

河南省地方标准

DB41/T 2544—2023

长周期服役压力容器风险评估导则

地方标准信息服务平台

2023 - 10 - 31 发布

2024 - 01 - 29 实施

目 次

前言 II

1 范围 1

2 规范性引用文件 1

3 术语和定义 1

4 基本要求 2

5 风险辨识 2

6 风险评价 4

7 风险管控 7

附录 A（规范性） 长周期服役压力容器基于损伤模式的检验检测方法 9

地方标准信息服务平台

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。

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。

本文件由河南省承压类特种设备标准化技术委员会提出并归口。

本文件起草单位：河南省锅炉压力容器检验技术科学研究院。

本文件主要起草人：栗帅、肖晖、杨志刚、皮艳慧、张刘钢、任霄啸、宋燕、王龙、闫星辰、陈卫红。

地方标准信息服务平台

长周期服役压力容器风险评价导则

1 范围

本文件规定了长周期服役压力容器风险评价基本要求、风险辨识、风险评价和风险管控。
本文件适用于煤化工装置、石化装置长周期服役压力容器失效风险因素辨识、评价和管理。

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 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
GB/T 30579 承压设备损伤模式识别
JB 4732 钢制压力容器 分析设计标准
NB/T 47013.4 承压设备无损检测 第4部分：磁粉检测
NB/T 47013.5 承压设备无损检测 第5部分：渗透检测
NB/T 47013.6 承压设备无损检测 第6部分：涡流检测
NB/T 47013.9 承压设备无损检测 第9部分：声发射检测
TSG 08 特种设备使用管理规则
TSG 21—2016 固定式压力容器安全技术监察规程

3 术语和定义

下列术语和定义适用于本文件。

3.1

长周期服役压力容器

达到设计使用年限的压力容器（未规定设计使用年限，但是使用超过20年的压力容器）及达到设计疲劳循环次数的压力容器。

3.2

损伤

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。

[来源：GB/T 26610.1—2022，3.3]

3.3

失效

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。

[来源：GB/T 26610.1—2022，3.7]

3.4

风险辨识

找到、列出和描述风险特点的过程。风险辨识要素包括危险源、事件、后果与概率。

[来源：GB/T 26610.1—2011，3.31，有修改]

3.5

风险评价

按照给定的风险标准用来比较估计风险的过程。

[来源：GB/T 26610.1—2011，3.30]

3.6

风险管理

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。

[来源：GB/T 26610.1—2022，3.21]

4 基本要求

4.1 人员

从事长周期服役压力容器风险评价工作的人员或团队应具有材料学、腐蚀与防护、化工工艺、力学、无损检测等相关基础知识，在压力容器运行、检修方面具有丰富的经验，能根据长周期服役压力容器工况，并结合现场实际调查，对压力容器运行过程中存在的风险因素进行分析识别、评价及管理。

4.2 风险评价周期

风险评价周期应根据压力容器风险等级确定。低风险等级压力容器评价周期为6年；中风险等级压力容器评价周期为3年；中高风险压力容器评价周期为2年，高风险等级压力容器评价周期为1年。

5 风险辨识

5.1 工作准备

风险辨识前应进行的准备工作主要有：

- a) 确定辨识对象；
- b) 确认辨识的目的；
- c) 确定辨识的流程；
- d) 明确辨识需要的专业知识和技能；
- e) 组成项目小组，明确成员分工与职责；
- f) 制定辨识工作计划。

5.2 资料收集

5.2.1 设计资料

应收集的设计资料有：

- a) 设计单位资质证明；
- b) 设计安装、使用说明书；
- c) 设计图样及强度计算书。

5.2.2 工艺资料

应收集的工艺资料有：

- a) 工艺操作规程（包括工艺变更管理）；
- b) 工艺流程图；
- c) 工艺参数（装置的压力、温度、流量、额定负荷等工艺控制指标）；
- d) 工艺介质中有毒、有害、腐蚀性介质化验分析数据，包括排污水、凝结水中腐蚀性介质分析数据（如酸、碱、pH 值等）；
- e) 装置中原料组分分析化验数据、各采样点的分析数据。

