



# 中华人民共和国国家标准

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

Static vacuum insulated cryogenic pressure vessels—  
Part 7: Rules of pressure strengthening for inner vessels

2017-11-01 发布

2018-05-01 实施

---

中华人民共和国国家质量监督检验检疫总局  
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 术语和定义及符号 .....	2
4 一般要求 .....	2
5 材料 .....	3
6 设计 .....	4
7 制造与检验 .....	5
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 .....	9
附录 B (资料性附录) 奥氏体不锈钢钢号近似对照及要求 .....	11
附录 C (资料性附录) 应变强化工艺验证性试验要求 .....	12
附录 D (资料性附录) 试件预拉伸及试验规则 .....	16
附录 E (规范性附录) 应变强化处理 .....	19

## 前 言

GB/T 18442《固定式真空绝热深冷压力容器》分为以下 7 个部分：

- 第 1 部分：总则；
- 第 2 部分：材料；
- 第 3 部分：设计；
- 第 4 部分：制造；
- 第 5 部分：检验与试验；
- 第 6 部分：安全防护；
- 第 7 部分：内容器应变强化技术规定。

本部分为 GB/T 18442 的第 7 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、上海市气体工业协会、浙江大学、华东理工大学、国家质检总局特种设备安全监察局、查特深冷工程系统(常州)有限公司、张家港中集圣达因低温装备有限公司、南通中集罐式储运设备制造有限公司、江西制氧机有限公司、荆门宏图特种飞行器制造有限公司、合肥通用机械研究院。

本部分主要起草人：陈朝晖、周伟明、郑津洋、寿比南、尹立军、滕俊华、惠虎、徐锋、谢铁军、徐惠新、王淑华、罗永欣、陈燕山、魏蔚、肖学文、缪存坚、范志超。



# 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

### 1 范围

GB/T 18442 的本部分规定了采用应变强化技术建造固定式真空绝热深冷压力容器的内容器(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。

本部分适用于同时满足下列条件的内容器：

- a) 符合 GB/T 18442.1 中 1.2 的规定,盛装介质为冷冻液化气体；
- b) 材料为奥氏体不锈钢；
- c) 名义厚度不小于 4 mm 且不大于 24 mm,由单一直径的圆筒和标准椭圆形封头构成；
- d) 在室温下完成应变强化处理。

本部分不适用于盛装毒性危害程度为中度及以上介质的内容器。

### 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 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 232 金属材料 弯曲试验方法
- 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 14976 流体输送用不锈钢无缝钢管
- 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 18442.1~18442.6 固定式真空绝热深冷压力容器
- GB/T 24511 承压设备用不锈钢钢板及钢带
- 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 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

JB 4732—1995 钢制压力容器分析设计标准(2005 确认)

TSG 21—2016 固定式压力容器安全技术监察规程

### 3 术语和定义及符号

#### 3.1 术语和定义

GB/T 18442.1 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,卸载后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

下列符号运用于本文件。

$A$  ——断后伸长率, %;

$D_i$  ——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;

$R_{p0.2}$  ——钢材规定残余延伸率为 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所有部分的规定外,还需遵守国家颁布的有关法律、法规、安全技术规范及相关标准的规定。

4.2 超出本部分范围采用应变强化技术制造内容器时,应按 TSG 21 中的相关规定执行。

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制造信息公共服务平台。

4.5 特种设备监督检验机构应对内容器采用的应变强化工艺及参照附录 A 提出的重要质量控制点进行监督检验,并满足本部分的要求。

## 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。

5.1.2 钢板应进行复验,至少包括下列内容:

- a) 逐张检查钢板的表面质量和材料标记;
- b) 按批复验钢板的室温拉伸性能;
- c) 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。

