



中华人民共和国国家标准

GB/T 26610.1—2022

代替 GB/T 26610.1—2011

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

Guideline for implementation of risk-based inspection of pressure
equipment system—Part 1: Basic requirements and implementation procedure

2022-07-11 发布

2023-02-01 实施

国家市场监督管理总局
国家标准化管理委员会 发布

目 次

前言	I
引言	III
1 范围	1
2 规范性引用文件	1
3 术语和定义	1
4 缩略语	4
5 总则	4
6 RBI 实施计划	5
7 RBI 评估数据收集	9
8 损伤类别与失效模式识别	11
9 失效可能性评估	13
10 失效后果评估	14
11 风险的确定、评价和管理	18
12 通过检验进行风险管理	20
13 其他减缓风险的措施	22
14 再评估和 RBI 评估结果的更新	24
15 任务、职责、培训与能力	25
16 RBI 文件和记录的保存	27
参考文献	29

前 言

本文件按照 GB/T 1.1—2020《标准化工作导则 第 1 部分：标准化文件的结构和起草规则》的规定起草。

本文件是 GB/T 26610《承压设备系统基于风险的检验实施导则》的第 1 部分。GB/T 26610 已经发布了以下部分：

- 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。

本文件代替 GB/T 26610.1—2011《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》，与 GB/T 26610.1—2011 相比，除结构调整和编辑性改动外，主要技术变化如下：

- a) 更改了本文件的适用范围，增加了“过程装置界区间的压力管道及全部承压管道元件”[见 1.3 b)，2011 年版的 1.3 b)]；
- b) 增加了 GB/T 150(所有部分)、GB/T 26610.2、GB/T 26610.4、GB/T 26610.5、GB/T 30579、GB/T 35013、API RP 584 7 个规范性引用文件(见第 2 章，2011 年版的第 2 章)；
- c) 删除了与本文件无关的术语和定义，增加了“腐蚀回路”“损伤类别”“损伤模式”“完整性操作窗口”等术语(见第 3 章，2011 年版的第 3 章)；
- d) 增加了半定量 RBI 分析的数据要求(见 5.2.4)；
- e) 更改了“RBI 分析工作流程”图(见 5.4.2，2011 年版的 5.5.2)；
- f) 更改了 RBI 数据收集的来源与相关技术文件，增加了设备与管道使用登记证及台账、安全阀台账，更改了检验检测记录的组成(见 7.4，2011 年版的 7.4)；
- g) 更改了损伤类别、损伤模式术语的使用(见第 8 章，2011 年版的第 8 章)；
- h) 删除了炼油厂固定设备腐蚀机理，更改为引用 GB/T 30579(见 8.2.1.3，2011 年版的附录 A)；
- i) 增加了 RBI 评估无法识别的损伤类别(见 8.3)；
- j) 删除了高温氢腐蚀判断方法与敏感性决定因素(见 2011 年版的 8.3.4.1 和 8.3.4.3)；
- k) 增加了常见的 5 类失效模式类型：针孔型泄漏、小型至中型泄漏、大型泄漏、韧性爆裂、脆性破裂(见 8.4)；
- l) 增加了按照 GB/T 26610.4 进行失效可能性定量计算的要求(见 9.4.4)；
- m) 增加了按照 GB/T 26610.5 计算失效后果的要求(见 10.6)；
- n) 增加了按照 GB/T 26610.2 制定基于风险的检验策略的要求(见 12.3.5)；
- o) 增加了完整性操作窗口(IOWs)的定义与内容(见 13.8)；
- p) 增加了可用于降险的在线检测方法(见 13.13)；
- q) 增加了 RBI 再评估的时机说明(见 14.3.1)；
- r) 删除了对风险评估人员的资质要求(见 2011 年版的 15.3)。

请注意本文件的某些内容可能涉及专利。本文件的发布机构不承担识别专利的责任。

本文件由全国锅炉压力容器标准化技术委员会(SAC/TC 262)提出并归口。

本文件起草单位：合肥通用机械研究院有限公司、国家市场监督管理总局、中国特种设备检测研究院、中国石油化工股份有限公司、中国机械工业联合会、福建联合石油化工有限公司、大连西太平洋石油化工有限公司、中国石油天然气股份有限公司大庆石化分公司、中国石油化工股份有限公司天津分公司。

本文件主要起草人：陈学东、陈钢、贾国栋、陈炜、寿比南、何承厚、王建军、王冰、范志超、艾志斌、杨铁成、胡久韶、谢国山、王辉、史进、顾望平、陶雪荣、陈颖锋、曲豫、王一民、李春树。

本文件于 2011 年首次发布，本次为第一次修订。

引 言

GB/T 26610《承压设备系统基于风险的检验实施导则》旨在规范承压设备系统损伤模式识别、失效可能性分析、失效后果分析、检验策略制定的各项工作,为风险评估工作者科学、合理地开展基于风险的检验工作提供指导。GB/T 26610 由以下部分组成。

- 第 1 部分:基本要求与实施程序。给出承压设备系统基于风险检验的相关术语和定义,规范风险评估工作流程,提出数据采集、损伤模式识别、失效可能性与失效后果计算、风险管理、风险减缓措施、再评估等工作的一般要求。
- 第 2 部分:基于风险的检验策略。明确检验时间、检验类型、典型损伤类别下检验方法和检验有效性等要求与内容,指导风险评估人员科学地制定检验策略。
- 第 3 部分:风险的定性分析方法。指导风险评估人员开展承压设备系统定性风险分析。
- 第 4 部分:失效可能性定量分析方法。规范失效可能性定量分析程序,确定平均失效概率、管理系统评价系数、设备修正系数、超标缺陷影响系数,指导承压设备系统失效可能性的定量计算。
- 第 5 部分:失效后果定量分析方法。给出失效后果定量分析的一般原则,确定代表性流体选取、泄漏分析、面积后果计算、成本后果计算,指导承压设备系统失效后果的定量计算。

GB/T 26610.1 于 2011 年首次制定,是 GB/T 26610 的第 1 部分,是 GB/T 26610 的指导性程序文件,GB/T 26610.2、GB/T 26610.3、GB/T 26610.4 和 GB/T 26610.5 是本文件的重要支撑。

GB/T 26610.1 自 2011 年发布以来,在指导风险评估人员科学地开展承压设备系统基于风险检验工作过程中发挥了重要的作用。到 2014 年又陆续发布了 GB/T 26610.2~26610.5 四个部分,完善了 GB/T 26610.1 关于风险的定性分析方法、失效可能性定量分析方法、失效后果定量分析方法、基于风险的检验策略等内容;近 10 年来,在 GB/T 26610 的指导下,国内成功开展了千余套石化装置的风险评估应用,积累了丰富的经验与数据,在实施过程中不断的改进与完善了风险评估的实施流程、风险减缓的技术方法等。

随着 GB/T 26610.1 越来越广泛的应用,新的法规、新的需求与建议在不断产生,GB/T 26610 的各部分需要进行融合,因此,有必要对 GB/T 26610.1—2011 进行修订与完善,以适应国内外相关标准的新变化、新需求,更好地发挥本文件的指导作用,为承压设备的风险管理提供服务与技术支撑。本次的修订工作是在国内外法规标准的变化、大量的实践应用与总结的基础上完成的。

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

1 范围

1.1 本文件规定了承压设备系统实施基于风险的检验(RBI)项目的基本要求与实施程序。

1.2 本文件规定的基本要求与实施程序适用于石油化工装置承压设备系统实施的RBI项目,其他工业承压设备系统实施的RBI项目也可参照使用。

1.3 本文件适用于承压设备系统中以下设备及相关零部件实施的RBI项目:

- a) 压力容器及其全部承压零部件;
- b) 过程装置界区内及界区间的压力管道及其全部承压管道元件;
- c) 常压储罐;
- d) 动设备中承受内压的壳体;
- e) 锅炉与加热炉中的承压零部件;
- f) 安全阀等安全泄放装置。

1.4 本文件不适用于承压设备系统中以下设备及相关零部件:

- a) 仪表与控制设备;
- b) 电气设备;
- c) 建、构筑物;
- d) 泵与压缩机中除泵壳与压缩机外壳以外的机械部件。

2 规范性引用文件

下列文件中的内容通过文中的规范性引用而构成本文件必不可少的条款。其中,注日期的引用文件,仅该日期对应的版本适用于本文件;不注日期的引用文件,其最新版本(包括所有的修改单)适用于本文件。

