

1 范围

1.1 本部分规定了 GB150.1 适用范围内的钢制固定式压力容器的制造、检验与验收要求。

1.2 本部分适用的压力容器结构型式为单层焊接压力容器、锻焊压力容器和多层压力容器（包括多层筒节包扎、多层整体包扎、钢带错绕和热套容器）。

以上压力容器的改造、维修及其检验也可参照本部分进行。

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 150.1	固定式压力容器 第1部分 通用要求
GB 150.2	固定式压力容器 第2部分 材料
GB 150.3	固定式压力容器 第3部分 设计
GB/T 196	普通螺纹 基本尺寸
GB/T 197	普通螺纹 公差
GB/T 1804	一般公差 未注公差的线性和角度尺寸的公差
GB/T ××××	压力容器用封头
GB/T 21433	不锈钢压力容器晶间腐蚀敏感性检验
JB/T 4700	压力容器法兰分类与技术条件
JB/T 4701	甲型平焊法兰
JB/T 4702	乙型平焊法兰
JB/T 4703	长颈对焊法兰
JB/T 4704	非金属软垫片
JB/T 4705	缠绕垫片
JB/T 4706	金属包垫片
JB/T 4707	等长双头螺柱
JB 4708	钢制压力容器焊接工艺评定
JB/T 4709	钢制压力容器焊接工艺规程
JB/T 4711	压力容器涂敷与运输包装
JB/T 4730.1~4730.6	承压设备无损检测
JB/T 4736	补强圈
JB/T 4744	钢制压力容器产品焊接试板的力学性能检验
JB/T 4747	压力容器用钢焊条订货技术条件
TSG R0004	固定式压力容器安全技术监察规程

3 名词术语

GB150.1 界定的以及下列术语和定义适用于本文件。

3.1

锻焊压力容器 (Forged-welded pressure vessel)

指由筒形或环形锻件经机械加工制成的筒节，通过环向焊接接头连接筒节、封头（和/或筒体端

GB 150.4—2010

部)而形成的压力容器。

3.2

多层压力容器 (Layered pressure vessel)

指壳体 and/or 封头由两个或多个独立的层构成的压力容器, 不包括复合板容器、衬里容器和堆焊覆层的容器。

3.3

多层筒节包扎压力容器 (Concentric wrapped pressure vessel)

指在单节内筒上逐层包扎层板形成多层筒节, 再行组焊后形成的压力容器。

3.4

多层整体包扎压力容器 (Integrated wrapped pressure vessel)

指先组焊内筒、封头 (和/或筒体端部), 然后在整个内筒上逐层包扎层板形成的压力容器。

3.5

钢带错绕压力容器 (Flat steel ribbon wound pressure vessel)

指先组焊内筒、封头 (和/或筒体端部), 然后在整个内筒上沿与内筒环向成一定角度的方向, 逐层交错缠绕钢带形成的压力容器。

3.6

热套压力容器 (Shrink fit pressure vessel)

指筒体是由数层以过盈相互配合、经加热逐层套合的筒节, 通过环向焊接接头连接而形成的压力容器。

3.7

钢材厚度 (Thickness of steel material)

指钢板、钢管的投料厚度, 即材料质量证明书上标识的厚度, 以 δ_s 表示。

3.8

冷成形 (Cold forming)

指在自然环境温度下进行的塑性变形加工。

3.9

温成形 (Warm forming)

指成形加热温度低于材料退火温度和材料出厂最终热处理温度两者较低值的塑性变形加工。

3.10

热成形 (Hot forming)

指成形终止温度不低于该工件材料退火或固溶热处理温度的塑性变形加工。

3.11

焊接接头厚度 (Thickness of welded joint)

指焊缝横截面上, 焊缝正面到焊缝背面的距离减去余高。对等厚度工件的焊接取工件钢材厚度; 对不等厚度工件的焊接取较薄工件钢材厚度。

4 总则

4.1 压力容器的制造、检验与验收依据

4.1.1 压力容器的制造、检验与验收除应符合本标准规定和设计图样的要求。

4.1.2 压力容器用封头的制造、检验与验收还应符合 GB/T××××。

4.1.3 在 JB/T 4736 标准范围内的补强圈还应符合 JB/T 4736。

4.1.4 压力容器用设备法兰还应符合 JB/T 4700~4707。

4.1.5 压力容器用管法兰还应符合相关管法兰标准的要求。其中，盛装液化石油气、毒性程度为极度或高度危害介质以及强渗透性中度危害介质的容器，其管法兰应符合 HG20592~HG20635。

4.1.6 压力容器用钢焊材应符合 JB/T 4747。

4.2 压力容器制造过程中的风险预防与控制

对于第Ⅲ类压力容器，制造单位应当根据风险评估报告所识别的主要失效模式和容器制造、检验要求和/或建议，合理地确定制造工艺和检验工艺。

4.3 设计修改和材料代用

制造单位对原设计文件的修改以及对主要受压元件的材料代用，应当事先取得原设计单位的书面批准，并在竣工图上做详细记录。

4.4 新技术和新工艺的使用

4.4.1 当采用未列入 JB/T 4730 或者超出其适用范围的无损检测方法对在制压力容器进行无损检测时，应按 TSG R0004 的规定通过技术评审。

4.4.2 对压力容器及其受压元件，当采用其他方法消除残余应力取代焊后热处理时，应按 TSG R0004 的规定通过技术评审。

4.4.3 未列入本标准的压力容器制造、检验的其他新技术、新工艺和新方法，也应按 TSG R0004 的规定通过技术评审。

4.5 信息化管理

压力容器制造单位应当按规定及时将压力容器制造相关数据输入特种设备信息化管理系统。

5 材料复验、分割与标志移植

5.1 材料复验

5.1.1 当出现下列情况时，应对材料进行复验：

- a) 采购的第Ⅲ类压力容器用Ⅳ级锻件；
- b) 不能确定质量证明书真实性或者对性能和化学成分有怀疑的主要受压元件材料；
- c) 用于制造主要受压元件的境外牌号材料；
- d) 用于制造主要受压元件的奥氏体型不锈钢开平板（应在开平板两端各截取一组复验试样）；
- e) 设计图样要求进行复验的材料。

5.1.2 奥氏体型不锈钢开平板应按批号复验力学性能；其他材料应按炉号复验化学成分，按批号复验力学性能。

5.1.3 材料复验结果应符合相应材料标准的规定或设计图样的要求。

5.1.4 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，其检验方法按相应的焊条标准或技术要求。

5.2 材料分割

压力容器零部件可采用机械或热切割方法进行材料分割。当采用热切割方法分割材料时，应清除材料熔化所产生的熔渣和有害变色部分的金属。

5.3 材料标志移植

5.3.1 凡制造受压元件的材料应有确认的标志。在制造过程中，如原有确认标志被裁掉或材料分

GB 150.4—2010

成几块，制造单位应规定确认标志的表达方式，并在材料分割前完成标志的移植。

5.3.2 有防腐蚀要求的不锈钢以及复合钢板制压力容器，不得在防腐蚀面采用硬印标志。

5.3.3 不得在低温容器受压元件上采用硬印标记、刻划标识。

6 冷、热加工成形与组装

6.1 最小成形厚度

制造单位应根据制造工艺确定加工裕量，以确保设计凸形封头、筒节的最小成形厚度不小于设计图样标注的最小厚度。

6.2 修磨深度

6.2.1 制造中应避免钢板表面的机械损伤。对于尖锐伤痕以及不锈钢容器防腐蚀表面的局部伤痕、刻槽等缺陷应予修磨，修磨范围的斜度至少为 1:3。修磨的深度应不大于该部位钢材厚度 δ_s 的 5%，且不大于 2 mm，否则应予焊补。

6.2.2 对于复合钢板的成形件、堆焊件以及衬里层，其修磨深度不得大于覆层（或堆焊层、衬里）厚度的 30%，且不大于 1 mm，否则应予焊补。

6.3 容器制造组装

容器受压元件不得强力组装；不宜采用十字焊缝。

6.4 容器坡口

容器坡口应符合下列要求：

- 坡口表面不得有裂纹、分层、夹杂等缺陷。
- 标准抗拉强度下限值大于或者等于 540MPa 的低合金钢材及 Cr-Mo 低合金钢材经火焰切割的坡口表面，应进行磁粉或渗透检测。当无法进行磁粉或渗透检测时，应由切割工艺保证坡口质量。
- 施焊前，应清除坡口及其母材两侧表面 20 mm 范围内（以离坡口边缘的距离计）的氧化物、油污、熔渣及其他有害杂质。

6.5 封头

6.5.1 封头各种不相交的拼焊焊缝中心线间距离至少应为封头钢材厚度 δ_s 的 3 倍，且不小于 100 mm。椭圆形和碟形封头由成形的瓣片和顶圆板拼接制成时，瓣片间的焊缝方向宜是径向和环向的，例如图 1 所示。