表 1 钢板力学性能

钢 号	室 温 拉 伸		
	规定残余延伸率为 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	

5.1.5 当钢板抗拉强度高于 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

5.2.1 钢管与管件用材料应符合 GB/T 18442.2 的规定。

5.2.2 管件采用冷成形加工时,其成形后的铁素体测量值应不大于 15%。

### 5.3 锻件

与介质接触的不锈钢锻件应符合 GB/T 18442.2 和 NB/T 47010 的规定,级别不低于Ⅲ级。

### 5.4 焊接材料

5.4.1 焊接材料应符合 GB/T 18442.2 和 NB/T 47018.1~47018.4 的相应规定。

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,焊接接头强度和韧性 with 壳体母材相匹配。

### 5.5 境外牌号材料

内容器材料采用境外牌号时,宜参照附录 B 的规定执行。

### 5.6 其他材料

当采用表 1 和表 B.1 以外的材料建造应变强化技术制造内容器时,还应符合 TSG 21 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部分的规定外,还应符合 TSG 21、GB/T 150 和 GB/T 18442.3 的规定。
- 6.1.2 设计单位应针对应变强化制真空绝热深冷容器出具风险评估报告,其内容除符合 GB/T 150.1 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、强化前直径等内容。
- 6.1.4 本章涉及的内容器直径、厚度等均为应变强化处理前的参数,不考虑应变强化处理后的变化。
- 6.1.5 产品铭牌中应标明“应变强化容器”,符号为“PS”。

### 6.2 载荷

- 6.2.1 内容器设计时,应按照 GB/T 18442.3 的规定考虑相应的载荷及其组合。
- 6.2.2 应变强化处理过程中,还应考虑内容器支撑处产生的支反力和强化压力载荷。

### 6.3 许用应力

- 6.3.1 筒体和封头用钢板的许用应力按表 2 确定。
- 6.3.2 接管和锻件等受压元件的许用应力按 GB/T 150.2 确定。
- 6.3.3 接管、内容器支承以及开孔部位等局部应力按 JB 4732 校核时,筒体和封头总体薄膜应力的设计应力强度取值按表 2 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 2 应变强化后钢板的许用应力

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

### 6.4 内压计算

内容器的强度计算应符合 GB/T 150.3 的规定,其他相关计算符合 GB/T 18442.3 的规定。

### 6.5 外压计算

- 6.5.1 各元件的外压稳定性计算,应符合 GB/T 150.3 的规定,其外压曲线按相应材料 20 °C 时选取。
- 6.5.2 外压计算压力按下列要求确定,且取大值:
- 不小于制造、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;
  - 不小于 0.04 MPa。

## 6.6 开孔补强

内容器的开孔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:

$$p_k = 1.5p_c \quad \dots\dots\dots(1)$$

## 6.8 耐压试验压力

耐压试验压力应符合 GB/T 18442.3 的规定。

## 6.9 泄漏试验压力

按照 GB/T 18442.3 的规定进行。

## 6.10 结构设计

6.10.1 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。

6.10.2 内容器开孔直径一般不大于 150 mm。当设置工艺人孔时,开孔边缘应在封头中心  $0.8D_1$  内,开孔中心线沿壳体法线方向。

6.10.3 加强圈的拼接焊缝应采用全截面焊透焊接接头。加强圈与筒体之间的焊缝应采用双面连续焊接,焊脚高度应不小于筒体厚度和加强圈厚度的较小值。

6.10.4 应按额定充满率在内容器上设置溢流口。确定额定充满率时,一般采用应变强化前的内容器几何容积。

6.10.5 结构设计时,还应考虑由于内容器塑性变形对容器低温绝热性能、外壳安装及管路系统产生的影响。

## 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部分规定外,还应满足 GB/T 18442 其他部分和设计文件的要求。

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等。

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 TSG 21 的要求进行试验验证。强化工艺验证性试验参照附录 C 的规定。

### 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 材料。

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 GB/T 18442.4 的相关规定。



7.3.2 封头如采用 S30408 奥氏体型不锈钢材料,成形时应采用温成形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,成形后各部位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 和本部分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 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,且参见附录 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、规格及加工应分别符合 GB/T 228.1、GB/T 229、GB/T 2653 和 NB/T 47014 的相应规定。

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 3 的规定,其中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 3 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			
材料牌号	抗拉强度 $R_m$ /MPa		断后伸长率 $A$ /%
S30408 S31608	$\geq 520$		25
S30403 S31603	$\geq 490$		
冲击试验			
材料牌号	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 7.5×10×55 5×10×55	$\geq 31$ $\geq 24$ $\geq 16$	$\geq 0.53$
室温弯曲			
弯曲试验的弯头直径为 4 倍试样厚度,弯曲角度 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 焊缝形状尺寸

