

团体标准

T/CMIF XXXX—XXXX

# 管壳式热交换器焊接管头制造技术规范

Technical specifications for manufacturing welded tube-tubesheet joint of shell-and-tube heat exchangers

（征求意见稿）

（本草案完成时间：2021-12）

在提交反馈意见时，请将您知道的相关专利连同支持性文件一并附上。

XXXX - XX - XX 发布

XXXX - XX - XX 实施

中国机械工业联合会 发布

## 目 次

前 言 .....	III
引 言 .....	IV
1 范围 .....	5
2 规范性引用文件 .....	5
3 术语和定义 .....	5
4 材料 .....	5
5 结构 .....	5
6 总则 .....	5
6.1 结构 .....	5
6.2 焊接方法选择原则 .....	6
7 材料复验 .....	6
7.1 材料质量检查 .....	6
7.2 材料复验 .....	6
8 加工成形与组装 .....	6
8.1 换热管 .....	6
8.2 管板 .....	7
8.3 组装与检查 .....	7
9 焊接 .....	7
9.1 焊接工艺评定和焊接操作考试 .....	7
9.2 管头焊接工艺规程 .....	7
10 胀接 .....	8
10.1 胀接工艺评定 .....	8
10.2 胀前准备 .....	9
10.3 胀接 .....	9
11 焊后热处理（需要时） .....	9
11.1 焊后热处理条件 .....	9
11.2 热处理 .....	10
11.3 焊后热处理规范参数 .....	10
11.4 焊后热处理材料 .....	10
11.5 技术准备 .....	10
11.6 测温和隔热要求 .....	11
11.7 热处理后检验 .....	11
11.8 焊后热处理报告 .....	11
12 检验与验收 .....	11
12.1 焊缝尺寸、外观检查 .....	11
12.2 射线检测 .....	12

12.3 表面检测 .....	13
12.4 气体泄漏试验 .....	13
13 质量记录 .....	13
13.1 记录要求 .....	13
13.2 记录内容 .....	13
13.3 记录样式 .....	13
附 录 A (规范性) 管子与管板焊接接头工艺评定 .....	14
A.1 评定规则 .....	14
A.2 评定覆盖范围 .....	14
A.3 评定方法 .....	14
A.4 评定试件的形式与尺寸 .....	14
A.5 评定试件的检测检验要求与结果评定 .....	15
附 录 B (规范性) 换热管与管板焊接接头焊接操作考试 .....	16
B.1 操作考试适用范围 .....	16
B.2 操作考试规定 .....	16
B.3 操作考试方法 .....	16
B.4 操作考试试件要求 .....	17
B.5 操作考试施焊要求 .....	17
B.6 考试试件的检测检验要求与结果评定 .....	17
B.7 焊前操作练习 .....	18
附 录 C (资料性) 胀接工艺评定 .....	19
C.1 评定目的 .....	19
C.2 适用范围 .....	19
C.3 评定规则 .....	19
C.4 评定方法 .....	19
附 录 D (资料性附录) 换热管与管板焊接接头制造质量控制记录 .....	22

## 前 言

本文件按照GB/T 1.1—2020《标准化工作导则 第1部分：标准化文件的结构和起草规则》的规定起草。

请注意本文件的某些内容可能涉及专利。本文件的发布机构不承担识别专利的责任。

本文件由中国机械工业联合会提出并归口。

本文件起草单位：甘肃蓝科石化高新装备股份有限公司、中国机械工业联合会、哈尔滨焊接研究院有限公司、哈尔滨空调股份有限公司、上海蓝滨石化设备有限责任公司、中国石油大学。

本文件主要起草人：。

本文件是首次发布。

## 引 言

近年来，我国制造业技术质量水平快速提升，检测技术及方法的快速发展对产品质量保证提供了强有力支撑。管壳式热交换器作为过程工业中使用量大面广的承压设备，提高其管头焊接质量稳定性，保障产品在使用阶段长周期稳定运行，成为行业共性质量提升需求。GB/T151-2014《热交换器》中关于换热管与管板焊接接头质量仅局限于质量要求层面，制造过程的技术质量控制措施缺少系统性、规范性成文规定。

本文件依托工信部产业技术基础公共服务能力提升和行业质量共性技术推广项目制定，规范了焊接管头质量要求及其技术质量控制措施，保证与提升管壳式热交换器换热管与管板焊接连接质量，推动行业高质量发展。

本文件不限制业界同行探寻使用新技术、新方法和新装备的可能性。使用先进方法时建议作出可靠的判断，确保其满足产品安全可靠和产品质量验收的基本要求。

# 管壳式热交换器焊接管头制造技术规范

## 1 范围

1.1 本文件规定了管壳式热交换器焊接管头的机械加工、组装、焊接、热处理、无损检测和压力试验的要求与规定。

1.2 本文件适用于材料为碳素钢、低合金钢和奥氏体不锈钢的管壳式热交换器焊接管头的制造、检验和验收。

## 2 规范性引用文件

下列文件中的内容通过文中的规范性引用而构成本文件必不可少的条款。其中，注日期的引用文件，仅该日期对应的版本适用于本文件；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/T 151-2014 热交换器
- GB/T 30583-2014 承压设备焊后热处理规程
- NB/T 47013-2015 承压设备无损检测
- NB/T 47014-2011 焊接工艺评定
- NB/T 47015-2011 压力容器焊接规程
- NB/T 47018-2017 承压设备用焊接材料订货技术条件

## 3 术语和定义

GB/T 151及NB/T 47014界定的以及下列术语和定义适用于本文件。

### 3.1

**管头 welded tube-tubesheet joint**

换热管与管板之间的焊接连接，其作用是满足换热管轴向机械和温差载荷设计要求并保证密封性能的焊接连接。

### 3.2

**焊接工艺评定 welding procedure qualification**

为验证所拟定的焊接工艺的正确性而进行的试验过程及结果评价。

## 4 材料

本文件适用于碳素钢、低合金钢及奥氏体不锈钢材质制造的管壳式热交换器。

## 5 结构

本文件适用于换热管与管板之间在管板管程侧形成焊接连接接头的管头结构。适用的焊接管头为：GB/T151-2014 图6-19、图6-21和附录H的连接结构。

## 6 总则

### 6.1 结构

6.1.1 设计文件中给定的焊接管头结构应当符合 GB/T151 的规定。如与 GB/T151 图 6-19、图 6-21 和附录 H 给出的结构不一致，制造应当进行技术评审，确定焊接工艺评定和焊接规程的技术路线及技术方