先拼板后成形的封头，其拼接焊缝的内表面以及影响成形质量的拼接焊缝的外表面，在成形前应打磨至与母材齐平。

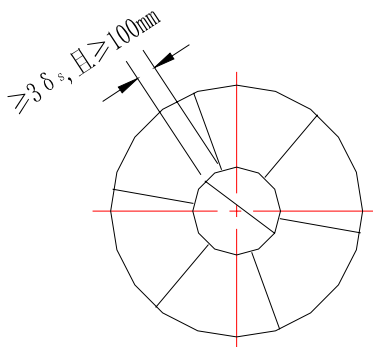


图 1 分瓣成形凸形封头的焊缝布置

6.5.2 用带间隙的全尺寸的内样板检查椭圆形、碟形、球形封头内表面的形状偏差（见图 2），其最大间隙不得大于封头内径 D_i 的 1.25%。检查时应使样板垂直于待测表面。对图 1 所示的先成形后拼接制成的封头，允许样板避开焊缝进行测量。

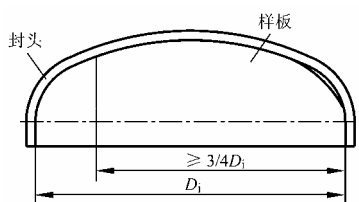


图 2 成形凸形封头的形状偏差检查

6.5.3 碟形及折边锥形封头，其过渡区转角半径不得小于图样的规定值。

6.5.4 封头直边部分不得存在纵向皱折。

6.6 圆筒与壳体

6.6.1 A、B 类焊接接头对口错边量 b （如图 3）应符合表 1 的规定。锻焊容器 B 类焊接接头对口错边量 b 应不大于对口处钢材厚度 δ_s 的 1/8，且不大于 5 mm。

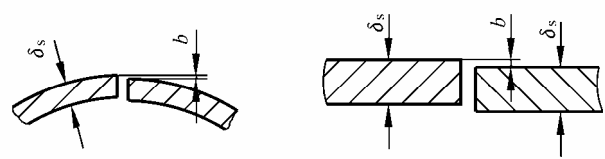


图 3 A、B 类焊接接头对口错边量

表 1 A、B 类焊接接头对口错边量允差

对口处钢材厚度 δ_s	按焊接接头类别划分对口错边量 b	
	A	B
≤ 12	$\leq 1/4\delta_s$	$\leq 1/4\delta_s$
$> 12 \sim 20$	≤ 3	$\leq 1/4\delta_s$
$> 20 \sim 40$	≤ 3	≤ 5
$> 40 \sim 50$	≤ 3	$\leq 1/8\delta_s$
> 50	$\leq 1/16\delta_s$, 且 ≤ 10	$\leq 1/8\delta_s$, 且 ≤ 20

注：球形封头与圆筒连接的环向接头以及嵌入式接管与圆筒或封头对接连接的 A 类接头，按 B 类焊接接头的对口错边量要求。

复合钢板对口错边量 b （见图 4）不大于钢板复层厚度的 50%，且不大于 2 mm。

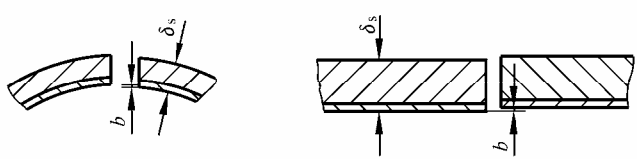


图 4 复合钢板 A、B 类焊接接头对口错边量

GB 150.4—2010

6.6.2 在焊接接头环向形成的棱角 E ，用弦长等于 $1/6$ 内径 D_i ，且不小于 300mm 的内样板或外样板检查（见图 5），其 E 值不得大于 $(\delta_s/10+2)$ mm，且不大于 5mm。

在焊接接头轴向形成的棱角 E （见图 6），用长度不小于 300 mm 直尺检查，其 E 值不得大于 $(\delta_s/10+2)$ mm，且不大于 5 mm。

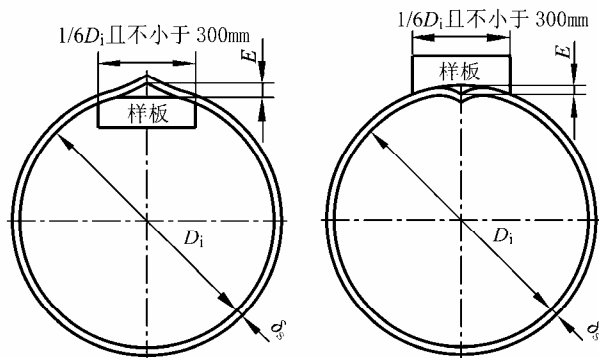


图 5 焊接接头形成的环向棱角

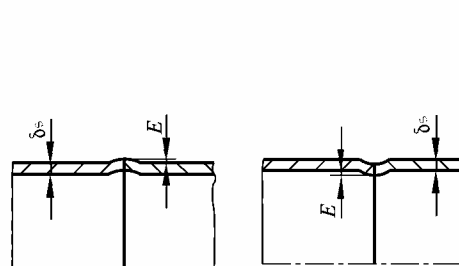
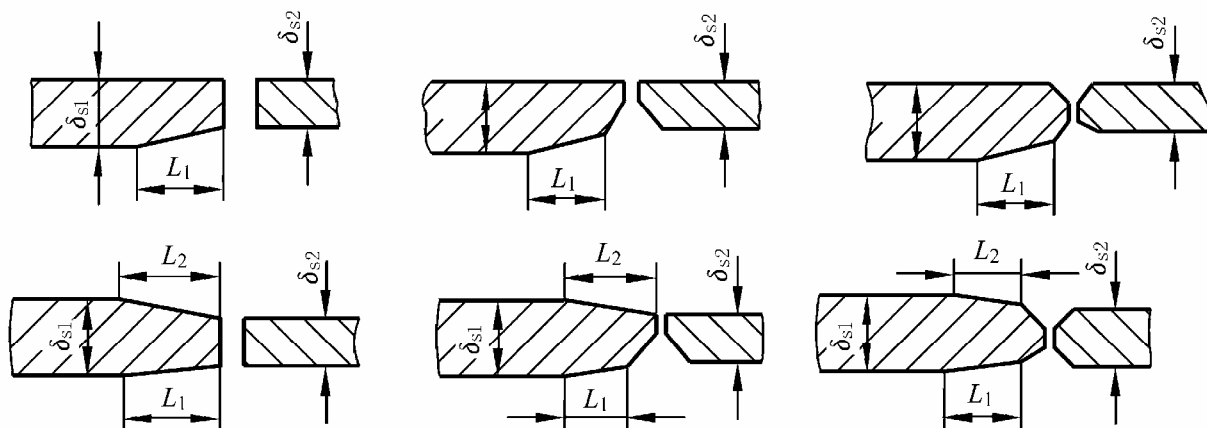


图 6 焊接接头形成的轴向棱角

6.6.3 B 类焊接接头以及圆筒与球形封头相连的 A 类焊接接头，当两侧钢材厚度不等时，若薄板厚度不大于 10 mm，两板厚度差超过 3 mm；若薄板厚度大于 10 mm，两板厚度差大于薄板厚度的 30%，或超过 5 mm 时，均应按图 7 的要求单面或双面削薄厚板边缘，或按同样要求采用堆焊方法将薄板边缘焊成斜面。

当两板厚度差小于上列数值时，则对口错边量 b 按 6.6.1 要求，且对口错边量 b 以较薄板厚度为基准确定。在测量对口错边量 b 时，不应计入两板厚度的差值。



$$L_1, L_2 \geq 3(\delta_{s1} - \delta_{s2})$$

图 7 不等厚度的 B 类焊接接头以及圆筒与球形封头相连的 A 类焊接接头连接型式

6.6.4 除图样另有规定外，壳体直线度允差应不大于壳体长度的 1‰。当直立容器的壳体长度超过 30 m 时，其壳体直线度允差应不大于 $(0.5L/1000)+8$ 。

注：壳体直线度检查是通过中心线的水平和垂直面，即沿圆周 0° 、 90° 、 180° 、 270° 四个部位拉 $\phi 0.5$ mm 的细钢丝测量。测量位置离 A 类接头焊缝中心线（不含球形封头与圆筒连接以及嵌入式接管与壳体对接连接的接头）的距离不小于 100 mm。当壳体厚度不同时，计算直线度时应减去厚度差。

6.6.5 组装时，相邻筒节 A 类焊接接头焊缝中心线间外圆弧长以及封头 A 类焊接接头焊缝中心线、封头上接管 A 类焊接接头焊缝中心线及其相邻筒节 A 类接头焊缝中心线之间外圆弧长应大于钢材厚度 δ_s 的 3 倍，且不小于 100 mm；组装筒节 B 类焊接接头焊缝中心线间的距离不得小于 300 mm。

6.6.6 法兰面应垂直于接管或圆筒的主轴中心线。接管法兰应保证法兰面的水平或垂直（有特殊要求的应按图样规定），其偏差均不得超过法兰外径的 1%（法兰外径小于 100 mm 时，按 100 mm 计算），且不大于 3mm。

