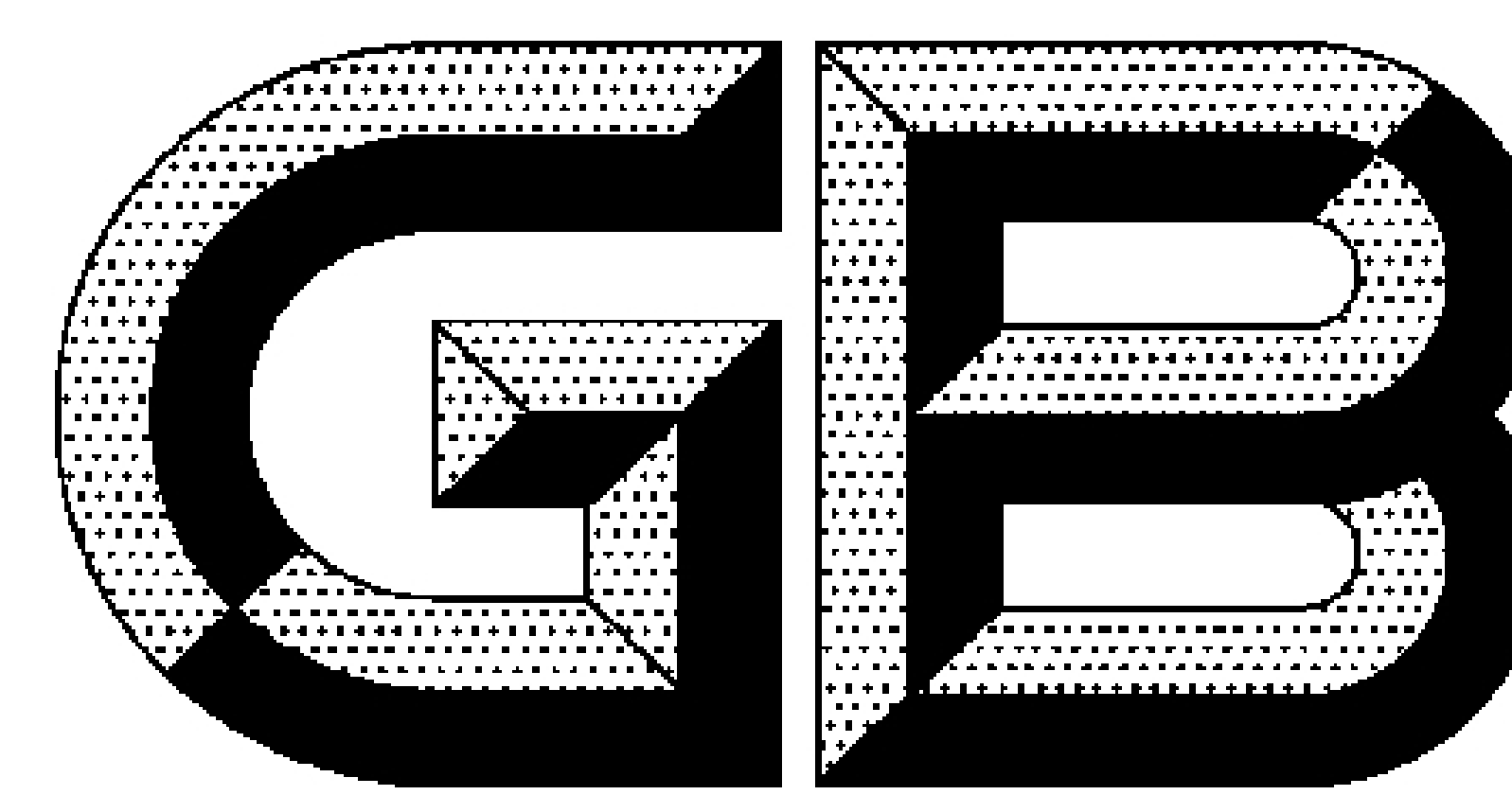




中华人民共和国国家标准

GB/T 44692.2—2024

危险化学品企业设备完整性 第2部分：技术实施指南

Equipment integrity of hazardous chemical enterprises—
Part 2: Guide on technology implementation



国家标准全文公开系统专用，此文本仅供个人学习、研究之用，
未经授权，禁止复制、发行、汇编、翻译或网络传播等，侵权必究。
全国标准信息公共服务平台：<https://std.samr.gov.cn>

2024-09-29 发布

2025-04-01 实施

国家市场监督管理总局 发布
国家标准化管理委员会

目次

前言 III

引言 IV

1 范围 1

2 规范性引用文件 1

3 术语和定义 1

4 总则 2

5 设备分级评价方法 3

 5.1 概述 3

 5.2 分级特征参数 3

 5.3 分级参数权重 4

 5.4 分级参数量化规则 4

 5.5 等级评价 5

6 设备风险定级方法 5

 6.1 概述 5

 6.2 风险要素 5

 6.3 风险要素权重 5

 6.4 风险值计算 5

 6.4.1 单因素风险值判别 5

 6.4.2 多因素风险值计算 5

 6.5 风险定级 6

7 设备缺陷分类方法 6

 7.1 概述 6

 7.2 缺陷分类原则 6

 7.3 缺陷分类评价 6

 7.3.1 缺陷导致设备故障 6

 7.3.2 缺陷导致设备运行状态劣化 7

8 可靠性评价与寿命预测技术 9

 8.1 概述 9

 8.2 标准化缺陷数据库建立 9

 8.3 可靠性评价 10

 8.3.1 可靠性评价指标 10

 8.3.2 故障分布假设 10

 8.3.3 可靠性评价方法 10

8.4 寿命评估与剩余寿命预测 10

 8.4.1 寿命评估方法 10

 8.4.2 剩余寿命预测方法 11

 8.4.3 寿命评估与剩余寿命预测结果应用 12

9 腐蚀监检测及风险评估技术..... 12

 9.1 概述 12

 9.2 腐蚀回路 12

 9.3 腐蚀监检测方案 12

 9.4 关键腐蚀参数与完整性操作窗口 13

 9.5 腐蚀风险评估 14

 9.6 腐蚀风险报警 14

10 动设备监测诊断技术 14

 10.1 概述 14

 10.2 监测诊断技术 14

 10.3 监测诊断系统 15

附录 A(资料性) 设备分级量化评价示例 16

附录 B(资料性) 设备风险定级示例 18

附录 C(资料性) 一类设备缺陷判别标准示例 20

参考文献 22

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 44692《危险化学品企业设备完整性》的第 2 部分。GB/T 44692《危险化学品企业设备完整性》已经发布了以下部分：

- 第 1 部分：管理体系要求；
- 第 2 部分：技术实施指南。

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。

本文件由全国危险化学品管理标准化技术委员会(SAC/TC 251)提出并归口。

本文件起草单位：中石化安全工程研究院有限公司、中韩(武汉)石油化工有限公司、中石化管理体系认证(青岛)有限公司、中国石油集团安全环保技术研究院有限公司、中石化国家石化项目风险评估技术中心有限公司、中国石化长城能源化工(宁夏)有限公司、中国石油化工股份有限公司沧州分公司、天津渤化化工发展有限公司、中石化销售股份有限公司浙江石油分公司、中国石油化工股份有限公司西北油田分公司、中国石油化工股份有限公司胜利油田分公司、应急管理部化学品登记中心、中国特种设备检测研究院、北京化工大学、山东京博石油化工有限公司、滨化集团股份有限公司、中海油惠州石化有限公司、上海华谊天原化工物流有限公司、安徽金禾实业股份有限公司、山东海化华龙新材料有限公司、重庆长风化学工业有限公司。

本文件主要起草人：许述剑、屈定荣、党文义、杨锋、邱宏斌、魏冬、任刚、郝怡臣、孙新文、吕伟、徐兴、张杰东、邱志刚、韩磊、胡佳、王婷、刘昕、初泰安、刘晓伟、武文斌、罗方伟、郑晶磊、陈增良、朱振军、段秉红、管孝瑞、戴澄、刘曦泽、许可、刘文才、厉建祥、王华东、马小刚、王庆锋、牛鲁娜、柴永新、宁志康、张艳玲、邱枫、张术苹、张含涛、徐宝聚、顾天杰、邢勐、朱哲、刘国帅、郑显伟、张营、郝安峰、朱加强、李河金、张文博、孙德青、唐政、叶成龙、吴策宇、詹江琴、杨乐、张国兴、莫永。

