

石化装置 风险检验 指南

贾国栋 王 辉 主编



中國石化出版社
[HTTP://WWW.SINOPEC-PRESS.COM](http://www.sinopec-press.com)

石化装置风险检验指南

贾国栋 王 辉 主编

中国石化出版社

内 容 提 要

本书旨在对石化装置实施基于风险的检验提供一些技术指导和帮助,共涉及12套重点石化装置。主要介绍了装置的基本原理、工艺流程、装置内关键设备的选材、工艺参数及工艺作用,装置内主要损伤机理的分布及各种损伤机理的损伤形态和控制措施,装置内关键设备的主要损伤机理和部位,装置内设备和管道推荐的风险检验方法和检验周期等内容。

本书以在产装置作为典型实例,思路清晰,内容务实,可为从事石化设备管理及技术人员、特种设备检验检测人员提供一定的指导作用。

图书在版编目(CIP)数据

石化装置风险检验指南 / 贾国栋,王辉主编.
—北京:中国石化出版社,2014.5
ISBN 978-7-5114-2750-2

I. ①石… II. ①贾… ②王… III. ①石油化工-
化工设备-风险管理-指南 IV. ①TE96-62

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2013)第 058908 号

未经本社书面授权,本书任何部分不得被复制、抄袭,或者以任何形式或任何方式传播。版权所有,侵权必究。

中国石化出版社出版发行

地址:北京市东城区安定门外大街 58 号

邮编:100011 电话:(010)84271850

读者服务部电话:(010)84289974

<http://www.sinopec-press.com>

E-mail:press@sinopec.com

北京科信印刷有限公司印刷

全国各地新华书店经销

*

787×1092 毫米 16 开本 12.75 印张 307 千字

2014 年 6 月第 1 版 2014 年 6 月第 1 次印刷

定价:39.00 元

《石化装置风险检验指南》

编委会

主编：贾国栋 王 辉

编委(按姓氏笔划排序)：

王建军 史 进 艾志斌 吕运容 何承厚

杜晨阳 宋晓江 李 军 李志峰 杨瑞平

汪剑波 陈学东 陈彦泽 陈照和 周 敏

金 强 姜海一 赵保成 高 亮 谢国山

穆澎洵

前言

基于风险的检验(Risk Based Inspection, 简称 RBI)技术是通过对大型成套石化装置的损伤及失效模式、失效后果、管理水平、运行状况等的综合分析,评估设备的风险水平,并以可接受的风险水平为基础,制定科学合理的检验策略,包括针对失效模式的重点检验项目、内容、部位、要求和经济合理的检验周期等。

自2006年5月国家质量监督检验检疫总局(简称,国家质检总局)同意进行RBI试点以来,进行了深入扎实的工作,积累了大量基于风险检验的基础数据。随着RBI试点工作的不断推进,我国压力容器、压力管道定期检验的法规标准体系也在进行不断完善,TSG R0004—2012《固定式压力容器安全技术监察规程》、TSG R7001—2013《压力容器定期检验规则》都正式把RBI技术作为法定检验的一种方法。

本书旨在对石化装置实施基于风险的检验提供一些技术指导和帮助,共涉及12套重点石化装置,其中炼油装置5套(常减压蒸馏装置、催化裂化装置、催化重整装置、加氢裂化装置、延迟焦化装置),石油化工装置5套(乙烯装置、合成氨装置、尿素装置、聚丙烯装置、芳烃装置),煤化工装置2套(水煤浆气化装置、煤净化装置)。针对这些石化装置,主要介绍了其基本原理、工艺流程,装置内关键设备的工艺参数、工艺作用及选材,装置内主要损伤机理的分布及各种损伤机理的损伤形态和控制措施,装置内关键设备的主要损伤机理和部位,装置内设备和管道推荐的风险检验方法和检验周期等内容。

