

# 核电技术中ASME规范 第IX卷1998版至2010版的对比研究

李哲, 白林, 王宇欣

中国核电工程有限公司 北京 100840

**摘要:** 通过对ASME规范第IX卷1998版至2010版进行对比研究, 分析不同版本内容的差异, 尤其是常用核电焊接方法焊接变量的变化, 对核电项目中焊接技术的应用具有实际指导意义。

**关键词:** 核电项目; ASME规范; 焊接工艺评定; 焊接变量

## 1 序言

ASME规范在我国核电项目上应用广泛, 例如, 在国内引进、消化的三代非能动核电项目AP1000中, 其核岛设备的设计、制造采用的标准均为ASME规范1998版至2000补遗(1998版+1999补遗+2000补遗)。而目前ASME规范公开发行的最新版为2015版, 实施应用的为2010版。另外, 在我国自主研发设计的乏燃料运输和贮存容器设计中, 设计标准也主要采用不同版本的ASME规范。在核电焊接技术中, 焊接工艺评定是焊接质量控制中最复杂、最核心的工作。因此, 对于采用ASME规范设计的项目及设备, 亟需比较ASME第IX卷1998版<sup>[1]</sup>与2010版<sup>[2]</sup>在结构和内容上的差异, 并对差异进行分析研究, 以便后续相关项目的应用。

## 2 ASME规范第IX卷

ASME第IX卷《焊接和钎焊评定标准》规范是对焊接和钎焊工艺、焊工、钎焊工, 以及焊接和钎焊机械操作工的评定标准。该规范分为两大部分: 焊接评定篇(PART QW-WELDING)和钎焊评定篇(PART QB-BRAZING)。其中, “PART QW-WELDING”分为5个章节: 焊接总要求、焊接工艺评定、焊接技能评定、焊接数据及标准焊接工艺规程。在AP1000核电项目中, 焊接工艺评定的制定主要参照焊接评定篇。

ASME第IX卷在焊接评定篇中, 对所评价的每个焊接方法都列出了重要变量、附加重要变量和非重要变量。通常, 焊接工艺规程(WPS)为每个包含在特定工艺规程中的焊接方法列出了所有重要和非重要变量。如果变化1个重要变量, 则要求再次评定工艺。当建造规范对于冲击性能有要求时, 如附加重要变量改变也要求再次评定工艺。ASME第IX卷从1998版修订至2010版, 既有增加的评定, 也有减少的试验, 同时还对不同方法的焊接重要变量及非重要变量有所修订, 这些转变反映了技术上的进步和实际产品制造中的需求。从整体内容来说, ASME第IX卷的主要变化体现在以下4个方面。

- 1) 换热管与管板的试验及评定(QW-193, QW-202.6, 2007版)。
- 2) 回火焊道焊接技术的引入(QW-290, 2004版)。
- 3) 焊接变量的变化。
- 4) 更多母材纳入了规范(QW/QB-422)。

## 3 ASME规范第IX卷版本分析

### 3.1 增加QW-193和QW-202.6: 换热管与管板的试验及评定

ASME从2007版起, 增加了QW-193换热管与管板的试验和QW-202.6换热管与管板的评定, 该部分内容原在第III卷, 目前统一列入第IX卷。换热管与

基金项目: 核电站乏燃料离堆干法贮存工程技术及关键设备研究。

管板的试验主要包括QW-193.1工艺评定试样和QW-193.2技能评定试验。在工艺评定试样的规定中,模拟焊缝应进行外观检测、渗透检测和宏观检测,且必须满足相应的合格标准;技能评定试样是对焊工或焊机操作工的要求,在此不做详细讨论。

QW-202.6中规定,如果不明确要求按QW-193进行换热管与管板的模拟件评定试验,可通过坡口焊缝(QW-202.4)或角焊缝(QW-202.2.c)进行评定。

### 3.2 增加QW-191.2: 超声波检测

在ASME第IX卷第一章中,ASME 2010版在对焊接的一般要求中增加超声波检测,而在2010年之前的版本,只规定了射线检测的方法和合格标准。由于射线检测和超声波检测都属于体积检测,因此在ASME 2010版中,QW-191的标题由之前的射线检测改为体积检测,并将下一级内容扩充为QW-191.1射线检测和QW-191.2超声波检测。