案。

6.1.2 如需变更设计文件中给定的焊接管头结构，应当获得原设计的书面确认同意。

6.1.3 本文件附录 A 给出常见结构的选择使用原则，凡是标记星号者，应当通过澄清，取得需方和设计方的认可。

## 6.2 焊接方法选择原则

换热管与管板焊接应选用钨极氩弧焊，优先使用数控脉冲自动氩弧焊；当换热管与管板焊缝坡口深度大于3mm时，推荐选用手工钨极氩弧焊打底。

## 7 材料复验

### 7.1 材料质量检查

7.1.1 加工、组装之前，应当查验换热管和管板的材料质量证明书；无质量证明书或不合格的材料不得用于产品制造。

7.1.2 当设计文件要求焊接材料进行复验或制造对焊接材料性能有怀疑时，应对焊接材料按 NB/T 47018 的相关要求进行复验。

### 7.2 材料复验

7.2.1 有下列情况之一时应对换热管的材料进行复验：

- a) 设计压力高于 10MPa；
- b) 设计温度高于 450℃；
- c) 材料为 15CrMo、12Cr2Mo1、1Cr5Mo、12Cr1MoVG、08Cr2AlMo 和 09CrCuSb；
- d) 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换热管；
- e) 设计文件要求进行复验的换热管。

7.2.2 有下列情况之一时应对管板的材料进行复验：

- a) 设计压力高于 10MPa；
- b) 设计温度超过 450℃；
- c) 材料为 15CrMo、14Cr1Mo、12Cr2Mo1、12Cr1MoV 和 12Cr2MoV；
- d) 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管板；
- e) 设计文件要求进行复验的管板。

## 8 加工成形与组装

### 8.1 换热管

#### 8.1.1 尺寸检查

8.1.1.1 换热管的外径、壁厚和长度尺寸及偏差应符合 GB/T151 和设计文件的规定。

8.1.1.2 组装前应对每台热交换器使用的换热管进行尺寸复查，检查比例为 200 根为一组抽检一根，单根换热管管端复查 3 个截面的外径和壁厚尺寸；检查结果不合格时，应当加倍检查；仍不合格时，应当报废或降级使用。

#### 8.1.2 管端清理

8.1.2.1 碳素钢和低合金钢换热管端外表面应除锈至呈金属光泽，高合金钢换热管管端应清除表面附着物及氧化皮。

8.1.2.2 清理后的换热管管端表面应采用白布检查，不得发现可见杂质。

8.1.2.3 清理长度应符合下列规定：

- a) 对单一的焊接管头，管端清理长度应不小于换热管外径且不小 25mm；
- b) 对焊胀并用的管头，管端清理长度应不小于胀接长度且不得影响胀接质量；
- c) 对于双管板换热器，管端清理长度应不小于 2 倍的隔离腔加前后管板总厚度。

## 8.2 管板

### 8.2.1 管板管孔尺寸及偏差

8.2.1.1 使用相应规格的通规止规工具，按照 GB/T 151-2014 的 8.4.4 要求对管板管孔的直径进行检查并记录。发现不合格，应当降级使用或报废。

8.2.1.2 按照 GB/T151-2014 8.4.6 要求对管板管孔的表面粗糙度进行检查并记录。发现不合格，应当降级使用或报废。

### 8.2.2 管板管孔焊缝坡口尺寸

8.2.2.1 随机抽取 10%的管孔，使用焊检尺，检查管孔的坡口形状与尺寸，发现不合格，应当返工加工。

8.2.2.2 管板管孔坡口表面，内表面应光滑平整，不得存在分层及凹坑等缺陷，管孔机加工后的毛刺应去除干净。

### 8.2.3 管板孔桥尺寸及偏差

使用游标卡尺，按照GB/T151-2014 8.4.5或设计文件要求，对管板管孔的直径进行检查并记录。发现不合格，应当降级使用或报废。

## 8.3 组装与检查

8.3.1 换热管穿入管板管孔前，应对管板管孔内壁、管孔坡口表面和换热管管端表面进行彻底的清理，清理要求如下：

- a) 采用橡胶水或清洗剂彻底清洗管板管孔内壁表面和管孔坡口表面的油污等杂质，如管孔内壁和坡口表面有浮锈等杂质，应采用不锈钢丝刷或不锈钢抛光砂轮打磨清除，直至表面完全呈现金属光泽；
- b) 确认换热管端部表面干净并呈现金属光泽。

8.3.2 厚度大于 160mm 的管板或换热管直径大于 38mm 的换热管，组装前应当采用实用换热管随机试穿管板的管孔。试穿管孔数量不得少于 10%。

8.3.3 换热管组装完毕后焊接前，应按照设计文件的要求检查确定换热管的伸出长度。

## 9 焊接

### 9.1 焊接工艺评定和焊接操作考试

9.1.1 换热管与管板之间焊接接头，在焊接前均应按要求进行焊接工艺评定。工艺评定的规则按附录 A。

9.1.2 换热管与管板之间焊接接头，在焊接前均应进行焊接操作考试，操作考试要求见附录 B。

### 9.2 管头焊接工艺规程

#### 9.2.1 施焊环境

9.2.1.1 换热管与管板产品焊接环境应当干净清洁，环境气温适中。

9.2.1.2 不锈钢产品应在与碳钢材料生产环境隔离的洁净场地进行焊接，应杜绝产生铁离子污染。施焊环境出现下列任一情况时，应采取搭设防风防雨棚、预热或其他有效防护措施，否则禁止施焊：

- a) 风速大于 1m/s；
- b) 相对湿度大于 60%；
- c) 雨雪环境；
- d) 焊件温度低于-20℃。



9.2.1.3 其他材料焊接出现下列任一情况时，应采取搭设防风防雨棚、预热或其他有效防护措施，否则禁止施焊：

- a) 风速大于 2m/s；
- b) 相对湿度大于 90%；
- c) 雨雪环境；
- d) 焊件温度低于-20℃。

## 9.2.2 焊前检验

9.2.2.1 正式焊接前应复查换热管伸出管板端面的长度；换热管伸出管板端面长度尺寸应符合设计图纸和工艺文件的要求，其尺寸偏差应 $\leq \pm 0.5\text{mm}$ ；不符合要求时可拒绝施焊。