由于编者水平所限,书中难免有疏漏之处,恳请读者批评指正。

目 录

绪论	(1)
1 基于风险检验技术简介	(1)
2 RBI 实施程序	(3)
3 RBI 检验策略	(17)
第1章 常减压蒸馏装置风险检验指南	(20)
1 常减压蒸馏装置工艺简介	(20)
2 常减压蒸馏装置关键设备工艺参数、工艺作用及选材	(22)
3 常减压蒸馏装置主要损伤机理及分布	(23)
4 常减压蒸馏装置关键设备主要失效机理及部位	(27)
5 常减压蒸馏装置设备和管道推荐的检验策略	(29)
附录 常减压蒸馏装置失效树	(30)
第2章 催化裂化装置风险检验指南	(31)
1 催化裂化装置工艺简介	(31)
2 催化裂化装置典型设备工艺参数、工艺作用及选材	(34)
3 催化裂化装置主要损伤机理及分布	(36)
4 催化裂化装置关键设备主要失效机理及部位	(48)
5 催化裂化装置设备和管道推荐的检验策略	(49)
附录 催化裂化装置失效树	(51)
第3章 催化重整装置风险检验指南	(52)
1 催化重整装置工艺简介	(52)
2 催化重整装置关键静设备工艺参数、工艺作用及选材	(54)
3 催化重整装置主要损伤机理及分布	(55)
4 催化重整装置关键设备主要失效机理及部位	(59)
5 催化重整装置设备和管道推荐的检验策略	(60)
附录 催化重整装置失效树	(62)
第4章 加氢裂化装置风险检验指南	(63)
1 加氢裂化装置工艺简介	(63)
2 加氢裂化装置关键设备工艺参数、工艺作用及选材	(64)
3 加氢裂化装置主要损伤机理及分布	(67)
4 加氢裂化装置关键设备主要失效机理及部位	(77)

5 加氢裂化装置设备和管道推荐的检验策略	(78)
附录 加氢裂化装置失效树	(80)
第5章 延迟焦化装置风险检验指南	(81)
1 概述	(81)
2 延迟焦化装置工艺流程简介	(81)
3 延迟焦化装置关键静设备简介	(82)
4 延迟焦化装置主要损失机理及分布	(83)
5 延迟焦化装置设备和管道推荐的检验策略	(88)
附录 延迟焦化装置失效树	(90)
第6章 乙烯装置风险检验指南	(91)
1 乙烯装置工艺简介	(91)
2 乙烯装置关键静设备工艺参数、工艺作用及选材	(98)
3 乙烯装置主要损伤机理及分布	(103)
4 乙烯装置关键设备主要失效机理及部位	(113)
5 乙烯装置设备和管道推荐的检验策略	(116)
附录1 乙烯装置失效树	(118)
附录2 乙烯装置失效树—裂解炉管	(119)
第7章 合成氨装置风险检验指南	(120)
1 合成氨装置工艺概述及合成氨装置典型设备	(120)
2 合成氨装置典型失效机理	(123)
3 合成氨装置基于风险的检验策略	(129)
附录 合成氨装置失效树	(130)
第8章 尿素装置风险检验指南	(131)
1 尿素装置工艺概述	(131)
2 尿素装置典型设备工艺参数、工艺作用和选材	(137)
3 尿素装置典型失效机理及分布	(139)
4 尿素装置基于风险的检验策略	(140)
附录 尿素装置失效树	(141)
第9章 聚丙烯装置风险检验指南	(142)
1 概述	(142)
2 聚丙烯装置工艺流程简介	(142)
3 聚丙烯装置关键静设备简介	(145)
4 聚丙烯装置主要损伤机理及分布	(145)
5 聚丙烯装置设备和管道推荐的检验策略	(147)
附录 聚丙烯装置失效树	(148)
第10章 芳烃装置风险检验指南	(149)
1 芳烃装置工艺简介	(149)

