

ICS XX.XXX.XX
JXX

DBXX

江 苏 省 地 方 标 准

DB XX/T XXXX—XXXX

承压设备系统长期服役安全状况检查评定方法

Guidance for Safety Assessment on Pressure Equipment of Old Petrochemical Units

(标准草案)

XXXX - XX - XX 发布

XXXX - XX - XX 实施

江苏省 XXXX

发布

目 次

前言	II
引言	III
1 范围	1
2 规范性引用文件	1
3 术语和定义	2
4 总体要求	3
5 通用流程	3
6 装置状况普查和设备筛选	5
6.1 普查内容	5
6.2 普查方法	5
6.3 设备筛选	6
7 损伤模式识别和失效案例审查	7
7.1 装置损伤模式分布分析	7
7.2 设备损伤模式分析	9
7.3 故障和失效案例审查	9
8 基于损伤模式的检验	10
8.1 通用要求	10
8.2 检验范围和检验类型	10
8.3 检测方法	10
9 检验结果处理	17
9.1 通则	17
9.2 简化筛选评价	17
9.3 合于使用评价	23
10 安全状况评定结论和报告	26

前 言

本标准按照GB/T 1.1-2020给出的规则起草。

本标准由XXX提出。

本标准由XXX归口。

本标准起草单位：略

本标准主要起草人：略

引 言

本文件编制的目的在于解决长期服役承压设备系统无设计规范、无设计寿命、设计偏离或设计对实际使用环境损伤模式考虑不足、超期服役等问题，通过排查承压设备系统长期服役安全隐患，评估安全状况，预测剩余寿命，为设备继续运行或改造、维修、报废、更换等决策提供依据。

本文件使用者可根据评价的具体情况，与本文件引用文件以及压力容器、管道等其他相关规范或标准配合使用。按照本文件进行安全评估的结果采用，不免除承压设备的设计、制造、安装、修理、改造等各有关方应承担的相应责任。

承压设备系统长期服役安全状况检查评定方法

1 范围

1.1 本文件给出了承压设备系统长期服役安全状况检查评定的基本技术要求和实施程序。

1.2 本文件适用于TSG 21《固定式压力容器安全技术监察规程》和TGSD7001《压力管道安全技术监察规程-工业管道》范围内，承压设备系统中临近或超设计使用年限金属制压力容器和压力管道的安全评估。工业锅炉、常压储罐、化学工业炉等其他设备可参考使用本文件。

2 规范性引用文件

下列文件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。

- 《特种设备安全监督检查办法》（总局57号令）
- TSG 21 固定式压力容器安全技术监察规程
- TSG D0001 压力管道安全技术监察规程-工业管道
- TSG D7005压力管道定期检验规则——工业管道
- GB/T 150（所有部分） 压力容器
- GB/T 19624-2019 在用含缺陷压力容器安全评定
- GB/T 20801.2压力管道规范 工业管道 第2部分：材料
- GB/T 20801.3压力管道规范 工业管道 第3部分：设计和计算
- GB/T223.26钢铁及合金 钼含量的测定 硫氰酸盐分光光度法
- GB/T 229金属夏比缺口冲击试验方法
- GB/T 231.1 金属材料 布氏硬度试验 第1部分：试验方法
- GB/T 26610（适用部分）承压设备系统基于风险的检验实施导则
- GB/T 29459（所有部分）在役承压设备金属材料小冲杆试验方法
- GB/T 30579 承压设备损伤模式识别
- GB/T 35013-2018 承压设备合于使用评价
- GB/T4334金属和合金的腐蚀 奥氏体及铁素体-奥氏体(双相)不锈钢晶间腐蚀试验方法
- GB 50316工业金属管道设计规范
- GB/T6803铁素体钢的无塑性转变温度落锤试验方法
- DL 438火力发电厂金属技术监督规程
- DL/T 441火力发电厂高温高压蒸汽管道蠕变监督规程
- DL/T 654火力发电厂超期服役机组寿命评估技术导则
- DL/T 674火电厂用20钢珠光体球化评级标准
- DL/T 773火电厂用12Cr1MoV钢球化评级标准
- DL/T 786碳钢石墨化检验及评级标准
- DL/T 787火电厂用15CrMo钢球化评级标准

DL/T 884 火电厂金相检验与评定技术导则
 DL/T 999 电站用2.25Cr-1Mo钢球化评级标准
 HG/T20589 化学工业炉受压元件强度计算规定
 HG/T20684 化学工业炉金属材料设计选用规定
 JB/T 4732 钢制压力容器-分析设计标准（2005年确认）
 NB/T10617 制氢转化炉炉管寿命评估及更换导则
 NB/T10618 在役乙烯裂解炉辐射段炉管检验、评估与维护导则
 SH/T3037 炼油厂加热炉炉管壁厚计算
 SH/T3074 石油化工钢制压力容器
 SH/T3075 石油化工钢制压力容器材料选用规范
 SH/T3096 高硫原油加工装置设备和管道设计选材导则
 SH/T3129 高酸原油加工装置设备和管道设计选材导则

API510 压力容器检验规范：在役检验、定级，修理和改造（Pressure Vessel Inspection Code: In-service Inspection, Rating, Repair, and Alteration）

API570 管道检验规范：管道系统在役检验，定级，修理和改造（Piping Inspection Code: In-service Inspection, Rating, Repair, and Alteration of Piping Systems）

API 572 压力容器检验实践（Inspection Practices for Pressure Vessels）

API 579-1/ASME FFS-1, 2016 合于使用评价（Fitness-For-Service）

API RP 571 API 炼油工业固定设备损伤模式推荐实践（Damage Mechanisms Affecting Fixed Equipment in the Refining Industry）

API RP934-A 高温高压临氢服役环境下2 1/4Cr-1Mo, 2.25Cr-1Mo-0.25V, 3Cr-1Mo和3Cr-1Mo-0.25V 制厚壁压力容器材料和制造推荐实践（Materials and Fabrication of 2 1/4Cr-1Mo, 2.25Cr-1Mo-0.25V, 3Cr-1Mo, and 3Cr-1Mo-0.25V Steel Heavy Wall Pressure Vessels for High-temperature, High-pressure Hydrogen Service）

API TR934-D 11/4Cr-1/2Mo and 1Cr-1/2Mo 钢制压力容器材料和制造问题技术报告（Technical Report on the Materials and Fabrication Issues of 11/4Cr-1/2Mo and 1Cr-1/2Mo Steel Pressure Vessels）

API RP941 炼油和石化工厂高温高压临氢服役环境用钢推荐实践，第八版，2016年2月（EIGHTH EDITION, FEBRUARY 2016 Steels for Hydrogen Service at Elevated Temperatures and Pressures in Petroleum Refineries and Petrochemical Plants）

ASME VIII-1 压力容器建造规范（Rules for Construction of Pressure Vessels）

3 术语与定义

GB/T19624、GB/T229、GB/T30579、GB/T35013、GB/T6803界定的以及下列术语和定义适用于本文件。

3.1

设计使用年限（设计寿命） design service life

压力容器和压力管道在预定的腐蚀裕量下，设备预期达到的使用年限，或用于炉管设计依据的操作时间。

3.2

腐蚀回路 corrosion circuits

在一个承压设备系统中，具有相同材料类别、相似操作条件和相同损伤机理的一组设备回路。

3.3

合于使用评价 *fitness for service*

利用有关标准规定的安全评定方法，对带超标缺陷的压力容器和压力管道根据相应的失效准则，进行符合使用条件的安全性评定。

3.4

安全状况评定 *safety status assessment*

承压设备系统安全状况评定是指对评定对象的状况调查(历史、工况、环境等)、损伤模式识别、缺陷和损伤检测和缺陷成因分析、材料性能获取、必要的实验与计算，并根据本文件的规定对评定对象的安全性进行综合分析和评价。

4 总体要求

4.1采用本文件的单位在实施安全评估时，应建立相应的质量控制程序；进行安全评估的人员应具有必要的力学、材料、工艺、腐蚀、检验等知识背景和实践经验，并经过合于使用评价专业培训合格。

