂重整反应器是芳烃联合装置的核心设备，价值近 2 亿元。铂重整反应器采用美国 UOP 公司 20 世纪 80 年代专利技术，属于移动床径向反应器，是同轴叠置结构的反应器。该台反应器服役已超 32 年，运行时间超过 260000h，2007 年南京工业大学已对服役 18 年、运行 150000h 的铂重整反应器，从强度、金相组织、损伤程度等方面进行了全面评估。2022 年 04 月，江苏省特检院无锡分院对该台反应器进行定期检验。

1　设备介绍

本次大修检验的铂重整反应器由 1# ～ 4# 筒节从上至下竖直布置组成，如图 1 所示。设备制造日期为 1981 年，投入使用日期为 1989 年 05 月 29 日。设计压力为 − 0.1 ～ 1.29MPa，设计温度为 427 ～ 543℃，工作介质有 HC、H_2、催化剂，筒体材料为 10CrMo910，使用压力 1.02MPa，使用温度 525℃，名义厚度分别为：27mm、37mm、41mm 和 50mm，内径分别为：1700mm、2900mm、3400mm 和 4400mm，腐蚀裕量 6mm。上次检验日期为 2017 年 10 月，安全状况等级为 3 级。

2　检验方法

按照 TSG 21-2016《固定式压力容器安全技术监察规程》和江苏省特检院《固定式压力容器定期检验工艺》的相关要求，此次定期检验对该重整反应器设备开展了包括压力容器资料审查、宏观检验、壁厚测定、超声波检测、磁粉检测、渗透检测、硬度检测、金相分析、安全附件及仪表检验等项目的检验工作，其中硬度检测和金相分析的仪器型号和检测方法如表 1 所示。该台反应器原始资料不完整，检验主要依照部分可查图纸以及上次定期检验报告。由于该台设备服役近 33 年，运行时间超过 260000h，此次增加了金相检验（包括覆膜金相）作为材料分析手段。

图 1　铂重整反应器

3　检验情况

3.1　宏观检查和壁厚测定

筒体外壁隔热层下存在均匀腐蚀，锈蚀深度

表 1 硬度检测和金相分析的仪器型号和检测方法

检测方法	仪器型号	仪器编号	检测标准	单位	抛光方法	腐蚀方法
硬度检测	Bambino 2	WX-J-1616	NB/T 47013-2015	HB	砂纸打磨	—
金相分析	PTI-500	WX-J-1018	NB/T 47013-2015 及参照 DL/T 773-2016[1]	—	机械抛光	4% 硝酸酒精

1mm 左右；筒体内壁光滑，局部有凹坑缺陷，直径 3 ～ 5mm，深度 2 ～ 3mm（据扬子公司反映，上次定检就发现凹坑缺陷，未做处理），筒体腐蚀状况良好，未见高温腐蚀和氢蚀现象。

3.2 无损检测

4# 筒节出口接管内表面宏观检查发现，其锻制钢管与锥形筒体焊接部位存在一条长约 50mm 的焊缝。对部分焊接接头进行超声检测、磁粉检测时，发现上述焊缝与出口接管内表面正向 90° 方向存在长约 3mm 的裂纹，经初步表面打磨后再次检测，裂纹磁痕未消失，如图 2 所示。