5.2.3 设备资料

应收集的设备资料有：

- a) 压力容器清单；
- b) 制造单位资质证明；
- c) 压力容器产品合格证及质量证明书；
- d) 竣工图及制造监督检验证书；
- e) 压力容器本体保温、防腐资料。

5.2.4 检验资料

应收集的检验资料有：

- a) 制造监督检验报告、安装监督检验报告；
- b) 定期检验报告；
- c) 安全评估或合于使用评价报告；
- d) 年度检查报告、在线检测报告；
- e) 历史损伤、失效记录。

5.2.5 使用维护资料

应收集的使用维护资料有：

- a) 压力容器的使用登记资料；
- b) 运行记录和计划开、停车记录；
- c) 非正常操作运行记录、非正常工艺波动、非计划停工记录；
- d) 压力容器的在线监测记录；
- e) 压力容器本体、安全附件及安全联锁保护装置维修、更换和改造资料；
- f) 检修计划、检修总结。

5.3 运行调查

在运行过程中调查长周期服役压力容器的工艺参数、运行状态并检查本体及附属设备运行状况，主要包括：

- a) 工段的工艺参数波动的对压力容器的影响情况；
- b) 工艺控制指标（压力、温度、流量、额定负荷、腐蚀性介质等）控制情况；
- c) 设置腐蚀监测点的腐蚀情况；
- d) 超压或超温等异常运行情况；
- e) 设计、制造选用的材料、结构、几何尺寸与容器规范标准和实际符合情况；
- f) 使用和检验过程中发现裂纹、材质劣化情况；
- g) TSG 21—2016 中安全状况等级为 4 级的容器，落实监控措施的情况。

5.4 损伤模式识别

5.4.1 典型损伤模式识别

长周期服役压力容器存在的主要风险因素同与时间相关的损伤、失效模式密切相关，损伤、失效模式的发展进程影响压力容器预期使用寿命，预示压力容器风险水平的高低。根据资料数据分析情况、运行调查结果并结合GB/T 30579及GB/T 26610.1的规定，对长周期服役压力容器存在与时间相关的典型损伤模式进行识别。长周期服役压力容器与时间相关的典型损伤模式见表1。

表1 长周期服役压力容器与时间相关典型损伤模式

序号	损伤模式	典型特点
1	腐蚀减薄	均匀减薄或局部减薄、分散的点腐蚀(蚀坑、穿透性蚀孔)
2	疲劳	变形、表面开裂、埋藏性缺陷扩展
3	蠕变	金相组织变化、孔洞、裂纹、几何尺寸变化
4	材质劣化(球化、石墨化、高温氢腐蚀)	金相组织变化、力学性能变化、裂纹、韧脆转变温度升高

5.4.2 其他损伤模式识别

未列入GB/T 30579中的其他损伤模式，评价人员可依据相关文献、标准及试验数据进行补充识别。

6 风险评价

6.1 失效可能性等级

6.1.1 一般原则

根据压力容器是否存在与时间相关的损伤模式、损伤模式是否产生相关缺陷，损伤模式存在时间长、变化，以及运行操作参数是否超出设计条件等情况综合评定容器的失效可能性等级。长周期服役压力容器的失效可能性等级分为 I、II、III、IV、V 五个等级，以最高等级作为评定结果。

6.1.2 失效可能性等级评定

6.1.2.1 腐蚀减薄

对于存在腐蚀减薄损伤模式的长周期服役压力容器，应根据腐蚀介质的类型、腐蚀介质的浓度、上个检验周期宏观检验和壁厚测量情况，对失效可能性进行评定。失效可能性情况及等级评定见表2。

