

# ASME 压力容器建造规范中的焊接要求和实践

-----简介第 IX 卷；介绍产品卷和支持卷的关系及 ASME 压力容器建造规范中的焊接要求和实践，并述及与我国国家标准的差别

赵孟显

e-mail:zmxian@163.com

## 一、ASME BPV 规范卷册的简介及规范各卷的关系

### 1、ASME BPV 规范各卷名称如下：

第 I 卷 动力锅炉建造规则

第 II 卷 材料

A 篇——铁基材料标准

B 篇——非铁基材料标准

C 篇——焊条、焊丝和填充金属材料标准

D 篇——性能（分为美国习惯单位和公制两篇，使用者在一个质保体系中只能使用其中的一篇）

第 III 卷 核设施部件建造规则

分卷 NCA——第 1 册和第 2 册 总要求

第 1 册

分卷 NB—— 1 级部件

分卷 NC—— 2 级部件

分卷 ND—— 3 级部件

分卷 NE—— MC 级部件

分卷 NF—— 支承件

分卷 NG—— 堆芯支承结构

分卷 NH—— 高温 1 级部件

附录：第 2 册 混凝土反应堆压力容器和安全壳规范

第 3 册 废核燃料和高位放射性材料和废料的贮存和运输包装用安全容器系统

第 IV 卷 采暖锅炉建造规则

第 V 卷 无损检测

第 VI 卷 采暖锅炉维护和运行推荐规则

第 VII 卷 动力锅炉维护推荐指南

第 VIII 卷 压力容器建造规则

第 1 册

第 2 册——另一规则

第 3 册——高压容器建造规则

第 IX 卷 焊接和钎接工艺、焊工、钎接工及焊接和钎接操作工评定标准

第 X 卷 纤维增强塑料压力容器

第 XI 卷 核动力厂部件在役检验规则

第 XII 卷 移动式压力容器

### 2、ASME BPV 规范各卷的关系

第 I、III、IV、VIII、X、和 XII 卷是各种锅炉/容器的建造规则（第 XII 卷包括使用规则）；第 VI 和 VII、卷是锅炉的维护和运行推荐规则或指南；第 XI 卷是核动力厂部件的在役检验规则；第 II、V、和 IX 卷是通用标准，主要是为建造卷服务的，是锅炉/容器建造中使用材料，进行焊接和无损检测时必

须要参照的标准，建造卷可能全部引用，也可能只引用其中的某一部分或对其作出补充规定。在后面会详细介绍第 VIII 卷各册使用第 IX 卷的情况。

## 二、第 IX 卷-简介

### 1、ASME 锅炉及压力容器规范第 IX 卷的内容

ASME 第 IX 卷的内容：是关于焊工、焊机操作工、钎接工、钎机操作工的评定，以及按照 ASME 锅炉及压力容器规范和 ASME B31 压力管道规范所采用的焊接或钎接工艺评定及操作工的技能评定。

第 IX 卷建立焊接和钎接的基本准则，在编制焊接和钎接工艺评定及技能评定的要求时是应当遵守的。

焊接工艺规程（WPS）和工艺评定记录（PQR）的目的是决定结构中焊件具有要求的使用性能。执行焊接工艺评定的焊工和焊机操作工应当是技术熟练的工人。

我们这里主要介绍 ASME 第 IX 卷的焊接部分。

### 2、第 IX 卷的结构

第 IX 卷分为两篇—焊接篇和钎接篇。

每一篇再分章：焊接篇分成五章、钎接篇分成四章：

1) 一般要求（焊接篇第 I 章，钎接篇第 XI 章）：包括位置、各种试验的类型和目的以及合格标准等。

2) 工艺评定（焊接篇第 II 章，钎接篇第 XII 章）：主要以表格形式列出每种第 IX 卷采用的焊接或钎接方法工艺评定的重要变素、附加重要变素和非重要变素的条款号，假如任一重要变素的变化超出了规定范围，则要对工艺进行重新评定，当有冲击韧性要求时，附加重要变素作为重要变素看待；而非重要变素的变化仅需修改工艺规程。

3) 技能评定（焊接篇第 III 章，钎接篇第 XIII 章）：列出指定焊接和钎接方法技能评定重要变素的条款号，主要以表格形式列出。

4) 资料（焊接篇第 IV 章，钎接篇第 XIV 章）包括变素的具体描述，以分类的形式列出，分类如接头、母材、填充金属、位置、预热、焊后热处理、气体、电特性和技巧（焊接）。各种变素只提供在焊接篇第 II 章、钎接篇第 XII 章（对于工艺评定）或焊接篇第 III 章、钎接篇第 XIII 章（对于技能评定）中有关焊接/钎接方法引用时才使用，否则就会被错用。

此两章包括对母材和填充材料所指定的 P-No.和 F-No,供制造者参考的 A-No. 及非强制性的 S-No.。（主要用于压力管道和压力容器规范案例选用的材料）。

此两章还包括评定的厚度/直径范围/位置范围。

此两章给出试件方位、取样方法、试验夹具尺寸的简图。

QW-470 叙述侵蚀方法和侵蚀剂。

QW/ QB -492 给出焊接/钎接术语的定义。

焊接篇还有第 V 章《标准焊接工艺规程》（SWPS），该章给出了可以不经过评定而使用的标准焊接工艺规程，但第一次使用的单位在使用前还要焊接一个验证试件进行试验，且仅限于产品卷不要求冲击试验的情况，《标准焊接工艺规程》适用的母材限于 P-No.1、S-No.1、P-No.8 和 S-No.8，焊接方法限于 SMAW、GTAW 和 FCAW /GMAW，目前共列出 33 种不同的 SWPS。需要《SWPS》的单位，请按第 IX 卷附录 E 中你所选中的《SWPS》编号与 AWS 联系购买，由于涉及知识产权，必须具有原件。《标准焊接工艺规程》也是要定期更新的，并不是购买后就永远有效。在 2009 增补中就对 1997 前的《标准焊接工艺规程》进行了更新。

### 3、第 IX 卷中使用的焊接方法

焊接方法包括 OFW（氧-燃料气焊）、SMAW（手工电弧焊）、SAW（埋弧焊）GMAW（熔化

极气体保护焊)、FCAW (药芯焊丝弧焊)、GTAW (钨极气体保护焊)、PAW (等离子弧焊) ESW (电渣焊)、EGW (气电立焊)、EBW (电子束焊)、FRW (摩擦焊)、LBW (激光焊)、RW (电阻焊)、RSW (电阻点焊)、RSEW (电阻缝焊) 和闪光焊, 对于这些焊接方法都规定了工艺评定和技能评定的各类变素。

还对下列几种焊接工艺规定了专门的工艺评定和技能评定的各类变素: 螺柱焊、耐蚀层堆焊、表面加硬层金属堆焊、管子与管板的焊接和回火焊道焊接, 这些工艺所允许使用的焊接方法请见 QW-252~QW-264、QW-288 和 QW-290。

要注意的是在产品卷中所规定的焊接方法不完全与第 IX 卷一致。

#### 4、第 IX 卷中使用代号介绍 (ASME BPV 规范的其它产品卷也用)

P-No.—为母材指定 P-No., 是为了减少焊接和钎接工艺评定的数量, 而对具有冲击韧性要求的铁基金属母材, 在 P-No.下再指定组号。这种分组是根据母材的特性, 例如成分、焊接性、可钎接性和力学性能等进行类比来进行。这种分组并不意味着对于评定试验中所采用某一母材可以不加区别地用别的一些母材来代替, 而不从冶金性能、焊后热处理、设计、力学性能和使用要求等观点来考虑其适配性, 具体的分类分组见表 QW/QB-422。(目前对于铁基材料, P-No.从 P-No.1~P-No.11, 其中没有 P-No.2, 但是 P-No.5 和 P-No.9 又分成 A、B、C 三个, P-No.10 又分成 A、B、C、H、I、K 六个, P-No.11 又分成 A、B 二个, 因此共有 20 个 P-No.。要特别注意 P-No.5 A 与 P-No.5B 或 P-No.5C 是不同的 P-No., 其它的 A、B、C 等分类也是一样)。

S-No.—用于 ASME 压力管道及压力容器规范案例中选用, 但未列入 ASME 锅炉及压力容器规范材料标准材料, 对其指定了 S-No.和组号。其作用类似于 P-No. 和组号 (列在 QW/QB-422 中)。

(2009 增补已经全部取消了 S-No.和组号, 将其转换成了 P-No.和组号)。

F-No.—是对焊条和焊丝根据其所有特性的分类, 它基本上能决定焊工采用给定焊条能否焊出满意的焊缝的能力。分组的目的在于减少焊接工艺评定和技能评定的数量 (列在 QW-432 中)。

A-No.—工艺评定用铁基焊缝金属化学成分的大致分类, 分组的目的在于减少焊接工艺评定的数量 (列在 QW-442 中)。

钢及钢合金的焊条的 F-No. (F-No.1~ F-No.5), 主要决定于焊条药皮类型和适用范围。分成 5 类如下:

F-No.1: EXX20 (高氧化铁药皮; 位置限为平焊; 位置为横焊时, 限角焊缝; 电流为交流或直流正接, 即工件接正极)

EXX22 (高氧化铁药皮; 仅用于单道焊, 位置限为平焊和横焊、电流为交流或直流正接)

EXX24 (铁粉、二氧化钛药皮; 位置限为平焊, 位置为横焊时, 限角焊缝; 电流为交流或直流)

EXX27 (高氧化铁+铁粉药皮; 位置限为平焊,位置为横焊时, 限角焊缝; 电流为交流或直流正接)

EXX28 (低氢钾+铁粉药皮; 位置限为平焊,位置为横焊时, 限角焊缝; 电流为交流或直流正接)

F-No.2: EXX12 (高二氧化钛钠药皮; 全焊接位置;电流为交流或直流正接)

EXX13 (高二氧化钛钾药皮; 全焊接位置; 交流或直流正或反接)

EXX14 (二氧化钛+铁粉药皮; 全焊接位置; 交流或直流正或反接)

EXX19 (氧化铁+二氧化钛钾药皮; 全焊接位置; 交流或直流正或反接)

F-No.3: EXX10 (高纤维素钠药皮; 全焊接位置; 电流为直流反接)

EXX11 (高纤维素钾药皮; 全焊接位置; 电流为交流或直流反接)

F-No.4: EXX15 (低氢钠药皮; 全焊接位置; 直流反接)

EXX16 (低氢钾药皮; 全焊接位置;交流或直流反接)

EXX18（低氢钾、铁粉药皮;全焊接位置； 交流或直流反接）

EXX18M（低氢、铁粉药皮;全焊接位置； 直流反接）

EXX48（低氢钾、铁粉药皮;焊接位置不限，包括立向下）

EXX17（焊条药皮为 EXX16 的变型,用大量的 Si 取代 Ti;全焊接位置,但焊条直径大于 4.8mm 的,不适用于立/仰焊位置； 交流或直流正接）

**请注意大多数焊条都含有铁粉,铁粉含量高时,则不适用于全位置。**

F-No.5: 为奥氏体和双相钢焊条, 包括 EXX15、 EXX16、 EXX17。

**注意在 AWS 标准的不锈钢焊条中凡是属于 F-No.5 的, 没有酸性药皮焊条。不锈钢酸性焊条药皮焊条纳入 F-No.1, EXXX (X) -25、 EXXX (X) -26**

F-No.6: 铁基金属及其合金的焊丝、焊棒（不包括表面加硬层金属堆焊）。(要注意,在 ASME 和 AWS 中,焊丝和焊剂的牌号是连在一起不可分割的。这与国内以往的标准体系不同)。

其它合金的焊条及焊丝的 F-No.如下:

F-No.21~25: 铝及铝合金的焊条及焊丝。

F-No.31~37: 铜及铜合金的焊条及焊丝。

F-No.41~46: 镍及镍合金的焊条及焊丝。

F-No.51~56: 钛及钛合金的焊条及焊丝。

F-No.61: 锆及锆合金的焊丝。

F-No.71~72: 表面加硬层金属堆焊的焊条及焊丝。

## 5、第 IX 卷焊接的一般要求

### 1) 一般概念

(1) 焊接工艺规程(WPS): 是用于为焊工或焊机操作工按规范要求制造产品提供指导的书面文件。它们应是按规范规定进行过评定, 得到 PQR 支持的文件; 或是规范允许的 AWS 的标准焊接工艺规程。

WPS 的推荐表格见 QW-482, 它适用于 SMAW、SAW、GMAW、FCAW 和 GTAW, **但要注意该推荐表格并没有包含上述焊接方法的全部三类变素, 因此使用时一定要注意在每类变素下都有一栏“其它”, 要把没有包含的变素填写进去。**

一份完整的 WPS 应述及在 WPS 中所采用的、对每一种焊接方法而言的所有重要变素、非重要变素和当需要时的附加重要变素（**目前的问题往往是非重要变素没有列全**）。

(2) 重要变素—工艺评定中的重要变素是指影响焊缝力学性能（缺口韧性除外）的焊接条件的某一变化。

指定焊接方法已评定合格的焊接工艺中任一重要变素的改变超出规定时, 要求对该工艺进行重新评定。

技能评定中的重要变素是指影响焊工熔敷优质焊缝金属能力的焊接条件的某一变化。

已评定合格的焊工施焊工件时, 当任一重要变素的改变超出评定范围时, 要求对该焊工资格进行重新评定。

(3) 附加重要变素—工艺评定中的附加重要变素是指影响焊缝缺口韧性的焊接条件的某一变化。

如果一种焊接工艺已经过评定, 除缺口韧性外, 其它各项要求均能满足, 则此时仅需按同一工艺, 采用同样的重要变素, 但增加所需的各种附加重要变素, 增做一个试件, 其长度足够切取缺口韧性试样即可。

如果一种焊接工艺已经过评定, 且满足包括缺口韧性在内的所有要求, 但其中有一个或多个附加重要变素有所改变, 则此时仅需按同一工艺, 采用新的附加重要变素, 增做一个试件, 其长度足够切取缺口韧性试样即可。如过去评定的焊接工艺, 其焊缝金属的缺口韧性值是合格的, 则根据需要, 仅需从热影响区切取缺口韧性试样供做试验。

(4) 非重要变素—工艺评定中的非重要变素是指不影响焊缝力学性能的焊接条件的变化。

非重要变素的改变不要求对该工艺进行重新评定，而仅需对 WPS 进行修改而已。

一份 WPS 可以有多份 PQR，反之一份 PQR 也可以支持多份 WPS (QW-200)。

(5) 工艺评定记录 (PQR)：是工艺评定试件焊接时所用焊接变素的实际记录，它同时尚有试样的试验结果。记载下来的变素一般应在实际焊接生产所用焊接变素的窄小范围之内。

一份完整的 PQR，对每一种焊接方法应记载下用于试件焊接时的全部重要变素，试件焊接时的非重要变素和其它变素记载与否，视制造商的选择而定。所有被记载下来的变素，都应当是用于试件焊接时的实际变素（包括变素的范围）。不得记载焊接时不予控制的变素。在做焊接工艺评定时，不希望使用生产所用变素的全范围，或其极限值，除非由于某一特定的重要变素或当需要时的附加重要变素的原因而需要这样做时（**例如当有缺口韧性要求时，与热输入有关的变素，往往要使用极限值**）。

制造商要对 PQR 进行确认。这项工作不允许转包给别人去做，其目的是制造商对试件焊接时变素记录真实性的确认，是对力学性能试验结果符合第 IX 卷要求的确认。

PQR 原则上不允许修改，但允许对其进行编辑上的更改或补充，编辑上的更改是指诸如母材或填充金属的 P-No.、F-No. 或 A-No. 的误用；补充是指诸如由于规范的修改而引起的变化。

PQR 的推荐表格见 QW-483，它要求至少包括焊接时实际采用的全部变素。

## 2) 焊接方位

### (1) 坡口焊缝焊接位置：(板) (QW-121)

1G—平焊位置：板处于水平面内，焊缝金属在板的上方熔敷。允许焊缝轴线倾斜  $15^\circ$ ，焊缝面转角  $\pm 30^\circ$ 。

2G—横焊位置：板处于垂直平面内，焊缝轴线是水平的。允许焊缝轴线倾斜  $15^\circ$ ，焊缝面转角  $+60^\circ$ 、 $-10^\circ$ 。

3G—立焊位置：板处于垂直平面内，焊缝轴线是垂直的。允许焊缝轴线倾斜  $10^\circ$  时，焊缝面转角  $360^\circ$ ；允许焊缝轴线倾斜  $10^\circ \sim 75^\circ$  时，焊缝面转角  $\pm 80^\circ$ 。

