



中华人民共和国国家标准

GB/T 36669.1—2018

在用压力容器检验 第 1 部分：加氢反应器

In-service pressure vessel inspection—Part 1: Hydrogenation reactor

2018-09-17 发布

2019-04-01 实施

国家市场监督管理总局
中国国家标准化管理委员会 发布

目 次

前言 III

1 范围 1

2 规范性引用文件 1

3 符号 1

4 通用要求 1

5 检验实施 2

6 检验报告 7

附录 A（资料性附录） 潜在的损伤模式及检验方法 8

前 言

GB/T 36669《在用压力容器检验》拟分为以下四个部分：

- 第 1 部分：加氢反应器；
- 第 2 部分：多层包扎容器；
- 第 3 部分：焦炭塔；
- 第 4 部分：氧舱。

本部分为 GB/T 36669 的第 1 部分。

本部分按照 GB/T 1.1—2009 给出的规则起草。

本部分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。

本部分起草单位：中国特种设备检测研究院、合肥通用机械研究院、国家市场监督管理总局特种设备安全监察局、江苏省特种设备安全监督检验研究院、中国石油天然气股份有限公司炼油与化工分公司、中国石油化工股份有限公司、中国石油化工股份有限公司北京燕山分公司、神华集团有限责任公司、中国神华煤制油化工有限公司鄂尔多斯煤制油分公司、中国第一重型机械集团大连加氢反应器制造有限公司、江苏斯尔邦石化有限公司、中国石油天然气股份有限公司克拉玛依石化分公司、中国石化工程建设有限公司。

本部分主要起草人：谢国山、陈学东、杜顺学、刘三江、汪逸安、范志超、缪春生、宋晓江、王建军、汪剑波、臧庆安、胡庆斌、胡明东、周裕峰、周凤革、杨瑞平、赵敏珍、尹青锋、尹志刚。

在用压力容器检验

第 1 部分:加氢反应器

1 范围

GB/T 36669 的本部分规定了在用热壁加氢反应器定期检验的项目和方法。

本部分适用于主体材质为 14Cr1MoR(或其他 1.25Cr-0.5Mo 钢)、12Cr2Mo1R(或其他 2.25Cr-1Mo 钢)、12Cr2Mo1VR(或其他 2.25Cr-1Mo-0.25V 钢)等铬钼钢、内表面有带极堆焊防腐层的在用热壁加氢反应器定期检验。与加氢反应器具有相似工艺条件、材料、结构形式的设备可参照使用本部分。

本部分不适用于在用冷壁加氢反应器定期检验。

2 规范性引用文件

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

GB/T 229 金属材料 夏比摆锤冲击试验方法

GB/T 1954 铬镍奥氏体不锈钢焊缝铁素体含量测量方法

GB/T 13298 金属显微组织检验方法

GB/T 17394.1 金属材料 里氏硬度试验 第 1 部分:试验方法

GB/T 30579 承压设备损伤模式识别

NB/T 47013.3 承压设备无损检测 第 3 部分:超声检测

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 47013.9 承压设备无损检测 第 9 部分:声发射检测

NB/T 47013.10 承压设备无损检测 第 10 部分:衍射时差法超声检测

TSG 21 固定式压力容器安全技术监察规程

3 符号

下列符号适用于本文件。

J ——按 GB/T 30579 计算的加氢反应器铬钼钢母材金属回火脆化敏感性因子(称为 J 因子),无量纲;

X ——按 GB/T 30579 计算的加氢反应器铬钼钢焊缝熔敷金属回火脆化敏感性因子(称为 X 因子),mg/kg。

4 通用要求

4.1 机构和人员要求

采用本部分实施在用加氢反应器定期检验的机构应具有相应资质。检验机构应对加氢反应器检验报告的真实性、准确性、有效性负责。加氢反应器检验人员应取得相应资格;应了解加氢反应器损伤模

