

ICS XX. XXX

CCS X XX

CPCIF

中国石油和化学工业联合会团体标准

T/CPCIF XXXX—20XX

整体多层包扎储氢容器

Integrated Multilayer Wrapped Hydrogen Vessel

(征求意见稿)

20XX-XX-XX 发布

20XX-XX-XX 实施

中国石油和化学工业联合会 发布

征求意见稿

目 次

目 次 I

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 2

4 通用要求 2

5 材料 3

 5.1 基本要求 3

 5.2 内筒材料 3

 5.3 层板 4

 5.4 封头 4

 5.5 锻件 4

 5.6 焊接材料 4

6 设计 5

 6.1 基本要求 5

 6.2 内压圆筒 5

 6.3 封头 6

 6.4 安全附件及仪表 6

7 制造和检验 7

 7.1 制造 7

 7.2 焊接 10

 7.3 无损检测 10

 7.4 磁性相检测 10

 7.5 焊后热处理 10

 7.6 耐压试验和泄漏试验 11

8 验收 11

9 涂敷与运输包装 12

附录 A（规范性）风险评估报告 13

 A.1 总则 13

 A.2 制定原则和程序 13

 A.3 风险评估报告内容。 13

附录 B（资料性）多层储氢容器定期检验指导规则 14

 B.1 通用要求 14

 B.2 前期准备 14

 B.3 现场检验 15

征求意见稿

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。

本文件由中国石油和化学工业联合会提出。

本文件由中国石油和化学工业联合会标准化工作委员会归口。

本文件起草单位：中油辽河工程有限公司，华东理工大学，开原维科容器有限责任公司，上海锅炉厂有限公司，中国科学院金属研究所，广东省特种设备检测研究院佛山检测院，抚顺市特种设备监督检验所，铁岭市特种设备监督检验所，北京拓甲氢能科技有限公司。

本文件主要起草人：王学生，裴召华，魏小镇，苏智彬，周立峰，陈琴珠，郭廷顺，李迪，罗永欣，田丰，赵明久，郭少宏，孙祥广，张武玄，赵智敏，刘家兴，王萌，张鹏杰，李佳，苑士宽。

征求意见稿

引 言

氢能利用是实现“双碳”目标的重要途径之一，其中储运环节是高效利用氢能的关键，是影响氢能发展的重要环节。储氢容器介质压力高、易爆，容器存在氢脆破坏及疲劳失效风险。整体多层包扎储氢容器经过近10年的发展已经逐渐成熟，但是专门的标准体系尚未建立。本标准是以此为基础制定的。

本文件规定了整体多层包扎储氢容器的材料、设计、制造和检验、验收以及涂敷与运输包装等方面应遵循的基本要求，由于本文件不可能囊括适用范围内整体多层包扎储氢容器的所有技术细节，因此，在满足法规所规定的基本安全要求的前提下，不禁止本文件中未特别提及的技术内容。

本文件规定的技术方法和技术要求不涉及任何专利，但本文件的工程应用可能会涉及特定专利，本文件使用者应承担与专利权益相关的责任。

整体多层包扎储氢容器

1 范围

本文件规定了整体多层包扎储氢容器（以下简称“多层储氢容器”）的材料、设计、制造和检验、验收及涂敷与运输包装的基本要求。

本文件适用于同时具备以下条件的多层储氢容器：

- a) 设计压力大于或等于10MPa且小于100MPa的容器；
- b) 设计温度不低于-40℃且不高于85℃；
- c) 容器内直径大于或等于 350mm；

本文件适用于整体多层包扎的固定式压力容器，分段式多层包扎容器以及移动式压力容器不在本文件范围内。

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 150（所有部分） 压力容器
- GB/T 713（所有部分） 承压设备用钢板和钢带
- GB/T 1184 形状和位置公差 未注公差值
- GB/T 1954 铬镍奥氏体不锈钢焊缝铁素体含量测量方法
- GB/T 6394 金属平均晶粒度测定方法
- GB/T 10561 钢中非金属夹杂物含量的测定-标准评级图显微检验法
- GB/T 13296 锅炉、热交换器用不锈钢无缝钢管
- GB/T 14976 流体输送用不锈钢无缝钢管
- GB/T 25198 压力容器封头
- GB/T 34542.2 氢气储存输送系统 第2部分：金属材料与氢环境相容性试验方法
- GB/T 34542.3 氢气储存输送系统 第3部分：金属材料氢脆敏感度试验方法
- GB 50156 汽车加油加气加氢站技术标准
- GB/T 50516 加氢站技术规范（2021年版）
- HG/T 20592~20635 钢制管法兰、垫片、紧固件
- HG/T 20584 钢制化工容器制造技术规范
- JB 4732 钢制压力容器-分析设计标准（2005年确认）
- NB/T 10558 压力容器涂敷与运输包装
- NB/T 47002.1 压力容器用复合板 第1部分：不锈钢-钢复合板
- NB/T 47008 承压设备用碳素钢和合金钢锻件
- NB/T 47009 低温承压设备用合金钢锻件
- NB/T 47010 承压设备用不锈钢和耐热钢锻件

NB/T 47013 承压设备无损检测
NB/T 47014 承压设备焊接工艺评定
NB/T 47015 压力容器焊接规程
NB/T 47016 承压设备产品焊接试件的力学性能检验
NB/T 47018 (所有部分) 承压设备用焊接材料订货技术条件
TSG 21 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

