

# 关于压力容器焊接的几个问题

江苏省化工设计院 袁人

## 前言

压力容器焊接质量的好坏对使用的安全性影响极大。据大量的压力容器事故分析：容器的破坏大部分是先在焊缝上产生微裂缝源。随着服役中各种因素的综合作用，促使微裂缝不断扩展，当裂缝扩展到失稳的临界尺寸时，就快速扩展成穿透裂缝，从而导致整个容器的破坏。

例如，日本在1970年曾发生过一起多层压力容器的破坏事故。该容器内径1.56米，壁厚144毫米，全长6.02米，用高强度钢制造。当水压试验压力达到1.5倍设计压力并保压1小时之后，突然锻件封头与筒体连接的环焊缝全部裂开。事故原因是锻件一侧熔合线上产生延迟裂缝。另外国内某厂有一台200米<sup>3</sup>储气球罐，直径7.1米，设计压力10公斤力/厘米<sup>2</sup>，水压试验13公斤力/厘米<sup>2</sup>，材质采用日本的SM53B钢板，选用结577焊条焊接。1979年4月21日进行水压试验，升压至5公斤力/厘米<sup>2</sup>时，球罐有3处破裂，冒出水雾。再升压至8公斤力/厘米<sup>2</sup>时，有8处破裂，冒出水雾。再升压至11公斤力/厘米<sup>2</sup>时，开裂处仍为8处。后卸压停止试验，对球罐探伤，发现有38处裂缝。

由上述二例可见，焊接裂缝的存在对压力容器的安全性是个严重威胁。因此正确进行制造压力容器的关键工艺——焊接是非常重要的。本文针对压力容器焊接中应引起重视的几个问题作一概述。

## 点

## 一、压力容器焊接接头的特点

压力容器的焊接接头与容器组成为一整体，具有较大的刚性并改变容器的截面和形状，因而改变了应力的分布。不同的焊接接头形式会引起不同程度的应力集中。焊缝中任何缺陷所产生的应力集中也直接牵连到容器本体。

在焊接过程中，由于热源高度集中于容器局部，会引起较高的焊接应力和变形因此应采用刚性较小的接头形式以减小拘束度。

由于焊缝金属与母材在化学成分和组织上的差异以及焊缝附近金属所经历的不同焊接热循环和塑性变形循环，因此焊接接头的各个区域的力学性能和其他性能具有不均匀性。

此处，压力容器焊接接头的疲劳强度与接头形式、焊缝形式和焊接质量密切相关。接头中的工艺缺陷会降低疲劳强度。质量良好及焊缝过渡圆滑的对接接头具有相当高的疲劳强度，特别当焊缝表面经过加工与母材齐平，或者在焊缝与母材交界处的大圆弧半径过渡后，低碳钢和普通低合金钢的对接接头的疲劳强度与母材接近。未经加工的对接接头的疲劳强度与焊缝的加厚高 $c$ 和过渡角 $\theta$ 有关（见图）。 $c$ 和 $\theta$ 越大，则疲劳强度越低。

选择合理的焊缝接头形式可以减少应力集中和焊接残余应力，提高焊缝的疲劳

强度。

上述这些压力容器焊接接头的特点，我们在进行压力容器焊接时都是必须予以考虑的。



## 二、压力容器焊接坡口的选择原则

根据压力容器焊接接头的特点，其焊缝坡口型的设计及选用，应考虑焊接工作量、坡口加工的难易、预防焊接变形以及焊接的方便程度等。例如厚壁容器，内部不便焊接时，为了减少在容器内部焊接的工作量，环缝坡口宜选用V形或U形。当工件无法翻转时，为了减少仰焊的工作量，水平焊缝的坡口宜选用不对称坡口。归纳起来，有以下几条选择原则：