GB/T 150(所有部分) 压力容器

GB/T 19624 在用含缺陷压力容器安全评定

GB/T 26610.2 承压设备系统基于风险的检验实施导则 第2部分:基于风险的检验策略

GB/T 26610.4 承压设备系统基于风险的检验实施导则 第4部分:失效可能性定量分析方法

GB/T 26610.5 承压设备系统基于风险的检验实施导则 第5部分:失效后果定量分析方法

GB/T 30579 承压设备损伤模式识别

GB/T 35013 承压设备合于使用评价

API RP 584 完整性操作窗口(Integrity operating windows)

3 术语和定义

下列术语和定义适用于本文件。

3.1

后果 consequence

事件的结果。

3.2

腐蚀回路 corrosion loop

在一个系统中,具有相同材料类型、相似操作条件和相同损伤模式的一组设备回路。

3.3

损伤 damage

承压设备在外部机械载荷、介质环境、热载荷等单独或共同作用下,造成材料性能下降、结构不连续或部件承载能力降低的情形。

3.4

损伤类别 damage category

导致材料性能下降、结构不连续或承载能力降低的损伤表现形式。

注:损伤类别包括腐蚀减薄、环境开裂、材质劣化、机械损伤等。

3.5

损伤模式 damage mode

随着时间的推移,引起材料发生有害微观和(或)宏观变化的过程。

注:该变化对材料性能、结构、承载能力有不利影响。损伤模式通常为递增、累积式的,在某些情况下是不可恢复的。

3.6

事件 event

在一定条件下发生的事情。

3.7

失效 failure

系统、结构、设备或部件丧失规定的功能。

注:可以是可能发生或已经发生的失效。

3.8

失效模式 failure mode

失效的方式。

注:在 RBI 技术中,所关注的失效模式是承压设备的泄漏。

3.9

危害 hazard

潜在的因失效引起的物理状态或危险物质的释放,并由此导致人员伤亡、财产损失或环境破坏。

3.10

完整性操作窗口 integrity operating windows

为了预防工艺操作超出设备所能承受的范围(包含临界值和标准值),而对与设备完整性相关的变量(参数)进行限制的操作方法。

注:即当工艺操作偏离时,为可能影响设备完整性的工艺变量确立边界与范围。

3.11

可能性 likelihood

事件发生的概率。

3.12

概率 probability

在设备使用寿命内事件可能发生的程度。

3.13

定性风险分析 qualitative risk analysis

以工程推断和经验为基础分析失效可能性与后果的方法。

3.14

定量风险分析 quantitative risk analysis

将设备设计、制造、操作条件、运行历史、部件可靠性、人的行为、事故物理进程以及潜在的环境和健康影响等相关信息整合统一的风险分析方法。

3.15

相对风险 relative risk

工艺单元、系统、设备、设备部件相对其他工艺单元、系统、设备、设备部件的风险。

3.16

风险 risk

失效可能性与失效后果的组合变量。

注：风险即是概率与失效后果严重性量化后的乘积。在有些情况下，风险是指对期望(事件)的偏离。

3.17

可接受风险 risk acceptance

在法律法规框架下，可能发生的事事故风险在单位或个人经济能力和心理承受能力的最大限度之内的损失程度。

3.18

风险分析 risk analysis

应用系统的信息进行风险识别并对风险进行赋值的过程。

3.19

风险评估 risk assessment

风险识别、风险分析与风险评价的全过程。

3.20

基于风险的检验 risk-based inspection

一种重点针对材料损伤引起的设备失效的风险评估和管理风险过程。

注：主要通过通过对设备的检测来管理风险。

3.21

风险管理 risk management

指导和控制风险的行为。

注：风险管理通常包括风险评估、风险减缓、可接受风险和风险交流。

3.22

风险减缓 risk mitigation

选择和实施调整风险措施的过程。

注：有时风险减缓指措施本身。

4 缩略语

下列缩略语适用于本文件。

DCS	集散控制系统(Distributed Control System)
FMEA	失效模式和影响分析(Failure Mode and Effects Analysis)
IOWs	完整性操作窗口(Integrity Operating Windows)
LIMS	实验室信息管理系统(Laboratory Information Management System)
PFD	工艺流程图(Process Flow Diagram)
PHA	工艺过程危害性分析(Process Hazards Analysis)
PID	工艺和仪表流程图(Process & Instrument Diagram)
POF	失效可能性(Probability of Failure)
PSM	工艺安全管理(Process Safety Management)
QA/QC	质量保证/质量控制(Quality Assurance/Quality Control)
QRA	定量风险分析(Quantitative Risk Assessment)
RBI	基于风险的检验(Risk-Based Inspection)
RCM	以可靠性为中心的维护(Reliability Centered Maintenance)

5 总则

5.1 风险

5.1.1 RBI以相对风险确定装置、单元、系统、设备或组件的等级。

5.1.2 风险可以用公式(1)计算：

$$R_{risk} = F \times C \quad \dots\dots\dots(1)$$

式中：

R_{risk} ——风险；

F ——失效可能性；

C ——失效后果，采用面积后果或经济后果进行表征。

5.2 风险分析的类型

5.2.1 RBI中的风险分析分为定性风险分析、定量风险分析、半定量风险分析三种类型。

5.2.2 定性风险分析要求输入描述性信息(通常为一定的数据范围)，并给出定性的结果。定性分析一般能够在缺乏具体定量数据条件下完成风险评估。

5.2.3 定量风险分析使用逻辑模型和物理模型导出风险数值，逻辑模型描述导致严重事故的事件组合，物理模型描述事故的进展和危险物质在环境中的扩散。

5.2.4 半定量风险分析通常需要与定量风险分析使用相同的数据，但对数据的精确度、逻辑与物理模型的精确度要求低，其结果通常是给出失效概率与失效后果的等级，而不是具体数值。

5.2.5 在RBI分析中，可以将定性风险分析、定量风险分析和半定量风险分析三种方法结合使用。

5.2.6 RBI可以与QRA共享相关的技术与数据，QRA中相关分析结果可用于RBI的后果分析。

5.3 RBI与其他风险和安全管理方法的关系

5.3.1 设备风险管理体系由RBI和其他风险和安全管理方法共同构成。

5.3.2 其他风险与安全管理方法(如PHA、PSM、RCM、IOWs等)的结果可以为RBI分析提供输入

信息。

5.3.3 RBI分析可以与IOWs共享相关的技术数据,IOWs中相关分析结果可用于RBI的失效可能性分析。

5.3.4 RBI分析的结果可用来完善工厂已经实施的各种安全风险管理。

5.4 RBI实施过程的关键要素

5.4.1 一个完整的RBI分析过程由下列关键要素组成：

- a) RBI实施计划；
- b) RBI评估数据收集；
- c) 损伤类别与失效模式识别；
- d) 失效可能性评估；
- e) 失效后果评估；
- f) 风险的确定；
- g) 检验策略的制定；
- h) 判断风险是否可接受；
- i) 其他减缓风险的措施；
- j) 检验检测的实施；
- k) RBI文件和记录的保存；
- l) 再评估和RBI评估结果的更新。

5.4.2 RBI分析工作流程如图1所示。

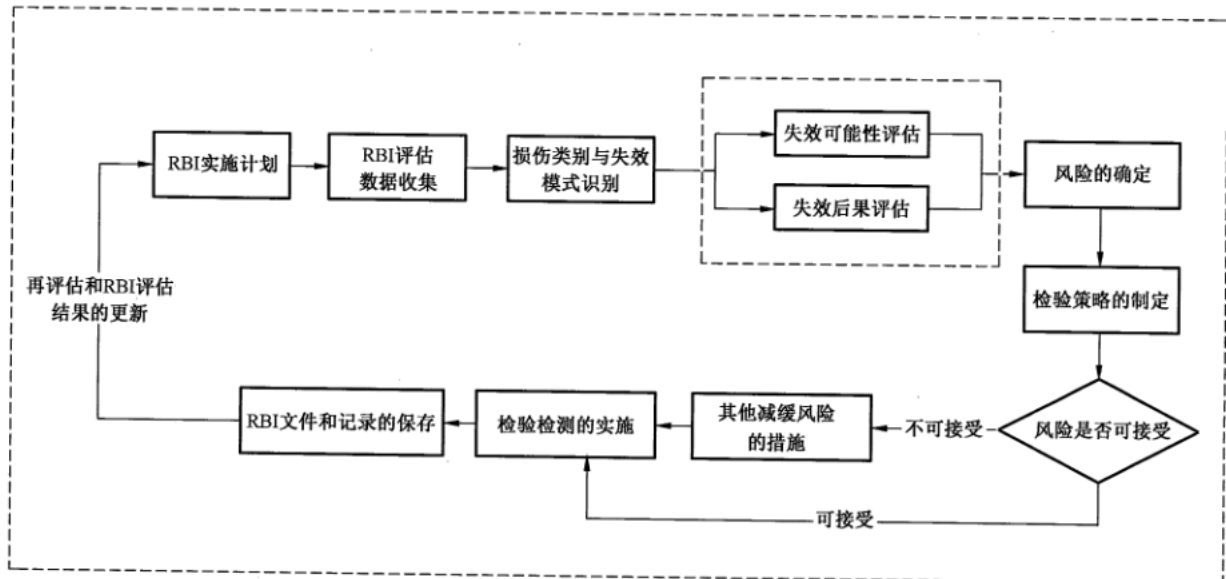


图1 RBI分析工作流程

6 RBI实施计划

6.1 实施的前期准备

6.1.1 在评估开始前需制定评估方案,方案中应明确以下内容：

- a) 评估目的；
- b) 评估流程；

- c) 评估需要的知识与技能；
- d) 评估小组的组成；
- e) 评估小组成员的分工与职责；
- f) 评估的对象(设备、资产及部件)及范围；
- g) 评估使用的数据以及采用的规范、标准；
- h) 评估的工作进度；
- i) 评估的有效期及更新时间；
- j) 评估结果的应用。

