

## 团 体 标 准

T/CATSI 05001—2018

---

### 移动式真空绝热深冷压力容器 内容器应变强化技术要求

Transportable vacuum insulated cryogenic pressure vessels—  
Requirement of pressure strengthening for inner vessels

2018-07-20 发布

2018-08-01 实施

---

中国技术监督情报协会 发布





## 目 次

前言 .....	III
引言 .....	IV
1 范围 .....	1
2 规范性引用文件 .....	1
3 术语、定义和符号 .....	2
4 一般要求 .....	2
5 材料 .....	3
6 设计 .....	4
7 制造与检验 .....	9
附录 A (资料性附录) 应变强化压力容器制造过程中重要质量控制点 .....	14
附录 B (资料性附录) 常用奥氏体不锈钢钢号近似对照及要求 .....	16
附录 C (资料性附录) 应变强化工艺验证性试验要求 .....	17
附录 D (资料性附录) 试件预拉伸及试验规则 .....	21
附录 E (规范性附录) 应变强化处理 .....	24



## 前 言

本标准按照 GB/T 1.1—2009 给出的规则起草。

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这些专利的责任。

本标准由中国技术监督情报协会危化品储运装备技术与信息化工作委员会提出并归口。

本标准起草单位：查特深冷工程系统(常州)有限公司、上海市气体工业协会、浙江大学、华东理工大学、江苏省特种设备检测研究院张家港分院、标新科技(北京)有限公司、张家港中集圣达因低温装备有限公司、石家庄安瑞科气体机械有限公司、南通中集能源装备有限公司、荆门宏图特种飞行器制造有限公司、张家港富瑞深冷科技有限公司、中车长江车辆有限公司、江西制氧机有限公司、鲁西新能源装备集团有限公司、苏州华福低温容器有限公司、新兴能源装备股份有限公司、国家石油钻采炼化设备质量监督检验中心、宁波明欣化工机械有限责任公司、北京天海低温设备有限公司、四川空分设备(集团)有限责任公司、安徽安盛石化设备有限公司、四川东材科技集团股份有限公司、梅塞尔(中国)有限公司。

本标准主要起草人：陈文锋、周伟明、徐惠新、郑津洋、惠虎、滕俊华、王飞、刘东华、王红霞、蒋平安、高洁、肖学文、赵杰峰、何远新、毛海涛、李方臣、暴志强、崔闻天、张玉福、闻庆、李伟、肖赞山、徐国强、黄洪驰、虞秀平、陆群杰。

## 引 言

本标准以 NB/T 47058—2017《冷冻液化气体汽车罐车》和 NB/T 47059—2017《冷冻液化气体罐式集装箱》两项标准内容为基础,参照 GB/T 18442.7—2017《固定式真空绝热深冷压力容器 第7部分:内容器应变强化技术规定》的相关要求,提出了移动式真空绝热深冷压力容器采用应变强化技术建造内容器的相关技术要求。

本标准的技术要求包括采用应变强化技术建造移动式真空绝热深冷压力容器内容器过程(即指设计、制造、检验和验收工作)中应遵循的要求。本标准没有必要、也不可能囊括适用范围内采用应变强化技术建造内容器的所有技术细节。

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

# 移动式真空绝热深冷压力容器 内容器应变强化技术要求

## 1 范围

本标准规定了采用应变强化技术制造移动式真空绝热深冷压力容器内容器(以下简称内容器)的材料、设计、制造与检验等方面的技术要求。

本标准适用于同时满足下列条件的内容器:

- 符合 NB/T 47058—2017 或 NB/T 47059—2017 中 1.2 的规定,盛装介质为冷冻液化气体;
- 材料为奥氏体不锈钢;
- 名义厚度大于等于 4 mm 且小于等于 16 mm,由单一内直径的圆筒和标准椭圆形封头构成;
- 在室温下完成应变强化处理。

本标准不适用于符合下列条件的内容器:

- NB/T 47058—2017 或 NB/T 47059—2017 中 1.3 规定的;
- 设计压力大于 1.0 MPa 的装运液化天然气介质的移动式压力容器。

## 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 150(所有部分) 压力容器
- GB/T 228.1—2010 金属材料 拉伸试验 第 1 部分:室温试验方法
- GB/T 229 金属材料 夏比摆锤冲击试验方法
- GB/T 2653 焊接接头弯曲试验方法
- GB/T 3808 摆锤式冲击试验机的检验
- GB/T 12160 单轴试验用引伸计的标定
- GB/T 16825.1 静力单轴试验机的检验 第 1 部分:拉力和(或)压力试验机 测力系统的检验与校准
- GB/T 24511 承压设备用不锈钢和耐热钢钢板和钢带
- NB/T 47010 承压设备用不锈钢和耐热钢锻件
- NB/T 47013.2 承压设备无损检测 第 2 部分:射线检测
- NB/T 47013.5 承压设备无损检测 第 5 部分:渗透检测
- NB/T 47013.11 承压设备无损检测 第 11 部分:X 射线数字成像检测
- NB/T 47013.14 承压设备无损检测 第 14 部分:X 射线计算机辅助成像检测
- NB/T 47014 承压设备焊接工艺评定
- NB/T 47016 承压设备产品焊接试件的力学性能检验
- NB/T 47018.1 承压设备用焊接材料订货技术条件 第 1 部分:采购通则
- NB/T 47018.2 承压设备用焊接材料订货技术条件 第 2 部分:钢焊条
- NB/T 47018.3 承压设备用焊接材料订货技术条件 第 3 部分:气体保护电弧焊钢焊丝和填充丝
- NB/T 47018.4 承压设备用焊接材料订货技术条件 第 4 部分:埋弧焊钢焊丝和焊剂

- NB/T 47058—2017 冷冻液化气体汽车罐车  
NB/T 47059—2017 冷冻液化气体罐式集装箱  
JB 4732—1995 钢制压力容器——分析设计标准(2005 确认)  
TSG R0005—2011 移动式压力容器安全技术监察规程

### 3 术语、定义和符号

#### 3.1 术语和定义

NB/T 47058—2017、NB/T 47059—2017 界定的以及下列术语和定义适用于本文件。

##### 3.1.1

**强化压力** **strengthening pressure**

奥氏体不锈钢制内容器在室温下进行应变强化处理时,容器顶部所达到的最高压力。

##### 3.1.2

**应变强化容器** **pressure strengthened vessel**

奥氏体不锈钢制内容器在室温下施加强化压力进行应变强化处理,使壳体发生总体塑性变形并达到结构稳定的容器。

#### 3.2 符号

- $A$ ——断后伸长率,%;  
 $B$ ——外压应力系数,MPa;  
 $D_i$ ——筒体或封头内直径,mm;  
 $KV_2$ ——夏比冲击吸收能量,J;  
 $LE$ ——侧膨胀值,mm;  
 $P_c$ ——计算压力,MPa;  
 $P_k$ ——强化压力,MPa;  
 $R_m$ ——抗拉强度,MPa;  
 $R_{p0.2}$ ——钢材规定塑性延伸率为 0.2%时的应力,MPa;  
 $\delta_s$ ——钢材厚度,mm;  
 $[\sigma_p]^t$ ——内容器应变强化后,筒体或封头材料在设计温度下的许用应力,MPa。

### 4 一般要求

4.1 内容器的材料、设计、制造与检验及标识除应符合本标准的规定外,还应遵守国家颁布的有关法律法规、安全技术规范及 NB/T 47058—2017、NB/T 47059—2017 等相关标准的规定。

4.2 超出本标准范围采用新材料、新技术、新工艺制造应变强化内容器时,应按 TSG R0005—2011 中 1.7 要求进行技术评审。

4.3 制造单位应在本单位进行内容器的制造,对其采用的焊接工艺和应变强化工艺进行验证,并对工艺文件的正确性和完整性负责。

4.4 制造单位通过应变强化工艺验证性试验和首台产品低温性能型式试验,取得合格的试验报告和型式试验证书后,方能开展批量生产。产品低温性能型式试验应符合 NB/T 47058—2017 或 NB/T 47059—2017 的规定。型式试验证书的有效期为四年。

