

定量 RBI 技术在芳构化装置的应用

陆剑波¹, 熊 钢¹, 蒋 伟¹, 郑 鹤¹, 周世耀², 郑登富²

(1. 中国石油西南油气田分公司天然气研究院, 四川 成都 610213)

2 中国石油西南油气田分公司南充炼油化工总厂, 四川 南充 637000)

摘 要: 为有效指导中国石油西南油气田分公司南充炼油化工总厂(以下简称南充炼油化工总厂)检修工作。采用定量 RBI 分析方法, 借助 DNV 开发的 ORBIT ONSHORE 软件对芳构化装置进行风险评估。根据风险评估结果确定了装置的整体风险水平以及分析的各个单元所处的风险等级, 对高风险设备和管道进行了原因分析, 给出了主要的腐蚀机理, 提出了合理的降低风险的措施, 制定了基于 RBI 分析的优化检验策略。

关键词: RBI; 芳构化; 风险等级; 检验策略

文章编号: 1006-5539(2010)02-0027-04

文献标识码: A

0 前言

RBI(基于风险的检验)是近三十年来国际上新兴的一门学科, 是在追求安全性与经济性统一的理念基础上建立起来的一种优化检验策略方法, 它以设备破坏而导致的介质泄漏为分析对象, 以设备检验为主要手段的风险评估和管理过程, 其实质就是对系统中固有的或潜在的危险发生的可能性与后果进行分析与排序, 发现主要问题与薄弱环节, 确保系统安全, 同时减少运行费用^[1~2]。

装置传统的检验计划主要是根据装置本身固有规律, 从保障压力容器、压力管道和安全阀安全的角度出发, 来确定相应的检验方法和检验时间。如制定压力容器的定检方案时, 虽然对其失效机理也有所考虑, 但由于检验人员的技术水平的差异, 所制定的检验方法的针对性、有效性、完整性并不理想。在确定检验时间时, 安全状况为 1、2 级的一般为 6 年, 3 级的一般为 3~6 年, 具体定几年主要根据经验。而传统的大修计划也通常是停产后设备 100% 进行检修, 重点不突出。

据事故案例统计数据表明: 装置 80% 风险是由不到 20% 的设备所贡献的^[3]。而装置超过 80% 设

备故障是由压力设备引起的。这说明了装置中设备的风险分布是不均匀的。所以, 如果在没有任何区别的情况下进行全面检修检测, 费用肯定会增加。通过 RBI 技术分析, 将设备发生事故的可能性和危害程度进行综合考虑, 确定出每台设备的风险大小并排序, 将设备划分为不同的风险等级, 在保障安全生产、控制风险的前提下, 对高风险设备增加控制投入, 进行重点检修, 对低风险设备减少费用投入, 由此编制相关设备检验计划。

RBI 是一种系统和动态的检验方法。一方面 RBI 充分考虑设备早期的检验结果和经验、服役时间、设备损伤水平和风险等级来确定检验周期; 另一方面 RBI 提供了合理分配检验和维修力量的基础, 它能够保证对高风险设备有较多的重视, 同时对低风险的设备进行适当的评估, 将精力集中于高风险的设备上, 应用有效的检验技术加以检测, 在降低装置检修成本的同时提高设备的安全性和可靠性。

1 装置简介

南充炼油化工总厂芳构化装置是由洛阳石化工程公司设计的国内首套完整的针对低标号直馏汽油升质改质而采用直馏汽油芳构化技术的炼油装置,

收稿日期: 2009-09-02

作者简介: 陆剑波(1971-), 男, 江苏江阴人, 工程师, 本科, 主要从事天然气专业工程设计工作。电话: (028) 85604280

原设计加工能力为 5×10^4 t/a, 装置原料为常压直馏汽油, 通过芳构化改质技术, 得到较高标号汽油 (良好的汽油调合组分) 以及液化石油气、干气等产品。装置于 2000 年 12 月建成投产, 经过几次扩能, 目前加工能力达到了 12×10^4 t/a。装置主要由反应部分、吸收稳定部分和再生部分组成。

2 RBI 风险分析过程介绍

2.1 原始数据采集、整理

对分析范围内的设备和管线, 进行基本数据和分析计算用数据的收集、整理, 建立 RBI 数据库。收集的数据包括以下几方面:

