

保障天然气净化装置长周期运行的 RBI 技术

郑 鹤¹ 宋 彬¹ 计维安¹ 陈胜永² 陆剑波¹

1. 中国石油西南油气田公司天然气研究院 2. 中国石油西南油气田公司开发部

郑鹤等. 保障天然气净化装置长周期运行的 RBI 技术. 天然气工业, 2009, 29(3): 107-109.

摘 要 RBI 是以详细风险分析为基础的设备检验技术, 应用 RBI 技术可以科学合理地制定并实施设备检验、检修计划, 对保证天然气净化装置安全长周期运行具有重要意义。为此, 对 RBI 技术在天然气净化装置上的应用做了深入研究, 并介绍了我国天然气净化工业对 RBI 的技术需求以及近期开展 RBI 评估工作的进展情况, RBI 技术基本原理和工作流程, 风险量化的两个方面, 目前国际通行的 API 规范体系和我国拟推出的国家标准。从检验计划制订方式、检验有效性等 4 个方面分析了 RBI 技术对天然气净化企业大修工作的指导性, 提出了 RBI 评估过程中应特别注意的技术关键, 指出了天然气净化工业在应用 RBI 技术中遇到的问题及解决办法。

关键词 RBI 天然气 净化 脱硫装置 检验 应用研究

DOI:10.3787/j.issn.1000-0976.2009.03.032

1 对 RBI 技术的需求

中国石油西南油气田公司(以下简称西油公司)是我国首个以天然气生产为主的千万吨级大油气田, 承担着为川、渝、云、贵、湘、鄂等我国西南、华中地区六省市近千家大中型工业用户和 680 多万居民用户供气的重任。随着上产 $300 \times 10^8 \text{ m}^3/\text{a}$ 目标的逐步实施, 西油公司生产压力剧增, 现有各天然气净化装置长周期安全运行的矛盾日益突出。

多年来, 在保证安全生产前提下, 西油公司一直致力于提高天然气净化装置的长周期运行能力^[1], 迫切需要一套科学合理的评价技术, 来指导科学制定天然气净化装置的检维修计划^[2]。RBI (Risk-Based Inspection, 基于风险的检验) 是以详细风险分析为基础的设备检验技术。RBI 从收集设计数据、操作参数、维修和检验记录等入手, 识别设备材料损伤机理、分析失效模式、失效可能性及后果, 确定出每台设备的风险大小并排序, 制订并实施检验、检修计划以确保设备本质安全, 节约检验、检修费用。

2 RBI 评估技术简介

2.1 应用规范体系

API RP 580、API pub 581 是 RBI 基本资源文件, 是目前 RBI 技术的国际性行业标准。API 750、

API 510、API 570、API 653 是操作层次上的文件, 是 RBI 思想、原则在操作中的具体运用。

2.2 RBI 的核心概念

RBI 主要评估 3 个参数: 失效可能性、失效后果、失效可能性和后果组合的风险。其中风险是 RBI 的核心概念。

2.2.1 风险

风险 $(R) = \text{失效概率}(PoF) \times \text{失效后果}(CoF)$ (1)

风险是失效概率(可能性)和后果的组合, 单一考虑后果或可能性都是不全面的。

2.2.2 失效概率

失效概率的定量计算有以下两种:
1) 阿克苏—诺贝尔 (AKZO NOBEL) 法。这一方法计算的是完整性因数 (Integrity factor) S 。失效概率为 S 的倒数, 即 $1/S$ 。

$$S = \{D_{\text{last}} - (CR \times I) \times U\} / D_{\text{min}} \quad (2)$$
式中: D_{last} 表示前次测得的厚度, mm; CR 表示厚度减薄率, mm/a; I 表示检验周期, a; U 表示不确定系数; D_{min} 表示允许的最小厚度, mm。

2) API pub 581 采用的方法。失效概率 (PoF) 按下式计算:

$$PoF = F_G \times F_M \times F_E \quad (3)$$
式中: F_G 表示同类设备平均失效概率; F_M 表示管理系数; F_E 表示设备修正系数。

作者简介: 郑鹤, 1972 年生, 工程师; 1996 年毕业于四川联合大学(西区)化工设备与机械专业。地址: (610213) 四川省成都市双流县华阳镇天研路 1 号。电话: 13084401326。E-mail: zheng_h@petrochina.com.cn

2.2.3 失效后果(CoF)^[3]