4.5 制造单位应将产品焊接试件力学性能数据和应变强化试验过程数据及时上传至全国应变强化深



冷容器信息服务平台。监督检验机构应通过全国应变强化深冷容器信息服务平台对产品应变强化处理进行监督检验,并对制造单位上传的应变强化产品相关数据进行确认。平台应将强化相关的异常信息及时反馈给监督检验机构和型式试验机构。

4.6 制造单位和监督检验机构应对内容器采用的应变强化工艺及附录 A 提出的重要质量控制点进行监督检验,除了满足本标准的要求外,还应满足 TSG R0005 的相关要求。

## 5 材料

### 5.1 钢板

5.1.1 钢板的牌号及力学性能应符合表 1 的规定,供货状态为固溶热处理状态,且满足 GB/T 150.2 和 GB/T 24511 的要求。

表 1 钢板力学性能

钢号	室温拉伸		
	规定塑性延伸率为 0.2%时的应力( $R_{p0.2}$ ) MPa	抗拉强度( $R_m$ ) MPa	断后伸长率(A) %
S30408	$\geq 220$	520~720	$\geq 45$
S30403	$\geq 210$	490~720	
S31608	$\geq 220$	520~720	
S31603	$\geq 210$	490~720	

5.1.2 钢板应进行复验,至少包括下列内容:

- 逐张检查钢板的表面质量和材料标记;
- 按批复验钢板的室温拉伸性能;
- 若采用开平板,其复验要求还应符合 GB/T 150.4 的相关规定。

5.1.3 拉伸试验的取样数量和位置应符合 GB/T 24511 和 GB/T 150.2 的规定。

5.1.4 拉伸试样尺寸和试验方法应符合 GB/T 228.1 的规定。

5.1.5 当钢板实测的抗拉强度高于 720 MPa 时,应按 7.4.1 重新进行焊接工艺评定,评定合格后方可采用。

### 5.2 钢管与管件

钢管与管件用材料应符合 NB/T 47058 或 NB/T 47059 的规定。

### 5.3 锻件

与介质接触的奥氏体不锈钢锻件应符合 NB/T 47010 中相应牌号的规定,锻件级别不低于Ⅲ级。

### 5.4 焊接材料

5.4.1 焊接材料应符合 NB/T 47018.1~47018.4 的规定,且有清晰、牢固的标志。

5.4.2 内容器壳体采用的焊接材料,其熔敷金属化学成分应与母材相同或相近,焊接接头的强度和韧性与壳体母材相匹配,熔敷金属的抗拉强度不低于母材标准规定的下限值。

## 5.5 境外牌号材料

内容器材料采用境外牌号时,应参照附录 B 的规定执行。

## 5.6 内容器支撑材料

5.6.1 当采用金属材料作支撑元件时,应选用热导率小、具有良好的低温冲击韧性的材料,使用温度应在材料允许使用温度范围内,且符合相应材料标准的要求。

5.6.2 当采用非金属材料作支撑元件时,应满足以下要求:

- a) 材料性能应符合相应的国家或行业标准的规定。若无国家或行业材料标准时,材料制造单位应制定相应的企业标准。
- b) 材料的物理和力学性能应满足真空和低温环境的使用要求,且在真空环境下具有较低的表面放气率。当采用低温绝热用环氧玻璃钢管材时,材料在室温和 $-196\text{ }^{\circ}\text{C}$ 条件下的物理与力学性能指标不应低于表 2 的要求。

表 2 低温绝热用环氧玻璃钢管材物理与力学性能指标

加载方向	温度/ $^{\circ}\text{C}$	密度/ ( $\text{g}/\text{cm}^3$ )	热导率/ ( $\text{W}/\text{m}\cdot\text{K}$ )	平均线膨胀 系数 $10^{-5}/^{\circ}\text{C}$	拉伸强度/ MPa	压缩强度/ MPa	剪切强度/ MPa	弯曲强度/ MPa	冲击韧性/ ( $\text{J}/\text{cm}^2$ )
平行于布层 方向	室温	1.70~	$\leq 0.50$	$\leq 16$	$\geq 210$	$\geq 250$	$\geq 30$	—	—
	$-196$		$\leq 0.42$		$\geq 280$	$\geq 360$	$\geq 35$	—	—
垂直于布层 方向	室温	1.90	$\leq 0.43$	$\leq 40$	—	$\geq 310$	$\geq 80$	$\geq 340$	$\geq 22$
	$-196$		$\leq 0.35$		—	$\geq 420$	$\geq 100$	$\geq 420$	$\geq 35$

- c) 材料制造单位应委托具有 CNAS 资质的相关试验机构进行材料性能测试,并取得试验机构出具的材料性能试验报告。
- d) 材料出厂文件应包含材料的压缩强度、弯曲强度、拉伸强度、剪切强度、冲击韧性和弹性模量等力学性能指标以及热导率、线膨胀系数、允许使用温度范围等物理性能指标,确保使用的非金属支撑元件满足移动式深冷容器的绝热性能、结构强度、制造工艺和使用的要求。

## 5.7 其他材料

当采用表 1 和附录 B 规定以外的材料制造应变强化内容器时,还应符合 TSG R0005 的相关规定。

## 6 设计

### 6.1 一般要求

6.1.1 内容器设计除应符合本标准的规定外,还应符合 TSG R0005、GB/T 150 和 NB/T 47058—2017 或 NB/T 47059—2017 的规定。

6.1.2 设计单位应针对应变强制移动式真空绝热深冷容器出具风险评估报告,其内容除符合 NB/T 47058—2017 附录 B 或 NB/T 47059—2017 附录 B 的规定外,还应包括采用应变强化技术可能产生的失效模式及其风险控制。

6.1.3 内容器的设计图样中应注明“采用应变强化技术”,以及强化压力、强化前内直径等内容。

6.1.4 设计文件中标注的内容器内直径、名义厚度和最小成形厚度等均应为应变强化处理前的参数。

6.1.5 当移动容器对几何容积不大于  $10 \text{ m}^3$  的小型储罐充液时,移动容器应进行流量控制,并具有防过充的功能。严禁对充装量无自动控制装置的小型储罐进行充装。

6.1.6 产品铭牌中应标明“应变强化容器”,符号为“PS”。

## 6.2 载荷

内容器设计时,除应考虑 NB/T 47058—2017 或 NB/T 47059—2017 规定的载荷及可能发生的最苛刻的载荷组合外,还应考虑内容器支撑处产生的支反力和应变强化处理时的强化压力载荷。

## 6.3 许用应力

6.3.1 当内容器承受压力载荷时,采用规则设计的筒体和封头用钢板许用应力按表 3 的规定;采用分析设计的筒体和封头用钢板设计应力强度值按表 3 中相应钢号的应变强化许用应力确定。

6.3.2 接管、内容器支承元件以及开孔部位等局部采用分析设计时,筒体和封头总体薄膜应力的设计应力强度取值按表 3 中相应材料的许用应力确定,其他受压元件的设计应力强度按 GB/T 150.2 规定的相应材料许用应力确定。

表 3 常用奥氏体不锈钢应变强化后钢板的许用应力

钢 号	应变强化许用应力 $[\sigma_p]$ / MPa
S30408	<273
S31608	
S30403	<266
S31603	

6.3.3 接管和锻件等受压元件的许用应力按 GB/T 150.2 确定。

6.3.4 当夹层支撑元件采用非金属材料时,确定材料许用应力的安全系数应不小于 4.0,材料的抗拉强度、压缩强度与剪切强度值应取室温下对应施加载荷方向的标准规定下限值。

## 6.4 内压计算

内容器强度计算和外压稳定性校核时,采用规则设计的应符合 GB/T 150.3 的规定,采用分析设计的应符合 JB 4732 的规定,局部结构应力分析可按 JB 4732 的规定进行。其他承载构件的强度计算按 NB/T 47058—2017 或 NB/T 47059—2017 的规定。