表2 腐蚀减薄失效可能性情况及等级

序号	腐蚀减薄失效可能性情况	可能性等级
1	不存在腐蚀减薄	I
2	存在腐蚀减薄，对于非内衬和复合板压力容器，壁厚损失小于等于腐蚀裕量的75%；对于内衬或复合板压力容器，壁厚损失小于等于衬板或者覆材厚度的25%，且使用期间腐蚀速率无逐年增大趋势	II
3	存在腐蚀减薄，对于非内衬和复合板压力容器，壁厚损失大于75%小于等于90%的腐蚀裕量；对于内衬或复合板压力容器，壁厚损失大于25%小于等于75%衬板或者覆材厚度，且使用期间腐蚀速率无逐年增大趋势	III

表2 腐蚀减薄失效可能性情况及等级（续）

序号	腐蚀减薄失效可能性情况	可能性等级
4	存在腐蚀减薄，对于非内衬和复合板压力容器，壁厚损失大于90%的腐蚀裕量时；对于内衬或复合板压力容器，壁厚损失大于75%衬板或者覆材厚度，且使用期间腐蚀速率有逐年增大趋势	III
5	存在腐蚀减薄，对于非内衬和复合板压力容器，壁厚损失超过腐蚀裕量；对于内衬或复合板压力容器，壁厚损失大于衬板或者覆材厚度，且使用期间腐蚀速率有逐年快速增大趋势	V

6.1.2.2 疲劳

应根据收集的相关资料、现场调查情况、压力容器近一周期的运行操作记录和历史检验情况对疲劳失效可能性进行评定。失效可能性情况及等级评定见表3。

表3 疲劳失效可能性情况及等级

序号	疲劳失效可能性情况	等级
1	不存在疲劳损伤模式	I
2	满足以下条件之一：a)设计免除疲劳分析的压力容器；b)按实际操作工况符合JB 4732免除疲劳分析条件的；c)按照实际操作工况分析得到的循环次数加上下一次检验周期的预期循环次数，小于设计文件中疲劳分析的按材料设计疲劳曲线得到的循环次数	II
3	存在疲劳损伤模式，未检出超标平面缺陷或最近一次未检出使用中产生的缺陷	III
4	存在疲劳损伤模式，曾检出超标平面缺陷，最近一次未检出使用中产生的缺陷	IV
5	存在疲劳损伤模式，检出超标平面缺陷且最近一次检出使用中产生难以修复的缺陷	V

6.1.2.3 蠕变

对于存在蠕变损伤模式的长周期服役压力容器，应根据现场调查确认压力容器正常工况下最高操作温度 T_{op} 和评价温度 T_{eval} 的差异，并根据压力容器实际运行参数及历次宏观检验历史情况对失效可能性进行评定。评价温度 T_{eval} 确定方法如下：

当壳体仅存在环焊缝时，元件评价温度 T_{eval} 等于实际最高操作温度 T_{op} ；当壳体存在 ≥ 1 条纵焊缝时，评定温度 T_{eval} 等于元件实际最高操作温度 $T_{op}+14\text{ }^{\circ}\text{C}$ 。

失效可能性情况及等级评定见表4。

表4 蠕变失效可能性情况及等级

序号	蠕变失效可能性情况	等级
1	压力容器的评定温度 T_{eval} 低于材料临界温度 T_{cl}	I
2	压力容器的评定温度 T_{eval} 高于材料临界温度 T_{cl} ，近3次检验未曾发现蠕变损伤或蠕变变形	II
3	压力容器的评定温度 T_{eval} 高于材料临界温度 T_{cl} ，近3次曾发现蠕变损伤或蠕变变形，或无可信的蠕变损伤检验历史记录	III
4	压力容器的评定温度 T_{eval} 高于材料临界温度 T_{cl} ，近3次检验均发现蠕变损伤或蠕变变形	IV
5	压力容器的评定温度 T_{eval} 高于材料临界温度 T_{cl} ，近3次检验均发现蠕变损伤或蠕变变形，且产生缺陷难于修复	V