9.2.2.2 管孔坡口和换热管端，以及换热管与管孔间隙部位均应干燥、洁净、无污染、无表面锈蚀且呈现金属光泽；不符合要求时可拒绝施焊。

## 9.2.3 焊前预热

9.2.3.1 下列情况应对换热管与管板的焊接管头进行焊前预热：

- a) 施焊环境温度低于-20℃；
- b) 材料为：15CrMo、14Cr1Mo、12Cr2Mo1、1Cr5Mo 和 12Cr1MoVG。

9.2.3.2 预热时可采用电加热带或火焰加热，采用火焰加热应控制火焰大小不得将接头表面氧化形成二次污染。

## 9.2.4 定位焊

9.2.4.1 焊前预热等准备工作完成后，应对所有换热管与管板接头进行定位焊。

9.2.4.2 定位焊应采用手工钨极氩弧焊且应填丝焊，不应采用自熔焊。

9.2.4.3 定位焊时应从管板金属引弧，不应在换热管上引弧，以避免烧穿换热管壁。

9.2.4.4 定位焊应具备合格的焊接工艺支持。

## 9.2.5 焊接过程

9.2.5.1 按照焊接工艺规程、焊接工艺卡的要求，应使用工艺卡选定的焊接设备并确定焊接设备完好，确认焊接参数正确。

9.2.5.2 按照焊接工艺卡准备好焊接材料。

9.2.5.3 管头焊接时应至少要焊接两层。换热管与管板为同类材料时，第一层焊接可使用自熔焊，否则不应使用自熔焊。第一层以外各层焊道焊接应采用填丝焊。

9.2.5.4 每一层焊道收弧处要重叠覆盖起弧处，其重叠焊缝长度应大于等于 2 倍焊缝宽度。每一层焊缝都应由后层焊缝完全覆盖；

9.2.5.5 每一层焊缝焊后焊工都应进行自检，对焊缝外观进行目视检查，焊缝表面不得有裂纹、咬边、凹坑、未熔合、夹渣、夹钨、气孔、焊瘤和未焊透等缺陷。自检应采用照片予以记录。

9.2.5.6 当采用手工钨极氩弧焊时，要保证熔池可见度好，不应采用立向下焊，而采用立向上焊；当焊接不锈钢换热管与管板接头时，每一层焊缝焊接时应做适度摆动。

9.2.5.7 当采用自动钨极氩弧焊时，根据换热管直径与壁厚选择相应的定位头，通过定位杆找准焊接中心轴。焊接工艺参数结合焊件材料和结构确定，每一层焊缝沿圆周划分为 8 个区域，确定每一区域适合的规范参数并编入程序，按预设程序进行自动焊接。整个焊接工作过程的顺序应当为：开机、送气、高频引弧、电弧预热焊件、焊炬旋转、自动焊接、焊接电流开始衰减、焊炬继续旋转重叠焊接起弧处，然后熄弧和停止送气，应保证起弧与收弧点错开。

## 10 胀接

### 10.1 胀接工艺评定

换热管与管板焊接接头中的胀接连接应当使用评定合格的胀接工艺评定。胀接工艺评定可按照附录C的规则进行。

## 10.2 胀前准备

### 10.2.1 换热管检查

依据设计文件和相关换热管标准，抽取20%换热管数量，在换热管胀接区域检查换热管的外径和壁厚偏差符合要求。

对材料为双相不锈钢的换热管应进行加工性能复验，复验项目包括：硬度、压扁和扩口试验等。

### 10.2.2 管板管孔检查

对管板进行硬度检测，确保管板的硬度高于换热管20~30HB。否则应单独实验确定合适的胀接工艺。

### 10.2.3 管孔清理

胀接操作前，换热管内壁需要进行吹扫，清理干净杂物，对于存在浮锈的换热管内壁，使用钢丝刷进行清理。

### 10.2.4 准确定位

调整好胀头限位，保证胀接区域符合图纸要求。

### 10.2.5 胀接参数设定

根据胀接评定所确定参数，设定胀管机参数。

## 10.3 胀接

### 10.3.1 试胀

10.3.1.1 批量胀接前，应在产品上进行试胀。应使用确定的胀接设备，执行指定的胀接工艺进行试胀。

10.3.1.2 使用内径百分表测量换热管胀后内径扩大量，依据管束穿管前测得的管孔内径均值及换热管外径均值计算胀管率，胀管率应符合设计文件或 GB/T151 中的要求。若胀管率在标准值外，则需要相应调节胀接参数，使其符合要求。

注：此步骤实际为产品实物与评定存在偏差的校准，是不可缺少的。评定试验时换热管与产品实物一致，但管板试件会存在材料性能及管孔加工尺寸方面的偏差。

### 10.3.2 胀接

10.3.2.1 胀接应使用确定的胀接设备、胀接工艺和胀接参数。

10.3.2.2 对于不能一次完成全长度胀接的管头，可以采取分段胀接。对已完成焊接的管头，需由外向内逐段进行胀接。重叠胀接长度不宜超过 1/2 单段胀接长度。

### 10.3.3 质量检查

10.3.3.1 换热管胀后应检查胀接质量，以抽检形式进行。抽检比例 2%且不少于 20 个管头。

10.3.3.2 检查并记录换热管胀后内径扩大量，并根据管孔内径均值及换热管外径均值计算胀度，并成文记录。

### 10.3.4 补胀

发现胀度不合格时，应当进行补胀。补胀时需适当逐级提高胀接参数，若经过两次补胀，换热管胀后内径扩大量无明显变化时，应停止补胀，无须再补胀。

## 11 焊后热处理（需要时）

### 11.1 焊后热处理条件

设计文件或图样有热处理要求时，应按照设计文件或图样要求进行热处理。  
标准和规范规定特定材料类别必须进行焊后热处理时应热处理。

## 11.2 热处理

### 11.2.1 热处理方法的选择原则

热处理方法分为炉外局部热处理或炉内整体热处理；选择原则如下：

- a) 壳体与管板的环向接头也需要热处理的固定管板式热交换器，优先推荐采用整体热处理；
- b) 其余情况，应选择炉外局部热处理。

### 11.2.2 局部热处理规范

换热管与管板接头炉外局部焊后热处理，参照GB/T 30583-2014的4.3.3条执行，并符合以下要求：

- a) 局部热处理时加热带宽度范围应保证整个管板面加热均匀；
- b) 测温点应不少于4个，每个象限至少1个。

### 11.2.3 管板与筒体连为一体结构局部热处理

管板与筒体连为一体结构，允许管束连同部分筒体入炉局部热处理，管头焊缝可采用入炉整体热处理，并符合以下要求：

- a) 管头焊缝入炉热处理前应模拟试件进行验证性试验；
- b) 根据管束和筒体之间连接结构，设计防变形工装，防止热处理过程中管束和筒体的变形；
- c) 局部入炉时，管束和筒体在炉外的部分应充分做好保温措施，防止产生较大温度梯度，并产生不利影响；
- d) 对于有延迟裂纹倾向的材料（如压力容器常用到的15CrMo、14Cr1Mo、12Cr2Mo1、1Cr5Mo或12Cr1MoVG等材料）推荐采用入炉热处理方式，其余材料可采取局部热处理方式。