4.2承压设备系统长期服役安全状况检查评定工作除符合本文件的规定外，还应符合TSG 21、TSG D0001、TSG D7005等安全技术规范的基本安全要求。

5 通用流程

5.1承压设备系统长期服役安全状况检查评定通用流程包括：

a) 装置状况普查，基于所处寿命周期和是否存在严重隐患进行设备筛选，并纳入安全评估范围。满足特定条件的严重隐患设备，使用单位应予以整改或消除。未纳入安全评估范围的设备，应按相关法规实施检验，确定安全状况等级和检验周期。

b) 损伤模式识别和失效案例审查。进行装置损伤分布分析和安全评估范围内设备损伤模式识别，并基于故障和失效案例审查结果，进行相应调整修正。

c) 安全评估范围内设备基于损伤模式的检验，选择检验类型和有效的检验方法，提出特定损伤模式的补充检测要求，为后续结果处理提供数据。

d) 检验结果处理，存在严重损伤或缺陷可先进行简化筛选评价，简化筛选评价不通过的进行合于使用评价。合于使用评价结果不通过的，应停止使用，修理更换。简化筛选评价或合于使用评价结果通过的，应按相关法规和本文件评价方法，综合确定压力容器和压力管道安全状况等级和检验周期。

5.2 承压设备系统长期服役安全状况检查评定流程见图1。

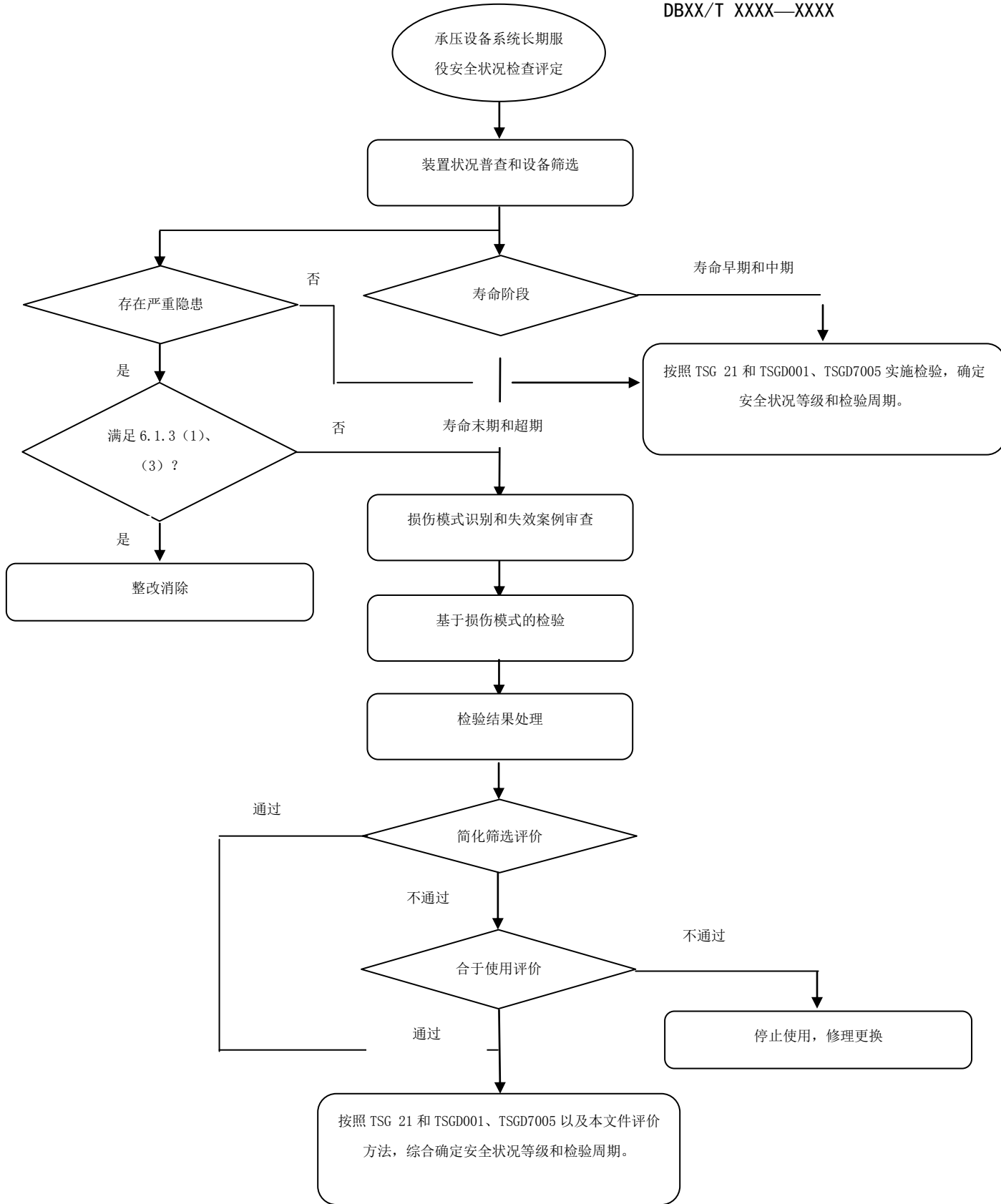


图1 安全状况检查评定流程

6 装置状况普查和设备筛选

6.1 普查内容

6.1.1 核实、更新和补充设备设计数据

内容包括设备台账，设备图纸、管道单线图，关键参数包括投产日期、材质、衬里类型、名义壁厚和公称直径、长度、介质、腐蚀性组分、操作压力和操作温度、焊后热处理要求等。

6.1.2 运行工况调查

应调查历史工况、当前工况和未来工况所对应的操作压力和操作温度，以及持续时间间隔。当前工况应包括正常操作工况和一些特定工况如焦炭塔的清焦和触媒反应器的再生工况等。存在疲劳工况时应包括部件自投产日期至未来计划运行时间可能产生的所有循环工况，确定疲劳类型是单一循环还是多重循环。若是多重循环，还应明确每一工况下的每年循环次数、最高操作压力、最低操作压力、最高操作温度、最低操作温度。

6.1.3 隐患排查

承压设备存在严重事故隐患包含以下情形：

- a) 承压设备是未取得许可生产、国家明令淘汰、已经报废或达到报废条件，继续使用的；
- b) 承压设备未经监督检验或经检验不合格，继续使用的；
- c) 承压设备安全附件、安全保护装置缺失或失灵，继续使用的；
- d) 承压设备发生过事故或者有明显故障（如受压元件发生裂缝、异常变形、泄漏、衬里层失效；真空绝热压力容器外壁局部严重结冰、工作压力明显上升的等），未对其进行全面安全检查、消除事故隐患，继续使用的；
- e) 承压设备超过规定参数、使用范围使用的（含变更介质或介质腐蚀性组分含量超过设防值等）；
- f) 名义壁厚不明的。

6.2 普查方法

6.2.1 资料审查

审查设备台账、监督检验证书、检验报告、安全附件校验报告、修理改造记录（含移装利旧）、故障案例和失效分析报告、腐蚀管理文件等资料，并相互比对验证。

6.2.2 现场检查

a) 设备台账与现场设备核实比对，台账缺失的设备或台账与现场设备不符的，以及材质不明的设备或装置进行改造后需要复核材质的设备，采用测绘、材质鉴定如光谱检测等方法，补齐或修正图纸和材质、名义壁厚和公称直径、长度；

b) 宏观检查设备是否存在受压元件结构不合理、发生裂缝、异常变形、泄漏、衬里层失效；垫片、紧固件损坏；真空绝热压力容器外壁局部存严重结冰、工作压力明显上升的等严重故障情况；以及安全附件和安全保护装置是否缺失，具备条件时应进行安全阀手动排放试验和安全保护装置功能校验。

6.2.3 工艺分析

按工艺流程确定介质、腐蚀流分布和操作压力和操作温度。工艺分析时应包括各种可能存在的工况，既包括工艺上的操作和再生、清焦等工况，也包括时间维度的历史工况、当前工况和未来工况，如原油劣质化造成的介质中腐蚀性组分的含量变化等。

6.3 设备筛选

6.3.1 按使用年限筛选

按装置进行，统计出设备处于哪个寿命阶段。即根据设备已使用年限和设计寿命规定，将设备划分早期、中期、末期和超期四个寿命阶段，然后将处于末期和超期设备（即临近或超过设计寿命设备）纳入后续安全评估工作范围。无设计寿命规定的，按表1确定。具体划分原则为：

