



中华人民共和国行业标准

NB/T 47006—2009 (JB/T 4757)

代替 JB/T 7261—1994

铝制板翅式热交换器

Aluminum plate-fin heat exchanger

2009-12-01 发布

2010-05-01 实施

国家能源局 发布

目 次

前言 114

1 范围 115

2 规范性引用文件 115

3 总则 116

4 材料 124

5 设计 124

6 制造、检验与验收 137

7 安装与操作 146

附录 A (规范性附录) 热交换器性能试验方法 152

附录 B (资料性附录) 焊接接头型式 162

附录 C (资料性附录) 热交换器型号的编制方法 169

附录 D (资料性附录) 热交换器使用须知 171

标准释义 175

前 言

本标准与 JB/T 7261—1994《铝制板翅式换热器技术条件》相比，主要变化如下：

- 设计压力由原来不大于 6.3MPa 提高到 8.0MPa，设计温度范围由原来的 $-270^{\circ}\text{C} \sim 150^{\circ}\text{C}$ 修订为 $-269^{\circ}\text{C} \sim 200^{\circ}\text{C}$ ；
- 增加了板翅式换热器的术语和定义；
- 在压力试验中，将液压与气压试验压力的比例由原标准的 1.5 倍和 1.25 倍修订为 1.3 倍和 1.25 倍，与国际制造业相接轨；
- 材料方面增加了按 JB/T 4734 和 GB/T 3198 标准选用的规定；
- 增加了第 5 章“设计”；
- 检验与验收方面增加了荧光检验、不一致的修正、存在的缺陷及补救措施等方面的内容；
- 删除了原标准中清洁度测试和真空检漏及体膨胀试验的内容；
- 增加了安装和操作要求的内容。

本标准的附录 A 为规范性附录，附录 B、附录 C 和附录 D 为资料性附录。

本标准由全国锅炉压力容器标准化技术委员会 (SAC/TC 262) 提出并归口。

本标准由全国锅炉压力容器标准化技术委员会热交换器分技术委员会 (SC 5) 组织起草和审查。

本标准主要起草单位：杭州制氧机集团有限公司、兰州石油机械研究所、开封空分集团有限公司、四川空分集团有限公司、鞍山钢铁公司、中国特种设备检测研究院。

本标准主要起草人：阎振贵、王金宏、洪宝玲、李建伟、毛央平、曾传勇、周文学、陶相伦、王晋、贾振武、张延丰、朱巨贤、王为国。

本标准的历次版本发布情况为：

- JB/TQ 258—76；
- JB/T 7261—1994。

铝制板翅式热交换器

1 范围

本标准规定了铝制板翅式热交换器（以下简称热交换器）的设计、制造、检验、验收、安装、使用及维护等要求。

1.1 本标准适用于设计压力不大于 8.0MPa 的热交换器。设计压力大于 8.0MPa 的热交换器，在征得买方同意时，可参照本标准进行设计与制造。

1.2 本标准适用的设计温度范围为 $-269^{\circ}\text{C} \sim 200^{\circ}\text{C}$ 。

1.3 本标准适用于空气的分离与液化设备（ASU）、天然气加工（NGP）及液化（LNG）、石油化工及机械动力装置等场合使用的热交换器。

1.4 对不能用本标准确定的热交换器的受压元件，允许用以下方法设计，但需经全国锅炉压力容器标准化技术委员会评定、认可。

- a) 包括有限元法在内的应力分析（有分析设计资格的单位除外）；
- b) 验证性实验分析（如实验应力分析、验证性液压试验）；
- c) 用可比的已投入使用的结构进行对比经验设计。

2 规范性引用文件

下列文件对于本文件的应用是必不可少的。凡是注日期的引用文件，仅注日期的版本适用于本文件。凡是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 150	钢制压力容器
GB/T 228	金属材料 室温拉伸试验方法(GB/T 228—2002, ISO 6892:1998(E), EQV)
GB/T 229	金属材料 摆锤冲击试验方法(GB/T 229—2007, ISO 148-1:2006, MOD)
GB/T 232	金属材料 弯曲试验方法(GB/T 232—1999, ISO 7438:1985, EQV)
GB/T 1804	一般公差 未注公差的线性和角度尺寸的公差(GB/T 1804—2000, ISO 2768-1:1989, EQV)
GB/T 2624.1—2006	用安装在圆形截面管道中的差压装置测量满管流体流量 第1部分：一般原理和要求(GB/T 2624.1—2006, ISO 5167-1:2003, IDT)
GB/T 2624.2—2006	用安装在圆形截面管道中的差压装置测量满管流体流量 第2部分：孔板(GB/T 2624.2—2006, ISO 5167-2:2003, IDT)
GB/T 2624.3—2006	用安装在圆形截面管道中的差压装置测量满管流体流量 第3部分：喷嘴和文丘里喷嘴(GB/T 2624.3—2006, ISO 5167-3:2003, IDT)
GB/T 2624.4—2006	用安装在圆形截面管道中的差压装置测量满管流体流量 第4部分：文丘里管(GB/T 2624.4—2006, ISO 5167-4:2003, IDT)