## 11.3 焊后热处理规范参数

换热管与管板接头焊后热处理规范参数（热处理工艺、热电偶布置、数量和曲线等）按照设计文件及GB/T 30583-2014的4.4条要求执行。

## 11.4 焊后热处理材料

焊后热处理设备、仪表、测温用品及绝热材料，应符合GB/T 30583-2014的第5条的规定。

## 11.5 技术准备

### 11.5.1 换热管与管板接头焊后热处理工艺规程应包括但不限于以下内容：

- a) 所依据标准、合同或技术文件规定的要求；
- b) 换热管和管板的结构形式、尺寸、材料和厚度等；
- c) 焊后热处理热工计算；
- d) 管束和壳体热变形预防及控制措施；
- e) 焊后热处理方式与方法；
- f) 焊后热处理规范参数：焊后热处理厚度 $\delta$  PWHT、入炉（通电）温度、升温速度、保温温度、保温时间、降温速度和出炉（断电）温度；
- g) 隔热方法、绝热材料及其铺设包裹方法；
- h) 热处理炉或加热器的布置、名称、规格及数量；
- i) 测温仪表的名称、型号及数量；
- j) 测温点位置和数量，测温仪表与管头连接方法；
- k) 工艺程序及技术要求；
- l) 冷却方式；
- m) 实施焊后热处理的单位及责任人。

### 11.5.2 拆除管束上与焊后热处理无关的非永久连接件。

- 11.5.3 管板的密封面和螺栓孔等精加工表面，应采取有效措施，防止高温氧化。
- 11.5.4 采取炉外局部热处理时，加热设备应具有足够的功率储备。
- 11.5.5 管束应按照制造（安装）工序的要求，完成各项检验且检测都合格，在耐压试验前进行焊后热处理。

## 11.6 测温和隔热要求

- 11.6.1 直径大于 500mm 的管束，每个管束端面的测温点不应少于 4 个，每个象限至少 1 个；直径小于等于 500mm 的管束可以以 45° 斜向为轴对称布置 2 支；测温点应均布在换热管与管板接头的表面。
- 11.6.2 特殊管束的测温点应增加备用热电偶。
- 11.6.3 测温点的数量及其布置应在管束热处理示意图中标示。
- 11.6.4 热电偶点焊要求及温度测量应符合 GB/T 30583-2014 的中 5.6.2 和 5.6.3 条规定。
- 11.6.5 管头焊后热处理的隔热及绝热要求应符合 GB/T 30583-2014 的中 9 条规定。

## 11.7 热处理后检验

管头焊缝热处理后的检验可参照管头焊接后的检验，应符合设计文件及相关技术条件的要求。

## 11.8 焊后热处理报告

焊后热处理报告应包含以下内容：

- a) 焊后热处理炉次顺序号；
- b) 管束名称、图号或零件代号及产品编号，焊后热处理工艺规程编号；
- c) 焊后热处理合同号或委托书编号；
- d) 焊后热处理类型、加热方式、加热方法及辅助装置；
- e) 管束结构图、尺寸、材料牌号及焊缝厚度；
- f) 焊后热处理炉名称、编号；
- g) 加热器名称、型号及编号，控温仪表和测温仪表（含热电偶及补偿导线）名称、型号及编号，绝热材料名称及厚度；
- h) 测温点数量和布置图；
- i) 焊后热处理工艺：焊后热处理厚度  $\delta$  PWHT、入炉（通电）温度、升温速度、保温温度、保温时间（按各测温点分别统计）、降温速度和出炉（断电）温度及冷却方式；
- j) 焊后热处理时间-温度连续自动记录，当记录图（表）不能区分每个测温点的数值时，还要提供各测温点的巡检时间-温度记录；
- k) 焊后热处理时间、地点及气象条件；
- l) 焊后热处理操作人员及责任人员签字。

## 12 检验与验收

### 12.1 焊缝尺寸、外观检查

- 12.1.1 焊接接头的焊脚尺寸应符合设计文件的规定。
- 12.1.2 换热管与管板焊缝焊后需对焊缝进行外观尺寸检查及焊缝表面目视检测。
  - a) 外观尺寸检查内容包括焊脚尺寸的检查，管头角焊缝焊角尺寸应符合设计文件的规定；
  - b) 焊缝表面目视检测内容包括表面裂纹、表面气孔、表面夹渣、管壁烧穿、焊缝余高或肉瘤、弧坑缺陷、管端熔化、咬边、电弧擦伤、飞溅、管壁减薄以及焊道布置不合理等缺陷。焊缝表面目视检验内容及缺陷判定按表 1 规定。

表1 换热管与管板焊缝表面目视检验内容及合格标准

序号	缺陷名称	缺陷判定
1	表面裂纹	不合格
2	表面气孔	不合格
3	表面夹渣	不合格
4	管壁烧穿	不合格
5	焊缝余高或肉瘤	对 $d_a \leq 25\text{mm}$ , $X \leq 0.5\text{mm}$ 对 $d_a > 25\text{mm}$ , $X \leq 1\text{mm}$
6	弧坑缺陷	不合格
7	管端熔化	不合格
8	咬边	深度应小于 0.1mm 管壁厚
9	电弧擦伤	不合格
10	飞溅	不合格
11	换热管管壁减薄	不合格

## 12.2 射线检测

### 12.2.1 检测方法

换热管与管板焊缝射线检测方法优先采用棒阳极射线检测。

### 12.2.2 检测的产品

下列情况，应实施射线检测：

- 设计压力高于 10MPa；或者设计温度超过 450℃；
- 材料为 12Cr2Mo1、1Cr5Mo、12Cr1MoVG、08Cr2AlMo 或 09CrCuSb；
- 蒸汽发生器、过热器或疏冷器；
- 用户要求的情况。

### 12.2.3 检测比例

12.2.3.1 换热管与管板焊缝射线检测比例分为 5%、10%、20%和 100%。设计文件规定比例的按设计文件，其余按照 5%进行检测，一次 100%合格，不扩大比例，否则按照 10%、20%和 100%的检测比例递增。

