

立式 C 型管束热交换器制造工艺分析

魏利 魏占超

(哈电集团(秦皇岛)重型装备有限公司 河北 秦皇岛 066206)

摘要: 本文介绍了一种立式 C 型管束热交换器的制造工艺, 阐述了支撑框架组件制造、管子管板装焊、管子管板胀接、管板与筒体装配、管束组件与三通卧式组装、清洁控制等关键制造工艺的难点及解决方案, 为类似结构的 C 型管束热交换器制造工艺和质量改进提供了借鉴。

关键词: C 型管束; 热交换器; 制造工艺

0 引言

该 C 型管束热交换器是非能动安全壳热量导出系统(PCS 系统)的重要设备之一, 安装在安全壳内。它的主要功能是: 热交换器内的水和安全壳内的高温空气通过冷凝、对流和辐射传热进行能量交换, 然后依靠热交换器与外部水箱的高度差和水温变化的密度差来形成自然循环, 从而实现把安全壳内的热量连续不断地传递到安全壳外的目的, 整个运行过程是非能动的, 不需要外接干预。

该 C 型管束热交换器由上下联箱和传热管组成, 安装在支撑框架上。上下联箱分别由 2 个半圆形筒体、2 个半圆形管板、2 个球形封头和 1 个三通焊接组成, 上下联箱上装有 3 个滑动支座和 1 个固定支座, 滑动支座通过底板由螺栓固定在支撑框架上, 固定支座焊接在支撑框架上。传热管通过胀接、焊接的方式与上下联箱进行连接。

1 热交换器结构特点和主要工艺特点

1.1 结构特点

该 C 型管束热交换器承压筒体、管板、封头、传热管的材质均为 022Cr19Ni10 奥氏体不锈钢, 内部流体为除盐水, 设计温度 190℃, 设计压力 0.9MPa。管板外形为弧状, 长而且薄, 共 66 个管板孔, 管孔直径为 $\phi 38.4 \pm 0.2\text{mm}$, 分两排呈正三角形布置。传热管规格为 $\phi 38 \times 2\text{mm}$, 里外两层共 132 根。

支撑框架组件由 H 型钢组焊而成, 材质为 Q355B, 可分为上平台、下平台和中间支撑梁。

1.2 主要工艺特点

管板为不锈钢材质, 长度为 2000mm, 最大厚度为 30mm, 刚性较差; 且传热管较长(长、短传热管长度分别为 5100mm 和 5000mm), 直径、壁厚较大, 管端柔性小, 导致管子管板装配、管板与筒体装配、管束与支撑框架组装存在困难。

支撑框架组件中上平台和下平台的 H 型钢之间为插

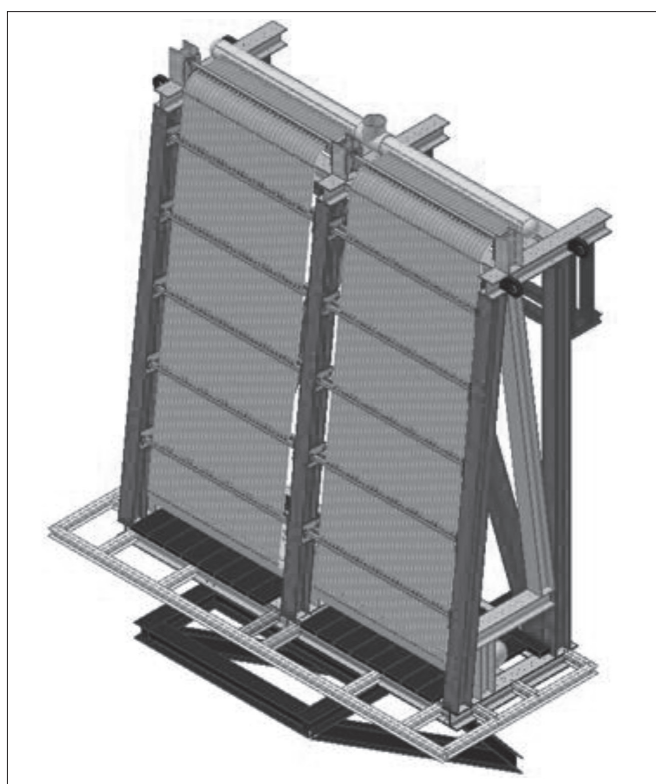


图 1 热交换器外形结构示意图

入式单 V 坡口连接结构, 焊接易变形。

针对这些工艺特点, 以下做详细介绍并给出解决措施。

2 关键工艺难点及控制措施

2.1 支撑框架组件制造

2.1.1 工艺技术难点

支撑框架组件由 H 型钢组焊而成, 材质为 Q355B, 焊接结构如图 2 所示, 焊接易变形, 且工件单薄, 起吊、翻身也易变形。

2.1.2 工艺措施

支撑框架组件中 H 型钢在装焊平台上插入装配后, 按图 2 所示焊接顺序, 优先焊接角焊缝, 先按 (1)(2)(3)