## 6.5 外压计算

6.5.1 内容器壳体、加强圈的外压稳定性计算应符合 GB/T 150.3 的规定,确定表 3 所列钢号的外压应力系数 B 时,设计温度除考虑正常工作温度外,还应考虑加热抽真空时的最高温度,在相应材料的外压应力曲线上取外压应力系数 B。

6.5.2 外压计算压力应不小于内容器在制造、运输、装卸、检验与试验或者其他工况中,可能出现的最大内外压力差。

## 6.6 开孔补强

内容器的开孔补强应采用整体补强结构,开孔补强的计算应符合 GB/T 150.3 或 JB 4732 的规定。

## 6.7 强化压力

强化压力  $P_k$  按式(1)进行计算:

$$P_k = 1.5 P_c \quad \dots\dots\dots(1)$$

式中:

$P_k$  ——强化压力,单位为兆帕,MPa;

$P_c$  ——计算压力,单位为兆帕,MPa。

## 6.8 耐压试验压力

耐压试验的压力取值应符合 NB/T 47058—2017 或 NB/T 47059—2017 的规定。

## 6.9 结构设计

### 6.9.1 内容器的结构设计应充分考虑以下因素:

- a) 内容器的结构应尽量简单,减少约束;
- b) 应尽量避免内容器结构形状的突然变化,以减小局部应力;
- c) 内容器开孔直径一般不大于 150 mm;
- d) 当设置工艺人孔时,开孔边缘应在封头中心  $0.8D_i$  内,开孔中心线沿壳体法线方向;
- e) 内容器应按 NB/T 47058—2017 或 NB/T 47059—2017 的要求设置用于确定最大允许充装量的溢流口,并考虑应变强化后的内容器直径增大对溢流口位置的影响;
- f) 夹层管路的设计应考虑内容器和管路承受的热应力载荷,尽可能从固定端支撑的封头(或筒体)引出;
- g) 内容器防波板支撑圈的厚度应不大于所在部位的筒体厚度;
- h) 内容器除最后一道封闭环焊缝外,A、B类焊接接头应采用全焊透对接接头,封闭环焊缝允许采用带永久性垫板的对接接头;
- i) 加强圈的拼接焊缝应采用全截面熔透焊接接头,加强圈与筒体之间的焊缝应采用双面连续焊接,焊缝高度应不小于筒体厚度和加强圈厚度的较小值;
- j) 设计时,还应考虑由于内容器应变强化后塑性变形对罐体套装、低温绝热性能及管路系统产生的影响。

### 6.9.2 结构件与内容器的连接应符合下列规定:

- a) 内容器的支座、吊耳等主要受力构件应通过垫板与内容器壳体连接,垫板材料应与内容器壳体材料牌号相同;
- b) 垫板厚度不大于筒体或封头厚度;
- c) 垫板与内容器的焊接接头高度应不大于所在位置的内容器材料的厚度;
- d) 垫板的边缘应为圆角形状,圆角半径应不小于 4 倍的垫板厚度;
- e) 垫板上应设置一个透气孔;
- f) 垫板与内容器壳体的连接应采用连续焊接;
- g) 垫板宜避开 A、B 类焊接接头。

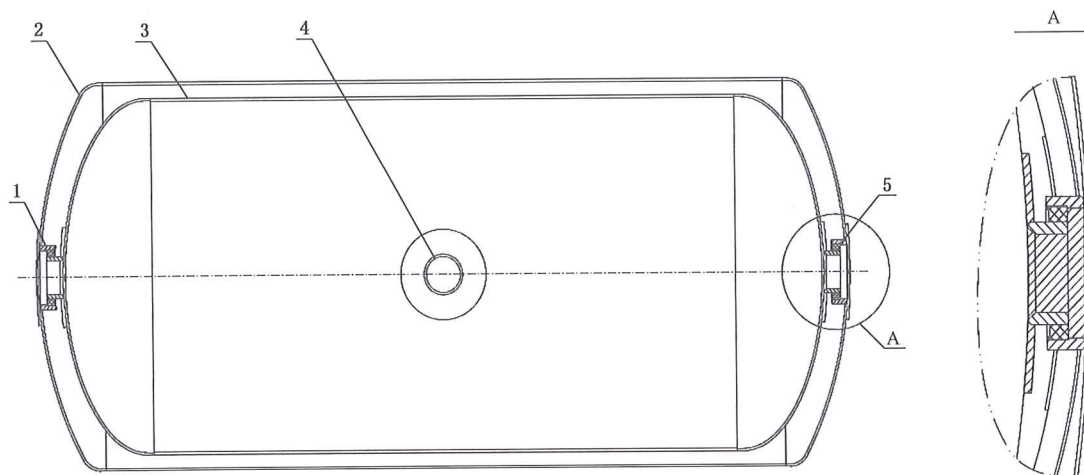
## 6.10 夹层支撑结构设计

6.10.1 设计夹层支撑结构时,应综合考虑内容器和支撑结构的强度、刚度、绝热性能、套装条件和移动式深冷容器的使用工况等因素以及支撑结构对内容器应变强化的影响,选择合适的夹层支撑型式。

### 6.10.2 推荐采用的内容器典型支撑型式及其要求如下:

- a) 两端轴向支撑型式:在内容器与外壳的前、后封头之间均设置轴向支撑的支撑型式,如图 1 所

示。当内容器容积较大或装载介质较重时,应考虑设置防止内容器扭转的辅助支撑装置。轴向支撑装置中的绝热元件推荐选用非金属材料,如 $-196\text{ }^{\circ}\text{C}$ 低温专用的环氧玻璃钢管、棒或板材。与夹层管路连接端的支撑应为固定支撑、另一端为滑动支撑;或者两端的轴向支撑均为滑动支撑,中间为防扭转的固定支撑。

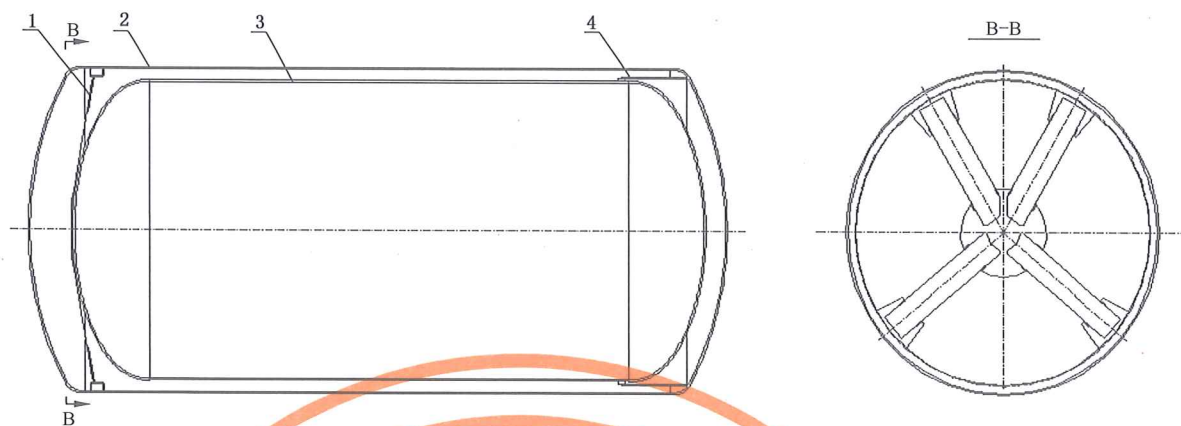


说明:

- 1——前端轴向滑动支撑装置;
- 2——外壳;
- 3——内容器;
- 4——侧向防扭转支撑装置;
- 5——后端轴向滑动支撑装置。

图 1 采用两端轴向支撑型式的典型结构示意图

- b) 吊带与裙座的组合支撑型式:内容器与外壳的一端采用吊带连接,另一端采用裙座结构连接的组合支撑型式,如图 2 所示。在内容器筒体后部设置裙座,与外壳后封头相连,形成悬臂式的固定支撑,并且从裙座一端的封头引出夹层管路;在另一端的封头上设置径向分布的不锈钢吊带,吊带的另一端与外壳的加强圈连接,形成弹性支撑。在设计时,应综合考虑吊带和裙座的强度与传热,选择合理的壁厚和长度。