引 言

设备是企业安全生产的物质基础。危险化学品企业伴随易燃易爆、有毒有害等物料和产品,涉及使用、储存、制造、处理或运输等过程,具有设备腐蚀严重、故障频发、潜在风险难以识别等特点,特别是随着我国化工行业的发展,设备设施超设计年限服役日益增多,设备老化管理引起社会的高度关注。加强设备完整性管理,是过程安全管理的重要环节,是国际设备管理的发展趋势,是危险化学品企业提升设备管理水平、管控设备风险、消除设备隐患、预防设备事故的先进控制方法。

GB/T 44692《危险化学品企业设备完整性》旨在指导危险化学品企业建立并实施设备完整性管理体系,持续保持设备在物理上和功能上是完整的,处于安全可靠的受控状态,符合其生命周期预期的功能和用途,从而避免危险化学品泄漏、中毒、火灾、爆炸等安全事故或环境污染事件的发生,保障设备安全长周期运行,为实施危险化学品过程安全管理奠定基础。

GB/T 44692《危险化学品企业设备完整性》的实施是以管理体系为准则,以技术应用为支撑,以绩效指标为评价,以信息系统为载体,共同实现危险化学品企业设备完整性管理的建立、实施、保持和持续改进。GB/T 44692《危险化学品企业设备完整性》拟由 4 个部分组成。

- 
- 第 1 部分:管理体系要求。目的在于规定组织环境、领导作用、策划、支持、运行、绩效评价、改进等设备完整性管理体系要素的基本内容。
 - 第 2 部分:技术实施指南。目的在于提供设备分级评价、风险定级、缺陷分类、可靠性评价与寿命预测、腐蚀监检测及风险评估、动设备监测诊断等设备完整性管理关键支撑技术的指导。
 - 第 3 部分:绩效指标设置与计算方法。目的在于制定设备完整性管理关键绩效指标(KPI)的设置原则、制定程序、各专业指标设置与计算、指标分解与实施、指标统计与分析等方面的技术要求。
 - 第 4 部分:信息化技术规范。目的在于制定设备完整性管理信息系统的系统架构、技术架构、应用架构、功能设计、系统配置等方面的技术规范。

危险化学品企业设备完整性

第 2 部分：技术实施指南

1 范围

本文件提供了危险化学品企业设备分级评价、风险定级、缺陷分类、可靠性评价与寿命预测、腐蚀监测及风险评估、动设备监测诊断等方面的指导。

本文件适用于危险化学品企业设备管理工作所涉及的静设备、动设备、电气设备、仪表设备等设备设施的完整性管理。其他企业的设备管理可参照使用。

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 19873(所有部分) 机器状态监测与诊断 振动状态监测
- GB/T 26610(所有部分) 承压设备系统基于风险的检验实施导则
- GB/T 30578 常压储罐基于风险的检验及评价
- GB/T 30579 承压设备损伤模式识别
- GB/T 37079—2018 设备可靠性 可靠性评估方法
- GB/T 41344.2 机械安全 风险预警 第 2 部分：监测
- GB/T 41344.3 机械安全 风险预警 第 3 部分：分级
- GB/T 44692.1 危险化学品企业设备完整性 第 1 部分：管理体系要求

3 术语和定义

GB/T 44692.1、GB/T 37079—2018 界定的以及下列术语和定义适用于本文件。

3.1

设备分级评价 **evaluation of equipment grading**

通过对影响设备运行的特征参数数据进行测量与收集，并对所获得数据进行量化分析后，对设备等级做出的评价。

3.2

设备风险定级 **rating of equipment risk**

根据设备风险值，确定设备风险级别的过程。

3.3

设备缺陷分类 **classification of equipment defects**

以量化的方法对设备本体或其功能存在的欠缺和丧失、不符合设计预期或相关验收标准的状态进行评价，并根据量化的结果确定相应的等级，实现分级管控的过程。

3.4

设备可靠性评价与寿命预测 equipment reliability evaluation and life prediction

对设备在给定的时间内、规定的条件下,无失效地执行要求的能力进行评价,并基于评价结果预测设备丧失执行要求能力的时间的过程。

3.5

腐蚀回路 corrosion loop

基于工艺流程,装置中具有相似材料-环境、腐蚀机理的一个或多个设备及管道构成的回路或区域。

3.6

完整性操作窗口 integrity operating windows

为保证设备完整性和可靠性而建立的一组过程参数的限值。

注：当过程参数超出限值一定时间,将会影响设备和管道的完整性和可靠性,严重时可能导致设备损坏甚至安全事故。

3.7

腐蚀适应性评估 corrosion adaptability assessment

针对特定腐蚀机理,评估设备和管道腐蚀风险部位及严重程度,确定薄弱部位和控制措施的过程。

3.8

腐蚀风险评估 corrosion risk assessment

识别不确定性对腐蚀的影响,了解其性质和程度,以确定这种影响是否为可接受的过程。

4 总则

4.1 设备完整性管理是采取管理优化和技术提升相结合的方式来保证企业设备符合其预期的功能,处于安全可靠的受控状态,避免危险化学品泄漏、中毒、火灾、爆炸等生产安全事故或环境污染事件的发生,体现管理规范性和技术先进性。

4.2 设备完整性管理是管理体系与技术方法的结合,包括系统的管理方法和具体的技术方法,环环相扣、缺一不可,形成一个完善的开放系统。设备完整性管理方法和技术方法架构如图 1 所示。

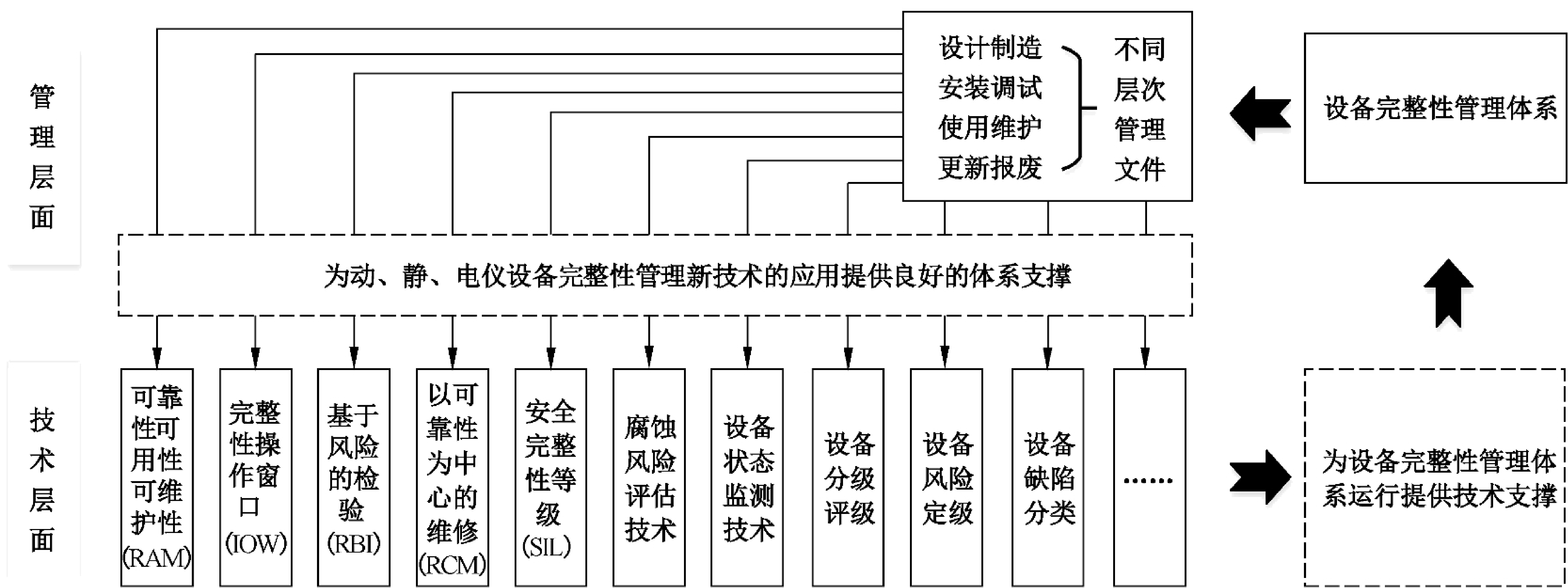


图 1 设备完整性管理方法和技术方法架构

4.3 在管理层面,建立并实施设备完整性管理体系,实现基于风险的设备全流程、全过程、全方位的综合管理。在技术层面,针对不同类型的设备及设备全生命周期不同阶段,建立并实施各种风险技术。技术实施纳入管理体系运行的总体框架下,嵌入管理业务的具体流程中,并编制技术实施指南。技术实施是为业务流程运行、管理人员决策提供技术和数据依据。