GB/T 3190	变形铝及铝合金化学成分 (GB/T 3190—2008, ISO 209:2007 (E MOD))
GB/T 3191—1998	铝及铝合金挤压棒材
GB/T 3195—2008	铝及铝合金拉制圆线材
GB/T 3198—2003	铝及铝合金箔
GB/T 3246.1	变形铝及铝合金制品显微组织检验方法
GB/T 3246.2	变形铝及铝合金制品低倍组织检验方法
GB/T 3880.1—2006	一般工业用铝及铝合金板、带材 第1部分：一般要求
GB/T 3880.2—2006	一般工业用铝及铝合金板、带材 第2部分：力学性能
GB/T 3880.3—2006	一般工业用铝及铝合金板、带材 第3部分：尺寸偏差
GB/T 4436	铝及铝合金管材外形尺寸及允许偏差
GB/T 4437.1—2000	铝及铝合金热挤压管 第1部分：无缝圆管
GB/T 6892—2006	一般工业用铝及铝合金挤压型材
GB/T 6893—2000	铝及铝合金拉(轧)制无缝管
GB/T 8063—1994	铸造有色金属及其合金牌号表示方法 (GB/T 8063—1994, ISO 2092, NEQ)
GB/T 9438—1999	铝合金铸件 (GB/T 9438—1999, ASTM B26/B26M:1992, NEQ)
GB/T 10858—2008	铝及铝合金焊丝
GB/T 13384	机电产品包装通用技术条件
GB/T 16474	变形铝及铝合金牌号表示方法 (GB/T 16474—1996, ANSI H35.1:1993, EQV)
GB/T 16475	变形铝及铝合金状态代号 (GB/T 16475—2008, ISO 2107: 2007, MOD)
JB/T 4730.2—2005	承压设备无损检测 第2部分：射线检测
JB/T 4730.3—2005	承压设备无损检测 第3部分：超声检测
JB/T 4730.5—2005	承压设备无损检测 第5部分：渗透检测
JB/T 4734	铝制焊接容器
HG/T 20592~20635—2009	钢制管法兰、垫片、紧固件
YS/T 69—2005	钎焊用铝合金复合板
TSG R0004—2009	固定式压力容器安全技术监察规程

3 总则

3.1 热交换器的设计、制造、检验、验收、安装、使用和维护除符合本标准的规定外，还应遵守国家颁布的有关法令、法规和规章。

3.2 范围

本标准管辖的热交换器范围是指热交换器的本体及与热交换器本体连接为整体的受压零部件，且划定在下列范围内。

3.2.1 热交换器与外部管道的连接：

- a) 焊接连接的第一道环向接头坡口端面；

- b) 法兰连接的第一个法兰密封面;
- c) 螺纹连接的第一个螺纹接头端面;
- d) 专用连接件或管件连接的第一个密封面。

3.2.2 非受压元件与受压元件的焊接接头以外的元件,如加强圈、支座、吊耳等应符合本标准或相应标准的规定。

3.2.3 直接连接在热交换器上的超压泄放装置应参照 GB 150 的附录 B 的要求进行,连接在热交换器上的仪表等附件应符合有关标准的规定。

3.3 术语和定义

JB/T 4734 确立的以及下列术语和定义适用于本标准。

3.3.1

板翅式热交换器 plate-fin heat exchanger

热交换器是由板束、封头、接管及支座等附件组成。流体的每一层通道由翅片、隔板、封条组成,每层通道在特定方位上都设有流体的进出口,并用该流体的进出口封头分别包容该流体的每层进出口,焊上各自的接管而组成,图 3.1 为多股流热交换器示意图。