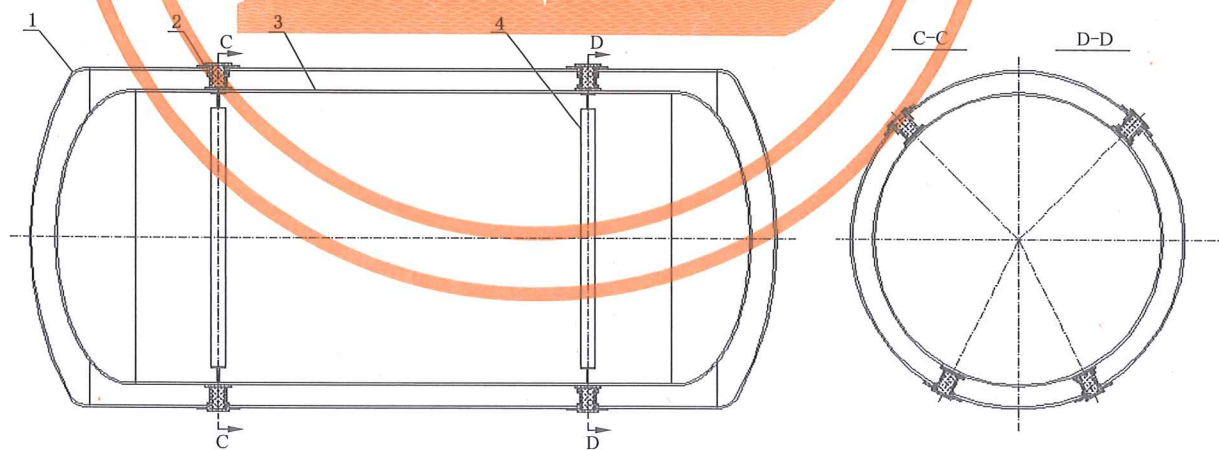


说明：

- 1——不锈钢吊带；
- 2——外壳；
- 3——内容器；
- 4——不锈钢内裙座。

图 2 采用吊带和内裙座的组合支撑典型结构示意图

c) 多点径向支撑型式：在内容器与外壳筒体前、后两个支撑截面上各设置一组(至少四根)径向非金属支撑元件的支撑型式，如图 3 所示。通常靠近夹层管路端的一组支撑应为固定支撑，限制内容器沿轴向的滑动和周向的转动，另一组支撑为滑动支撑。在内容器与外壳套装时，应采用合适的工艺和必要的措施，除满足内容器与外壳同轴度的要求外，还应尽可能减小使用状态下径向支撑元件端部与壳体之间存在的间隙，以减小内容器在运输过程中的颤动。

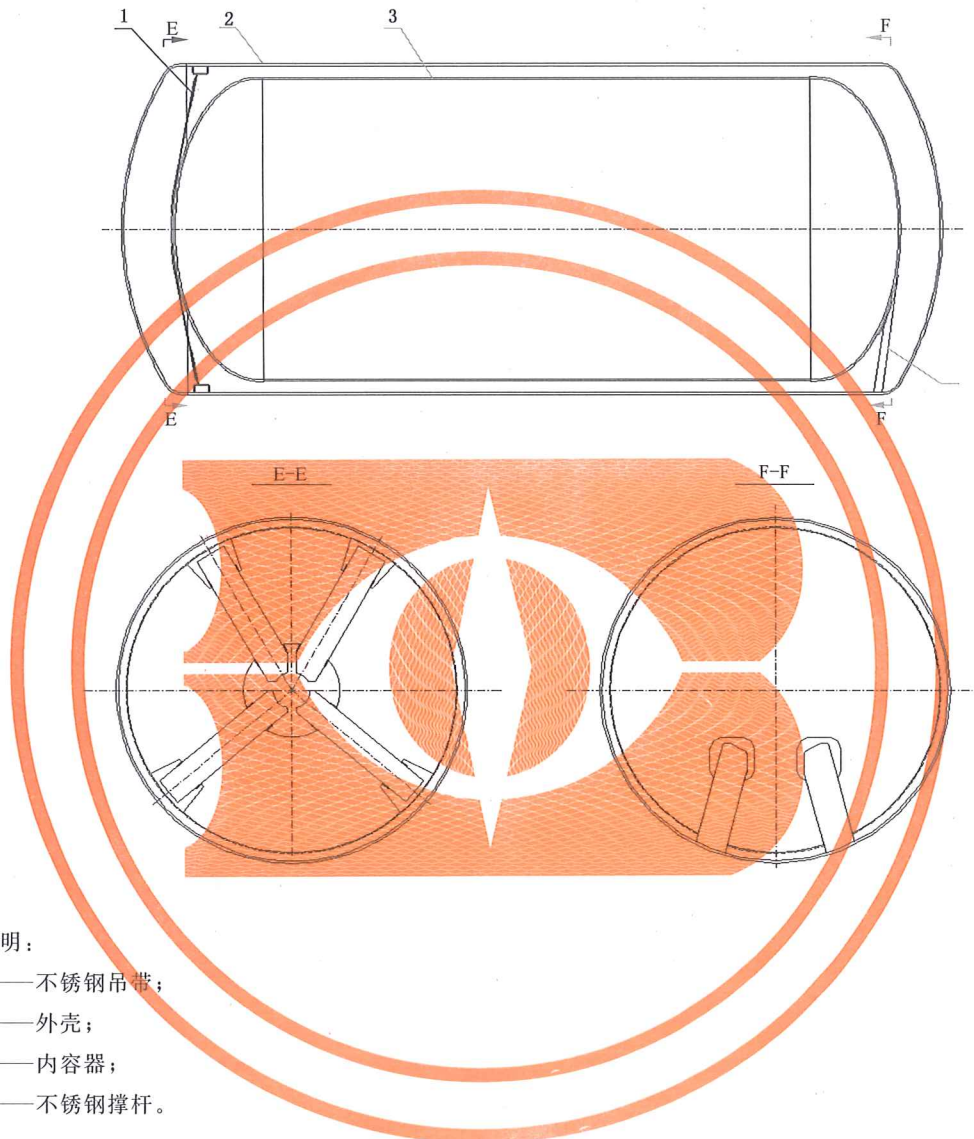


说明：

- 1——外壳；
- 2——径向支撑元件；
- 3——内容器；
- 4——内加强圈。

图 3 多点支撑型式的典型结构示意图

- d) 吊带和撑杆组合支撑型式:内容器与外壳一端采用吊带连接,另一端采用撑杆连接的组合支撑型式,如图4所示。在内容器一端的封头上设置径向分布的不锈钢吊带与外壳的加强圈连接,形成弹性支撑。在引出夹层管路的内容器封头上焊接不锈钢撑杆,撑杆的另一端与外壳封头焊接,形成固定端支撑。



说明:

- 1——不锈钢吊带;  
2——外壳;  
3——内容器;  
4——不锈钢撑杆。

图4 吊带和撑杆组合支撑型式典型结构示意图

6.10.3 当支撑处的筒体不足以承受支反力时,应对支撑处的筒体进行加强。典型的加强形式有两种:一种是将支撑所在位置的一段筒节整体增厚,可按 GB/T 150.2 的材料许用应力确定筒节的壁厚;另一种是在支撑截面上设置加强圈对筒体加强。