4G—仰焊位置：板处于水平面内，焊缝金属从板的下方向上熔敷。允许焊缝轴线倾斜  $10^\circ$  时，焊缝面转角  $\pm 80^\circ$ 。

详见 QW-461.1、461.3 图示。

**要注意与国内标准不同，其包括的范围涉及  $360^\circ$ ，因此实际上不存在“特殊位置”。**

### (2) 坡口焊缝焊接位置 (管子) (QW-122)：

1 G—平焊位置：管子轴线水平，焊接时管子不动，焊缝金属从上面熔敷。

2 G—横焊位置：管子轴线垂直，焊缝轴线处于水平面内，焊接时管子不转动。

5 G—多位置：管子轴线水平放置，焊缝坡口在垂直面内，焊接时管子不转动。

6 G—多位置：管子轴线与水平面成  $45^\circ$  倾斜角，焊接时管子不转动。

详见 QW-461.4 图示。

### (3) 角焊缝焊接位置 (板)：(QW-131)

1 F—平焊位置：平板所处位置应使熔敷焊缝轴线是水平的，而焊缝厚度是垂直的。

2 F—横焊位置：平板所处位置应使熔敷焊缝轴线是水平的，并且位于水平板的上面，靠着垂直板面。

3 F—立焊位置：平板所处位置应使熔敷焊缝的轴线是垂直的。

4 F—仰焊位置：平板所处位置应使熔敷焊缝轴线是水平的，并且位于水平板的下面，靠着垂直板面。

详见 QW-461.5 图示。

### (4) 角焊缝焊接位置：(管子) (QW-132)

1 F—平焊位置：管子轴线与水平面成  $45^\circ$  倾斜角，焊接时管子旋转，焊缝金属从上面熔敷。在熔敷处焊缝轴线是水平的，而焊缝厚度是垂直的。

2 F—横焊位置：管子轴线是垂直的，熔敷焊缝位于水平面上，并与垂直表面相连。焊接时焊缝轴线是水平的，管子不转动。

2 FR—横焊位置：管子轴线是水平的，熔敷焊缝的轴线在垂直面上，焊接时管子转动。

4 F—仰焊位置：管子轴线是垂直的，焊缝被熔敷位于一个管子的下端，并与另一个管子的垂直圆柱面相连。焊接时焊缝轴线是水平的，管子不转动。

5 F—多位置：管子轴线是水平的，熔敷焊缝的轴线在垂直面上，焊接时管子转动。

详见 QW-461.6 图示。

**要注意的是 2 F 被很多人看成平焊位置，因为国内标准就是这样规定的，这是最可能造成分派焊工焊接容器上的接管、补强圈等角焊缝焊接时错误地使用只有 1G 或 1F 资格的焊工施焊，这是不允许的。也就是说，施焊容器上的接管和补强圈，至少要有 2G 或 2F（不包含坡口部分时）资格的焊工；如果接管和补强圈直径大到使焊缝处于爬坡位置，而又不能使壳体转动到平位置，则可能还要 3G 资格的焊工。**

### 3) 试验和检验的类型和目的 (QW-140)

#### (1) 力学性能试验 (QW-141)

① 拉伸试验：板厚度不大于 25mm 或管子直径不大于 76mm 的，采用全截面试样；对于管子厚度不大于 25mm 的采用全壁厚试样；对于板或管子厚度大于 25mm 的，可采用全截面或全壁厚试样，也可采用尽可能少的多个试样，但此时全厚度的多个试样按一个计算。

——拉伸试验合格标准 (QW-153)

- a) 母材的规定最低抗拉强度；
- b) 如母材是由两种规定最低抗拉强度不同的材料构成，则取较小值；
- c) 焊缝金属的规定最低抗拉强度，此条适用于有关卷允许使用室温强度低于母材的焊缝金属；
- d) 如果试样断在焊缝界面以外的母材上，只要强度低于母材规定最低抗拉强度的量不超过 5%，可认为试验满足要求。

② 导向弯曲试验：分为横向面弯、横向背弯、横向侧弯以及纵向面弯、纵向背弯 5 种，根据试样的尺寸和材料性能而定，横向面弯和背弯用于试件厚度 10mm 以下，要求全截面试样；横向侧弯用于试件厚度 10mm 或以上，当不能制备全截面试样时，全截面的多个试样按一个计算；纵向面弯和纵向背弯用于当焊缝金属与母材之间弯曲性能显著不同的情况下。

——导向弯曲试验合格标准

试验后弯曲试样的焊缝和热影响区应全部在试样受弯范围内。导向弯曲试样在弯曲后的凸面上沿任何方向测量，在焊缝和热影响区内都不得有超过 3mm 的开口缺陷。但在试样的边角部位位于试验中出现的开口缺陷除外，除非有确切的证据表明它们是由于未熔合、夹渣或其它内部缺陷所造成时方应予以考虑。

拉伸试验和导向弯曲试验用于坡口焊缝工艺评定。进行了板材坡口焊缝的工艺评定，在重要变素和当需要时，附近重要变素完全相同的情况下，适用于板材、管子的坡口焊缝和角焊缝。注意评定的厚度范围在 QW-451.1 表中和表下的注中有附加限制。所需的试验项目和数量见表 QW-451.1、451.2。

导向弯曲试验用于坡口焊缝技能评定。**通过了板材坡口焊缝技能评定的焊工，在重要变素范围内只能焊接管子外径 73mm 及以上的管子和板材，但当通过管子外径小于 25mm 坡口焊缝技能评定的焊工，除了坡口厚度限制外，可以在重要变素范围内焊接任何直径的管子和板材的坡口焊缝和角焊缝。**所需的试验项目和数量见表 QW-452.1~QW-452.3。

③ 角焊缝试验：工艺评定角焊缝试验的试件及取样见 QW-462.4 (a) (板) 和 QW-462.4 (d) (管子)，技能评定的角焊缝试验的试件及取样见 QW-462.4 (b) (板) 和 QW-462.4 (c) (管子)。

角焊缝试验的合格标准见 QW-183 (宏观检验，工艺评定) 或 QW-182 (断裂试验，技能评定)。

板材或管子角焊缝的工艺评定均可在在重要变素和当需要时，附近重要变素完全相同的情况下，适用于全部板材、管子的角焊缝，而不受直径和焊缝尺寸的限制。

所需的试验项目和数量及评定厚度见 QW-451.3。

通过板材角焊缝的技能评定的焊工，在重要变素范围内只能焊接管子外径 73mm 及以上的管子和板材，但当通过管子外径小于 25mm 角焊缝的技能评定的焊工，可以在重要变素范围内焊接等于或大于评定用管子直径和板材的角焊缝。

所需的试验项目和数量及评定厚度见表 QW-452.4~ QW-452.5。

**由于板材或管子角焊缝的工艺评定和技能评定只能用于板材、管子的角焊缝，从减少评定数量的观点来说，不建议进行此类评定。**

④ 缺口韧性试验：按产品规范的要求进行，可包括焊缝和热影响区的夏比 V 缺口试验和落锤试验。对于 5G 和 6G 位置的试样取样位置按 QW-463.1 (f) 的规定，其余全部按有关产品规范的要求进行。

#### ⑤ 其它试验和检验

a) 射线透照检测：工艺评定不要求进行射线透照检测。在焊工和焊机操作工的技能评定中，除了特殊焊接方法（表面堆焊、复合材料和衬里接头的焊接及电阻焊）外，都可以使用射线透照检测代替力学性能试验，具体规定见 QW-304（焊工）和 QW-305（焊机操作工）。但一旦选择使用射线透照检测进行技能评定，则当初次评定失败而进行复试时，仍必须使用射线透照检测进行技能评定复试。

射线透照检测的方法按 ASME 规范第 V 卷第 II 章，其合格标准按 QW-191.2.2。

b) 渗透检测：用于耐蚀层堆焊的工艺评定试验。其合格标准按 QW-195.2。

c) 外观检测：用于焊工和焊机操作工的技能评定试件的检验。要求全焊透和全熔合（QW-194）。

d) 金相检测：用于电阻焊缝试验（QW-196）。

e) 宏观检测：主要用于角焊缝的工艺评定（QW-181、183）及螺柱焊试验（QW-192.4）和激光焊试验（QW-197、QW-198）。

f) 扭转试验：用于螺柱焊试验（QW-192.3）。

g) 弯曲和锤击试验：用于螺柱焊试验（QW-192.2）。

h) 剥离试验：用于点焊和凸焊试验（QW-196.2.2）激光焊试验（QW-197.2.2）。

i) 切片试验：用于闪光焊试验（QW-199.1.3）。

还有一些专门为某一工艺规定的试验方法，如电阻缝焊和管子与管板的焊接。

## 6、第 IX 卷的焊接工艺评定

1) 以 SMAW 的工艺评定为例，其变素包括（QW-253）：

(1)重要变素：（注意条文可能与原文不同，但含义相同，为易于理解）

a) QW- 403.8: 母材厚度变化超过 QW- 451.1 的评定范围，但 QW-202.4 (b) 允许除外（即：对于不同母材厚度的接头，其较薄一侧母材厚度应在 QW- 451.1 的评定范围内，较厚一侧母材厚度也应在 QW- 451.1 的评定范围内，但如评定试件厚度为 38mm 或更厚时，则较厚一侧母材最大厚度不限。因而不同母材厚度的接头可能要一个以上的评定）。

b) QW- 403.9: 当任一焊道厚度大约 13mm，评定的最大厚度为试件厚度的 1.1 倍。

c) QW- 403.11: 对于 WPS 中规定的母材，工艺评定应采用符合 QW- 424 要求的母材（用一张表来表示，简单说，评定要使用与产品母材有相同的 P-No.的材料）。

d) QW- 403.13: 从一种 P-No.5 改变为另一种 P-No.5（亦即从 P-No.5A 改变为 P-No.5B 或 P-No.5C），反之亦然。从 P-No.9A 改变为 P-No.9B，但反之则否。从一种 P-No.10 改变为任何另一种 P-No.10（亦即从 P-No.10A 改变为 P-No.10B 或 P-No.10C 等），反之亦然。（2009 增补已取消该条款，即说明从 2010 年 1 月开始，每一种 P-No.的 A、B、C…分类都要单独作为一个 P-No.来对待，没有例外。）

在这里规定，P-No.9B 的评定似乎可以用于 P-No.9A。其它的 A、B、C…分类则不行，没有提到 P-No.11 的 A、B、分类。实际上 P-No.的评定范围见 QW-424.1 的规定比较清楚。

e) QW- 404.4: F-No.的改变或改变为 QW- 432 表中未列出的任何其它填充金属(这意味着如使用国产的非 AWS 标准的焊条, 则每个焊条牌号都要单独评定)。

f) QW -404.5: 铁基金属熔敷焊缝金属的化学成分, 从 QW- 442 中某一 A-No.改变为另一 A-No.。但对 A-No.1 的评定也适用于 A-No.2, 反之亦然(注意焊缝金属化学成分可以焊材制造厂的质量证明书为依据)。

g) QW -404.30: 熔敷焊缝金属厚度的变化超过 QW-451 的范围。

h) QW -406.1: 评定过的预热温度降低 55℃以上,, 在 WPS 中应规定(开始)焊接的最低温度。

i) QW -407.1: 焊后热处理条件的改变:

——不做 PWHT;

——PWHT 在低于下转变温度进行;(如 SR 处理)

——PWHT 在高于上转变温度进行;(如正火、淬火或退火)

——PWHT 先在高于上转变温度进行, 继之在低于下转变温度进行;(如正火+回火或淬火+回火)

——PWHT 在高于上、下转变温度之间进行。(如不完全退火)

(不适用于不锈钢和非铁基金属, 对此另有规定; 09 增补已经对此作出修改, 使之更清楚)

j) QW- 407.4: 工艺评定试件 PWHT 温度高于上转变温度时, 则评定产品焊缝最大厚度为试件厚度的 1.1 倍。

k) QW-410.64 : 对于采用 P-No.11A 和 P-No.11B 母材制造的容器或容器的零部件, 其厚度小于 5/8in. (16mm) 者, 如坡口的制备在制造中采用热过程方法, 则试件的坡口制备亦应采用此法。坡口制备应包括采用热过程方法做背面清根、背面开槽或清除不良焊缝金属(原来 QW-213 的规定)。

(2) SMAW 的附加重要要素:

a) QW -403.5: 焊接工艺评定应使用与产品焊接相同的母材(包括型号和等级); 或对于铁基材料, 使用与产品焊接有相同 P-No.和组号的母材(见 QW/QB-422 所列); 或对于非铁基材料, 使用与产品焊接有相同 P-No.和 UNS No. 的母材(见 QW/QB-422 所列)。

对于在 QW/QB-422 中所列的铁基材料, 应对每种不同 P-No.和组号的组合进行工艺评定, 即使这二种母材各自已分别进行过工艺评定, -----

b) QW- 403.6: 评定的母材最小厚度为试件厚度  $T$  或 16mm, 取两者中较小值。但如试件厚度小于 6mm, 则评定的最小厚度为  $1/2 T$ 。但当被评定的 WPS 需经高于上转变温度的 PWHT 时, 不受本条款约束(此款对于容器来说, 由于壳体和接管的厚度相差都比较大, 意味着很难用一个评定来同时覆盖壳体和接管的厚度)。

c) QW -404.7: 焊条公称直径变化大于 6mm 时。但当被评定的 WPS 需经高于上转变温度的 PWHT 时, 不受本条款约束(压力容器不会用大于 6mm 的焊条, 所以可以不用考虑, 但在评定时必须记录焊条的公称直径)。

d) QW -404.12: SFA 标准中焊条型号的改变或改变到非 SFA 标准中的焊条(有一些例外, 如扩散氢等级、低氢型药皮类型等)。

e) QW -405.2: 从任一焊接位置改变为上坡焊的位置。在上坡焊时, 从无摆动的直道焊改变为摆动焊。但当被评定的 WPS 需经高于上转变温度的 PWHT 时, 不受本条款约束。

f) QW -406.3: 最大层间温度比 PQR 记录值高 55℃以上。但当被评定的 WPS 需经高于上转变温度的 PWHT 时, 不受本条款约束。

g) QW -407.2: PWHT 温度和时间区间的变化。工艺评定试件的 PWHT 应当和焊缝在产品中受到的热处理基本上相当, 在热处理温度下累计时间不得少于产品所用时间的 80 %, 但可在一次热循环中完成。

h) QW -409.1: 热输入的增加, 或单位长度内熔敷焊缝金属体积的增加超过评定值。增加量的计算:



热输入 (J/mm) = 伏特 x 安培 x 60 / 焊接速度 (mm/min.)

i) QW -409.4: 交流变为直流, 或反之; 在采用直流焊接时, 从电极接负极 (正极性) 改为电极接正 (反极性), 或反之。

j) QW -410.9: 每面多道焊改为每面单道焊, 但当被评定的 WPS 需经高于上转变温度的 PWHT 时, 不受本条款约束。

(3) SMAW 的非重要变素:

a) QW- 402.1: 坡口形式的改变。

b) QW- 402.4: 单面焊坡口焊缝衬垫的取消。双面焊坡口焊缝按有衬垫考虑。

c) QW- 402.10: 规定的坡口根部间距的改变。

d) QW- 402.11: 增加或取消非金属的或非熔化的金属成型块。

e) QW- 404.6: WPS 中指定的一种或几种焊条公称直径的改变。

f) QW- 404.33: SFA 标准填充金属型号的改变或对于非 AWS 填充金属型号, 其制造厂商品名称的改变。当焊条有尾缀 (如表示防潮、超低氢等), 且已规定于 WPS 中时, 则只能使用该种填充金属。

g) QW- 405.1: 对已经过评定的焊接位置增加其它的焊接位置。

h) QW- 405.3: 对任何一道立焊缝的焊接方向, 从向上焊改为向下焊, 或反之, 则需重评, 但盖面焊道除外; 如第二面焊接前清根到露出优良的焊缝金属, 则根部焊道的方向为向上或向下均可。

i) QW- 406.2: 当焊接完成, 在未进行所需的 PWHT 前, 预热保持时间的变化或降低后热温度。

j) QW- 409.4: 交流变为直流, 或反之; 在采用直流焊接时, 从电极接负极 (正极性) 改为电极接正 (反极性), 或反之。

k) QW- 409.8: 电流范围的改变, 或除 SMAW 和 GTAW 外电压范围的改变。可用送丝速度范围的变化代替电流范围的改变。

l) QW- 410.1: 从直进焊法改为横向摆动焊法或反之。

m) QW- 410.5: 焊前清理和层间清理方法的改变。

n) QW- 410.6: 背面清根方法的改变。

o) QW- 410.9: 每面多道焊改为每面单道焊。

p) QW- 410.25: 从手工焊或半自动焊改为机动焊或自动焊, 或反之。

(这一条不通, 本来说的是手工电弧焊, 何来半自动焊、机动焊或自动焊?)

q) QW- 410.26: 对焊缝锤击的有无。

2) 变素分析

(1)重要变素:

对于常用的焊接方法, 包括 SMAW、SAW、GMAW/FCAW、GTAW 而言, 其下列重要变素都是相同的:

——QW- 403.8、QW- 403.9、QW- 403.11、QW- 403.13 (2009 增补已取消该条款), 是关于母材厚度的评定范围和母材 P-No 的评定范围;

——QW- 404.4、QW- 404.5 是关于 F-No 和 A-No 的评定范围;

——QW- 404.30 是关于焊缝金属厚度的评定范围;

——QW- 406.1 是关于预热温度的评定范围;

——QW- 407.1 和 QW- 407.4 是关于焊后热处理条件和高于上转变温度时的评定范围;

——QW- 410.64 是关于采用 P-No.11A 和 P-No.11B 母材其厚度小于 5/8in.者, 如坡口的制备在制造中采用热过程方法的评定要求。

当然, 对于 SAW、GMAW/FCAW、GTAW 而言, 由于其工艺的特点, 在 QW- 404 中, 凡是涉及焊丝/焊剂/填充金属的成分/型号/制品形式/添加与否等可能影响焊缝力学性能 (缺口韧性除外) 变化的条件也是重要变素。GMAW/FCAW 还包括保护气体的条件。

也就是说, 第 IX 卷认为上述焊接方法影响焊缝力学性能 (缺口韧性除外) 变化的条件主要是指母材

的 P-No 及厚度；焊接材料（填充金属）的 F-No 和 A-No 及其形式和填加方式；PWHT 的采用与否及其温度范围；当高于上转变温度时，其评定的产品焊缝最大厚度范围缩小到试件厚度的 1.1 倍。

#### (2)附加重要变素：

对于常用的焊接工艺，包括 SMAW、SAW、GMAW/FCAW、GTAW 而言，其下列附加重要变素也都是相同的：

- QW- 403.5 是关于母材在 P-No 下再分组，按组评定的范围；
- QW- 403.6 是母材最小厚度评定范围的下限进一步缩小，为 T 或 16mm 中的较小值；
- QW- 404 中一些条款，涉及 SFA No 和填充金属直径、数量/焊剂类型的变化时的评定范围，如 QW- 404.7、QW- 404.12、QW- 404.35 等；
- QW- 405.2 是关于焊缝位置涉及上坡焊时的评定范围（SAW 无）；
- QW- 406.3 是关于最大层间温度的评定范围；
- QW- 407.2 是关于焊后 SR 热处理时累计保温时间的评定范围；
- QW- 409.1 是关于焊接热输入量要按上限评定的规定；
- QW- 409.4 是关于电流种类和极性改变时的评定范围；
- QW- 410.9 是关于每面多道焊改变为每面单道焊时要重评的规定；
- QW- 410.10 是关于单丝与多丝变化的评定范围（SMAW 无）。

