

ICS 点击此处添加 ICS 号
点击此处添加中国标准文献分类号

团 体 标 准

T/CASEI XXXXX—XXXX

湿硫化氢环境下使用的钢制固定式压力容器 定期检验规范

Periodical Inspection specification for Fixed Steel Pressure
Vessels Used in Wet Hydrogen Sulfide Environment

XXXX-XX-XX 发布

XXXX-XX-XX 实施

中国特种设备检验协会 发布

目 次

前 言.....	I
1.范围.....	1
2.规范性引用文件.....	1
3.术语和定义.....	1
3.1 湿硫化氢环境.....	1
3.2 湿硫化氢损伤.....	1
3.3 氢鼓泡 Hydrogen blistering (HB)	1
3.4 氢致开裂 Hydrogen induced cracking (HIC)	2
3.5 应力导向氢致开裂 Stress oriented hydrogen induced cracking (SOHIC)	2
3.6 硫化物应力腐蚀开裂 Sulfide stress corrosion crack (SSCC)	2
4.通用要求.....	2
4.1 检验原则.....	2
4.2 检验程序.....	2
4.3 检验机构及人员.....	2
4.4 检验检测设备.....	2
5.检验前的准备工作.....	2
6.检验项目与方法.....	3
6.1 氢鼓泡和氢致开裂的检验.....	3
6.1.1 宏观检验.....	3
6.1.2 可疑部位排查.....	3
6.1.3 可疑缺陷诊断.....	6
6.2 应力导向氢致开裂和硫化物应力腐蚀开裂的检验.....	6
7.安全性评定.....	6
8.检验记录与报告.....	6
9.缺陷及问题的处理.....	7
10.在役监测.....	7
附录 A 湿硫化氢环境下压力容器钢板中典型缺陷的相控阵图像特征判别.....	8
附录 B 湿硫化氢损伤的修理方法.....	16

前 言

本标准按 GB/T 1.1-2009《标准化工作导则 第 1 部分：标准的结构和编写》给出的规则起草。

本标准由中国特种设备检验协会提出并归口。

本标准起草单位：宁波市特种设备检验研究院

本标准参与起草单位：中国特种设备检测研究院、天津市特种设备监督检验技术研究院、广州特种承压设备检测研究院、大连锅炉压力容器检验检测研究院有限公司、江苏省特种设备安全监督检验研究院、中国石油化工股份有限公司镇海炼化分公司、南京工业大学、宁波市劳动安全技术服务公司

本标准主要起草人：

本标准首次发布

湿硫化氢环境下使用的钢制固定式压力容器定期检验规范

1. 范围

本标准规定了湿硫化氢环境下使用的钢制固定式压力容器（以下简称为压力容器）定期检验的主要内容。

本标准适用于湿硫化氢环境下使用的压力容器相关损伤快速排查、缺陷判定、安全性评定，以及合于使用评价、缺陷修理、在役监测的策略。

湿硫化氢环境下使用的钢制压力管道或其他承压设备，若可能发生湿硫化氢损伤可参照本标准执行。

2. 规范性引用文件

下列文件对于本标准的应用是必不可少的。凡是注日期的引用文件，仅所注日期的版本适用于本标准。凡是不注日期的引用文件，其最新版本（包括所有的修改单）适用于本标准。

TSG 21 固定式压力容器安全技术监察规程

NB/T47013承压设备无损检测

GB/T 30579 承压设备损伤模式识别

HG/T 20581 钢制化工容器材料选用规定

GB/T 35013 承压设备合于使用评价

API 579-2/ASME FFS-2 2009合于使用评价方法

3. 术语和定义

TSG 21中界定的以及下列术语和定义适用于本标准。

3.1 湿硫化氢环境

同时满足以下条件者为湿硫化氢环境：

- (1) 温度小于或等于 $(60+2p)$ °C， p 为压力（表压），MPa；
- (2) H_2S 分压 ≥ 0.00035 MPa，即相当于常温在水中的 H_2S 溶解度 ≥ 7.7 mg/L；
- (3) 介质中含有液相水或处于水的露点温度以下；
- (4) $PH < 7.0$ 或有氰化物（HCN）存在。

3.2 湿硫化氢损伤

压力容器在湿硫化氢环境下使用时，钢材表面腐蚀渗氢可引起四种损伤模式，即氢鼓泡（HB）、氢致开裂（HIC）、应力导向氢致开裂（SOHIC）、硫化物应力腐蚀开裂（SSCC）。

3.3 氢鼓泡 Hydrogen blistering (HB)

压力容器接触湿硫化氢的钢材表面，发生腐蚀时反应产生的氢原子可扩散进入钢材内部，在不连续处（如孔洞、夹杂物、分层等）聚集，氢原子结合生成氢分子。在使用条件下氢分子一般不能扩散，氢分子不断增多导致不连续处产生巨大的材料内部氢分压，引起钢材局部塑形变形和撕裂。不连续处靠近钢材表面时，可产生明显的鼓泡状凸起。

3.4 氢致开裂 Hydrogen induced cracking (HIC)

氢致开裂是金属内部不同厚度处,或邻近金属表面的氢鼓泡在氢压作用下相互连接而形成的内部开裂,宏观表现为与表面基本平行的直线状或台阶状裂纹,一般沿钢材轧制方向扩展。

3.5 应力导向氢致开裂 Stress oriented hydrogen induced cracking (SOHIC)

应力导向氢致开裂是一种特殊的氢致开裂,是指在焊接残余应力或其它应力作用下,钢材内氢致开裂沿厚度方向不断迭加、连通,形成垂直于应力方向扩展的裂纹,最终可观察到表面裂纹,一般出现在高应力集中区及焊接接头热影响区,裂纹典型特征为“之”字状扩展。

3.6 硫化物应力腐蚀开裂 Sulfide stress corrosion crack (SSCC)

硫化物应力腐蚀开裂是钢材在拉应力和湿硫化氢的共同作用下,材料发生的脆性断裂,通常更易于在高强度钢中和钢的焊接硬化区域中产生,开裂敏感性的主要影响因素为钢材渗氢量、材料硬度及应力水平。

4. 通用要求

4.1 检验原则

湿硫化氢环境下使用的压力容器定期检验除了按照TSG 21定期检验的相关要求进行外,应重点检验压力容器在湿硫化氢环境下使用时可能产生的损伤。

4.2 检验程序

湿硫化氢环境下使用的压力容器定期检验的一般程序,包括资料审查、检验方案制定、检验前的准备、检验实施、缺陷及问题的处理、检验结果汇总及安全性评价、出具检验报告等。

4.3 检验机构及人员

检验机构应具有特种设备安全监察部门核准的压力容器定期检验资质,并按核准的检验范围从事检验工作;检验人员应具有压力容器检验师资质或者取得压力容器检验员资质四年以上,具备损伤模式识别、风险评估等专业能力;检测人员应当取得相应的特种设备检验检测人员资质证书。

4.4 检验检测设备

检验检测机构除了应按照TSG 21相关要求配备必要的压力容器检验检测相关仪器设备以外,还应配备如下检验检测设备:

- (1) 具备记录连续测厚数据功能的电磁超声检测仪;
- (2) 可搭载电磁超声测厚探头或线圈的爬壁机器人;
- (3) 超声相控阵检测仪。

必要时,可配备TOFD检测仪和高频导波检测仪等无损检测设备,以及现场金相检测仪、硬度检测仪等理化设备。

5. 检验前的准备工作

5.1 湿硫化氢环境下使用的压力容器检验前准备工作按 TSG 21 相关要求进行。

5.2 检验前资料审查时,应根据湿硫化氢环境下压力容器的钢材材质、运行参数以及历次检验结果等筛选出应重点检验的压力容器及其重点检验部位,制定专项检验方案。

5.3 符合以下条件之一的湿硫化氢环境下使用的压力容器应重点检验:

(1) 介质溶液的 pH 值 <4.0 ,且溶解有硫化氢时;或者溶液的 pH 值 >7.6 ,且氰化氢浓度 $>20\text{ppm}$ 时。

(2) 介质溶液中溶解的硫化氢浓度 $>50\text{ppm}$ 时,或者潮湿气体中硫化氢分压大于 0.0003MPa 时,硫化氢分压越大,发生湿硫化氢损伤敏感性越高。

- (3) 介质溶液中硫化铵浓度 $>2\%$ （质量比）时。
- (4) 历次检验曾发现过湿硫化氢损伤的压力容器。
- (5) 历次检验发现分层缺陷或壁厚存在异常的压力容器。
- (6) 金相检验发现存在严重带状组织的压力容器。
- (7) 材质为未采用抗 HIC 钢材的碳钢和低合金钢压力容器，尤其是早期生产且 S 和 P 含量较高的国产钢材。

5.4 重点检验的压力容器其内部应重点检验的部位：

- (1) 有可能导致水相冷凝、喷溅或聚集的有塔盘的塔式容器的蒸汽区域或间歇湿润部位，如塔式容器的变径段以下第一、二个筒节。
- (2) 压力容器的气液交界处附近。
- (3) 硬度异常的压力容器焊接接头部位。
- (4) 压力容器的集液包或疏水罐区域，或低处有水相冷凝的部位。
- (5) 容器金属壁温低于水的露点温度以下的部位。

5.5 重点检验的压力容器，一般应进行内外部检验。进入受限空间检验时，检验人员应配备具有硫化氢气体实时监测和报警功能的报警仪。

6. 检验项目与方法

根据筛选结果，不属于需要重点检验的湿硫化氢环境压力容器定期检验项目，按照 TSG21 有关定期检验项目和方法的规定进行检验，必要时增加壁厚抽查的密度。若发现壁厚异常，则要采用相控阵超声等检测手段确定壁厚异常的原因。

筛选出来需要重点检验的湿硫化氢环境压力容器除了应符合 TSG 21 有关定期检验项目和方法的规定外，针对湿硫化氢损伤模式特点，定期检验时至少应增加以下检验项目。

6.1 氢鼓泡和氢致开裂的检验

6.1.1 宏观检验

宏观检验一般先采用目视方式，对容器内、外壁可能出现的氢鼓泡进行检查。必要时可采用辅助光源（如手电筒），从与容器内壁形成较小倾斜角（一般 $5^{\circ} \sim 10^{\circ}$ ）的方位照射，根据阴影的变化情况确定鼓泡较为明显的部位，必要时可通过手动触摸到方式进行核实。采用辅助光源法观察时，需注意容器壳体曲率的影响。

若容器外侧检验时因环境明亮而无法直接采用辅助光源法，可通过调整检查时间或人工干预的方式，降低环境亮度。必要时可直接采用手动触摸检查的方式。因结构原因等条件限制不能进行直接观察的部位，可使用内窥镜等辅助工具进行宏观检验。

6.1.2 可疑部位排查

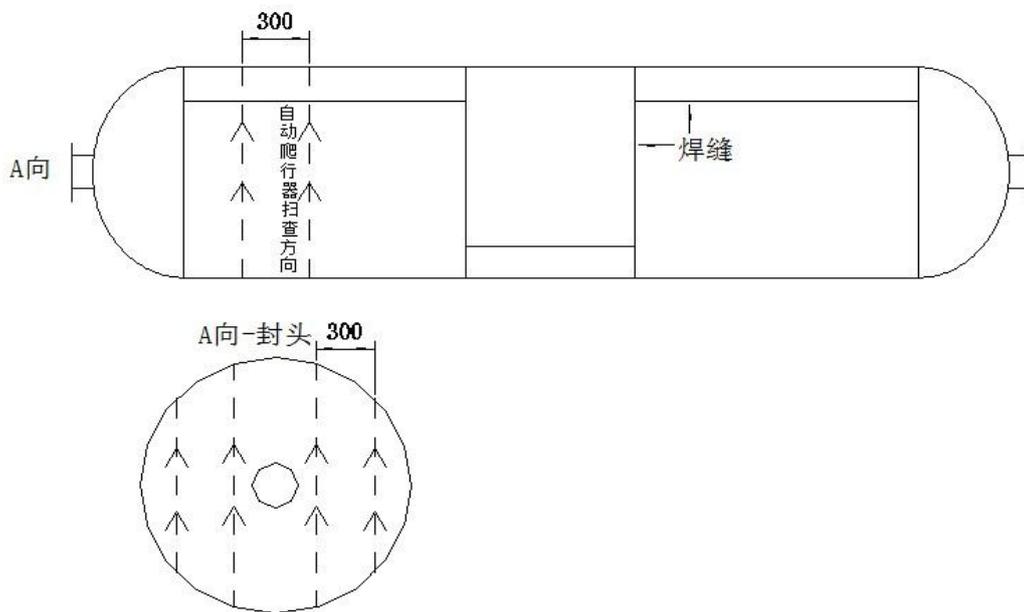
宏观检验发现的可疑部位，如有轻微鼓凸感但变形不明显，或已发现明显氢鼓泡的同一张（批）钢板的其他怀疑可能发生氢致开裂的区域，可采用声学无损检测方法进行抽查。需要抽查的部位面积较大时，优先采用爬行式电磁超声检测方法。面积较小的局部区域可采用常规的脉冲反射式超声波测厚方法或衍射时差法超声检测（TOFD）进行有效检测。受结构或位置限制，无法直接检测到的部位可采用高频导波检测方法。

(1) 爬行式电磁超声检测方法

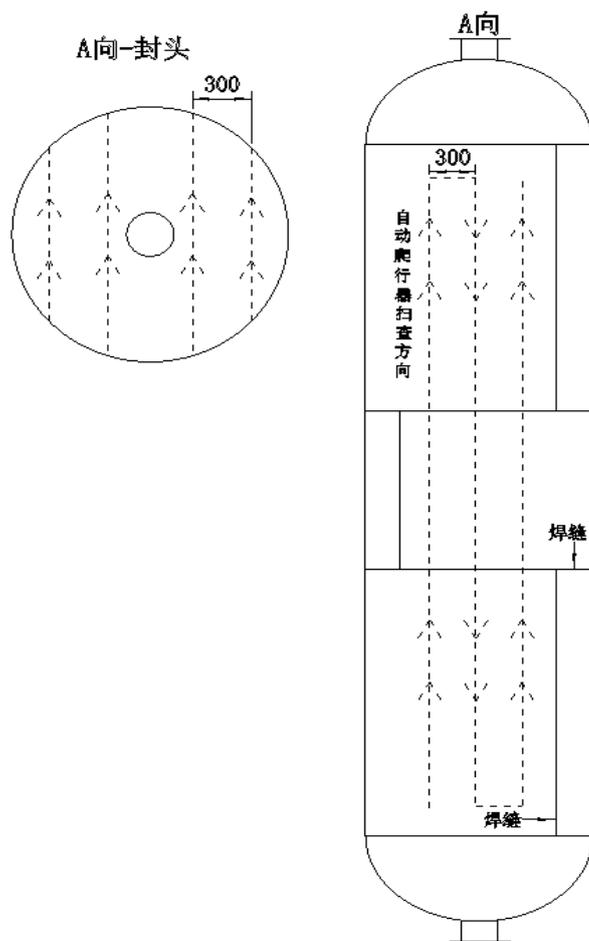
爬行式电磁超声检测方法需要拆除待检部位有干扰的隔热层或容器部件，检测系统应具备自动或手动控制的远程爬行能力，且可越过焊接部位突起的焊缝余高，并同时具有前进、后退、转向功能。电磁超声主机应具有壁厚数据连续记录、C 扫描和 D 扫描成像功能。