法兰的螺栓通孔应与壳体主轴线或铅垂线跨中布置（见图 8）。有特殊要求时，应在图样上注明。

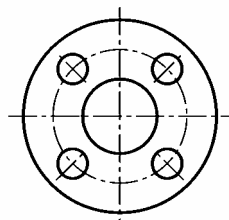


图 8 法兰螺栓通孔的跨中布置

6.6.7 直立容器的底座圈、底板上地脚螺栓通孔应跨中均布，中心圆直径公差、相邻两孔弦长公差和任意两孔弦长公差均不大于 2 mm。

6.6.8 容器内件和壳体焊接的焊缝应尽量避免开孔间相焊及圆筒与封头相焊的焊缝。

6.6.9 容器上凡被补强圈、支座、垫板等覆盖的焊缝，均应打磨至与母材齐平。

6.6.10 承受内压的容器组装完成后，应检查壳体圆度，要求如下：

- 壳体同一断面上最大内径与最小内径之差，应不大于该断面内径 D_i 的 1%（对锻焊容器为 1‰），且不大于 25 mm（见图 9）；
- 当被检断面位于开孔中心一倍开孔内径范围内时，则该断面最大内径与最小内径之差，应不大于该断面内径 D_i 的 1%（对锻焊容器为 1‰）与开孔内径的 2%之和，且不大于 25 mm。

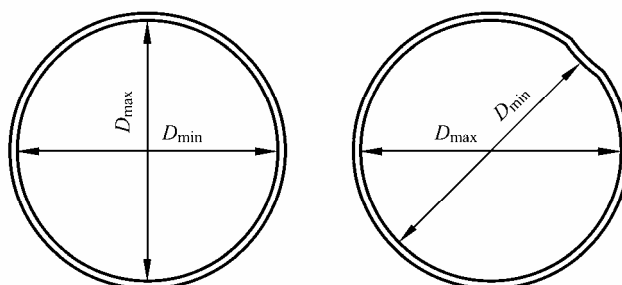


图 9 壳体同一断面上最大内径与最小内径之差

6.6.11 承受外压及真空容器组装完成后，按如下要求检查壳体的圆度：

- 采用内弓形或外弓形样板（依测量部位而定）测量。样板圆弧半径等于壳体内半径或外半

GB 150.4—2010

径,其弦长等于 GB150.3 图 4-14 中查得的弧长的两倍。测量点应避开焊缝或其他凸起部位。

b) 用样板沿壳体径向测量的最大正负偏差 e 不得大于由图 10 中查得的最大允许偏差值。

当 D_o/δ_e 与 L/D_o 所查的交点位于图 10 中任意两条曲线之间时,其最大正负偏差 e 由内插法确定;当 D_o/δ_e 与 L/D_o 所查的交点位于图中 $e=1.0\delta_e$ 曲线的上方或 $e=0.2\delta_e$ 曲线的下方时,其最大正负偏差 e 分别不得大于 δ_e 及 $0.2\delta_e$ 值。

c) 圆筒、球壳或锥壳的 L 与 D_o 分别按第 GB150.2 的规定选取。

d) 锻焊容器按 6.6.10 的要求检查壳体的圆度。

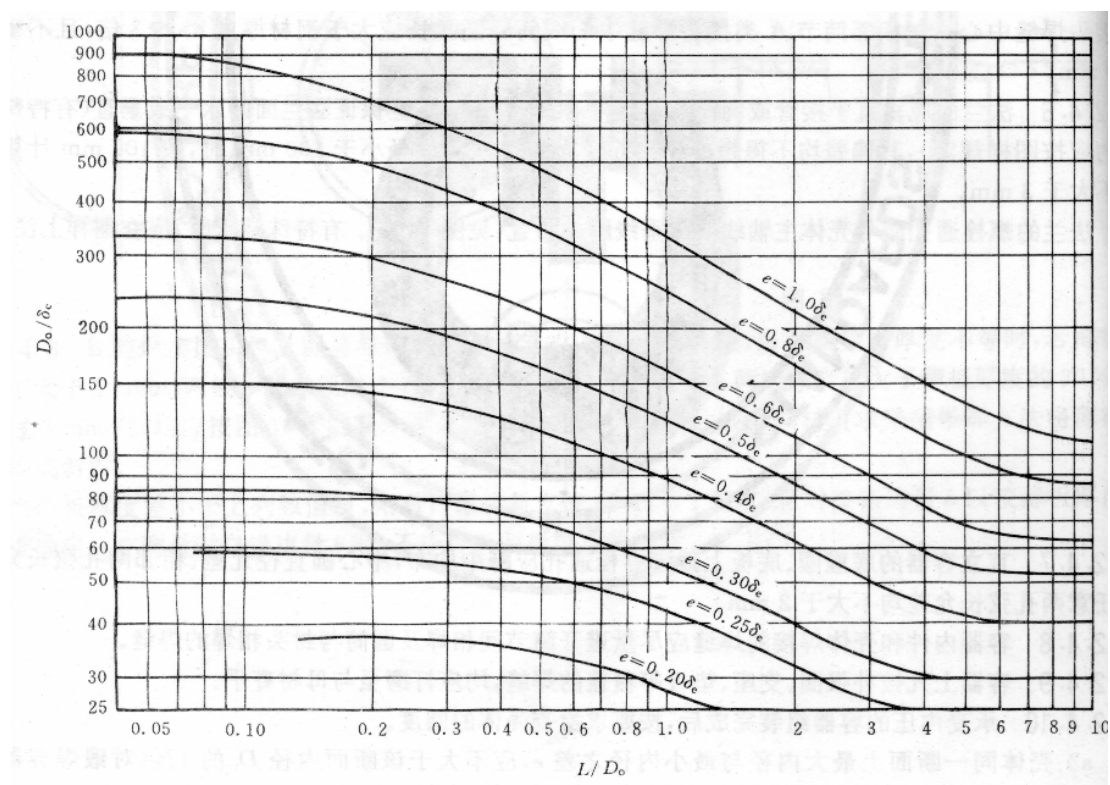


图 10 壳体圆度最大允许偏差

6.7 法兰与平盖

6.7.1 容器法兰按 JB/T 4700~JB/T 4707 进行加工,管法兰按相应标准要求加工。

6.7.2 平盖和筒体端部的加工按以下规定:

a) 螺柱孔或通孔的中心圆直径以及相邻两孔弦长允差为 $\pm 0.6\text{mm}$;任意两孔弦长允差按表 2 规定:

表 2 法兰螺柱孔或通孔任意两孔弦长允差

设计内径 D_i	<600	$600\sim 1\,200$	$>1\,200$
允差	± 1.0	± 1.5	± 2.0

b) 螺孔中心线与端面的垂直度允差不得大于 0.25%;

c) 螺纹基本尺寸与公差分别按 GB/T 196、GB/T 197 的规定;

d) 螺孔的螺纹精度一般为中等精度,按相应国家标准选取。

6.8 螺栓、螺柱和螺母

6.8.1 公称直径不大于 M36 的螺栓、螺柱和螺母，按相应标准制造。

6.8.2 容器法兰螺柱按 JB 4707 的规定。

6.8.3 公称直径大于 M36 的螺柱和螺母除应符合 6.7.2 中 c) 和 d) 的规定外，还应满足如下要求：

- a) 有热处理要求的螺柱，其试样与试验按 GB 150.2 的有关规定；
- b) 螺母毛坯热处理应硬度试验；
- c) 螺柱应按 JB/T 4730 进行表面检测，I 级合格。

6.9 其他

6.9.1 应对容器的主要几何尺寸、管口方位进行检查，并应符合设计图样要求。

6.9.2 机械加工表面和非机械加工表面的线性尺寸的极限偏差，分别按 GB/T 1804 中的 m 级和 c 级的规定。

7 焊接

7.1 焊前准备及施焊环境

7.1.1 焊条、焊剂及其他焊接材料的贮存库应保持干燥，相对湿度不得大于 60%。

7.1.2 当施焊环境出现下列任一情况，且无有效防护措施时，禁止施焊：

- a) 手工焊时风速大于 10 m/s；
- b) 气体保护焊时风速大于 2 m/s；
- c) 相对湿度大于 90%；
- d) 雨、雪环境。

7.1.3 当焊件温度低于 0℃时，应在始焊处 100 mm 范围内预热到 15℃左右。

7.2 焊接工艺

7.2.1 容器施焊前，受压元件焊缝、与受压元件相焊的焊缝、熔入永久焊缝内的定位焊缝、受压元件母材表面堆焊与补焊，以及上述焊缝的返修焊缝都应按 JB 4708 进行焊接工艺评定或者具有经过评定合格的焊接工艺规程支持。

7.2.2 用于焊接结构压力容器受压元件的境外牌号材料，压力容器制造单位在首次使用前，应按 JB4708 进行焊接工艺评定。

7.2.3 低温容器的焊接工艺评定试验，包括焊缝和热影响区的低温夏比（V 形缺口）冲击试验。冲击试验的取样方法，按 JB4708 要求确定。

当焊缝两侧母材具有不同冲击试验要求时，焊缝金属的冲击试验温度应低于或等于两侧母材中的较高者，低温冲击功按两侧母材抗拉强度的较低值符合 GB150.2 中表 1 的要求。接头的拉伸和弯曲性能按两侧母材中的较低要求。