也就是说，第 IX 卷认为上述焊接方法影响焊缝缺口韧性变化的条件主要是指母材的 P-No 下的组号，即当有缺口韧性要求时，母材的分类要更细一些；填充金属的 SFA No 及其直径和数量等；焊后 SR 热处理时累计保温时间的影响，要求评定时的保温时间在母材强度允许的情况下尽量长一些；电流种类和极性的影响；焊接热输入量的增加会降低缺口韧性；层间温度的增加；每面多道焊改变为每面单道焊；单丝与多丝的变化(后三条实际上也是反映热输入量的增加)等。

## 7、第 IX 卷使用中的注意事项

### 1) WPS 的编制和修改：

(1) WPS 是为制造符合规范要求的产品焊缝而提供指导的，经过评定的焊接工艺文件。WPS 的有效性不受规范修改的影响（按本卷 1962 年或其后任何新版本评定的焊接工艺规程、工艺评定记录和技能评定，也可用于满足 ASME 锅炉及压力容器规范或 ASME B31 压力管道规范要求的结构的建造工作。按本卷 1962 年以前版本评定的 WPS、PQR 和技能评定，如能满足 1962 年或其后版本的所有要求，则也可以适用。满足上述要求的 WPS 和技能评定记录，如为了写进其后版本或增补中的任何变素而进行修订是不必要的）。**但要注意有例外，即当原来评定材料的 P-No. 或 S-No.或组号在新版本中有修改时，则要对 WPS 进行相应的修改（08 增补强调此要求，09 增补就出现了对原来 P-No.的修改）。**

(2) 一份完整的 WPS 应述及在 WPS 中采用的、对每一种焊接方法而言的所有重要变素、非重要变素和当需要时的附加重要变素。

在 WPS 中应注明 QW—200.2 中所述的支持文件——工艺评定记录（PQR）。制造商或承包商也可以在 WPS 中编进其它可能有助于制造规范焊接结构的资料。

(3) 用于规范产品焊接的 WPS，应当在制造现场便于获得，以供查考，并供授权检验师检查。这与国内没有取得 ASME 许可证的单位的习惯做法不同，国内大多数单位将 WPS 作为基本文件，一个 WPS 只对应一个 PQR，然后再按产品要求编制具体焊缝使用的焊接工艺。

(4) 为适合生产需要，可以变更 WPS 中的一些非重要变素，而无需重新评定，只要这种变更与焊接方法中的重要变素、非重要变素和当需要时的附加重要变素一样都附有文件。文件可以是 WPS 的修正页，或代之以新的 WPS。

(5) WPS 的格式 WPS 的表达方式，根据制造商或承包商的需要，可以是文字式的，或表格式的，只要 QW—250 至 QW—280 所要求的每一个重要变素、非重要变素和当需要时的附加重要变素都被包括无遗或被提及即可。

表格 QW—482（见非强制性附录 B）可作为 WPS 的一种指南。它包括以下焊接方法所需要的数据：手工电弧焊（SMAW）、埋弧焊（SAW）、熔化极气体保护焊（GMAW）和钨极气体保护焊（GTAW）。这一表格仅是一种引导。

（6）一件 WPS 可能要求多件 PQR 支持。反之，一件 PQR 也可能支持多件 WPS。

综上所述，大致上可以有二种 WPS，一种是适用范围很大的，另一种可能只适用某一范围较小的焊缝，前者可以减少文件的数量，但对使用者的文化和技能素质要求较高；后者则要求有较多的文件，但可以减少使用中的差错，那种 WPS 更适用，要根据本单位的具体情况来决定。

2) 关于决定评定厚度  $T$ （母材）或  $t$ （熔敷焊缝金属）上、下限的步骤（07 版有修改）

（1）关于决定评定厚度  $T$ （母材）或  $t$ （熔敷焊缝金属）上限的步骤：

① 如单焊道厚度  $t$  大于 13mm，或短路过渡的 GMAW 或 PWHT 温度高于  $Ac_3$ ，则  $T/t$  评定的最大厚度为试件厚度的 1.1 倍。如否，则按 QW-451.1，即如：

② 如试件厚度  $T$  小于 38mm， $T/t$  评定的最大厚度为  $2T$  或  $2t$ ；

③ 如试件厚度  $T$  等于或大于 38mm，但小于等于 150mm，并焊满，对于 SMAW、SAW、GTAW、和 GMAW 的多道焊， $T/t$  评定的最大厚度为 200mm；当  $t$  为小于 19mm， $t$  评定的最大厚度为  $2t$ ；

④ 上述焊接方法如试件厚度  $T$  大于 150mm，并焊满， $T/t$  评定的最大厚度为厚度为 1.33 $T$  或 1.33 $t$ ；

综合以上因素，首先要决定你要求的某一 P-No.母材最大厚度是多少？或者说你今后在产品中可能遇到的某一 P-No.母材最大厚度是多少？排除 1.1 倍的情况，如产品可能遇到的母材最大厚度不超过 150mm，对于 SMAW、SAW、GTAW、和 GMAW 的多道焊，选择试件厚度  $T$  等于 38mm 是最经济的，可以覆盖到最大厚度为 200mm 的工件。如果母材最大厚度不需要到 76mm，则可以选择最大厚度的一半作为试件厚度来覆盖该厚度。

至于熔敷焊缝金属的厚度上限，可以也按此要求和实际需要来考虑。

（2）关于决定评定母材厚度下限的步骤：

① 如有冲击韧性要求，则评定的母材最小厚度为试件厚度  $T$  或 16mm，取两者中较小值。但如试件厚度小于 6mm，则评定的最小厚度为  $1/2 T$ （QW-403.6）。但当被评定的 WPS 需经高于上转变温度的 PWHT 时，不受本条款约束；

② 如无冲击韧性要求，当试件厚度小于 1.5mm，则评定的最小厚度为  $T$ ；当试件厚度为 1.5~10mm，则评定的最小厚度为 1.5mm；当试件厚度大于 10 mm，则评定的最小厚度为 5mm（QW-451.1）。

对熔敷焊缝金属厚度  $t$  无评定的最小厚度的限制，只有上限的限制。

3) 压力容器焊接工艺评定重要变素选择注意事项：

（1）母材厚度：要考虑上、下限，下限要特别考虑容器上接管的最小厚度。上限则要特别考虑管板等厚元件的最大厚度。不要仅仅从单一产品考虑，以尽量减少评定。

（2）即使当时产品不要求冲击韧性，也尽量选择同组材料中有冲击韧性要求的母材作为评定试件，如母材不要求冲击韧性，也可仅对焊缝金属进行冲击韧性试验，而且要按可能允许的最低温度进行冲击韧性试验，以使评定适用的范围尽可能大。

（3）一般不使用管子作为评定试件，因为取样比较困难，除非产品规范有特殊要求（如 B31.3 的高压管道中 K328.2 规定：“对管子的评定也评定了板材，但对板材的评定不能说评定了管子”）；并且尽量避免使用 S-No.的材料，因为 P-No.的材料评定后可适用于相同 S-No.的材料，而反过来不行。

（4）关于 PWHT，在 SR 处理时的保温时间应该可能长，建议在该钢材强度允许情况下，至少为正常规范规定保温时间的 4 倍或 200mm 厚度需要的保温时间，甚至更长。

（5）试件焊接的热输入应该包括在生产中可能的最大热输入量。如产品可能有立焊位置，则最好

在立焊位置评定。但不要求使用同一热输入量来焊接试件的全部厚度。

(6) 预热温度要选择最低的, 而层间温度则要选择生产中最高的。

(7) 双面焊时, 最好使其中一面为单道焊, 但厚度不要超过 12mm。

(8) 采用手工电弧焊进行评定时, 要使部分焊道的焊条为生产中可能使用的最大直径焊条, 并且使用与产品使用相同 F-No. 的焊条。

以上的注意事项都是为了使评定覆盖的范围尽可能的大, 尽量减少不必要的重复评定, 以最经济的做法来满足标准的要求。

## 8、与国内标准的比较:

1) GB3375-94《焊接术语》中, 焊接方法的定义中有“手工焊”、“机械化焊接”和“自动焊”的定义, 没有“半自动焊”的定义, 对于具体的焊接方法, 没有给出定义。目前国内大多数工厂都习惯把一般的“SAW”叫做“自动焊”, 这在 ASME 中是完全不适用的。

2) GB3375-94《焊接术语》有关焊接位置的定义中, 平、横、立、仰的焊缝倾角和转角都很严格, 没有规定公差, 那就意味着有很多特殊位置; 而第 IX 卷的四种位置加起来可以覆盖 360 度。

3) 焊条药皮类型, 除了低氢焊条外, 基本上不一样, 虽然 AWS 也有二氧化钛药皮, 但在 AWS 的焊条中大都加了大量的铁粉, 特别注意提高生产率。而国内的焊条药皮类型多, 但常用的且不多。加铁粉的更少;

4) 试样的制备和合格标准有所不同, 特别是冲击试验, 在 VIII-1 中有详细规定, 而且一般容器使用碳钢和低合金钢材料按 VIII-1 制造时, 大都不要求冲击; 如要求冲击, 对母材、焊缝和热影响区有不同的要求。而且冲击试验的温度不高于 MDMT, 与国内要求进行大量常温冲击的情况不同。

5) 国内标准更新太慢。

## 9、第 IX 卷的焊工技能评定

1) 以 SMAW 技能评定为例, 其重要变素如下 (QW-353):

(1) QW-402.4: 单面焊坡口焊缝衬垫的取消。双面焊坡口焊缝按有衬垫考虑。

(2) QW-403.16: 管子直径的改变超过 QW-452 所评定的范围。

对于管子坡口焊缝的技能评定:

——当试件  $Do < 25\text{ mm}$ , 评定最小直径为试件外径;

——当试件  $Do$  为  $25 \sim 73\text{ mm}$ , 评定最小直径为  $25\text{ mm}$ ;

——当试件  $Do > 73\text{ mm}$ , 评定最小直径为  $73\text{ mm}$ ;

——评定的最大直径不限, 可适用于坡口焊缝和角焊缝;

——当在小直径管的试件上进行角焊缝技能评定时, 评定最小直径同上, 但只能取得焊接管子和板材角焊缝的资格。

——当在厚度  $5\text{ mm}$  或以上的平板 T 型角焊缝试件上进行技能评定时, 只能取得焊接直径  $73\text{ mm}$  以上管子和板材角焊缝的资格)。

(3) QW-403.18: 母材评定的范围按 QW-423 的规定 (对于铁基金属材料, 可使用任何一种母材进行评定)。

(4) QW-404.15: 焊条的 F-No. 按 QW-433 的规定:

对 F-No.4 及以下 F-No. 焊条的评定, 取得该 F-No. 及较低 F-No. 的资格; 但通过某一 F-No. 无衬垫试件技能评定的焊工, 只取得该 F-No. 无衬垫或有衬垫及较低 F-No. 有衬垫的资格; 通过某一 F-No. 有衬垫试件技能评定的焊工, 只取得该 F-No. 有衬垫及较低 F-No. 有衬垫的资格; 通过 F-No.5 焊条技能评定的焊工, 只取得该 F-No.5 和 F-No.1 的资格。

(5) QW-404.30: 熔敷焊缝金属厚度的变化超过 QW-452 的范围:

QW-452 技能评定试验的厚度范围和试样					
接头 类型	焊接试件 的厚度 mm	评定的焊缝 金属厚度 mm	试验项目和数量		
			侧 弯	面 弯	背 弯
坡口	≤10	2t	...	1	1
坡口	>10	2t	2	1	1
坡口	≥13	不限	2	...	...
QW-452.3 管子坡口焊缝评定的直径范围					
试件的外径 mm	评 定 的 外 径 mm				
	最 小	最 大			
<25	试件的外径	不限			
≥25~<73	25	不限			
≥73	73	不限			

(6) QW-405.1: 评定的焊接位置按 QW-461.9。

(是一个表, 简单来说, 任何位置的评定, 都取得平焊位置的资格; 取得板 2G、3G 和 4G 的资格, 则取得全部资格; 取得管子 2G 和 5G 的资格或单独取得 6G 的资格, 则取得全部资格)。

(7) QW-405.3: 对任何一道立焊缝的焊接方向, 从向上焊改为向下焊, 或反之, 则需重评, 但盖面焊道除外; 如第二面焊接前清根到露出优良的焊缝金属, 则根部焊道的方向为向上或向下均可。

## 2) SMAW 技能评定注意时项:

为了尽量减少重复的技能评定, 应注意下列各项:

- (1) 要考虑在产品中焊接的位置, 原则上不进行 1G 位置的评定;
- (2) 如有全位置的管子焊接, 则最好在 6G 位置进行评定;
- (3) 如使用板材进行评定, 则其厚度应选择 13mm 或更厚的;
- (4) 考虑到要焊接接管、补强圈的焊工, 如壳体可以在转动位置焊接, 则应在 2G 位置进行管子评定, 其管子直径应为产品接管的最小直径, 使用坡口焊缝评定, 此时使用的管子不需要考虑其评定的厚度范围, 其最大厚度可用其它坡口焊缝评定的厚度来支持;
- (5) 原则上不单独进行 F 位置的评定, 因为任何坡口焊缝的评定都可用于角焊缝, 而反过来不行;
- (6) 在进行工艺评定的同时, 进行技能评定;
- (7) 原则上选择 F-No.4 或 F-No.5 (不锈钢) 的焊条进行技能评定;
- (8) 如产品可能有单面焊缝, 则要考虑选择单面焊进行技能评定, 否则无此必要;
- (9) 有条件的情况下, 尽可能使用 AWS 牌号的焊条, 目前国内已经可以提供这样的焊条, 注意必须在焊条药皮上印有牌号;
- (10) 尽量不要使资格中断。

## 3) 机动焊技能评定的变素 (QW-361.2):

- (1) 焊接方法的改变;
- (2) 从直接可见控制变为遥控或反之;
- (3) 钨极气体保护焊取消自动稳压系统;
- (4) 取消自动 (接头) 跟踪;
- (5) 在已评定的焊接位置外增加焊接位置 (QW—120、QW—130 和 QW—303) (参见 QW-461.9 即可);

(6) 取消可熔化嵌条, 但带可熔化嵌条接头的评定也取得角焊缝的资格;

(7) 取消衬垫。双面焊坡口焊缝作为有衬垫考虑;

(8) 从每面单道焊改为每面多道焊, 但不反之。

#### 4) 焊工或焊机操作工资格的终止和重评

##### (1) 资格的终止 (QW-322.1)

当发生下列情况时其资格受影响 (07 版新修改):

① 当他对某一项焊接方法在六个月或更长的时间内没有操作过, 则他的该项焊接方法的资格即被终止; 下列情况除外:

a) 焊工使用某种焊接方法的手工或半自动焊进行焊接, 并且在他进行评定的制造商或承包商或按 QW-300.3 规定的参与组织的监督和控制下, 将再沿长其该种焊接方法的手工或半自动焊的资格 6 个月;

b) 焊机操作工使用某种焊接方法的机动焊或自动焊进行焊接, 并且在他进行评定的制造商或承包商或按 QW-300.3 规定的参与组织的监督和控制下, 将再沿长其该种焊接方法的机动焊或自动焊的资格 6 个月;

② 当有特殊的理由怀疑他不能胜任焊接符合规范要求的焊缝时, 则对他正在从事该规范要求的焊接的资格, 应予取消, 但其它没有疑问的资格仍然有效。

##### (2) 资格的重评

① 上述 a) 中有关该焊工或焊机操作工特定焊接方法终止资格的重新评定, 需按 QW-301 或 QW-302 的要求, 以任一材料、厚度或直径在任一位置焊接一个板或管的试件, 且这些变素和其它变素是在他原先评定过的资格中的, 如重试合格, 则其原先评定过的该焊接方法的资格全部合格 (恢复)。这种重评也可在产品焊缝上进行, 但应满足 QW-304 或 QW-305 的条件。

② 上述 b) 中已取消资格的焊工或焊机操作工应重评, 评定应使用与打算在产品中焊接相适应的试件, 按 QW-301 和 QW-302 的要求进行焊接和试验。重试合格, 则资格恢复。

#### 5) 与国内标准的比较

----与国内《锅炉压力容器压力管道焊工考试与管理规则》比较:

(1) 最大的不同是评定单位, 美国是焊工的雇主, 不需要发证书, 只发钢印; 而中国是上级质量检察部门监督, 发证还要化钱。

(2) 国内要按材料分类评定, 而 ASME 对于碳钢和不锈钢可允许用最经济的碳钢材料来评定。

(3) 资格有效期不同, ASME 规定如中断不超过 6 个月, 可一直有效。

(4) 资格中断后的恢复, ASME 要简单得多, 只要在原来有的合格项目中任选一项, 合格后, 原来的全部项目都有效。

(5) 合格位置的覆盖范围, ASME 要比国内的大。

(6) 管子的范围, 也是 ASME 要比国内的大, 而且平板取得资格的焊工可以焊接直径 73mm 以上的管子。

(7) SAW 等机动焊的评定要求完全不同, 国内是把它当作手工焊一样来评定, 显然, 机动焊要考核的是操作工操作机械设备的能力, ASME 的规定显得更合理。

我认为, 所以造成这些不同的原因可能很多, 但就评定的主体来说, 归根到底, 最关心焊接质量的应该是企业管理者或雇主, 他不可能将一个技能不合格的焊工放到产品上去, 而我们不要总是认为企业或雇主是不可靠的, 这种观点应该改一改了, 把应该还给企业的权力还给企业, 我们主要的精力应该放在研究什么样的标准是最合理的。