爬行式电磁超声检测抽查时，可按图 1 所示以一定的间距进行抽查。对有怀疑的重点部位适当缩小间距，必要时进行整个表面的检测。卧式容器检测时，爬行器在圆筒器壁上的前进方向优先选择周向，立式容器检测时则优先选择轴向，封头检测时按图 1 所示。初步排查时，爬行式电磁超声检测兼顾缺陷检出率和工作效率，一般应保证爬行器相邻扫查间距不超过 300mm。

爬行式电磁超声检测时若发现壁厚值存在异常，应在容器的相应部位进行标识，并绘图记录详细情况。必要时可缩小抽查间距，或对可疑部位进行复验，确定壁厚异常部位的分布情况。



(a) 卧式容器



(b) 立式容器

图 1 爬行式电磁超声检测示意图

(2) 常规脉冲反射式超声波测厚方法

压力容器母材局部可疑部位面积较小，或者因位置受限无法采用爬行式电磁超声检测时，可采用常规超声波测厚法进行抽查。当压力容器的壁厚测量值出现异常时，应在附近区域增加测点，确定异常区域范围。非仪器本身原因的测厚数值不稳定及无读数显示一般均按异常情况处理。

(3) 衍射时差法超声检测 (TOFD) 方法

压力容器局部可疑部位较大面积的手动抽查，可采用 TOFD 方法抽查。TOFD 图谱的直通波与底波间出现较为连续的缺陷波形信号时，母材内部一般可能存在缺陷，应进一步采用其他检测方式确认其是否为湿硫化氢损伤。

(4) 高频超声导波检测方法

爬行式电磁超声检测、常规脉冲反射式超声波测厚、TOFD 检测方法无法检测的部位，可采用高频超声导波方法进行氢鼓泡和氢致开裂的检测，单侧有效扫查范围一般不超过 2 米。检测前，应采用人工缺陷或自然缺陷对比试块进行检测工艺验证。

上述 4 种方法对氢鼓泡和氢致开裂的检测有效性及推荐适用范围见表 1。

表 1 检测方法对比表

快速排查方法	推荐适用范围	检测条件	检出率	效率
爬行式电磁超声检测方法	外检时，容器外径 $\geq 800\text{mm}$ ； 内检时，容器内直径 $\geq 2000\text{mm}$	拆除影响检测的隔热层、内构件等障碍物	高	高
常规脉冲反射式超声波测厚方法	不限	拆除影响检测的隔热层、内构件等障碍物，去除非金属防腐涂层、积	高	低

		垢及铁锈，高处搭设脚手架		
TOFD 检测方法	手动推扫可达部位， 容器壁厚 $\geq 12\text{mm}$	拆除影响检测的隔热层、内构件等障碍物，去除非金属防腐涂层、积垢及铁锈，高处搭设脚手架	高	较高
高频超声导波检测方法	无明显几何不连续处，容器壁厚 $\leq 40\text{mm}$	拆除影响检测的隔热层、内构件等障碍物，去除非金属防腐涂层、积垢及铁锈，高处搭设脚手架	较高	较高

6.1.3 可疑缺陷诊断

对宏观检查发现的鼓泡部位，以及上述检测方法抽查发现的可疑部位，需要对其进行缺陷诊断时，应采用相控阵超声检测方法，确定缺陷的分布、尺寸等情况。缺陷类型判别可参考本标准附录 A。

采用相控阵超声检测方法对缺陷进行诊断时，应同时记录 0° 纵波直入射 C 扫描和横波斜入射 S 型扇扫检测数据，尽可能采用多种有效检测工艺互相复验，并进行综合分析后给定诊断结论。必要时可采用全聚焦相控阵（TFM）方法进行诊断检测。

检测前，应在可疑缺陷部位的母材表面划分正交等距网格，探头沿正交线进行逐条扫查。 0° 纵波直入射 C 扫描和横波斜入射 S 型扇扫检测时探头均须沿同样的网格正交线逐条扫查，必要时可将多条扫查数据拼接后分析。横波斜入射 S 型扇扫检测时，横波声束覆盖角度推荐采用 $35^\circ\text{--}75^\circ$ 。

6.2 应力导向氢致开裂和硫化物应力腐蚀开裂的检验

应力导向氢致开裂和硫化物应力腐蚀开裂的检测以表面无损检测为主，优先采用磁粉检测方法。压力容器外壁可采用黑磁粉进行检测，内壁应采用荧光磁粉检测，对接接头抽查长度应均不少于其总长度的 20%。筛选的重点检验部位母材内表面宜进行荧光磁粉抽检。

碳钢及低合金钢制容器的焊接接头和其他有怀疑的部位应进行硬度测定抽查。当硬度值超过 HB200 时，应结合表面无损检测或金相分析的结果确定有无发生开裂。

发现表面裂纹后，可进一步增加金相分析（如果此前检验未进行）、材质分析、应力分析、介质成分分析、腐蚀产物分析等，综合确定开裂机理。

7. 安全性评定

压力容器的安全性评定原则按 TSG 21 中安全状况等级评定的相关规定执行，且应符合下列要求：

- (1) 检验发现压力容器存在明显的湿硫化氢损伤时，缩短检验周期；
- (2) 发现硫化物应力腐蚀开裂时，一般应先对表面应力腐蚀裂纹进行打磨消除后，根据其深度进行安全性评定。如果不能满足继续安全使用的要求，应予以修复或更换；
- (3) 检验时宏观检查发现其他严重损伤，如有多处明显鼓泡，或表面无损检测发现多处裂纹，且不能确定其可以继续安全使用的，安全状况等级可定为 4 级或 5 级
- (4) 检验时宏观检查发现少量明显鼓泡，或表面无损检测发现少量裂纹，或严重缺陷经过修复处理或合于使用评价后，不影响继续安全使用的，安全状况等级可定为 3 级或 4 级；
- (5) 检验时宏观检查几乎未发现鼓泡，且表面无损检测未发现裂纹，但按表 1 所列的 4 种检测方法以及相控阵超声检测方法发现存在损伤，不影响继续安全使用的，安全状况等级可定为 2 级或 3 级。

8. 检验记录与报告

检验记录填写与检验报告出具按照 TSG 21 的相关规定执行。

所有检验检测记录和原始数据等均应存档，存档保存至该压力容器停用或报废。

9. 缺陷及问题的处理

发现湿硫化氢损伤时，可以进行合于使用评价和修理。

发现的湿硫化氢损伤，若不严重还可按GB/T 35013进行合于使用评价，必要时也可参考国际上比较成熟的规范进行评价，通过评价的缺陷可暂不处理。

严重的湿硫化氢损伤应修复合格后方可投入使用。制定修复方案时，应同时考虑选材、壁厚，以及损伤位置、损伤程度及分布情况等。需要焊接或补焊时，应采用经评定合格的焊接工艺，焊接前应进行消氢处理。为降低损伤敏感性，焊接后一般应进行消应力热处理。湿硫化氢损伤的修理方法可参照附录B进行。