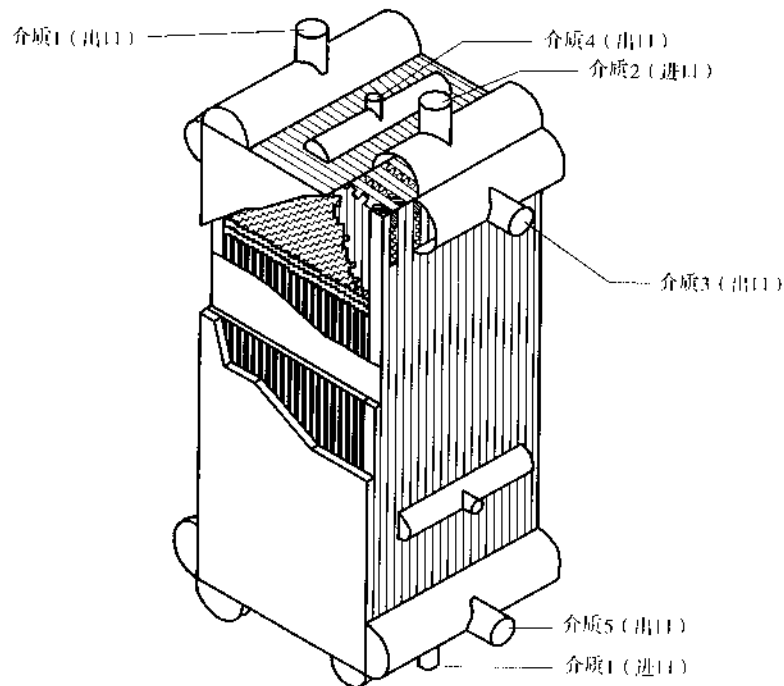


图 3.1 多股流热交换器示意图

3.3.2

板束 block (core)