- a) 早期寿命阶段（已使用年限/设计寿命的比值为0%~30%区间）
- b) 中期寿命阶段（已使用年限/设计寿命的比值为30%~80%区间）
- c) 末期寿命阶段（已使用年限/设计寿命的比值为80%~100%区间）
- d) 超期寿命阶段（已使用年限/设计寿命的比值为>100%区间）。

6.3.2 按隐患排查结果筛选

满足6.1.3（1）、（3）的，使用单位应予以整改或消除。将满足6.1.3（2）、（4）、（5）、（6）的设备纳入后续安全评估工作范围。

表 1 设计寿命参考数据表

设备或管道类型	国外工程常用设计寿命 (年)	国内工程常用设计寿命 (年)	SH/T3074 设计寿命 (年)
再生器	/	15	>15
塔（直径大于 4m）	25	20	>20
塔（直径小于等于 4m）	25	15	>15
罐	10-25	15-20	>15
球罐	25	20	>20
铬钼钢或高合金钢制厚壁加氢反应器（名义壁厚大于等于 50mm）	/	30	>30
其他厚壁加氢反应器（名义壁厚大于等于 50mm）	/	30	>20
其他材料的反应器、干燥器	25	20	>20

一般换热器壳体、管箱	15	15	>15
高压换热器壳体、管箱	15	20	>20
合金钢换热器管束	/	10-20	/
碳钢低合金钢换热器管束	/	3年且不小于一个操作周期	/
涂覆各种涂料的换热器碳钢管束	/	按涂料使用寿命	/
空冷器	15	碳钢-10	/
炉管	10	10	/
管道（重要及>=4寸）	15	15	/

7 损伤模式识别和失效案例审查

7.1 装置损伤模式分布分析

基于装置普查和工艺分析结果，结合损伤分析基本三要素（材质、腐蚀性组分和操作温度），按照GB/T30579和GB/T 26610.4进行基于工艺流程的损伤模式分布分析，建立基于工艺流程图PFD的腐蚀回路图。损伤模式分析时所需的材料组和物流组见表2和表3，材质劣化损伤温度阈值和蠕变损伤温度阈值见表4和表5。高温氢腐蚀损伤温度及氢分压组合操作极限曲线见图2。

表 2 腐蚀回路用材料组

序号	材料组	序号	材料组
1	碳钢	7	Cr-Mo-V 低合金钢
2	C-0.5Mo 钢	8	奥氏体不锈钢
3	1.25Cr-0.5Mo	9	铁素体不锈钢
4	2.25Cr-0.5Mo	10	双相不锈钢
5	3Cr-1Mo	11	镍基合金
6	5Cr-1Mo	12	铁镍铬合金

表 3 腐蚀回路用物流组（腐蚀性组分）

序号	物流组（腐蚀性组分）	序号	物流组（腐蚀性组分）
1	水+氨（含水小于0.2%）	15	硫
2	水+氨+硫化氢	16	硫化氢
3	水+氨+氯化氢	17	硫化氢+氢气
4	水+胺	18	水+硫化氢
5	水+胺+硫化氢	19	水+硫酸
6	水+苯酚	20	烟气+水+硫/或氮/或氯
7	氮	21	水+硫化氢和/或二氧化碳
8	水+二氧化碳	22	水+硫+氧
9	水+二氧化碳/或碳酸根	23	水+氯

10	水+氟化氢	24	水+氯化氢
11	环烷酸	25	燃料油或燃料煤
12	氢氧化钠或氢氧化钾（浓度 3wt%以上）	26	烃/焦炭/CO/CO ₂ /甲烷/乙烷（其中之一）
13	氢氧化钠或氢氧化钾（浓度 5wt%以上）	27	水+硝酸根
14	水+磷酸	28	水+/氧

表 4 材质劣化损伤温度阈值

序号	损伤模式	温度阈值（℃）
1	球化	454
2	石墨化	427
3	渗碳	593
4	σ 相脆化	538
5	回火脆	343
6	敏化	427
7	再热裂纹	450

表 5 蠕变损伤温度阈值

序号	材料类型	温度门槛值（℃）
1	碳钢(抗拉强度 \leq 414MPa)	343
2	碳钢(抗拉强度 $>$ 414MPa)	371
3	碳钢-石墨化	371
4	C-1/2Mo	399
5	1-1/4Cr-1/2Mo(正火+回火)	427
6	1-1/4Cr-1/2Mo(退火)	427
7	2-1/4Cr-1Mo(正火+回火)	427
8	2-1/4Cr-1Mo(退火)	427
9	2-1/4Cr-1Mo(调质)	427
10	2-1/4Cr-1Mo-V	441
11	3Cr-1Mo-V	441
12	5Cr-1/2Mo	427
13	7Cr-1/2Mo	427
14	9Cr-1Mo	427
15	9Cr-1Mo-V	454
16	12Cr	482
17	AISI Type 304 & 304H	510
18	AISI Type 316 & 316H	538
19	AISI Type 321	538
20	AISI Type 321H	538
21	AISI Type 347	538
22	AISI Type 347H	538
23	Alloy 800	565
24	Alloy 800H	565
25	Alloy 800HT	565
26	HK-40	649

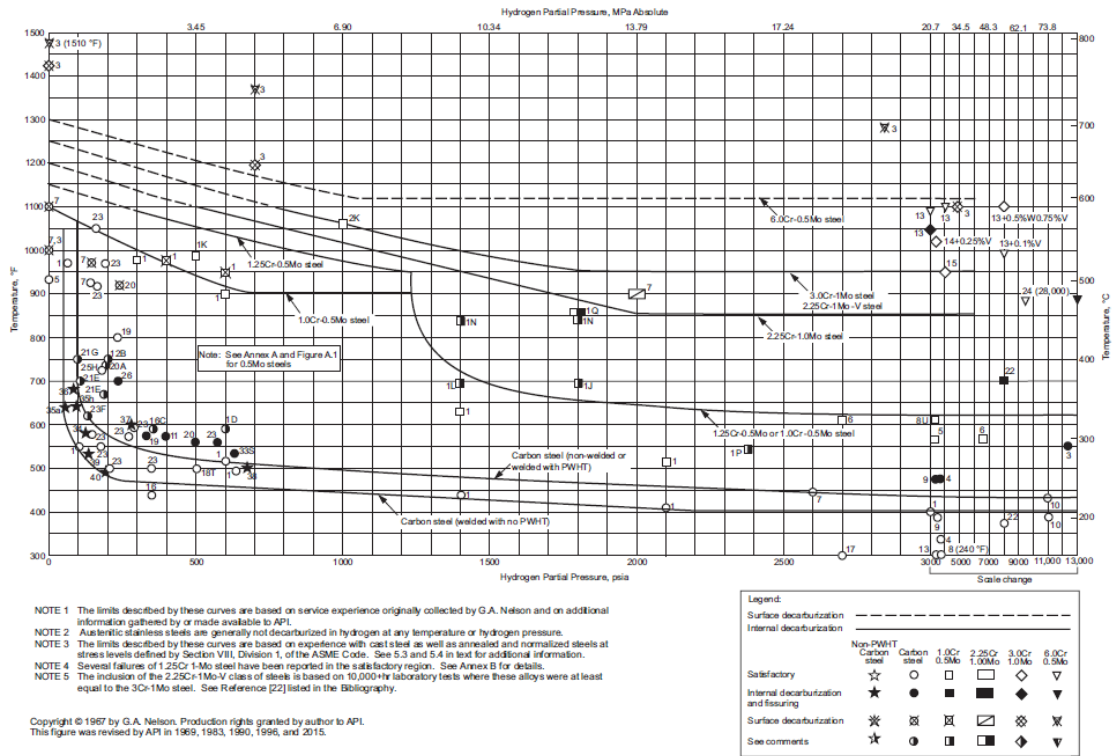


Figure 1—Operating Limits for Steels in Hydrogen Service to Avoid High Temperature Hydrogen Attack