6.1.2.4 球化、石墨化

长周期服役压力容器在高温条件下运行，应考虑金相组织为珠光体的碳钢、碳锰钢等低合金材料容易出现石墨化、球化损伤模式的情况；对于金相组织为贝氏体的铬钼钢、铬钼钒钢等耐热金属，应考虑

组织退化造成的材料损伤。应根据硬度、金相检测等历史情况，对失效可能性进行评定。失效可能性情况及等级评定见表5。

表5 球化、石墨化失效可能性情况及等级

序号	球化、石墨化失效可能性情况	等级
1	容器存在下列条件之一：a) 碳钢服役温度低于375℃、铬钼钢服役温度低于425℃、铬钼钒钢服役温度低于475℃或奥氏体不锈钢服役温度低于525℃的压力容器；b) 金相组织为珠光体的碳钢、低合金钢，球化2级及以下；c) 金相组织为贝氏体的铬钼钢，球化3级及以下；d) 石墨化2级及以下，且历次检验(检测)未发现劣化趋势	I
2	容器存在下列条件之一：a) 对于金相组织为珠光体的碳钢、低合金钢，球化3级，且历次检验(检测)中未出现进一步劣化趋势；b) 对于金相组织为贝氏体的铬钼钢，球化4级，且历次检验(检测)中未出现进一步劣化趋势；c) 石墨化3级，且历次检验(检测)中未出现进一步劣化趋势	II
3	容器存在下列条件之一：a) 对于金相组织为珠光体的碳钢、低合金钢，球化3级，且历次检验(检测)中已出现进一步劣化趋势；b) 对于金相组织为贝氏体的铬钼钢，球化4级，且历次检验(检测)中已出现进一步劣化趋势；c) 石墨化3级，且历次检验(检测)中已出现进一步劣化趋势	III
4	容器存在下列条件之一：a) 对于金相组织为珠光体的碳钢、低合金钢，球化4级及以上；b) 石墨化4级；c) 当容器处于中风险时无法判断材料劣化趋势或出现进一步劣化趋势	IV
5	失效可能性等级为4的容器，强度下降引起的鼓包、胀粗、表面开裂，或是石墨化引起的孔洞、裂纹等损伤形态	V

6.1.2.5 高温氢腐蚀

长期在高温临氢环境中服役的碳钢和合金钢容器，应考虑氢进入钢材中并与碳反应生成甲烷气体造成腐蚀部位钢材出现的高温氢腐蚀损伤，应根据操作温度、氢分压、运行时间、Nelson曲线等对失效可能性进行评定。失效可能性情况及等级评定见表6。

表6 高温氢腐蚀失效可能性情况及等级

序号	失效可能性情况	等级
1	不存在高温氢腐蚀损伤模式	I
2	存在高温氢腐蚀损伤模式的碳钢、钼钢、铬钼钢容器，最高操作温度增加30℃和相应氢分压低于极限曲线，且历次检验未发现高温氢腐蚀导致的脱碳现象，以及纹、鼓包等缺陷	II
3	存在高温氢腐蚀损伤模式的碳钢、钼钢、铬钼钢容器，虽然最高操作温度增加30℃和相应氢分压位于极限曲线之上，但历次检验未发现高温氢腐蚀导致的脱碳现象，以及纹、鼓包等缺陷	III
4	存在高温氢腐蚀损伤模式的碳钢、钼钢、铬钼钢容器，最高操作温度增加30℃和相应氢分压位于极限曲线之上，且历次检验曾发现有高温氢腐蚀导致的脱碳现象，以及纹、鼓包等缺陷	IV
5	存在高温氢腐蚀损伤模式的碳钢、钼钢、铬钼钢容器，最高操作温度增加30℃和相应氢分压位于极限曲线之上，且历次检验均发现有高温氢腐蚀导致的脱碳现象，以及纹、鼓包等缺陷，且最近一次检出危及容器安全运行的缺陷	IV