## 7 制造与检验

### 7.1 一般要求

7.1.1 内容器的制造、检验与验收除应符合本标准规定外,还应满足 NB/T 47058—2017 或 NB/T 47059—2017 的要求。

7.1.2 制造单位应具备与应变强化工艺相适应的厂房设施、强化装备以及相应的检测设备。

7.1.3 制造单位首次采用应变强化技术进行内容器制造前,应试制样品容器,并按附录 C 的要求进行应变强化工艺验证性试验。

## 7.2 材料制备

7.2.1 内容器筒体相邻筒节应优先采用同一炉批号、同一厚度的钢板。采用不同炉批号材料时,相邻筒节材料的  $R_{p0.2}$  相差不宜超过 30 MPa。

7.2.2 内容器封头用钢板宜选择 S30403 或 S31603 奥氏体不锈钢板。

7.2.3 拼接封头应选用同一炉批号的钢板。

## 7.3 加工成形

7.3.1 内容器的加工应符合 NB/T 47058—2017 或 NB/T 47059—2017 的相关规定。

7.3.2 封头如采用 S30408 奥氏体型不锈钢材料,应采用温成形或固溶化等适当的工艺对其过渡段和直边段的马氏体含量进行控制,封头各部位的铁素体测量值应不大于 15%。

7.3.3 管子采用冷成形工艺加工时,应对其成形后弯曲段的马氏体含量进行控制,弯曲段的铁素体测量值应不大于 15%。

## 7.4 焊接

### 7.4.1 焊接工艺评定

7.4.1.1 内容器施焊前应按照 NB/T 47014 和本标准的要求进行焊接工艺评定。

7.4.1.2 焊接工艺评定试件的焊接接头外观应无咬边、裂纹、表面气孔、焊渣、凹坑、焊瘤等缺陷,且表面无焊接飞溅物,试件应按 NB/T 47013.2、NB/T 47013.11 或 NB/T 47013.14 进行 100% 射线检测,技术等级不低于 AB 级,合格级别不低于 7.5 中规定的合格级别。

7.4.1.3 试件按 7.4.1.2 的规定经检验合格后,应避开缺陷区域位置制取预拉伸试件,保留焊缝余高,参见附录 D 的规定进行预拉伸处理。

7.4.1.4 预拉伸后的试件制成试样时,采用机械方法去除焊缝余高,使之与母材齐平。试样取样方法、试样尺寸及加工要求参见附录 D 的规定。

7.4.1.5 试验要求:

a) 试样数量

取室温拉伸试样 2 件,弯曲试样 4 件(2 件面弯和 2 件背弯或 4 件侧弯),焊缝金属区及热影响区冲击试样各 3 件。

b) 试验温度

拉伸试验和弯曲试验取室温,冲击试验温度不高于内容器最低设计金属温度。

c) 试验结果评定

焊接工艺评定试验结果应符合表 4 的规定。焊接接头每组标准试样的冲击吸收能量平均值应不低于规定值,允许有一个试样的冲击吸收能量低于规定值,且不低于规定值的 70%。当试样厚度小于 5 mm 时,其冲击试验仅考核侧膨胀值。



表 4 预拉伸后焊接接头力学性能和弯曲性能合格指标

室温拉伸			
钢号	抗拉强度( $R_m$ ) MPa		断后伸长率(A) %
S30408 S31608	$\geq 520$		$\geq 25$
S30403 S31603	$\geq 490$		
冲击试验			
钢号	试样规格/ mm	夏比冲击吸收能量( $KV_2$ ) J	侧膨胀值( $LE$ ) mm
S30408 S30403 S31608 S31603	10×10×55	$\geq 31$	$\geq 0.53$
	7.5×10×55	$\geq 24$	
	5×10×55	$\geq 16$	
室温弯曲			
弯曲试验的弯头直径应为试样厚度的 4 倍,弯曲角度为 180°时,拉伸面无裂纹为合格。			
注:侧膨胀值合格指标均为规定的最小值。			

#### 7.4.2 施焊

7.4.2.1 内容器的焊接应严格控制线能量,在焊接工艺评定所确认的范围内,选用较小的焊接线能量,且不宜超过 2.5 kJ/mm。

7.4.2.2 施焊过程中应控制焊道(层)间温度,且不宜超过 100 °C。

7.4.2.3 内容器焊接的其他要求按 NB/T 47058—2017 或 NB/T 47059—2017 的规定。

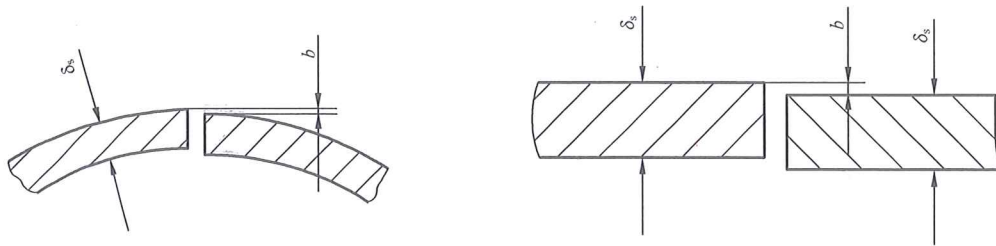
#### 7.4.3 焊缝形状尺寸

7.4.3.1 焊缝形状尺寸及表面质量除应符合 NB/T 47058—2017 或 NB/T 47059—2017 的规定外,A 类焊接接头焊缝余高还应满足下列要求:

- a)  $\delta_s \leq 10$  mm 时,焊缝余高应不大于 1 mm;
- b)  $10 \text{ mm} < \delta_s \leq 16$  mm 时,焊缝余高应不大于  $0.1\delta_s$ 。

7.4.3.2 相同厚度的焊接接头,其对口错边量(见图 5)应符合下列要求:

- a) A 类焊缝: $\delta_s \leq 6$  mm 时,不大于 1 mm; $6 \text{ mm} < \delta_s \leq 16$  mm 时,不大于对口处钢材厚度的 15%,且不大于 2 mm;
- b) B 类焊缝: $\delta_s \leq 6$  mm 时,不大于 1 mm; $6 \text{ mm} < \delta_s \leq 16$  mm 时,不大于对口处钢材厚度的 15%。



注：b 为错边量。

图 5 A、B 类焊接接头对口错边量

#### 7.4.4 强化前焊缝返修

强化前焊缝返修应符合 NB/T 47058—2017 或 NB/T 47059—2017 的规定。

#### 7.4.5 强化后焊缝焊接返修和施焊

7.4.5.1 当筒体 A、B 类焊接接头以及公称直径大于 50 mm 的接管与筒体的 D 类焊接接头焊接返修后，应重新进行应变强化处理，并经制造单位技术负责人批准。

7.4.5.2 当符合下列情况施焊时，可免除再次应变强化处理，但应进行耐压试验，试验压力按 6.8 确定：

- a) 仅承受较小载荷附件的点焊；
- b) 接管的焊缝长度不超过内容器内直径的 10%，且不超过 100 mm；
- c) 对主体结构不产生显著影响的轻微的焊缝返修。

#### 7.4.6 产品焊接试件

7.4.6.1 应逐台制备产品焊接试件，试件应在筒节纵向焊缝的延长部位与筒节同时施焊。对于采用应变强化技术批量制造的同产品型号的内容器，采用相同的焊接工艺、相同的材料炉批号和相同的强化工艺时，允许以批代台制备产品焊接试件，每批不超过 20 台。

7.4.6.2 产品焊接试件参见附录 D 的规定进行预拉伸。产品焊接试件和试样数量应符合 NB/T 47016 的规定。预拉伸后的室温拉伸、室温弯曲与低温冲击（不高于最低设计金属温度）试验及其合格指标应符合表 4 的规定。

### 7.5 无损检测

#### 7.5.1 应变强化实施前检测：

- a) 内容器所有 A、B 类焊接接头应按 NB/T 47013.2、NB/T 47013.11 或 NB/T 47013.14 进行 100% 射线检测，检测技术等级不低于 AB 级，除带垫板的封闭焊接接头合格级别不低于 II 级外，其余焊接接头的合格级别不低于 I 级；
- b) 内容器 A、B、D、E 类焊接接头以及加强圈与内容器的角接焊接接头等应力集中的部位应按 NB/T 47013.5 进行 100% 渗透检测，合格级别不低于 I 级；
- c) 起弧点和临时附件切除后的焊接处应修磨至圆滑过渡并按 NB/T 47013.5 进行渗透检测，合格级别不低于 I 级；
- d) 经检测发现不允许的缺陷时，应对超标缺陷进行返修，并对该部位按原检测要求和合格级别进行重新检测和评定。