2	芳烃装置关键设备工艺参数、工艺作用及选材	(156)
3	芳烃装置主要损伤机理及分布	(158)
4	芳烃装置关键设备主要失效机理及部位	(167)
5	芳烃装置设备和管道推荐的检验策略	(170)
	附录 芳烃装置失效树	(172)
第 11 章	水煤浆气化装置风险检验指南	(173)
1	概述	(173)
2	水煤浆气化装置工艺流程简介	(173)
3	水煤浆气化装置关键静设备简介	(174)
4	水煤浆气化装置主要损伤机理及分布	(175)
5	水煤浆气化装置设备和管道推荐的检验策略	(181)
第 12 章	煤净化装置风险检验指南	(183)
1	概述	(183)
2	煤净化装置工艺流程简介	(183)
3	煤净化装置关键静设备简介	(187)
4	煤净化装置主要损伤机理及分布	(189)
5	煤净化装置设备和管道推荐的检验策略	(194)

绪 论

基于风险的检验(RBI)技术是通过对大型成套石化装置的损伤及失效模式、失效后果、管理水平、运行状况等的综合分析,评估设备的风险水平,并以可接受的风险水平为基础,制定科学合理的检验策略,包括针对失效模式的重点检验项目、内容、部位和要求,经济合理的检验周期等。

RBI 技术是一项既包含大量工艺及设备基础数据的收集及录入工作,又涉及专有方法及软件使用的技术,仅依靠某一层次人员很难做好,大量数据采集工作和评估结果更依赖于基层设备管理人员。推进 RBI 技术在设备管理中的应用可以提高石化装置的管理水平,便于石化系统各级人员系统地了解 RBI 技术的基本原理、数据采集、软件应用、风险分析,掌握检验策略制定和评估结果在设备管理中的运用,从而使 RBI 技术成为设备管理人员日常管理的一种工具,真正做到使用 RBI 方法指导日常维护及装置检验,避免维护维修的盲目性,以达到安全经济维修的目的。

1 基于风险检验技术简介

风险具有两维性,它是发生的概率和后果(通常是不利后果)的结合。风险用数学公式表示为:

$$\text{风险}(R) = \text{概率}(P) \times \text{后果}(C) \quad (0-1)$$

风险分为绝对风险和相对风险。绝对风险是对风险完整、准确的描述和量化。对于工业生产过程而言,相对风险是设备工艺单元、系统、设备元件相对其他设备、工艺单元、系统、设备元件的风险。计算绝对风险非常费时耗力,而且由于存在不准确性,这种计算通常无法完成。RBI 定位于系统地评估装置、单元、系统、设备或部件的相对风险,并进行风险排序,根据风险的分布情况制定风险管理策略。即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。

基于风险的检验(RBI)技术是在追求系统安全性与经济性统一理论基础上建立的一种优化检验策略的方法,是近年来发展起来的一项设备管理新技术,在石油化工有限公司得以广泛应用,并形成了标准 API RP580。RBI 主要关注两方面的内容:一是材料退化失效引起的承压设备内容物泄漏的风险;二是通过检测实施风险控制。RBI 技术的基本思路是采用系统论的原理和方法,对系统中固有的或潜在的危险进行分析,并对其危害程度进行排序,找出薄弱环节,进而优化检验策略,降低停机、日常检维修的费用。

RBI 可以对在役的工厂、装置、单元、单体设备分别进行评估,也可对新建装置和设备评估其设计缺陷。因此,RBI 不仅仅对设备进行评估,还可以帮助制定维修计划、评估设备更新、审查设计等用途,是我们在日常设备管理工作中的一个工具。RBI 技术在石油化工领域适用范围很广,该技术可以应用于炼油厂、气体处理工厂、LNG 装置、LPG 装置、石油化工厂、海上生产平台、长输管线等。RBI 覆盖主要的设备有:反应器、压力容器、管线、

加热炉、热交换器、储罐、炉管及安全阀等各类承压设备。

RBI 技术从 20 世纪 80 年代末诞生至今已有 30 余年的历史,已在石油化工、核电等行业进行了应用。目前,该技术除在欧美等国家进行应用外,在亚洲的中国、韩国、马来西亚、印尼、印度等国家也进行了研究与应用。影响 RBI 技术发展的一个主要的障碍是政府对 RBI 结果是否认可,因为政府一般对承压设备要进行固定周期的检验。但这种状况也发生着变化,1999 年 API 修订了承压设备的检测标准,对采用 RBI 技术的工厂可适当延长承压设备的检验周期。