6.1.2 评估小组应由评估机构及承压设备使用单位专业技术人员组成,评估小组成员与承压设备使用单位管理者应就 RBI 评估建立的目的与目标达成共识,应包括以下内容:

- a) 设备运行风险以及所采取的检测、维护等风险减缓措施的效果；
- b) 评估机构应就风险可接受水平的确定过程提供支持,但风险可接受水平最终由承压设备使用单位确定；
- c) 通过风险优化和风险管理,在安全生产条件下延长设备运行周期,降低运行成本；
- d) 为符合安全与法规管理要求,建立并实施的有效检验程序；
- e) 选择除检验以外的其他降低风险的措施；
- f) 评估设备或装置闲置和在使用时的失效风险并考虑减缓措施；
- g) 在设计阶段对新设备或新项目进行 RBI 评估,以实现风险最小化；
- h) 建立设备设计寿命(设计使用年限)晚期的 RBI 评估策略；
- i) 建立设备完整性管理的风险基础数据库并实施持续风险管理；
- j) 评估小组认为需要建立的其他 RBI 评估的目的和目标。

6.2 初始范围的筛选

6.2.1 建立 RBI 评估的范围

RBI 评估的范围可按 6.2.2~6.2.5 进行不同层面的筛选,将最重要的装置、工艺单元、腐蚀回路或设备筛选出来优先进行评估。

6.2.2 装置筛选

装置筛选因素(定性分析)包括以下内容:

- a) 总资产或产值；
- b) 历史状况；
- c) 有效的 PSM；
- d) 运行年限；
- e) 周边人口密度；
- f) 至环境污染敏感区域的距离。

6.2.3 工艺单元筛选

工艺单元筛选因素(定性分析)包括以下内容:

- a) 相对风险水平；
- b) 对装置经济性的影响；
- c) 相对失效后果；
- d) 相对可靠性；

- e) 检修计划;
- f) 类似工艺单元的经验。

6.2.4 工艺单元中的腐蚀回路筛选

6.2.4.1 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、材质和运行历史等条件将工艺单元划分为若干腐蚀回路。

6.2.4.2 腐蚀回路筛选因素(定性分析)包括以下内容:

- a) 相对风险水平;
- b) 相对失效后果;
- c) 相对可靠性;
- d) 实施 RBI 的预期效益;
- e) 风险对工艺条件变化的敏感性。

6.2.5 设备筛选

6.2.5.1 筛选出较高风险的设备项,以对其进行更详细的风险评估。

6.2.5.2 设备筛选因素(定性分析)包括以下内容:

- a) 损伤模式对设备安全完整性的危害程度;
- b) 同类设备发生失效的案例和频次;
- c) 失效后果的严重程度;
- d) 材质适应性;
- e) 强度方面的安全裕度;
- f) 合于使用评价的需求;
- g) 基于风险的设计或改造需求。

6.3 公用设施、应急系统和界区外系统

6.3.1 应依据 RBI 的评估计划及工厂的检验要求决定是否将公用设施、应急系统和界区外系统纳入 RBI 评估范围中。

6.3.2 按以下原则考虑是否包括界区外系统和公用设施:

- a) 为了实现全厂检验资源的优化;
- b) 公用设施的可靠性;
- c) 对工艺单元可靠性的影响程度。

6.3.3 如果 RBI 评估包括了应急系统,宜同时考虑这些系统在正常与非正常运行时的使用情况。

6.4 确立评估工况

6.4.1 确立评估工况的通用要求

6.4.1.1 确立的评估工况应与 RBI 目标、基础数据的质量及其他资源条件相适应。

6.4.1.2 RBI 评估中使用的运行工况指运行中的极端工况,在运行中应对关键工艺参数进行监控以确保其在评估工况内运行。

6.4.2 开停车

6.4.2.1 开停车过程中采取有效的风险减缓措施可以降低装置的失效可能性(POF)。

6.4.2.2 宜考虑开工用管道在装置启动和随后运行期间的工作条件对评估的影响。

6.4.2.3 宜考虑开停车过程中的工艺单元清洗、受潮或暴露于大气等情况会提高装置设备或管道的 POF。

6.4.3 正常、非正常与周期性运行

6.4.3.1 RBI 评估时应确定装置正常工况下的工艺数据,主要包括以下内容:

- a) 压力(分压)、温度(露点、干点)及其波动、升降速率范围;
- b) 操作介质的化学成分、相态组成及波动范围;
- c) 物料的流速及其波动范围;
- d) 是否存在潮湿环境及其他污染物;
- e) 是否存在临时的工艺变更(如改变注水、注剂、催化剂等)。

6.4.3.2 如果工况偏离正常运行条件,宜考虑其对评估结果的影响。

6.4.3.3 对于周期性交变工况,宜考虑各种工况对评估结果的影响。

6.4.4 运行周期与评估周期

6.4.4.1 工艺单元设备运行周期是影响 RBI 检验策略进而影响检验方案制定的重要因素。

6.4.4.2 RBI 评估周期可以包括工艺单元或设备的整个运行寿命周期,也可只针对某个特定的时间段;可以只评估到本运行周期结束,也可评估到下一个运行周期。

6.5 RBI 评估类型的选择

6.5.1 评估类型的选择应与评估目的相适应。

6.5.2 评估类型选择的主要参考因素包括以下内容:

- a) 评估对象(装置、工艺单元、腐蚀回路、设备或部件)及数量;
- b) 评估目的和需求;
- c) 数据质量及可用性;
- d) 设备和工艺的复杂性;
- e) 对风险评估的认识或风险评估经验;
- f) 评估的工期要求;
- g) 其他资源条件。

6.6 评估所需资源条件、工期与费用

6.6.1 RBI 评估所需的资源条件的决定因素包括以下内容:

- a) 实施的策略和计划;
- b) 实施人员的知识和技能;
- c) 基础数据和信息的可利用性及质量;
- d) 需要的资源的可利用性和费用;
- e) 需评估的设备数量;
- f) 评估的定量化程度;
- g) 对评估准确度的要求。

6.6.2 RBI 评估的工期及费用决定因素包括以下内容:

- a) 评估的工厂、工艺单元、系统、设备及部件的数量;
- b) 收集被评估项目的数据所需的时间及费用;
- c) 培训需要的时间及费用;
- d) RBI 评估和建立检验、维护及减缓措施所需的时间和资源;

- e) 通过 RBI 评估可延长装置的运行时间及产生的效益；
- f) RBI 评估类型。

7 RBI 评估数据收集

7.1 RBI 评估需要的数据

7.1.1 RBI 评估中定性风险分析、半定量风险分析或定量风险分析方法的最基本区别是输入、计算、输出的数据类型和详细程度不同。

7.1.2 RBI 评估应采用一致的原则对所有基础数据进行采集和记录。

7.1.3 定量 RBI 评估至少需要下列典型数据：

- a) 设备类型；
- b) 材料、规格、制造工艺；
- c) 检测、维修及更换记录；
- d) 操作介质总量及成分；
- e) 运行条件；
- f) 安全与监测系统；
- g) 损伤模式、损伤速率(敏感性)和严重程度；
- h) 人员密度；
- i) 涂层、复合层和绝热层的设置情况；
- j) 停产损失；
- k) 设备修复和更新的费用；
- l) 环境清理费用；
- m) 工厂或装置停工大修与检验检测计划。