### 三、介绍产品卷和支持卷的关系及 ASME 压力容器建造规范中的焊接要求 and 实践

## 1、产品卷和支持卷的关系

第 IX 卷和第 II 卷及第 V 卷一样，是通用卷，其中的规定只有在产品卷（包括 I、III、IV、VIII、X、XII 等卷）引用时才生效，产品卷可以完全引用，也可以根据需要引用一部分或完全不用，而另外规定一套办法。例如关于焊工资格，第 VIII 卷第 1 册规定，只要求受压件间及非受压件与受压件焊接的焊工和焊机操作工，需要按第 IX 卷进行评定。下面就分别对第 VIII 卷第 1、2、3 册中有关焊接的要求作一介绍。

## 2、第 VIII 卷第 1 册中对焊接评定的附加要求

（按第 VIII 卷第 1 册的设计的容器，其设计压力原则上不超过 20Mpa）

1) 评定范围：焊接工艺评定：受压件之间及非受压的承载件与受压件的焊接，要求焊接工艺评定；但如为无承载作用的非受压件与受压件连接的焊缝，仅对手工、机械或半自动焊工艺要求焊接工艺评定。

焊工和焊机操作工的技能评定：受压件间及非受压件与受压件焊接的焊工和焊机操作工要求技能评定；且对螺柱焊工，要求每个工作班前都进行评定。

定位焊应采用评定合格的工艺，如保留在焊缝内，要由评定合格的焊工焊接，并进行目视检测排除缺陷的存在，其两端要打磨成斜坡以适合于熔入焊缝。（UW-28、29、31）

2) 材料缺陷的修补方法和范围要征得 AI 的事先同意（UG-78）；

3) 锻制压力容器（UF-37）：锻制压力容器或锻造元件进行焊接工艺评定时，限于材料的碳含量(熔炼分析)不超过 0.35%（熔炼分析）者。其母材和焊缝金属的热处理条件应与实际生产所用的热处理工艺相同（UF-32）。当材料的碳含量(熔炼分析)超过 0.35%时，原则上不允许采用焊接方法制造，除非符合 UF-32 的附加评定条件。

4) 经过热处理提高抗拉性能的铁素体钢制压力容器【UHT-82（e）（f）】：

（1）对于 SA-508、SA-543、SA-517 和 SA-592 材料，除了第 IX 卷 QW-250 规定的重要变素外，工艺评定增加下列重要变素：（这些材料其焊缝和热影响区要求冲击试验，因此，实际上要求附加重要变素）

① 改变填充金属 SFA 分类号或填充金属无 SFA 分类号(此款第 IX 卷作为附加重要变素已规定)。

② 提高规定层间温度或降低规定的预热温度，规定的预热温度和层间温度的范围不应超过 85℃（此款比第 IX 卷严格）。

③ 改变热处理（工艺评定试验应经受与产品或零件基本相同的热处理，包括在一个或几个规定温度下的累计总时间和冷却速度）（此款比第 IX 卷严格）。

④ 改变电流种类（直流或交流）、极性或改变电流、电压或焊接速度的规定范围(此款第 IX 卷作为附加重要变素已规定)。

⑤ 工艺评定试板厚度  $T$  的评定范围：（SA-517 和 SA-592 将此款不作为重要变素，而二者都将焊条管理作为重要变素，包括焊材的保管和存储条件，这是 ASME 体系的必要条件，疑有误）

a) 焊后进行淬火和回火的焊接接头，评定的厚度为 6mm~ $T$ 。（似应为 5mm~ $T$ ）

b) 焊后不进行淬火和回火的焊接接头，评定的厚度范围(此款第 IX 卷作为附加重要变素已规定)：

$T < 16\text{mm}$ ，评定的厚度为  $T \sim 2T$ 。

$T \geq 16\text{mm}$ ，评定的厚度为 16mm~ $2T$ 。

5) 多层结构制造压力容器（ULW-32）：

（1）工艺评定试板的厚度除第 IX 卷规定外，有下列例外：

① 对壳体为多层筒节的纵向焊缝，其评定试板应以最厚的单层层板厚度为基础，不包括内壳和内封头。

② 环向焊缝工艺评定，多层试板的厚度不必超过 75mm，应至少由二层组成，但厚度不得小于 50mm。

③ 对每一层单独焊接,相距至少一个板厚的环向焊接接头,其工艺评定适用于纵向接头。

(2) 内壳或内层封头的纵向焊接接头,及多层壳或多层封头的纵向焊接接头应分别评定,除非都是相同的 P-No.材料。纵向焊接接头的焊缝间隙应是厚度等于或小于 22mm 的层板工艺评定中使用的最小宽度(注:如封头在焊后热成形,可以肯定要分别评定)。

(3) 对层板厚度等于和小于 22mm 的多层筒节间环向焊缝应以如图 ULW-32.1 所示模拟多层试板评定(注:即一边为层板和一边为整板或二边都为层板的对接坡口试板)。特殊型式的接头其拉伸试样应从图 ULW-32.2(注:二边都为层板)和 ULW-32.4 所示的多层试板上制备。面弯和背弯试样是用将内侧及外侧焊缝加工到层板厚度的方法制取。

(4) 层板厚度不大于 22mm 的多层壳与单层封头、法兰或端盖的环向接头应以如图 ULW-32.1 所示模拟多层试板来评定,该试板的一侧为整板。特殊型式的接头其拉伸试样应从图 ULW-32.3(注:一边为层板和一边为整板)(图 ULW-32.4 表示试样)所示的试件上制备。面弯和背弯试样是用将内侧及外侧焊缝和单层部分加工到层板厚度的方法制取。

**综合以上所述,一个多层结构制造的压力容器,单就壳体与封头、法兰或端盖部分的焊缝,就至少要有 4~5 个工艺评定,且其评定厚度范围与 QW-451.1 的规定不同。**

6) 在低温下具有较高许用应力的材料制造压力容器(ULT-82):

除了第 IX 卷规定外,工艺评定的拉伸试样的数量由二件增加到四件,其中二件在室温下试验,另外二件在等于或低于容器最低许用温度下试验,二者均应满足表 ULT-82 所列试验温度下最低抗拉强度的要求,但用 5183 铝作填充金属焊接 5083 铝的焊接工艺不要求在容器最低许用温度下进行的试验。

### 3、第 VIII 卷第 2 册中对焊接评定的附加要求

(按第 VIII 卷第 2 册的设计的容器,未规定压力范围)

1) 评定范围:焊接工艺评定与第 VIII 卷第 1 册基本相同(6.2.2.4)。但特别规定管子与管板的焊接工艺评定按第 IX 卷 QW-193 的规定(6.3.3)。

(1) 进行焊接工艺评定时,宜考虑在焊件上的角向及端向的约束影响,特别是对于极限抗拉强度等于大于 550 Mpa 的材料及焊缝金属,以及厚截面的材料,焊接时附加约束可能会造成开裂,如不加约束不一定会产生(6.2.2.4)。

(2) 焊工和焊机操作工的技能评定:受压件间及非受压件与受压件焊接的焊工和焊机操作工要求按第 IX 卷进行技能评定;对机器焊接设备焊机操作工的资格评定试验应在焊接前或在首件开始焊接之前在一单独的试件上进行。

**关于定位焊的工艺和焊工资格,本册没有说明,但我想不应该低于第 1 册的要求。**

2) 锻制压力容器(6.7.7.2):锻制压力容器或锻造元件进行焊接工艺评定时,限于材料的碳含量(熔炼分析)不超过 0.35%(熔炼分析)者。

当材料的碳含量(熔炼分析)超过 0.35%时,原则上不允许采用焊接方法制造,但对于次要的非受压附件的焊接和螺孔其角焊缝厚度不大于 6mm 的密封焊及螺纹、法兰或螺栓连接开孔处的加强板的焊接不在此限,此时如满足 6.7.7.2 规定的条件完成焊接工艺评定,就可以焊接。

3) 提高抗拉强度的淬火加回火的铁素体钢附加要求(6.6.5.2):

**【有附加要求,从规定内容上来看,此处规定与第 1 册中 UHT-82(e)(f)的规定是相同的,但翻译上不一致,此处不再重复,请参见上述第 1 册有关 UHT-82(e)(f)的叙述】**

4) 多层结构制造压力容器(6.8.4.2):

**【有附加要求,从规定内容上来看,此处规定与第 1 册中 ULW-32 的规定是相同的,只是引用的图号不同,但翻译上不一致,此处不再重复,请参见上述第 1 册有关 ULW-32 的叙述】**

### 4、第 VIII 卷第 3 册中对焊接评定的附加要求

(按第 VIII 卷第 3 册的设计的容器,其设计压力通常是超过 70MPa 的容器)



1) 评定范围: 焊接工艺评定与第 VIII 卷第 1 册基本相同 (KF-214), 但有附加约束的要求。

(1) 当按第 IX 卷要求制作对接焊缝工艺评定试板时, 应考虑在焊件上角向、横向及端向的约束影响, 制造商有责任保证工艺评定试板模拟焊件的约束状况, 并要求测定屈服强度。**评定时应将附加重要要素作为重要要素对待。**材料的碳含量(熔炼分析)不得超过 0.35% (熔炼分析) (KF-202)。

(2) 焊工和焊机操作工的技能评定: 受压件间及非受压件与受压件焊接的焊工和焊机操作工要求焊按第 IX 卷和 KT-2 章进行技能评定, 一切技能评定试验都要求作力学性能试验, 不允许用无损检测代替。**(KT-2 章要求对工艺评定试件进行冲击试验, 并没有要求技能评定试件进行冲击试验)**

对机器焊接设备焊机操作工的资格评定试验应在焊接前或在首件开始焊接之前在一单独的试件上进行。

关于定位焊的工艺和焊工资格, 本册没有说明, 但我想不应该低于第 1 册的要求。

2) 锻制压力容器: 没有特别说明

3) 淬火加回火钢的附加要求 (KF-611):

**【KF-611 规定的附加要求实际上是 KF-214 的要求 (即在评定中有附加约束的要求)】**

4) 多层结构制造压力容器 (KF-822):

[有附加要求, 从规定内容上来看, 此处规定与第 1 册中 ULW-32 的规定是相同的, 只是引用的图号不同, 但翻译上不一致, 此处不再重复, 请参见上述第 1 册有关 ULW-32 的叙述]

## 5、第 VIII 卷第 1 册中的焊接要求

1) 关于冲击试验的要求, 包括对材料、焊接工艺评定和产品试板的要求:

(1) 试验程序: 程序及设备按 SA-370 有关各节要求。**【UG-84 (b) (1)】**

(2) 焊接工艺评定的冲击试验和产品焊接试板**【UG-84 (h)、(i)】**

对于厚度超过 38mm 的材料, 其工艺评定试验要取三组试样, 两组试样应靠近材料的一侧表面 (1.5mm 以内) 取样, 一组在材料另一侧表面与厚度中心两者中间部位取样。

如果母材不要求冲击试验 (如 UHA-51) 而要求焊缝或热影响区做冲击试验时, 也应制作焊接工艺评定冲击试板, 而且要求制作坡口焊缝的试板 (只进行角焊缝评定的试板不能进行冲击试验)。

**是否需要工艺评定和产品进行冲击试验按 UCS-67、UHT-82 或 UHA-51 的规定。**(这些材料包括了从 P-No.1~P-No.11 的分类, 按 09 增补, 应该到 P-No.15F)。

按 UCS 制造的容器, 工艺评定试板材料应为与产品有相同的 P-No.和组号(此款第 IX 卷已规定)。

**【UG-20 (f): 材料满足下列所有要求时, 可不进行冲击试验: 对于 P-No.1 的 1 组和 2 组材料, UCS-66 定义的厚度 (对接接头为最厚件的公称厚度; 角接接头为较薄件的公称厚度; 平封头或管板为角接接头的公称厚度或平板元件除以 4 中的较大值; 对二个以上的组焊件, 其焊接接头控制厚度不超过 100mm, 且最低 MDMT 不低于 50℃) 不超过 UCS-66 曲线 A 的材料为 13mm, 曲线 B、C、D 的材料为 25mm; 对完工容器进行液压试验; 设计温度不高于 345℃, 不低于-29℃; 热冲击或机械冲击及循环载荷不作为控制性的设计要求】。**

**UCS-67:** 除了 UG-20 (f) 的免试规定外, 当以下规定要求时, 工艺评定的焊缝和热影响区要求冲击试验:

a) 采用填充金属制造的焊缝, 当有以下任一情况时, 要求冲击试验 (MDMT 以产品铭牌所示为准):

① 当母材之一要求冲击试验, 或

② 连接的母材按 UCS-66 (g) (当其 MDMT 不比材料标准要求的试验温度低 3℃的, 可免除冲击试验) 或图 UCS-66 中的曲线 C 或 D, 且 MDMT 低于-29℃但不低于-48℃的可免除冲击试验, 而所用焊接材料按 SFA 标准规定的冲击试验温度分类高于 MDMT 的, 或

③ 连接的母材按 UCS-66 (g) 可免除冲击试验, 但其 MDMT 低于-48℃。

b) 不采用填充金属的、以 UCS 材料制造的焊缝, 当焊缝厚度大于 13mm 时, 对于所有的 MDMT

都应作冲击试验；或焊缝厚度大于 8mm，而 MDMT 低于 10℃，也应作冲击试验。此要求不适用于作为材料标准的一部分而制作的焊缝。

c) 有下列情况之一时，不管是否采用填充金属，对焊接热影响区都应作冲击试验：

- ① 按本册规定，母材要求冲击试验时；或
- ② 当焊缝中任何一道焊道厚度超过 13mm 时，且 MDMT 低于-21℃时；或
- ③ 连接的母材按 UCS-66 (g) 可免除冲击试验，但其 MDMT 低于-48℃。

d) 有下列任一情况时，可免除容器产品的冲击试板：

- ① 焊缝金属 MDMT 不低于-29℃时，所连接的钢材按 UCS-66 可免除冲击试验；或
- ② 上述 (a) ②所规定的焊缝金属；或
- ③ 除上述 (c) ③情况外，按 UCS-66 可免除冲击试验的钢材的热影响区。

**UHT-82**(经过热处理提高抗拉性能的铁素体钢)：对焊缝不需要进行淬火和回火的焊接容器，其焊缝和热影响区要求冲击试验，除非采用了 UHT-6 (a) 的冲击试验要求（指对于母材热处理状态的冲击试验）外。

下列材料在①~⑤的条件下，可以免除焊缝金属的产品冲击试验：

材料标准号	UNS No.	P-No./组号
SA353	K81340	11A/1
SA522 I 型	K81340	11A/1
SA553 I 型	K81340	11A/1
SA553 II 型	K71340	11A/1
SA645	K41583	11A/2

① 采用下列高镍合金填充金属之一：

焊材 SFA No.	AWS 型号	F-No.
SFA-5.11	ENiCrMo-3	43
SFA-5.11	ENiCrMo-6	43
SFA-5.11	ENiCrFe-2	43
SFA-5.11	ENiCrFe-3	43
SFA-5.14	ERNiCr-3	43
SFA-5.14	ERNiCrFe-6	43
SFA-5.14	ERNiCrMo-3	43
SFA-5.14	ERNiCrMo-4	44 <sup>①</sup>
注①按第 IX 卷应是 F-No.43。		

- ② 所有必须的冲击试验应作为焊接工艺评定试验的一部分已经完成。
- ③ 热影响区的产品冲击试验仍按 UG-84 进行。
- ④ 焊接方法限于 GMAW、SMAW、GTAW。
- ⑤ 容器的最低允许温度不应低于—195℃。

#### **UHA-51**(高合金钢)

a) 下列条件豁免母材和热影响区冲击试验[UHA-51 (d)]：

- ① 对奥氏体不锈钢；304、304L、316、316L、321、347 型材料且 MDMT 高于等于-196℃；其它

奥氏体不锈钢, 含碳量超过 0.10%,且 MDMT 高于等于-48℃; 铸铁材料 MDMT 高于等于-29℃。

② 对奥氏体铬-锰-镍不锈钢(200 系列): 含碳量不超过 0.10%,且 MDMT 高于等于-196℃; 含碳量超过 0.10%,且 MDMT 高于等于-48℃; 铸铁材料 MDMT 高于等于-29℃。

③ 下列各种制品形式的钢材 MDMT 高于等于-29℃: 奥氏体-铁素体双相不锈钢, 公称厚度小于等于 10mm; 铬基铁素体不锈钢, 公称厚度小于等于 3mm; 铬基马氏体不锈钢, 公称厚度小于等于 6mm。

b) 下列焊缝金属和 MDMT 的组合, 豁免焊接工艺评定的焊缝冲击试验[UHA-51 (e)]:

① 对奥氏体铬-镍不锈钢材料, 含碳量不超过 0.10%,无填充金属的焊缝, MDMT 高于等于-104℃。

② 带填充金属的奥氏体焊缝金属: 含碳量不超过 0.10%,填充金属符合 SFA-5.4、SFA-5.9、SFA-5.11、SFA-5.14、和 SFA-5.22, MDMT 高于等于-104℃, 或: 含碳量超过 0.10%, 填充金属符合 SFA-5.4、SFA-5.9、SFA-5.11、SFA-5.14、和 SFA-5.22, MDMT 高于等于-48℃。

③ 对下列焊缝金属当相似化学成分的母材按上述 a) ③要求豁免冲击试验时, 焊缝金属在 MDMT 高于等于-29℃时也免做冲击试验: 奥氏体铁素体双相不锈钢、铬基铁素体不锈钢、铬基马氏体不锈钢。

c) MDMT 低于-104℃的奥氏体不锈钢焊接耗材要求进行冲击试验。MDMT 低于-104℃的产品焊缝, 满足下列所有条件, 免除冲击试验[UHA-51 (f)]:

① 焊接方法限于 SMAW、SAW、GMAW、GTAW 和 PAW。

② 有关 WPS 有 PQR 支持, 后者有按 UHA-51 (a) 的要求在 MDMT 或更低温度下做过冲击试验, 或按照本册其它要求采用的 PQR 豁免冲击试验。

③ 焊缝金属是由符合 SFA-5.4、SFA-5.9、SFA-5.11、SFA-5.14、和 SFA-5.22 的填充金属制成, 但有下列改变(此处省略, 详见 UHA-51 (f) (4) 下 (a)~(e), 主要是说焊材已经过冲击试验的情况)。

d) 由于应力低免做冲击试验的情况[UHA-51 (g)]: 除了 UHA-51 (c) 有修改外, 当设计拉伸应力与许用应力之比小于 0.35 时, 在表 UHA-23 所列材料无需进行冲击试验。

e) 奥氏体不锈钢自熔焊缝的容器(产品)冲击试验[UHA-51 (i)]: 对于该类容器, 当同时满足以下二种情况时, 不要求做容器(产品)冲击试验:

① 焊后经过固溶化处理。

② MDMT 不低于-196℃。

f) 除了上述 a)~e) 豁免冲击试验的情况外, 对于所有材料和 MDMT 的组合, 表 UHA-32 所列材料(包括 P-No.6 Gr.1、2、3, P-No.7 Gr.1、2, P-No.8 Gr.1、2、3、4, P-No.10H Gr.1, P-No.10I Gr.1, P-No.10K Gr.1)应按本款[UHA-51 (a)]要求进行母材、焊缝和热影响区的冲击试验, 但当可获得的试样最小厚度小于 2.5mm 时, 不要求冲击试验。冲击试验的试样数量、位置、合格标准规定于 UHA-51 (a) (1)~(a) (4)。

g) 工艺评定的冲击试验[UHA-51 (b)]: 当焊接接头的任一材料(包括母材和焊缝金属)按本册规则要求进行冲击试验时, 其焊接工艺评定应包括焊缝和热影响区的冲击试验。

h) 进行加热处理时要求的冲击试验[UHA-51 (c)]: 只要下列材料在下列温度范围内进行了加热处理, 应进行 20℃或 MDMT 温度(取两者较低者)下的冲击试验。

① 奥氏体不锈钢在 480℃~900℃的温度范围加热处理, 但如 MDMT 等于或高于-29℃, 且 A、B 类接头加热处理的焊缝金属进行了容器(产品)的冲击试验, 在 480℃~705℃温度范围加热处理的 304、304L、316、316L 不锈钢可免做冲击试验。

② 奥氏体-铁素体双相不锈钢在 315℃~955℃温度范围加热处理。

③ 铬基铁素体不锈钢在 425℃~730℃温度范围加热处理。

④ 铬基马氏体不锈钢在 425℃~730℃温度范围加热处理。

(3) 焊缝冲击试验的位置、方位、温度及冲击值[UG-84 (b) (c) (g)]

冲击试样全部为夏比 V 型缺口、10•10 的标准试样。由于试件尺寸不够, 允许小试样。

母材冲击试验温度不得高于最低设计金属壁温(MDMT), 试验温度可低于第 II 篇材料标准中规定

的最低值。

每组焊缝冲击试样应垂直于焊缝截取，其缺口需在焊缝金属上，且垂直于材料表面，试样的一个面应在离材料表面 1.5mm 之内。

每组热影响区冲击试样应垂直于焊缝截取，并保证经侵蚀处理后缺口位于热影响区，并且在近似垂直于材料表面的条件下使最终断裂处尽可能包括更多的热影响区。

焊缝及热影响区的试验温度不能高于母材要求的温度。如为小尺寸试样，试验温度要按表 UG-84.2 降低一个数值。试样的冲击值至少与母材要求的相等。

合格标准：当三个试样的平均值等于或大于单个试样的最小允许值，但有一个以上试样的数值低于需要的平均值，或是一个试样的数值低于单个试样的最小允许值时，应另行增加三个试样重复试验。而复试的三个试样的每一个试样的数值都应等于或大于所需的平均值。

#### (4) 容器产品的冲击试件[UG-84 (i) ]

当按 UCS-67、UHT-82 或 UHA-51 的要求对工艺评定试件进行冲击试验时，除了有关节明确免除的以外，应制备产品冲击试件，进行焊缝和/或热影响区进行冲击试验。试件应从容器几炉钢号之中的某一炉钢号制取。A 类接头试件的焊接与国内要求相同，如为板材，尽量在纵缝沿长部位与纵缝同时焊接。

试件应经用于实际制造相同的热处理。但对 P-No.1 的 1 组和 2 组有例外。（指焊后 SR 处理可不先经类似热轧或热压的热处理）

**（注意：除了非铁金属外，试件只要够取冲击试样即可，不需要拉伸和弯曲试验！而且只进行指定温度的冲击试验。）**

对于非铁基金属中的钛和锆及其合金，焊接试件只取二个弯曲试样，其试件最小尺寸只要够取二个弯曲试样即可，见 UNF-95

对于高合金钢，凡是用 405 型材料制造并且不进行热处理的容器，试板材料应包括用于容器上的每一炉的钢板，不同二炉的板材可焊在一起，用一块试板代表，见 UHA-52。）

容器产品试件要求的数量：对于 A 类和 B 类接头的每一种焊接工艺，应各制备一块产品试件。如容器采用手工焊，A 类和 B 类接头有立焊的，取立向上位置试件，否则取平焊位置试件。如采用自动焊或半自动焊（**注意：我们常用的埋弧焊不是自动焊**），则每一种焊接位置都须制备一块产品试件。

如若干容器或容器部件在同一地点、三个月内焊完者，其厚度变化范围不大于 6mm 或厚度的 25%，取两者中较大者，只要材料的牌号等级相同，则按相同的焊接工艺施焊的焊缝每 120m 只需一件试件。

打 UM 钢印的容器有冲击要求的，对于同炉材料、相同焊材、相同焊接工艺施焊的每 100 台容器或同一热处理炉内处理的容器，取两者中的较小者，只要一件产品试件。

如容器试件的试验结果不合格，则试件代表的焊缝不合格，允许重新进行热处理后重新试验。

**（由于除了非铁基金属外，容器产品试件只进行冲击试验，因此其试件尺寸可以比国内小很多）**

#### 2) 焊接接头的分类 (UW-3)

接头分类的原则是接头在容器上的位置而不是接头的型式。

(1) A 类：主壳、连通受压室、变径段或接管上的纵向焊接接头；球壳、成型封头或平封头及平板容器的边板上的任何焊接接头；连接球形封头与主壳体、变径段、接管或连通受压室的环向焊接接头。

(2) B 类：主壳、连通受压室、接管或变径段上的环向焊接接头（包括变径段与圆柱形壳体大、小端之间的环向焊接接头）；连接成型封头（不包括球形封头）与主壳、变径段、接管或连通受压室的环向焊接接头。

(3) C 类：连接法兰、翻边搭环、管板或平封头与主壳体、成型封头、变径段、接管或连通受压室的焊接接头；连接平板容器各边板的任何焊接接头。

(4) D 类：连接连通受压室或接管与主壳体、球壳、变径段、封头或平板容器的焊接接头；以及连接接管与连通受压室的焊接接头（接管在变径段小端，为 B 类）。

#### 3) 焊接性（可焊性）的证明 (UW-5)

(1) 受压件: 符合 UG-4~UG-15 的要求, 通过第 IX 卷焊接工艺评定即认为得到了焊接性的证明。

(2) 非受压件: 对于按照 UG-10 (材料标记存在问题的)、UG-11 (预制的受压件)、UG-15 (非标准的锻件) 和 UG-93 (材料的检验) 认定的材料, 通过第 IX 卷焊接工艺评定可以证明其焊接性, 对于无标记的材料, 可从每块材料上制备对接焊试板按第 IX 卷通过弯曲试验可认为得到焊接性的证明。

对于使用电渣焊和气电焊方法焊接的材料, 限于铁素体钢和双相奥氏体钢。

使用摩擦焊使用的母材, 限于第 IX 卷指定的 P-No. 材料, 且不得包括沸腾钢和半镇静钢。

4) 焊接接头的设计 (UW-9): 原则上要适合于板厚和焊接方法、能完全焊透; 当不同板厚对接时, 如厚度差大于薄板厚度的  $1/4$  或 3mm, 两者中的较小者, 则要有 1:3 的削斜过渡段。

凡是由两节以上筒体组成的容器, 其相邻两接头中心线的距离至少等于较厚板厚度的 5 倍, 否则要对接头相交的两侧纵向接头各 100mm 长进行 RT。

对于搭接接头, 表面搭接(宽度)应不小于内板厚度的 4 倍 (不包括成形封头)。

对于承受弯曲应力的接头, 在需要降低应力集中处, 应增加角焊缝。

焊缝的最小尺寸: 应考虑 UG-22 的载荷条件, 且不小于本册其它部分规定的最小尺寸。

5) 在焊缝及其附近的开孔 (UW-14)

原则上不要在 A 类焊缝上开孔, 在 B、C 类焊缝上开孔要满足补强要求并对开孔部位的焊缝进行 RT, 其检测长度为从开孔中心起每侧为开孔直径的 1.5 倍, 属于开孔范围内的缺陷可不处理。如在单层板的母材上开孔, 当板厚  $\leq 38\text{mm}$  时, 开孔边缘距 A、B、C 类焊缝边缘不得小于 13mm, 但邻近焊缝已 RT 者除外。

6) 使用的焊接方法 (UW-27): 除了第 IX 卷规定的以外, 还有: 原子氢焊、感应焊、爆炸焊 (如用于板材复合)、和铝热焊, 由于这些方法在第 IX 卷中没有规定评定规则, 如要使用, 则要考虑评定规则。但一般在压力容器中使用的可能性不大。(UB 钎接篇的除外)

电弧螺柱焊及电阻螺柱焊仅可用于非受压连接件, 螺柱最大直径在 1in. 内;

ESW 仅应用于铁素体钢和 UW-5 (d) 所列的奥氏体不锈钢的对接;

气电立焊仅应用于铁素体钢和 UW-5 (d) 所列的奥氏体不锈钢的对接;

当铁素体材料单道焊厚度大于 38mm 时, 该接头要进行细化晶粒的热处理。

非铁金属 (UNF 篇) 制造的焊接方法限于 GTAW、GMAW、PAW、EBW、LBW 和电阻焊 (UNF-78)。

铸铁 (UCI 篇) 和可锻铸铁 (UCD 篇) 制造的容器不允许焊接和焊补 (UCI-78)、(UCD-78)。

经过热处理提抗拉性能的铁素体钢 (UHT 篇) 制造的容器限于 GMAW、SMAW 和 GTAW (UHT-82)。

7) 允许的最低焊接温度 (UW-30)

建议在低于  $-20^{\circ}\text{C}$  时不进行任何焊接, 在  $0^{\circ}\text{C} \sim -20^{\circ}\text{C}$  之间焊接时要求在 75mm 范围内预热到手触温暖的程度 (大约  $15^{\circ}\text{C}$  以上)。

在焊件表面潮湿、覆盖有冰或当雨雪降到被焊表面或刮大风期间, 除了有适当保护外, 也建议不要进行焊接工作。

8) 对准公差 (UW-33)

最大错边见表列。规定的错边应在完工焊缝上形成 3:1 的斜面。

UW-33 对口最大错边量		
截面厚度	A 类接头	B、C、D 类接头
$\leq 13$	$1/4t$	$1/4t$
$>13 \sim 19$	3mm	$1/4t$
$>19 \sim 38$	3mm	5mm
$>38 \sim 51$	3mm	$1/8t$
$>51$	$1/16t$ 或 10mm 的较小值	$1/8t$ 或 19mm 的较小值

但对于经过热处理提高抗拉性能的铁素体钢（UHT-20），对准公差有更严格的要求：

UHT-20 对口最大错边量		
截面厚度	A 类接头	B、C、D 类接头
≤13	0.2t	0.2t
>13 ~ 24	2.5mm	0.2t
>24 ~ 38	2.5mm	5mm
>38	2.5mm	1/8t 或 6mm 中的较小者

9) 完工的纵、环向焊缝（UW-35）

对接接头应完全焊透和熔合，焊缝表面不允许有粗糙的焊波、沟槽、焊瘤、陡脊或凹陷。厚度的减薄不应使表面任一处材料降低至要求的最小壁厚以下。厚度的减薄不应超过 1mm 或相邻表面公称厚度的 10%中的较小者。

焊缝余高见表列。（单面焊一侧面保留的垫板不计入焊缝余高）。

UW-35 最大余高(mm)					
公称厚度	管子环缝	其它焊缝	公称厚度	管子环缝	其它焊缝
<2.4	2.4	0.8	>51~ 76	6	4
≥2.4~4.8	3.2	1.6	>76~ 102	6	6
>4.8~ 13	4.0	2.4	>102 ~ 127	6	6
>13~ 25	4.8	2.4	>127	8	8
>25~ 51	5	3.2			

10) 其它焊接要求（UW-32、37）：

待焊面的清理（UW-32）：待焊零部件表面应是清洁、无氧化皮、锈斑、油迹、脂类、熔渣以及其他有害的外来杂质。

背面清根要确保清理彻底；单面焊要使错边尽量小；对于受压焊缝，在厚度为 6mm 以上的钢板或厚度为 13mm 以上非铁基金属，焊完后焊工要在焊缝附近打钢印，对于长的焊缝每隔 1m 打一个。对于禁止打钢印的，要用图记录。记录应包括受压件定位焊焊缝。

对于经过热处理提高抗拉性能的铁素体钢，如需要进行焊后热处理，不能使用含钒 0.06%以上的填充金属。材料厚度大于 13mm 到 38mm，最低预热到 95℃，大于 38mm，最低预热到 150℃，在焊接完成后，预热温度至少保持 2 小时（UHT-82）。

11) 焊接缺陷的返修（UW-38、40）：焊缝的返修要使用评定的工艺和合格的焊工，在需要的焊后热处理和耐压试验之前进行，且返修工艺事先得到 AI 同意。

12) 锤击（UW-39）：当认为需要及有助于控制变形、消除残余应力或提高焊缝质量时，可用手锤、电锤或气锤锤击焊缝金属和热影响区。但不能对根部焊道和盖面焊道进行锤击，除非随后要进行 PWHT。仅为提高容器表面性能的控制喷丸和其它类似方法，应在完成本规范要求的 NDE 和耐压试验后进行。

13) 焊后热处理(工艺) (UW-40)

尽可能采用整体进入封闭炉内的热处理工艺。

如采用分段热处理工艺,要求至少有 1.5m 长的重叠部分,并且炉外部分要采取保温措施以防止有害的温度梯度。

对于筒节和/或容器已完成 PWHT,最后只有环缝需要 PWHT 的情况，其加热带的宽度应为在环缝最大宽度处的每侧不小于壳体壁厚或 50mm 两者中的较小值，并且加热带以外部分要采取保温措施以防止有害的温度梯度，这种工艺也可用于容器返修后需要局部热处理时。

可以采用适当方法在容器内部加热进行热处理，在热处理前，容器应用绝热材料完全包起来，在热处理过程中，容器的内压愈低愈好，不应超过PWHT期间的最高金属壁温下的最大许用工作压力的50%。

接管或其它附件焊缝需要局部热处理时，可采取环带加热，加热带宽应环绕整个容器，环带以外部分要采取保温措施以防止有害的温度梯度。

用需要PWHT的材料制造的容器，采用的PWHT的温度和加热及冷却速率按UCS-56、UHT-56、UNF-56及UHA-32规定的要求。

**热电偶应置于容器的底部、中部和顶部上**，或其它有温度变化可能的区域内。

当两个不同P-No.的受压件用焊接连接时，PWHT的温度按两种材料中要求较高温度者执行。

PWHT应在耐压试验前及任何焊接返修后进行。在PWHT前允许进行耐压预测试验来发现泄漏。

在表UCS-56、UCS-56.1、UHT-56、及UHA-32中的公称厚度是本款定义的焊缝厚度，即按一次装炉的容器中待处理的最大焊缝厚度来决定。坡口焊缝的公称厚度是坡口深度，不包括焊缝余高。

如角焊缝与坡口焊缝联合使用，则公称厚度为坡口深度和角焊缝腰高两者中较大者。

当连接两个不同厚度的零件时，公称厚度是两个零件中较薄者。

与壳体连接的管板、平封头、盖板、法兰或类似结构，以壳体厚度为准[但附录2，图2-4（7）除外，该处焊缝厚度为控制厚度]。

在图UW-16.1和UW-16.2中，取接管颈厚度、壳体厚度、封头厚度、补强板厚度或连接角焊缝腰高的中较大者。

连接接管颈与法兰，取接管颈的厚度。

当非受压件焊接到受压件上时，取连接处的焊缝厚度。

管子与管板的连接，取其焊缝厚度。

对于返修焊缝，公称厚度为返修焊缝深度。

**综上所述，决定PWHT厚度的是处理件要处理的最大焊缝厚度，而不是要处理的最大板厚。处理温度按要求较高者。**

对于锻制压力容器（UF-37），所有厚度若按UCS-56规定需要热处理，则所有焊补都需要热处理。

#### 14) 焊后热处理工艺参数

##### (1) 碳钢和低合金钢的焊后热处理工艺参数([UCS-56](#))

进炉时，炉温不得超过430℃；

在430℃以上时；加热速率不得大于220℃/h除以壳体或封头的最大金属厚度（单位：in.），但决不能超过220℃/h。升温期间，被加热容器的各部分的温差在4.6m长的范围内不得大于120℃。

在保温期间内，加热容器的各部分的温差不得大于85℃。

温度高于430℃时，降温应在封闭的炉内或冷却室内进行，其冷却速率不得大于280℃/h除以壳体或封头的最大金属厚度（单位：in.），但决不能超过280℃/h。

到430℃时，容器可以在静止的空气中冷却。

上述要求应该是最低要求，在工厂的实际热处理工艺中，可以肯定要比这严格得多。

##### (2) 高合金钢和经热处理提高抗拉性能的铁素体钢的焊后热处理工艺参数

高合金钢包括P-No.6、1、2、3组，P-No.7、1、2组，P-No.8、1、2、3、4组，P-No.10H、1组，P-No.10I、1组，P-No.10K、1组；请参见UHA-32规定的条文。