检验发现的除湿硫化氢损伤以外的其它缺陷及问题的处理按照TSG 21的相关规定执行。

10. 在役监测

重大修理以及合于使用评价通过的压力容器，若后续使用过程中缺陷可能扩展，或可能会产生新生损伤时，一般应采取有效措施进行缺陷在役监测，监测时间至少持续到下个检验周期。若发现异常，应根据具体情况采取相应措施。

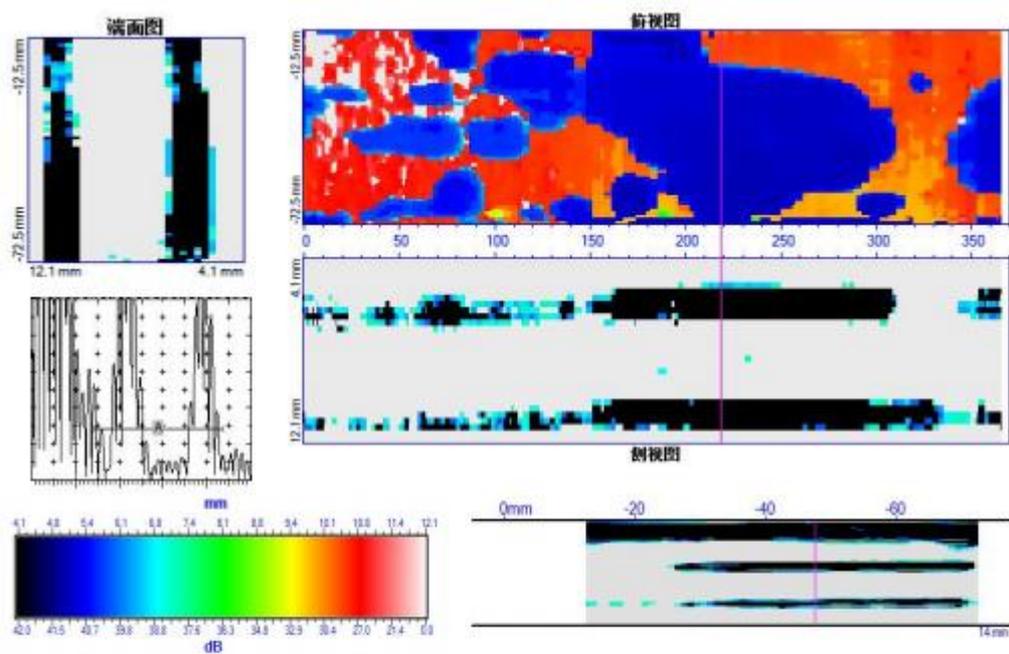
缺陷在役监测可优先采用电磁超声检测方法或声发射检测方法。补板、接管、换板修复的部位若进行在役监测，应同时监测新、老钢板。

附录 A 湿硫化氢环境下压力容器钢板中典型缺陷的相控阵图像特征判别

表 A.1 分层和湿硫化氢损伤的相控阵图像特征

		0° 纵波直入射 C 扫描检测				35-75° 横波斜入射 S 型扇扫图像
		A 扫波形	B、D 扫图像	C 扫图像	底波	
分层	间隙非常小	波幅较高、毛刺较少	平直, 一般靠近钢板中部	较大面积、连续、成像颜色均匀	降低	无
	间隙较大	波幅很高、毛刺较少	平直、多次反射波, 一般靠近钢板中部	较大面积、连续、成像颜色均匀	断开消失	很弱或无端角反射信号
氢致开裂	间隙非常小	波幅不高、毛刺较多	不直、分布于靠近钢板中部不同深度	分散、不规则、成像颜色不均匀	降低	一定的端角反射信号
	间隙较大	波幅较高、毛刺较多	不直、颜色不均匀、分布于靠近钢板中部不同深度	分散、不规则、成像颜色不均匀	断开消失或降低	较强的端角反射信号
氢鼓泡	尺寸较小、密集	波幅较高、毛刺较多	不直、颜色不均匀、分布于靠近钢板内表面不同深度	局部成像颜色均匀、具有一定面积且与正常部位交替出现	降低或断开消失	一定的端角反射信号
	尺寸较大、单个	波幅很高、毛刺较多	不直、颜色不均匀、分布于靠近钢板表面不同深度	一定面积、基本连续、成像颜色不均匀	断开消失或降低	较强的端角反射信号

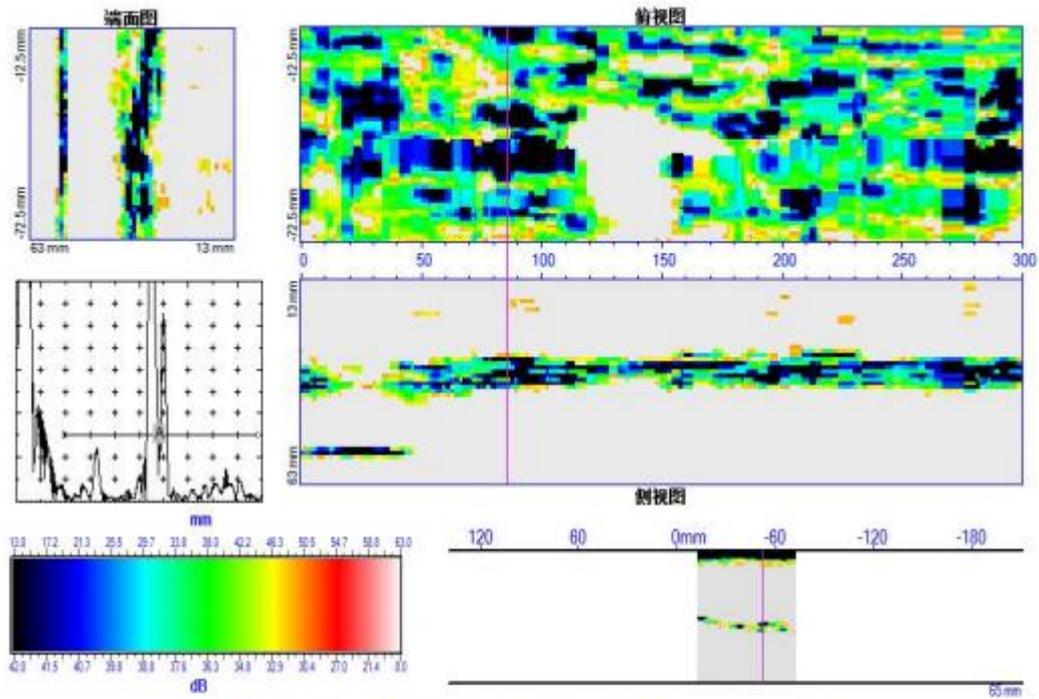
案例：



A.1 压力容器母材自然分层缺陷 (T=10mm, 小间隙水平分层)