7.2.4 应当在压力容器受压焊缝附近的指定部位打上焊工代号钢印（低温容器除外），或者在焊接记录（含焊缝布置图）中记录焊工代号。

7.2.5 焊接工艺评定技术档案应保存至该工艺评定失效为止，焊接工艺评定试样保存期不少于 5 年。

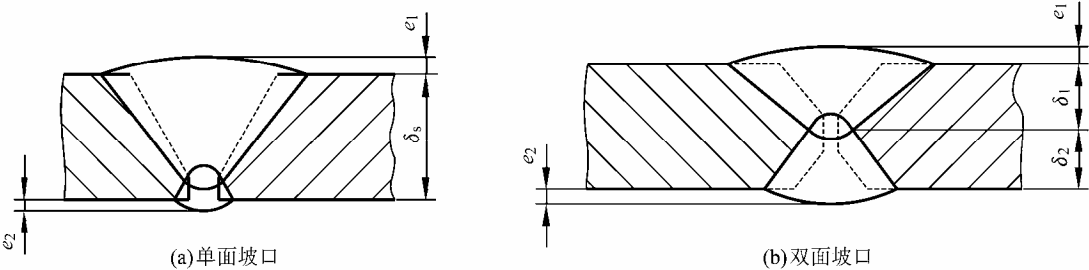
7.3 焊缝表面的形状尺寸及外观要求

7.3.1 A、B 类焊接接头焊缝的余高 e_1 、 e_2 按表 3 和图 11 的规定。

GB 150.4—2010

表 3 A、B 类焊接接头焊缝余高合格指标

标准抗拉强度下限值大于或等于 540MPa 的低合金 钢钢材以及 Cr-Mo 低合金钢钢材				其他钢材			
单面坡口		双面坡口		单面坡口		双面坡口	
e_1	e_2	e_1	e_2	e_1	e_2	e_1	e_2
0~10% δ_s 且 ≤ 3	0~1.5	0~10% δ_1 且 ≤ 3	0~10% δ_2 且 ≤ 3	0~15% δ_s 且 ≤ 4	0~1.5	0~15% δ_1 且 ≤ 4	0~15% δ_2 且 ≤ 4



注：表中百分数计算值小于 1.5 时按 1.5 计。

图 11 A、B 类焊接接头焊缝余高

7.3.2 C、D 类接头的焊脚，在图样无规定的，取焊件中较薄者之厚度。补强圈的焊脚，当补强圈的厚度不小于 8 mm 时，其焊脚等于补强圈厚度的 70%，且不小于 8 mm。

7.3.3 焊接接头表面应按相关标准进行外观检查，不得有表面裂纹、未焊透、未熔合、表面气孔、弧坑、未填满、夹渣和飞溅物；焊缝与母材应圆滑过渡；角焊缝的外形应凹形圆滑过渡。

7.3.4 下列容器的焊缝表面不得有咬边：

- a) 标准抗拉强度下限值大于或者等于 540MPa 低合金钢材制造的容器；
- b) Cr-Mo 低合金钢材制造的容器；
- c) 不锈钢材料制造的容器；
- d) 承受疲劳载荷的容器；
- e) 有应力腐蚀的容器；
- f) 低温容器；
- g) 焊接接头系数 ϕ 为 1 的容器（用无缝钢管制造的容器除外）。

其它容器焊缝表面的咬边深度不得大于 0.5 mm，咬边连续长度不得大于 100 mm，焊缝两侧咬边的总长不得超过该焊缝长度的 10%。

7.4 焊接返修

7.4.1 当焊缝需要返修时，其返修工艺应符合 7.2 的有关规定。

7.4.2 焊缝同一部位的返修次数不宜超过两次。如超过两次，返修前应经制造单位技术负责人批准，返修次数、部位和返修情况应记入容器的质量证明文件。

7.4.3 要求焊后消除应力热处理的压力容器，一般应当在热处理前焊接返修；如在热处理后进行返修，应当根据返修深度确定是否需要再进行消除应力热处理。当焊缝两面返修时，返修深度为两面返修的深度之和。

7.4.4 有特殊耐腐蚀要求的压力容器或者受压元件，返修部位仍需保证不低于原有的耐腐蚀性能。

8 热处理

8.1 成形件的恢复性能热处理

当成形件的变形率超过 8.1.1 要求时，应于成形后进行退火或固溶处理恢复材料的性能。

8.1.1 采用钢板冷成形的受压元件，如变形率超过表 4 的范围，且符合下列(1)~(5)款中任意条件之一者，应于成形后进行热处理。

变形率计算（见图 12）：

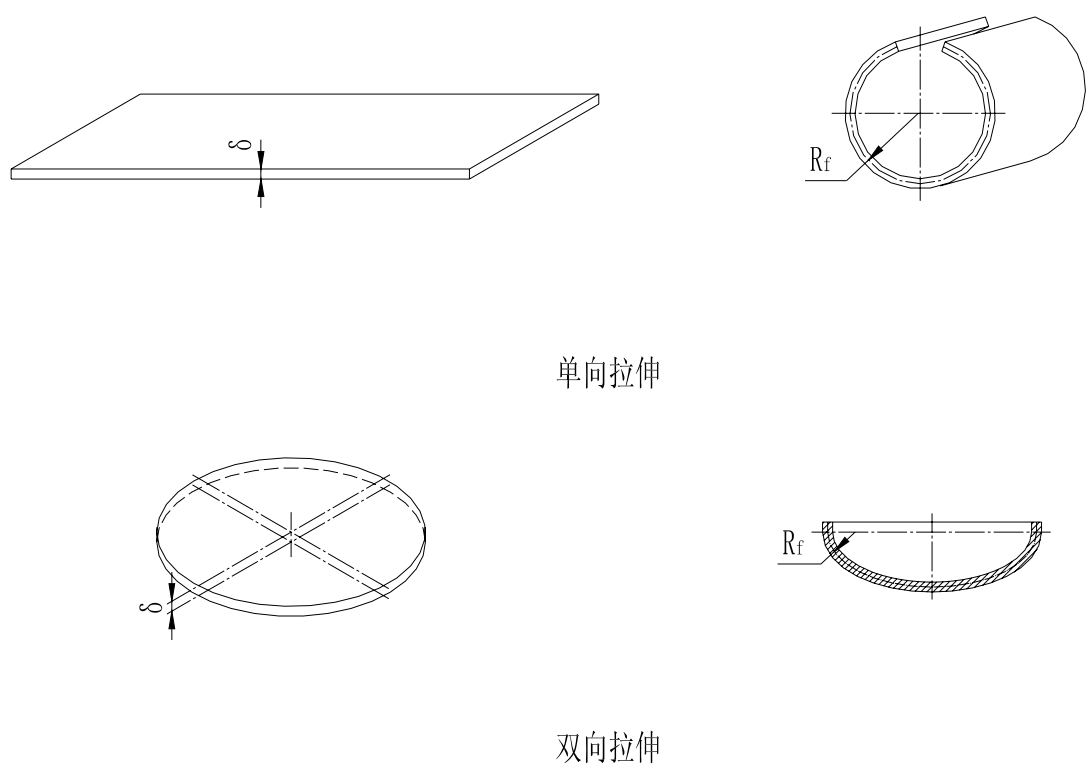


图 12 单向拉伸和双向拉伸成形

单向拉伸（如筒体成形）

变形率 (%) = 50δ[1- (R_f / R₀)] / R_f8—1

双向拉伸（如封头成形）

变形率 (%) = 75δ[1- (R_f / R₀)] / R_f8—2

式中：

- δ ——板厚，mm；
- R_f ——成形后中心面半径，mm；
- R₀ ——成形前中心面半径（对于平板为 ∞），mm。

表 4 冷成形件变形率控制指标

材料		变形率
奥氏体型不锈钢	设计温度≥－196℃	15%
	设计温度<－196℃	10%
碳钢、低合金钢及其他材料		5%

- a) 图样注明盛装毒性为极度或高度危害介质的容器；
- b) 图样注明有应力腐蚀的容器；
- c) 对碳钢、低合金钢，成形前厚度大于 16mm 者；
- d) 对碳钢、低合金钢，成形后减薄量大于 10%者；
- e) 对碳钢、低合金钢，材料要求做冲击试验者。

8.1.2 采用钢管冷成形的受压元件，如变形率超过下列范围，应于成形后进行退火或固溶处理恢复材料的性能。

变形率计算：

变形率 (%) =100 r / R8—3

式中：

- r ——钢管的外半径，mm；
- R ——钢管中心线的弯曲半径，mm。

(1) 对碳钢、低合金钢钢管，变形率大于钢管标准规定断后伸长率（A₅）下限的 50%，且成形后剩余断后伸长率（A₅）小于 10%。

(2) 对于有冲击试验要求的钢管，变形率大于 5%。

注：对 8.1.1 和 8.1.2 条，当分步成形时，若不进行中间退火或固溶处理，则成形件的变形率为分步成形的变形率之和；若进行中间退火或固溶处理，则成形件的变形率为进行中间退火或固溶处理后的变形率之和。