工厂及装置的通用数据, 包括气候、地质条件、计划与非计划停车、工艺稳定性、管理水平等;

设备设计资料, 包括设备与管道的规格、设计温度、设计压力、材料等;

工艺介质分析数据, 包括与流体有关的物性参数, 如: 流体组份及含量、流速、PH 值、操作温度、操作压力等;

检验数据, 包括检验时间、检验方法、检验有效性、实测壁厚数据及应力腐蚀裂纹检测结果等。

2.2 物流回路划分

参照装置工艺流程, 根据在物料发生泄漏情况下, 可以达到紧急切断隔离作用的原则划分物流回路。

2.3 腐蚀回路划分

根据设备项材质、介质和运行参数, 分析可能的损伤机理, 以工艺的连贯性确定腐蚀回路。

2.4 数据录入软件计算

将 RBI 数据库整合录入 ORBITM Onshore 软件, 计算失效可能性、失效后果和风险; 确定风险等级、分布; 并考虑此装置连续运行到最近一次大修以及 4 年后的风险发展趋势。

2.5 检验计划的确定

根据设备损伤机理、风险等级及风险发展趋势, 结合《压力容器安全技术监察规程》^[4]、《压力容器定期检验规则》^[5]、《在用工业管道定期检验规

程》^[6] 的要求, 提出降低风险的措施。具体流程见图 1。

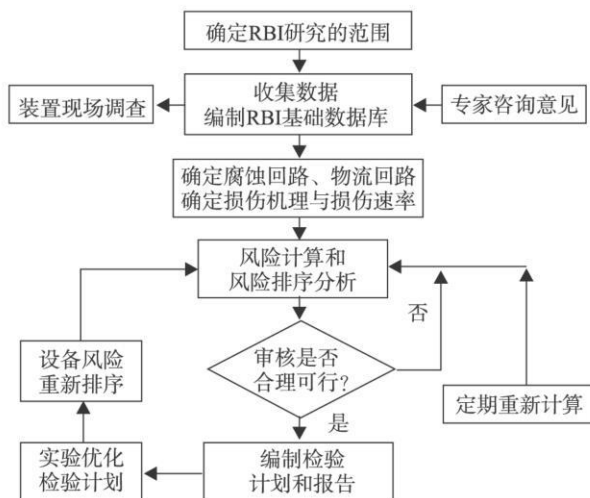


图 1 RBI 工作流程图

3 装置腐蚀机理分析^[7~8]

芳构化装置的主要潜在损伤机理有内部腐蚀减薄、外部腐蚀、应力腐蚀开裂、高温氢损伤等。

其中损坏程度严重的腐蚀是高温硫化物腐蚀与冲刷腐蚀。

高温硫化物的腐蚀是指温度在 240°C 以上硫、硫化氢和硫醇形成的腐蚀, 在高温条件下, 活性硫与金属直接反应, 表现为均匀腐蚀, 其中以硫化氢的腐蚀性最强。高温硫腐蚀一般发生在含硫油接触的 230°C 以上的部位, 伴随温度的升高, 腐蚀加剧。高温硫腐蚀的影响因素主要有温度、硫化氢浓度、介质流速、材质及介质流动状态等。

冲刷腐蚀又称磨损腐蚀, 是金属表面与腐蚀流体之间由于高速相对运动而引起的金属损坏现象, 是材料受冲刷和腐蚀交互作用的结果, 如流体输送管道的弯头、阀门等, 都会遭受冲刷腐蚀的破坏, 尤其是在含固相颗粒的双相流反应器管线中, 由于受到冲刷腐蚀与高温硫化腐蚀的共同作用, 破坏更为严重。

对于反应系统合金管线普遍减薄的情况, 我们进行了深入的分析, 其中最主要的原因如下: 芳构化装置原料为直馏汽油, 含有少量的硫化物, 这些硫化物沸点较低, 反应活性较强, 在 260°C 以上会直接与铁反应, 在钢材表面形成致密的硫化亚铁膜, 抑制腐蚀的继续加重; 同时, 硫化物在 300°C 以上会分解生