注1：API 第八版，2016 年2 月。

注2：注释见API RECOMMENDED PRACTICE 941。

图 2 临氢环境钢材高温氢腐蚀的操作极限曲线

7.2 设备损伤模式分析

根据PFD腐蚀回路图，按安全评估范围内设备所处工艺流程位置，以及设计制造技术要求如焊后热处理要求等，综合判定其损伤模式和发生部位。

7.3 故障和失效案例审查

损伤模式分析时应审查老旧装置故障或失效案例，以及装置状况普查发现的6.1.3 (2) 检验不合格项、(4) 各类故障类型（裂纹、异常变形、衬里层失效等）等严重隐患问题，基于工程经验或专家意见，对这些当前的严重隐患、历史的故障或失效问题进行审查与研判，若判断为在役新生缺陷或损伤，则应对与故障或失效案例处于同一腐蚀回路的安全评估范围内设备的损伤模式评估结果进行增补修正。装置状况普查发现的6.1.3 (5) 超温、超压、变更介质或介质腐蚀性组分含量超过设防值等超规定参数、超使用范围使用的情形这类严重隐患，则应重新评估这类情形对设备造成的附加损伤模式。

8 基于损伤模式的检验

8.1 通用要求

8.1.1 使用单位应当根据本文件的检验策略，制定检验计划。检验机构应当根据本文件的检验策略和检验计划，结合现场条件，制定具体的检验方案并实施检验。

8.1.2 安全评估范围内压力容器和压力管道应根据损伤模式分析结果，应按照TSG 21和TSG D0001、TSG D7005以及本章要求，逐台制定检验方案，实施检验，并出具检验报告。

8.1.3 对于无明确损伤模式、或者存在相关损伤模式但历次检验采用有效检测方法均未发现损伤现象的安全评估范围内压力容器和压力管道，可对检验方法和比例进行适当调整，但应符合TSG 21的最低要求。

8.1.4 对历史检验发现已有损伤或缺陷的，以及装置状况普查发现的6.1.3（2）、（4）、（5）、（6）严重隐患问题的，应进行跟踪复查，分别进行检验不合格项、各种故障类型（裂纹、异常变形、衬里层失效等）的复检，查明缺陷或损伤成因；针对超温、超压、变更介质或介质腐蚀性组分含量超过设防值等超规定参数、超使用范围使用的情形，进行有针对性的设备附加损伤模式检验验证；名义壁厚不明的，则应采用点测或危险壁厚截面法进行详细壁厚测定。

8.1.5 对于典型的腐蚀形貌及设备中发现的问题应进行拍照记录，腐蚀检查过程中观察到明显腐蚀产物且生成机理不清的，可收集腐蚀产物并对其进行取样分析，确定腐蚀原因。

8.1.6 检验机构在完成现场检验后，应根据检验检测结果、返修结果，更新损伤模式数据，进行损伤模式再评估。

8.2 检验范围和检验类型

检验范围为安全评估范围内设备。检验类型包括停机内部检验、停机外部检验和在线检验。检验类型选择、隔热层和衬里拆除原则按GB/T26610.2执行。可以辅助性选用在线监测方法对存在相应损伤形态的设备进行监测。

8.3 检测方法

8.3.1 检测方法选择原则

a) 根据安全评估范围内压力容器和压力管道潜在的损伤模式确定检测方法，检测部位应选择损伤发生可能性最高的区域。如果实施在线检验，选择检测方法时还应确定从设备外部检测内部缺陷的能力和温度等操作条件对检验有效性的影响。当存在多种损伤形态时，应分别选用与损伤形态相对应的方法进行检测。

b) 按TSG21附件A规定的的第一组介质，即毒性危害程度为极度、高度危害的化学介质，易爆介质，液化气体，应采用中高度有效及以上级别的检测方法；第二组介质，即除第一组以外的介质，应采用中度有效及以上级别的检测方法。损伤模式与对应损伤形态对照表见表6。各种检测方法对应的检验有效性级别按GB/T26610.2，分别见表7《停机检测方法及其有效性》、表8《在线检测方法及其有效性》和表9《在线监测方法及其有效性》。检测方法的检测比例可参照GB/T26610.4选取。表6~表8的检测方法按NB/T47013的规定执行；材料微观组织检查按GB/T13298的规定执行，其中金相分析按DL/T884的规定执行。

c) 出现材质劣化、蠕变等需要取样（包括微试样）进行材料力学性能测试时，材料的室温和高温拉伸性能测试分别按GB/T228.1和GB/T228.2的规定执行，材料的持久、蠕变性能测试按GB/T2039规定执行。夏比冲击试验按GB/T229规定执行；微试样取样和试验按照GB/T29459的小冲杆试验方法进行。

d) 对于有衬里或复合层的压力容器，应进行衬里或复合层失效造成的设备基材损伤的检测，比如高温氢腐蚀等。

8.3.2 腐蚀减薄损伤检测补充要求

a) 对于均匀腐蚀的压力容器和压力管道，应对选定的受压元件腐蚀减薄严重部位进行不少于15个点的均布壁厚测定。

b) 对于局部腐蚀的压力容器和压力管道，应进行危险壁厚截面法测厚，每条网格线上测点不少于5个，网格间距不超过2倍名义壁厚。

c) 对于点蚀的压力容器和压力管道，框定150mmX150mm最严重区域，拓印或拍照，作为评价区域。必要时选择至少10组点蚀对，并测量每组点蚀对的直径、间距和深度。

8.3.3 环境开裂损伤检测补充要求

氢鼓包的直径、高度和距结构不连续区和焊缝的距离；氢致开裂距壁厚表面的距离、自身高度、间距，或者打磨后的凹坑深度、长轴和短轴尺寸；应力导向氢致开裂或应力腐蚀开裂裂纹的长度、深度，或者打磨后的凹坑深度、长轴和短轴尺寸，并符合GB/T19624中有关凹坑尺寸要求。应力腐蚀开裂必要时还应按照GB/T15970.6补充测定材料在使用环境下的应力腐蚀开裂的界限应力强度因子KISCC和应力腐蚀裂纹的扩展速率 da/dt 。

8.3.4 材质劣化损伤检测补充要求

8.3.4.1 球化损伤检测补充要求

选取可能的最高温度部位或硬度检测异常位置进行现场金相检测，发现球化4级的，必要时可取样（包括微试样）进行材料力学性能测试。存在变形和鼓包时，应测量变形和鼓包尺寸。

8.3.4.2 石墨化损伤检测补充要求

选取可能的最高温度部位或硬度检测异常位置进行现场金相检测，发现石墨化3级的，必要时应取样（包括微试样）进行材料力学性能测试。

8.3.4.3 渗碳损伤检测补充要求

选取可能的最高温度部位或硬度检测异常位置进行现场金相检验。发现渗碳损伤的，对于投用前原始状态为顺磁性的合金（如奥氏体合金），可检测导磁率的变化程度，根据磁性分析仪的矫顽力与渗碳层厚度关系，测量渗碳层厚度，必要时取样进行实验室截面金相检验获取渗碳层厚度。

8.3.4.4 σ 相脆化损伤检测补充要求

奥氏体不锈钢材料金相检验出现 σ 相且含量不超过10%的,必要时应取样(包括微试样)进行材质力学性能测试。

8.3.4.5 回火脆损伤检测补充要求

服役温度在343℃~577℃区间的1Cr-0.5Mo、1.25Cr-0.5Mo、2.25Cr-1Mo、2.25Cr-1Mo-0.25V、3Cr-1Mo、3Cr-1Mo-0.25V铬钼低合金钢材料,应取挂片进行夏比V型缺口冲击试验。

8.3.4.6 敏化损伤检测补充要求

针对奥氏体钢敏化过程中贫铬区电磁性能的变化,可利用涡流、矫顽力等电磁方法进行快速筛查,然后在选定区域进行金相检测。

8.3.4.7 再热裂纹损伤检测补充要求

出现再热裂纹时,测量再热裂纹的长度、深度,或者打磨后的凹坑深度、长轴和短轴尺寸。

8.3.4.8 碳化物检测补充要求

高温服役环境下,部件必要时可以取样(包括微试样)按GB/T13298进行截面金相检查碳化物成分、结构、尺寸和分布,可采用XRD确认其中碳化物结构,成分可以用扫描+能谱进行初步分析,或者按照GB/T223.26采用硫氰酸盐分光光度法补充检测钢中碳化物内含钨量占钢中总含量的比值,12CrMo、15CrMo钢不超过85%,12Cr1MoV钢不超过75%。