12.2.3.2 所检测的管板接头随机分布在管板上，必须覆盖所有焊工，对于焊接空间受限的接头也应覆盖在检测范围内。

### 12.2.4 检测时机

射线检测与评片应在管头焊接开始时进行，以便发现缺陷，找出原因，并及时采取纠正措施。

### 12.2.5 检测标准

换热管与管板焊缝射线检测标准可依据NB/T47013.2-2015附录A。

### 12.2.6 验收要求

管头角焊缝验收要求应按照 NB/T47013.2-2015 附录 A 中要求进行。

### 12.2.7 扩探

当对管头角焊缝实施局部检测时，一旦发现超标缺陷，则应进行扩探，扩探的原则由供需双方商定。可参照下列任意一种扩探原则方法进行。

- 局部检测时发现一个不合格管头，则应将检测数量翻倍。若扩探的管头中有评定为不合格焊缝存在，则应对全部管头角焊缝进行 RT 检测；

- b) 局部检测时发现一个不合格管头,则应对该焊工该象限内扩探两个管头,并对不合格管头角焊缝进行返修。若扩探的管头中有不合格存在,则应对该焊工施焊的全部管头进行100%检测,并对发现的不合格管头全部进行返修,返修后再进行射线检测直至合格;
- c) 局部检测时如一次检测合格率达到95%或98%以上,则无需扩探,仅将不合格管头进行返修,并检测合格。若第一次抽检底片合格率小于95%或98%,则应按照(b)条的扩探原则进行扩探,对不合格部位进行返修,直至合格。

### 12.3 表面检测

换热管与管板角焊缝经目视检测及射线检测(如有)合格后,按照NB/T47013.5-2015渗透检测标准对角焊缝进行渗透检测,检测技术等级C级,符合标准I级规定。

### 12.4 气体泄漏试验

所有管头焊缝在胀管之前应进行气密性试验;根据设计文件需要,在水压试验后应进行氨检漏试验。泄漏检测的具体要求按照相关标准规定进行。

## 13 质量记录

### 13.1 记录要求

管壳式换热器换热管与管板之间的焊接接头应形成完整的质量记录。

### 13.2 记录内容

质量记录的内容至少包括但不限于:

- a) 管板、换热管和焊接材料质量证明;
- b) 机械加工质量验收记录;
- c) 焊接工艺评定;
- d) 焊接规程;
- e) 焊接记录;
- f) 胀接记录;
- g) 无损检测记录;
- h) 压力试验记录。

### 13.3 记录样式

管壳式换热器换热管与管板之间的焊接接头质量验收报告可采用本文件附录D的样式。

## 附录 A (规范性) 管子与管板焊接接头工艺评定

### A.1 评定规则

下列情况需要重新进行换热管与管板焊接工艺评定：

- a) 焊前改变清理方法；
- b) 变更焊接方法的机械化程度（手工、半机动、机动、自动）；
- c) 由每面单道焊改为每面多道焊，或反之；
- d) 评定合格的电流值变更10%；
- e) 手工焊时由向上立焊改变为向下立焊，或反之；
- f) 焊前增加预胀接；
- g) 变更换热管与管板焊接位置；
- h) 采用焊条电弧焊时增加焊条直径；
- i) 采用钨极氩弧焊时增加或去除预置金属；
- j) 采用钨极氩弧焊时改变预置金属衬套的形状与尺寸；
- k) 采用钨极氩弧焊时改变填充丝或焊丝的公称直径。

### A.2 评定覆盖范围

评定覆盖范围如下：

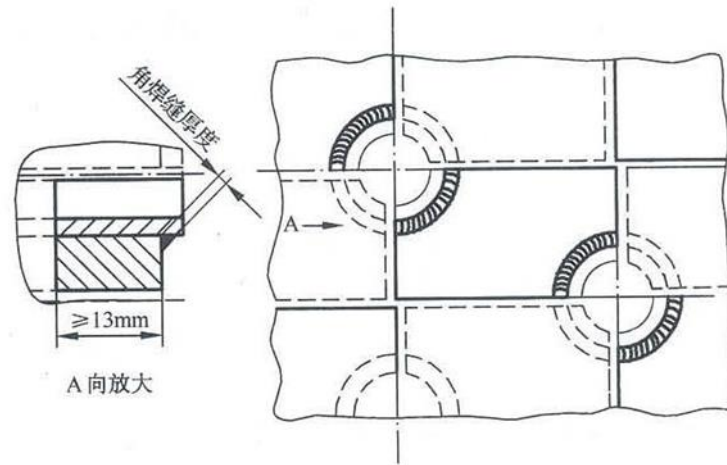
- a) 评定试件中换热管公称壁厚  $b \leq 2.5\text{mm}$  时，评定合格的焊接工艺适用于产品焊件中换热管公称壁厚范围为： $0.85b \sim 1.15b$ ，当试件中换热管公称壁厚  $b > 2.5\text{mm}$  时，评定合格的焊接工艺适用于产品焊件公称壁厚大于  $2.5\text{mm}$  所有换热管的焊接；
- b) 评定试件中换热管公称外径  $d \leq 50\text{mm}$ 、公称壁厚  $b \leq 2.5\text{mm}$  时，评定合格的焊接工艺适用于产品焊件中换热管公称外径大于或等于  $0.85d$ ；
- c) 评定试件中换热管公称外径  $d > 50\text{mm}$  时，评定合格的焊接工艺适用于产品焊件中换热管公称外径最小值为  $50\text{mm}$ ；
- d) 评定试件中换热管为公称壁厚  $b > 2.5\text{mm}$  的任一外径时，评定合格的焊接工艺适用于焊件中换热管公称外径不限；
- e) 当评定试件管孔桥宽度  $B$  小于  $10\text{mm}$  或 3 倍管壁厚中较大值时，评定合格的焊接工艺适用于产品焊件孔桥宽度大于或等于  $0.9B$ 。

### A.3 评定方法

评定方法采用首先依据NB/T47014的规定进行对接焊缝焊接工艺评定，对接焊缝焊接工艺评定合格后，再按以上要求进行换热管与管板角焊缝焊接工艺评定，两项评定结果均合格后，方能用于产品焊件的焊接。

### A.4 评定试件的形式与尺寸

换热管与管板评定试件的结构与形式应与产品焊件基本相同，如图A.1所示，并符合下列规定：



图A.1 评定试件结构与形式示例图

- 管板厚度应不小于 20mm，当使用复合金属材料时，复层材料可计入管板厚度；
- 管板加工出 10 个孔，排列如图所示。试件管孔直径和允许偏差、管孔中心距  $K$  以及管孔坡口尺寸按照 GB/T 151 中的相关规定；
- 试件用换热管长度不小于 80mm；
- 换热管插入管板，换热管最小伸出长度按 GB/T 151 的规定。