4.4 本文件中设备分级评价、风险定级、缺陷分类、可靠性评价与寿命预测、腐蚀检测及风险评估、设备监测诊断等设备完整性管理关键技术,从设备风险、缺陷、可靠性、寿命预测、防腐蚀等方面进行专业技术评价与预测,为设备完整性管理和科学决策提供技术支撑。

5 设备分级评价方法

5.1 概述

5.1.1 设备分级是设备完整性管理实施的基础,设备分级评价结果用于设备检验、检测和预防性维修、过程质量管理、缺陷管理、变更管理等业务。

5.1.2 设备分级评价方法是依据功能属性、使用特性、技术指标与管理资源等特征参数,采取德尔菲法、主成分分析法等数理统计法,构建多因素评价模型。

5.1.3 设备分级是动态、可量化的,当设备状况发生改变时,及时调整设备分级,并将设备分级结果及时传达与应用。

5.2 分级特征参数

企业根据设备类别设置同类别设备分级特征参数,如生产重要性、维修复杂性、故障危害性、设计成熟度、维修费用等。典型设备分级特征参数设置参考 5.2.1~5.2.6,其他设备的特征参数设置可参考使用。

5.2.1 泵、风机等设备可设置如下参数:

- a) 生产重要性;
- b) 备用率;
- c) 介质危害性;
- d) 设计成熟性;
- e) 维修复杂性;
- f) 维修费用;
- g) 额定功率;
- h) 匹配性系数。

5.2.2 压力容器、压力管道等特种设备可设置如下参数:

- a) 生产重要性;
- b) 自身重要性;
- c) 介质危害性;
- d) 结构形式;
- e) 使用年限;
- f) 可维修性。

5.2.3 常压储罐类设备可设置如下参数:

- a) 生产重要性;
- b) 使用年限;
- c) 介质危害性;
- d) 结构形式;
- e) 容积;
- f) 环保重要性。

5.2.4 计量仪表类设备可设置如下参数:

- a) 安全环保因素;

- b) 生产因素；
- c) 装置重要性；
- d) 自身重要性；
- e) 仪表设备故障裕度；
- f) 计量仪表的精度。

5.2.5 供配电系统可设置如下参数：

- a) 电压等级；
- b) 受电范围重要性；
- c) 装置同类性；
- d) 环境因素；
- e) 供配电系统电源的回路数。

5.2.6 电机回路可设置如下参数：

- a) 重要性；
- b) 使用率；
- c) 转速；
- d) 使用条件。

5.3 分级参数权重

5.3.1 根据生产重要性、维修复杂性、故障危害性、设计成熟度、维修费用等设置不同分级参数，并确定各分级参数权重，各分级参数权重之和为 1。

5.3.2 依据 GB/T 41344.3 中所明确的权重值确定方法（德尔菲法、主成分分析法、层次分析法、优序图法、熵权法等数理统计法）确定各分级参数权重值。选用不同的方法获得的权重值会有所差异。

5.4 分级参数量化规则

依据不同权重的分级参数，结合设备管理实际情况，制定每个分级参数的评分标准。根据参数的权重和评分标准进行参数的分值设计，确定分值范围，表格形式如表 1 所示。

表 1 设备分级参数权重及评分示例表

参数	参数 1	参数 2	参数 3	...	参数 <i>n</i>
权重	<i>X</i> ₁	<i>X</i> ₂	<i>X</i> ₃	...	<i>X</i> _{<i>n</i>}
评分标准	<i>Z</i> ₁₁	<i>Z</i> ₂₁	<i>Z</i> ₃₁	...	<i>Z</i> _{<i>n</i>1}
	<i>Z</i> ₁₂	<i>Z</i> ₂₂	<i>Z</i> ₃₂	...	<i>Z</i> _{<i>n</i>2}
	...	...	...	...	...
	<i>Z</i> _{1<i>m</i>}	<i>Z</i> _{2<i>m</i>}	<i>Z</i> _{3<i>m</i>}	...	<i>Z</i> _{<i>n</i><i>m</i>}

根据单台设备的不同评分标准，单台设备分级量化评分分值(*C*)宜按公式(1)计算：

$$C = \sum_1^n (Z_{1m} \times X_1 + Z_{2m} \times X_2 + \cdots + Z_{nm} \times X_n) \cdots \cdots \cdots (1)$$

式中：

Z_{nm}——单个参数评分值；

X_n——单个参数权重， $\sum_1^n (X_1 + X_2 + \cdots + X_n) = 1$ 。

5.5 等级评价

企业宜依据设备分级量化评分结果,结合设备管理实际情况,设置不同等级阈值 C_I 、 C_{II} ,通过单台设备分级量化评分分值 C 与阈值对比,确定单台设备等级。通常将设备分为 I、II、III 3 个等级, I 级设备为关键设备, II 级设备为主要设备, III 级设备为一般设备。若 C 大于或等于 C_I 则判定为 I 级设备,若 C 大于或等于 C_{II} ,且小于 C_I 则判定为 II 级设备,若 C 小于 C_{II} 则判定为 III 级设备。设备分级量化评价示例见附录 A。

6 设备风险定级方法

6.1 概述

6.1.1 风险定级是设备风险管理的重要依据,企业可依据风险等级制定风险响应机制与管控措施。设备风险定级一般包括风险要素确定、风险要素权重设置、风险值计算、风险定级等。

6.1.2 设备风险定级宜建立综合的风险值计算模型,通过后果严重性与发生可能性的矩阵进行综合性判定,模型至少涉及以下因素:

- a) 人员、设备、环境及其复合效应;
- b) 风险值定量评价的风险要素;
- c) 风险要素的权重性;
- d) 各风险要素结果归一化。

6.2 风险要素

风险定级过程的风险要素识别宜按照 GB/T 41344.2,并结合实际应用场合及需求,选取适合的风险要素。

6.3 风险要素权重

依据 GB/T 41344.3 中所明确的权重值确定方法(德尔菲法、主成分分析法、层次分析法、优序图法、熵权法等数理统计法)确定各分级参数权重值。选用不同的方法获得的权重值会有所差异。各风险要素权重是动态变化的,宜根据更新的历史数据优化权重值。

6.4 风险值计算

6.4.1 单因素风险值判别

企业通过后果严重性与发生可能性判别单因素风险值。可采用安全风险评价矩阵方法获得单因素风险值。

6.4.2 多因素风险值计算

考虑人员、设备、环境因素的设备风险值(R)宜按公式(2)计算:

$$R = A \sum a_i \alpha_i G_i + B \sum b_j \beta_j G_j + C \sum c_k \gamma_k G_k \dots\dots\dots (2)$$

式中:

- $A、B、C$ ——人员、设备、环境要素的对应权重, $A+B+C=1$;
- a_i ——人员的要素指标值, $\sum a_i = 1$;
- α_i ——人员的要素权重, $\sum \alpha_i = 1$;
- G_i ——人员的要素监测值,系统监测到该要素 $G_i = 1$,未监测到时 $G_i = 0$;

- b_j ——设备的要素指标值, $\sum b_i = 1$;
- β_j ——设备的要素权重, $\sum \beta_i = 1$;
- G_j ——设备的要素监测值, 系统监测到该要素 $G_j = 1$, 未监测到时 $G_j = 0$;
- c_k ——环境的要素指标值, $\sum c_i = 1$;
- γ_k ——环境的要素权重, $\sum \gamma_i = 1$;
- G_k ——环境的要素监测值, 系统监测到该要素 $G_k = 1$, 未监测到时 $G_k = 0$ 。