#### 7.5.2 应变强化过程的检测：

- a) 当压力升至设计压力时，对内容器表面进行目测检查，无泄漏、无可见变形、无异常声响为

合格；

- b) 强化后压力卸压至设计压力时,应对内容器的焊接接头进行形状尺寸检查、外观目视检查,无渗漏、无异常声响为合格。

#### 7.5.3 应变强化实施后检测:

- a) 带垫板的封闭焊接接头应按 NB/T 47013.2、NB/T 47013.11 或 NB/T 47013.14 进行 5% 射线检测,检测技术等级不低于 AB 级,合格级别不低于 II 级,检测部位优先选择丁字焊缝和原有条形缺陷部位;
- b) 对内容器外表面的 A、B、D、E 类焊接接头以及起弧点和临时附件切除后的焊接处,应按 NB/T 47013.5 进行 100% 渗透检测,合格级别不低于 I 级;
- c) 经检测发现不允许的缺陷时,应对超标缺陷进行返修,并对该部位按原检测要求和合格级别进行重新检测和评定;
- d) 符合返修后免除再次应变强化处理的施焊部位,应按 NB/T 47013.5 进行 100% 渗透检测,合格级别不低于 I 级。

#### 7.6 应变强化处理

内容器的应变强化处理应符合经验证合格的强化工艺文件和附录 E 的规定。试验时,内容器的支撑不应内容器的变形产生拘束。

#### 7.7 耐压试验

当内容器强化后焊缝的焊接返修和施焊符合 7.4.5.2 的规定时,应按 6.8 的要求进行耐压试验。

## 附录 A

### (资料性附录)

#### 应变强化内容器制造过程中重要质量控制点

##### A.1 设计文件

- A.1.1 风险评估报告。
- A.1.2 文件的完整性和标准符合性。
- A.1.3 设计文件中的“PS”标识。

##### A.2 材料复验

- A.2.1 内容器材料应满足第 5 章的要求。
- A.2.2 筒体和封头的材料还应符合 7.2 的规定。

##### A.3 成形控制

- A.3.1 筒体和封头的成形应符合 7.3 的规定。
- A.3.2 焊缝形状尺寸应符合 7.4.3 的规定。

##### A.4 焊接工艺评定

焊接工艺评定应符合 7.4.1 的规定,预拉伸后焊接接头的力学性能和弯曲性能合格指标应符合表 4 的规定。

##### A.5 焊接

- A.5.1 应按评定合格的焊接工艺进行施焊。
- A.5.2 焊材的选择应符合 5.4 的规定。

##### A.6 产品焊接试件

产品焊接试件应符合 7.4.6 的规定,其力学性能和弯曲性能合格指标应符合表 4 的规定。

##### A.7 无损检测

- A.7.1 内容器应在强化实施前、强化实施过程中及强化实施后进行无损检测。
- A.7.2 检测方法、检测比例及合格指标等应符合 7.5 的规定。
- A.7.3 应注意强化前有缺陷的部位和应力集中部位在强化后的检测结果。

## A.8 强化过程

A.8.1 强化过程应严格按照经验证合格的强化工艺要求进行。强化工艺要求应满足附录 E 的规定。

A.8.2 升压速率以及最后 15 min~30 min 内最大周长变化速率的控制要求,应符合附录 E 的规定。

## A.9 出厂文件和标识

出厂文件应注明“应变强化容器”,铭牌中应有“PS”标识。

**附录 B**  
(资料性附录)

常用奥氏体不锈钢钢号近似对照及要求

B.1 本附录给出了本标准所采用的材料与境外相应牌号材料的对应关系,见表 B.1。

表 B.1 奥氏体型不锈钢钢号近似对照表

GB/T 24511		EN 10028-7		ASME SA240	
统一数字代号	牌号	数字代号	牌号	UNS 代号	型号
S30408	06Cr19Ni10	1.4301	X5CrNi18-10	S30400	304
S30403	022Cr19Ni10	1.4306	X2CrNi19-11	S30403	304L
S31608	06Cr17Ni12Mo2	1.4401	X5CrNiMo17-12-2	S31600	316
S31603	022Cr17Ni12Mo2	1.4404	X2CrNiMo17-12-2	S31603	316L

B.2 当表 B.1 中的境外牌号的材料用于采用应变强化技术制造压力容器时,应满足 TSG R0005—2011 中有关境外牌号材料使用的相关规定,同时其化学成分和力学性能等应符合第 5 章的相关要求。

## 附录 C

(资料性附录)

## 应变强化工艺验证性试验要求

## C.1 一般要求

C.1.1 内容器制造前其工艺文件应经工艺验证性试验进行验证。验证试验采用试制样品容器,并按照附录 D 的要求进行相关试验。

C.1.2 样品容器的设计、制造和检验应符合本标准的要求,并在试制前根据本标准及相关标准的要求进行焊接工艺评定,制定焊接工艺指导书、应变强化工艺指导书和试验大纲等工艺文件。

C.1.3 验证试验的相关要求应按照试验大纲的内容和要求进行。

## C.2 样品容器的结构要求

C.2.1 样品容器的结构要求如下:

- a) 罐体至少为两个筒节,每筒节宽度不小于 1 500 mm,对接环向焊缝设置在预估内容器变形最大处;
- b) 内直径不小于 1 800 mm,名义壁厚不小于 8 mm;
- c) 两个筒节的中间部位,各设置一个加强圈;
- d) 罐体可不设人孔、支座垫板等约束性部件;
- e) 筒体与封头的对接环向焊缝应能模拟内容器封闭焊缝的焊接接头形式。

C.2.2 按样品容器的结构和设计参数进行强度计算。

C.2.3 样品容器应变强化工艺可进行数值仿真分析,通过与试验结果对比,掌握采用应变强化工艺造成筒体的塑性变形的部位及变形量的规律。

## C.3 验证性试验大纲

## C.3.1 一般要求

验证性试验大纲应明确在应变强化实施前、强化过程中和强化实施后的检验和试验项目、目的、方法和要求。

## C.3.2 验证性试验项目、实施时机和试验目的

验证性试验的试验项目、实施时机和试验目的等内容见表 C.1。

表 C.1 试验项目、实施时机和试验目的

序号	试验项目	试验阶段	试验目的
1	焊接接头无损检测	强化前	检测样品容器的焊接接头内外部相关缺陷和母材表面缺陷,以发现超标缺陷和线状表面缺陷
		强化后	检测样品容器的焊接接头内部缺陷和母材表面缺陷,以发现新的超标缺陷和线状表面缺陷的扩展情况; 对于加强圈与筒体连接的角焊缝,需进行 100% 渗透检测,以发现是否存在表面裂纹和拉裂的情况
2	金相组织分析 (选择项)	强化前	检测样品容器母材和焊接接头的金相组织、晶粒度和夹渣等,并对比分析其奥氏体和马氏体组织变化情况
		强化后	
3	马氏体含量测试 (选择项)	强化前	用铁素体含量测试仪对强化实施前的封头过渡段、直边段部位的马氏体含量进行测试
4	筒体周长测量	强化前	筒体周长测量的目的是按应变强化工艺要求测量样品容器筒体周长变化情况,并计算周长变化率,为强化结束提供判据
		设计压力时	
		强化压力时	
		保压过程	
		卸压后	
5	A、B类焊接接头 力学性能检验	强化后	检测样品容器强化后 A、B类焊接接头的力学性能,以验证其性能是否符合本标准要求
6	母材力学性能检验	强化前	检测样品容器强化前母材的力学性能,以验证其性能是否符合本标准要求
7	产品焊接试件 力学性能检验	预拉伸后	检测样品容器产品焊接试件强化后的力学性能,以验证其性能是否符合本标准要求