检测工艺：0° 纵波直入射线扫检测。

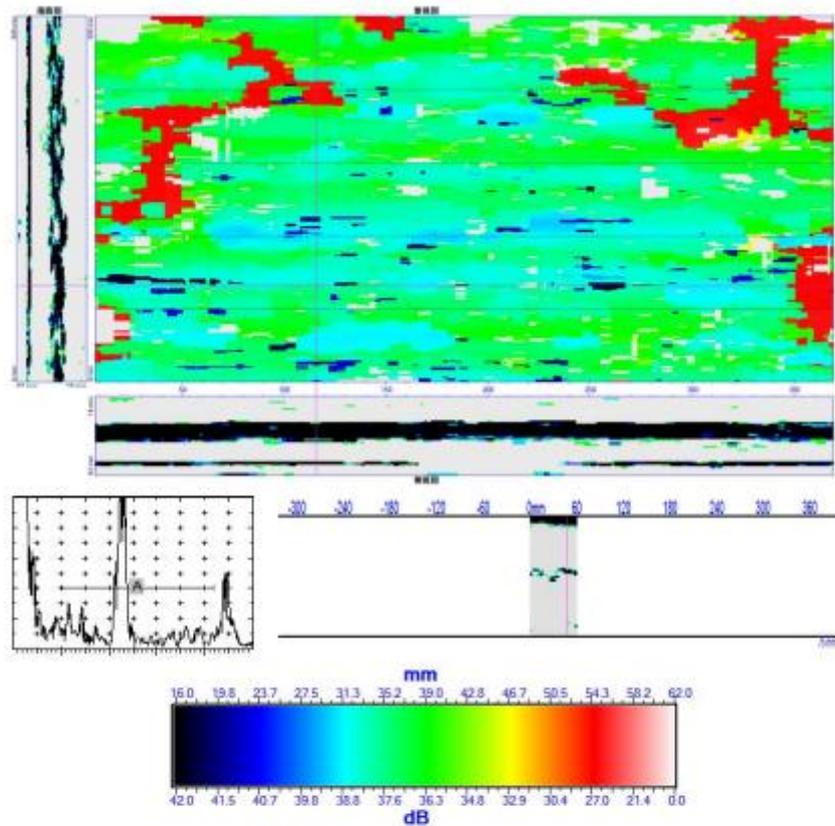
图谱特征：缺陷 C 扫描具有较大面积、连续、颜色均匀的特征，B 扫和 D 扫描成像较为平直且靠近钢板中部，底波稍有降低。



A.2 压力容器母材内壁大尺寸氢鼓泡 HB (T=54mm)

检测工艺: 0° 纵波直入射线扫检测, 单条数据。

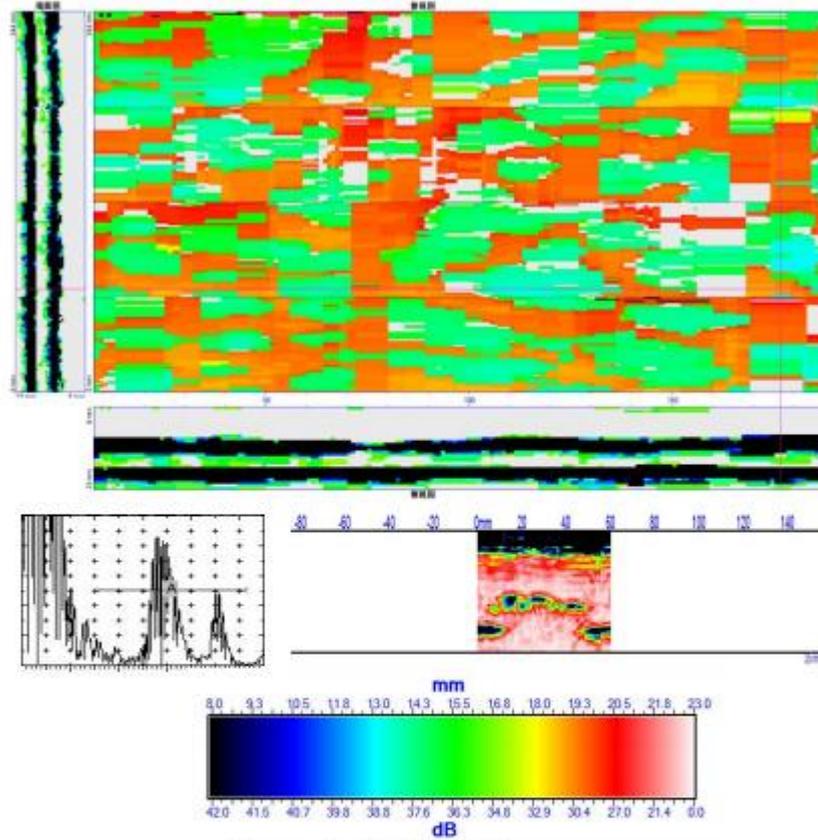
图谱特征: 缺陷 C 扫描具有一定面积、成像颜色不均匀特征, B 扫和 D 扫描呈现出不直、颜色不均匀、分布于靠近钢板内表面不同深度的特征, A 扫波幅很高、毛刺较多, 底波消失或降低; S 型扇扫 (35-75° 横波) 有较强端角反射信号。



A.3 压力容器母材内壁大尺寸氢鼓泡 HB (T=54mm)

检测工艺: 0° 纵波直入射线扫检测, 5 条数据合成。

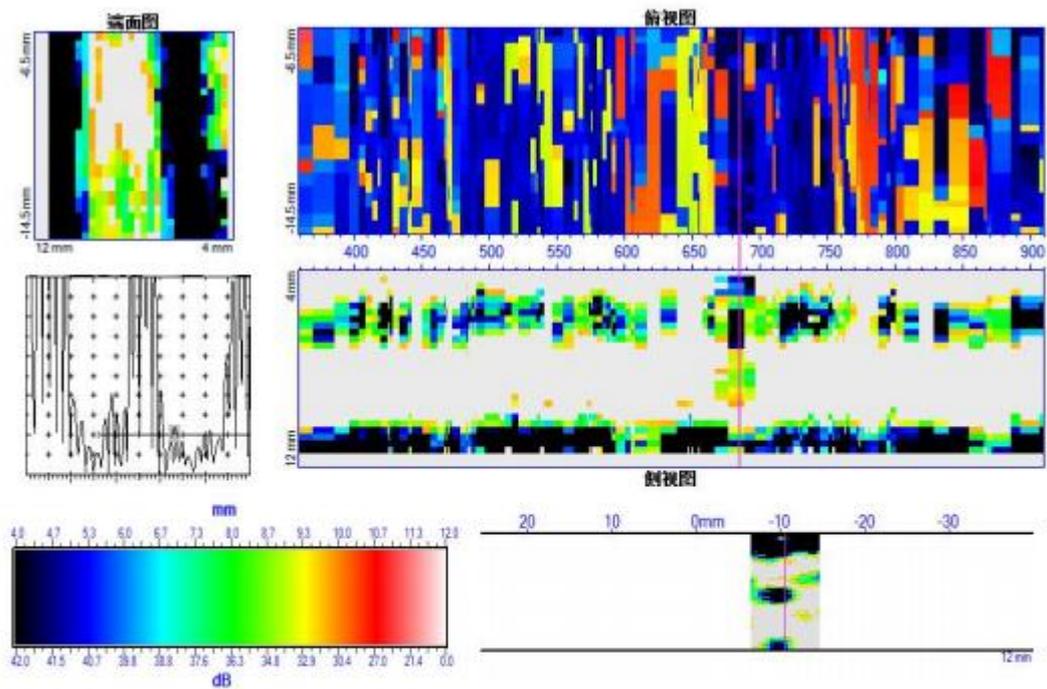
图谱特征: 缺陷 C 扫描具有较大面积、成像颜色不均匀特征, B 扫和 D 扫描呈现出不直、颜色不均匀、分布于靠近钢板内表面不同深度的特征, A 扫波幅很高、毛刺较多, 底波消失或降低; S 型扇扫 (35-75° 横波) 有较强端角反射信号。



A.4 压力容器母材内壁密集氢鼓泡 HB (T=18mm)