传统的检验规程主要从保障压力容器、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存在差异,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,一、二级一般为 6 年,三级一般为 3~6 年,具体定几年主要根据经验。而传统的大检修计划也通常是停产后设备 100% 进行检修,重点不突出。与传统的检验方法和大检修计划相比,RBI 技术全面考虑了评价对象的经济性、安全性以及潜在的失效风险,根据不同设备的失效机理确定相应的检验计划。大量的统计数据表明:设备的失效风险不是平均分配的,其中约 10%~20% 的设备承担了大约 80%~90% 的风险。RBI 风险分析对设备进行风险排序,确定高风险设备,并可根据风险驱动因素提出有针对性的检验计划。

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时间;另一方面 RBI 提供了合理分配检验和维修资源的基础,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,允许业主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,在降低成本的同时提高设备的安全性和可靠性。

传统检验和 RBI 检验的比较见图 0-1,可以看出:

- ① 进行同样程度的检验,RBI 的风险小于传统检验;
- ② 在同样的风险水平上,RBI 的检验量小于传统检验。

传统的检验及维修对于检查设备使用状况和确保装置的完整性而言是很重要的,但是一般很难准确确定出。RBI 将设备在使用期间可能发生的风险与设备在线检验相联系,应用风险分析,将流程中所有的设备(包括压力管道)按风险进行排序,在此基础上可重点针对高风险的设备,按照其损伤的特点;采用有效的检验方法进行检验,显著降低其风险。RBI 是一种制定先进检验计划的方法,通过评估 3 个主要参数(失效可能性、失效后果、失效可能性和后果组合的风险)可较为准确地确定出检验的范围和要求。

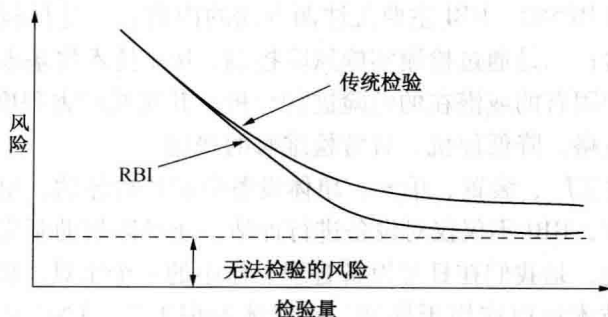


图 0-1 传统检验和 RBI 的比较

2 RBI 实施程序

RBI 的实施首先需要满足以下要求：①承担 RBI 的检验机构须经过国家质检总局核准；②经过国家质检总局同意进行 RBI 应用的压力容器使用单位，可以向核准的 RBI 检验机构提出申请，同时将该情况书面告知使用登记机构；③承担 RBI 的检验机构，应当根据设备状况、失效模式、失效后果、管理情况等评估装置和压力容器的风险水平；④检验机构应当根据风险分析结果，以压力容器的风险处于可接受水平为前提制定检验方案，包括检验时间、检验内容和检验方法；⑤对于装置运行期间风险位于可接受水平之上的压力容器，应当采用在线检验方法降低其风险。

一个完整的 RBI 分析过程由下述关键要素组成：①分析计划的制定；②数据收集；③识别损伤机理和失效模式；④失效可能性分析；⑤失效后果计算；⑥风险的识别、评价和管理；⑦通过检验进行风险管理；⑧其他减缓风险的措施；⑨再评估和 RBI 分析结果的更新。