式,具备材料、腐蚀等相关的知识背景以及检测相关的实践经验;检测人员应取得相应级别无损检测资格。

4.2 检验工作程序和检验前的准备工作

4.2.1 检验程序

在用加氢反应器定期检验工作的一般程序,包括检验方案制定、检验前的准备工作、检验实施、缺陷及问题的处理、安全状况等级评定、出具检验报告等。

4.2.2 检验前的准备工作

4.2.2.1 检验前检验机构应根据加氢反应器的使用情况、损伤模式及失效模式,依据 TSG 21 和本部分的要求制定检验方案。加氢反应器的主要损伤模式包括回火脆化、氢脆、堆焊层氢致剥离、高温氢腐蚀、高温硫化物腐蚀(氢气环境)、连多硫酸应力腐蚀开裂、氯化物应力腐蚀开裂、蠕变、球化(超温导致)等。加氢反应器潜在的失效模式包括韧性断裂、脆性断裂、腐蚀、应力腐蚀等。部分损伤模式的推荐检验方法和检验部位参见附录 A。

4.2.2.2 检验前检验人员应进行资料审查,重点审查与加氢反应器损伤相关的资料内容,如操作工况、运行记录、开停车记录、材质元素分析结果、反应器进料腐蚀性介质分析结果、损伤维修资料等。对于实施外部检验的检验方案,检验机构应征求使用单位的意见。检验人员应严格按照批准的检验方案进行检验工作。

4.2.2.3 现场条件、检测设备、安全防护等应满足 TSG 21 的规定。

5 检验实施

5.1 总则

5.1.1 加氢反应器的定期检验除满足本部分中规定的项目外,还应满足 TSG 21 中规定的其他检验项目和要求。

5.1.2 加氢反应器的定期检验应优先采用进入加氢反应器内部检验的方式。

5.1.3 检验项目以宏观检验、保温层与堆焊层检测、壁厚测定、表面缺陷检测、埋藏缺陷检测、螺柱检验、硬度检测、铁素体含量测定(首次检验进行)为主,必要时增加挂片检验、强度校核、金相分析、耐压试验等项目。

5.1.4 应根据加氢反应器的具体情况对不同的检验项目选择适当的检验比例,发现缺陷时应扩大检验比例。

5.2 检验项目

5.2.1 宏观检验

宏观检验主要是采用目视方法,必要时利用内窥镜、放大镜或其他辅助仪器设备检验加氢反应器的本体结构、几何尺寸、表面情况以及焊缝、保温层、堆焊层等。其中结构和几何尺寸检验应在首次检验时进行,此后定期检验的重点是存在问题部位的新生缺陷。宏观检验应包括但不仅限于以下内容:

- a) 结构检验
 - 1) 封头型式;
 - 2) 封头与筒体的连接;
 - 3) 开孔位置及补强;
 - 4) 纵(环)焊缝的布置及型式;

- 5) 裙座(或者支承、支座)的型式与布置。
- b) 几何尺寸检验
 - 1) 筒体同一断面上最大内径与最小内径之差;
 - 2) 纵(环)焊缝对口错边量、棱角度、咬边、焊缝余高等。
- c) 外观检验
 - 1) 铭牌和标志;
 - 2) 外表面及堆焊层的腐蚀;
 - 3) 主要受压元件及其焊缝裂纹、泄漏、鼓包、变形、机械接触损伤、过热;
 - 4) 工卡具焊迹、电弧灼伤;
 - 5) 裙座(或支承、支座)或基础的下沉、倾斜、开裂;
 - 6) 排放(疏水、排污)装置的堵塞、腐蚀、沉积物;
 - 7) 密封紧固件及地脚螺栓完好情况;
 - 8) 法兰、密封面及其紧固螺栓、凸台(或支撑圈)、冷氢入口、吊耳热电偶套管处及附近区域用5倍~10倍放大镜检查是否有裂纹。

5.2.2 保温层和堆焊层检验

保温层和堆焊层检验一般包括以下内容:

- a) 保温层的破损、脱落、潮湿;
- b) 首次检验时一般应拆除局部过热、接管、封头过渡段与裙座或筒体的对接焊缝等重点部位的保温层,以检验是否有潜在的延迟裂纹;
- c) 下次检验时,应拆除上次检验发现裂纹、过热等部位的保温层,以验证损伤是否再次发生或加重;
- d) 堆焊层表面裂纹、延迟裂纹、剥离、脱落、局部鼓包与机械损伤等缺陷,并测定其深度、直径或长度及分布。