(4) 顺序焊接详图 I 中①, 再按 (1)(2)(3)(4) 顺序焊接详图 I 中②③; 角焊缝焊接完成后, 焊接坡口焊缝, (5)(6) 焊接一半, 翻身, 焊妥 (7)(8), 再焊妥 (5)(6)。通过此焊接顺序有效控制了焊接变形, 同时减少了单 V 坡口根部成型缺陷。

2.2 管子管板装焊

2.2.1 工艺技术难点

联箱管板为不锈钢材质, 长条结构, 刚性较差。为满足后续管板与筒体装配间隙, 在管板孔加工、管子管板装配、管子管板焊接时, 必须保证管板平面度。

2.2.2 工艺技术措施

设计专用工装, 对管板进行装卡固定, 采用龙门铣床或镗铣床加工管板孔, 先预钻 $\phi 25\sim 30\text{mm}$ 底孔, 再分多次镗加工至 $\phi 38.4\pm 0.2\text{mm}$, 保证管板孔的尺寸精度, 根据孔加工后管板变形情况进行校正, 保证管板平面度。

制作管束装配工装, 如图 3 所示, 实现传热管与管板的装配、焊接、胀接及起吊。通过此工装, 将管板与平台垂直刚性固定, 保证两管板间管孔间距, 由下往上依次进行管子管板装配、点焊固定。

管子—管板焊缝焊接时, 采用两排交替、间隔焊接

的方式, 即每焊接完一个管孔后, 焊接另一排且间隔 4~5 个管孔进行焊接; 每条管子—管板焊缝需经过自熔—填丝—填丝三道焊接工序, 为了控制焊缝焊接时的道间温度, 在完成所有焊缝自熔焊接后, 对管板焊缝表面进行整体清理, 随后进行所有管子—管板焊缝的首层填丝工艺; 待所有管孔完成首层填丝后, 再逐个进行第二遍填丝工艺。

2.3 管子管板胀接

2.3.1 工艺技术难点

管子管板胀接结构如图 4 所示, 管板薄、管子直径大、胀接长度小, 壳侧为弧面, 壳侧未胀合长度 2~5mm, 尺寸不易控制。胀接操作不得划伤管子内表面, 胀接后管子壁厚减薄量为 0.05~0.1mm, 胀接技术要求严格。

2.3.2 工艺技术措施

由于胀接长度小, 采用机械胀接方式进行管子管板胀接, 胀接效果好, 且未胀合长度容易控制。通过工艺试验优选胀接工艺参数。开展胀接工艺评定, 验证工艺参数的可靠性和稳定性, 评定合格后应用于产品胀接。实施产品胀接前编制胀接专项规程, 并针对操作人员开展专项技能培训, 经过理论和实践考试合格方可进行产

品胀接操作。胀接前用不起毛白布蘸丙酮或其他清洁剂擦拭管子内表面胀接区域及胀接工具, 保证无灰尘、浮锈等; 胀接时设置班前样, 每班次开始胀接前在班前样上进行胀接, 合格后再进行产品胀接。胀接过程中对胀接区域进行标记, 避免漏胀、过胀。

2.4 管板与筒体装配

2.4.1 工艺技术难点

筒体原材料为薄壁不锈钢无缝钢管, 机械加工豁口及纵缝坡口易变形且制造周期长, 因此采用砂轮片切割、打磨的方法加工筒体豁口及纵缝坡口。由于筒体本身存在内应力, 加工豁口后应力释放, 豁口开档实际尺寸与理论尺寸存在偏差, 无法直接与管板装配。而且筒体长度为 2000mm, 为满足筒体与管板纵缝装配间隙要求, 必须保证纵缝坡口的直线度。

2.4.2 工艺技术措施

加工筒体纵缝坡口前, 精确划出坡口位置线及参考线, 保证筒体纵缝坡口的加工精度。制作筒体开档调整工装, 其结构如图 5 所示, 筒体与管板纵缝装配时, 通过工装调节筒体开