6.5 风险定级

通过风险值计算结果与阈值对比判别设备风险等级。通常将风险级别划分为重大风险(Ⅳ级)、较大风险(Ⅲ级)、一般风险(Ⅱ级)和低风险(Ⅰ级), 如表 2 所示。设备风险定级示例见附录 B。

表 2 设备风险级别

风险级别	特征
重大风险(Ⅳ级)	不可接受风险, 立即采取有效措施降低风险
较大风险(Ⅲ级)	不可接受风险, 在限定时间内采取有效措施降低风险
一般风险(Ⅱ级)	可接受风险, 但保持关注
低风险(Ⅰ级)	可接受风险, 说明当前应对措施有效, 可不采取额外技术、管理方面的预防措施

7 设备缺陷分类方法

7.1 概述

7.1.1 设备缺陷分类是设备缺陷管理的重要环节, 企业在设备全生命周期过程中对设备缺陷进行识别、评价、响应、传达、消除, 实现闭环管理, 避免发生设备事故。

7.1.2 企业根据设备缺陷分类原则建立设备缺陷分类评价方法, 并适时开展设备缺陷等级的量化评价。

7.2 缺陷分类原则

7.2.1 企业根据缺陷发生的情况, 从以下方面建立分类评价方法。

- a) 设备缺陷导致设备故障, 均定义为一类缺陷, 并按照设备故障影响结果进行细化评价。
- b) 设备缺陷导致设备运行状态劣化, 按照风险矩阵进行评价。企业宜建立缺陷发生可能性和后果严重性的评价矩阵, 并根据矩阵得到缺陷的量化值。

7.2.2 可依照本文件的方法进行缺陷分类评价, 获取缺陷等级量化值, 并根据量化值确定缺陷的等级。通常设备缺陷等级分为一类、二类、三类及四类。

7.3 缺陷分类评价

7.3.1 缺陷导致设备故障

导致设备故障的缺陷均定义为一类缺陷, 企业宜建立一类缺陷判别标准, 示例见附录 C。可对该类缺陷造成的影响进一步细化分级, 分为 1 级、2 级、3 级、4 级、5 级、6 级故障强度, 如表 3 所示。



表 3 一类缺陷故障强度分级示例

故障强度等级	后果严重程度	对生产主要影响描述
1 级	严重故障	全厂生产波动,2 套以上生产装置非计划停工或全厂生产降量
2 级	严重故障	单套装置非计划停工或 2 套以上装置异常波动
3 级	严重故障	系统或装置局部停工,大机组急停,单套装置有 5 台及以上 I 级设备停运
4 级	严重故障	单套装置异常波动,未引起装置异常波动的大机组停机,或单套装置有 2 台~4 台 I 级设备停运
5 级	一般故障	单台设备停运
6 级	一般故障	无影响

7.3.2 缺陷导致设备运行状态劣化

7.3.2.1 缺陷严重性等级

缺陷后果严重性等级通常从健康和安全影响、财产损失影响、社会影响三方面进行量化分级,如表 4 所示。

表 4 后果严重性等级示例

严重性等级	健康和安全影响	财产损失影响	社会影响
A ₀	对人员无伤害	单台设备停运,仅造成维修费用且未影响生产	无舆论影响
A	轻微影响的健康/安全事故: 1) 人员急救处理或医疗处理,但不需住院,不会因事故伤害损失工作日; 2) 短时间暴露超标,引起身体不适,但不会造成长期健康影响	直接经济损失在 10 万元以下	能够引起周围社区少数居民短期内不满,抱怨或投诉,如抱怨设施噪声超标
B	中等影响的健康/安全事故: 1) 因事故伤害损失工作日; 2) 3 人以下轻伤	直接经济损失在 10 万元及以上,50 万元以下,装置局部停车	1) 地方媒体的短期报道或短期网络舆情的少量传播; 2) 对当地公共设施的正常运行造成干扰,如导致某道路在 24 h 内无法正常通行
C	较大影响的健康/安全事故: 1) 3 人及以上轻伤或 3 人以下重伤,包括急性工业中毒,下同; 2) 暴露超标,带来长期健康影响或造成职业相关的严重疾病	直接经济损失在 50 万元及以上,200 万元以下,3 套以下装置停车	1) 存在合规性问题,不会造成严重的安全后果或不会导致地方政府相关监管部门采取强制性措施; 2) 地方媒体的长期报道或短期网络舆情的较多传播; 3) 在当地造成不良的社会影响,对当地公共设施的正常运行造成严重干扰

表 4 后果严重性等级示例（续）

严重性等级	健康和安全影响	财产损失影响	社会影响
D	较大的安全事故，导致人员死亡或重伤： 1) 界区内 3 人以下死亡或 3 人及以上，10 人以下重伤； 2) 界区外 3 人以下重伤	直接经济损失在 200 万元及以上，1 000 万元以下，3 套及以上装置停车，发生局部区域的火灾或爆炸	1) 引起地方政府相关监管部门采取强制性措施； 2) 引起国内主流媒体或国际媒体的短期负面报道或短期网络舆情的大量传播
E	严重的安全事故： 1) 界区内 3 人及以上，10 人以下死亡或 10 人及以上，50 人以下重伤； 2) 界区外 3 人以下死亡或 3 人及以上，10 人以下重伤	直接经济损失在 1 000 万元及以上，5 000 万元以下，发生失控的火灾或爆炸	1) 引起国内主流媒体或国际媒体长期负面关注或长期网络舆情的大量传播； 2) 造成省级范围内的不利社会影响；对省级公共设施的正常运行造成严重干扰； 3) 引起省级政府相关部门采取强制性措施； 4) 导致失去当地市场的生产、经营和销售许可证
F	非常重大的安全事故，将导致工厂界区内或界区外多人伤亡： 1) 界区内 10 人及以上，30 人以下死亡或 50 人及以上，100 人以下重伤； 2) 界区外 3 人及以上，10 人以下死亡或 10 人及以上，50 人以下重伤	直接经济损失 5 000 万元及以上，1 亿元以下	1) 引起了国家相关部门采取强制措施； 2) 在全国范围内造成严重的社会影响； 3) 引起国内国际媒体重点跟踪报道或系列报道或长期网络舆情的广泛传播
G	特别重大的灾难性安全事故，将导致工厂界区内、界区外大量人员伤亡： 1) 界区内 30 人及以上死亡或 100 人及以上重伤； 2) 界区外 10 人及以上死亡或 50 人及以上重伤	直接经济损失 1 亿元及以上	1) 引起国家领导人关注，或国务院、相关部委领导作出批示； 2) 导致吊销国际国内主要生产、销售或经营许可证； 3) 引起国际国内主要市场上公众或投资人的强烈愤慨或谴责

7.3.2.2 缺陷可能性等级

缺陷可能性等级通常从发生概率或频次进行量化分级，如表 5 所示。

表 5 可能性等级示例

可能性等级	定性描述	定量描述发生的频率 F 次/a
1	类似的事件没有在危化品行业发生过，且发生的可能性极低	$F \leq 10^{-6}$
2	类似的事件没有在危化品行业发生过	$10^{-5} \geq F > 10^{-6}$
3	类似的事件在危化品行业发生过	$10^{-4} \geq F > 10^{-5}$
4	类似的事件在国内危化品行业发生过	$10^{-3} \geq F > 10^{-4}$

表 5 可能性等级示例（续）

可能性等级	定性描述	定量描述发生的频率 F 次/a
5	类似的事件在本企业相似设备设施使用寿命内或相似作业活动中发生过	$10^{-2} \geq F > 10^{-3}$
6	在设备设施使用寿命内或相同作业活动中发生过 1 次或 2 次	$10^{-1} \geq F > 10^{-2}$
7	在设备设施使用寿命内或相同作业活动中发生过多次	$1 \geq F > 10^{-1}$
8	在设备设施使用寿命内或相同作业活动中经常发生（至少每年发生）	$F > 1$

7.3.2.3 缺陷等级量化

缺陷等级量化值通过缺陷发生的可能性等级、后果严重性等级组成的评价矩阵获得，如图 2 所示。

缺陷评价矩阵		发生的可能性等级							
		1	2	3	4	5	6	7	8
后果严重性等级	A ₀	1	1	1	1	3	5	5	7
	A	1	1	2	3	5	7	10	15
	B	2	2	3	5	7	10	15	23
	C	2	3	5	7	11	16	23	35
	D	5	8	12	17	25	37	55	81
	E	7	10	15	22	32	46	68	100
	F	10	15	20	30	43	64	94	138
	G	15	20	29	43	63	93	136	200