#### A.5 评定试件的检测检验要求与结果评定

评定试件的检测检验要求与结果评定如下：

- 检测项目为焊缝表面渗透检测和焊缝射线检测；
- 检验项目为拉脱力试验、宏观金相检验和角焊缝厚度测定；
- 检测项目的要求和判定标准详见无损检测相关要求；
- 拉脱力试样取 2 件，记录拉脱力试验值，通过换算使换热管断裂或使换热管拉脱的应力值，如该应力值大于或等于换热管的标准抗拉强度下限值为合格；
- 宏观金相检验按图所示，任取呈对角线位置的两个管接头切开，两切口互相垂直。切口一侧面应通过换热管中心线，该侧面即为金相检验面，共有 8 个，其中应包括一个取自接弧处，焊缝根部应焊透且不允许有裂纹及未熔合等缺陷；
- 角焊缝厚度测定，在 8 个金相检验面上测定。每个角焊缝的厚度都应大于或等于  $2/3b$ ；
- 附加检验项目：当产品焊件要求换热管与管板焊接后要进行处理时，还应在金相检验面上增加显微硬度检验；当产品焊件换热管与管板焊接为异种钢或异种金属焊接时，还应在金相检验面上增加微观金相检验；
- 显微硬度检验在 8 个金相检验面上任取 1 个金相检验面，分别测量焊缝和管板侧热影响区显微硬度，每个区域测 3 点，合格指标按相关技术文件和标准要求；
- 微观金相检验在 8 个金相检验面上任取 1 个金相检验面，分别检测分析焊缝、换热管侧热影响区和管板侧热影响区金相组织，合格指标按相关技术文件和标准要求，无有害金相组织为合格。



## 附录 B

(规范性)

### 换热管与管板焊接接头焊接操作考试

#### B.1 操作考试适用范围

产品焊件换热管与管板采用强度焊、密封焊或胀焊并用等焊接方法施焊前，进行焊接操作的作业人员应按TSG 6002《特种设备焊接操作人员考核细则》要求进行换热管与管板焊接操作考试且经考核合格，取得相应的合格资格项目后方可进行正式的焊接操作。

#### B.2 操作考试规定

操作考试规定如下：

- a) 焊工采用某种方法通过了换热管与管板焊接操作考试后，如在产品焊件焊接过程中改变了焊接方法，则焊工需要重新进行操作考试；焊工采用某种焊接方法通过了换热管与管板焊接操作考试后，如在产品焊件焊接过程中变更焊接方法的机动化程度（手工、半机动、机动或自动），则焊工需要重新进行操作考试；
- b) 焊工采用某种焊接方法通过了碳素钢或低合金钢换热管与管板焊接操作考试后，如在产品焊件中换热管与管板的材料改为不锈钢，则焊工需要重新进行操作考试，反之也要重新进行操作考试；焊工采用某种焊接方法通过了不锈钢换热管与管板焊接操作考试后，如在产品焊件中换热管与管板为不锈钢与碳钢或低合金钢异种钢焊接，则焊工不需要重新进行操作考试；
- c) 焊工采用某种焊接方法通过了钢制换热管与管板焊接操作考试后，如在产品焊件中换热管与管板任意一种材料为有色金属（铜与铜合金、镍与镍合金、铝与铝合金或钛与钛合金），则焊工需要重新进行操作考试，反之也要重新进行操作考试；焊工采用某种焊接方法通过了某种有色金属制换热管与管板焊接操作考试后，如在产品焊件中换热管与管板材料为相同有色金属的其他不同牌号的材料，则焊工不需要重新进行操作考试；
- d) 焊工采用自动焊通过了换热管与管板焊接操作考试后，如在产品焊件中填充金属类别改变，焊工不需要重新进行操作考试，但如果焊工采用手工焊通过了换热管与管板焊接操作考试后，如在产品焊件中填充金属类别改变，焊工需要重新进行操作考试；
- e) 焊工采用某种方法通过了换热管与管板焊接操作考试后，如在产品焊件焊接过程中变更保护气体种类、钨极种类和规格，焊工不需要重新进行操作考试；
- f) 焊工采用某种方法在水平固定位置通过了换热管与管板焊接操作考试后，如在产品焊件焊接过程中变更为其他位置，焊工不需要重新进行操作考试，否则如改变焊接位置，焊工需要重新进行操作考试；焊工采用手工焊向上立焊通过了换热管与管板焊接操作考试后，如在产品焊件焊接过程中变更为向下立焊，则焊工需要重新进行操作考试，反之也要重新进行操作考试；
- g) 焊工采用手工焊通过了外径  $D < 25\text{mm}$  的换热管与管板焊接操作考试后，如产品焊件中换热管外径大于等于  $D$ ，则焊工不需要重新进行操作考试；焊工采用手工焊通过了外径  $25\text{mm} \leq D < 76\text{mm}$  的换热管与管板焊接操作考试后，如产品焊件中换热管外径大于等于  $25\text{mm}$ ，则焊工不需要重新进行操作考试；焊工采用手工焊通过了外径  $D \geq 76\text{mm}$  的换热管与管板焊接操作考试后，如产品焊件中换热管外径大于等于  $76\text{mm}$ ，则焊工不需要重新进行操作考试；否则都应重新进行操作考试。焊工采用自动焊通过了任意外径的换热管与管板焊接操作考试后，如产品焊件中换热管外径改变，则焊工不需要重新进行操作考试；
- h) 焊工采用自动焊通过了换热管与管板焊接操作考试，考试试件换热管与管板焊缝厚度  $t < 12\text{mm}$ ，如产品焊件中换热管与管板焊缝厚度  $\leq 2t$ ，则焊工不需要重新进行操作考试，否则应重新进行操作考试。

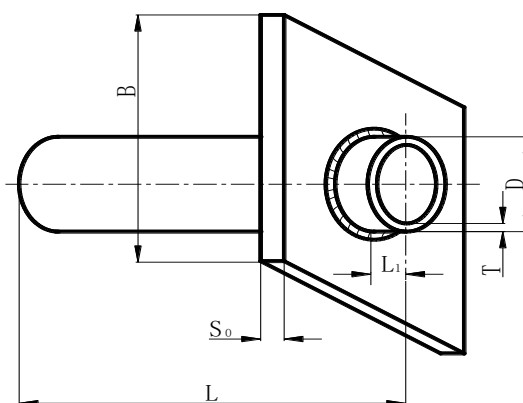
#### B.3 操作考试方法

操作考试可选的焊接方法为手工钨极氩弧焊自熔焊+填丝焊、手工钨极氩弧焊填丝焊、自动钨极氩弧焊自熔焊+填丝焊及自动钨极氩弧焊填丝焊。

#### B.4 操作考试试件要求

操作考试试件要求如下：

- a) 换热管与管板焊接操作考试要求焊接 2 个考试试件；
- b) 如图 B.1 所示，手工焊考试试件换热管长度  $L \geq 100\text{mm}$ ，管板长度及宽度  $B \geq D+100\text{mm}$ ，管板厚度  $S_0 \geq 10\text{mm}$ ，换热管外径  $D$  和壁厚  $T$  根据产品焊件的需要确定，换热管伸出管板长度  $L_1$  为  $3\text{mm}$ ；
- c) 如图 B.1 所示，自动焊考试试件换热管长度  $L \geq 50\text{mm}$ ，管板长度及宽度  $B \geq D+100\text{mm}$ ，管板厚度  $S_0 \geq 10\text{mm}$ ，换热管外径  $D$  和壁厚  $T$  应根据产品焊件的需要确定，换热管伸出管板长度  $L_1$  为  $4.5\text{--}6\text{mm}$ ；
- d) 对于换热管端要求与管板齐平或缩进管板的特殊类型产品焊件，应模拟产品焊件尺寸要求加工考试试件。