8.1.3 若热成形破坏了材料供货热处理状态，应重新进行热处理。

8.1.4 当对温成形温度有特殊要求时，设计图样应作出规定。

8.2 容器及其受压元件的焊后热处理

8.2.1 容器及其受压元件符合下列条件之一者，应进行焊后热处理，焊后热处理应包括受压元件与非受压元件的连接焊缝。

8.2.1.1 A、B 类焊接接头符合以下条件者：

- a) 碳钢、Q345R、Q370R、07MnMoVR、12MnNiVR 及其配套锻件的焊接接头厚度大于 32mm 者（如焊前预热 100℃以上时，厚度大于 38 mm）；
- b) 18MnMoNbR、13MnNiMoR、15CrMoR、14Cr1MoR、12Cr2Mo1R、12Cr2Mo1VR 及其配套锻件的所有 A 类和 B 类焊接接头；
- c) S11306、S11348 铁素体型不锈钢及其配套锻件的焊接接头厚度大于 10mm 者（如焊前预热 230℃以上时，厚度大于 38 mm）。

注：对于异种钢材相焊的焊接接头，按热处理严者确定是否进行焊后热处理。

8.2.1.2 有应力腐蚀倾向的容器。

8.2.1.3 用于盛装毒性为极度或高度危害介质的容器。

8.2.1.4 采用除 06Ni9DR 之外的低合金钢材料制造的焊接接头厚度大于 16mm 的低温容器。

8.2.1.5 采用 06Ni9DR 材料制造的焊接接头厚度大于 50mm 的低温容器。

8.2.1.6 除设计图样另有规定，奥氏体型不锈钢、奥氏体—铁素体型不锈钢的焊接接头可不进行热处理。

8.3 改善材料力学性能热处理

改善材料力学性能的热处理，应根据设计图样要求所制订的热处理工艺进行。母材的热处理试板应与容器（或受压元件）同炉热处理。

8.4 其他热处理

当要求材料的使用热处理状态与供货热处理状态一致时，在制造过程中不得破坏供货时的热处理状态，否则应重新进行热处理。

8.5 焊后热处理要求

8.5.1 制造单位应按设计图样和标准的要求在热处理前编制热处理工艺，提出热处理的工艺要求。

8.5.2 不得使用燃煤炉进行焊后热处理。

8.5.3 热处理装置（炉）应配有自动记录温度曲线的测温仪表，并能自动绘制热处理的时间与工件壁温关系曲线。

8.5.4 焊后热处理应优先采用在炉内整体加热的方法进行；当无法整体加热时，允许在炉内分段加热进行。分段热处理时，其重复加热长度应不小于 1500 mm。炉内部分的操作应符合 8.5.6 的规定。炉外部分应采取保温措施，使温度梯度不致影响材料的组织和性能。

8.5.5 B、C、D、E 类焊接接头，球形封头与圆筒相连的 A 类焊接接头以及缺陷焊补部位，允许采用局部热处理方法。

局部热处理时，焊缝每侧加热宽度不小于钢材厚度 δ_s 的 2 倍；接管与壳体相焊时，垂直于焊缝方向上的加热宽度不得小于钢材厚度 δ_s 的 6 倍。靠近加热区的部位应采取保温措施，使温度梯度不致影响材料的组织和性能。

8.5.6 焊后热处理操作

8.5.6.1 碳钢、低合金钢的焊后热处理操作应符合如下规定：

- a) 焊件进炉时炉内温度不得高于 400℃；
- b) 焊件升温至 400℃后，加热区升温速度不得超过 5 000/ δ_s ℃/h（ δ_s 为焊接接头厚度定义中的工件钢材厚度，mm，f) 同此。），且不得超过 200℃/h，最小可为 50℃/h；
- c) 升温时，加热区内任意 5 000 mm 长度内的温差不得大于 120℃；
- d) 保温时，加热区内最高与最低温度之差不宜超过 65℃；
- e) 升温及保温时应控制加热区气氛，防止焊件表面过度氧化；
- f) 炉温高于 400℃时，加热区降温速度不得超过 6 500/ δ_s ℃/h，且不得超过 260℃/h，最小可为 50℃/h；
- g) 焊件出炉时，炉温不得高于 400℃，出炉后应在静止空气中继续冷却。

8.5.6.2 对 S11306、S11348 铁素体型不锈钢的焊后热处理，当温度高于 650℃时，冷却速度不得大于 56℃/h，当温度低于 650℃时，应快速冷却，其余操作按 8.5.6.1。

8.5.6.3 当需对奥氏体型不锈钢、奥氏体—铁素体型不锈钢进行焊后热处理时，按设计图样或设计文件规定。

GB 150.4—2010

8.6 热处理前、后的表面处理

有防腐要求的不锈钢及复合钢板制容器的表面，应在热处理前进行酸洗、钝化处理。该类材料制零部件按设计图样要求进行热处理后，还需作酸洗、钝化处理。

9 试件与试样

9.1 产品焊接试件

9.1.1 制备产品焊接试件条件

9.1.1.1 凡符合以下条件之一者 A 类的圆筒纵向焊接接头，应按每台容器制备产品焊接试件。

- a) 碳钢、低合金钢制低温容器；
- b) 设计温度低于-196℃的奥氏体不锈钢制容器；
- c) 材料标准抗拉强度下限值大于或者等于 540MPa 的低合金钢制容器；
- d) 制造过程中，通过热处理改善或者恢复材料性能的钢制容器；
- e) 图样注明盛装毒性为极度危害或高度危害介质的容器；
- f) 设计图样要求制备产品焊接试件的容器。

9.1.1.2 除图样规定制作鉴证环试件外，B 类焊接接头（含球形封头与圆筒相连的 A 类焊接接头）免做产品焊接试件。

9.1.2 制备产品焊接试件与试样的要求

9.1.2.1 产品焊接试件应当在筒节纵向焊缝的延长部位与筒节同时施焊（球形容器和锻焊容器除外）。

9.1.2.2 试件的原材料必须合格，并且与容器用材具有相同标准、相同牌号，相同厚度和相同热处理状态。

9.1.2.3 试件应由施焊该容器的焊工，采用与施焊容器相同的条件与焊接工艺施焊，有热处理要求的容器，试件一般应当随容器进行热处理，否则应当采取措施保证试件按照与容器相同的工艺进行热处理。

9.1.2.4 试件的尺寸和试样的截取按 JB/T 4744 的规定。若壳体材料有冲击试验要求，应在试件上同时截取冲击试样，进行冲击试验。

9.1.3 试样检验与评定

9.1.3.1 试样的检验与评定按 JB/T 4744 和设计图样要求进行；当需要进行耐腐蚀性能检验时，应按 GB/T 21433 和设计图样要求制备试样进行试验，并应满足要求。

9.1.3.2 凡符合 9.1.1.1 条 a)、b) 款的容器，其产品焊接试件的试样除按 JB/T 4744 进行检验与评定外，还应同时制备焊缝金属和热影响区冲击试样，按 7.2.3 和/或设计图样所规定的冲击试验温度和合格指标进行检验与评定。

9.1.3.3 当试样评定结果不能满足要求时，允许按 JB/T 4744 的要求取样进行复验。如复验结果仍达不到要求时，则该试件所代表的产品被判为不合格。

9.2 母材热处理试件

9.2.1 制备母材热处理试件条件

9.2.1.1 凡符合以下条件之一者，应制备母材热处理试件。

- a) 当要求材料的使用热处理状态与供货热处理状态一致时，在制造过程中若破坏了供货的热处理状态，需要重新进行热处理的；

- b) 在制造过程中, 需要采用热处理改善材料力学性能的;
- c) 冷成形或温成形的受压元件, 成形后需要通过热处理恢复材料性能的。

9.2.2 制备母材热处理试件与试样的要求

9.2.2.1 母材热处理试件应与母材同炉进行热处理; 当无法同炉时, 应模拟与母材相同的热处理状态。

9.2.2.2 试件的尺寸可参照 9.1.2.4 条的要求确定。母材热处理试件切取拉伸试样一个、冷弯试样一个、冲击试样三个。

9.2.3 试样检验与评定

试样的拉伸、冷弯和冲击试验分别按 GB/T 228、GB/T 229 和 GB/T 232 的规定进行, 并按 GB150.2 和设计图样进行评定。当试样评定结果不能满足要求时, 允许重新取样进行复验。如复验结果仍达不到要求, 则该试件所代表的母材被判为不合格。

9.3 B 类焊接接头鉴证环

9.3.1 容器 B 类焊接接头是否需制备鉴证环按设计图样规定。

9.3.2 鉴证环的材料必须是合格的, 且与容器用材料具有相同钢号、相同热处理状态, 如系钢锻件则其级别也应相同。有热处理要求的容器, 鉴证环应进行同样的热处理。