7.4.2.1 焊缝形状尺寸及表面质量除应符合 GB/T 18442.4 的规定外, A 类焊接接头焊缝余高还应满足下列要求:

- a)  $\delta_n \leq 10$  mm 时, 焊缝余高不宜大于 1 mm;
- b)  $10$  mm  $< \delta_n \leq 24$  mm 时, 焊缝余高不宜大于  $0.1\delta_s$ 。

7.4.2.2 相同厚度的焊接接头, 其对口错边量(见图 1)应符合下列要求:

- a) A 类焊缝不大于对口处钢材厚度的 15%, 且不大于 2 mm;
- b) B 类焊缝不大于对口处钢材厚度的 15%, 且不大于 3 mm。

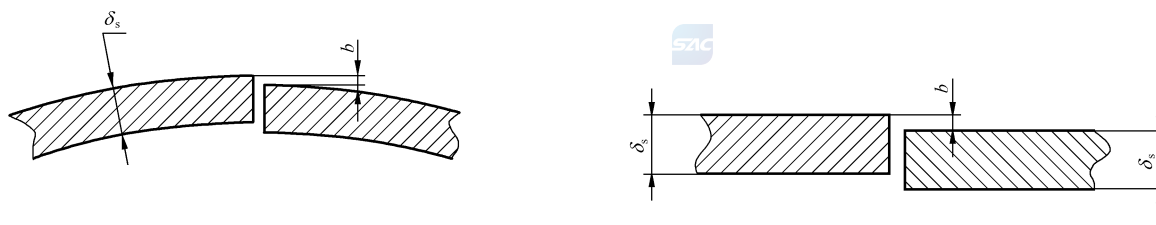


图 1 A、B 类焊接接头对口错边量

## 7.4.3 强化前焊缝返修

强化前焊缝返修应符合 GB/T 18442.4 的规定。

## 7.4.4 强化后焊缝焊接返修和施焊

7.4.4.1 当筒体 A、B 类焊接接头和公称直径大于 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。

7.4.4.2 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。

## 7.4.5 产品焊接试件

7.4.5.1 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。强化前几何容积小于或等于  $5$  m<sup>3</sup> 的内容器纵向焊缝, 采用相同的焊接工艺时, 允许以批代台制备产品焊接试件。同型号、同批次、同材料牌号、同焊接工艺和同强化工艺的内容器可以组批, 每批不超过 20 台。

7.4.5.2 产品焊接试件宜按附录 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 3 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 或 NB/T 47013.11 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,应无泄漏、无可见变形、无异常响声为合格;
- 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,应无泄漏、无异常响声为合格。

#### 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 或 NB/T 47013.11 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 T 形焊缝和 7.5.1 中 b)、c) 要求的焊缝,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,应在缺陷两端的延伸部位均增加不少于 250 mm 的补充检测,如仍有不允许的缺陷,则对该条焊缝进行 100% 检测。对超标缺陷应进行返修,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 7.4.4.2 规定的施焊部位,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。

### 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 7.4.4.2 的规定时,应按本部分和其他部分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 7.4.2 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 3 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 7.4.5 的规定,其力学性能和弯曲性能合格指标应符合表 3 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)

**奥氏体不锈钢钢号近似对照及要求**

**B.1** 本附录给出了相应境外牌号材料与本标准所采用材料的对应关系,见表 B.1。

**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内容器时,其化学成分和力学性能等应符合第 5 章的相关要求。

**表 B.1 奥氏体型不锈钢钢号近似对照表**

GB/T 24511—2009		EN 10028-7:2007		ASME(2013) 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



**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,并参见附录 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部分的要求,并在试制前根据本部分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 2 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) 罐体不设加强圈、人孔、支座垫板等约束性部件;
- d) 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,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**

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	本试验是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	本试验是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

表 C.1 (续)

序号	试验项目	试验阶段	试验目的
2	金相组织分析 (选择项)	强化前	本试验是检测样品容器母材和焊接接头的金相组织、晶粒度和夹杂等,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。样品容器再次加压到计算压力时周长的测量是为了了解样品容器筒体的弹性变形情况
		设计压力时	
		强化压力时	
		保压过程	
		卸压后	
		计算压力时	
		再次卸压后	
5	A、B类焊接接头 力学性能检验	强化后	本试验是检测样品容器强化后 A、B焊接接头的力学性能,以验证其性能是否符合本部分要求
6	母材力学性能检验	强化前	本试验是检测取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部分要求
7	产品焊接试件 力学性能检验	预拉伸后	本试验是检测取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部分要求