整体多层包扎储氢容器 integrated multilayer wrapped vessel of gaseous hydrogen

在整体内筒上采用机械方法逐层夹紧层板，且层板纵环焊接接头相互错开而成的一种多层储氢压力容器。

3.2

临氢金属材料 metal materials in direct contact with gaseous hydrogen

正常工作时，与储存介质氢气接触的金属材料。

3.3

临氢钢板 steel plates in direct contact with gaseous hydrogen

正常工作时，与储存介质氢气接触的钢板。

3.4

临氢锻件 forgings in direct contact with gaseous hydrogen

正常工作时，与储存介质氢气接触的锻件。

4 通用要求

4.1 多层储氢容器的设计、制造单位应持有相应的特种设备生产许可证。

4.2 多层储氢容器的结构型式可采用卧式和立式两种。

4.3 多层储氢容器与外部管道的连接可采用但不限于法兰、焊接、螺纹及有成熟使用经验的自紧式密封型式。

4.4 容器界定范围：

4.4.1 容器本体与外部管道连接：

- a) 焊接连接的第一道环向接头坡口面；
- b) 螺纹连接的第一个螺纹接头端面；
- c) 法兰连接的第一个法兰密封面；
- d) 专用连接件或管件连接的第一个密封面。

4.4.2 多层储氢容器开孔部分的承压盖及其紧固件。

4.4.3 非受压元件与受压元件的连接焊缝。

4.4.4 直接连接在容器上的非受压元件如支座、裙座等。

4.4.5 多层储氢容器的安全附件及仪表。

4.5 多层储氢容器用法兰、垫片及紧固件应符合 HG/T 20615~20635 的要求，法兰应选用带颈对焊或长

高颈结构形式，非标法兰和超过标准最大允许工作压力的法兰应按照 JB 4732 进行校核。

4.6 设计单位向用户出具的风险评估报告应符合附录 A 的规定。

4.7 多层储氢容器的定期检验除满足 TSG 21 的规定外，可参照附录 B 进行定期检验。

5 材料

5.1 基本要求

5.1.1 多层储氢容器的材料应根据容器的使用条件、材料的性能和制造工艺对氢脆的影响以及经济合理性进行选择，临氢金属材料应为奥氏体不锈钢，宜选用 S31603。当选用以奥氏体不锈钢为覆材的复合板时，覆材和基材选用应符合表 1 的规定。

表 1 覆材和基材选用表

覆材		基材	
标准号	钢号示例	标准号	钢号示例
GB/T713	S31608, S31603, S31653	GB/T713	Q245R, Q345R, 16MnDR, 15MnNiNbDR , 13MnNiDR , 09MnNiDR
		NB/T47008	16Mn, 20MnMo
		NB/T47009	16MnD, 20MnMoD , 09MnNiD
注：覆材和基材也可选用表列各标准中的其他钢号。			

5.1.2 临氢奥氏体不锈钢钢板表面加工类型不低于 1D 级，冷轧钢板表面加工类型不低于 2B 级。

5.1.3 临氢材料化学成分镍元素含量不应小于 12%，镍当量 (Ni_{eq}) 不应小于 28.5%。的镍当量按式 (1) 计算：

$$Ni_{eq}=12.6C+0.35Si+1.05Mn+Ni+0.65Cr+0.98Mo \dots\dots\dots (1)$$

5.1.4 除临氢金属材料外的其他受压元件材料应符合 TSG21、GB/T 150.2、JB 4732 及相关材料标准规范的要求。

5.1.5 临氢金属材料在空气中的断面收缩率不应小于 70%，在氢气和空气中的断面收缩率之比不应小于 0.9。

5.1.6 临氢金属材料与氢环境相容性试验应符合 GB/T 34542.2 的要求，氢脆敏感度试验应符合 GB/T 34542.3 的要求。

5.1.7 制造单位应对受压元件的材料和材料质量证明书进行确认。按炉号对化学成分进行复验，按批号对材料在空气中的力学性能进行复验，复验结果同时符合相关材料标准和本文件要求后，方可投料使用。

5.1.8 使用境外牌号材料时，应符合 TSG 21 中的相关要求。

5.1.9 材料有特殊要求时，应在设计文件中注明。

5.2 内筒材料

5.2.1 内筒用钢板

用于制造内筒的钢板，应符合下列规定：

- a) 宜选用奥氏体不锈钢或以奥氏体不锈钢为覆材的复合钢板，复合钢板应符合 NB/T47002.1 的规定，复合钢板的级别应为 1 级，复合钢板覆材厚度不应小于 3mm；
- b) 复合钢板基层用 Q245R 和 Q345R 钢板应正火状态下使用；
- c) 内筒用钢板或复合钢板基层应逐张按 NB/T47013.3 进行超声检测，检测质量等级不低于 I 级；

d) 制造单位应按炉号对钢板化学成分进行复验,并逐热处理张对基材在空气中力学性能进行复验,复验结果符合相关材料标准和本文件要求后,方可使用。

e) 临氢钢板应符合本文件 5.1 中关于临氢材料的规定;

5.2.2 内筒用钢管

当采用无缝钢管做内筒时,应符合下列规定:

a) 宜选用奥氏体不锈钢无缝钢管,钢管应符合 GB/T 14976 或 GB/T 13296 标准的要求;

b) 临氢无缝钢管应符合本文件 5.1 中关于临氢材料的规定;

c) 无缝钢管用做内筒时,应按 TSG 21 和 HG/T 20581 进行复验。

5.3 层板

5.3.1 层板宜选用碳素钢、标准抗拉强度下限值不大于 540MPa 的低合金钢钢板,不宜使用开平板。

5.3.2 层板材料还应符合 TS G21、GB/T 150.2 和 JB 4732 及相关标准规范的要求。

5.3.3 层板厚度不宜大于 12mm,且不应大于所用材料需进行焊后热处理的最小厚度。

5.4 封头

5.4.1 封头可选用奥氏体不锈钢板或锻件、以奥氏体不锈钢为覆材的复合板和以不锈钢为堆焊覆层的锻件或钢板,复合板覆材厚度不应小于 3mm。

5.4.2 复合板覆材应符合本文件 5.1 中关于临氢金属材料的规定。

5.4.3 复合板基材可选用钢板或锻钢,不宜选用抗拉强度下限值大于 540MPa 的材料,其余要求应符合表 1 的规定。

5.4.4 Q245R 和 Q345R 钢板应在正火状态下使用,其它钢板按相关标准规定的交货状态使用。

5.4.5 封头用复合钢板基层应逐张按 NB/T47013.3 进行超声检测,检测质量等级不低于 I 级。

5.4.6 当以堆焊为临氢材料时,堆焊层覆层厚度不应小于 3mm,堆焊覆层金属的性能复验应符合本文件 5.1 中关于临氢金属材料的要求。堆焊后应对堆焊层表面按 NB/T 47013.5 进行 100%渗透检测,合格级别为 I 级。