经热处理提高抗拉性能的铁素体钢包括P-No.11A、1、2、3、4、5组，P-No.11B、1、2、3、4、6、8、10组，请参见UHT-56规定的条文。

#### 15) 焊前预热（非强制性附录R）

下列所列预热温度并不能保证所焊接头是满意的，最低预热要求按WPS的规定执行。

##### (1) P-No.1,1、2、3组：

(a) 对于最高含碳量超过0.3%且接头厚度超过25mm的材料，预热温度为80℃。

(b) 所有其他 P-No.1 的材料, 预热温度为 10℃。

(2) P-No.3,1、2、3 组:

(a) 对于最小抗拉强度超过 480 Mpa 或接头厚度超过 16mm 的材料, 预热温度为 80℃。

(b) 所有其他 P-No.3 的材料, 预热温度为 10℃。

(3) P-No.4,1、2 组:

(a) 对于最小抗拉强度超过 410 Mpa 或接头厚度超过 13mm 的材料, 预热温度为 120℃。

(b) 所有其他 P-No.4 的材料, 预热温度为 10℃。

(4) P-No.5A 和 5B,1 组:

(a) 对于最小抗拉强度超过 410 Mpa 或规定最低含铬量在 6.0%以上且接头厚度超过 13mm 的材料, 预热温度为 205℃。(第 2 册表 6.7 规定为: P-No.5A、5B 和 5C, 最小抗拉强度超过 480 Mpa 或规定最低含铬量在 6.0%以上且接头厚度超过 13mm 的材料, 预热温度为 80℃, 对于含铬量在 6.0%以上的材料, 该预热温度显然太低, 似有误)

(b) 所有其他 P-No. 5 的材料, 预热温度为 150℃。

(5) P-No. 6: 1、2、3 组: 预热温度为 205℃。

(6) P-No. 7: 1、2 组: 不预热。

(7) P-No. 8: 1、2 组: 不预热。

(8) P-No. 9: P-No. 9A, 1 组材料的预热温度为 120℃; P-No. 9B, 2 组材料的预热温度为 150℃。

(第 2 册规定均为 150℃。)

(9) P-No. 10

P-No. 10A, 1 组材料的预热温度为 80℃; (第 2 册规定均为 150℃。)

P-No. 10 B: 2 组材料的预热温度为 120℃; (第 2 册无规定)

P-No. 10 C: 3 组材料的预热温度为 80℃; (第 2 册无规定)

P-No. 10 F: 6 组材料的预热温度为 120℃;

对于 P-No. 10 C 的 3 组材料, 既不要求预热, 也不禁止预热, 要考虑不同材料层间温度的限制, 以防止已经热处理材料力学性能受到不良影响。(此条款与上面规定出现重复, 但原文如此)

对于 P-No. 10 D, 4 组材料和 P-No. 10 E, 5 组材料, 预热温度为 149℃, 层间温度保持在 177℃~232℃。(第 2 册无规定)

(10) P-No. 11

a) P-No. 11A: 1 组---不预热; 2 组、3 组--同 P-No.5 (见注); 4 组---预热温度为 120℃。

(第 2 册规定 P-No. 11A, 对于含镍 9%的材料, 预热既不要求、也不禁止)

b) P-No. 11B: 1、2、3、4、5 组--同 P-No.3 (见注); 6、7 组--同 P-No.5 (见注)。

(第 2 册规定 P-No. 11B, 1~6 组均为 80℃。)

注: 应考虑不同材料层间温度的限制, 以防止已经热处理材料力学性能受到不良影响。

笔者注: 温度按第 2 册进行了园整。

## 6、第 VIII 卷第 2 册中的焊接要求

1) 关于冲击试验的要求, 包括对材料、焊接工艺评定和产品试板的要求:

(1) 试验程序: 程序及设备按 SA-370 或 ISO148 (第 1、2、3 篇) 的应用各节, 冲击试验温度应不高于 MDMT (3.11.7.1)。

(2) 除了螺栓外的碳钢和低合金钢是否需要工艺评定冲击试验和产品焊接试板按下列的规定。

① 基于 MDMT、厚度和屈服强度要求的冲击试验 (3.11.2.2)

a) 如果焊接接头或任何焊接件的控制厚度超过 100mm, 且 MDMT 低于 32℃, 要求冲击试验。

b) 除了图 3.7 和图 3.8 特别豁免外, 规定的最小屈服强度大于 450Mpa 必须进行冲击试验。

② 豁免的冲击试验 (3.11.2.3~3.11.2.5): 见注①~③)



(3) 碳钢和低合金钢焊接工艺评定的冲击试验 [3.11.2.10] (与 UCS-67 基本一致)

① 有填充金属的焊接工艺评定, 当符合下列条件之一时, 其冲击试验应包括焊缝和热影响区:

a) 当母材之一按本册规程要求冲击试验。

b) 除了已按 SFA 标准进行了不高于 MDMT 温度的冲击试验这类材料外, 当由图 3.7 或图 3.8 曲线 C 或 D 连接的母材, 或按 3.11.2.4.b 可免除冲击试验的金属, 且 MDMT 低于 $-29^{\circ}\text{C}$ 但不低于 $-48^{\circ}\text{C}$ 时。

c) 对 MDMT 低于 $-48^{\circ}\text{C}$ 时, 按 3.11.2.3、3.11.2.4 和 3.11.2.5 可免做冲击试验的金属连接的母材。

② 不采用填充金属的焊缝, 在所有的 MDMT 下, 焊缝厚度大于 13mm 或当 MDMT 低于 $10^{\circ}\text{C}$ ; 或焊缝厚度大于 8mm 时, 均需作冲击试验。此要求不适用于作为材料标准的一部分而制作的焊缝。

③ 无论焊缝是否采用填充金属, 当符合下列条件之一时, 对焊接和热影响区都应作冲击试验:

a) 按本册规定, 母材要求冲击试验时; 或

b) 当焊缝中任何一道焊道厚度超过 13mm 时, 且 MDMT 低于 $-21^{\circ}\text{C}$ 时; 或

c) 连接的母材按 3.11.2.4.b 可免除冲击试验, 但其 MDMT 低于 $-48^{\circ}\text{C}$ 。

④ 符合下列任一条件时, 可免除 3.11.8.4 要求的容器(产品)的冲击试板:

a) 焊缝金属 MDMT 不低于 $-29^{\circ}\text{C}$ 时, 所连接的钢材按 3.11.2.3<sup>①</sup>、3.11.2.4<sup>②</sup>和 3.11.2.5<sup>③</sup>可免除冲击试验; 或

b) 上述(3) ① b) 和(3) ① c) 所规定的焊缝金属; 或

c) 除上述(3) ③情况外, 按 3.11.2.3<sup>①</sup>、3.11.2.4<sup>②</sup>和 3.11.2.5<sup>③</sup>可免除钢材热影响区的冲击试验。

【注: ① 3.11.2.3: 基于 MDMT、厚度和材料标准豁免冲击试验

a) 按图 3.7(部件没有进行 PWHT)和图 3.8(部件进行 PWHT 的及非焊接件)规定的曲线, 其 MDMT 和控制厚度在曲线上或曲线上方的可免除冲击试验(该曲线与 UCS-66 曲线相似, 但在同样的 MDMT 和控制厚度的组合下, 要求冲击试验的温度相比要高些)。

b) 焊接件的控制厚度的概念按与第 1 册相同的原则确定。

c) 容器上的每个元件按独立元件对待, 根据控制厚度和 MDMT 的组合来判定冲击试验要求。

d) 图 3.8 限制了不进行 PWHT 的部件最大公称厚度到 38mm, 如容器包含没有进行 PWHT 的部件公称厚度超过 38mm, 如厚管板, 这类焊接和没有进行 PWHT 的受压件应进行冲击试验。

e) 厚度小于等于 2.5mm 的材料, 不要求冲击试验, 但这种豁免不能用于金属温度低于 $-48^{\circ}\text{C}$ 的情况。但在一定条件下有例外, 详见规范原文 3.11.2.3 下 e】。

② 3.11.2.4: 基于材料标准和制品形式豁免冲击试验

a) ASME B16.5 和 ASME B16.47 的法兰当以热处理状态供货并且设计温度不低于 $-29^{\circ}\text{C}$ 使用, 或锻件供货并且设计温度不低于 $-18^{\circ}\text{C}$ 使用, 不需做冲击试验。

b) 按照下列材料标准要求生产和冲击试验的材料, 根据本册规则在 MDMT 不低于标准要求的试验温度 $3^{\circ}\text{C}$ 下, 可豁免冲击试验: SA-320、SA-333、SA-334、SA-350、SA-352、SA-420、SA-437、SA-508 Gr.5 Cl.2、SA540 的一部分、SA-765。

③ 3.11.2.5: 基于设计应力值豁免冲击试验

主要规定确定 MDMT 的步骤。]

(4) 对于淬火和回火钢、高合金钢、非铁基金属和螺栓材料的冲击试验要求另有规定, 详见规范的 3.11.3、3.11.4、3.11.5 和 3.11.6 节。

(5) 冲击试验的位置、方位、温度及冲击值[3.11.3、3.11.7、3.11.8]

冲击试样全部为夏比 V 型缺口、 $10 \times 10$  的标准试样。缺口试样的长度方向应平行于板材的终轧方向或对于锻件及管子, 试样应是垂直于主加工方向。

由于试件尺寸不够, 允许小试样。

母材冲击试验温度不得高于最低设计金属壁温 (MDMT)。

每组焊缝冲击试样应垂直于焊缝截取，其缺口需在焊缝金属上，且垂直于材料表面，试样的一个面应在离材料表面 1.5mm 之内。

每组热影响区冲击试样应垂直于焊缝截取，并保证经侵蚀处理后缺口位于热影响区，并且在近似垂直于材料表面的条件下使最终断裂处尽可能包括更多的热影响区。

焊缝及热影响区的试验温度不能高于母材要求的温度。如为小尺寸试样，试验温度要按表 3.11 降低一个数值。试样的冲击值按表 3.12 和表 3.13 的规定。

合格标准在本册中没有象第 1 册那样明确，只规定了复试要求。

#### (6) 容器产品的冲击试件 (3.11.8.4)

当要求母材做冲击试验时，除了有关节明确免除的以外，对用于每台容器的 A 类和 B 类接头的每一种评定的焊接工艺，应各制备一块产品试件。试件应从容器几炉钢号之中的某一炉钢号制取。A 类接头试件的焊接与国内要求相同，如为板材，尽量在纵缝沿长部位与纵缝同时焊接。

**(注意：除了非铁金属外，试件只要够取冲击试样即可，不需要拉伸和弯曲试验！而且只进行指定温度的冲击试验。)**

**对于非铁基金属中的钛及其合金，A 类和 B 类接头每 30m 需要一件试件，每件焊接试件只取二个弯曲试样，其试件最小尺寸只要够取二个弯曲试样即可，见 6.2.8)**

如容器采用手工焊，A 类和 B 类接头有立焊的，取立向上位置试件，否则取平焊位置试件。如采用自动焊或半自动焊 (**注意：我们常用的埋弧焊不是自动焊**)，则每一种焊接位置都须制备一块产品试件。

如若干容器或容器部件在同一地点、三个月内焊完者，其厚度变化范围不大于 6mm 或厚度的 25%，取两者中较大者，只要材料的牌号等级相同，则按相同的焊接工艺施焊的焊缝每 120m 只需一件试件。

如容器试件的试验结果不合格，则试件代表的焊缝不合格，允许直接复试或重新进行热处理后重新试验。

#### 2) 焊接接头的分类 (表 4.2.1)

接头分类的原则是接头在容器上的位置而不是接头的型式。

除了与第 1 册的 A、B、C、D 四类相同的分类外，增加：

**E 类：连接非受压件和加强件的焊接接头。**

#### 3) 焊接性 (可焊性) 的证明

本册没有强调焊接性，但对焊接工艺已规定要通过第 IX 卷焊接工艺评定，实际上证明了焊接性。

4) 焊接接头的设计 (4.2)：原则上要适合于板厚和焊接方法、能完全焊透；当不同板厚对接时，如厚度差大于薄板厚度的 1/4 或 3mm，两者中的较小者，则要有 1:3 的削斜过渡段。

**在第 2 册中没有明确规定相邻筒节的间距。**

#### 5) 在焊缝及其附近的开孔

没有特别说明，但在 7.4.3.5 中规定，凡是开孔位于 A、B 焊缝上或与其距离小于 13mm 的，要对该焊缝上进行检测，长度不小于开孔边缘各一个直径。说明必要时是允许在焊缝上及其附近的开孔。

在 6.1.3.1 中特别规定，在母材上的所有开孔边缘均需进行 MT 或 PT 检测。

6) 允许使用的焊接方法：见表 6.5。

表 6.5 允许使用的焊接方法和限制

焊接方法	适用范围	特殊的热处理要求
GMAW、GTAW、PAW、LBW	所有材料	无
EBW	所有材料	对厚度大于等于 3mm 的铁素体材料不满足 6.4.2 节中的 PWHT 要求时除外。

SMAW、SAW、爆炸焊	钛材之外的所有材料	无
EGW、ESW	仅限铁素体钢和以下奥氏体钢的对接焊缝： SA-240: TP304、TP304L、TP316、TP316L SA-182: F304、F304L、TP316、TP316L SA-351: CF3、CF3A、CF3M、CF8、CF8A、CF8M	对于在厚度超过 38mm 的铁素体材料中的 ESW 或单道焊超过 38mm 的 ESW, 其接头应进行细化晶粒的热处理。
摩擦焊	第 IX 卷指定有 P-No. 号的材料, 不包括沸腾钢、半镇静钢或钛材	当 P-No.3、4、5A、5B、5C、6、7 (TP405 和 TP405S 除外) 的焊接满足 6.4.2 节中的 PWHT 要求时除外。
电弧螺柱焊及电阻螺柱焊	承载或不承载的非受压件, 不包括淬火和回火的高强度钢, 只要容器所采用的材料为铁基材料的情况下满足 6.4.1 和 6.4.2 节的要求。 螺柱直径应限制在 25mm 之内, 对圆形和具有等效截面积的其它形状螺柱。	当是铁基材料时, 应满足 6.4.3.6 和 6.6.6.3 节中关于容器用材热处理的要求。
<b>注:</b> 1) 除了少了原子氢焊、感应焊、铝热焊等方法和对钛材和电阻焊的规定有不同外, 与第 1 册的规定基本一致。 2) 6.4.1: 关于焊接接头预热的要求。 3) 6.4.2: 关于 PWHT 满足材料的要求, 并经焊接工艺评定。 4) 6.4.3.6: 关于容器接管和附件局部 PWHT 的要求。 5) 6.6.6.3: 关于容器连接件和附件 PWHT 的要求。		

7) 允许的最低焊接温度 (6.2.3.2)

这部分要求与第 1 册的规定一致。

8) 对准公差 (6.1.6) 和内压壳体及封头中焊缝的棱角度 (6.1.6.3)

(1) 对准公差

最大错边不应超过下面的规定, 但允许另一做法: 倘若在焊接之前, 最大错边为 AI 所接受, 并且 4.14 节或第 5 篇及 6.1.6.2 节要求也被满足, 则大于下面所允许的偏差是允许的:

- ① 焊接接头按其类别, 其最大错边量按表 6.4。
- ② 要求公差内的错边平滑过渡。
- ③ 淬火加回火钢的对准要求按 6.6.5.4 节要求。

表 6.4 焊接接头允许的最大错边量		
截面厚度	A 类接头	B、C、D 类接头
≤13	1/4t	1/4t
>13 ~ 19	3mm	1/4t
>19 ~ 38	3mm	5mm
>38 ~ 50	3mm	1/8t
>50	1/16t 或 10mm 的较小值	1/8t 或 19mm 的较小值
注: t 为连接件中较薄件的公称厚度, 与第 1 册的规定一致。		

**6.6.5.4 节要求:** 纵向接头的错边量应不大于公称厚度的 20%或 2.5mm 中的较小者;

环向接头的错边量应超过下列数值:

- ① 如厚度小于等于 24mm, 错边为公称厚度的 20%;
- ② 如厚度为 24mm 到小于等于 38mm, 错边为 5mm;

③ 如厚度大于 38mm，错边为公称厚度的 12.5%，但不超过 6mm。

(注：与第 1 册的规定一致，只不过是表达方式不同)

## (2) 内压壳体及封头中焊缝的棱角度

① 如果要求进行疲劳分析，则 A 类焊缝接头的棱角度  $d_p$  应以内径或外径样板测量。另一种方法，按 API579-1/ASME FFS-1 的规定所述的工艺确定。

② 样板的弦长应取  $D/6$  或 300mm 的大值，但无需大于 900mm。

(注：第 1 册没有焊缝的棱角度的要求)

## 9) 完工的纵、环向焊缝 (6.2.4.1)

对接接头应完全焊透和全熔合，焊缝表面不允许有粗糙的焊波、沟槽、焊瘤、陡脊或凹陷，以便不影响无损检测的结果。厚度的减薄不应使表面任一处材料降低至要求的最小壁厚以下。厚度的减薄不应超过 0.8mm 或相邻表面公称厚度的 10% 中的较小者。

焊缝余高见表 6.6 所列。

表 6.6 最大余高(mm)					
公称厚度	管子环缝	其它焊缝	公称厚度	管子环缝	其它焊缝
<2.5	2.5	0.8	>50~ 76	<b>4.0</b>	4
≥2.5~5	<b>2.5</b>	1.5	>76~ 100	<b>5.5</b>	<b>5.5</b>
>5~ 13	<b>3.0</b>	2.5	>100 ~ 125	6	6
>13~ 25	<b>4.0</b>	2.5	>125	8	8
>25~ 50	<b>4.0</b>	3			
注： $t$ 为连接件中较薄件的公称厚度，与第 1 册比较，有些是因为数值圆整造成不同，用粗体字表示的较第 1 册严些。					