RBI 分析工作流程如图 0-2 所示。

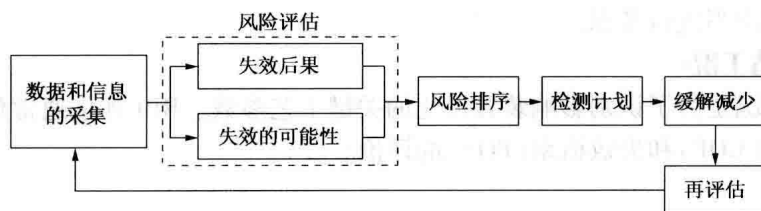


图 0-2 RBI 分析工作流程图

2.1 RBI 分析计划

2.1.1 开始

项目开始首先需要确定 RBI 评估的范围和优先权。

2.1.2 建立 RBI 评估的目的和目标

实施 RBI 评估应当有明确的目标。

2.1.3 初始范围的筛选

(1) 建立 RBI 评估的范围

筛选过程的重点需要定位在最重要的部分上，以使时间和资源得到有效的利用。RBI 评价的范围可以是整个炼油厂也可以是单个装置的一个元件。

(2) 工厂筛选

在工厂层面上，RBI 可以适用于下面的各类装置：油气生产工厂、油气处理和输送终端、炼油厂、石油化工厂和化工厂、管道和泵站、天然气装置。

(3) 工艺单元的筛选

根据拟进行 RBI 评估的工艺单元中各设备工艺介质的化学性质、操作压力、操作温度、材质和设备运行历史等条件将工艺单元划分为若干回路。

可以按照下面的原则给出风险评估的优先权：工艺单元的相对风险、工艺单元的相对经济影响、工艺单元的相对失效后果、工艺单元的相对可靠性、转向进度表、相似单元的

经验。

(4) 工艺单元中的回路筛选

回路的选择可以按照：系统的相对风险、系统的相对失效后果、系统的相对可靠性、实施 RBI 的预期效益。

(5) 设备筛选

RBI 评价可以适用于所有的压力设备，例如：管道、压力容器、反应器、换热器、锅炉、储罐、泵、压缩机、压力释放装置、控制阀。

(6) 公用设施，应急系统和闲置系统

是否应当包括公用设施，应急系统和闲置系统，这取决于 RBI 评估的应用计划和当前工厂的检测要求。包含闲置系统和公用设施的可能原因有以下 4 个方面：

① RBI 评估是为了实现整体检测资源优化，环境和商业失效后果也包括进去；

② 公用设施有特殊的可靠性问题；

③ 工艺单元的可靠性是 RBI 分析的主要目的；

④ 当 RBI 评价包括了应急系统（如应急停车系统），这些系统在常规运行和工作循环期间的使用情况就应当进行考虑。

2.1.4 确立评估工况

确立评估工况是为了识别影响装置退化的关键工艺参数。RBI 评估通常包括正常运行条件下的失效后果（COF）和失效概率（POF）的评价。

(1) 开停车

在开工和停车期间的工艺条件对装置的危险性有重大的影响，尤其是当装置的运行条件比正常运行条件更苛刻时。

(2) 正常，非正常和周期性运行

如果装置或工艺单元有可用的工艺流体模型或物质平衡模型，则很容易得到装置的正常运行条件。应当给出下面这些数据：

① 运行温度和压力及其变化范围；

② 工艺流体的组成及其进料组成变化范围；

③ 流体的速率及其变化范围；

④ 潮气或其他污染物。

(3) 运行周期

工艺单元设备运行周期的长短是一个应考虑的重要因素，它将影响 RBI 检验计划及检验策略（检验方案）的制定。

2.1.5 选择 RBI 评估的类型

选择 RBI 评估的类型取决于多种因素，例如：

① 评估对象（工厂、工艺单元、系统、装置或元件水平）；

② 评估的目的；

③ 数据的质量和可用性；

④ 资源的可用性；

⑤ 对风险评估的认识或以前的风险评估经验；

⑥ 时间限制。

2.1.6 估计所需资源和时间

实施 RBI 评估需要的资源和时间在不同的工厂之间变化很大,这取决于 RBI 评估所包含的因素数量,这些因素有:实施策略/计划、实施的知识和培训、必须数据及信息的可用性和质量、实施所需资源的可用性和费用、每一水平 RBI 分析所包括的设备数量、选择 RBI 分析的复杂度、准确度的要求。

完成 RBI 评估的估计范围和费用可以包括:

- ① 评价的工厂、单元、设备项和元件数量;
- ② 收集被评价项目数据所需要的时间和资源;
- ③ 实施所需要的培训时间;
- ④ RBI 评估数据和信息所要求的时间和资源;
- ⑤ 估计 RBI 评估和建立检测、维护和减缓措施所用的时间和资源。