5.2.3 壁厚测定

5.2.3.1 壁厚测定,一般采用超声测厚和超声检测仪,按照 NB/T 47013.3 的要求分别测定母材厚度和堆焊层厚度。

5.2.3.2 壁厚测定应覆盖下列部位:

- a) 宏观检验有减薄、腐蚀等发生的部位,重点测量堆焊层厚度;
- b) 上下封头、筒节;
- c) 反应器的上下封头油气入口和出口管、卸剂管等接管;
- d) 物料进出口弯管。

5.2.3.3 壁厚测定应有足够的测点数。测定后标图记录,对异常测厚点做详细标记。如定点测厚部位发现壁厚增加,应考虑母材发生高温氢腐蚀的可能性,并进行重点检测。

5.2.4 表面缺陷检测

5.2.4.1 表面缺陷检测的方法应按照 NB/T 47013.4 及 NB/T 47013.5 的要求进行。

5.2.4.2 加氢反应器一般外表面应进行磁粉检测,注意检验可能出现的延迟裂纹和再热裂纹。外表面无法进行磁粉检测的部位,应采用渗透检测。内表面应进行渗透检测。

5.2.4.3 磁粉检测抽查部位一般包括:

- a) 反应器本体 A、B 类焊接接头,抽查比例不低于 20%;
- b) 反应器下封头过渡段与裙座连接接头;

- c) 反应器上下物料出入口接管对接环向接头；
- d) 上弯管吊耳焊接接头；
- e) 反应器外部连接件角接接头；
- f) 插入式接管(如人孔、急冷氢入口管、卸料管、插入式热电偶套管等)与本体焊接接头；
- g) 使用过程中超温部位；
- h) 宏观检验发现裂纹的部位。

5.2.4.4 渗透检测抽查部位一般包括：

- a) 上下封头内表面堆焊层；
- b) 急冷氢入口段堆焊层环口周边区域；
- c) 凸台上、下堆焊层 500 mm 范围(具备条件时)；
- d) 反应器内壁手工补焊部位；
- e) 人孔接管法兰密封面及金属密封环；
- f) 热电偶套管及附近区域内壁堆焊部位；
- g) 使用过程中超温部位；
- h) 硬度值异常部位；
- i) 铁素体含量异常部位；
- j) 宏观检验发现裂纹的部位。

5.2.5 埋藏缺陷检测

5.2.5.1 加氢反应器埋藏缺陷检测一般应采用超声检测或 TOFD 检测,检测方法应按照 NB/T 47013.3 或 NB/T 47013.10 的要求进行。当发现超标埋藏缺陷,如条件适用时,需采用超声检测及 TOFD 检测方法相互复验。

5.2.5.2 有下列情况之一时,应进行埋藏缺陷检测,必要时按照 NB/T 47013.9 中声发射检测方法判断缺陷的活动性：

- a) 投用后修理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) 使用单位要求或检验人员认为有必要的部位。

5.2.5.3 首次检验时,还应重点考虑以下部位：

- a) 焊缝埋藏缺陷检测部位
 - 1) 反应器本体 A、B 类焊接接头；
 - 2) 反应器上下物料出入口接管对接环向接头。
- b) 堆焊层剥离/层下裂纹检测部位
 - 1) 反应器上、下封头；
 - 2) 反应器本体 A、B 类焊接接头两侧 500 mm 范围,急冷氢入口段堆焊层环口周边适当范围；
 - 3) 反应器凸台上下 500 mm 范围。
- c) 基材内部缺陷检测部位
 - 1) 母材；
 - 2) 反应器凸台。

5.2.6 螺柱检验

M36 以上(含 M36)的螺柱在逐个清洗后,检验其损伤和裂纹情况,重点检验螺纹及过渡部位有无

环向裂纹,必要时进行无损检测。

5.2.7 硬度检测

5.2.7.1 硬度检测的方法应按 GB/T 17394.1 的要求进行,利用便携式硬度计抽查,测量硬度时,应对母材、焊缝和热影响区分别测量。推荐以焊缝为中心,在垂直焊缝两侧的热影响区及母材上共取五点进行检测,且不少于三组。