板束由各流体的通道按需要依次叠置,钎焊成一体。每个通道由隔板(或侧板)、翅片(或导流片)、封条等零件组成,如图 3.2 所示。

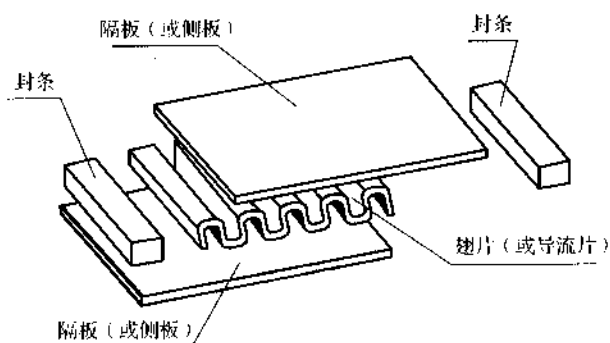


图 3.2 板束体基本结构示意图

3.3.3

翅片 heat transfer fin

翅片是热交换器的基本元件，传热过程主要通过翅片热传导及翅片与流体之间的对流传热来完成。

3.3.4

导流片 distributor fin

导流片在热交换器中主要是起流体的进出口导向作用，一般为多孔型翅片。

3.3.5

封条 side bar

封条是热交换器的基本元件，主要分布在热交换器的四周边缘，起封闭和支撑各层通道的作用。

3.3.6

隔板 parting sheet

隔板是两层翅片之间的金属平板，又称复合板，它在母体金属表面覆盖有一层钎料合金，在钎焊时合金熔化而使翅片、封条与金属平板焊接成一体。

3.3.7

侧板 cap sheet

侧板是位于热交换器板束最外侧的隔板，又称盖板。

3.3.8

强度层 dummy layer

强度层（又称工艺层）是从强度、热绝缘和制造工艺等要求出发，在板束的顶部和底部设置的与环境大气相通，不进行热交换的通道。

3.3.9

无用区域 dead area

通道中和翅片或导流片相通或不相通的无介质流动的区域。

3.3.10

通道排列 layer arrangement

通道的排列方式可分为单叠排列、复叠排列、混叠排列。

3.3.10.1

单叠排列 single banking

单叠排列时每一热通道都与一冷通道相邻排列, 见图 3.3 a)。

3.3.10.2

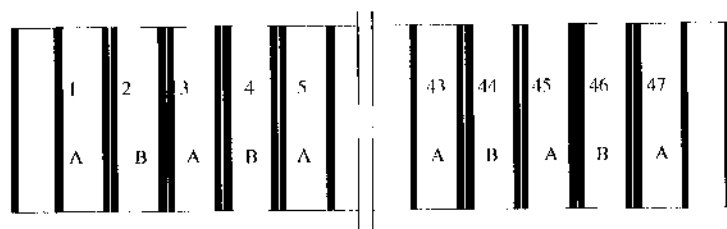
复叠排列 double banking

复叠排列的每一个热通道都与两个冷通道相间, 或每一个冷通道和两个热通道相间, 见图 3.3 b)。

3.3.10.3

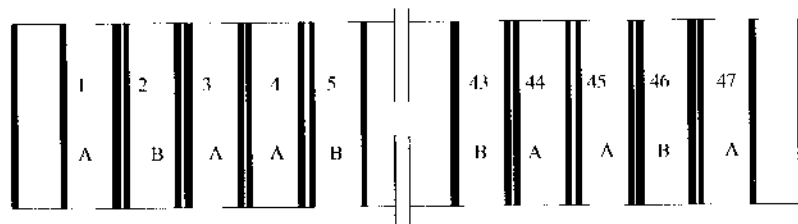
混叠排列 single and multiple banking

在同一板束中除有热通道与冷通道相邻排列外, 同时存在一个热通道和两个冷通道相间或同时存在一个冷通道和两个热通道相间, 见图示 3.3 c)。



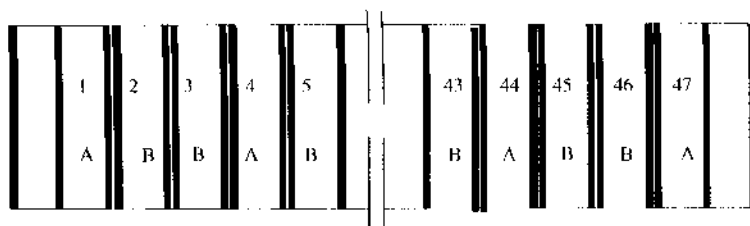
A—冷通道; B—热通道

a) 通道单叠排列示意图



A—冷通道; B—热通道

b) 通道复叠排列示意图



A—冷通道; B—热通道

c) 通道混叠排列示意图

图 3.3 通道排列示意图

3.3.11

封头 header

封头通常由封头体、接管、端板、法兰(或封盖)等零件经焊接而成。

3.3.11.1

封头体 **header body**

组成封头的半圆筒部分。

3.3.11.2

端板 **header with ends**