图B.1 考试试件结构与形式示例图

#### B.5 操作考试施焊要求

操作考试施焊要求如下：

- a) 焊工按照考试试件焊接作业指导书的要求焊接考试试件；
- b) 焊工严格按照上述试件数量要求焊接考试试件，不得多焊试件从中挑选。

#### B.6 考试试件的检测检验要求与结果评定

考试试件的检测检验要求与结果评定如下：

- a) 检测项目包含焊缝外观检测和表面渗透检测；
- b) 检验项目为宏观金相检验和角焊缝厚度测定；
- c) 焊缝外观检测采用目视或 5 倍放大镜检测焊缝外观质量，焊缝表面不得有裂纹、咬边、凹坑、未熔合、夹渣、夹钨、气孔、焊瘤和未焊透等缺陷；
- d) 无损检测项目的要求和判定标准执行 NB/T47013.4；
- e) 宏观金相检验任取 1 个考试试件沿管十字中心线切开，两切口互相垂直。切口一侧面应通过换热管中心线，该侧面即为金相检验面，对 4 个金相检验面进行检验，焊缝根部应焊透且不允许有裂纹及未熔合等缺陷；
- f) 角焊缝厚度测定，在 4 个金相检验面上测定。每个角焊缝的厚度都应大于或等于  $2/3T$ 。

## B.7 焊前操作练习

### B.7.1 焊工操作技能评价

焊工操作技能评价规定如下：

- a) 按 TSG 6002 要求参加考试合格并取得相应的合格资格项目的焊工，如在取得资格项目之日之后 6 个月内，没有进行过产品焊件换热管与管板的焊接，则取得的资格项目作废，应重新进行考试。考试合格后，再次进行换热管与管板的焊接操作前，还应进行焊前操作练习；
- b) 虽按 TSG 6002 要求参加考试合格并取得相应的合格资格项目的焊工，而且在取得资格项目之后进行了产品焊件换热管与管板的焊接，但施焊焊缝焊接合格率低于 95%，或者施焊焊缝出现过任何质量事故，该焊工再次进行换热管与管板的焊接操作前，必须进行焊前操作练习。

### B.7.2 焊接操作练习要求

焊接操作练习要求如下：

- a) 焊接操作练习试件换热管材料应与产品焊件的换热管材料完全一致，管板材料可采用与产品焊件管板材料按 NB/T 47014 要求组别号及类别号一致的其他材料代替；
- b) 焊接操作练习试件除了管板厚度外，其余尺寸要求，包括换热管公称直径和壁厚、管孔直径、管孔坡口尺寸及管孔桥间距尺寸等必须完全符合产品焊件换热管和管板的尺寸要求，管板厚度应 $\geq 20\text{mm}$ ；
- c) 每一副焊接操作练习试件至少保证 12 个管孔，12 件换热管段，参加焊接操作练习的焊工每人焊接一副焊接操作练习试件，焊接至少 12 个换热管与管板焊缝，对所有焊缝进行 5.2.6 所述的检测项目进行检测，合格后方能进行产品焊件的施焊；
- d) 当对产品换热管与管板焊缝要求进行棒阳极射线检测时，每一副焊接操作练习试件至少保证 30 个管孔，30 件换热管段，换热管段长度至少应 150mm 长，参加操作练习的每一名焊工至少焊接一副焊接操作练习试件，焊接至少 30 个换热管与管板焊缝，对所有焊缝首先进行棒阳极射线检测，合格率达 95%以上，再对练习试件所有焊缝进行 5.2.6 所述的检测项目进行检测，合格后方能进行产品焊件的施焊。

## 附录 C (资料性) 胀接工艺评定

### C.1 评定目的

确定换热管与管板适用的胀接控制参数，如：对于液压胀接方式，为胀管压力，对于机械滚胀胀接方式（以下简称机械胀接），为控制电流（或扭矩）。

### C.2 适用范围

换热管与管板连接形式中包含胀接形式，无论是否同时包含焊接连接形式，在正式胀接前均应按照本标准的要求进行胀接工艺评定。

### C.3 评定规则

#### C.3.1 液压胀接

对于胀接长度不小于10倍换热管壁厚的换热管与管板胀接连接接头，评定所确定的胀接控制参数（胀管压力），可覆盖同参数（材质和壁厚等）不同胀接长度胀接连接接头。即在一定条件下，胀接参数不受胀接长度尺寸的影响。

#### C.3.2 机械胀接

评定所确定的胀接控制参数（胀管电流、扭矩等），只可适用于评定时的胀管装置组合（驱动及配套胀杆），不具备覆盖条件。

#### C.3.3 评定条件

当发生下列情况时，需要重新进行胀接工艺评定：

- a) 对于采用液压胀接的贴胀管头，胀接长度小于10倍换热管壁厚时，胀接长度不具备覆盖条件；
- b) 对于机械胀接，更换不同尺寸参数胀杆（芯轴锥度发生变化、胀珠锥度发生变化或胀珠长度尺寸发生变化）；
- c) 对于机械胀接，驱动装置发生变化（更换驱动形式或不同厂家的驱动产品）。