图 2 缺陷等级量化评价矩阵

7.3.2.4 缺陷分类准则

根据缺陷的量化值确定缺陷等级，一般缺陷等级分为以下 4 类：

- a) 一类缺陷：根据矩阵进行评价，缺陷等级量化值大于 37；
- b) 二类缺陷：根据矩阵进行评价，17 小于缺陷等级量化值小于或等于 37；
- c) 三类缺陷：根据矩阵进行评价，8 小于缺陷等级量化值小于或等于 17；
- d) 四类缺陷：根据矩阵进行评价，缺陷量化值小于或等于 8。

8 可靠性评价与寿命预测技术

8.1 概述

- 8.1.1 企业明确设备可靠性评价与寿命预测开展的时机，指导设备检验、检测和预防性维修。
- 8.1.2 企业宜建立标准化缺陷数据库，明确数据采集要求，保证可靠性评价与寿命预测数据来源的准确性。

8.2 标准化缺陷数据库建立

企业宜利用设备信息系统采集设备相关数据，建立标准化缺陷数据库，包括但不限于以下内容：

- a) 设备/部件规格型号；
- b) 缺陷部位；
- c) 设备缺陷与描述；
- d) 缺陷开始时间；
- e) 缺陷消除时间；
- f) 缺陷处置措施；
- g) 缺陷原因；
- h) 维修费用；
- i) 投用日期；
- j) 设备/部件累计运行时间。

8.3 可靠性评价

8.3.1 可靠性评价指标

8.3.1.1 可靠性评价参数根据以下内容选定：

- a) 对于要求控制故障次数的设备一般选用故障率、平均失效间隔时间、可靠度等参数进行描述；
- b) 对于具有耗损故障的设备一般选用故障率、使用寿命、平均失效前时间、可靠度等参数进行描述。

8.3.1.2 可靠性评价指标是可靠性参数要求的具体量值，根据以下因素确定：

- a) 企业需求；
- b) 行业标杆产品技术水平；
- c) 相关技术标准和法规要求。

8.3.2 故障分布假设

8.3.2.1 对于尚无充分数据验证和确定故障分布特性的设备，采用以下假设：

- a) 由较多的零部件组成，具有多种故障模式的整机设备、复杂部件以及以电子元器件为主构成的整机设备的故障间隔时间，采用指数分布假设；
- b) 由少数零部件组成，以某种或少数几种故障模式为主的机械零部件可采用威布尔分布假设。

8.3.2.2 若有充分数据，可进行验证后再确定。

8.3.3 可靠性评价方法

8.3.3.1 可靠性评价方法主要是定性分析与定量评价相结合，通常采用故障模式与影响分析、故障树分析、同类设备可靠性水平对比分析、可靠性试验数据分析等方法，评价设备的可靠性水平。

8.3.3.2 定性分析主要用于评价设备的设计和工艺是否采用成熟的技术，结构、材料的变化对可靠性的影响等；

8.3.3.3 定量评价主要包括相似性分析法和统计分析法，可按照 GB/T 37079—2018 中第 9 章可靠性评估方法要求开展。具体方法如下。

- a) 相似性分析法：利用已有设备使用数据来比较用途和使用环境相似的设备，评估预计该设备可靠性，预计的准确程度取决于设备的相似性及已有设备可靠性数据的准确度。
- b) 统计分析法：可为数学分析的不确定性提供度量，通常用指数分布、威布尔分布计算。

8.4 寿命评估与剩余寿命预测

8.4.1 寿命评估方法

8.4.1.1 统计寿命评估法。根据设备的历史故障数据进行寿命评估时，需要有足够的历史故障数据，且

受历史数据的影响较大。统计寿命评估法主要包括故障率法、威布尔分布法和蒙特卡罗模拟法。具体方法如下。

- a) 故障率法：根据设备的历史故障数据统计分析计算故障率(λ)，利用故障率来估计设备的寿命。如平均失效间隔时间等于 $1/\lambda$ 。
- b) 威布尔分布法：使用概率分布描述设备的故障过程，有两种参数：形状参数和尺度参数。形状参数决定了故障率的变化速率，尺度参数决定了故障发生的平均时间。
- c) 蒙特卡罗模拟法：用于模拟设备的故障过程，使用时考虑设备的各种影响因素，包括环境因素、负荷因素、维修因素等。

8.4.1.2 劣化寿命评估法。使用劣化寿命评估法时，需要识别设备在运行过程中可能出现的劣化模式，并对设备进行定期检查和检测，以获取设备的劣化数据和劣化程度。劣化寿命评估法主要包括机械劣化评估法和化学劣化评估法。具体方法如下。

- a) 机械劣化评估法：可根据设备及部件的劣化模式和劣化程度进行寿命评估，常用的有振动分析法、无损检测法、红外热成像法等。
- b) 化学劣化评估法：可根据设备材料化学成分的劣化程度进行寿命评估，常用的有元素分析法、红外光谱法、气相色谱法等。

8.4.1.3 设备寿命评估方法应用示例见表 6。

表 6 设备寿命评估方法和剩余寿命预测方法应用示例

项目	方法	寿命评估预测	
寿命评估	统计寿命评估法	如已知某仪表元件(不可修复产品)历史故障数据,根据数据统计得到其平均失效前时间(MTTF)	估计寿命=MTTF
	劣化寿命评估法(机械)	如已知某密封主要劣化模式为磨损,正常磨损速率为 $A/\text{年}(\text{mm/a})$,最大允许磨损量为 $B(\text{mm})$	估计寿命= B/A
剩余寿命预测	确定性寿命预测	如已知某轴承设计寿命为 $C(\text{h})$,已累计运行时间 $D(\text{h})$	剩余寿命= $C-D$
	概率性寿命预测(统计模型)	如已知某机泵设备(可修复产品)历史故障数据,根据数据统计分析故障模型属于指数分布,可靠性计算得到其故障率 $\lambda = E$,上次故障后连续运行时间为 $F(\text{h})$	剩余寿命= $1/E-F$
	基于状态的寿命预测	如已知某容器设备(可修复产品)主要劣化模式为腐蚀减薄,原始壁厚为 $H(\text{mm})$,监测得到其腐蚀速率为 $K/\text{年}(\text{mm/a})$,最小允许壁厚为 $G(\text{mm})$	剩余寿命= $(H-G)/K$

8.4.2 剩余寿命预测方法

8.4.2.1 确定性寿命预测可根据设备的设计寿命或平均寿命、劣化速度、累计运行时间，预测设备的剩余寿命。

8.4.2.2 概率性寿命预测，根据设备的劣化模型和可靠度分析结果，预测设备的剩余寿命。常用模型包括以下 3 种。

- a) 统计模型：可建立故障率模型或寿命分布模型，如指数分布、威布尔分布、正态分布等。
- b) 物理模型：可根据不同设备的物理特性和退化规律建立设备的退化模型，如基于随机过程、基于时间序列和基于线性形式的退化模型。
- c) 模糊模型：可利用模糊数学理论建立设备的剩余寿命模糊模型，如多元线性回归模型、贝叶斯

网络模型等。

8.4.2.3 基于状态的寿命预测,通过检查和测试设备的运行状态,评估设备劣化程度,预测设备的剩余寿命。设备状态监测数据一般包括:

- a) 运行数据,如温度、压力等;
- b) 监测数据,如振动、腐蚀速率等;
- c) 缺陷数据,如泄漏、腐蚀等。

8.4.2.4 设备剩余寿命预测方法应用示例见表 6。

8.4.3 寿命评估与剩余寿命预测结果应用

8.4.3.1 设备检修计划制定。通过对设备寿命和剩余寿命进行评估,确定设备检修时机,制定合理的检修计划。

8.4.3.2 设备更新改造计划制定。通过对设备寿命和剩余寿命进行评估,确定设备更新改造时机,制定合理的更新改造计划。

8.4.3.3 设备运行风险评估。通过对设备寿命和剩余寿命进行评估,评估设备运行风险,为设备维护、检修和更新改造提供决策依据。

8.4.3.4 设备寿命管理。通过对设备寿命和剩余寿命进行评估,建立设备寿命管理系统,对设备进行全生命周期管理。

9 腐蚀监测及风险评估技术

9.1 概述

9.1.1 企业建立设备腐蚀控制文件,包括设备台账、工艺防腐蚀信息、腐蚀监测计划、腐蚀检查计划、定期腐蚀分析和评估报告、腐蚀泄漏及失效历史信息、腐蚀相关参数完整性操作窗口(报警值)、防腐 KPI 等。