3.3 硬度检测

抽查部分母材区硬度，如图 3 所示，其中 2# 筒节硬度偏低，显著偏低检测点的编号及数值如表 2 所示。

3.4 金相分析

发现硬度偏低后，为排除表面脱碳层的影响，

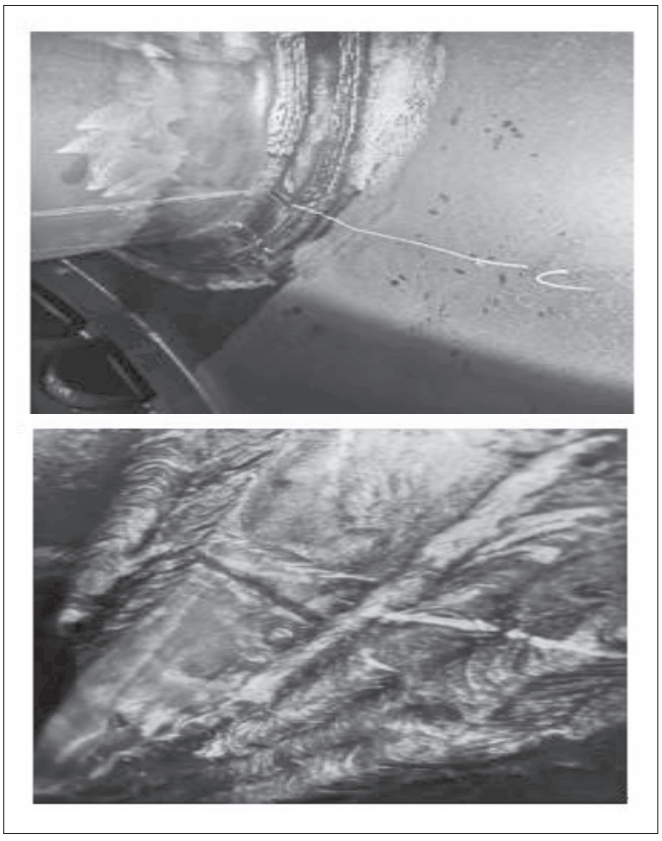


图 2 4# 反应器内部表面裂纹

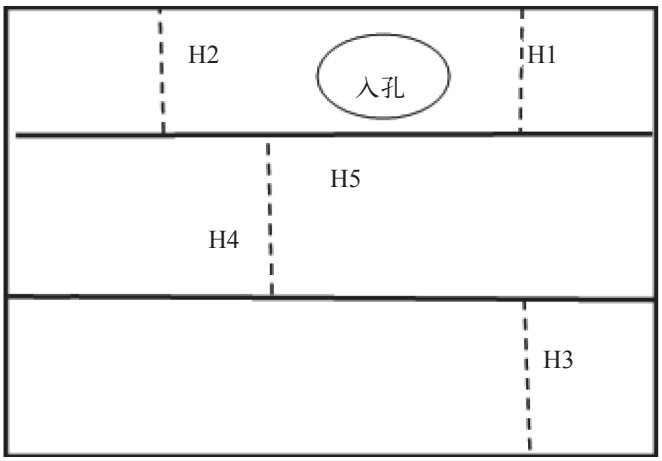


图 3 抽查母材区域

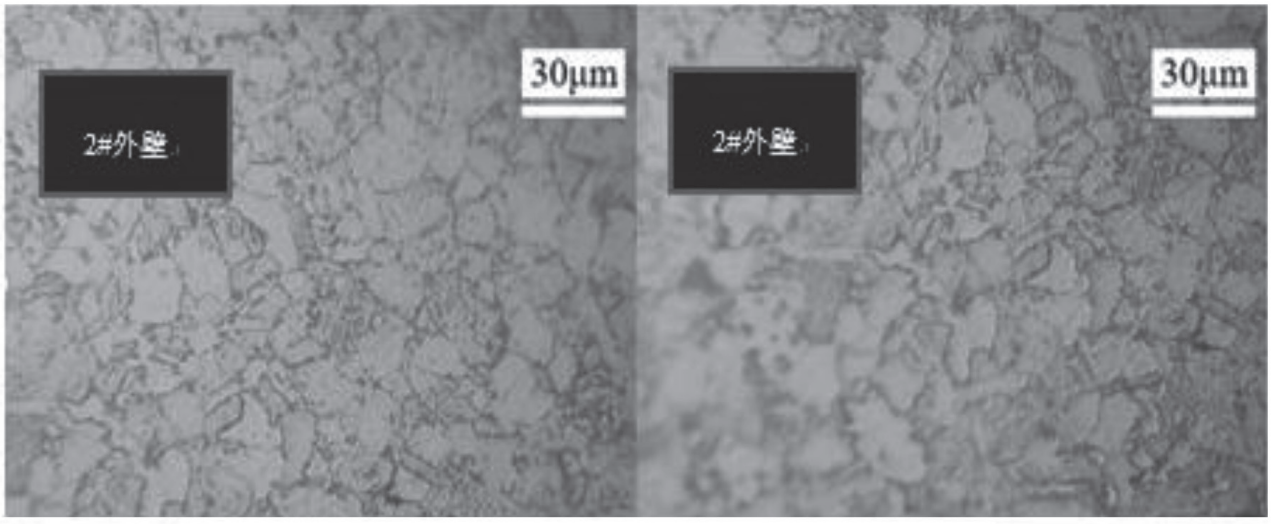
表 2 2# 筒节硬度偏低点及数值

编号	部位	硬度 HB
H2-1	母材	129
H2-2	热影响区	124
H2-3	焊缝	175
H2-4	热影响区	116
H2-5	母材	121
H5-1	母材	115
H5-2	热影响区	117
H5-3	焊缝	172
H5-4	热影响区	119
H5-5	母材	127

对 2# 筒体外表面（位于器壁侧方人孔东南侧，深度 1.5mm，如图 4 所示）和筒体内表面（位于器壁侧方人孔西侧，深度 4mm，如图 5 所示）进行金相分析，同时对筒体内表面进行覆膜金相比对，如图 6 所示。结果发现：金属组织基体大部分为铁素体，仅观察到少量珠光体或贝氏体区域痕迹，晶界附近有大颗粒碳化物聚集，晶粒度 6.5 级，晶粒度正常，未见蠕变空洞以及显微裂纹。