失效后果是指 RBI 评估当装置设备失效时,装置中有毒物、易燃、易爆物料泄漏所引起的后果。泄漏的后果由物料的物理性质、毒性和可燃性、天气条件、泄放时间和减缓措施等因素决定。后果类型分为可燃、有毒、营业中断和环境后果等 4 种类型。在 RBI 评估中可将这些影响都转化为经济损失,折算成人员伤亡费、设备修理费、周边设备修复费、环境清理费、停产损失费等,也可根据需要采用不同的后果呈现方式,例如公司立法制定了有关限制潜在生命损失(PLL)或死亡事故率(FAR)的安全要求,那么也可分成人员安全和经济损失两种风险类型^[4]。

2.3 风险管理

通过风险管理,可以制订计划采取措施将不可接受的风险降低到可接受水平之上。

1)通过损伤机理分析,根据失效可能性和失效后果,确定每个设备项的风险大小,据此对设备进行风险排序并以矩阵形式表达(见图 1)。

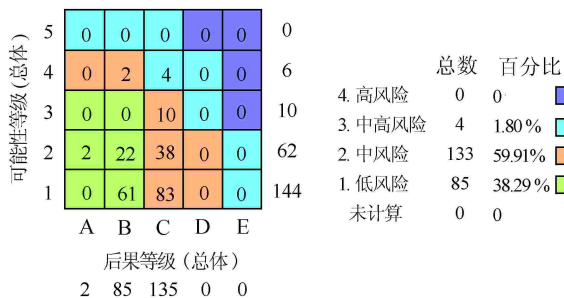


图 1 风险矩阵排序图

2)根据风险可接受准则、风险的大小和未来的发展,确定设备检验的优先次序、检验日期和周期。

3)根据损伤机理推荐有效的设备检验方法、检验位置及范围,最终提供一个最佳检验管理计划。

3 RBI 技术对天然气净化装置大检修的指导性

3.1 检验计划的制订方式更为科学合理

为了降低装置的风险,各天然气净化厂需定期停产进行装置检验^[5],其大修计划的制订极大地依赖于“经验”,且其通常只关注于设备失效的后果,往往忽略了其失效可能性,导致失效可能性高但后果轻微的设备“过检”,而失效可能性低但后果严重的设备“检验不足”,存在有限的检验资源分配不合理的缺陷。

而 RBI 技术要求计划制定前必须了解装置工艺

流程、过往检修历史、设备的损伤机理、材料的退化机理,通过详细的损伤、退化机理分析,计算对应的技术模块,最后再结合“经验”形成检验计划,弥补了单靠“经验”制定检验计划的不足,更具科学性和合理性。

3.2 提高了检验真实性和准确性

以全面腐蚀为例:首先,RBI 根据腐蚀速率数据的来源,设定了腐蚀数据“置信度”;其次,RBI 把检验方法的有效性分为 5 类(高度有效、通常有效、一般有效、效果差和无效)。这样通过贝叶斯公式,检验后腐蚀破坏率的置信度即可被较准确地确定。

3.3 检验周期的确定更加科学合理

延长装置检验周期可显著提高企业经济效益。在法律法规允许的范围内,以 RBI 评估为依据可尽量延长装置检验周期,并据此安排其他生产完整性管理工作,使装置整体检验周期更趋合理,减少停工时间,减少非计划停车次数,缩小停车检修的范围。

3.4 检验资源分配更合理

RBI 将设备发生事故的可能性和事故造成的后果进行综合考虑,将设备划分成不同的风险等级,允许操作者将精力集中于高风险的设备上,对其增加投入,进行重点检修,而在保障安全生产、控制风险的前提下,对低风险设备减少投入,为合理分配有限的检验费用提供科学依据。

3.5 科学合理决定检验内容和程度

通过数据分析,识别出设备的失效机理与损伤形式,判断在这些失效机理的影响下,设备的哪些部位可能会发生何种类型的缺陷,需要执行何种检验方法以及检验效力(检验有效性);最后根据当前风险等级、风险发展趋势,考虑检验经济性来确定最佳检验时间。

4 RBI 评估工作流程

1)确定实施范围、目的、工作方法、交付项目及日程。

2)收集资料。包括工艺流程数据、历年检维修记录、失效分析记录、工艺介质分析数据、设备设计资料、财务数据等。

3)根据 PFD、PID 图分割工艺流程。综合 PFD 图上的压力、温度、流体种类、状态、隔离装置、物质隔离区段、材料结构、损坏机理、腐蚀率、毒性量、pH 值、污染物、连锁控制阀、ESD 控制阀等信息,划分物流回路及腐蚀回路。