2.2 RBI 评估数据的收集

2.2.1 RBI 评估需要的数据

RBI 研究可以使用定性、半定量、定量的方法。这些方法最基本的区别是输入、计算和输出的数量及详细程度。RBI 分析需要的典型数据包括:

- ① 设备类型;
- ② 材料的构成;
- ③ 检测,维修和替换记录;
- ④ 工艺流体成分;
- ⑤ 流体总量;
- ⑥ 运行条件;
- ⑦ 安全系统;
- ⑧ 检测系统;
- ⑨ 退化机理、速率和严重性;
- ⑩ 人员密度;
- ⑪ 保护层、覆盖层和隔离数据;
- ⑫ 商业间断费用;
- ⑬ 设备替换费用;
- ⑭ 环境补救费用。

2.2.2 数据质量

数据的质量与 RBI 分析的正确性有直接的关系。尽管各种 RBI 分析的数据需求不同,但数据输入的质量是同等重要的。

2.2.3 规范和标准——国内和国外

石油、化工等行业最早应用 RBI 技术的指导文件,是由美国石油协会(API)于2000年5月颁布的 API 581,这是基于风险评估检测方法的基础性文件。在接下来的几年,API 颁布了一系列的相关标准,2002 年颁布了指导性文件 API RP 580《基于风险的检验》;2003 年颁布了 API 571《炼油设备损伤机理》等。API RBI 的技术特点是:以腐蚀失效为研究对象,更适用于石油、化工等装置的风险评估。上述标准的颁布,标志着 RBI 技术开始逐渐得到广

泛应用。

在我国,最早引进 RBI 技术是在 2002 年,应用挪威船级社(DNV)公司的 RBI 技术在大芳烃预加氢装置上进行试点工作。我国的 RBI 标准文件是由中国特种设备检测研究院、合肥通用机械研究院牵头,参考 API 580,并基于我国的实际情况制定出 GB/T 26610.1《承压设备系统基于风险的检验实施导则》,该标准共分为 5 个部分,分别是:

- 第 1 部分:基本要求和实施程序;
- 第 2 部分:基于风险的检验策略;
- 第 3 部分:风险的定性分析方法;
- 第 4 部分:失效可能性定量分析方法;
- 第 5 部分:失效后果定量分析方法。

目前,GB/T 26610.1《承压设备系统基于风险的检验实施导则 第 1 部分:基本要求和实施程序》已颁布实施,其他 4 个部分也将陆续颁布。

在数据采集阶段,决定使用何种规范和标准进行评估通常是必须的。工厂使用规范和标准的数量及类型对于 RBI 的结果有重大影响。

2.2.4 现场数据和信息来源

信息来源包括:

a) 设计和结构记录/图纸

- ① PID 图、PFD 图、MFD 图等;
- ② 管道单线图;
- ③ 工程规范;
- ④ 建造材料记录;
- ⑤ 建筑物 QA/QC 记录;
- ⑥ 使用的法规和标准;
- ⑦ 保护设施系统;
- ⑧ 泄露检测和监控系统;
- ⑨ 隔离系统;
- ⑩ 资产清单记录;
- ⑪ 紧急减压和释放系统;
- ⑫ 安全系统;
- ⑬ 防火和救火系统;
- ⑭ 工厂布局图。

b) 检测记录

- ① 时间表和频率;
- ② 检测类型和数量;
- ③ 维修和替换;
- ④ PMI 记录;
- ⑤ 检测结果。

c) 工艺数据

- ① 流体成分分析包括污染物或追踪成分;