9.3.3 鉴证环试样的种类、尺寸、数量、截取、试验方法与结果评定按设计图样要求。

9.4 其他试件与试样

9.4.1 要求做耐腐蚀性能检验的容器或者受压元件, 应按设计图样规定制备耐腐蚀性能试件并进行检验与评定。

9.4.2 根据设计图样要求, 螺柱经热处理后需做力学性能试验者, 应按批制备热处理试样并进行检验与评定。每批系指具有相同钢号、相同炉罐号、相同断面尺寸、相同制造工艺、同时投产的同类螺柱。

9.5 合并制备试件

当容器同时要求制备产品焊接试件和母材热处理试件时, 在保证两种试件代表性的情况下可合并制备。

10 无损检测

10.1 无损检测方法的选择

10.1.1 容器的对接接头应当采用射线或超声检测, 超声检测包括衍射时差法超声检测 (TOFD)、可记录的脉冲反射法超声检测和不可记录的脉冲反射法超声检测。

10.1.2 当采用不可记录的脉冲反射法超声检测时, 应当采用射线检测或者衍射时差法超声检测做为附加局部检测。

10.1.3 铁磁性材料制容器焊接接头表面应当优先采用磁粉检测。

10.2 无损检测的实施时机

10.2.1 容器的焊接接头, 应在形状尺寸检查、外观目视检查合格后, 再进行无损检测。

10.2.2 拼接封头应当在成形后进行无损检测。

10.2.3 有延迟裂纹倾向的材料应当至少在焊接完成 24 小时后进行无损检测, 有再热裂纹倾向的材料应当在热处理后增加一次无损检测。

10.2.4 标准抗拉强度下限值大于或者等于 540 MPa 的低合金钢制压力容器, 在耐压试验后, 还应

GB 150.4—2010

当对焊接接头进行表面无损检测。

10.3 射线和超声检测

10.3.1 全部（100%）射线或超声检测

凡符合下列条件之一的内压力容器及受压元件，需采用设计图样规定的方法，对其 A 类和 B 类焊接接头，进行全部（100%）射线或超声检测。

- a) 设计压力大于或等于 1.6MPa 的 III 类容器；
- b) 采用气压或气液组合耐压试验的容器；
- c) 焊接接头系数取 1 的容器及使用后无法进行内、外部检验或者耐压试验的容器；
- d) 图样注明盛装毒性为极度或高度危害介质的容器；
- e) 图样规定须 100% 检测的容器；
- f) 设计温度低于 -40℃ 的低温容器；
- g) 设计温度虽高于或等于 -40℃，但焊接接头厚度大于 25mm 的 16MnDR、15MnNiDR、15MnNiNbDR、09MnNiDR 制低温容器；
- h) 碳钢、Q345R、Q370R 及其配套锻件的焊接接头厚度大于 32 mm 者；
- i) 奥氏体型不锈钢及其配套锻件的焊接接头厚度大于 38 mm 者；
- j) 18MnMoNbR、13MnNiMoR、12MnNiVR 及其配套锻件的焊接接头厚度大于 20 mm 者；
- k) 15CrMoR、14Cr1MoR、08Ni3DR、奥氏体—铁素体型不锈钢及其配套锻件的焊接接头厚度大于 16 mm 者；
- l) 铁素体型不锈钢、其他 Cr-Mo 低合金钢及其配套锻件的所有 A 类和 B 类焊接接头；
- m) 标准抗拉强度下限值大于或者等于 540MPa 的低合金钢制容器的所有 A 类和 B 类焊接接头；

注：公称直径不小于 250 mm 的上述容器接管与接管对接接头、接管与高颈法兰对接接头的检测要求与 A 类和 B 类焊接接头相同。

10.3.2 局部射线或超声检测

除 10.3.1 规定以外的内压力容器，应对其 A 类及 B 类焊接接头进行局部射线或超声检测。检测方法按设计图样规定。其中，对低温容器检测长度不得少于各条焊接接头长度的 50%，对非低温容器检测长度不得少于各条焊接接头长度的 20%，且均不得小于 250 mm。焊缝交叉部位及以下部位应全部检测，其检测长度可计入局部检测长度之内。

- a) 先拼板后成形凸形封头上的所有拼接接头；
- b) 凡被补强圈、支座、垫板、内件等所覆盖的焊接接头；
- c) 以开孔中心为圆心，开孔直径为半径的圆中所包容的焊接接头；
- d) 嵌入式接管与圆筒或封头对接连接的焊接接头；
- e) 10.3.1 条规定之外容器上的公称直径不小于 250 mm 的接管与接管对接接头和接管与高颈法兰的对接接头。

注：1) 按本条规定检测后，制造部门对未检查的质量仍需负责。但是，若作进一步检测可能会发现气孔等不危及容器安全的超标缺陷，如果这也不允许时，就应选择百分之百射线或超声检测。

2) 上述容器上公称直径小于 250 mm 的容器接管与接管对接接头、接管与高颈法兰对接接头的检测要求按设计图样规定。

10.3.3 外压容器的射线或超声检测

外压的射线或超声检测按设计图样规定进行。

10.4 表面检测

凡符合下列条件之一的焊接接头，需按图样规定的方法，对其表面进行磁粉或渗透检测。

- a) 10.3.1 条中低温容器上的 A、B、C、D、E 类焊接接头，该类材料容器的缺陷修磨或补焊处的表面，卡具和拉筋等拆除处的割痕表面；
- b) 凡属 10.3.1 条中 k)、l)、m) 容器上的 C、D、E 类焊接接头；
- c) 管座角焊缝、异种钢焊接接头、具有再热裂纹倾向或者延迟裂纹倾向的焊接接头；
- d) 钢材厚度大于 20 mm 的奥氏体型不锈钢、奥氏体—铁素体型不锈钢容器的对接和角接头；
- e) 堆焊表面；
- f) 复合钢板的覆层焊接接头；
- g) 标准抗拉强度下限值大于或者等于 540 MPa 的材料及 Cr-Mo 低合金钢材经火焰切割的坡口表面，以及该类材料容器的缺陷修磨或补焊处的表面，卡具和拉筋等拆除处的割痕表面；
- h) 凡属 10.3.1 条容器上公称直径小于 250 mm 的接管与长颈法兰、接管与接管对接连接的焊接接头；
- i) 凡属 10.3.2 中 a) 先拼板后成形凸形封头上的所有拼接接头。

10.5 附加检测

10.5.1 标准抗拉强度下限值大于或者等于 540MPa 的低合金钢制容器的所有 A 类和 B 类焊接接头，若其焊接接头厚度大于 20mm，还应采用 10.1.1 和 10.1.2 条中所列的与原无损检测方法不同的检测方法另行进行局部检测，该检测应包括所有的焊缝交叉部位；同时，该类材料容器在耐压试验后，还应对焊接接头进行表面无损检测。

10.5.2 经射线或超声检测的焊接接头，如有不允许的缺陷，应在缺陷清除干净后进行补焊，并对该部分采用原检测方法重新检查，直至合格。

10.5.3 进行局部检测的焊接接头，发现有不允许的缺陷时，应在该缺陷两端的延伸部位增加检查长度，增加的长度为该焊接接头长度的 10%，且不小于 250mm。若仍有不允许的缺陷，则对该焊接接头做全部（100%）检测。

10.5.4 磁粉与渗透检测发现的不允许缺陷，应在进行修磨及必要的补焊后，对该部位采用原检测方法重新检测，直至合格。

10.5.5 当设计图样上规定时，应按图样规定进行附加检测。

10.6 无损检测的技术要求

10.6.1 射线检测的技术要求

按 JB 4730 对焊接接头进行射线检测，其合格指标如下：

- a) 若容器及受压元件符合 10.3.1 的规定，检测技术等级不低于 AB 级，合格级别不低于 II 级；
- b) 若容器及受压元件符合 10.3.2 的规定，检测技术等级不低于 AB 级，合格级别不低于 III 级；
- c) 角接头、T 形接头，检测技术等级不低于 AB 级，合格级别不低于 II 级。

10.6.2 超声检测的技术要求

按 JB 4730 对焊接接头进行超声检测，其合格指标如下：

- a) 若容器及受压元件符合 10.3.1 的规定，脉冲反射法超声检测技术等级不低于 B 级，合格级别不低于 I 级；
- b) 若容器符合 10.3.2 的规定，脉冲反射法超声检测技术等级不低于 B 级，合格级别不低于 II

GB 150.4—2010

级；

- c) 角接接头、T形接头，脉冲反射法超声检测技术等级不低于B级，合格级别不低于Ⅰ级；
- d) 采用衍射时差法超声检测（TOFD）的焊接接头，合格级别不低于Ⅱ级。