8.3.5 蠕变损伤检测补充要求

蠕胀测量参考DL/T 441和DL438规定进行,测量钢管外径蠕变变形,或者测量蠕变相对变形量。必要时取样(包括微试样)按GB/T13298和GB/T2039分别进行实验室截面金相和材质力学性能测试。测量壁厚,查阅或推算历史工况和未来工况对应时间间隔节点的壁厚。可联合进行金相检测和硬度检测。

8.3.6 机械疲劳和/或热疲劳损伤检测补充要求

发现疲劳裂纹时,应测量裂纹长度和深度尺寸,或者打磨后的凹坑深度、长轴和短轴尺寸。必要时,还可采用应变传感器、压力传感器、温度传感器等对振动、交变压力和温度等周期性载荷进行监测得到实际载荷谱。

8.3.7 高温氢腐蚀损伤检测补充要求

发现高温氢腐蚀引起的表面脱碳时，可打磨后估算表面脱碳层深度；发现高温氢腐蚀引起的鼓包时，测量鼓包的直径、高度和距结构不连续区和焊缝的距离；发现高温氢腐蚀引起的内部脱碳或沿晶微裂纹时，应取样（包括微试样）进行材料力学性能试验。

表 6 损伤模式与损伤形态对照表

损伤模式	损伤形态								
	局部减薄	均匀减薄	点蚀/孔蚀	表面裂纹	近表面裂纹	埋藏裂纹	金相组织变化	尺寸变化	氢鼓泡或高温氢腐蚀造成的鼓泡
局部减薄	X								
均匀减薄		X							
点蚀			X						
应力腐蚀开裂				X	X				
氢鼓包									X
氢致开裂、应力导向氢致开裂				X	X				
球化							X		
石墨化							X		
渗碳				X	X	X	X		
σ相脆化							X		
敏化				X	X		X		
再热裂纹				X	X	X			
蠕变							X	X	
机械疲劳				X					
热疲劳				X				X	
高温氢腐蚀				X	X	X	X		X

注：回火脆损伤模式无表中对应损伤形态。

表 7 停机检测方法及检验有效性

检测方法	损伤形态									
	局部减薄	均匀减薄	点蚀/孔蚀	表面裂纹	近表面裂纹	埋藏裂纹	金相组织变化	尺寸变化	隔热衬里脱落	氢鼓泡或高温氢腐蚀造成的鼓泡
目视检测	1,2,3	3,X	1,2,3	3,X	X	X	X	1,2,3	1,2,3	2,3
纵波超声检测	1,2,3	1,2,3	3,X	X	X	3,X	X	X	X	1,2
横波超声检测	X	X	X	2,3 ^a	1,2,3 ^a	2,3 ^a	X	X	X	X
衍射时差法超声检测	X	X	2,3 ^a	2,3 ^a	2,3 ^a	2,3 ^a	X	X	X	1,2 ^a
电磁超声检测	2,3	1,2,3	X	X	X	X	X	X	X	X
相控阵检测	X	X	1,2,3	1,2,3	1,2,3	1,2,3	X	X	X	1,2
射线检测	1,2,3	1,2,3	1,2,3	3,X	3,X	3,X	X	X	X	X
磁粉检测	X	X	X	1,2	3,X	X	X	X	X	X
渗透检测	X	X	X	1,2,3	X	X	X	X	X	X
声发射检测	3,X	X	X	2,3 ^b	2,3 ^b	2,3 ^b	X	X	X	3,X ^b
涡流检测	2,3	2,3	1,2	1,2,3	2,3	X	X	X	X	X
漏磁检测	1,2	1,2	1,2	2,3,X	3,X	X	X	X	X	X
尺寸测量	1,2,3	1,2,3	3,X	X	X	X	X	1,2	X	X
金相分析	X	X	X	2,3	X	X	1,2	X	X	2,3 ^c
硬度检测	X	X	X	X	X	X	3, X	X	X	X
超声导波检测	1,2,3	X	X	X	X	X	X	X	X	X

注：1 为高度有效；2 为中高度有效；3 为中度有效；X 为低度有效或无效。

^a 应用时应注意扫查盲区的大小和方位。

^b 仅对活动性缺陷。

^c 仅对高温氢腐蚀造成的鼓泡。

表 8 在线检测方法及检验有效性^a

检测方法	损伤形态							
	局部减薄	均匀减薄	点蚀/孔蚀	表面裂纹	近表面裂纹	埋藏裂纹	尺寸变化	氢鼓泡或高温氢腐蚀造成的鼓泡
目视检测	3,X	X	3,X	3,X	X	X	2,3	X
脉冲涡流检测	2,3	1,2,3	3,X	X	X	X	X	X
高温纵波超声检测	1,2,3	1,2,3	3,X	X	X	X	X	1,2
高温横波超声检测	X	X	X	2,3 ^b	1,2,3 ^b	2,3 ^b	X	X
高温磁粉检测	X	X	X	2,3	3,X	X	X	X
高温渗透	X	X	X	1,2,3	X	X	X	X
声发射检测	3,X	X	X	2,3 ^c	2,3 ^c	2,3 ^c	X	3,X ^c
X射线数字成像检测	1,2,3	1,2,3	1,2,3	3,X	3,X	3,X	X	X
电磁超声检测	2,3	1,2,3	X	X	X	X	X	X
超声导波检测	1,2,3	X	X	X	X	X	X	X
注：1为高度有效；2为中高度有效；3为中度有效；X为低度有效或无效。								
^a 操作温度在 10℃~60℃的设备可以选用表 2 中的检测方法进行在线检测，但应确定设备内介质对检验有效性的影响。 ^b 应用时应注意扫查盲区的大小和方位。 ^c 针对活性裂纹。								

表9 在线监测方法及检验有效性^a

监测方法	损伤形态							
	局部减薄	均匀减薄	点蚀/孔蚀	表面裂纹	近表面裂纹	埋藏裂纹	隔热衬里脱落	氢鼓泡或高温氢腐蚀造成的鼓泡
腐蚀挂片	3,X	2,3	3,X	X	X	X	X	X
电阻探针	3,X	1,2,3	2,3	X	X	X	X	X
壁厚监测系统	2,3	1,2,3	3,X	X	X	X	X	X
Fe 离子监测	3,X	1,2,3	X	X	X	X	X	X
氢通量监测	2,3,X ^b	2,3,X ^b	2,3,X ^b	X	X	X	X	2,3 ^d
红外热成像监测	3,X	X	3,X	X	X	X	1,2	X
在线声发射监测	3,X	X	X	2,3 ^c	2,3 ^c	2,3 ^c	X	3,X ^c

注：1 为高度有效；2 为中高度有效；3 为中度有效；X 为低度有效或无效。

^a 本表所列监测方法可以直接发现对应的损伤形态；其他通过监测相关数据推断潜在损伤的方法（例如设备的状态监测，包括 pH 值、压力、温度、振动等参数的监测方法）可以与本表中的方法相互结合判定设备是否存在相关损伤，其检验有效性参考该方法的有效性。

^b 仅对环烷酸腐蚀。

^c 针对活性裂纹。

^d 仅适用于高温氢腐蚀引起的鼓包

9 检验结果处理

9.1 通则

a) 出现6.1.3 (1)、(3) 的，使用单位应予以整改或消除。

b) 出现6.1.3 (2)、(4)、(5)、(6) 的，应在分别进行检验不合格项、各种故障类型（裂纹、异常变形、衬里层失效等）复检结果基础上，查明缺陷或损伤成因，分析评估对安全使用的影响；针对超温、超压、变更介质或介质腐蚀性组分含量超过设防值等超规定参数、使用范围使用的情形，应评估其对安全使用的影响；对名义壁厚不明的，应根据测厚结果按均匀减薄或局部减薄进行合于使用评价。但所有评估结果不得作为超过设计规定参数使用的依据。

c) 按TSG21和TSG D7005处理检验结果，评定安全状况等级，确定下次检验日期。存在6.1.3 (2)、(4)、(5)、(6) 等严重隐患损伤或缺陷，无法按TSG21和TSGD7005直接处理时，可以进行简化筛选评价。简化筛选评价不通过的可进行合于使用评价，负责承压设备定期检验的检验机构根据简化筛选评价和合于使用评价报告的结论和其他检验项目的检验结果出具检验报告，确定承压设备的安全状况等级，允许运行参数和下次检验日期。