6.2 失效后果等级

对长周期服役压力容器所有识别出的风险因素，按表7评定失效后果严重性等级，严重性等级分为I、II、III、IV、V五个等级，以最高等级作为评定结果。

表7 失效后果严重性等级评定表

等级	I	II	III	IV	V
人员伤亡	无人员伤亡	3 人以下死亡，或者 10 人以下重伤	3 人及以上10 人以 下死亡，或者10 人及 以上50 人以下重伤	10 人及以上30 人以 下死亡，或者50 人及 以上100 人以下重伤	30 人及以上死亡，或 者100 人及以上重伤
直接经济损失	1 万元以下	1 万元及以上1000 万元以下	1000 万元及以上 5000 万元以下	5000 万元及以上1 亿元以下	1 亿元及以上
环境影响	不造成污染	轻微污染	一般污染	严重污染	极重污染

6.3 风险等级评定

风险分为四个等级，分别为高风险、中高风险、中风险、低风险。风险等级评定根据失效发生可能性等级和失效后果严重性等级按表8进行评定。

表8 风险矩阵表

风险等级		失效后果等级				
		I	II	III	IV	V
失效可能性等级	V	中高	中高	中高	高	高
	IV	中	中	中高	中高	高
	III	低	低	中	中高	高
	II	低	低	中	中	高
	I	低	低	中	中	高

7 风险管控

7.1 通用要求

长周期服役压力容器使用单位，应根据风险等级制定相应的降低风险措施，尤其对存在高风险和中高风险的压力容器采取科学、可靠、有效的措施，保证风险在可控范围之内。

7.2 使用管理

对于使用管理中的问题导致设备存在风险，使用单位应当按照TSG 08的要求，加强人员教育培训，完善各种规章制度。

7.3 改造、维修

对于容器存在开裂、鼓包、泄漏等缺陷时，使用单位可采取改造、维修的措施降低风险，对重大改造和维修要按照TSG 21相关规定和程序进行。经改造、维修后的压力容器运行参数应适当降低。

7.4 检验检测

基于损伤机理导致的风险，使用单位可委托有检验检测资质的机构，在上次定期检验所采用的检验检测方法基础之上，适当提高检测比例，增加新的检测方法对表面缺陷、埋藏缺陷和活动性缺陷进行检测。长周期服役压力容器基于损伤模式的检验检测项目与方法按照参考附录A执行。

7.5 更换或报废

对于存在高风险且无改造、维修价值的压力容器，应进行更换或报废。

7.6 应急措施

使用单位应根据事故风险可能性等级制定专项应急预案，应急预案要包含压力容器可能出现的损伤失效模式及可能存在的风险点。一旦发生事故，应根据预案，采取应急措施，并按照相关规定，向有关部门报告。

地方标准信息服务平台

附录 A

(规范性)

长周期服役压力容器基于损伤模式的检验检测方法

A.1 检测项目

长周期服役压力容器基于损伤模式的检验项目主要包括壁厚测定、表面缺陷检测、埋藏缺陷检测、材料分析等。

A.2 检测方法

A.2.1 壁厚测定

壁厚测定的位置应当有代表性，有足够的测点数。测定后应画图记录，对异常测厚点做详细标记。应重点检测易腐蚀、易冲蚀、制造工艺减薄、变形、修磨后的部位及壁厚小于原设计壁厚的部位。

厚度测点部位及数量：

- a) 筒体每个筒节 ≥ 4 点，封头每块板 ≥ 4 点；
- b) 具备测量条件的接管应逐根测厚，重点测量排放（疏水、排污）接管、盲管、弯管的厚度；
- c) 对设备超温及外观检查发现的可疑部位应增加测厚点；
- d) 壁厚测定时，如果发现母材存在分层缺陷，应当增加测点或者采用超声检测，查明分层分布情况以及与母材表面的倾斜度，同时作图记录。