检测工艺: 0° 纵波直入射线扫检测, 4 条数据合成。

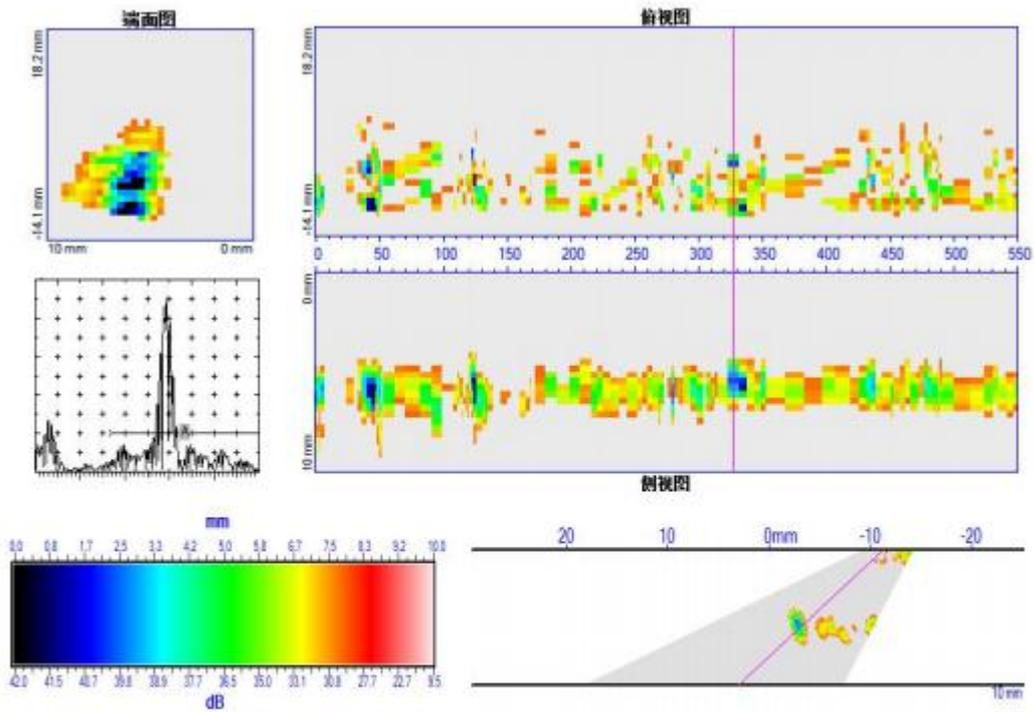
图谱特征: 缺陷 C 扫描局部成像颜色均匀、具有一定面积且与正常部位交替出现, B 扫和 D 扫描呈现出不直、颜色不均匀、分布于靠近钢板内表面不同深度的特征, A 扫波幅较高、毛刺较多, 底波降低或消失; S 型扇扫 (35-75° 横波) 有一定的端角反射信号。



A.5 压力容器母材氢致开裂 HIC (T=10mm)

检测工艺: 0° 纵波直入射线扫检测。

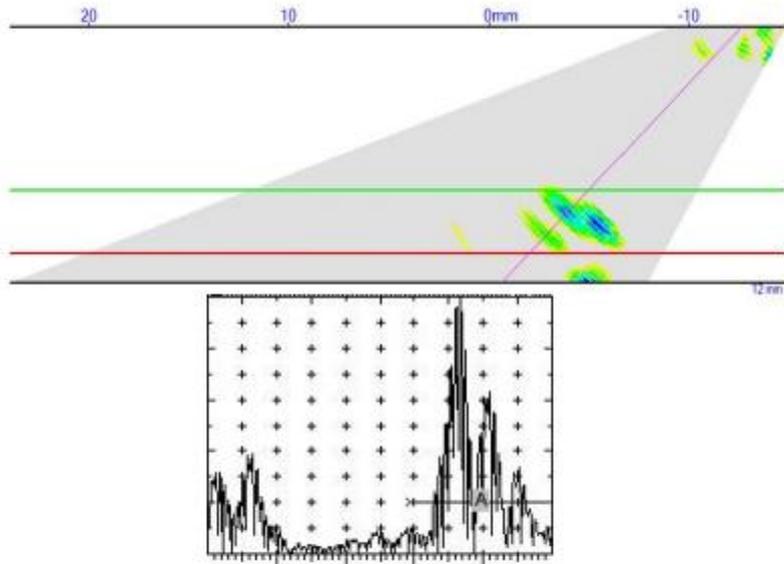
图谱特征: 缺陷 C 扫描图像分散、不规则、成像颜色不均匀, B 扫和 D 扫描呈现出不直、颜色不均匀、分布于靠近钢板中部不同深度的特征, A 扫波幅较高、毛刺较多, 底波降低或消失; S 型扇扫 (35-75° 横波) 有较强的端角反射信号。



A.6 压力容器母材氢致开裂 HIC (T=10mm)

检测工艺: 35-75° 横波斜入射 S 型扇扫检测。

图谱特征: 横波斜入射 S 型扇扫有较强的端角反射信号, 缺陷 C 扫描呈现出分散、不规则、成像颜色不均匀的特征, B 扫和 D 扫描呈现出弯曲、颜色不均匀、分布于靠近钢板中部不同深度的特征, A 扫波幅较高、毛刺较多。



A.7 压力容器母材内表面应力导向氢致开裂 SOHIC (T=12mm)

检测工艺: 35-75° 横波斜入射 S 型扇扫检测。

图谱特征: 横波斜入射 S 型扇扫在靠近内表面处发现较强的端角反射信号，其 A 扫幅较高、毛刺较多，该信号由已扩展至内表面的应力导向氢致开裂裂纹所致。

附录 B 湿硫化氢损伤的修理方法

B.1 修理方法

湿硫化氢损伤的修理方法可分为一般修理和重大修理。

B.2 一般修理

B.2.1 磨削法

若发现的裂纹不深且分布范围较小，或未通过合于使用评价的缺陷，可考虑对缺陷部位进行打磨处理，用磁粉检测确认裂纹已全部消除。打磨形成的凹坑可按 TSG 21 或 GB/T 35013 进行合于使用评价，通过评价时，可不补焊，但应注意圆滑过渡。

B.2.2 堆焊法

打磨形成的凹坑不能通过合于使用评价的，应采用堆焊法进行补焊。

B.3 重大修理

发现的严重损伤，无法按一般修理处理时，应进行重大修理。重大修理应满足 TSG 21 的相关规定，实施方案应经过原设计单位或者具备相应能力的设计单位书面同意。压力容器的重大修理应经当地检验机构监督检验，修复后的压力容器应采取有效措施监控使用不少于一个检验周期。本标准中重大修理主要指挖补和换板。

B.3.1 挖补法

发现的少量严重湿硫化氢损伤，如单个明显鼓泡或深裂纹，可采用局部挖补法进行修复。挖补法通常包括原位堆焊法、补板修复法（图 B.1）和接管修复法（图 B.2）。穿透壁厚的裂纹一般先开止裂孔，然后用碳弧气刨去除裂纹处的钢材，打磨坡口表面，经表面无损检测确认无裂纹等缺陷后，根据“消氢——堆焊——热处理”的流程进行补焊，最后焊接接头应通过检测确保表面和内部均无超标缺陷。补板修复或接管修复法所选用的钢板或钢管，其材质应与压力容器相同或相当，且应采用抗氢致开裂钢。挖补的焊接一般应采用全焊透结构。