成硫化氢, 硫化氢在 340℃以上会部分分解生成单质硫, 单质硫和硫化氢在 400℃以上高温下腐蚀性非常强, 会加重腐蚀。再生气中的氧也会和硫化亚铁发生反应, 形成结构疏松的三氧化二铁, 被气流带走加重腐蚀。芳构化装置扩能带来的油气流速成倍增加, 也对弯头产生了严重的冲刷腐蚀。芳构化装置产物中硫化氢含量达 2×10^{-4} 、初期再生烟气中二氧化硫含量达 7.2×10^{-3} 以及弯头冲刷面腐蚀仅剩 2 mm, 充分说明芳构化装置弯头部位腐蚀严重就是上述腐蚀交替作用所致。

4 风险分析结果

利用 ORBITONSHORE 软件对装置的 108 台静设备项、254 条主要工艺管道和 16 只安全阀进行全定量分析, 从经济性对装置进行风险分析。

4.1 当前总经济风险分析结果

装置的总经济风险分布状态见图 2 矩阵所示。根据分析结果, 按照风险程度高低分为高风险、中高风险、中风险和低风险。

中高风险的设备共有 3 项, 为原料油汽化器管束、原料加热炉至反应器的管道 (编号为芳—P1008 材质为 15CrMo 和稳定塔重沸器管束。分析后确定主要是由于操作温度高 (原料油汽化器管程温度达到 426℃, 而芳—P1008 和稳定塔重沸器管程温度达到 530℃), 芳—P1008 内流体的流速较快, 故相对腐蚀减薄速率也就偏高, 且没有有效的检验记录, 故其失效可能性等级较高。经了解装置自 2000 年开始投用以来, 工厂已于 2004 年对原料油汽化器管束和稳定塔重沸器管束进行一次更换, 同时也将部分芳—P1008 管道的材质更换为 0Cr18Ni10Ti。

4.2 装置到 2010 年 10 月检验前的风险分析结果预测

装置下次计划大修的时间为 2010 年 10 月, 截止到大修时间前的风险分析结果对安排大修检验具有很好的指导意义。装置总经济风险矩阵见图 3。

4.3 装置运行 4 年后的风险分析结果预测

装置预计连续运行 4 年后, 没有安排检验活动, 总经济风险矩阵如图 4 所示。矩阵表明, 一些中低



图 2 当前总经济风险矩阵

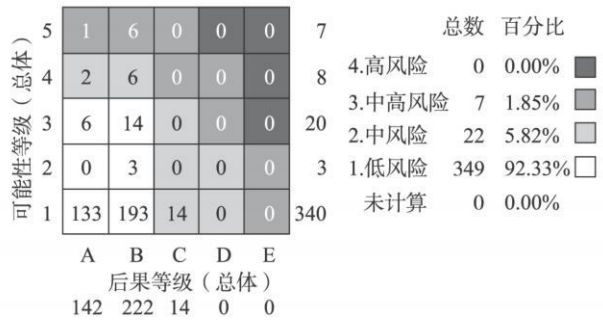


图 3 总经济风险矩阵 (运行到装置最近一次大修)

风险的设备项可能性等级的上升, 使得中高风险项由当前的 3 项增加到 9 项, 中风险项由当前的 18 项增加到 26 项, 但仍无设备项达到高风险。

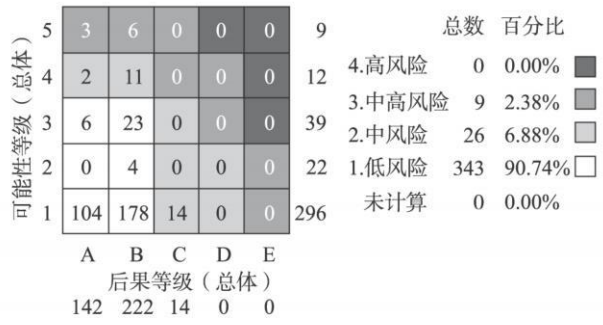


图 4 总经济风险矩阵 (运行 4 年后)

4.4 装置整体风险水平分析

芳构化装置的总风险分布和运行 4 年后的总风险分布预测分别如表 1~2 所示。从表 1~2 可看出, 装置没有处于高风险的设备项, 处于中高风险的设备项也仅占到 0.8% 和 2.38%, 因此装置整体处在风险较低的水平。