9.1.2 企业根据其腐蚀控制要求以及防腐工作实际需要对腐蚀风险进行评估,将腐蚀风险评估结果纳入完整性管理流程,实现腐蚀监控的闭环管理。

9.1.3 企业根据特定腐蚀机理和工况、腐蚀评估结果采取必要的腐蚀监测措施,并通过适当的管理保证其正确运行。

9.2 腐蚀回路

9.2.1 企业针对特定装置,基于工艺流程,依据工艺介质、操作条件、设备管道选材等情况,分析可能发生的腐蚀机理及其严重程度。

9.2.2 企业将定性确定的腐蚀机理及其严重程度通过不同颜色或不同编号等形式标识在工艺流程图上。对于工艺流程和腐蚀机理比较简单的装置,可在一张工艺流程图的基础上完成腐蚀回路的标注。对于工艺流程复杂或腐蚀机理类型较多的装置,通常需要细分为多个腐蚀回路。

9.2.3 腐蚀回路可作为腐蚀监测布点、腐蚀风险展示的基础。腐蚀回路中包含的信息包括:设计和操作条件、工艺介质、设备和管道材质、预计的腐蚀机理等。

9.3 腐蚀监测方案

9.3.1 企业根据腐蚀机理和实际腐蚀状况,综合考虑监测技术的适用性、有效性、可靠性、安全性和经济性,制定腐蚀监测方案。结合腐蚀监测数据、腐蚀风险分级及腐蚀评估结果对方案进行调整完善。

9.3.2 腐蚀监测方案中明确监测目的、对象、方法、部位、测量频率、测量数据的利用等内容。

9.3.3 腐蚀监检测可分为 3 种类型:实时在线监测、装置运行期间周期性检测以及装置停工期间检测或检查。在制定腐蚀监检测方案时根据其类型选择适当的腐蚀监检测技术。表 7 列出了一些腐蚀监检测技术及其特点,其中应用较为普遍的有定点测厚、腐蚀探针、脉冲涡流、工艺介质分析、红外热成像、腐蚀检查等。

表 7 腐蚀监检测技术的适用性

技术	是否介入式	是否可实时在线	灵敏度	是否可用于高温	是否可用于局部腐蚀
腐蚀挂片	是	否	低	是	否
定点测厚	否	否	低	是	否
在线测厚	否	是	中高	是	否
电感或电阻探针	是	是	中高	是	否
电化学探针	是	是	高	否	是
电场指纹	否	是	中高	是	是
氢通量	否	是	高	是	否
脉冲涡流	否	否	中高	是	是
涡流	是	否	中高	是	是
超声波 C 扫描	否	否	中高	否	是
水浸旋转超声	是	否	中高	否	是
导波	否	否	中	否	是
声发射	否	是	高	是	是
化学分析	否	否	低	否	否
在线分析仪	视情况	是	中	否	否
红外热成像	否	是	中	是	否
目视或内窥镜	是	否	低	否	是

9.4 关键腐蚀参数与完整性操作窗口

9.4.1 企业根据装置类型、腐蚀机理、腐蚀监检测方案、实际腐蚀状况及最佳防腐实践确定关键腐蚀参数,通过建立台账或信息系统等方式进行监控。

9.4.2 关键腐蚀参数可来自直接测量数据或基于直接测量数据计算分析之后的二次数据,表 8 列出了部分关键腐蚀参数的示例。

表 8 部分关键腐蚀参数的示例

类型	来源	数据
直接数据	集散控制系统(DCS)或 生产管理系统(MES)	温度、压力、流量
	实验信息管理系统(LIMS)	分析化验结果
	在线介质分析仪表	pH 值、硫含量、氯化物、水含量、密度、油品组成、烟气成分
	腐蚀监测系统	腐蚀损耗、腐蚀速率、壁厚

表 8 部分关键腐蚀参数的示例（续）

类型	来源	数据
二次数据	简单四则计算	加工负荷、防腐药剂注入比率
	统计分析	检测完成率、合格率
	腐蚀模型	水露点、铵盐结晶温度、Kp 值、平均流速、烟气露点、 腐蚀速率、剩余寿命

9.4.3 企业针对各个关键腐蚀参数建立完整性操作窗口(IOW),IOW 宜至少包含两级。宜根据 IOW 分级和设备分级综合确定特定部位的腐蚀风险等级。对于同一部位有多个关键腐蚀参数的情况,制定风险判定规则。

9.5 腐蚀风险评估

9.5.1 企业宜开展专项腐蚀评估,为科学开展腐蚀检测和采取腐蚀控制措施提供依据。常用的腐蚀评估方法包括:设防值评估、腐蚀适应性评估、RBI 评估等。

9.5.2 企业通过设防值评估确定其所加工原料腐蚀性介质含量的限值。当出现加工原料性质大幅变化、装置改造带来材质变化、工艺操作条件大幅变化等情况时,企业开展设防值评估。

9.5.3 企业通过腐蚀适应性评估指导设备、管线选材,改进注水、注剂等工艺防腐操作,优化腐蚀监检测等。腐蚀适应性评估针对装置特定腐蚀机理,通过定性或定量模型确定腐蚀关键参数,结合腐蚀监检测数据及历史腐蚀情况,评估设备和管道腐蚀风险部位及严重程度。相关腐蚀机理宜按照 GB/T 30579。

9.5.4 企业宜通过 RBI 评估确定材料损伤所引起的设备失效的风险,根据评估结果优化检验策略。具体做法宜按照 GB/T 26610(所有部分)、GB/T 30578。

9.6 腐蚀风险报警

9.6.1 企业可整合多源信息进行腐蚀风险报警,报警信息来源通常包括原料及设防值监控、腐蚀风险评估、工艺防腐监控、在线腐蚀监测、离线腐蚀检测及企业关注的其他专项检测。

9.6.2 企业根据不同腐蚀风险等级发布报警信息,并确定相应的推送对象、控制措施和响应时间。

9.6.3 腐蚀风险报警进入设备完整性管理流程,通过采取相应的措施消除报警,实现腐蚀控制的闭环。

9.6.4 宜通过建立防腐蚀集中监控信息系统实现腐蚀信息的采集、计算、风险分级、信息展示和推送,并与设备完整性管理信息系统实现数据交互。

10 动设备监测诊断技术

10.1 概述

10.1.1 企业宜建立动设备台账、振动超标机组和机泵台账、特护记录、监测数据、诊断分析报告、检维修计划等专业台账及记录。

10.1.2 企业按照设备等级选择在线监测或离线检测方式,监测振动、温度等参数,在线监测可根据实际条件选择有线传输或无线传输。振动状态监测与诊断宜按照 GB/T 19873(所有部分)。

10.2 监测诊断技术

10.2.1 关键机组采用在线监测技术,通过总貌图能实时监测各参数变化,选择趋势图、波形图、频谱图、轴心轨迹、轴心位置图、伯德图、示功图等多种专业图谱,开展故障分析,给出诊断结果。

10.2.2 机泵状态监测一般采用离线检测技术,对于关键及高风险机泵可考虑采用在线监测技术。

10.2.3 离线检测配置建议如下:

- a) 具备振动和温度检测功能,以及数据自动上传和频谱分析功能;
- b) 配套具有分析诊断、滚动轴承评价、监测点遗漏提醒等功能的智能诊断监测系统;
- c) 系统具有独立数据库。数据库接口是标准的开放接口,数据可传输到其他系统中。

10.2.4 在线监测配置建议如下:

- a) 硬件设备质量性能符合国家或行业标准的规定,具有国家或行业认可的认证、测试机构出具的检测、试验报告及质量证书;
- b) 有线监测可选用加速度传感器或速度传感器,宜按照 GB/T 19873(所有部分);
- c) 有线监测数据采集单元具有实时采集原始波形信息的功能,数据采集实现多通道、高速、高精度并行采样,最大数据采集速率不低于 25.6 kHz,最高分析谱线数不少于 6 400 线,A/D 有效分辨率不低于 16 位;
- d) 无线监测宜选用压电型感知元件、微型电子机械系统(MEMS)感知元件、压电型感知元件与 MEMS 感知元件组合的无线加速度传感器;
- e) 无线网关适用于 ZigBee、WIA-PA、WirelessHART、LoRa、Wi-Fi、SmartMesh IP 等多种协议传输方式,NB-IOT、4G/5G 专网传输方式不受网关技术要求限制。

10.3 监测诊断系统

10.3.1 监测诊断系统一般由传感器单元、数据采集单元、上位机单位及相应配套的监测诊断软件等组成,上位机单位包括数据服务器、工程师工作站等。传感器单元感知机组键相、振动、位移、温度等状态数据,由数据采集单元处理形成数字信号,通过网络传输至数据服务器进行存储,经监测诊断软件进行数据解析,实现数据自动报警,并将报警结果推送给诊断工程师、技术人员和决策者。

10.3.2 监测系统具有如下功能。

- a) 具备数据分析的能力,将传感器采集的数据波形利用多种图谱进行展示,且符合用户使用习惯。
- b) 能实现不同类型图谱的灵活配置,支持灵活选取不同时间范围,方便用户进行对比分析。
- c) 宜具备故障自动诊断功能,对报警数据进行自动分析,给出诊断结果。
- d) 提供可视化报警功能,显示报警机组、测点及报警级别(用不同颜色进行区分),并提供报警确认功能。
- e) 提供实时及历史报警列表,报警可列表展示,优先显示最高级别报警及最新报警记录,并提供查询测点、报警等功能。
- f) 至少具有邮件报警、短信报警、声光报警等功能中的一项功能,以满足报警信息及时推送提醒;用户可根据设备级别、报警级别自定义报警策略。

附录 A
(资料性)
设备分级量化评价示例

A.1 分级特征参数设置

危险化学品企业常压储罐用于半成品油、成品油、芳烃产品等化学品介质的储存。根据常压储罐生产重要性、使用年限等影响因素进行分级参数设置，常压储罐分级参数设置具体如下。

- a) 生产重要性:评价常压储罐重要程度，表示故障停机时对生产造成的影响，影响越大等级越高，评分越高。
- b) 使用年限:设备使用年限越长，腐蚀加剧、材质劣化等可能性越大，评分越高。
- c) 介质危害性:评价常压储罐存放介质危害程度的大小，介质毒性越强，评分越高。
- d) 结构形式:评价储罐结构复杂程度，复杂程度越高评分越高。
- e) 容积:容积越大，储罐的维护、维修、检验难度越大，评分越高。
- f) 环保重要性:评价设备发生介质泄漏可能造成的环境影响，越严重分数越高。

A.2 分级参数权重及评分标准制定

本示例选用德尔菲法确定各特征参数权重，并制定评分标准，如表 A.1 所示。

表 A.1 常压储罐类设备分级参数权重及评分表

参数	生产重要性	使用年限	介质危害性	结构形式	容积	环保重要性
权重	20%	10%	25%	5%	30%	10%
评分标准	1 分,无影响	1 分,使用年限≤4 年	1 分,存放其他介质储罐	1 分,拱顶储罐	1 分,容积<500 m ³	1 分,无影响
	2 分,单台设备停运	2 分,使用年限 4 年~10 年	2 分,存放有毒、易燃易爆介质储罐	—	2 分,容积<5 000 m ³	2 分,能够造成装置超过排放标准
	3 分,单套生产装置异常波动或未引起装置异常波动的大机组停机	3 分,使用年限 10 年~20 年	3 分,存在湿硫化氢腐蚀环境的储罐、重质油储罐	3 分,外浮顶储罐	3 分,5 000 m ³ ≤容积<10 000 m ³	3 分,能够造成厂界及周边超过石油炼制工业污染物排放标准
	4 分,系统或装置局部停工,大机组急停	4 分,使用年限 20 年~30 年	—	4 分,内浮顶储罐且已设置氮封	4 分,10 000 m ³ ≤容积<20 000 m ³	4 分,能够引起周围社区居民不满、抱怨或投诉,受到当地政府监管部门罚款
	5 分,单套装置非计划停工或 2 套以上装置异常波动	5 分,使用年限≥30 年	5 分,存放酸、碱、胺等强腐蚀性介质的储罐,原油罐,污水罐	5 分,内浮顶储罐且未设置氮封	5 分,容积≥20 000 m ³	5 分,能够引起周围社区居民不满、抱怨或投诉,并使得装置关停

A.3 设备等级评价准则

本示例将常压储罐类设备分为 3 个等级,设置不同等级阈值 C_I 等于 3.8 分, C_{II} 等于 2.6 分。常压储罐等级评价准则如表 A.2 所示。

表 A.2 常压储罐等级评价准则

设备等级	分值
I 级关键设备	$C>3.8$
II 级主要设备	$2.6\leq C<3.8$
III 级一般设备	$C<2.6$

A.4 设备等级评价

某危险化学品企业的某常压储罐:介质为重质油,容积为 5 000 m³,结构为拱顶储罐,使用年限为 4 年。该储罐发生故障时,对其他设备无影响,对环境也不会造成影响。

某常压储罐各分级参数评分结果如表 A.3 所示。

表 A.3 某常压储罐各分级参数评分结果

参数	生产重要性	使用年限	介质危害性	结构形式	容积	环保重要性
权重	20%	10%	25%	5%	30%	10%
评分	1	1	1	1	3	1

该常压储罐量化评分值(C)按公式(1)计算。

示例:

$C=1\times 20\%+1\times 10\%+1\times 25\%+1\times 5\%+3\times 30\%+1\times 10\%=1.6$ 分

根据量化评分值(C)查阅表 A.2,该常压储罐为 III 级一般设备。



附录 B
(资料性)
设备风险定级示例

B.1 风险要素确定

某企业中压加氢反应器定期检验时,在容器环焊缝发现多处埋藏裂纹,存在裂纹扩展导致设备破损,发生油气泄漏与火灾爆炸的风险。因此,中压加氢反应器的风险因素确定如下。

- a) 人员:人员距离设备越近,越容易受到伤害,风险越高。
- b) 设备:反应器温度越高,材料强度越低,裂纹扩展可能性越大,风险越高。
- c) 环境:周边环境越敏感,反应器故障,造成油气泄漏,对环境影响越大。

B.2 单因素风险值判别

本示例选用图 B.1 的安全评价矩阵进行单因素风险值判别,结合 B.1 中风险要素判别人员的风险值为 1(A2)、设备风险值为 11(C5)、环境风险值为 2(C1)。

安全风险矩阵		发生的可能性等级							
		1	2	3	4	5	6	7	8
		类似的事件没有在危化品行业发生过,且发生的可能性极低	类似的事件没有在危化品行业发生过	类似事件在危化品行业发生过	类似的事件在国内危化品行业曾经发生过	类似的事件在本企业相似设备设施使用寿命内或相似作业活动中发生过	在设备设施使用寿命内或相同作业活动中发生过 1 次或 2 次	在设备设施使用寿命内或相同作业中发生过多次	在设备设施或相同作业活动中经常发生(至少每年发生)
		$\leq 10^{-6}/a$	$10^{-6}/a \sim 10^{-5}/a$	$10^{-5}/a \sim 10^{-4}/a$	$10^{-4}/a \sim 10^{-3}/a$	$10^{-3}/a \sim 10^{-2}/a$	$10^{-2}/a \sim 10^{-1}/a$	$10^{-1}/a \sim 1/a$	$>1/a$
后果严重性等级	A	1	1	2	3	5	7	10	15
	B	2	2	3	5	7	10	15	23
	C	2	3	5	7	11	16	23	35
	D	5	8	12	17	25	37	55	81
	E	7	10	15	22	32	46	68	100
	F	10	15	20	30	43	64	94	138
	G	15	20	29	43	63	93	136	200