### 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

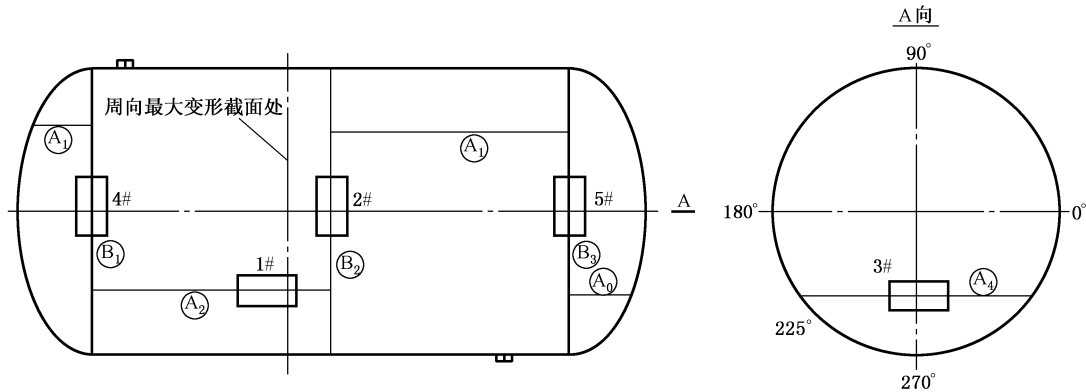
C.3.3.4.1 取样原则

应避免超标缺陷处取样。

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

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)	1) 取样后需要把弧面展平； 2) 拉伸试样轴向垂直于焊缝； 3) 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)； 4) 弯曲试样轴向垂直于焊缝, 焊缝中心应对准弯心轴线	表 3

表 C.2 (续)

样品容器取样位置	测试项目	要 求	合格指标
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)	1) 拉伸试样轴向垂直于焊缝; 2) 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; 3) 弯曲试样轴向垂直于焊缝, 焊缝中心应对准弯心轴线	表 3
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**

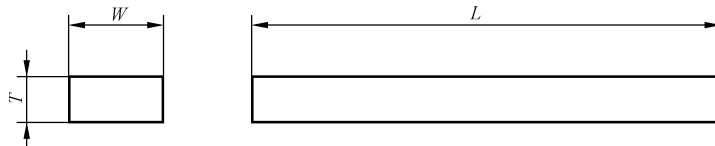
**D.1.1** 拉伸试验机采用计算机控制,测力系统按 GB/T 16825.1 校准,精确度不低于 1 级,数据采集和处理按 GB/T 228.1 中附录 A 的规定。

**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**

预拉伸试样尺寸为原始钢板全厚度( $T$ ) $\times$ 宽度( $W$ ) $\times$ 长度( $L$ )。带焊缝的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,应变率不大于 0.1% h。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,并符合 GB/T 228.1 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 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 室温拉伸方法**

室温拉伸试验按 GB/T 228.1 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。

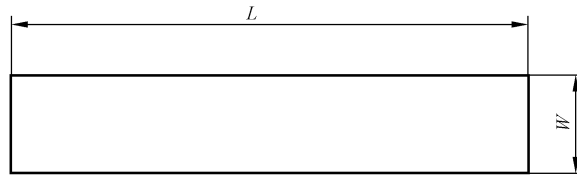


图 D.2 弯曲试样

#### D.5.2 弯曲试验方法

弯曲试验方法应符合 GB/T 232 和 GB/T 2653 的规定。弯曲角度  $180^\circ$ ，焊接接头弯曲试验的弯头直径为 4 倍试件厚度，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 内容器应满足本部分和设计文件的要求。

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 应变强化用水中氯离子含量不超过 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 以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,最大升压速度不应超过 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,升压速度不应超过 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。周向变化率按下式进行计算:

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

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 0.5 h 内,可将强化压力提高 5%,且不得超过  $1.6p_c$ 。

E.1.4.4 当压力下降到耐压试验压力时,保压时间应不少于 30 min,并按 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.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。