在对超声波检测合格标准的规定中,所有的裂纹、未熔合或未焊透不论长短都认为不合格。长度过 $1/8\text{in}$ (3mm)的显示在以下3种情况下视为不合格。

1) 如果焊缝厚度 $t$ 不超过 $3/8\text{in}$ (10mm),则显示长度为 $1/8\text{in}$ (3mm)。

2) 如果焊缝厚度 $t > 3/8\text{in}$ (10mm),且 $< 21/4\text{in}$ (57mm),则显示长度为 $1/3t$ 。

(3) 如果焊缝厚度 $t > 21/4\text{in}$ (57mm),则显示长度为 $3/4\text{in}$ (19mm)。

超声波检测中产品焊缝上评定的焊机操作工的合格标准与射线检测相同。

### 3.3 增加QW-290: 回火焊道焊接

回火焊道是一类特殊的焊接工艺,已应用于核电站设备制造。在ASME 2010版中,增加“回火焊道焊接”的规则,但该部分规则是从2004版<sup>[3]</sup>开始新增的,见QW-290。其内容为:QW-290.1基本的评定和对已有的WPS进行升级;QW-290.2焊接方法的限制;QW-290.3 回火焊道焊接评定的变量;QW-290.4回火焊道工艺评定的焊接变量;QW-290.5试件准备和试验;QW-290.6焊接过程中的返修焊。

QW-290.4为回火焊道工艺评定的焊接变量表,表中的焊接变量QW-410.10在ASME 2001版<sup>[4]</sup>中已有,QW-410.65为ASME 2007版<sup>[5]</sup>新增,其余焊接变

量均在ASME 2004版中增加。同时,QW-610.61、QW-410.62和QW-610.63在ASME不同版本中还存在一些更改。

(1) QW-410.61 在ASME 2004版中,该焊接变量指从表面回火焊道的边缘到焊脚的近似距离的改变,为非重要变量。ASME 2007则规定表面回火焊道的边缘到焊脚的距离 $S$ 应限于在试件 $\pm 1/16\text{in}$ ( $\pm 1.5\text{mm}$ )的距离上测量,或者 $S$ 的范围可以通过从焊脚开始横过回火焊道不同距离上的硬度变化或冲击试验来确定。不允许回火余高焊道接触焊缝的焊脚。此外,QW-409.29关于热输入的规定应用于回火焊道。与ASME 2004版相比,2007版对这一变量进行了测量说明和限制说明,并由之前的非重要变量调整为硬度试验和冲击试验重要变量。

(2) QW-410.63 在ASME 2004版中,此焊接变量指焊道层搭接的宽度。ASME 2007则规定邻近母材金属的每个回火焊道层的焊缝焊道,其焊道宽度 $b$ ,与原先焊道搭接相关的宽度 $a$ ,应规定于WPS上。搭接率在25%~75%之间时不要求评定。

1) 搭接率 $> 75\%$ 时,应使用期望的搭接率焊接一个试件进行评定。其评定的搭接率最大为评定试件的搭接率,最小为50%。

2) 搭接率 $< 25\%$ 时,应使用期望的搭接率焊接一个试件进行评定。其评定的搭接率最小为评定试件的搭接率,最大为50%。

ASME 2007版将这一焊接变量带来的影响分成3种情况,通过搭接率的大小来决定是否进行评定,以及评定的合格标准,减少了一定的工作量。此变量在ASME 2004中为非重要变量,在ASME 2007中修改为硬度试验和冲击试验重要变量。

(3) QW-410.65 在ASME 2007中增加的QW-410.65指清理表面或除去较小表面缺陷时,打磨的增加或取消,这一焊接变量为硬度试验和冲击试验的重要变量。

### 3.4 3种常见焊接方法焊接变量的变化

焊条电弧焊(SMAW)、埋弧焊(SAW)和钨极惰性气体保护焊(GTAW)是核电焊接中最常见的焊接方法,其焊接变量变化如下。

SMAW: ASME-IX(2010版)相对于ASME-IX(1998版+1999补遗+2000补遗),取消两个重要变量(QW-403.7和QW-403.13),增加一个重要变

量 (QW-410.64), 增加一个补充重要/非重要变量 (QW-410.9)。

SAW: ASME-IX (2010版) 相对于ASME-IX (1998版+1999补遗+2000补遗), 取消两个重要变量(QW-403.7和QW-403.13), 增加一个重要变量 (QW-410.64)。