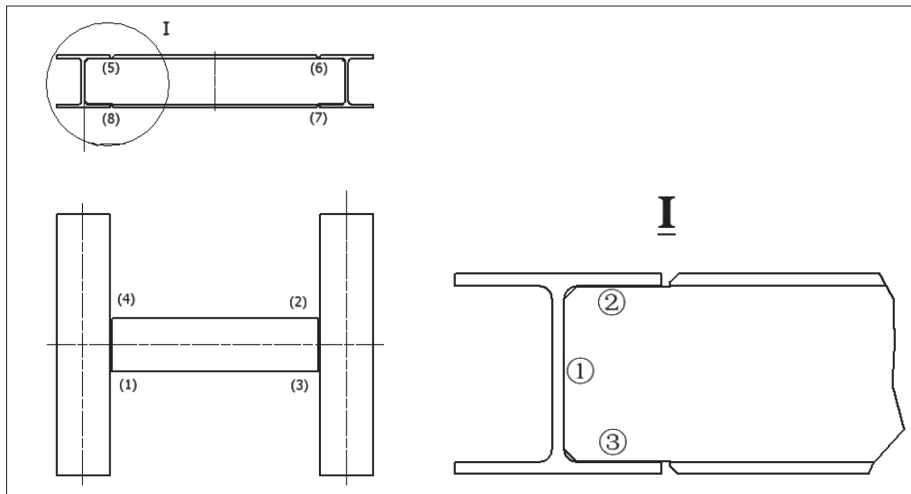


图 2 H 型钢焊接结构及焊接顺序

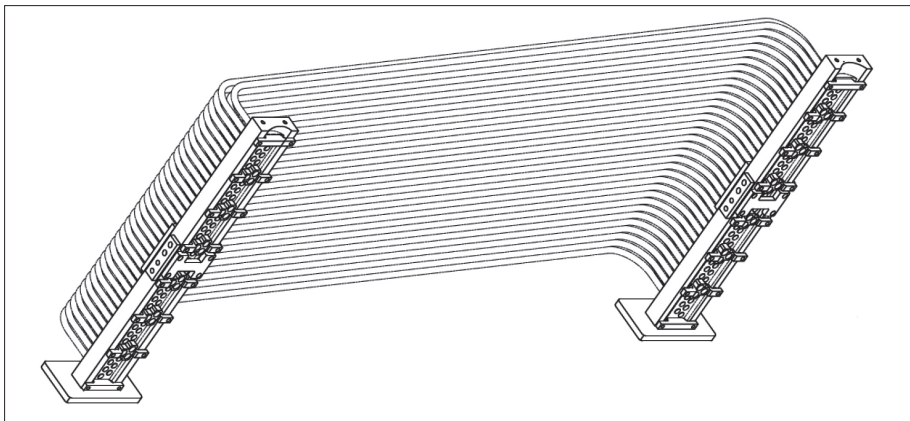


图 3 管束装配工装

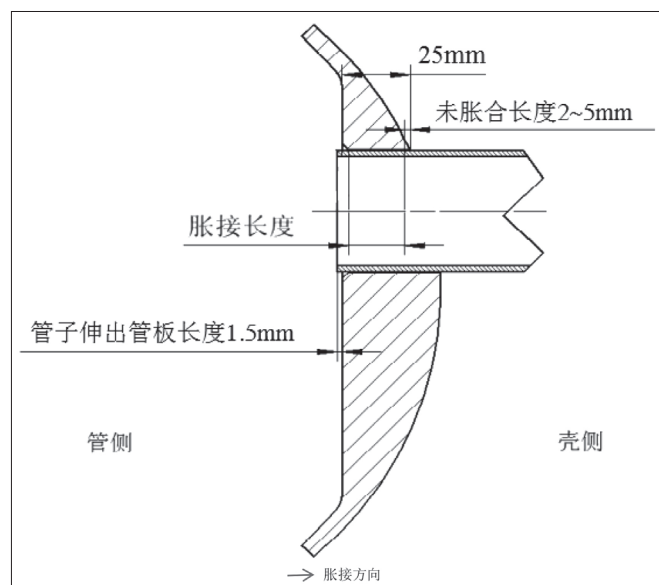


图4 管子管板胀接结构示意图

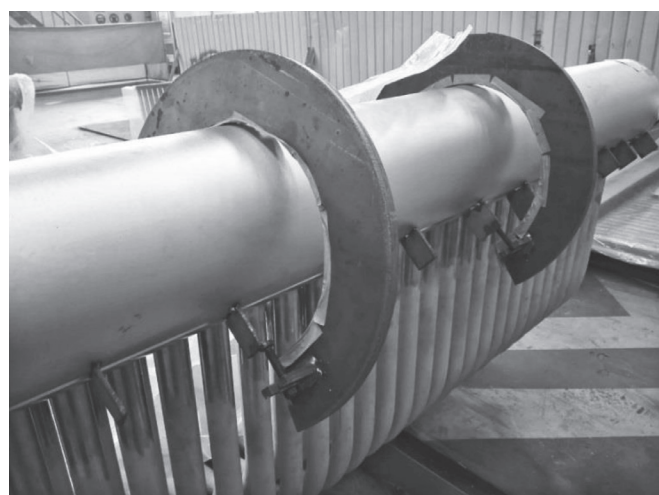


图5 筒体开档调整工装

口尺寸，满足与管板装配尺寸要求。

2.5 管束组件与三通的卧式组装

2.5.1 工艺技术难点

受支撑框架组件结构限制，左、右管束组件需先置于支撑框架组件后，再与三通装焊；由于操作空间狭小，且管束组件较重，为实现左、右筒体与三通同轴，并满足与三通装配间隙要求，需借助工装调整左、右管束组件位置。

2.5.2 工艺技术措施

制作可移动升降工装，其结构如图6所示，左、右管束组件就位后固定在工装上，通过工装调整左、右管束组件水平移动、上下升降，实现左、右管束组件与三通同轴，并满足与三通装配间隙要求。

2.6 清洁控制

2.6.1 工艺技术难点

该C型管束热交换器清洁度等级为A22级，要求

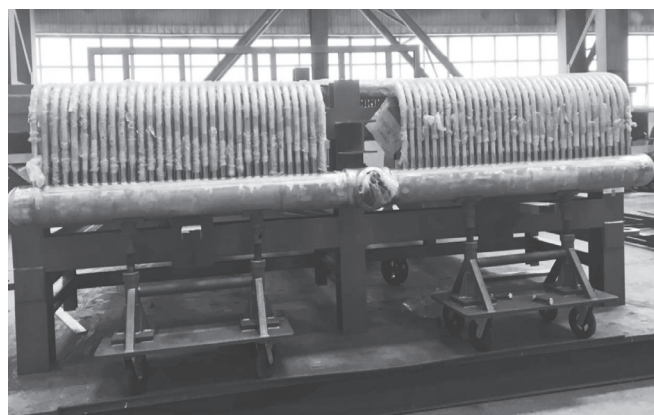


图6 管束组件移动升降工装