### C.3.3 试验内容

#### C.3.3.1 焊接接头无损检测

焊接接头的无损检测应符合 7.5 的相关规定。

#### C.3.3.2 马氏体含量测试

用铁素体含量测试仪对强化前的封头过渡段、直边段的马氏体含量进行测试。

#### C.3.3.3 筒体周长长度测量

##### C.3.3.3.1 强化实施前测量

在内容器开始强化前对筒体进行周长测量,周长测量位置选在各拘束段预估可能产生最大变形的截面部位。



### C.3.3.3.2 强化实施过程中及强化实施后测量

在强化过程中及强化实施后测量,应对预估可能产生最大变形的截面进行周长测量。

### C.3.3.4 强化后力学性能检验

#### C.3.3.4.1 取样原则

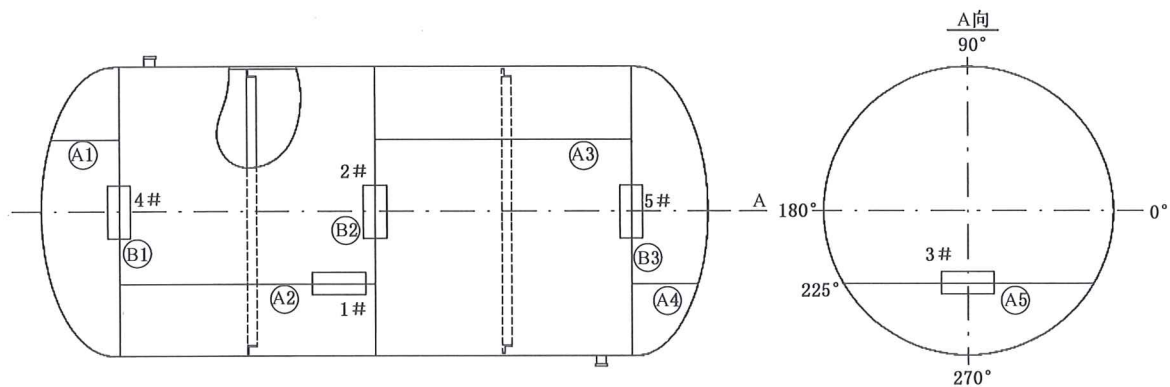
应避开超标缺陷处取样。

#### C.3.3.4.2 取样位置、测试项目及合格指标

取样位置、测试项目及合格指标如下:

a) 取样位置见图 C.1,要求如下:

- 1) 筒体周向最大变形截面处的纵向焊缝试件;
- 2) 筒体周向最大变形截面处的临近环向焊缝试件;
- 3) 封头拼接焊缝试件;
- 4) 筒体与封头连接处带垫板环向焊缝试件;
- 5) 筒体与封头连接处不带垫板环向焊缝试件;
- 6) 产品焊接试件,应满足 7.4.6 的要求,并按附录 D 的规定进行预拉伸。



说明:

- 1#——筒体周向最大变形截面处的纵向焊缝试件;
- 2#——筒体周向最大变形截面处的临近环向焊缝试件;
- 3#——封头拼接焊缝试件;
- 4#——筒体与封头连接处带垫板环向焊缝试件;
- 5#——筒体与封头连接处不带垫板环向焊缝试件。

图 C.1 样品容器取样示意图

b) 测试项目及合格指标见表 C.2。

表 C.2 测试项目及合格指标

样品容器取样位置	测试项目	要 求	合格指标
样品容器焊接接头试件	拉伸(常温 1 个); 冲击(-196 ℃低温 6 个,焊缝和热影响区各 3 个); 弯曲(常温 2 个,面弯+背弯各 1 个)	a) 取样后需要把弧面展平; b) 拉伸试样轴向垂直于焊缝; c) 冲击试样长度方向垂直于焊缝,V形缺口的轴线平行于板厚方向(垂直于表面); d) 弯曲试样轴向垂直于焊缝,焊缝中心应对准弯心轴线	表 4
产品焊接试件(预拉伸后)	拉伸(常温 1 个); 冲击(-196 ℃低温 6 个,焊缝和热影响区各 3 个); 弯曲(常温 2 个,面弯+背弯各 1 个)	a) 拉伸试样轴向垂直于焊缝; b) 冲击试样长度方向垂直于焊缝,V形缺口的轴线平行于板厚方向; c) 弯曲试样轴向垂直于焊缝,焊缝中心应对准弯心轴线	表 4
原始母材(筒体)的力学性能试件	拉伸(常温 1 个)	拉伸试样垂直于板材轧制方向	表 1

附 录 D  
(资料性附录)  
试件预拉伸及试验规则

### D.1 试验设备

D.1.1 拉伸试验机采用计算机控制,测力系统按 GB/T 16825.1 校准,精确度不低于 1 级,数据采集和处理按 GB/T 228.1—2010 中附录 A 的规定。

D.1.2 引伸计应符合 GB/T 12160 的规定,精确度不低于 1 级。

D.1.3 夏比摆锤冲击试验机应符合 GB/T 3808 的规定。

### D.2 焊接试件预拉伸

#### D.2.1 焊接试件预拉伸试样

焊接试件预拉伸试样的切取和试样数量按 NB/T 47016 的规定。预拉伸试样尺寸为母材全厚度( $T$ ) $\times$ 宽度( $W$ ) $\times$ 长度( $L$ ),且满足拉伸、弯曲、冲击试样的尺寸要求。试样应保留焊缝余高,焊缝应位于试样中间部位。预拉伸试样的有效区域应为远离上下夹头 20 mm 的范围内。预拉伸试样见图 D.1。

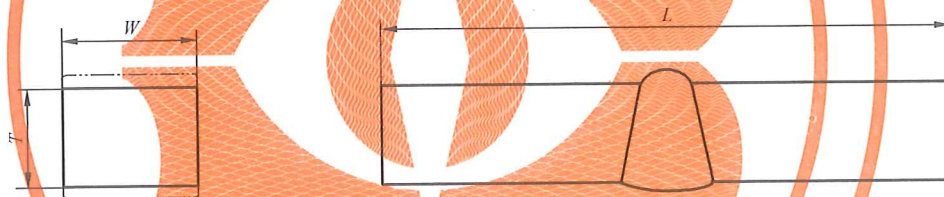


图 D.1 预拉伸试样

#### D.2.2 焊接试件预拉伸方法

D.2.2.1 焊接试件预拉伸方法可采用应力控制法或应变控制法。

D.2.2.2 采用应力控制法时,应满足如下要求:

- a) 预拉伸时,应保证预拉伸试样与试验机的同轴度;
- b) 平均应力加载速率不大于 1 MPa/s;
- c) 达到预拉伸终止应力值后,保持载荷不变进行保载,保载时间不少于 15 min 后卸载。预拉伸终止应力值见表 D.1;
- d) 焊接试件性能试验报告中,应有预拉伸加载的应力-时间以及位移-时间的关系曲线图。

表 D.1 焊接试件预拉伸终止应力值

钢 号	预拉伸终止应力值/MPa
S30408	410
S31608	
S30403	400
S31603	

D.2.2.3 采用应变控制法时,应满足如下要求:

- a) 预拉伸前,根据试验条件确定标距尺寸,以试件中心为基准向两侧进行标距划线,标距尺寸应在 200 mm~300 mm 之间;
- b) 预拉伸时,应保证预拉伸试样与试验机的同轴度;
- c) 平均应力加载速率不大于 1 MPa/s;
- d) 以标定的标距,进行 9%的总应变控制,达到 9%应变后卸载。

### D.3 室温拉伸试样和试验方法

#### D.3.1 室温拉伸试样

##### D.3.1.1 拉伸试样尺寸

室温拉伸试样为比例试样,且符合 GB/T 228.1—2010 的规定。

##### D.3.1.2 试样制备

室温拉伸试样的制备应符合 GB/T 228.1—2010 的规定。带焊缝的室温拉伸试样,应去除焊缝余高,焊缝应位于试样平行段的中间部位,试样的厚度应等于或接近试样母材的厚度。焊缝两侧母材厚度不一致时,试样厚度应与较薄侧一致。