GTAW: ASME-IX (2010版) 相对于ASME-IX (1998版+1999补遗+2000补遗), 取消两个重要变量 (QW-403.7和QW-403.13), 增加一个重要变量 (QW-410.64), 增加一个非重要变量 (QW-404.50)。

(1) QW-403.7 焊接变量QW-403.7在ASME 2007版中取消, 之前版本中QW-403.7规定, 对于多道焊的SMAW、SAW、GTAW和GMAW, 当评定试件为1.5in (38mm) 或更大时, 覆盖的最大厚度为8in (203mm)。对于评定试件厚度超过8in, 其覆盖的母材厚度范围 $T$ 和焊缝厚度范围 $t$ 为 $1.33t$ 。在QW-451.1的厚度覆盖范围中, 其评定试件厚度的最高一档为1.5in (38mm) 或更大, 规定与QW-403.7一致。

在ASME IX 2007版和2010版中, 重新改写了QW-451.1, 见表1。

表1 QW-451.1

| 焊接试件的厚度 $T$<br>/in     | 母材评定厚度 $T$ 的范围<br>/in |          | 焊缝熔敷金属<br>评定厚度 $t$ 的最大值<br>/in |
|------------------------|-----------------------|----------|--------------------------------|
|                        | Min.                  | Max.     |                                |
| $T < 1/16$             | $T$                   | $2T$     | $2t$                           |
| $1/16 \leq T \leq 3/8$ | 1/16                  | $2T$     | $2t$                           |
| $3/8 < T < 3/4$        | 3/16                  | $2T$     | $2t$                           |
| $3/4 \leq T < 3/2$     | 3/16                  | $2T$     | $2t$ 当 $t < 3/4$ 时             |
|                        |                       |          | $2t$ 当 $t \geq 3/4$ 时          |
| $3/2 \leq T \leq 6$    | 3/16                  | 8 (200)  | $2t$ 当 $t < 3/4$ 时             |
|                        |                       |          | 8 (200) 当 $t \geq 3/4$ 时       |
| $T > 6$                | 3/16                  | 1.33 $T$ | $2t$ 当 $t < 3/4$ 时             |
|                        |                       |          | 1.33 $t$ 当 $t \geq 3/4$ 时      |

注: 1in=25.4mm

在2007版和2010版中, 评定试件增加了1.5~6in (38~150mm), 最高一档为超过6in (150mm), 其覆盖的母材厚度范围 $T$ 和焊缝厚度范围 $t$ 为 $1.33t$ 。可见, 在2007版和2010版中, 关于大厚度的评定试

件的母材和焊缝厚度覆盖范围在QW-451.1中进行了严格和明确的规定, 从而不必保留QW-403.7。

(2) 取消QW-403.13 QW-403.13在ASME 2010版中取消, ASME IX(1998版至2000补遗) QW-403.13规定, 从P-No.5改为另一P-No.5 (例如P-No.5A到P-No.5B或P-No.5C, 或相反), 从P-No.9A改为P-No.9B, 从P-No.10改为另一P-No.10 (例如P-No.10A改为P-No.10B或P-No.10C等, 或相反)。这是一个重要变量。

P-No.5A/5B/5C是不同含量的Cr-Mo耐热钢, P-No.9A/9B是不同合金含量的低温用Ni钢, P-No.10则很复杂, 包括低合金钢(10A、10B)、碳素钢(10C)、双相不锈钢(10H)、高纯高Cr第3代铁素体不锈钢(10I/10J/10H)。

在ASME IX 2010版中, 去除QW-403.13后, 关于P-No.5/9/10内的覆盖范围, 需要符合QW-424的规定, 即评定试验中需要使用同样的P-No. (如同为P-No.5A, 9A, 10I等), 例如和原规定相比, 不允许P-No.9B覆盖P-No.9A。

(3) QW-410.9 QW-410.9在ASME 2001版中增加, 其内容为每一面的多道焊改为单道焊。这一变量对于经历上转变温度以上的PWHT, 或者不锈钢经历固溶热处理时不适用。

在多道焊中, 焊道对与之相邻的已焊接焊道有回火作用, 从而可以提高焊缝的韧性, 而在单道焊中则无此作用。因此, SMAW中增加QW-410.9是完全合理的。实际上, 在ASME IX (1998版至2000补遗) 中, GTAW和SAW都有该要求, 而SMAW缺失, 可能是编辑错误。