表 1 芳构化装置 2009 年 5 月总风险分布

风险水平	高风险	中高风险	中风险	低风险	合计
设备项数	0	3	18	357	378
所占比率/(%)	0	0.80	4.80	94.4	100

表 2 芳构化装置到 2013年 5月总风险分布预测

风险水平	高风险	中高风险	中风险	低风险	合计
设备项数	0	9	26	343	378
所占比率/(%)	0	2.38	6.88	90.74	100

5 结论与建议

a通过定量 RB技术对南充炼油化工总厂芳构化装置进行分析,有效掌握装置的总体风险水平和每一设备/管道的风险等级。

b对于在冲刷腐蚀与高温硫腐蚀共同作用下的反应再生系统的高温管线,尤其是高温含固体颗粒介质的反应器进出口管线建议:

a)材质升级,采用如 0Cr18Ni10Ti 等不锈钢材料;或者改变管道的内部设计,设计内壁复合层和耐磨层;此外,也可对流速高的部位如弯头、流道方向有突变的管件处,局部更换管材,选用如不锈钢等耐腐蚀材料;

b)加大管线弯头的弯曲半径,局部加厚受磨损部位,以达到降低流体流速、减少冲刷腐蚀、降低管线腐蚀速率的目的;

c)设立在线定点测厚。

d对于带有衬里的原料加热炉和再生气加热炉,一旦衬里发生破坏,高温介质将会对壳体造成较大危害。建议采用红外监测方式在线检测。

e加热炉炉管位于运行的高温部位,直接接受火焰的辐射,运行中很难依靠检测的方法来发现问题,而炉管一旦损坏就将直接影响装置的运行,而且危害程度也较强。建议在装置临停临检时,对其进行超声波定点测厚和硬度测量,每次装置大修时对其进行一次金相检测。

f对易发生高温硫化物腐蚀的反应再生系统,如从原料加热炉到反应器的设备/管线,建议根据实际操作条件,定期测算直馏汽油与反应产物的流速,同时将此数据与定点测厚数据相结合,可有效掌握设备及管道腐蚀速率变化趋势。

g对于本次风险分析中失效可能性等级大于 3

且风险等级为“中高”的设备和管道应作为下一步检验工作的重点,装置 RB分析报告中根据定量风险分析结果制定了设备和管道的检验策略,该检验策略可作为制订全面或在线检验方案的主要参考依据。

检验策略包括检验周期和检验方法两方面的内容。检验周期的选取主要参考风险分析结果(风险大小和剩余寿命)和国内相关法规标准的要求,检验方法的选择主要遵循以下几个方面的原则:

a)检验方式的选取:对于压力容器,如可以进入容器内部的,优先选择内部检验;若存在较高外部破坏风险的,应同时对外部进行检验;

b)检验比例的选取:根据风险分析的结果合理确定检验比例。基于风险的检验计划并不要求所有的设备的检验有效性都要达到高度有效。根据实际情况合理选择有效性;

c)选取检验方法时,在参考 AP提供的检验有效性的同时,结合我国的具体国情和法规要求,进行了调整,其中对于中高风险及以上的设备/管道,推荐采用针对不同失效机理的高度有效的检验方式进行检测;对于失效可能性大于 3的中风险的设备/管道,推荐采用针对不同失效机理的通常有效的检验方式进行检测。

参考文献:

- [1] American Petroleum Institute Risk-Based Inspection Base Resource Document AP581I §.
- [2] American Petroleum Institute Risk-Based Inspection AP58Q §.
- [3] 中国石化股份公司安全工程研究院,英国 TISCHUK国际公司.设备风险检测技术实施指南[M].北京:中国石化出版社,2003 18-19
- [4] HG 20581—1998 压力容器安全技术监察规程[§].
- [5] TSG R7001—2004 压力容器定期检验规则[§].
- [6] 国质检锅[2003],在用工业管道定期检验规程[§].
- [7] 吴一均.炼油厂设备腐蚀与防护状况浅析[J].石油化工腐蚀与防护,1999 16(4): 5-9
- [8] 余宗森.钢的高温氢腐蚀[M].北京:化学工业出版社,1987