图 B.1 安全风险评价矩阵

B.3 权重确定与风险值计算

通过德尔菲法对该反应器人员、设备、环境进行权重分配,假设人员为 30%、设备 50%、环境 20%,结合 B.2 中各单因素风险值,则该中压加氢反应器多因素风险值(R)按公式(2)计算。

示例：
 $R=0.3\times 1+0.5\times 11+0.2\times 2=6.2$

B.4 风险定级确定

根据 7×8 安全风险矩阵,将设备风险分为 4 级,各风险级别分值区间如表 B.1 所示。

表 B.1 设备风险定级表

风险级别	风险值区间
重大风险(Ⅳ级)	$37<R$
较大风险(Ⅲ级)	$17<R\leq 37$
一般风险(Ⅱ级)	$8<R\leq 17$
低风险(Ⅰ级)	$R\leq 8$

根据多因素风险值(R)查阅表 B.1,该中压加氢反应器风险级别为Ⅰ级,属于低风险。



附录 C

(资料性)

一类设备缺陷判别标准示例

C.1 动设备

动设备发生以下缺陷时,直接定级为一类缺陷:

- a) 大机组因主机或辅助系统机械原因导致非计划停机或紧急跳闸,大机组因主机或辅助系统的电气、仪表原因导致非计划停机或紧急跳闸,同样视为一类缺陷,但宜列入电气或仪表类;
- b) 设备运行中出现轴承烧毁或抱轴现象;
- c) 未对设备采取有效监控与处理措施,连续运行至轴承状态量 L 值显示大于或等于 1.7;
- d) 未对设备采取有效监控与处理措施,连续运行至轴承温度超过 $70\text{ }^{\circ}\text{C}$ 二级报警值且轴承运行状态值大于或等于 1.3;
- e) 设备运行中密封介质泄漏量, $0\text{ MPa}\sim 5\text{ MPa}$ 介质泄漏量大于或等于 3 mL/h ,大于或等于 5 MPa 介质泄漏量大于或等于 15 mL/h ;
- f) 对于高危介质,密封介质出现向大气泄漏现象;
- g) 运行设备多点振动值大于二级报警值 10% 及以上;
- h) 设备运行中因机械原因造成设备能力完全无法满足工艺要求的现象;
- i) 传动、输送、搅拌、造粒设备因转动部件功能丧失,无法满足生产要求;
- j) 空冷设备叶片缺损、断裂的或联轴节、减速箱等传动部件功能丧失;
- k) 特殊阀门因机械原因卡死,影响到装置工艺调整;
- l) 除焦塔顶、底盖机、钻杆等,因转动部件、液压部件原因,无法正常工作且在正常除焦间隔期内无法修复。

C.2 静设备

静设备发生以下缺陷时,直接定级为一类缺陷。

- a) 法兰密封失效、设备本体或焊缝开裂、设备本体或焊缝腐蚀减薄穿孔等造成介质外漏。
- b) 阀门、换热器、积油箱等因腐蚀造成内部泄漏。
- c) 管道及设备壁厚腐蚀减薄大于或等于 20%、厚度低于强度计算最小厚度、耐压强度校核不合格。
- d) 容器、管线、钢结构超过振动允许值,引起设备失效。
- e) 设备变形失稳:失稳就是稳定性失效,也就是受力构件丧失保持稳定平衡的能力,比如指结构或构件长细比(如构件长度和截面边长之比)过大而在不大的作用力下突然发生作用力平面外的极大变形而不能保持平衡的现象。或者指压应力作用下,压力容器突然失去其原有的规则几何形状引起的失效称为失稳失效。

C.3 电气设备

电气设备发生以下缺陷时,直接定级为一类缺陷。

- a) 电机主要部件破裂不能使用、线圈损坏、抱轴;风扇破损、非主要附件缺失、进水干燥、工艺过流等。
- b) 变压器瓷瓶破裂喷油、放电异响、重要试验参数不合格、重瓦斯发生;渗油、发热、密封圈破裂、附件触点不良、附件损坏、轻瓦斯及温度。

- c) 变频器不能运行、需更换风机、绝缘栅双极型晶体管(IGBT)和控制板等；参数报警类故障。
- d) 直流屏一次元器件、二次主要控制器件损坏，电池容量低或损坏、二次显示或操作元器件损坏。
- e) 不间断电源(UPS)跳旁路不能运行，参数报警类故障。
- f) 高、低压柜影响母线停电的、单回故障或不影响到母线停电的故障。
- g) 高、低压电缆主要试验数据不合格电缆损坏、断裂处理。
- h) 操作柱触点不良、腐蚀老化、功能缺失。
- i) 线路故障处理、更换管线。

C.4 仪表设备

仪表设备发生以下缺陷时，直接定级为一类缺陷：

- a) 压力变送器的电子元器件及膜盒损坏、接线端子松动、信号电缆损坏造成仪表无指示或不准(偏差大于或等于最大量程的 10%)，单、双法兰变送器毛细管及膜盒损坏漏油造成仪表指示不准(偏差大于或等于最大量程的 10%)，流量计组件、电子元器件破损、接线端子松动、信号电缆损坏；
- b) 温度变送器原件及变送器损坏、保护套管破损、接线端子松动、信号电缆损坏；
- c) 液位计结构部分、组件、电路板损坏，浮筒液位计一次阀堵塞不能当天疏通，液位计接线端子松动、损坏及信号电/光缆损坏造成仪表无指示或不准(偏差大于或等于最大量程的 10%)；
- d) 调节阀及执行机构的膜头、阀内件、定位器、电磁阀、气动三联件、回讯开关损坏、仪表风管破损及泄漏造成该设备不能正常动作的；
- e) 控制系统的操作站、服务器、工程师站、键盘、控制站及卡件等损坏造成功能丧失，控制系统的组态错误和操作站死机；
- f) 特殊仪表(包括轴振动、轴位移监测仪，转速控制仪表)位移探头、振动探头、转速探头、延长电缆、变送器及在线监测系统卡件等设备损坏、接线松动、端子损坏及信号电缆损坏；
- g) 氧分仪、热导仪、气相色谱仪、微量水分仪、硫分仪、可燃有毒报警器及烟气分析仪结构部分、组件失效、回路泄漏、仪表失电等造成仪表异常(标定后偏差大于或等于最大量程的 5%等)；
- h) 工业 pH 计、钠度表、电导仪、浊度计、溶解氧分析仪、余氯分析仪和化学需氧量(COD)分析仪结构部分、组件失效、回路泄漏、仪表失电等造成仪表异常(标定后偏差大于或等于最大量程的 5%等)；
- i) 安全栅、稳压电源、信号分配器等辅助仪表组件损坏造成仪表主要功能丧失，辅助仪表接线松动、接线端子损坏及线缆故障造成仪表无指示、显示不稳定或明显偏差。



参 考 文 献

- [1] GB/T 2900.13—2008 电工术语 可信性与服务质量
- [2] GB/T 2900.99—2016 电工术语 可信性
- [3] GB/T 6075(所有部分) 机械振动 在非旋转部件上测量评价机器的振动
- [4] GB/T 20172—2006 石油天然气工业 设备可靠性和维修数据的采集与交换
- [5] GB/T 33314—2023 腐蚀控制工程生命周期 通用要求
- [6] GB/T 35013—2018 承压设备合于使用评价
- [7] GB/T 41344.1—2022 机械安全 风险预警 第1部分:通则
- [8] GB/T 41344.4—2022 机械安全 风险预警 第4部分:措施
- [9] TSG 11—2020 锅炉安全技术规程
- [10] TSG 21—2016 固定式压力容器安全技术监察规程
- [11] TSG D0001—2009 压力管道安全技术监察规程——工业管道
- [12] TSG D7005—2018 压力管道定期检验规则——工业管道
- [13] TSG ZF001—2006 安全阀安全技术监察规程
- [14] TSG ZF003—2011 爆破片装置安全技术监察规程
- [15] API RP 581—2016 (基于风险的检验方法)Risk-based Inspection Methodology
- [16] API RP 584—2021 (完整性操作窗口)Integrity Operating Windows
- [17] Guidelines for Asset Integrity Management CCPS
- [18] Guidelines for Mechanical Integrity Systems CCPS
- [19] 中华人民共和国特种设备安全法 中华人民共和国主席令第4号
- [20] 特种设备安全监察条例 中华人民共和国国务院令第549号