5.5 锻件

5.5.1 锻件应符合 NB/T 47008~47010 的规定,锻件级别不应低于 III 级,IV 级锻件应按照 TSG 21 的规定进行复验,材料复验结果应符合相应材料标准和设计文件的要求。

5.5.2 临氢锻件应符合本文件 5.1 中关于临氢金属材料的要求。

5.5.3 锻件晶粒度应按 GB/T 6394 的要求进行检验,不锈钢锻件应有 4 级或更细的实际晶粒度,碳素钢和合金钢锻件应有 5 级或更细的实际晶粒度。

5.5.4 锻件非金属夹杂物应按 GB/T 10561 的规定进行检验,要求 A、B、C、D 和 Ds 类夹杂物均不应大于 1.5 级,A+C 类夹杂物不应大于 2.5 级,B+D+Ds 类夹杂物不应大于 2.5 级,且总和不应大于 4.5 级。

5.5.5 碳钢和低合金钢锻件不得直接与氢气介质接触,应采用堆焊方法,形成临氢金属材料层。堆焊覆层厚度不应小于 3mm。堆焊材料的性能复验应符合本文件 5.1 中关于临氢金属材料的要求。

5.6 焊接材料

5.6.1 焊接材料应符合标准 NB/T47018 的规定。

5.6.2 焊接材料应根据母材的化学成分、力学性能、焊接性能,并结合压力容器的结构特点、使用条件及焊接方法综合考虑选用,并按 NB/T 47014 的要求进行焊接工艺评定后确定。

5.6.3 低温容器焊条应按批进行药皮含水量或熔敷金属扩散氢含量的复验,其检验方法应符合 NB/T47018 标准和设计文件的规定。

6 设计

6.1 基本要求

6.1.1 多层储氢容器应满足未爆先漏的要求。

6.1.2 多层储氢容器设计应对塑性垮塌、脆性断裂、局部过度应变、泄漏和疲劳断裂等失效模式进行评定。

6.1.3 疲劳评定应采用疲劳设计曲线法，曲线宜为在氢气中的疲劳设计曲线。交变应力幅和循环次数的安全系数分别取 2 和 15。

6.1.4 多层储氢容器的设计文件至少应包括设计条件、强度计算书或应力分析报告、设计图样、制造技术条件、风险评估报告及压力容器安全泄放量计算书。

6.1.5 整体多层包扎储氢容器一般由内筒、层板、封头、接管和支撑结构构成，在容器中应设置氮气吹扫置换口，筒体上一般不宜开孔，以典型卧式容器为例，图 1 为结构示意图。

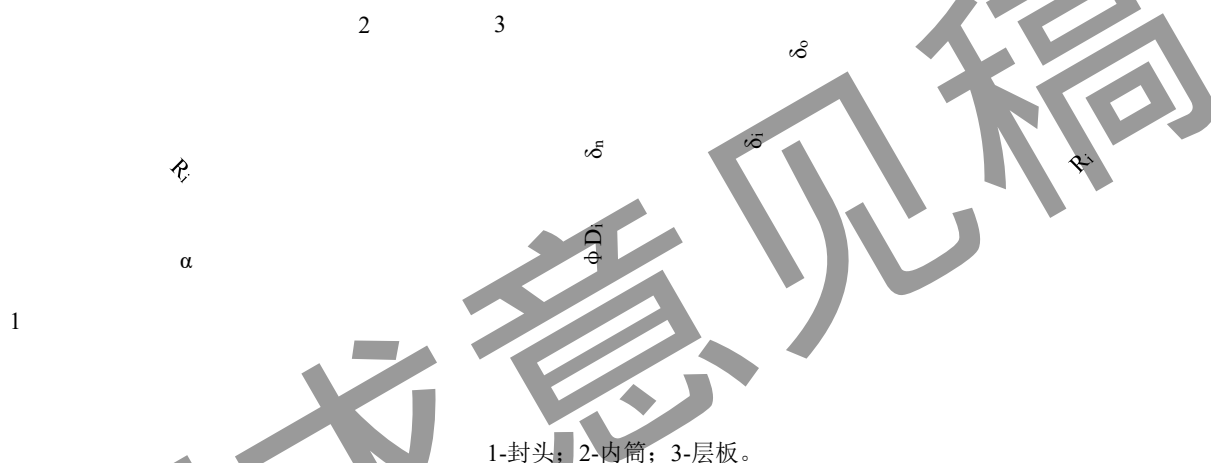


图 1 整体多层包扎储氢容器结构示意图

6.2 内压圆筒

多层储氢容器应采用整体多层包扎的形式，筒体的设计应力强度应按公式（2）进行计算：

$$S_m = \frac{\delta_i}{\delta_n} S_{m1} \varphi_i + \frac{\delta_o}{\delta_n} S_{m2} \varphi_o \quad \dots\dots\dots (2)$$