存在腐蚀减薄损伤模式的长周期服役压力容器，对于均匀腐蚀，检测方法一般为目视检测和腐蚀部位定点壁厚测定；对于点蚀坑或蚀孔，检测方法一般为目视检测；对于焊缝腐蚀，检测方法为目视检测和焊缝尺检测；当腐蚀发生在内壁且只能从外部检测时，可用自动超声波扫查、导波检测或射线成像检测查找减薄部位，并对减薄部位进行壁厚测定。

A.2.2 表面缺陷检测

对存在材质劣化、机械损伤等情况的长周期服役压力容器，按照NB/T 47013.4~6规定的磁粉检测、渗透检测、涡流检测方法进行表面检测。铁磁性材料制压力容器的表面检测，应当优先采用磁粉检测法。表面缺陷检测的要求如下：

- a) 检测长度应 $\geq 50\%$ 对接焊缝长度；
- b) 应力集中部位、变形部位、宏观检验发现裂纹的部位，奥氏体不锈钢堆焊层，异种钢焊接接头、T型接头、接管角接接头、其他有怀疑的焊接接头，补焊区、工卡具焊迹、电弧损伤处和易产生裂纹部位应当重点检测。

检测中发现裂纹时，应当扩大表面无损检测的比例至100%，以便发现可能存在的其他缺陷。

A.2.3 埋藏缺陷检测

对长周期服役压力容器存在疲劳、高温氢腐蚀等损伤机理或失效模式时，应当进行埋藏缺陷检测，采用射线检测或者超声检测等方法。

有下列情况之一时，由检验人员根据具体情况确定抽查采用的无损检测方法及比例：

- a) 使用过程中补焊过的部位；
- b) 检验时发现焊缝表面裂纹，认为需要进行焊缝埋藏缺陷检测的部位；
- c) 错边量和棱角度超过产品标准要求的焊缝部位；
- d) 使用中出現焊接接头泄漏的部位及其两端延长部位；

- e) 承受交变载荷压力容器的焊接接头和其他应力集中部位；

检测中发现裂纹时，应当扩大埋藏缺陷检测的比例，以便发现可能存在的其他缺陷，必要时按照 NB/T 47013.9 中声发射检测判断缺陷的活动性。

A.2.4 材料分析

A.2.4.1 硬度检测

应对存在球化损伤模式的长周期服役压力容器主要受压元件材料进行硬度测量，若数值降低明显，应进行金相分析和强度试验（可选择微损试验或者取样试验，下同），判断其球化程度以及强度下降情况。

硬度测点部位及数量：

- a) 抽查 $\geq 20\%$ 筒节，且不少于 1 个筒节，封头抽查 ≥ 1 块钢板，每个检测部位 ≥ 1 点；
- b) 超温部位、检测过程中硬度降低明显的部位应增加硬度测量点；
- c) 优先在设备内表面测量，当无法进入设备内部时，可在设备外表面测量。

A.2.4.2 金相分析

金相分析时一般采用现场金相检验，检验部位的选取除了要便于开展检验工作外，还要具有典型性。具体取样部位要求如下：

- a) 分析设备裂纹产生原因时，取样位置应覆盖在裂纹发源处、扩展处和裂纹尾部，确保裂纹成因分析的全面性；
- b) 分析设备是否存在球化、石墨化等现象时，应根据设备的使用情况在设备经受最高温度的部位进行取样；
- c) 分析设备是否存在蠕变孔洞和微裂纹时，应在设备的最大应力集中部位进行取样；
- d) 分析焊缝的组织结构时，应在焊缝及其两侧热影响区部位进行取样；
- e) 分析是否存在淬硬性组织时，应在硬度值异常部位进行取样；
- f) 分析设备结构变化对金相组织的影响时，应在设备变形最严重的部位进行取样。