- ② 分布式控制系统数据;
- ③ 运行程序;
- ④ 开工和停车程序;
- ⑤ 应急程序;
- ⑥ 运行日志和工艺记录;
- ⑦ PSM、PHA、RCM 和 QRA 数据或报告。
- d) 管理变更记录
- e) 非现场的数据和信息
- f) 失效数据
 - ① 一般失效频率;
 - ② 行业特定失效数据;
 - ③ 装置和设备特定失效数据;
 - ④ 可靠性和监控条件记录;
 - ⑤ 泄露数据。
- g) 位置条件
 - ① 天气/气候记录;
 - ② 地震活动记录。
- h) 设备替换费用
 - ① 计划费用报告;
 - ② 工业数据库。
- i) 危险数据
 - ① PSM 研究;
 - ② PHA 研究;
 - ③ QRA 研究;
 - ④ 其他场所的特定风险或危险研究。
- j) 事故调查

2.3 损伤机理和失效模式的识别

2.3.1 概述

在 RBI 评估中应考虑工艺条件(正常和非正常的)及可预见的工艺变化。评估中使用的数据应经过验证。

2.3.2 RBI 的失效和失效模式

RBI 主要关注的失效是由损伤引起的承载能力降低。失效模式包括从小孔泄漏到完全破裂。

2.3.3 损伤模式

(1) 损伤模式的识别与类型

RBI 的损伤模式是指导致承载能力降低的损伤类型。识别损伤模式应了解设备运行及其与化学、机械环境的相互作用。

承压设备损伤模式识别在国外已经建立了相应的标准,如美国石油协会的 API 571、

API 579、API 581 中均有压力容器损伤模式的相关内容。在 API 571 中,介绍了一般工业中四大类、44 种损伤模式,以及炼油工业中三大类、18 种损伤模式;在美国的 NB 23 中、欧盟的 PED 指令、英国的 BS 7910、美国的 NACE 对承压设备的损伤模式也都有涉及。

我国目前正在制定《承压设备损伤模式识别》这一标准,拟提出一套比较完整的、适合我国承压设备现状的损伤模式和识别方法。其内容包括承压设备主要损伤模式和失效机理的理论描述、形态、影响因素、敏感材料、可能发生失效的设备或构件、检测方法等。已经颁布的 GB/T 26610.1《承压设备系统基于风险的检验实施导则 第 1 部分:基本要求和实施程序》也参考采用了该标准草案中的损伤模式分类方法。《承压设备损伤模式识别》草案将我国承压设备的损伤模式分为五大类、73 种,其中腐蚀减薄 25 种、环境开裂 13 种、材质劣化 15 种、机械损伤 11 种、其他损伤 9 种。

(2) 腐蚀减薄

腐蚀减薄包括 25 种损伤机理:盐酸腐蚀、硫酸腐蚀、氢氟酸腐蚀、磷酸腐蚀、二氧化碳酸腐蚀、环烷酸腐蚀、苯酚腐蚀、有机酸腐蚀、高温氧化腐蚀、大气腐蚀(无绝热层)、大气腐蚀(有绝热层)、冷却水腐蚀、土壤腐蚀、微生物腐蚀、锅炉冷凝水腐蚀、碱腐蚀、石灰腐蚀、烟气露点腐蚀、氯化铵腐蚀、胺腐蚀、高温硫化物腐蚀(无氢气环境)、高温硫化物腐蚀(氢气环境)、硫氰化铵腐蚀(碱式酸性水)、酸性水腐蚀(酸式酸性水)、甲胺腐蚀等。

减薄的影响可以由以下信息给出:①厚度(初始和当前的实测厚度);②设备总的使用年限;③当前工作条件下的设计腐蚀裕量;④腐蚀速率;⑤工作温度与工作压力;⑥设计压力;⑦检验有效性和数量。

(3) 环境开裂

环境开裂包括 13 种损伤机理:氯化物应力腐蚀开裂、碳酸盐应力腐蚀开裂、硝酸盐应力腐蚀开裂、碱应力腐蚀开裂、氨应力腐蚀开裂、胺应力腐蚀开裂、湿硫化氢破坏、氢氟酸致氢应力开裂、氢氰酸致氢应力开裂、氢脆、高温水应力腐蚀开裂、连多硫酸应力腐蚀开裂、液态金属脆化等。