式中：

S_m ——设计应力强度，单位为兆帕（MPa）；

S_{m1} ——设计温度下内筒应力强度，单位为兆帕（MPa）；

S_{m2} ——设计温度下层板应力强度，单位为兆帕（MPa）；

δ_i ——内筒名义厚度，单位为毫米（mm）；

δ_o ——层板总名义厚度，单位为毫米（mm）；

δ_n ——圆筒总名义厚度，单位为毫米（mm）；

φ_i ——内筒焊接接头系数， $\varphi_i=1.0$ ；

φ_o ——层板焊接接头系数， $\varphi_o=0.95$ 。

圆筒的计算厚度应根据载荷情况按公式（3）或公式（4）确定。

a) 当 $p_c \leq 0.4KS_m$ 时：

$$\delta = \frac{p_c D_i}{2KS_m - p_c} \dots\dots\dots (3)$$

b) 当 $p_c > 0.4KS_m$ 时:

$$\delta = \frac{D_i}{2} \left(e^{\frac{p_c}{KS_m}} - 1 \right) \dots\dots\dots (4)$$

式中:

D_i ——内直径, 单位为毫米 (mm);

K ——载荷组合系数, 取值应符合 JB 4732 的规定;

δ ——计算厚度, 单位为毫米 (mm);

p_c ——计算压力, 单位为兆帕 (MPa)。

6.3 封头

6.3.1 半球形封头

采用复合板时, 覆层厚度不宜计入强度计算。内压半球形封头的计算厚度应根据载荷情况按以下公式 (5) 或公式 (6) 确定。

a) 当 $p_c \leq 0.4KS_m$ 时:

$$\delta = \frac{0.5p_c R_i}{KS_m - 0.25p_c} \dots\dots\dots (5)$$

b) 当 $p_c > 0.4KS_m$ 时:

$$\delta = R_i \left(e^{\frac{p_c}{2KS_m}} - 1 \right) \dots\dots\dots (6)$$

式中:

R_i ——球形封头的内半径, 单位为毫米 (mm)。

6.3.2 其他形式封头

除半球形封头外, 多层储氢容器可采用椭圆形封头或平盖, 封头厚度应按 GB/T 150.3 或 JB 4732 计算。

6.4 安全附件及仪表

6.4.1 储氢容器安全附件的设置, 应符合下列规定:

- 应设置超压泄放装置;
- 应设置氢气放空管, 放空管应设置 2 只切断阀和取样口 (此装置可在安装现场配置);
- 应设置带记录功能的氢气泄漏报警装置和视频监测装置 (此装置可由加氢站中控系统配置);
- 应设置氮气吹扫置换接口。

6.4.2 超压泄放装置的设置, 应符合下列规定:

- 超压泄放装置的设计应符合 GB/T150.1 和 JB4732 的要求;
- 安全阀应符合 GB/T 12241 和 GB/T 12243 的规定;
- 安全阀应垂直安装, 安全阀前应设置相应通径的截止阀, 且在正常工作状态下应保持截止阀为全开状态;
- 安全阀的整定压力不得大于储氢容器的设计压力。
- 安全阀应适合于高压氢气介质。

6.4.3 压力表的设置, 应符合下列规定:

- a) 压力表的精度等级不低于 1.6 级。压力表与管路之间宜安装根部截止阀，系统运行过程中应保持常开状态；
- b) 压力表的量程应为工作压力的 1.5 倍~3.0 倍，宜为 2 倍工作压力。

7 制造和检验

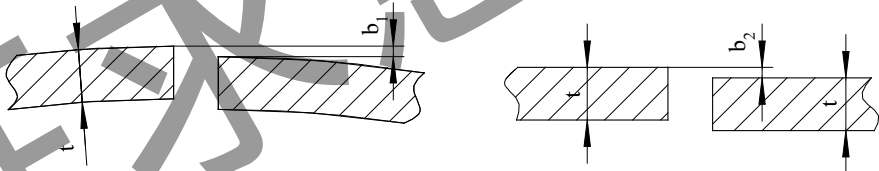
7.1 基本要求

- 7.1.1 多层储氢容器的制造和检验除应符合本文件规定外，还应符合 TSG 21、GB/T 150.4 和 JB 4732 的规定。
- 7.1.2 本文件焊接接头分类按 GB/T 150.1 执行。
- 7.1.3 内筒 A、B 类焊接接头应打磨至与母材平齐（封闭焊缝内表面除外）。
- 7.1.4 筒体包扎下一层层板前，应将前一层焊缝修磨平滑，与母材表面圆滑过渡。
- 7.1.5 容器不锈钢临氢材料临氢侧应进行酸洗钝化处理。

7.2 制造

7.2.1 内筒制造

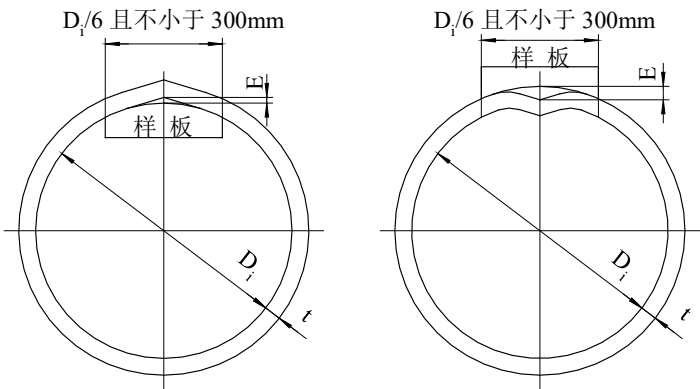
- 7.2.1.1 内筒 A 类焊接接头对口错边量 b_1 不应大于 1.0mm（见图1），B 类焊接接头对口错边量 b_2 不应大于 1.5mm（见图1）；内筒采用复合钢板时，除满足以上要求外，还应满足复合钢板的错边量不应大于钢板覆层厚度的 50%。



t—钢材厚度； b_1 、 b_2 —接头对口错边量。

图1 内筒A、B类焊接接头对口错边量

- 7.2.1.2 内筒 A、B 类焊接接头棱角 E （见图2、图3）用弦长等于 $D_i/6$ 且不小于 300mm 的内样板（或外样板）和直尺检查，其 E 值不应大于 1.5mm。