- 1、填充金属尽量少。
- 2、保证焊透和避免产生裂缝等缺陷。
- 3、改善劳动条件，在容器内侧用小坡口，减少容器内部焊接的工作量。电弧气刨清根一般在容器外部进行。
- 4、焊工操作方便。
- 5、减少焊接变形量，如较厚钢板拼接，宜选用对称坡口型式。
- 6、选用复合钢板的坡口型式，应考虑过渡层的焊接特点和尽量减少复层一侧的焊接量。

上述原则中，必须着重考虑的是两条：

①尽量采用全焊透的焊接坡口，当容器直径过小，焊工无法进入内部焊接时，也可选择适于氩弧焊封底或机械化焊接的坡口型式。

②为改善劳动条件，应尽量减少容器内部的焊接工作量。容器内部的焊接接头一般宜选用较小的坡口或加衬环从外面焊接，焊后去掉衬环。

## 三、压力容器的焊接结构设计要点

目前国内尚无完全适用于压力容器的焊缝结构标准，而各种规范和标准的说法也不一致（参见表1）。为确保压力容器的产品质量和安全使用，对其焊接结构设计一般要掌握的要点是：

1、压力容器的焊缝结构应按《钢制石油化工压力容器设计规定》中附录E进行设计。

2、焊缝代号和标注方法按GB324《焊缝代号》的规定。

3、压力容器的焊接接头型式和尺寸：

(a) 对接焊缝按JB/Z105—73《钢制压力容器焊接规程》

(b) 角接焊缝按《钢制石油化工压力容器设计规定》中附录E。

4、压力容器的对接焊缝一般应采用全焊透结构的双面对接焊，若容器因几何尺寸或结构原因，双面焊确有困难时，可采用：

(a) 氩弧焊封底，焊透工艺的单面对接焊。

(b) 带垫板的单面对接焊。

5、压力容器的接管（包括人、手孔等）与筒体或封头的连接焊缝，一般应尽量采用全焊透结构，凡属下列情况之一时，则必须采用全焊透结构：

(a) 贮存或处理剧毒介质的压力容器；

(b) 低温操作的容器；

(c) 开孔要求采用整体补强的容

器；

(d) 二、三类压力容器。

此外，所有开孔宜避开焊缝，开孔边

缘与容器上其它焊缝之间的距离应大于3倍容器壁厚，且不小于25毫米。

我国各种规范或标准关于焊缝结构的说明和要求

表 1

规范或标准	说 明 和 要 求
压力容器安全监察 规 程	1、第30条：焊缝结构参照《钢制石油化工压力容器设计规定》 2、附件四：引用标准为JB/Z105—73。
钢制石油化工压力 容器设计规定	1、本规定供参考，可根据经验，设计其它结构型式和尺寸。 2、使用本规定，同时遵照JB/Z105—73和JB741—80。（钢制焊接压力容器技术条件） 3、对GB985~986只字未提。
JB/Z105—73 《钢制压力容器焊接规程》	1、推荐的坡口型式和尺寸仅为对接焊缝。 2、可按GB985~986选用。
GB985~986—80 《焊接接头的基型式 与尺寸》	1、本标准适用于碳钢和低合金钢的焊接接头（不锈钢是否适用未说明）。 2、坡口间隙允许负偏差，则间隙为0。
GBJ236—82 《现场设备、工业管道焊接 工程施工及验收规范》	碳钢、低合金钢和不锈钢焊接坡口按 GB985~986—80。

#### 四、压力容器焊接裂缝的产生原因及主要防止措施

焊接裂缝是压力容器最危险的焊接缺陷。裂缝是指焊后存在于焊缝或热影响区金属中局部裂开的缝隙，它破坏了金属的连续性，大大降低了焊接接头的强度和塑性。由于裂缝的两端是一个尖锐的缺口或缝隙，会造成严重的应力集中。稍有外力的作用，就可能使裂缝两端继续延伸和发展，引起容器发生脆性破坏。