在Ⅱ级工作区进行制造。需满足如下要求：实体隔离出工作区的范围，进入工作区的人员要穿干净的工作服、干净的工作鞋（或鞋套），禁止吸烟、进食和便溺等，地板须有光滑涂层，墙壁和天花板应保证不起尘。在工作区内，防止灰尘进入已清洁、正在清洁和待清洁的产品中，并每日清扫地板。

2.6.2 工艺技术措施

针对热交换器搭建Ⅱ级工作区，制造过程进行清洁防护。编制专项的清洁工艺规程，规定产品制造阶段的清洁要求、清洁方法、验收准则。明确与奥氏体不锈钢零部件接触的工具、工装材质要求，有害元素要求，进行防污染控制。热交换器在车间存放期间，所有开孔使用核级胶带或符合清洁要求的临时性封盖进行密封，防止异物进入。

3 结语

针对某型号C型管束热交换器的结构特点，识别、分析了关键制造工艺，并从方案设计、专用工具开发、工艺过程控制等方面采取措施，解决了诸如支撑框架组件制造、管子管板装焊、管子管板胀接、管板与筒体装配、管束组件与三通卧式组装、清洁控制等工艺难题。为类似结构C型管束热交换器制造工艺和质量改进提供借鉴和参考。

参考文献：

- [1] 李伟龙，那振宇．自主核电技术PCS热交换器的制造质量控制与实践[J]．科学技术创新，2020(28)，14-15.
- [2] 王新红，窦炳程，杜国珠，刘慧娟．ACP1000压水堆PCS热交换器制造技术研究[J]．锅炉制造，2019(05)，32-34.

作者简介：魏利（1987.08-），男，汉族，河北秦皇岛人，研究生（工学硕士），工程师，研究方向：重型装备工艺技术开发。