D_i —筒体内径； t —钢材厚度； E —接头棱角。

图2 内筒A类焊接接头处的环向棱角

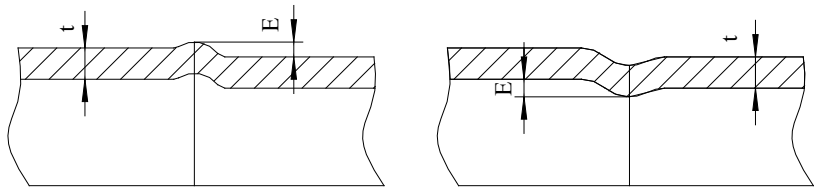
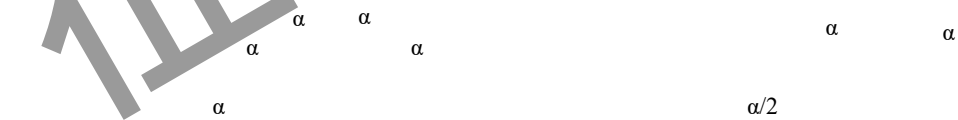


图3 内筒B类焊接接头处的轴向棱角

- 7.2.1.3 内筒外圆周长允差应小于或等于 $3‰D_i$ ，且不应大于3mm。
- 7.2.1.4 内筒最短筒节长度不应小于500mm。
- 7.2.1.5 同一断面上最大内径与最小内径之差不应大于 $4‰D_i$ ，且不应大于5 mm。
- 7.2.1.6 组焊后内筒任意 3000mm 长筒体直线度偏差小于等于 3mm，内筒筒体总的直线度允差应小于筒体长度的1%，且不应大于6 mm。
- 7.2.1.7 内筒筒体的长度允差：
- a) 筒体长度不大于 10m 时，允差为 ± 15 mm；
 - b) 筒体长度大于 10m 时，允差为 ± 20 mm。

7.2.2 层板制造

- 7.2.2.1 层板允许拼接，周向拼接块数不应多于3块，且最小拼接宽度不应小于500mm。拼接接头两表面应打磨与母材平齐。
- 7.2.2.2 层板周向尺寸应按所夹紧内层筒体的实测周长下料。周长在考虑焊接接头间隙后，应为负偏差，且数值不应大于3 mm。
- 7.2.2.3 层板纵、环焊接接头采用单面焊，相邻层纵、环向焊接接头应分别均匀错开；相邻层间纵向接头相互错开，错开角度不应小于设计文件的规定（见图4），相邻层间环向接头最小间距100mm。



- a) 层板为多块纵向拼接
- b) 层板为整块纵向夹紧

图4 内筒、层板的纵向焊接接头分布图

- 7.2.2.4 层板两对边的平行度及相邻两边的垂直度偏差按GB/T 1184中的L级规定。
- 7.2.2.5 层板纵、环向焊接接头根部间隙应符合如下要求（见图5）：
- a) 层板纵向接头间隙 $6\text{ mm} \leq P_1 \leq 14\text{ mm}$ ；
 - b) 层板环向接头间隙 $6\text{ mm} \leq P_2 \leq 8\text{ mm}$ 。

P₁P₂P₁-纵向接头间隙；P₂-环向接头间隙。

图5 层板对接接头间隙控制

7.2.2.6 层板拉紧或夹紧后应进行端面径向间隙检查，层板端面的任意处的径向间隙 h 不应超过按公式(7)计算所得值，且不应大于1.5mm，每层层板端面径向间隙超过0.25mm的长度总和不应超过容器的内直径 D_i 。

$$h = 0.55 \cdot \left(2.5 - \frac{P}{0.67R_{eL}} \right) \cdot \frac{0.67R_{eL}R_g}{E} \dots\dots\dots (7)$$

式中：

E ——层板材料的弹性模量，单位为兆帕（MPa）；

h ——层板端面的任意处的径向间隙，单位为毫米（mm）；

P ——设计压力，单位为兆帕（MPa）；

R_g ——间隙所在层板的外半径，单位为毫米（mm）；

R_{eL} ——设计温度下层板的屈服强度，单位为兆帕（MPa）。

7.2.2.7 层板松动面积的控制，对设计内直径 D_i 不大于1000 mm的容器，每一松动的部位，沿环向长度不得超过0.3 D_i ，沿轴向长度不得超过600 mm；对于设计内直径 D_i 大于1000 mm的容器，每一松动的部位沿环向长度不得超过300 mm，沿轴向长度不得超过600 mm。

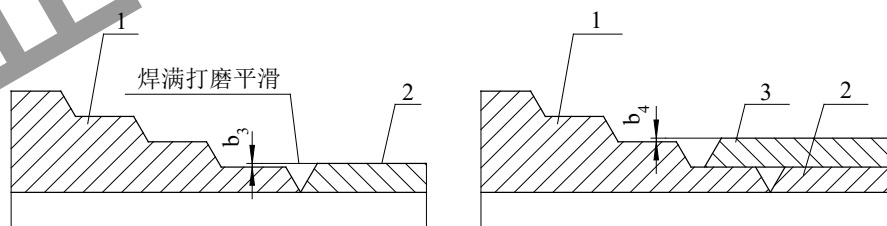
7.2.2.8 每层层板应采用塞尺法、敲击法或外圆盘长法进行间隙和松动面积检查。