10.6.3 表面检测的技术要求

按JB 4730对焊接接头进行磁粉、渗透检测，合格级别不低于Ⅰ级。

10.7 无损检测档案

压力容器无损检测档案应完整，保存时间不得少于7年。

11 耐压试验和泄漏试验

11.1 制造完工的容器应按设计图样规定进行耐压试验和/或泄漏试验。

11.2 如在耐压试验和泄漏试验时采用压力表测量试验压力，则应使用两个量程相同的、并经过校验的压力表。压力表的量程宜为试验压力的2倍左右，但不应低于1.5倍和高于3倍的试验压力，压力表的精度不得低于1.6级，表盘直径不得小于100mm。

11.3 容器的开孔补强圈应在试验以前通入0.4~0.5MPa的压缩空气检查焊接接头质量。

11.4 耐压试验

11.4.1 耐压试验分为液压试验、气压试验以及气液组合压力试验，制造单位应按设计图样规定的方法进行耐压试验。

11.4.2 耐压试验的试验压力和强度校核按GB150.1的规定。

11.4.3 耐压试验前，压力容器各连接部位的紧固件应装配齐全，并紧固妥当；为进行耐压试验而装配的临时受压元件，应采取适当的措施，保证其安全性。

11.4.4 试验用压力表应安装在被试验容器安放位置的顶部。

11.4.5 耐压试验保压期间不得采用连续加压以维持试验压力不变，试验过程中不得带压拧紧紧固件或对受压元件施加外力。

11.4.6 耐压试验后，因焊接接头或接管泄漏而进行返修的容器，或者其他部位返修深度大于该处壁厚二分之一的容器，应重新进行耐压试验。

11.4.7 对于由两个（或两个以上）压力室组成的多腔容器，每个压力室的试验压力按其设计压力确定。耐压试验前应校核相邻壳壁在试验压力下的稳定性。

若稳定性满足要求，则压力室应单独进行试验。

若稳定性不满足要求，则应先进行泄漏检查，合格后再进行耐压试验。耐压试验时，相临压力室内必须保持一定压力，以使整个试验过程中（包括升压、保压和卸压）的任一时间内，各压力室的压差不超过允许压差。泄漏检查方法和允许压差按设计图样规定。

11.4.8 对于带夹套容器，先进行内筒液压试验，合格后再焊夹套，然后再进行夹套内的液压试验。

11.4.9 液压试验

11.4.9.1 试验液体一般采用水，试验合格后应立即将水渍清除干净。当无法完全清除水渍时，对奥氏体不锈钢制容器，应控制水的氯离子含量不超过25 mg/L。

11.4.9.2 需要时，也可采用不会导致发生危险的其他液体，但试验时液体的温度应低于其闪点或沸点。当采用可燃液体进行液压试验时，试验场地附近不得有火源，并应配备适用的消防器材。

11.4.9.3 试验温度

Q345R、Q370R、07MnMoVR制容器进行液压试验时，液体温度不得低于5℃；其他钢制容器

进行液压试验时,液体温度不得低于 15℃;低温容器液压试验的液体温度应不低于壳体材料和焊接接头的冲击试验温度(取其高者)加 20℃。如果由于板厚等因素造成材料无延性转变温度升高,则需相应提高试验温度。

当有试验数据支持时,可使用较低温度液体进行试验,但试验时应保证试验温度(容器器壁金属温度)比容器器壁金属无延性转变温度至少高 30℃。

11.4.9.4 试验程序和步骤

- a) 试验容器内的气体应当排净并充满液体,试验过程中,应保持容器观察表面的干燥;
- b) 当试验容器器壁金属温度与液体温度接近时,方可缓慢升压至设计压力,确认无泄漏后继续升压至规定的试验压力,保压足够时间;然后降至设计压力,保压足够时间进行检查,检查期间压力应保持不变。

11.4.9.5 液压试验的合格标准

试验过程中,容器无渗漏,无可见的变形和异常声响。

11.4.9.6 液压试验完毕后,应将液体排尽并用压缩空气将内部吹干。

11.4.10 气压试验和气液组合压力试验

11.4.10.1 试验所用气体应为干燥洁净的空气、氮气或其他惰性气体;试验所用液体应符合 11.4.9.1 和 11.4.9.2 的规定。

11.4.10.2 气压试验和气液组合压力试验应有安全措施,试验单位的安全管理部门应当派人进行现场监督。

11.4.10.3 试验压力和强度校核按 GB150.1 的规定。

11.4.10.4 试验温度

Q345R、Q370R、07MnMoVR 制容器进行液压试验时,液体温度不得低于 5℃;其他钢制容器进行液压试验时,液体温度不得低于 15℃;低温容器液压试验的液体温度应不低于壳体材料和焊接接头的冲击试验温度(取其高者)加 20℃。如果由于板厚等因素造成材料无延性转变温度升高,则需相应提高试验温度。

当有试验数据支持时,可使用较低温度液体进行试验,但试验时应保证试验温度(容器器壁金属温度)比容器器壁金属无延性转变温度至少高 30℃。

11.4.10.5 试验时应先缓慢升压至规定试验压力的 10%,保压足够时间,并且对所有焊接接头和连接部位进行初次检查;如无泄漏再继续升压至规定试验压力的 50%;如无异常现象,其后按规定试验压力的 10%逐级升压,直到试验压力,保压足够时间;然后降至设计压力,保压足够时间进行检查,检查期间压力应保持不变。

11.4.10.6 气压试验和气液组合压力试验的合格标准

对气压试验试验过程中,容器无异常声响,经肥皂液或其他检漏液检查无漏气,无可见的变形;对气液组合压力试验,应保持容器外壁干燥,先检查无液体泄漏,然后再经肥皂液或其他检漏液检查无漏气,无异常声响,无可见的变形。

11.5 泄漏试验

11.5.1 容器需经耐压试验合格后方可进行泄漏试验。

11.5.2 泄漏试验包括气密性试验、氨检漏试验、卤素检漏试验和氦检漏试验,制造单位应按设计图样规定的方法进行泄漏试验。

11.5.3 气密性试验

GB 150.4—2010

11.5.3.1 气密性试验所用气体应符合 11.4.8.1 的规定。

11.5.3.2 气密性试验压力为容器的设计压力。

11.5.3.3 试验时压力应缓慢上升,达到规定压力后保持足够长的时间,对所有焊接接头和连接部位进行泄漏检查。小型容器亦可浸入水中检查。

11.5.3.4 试验过程中,无泄漏合格;如有泄漏,应在修补后重新进行试验。

11.5.3.5 气密性试验的其他要求按相关标准的规定。

11.5.4 氨检漏试验

11.5.4.1 制造单位应按设计图样规定的方法和合格指标进行氨检漏试验。

11.5.4.2 氨检漏试验应符合相关标准的规定。

11.5.5 卤素检漏试验

卤素检漏试验应按相关标准或设计图样的规定进行。

11.5.6 氨检漏试验的方法和合格指标按图样要求确定。

氨检漏试验应按相关标准或设计图样的规定进行。

12 多层容器

多层容器的制造除应符合以下规定外,还应满足本标准的其他有关规定。

12.1 成形与内筒组装

12.1.1 多层筒节包扎、多层整体包扎和钢带错绕容器内筒的成形允差应符合表 5 的规定。

表 5 多层容器内筒成形允差

mm

成形允差		
A 类焊接接头的对口错边量 b (见图 3)	A 类焊接接头处形成的棱角 E (见图 5)	同一断面上最大、最小直径之差 (见图 9)
≤ 1.0	≤ 1.5	$\leq 0.4\%D_i$, 且 ≤ 5

12.1.2 热套容器单层圆筒的成形允差

12.1.2.1 单层圆筒成形后沿着其轴向分上、中、下三个断面测量单层圆筒的内径。同一断面最大内径与最小内径之差应不大于该单层圆筒内径的 0.5%。

12.1.2.2 单层圆筒的直线度用不小于圆筒长度的直尺检查。将直尺沿轴向靠在筒壁上,直尺与筒壁之间的间隙不大于 1.5mm。

12.1.2.3 A 类接头表面均需进行机加工或修磨加工,不允许保留余高、错边、咬边,并使焊缝区的圆度和筒身一致。用弦长等于该单层圆筒内径的三分之一,且不小于 300 mm 的内样板或外样板进行检查(见图 5),形成的棱角 E 应符合表 6 的规定。

表 6 热套容器单层圆筒棱角允差

棱角 E mm	≥ 1.5	$1.5 > E \geq 1.25$	$1.25 > E \geq 1$	$1.25 > E \geq 0.75$	$0.75 > E \geq 0.5$	$0.5 > E \geq 0.2$	< 0.2
棱角 E 的弧长 套合面圆周长, %	0	3	4	5	6	7	不计