9.2 工程简化筛选评价

9.2.1 腐蚀减薄损伤筛选评价

参考GB/T19624和TSG21等规定，腐蚀减薄损伤筛选评价和推荐检查周期见表10。多因素的，以评级最严重为准。

表 10 腐蚀减薄损伤筛选评价和推荐检查周期

腐蚀程度	腐蚀级别	均匀减薄量	实测最薄处剩余壁厚(mm)				推荐检查周期
			锅炉 (锅壳/炉胆)	容器 (圆筒)	管道 (直管段)	常压储罐 (罐壁板)	
轻微腐蚀	1	≤10%名义壁厚	≥6/8	≥3	≥2	≥6	5年~6年
轻度腐蚀	2	10%~20%名义壁厚	≥6/8	≥3	≥2	≥6	3年~4年，或合于使用评价
中度腐蚀	3	20%~30%名义壁厚	≥6/8	≥3	≥2	≥6	1年~2年，或合于使用评价
严重腐蚀	4	>30%名义壁厚	≥6/8	≥3	≥2	≥6	停止使用，更换，或合于使用评价

注：计算减薄量时应加上未来服役时间的腐蚀量，且实测壁厚不少于15点。

9.2.2 环境开裂损伤筛选评价

参考TSG21和GB/T35013规定，应力腐蚀开裂、表面氢致开裂和应力导向氢致开裂损伤筛选评价和推荐检查周期见11。

表 11 应力腐蚀开裂（表面氢致开裂、应力导向氢致开裂）损伤筛选评价和推荐检查周期

程度	级别	裂纹深度Cmm	裂纹长度A(mm)×裂纹深度C(mm)	裂纹处实测最小剩余壁厚 $t_c - C$ (mm)	推荐检查周期
轻度	1	≤10% t_c 且<12mm	$< 0.1t_c\sqrt{Rt_c}$	≥3mm	2年~3年，或修理或合于使用评价
中度	2	10%~30% t_c 且<12mm	$< 0.1t_c\sqrt{Rt_c}$	≥3mm	1年~2年，或修理或合于使用评价
严重	3	>30% t_c 或≥12mm	$\geq 0.1t_c\sqrt{Rt_c}$	<3mm	停止使用，修理或更换

注1：评价计算壁厚 $t_c = trd - FCA$ ，即非缺陷处实测壁厚减去未来服役时间的腐蚀量。
注2：R为部件评价半径mm。
注3：对于裂纹深度 $C < 30\%t_c$ 且<12mm，同时裂纹处实测最小剩余壁厚≥3mm，而只是裂纹长度 $A(\text{mm}) \times$ 裂纹深度 $C(\text{mm}) \geq 0.1t_c\sqrt{Rt_c}$ 的情形，可以进行更高等级的合于使用评价。

9.2.3 材质劣化损伤筛选评价

9.2.3.1 球化损伤筛选评价

按DL/T 674、DL/T 773、DL/T 787、DL/T 999评级图进行球化评级，筛选评价方法见表12。

表 12 球化损伤筛选评价和推荐检查周期

球化程度	球化级别	组织特征	推荐检查周期
未球化 (原始态)	1	20 号钢: 珠光体区域中的碳化物呈片状。	不影响定级
		15CrMo: 珠光体区域明显, 珠光体中的碳化物呈层片状。	
		12Cr1MoV: 聚集形态的珠光体(贝氏体)、珠光体(贝氏体)中的碳化物并非全部为片层状, 有灰色块状区域存在。	
		2. 25Cr-1Mo: 聚集形态的贝氏体、贝氏体中的碳化物呈粒状。	
轻微球化	2	20 号钢: 珠光体区域中的碳化物开始分散, 珠光体形态明显。	4 年~5 年
		15CrMo: 珠光体区域完整, 层片状碳化物开始分散, 趋于球状化, 晶界有少量碳化物。	
		12Cr1MoV: 聚集形态的珠光体(贝氏体)区域已开始分散, 其组成仍然较为致密, 珠光体(贝氏体)保持原有的区域形态。	
		2. 25Cr-1Mo: 聚集形态的贝氏体区域已分散, 部分碳化物分布于铁素体晶界上, 贝氏体尚保留其形态。	
轻度球化	3	20 号钢: 珠光体区域中的碳化物已分散, 并逐渐向晶界扩展, 珠光体形态尚明显。	3 年~4 年或合于使用评价确定
		15CrMo: 珠光体区域较完整, 部分碳化物呈粒状, 晶界碳化物的数量增加。	
		12Cr1MoV: 珠光体(贝氏体)区域内的碳化物已显著分散, 碳化物已全部成小球状, 但仍保持原有的区域形态。	
		2. 25Cr-1Mo: 贝氏体区域内碳化物明显分散, 碳化物呈球状分布于铁素体晶界上, 贝氏体形态基本消失。	
中度球化	4	20 号钢: 珠光体区域中的碳化物已明显分散, 并向晶界聚集, 珠光体形态尚保留。	2 年~3 年或合于使用评价确定
		15CrMo: 珠光体区域尚保留其形态, 珠光体中的碳化物多数呈粒状, 密度减小, 晶界碳化物出现链状。	
		12Cr1MoV: 大部分碳化物已分布在铁素体晶界上, 仅有极少量的珠光体(贝氏体)区域的痕迹。	
		2. 25Cr-1Mo: 大部分碳化物分布在铁素体晶界上, 部分呈链状。	
严重球化	5	20 号钢: 珠光体形态消失, 晶界及铁素体基体上的碳化物已逐渐长大。	0.5 年~1 年, 或停用修理更换, 或合于使用评价
		15CrMo: 珠光体区域形态特征消失, 只留有少量粒状碳化物, 晶界碳化物聚集, 粒度明显增大。	
		12Cr1MoV: 珠光体(贝氏体)区域形态已完全消失, 碳化物粒子在铁素体晶界上分布, 出现双晶界现象。	
		2. 25Cr-1Mo: 晶界碳化物呈链状并长大。	
注: 球化损伤筛选评价限制条件是无伴随变形、鼓包或开裂。			

9.2.3.2 石墨化损伤筛选评价

按DL/T 786评级图进行石墨化评级，筛选评价见表13。

表 13 石墨化损伤筛选评价和推荐检查周期

石墨化程度	石墨化级别	组织特征	推荐检查周期
轻度石墨化	1	石墨球小, 间距大, 无石墨链	3 年~4 年

中度石墨化	2	石墨球较大，比较分散，石墨链短	1年~2年或合于使用评价
高度石墨化	3	石墨球呈链状，石墨链较长，或石墨聚集呈块状，石墨块较大，具有连续性	0.5年~1年，或合于使用评价
严重石墨化	4	石墨化呈聚集链状或块状，石墨链长，具有连续性	停止使用，更换
注：石墨化损伤筛选评价限制条件是无石墨化引起的伴随裂纹			

9.2.3.3 再热裂纹损伤筛选评价

参考应力腐蚀开裂损伤筛选评价，再热裂纹损伤筛选评价和推荐检查周期见表14。

表 14 再热裂纹损伤筛选评价和推荐检查周期

程度	级别	裂纹深度Cmm	裂纹长度A(mm)×裂纹深度C(mm)	裂纹处实测最小剩余壁厚 t_c-C (mm)	推荐检查周期
轻度	1	$\leq 10\%t_c$ 且 $< 12\text{mm}$	$< 0.1t_c\sqrt{Rt_c}$	$\geq 3\text{mm}$	2年~3年，或修理或合于使用评价
中度	2	$10\% \sim 30\%t_c$ 且 $< 12\text{mm}$	$< 0.1t_c\sqrt{Rt_c}$	$\geq 3\text{mm}$	1年~2年，或修理或合于使用评价
严重	3	$> 30\%t_c$ 或 $\geq 12\text{mm}$	$\geq 0.1t_c\sqrt{Rt_c}$	$< 3\text{mm}$	停止使用，修理或更换