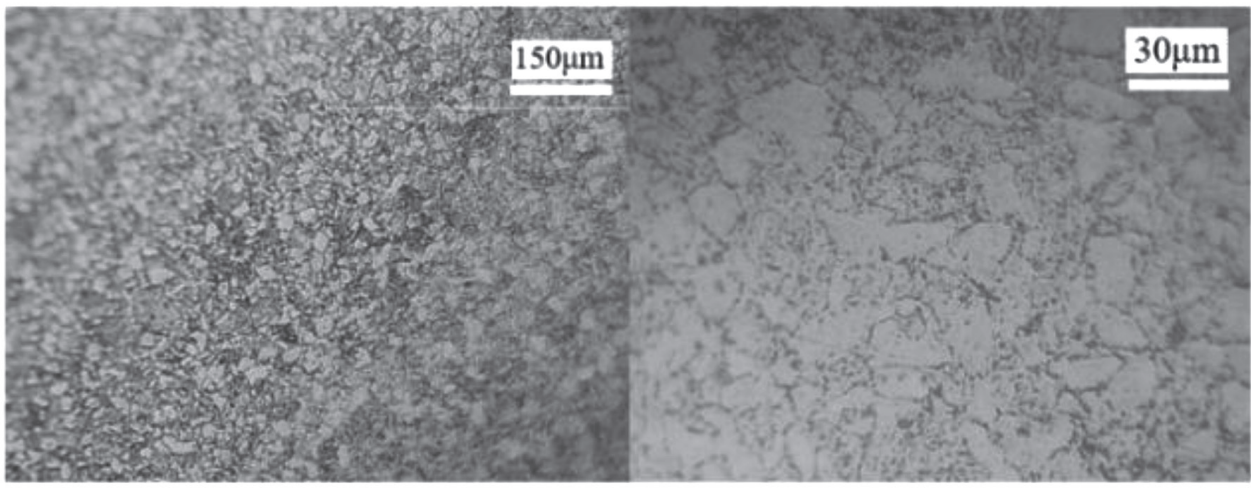
4 检验结果分析

宏观检查：壁厚测定未见异常。表面缺陷检测：4# 筒节存在裂纹缺陷。材料分析：发现 2# 筒壁硬度偏低，金相结果显示 2# 筒节材料发生劣化，2# 筒节



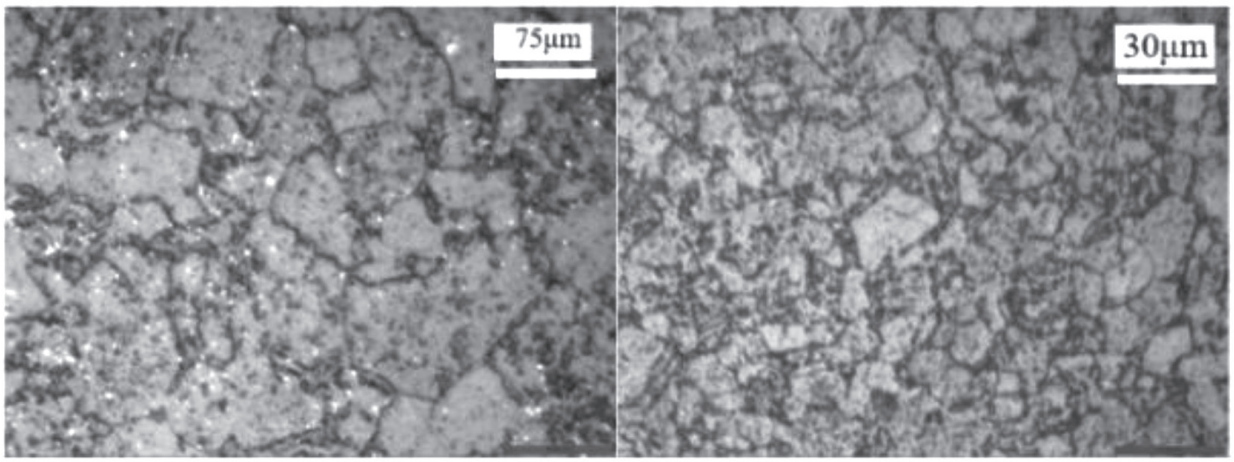
500X 500X

图 4 2# 筒节外壁深度 1.5mm 处显微组织



100X 500X

图 5 2# 筒节内壁 4mm 显微组织



覆膜 200X 覆膜 500X

图 6 2# 筒节内壁 4mm 覆膜显微组织

珠光体球化级别为 4 级。

对于表面凹坑，按照《固定式压力容器安全技术监察规程》8.5.4 计算，该凹坑在允许范围内。对于筒节接管裂纹，应当打磨消除，并且按照 TSG 21-2016《固定式压力容器安全技术监察规程》8.5.4 的要求进行处理。对于材质中度及严重的珠光体球化，根据强度校核结合材质劣化扩展可能性进行定级 [2]。