## 10) 其它焊接要求 (6.1.5、6.2.5)：

待焊面的清理 (6.1.5)：待焊零部件表面应是清洁、无氧化皮、锈斑、油迹、脂类、熔渣以及其他有害的外来杂质。清除的方法和范围宜根据待焊的材质和所去除的杂质而定。

背面清根要用铲削、磨削、或熔化的方法准备，确保清理彻底。

单面焊时，相邻部件的对准及间隙应使整个长度的根部能达到完全焊透和熔合。

对于受压焊缝，在厚度为 6mm 以上的钢板焊完后焊工要在焊缝附近打钢印，对于长的焊缝每隔 1m 打一个。对于禁止打钢印的，要用图记录。记录应提交 AI 审查。

## 11) 焊接缺陷的返修 (6.2.7)：检测出的焊接缺陷应采用机械方法或热刨方法除去。

焊缝的返修要使用评定的工艺和合格的焊工，在需要的焊后热处理和耐压试验之前进行。

对于炉前分析含碳量大于 0.35% 的材料，当需要焊接修补时，除了按第 IX 卷进行工艺和技能评定外，还要求按适用的材料标准进行 PWHT 或作进一步的热处理 (6.7.8.4)，修补厚度超过 6mm 的，要进行 RT 检测 (7.4.10.2)。

12) 锤击 (6.2.5.3)：当认为需要及有助于控制变形、消除残余应力、延长寿命或提高焊缝质量时，可用手动、电动或气动工具锤击焊缝金属和热影响区。除非焊缝随即进行 PWHT，焊缝的始、末层都不应锤击。并且在任何情况下都不能用锤击来代替 PWHT。

只有当需要改善容器或容器部件的表面性能时，在完成本规范要求的 NDE 和耐压试验后，采用控制喷丸和其它类似方法进行表面处理。

## 13) 铁基材料的焊后热处理(工艺) (6.4.3)

尽可能采用整体进入封闭炉内的热处理工艺。

如采用分段热处理工艺,要求至少有 1.5m 长的重叠部分,并且炉外部分要采取保温措施以防止有害的温度梯度。

可以采用适当方法在容器内部加热进行热处理，在热处理前，容器应用绝热材料完全包起来，应采

用有足够的温度指示及记录装置来帮助控制及维持容器中的温度的均匀分布。

接管或其它附件焊缝需要局部热处理时,可采取环带加热,加热带宽应环绕整个容器,环带以外部分要采取保温措施以防止有害的温度梯度。

双曲率封头或壳体的局部热处理:最小加热带应是一个圆,其半径为附件与壳体连接焊缝最大宽度加公称厚度或 50mm 两者中的较小值,加热带以外部分要采取保温措施以防止有害的温度梯度。

所有重要的不连续结构(例如:接管、连接件、封头与壳体的连接点)以及在 PWHT 时可能存在任何机械载荷的影响而采取了措施,则上面没有说明的其他形状的局部加热是允许的。

用需要 PWHT 的材料制造的容器,采用的 PWHT 的温度和时间按表 6.8~6.17 规定的要求。

关于热电偶的设置没有具体说明,但我认为既然在第 1 册已有规定,第 2 册的规定不会低于第 1 册。

当两个不同 P-No.的受压件用焊接连接时, PWHT 的温度按两种材料中要求较高温度者执行。

PWHT 应在耐压试验前及任何焊接返修后进行。在 PWHT 前允许进行耐压预测试验来发现泄漏。

决定 PWHT 公称厚度,对于装入炉内进行 PWHT 的容器或容器部件,它是指一次装炉的容器或容器部件待处理的最大焊缝厚度:坡口焊缝的公称厚度是坡口深度,不包括焊缝余高。

如角焊缝与坡口焊缝联合使用,则公称厚度为坡口深度和角焊缝腰高两者中较大者。

当连接两个不同厚度的零件时,公称厚度是两个零件中较薄者。

与壳体连接的管板、平封头、盖板、法兰或类似结构,以壳体厚度为准。

对于接管,横跨接管颈、壳体、封头、补强板或附件角焊缝腰高中的较大者。

连接接管颈与法兰,取接管颈的厚度。

当非受压件焊接到受压件上时,取连接处的焊缝厚度。

管子与管板的连接,取其焊缝厚度。

对于返修焊缝,公称厚度为返修焊缝深度。

综上所述,决定 PWHT 厚度的是处理件要处理的最大焊缝厚度,而不是要处理的最大板厚。处理温度按要求较高者。

#### 14) 焊后热处理工艺参数 (6.4.2)

本册规定的焊后热处理的标称的最低保温温度和最少保温时间基本上与第 1 册一致,不过是将不同的 P-No.材料的参数以文字和表格二种形式表示,表达方式与第 1 册有所不同。

进炉温度、加热速率、升温期间被加热容器的各部分的温差、保温期间内加热容器的各部分的温差、冷却条件等都与第 1 册规定相同,但增加了“冷却速率决不应不小于 56℃/h”的规定。

#### 15) 焊前预热 (6.4.1)

焊前预热基本上与第 1 册规定相同,最大不同之处在于本册将焊前预热要求放在正文中而不是在非强制性附录中,也就是说变成了规范要求。有个别不同之处已经在前面第 1 册的相应部分用括号内的数值表示了。

### 7、第 VIII 卷第 3 册中的焊接要求

1) 关于冲击试验的要求,包括对材料、焊接工艺评定和产品试板的要求:

(1) 试验程序:程序及设备按 SA-370。

(2) 承压元件材料由 KM-212.1 (c) (关于螺栓免作冲击试验的条件)、KM-212.2 (关于无焊缝非螺栓的承压元件,由于材料尺寸太小免作冲击试验的条件)和 KM-212.3 (c) (关于含焊缝的承压元件,由于材料尺寸太小免作冲击试验的条件)免作冲击试验的 MDMT 对于全奥氏体不锈钢应不低于-200℃,对于其他材料应不低于-45℃ (KM-234.1)。

(3) 焊接工艺评定的冲击试验 (KT-220)

所有焊接工艺评定均要求对焊缝和热影响区进行冲击试验。

(4) 冲击试验的位置、方位、温度及冲击值 (KM-231、234)

冲击试样全部为夏比 V 型缺口、10•10 的标准试样。应在每一端相互为对角方向各取一组试样；当元件长度超过 2030mm，则应在两端各取二组试样，二组试样都应从板的角隅处截取，试样取向是相对于轧制时的最大延伸方向。

由于试件尺寸不够，允许小试样。

母材冲击试验温度应不超过 70°F 或用户设计说明书中所规定的 MDMT 中的较低值 (KM-234.1)。

每组焊缝冲击试样应垂直于焊缝截取，其缺口需在焊缝金属上，且垂直于材料表面，试样的一个面应在离材料表面 1.5mm 之内 (KT-210)。

每组热影响区冲击试样应垂直于焊缝截取，并保证经侵蚀处理后缺口位于热影响区，并且在近似垂直于材料表面的条件下使最终断裂处尽可能包括更多的热影响区 (KT-210)。

焊缝及热影响区的试验温度不能高于母材要求的温度 (KT-200)。如为小尺寸试样，试验温度要按表 KM-212 降低一个数值。试样的冲击值按表 KM-234.2 (a) 中横向试样的规定【表 KM-234.2 (a)】。

合格标准：非螺栓的承压元件材料应满足表 KM-234.2 (a) 所规定的最低夏比 V 型缺口冲击值的要求。螺栓材料应满足表 KM-234.2 (b) 所规定的最低夏比 V 型缺口冲击值的要求。当容器设计满足先漏后爆准则，预应力内层材料应满足第 II 卷有关材料标准所规定的最低夏比 V 型缺口冲击值的要求 (KM-234.2)。

表 KM-234.2 (a) 承压元件材料要求的最低夏比 V 型缺口冲击值			
试样取向	试样数量	冲击功, ft-lbf	
		对于规定最小屈服强度	
		≤135 (930)	>135 (930)
横向	三个试样平均值	30 (41)	35 (47)
	一个试样最低值	24 (33)	28 (38)
纵向	三个试样平均值	50 (68)	60 (81)
	一个试样最低值	40 (54)	48 (65)

由于本册材料的强度较高，还规定了 CTOD 和 JIC 断裂韧度试验 (KM-251、252)。

#### (5) 容器产品的冲击试件 (KT-230、240)

对用于每台容器的 A 类和 B 类接头的每一种评定的焊接工艺，应各制备一块产品试件。试件应从容器几炉钢号之中的某一炉钢号制取。A 类接头试件的焊接与国内要求相同，如为板材，尽量在纵缝沿长部位与纵缝同时焊接。

如采用自动或半自动焊，则容器的每一种焊接位置都须制备一块产品试件。

如容器采用手工焊，A 类和 B 类接头有立焊的，取立向上位置试件，否则取平焊位置试件。

没有其他关于减少试件的规定。

如容器试件的试验结果不合格，则试件代表的焊缝不合格，允许直接复试或重新进行热处理后重新试验。

#### 2) 焊接接头的分类 (KE-321)

接头分类的原则是接头在容器上的位置而不是接头的型式。与第 1 册的 A、B、C、D 四类完全相同，包括焊接接头典型位置示意图。

#### 3) 焊接性 (可焊性) 的证明

本册没有强调焊接性，但对焊接工艺已规定要通过第 IX 卷焊接工艺评定，实际上证明了焊接性。

#### 4) 焊接接头的设计 (KD-1110)：

除了在 KD-7 章 (关于附件及支座的连接)、KD-830 (b) (关于多层包扎的外层接头为 2 型对接接头)、KD-1131 (关于容器表面的安放式接管) 和 KF-821 (g) (关于多层包扎的相互连接的 B 类接头) 中所述的接头外，所有接头均应是 1 型对接接头。

当不同板厚对接时，如厚度差大于薄板厚度的 1/4 或 3mm，两者中的较小者，则要有 1:3 的削斜



过渡段（KD-1121）。

在第 3 册中没有明确规定相邻筒节的间距。

5) 在焊缝及其附近的开孔  
没有特别说明。

6) 允许使用的焊接方法：（KF-201）

本册允许使用的焊接方法仅限于 SMAW 、 SAW、GMAW 和 GTAW，是各册中最少的。

7) 允许的最低焊接温度（KF-206）

这部分要求与第 1 册的规定一致。

8) 对准公差（KF-234）

最大错边不应超过下面的规定，要求公差内的错边平滑过渡。

表 KF-234 焊接接头允许的最大错边量		
截面厚度	纵向接头	环向接头
≤24	2.4mm	1/5t
>24~ ≤38	2.4mm	4.8mm
>38	2.4mm	1/8t 但不大于 6mm
注： t 为连接件中较薄件的公称厚度，与第 1 册的规定一致。错边量是各册中最严格的。		

9) 完工的纵、环向焊缝（KF-204、614）

对完成的焊缝应进行打磨或机加工，使其与连接的零件表面平滑过渡。检验熔敷焊缝金属的平滑过渡半径和最终表面，保证符合图样设计要求。

所有焊缝金属应平滑地与母材熔合，无尖突的过渡段。

**没有规定焊缝余高。我认为是不允许有焊缝余高。**

10) 其它焊接要求：待焊面的清理（KF-232、231）：应清理待焊零部件的表面，去除鳞片、锈斑、油迹、油脂以及其它有害外来杂质。应将离焊接坡口至少 50mm 距离内的有害氧化物清除干净。

背面清根要用铲削、打磨、或气刨的方法准备，确保焊缝根部金属完好。任何焊接方法，如根部焊道依然没有杂质，则无需切除。

对于受压焊缝，在厚度为 6mm 以上的材料焊完后焊工要在焊缝附近打钢印，对于长的焊缝每隔 1m 打一个。对于禁止打钢印的，要用图记录（KF-238）。

11) 焊接缺陷的返修（KF-240~244）：检测出的焊接缺陷应采用机械方法或热刨方法除去，如采用后一种方法，制造商应保证不致对材料造成损害。

焊缝的返修要使用评定的工艺和合格的焊工，在需要的焊后热处理和耐压试验之前进行。

12) 锤击（KF-237）：为降低变形，可进行有控制的锤击。除非焊缝随即进行 PWHT，焊缝的始、末层都不应锤击。

13) 焊后热处理(工艺) (KF-4 章)

尽可能采用整体进入封闭炉内的热处理工艺。

如采用分段热处理工艺,要求至少有 1.5m 长的重叠部分,并且炉外部分要采取保温措施以防止有害的温度梯度，**在伸出炉外的容器截面上不得有相交接管或其他不连续结构。**

在把任何筒节连接成一完整容器之前，为对纵向焊接接头或复杂的焊接节点进行焊后热处理，允许对筒节、封头和容器的其他零进行加热，对于事前未作焊后热处理环向焊接接头，则可对含有该接头的环带进行加热作局部热处理。

此程序也可用于管道、管系或接管颈环向焊接接头的局部热处理。鉴于对接管颈作环向焊接接头的局部热处理时，增加了对邻近壳体处受热膨胀的约束，设计师宜提供足够的长度以防止热处理时在接管

连接的地方产生有害的温度梯度。

在完成焊缝最宽处每一侧加热带的宽度应不小于壳体厚度的 2 倍。环带以外部分要采取保温措施以防止有害的温度梯度。

可以采用适当方法在容器内部加热进行热处理，在热处理前，容器应用绝热材料完全包起来，应采用有足够的温度指示及记录装置来帮助控制及维持容器中的温度的均匀分布。

双曲率封头或壳体的局部热处理：最小加热带应是一个圆形区，离连接焊缝的半径至少为壳体厚度或 50mm 两者中的较小值，加热带以外部分要采取保温措施以防止有害的温度梯度。

所有重要的不连续结构（例如：接管、连接件、封头与壳体的连接点）以及在 PWHT 时可能存在任何机械载荷的影响而采取了措施，则上面没有说明的其他形状的局部加热是允许的。

用需要 PWHT 的材料制造的容器，采用的 PWHT 的温度和时间按表 KF-402.1M 规定的要求。

**关于热电偶的设置没有具体说明，但我认为既然在第 1 册已有规定，第 3 册的规定不会低于第 1 册。**

当两个不同 P-No. 的受压件用焊接连接时，PWHT 的温度按两种材料中要求较高温度者执行。

PWHT 应在耐压试验前及任何焊接返修后进行。

决定 PWHT 公称厚度，对于装入炉内进行 PWHT 的容器或容器部件，它是指一次装炉的容器或容器部件待处理的最大焊缝厚度：坡口焊缝的公称厚度是坡口深度，不包括焊缝余高。

如角焊缝与坡口焊缝联合使用，则公称厚度为坡口深度和角焊缝腰高两者中较大者。

当连接两个不同厚度的零件时，公称厚度是两个零件中较薄者。

与壳体连接的管板、平封头、盖板、法兰或类似结构，以壳体厚度为准。

对于接管，横跨接管颈、壳体、封头、补强板或附件角焊缝腰高中的较大者。

连接接管颈与法兰，取接管颈的厚度。

当非受压件焊接到受压件上时，取连接处的焊缝厚度。

管子与管板的连接，取其焊缝厚度。

对于返修焊缝，公称厚度为返修焊缝深度。

**综上所述，决定 PWHT 厚度的是处理件要处理的最大焊缝厚度，而不是要处理的最大板厚。处理温度按要求较高者。**

#### 14) 焊后热处理工艺参数 (KF-402、413)

本册规定的焊后热处理的标称的最低保温温度和最少保温时间基本上与第 2 册一致，但是材料 P-No. 仅仅限于 P-No.1、P-No.3、P-No.4、P-No.5、P-No.8、P-No.10A 和 P-No.42~P-No.45，比前二册都少。

进炉温度、加热速率、升温期间被加热容器的各部分的温差、冷却条件和冷却速率等都与第 2 册规定相同，但规定了“保温期间内加热容器的各部分的温差不得大于 55℃ 的规定”，比前二册要更严格。

#### 15) 焊前预热 (KF-401)

焊前预热没有具体规定，只规定了要按第 IX 卷经过评定的 WPS 中规定的最低预热要求。

## 四、与国内标准的比较

### 1、第 VIII 卷第 1 册与 GB -150-1998 版的比较

#### 1) 适用范围

GB -150 适用于设计压力不大于 35Mpa 的容器，包括钢制单层焊接、多层包扎、热套及锻焊容器。

第 VIII 卷第 1 册适用于设计压力原则上不超过 20Mpa 的容器，它包括非铁基金属、可锻铸铁和各种钢材制造的容器，也包括管壳式换热器。

#### 2) 关于焊接工艺评定的附加要求

GB -150 对于焊接工艺评定的范围和评定时的变素规定，没有附加要求，即使是多层包扎容器，也是如此。因此，对于那些焊缝要求评定，完全按 JB-4709 “钢制压力容器焊接规程”的要求，JB-4709 的要求与第 1 册的要求基本一致；至于如何评定，则完成按 JB-4708。



在附录 C “低温压力容器”（指设计温度等于或低于-20℃的容器）中，要求对焊缝和热影响区进行冲击试验，相当于在进行焊接工艺评定时，要将附加因素(变素)作为重要因素(变素)对待；同时，由于对产品焊接试板的要求与第 1 册不同，而且要求冲击试验的机会比第 1 册多，因此，将附加因素作为重要因素对待的机会也比第 1 册多。

在 GB -150 中，关于焊工（没有“焊机操作工”的概念）资格，只提到应该由持有“锅炉压力容器焊工合格证书”的人员担任，至于那些焊缝要求焊工资格，没有说明，也是在 JB-4709 中有规定，除了对于螺柱焊工没有任何附加要求外，也基本上与第 1 册的要求相同。焊工资格的评定并不包含在 JB-4708 中，而是由“锅炉压力容器和压力管道焊工考试规则”来规定。由于“锅炉压力容器和压力管道焊工考试规则”的规定与第 IX 卷差别较大，特别是关于材料，“规则”规定要求对于铁基金属要分成四类来评定，考试的工作量要大得多，还有其他许多规定也比第 IX 卷规定严格，前面已有简单比较，这里不再细述。