7.1.4 定性 RBI 评估通常不需要 7.1.3 所列的全部数据。定性风险分析只是将风险进行一个粗略分类,重要的是建立一个统一的规则,确保风险分类的一致性。半定量 RBI 评估通常需要与定量分析同样的数据,但不必详细与具体。与定量风险分析方法相比,定性风险分析需要分析人员具有更全面的知识和丰富的经验。

7.2 数据质量

7.2.1 不同的 RBI 评估方法对输入数据的质量要求一致。

7.2.2 重要数据资料的缺失可能会严重影响 RBI 评估结果。数据提供单位应保证数据真实性,尽量确保数据完整性,评估中使用的数据应经过验证。

7.2.3 影响数据有效性的主要因素包括：

- a) 图纸、文件等资料与实际不符；
- b) 检测错误；
- c) 笔误或输入错误；
- d) 测量设备和工具的准确性不足；
- e) 只能采用经验数据时发生的偏差；
- f) 收集程序、方式、范围等因素的影响。

7.3 国内外的规范、标准

在数据采集阶段,应确认设备设计时采用的规范、标准是否仍然是有效版本,并考虑版本变化对 RBI 评估结果的影响。

7.4 数据、信息的来源

7.4.1 设计、工程记录与竣工资料包括以下内容：

- a) PID、PFD；
- b) 管道单线图；
- c) 设备竣工资料、出厂说明书；
- d) 操作规程；
- e) 设备、管道使用登记证及台账、安全阀台账；
- f) 材料记录；
- g) 工程质量评价或质量控制记录；
- h) 采用的法规、标准；
- i) 保护设施；
- j) 泄漏检测与监控系统；
- k) 隔离系统；
- l) 阴极保护系统；
- m) 紧急泄压与泄放系统；
- n) 安全系统；
- o) 消防系统；
- p) 工厂布置图。

7.4.2 检验检测记录包括以下内容：

- a) 监督检验报告；
- b) 定期检验报告；
- c) 年度检查报告
- d) 在线检测数据；
- e) 定点测厚数据；
- f) 评估过程中所需的实测数据；
- g) 维修与更新记录。

7.4.3 工艺数据包括以下内容：

- a) 流体成分分析(包括腐蚀成分)；
- b) DCS、LIMS 数据；
- c) 评估过程中所需的采样分析数据；
- d) 物料平衡表；
- e) 应急程序；
- f) 运行日志与工艺记录；
- g) 管理变更记录；
- h) PHA、RCM、QRA 和 FMEA 数据及报告；
- i) 场外信息和数据(如果后果对场外造成影响时)；
- j) 完整性操作窗口的信息。

7.4.4 失效数据与事故调查包括以下内容：

- a) 通用失效频率；
- b) 行业失效数据；
- c) 装置和设备失效分析报告；
- d) 可靠性数据；

- e) 运行中的泄漏及处理记录；
- f) 事故调查报告。

7.4.5 地理与气候条件包括以下内容：

- a) 气象记录；
- b) 地震活动记录。

7.4.6 设备更新费用包括以下内容：

- a) 项目费用报告；
- b) 行业数据库。

7.4.7 危害性数据包括以下内容：

- a) PSM；
- b) PHA；
- c) QRA；
- d) 其他。

7.4.8 远程运维包括以下内容：

- a) IOWs；
- b) 注剂；
- c) 状态监测。

8 损伤类别与失效模式识别

8.1 通则

8.1.1 在 RBI 评估中宜考虑工艺条件(正常和非正常的)及可预见的工艺变化。

8.1.2 当同一设备或部件存在多种工艺条件(不同的温度、压力或介质),RBI 评估时宜识别出不同工艺条件下可能存在的损伤类别和损伤模式。

8.2 损伤类别

8.2.1 损伤类别的识别

8.2.1.1 RBI 的损伤类别是指导致承载能力降低的损伤类型。

8.2.1.2 识别损伤类别应了解设备运行及其与化学、机械环境的相互作用。

8.2.1.3 在石油化工等过程装置中,主要有以下 5 种损伤类别：

- a) 腐蚀减薄(包括内部和外部)；
- b) 环境开裂；
- c) 材质劣化；
- d) 机械损伤；
- e) 其他损伤,无法归入上述 4 种损伤类别或非单一损伤的其他损伤。

石化装置固定设备在上述 5 种损伤类别下的主要损伤模式应符合 GB/T 30579 的相关规定。

8.2.2 腐蚀减薄

8.2.2.1 腐蚀减薄包括均匀腐蚀、局部腐蚀、点蚀以及其他导致内、外表面材料损失的机理。

8.2.2.2 腐蚀减薄的影响因素包含但不限于：

- a) 厚度(初始和当前的实测厚度)；
- b) 设备设计使用年限；

- c) 当前工作条件下的设计腐蚀裕量；
- d) 腐蚀速率；
- e) 操作温度与操作压力；
- f) 设计压力；
- g) 检验有效性和检验次数。

8.2.3 环境开裂

8.2.3.1 环境开裂包括碱应力腐蚀开裂、胺应力腐蚀开裂、氢氟酸致氢应力开裂、湿硫化氢破坏、碳酸盐应力腐蚀开裂、连多硫酸应力腐蚀开裂、氯化物应力腐蚀开裂等。

8.2.3.2 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,并考虑开裂导致泄漏的概率。应力腐蚀开裂敏感性的等级划分的影响因素包括以下内容:

- a) 材料类型；
- b) 机械性能和敏感性；
- c) 操作温度与操作压力；
- d) 关键工艺腐蚀物(如氯化物、硫化物、碱等)的浓度；
- e) 制造工艺(如焊后热处理等)。

8.2.4 材质劣化

8.2.4.1 材质劣化包括渗碳、球化、石墨化、金属粉化、 σ 相脆化、回火脆化等。

8.2.4.2 材质劣化的影响因素一般包括材料类型、操作温度、操作压力、开停工条件(尤其是温度)等。

8.2.5 机械损伤

机械损伤包括疲劳(机械疲劳、热疲劳和振动疲劳)、机械磨损、冲刷、汽蚀、蠕变、过载、热冲击等。

8.3 RBI 评估无法识别的损伤类别

RBI 评估关注的主要是由损伤引起的承载能力降低,RBI 无法识别由于制造过程中未能检出的残留缺陷所导致的失效,包括以下内容:

- a) 材质质量不合格；
- b) 焊接质量不合格；
- c) 热处理工艺不符合要求；
- d) 其他可能导致失效的原始缺陷。

8.4 失效模式

失效模式包括从小孔泄漏到完全破裂,一般包括以下 5 类:

- a) 针孔型泄漏；
- b) 小型至中型泄漏；
- c) 大型泄漏；
- d) 韧性爆裂；
- e) 脆性破裂。

8.5 其他失效

RBI 考虑的失效除泄漏外,还可扩展到其他失效,主要有:

- a) 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)功能或机械失效；

- b) 转动设备失效(如密封泄漏、叶轮失效等);
- c) 压力泄放装置的失效(阻塞、污垢、无法启动);
- d) 换热管束的失效(泄漏、堵塞);
- e) 衬里的失效(穿孔、剥离)。

9 失效可能性评估

9.1 失效可能性分析

9.1.1 RBI 评估中的失效可能性分析指分析损伤模式导致介质损失,并发生危害事件的可能性。

9.1.2 失效可能性分析应研究设备已知的全部损伤模式,并主要关注易发生多种损伤模式的设备。

9.1.3 除机械性能退化外,失效可能性分析中还可包括以下因素:

- a) 地震及极端气候条件;
- b) 泄放装置失效引起的超压;
- c) 误操作;
- d) 材料代用不当;
- e) 设计缺陷;
- f) 蓄意破坏。

9.2 失效可能性分析的度量单位

失效可能性通常用频次度量。

9.3 失效可能性分析方法的类型

9.3.1 分类

失效可能性分析方法分为定性和定量两种,可同时使用定性和定量分析方法。

9.3.2 失效可能性的定性分析

9.3.2.1 定性分析方法应对工艺装置、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,可对任一装置、单元、系统、设备部件进行失效可能性分析。

9.3.2.2 失效可能性的等级可以用失效可能性等级描述(如高、中、低),也可用数字描述(如 5、4、3、2、1)。

9.3.3 失效可能性的定量分析

9.3.3.1 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实际情况,依据今后服役的工艺条件,分析可能的损伤类别,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。