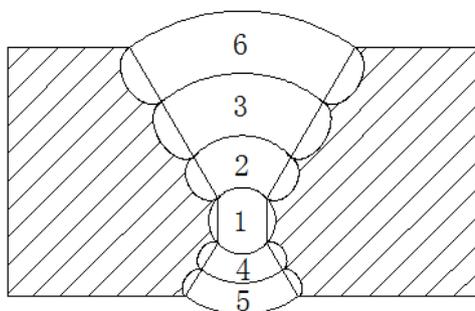


图 B.1 补板修复法示意图

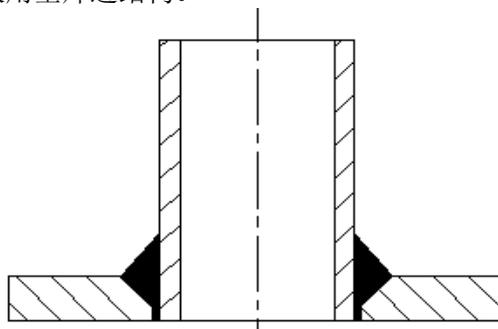


图 B.2 接管修复法示意图

B.3.2 换板法

发现的湿硫化氢损伤严重，且分布范围广，挖补存在困难时，可采用整板更换修复法。即将整块钢板割掉，焊接一块同尺寸同材质的新钢板。换板修复焊接时一般采用双面对接全焊透结构。

《湿硫化氢环境下使用的钢制固定式压力容器定期检验规范》

编制说明

二零一九年十二月

1 工作简况

1.1 任务来源及起草单位

本项目根据中国特种设备检验协会第 X 批团体标准制定计划的要求进行起草，任务计划编号为 2017025，2018 年 1 月 5 日批准，项目名称为《湿硫化氢环境下使用的钢制固定式压力容器定期检验规范》。该项目由宁波市特种设备检验研究院牵头，中国特种设备检测研究院、天津市特种设备监督检验技术研究院、大连锅炉压力容器检验检测研究院有限公司、广州特种承压设备检测研究院、江苏省特种设备安全监督检验研究院、中国石油化工股份有限公司镇海炼化分公司、南京工业大学、宁波市劳动安全技术服务公司等单位参与起草。计划完成时间：2019 年 12 月。

1.2 主要工作过程

起草阶段：在接受制定任务后，我们首先收集了国内外与湿硫化氢环境下固定式压力容器定期检验有关的技术标准及行业管理规范，并于 2019 年 3 月 12 日在前期的准备、酝酿后在浙江宁波召开了首次起草工作会议；起草工作组进行了内部的分工并按照内部拟定的工作计划于 2019 年 5 月 18 日前形成初稿并向起草工作组内部征求意见，经内部讨论后形成《湿硫化氢环境下使用的钢制固定式压力容器定期检验规范》（草案）。2019 年 12 月 26 日至 27 日起草工作组在浙江宁波召开了第二次工作会议，会议主要针对《湿硫化氢环境下使用的钢制固定式压力容器定期检验规范》（草案）进行集中讨论并形成了征求意见稿。

征求意见阶段：2020 年 3 月在全国范围内向全行业公开征求意见，并在中国特种设备检验协会网站上公布。

1.3 主要参加单位和工作组成员

本标准主要起草单位：宁波市特种设备检验研究院、中国特种设备检测研究院、天津市特种设备监督检验技术研究院、广州特种承压设备检测研究院、大连锅炉压力容器检验检测研究院有限公司、江苏省特种设备安全监督检验研究院、中国石油化工股份有限公司镇海炼化分公司、南京工业大学、宁波市劳动安全技术服务公司等单位。

本标准主要起草成员：黄焕东、陈定岳、史进、陈虎、王杜、牛卫飞、李茂东、王海明、刘子方、王志成、孙炯明、姜勇、柴军辉、汪文锋、沈正祥、钱盛杰。

2 标准编制相关说明

2.1 标准编制必要性

湿硫化氢环境在炼油装置中广泛存在，随着炼油装置中固定式压力容器（以下简称压力容器）的大型化、复杂化及大量进口高硫高酸原油的炼制，湿硫化氢损伤导致的压力容器安全问题日益严峻，严重威胁着炼油装置的长周期连续安全运行，炼油企业对此有着迫切的检验需求。

虽然国内外关于氢鼓泡、氢致开裂等湿硫化氢损伤导致压力容器失效的案例屡见不鲜。但在定期检验时，因湿硫化氢损伤主要存在于壳体母材，具有较强的隐蔽性，如何在众多压力容器中筛选出容易发生湿硫化氢损伤的压力容器以及重点检验部位，如何在有限的停工检修时间内实现湿硫化氢损伤的快速检出和缺陷性质诊断，以及发现损伤后如何开展合于使用评价和在役监测，这些关键问题在相关标准规范如 TSG 21-2016《固定式压力容器安全技术监察规程》中并未明确规定，按照常规检测方法容易造成具有较大危害性的湿硫化氢损伤漏检或误判。因此制订湿硫化氢环境下使用的钢制固定式压力容器定期检验规范很有必要。

2.2 编制的原则

在编制过程中，本着以下原则对标准进行了起草：

——广泛征求检验机构、生产企业、高校等单位的意见和建议，在协商一致的基础上，结合我国多年来的生产实践和检验机构的经验，本着科学、严谨和合理的态度制定此标准；

——保证标准质量，使标准能够满足当前生产技术条件下的发展，促进生产技术水平提高，规范市场经济秩序和检验机构的检验行为，并为特种设备的监督管理提供科学的技术依据和支撑。

——按照 GB/T 1.1-2009《标准化工作导则 第1部分：标准的结构和编写》给出的规则进行编写。

2.3 标准主要内容的说明

本标准包括范围、规范性引用文件、术语和定义、通用要求、检验前的准备工作、检验项目与方法、安全性评定、检验记录与报告、缺陷及问题的处理、在役监测十个部分内容和两个资料性附录 A 和 B。

2.3.1 范围

本章规定了湿硫化氢环境下使用的钢制固定式压力容器定期检验的主要内容，以及本标准的适用范围。

2.3.2 规范性引用文件

本章列出了本标准条款中直接引用的技术规范和标准，包括：

TSG 21 固定式压力容器安全技术监察规程

NB/T 47013 承压设备无损检测

GB/T 30579 承压设备损伤模式识别

HG/T20581 钢制化工容器材料选用规定

GB/T 35013 承压设备合于使用评价

API 579-2/ASME FFS-2 2009 合于使用评价方法

2.3.3 术语和定义

本章规定 TSG 21 中界定的术语和定义适用于本标准，并给出了湿硫化氢环境和湿硫化氢损伤（氢鼓泡 HB、氢致开裂 HIC、应力导向氢致开裂 SOHIC、硫化物应力腐蚀开裂 SSCC 四种损伤模式）的定义。

国内外关于湿硫化氢环境的定义主要有三种：

(1) 国际上湿硫化氢环境的定义是根据美国腐蚀工程师协会 (NACE) 的 MR0175-97 “油田设备抗硫化物应力开裂金属材料”标准：(a) 酸性气体系统：气体总压 $\geq 0.4\text{MPa}$ ，并且 H_2S 分压 $\geq 0.0003\text{MPa}$ ；(b) 酸性多相系统：当处理的原油中有两相或三相介质（油、气、水）时，条件可放宽为：当气相总压 $\geq 1.8\text{MPa}$ 时 H_2S 分压 $\geq 0.0003\text{MPa}$ ；当气相压力 $\leq 1.8\text{MPa}$ 时 H_2S 分压 $\geq 0.07\text{MPa}$ ；或气相 H_2S 含量超过 15%。