7.2.2.9 每层层板呈对角线的两堵板上应钻 $\Phi 6$ mm的检漏孔。

7.2.2.10 筒体与筒体法兰或封头的连接（见图6）：

a) 内筒与筒体法兰或封头的连接，其对口错边量 b_3 不应大于1mm；

b) 层板和外层板与筒体法兰或封头的连接，其对口错边量 b_4 不应大于0.8mm。



1-筒体法兰或封头；2-内筒体；3-层板。

b_3 -内筒与筒体法兰或封头连接的对口错边量； b_4 -层板与筒体法兰或封头连接的对口错边量。

图6 筒体与筒体法兰或封头的对口错边量

7.2.3 封头制造

a) 封头的制造应符合 GB/T 150.4、JB 4732、GB/T 25198 标准和设计文件的要求。

b) 封头应采用整张钢板（锻件）经加工成形，不允许拼接。

c) 封头成形后应进行恢复材料供货热处理状态或恢复性能热处理，用于性能检验的试样应从封头本体上截取。

7.3 焊接

7.3.1 施焊前应按NB/T 47014的规定对焊接接头做焊接工艺评定（包括层板与端部法兰和封头）。

7.3.2 焊接工艺规程应按NB/T 47015的规定、设计文件的要求和评定合格的焊接工艺制定。

7.3.3 内筒应制备产品焊接试件，试件的要求和性能检验应符合TSG 21、JB 4732、NB/T47016和设计文件的要求。

7.3.4 焊接接头表面的形状尺寸及外观要求应符合GB/T 150.4和JB 4732的规定。

7.4 无损检测

7.4.1 容器A、B类焊接接头应按NB/T 47013.2和NB/T 47013.3进行100%射线检测或100%可记录超声检测。

7.4.2 凡符合下列条件之一的焊接接头，应进行100%超声检测：

- a) 各层层板与端部法兰或球形封头连接的焊接接头；
- b) 层板的外露纵、环向焊接接头；
- c) 接管与封头的D类焊接接头；
- d) 焊后热处理的堆焊封头。

7.4.3 凡符合下列条件之一的焊接接头，对其表面应进行磁粉或渗透检测：

- a) 内筒、层板的C、D类焊接接头；
- b) 标准抗拉强度下限值大于540 MPa的材料；
- c) 堆焊层表面；
- d) 标准抗拉强度下限值大于540 MPa的材料缺陷修磨或补焊处的表面、卡具和拉筋等拆除处的焊痕表面；
- e) 复合钢板的复合层焊接接头；
- f) E类接头。

7.4.4 无损检测技术要求

- a) 射线检测应按NB/T 47013.2进行，检测技术等级不低于AB级，合格级别不低于Ⅱ级；
- b) 相控阵超声检测应按NB/T 47013.15进行，检测技术等级不低于B级，合格级别为Ⅰ级；
- c) 超声检测应按NB/T 47013.3进行，检测技术等级不低于B级，合格级别为Ⅰ级；
- d) 磁粉检测应按NB/T 47013.4进行，合格级别为Ⅰ级；
- e) 渗透检测应按NB/T 47013.5进行，合格级别为Ⅰ级。

7.5 磁性相检测

除封闭焊接接头外，内筒焊接接头内表面应按GB/T1954中的磁性法进行100%磁性相检测。采用奥氏体不锈钢钢板时，磁性相不应超过0.20%；采用奥氏体不锈钢复合钢板时，磁性相不应超过0.45%。

7.6 焊后热处理

7.6.1 凡符合下列条件之一的焊接接头，应进行消除残余应力热处理：

- a) 复合钢板内筒的A类焊接接头；
- b) 封头与接管（或支承圈）相连的焊接接头；
- c) 吊耳与封头焊接的E类接头及支座与容器连接的E类接头；

7.6.2 除7.6.1以外，内筒与端部法兰相连的B类焊接接头应符合GB/T 150.4或JB 4732的规定，奥氏体不锈钢材料的焊接接头的热处理按设计文件的要求。

7.7 耐压试验和泄漏试验

7.7.1 内筒与封头组件焊接完成后应进行氦检漏试验，试验程序及合格标准应符合HG/T20584和设计文件的要求。

7.7.2 容器制造检验合格后应进行耐压试验，耐压试验应符合TSG 21、GB/T 150.4、JB4732和设计文件的要求。

7.7.3 耐压试验合格后应进行泄漏试验，泄漏试验的种类、压力、技术要求等由设计者在设计文件中予以规定。

7.7.4 耐压试验合格后，应对容器内部进行检查，内部及端部螺纹不得存在油脂和杂物，合格后立即用纯度不低于99.9%的氮气进行吹扫置换，置换后气体中氧的体积分数不应大于0.5%。置换后应进行氮封处理，氮封压力宜为0.03~0.08 MPa，并保持压力出厂。

7.7.5 当采用负压置换时，应对内筒进行外压失稳校核。

8 验收

8.1 出厂资料

8.1.1 容器出厂时，制造单位应提供出厂资料。

8.1.2 容器出厂资料至少应包括下列内容：

- a) 容器竣工总图；
- b) 容器产品合格证（含产品数据表）；
- c) 产品质量证明文件（含主要受压元件材质证明书、材料清单、封头和锻件等外购件的质量证明文件、材料复验相关文件、质量计划和检验计划、结构尺寸检查报告，焊接记录、无损检测报告、热处理报告及自动记录曲线、耐压试验报告及泄漏试验报告与风险预防和控制相关的制造文件）；
- d) 产品铭牌的拓印件或者复印件；
- e) 特种设备制造监督检验证书；
- f) 容器设计文件（含计算书、风险评估报告以及其他必要的设计文件）；
- g) 安装使用维护保养说明书

8.2 产品铭牌

8.2.1 容器铭牌应固定于明显的位置，应设置铭牌支架，不能直接铆固在壳体上。

8.2.2 铭牌至少应包括下列内容：

- a) 产品名称；
- b) 制造单位名称；
- c) 制造单位许可证编号级别；
- d) 产品标准；
- e) 主体材料；
- f) 介质名称；
- g) 设计温度；
- h) 最低设计金属温度；
- i) 设计压力或最高允许工作压力；
- j) 耐压试验压力；
- k) 产品编号；
- l) 设备代码；