9.3.3.2 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行业的、工厂的通用失效数据。

9.4 失效可能性的确定

9.4.1 失效可能性分析步骤

按下列步骤分析失效可能性：

- a) 识别已知的和潜在的损伤模式(考虑正常和非正常工况)；
- b) 确定损伤敏感性和速率；
- c) 评价检测与维护历史和将来检测与维护程序的有效性,在评价失效可能性时可给定几类检验策略,可能包括将来不检测的情况,并按这些策略分别确定失效可能性；
- d) 根据设备当前状况和预测的损伤速率计算设备的失效可能性；
- e) 损伤类别应根据损伤模式确定,必要时要考虑多种损伤模式耦合作用,并将这些损伤模式产生的风险进行累计。

9.4.2 损伤敏感性与速率的确定

9.4.2.1 损伤模式分析时应对所有设备工艺条件与材料组合进行评价,确定所有已知的和潜在的损伤模式。

9.4.2.2 确定损伤模式和敏感性时,应按相同的内外部环境和材料组合进行分组,同组中设备的检测结果可为其他设备提供参考。

9.4.2.3 损伤速率用腐蚀速率或敏感性表示。对于未知或不可量化的损伤速率应用敏感性表示。

9.4.2.4 确定损伤速率的依据包括以下内容：

- a) 公开发表的数据；
- b) 实验室数据；
- c) 现场试验和在线监测结果；
- d) 相似设备或相同腐蚀回路的经验数据；
- e) 历史检验数据。

9.4.3 量化检验历史的有效性

9.4.3.1 评价检验历史(检验方法、频次、范围或位置)发现已知损伤模式的有效性。

9.4.3.2 影响检验历史有效性的主要因素包括以下内容：

- a) 检验比例不足,未有效覆盖损伤区域；
- b) 检验方法的局限性；
- c) 检验方法和工具选择不适当；
- d) 检验人员技能欠缺；
- e) 极端工况条件下损伤速率显著升高,短时间内发生失效。

9.4.4 失效可能性的定量计算方法

失效可能性的定量分析方法应按照 GB/T 26610.4 执行。

10 失效后果评估

10.1 后果分析的一般要求

10.1.1 后果分析应可重复、简化并具有可信度。

10.1.2 承载能力降低的后果通常用流体泄漏到外部环境的量和影响来估算,考虑以下几方面因素:

- a) 安全健康影响;
- b) 环境污染影响;
- c) 生产损失影响;
- d) 维修和重建费用。

10.2 后果分析的分类

10.2.1 后果的定性分析

10.2.1.1 后果的定性分析方法包括确定工艺单元、腐蚀回路或设备、操作条件和操作介质带来的危险。

10.2.1.2 失效后果可以对每一装置、工艺单元、腐蚀回路、设备部件单独进行估算。

10.2.1.3 定性分析方法评估的失效后果等级可以用字母或文字描述(如 A~E 或高、中、低)并应与面积或费用等数值相联系。

10.2.2 后果的定量分析

根据下列因素进行失效后果的计算:

- a) 介质类型;
- b) 介质主要特性(分子量、沸点、自然温度、燃烧能、密度、毒性等);
- c) 工艺操作参数,如操作温度和操作压力;
- d) 泄漏事故的泄漏总量;
- e) 失效模式及相应的泄漏孔尺寸;
- f) 泄漏介质在周围环境中的相态(液、气或混合相)。

10.3 失效后果的表征方式

10.3.1 通则

不同种类后果使用不同表征方式,后果的描述应具有可比性,以方便风险排序。10.3.2~10.3.5 给出了 RBI 评估中使用的各种后果的度量方法。

10.3.2 安全后果

10.3.2.1 安全后果可用数值或后果级别表示。

10.3.2.2 安全后果应将事故与可能造成的伤亡程度联系起来,它可表示为伤亡程度(致死、急救、严重伤害、治疗)或与伤亡程度相对应的等级。

10.3.3 损失后果

损失一般指潜在的后果。损失主要包括以下内容:

- a) 负荷降低或故障造成的产品损失;
- b) 应急设备和人员的配置;
- c) 泄漏造成的产品损失;
- d) 损坏设备的更换和修理;
- e) 场外破坏状况;
- f) 场内及场外溢出物料的清理;
- g) 生产中断损失(利润损失);
- h) 人员伤亡。

10.3.4 影响区域

10.3.4.1 影响区域指受到的影响比预定值高的区域,预定值是指区域内受到危险后果影响的任何方面设定的域值。

10.3.4.2 根据影响区域划分后果等级时,可假设受到威胁的人员、设备在工艺单元内均匀分布,或考虑人员随时间的变化和设备在不同地点的密度值以给出更精确的评估结果。影响区域后果的单位是平方米(m^2)。

10.3.5 环境破坏

环境破坏程度无统一度量单位。环境破坏程度可使用的度量单位有:

- a) 每年受影响的土地面积:平方米(m^2);
- b) 每年受影响的海岸长度:千米(km);
- c) 生物或人力资源消耗的数量。

10.4 流体泄放量

10.4.1 流体泄放量是多数后果评价中决定性要素之一。

10.4.2 流体泄放量取决于以下方面:

- a) 泄漏流体的有效体积(即设备和与之相连设备中的流体体积,理论上是快速切断阀之间流体的量);
- b) 失效模式;
- c) 泄漏率;
- d) 检测和隔离反应时间。

10.4.3 存量可能全部泄漏,若采用保护、防范措施隔离破损部位时,泄漏体积小于存量。

10.5 失效后果的分类

10.5.1 燃烧(火灾和爆炸)

10.5.1.1 泄漏物料自燃或被点燃可引起燃烧。

10.5.1.2 燃烧的影响分为热辐射和爆炸冲击波。热辐射影响范围较小,爆炸冲击波影响范围较大。

10.5.1.3 典型类型有:

- a) 蒸气云爆炸;
- b) 池火灾;
- c) 喷射火焰;
- d) 闪燃;
- e) 沸腾液体膨胀蒸气爆炸。

10.5.1.4 燃烧事故的后果由以下因素综合决定:

- a) 易燃性;
- b) 流体泄放量;
- c) 气化能力;
- d) 自燃性;
- e) 高压或高温操作的影响;
- f) 隔离措施;
- g) 人员伤亡和设备破坏。

10.5.2 中毒后果

10.5.2.1 当介质泄漏可能造成人员中毒时,应评估中毒后果。评估主要考虑立即造成危险的急性中毒风险。

10.5.2.2 有毒后果的判断宜考虑的因素有:

- a) 流体的泄漏量和毒性;
- b) 在特定工艺和环境条件下扩散的能力;
- c) 有毒气体检测和减缓系统;
- d) 影响区域内的人口数量。

10.5.3 其他危险流体的泄漏

10.5.3.1 其他危险流体是指人接触后会引引起热灼伤或化学灼伤的流体,包括蒸汽、热水、酸性或腐蚀性物质。

10.5.3.2 估算其他危险流体泄漏造成的危害时,需考虑如下主要因素:

- a) 流体泄漏的体积;
- b) 区域内的人员密度;
- c) 流体的类型和造成伤害的性质;
- d) 安全系统(如:人员防护服、喷淋等)。

10.5.3.3 分析其他危险流体泄漏造成的危害时,还需考虑的其他因素有:

- a) 泄漏物无法处置造成的环境破坏;
- b) 泄漏物对设备的损害。

10.5.4 环境后果

10.5.4.1 RBI 评估主要考虑扩散快且后果严重的环境破坏。

10.5.4.2 环境后果影响因素包括以下内容:

- a) 流体泄放量;
- b) 气化能力;
- c) 泄漏物的防护;
- d) 环境资源的影响;
- e) 法规要求。

10.5.4.3 环境后果可用费用表示。费用按公式(2)计算:

$$FC_{\text{environ}} = C_{\text{clean}} + C_{\text{fine}} + C_{\text{compensate}} + C_{\text{else}} \quad \dots\dots\dots(2)$$

式中:

FC_{environ} ——环境后果费用,单位为元;

C_{clean} ——清理费用,单位为元;

C_{fine} ——罚款,单位为元;

$C_{\text{compensate}}$ ——赔偿,单位为元;

C_{else} ——其他费用,单位为元。

其中,清理费用的影响因素包括以下内容:

- a) 泄漏物的排放形式(地表、地下、水面等);
- b) 液体的类型;