注1：评价计算壁厚 $t_c = \text{trd} - \text{FCA}$ ，即非缺陷处实测壁厚减去未来服役时间的腐蚀量。
注2：R为部件评价半径mm。
注3：对于裂纹深度 $C < 30\%t_c$ 且 $< 12\text{mm}$ ，同时裂纹处实测最小剩余壁厚 $\geq 3\text{mm}$ ，而只是裂纹长度A(mm)×裂纹深度C(mm) $\geq 0.1t_c\sqrt{Rt_c}$ 的情形，可以进行更高等级的合于使用评价。

9.2.4 蠕变损伤筛选评价

9.2.4.1 金相判据

参考DL438和DL/T654等规定，蠕变损伤筛选评价和推荐检查周期见表15。

表 15 蠕变损伤筛选评价和推荐检查周期

程度	评级	金相组织	推荐检查周期
轻微	1	在正常工作压力和温度下，一般的组织变化或碳化物开始析出，但无孔洞	5年~6年

轻度	2	在持久应力下发生的： a. 链状的、具有方向性的、在晶界上的碳化物析出； b. 单个微孔 ^a ，无规则分布； c. 少量微孔，无规则分布；	4年~5年，或合于使用评价
中度	3	开始持久损伤： a. 垂直于主应力方向的微孔； b. 晶界分离 ^b ；	1年~3年，或合于使用评价
重度	4	出现微裂纹 ^c	修理更换或合于使用评价
严重	5	宏观裂纹 ^d	停止使用，更换，或合于使用评价
注：蠕变筛选评价限制条件是炉管蠕胀量超过外径的5%或周长增加超过3%；合金钢管外径蠕变变形小于2.5%，碳钢管外径蠕变变形小于3.5%；12CrMo、15CrMo、12Cr1MoV钢蠕变应变（相对变形量）小于0.75%或蠕变速率小于0.35E-5%/h，2.25Cr-1Mo钢蠕变应变（相对变形量）小于0.5%，其他合金钢蠕变应变（相对变形量）小于1%或蠕变速率小于1E-5%/h。			
^a 晶界上的蠕变孔洞。			
^b 一个晶粒长度。			
^c 多个晶粒长度。			
^d 毫米级。			

9.2.4.2 硬度判据

参考API579规定，满足表23蠕变损伤限制条件下，硬度值降低但不低于表16，且温度不高于表16，则蠕变损伤可接受；或硬度值无变化，且温度不高于表17，则蠕变损伤可接受。

表 16 硬度和温度参考准则

材料	硬度 (HB)	温度 (°C)
2.25Cr-Mo, Q+T	190	440
2.25Cr-1Mo-V, Q+T	200	470
3Cr-1Mo-V, Q+T	200	455
9Cr-1Mo-V	200	580
12Cr-2Mo-V	200	595

表 17 硬度无变化的温度参考准则

材料	温度 (°C)
1.25Cr-0.5Mo, Q+T或N+T	455
2.25Cr-1Mo, Q+T或N+T	480
3Cr-1Mo, Q+T或N+T	480
9Cr-1Mo-V	565

9.2.5 机械疲劳和/或热疲劳损伤筛选评价

参考API579规定的免评准则，机械疲劳和/或热疲劳损伤筛选评价和推荐检查周期见表18、表19、表20。

表 18 疲劳损伤免评准则

结构类型	描述	免评准则
无缺陷整体结构	成型封头过渡区开孔	$N1+N2+N3+N4 \leq 350$
	无裂纹的其他部件	$N1+N2+N3+N4 \leq 1000$
无缺陷非整体结构	成型封头过渡区开孔	$N1+N2+N3+N4 \leq 60$
	无裂纹的其他部件	$N1+N2+N3+N4 \leq 400$
<p>注1：N1包括开停车次数在内的全范围压力循环次数。</p> <p>注2：N2为正常操作期间（不包括开停车），操作压力变化范围大于设计压力20%（整体结构）或15%（非整体结构）的循环次数。</p> <p>注3：N3为正常操作和开停车期间部件2个临近点温差的当量温度循环次数。</p> <p>注4：N4为热膨胀系数不同的材料组成的部件，温度变化范围满足 $(\alpha_1 - \alpha_2) \times \Delta T > 0.00034$ 的温度循环次数，其中，α_1, α_2为线膨胀系数，$\text{mm}/(\text{mm} \cdot ^\circ\text{C})$；$\Delta T$为临近点温差，$^\circ\text{C}$。</p>		

表 19 温度因子和当量温度循环次数确定方法

温度变化范围 ($^\circ\text{C}$)	温度因子
≤ 25	0
26~50	1
51~100	2
101~150	4
151~200	8
200~250	12
> 250	20

表 20 机械疲劳和/或热疲劳损伤筛选评价和推荐检查周期

级别	疲劳评价指标	推荐检查周期
1级	实际循环次数满足表19，且无疲劳裂纹	3年~4年
2级	实际循环次数大于表19，且无疲劳裂纹	1年~2年，或合于使用评价
3级	实际循环次数大于表19，出现疲劳裂纹	修理更换，或合于使用评价
注：实际循环次数应包括未来服役时间的预期循环次数。		

9.3 合于使用评价

9.3.1 通则

9.3.1.1 启动条件

工程简化筛选评价不通过或必要时，即部件有裂纹或严重的超标缺陷时，首先应做消缺处理；若消缺难度大或不能消除时，应用断裂力学方法，按照TSG 21和TSGD7005相应条款的要求，以及GB/T35013和GB/T19624规定进行合于使用评价。

9.3.1.2 运行工况分析

进行合于使用评价时应包括各种可能存在的工况，包括时间上的历史、目前、未来，包括介质中腐蚀性组分的含量变化；工艺上的操作和再生、清焦等。

9.3.1.3 数据类型及获取

- a) 缺陷和损伤尺寸，通过可靠的检测手段获得。
- b) 材料性能数据，按相关设计制造和材料标准选取。
- c) 应力水平数据，可按照相应设计标准计算应力，必要时进行应力分析。应力分析应采用成熟、可靠的方法，并包括各种可能的载荷及其组合。弯矩载荷未知时，可按照相关设计标准的设计准则，反推附在载荷如风载荷、地震载荷、雪载荷、自重等引起的弯矩，但要综合评估过程设计参数选取合理性，避免过于保守或保守不足情况。或者采用有限元分析方法直接进行载荷组合评价。

9.3.1.4 评价方法选择

在役新生损伤或缺陷评价时，应根据缺陷类型或损伤模式和部件类型，选择合适的方法进行评价。如果设备或部件包含多种缺陷或损伤，应分别进行评价，取最保守结果给出评价结论。

9.3.1.5 附加要求

- a) 高温服役环境下，钢中碳化物内含钼量占钢中总含量的比值，12CrMo、15CrMo钢不超过85%，12Cr1MoV钢不超过75%。
- b) 高温服役环境下，合金钢管外径蠕变变形小于2.5%，碳钢管外径蠕变变形小于3.5%时；12CrMo、15CrMo、12Cr1MoV钢蠕变应变（相对变形量）小于0.75%或蠕变速率小于 $0.35E-5\%/h$ ，2.25Cr-1Mo钢蠕变应变（相对变形量）小于0.5%，其他合金钢蠕变应变（相对变形量）小于1%或蠕变速率小于 $1E-5\%/h$ 。

9.3.2 腐蚀减薄损伤合于使用评价

9.3.2.1 均匀减薄损伤评价时，老旧压力容器的圆筒、球壳、椭圆封头、半球形封头、开孔接管等典型承压设备结构应按GB/T35013计算极限内压载荷，老旧压力管道的直管、弯头、三通等典型承压设备结构按GB/T19624附录H和附录I计算极限内压载荷和极限弯矩载荷。

9.3.2.2 局部减薄损伤，GB/T19624和GB/T35013都给出了评价方法。对于局部减薄，如果满足GB/T19624中“凹坑缺陷的安全评定”的使用范围，首先推荐使用GB/T19624中的方法进行评价；否则可按GB/T35013给出的评定方法进行评价。