12.1.3 多层整体包扎容器和钢带错绕容器内筒组装允差

12.1.3.1 内筒之间的 B 类焊接接头对口错边量 b(如图 3)应不大于 1.5mm;内筒与端部法兰或封头的连接,其对口错边量应不大于 1mm。

12.1.3.2 内筒 B 类焊接接头在轴向形成的棱角 E (见图 6), 用长度不小于 300 mm 的直尺检查, 其 E 值不得大于 1.5 mm。

12.1.3.3 组装内筒的直线度允差不得大于筒体长度的 0.1%, 且不大于 6mm。

12.1.4 内筒焊接与热处理

12.1.4.1 内筒或组装内筒焊缝不得有咬边。

12.1.4.2 内筒或组装内筒 A、B 类焊接接头外表面应进行加工或修磨, 使之与母材表面圆滑过渡。

12.1.4.3 多层筒节包扎和多层整体包扎容器碳钢和低合金钢内筒的 A 类焊接接头、多层整体包扎容器球形封头与接管 (或支承圈) 间的焊接接头以及钢带错绕容器碳钢和低合金钢内筒 A、B 类焊接接头应进行焊后热处理。

12.2 组合操作

12.2.1 层板包扎

12.2.1.1 包扎前应清除内筒、已包扎和待包扎层板外表面的铁锈、油污和其它影响贴合的杂物。

12.2.1.2 内筒纵向焊接接头与各层层板 C 类焊接接头应均匀错开; 多层整体包扎容器内筒环向焊接接头与各层层板环向焊接接头应相互错开, 且相邻层环向焊接接头间的最小距离应大于图样要求。

12.2.1.3 每包扎下一层层板前, 应将前一层焊缝修磨平滑。

12.2.1.4 每层层板的焊接接头修磨后应进行外观检查, 不得存在裂纹、咬边和密集气孔。

12.2.1.5 多层整体包扎容器层板与端部法兰或封头的连接, 其对口错边量不得大于 0.8mm。

12.2.1.6 每层层板包扎后需经松动面积检查。对内径 D_i 不大于 1000mm 的容器, 每一有松动的部位, 沿环向长度不得超过 D_i 的 30%, 沿轴向长度不得超过 600 mm; 对于内径 D_i 大于 1000mm 的容器, 每一有松动的部位, 沿环向长度不得超过 300 mm, 沿轴向长度不得超过 600 mm。

12.2.1.7 每个多层筒节或层板上必须按图样要求加工检漏孔。

12.2.2 套合

12.2.2.1 不经机加工的套合面, 在套合操作前需进行喷砂或喷丸处理, 清除铁锈、油污及影响层间贴合的杂物。

12.2.2.2 套合操作加热温度的选择, 应以不影响钢材的力学性能为准。套合操作应靠筒身自重自由套入, 不允许强力压入。

12.2.2.3 套合中应将各单层圆筒的 A 类接头相互错开, 错开角度不小于 30°。

12.2.2.4 每个套合圆筒上必须按图样要求钻泄放孔。

12.2.2.5 套合圆筒两端坡口加工后, 用塞尺检查套合面的间隙。间隙径向尺寸在 0.2mm 以上的任何一块间隙面积, 不得大于套合面面积的 0.4%。

径向尺寸大于 1.5mm 的间隙应进行焊补。

注: 间隙径向尺寸即指间隙处能塞入的最大塞尺厚度; 间隙面积即指间隙沿圆筒轴向的深度与间隙弧长的乘积。

12.2.3 钢带缠绕 (加内筒厚度原则性规定)

12.2.3.1 钢带错绕容器内筒制作完毕后, 应按 11.4 条的规定进行泄漏试验, 试验合格后方可缠绕钢带。泄漏试验压力不得大于下式计算值:

$$p_{Ti} = [\sigma]_i \frac{\delta_i}{R_i} \dots\dots\dots 12-1$$

式中:

GB 150.4—2010

P_{Ti} —— 内筒泄漏试验压力, MPa;

$[\sigma]_t$ —— 试验温度下内筒材料的许用应力, MPa;

δ_i —— 内筒壁厚, mm;

R_i —— 筒体内半径, mm。

12.2.3.2 缠绕钢带前应将内筒、钢带外表面的铁锈、油污及影响贴合的杂物清除干净。

12.2.3.3 各层钢带应按图样规定的缠绕倾角和预拉应力进行缠绕, 并记录测力装置读数。缠绕钢带过程中, 应实测并记录各层钢带的实际厚度, 并确保各层钢带的实际厚度之总和大于钢带层设计厚度, 否则, 应增加钢带层数。

12.2.3.4 同层钢带中, 相邻钢带的间隙应均匀分布, 不允许因间距不均匀而切割钢带侧边。

12.2.3.5 每层钢带缠绕后应进行松动面积检查, 每根钢带上的松动面积应不超过该钢带总面积的 15%。

12.2.3.6 每层钢带的始、末两端应尽量与前一层贴合, 并通过焊接钢带端部长度大于等于两倍钢带宽度的带间间隙使之得到加强与箍紧。每层钢带端部焊缝处均应修磨平整, 并用不小于 5 倍的放大镜对焊缝进行外观检查, 不应有咬边、密集气孔、夹渣、裂纹等缺陷。必要时可进行磁粉或渗透检测。

12.2.3.7 钢带允许作 45°斜边对接拼接处理, 对接接头应采用全熔透结构, 拼接前应按 JB 4708 进行焊接工艺评定。对缠绕于筒体上的每层钢带, 这种对接接头不应超过三处, 且在一根钢带上只允许一处, 拼接长度不得小于 500 mm。

12.3 热处理

12.3.1 对多层筒节包扎和多层整体包扎容器, 与包扎筒节相焊的各类焊接接头, 焊接后均可不作焊后热处理。

12.3.2 热套容器圆筒套合后, 应作消除套合应力热处理。这一工序允许和焊后热处理合并进行。

12.4 试件与试样

12.4.1 多层筒节包扎容器的产品焊接试件应包括内筒焊接试件和层板焊接试件。层板的焊接试件在某一层 C 类接头焊缝的延长部位焊制, 在试件的焊缝根部需垫上与层板同材料、同厚度的垫板。

12.4.2 多层整体包扎容器的内筒应制备产品焊接试件。

12.5 无损检测

12.5.1 层板的拼接接头, 多层筒节包扎容器内筒的 A 类焊接接头, 热套容器各单层圆筒的 A 类焊接接头, 多层整体包扎容器内筒的 A、B 类焊接接头, 各层层板与端部法兰或球形封头的焊接接头及最外层层板的纵向和环向焊接接头, 钢带错绕容器内筒的 A、B 类焊接接头应进行全部 (100%) 射线或超声检测, 并应符合 10.6 条规定。

12.5.2 对材料标准抗拉强度下限值大于或者等于 540 MPa 的多层筒节包扎、多层整体包扎容器层板 C 类焊接接头, 应对其表面进行 100%磁粉或渗透检测, 并应符合 10.6 条规定。

12.6 耐压试验和泄漏试验

12.6.1 多层容器的耐压试验和最终泄漏试验应符合 11 章和设计图样的要求。

12.6.2 钢带错绕容器的耐压试验除应符合 11.4 的要求外, 还应在耐压试验时, 测量最外层钢带两端离端部焊缝 800 mm 处与筒体中部周长。

试验过程中取两组测量值, 第一组取自耐压试验前零压力状态下三个部位的测量值; 第二组取自耐压试验中, 达到规定试验压力并至少保压 5min 后, 在规定试验压力下三个部位的测量值。计

算三个部位周长实测伸长量平均值 e_m ，并与按下式计算所得的相同尺寸单层圆筒周向理论伸长量 e_{th} 相比， e_m 和 e_{th} 之比在 0.6~1.0 之间为合格。

相同尺寸单层圆筒周向理论伸长量 e_{th} 计算：

$$e_{th} = \frac{10.68 R_o P_T R_i^2}{E_m (R_o^2 - R_i^2)} \quad \dots\dots\dots 12-2$$

式中：

- e_{th} —— 相同尺寸单层圆筒周向理论伸长量，mm；
- R_o —— 筒体外半径，mm；
- P_T —— 钢带错绕容器耐压试验压力，MPa；
- R_i —— 筒体内半径，mm；
- E_m —— 材料耐压试验温度下的杨氏弹性模量，MPa。

12.6.3 钢带错绕容器在耐压试验和泄漏试验合格后，应按图样要求加焊外保护壳。

13 质量证明书、标志、油漆、运输包装

13.1 容器出厂质量证明文件

容器出厂质量证明文件应包括以下部分：

- 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、锻件等外购件的质量证明文件、质量计划或者检验计划、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、现场组焊容器的组焊和质量检验技术资料等）；
- 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（对需监督检验的压力容器）；
- f) 容器设计文件（含强度计算书或者应力分析报告、第Ⅲ类压力容器的风险评估报告，及其它设计文件，如：制造技术条件、安装与使用维修说明、超压泄放装置计算书等）。

13.2 产品铭牌

13.2.1 容器铭牌应固定于明显的位置，其中低温容器的铭牌不能直接铆固在壳体上。

13.2.2 铭牌应包括如下内容：

- 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) 设计压力、最高允许工作压力（必要时）；
- i) 耐压试验压力；
- j) 产品编号；

GB 150.4—2010

- k) 设备代码;
- l) 制造日期;
- m) 压力容器类别;
- n) 容积 (换热面积)。

13.3 容器的涂敷与运输包装应按 JB/T 4711 或设计文件的规定进行。