江苏省特检院联合南京工业大学成立项目组，通过应力分析对该台铂重整反应器进行强度校核 [3]。建立重整反应器的三维模型，对其长时间在高温条件下的蠕变行为进行了模拟计算，如图 7 所示，得到了其服役 320000h 的应力最大值。依据基于硬度修正的 Larson-Miller 外推法 [4] 得到重整反应器的剩余寿命为 48227h。

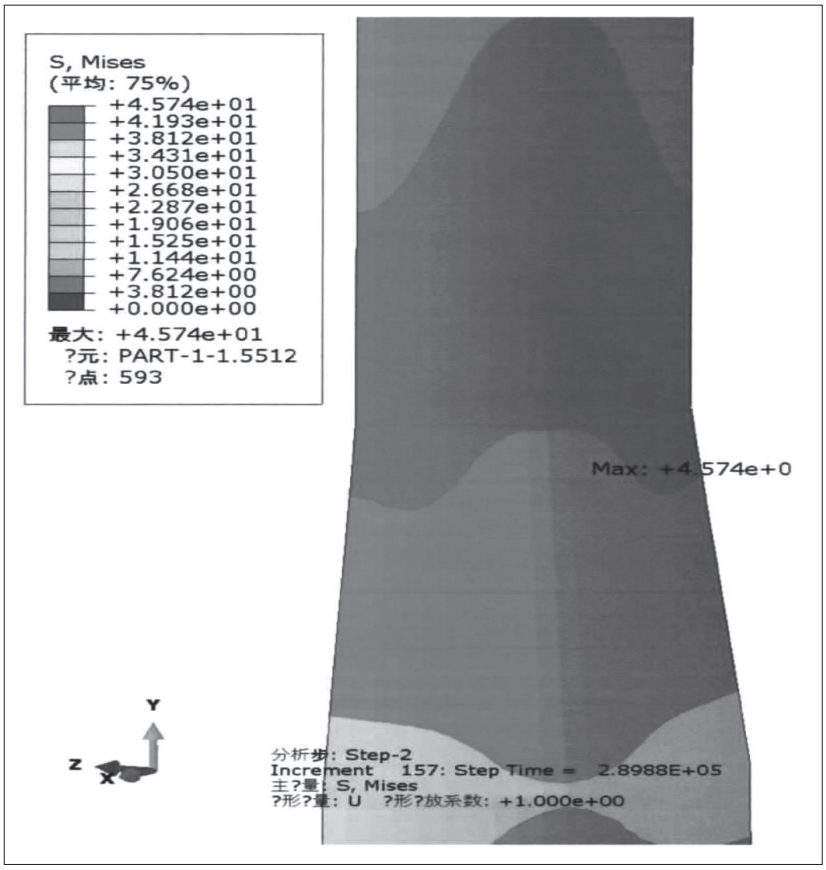


图 7 铂重整反应器的应力分析

5 结语

结合宏观检验、硬度检测、金相组织和强度校核计算结果，铂重整反应器已经接近其自身蠕变寿命末期，但是仍然具有一定的剩余寿命，可以在预定的操作条件下安全运行一段时间。综合考虑，该设备应监控使用，周期为 3 年。扬子石化公司在反应器运行期间，应密切监测其金相组织变化和硬度变化，其中特别需要关注其硬度变化。

参考文献：

[1] 周顺深 . 炉管珠光体球化与破裂的寿命关系 [J]. 华东电力 , 1995(5):7-11.

[2] 李杜鸣 . 在用压力容器珠光体球化及安全状况等级评定 [J]. 中国特种设备安全 , 2005,21(5):5-7.

[3]R Guo,MB Ives.Pitting Susceptibility of Stainless Steels in Bromide Solutions at Elevated Temperatures[J].Corrosion Science,1990,46(2):125-129.

[4]HJ Ratzer-Scheibe,HG Feller.Der Einfluβ Der Spezifischen Adsorption Von Halogenidionen Auf das Elektrochemische Verhalten der Nickel-Elektrode[J].CorrosionScience,1973,13(1):11-22.

作者简介：李元松（1987.06-），男，汉族，江苏盐城人，硕士研究生，工程师，研究方向：压力容器的检验。