- m) 制造日期;
- n) 压力容器类别;
- o) 容积。

9 涂敷与运输包装

- 9.1 容器的涂敷与运输包装除应符合 NB/T 10558 的要求外, 还应符合设计文件的要求。
- 9.2 容器外表面应彻底除锈, 涂敷前钢材表面除锈等级应按 GB/T8923.1 中 Sa2.5 级或 St3 级要求。
- 9.3 容器吊装时应使用专用吊具, 运输时应按需要配备运输支架。

附录 A
(规范性)
风险评估报告

A.1 总则

A.1.1 本附录规定了风险评估报告的基本要求。

A.1.2 多层储氢容器设计者应根据相关法规或设计委托方要求编制针对多层储氢容器预期使用状况的风险评估报告。

A.1.3 设计者应充分考虑多层储氢容器在各种工况条件下可能产生的失效模式，在材料选择、结构设计、制造、组焊、检验要求等方面提出安全措施，防止可能发生的失效。

A.1.4 设计者应向多层储氢容器用户提供制定储罐事故应急预案所需要的信息。

A.2 制定原则和程序

A.2.1 设计阶段风险评估主要针对失效模式识别和风险控制。

A.2.2 设计阶段风险评估应按以下程序进行：

- a) 根据用户设计条件和其他设计输入信息，确定多层储氢容器的各种使用工况；
- b) 根据各使用工况的介质、操作条件、环境因素进行危害识别，确定可能发生的危害及其后果；
- c) 针对所有失效模式，说明应采取的安全防护措施和依据；
- d) 对于可能发生的失效风险，给出制定事故应急预案所需要的信息；
- e) 形成完整的风险评估报告。

A.3 风险评估报告内容

风险评估报告内容至少应包括：

- a) 多层储氢容器基本设计参数：压力、温度、材料、介质性质和外载荷等；
- b) 操作工况条件的描述（包括疲劳工况）；
- c) 不同受压元件的选材、执行标准和复验要求，内筒、层板、封头应分别说明，对于复合板应分别对基层和覆层进行说明；
- d) 所有操作、设计条件下可能发生的失效，如：超压、爆炸、泄漏、破损、变形等；
- e) 对于失效模式设计准则已经有规定的，说明采用标准的条款；对于失效模式设计准则没有规定的，说明设计中载荷、安全系数和相应计算方法的选取依据；
- f) 介质少量泄漏、大量涌出和爆炸状况下如何处置的措施；根据周围人员的可能伤及情况，规定合适的人员防护设备和措施；
- g) 应制定多层储氢容器安全使用管理制度，按规定开展巡检、自查，确保安全使用；
- h) 风险评估报告应具有与设计文件一致的签署。

附 录 B
(资料性)
多层储氢容器定期检验指导规则

B.1 基本要求

B.1.1 多层储氢容器定期检验参照的主要标准、规范：

- a) TSG 21《固定式压力容器安全技术监察规程》；
- b) GB 50516《加氢站技术规范》；
- c) GB/T 34583《加氢站用储氢装置安全技术要求》；
- d) 设计文件及相关安全技术规范、标准等。

B.1.2 从事多层储氢容器定期检验及检测工作的人员,应至少配备1名熟悉多层储氢容器的材料、结构、损伤及失效模式的压力容器检验师。

B.2 前期准备

B.2.1 参与多层储氢容器定期检验的人员,应通过涉氢环境作业安全培训。

B.2.2 多层储氢容器定期检验应对以下文件进行审查：

- *a) 设计资料,包括设计单位资质证明、计算书及应力分析报告、设计图样、安全泄放量计算和风险评估报告等；
- *b) 制造资料,包括制造单位资质证明、产品合格证、质量证明文件、竣工图等,以及监检证书；
- *c) 多层储氢容器的安装竣工资料；
- *d) 改造或者重大修理资料,包括施工方案和竣工资料,以及改造、重大修理监检证书；
- e) 使用管理资料,包括《使用登记证》和《使用登记表》,以及运行记录、开停车记录、运行参数实时监控记录、运行条件变化情况以及运行中出现异常情况的记录等；
- f) 历年检验、检查资料,包括定期检验周期内的年度检查报告；
- g) 多层储氢容器的运行记录,包括对压力、温度和压力波动范围超过设计压力20%的压力波动次数实时监控和自动记录。

*注：其中 a)、b)、c)、d) 项的资料,在压力容器投用后首次定期检验时必须进行审查,以后的检验视需要(如发生移装、改造及重大修理等)进行审查。

B.2.3 以下情况应进行开罐检验：

- a) 系统运行发生异常导致储氢容器内可能产生油、水污染；
- b) 压力循环次数在下个检验周期将达到设计使用寿命(许用循环次数)；
- c) 使用时间已接近或超过设计使用年限；
- d) 罐体接管密封件发生泄漏；
- e) 罐体主要受压元件出现失效、损坏情况；
- f) 连续不开罐运行时间已超过2个检验周期。

B.2.4 采取不开罐定期检验方式,需征得用户同意。

B.2.5 如开罐检验,辅助工作应由熟悉多层储氢容器安装或制造的单位实施,基本要求如下：

- a) 拆除影响检验作业的部件和附属设施；
- b) 进行无损检测罐体表面的清理,需符合 NB/T 47013 的要求；
- c) 开罐后,确保内部氢气排除干净,将所有氢气来源用盲板隔断,同时设置明显的隔断标记,并用氮气进行吹扫,吹扫后应取样分析,使用氮气浓度及气体分析结果应符合 GB50516、GB4962 要