(4) 增加QW-410.64 ASME IX (2007版和2010版) QW-410.64规定, 对于P-No.11A和P-No.11B, 厚度 $< 5/8$ in (16mm) 时, 如果产品制造中采用热加工制备坡口, 那么工艺评定中也需要采用热加工手段。上述坡口制备, 包括使用热加工进行背面清根或去除有缺陷的焊缝金属。

使用热加工手段会产生焊接热影响区, 可能会对后续焊接操作产生一定影响。但是为何限定材料牌号为P-No.11A和P-No.11B, 厚度限定在 $5/8$ in (16mm) 以下, 还需要继续研究。但不管原因如何, ASME IX 2010版较1998版至2000补遗在这方面增加了要求是确定无疑的。

# 某直升机空调蒸发器芯体焊接夹具的设计

张毅<sup>1</sup>, 李志刚<sup>2</sup>, 何予东<sup>3</sup>, 张秀文<sup>3</sup>

1. 中铁工程装备集团隧道设备制造有限公司 河南新乡 453000

2. 河南豫氢装备有限公司 河南新乡 453000

3. 中航工业新乡航空工业集团第一三四厂 河南新乡 453000

**摘要:** 通过对某直升机空调产品中蒸发器芯体组件焊接夹具的设计, 对难以保证的焊接角度问题得以巧妙化解, 保证了产品的焊接精度与质量, 为生产效率的提高提供了有力保证。

**关键词:** 蒸发器芯体; 焊接夹具; 底座; 滑移座

## 1 序言

中航工业新乡航空工业集团第一三四厂(以下简称“一三四厂”)是专业生产制造各类军用飞机空调器产品的企业。在空调器产品中其两器芯体(蒸发器芯体和冷凝器芯体)对整个产品的作用非常重要, 在生产中常需设计一些工装或夹具等, 以保证芯体的生产制造质量和精度。由于工装或夹

具的设计制造质量直接映射到产品的总成质量和精度<sup>[1]</sup>, 因此工装夹具的设计至关重要。本文就某直升机空调中的蒸发器芯体的组焊焊接夹具的设计过程, 做一简要介绍。

## 2 蒸发器芯体

蒸发器芯体如图1所示。由图1可知, 该蒸发器芯体由蒸发器裸芯体和进出管组件经组焊焊接而

## 4 结果分析与讨论

ASME 第IX卷《焊接和钎焊评定标准》从1998版到2010版, 每次的修订都有增加项和取消项, 在内容上增加了回火焊道焊接、换热与管板的试验以及一些焊接变量和检测方法等, 对每种焊接方法的焊接变量做了局部的调整, 将重复的要求进行了精简, 并细化了某些焊接评定工艺等。通过对这些变化的分析, 可以看出, 2010版与1998版相比具有以下特点:

1) 2010版与1998版对应的部分无本质差异, 其技术内容具有稳定性和继承性。

2) 增加了一些反映技术进步的新内容, 例如回火焊道技术。

3) 增加了一些反映现场应用需求的新内容, 例如更多的材料被纳入。

4) 修正了部分错误, 例如QW-253中增加QW-410.9作为补充重要变量。

## 参考文献:

- [1] ASME锅炉压力容器委员会.ASME 锅炉及压力容器规范(1998版+1999补遗+2000补遗)第IX卷《焊接和钎焊评定标准》[S].美国:美国机械工程师学会, 2000.
- [2] ASME锅炉压力容器委员会.ASME 锅炉及压力容器规范(2010版)第IX卷《焊接和钎焊评定标准》[S].美国:美国机械工程师学会, 2010.
- [3] ASME锅炉压力容器委员会.ASME 锅炉及压力容器规范(2004版)第IX卷《焊接和钎焊评定标准》[S].美国:美国机械工程师学会, 2004.
- [4] ASME锅炉压力容器委员会.ASME 锅炉及压力容器规范(2001版)第IX卷《焊接和钎焊评定标准》[S].美国:美国机械工程师学会, 2001.
- [5] ASME锅炉压力容器委员会.ASME 锅炉及压力容器规范(2007版)第IX卷《焊接和钎焊评定标准》[S].美国:美国机械工程师学会, 2007.

MW 20201124