4)利用 RBI 软件计算失效可能性、失效后果和

风险;确定风险等级、分布;预测今后一定时期内风险的发展趋势并提出检修计划。

5)实施检修,执行预防性维修并记录检修结果,记录所有更改。

6)更新 RBI 数据,实施再评估。

5 我国 RBI 技术应用现状

国内也有高校、机构进行了一系列的 RBI 研究工作,但几乎都围绕炼化装置而极少在天然气净化装置上开展。相关机构正在编制国家标准,并对有关法规作出修改以使二者相适应。

西油公司积极开展了对 RBI 的尝试、应用工作:邀请专家举办了多期学习班,广泛宣传这一新的设备管理理念;委托两个著名公司完成了两套天然气净化装置的评估;引进了国际上广泛使用 Orbit-on-shore+IDS 计算和数据库软件。西油公司下属的天然气研究院还承担了有关 RBI 的国际合作课题和西油公司专项课题,并在4套装置上开展了 RBI 评估工作。

6 问题与建议

6.1 现在很难制定出合理的可接受风险准则

1)国内目前还没有 RBI 相关标准规范颁布。

2)API 580、API 581 只指出各企业可以有自己的风险准则,无法为不同国度、不同行业、不同企业规定统一的可接受风险准则。

3)可接受的风险与一个国家的社会、经济发展息息相关,一个企业是难以自行确定可接受风险的,因此企业需要按照政府有关部门和企业主管单位的相关规定,综合多方面因素确定可接受的风险^[6]。

6.2 需要建立天然气净化行业的 RBI 评估体系

RBI 技术起源于国外石化行业,失效可能性分析始于近海炼油、化工炼制设备的同类失效频率数据库。直接应用于其他行业(包括天然气净化)可能与设备的实际失效频率不吻合,因而应努力收集统计整理各类设备、管道的失效数据,分析破坏机理,建立适合天然气净化装置 RBI 评估的失效数据库和失效模型。

6.3 引进的 DNV Orbit-onshore 软件需要随着新的标准进行升级或改版

我国相关机构正在积极着手制定符合本国国情的 RBI 技术标准,已提出《承压设备系统基于风险的检验实施导则》标准草案,草案颇有自己的创新点:

1)引入制造质量修正因子(超标缺陷修正因子)。

2)减薄因子部分(局部减薄)采用极限分析理论(凹坑理论)。

3)无设计寿命情况下,按剩余寿命进行计算。

4)增加部分在线检测方法的检验有效性^[7]。

5)根据中国国情,对可接受准则(风险目标)、检验计划确定等内容进行了必要调整^[8]。

API 规范也在不断前行中。新的 API 581 中失效后果由查表法得出,取代了之前所采用的 DNV PHAST 计算方法,新的失效后果模型采用了 NIST 开发的物流模型(SUPERTRAPP 软件)以及 E2G * 专利的后果模型,失效可能性评估方法也有所调整。

6.4 RBI 数据库需要不断更新

对于天然气净化装置,需要不断完善、修正及增删其腐蚀数据、物料数据以及材料数据。

6.5 设备检验方法应不断改进

应加强对重点设备、参数的在线监测,掌握装置即时运行情况,切实消除安全隐患。

参 考 文 献

- [1] 倪伟,陈胜永.依靠科技,加快发展,努力实现天然气净化新跨越[R].重庆:天然气净化技术座谈会,2005.
- [2] 陈登丰.在役承压设备基于风险的检验和工程适用性评估技术的发展[J].中国特种设备安全,2006,22(11).
- [3] 合肥通用机械研究所压力容器检验站.中国石油西南油气田分公司重庆天然气净化总厂长寿分厂天然气净化装置风险评估(RBI)报告[R].[出版地不详]:[出版者不详],2008.
- [4] DNV.中国石油西南油气田分公司重庆天然气净化总厂垫江分厂 RBI 风险评估报告[R].[出版地不详]:[出版者不详],2008.
- [5] 傅敬强,宋文中.天然气净化厂紧急停产安全保障措施探讨[J].石油与天然气化工,2007,36(2):173-176.
- [6] 沈士明.工程风险分析技术在我国石化工业中的实践与思考[C].杭州:第三届石化装置工程风险分析技术应用研讨会,2007.
- [7] 温帆.TLG-837 尾气分析仪在天然气净化装置中的应用[J].石油与天然气化工,2008(增刊):131-133.
- [8] 寿比南.关于完善我国压力容器压力管道定期检验规范体系的思考[C].南昌:第四届石化装置工程风险分析技术应用研讨会,2008.

(收稿日期 2008-12-10 编辑 何 明)