环境开裂敏感性需分析设备或管道的开裂敏感性或开裂的初始概率,并应考虑开裂导致泄漏的概率。应力腐蚀敏感性的等级划分因素包括:①材料类型;②机械性能和敏感性;③运行温度与压力;④关键工艺腐蚀物(如氯化物、硫化物、碱等)的浓度;⑤制造信息(如焊后热处理等)。

(4) 材质劣化

材质劣化包括 15 种损伤机理:晶粒长大、渗氮、球化、石墨化、渗碳、脱碳、金属粉化、 δ 相脆化、475℃脆化、回火脆化、辐照脆化、钛氢化、再热裂纹、脱金属腐蚀、敏化等。

材质劣化的关键因素一般包括材料种类、工艺运行条件、开停工条件(尤其是温度)等。

(5) 机械损伤

机械损伤包括 11 种损伤机理:机械疲劳、热疲劳、振动疲劳、接触疲劳、机械磨损、冲蚀、汽蚀、过载、热冲击、蠕变、应变时效等。

(6) 其他损伤

其他损伤包括 9 种损伤机理:高温氢侵蚀、腐蚀疲劳、冲蚀、蒸汽阻滞、低温脆断、过

热、耐火材料退化、铸铁石墨化腐蚀、微动腐蚀等。

RBI 考虑的失效除承载能力的降低外,还可扩展到其他失效,主要有:①压力容器内部组件(如塔盘、除雾器部件、凝聚器部件、分布器配件等)的功能或机械失效;②转动设备失效(如密封泄漏、叶轮失效等);③压力泄放装置的失效(阻塞、污垢、无法启动);④换热管束的失效(泄漏、堵塞);⑤衬里的失效(穿孔、剥离)。

2.4 失效可能性评估

2.4.1 失效可能性分析

RBI 评估中的失效可能性分析指分析损伤机理导致介质损失,并发生危害事件的可能性。失效可能性分析应研究设备已知的全部损伤机理,并主要关注易发生多种损伤机理的设备。

除机械性能退化外,失效可能性分析中还可包括下述因素:①地震及极端气候条件;②泄放装置失效引起的超压;③误操作;④材料代用不当;⑤设计缺陷;⑥蓄意破坏。

2.4.2 失效可能性分析的度量单位

失效可能性通常用频次度量。对于可能性分析,时间通常表示为一个固定间隔(例如,一年),也可以表示为一个场合;频率通常表示为每个间隔事件发生的次数(例如,每年 0.0002 次),也可以表示为每个场合发生事件的次数(例如,每循环 0.03 次失效)。对于定性分析,失效概率可以进行分类(例如,高、中和低,或 1~5)。

2.4.3 失效可能性分析的类型

(1) 分类

失效可能性分析方法分为定性和定量两种。失效可能性分析可以同时使用定性和定量分析方法。

(2) 失效可能性的定性分析

定性分析方法应对工艺单元、系统或设备、材料结构和腐蚀性介质等进行识别,并依据运行历史、未来的检测维护计划和可能的材料劣化等因素,对任一装置、单元、系统、设备部件进行失效可能性分析。

(3) 失效可能性的定量分析

失效可能性计算一般是以设计寿命(设计使用年限)为基准的。当设备无设计寿命或超设计寿命使用时,可采用剩余寿命代替设计寿命作为计算失效可能性的基准。

剩余寿命是按照在役承压设备的实际情况,依据今后服役的工艺条件,分析可能的损伤模式,以及已有缺陷与损伤的安全容限与扩展趋势,按相应的标准或工程经验确定。

对含有超标缺陷的设备,应根据由缺陷尺寸确定的缺陷状态、服役条件、剩余寿命及继续服役的年限等情况对失效可能性进行适当修正。

当定量分析所需的数据不准确或不充分时,可采用根据相应标准或工程经验进行修正后的通用失效数据(行业的、工厂的)。

2.4.4 失效可能性的确定

(1) 失效可能性分析步骤

按如下步骤分析失效可能性:①识别已知和潜在的损伤机理(考虑正常和非正常工况);②确定损伤敏感性和速率;③评价检测与维护历史和将来检测与维护程序的有效性,在评价