9.3.2.3 点蚀和局部腐蚀同时存在时，也可偏保守框定局部点蚀（或点蚀和局部减薄组合）损伤区域的物理边界，作为等效局部减薄区（EQLTA），按局部减薄进行评价。

9.3.3 环境开裂损伤合于使用评价

9.3.3.1 氢鼓包和表征为埋藏氢致开裂的损伤,按GB/T35013进行评价;对于密集氢鼓包,将密集HB表征为点蚀群,按点蚀进行评价。

9.3.3.2 含冠顶裂纹或边缘裂纹的氢鼓包(HB)、表面氢致开裂(HIC)以及应力导向氢致开裂(SOHIC)可以直接按照GB/T 19624 进行平面缺陷的断裂和塑性失效评价,或者将裂纹打磨成圆滑凹坑,并按照GB/T19624将凹坑按平面缺陷进行断裂和塑性失效评价,而不必包括裂纹扩展量。

9.3.3.3 应力腐蚀开裂(SSCC)可以打磨成圆滑凹坑,并按照GB/T19624将凹坑按平面缺陷进行断裂和塑性失效评价,而不必包括应力腐蚀裂纹扩展量。或者直接按照GB/T19624进行平面缺陷的断裂和塑性失效评价,按GB/T19624附录D计算缺陷部位的I型应力强度因子KI值,按GB/T15970.6测定的材料在使用环境下的应力腐蚀开裂的界限应力强度因子KISCC,如果 $KI < KISCC$,则不必包括应力腐蚀裂纹扩展量,否则应按GB/T15970.6测定的材料在使用环境下的应力腐蚀裂纹的扩展速率 da/dt ,估算预期未来服役时间对应的裂纹最终尺寸。

9.3.4 材质劣化损伤合于使用评价

9.3.4.1 球化损伤合于使用评价

球化损伤3级及以上时,应根据硬度与强度换算关系确定屈服强度和抗拉强度,采用换算数据或试验数据按原设计规范或标准进行强度校核或进行其他损伤评价;球化损伤且伴随变形、鼓包时,可直接判定评价不通过,或根据变形和鼓包尺寸,结合球化等级进行有限元评价计算;因球化损伤导致开裂的,直接判定评价不通过。

9.3.4.2 石墨化损伤合于使用评价

石墨化损伤为2级和3级的,应采用试验数据和对应石墨化碳钢的 Ω 蠕变数据按GB/T35013进行蠕变损伤评价,同时按照GB/T35013附录B进行脆断评价。石墨化损伤为4级的,或因石墨化损伤导致开裂的,直接判定评价不通过。

9.3.4.3 回火脆损伤合于使用评价

回火脆损伤应按照GB/T35013附录B进行脆断评价。其中,选取部件最低允许工作温度(MAT)的补充内容如下:

a) 部件最低允许工作温度(MAT)应优先取韧脆转变温度实测值。厚壁加氢反应器可以取挂片按照GB/T229进行冲击试验绘制韧脆转变曲线,得到韧脆转变温度(DBTT)和断口形貌转变温度(FATT)值,也可以按照GB/T6803进行落锤试验得到无塑性转变温度(NDTT)。MAT可取DBTT和FATT二者最小值,或者取DBTT、FATT和NDTT三者最小值。

b) 如果无法获得MAT实测值,对于按照国内标准设计建造的部件,MAT初始值可取设计规范或标准中材料的使用温度下限;对于按照ASME 规范设计建造的部件,可根据部件控制厚度和材料冲击试验免除曲线,确定部件MAT初始值。确定MAT修正值时,除了按GB/T35013附录B要求外,还应确定长期服役引起的断口形貌转变温度增量 Δ FATT,按 $MAT = MAT \text{初始值} + \Delta$ FATT计算。

c) 实际服役条件下的断口形貌转变温度增量 Δ FATT按下式计算。

$$\Delta \text{ FATT} = 0.67 \times (\log[\text{Age} - 0.91]) \times \text{SCE} \dots \dots \dots (1)$$

式中,

Δ FATT—实际服役条件下的断口形貌转变温度增量,℃;

Age—服役时间，小时；

SCE—规定的断口形貌转变温度增量，可取15℃。

9.3.4.4 敏化损伤合于使用评价

敏化-晶间腐蚀开裂可以打磨成圆滑凹坑，并按照GB/T19624将凹坑按平面缺陷进行断裂和塑性失效评价，而不必包括裂纹扩展量。或者直接按照GB/T19624进行平面缺陷的断裂和塑性失效评价，按GB/T19624附录D计算缺陷部位的I型应力强度因子KI值，按GB/T15970.6测定的敏化态材料在使用环境下的敏化-晶间腐蚀开裂的界限应力强度因子KISCC，如果 $KI < KISCC$ ，则不必包括裂纹扩展量，否则应按GB/T15970.6测定的敏化态材料在使用环境下的敏化-晶间腐蚀裂纹的扩展速率 da/dt ，估算预期未来服役时间对应的裂纹最终尺寸。

9.3.4.5 再热裂纹损伤合于使用评价

再热裂纹可以打磨成圆滑凹坑，并按照GB/T19624将凹坑按平面缺陷进行断裂和塑性失效评价，而不必包括应力腐蚀裂纹扩展量。或者直接按照GB/T19624进行平面缺陷的断裂和塑性失效评价，而不必包括裂纹扩展量。

9.3.5 蠕变损伤合于使用评价

蠕变损伤2级到4级的，按GB/T35013进行无裂纹蠕变2级评价。蠕变损伤5级的，按GB/T19624进行含裂纹蠕变3级评价程序，计算蠕变裂纹扩展速率 da/dt 和 dc/dt ，包括蠕变裂纹产生前的蠕变损伤和蠕变裂纹扩展损伤的累积效应，同时按GB/T19624进行含裂纹部件的塑性失效和断裂评价。

9.3.6 机械疲劳和/或热疲劳损伤合于使用评价

无初始面型（裂纹类）缺陷的疲劳损伤，应按实际载荷谱，即操作压力、操作温度或其他外载荷波动产生的应力变化范围，及其组合效应，采用JB/T 4732、API579等标准进行疲劳评价。存在疲劳裂纹时，可以打磨成圆滑凹坑，按照GB/T19624进行最大载荷下的凹坑塑性极限承载能力评价，同时按照GB/T19624将凹坑按平面缺陷进行断裂和塑性失效评价，而不必包括疲劳裂纹扩展量。或者按实际载荷谱，采用GB/T19624等标准直接进行疲劳评价，并包括疲劳裂纹扩展量。

9.3.7 蠕变+渗碳交互作用评价

参考GB/T35013或GB/T10618规定，评价计算壁厚应减去渗碳层厚度，采用拉森-米勒Larson-Miller参数法或Manson-Haferd参数法，或通过对比选取两种方法中较保守的评估方法。

9.3.8 高温氢腐蚀损伤合于使用评价

出现高温氢腐蚀损伤引起表面脱碳的，应减去表面脱碳层深度，按减薄损伤进行合于使用评价；出现高温氢腐蚀损伤引起的鼓包时，可按环境开裂中的氢鼓包采用GB/T35013进行评价；出现高温氢腐蚀损伤引起的内部脱碳和微裂纹时，应采用试验数据按照GB/T35013附录B进行脆断评价。

10 安全状况评定结论和报告

10.1 存在6.1.3条第（1）款：“承压设备是未取得许可生产、国家明令淘汰、已经报废或达到报废条件，继续使用的”；和第（3）款：“承压设备安全附件、安全保护装置缺失或失灵，继续使用的；”的严重隐患设备，使用单位应予以整改或消除。

10.2 合于使用评价应给出结论限制条件，比如结论适用于评价的损伤类型、以及允许运行参数、腐蚀性组分含量限定等，并提出日常运行监控措施，如回火脆损伤设备最低升压温度(MPT)限制为40℃，且150℃以下压力不超过正常操作压力的25%等。

10.3 安全状况评价结果不通过的，应停止使用；对于采用维修方式处理的压力容器，必要时可委托原评估单位进行再评定。

10.4 必要时宜考虑进行详细腐蚀原因和失效分析。结合装置的生产工艺特点，从工艺防腐和材料防腐两个方面提出切实可行的防腐蚀措施建议，并对设备检修、更新、改造给出建议。