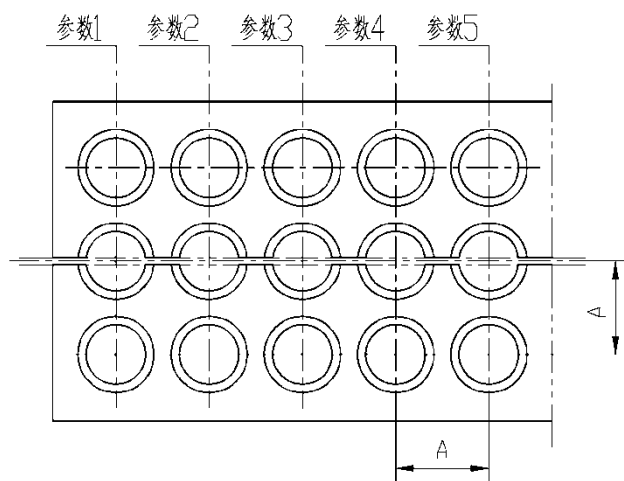
### C.4 评定方法

#### C.4.1 贴胀

贴胀的评定方法如下。

- a) 评定项目为管外壁间隙消除并贴紧
- b) 评定试件管板的尺寸与形式：
  - 1) 制备1件数据测量及解剖试件；
  - 2) 评定试件管板材料应与产品管板一致或为与其力学性能相近的材料；换热管规格、材料应与产品完全一致；
  - 3) 评定试件管板管孔尺寸、管排布管方式应与产品一致，至少包含三排五列共计15个管孔，试件管板边缘管孔壁距管板外缘不小于管桥距离，详见图C.1；
  - 4) 试件管板厚度，对于液压胀接，最小厚度应不小于胀接长度的2倍；对于机械胀接，最小厚度应不小于胀珠长度的1.5倍。
- c) 评定试验实施：
  - 1) 评定管板试件及换热管分别进行编号，进行一一匹配，分别测量并记录换热管内外径、管孔直径等数值；
  - 2) 清洗干净管孔内部及换热管内外杂物和油污等；
  - 3) 确定胀管参数台阶值及初始胀管参数，由低到高分别对每列管头进行胀接。初始胀管参数的确定以换热管与管孔间产生贴合力为准；

- 4) 使用内径百分表测量换热管内径胀后的扩大量(直接测量扩大量,并非测量胀后内径值),并记录;
  - 5) 采用锯床或线切割方式沿中间管排中心将试件对半刨开。
- d) 评定试件的检测检验要求与结果评定:
- 1) 根据胀管率计算公式计算不同胀管参数下的胀管率,取平均值,胀管率应符合 GB/T151-2014 中第 6.6.3.3 条的要求;
  - 2) 解刨的换热管内壁进行 PT 检测,确认无缺陷产生;
  - 3) 换热管内壁胀接过渡区应平缓,无急剧的棱角;
  - 4) 符合上述 3 条要求的胀管参数确定为胀管参数;
  - 5) 出具评定报告。



图C.1 试件示意

#### C.4.2 强度胀

强度胀评定方法如下。

- a) 评定项目:
  - 1) 管外壁间隙消除;
  - 2) 胀口结合强度;
  - 3) 胀口密封性能。
- b) 评定试件管板的尺寸与形式:
  - 1) 除需具备与贴胀相同尺寸参数的解刨试件外,还需制备拉脱试件及密封性能试件;
  - 2) 同种胀接参数下的拉脱试件,应不少于 4 组;拉脱试件的厚度要求,与解刨试件一致;
  - 3) 密封性能试件,管头数量应不小于 12 个,试件管板厚度要求,应满足胀接区域长度与产品一致。
- c) 评定试验实施:
  - 1) 解刨试件评定的试验实施过程与贴胀接方式一致。需注意,此时需要提高胀接参数值(包括初始参数),以满足标准中对于强度胀接的要求(标准中只对机械胀接提出了强度胀接的胀管率要求,对液压胀接不做硬性要求。对于液压胀接,提高胀接参数的目的,是为了满足强度胀接拉脱性能要求及提高密封性能。由于胀接机理的不同,液压胀接方式更容易产生过胀现象,所以也不可过量提高液压胀接参数,以后续两个评定项目满足强度胀接拉脱性能要求及密封性能为准。);
  - 2) 使用根据解刨试件评定确定的胀管参数,对不少于 4 件的拉脱评定试件进行胀接,胀后进行拉脱力测定;

- 3) 使用根据解剖试件评定确定，并经过拉脱力试验验证合格的的胀管参数，对密封性能评定试件管头进行胀接，胀后进行水压试验，检查管头胀口密封性能，试验压力为产品水压试验压力。
- d) 评定试件的检测检验要求与结果评定：
  - 1) 对于机械胀接的管头，根据胀管率计算公式计算不同胀管参数下的胀管率，取平均值，胀管率应符合 GB/T151-2014 标准中表 6-18 中的要求；
  - 2) 解剖的换热管内壁进行 PT 检测，确认无缺陷产生；
  - 3) 换热管内壁胀接过渡区应平缓，无急剧的棱角；
  - 4) 对于液压胀接形式管头，宽胀管槽内换热管产生明显凹陷变形；
  - 5) 根据拉脱评定试件所测定的拉脱力及胀管接触面积，计算拉脱强度，拉脱强度应不小于 4MPa；若不满足，应提高胀接参数后重新进行拉脱强度测量，直至满足要求；
  - 6) 密封性能评定试件水压试验合格，试验压力下保压 30min，管头无渗漏。若存在个别渗漏应同参数补胀继续试压，若存在半数以上管头渗漏则应提高胀接参数补胀后继续试压。补胀后任然渗漏，则需重新制备试件重新进行试验。需注意，不论是首次试压还是补胀后试压，产生渗漏的原因除了与胀管参数高低有关外，管孔内壁粗糙度和换热管外壁质量也是影响密封性能的重要因素，需谨慎判定。
  - 7) 符合上述 6 条要求的胀管参数确定为胀管参数。
  - 8) 出具评定报告。

## 附录 D

(资料性附录)

## 换热管与管板焊接接头制造质量控制记录

换热管与管板焊接接头制造质量控制记录见表D.1。

表 D.1 换热管与管板焊接接头制造质量控制记录

接头结构简图			管板管孔断面图				产品编号			
							产品图号			
							接头名称			
							接头编号			
							焊接工艺评定报告编号			
							焊接工艺卡编号			
管板材料		换热管材料				焊接材料				
加工与组装	项目	要求	实测值		评价	项目	要求	实测值		评价
	管孔直径 d				符合&不符合	换热管外径 D				
	管孔倒角 a、α					换热管厚度 s				
	管孔粗糙度					换热管粗糙度				
	管孔清洁度					换热管清洁度				
	伸出长度 L					组装间隙 b				
复查（焊接）人员（签名）					复查（焊接）人员（签名）					
焊接过程	焊接方法					焊缝金属饱满程度				
	第一道方式	自&填				焊缝表面质量				
	第二道方式	填				焊缝几何尺寸 k1				
	焊接电压					焊缝几何尺寸 k2				
	焊接电流									
焊接人员					检验人员					
无损检测	检测方法	VT、RT、PT				检测设备型号				
	检测比例					检定日期				
	检测结果					检测人员				
热处理	热处理方式	局部&整体				硬度检测				
	热处理温度					热处理操作人员				
	热处理保温时间					硬度检测人员				
压力试验	压力试验种类	耐压&气密&氨渗&氦渗				试验压力				
	试验介质					一次合格率				
	试验操作人员					检验人员				
质量验收	焊接检验工程师日期			合格	质量责任工程师日期					