从上面所述看来，两个国家的标准体系不同，在第 VIII 卷第 1 册中的要求，可能在我们的标准中，包含在 GB -150 和 JB-4709 等标准中；在第 IX 卷中的要求，可能包含在 B-4708 和“锅炉压力容器和压力管道焊工考试规则”等标准中。

## 2) 关于焊接要求的比较

(1) 关于冲击试验的要求，包括对材料、焊接工艺评定和产品焊接试板的要求：

a) 试验程序：GB -150 按 GB -228、GB -232 和 GB /T-229 等；第 VIII 卷第 1 册按 SA-370，但在试验程序和要求上，实质上没有大的差别，只是在试验报告上必须注明是按什么标准进行的，否则通不过第三方的审查。

b) 焊接工艺评定的冲击试验和产品焊接试板：

焊接工艺评定是否需要冲击试验决定于产品是否需要冲击试验，这一点是相同的。

关于是否需要产品焊接试板，GB -150（10.5.1）是按材料种类、材料强度、设计温度、材料是否要通过热处理来达到其设计要求的力学性能和介质的危害性来决定是否需要带产品试板，并且产品焊接试板需要进行全套的拉伸、弯曲和冲击试验；而第 VIII 卷第 1 册是否需要产品焊接试板决定于产品材料是否需要冲击试验，产品焊接试板只进行冲击试验，不要求进行拉伸和弯曲试验。是否需要冲击试验的情况已在上面叙述过，即使需要冲击试验，也不是焊缝和热影响区都要求，因此，按第 VIII 卷第 1 册制造容器，焊接工艺评定的冲击试验和产品焊接试板要比 GB -150 少得多。

GB -150 规定产品焊接试板一般只要求对焊缝金属进行冲击试验（表 E-1），只有对于低温压力容器要增加热影响区的冲击试验（C4.5.2），这一点也与第 VIII 卷第 1 册的要求不同。

在一般情况下，GB -150 只要求对 A 类接头带焊接试板，B 类接头只有在图样规定制作鉴证环的情况下，才要求带产品焊接试板（10.5.3）。因此在 A 类接头和 B 类接头使用不同焊接方法的情况下，GB -150 要求的产品焊接试板要比第 VIII 卷第 1 册的少。但 GB -150 对于多层包扎容器，要求增加层板的焊接试板；对于低温容器的不同温度段如由不同钢材制成时，则应分别制备产品焊接试板（C4.5.3）。

至于在“压力容器安全技术监察规程”中，产品焊接试板就要多很多了。

(2) 焊接接头的分类：基本一致，但在叙述上存在差别。

(3) 焊接性（可焊性）的证明

GB -150 没有特别说明，当然不等于不要求，要求通过焊接工艺评定即可以认为得到了焊接性的证明。

(4) 焊接接头的设计

GB -150 规定当若薄板厚度不大于 10mm，两板厚度差大于 3mm，；薄板厚度大于 10mm，两板厚度差大于薄板厚度的 30%或超过 5mm 时，要求单面或双面有大于等于 1:3 削斜过渡（10.2.4.3）。

第 VIII 卷第 1 册要求当不同板厚对接时，如厚度差大于薄板厚度的 1/4 或 3mm，两者中的较小者，则要有 1:3 的削斜过渡段。两者略有差别，但差别不大。

GB -150 规定筒节长度应不小于 300mm，由两节以上筒体组成的容器，其相邻 A 类接头中心线外

圆弧长的距离至少等于较厚板厚度的 3 倍，且不小于 100mm（10.2.4.5）。

而第 VIII 卷第 1 册要求为相邻两接头中心线的距离至少等于较厚板厚度的 5 倍，否则要对接头相交的两侧纵向接头各 100mm 长进行 RT。即增加 RT 后，允许有更小的距离。没有关于筒节最小长度的规定。

GB -150 没有关于搭接接头、承受弯曲应力的接头和焊缝的最小尺寸的规定，交给设计人员去决定。

(5) 在焊缝及其附近的开孔

GB -150 对于在焊缝上开孔没有特别限制，只是要求增加开孔中心两侧各 1.5 倍开孔直径长度的无损检测【10.8.2.2（c）】。一般地，都会尽量避免在 A 类接头上开孔。

第 VIII 卷第 1 册要求基本相同。

(6) 使用的焊接方法

GB -150 没有明确的规定。从使用焊接工艺评定标准的规定来看，应该包括：OFW、SMAW、SAW、GMAW、GTAW、ESW 和耐蚀层堆焊。要比第 VIII 卷第 1 册的少些，但常用的焊接工艺基本上都包括了。

(7) 允许的最低焊接温度

GB -150 规定在低于 0℃焊接时，要求在 100mm 范围内预热到 15℃左右（10.3.1.3）。

当出现下列情况时，禁止施焊：手工焊时风速大于 10m/s；气体保护焊时风速大于 2m/s；相对湿度大于 90%；雨雪环境（10.3.1.2）。比第 VIII 卷第 1 册要求更具体和严格。

(8) 对准公差

	第 VIII 卷第 1 册		GB -150		
截面厚度	对口最大错边量		截面厚度	对口最大错边量	
	A 类接头	B、C、D 类接头		A 类接头	B 类接头
≤13	1/4 <i>t</i>	1/4 <i>t</i>	≤12	≤1/4 <i>t</i>	≤1/4 <i>t</i>
>13 ~ 19	3mm	1/4 <i>t</i>	>12 ~ 20	≤3mm	≤1/4 <i>t</i>
>19 ~ 38	3mm	5mm	>20 ~ 40	≤3mm	≤5mm
>38 ~ 51	3mm	1/8 <i>t</i>	>40 ~ 50	≤3mm	≤1/8 <i>t</i>
>51	1/16 <i>t</i> 或 10mm 的较小值	1/8 <i>t</i> 或 19mm 的较 小值	>50	1/16 <i>t</i> 或 10mm 的较小值	1/8 <i>t</i> 或 20mm 的较小值

从上表可以看出，两者只有数量园整上的差别，可以视为相同。

但 GB -150 还规定，对于锻焊容器，B 类接头的对口错边量应不大于 1/8t，且不大于 5mm；对于复合钢板对口错边量应不大于厚度的 5%，且不大于 2mm（10.2.4.1），后者是很有必要的。但对于经过热处理提高材料力学性能的钢材，没有规定另外的要求。

GB -150 还规定了焊接接头环向形成棱角度的限制要求（10.2.4.2），这在第 VIII 卷第 1 册中没有规定，但是由于有了对准公差和不圆度的规定，实际上不可能形成很大的棱角度。

(9) 完工的纵、环向焊缝

GB -150 规定焊缝表面不得有裂纹、气孔、弧坑和飞溅物（10.3.3.3）。与第 VIII 卷第 1 册的出发点不同，但该要求没有本质上的区别。GB -150 还规定了焊缝咬边的要求：焊接接头系数为 1 的容器，不得有咬边，其他容器的咬边深度不得大于 0.5mm，咬边连续长度不得大于该焊缝长度的 10%（10.3.3.4）。

焊缝余高见表列（10.3.3.1）。

GB -150 要求的焊缝余高	
标准抗拉强度下限>540Mpa 的钢材	其他钢材

以及 Cr-Mo 低合金钢材							
单面坡口		双面坡口		单面坡口		双面坡口	
正面	反面	正面	反面	正面	反面	正面	反面
0~10% $t_s$ 且 $\leq 3$	$\leq 1.5$	0~10% $t_1$ 且 $\leq 3$	0~10% $t_2$ 且 $\leq 3$	0~15% $t_s$ 且 $\leq 4$	$\leq 1.5$	0~15% $t_1$ 且 $\leq 4$	0~15% $t_2$ 且 $\leq 4$

注： $t_s$ =板厚度， $t_1$ =正面坡口深度。 $t_2$ =反面坡口深度。

从表列要求可以看出，GB -150 对于焊缝余高的要求比第 VIII 卷第 1 册要更严格。第 VIII 卷第 1 册要求的余高见前面所述。

#### (10) 其它焊接要求

待焊面的清理(10.2.2) GB -150 规定：坡口表面不得有裂纹、分层、夹杂等缺陷。标准抗拉强度下限 $>540\text{Mpa}$ 的钢材以及 Cr-Mo 低合金钢材经火焰切割的坡口表面，应进行 MT 或 PT 检测。施焊前，应清除坡口及母材料两侧表面各 20mm 范围内的氧化物、油污、熔渣及其他有害杂质。

与第 VIII 卷第 1 册规定基本相当，只是着眼点不同而已。但要进行表面无损检测是特有的要求。

GB -150 同样要求焊工要在规定位置打钢印（10.3.5），对于长的焊缝打几个没有规定。对于禁止打钢印的（有防腐要求的不锈钢及复合钢板），要用图记录。

焊接材料：对于焊接材料储存环境的要求：GB -150 规定要求焊材储存库应保持干燥，相对湿度不大于 60%（10.3.1.1），而在 ASME BPV 规范中，这是规定在第 II 卷 C 篇中的，它要求焊材储存库的相对湿度不大于 50%，因此同时具有两种要求的焊材储存库，其相对湿度应按不大于 50%控制。

对于低温容器，GB -150 要求对其使用的焊条按批进行药皮含水量或熔敷金属扩散氢含量的复验（C2.2.2）。在 ASME 体系中，不存在材料和焊材的复验问题。

#### (11) 焊接缺陷的返修

GB -150 特别规定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总负责人批准（10.3.4.2），这在 ASME 体系中没有规定，主要是我认为出现这种可能性的几率不大。对于焊缝的返修要使用评定的工艺和合格的焊工、在需要的焊后热处理和耐压试验之前进行的要求是一样的（10.3.4）。

#### (12) 锤击

GB -150 对于锤击的要求：在关于低温容器的附录 C 的 C4.2.1 中规定：对焊后不进行消除应力热处理的容器，不得采用锤击等强制手段进行成形或组装。这与第 VIII 卷第 1 册的规定没有矛盾，但出发点不同，在后者，锤击是为了消除应力和变形。

#### (13) 焊后热处理(工艺)

GB -150 规定：

如采用分段热处理工艺,要求至少有 1.5m 长的重叠部分,并且炉外部分要采取保温措施以防止有害的温度梯度。

B、C、D 类焊接接头，球形封头与园筒相连的 A 类焊接接头及缺陷焊补部位，允许采用局部热处理，加热带宽度不得小于钢材厚度的 2 倍。接管与壳体相焊时，加热带宽度不得小于钢材厚度的 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。

上述规定与第 VIII 卷第 1 册的规定基本相同，下面是不同之处：

GB -150 对于热电偶的放置部位没有规定，实际上在国内也很少有直接放置于容器上的。

要求焊后热处理的材料及厚度规定在 10.4 中，由于材料标准体系不同，这里不进行比较。对于需要焊后热处理的厚度，GB -150 只规定钢材厚度，没有最大焊缝厚度的概念，也没有返修焊缝深度的概念。因此在这里要求焊后热处理的范围可能要比在第 VIII 卷第 1 册规定的要更宽，特别是对于返修焊后要求再次热处理的情况。

#### (14) 焊后热处理工艺参数和焊前预热

对于同一材料或不同材料连接的焊后热处理, GB -150 都没有规定焊后热处理工艺参数和焊前预热。

## 1、第 VIII 卷第 1 册与 GB -151-1999 版的比较

### 1) 关于焊接工艺评定的附加要求

在附录 B 中, 规定了换热管与管板接头的焊接工艺评定规则, 它规定重新评定的变素如下:

- (1) 换热管或管板材料组别号改变时;
- (2) 当换热管壁厚小于等于 2.5mm, 且其直径或壁厚与已评定管的差值大于 15%时;
- (3) 焊接方法改变时;
- (4) 焊丝或附加的填充金属公称截面积的变化超过 10%时;
- (5) 填丝改为不填丝或相反时;
- (6) 除横焊、立焊或仰焊位置的评定适用于平焊位置外, 改变评定合格的焊接位置时;
- (7) 多道焊改为单道焊或相反时;
- (8) 变更保护气体种类或混合气体配比时;
- (9) 取消保护气体或保护气体流量比评定范围的下限值降低 10%以上时。

显然, 这个规定太笼统, 它没有规定使用什么焊接方法, 从规定来看, 似乎包括了 SMAW、GTAW 和 GMAW, 肯定不包括爆炸焊。在这个规定中也没有将影响接头力学性能的全部变素包括在内。与在第 IX 卷 (2007 版) QW-288 中规定的变素相比较, 至少少了下列变素:

(a) 焊接接头结构的改变 (超过制造公差): 如增加或取消预置的填充金属、坡口深度的增加、坡口角度的降低或坡口型式的改变。

(b) 当规定的管孔间的孔桥宽度小于 3/8in. (10mm) 或 3 倍公称管壁厚中的较大者, 孔桥宽度降低 10%或更多;

(c) 评定的立焊位置前进方向的改变,

(d) 如果使用填充金属, 其公称化学成分的改变;

(e) 评定的预热温度降低 100°F (55°C) 以上或层间温度增加 100°F (55°C) 以上;

(f) PWHT 的增加或取消;

(g) 评定的电流值改变超过 10%;

(h) 评定的电流极性或电流类型 (AC 和 DC) 的改变;

(i) 焊前增加管子的胀接;

(j) 焊前清理方法的改变。

(k) 焊条 F-No.的改变。

(l) 预置金属嵌条形状或尺寸的改变;

(f) 如在评定期间使用了辅助的气体保护系统, 该系统的取消。

因此, 我认为 GB-151-1999 版的“换热管与管板接头的焊接工艺评定规则”的规定似乎太简单了, 不能反映评定的实际需要。

关于上述换热管与管板接头焊接工艺评定试样的检验, 两个标准基本一致, 但是 GB-151 完全没有提到该接头的焊工资格怎么办? 因为在各种焊接工艺评定标准中, 基本上都有通过工艺评定的焊工同时取得合格项目的资格的规定, 而这里却没有明确。

对于管壳式换热器其他部分是否需要焊接工艺评定, 与 GB-150 一样, 完全按 JB-4709 “钢制压力容器焊接规程”的要求, JB-4709 关于评定范围的要求与第 VIII 卷第 1 册的要求基本一致。

GB-151 在需要进行焊接工艺评定时, 除了换热管与管板接头的焊接工艺评定外, 按 JB-4708 的规定。

在附录 A “低温管壳式换热器”(指设计温度等于或低于-20°C 的换热器)中, 与 GB-150 一样, 要求对焊缝和热影响区进行冲击试验 (A4.7.2)。

关于焊工（没有“焊机操作工”的概念）资格，与 GB-150 相同。

## 2) 关于焊接要求的比较

在 GB-151 中，凡是没有特别具体指出的，全部按照 GB-150 的要求。因此凡是在前面已经提到过的，不再重复叙述。

(1) 换热管如需要与管板焊接，管端清理长度应不小于管子外径，且不小于 25mm (6.3.1)。

此条要求在第 1 册中已经反映在 UW-32 《待焊表面的清理》中，但没有这么具体。

(下列关于换热管拼接的规定是 GB-151 特别规定的，也是在第 1 册中规定不太具体的，在第 1 册 UW-2 (2) 和 (3) 中也规定了换热管可以拼接，但没有这么具体。只规定了换热管如采用不加填充金属对接焊的，其对接焊缝可以用水压试验代替射线检测。)

(2) 换热管拼接时，应符合以下要求 (6.3.3)：

a) 对接接头应作焊接工艺评定，试件的数量、尺寸和试验方法按 JB-4708 的规定；铝、铜、钛焊接接头可参照执行；

b) 同一根换热管的对接焊缝，直管不得超过一条；U 形管不得超过二条；最短管长不应小于 300mm，包括至少 50mm 直管段的 U 形弯管段范围内不得有拼接焊缝；

c) 管端坡口应采用机械方法加工，焊前应清洗干净；

d) 对口错边量应不超过换热管壁厚的 15%，且不大于 0.5mm；直线偏差以不影响顺利穿管为限；

e) 对接后，应按表 50 选取钢球直径对焊接接头进行通过检查，以钢球通过为合格：

表 50

换热管外径 $d$	$d \leq 25$	$25 < d \leq 40$	$d > 40$
钢球直径	$0.75 d_1$	$0.8 d_1$	$0.85 d_1$

注： $d_1$  = 换热管内径。

f) 对接接头应进行射线检测，抽查数量不少于接头总数的 10%，且不少于一条，以 JB-4730 的 III 级为合格；如有一条不合格时，应加倍抽查；再出现不合格时，应 100% 检查；

g) 对接后的换热管，应逐根进行液压试验，试验压力为设计压力的 2 倍。

(3) 堆焊复合管板 (6.4.3)：

a) 堆焊前应作焊接工艺评定；

b) 基层材料的待堆焊表面和复层材料加工后（钻孔前）的表面，应按 JB-4730 进行表面检测，检测结果不得有裂纹、成排气孔，并应符合 II 级缺陷显示；

c) 不得采用换热管与管板焊接加桥间空隙补焊的方法进行管板堆焊。

(4) 换热管与管板的连接 (6.5)：当采用焊接连接时，焊渣及凸出于换热管内壁的焊瘤均应清除。焊缝缺陷的返修，应清除缺陷后焊补；换热管与管板的强度焊焊接接头，应按附录 B 作焊接工艺评定（这说明如果是密封焊，则不需要按附录 B 作焊接工艺评定）。

(5) 除了换热管与管板间以焊接连接外，其他任何零件均不准与换热管相焊 (6.7)。

上述叙述仅代表本人的理解，可能存在不足之处，甚至错误，欢迎各位批评指正。