裂缝根据产生的部位、方向的不同，可以分为纵向裂缝、横向裂缝、熔合线裂缝、根部裂缝、弧坑裂缝和影响区裂缝等。根据产生时温度和时间不同，裂缝又可以分为热裂缝、冷裂缝、延迟裂缝和再热裂缝等。分别简介如下：

##### 1、热裂缝

热裂缝在低合金高强度钢、高合金钢，特别是奥氏体不锈钢等焊接时经常发生，在低碳钢焊接时比较少见。

热裂缝是指在焊缝凝固时或温度较高时产生的裂缝。多见于焊缝的本身、根部及弧坑中，有时也出现在熔合区。

产生热裂缝的主要原因是：在焊缝凝固过程中，如有液态的低熔点共晶体杂质存在，则会在晶界上聚集，而且最后凝固，此时的晶界强度就会很低。在金属冷却收缩而产生的焊接应力作用下，就有可能沿晶界裂开，形成不规则锯齿形的热裂缝。当裂缝贯穿金属表面时，会有明显的氧膜颜色，即呈蓝灰色。

焊接接头中形成热裂缝倾向大小，主要取决对焊缝金属的化学成分、接头型式、

焊接工艺、焊件刚性等。

## 2、冷裂缝

焊接冷裂缝是压力容器焊接中常见的一种缺陷。在普遍低合金钢、中碳钢、高碳钢等易淬火钢种焊接时容易产生，在低碳钢焊接中较少发生。

焊接接头中的冷裂缝，有的产生在焊缝金属中，也有在热影响区内产生。它是无分叉的纯断裂，是一种晶内型裂缝或晶间型裂缝。

通常，冷裂缝是在焊缝冷却过程中（约在200~300℃以下）产生，或在冷却后出现，但是也可能延迟几小时、几天或甚至更长的时间后才出现（或才发现）。对于这种冷裂缝又叫延迟裂缝，焊后至出现裂缝的时间，称为裂缝潜伏期。延迟裂缝比一般裂缝具有更大的危险性，因为它难于在焊后检查时加以发现，但是过了一段时间后却产生了裂缝，容易造成突然的破坏事故。

产生冷裂缝的主要原因是焊缝中的氢在结晶过程中向热影响区扩散，当这些氢不能逸出时，就聚合在离熔合线不远的热影响区中；如果被焊材料的淬透性较大，焊后冷却下来，在热影响区可能形成马氏体组织。其性脆而硬；再加上焊缝结构设计不合理产生的焊接残余应力，这三个因素（氢淬硬组织、应力）的共同作用下，导致冷裂缝的产生。

## 3、再热裂缝

再热裂缝是在焊后进行消除应力热处理的过程中产生的，所以也叫消除应力裂缝或焊后热处理裂缝。

这种裂缝一般是发生在含有铬、钼、钒等元素的低合金高强度钢、耐热钢的热影响区中，且往往发生在晶粒粗大的部位，而且是沿晶界破损断裂的。

产生再热裂缝的主要原因是这样的：

焊接时影响区的某些部位被加热到1200℃以上，此时晶界内钒、钼、钨的碳化物进入奥氏体。当焊后需要进行热处理时，这些碳化物又重新析出，强化了晶体内部，但是晶界却被相对地削弱了。在消除应力热处理过程中，金属的局部塑性变形就集中在晶界上发生，而当这个变形量超出了熔合线附近金属的塑性变形能力时，便产生了再热裂缝。

防止上述热裂缝、冷裂缝和再热裂缝产生的主要措施有：

- ①根据已定钢种正确选用焊接材料。
- ②正确选用焊接热规范（包括焊接规范、焊前预热及焊后缓冷或热处理）。
- ③正确选择焊接顺序，减少焊接内应力。
- ④结构设计时，要选择合适的结构形式和接头型式，尽量避免焊缝过于集中，减少接头的刚性，把焊接接头刚性拘束条件降低到最低限，以减少焊接应力，避免应力集中。