5.2.7.2 加氢反应器硬度检测抽查部位一般包括:

- a) 加氢反应器的 A、B 类焊接接头、接管与本体焊接接头、下封头与裙座连接接头、进出口接管焊接接头;
- b) 封头、筒体内壁堆焊层;
- c) 法兰密封槽槽底;
- d) M36 以上(含 M36)螺柱及螺母;
- e) 使用过程中超温部位;
- f) 使用单位要求或检验人员认为有必要的部位。

5.2.8 铁素体含量测定

5.2.8.1 堆焊层铁素体含量测定的方法应按 GB/T 1954 的要求进行,采用便携式铁素体测定仪进行抽查。

5.2.8.2 加氢反应器堆焊层铁素体含量测定抽查部位一般包括:

- a) 封头、筒体内壁堆焊层;
- b) 人孔法兰密封槽;
- c) 手工堆焊部位、补焊、返修部位;
- d) 内壁宏观检验异常部位;
- e) 内壁渗透检测发现裂纹部位。

5.2.9 金相分析

5.2.9.1 金相分析应按 GB/T 13298 的要求进行,可采用现场照相法或覆膜法,金相分析部位应至少包括母材、焊缝和热影响区。

5.2.9.2 金相分析抽查部位一般包括:

- a) 宏观检验、磁粉检测出现裂纹部位;
- b) 硬度和铁素体含量异常部位;
- c) 使用过程中超温部位;
- d) 使用单位要求或检验人员认为有必要检测的部位。

5.2.10 挂片检验

服役时间较长的加氢反应器,按 GB/T 30579 计算的回火脆化敏感性(X 因子及 J 因子)较大的,必要时取挂片试块根据 GB/T 229 进行冲击试验确定母材回火脆化的程度。

5.2.11 其他检验项目

强度校核、耐压试验应按 TSG 21 的相关规定进行。

5.3 安全状况等级评定与检验周期

5.3.1 安全状况等级的评定按 TSG 21 的相关规定进行,特殊损伤按本部分的要求进行。

5.3.2 修理的加氢反应器应按照修理结果进行安全状况等级的评定;对于存在超标且不可修复的缺陷或损伤的加氢反应器应进行合于使用评价,根据合于使用评价的结论和其他检验项目的检验结果确定加氢反应器的安全状况等级、允许运行参数。

5.3.3 回火脆化按照下列要求进行安全状况等级评定:

- a) 若加氢反应器 X 因子、 J 因子满足质量证明书规定要求的,不影响定级。质量证明文件中 X 因子、 J 因子没有规定的,按 5.3.3 的 b)或 c)执行;
- b) 若 2.25Cr-1Mo 钢、2.25Cr-1Mo-V 钢的 X 因子不超过 15 且 J 因子不超过 100,1.25Cr-0.5Mo 钢 X 因子不超过 15 且 J 因子不超过 150,不影响定级;
- c) 若 2.25Cr-1Mo 钢、2.25Cr-1Mo-V 钢的 X 因子超过 15 或 J 因子超过 100,1.25Cr-0.5Mo 钢 X 因子超过 15 或 J 因子超过 150,根据挂片试块冲击试验(或从部件上直接取样,包括微试样)确定损伤程度;对于损伤程度轻微的,可定为 3 级,但开停工过程使用单位应采取防止设备发生脆断的措施;否则定为 4 级或 5 级。

5.3.4 经金相检验,发现材质球化时,按照下列要求进行安全状况等级评定:

- a) 球化等级为 1 级或 2 级时,可定为 2 级;
- b) 球化等级为 3 级或 4 级时,可定为 3 级,检验人员可依据损伤程度适当缩短检验周期;
- c) 对于表面球化等级为 5 级,但内部球化程度较轻的,可定为 4 级;
- d) 材料表面及内部球化等级均为 5 级的,可定为 5 级。

5.3.5 堆焊层缺陷按照下列要求进行安全状况等级评定:

- a) 内表面堆焊层的缺陷应打磨消除,打磨后形成的凹坑应圆滑过渡,且需经渗透检测确认缺陷已彻底消除。打磨后凹坑所在部位堆焊层厚度大于至下次检验日期的腐蚀量时,可定为 2 级,否则定为 3 级或 4 级;
- b) 堆焊层表面裂纹一般应打磨消除。对于不起强度作用的堆焊层,当表面裂纹深度不超过堆焊层厚度的 1/2,或裂纹仅存在于表层堆焊层且未扩展到过渡堆焊层,若有充分的证据表明裂纹的形成与环境开裂无关,表面裂纹未处理的,根据裂纹尺寸可定为 3 级或 4 级,但使用单位应制定有效的监控措施;
- c) 如不能排除堆焊层表面裂纹的形成与环境开裂无关,应打磨消除,否则定为 5 级;
- d) 堆焊层存在腐蚀,且腐蚀深度不超过设计文件要求厚度的 1/3 时,可定为 2 级,否则定为 3 级或 4 级;
- e) 检测发现堆焊层剥离现象的,如果损伤程度轻微,且剥离部位及其邻近区域的基材未见层下裂纹,可定为 3 级,否则定为 4 级或者 5 级。

5.3.6 堆焊层铁素体按照下列要求进行安全状况等级评定:

- a) 堆焊层铁素体含量超过 3%且不超过 10%时,可定为 2 级;
- b) 堆焊层铁素体含量超过 10%且不超过 15%时,可定为 3 级,检验人员可依据损伤程度适当缩短检验周期;
- c) 堆焊层铁素体含量超过 15%时,经过检验未查出新生缺陷,可定为 3 级,检验人员可依据损伤程度适当缩短检验周期;如果有新生缺陷,可定为 4 级或 5 级;
- d) 堆焊层铁素体含量超过 1.5%且不超过 3%时,可定为 3 级;
- e) 堆焊层铁素体含量不超过 1.5%时,经过检验未查出新生缺陷,可定为 3 级,检验人员可依据损伤程度适当缩短检验周期;如果有新生缺陷,可定为 4 级或 5 级。

5.3.7 检验周期按照 TSG 21 的相关规定执行。

6 检验报告

6.1 检验报告的出具应符合 TSG 21 的规定和要求。

6.2 检验机构应根据检验记录出具检验报告,检验记录应详尽、真实、准确,检验记录记载的信息量不得少于检验报告的信息量。

附 录 A
(资料性附录)

潜在的损伤模式及检验方法

加氢反应器潜在损伤模式的推荐检验方法和检验部位见表 A.1。

表 A.1 加氢反应器推荐的检验方法和检验部位

序号	损伤机理	失效部位	检 验 方 法		备 注
			内 检	外 检	
1	铬钼钢的回火脆化	母材(发生在开停工阶段)	无有效检测手段	无有效检测手段	定期取挂片试块进行冲击试验
2	氢脆	加氢反应器内部支持圈凸台拐角部位、堆焊奥氏体不锈钢的梯形槽法兰密封面的槽底拐角处部位	渗透检测	加氢反应器内部支持圈凸台拐角部位超声纵波斜探头检测	—
3	堆焊层剥离	母材堆焊层界面	超声双晶纵波直探头检测	超声单晶纵波直探头检测	—
4	高温氢腐蚀	母材	宏观检验、测厚	宏观检验、测厚、超声单晶纵波直探头检测	—
5	高温硫化氢腐蚀(氢气环境)	堆焊层	宏观检验、测厚	壁厚测定、超声单晶纵波直探头检测	重点是反应器的顶部、底部及进料部位
6	连多硫酸应力腐蚀开裂	堆焊层(发生在开停工阶段)	渗透检测	超声纵波斜探头检测或 TOFD	—
7	氯化物应力腐蚀开裂	堆焊层(发生在开停工阶段)	渗透检测	超声纵波斜探头检测或 TOFD	—
8	蠕变及应力破裂	应力集中部位、超温部位	宏观检验、测厚、直径尺寸测量、渗透检测、超声检测、金相分析	宏观检验、测厚、磁粉检测、超声检测、金相分析	—