求；

- d) 切断与储氢容器有关的电源，设置明显的安全警示标志，检验照明用电电压不得超过 24 V，引入储氢容器内的电缆必须绝缘良好、接地可靠；
- e) 检验过程中不应使容器内部产生损伤和污染；

B.3 现场检验

B.3.1 检验项目和检验方法。

定期检验项目，以宏观检验、壁厚测定、表面缺陷检测、埋藏缺陷检测、安全附件(含报警装置)检验为主，必要时可增加密封紧固件检验、耐压试验、泄漏试验等项目。

B.3.2 宏观检验

宏观检验主要采用目视方法（必要时利用内窥镜、放大镜或者其他辅助仪器设备、测量工具）检验多层储氢容器本体结构、几何尺寸、表面情况(如裂纹、腐蚀、泄漏、变形)，以及焊缝等。目视检测按照 NB/T 47013.7 的规定进行。

开罐时，通过工业内窥镜抽查多层储氢容器内部的腐蚀情况和宏观缺陷，重点抽查接管与半球形封头连接焊缝，并拍照或录像进行记录。工业内窥镜应自带照明系统，在任何光线下都可以传送出清晰明亮的图像。

B.3.3 壁厚测定

B.3.3.1 壁厚测定一般采用超声测厚方法。测定位置应当有代表性，有足够的测点数。。测点后标记记录，对异常测厚点做详细标记。厚度测点，一般选择以下位置：

- a) 接管部位；
- b) 封头部位；
- c) 宏观检验时发现的可疑部位；
- d) 检验人员认为需要测厚的部位。

B.3.3.2 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母材表面的倾斜度，同时作图记录。

B.3.4 表面缺陷检测

B.3.4.1 多层储氢容器表面缺陷检测，按 NB/T47013.4 和 NB/T47013.5 标准执行，铁磁性材料优选磁粉检测方法，具体要求如下：

- a) 接管与封头的焊接接头角焊缝应进行 100%表面检测；
- b) 最外层层板对接接头、层板端部外露焊接接头、层板与封头外露焊接接头应进行不小于 20%长度的表面检测；
- c) 变形部位、宏观检验发现有裂纹部位等应进行 100%表面检测。

B.3.4.2 检测过程中发现裂纹时应当扩大表面无损检测的比例或区域，以便发现可能存在的其他缺陷。

B.3.5 埋藏缺陷检测

B.3.5.1 埋藏缺陷检测可采用超声检测方法，采用 A 型脉冲反射法时应按 NB/T47013.3 执行，采用相控阵超声检测法时应按 NB/T47013.15 执行。埋藏缺陷检测部位一般为：

- a) 接管与封头的焊接接头；
- b) 使用单位要求或检验人员认为有必要的部位。

B.3.5.2 对检测过程中发现的埋藏缺陷，应进行记录并评级。对超标缺陷应予以消除，必要时可进行合于使用评价。

B.3.6 活性缺陷检测：活性缺陷检测可采用声发射检测技术，按 NB/T 47013.9 执行。

B.3.7 强度校核

对腐蚀、机械损伤深度超过腐蚀裕量、名义厚度不明、存在严重缺陷，或者检验人员对强度有怀疑的多层储氢容器，应进行强度校核。

B.3.8 安全附件及报警装置的检验

B.3.8.1 安全附件的检验应符合 TSG 21、GB 50516、GB 50156、GB/T 34583 的要求。

B.3.8.2 多层储氢容器氢气泄漏报警装置的检验除应符合相关标准外，还应对以下情况进行核验：

- a) 检漏孔及各密封连接部位是否有漏气现象；
- b) 氢气传感器探头是否在校验期内；
- c) 是否带记录功能，报警仪是否正常报警和连锁；
- d) 氢气探测器的安装位置，是否位于氢气容易集聚的地方。

B.3.8.3 检查罐区火灾自动报警系统是否符合 GB 50516 和 GB50156 的要求。

B.3.8.4 检查防雷、防静电装置及其检测报告是否符合 GB 50516 和 GB50156 的要求。

B.3.8.5 检查氢气排放管路是否符合 GB 50516 和 GB50156 的要求。

B.3.9 密封紧固件检验

多层储氢容器开罐后，主要密封件原则上需进行更换，在设计使用寿命周期内的紧固螺栓经检测合格后可继续使用。

B.3.10 耐压试验

B.3.10.1 使用单位或者检验机构对多层储氢容器的安全状况有怀疑时，应进行耐压试验，按 TSG 21 执行。试验前需对试验条件和安全性进行评估。

B.3.10.2 使用单位或者检验机构认为有必要时，可在耐压试验时同步进行声发射检测，依据标准为 NB/T47013.9。

B.3.11 泄漏试验

B.3.11.1 使用单位或者检验机构对多层储氢容器的安全状况有怀疑时及开罐检验时，应进行泄漏试验，参照设计图样或相关规范、标准的要求执行。试验前需对试验条件和安全性进行评估。。

B.4 检验结论和检验周期

B.4.1 安全附件检验不合格的多层储氢容器不得投入使用；报警装置检验不合格的多层储氢容器，应限期整改，并采取有效措施确保整改期间的安全，否则禁止使用。

B.4.2 安全状况等级为 1 级至 3 级的，允许使用，检验周期一般为 3 年；安全状况等级为 4 级的，监控使用，累计监控使用时间不得超过 1 年；安全状况等级为 5 级的，应对缺陷进行处理，否则不得继续使用。

B.5 问题发现及处置

B.5.1 现场检验检测发现超标缺陷时，应适当扩大检验检测的比例或者区域。

B.5.2 检验人员发现多层储氢容器存在需要处理的问题，应书面告知使用单位；发现严重事故隐患时，还需书面告知设备的使用登记机关。

B.5.3 现场检验完毕，检验人员应将定期检验结果书面告知使用单位。