#### D.3.2 室温拉伸试验方法

室温拉伸试验按 GB/T 228.1—2010 的要求进行。

### D.4 冲击试样和试验方法

#### D.4.1 冲击试样

D.4.1.1 制取尺寸为 10 mm×10 mm×55 mm 的夏比 V 型缺口冲击试样,也可按试件的厚度制取尺寸为 7.5 mm×10 mm×55 mm 或 5 mm×10 mm×55 mm 的夏比 V 型缺口冲击试样,冲击试样应符合 GB/T 229 的规定。

D.4.1.2 每个冲击试样的 V 型缺口均需在专用的缺口投影仪进行测量,合格后方可进行试验。

#### D.4.2 冲击试验方法

冲击试验方法应符合 GB/T 229 的规定。

#### D.4.3 试样的制冷

试样进行冲击试验时,应制冷至规定温度,保温时间不少于 5 min。

### D.5 弯曲试样和试验方法

#### D.5.1 弯曲试样

弯曲试样厚度为试件原始厚度,焊缝应位于试样中心部位,且去除焊缝余高。当试样表面需平整加工时,试样厚度应尽量接近于试件厚度。试样的长度  $L$  为 200 mm,宽度  $W$  为 38 mm,见图 D.2。

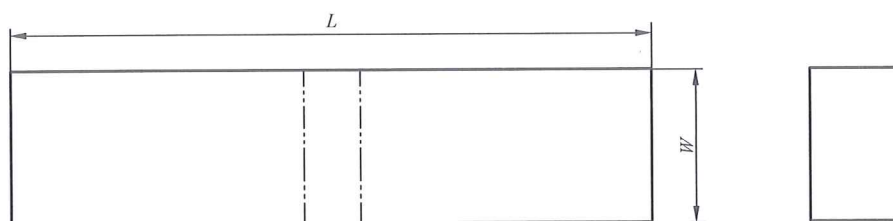


图 D.2 弯曲试样

#### D.5.2 弯曲试验方法

弯曲试验方法应符合 GB/T 2653 的规定。弯曲角度为  $180^\circ$ ，焊接接头弯曲试验的弯头直径为试件厚度的 4 倍，且焊缝应位于变形最大处。

#### D.6 试验记录

试验记录至少包括下列内容：

- a) 试验过程中采集的原始数据；
- b) 材料拉伸试验的完整应力-应变曲线；
- c) 材料力学性能试验报告。

#### D.7 资料保存

试件预拉伸及试验应至少保存下列资料备查：

- a) 试验完成后的试样；
- b) 试件材料的原始质量证明书；
- c) D.6 中规定的试验记录和报告文件。

附录 E  
(规范性附录)  
应变强化处理

E.1 应变强化处理

E.1.1 基本要求

E.1.1.1 应变强化场地应有可靠的安全防护设施,并经单位技术负责人和安全部门认可。应变强化过程中,试验现场不得进行与试验无关的工作,无关人员不得在试验现场停留。

E.1.1.2 内容器应满足本标准和设计文件的要求。

E.1.1.3 与内容器焊接的零部件应在强化之前焊接。

E.1.1.4 应变强化实施前,焊缝应按 7.5 的要求经无损检测合格。

E.1.1.5 应变强化试验完成后,应立即将积存在容器内的试验用水排尽吹干。当无法完全排尽吹干时,应控制试验用水的氯离子含量不超过 25 mg/L。

E.1.1.6 内容器顶部(最高处)应设置排气接管,充液口位于内容器的底部。应变强化时,支座的设置应不影响内容器的变形。将水加满容器后,至少等待 15 min 让溶解在水中的气体充分排尽。

E.1.1.7 应变强化过程中应保持内容器外表面的干燥,强化完成后应立即将水排净吹干。

E.1.1.8 特种设备监督检验机构应对应变强化过程进行见证和检验,并在应变强化报告中签字确认。

E.1.2 检测器具及控制系统

E.1.2.1 压力表精度应不低于 1.6 级,压力表数量应不少于 2 个,压力表的量程应为强化压力的 1.5 倍~3.0 倍。压力表应经校验合格并在检定有效期内。

E.1.2.2 内容器各拘束段可能产生最大变形的截面,均采用经过标定的位移传感器测量周长。采用的附加测量的钢尺,其最小刻度至少达到 1 mm,且应校验合格。

E.1.2.3 应变强化自动控制系统除应满足强化工艺要求外,还应满足如下要求:

- a) 能自动测量截面的周长变化,精度应不低于 0.2 mm;
- b) 能按设定的时间间隔记录压力和位移的数据,并形成压力-时间与位移-时间的关系曲线;
- c) 能自动控制应变强化时压力的变化,并维持所设定的压力;
- d) 能按设定的压力停止点进行保压;
- e) 应变强化处理结束时,能计算最大变形截面的变形量。

E.1.3 应变强化压力

应变强化压力应符合 6.7 的规定。

E.1.4 强化处理过程

E.1.4.1 应变强化时应缓慢升压,最大升压速度应不超过 0.5 MPa/min。当压力升至设计压力时,经表面检查合格后方可继续升压,升压速度应不超过 0.1 MPa/min。

E.1.4.2 当压力升到强化压力后应进行保压,保压过程中每隔不超过 5 min 重复测量每个可能产生最大变形的截面的周长,并计算该截面的周长变化率。周向变化率按式(2)进行计算:

$$\text{周向变化率} = (\text{实测周长} - \text{初始周长}) / \text{初始周长} \quad \dots\dots\dots(2)$$

E.1.4.3 同时满足下列两个条件时,可以终止保压,开始降压:

- a) 保压时间不小于 1 h;
- b) 最后 30 min 内的最大周长变化率不超过 0.1%/h。

注 1: 对于直径不超过 2 000 mm 的内容器,如果最后 15 min 内满足最大周长应变率不超过 0.1%/h 的要求,则内容器的强化时间可缩短至不小于 30 min。

注 2: 为了减少保压时间,压力达到强化压力后开始保压的最初 30 min 内,可将强化压力提高 5%,但不得超过  $1.6p_c$ 。

E.1.4.4 当压力下降到设计压力时,保压足够时间,然后按 7.5.2 的要求进行检查。

E.1.4.5 卸压结束后应计算强化处理后筒体最大变形截面的周长变化率。

E.1.4.6 若管路不和内容器一起进行强化处理,管路和罐体焊接后还应经无损检测和耐压试验合格。

## E.2 应变强化处理记录

E.2.1 应变强化过程至少应记录以下内容:

- a) 升压过程的压力和时间;
- b) 强化实施前、强化实施过程中和强化实施后的周长(或变化量)测量值;
- c) 筒体变形最大截面的周长变化率;
- d) 任何影响内容器使用功能的形状、尺寸的显著变化;
- e) 设计文件规定的其他要求。

E.2.2 当需进行二次强化时,还应记录二次强化的原因和相关数据。

---

团 体 标 准  
移动式真空绝热深冷压力容器  
内容器应变强化技术要求  
T/CATSI 05001—2018

\*

中国标准出版社出版发行  
北京市朝阳区和平里西街甲2号(100029)  
北京市西城区三里河北街16号(100045)

网址 [www.spc.net.cn](http://www.spc.net.cn)

总编室:(010)68533533 发行中心:(010)51780238  
读者服务部:(010)68523946

中国标准出版社秦皇岛印刷厂印刷  
各地新华书店经销

\*

开本 880×1230 1/16 印张 2 字数 52 千字  
2018年9月第一版 2018年9月第一次印刷

\*

书号: 155066·2-44897 定价 48.00 元

如有印装差错 由本社发行中心调换  
版权专有 侵权必究  
举报电话:(010)68510107



T/CATSI 05001-2018