(2) 1985 年中石化总公司起草的“防止湿硫化氢环境中压力容器失效的推荐方法”中关于湿硫化氢环境的定义是：“在 H_2O 和 H_2S 同时存在的环境中，当 H_2S 分压 $\geq 0.00035\text{MPa}$ 时，或在 H_2O 和 H_2S 同时存在的液化石油气中，液相 H_2S 含量 $\geq 10 \times 10^{-6}$ 时则成为湿硫化氢环境。”此规定基本上与 NACE 的规定相一致，只是根据常温下硫化氢在分

压 0.00035MPa 时的溶解度补充了液相硫化氢的含量为 10×10^{-6} 的规定。

(3) HG/T20581-2011《钢制化工容器材料选用规定》标准中对湿硫化氢环境的定义也基本上沿用上述规定。该标准定义当化工容器接触的介质同时满足下列各项条件时,即为湿硫化氢环境:(a) 温度小于或等于 $(60+2p)^\circ\text{C}$, p 为压力, MPa (表压); (b) H_2S 分压大于或对于 0.00035MPa, 即相当于常温在水中的 H_2S 溶解度大于或等于 7.7mg/L; (c) 介质中含有液相水或处于水的露点温度以下; (d) $\text{pH} < 7$ 或有氰化物 (HCN) 存在。

考虑到通常化工企业所提供的介质资料情况, 本章所规定的湿硫化环境的定义参照 HG/T20581-2011《钢制化工容器材料选用规定》标准。

本章所规定的四种湿硫化氢损伤模式的定义主要参照 GB/T 30579-2014《承压设备损伤模式识别》, 同时参照质检总局科技计划项目《湿硫化氢环境下石化装置宏观损伤检测与诊断技术研究》(项目编号 2014QK172)的研究成果。

2.3.4 通用要求

本章规定了湿硫化氢环境下使用的压力容器定期原则、检验程序、检验机构及人员、检验检测设备的要求。基本按照 TSG 21 定期检验的相关要求进行, 另外根据湿硫化氢损伤的特点提出一些新的要求。

2.3.5 检验前的准备工作

本章规定了湿硫化氢环境下压力容器定期检验前的准备工作, 结合湿硫化氢损伤的特点, 重点突出了检验前的相关准备工作, 并根据湿硫化氢环境下压力容器的钢材材质、运行参数以及历次检验结果等, 筛选出应重点检验的压力容器及其重点检验部位, 制定专项检验方案, 并提出进入受限空间检验时的安全事项。应重点检验的压力容器及其重点检验部位主要参照 GB/T 30579《承压设备损伤模式识别》和质检总局科技计划项目《湿硫化氢环境下石化装置宏观损伤检测与诊断技术研究》(项目编号 2014QK172)的研究成果。

2.3.6 检验项目与方法

本章依托质检总局科技计划项目《湿硫化氢环境下石化装置宏观损伤检测与诊断技术研究》(项目编号 2014QK172)的研究成果, 根据湿硫化氢损伤的分布规律和特点, 规定了检验压力容器在使用过程中产生的湿硫化氢损伤的检验项目和方法。

根据筛选结果,不属于重点检验的湿硫化氢环境压力容器定期检验项目,按照 TSG21 有关定期检验项目和方法的规定进行检验,必要时增加壁厚抽查的密度。若发现壁厚异常,则要采用相控阵超声等检测手段确定壁厚异常的原因。

筛选出来需要重点检验的湿硫化氢环境压力容器除了应符合 TSG 21 有关定期检验项目和方法的规定外,针对湿硫化氢损伤模式特点,定期检验时至少应增加以下检验项目:(1) 氢鼓泡和氢致开裂的检验项目:包括宏观检验(针对氢鼓泡和氢致开裂的宏观检验方法)、可疑部位排查方法(给出各种快速排查方法的要点及有效性比较)、可疑缺陷诊断方法等。(2) 应力导向氢致开裂和硫化物应力腐蚀开裂的检验项目:包括内外壁磁粉检测、硬度测定、金相检验、腐蚀产物分析等。提出了一套以爬行式电磁超声检测快速排查壁厚可疑部位、相控阵超声精确诊断缺陷性质为主的湿硫化氢损伤检验方法,湿硫化氢环境下压力容器钢板中典型缺陷的相控阵定性诊断方法可参照附录 A。本章检验项目和方法的规定充分考虑湿硫化氢环境下压力容器定期检验的特点和现场实际,兼顾科学性、有效性和可行性。

2.3.7 安全性评定

本章规定了湿硫化氢环境下压力容器定期检验的安全状况等级按照 TSG 21《固定式压力容器安全技术监察规程》的相关规定执行,并分别给出发生不同湿硫化氢损伤模式时的安全状况等级评定要求。

2.3.8 检验记录与报告

本章规定了检验记录与报告按照 TSG 21《固定式压力容器安全技术监察规程》的相关规定执行,并规定了湿硫化氢环境下压力容器的检验记录与报告的存档要求。

2.3.9 缺陷及问题的处理

本章给出了针对湿硫化氢损伤的处理方法,包括合于使用评价和修理。

缺陷修理方法作为附录 B,主要参考王晓雷等撰写的《在用压力容器氢鼓包检验、修复补焊与预防》,中国锅炉压力容器安全,2002 年 05 期和 06 期。

对于损伤不严重或暂时无法进行修理改造时,可以进行合于使用评价,采用 GB/T 35013《承压设备合于使用评价》或参考国际上比较成熟的规范如 API 579-2/ASME FFS-2 2009《合于使用评价方法》进行评价。

检验发现的除湿硫化氢损伤以外的其它缺陷及问题的处理按照TSG 21的相关规定执行。

2.3.10 在役监测

本章规定了重大修理以及合于使用评价通过的压力容器一般都要采取有效措施进行在役监控，并给出了在役监控方法和步骤。

2.3.11 附录 A

本附录给出了湿硫化氢环境下压力容器钢板中典型缺陷的相控阵图像特征判别方法和典型缺陷相控阵图像案例。

2.3.12 附录 B

本附录给出了湿硫化氢损伤的修理方法。

3 主要试验情况分析

宁波市特种设备检验研究院在2014年-2019年的宁波石化经济技术开发区及宁波大榭开发区十余家大型石化企业开展试验工作，主要包括中国石油化工股份有限公司镇海炼化分公司、宁波镇海炼化利安德化学有限公司、宁波中金石化有限公司、恒河材料科技股份有限公司、中海油大榭石化有限公司等，对本标准的检验方法进行了验证，试验结果证明：该方法切实可行，具有可操作性。

本标准还给出了含湿硫化氢损伤压力容器的合于使用评价、缺陷修复、在役监测。严格执行本标准规定的试验方法并遵循本标准推荐的判定准则，能有效地提高湿硫化氢环境下压力容器定期检验的检验质量和石化装置的长周期安全运行。

4 预期达到的社会效益

通过本标准的制定，达到提高石化装置中湿硫化氢环境下压力容器定期检验质量、能力和技术水平。

5 涉及专利的情况

本标准尚未识别出涉及专利。

6 采国国际标准的程度，与国际同类标准水平的对比

本标准没有采用国际标准。

标准制定过程中未查到同类国际、国外标准。本标准制定过程中未测试国外的样品

和样机。本标准水平为国内领先水平。

7 与有关的现行法律、法规和强制性国家标准的关系

本标准与现行的相关法律、法规、规章及相关标准协调一致。

8 重大分歧意见的处理经过和依据

本标准在制定过程中无重大分歧。

9 贯彻标准的要求和措施建议

建议本标准作为推荐性团体标准并由中国特种设备检验协会发布。

建议标准发布六个月后实施。

10 废止现行有关标准的建议

暂无废止有关标准的建议。

11 其他应予说明的事项

无。

标准起草工作组

2019 年 12 月 29 日