- c) 清理的方法；
- d) 泄漏量；
- e) 泄漏地点地形地貌特征。

10.5.5 停产损失

10.5.5.1 停产损失包括物料损失和生产中断造成的损失。

10.5.5.2 生产中断损失的估算方法分为简化方法和精确方法。

a) 简化方法的计算见公式(3)：

$$C_{\text{loss}} = C_{\text{benefit}} \times d \quad \dots\dots\dots(3)$$

式中：

C_{loss} ——生产中断损失,单位为元；

C_{benefit} ——以税收或利润为基础估算的工艺单元日均效益,单位为元每天；

d ——停工天数,单位为天。

b) 精确方法的计算内容：

- 1) 应对设备损坏的能力(如:备用设备、复线等)；
- 2) 对附近设备可能的损伤(撞击损伤)；
- 3) 其他工艺单元潜在的产品损失。

10.5.5.3 生产中断后果估算考虑以下因素并进行修正：

- a) 使用很少利用或闲置的设备来减少产品损失；
- b) 设备出料是用作其他设备原料或工艺介质时,利润损失应复合计算；
- c) 设备轻微损伤修理的时间可能和严重损伤修理的时间一样长；
- d) 停工时间过长可能丢掉客户和市场份额,重新生产后利润损失会延续；
- e) 设备或设备零件采购困难,重新购置时间较长造成的损失；
- f) 是否在保险范围内。

10.5.6 维护和改造的影响

维护和改造的影响主要考虑维修和更换设备所产生的费用。

10.6 失效后果的计算

失效后果的定量分析应按照 GB/T 26610.5 的要求执行。

11 风险的确定、评价和管理

11.1 风险的确定

11.1.1 总的风险是所有特定失效事件风险的总和,特定失效事件的风险按公式(4)计算：

$$R_{\text{sp}} = F_{\text{sp}} \times C_{\text{sp}} \quad \dots\dots\dots(4)$$

式中：

R_{sp} ——特定失效事件的风险；

F_{sp} ——特定失效事件发生的概率；

C_{sp} ——特定失效事件的后果。

11.1.2 风险可以用数值或风险矩阵图(图 2)表述。

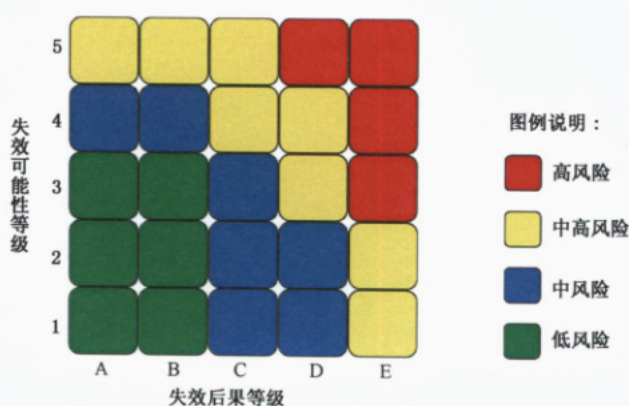


图2 风险矩阵

11.2 风险管理决策和风险可接受水平

11.2.1 风险可接受水平

11.2.1.1 风险可接受水平的制定宜考虑人员伤亡、财产损失、环境污染和对人体健康潜在危险的影响。

11.2.1.2 制定的水平应是科学、实用的,在技术上是可行的,在应用中具有较强的可操作性,并可为制定基于风险的检验策略提供依据。

11.2.1.3 无确定可接受风险水平时,可采用等风险原则。等风险原则指对风险等级为低或中的设备及管道采取的风险控制方法,要求设备和管道在下一次检验之前风险等级不应上升。

11.2.1.4 风险可接受水平可采用成本-效益分析方法。

11.2.2 按风险评估结果制定检验和维护计划

11.2.2.1 根据各种工艺设备或装置的风险,以风险值为基础排定检验顺序,确定检验的设备、检验技术和检验范围。

11.2.2.2 根据风险随时间的变化确定检验时机。

11.3 敏感性分析

11.3.1 敏感性分析包括检测风险分析中的部分或全部输入变量,以确定其对相应风险后果值的影响,并确定哪些是关键输入变量。

11.3.2 敏感性分析后的资料收集,应优先关注关键输入变量。

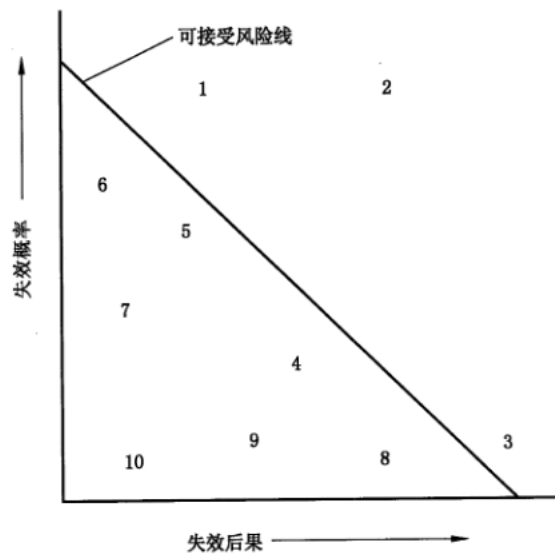
11.4 假设

11.4.1 当无法得到失效后果和(或)概率数据时,可按工程经验确定。

11.4.2 当已知失效后果和(或)概率数据时,在首次评估时也允许进行偏保守处理,并注意避免因过于保守而使风险过度放大的情况出现。

11.5 风险描述

11.5.1 当需要使用较多的定量后果和概率数据时,可以采用风险坐标图来表征风险。风险坐标图通常采用双对数坐标绘制(见图3),图中直线是可接受风险的域值。



注：例如，以设备失效后果为横坐标，以设备失效概率为纵坐标，绘制某厂 10 台设备失效概率和后果，每个数字点代表对应设备的风险。

图 3 风险坐标图

11.5.2 风险坐标图与风险矩阵可以作为风险排序的图示工具。

11.6 可接受风险域值的确定

11.6.1 域值将风险坐标图、风险矩阵、表格分为可接受和不可接受区域，如图 3 所示。

11.6.2 域值可根据有关法规、风险标准及企业的经济安全策略确定。

11.6.3 对于位于不可接受区域的设备，应按下述办法处理：

- a) 采取风险减缓措施，降低位于不可接受区域设备的风险值，使其降至可接受区域；
- b) 无法采取风险减缓措施时，应采用最低合理可行的风险管理方法或其他风险管理方法进行管理。

11.7 风险管理

11.7.1 基于设备风险等级和风险极限进行风险管理。

11.7.2 对于可接受的风险，可适当减少采取减缓措施或其他措施。

11.7.3 对不可接受的风险，应采取以下减缓措施降低风险等级：

- a) 退役，宜考虑该设备对装置运行是否是必需的；
- b) 检验或状态监控，根据各种工艺设备或装置的风险，以风险值为基础排定检验顺序，确定检验的设备、检验技术和检验范围，根据风险随时间的变化确定是否具有合适的检测时机、有效的检测方法以及由检测结果给出的维修手段；
- c) 降低失效后果；
- d) 降低失效可能性。

12 通过检验进行风险管理

12.1 通过检验降低风险管理的不确定度

12.1.1 检验本身并不能改变或降低损伤模式的发生可能性。

12.1.2 检验可以提高预测损伤模式、损伤速率的能力，并预测破坏何时达到极限，降低失效发生的不

确定度。

12.1.3 在预测的失效发生前就计划和实施减缓措施,可直接降低失效的概率。

12.1.4 检验数据与数据分析的质量对风险水平的降低有显著影响。

12.2 按 RBI 评估结果进行风险管理

12.2.1 RBI 按控制失效后果或失效可能性或综合运用二者来管理风险,如第 11 章所示。

12.2.2 可采用检验对高风险或不可接受风险的设备进行风险管理,影响检验的有效性的因素包括以下内容:

- a) 设备类型;
- b) 已知的和潜在的损伤模式;
- c) 损伤速率或敏感性;
- d) 检验方法、范围和频率;
- e) 对预计的破坏区域实施检验的难易程度;
- f) 是否可从流程中切出检验;
- g) POF 的降低量。

12.2.3 下述情况不推荐通过检验降低风险:

- a) 设备腐蚀速率很准确并接近寿命的终点;
- b) 与操作工艺相关的突然失效,如脆断;
- c) 损伤状况难以检测和量化;
- d) 从开始发生损伤到最终失效时间很短,在预定的检验时间前就发生失效;
- e) 受其他事件影响发生的失效。

12.3 制定基于风险的检验策略

12.3.1 RBI 评估和风险管理评价的结果,可以作为制定设备整体检验策略的基础。检验策略和其他减缓计划的目标是使所有设备的最后风险都在可以接受的范围内。

12.3.2 制定检验策略时,宜考虑风险等级、风险变化、设备历史、检验的数量与结果、检验的类型与有效性、设备的相似工况与剩余寿命等诸多因素。

12.3.3 检验对风险降低的程度取决于以下因素:

- a) 失效模式;
- b) 损伤起始至失效发生的时间间隔(如破坏速度);
- c) 检验能力;
- d) 检验范围;
- e) 检验频次。

12.3.4 按照风险可接受水平确定检验策略,为检验人员制定检验方案提供指导,不能保证检验后所有评估对象事故风险清零。

12.3.5 基于风险的检验策略制定应符合 GB/T 26610.2 的要求。

12.4 检验可能导致的风险

设备内部的检验可能引起风险上升,包括下列情况:

- a) 潮湿空气进入设备内部造成应力腐蚀开裂或连多硫酸应力腐蚀开裂;
- b) 玻璃衬里容器的内部检验;
- c) 保护层破坏。

12.5 RBI 项目检验费用管理

12.5.1 减少低风险区域内的检测活动,将检验资源集中于高风险区域。

12.5.2 如能实现足够的风险管理,采用外部检验,总体而言可减少停工时间,延长正常运行周期,节约检验费用。

12.6 通过评价检验结果确定处理措施

12.6.1 检验结果(如损伤模式、损伤速率、设备对破坏类型的耐受性等),可以作为评定剩余寿命和将来检验策略的依据,以及对失效概率的已用计算模型进行对比和验证。

12.6.2 对所有需要维修和更换的设备部件,应制定完整的工作计划,给出维修(或更换)的范围、建议、推荐方法、相应 QA/QC、完成日期。

12.7 用 RBI 获得最低运行成本

RBI 可以通过以下方法来降低整个运行周期的成本:

- a) 识别损伤模式并加强失效的预测和预防,实现长周期安全运行;
- b) 提高材质对装置长周期运行的适应性;
- c) 通过减少维护、优化检验策略、延长正常运行时间,降低装置停车和维护费用。

13 其他减缓风险的措施

13.1 一般方法

除检验外,可通过以下方法来减缓风险:

- a) 降低失效后果;
- b) 降低失效可能性;
- c) 增强设施和人员对后果的承受能力;
- d) 对后果中的主要危险因素进行控制。

13.2 设备更换与维修

当设备损伤导致的失效风险无法控制在可接受水平时,应对设备进行更换与维修。

13.3 合于使用评价

可按照 GB/T 19624、GB/T 35013 等规定的方法对设备进行合于使用评价,判断设备是否可以安全运行以及运行的条件和时间,决定是否需要维修或更换设备。

13.4 设备基于风险的设计与改造

按 GB/T 150(所有部分)进行基于风险的设计与改造可以降低设备失效可能性。当设备不满足原设计要求时,降低操作参数可降低设备失效可能性。

13.5 紧急隔离

紧急隔离可以降低泄漏事件的毒性、爆炸和燃烧的后果,关键因素是正确选择隔离阀的安装位置。远程操作可以显著降低风险,操作时应能及时发现泄漏并迅速启动控制阀。

13.6 紧急降压和放空

这种方法可以降低泄漏的数量与速率,降低中毒、燃烧、爆炸事故的风险。

13.7 改变工艺

改变工艺可以减少主要后果源有:

- a) 将温度降低到沸点以下,减小蒸气云规模;
- b) 使用危险性较低的物料;
- c) 采用连续工艺代替间断工艺;
- d) 稀释危险物质。

13.8 建立完整性操作窗口(IOWs)

13.8.1 通过制定完整性操作窗口,建立适当工艺操作边界,可以避免或减缓设备损伤的发生,降低失效可能性。

13.8.2 完整性操作窗口的边界值选取可以采用以下方法:

- a) 建立物理边界,如操作温度、操作压力、流速、水露点等;
- b) 建立化学边界,如硫含量、酸值、氯含量、硫化氢含量等。

13.8.3 完整性操作窗口的实施方法应按照 API RP 584 的相关规定执行。

13.9 减少存量

通过下列方法可减少存量:

- a) 减少有危险性的原料和中间产品的存量;
- b) 修改工艺,减少缓冲罐、回流罐或其他工艺设备中的介质存量;
- c) 用气相技术代替液相。

13.10 喷水或冲水

这种方法可以减少燃烧损失、阻止扩散。正确设计喷淋操作系统可以大大降低容器暴露在火中的概率。

13.11 水帘

13.11.1 喷水使大量的空气进入云雾中,水帘可吸收和稀释可溶性气体,空气可稀释不溶气体,降低风险。

13.11.2 水帘的设计十分关键,宜考虑水帘对不同可燃性物质的作用。水帘应位于泄漏点与火源之间或位于人可能出现的地点。

13.12 防爆结构

防爆结构可以降低爆炸引起的损失,防爆结构应包括保护人员的建筑物、应急设备、关键仪表、控制电路等。

13.13 在线检测

可以采用下列在线检测方法:

- a) 测厚;
- b) 导波;

- c) 电磁超声；
- d) 声发射等。

其他在线检测方法参照 GB/T 26610.2。

13.14 其他措施

下列措施也可起到减缓风险的效果：

- a) 可燃有毒气体探测器；
- b) 蒸汽或空气幕；
- c) 防火设计；
- d) 仪表联锁(联动装置、停车系统、警报等)；
- e) 惰性气体覆盖；
- f) 大楼和封闭结构的空气流通；
- g) 管道重新设计；
- h) 机械限流设施；
- i) 火源控制；
- j) 提高设计标准；
- k) 加强安全管理；
- l) 紧急撤离；
- m) 安全掩体；
- n) 构筑物通风口毒物清洗；
- o) 围堰；
- p) 设备场地的选择；
- q) 状态监控；
- r) 防渗漏系统；
- s) 智能巡检装备；
- t) 远程运维系统。

14 再评估和 RBI 评估结果的更新

14.1 一般说明

RBI 是个动态的工具,可以对目前和未来的风险进行评估。评估是基于当时的数据和认识,随着时间的推移会发生改变。RBI 评估应用最新的检验、工艺与维护信息来进行持续的更新。

14.2 执行 RBI 再评估的关键因素

14.2.1 损伤模式与检验活动

14.2.1.1 与时间有关的损伤模式,其损伤速率随时间而变化,通过新的检测结果可以即时修正损伤速率。

14.2.1.2 与时间无关的损伤模式,只会在特定条件下发生。最初的 RBI 评估无法预测这些特定条件,当损伤发生后需对 RBI 进行再评估。

14.2.1.3 新的检验活动可能提供新的信息。当新的检验活动结束后,应根据检验结果判定是否需要再进行 RBI 再评估。

14.2.2 工艺条件与设备改变

14.2.2.1 工艺条件的改变可以导致设备发生快速失效和无法预测的腐蚀与开裂,一旦操作条件的变化对损伤模式有明显影响,则需要再进行再评估。

14.2.2.2 设备的改变(维修、更换)对风险有显著影响,需要进行再评估。

14.2.3 RBI 评估前提条件的变化

RBI 评估前提条件的变化对风险评估结果有显著影响,可能的变化有:

- a) 人口密度的增加或减少;
- b) 设备和管道材料改变;
- c) 产品价格的波动;
- d) 安全与环境法律法规改变;
- e) 用户风险管理计划修改(如风险标准变化);
- f) 原设计材料选择标准的版本做了重大修改。

14.2.4 降险策略的影响

实施了降险策略(如安装安全系统、维修等)并达到预期目的后,需更新 RBI 程序,对风险进行再评估。

14.3 实施 RBI 再评估的时机

14.3.1 重大变化发生之后。应估计每一重大变化对风险改变的影响。工艺条件、损伤模式、损伤速率、损伤严重程度以及 RBI 前提条件的改变都可能需要 RBI 再评估。再评估的时机包括但不限于以下情况:

- a) 进行一次全面检验后;
- b) 装置进行重大设备或工艺改造后;
- c) 原料发生显著变化后;
- d) 其他可能影响装置风险变化的事件发生后。

14.3.2 评估周期到期之后。细小变化的长时间积累也会引起 RBI 评估的重大变化。应设定实施 RBI 再评估的最长时间间隔。

14.3.3 实施降低风险策略之后。实施降低风险策略后,应采用 RBI 再评估的结果验证采取风险减缓措施后是否已将风险降低到可接受的水平。

14.3.4 相关法规修改之后。应确定相关法规修改后对检测要求的影响。

15 任务、职责、培训与能力

15.1 RBI 小组的组成

15.1.1 RBI 评估需要通过多方面收集数据、专门分析并做出风险管理的决定,通常需要组成一个具备所需技术与经验的评估小组来有效实施 RBI 评估。

15.1.2 RBI 小组由评估机构及承压设备使用单位的专业技术人员组成。典型 RBI 评估小组的组成见 15.2,应根据实际情况决定小组成员。

15.2 小组成员、任务和职责

15.2.1 小组领导

15.2.1.1 小组领导应是全职的小组成员,并是项目执行单位的领导者或主要技术负责人。

15.2.1.2 小组领导的职责包括以下内容:

- a) 组建评估小组,核实小组成员是否具备所需的技术与知识;
- b) 做好以下工作,确保评估的正确进行:
 - 1) 制定开展 RBI 的技术方案;
 - 2) 明确设备工程师、检验技术人员、工艺专家以及材料和腐蚀专家等人员的分工与职责;
 - 3) 定期组织小组进行工作过程所需的讨论;
 - 4) 对数据收集与分析的质量进行适当的监督和检查;
- c) 准备 RBI 评估报告,并将其分发给做出风险管理决定或实施减缓风险措施的责任人;
- d) 保证实施正确的降险措施。

15.2.2 设备工程师和检验技术人员的职责

15.2.2.1 设备工程师职责包括以下内容:

- a) 收集设备基础数据、设计制造数据和历史检验数据;
- b) 当无法获得基础数据时,应会同材料和腐蚀专家共同对设备现有基本情况进行预测。

15.2.2.2 检验技术人员职责包括以下内容:

- a) 会同材料和腐蚀专家评价设备历史检验的有效性;
- b) 制定基于 RBI 评估结果的检验策略。

15.2.3 材料和腐蚀专家的职责

15.2.3.1 考虑设备的工艺条件、环境、材质和寿命等因素,评估损伤模式的类型以及对设备选材的适用性和破坏程度。

15.2.3.2 比较 RBI 预期条件与设备实际条件的差异及差异产生的原因,为 RBI 使用的损伤模式、损伤速率提供指导,并确定检验对相关损伤模式的有效性。

15.2.3.3 推荐降低失效可能性的方法(如改变材质、增加缓蚀剂、增加涂层或衬里等)及损伤速率变化的监控方法(如 pH 监控、腐蚀速率监控、介质监控等)。

15.2.4 工艺专家的职责

15.2.4.1 提供工艺条件信息,这些信息用工艺流程数据表的形式给出,记录由正常事件(如开停车)和非正常事件引起的工艺条件的变化。

15.2.4.2 给出工艺流体或气体的组分、组分变化及其毒性和可燃性。

15.2.4.3 推荐通过改变工艺条件降低风险的方法。

15.2.5 操作和维护人员的职责

15.2.5.1 核实设备是否在设定的工艺操作条件的范围内工作。

15.2.5.2 按照检验人员提供的数据进行设备的维修和更新。

15.2.5.3 推荐执行工艺、设备更新及监控的建议。

15.2.6 管理者的职责

15.2.6.1 为 RBI 提供资源保证并进行监督。

15.2.6.2 做出风险管理的决策并为组内其他人员提供风险管理的框架和机理,使他们按照 RBI 评估的结果开展工作。

15.2.6.3 实施 RBI 提出的降险措施。

15.2.7 风险评估人员的职责

15.2.7.1 风险评估人员应集中全部数据进行 RBI 分析,其具体任务是:

- a) 确定其他小组成员应提供的数据;
- b) 确定数据的准确水平;
- c) 检查核实数据和假设的正确性;
- d) 将数据输入计算机程序、运行程序;
- e) 数据输入和输出的质量控制;
- f) 人工计算风险(如果不使用计算机程序);
- g) 将结果用可理解的方式显示出来,编制 RBI 评估报告。

15.2.7.2 必要时应进行风险-利润分析。

15.2.8 环境安全人员的职责

15.2.8.1 提供环境安全系统和有关法规的数据。

15.2.8.2 推荐降低失效后果的方法。

15.2.9 财务和营销人员的职责

15.2.9.1 提供开展 RBI 所需的费用及停工造成经济损失的数据。

15.2.9.2 推荐降低失效经济后果的方法。

15.3 培训和能力

15.3.1 风险评估人员

15.3.1.1 风险评估人员应接受过 RBI 方法与实施程序的严格训练,具备 RBI 评估相关的知识和能力。

15.3.1.2 提供 RBI 风险评估服务的单位的技术负责人应接受过评估程序方面的培训,以保证所组织的 RBI 项目成员具备相应的能力和经验。

15.3.1.3 利用内部的风险评估人员实施 RBI 的企业管理者,应有相应的程序和方法保证其人员具备应有的能力。

15.3.1.4 应有风险评估人员的培训记录。

15.3.2 小组其他成员

15.3.2.1 应接受 RBI 方法和评估程序的基本培训,以使小组其他成员正确理解和有效运用 RBI。

15.3.2.2 上述培训应由 RBI 小组内风险评估人员提供,也可由其他掌握 RBI 方法和程序的人员提供。

16 RBI 文件和记录的保存

16.1 数据记录

应记录 RBI 评估的全部数据。RBI 文件中应包括以下内容:

- a) 评估的类型;
- b) 实施评估的小组成员;

- c) 评估的进度安排；
- d) 基础数据的来源；
- e) 评估过程中作出的假设；
- f) 风险评估的结果(包括可能性和后果)；
- g) 检验策略(如果运用这些策略,可以管理风险)；
- h) 减缓后的风险水平(例如,实施风险减缓后的残余风险)；
- i) 检验策略所参考的规范或标准。

16.2 RBI 方法

16.2.1 应记录实施 RBI 评估所采用的方法,以明确评估的类型。

16.2.2 应记录失效的概率和后果。

16.2.3 如果使用特定的软件执行评估,也应作记录和维护。

16.2.4 文件应完整,以方便对所作决定的基础和逻辑进行检查及复制。

16.3 RBI 执行人员

应记录 RBI 评估小组的全部成员。

16.4 时间安排

应记录 RBI 实施的时间安排。

16.5 风险评估的任务

各种输入都将用于评价失效的概率和后果,输入的信息至少包括以下几方面:

- a) 基本设备数据和检测历史,例如:操作条件、材料结构、工况、腐蚀速率、检验历史等;
- b) 明确的损伤模式、损伤类别;
- c) 判断损伤模式严重程度的标准;
- d) 预测的失效模式;
- e) 判断失效模式严重程度的主要参数;
- f) 判定各种后果类型的标准,包括安全、健康、环境和经济;
- g) 评定风险可接受水平的标准。

16.6 风险评估所作的假设

应清晰的记录 RBI 评估中所作出的各种假设,提高重新进行 RBI 评估和更新的能力。

16.7 风险评估的结果

文件中应记录失效可能性、失效后果风险的结果。

16.8 降险措施与结果

文件中应记录实施的降险措施、方法、过程、人员以及实施降险措施的结果。

16.9 法律、规范和标准

当法律、法规、规范允许时,RBI 可以作为替代普通定期检验的一种选择,按本文件的要求实施。

参 考 文 献

- [1] SY/T 6507—2017 压力容器检验规范 在役检验、定级、修理及改造
- [2] SY/T 6620—2014 油罐的检验、修理、改建及翻建
- [3] TSG 21 固定式压力容器安全技术监察规程
- [4] TSG D0001 压力管道安全技术监察规程 工业管道
- [5] TSG D7005 压力管道定期检验规则 工业管道
- [6] TSG ZF001 安全阀安全技术监察规程
- [7] API 510 Pressure Vessel Inspection Code; In-service Inspection, Rating, Repair, and Alteration
- [8] API 570 Piping Inspection Code—In-service Inspection, Rating, Repair, and Alteration of Piping Systems
- [9] API 579 Fitness-For-Service
- [10] API RP 571 Damage Mechanisms Affecting Fixed Equipment in the Refining Industry
- [11] API RP 573 Inspection of Fired Boilers and Heaters
- [12] API RP 580 Risk-based Inspection
- [13] API RP 581 Risk-based Inspection Methodology
- [14] API RP 750 Management of Process Hazards
- [15] API RP 752 Management of Hazards Associated With Location of Process Plant Buildings
- [16] API RP 939-C Guidelines for Avoiding Sulfidation(Sulfidic)Corrosion Failures in Oil Refineries
- [17] API RP 941 Steels for Hydrogen Service at Elevated Temperatures and Pressures in Petroleum Refineries and Petrochemical Plants
- [18] API STD 530 Calculation of Heater-tube Thickness in Petroleum Refineries
- [19] API STD 653 Tank Inspection, Repair, Alteration, and Reconstruction
-