封头两端的与封头体连接的零件。

3.3.11.3

接管 **nozzle**

流体进出封头的管路。

3.3.11.4

封盖 **nozzle cap**

试压或氮封时封闭接管的零件。

3.3.12

多板束单元 **composite block**

多板束单元是指由两个或两个以上的板束,通过并联焊接的方式连接成一体组成的板束,图 3.4 为并联焊接的方式连接为一体的板束。

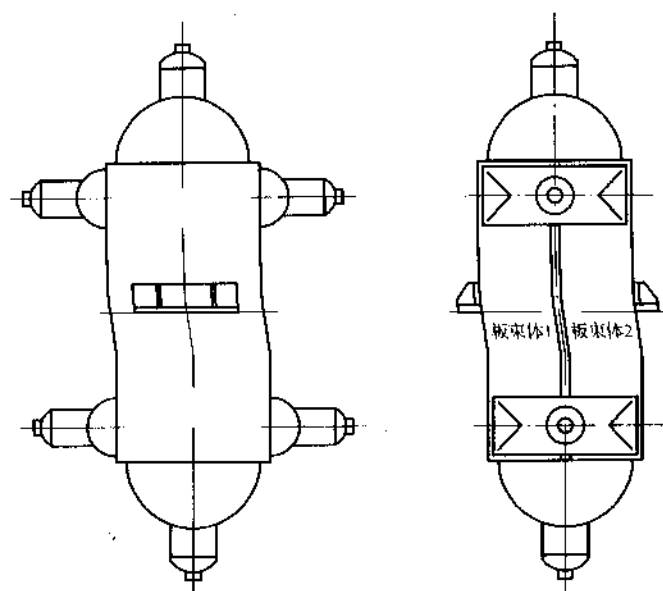


图 3.4 多板束组成的热交换器单元结构图

3.3.13

热交换器组 **manifolded exchanger**

热交换器组是由两台或两台以上的热交换器按不同的配管形式进行组合(并联或串联)而构成,如图 3.5 所示。

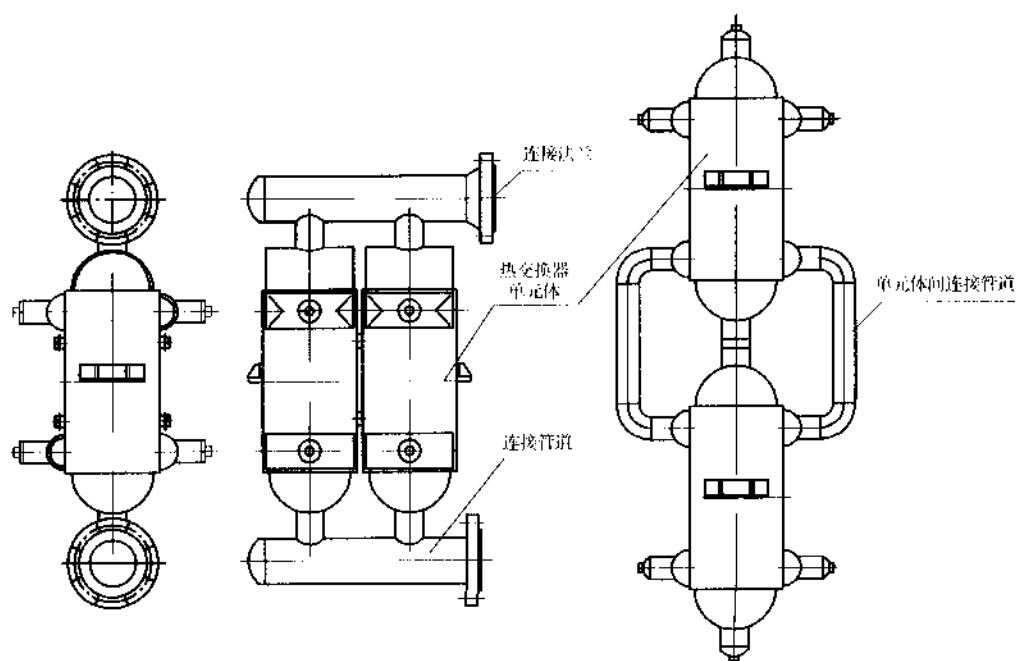


图 3.5 热交换器组的构成示意图

3.4 一般规定

3.4.1 设计压力

3.4.1.1 热交换器是由数个压力通道（压力相同或不相同）组成。设计时应考虑操作时可能出现最苛刻的压力组合。

3.4.1.2 每一个通道的设计压力应不低于该通道的最高工作压力。

3.4.1.3 热交换器安装在压力容器中时，买方应给出热交换器的环境设计压力，热交换器应能承受内外压力差的作用。

3.4.1.4 热交换器安装在真空容器中时，买方应声明并确定相应的各通道的最高工作压力。

3.4.1.5 热交换器按外压设计时，应考虑在正常工作情况下可能出现的最大内外压力差。

3.4.1.6 热交换器工作在真空状态时，其真空通道的设计压力按承受外压考虑，当设置有安全控制装置时，设计压力取 1.25 倍的最大内外压力差或 0.1MPa 两者的小值；当无安全控制装置时，取 0.1MPa。

3.4.2 设计温度

3.4.2.1 内部热应力的增加应不超过材料的强度极限，在可接受的限度之内，稳定状态下的铝制热交换器通道之间（同一截面）的最大推荐允许温差为 50℃；但在有相变流体以及有在瞬间循环的条件下，推荐温差为 20℃～30℃。

3.4.2.2 设计温度大于 65℃时，不得选用含镁量大于 3% 的铝合金。

3.4.2.3 设计温度应不低于元件金属在工作状态可能达到的最高温度。对于 0℃以下的金属温度，设计温度最低为 -269℃。

3.4.2.4 热交换器各部分在工作状态下的金属温度不同时，按最高温度设计。在任何情况下，元件金属的表面温度不应超过材料的允许使用温度。

3.4.2.5 元件的金属温度可用传热计算求得，或在已使用的同种工况的热交换器上测定，或按介

质温度确定。对不同工况的热交换器,应按最苛刻的工况组合设计,并在图样或相应技术条件中注明各工况的压力和温度值。

3.4.3 流体介质

应对操作过程使用的介质的特性进行限制。流体应干净对铝合金无腐蚀作用,通常不考虑腐蚀裕度。并对易结垢、沉淀、堵塞热交换器的介质加以控制。

3.4.4 载荷

设计时应考虑以下载荷:

- a) 内压、外压或最大压差;
- b) 液体液柱静压力;
- c) 热交换器的自重,以及正常工作条件下或压力试验状态下内装物料的重力载荷;
- d) 附属设备及隔热材料、管道等的重力载荷;
- e) 风载荷、地震载荷;
- f) 支座、支耳及其他型式支撑的反作用力;
- g) 连接管道和其他部件的作用力;
- h) 温度梯度或热膨胀量不同引起的作用力;
- i) 包括压力急剧波动的冲击载荷;
- j) 冲击反力,如由流体冲击引起的反力等;
- k) 运输或吊装时的作用力。

3.4.5 厚度附加量

厚度附加量按式(3.1)确定:

$$C = C_1 + C_2 \quad \dots\dots\dots (3.1)$$

式中:

C —— 厚度附加量, mm;

C_1 —— 铝材厚度负偏差,按照 GB/T 3880.3 和 GB/T 4436 的规定, mm;

C_2 —— 腐蚀裕量,按 3.4.3 的规定, $C_2=0$ 。

3.5 许用应力

本标准规定的封头、接管、法兰、封条和侧板等受压元件铝材的许用应力值按 JB/T 4734 的规定选取,或按相应标准提供的力学性能和安全系数计算确定;对用于翅片、隔板等受压元件的材料,按 GB/T 3198 和 YS/T 69 规定的抗拉强度值除以安全系数 4~6 计算确定。

3.6 焊接接头系数

焊接接头系数 ϕ 应根据焊接方法和受压元件的焊接接头型式及无损检测的长度比例确定:

- a) 双面焊对接接头和相当于双面焊的全焊透对接接头:

100%无损检测 $\phi=0.95$;

局部无损检测 $\phi=0.85$ 。

- b) 单面焊对接接头(沿焊缝根部全长有紧贴基本金属的垫板):

100%无损检测 $\phi=0.90$;

局部无损检测 $\phi=0.80$ 。

由于结构原因,焊接接头无法进行无损检测时,焊接接头应采用全焊透结构,其焊接接头系数一般不大于 0.6。

3.7 压力试验

热交换器制造完成后应经压力试验。压力试验的方式、要求和试验压力应在图样上注明。

压力试验一般采用液压试验，试验液体按 6.2 的要求执行。

对于不允许有微量残留液体或由于结构原因不能充满液体进行液压试验的热交换器，可采用气压试验。做气压试验及气密性试验的热交换器应满足 6.2 的要求。

3.7.1 试验压力

试验压力的最低值按下述规定，试验压力的上限应满足 5.1.8.2 应力校核的限制。

3.7.1.1 内压通道

液压试验压力：

$$p_T = 1.3p \times \frac{[\sigma]}{[\sigma]^t} \quad \dots\dots\dots (3.2)$$

气压试验压力：

$$p_T = 1.25p \times \frac{[\sigma]}{[\sigma]^t} \quad \dots\dots\dots (3.3)$$

气密性试验压力：

$$p_T = 1.0p \quad \dots\dots\dots (3.4)$$

式中：

p_T ——试验压力，MPa；

p ——设计压力，MPa；

$[\sigma]$ ——热交换器用材料在试验温度下的许用应力，MPa；

$[\sigma]^t$ ——热交换器用材料在设计温度下的许用应力，MPa。

3.7.1.2 外压通道

液压试验压力：

$$p_T = 1.3p \quad \dots\dots\dots (3.5)$$

气压试验压力：

$$p_T = 1.25p \quad \dots\dots\dots (3.6)$$

气密性试验：

$$p_T = 1.0p \quad \dots\dots\dots (3.7)$$

式中：

p_T ——试验压力，MPa；

p ——设计压力，MPa；

3.7.1.3 有特殊要求的压力试验

承受交变载荷以及在特殊场合使用的热交换器，其液压试验压力应适当提高，具体要求按照图样规定执行。

3.8 图样

制造厂提供的产品外形图应具备买方审查所需要的所有数据，主要包括：

- 外形尺寸，材料厚度，型号规格，换热面积，通道容积、支架及重量；
- 材料的牌号规格，所用翅片的类型；
- 接管和法兰的位置、连接详情，必要时还需有各种流体的类型；

d) 制造和试验数据,无损检测的范围和位置,试验压力及焊缝识别。

4 材料

热交换器用材应考虑使用条件(如设计温度、设计压力、介质特性及操作特点等)、热交换器的制造工艺与检验要求以及经济合理性等因素,并应具有良好的耐蚀性能、力学性能、焊接性能、成形性能及其他工艺性能和物理性能。具体选用参照 JB/T 4734、GB/T 3198 及 YS/T 69 的相关规定执行。

5 设计

5.1 封头

5.1.1 封头的接管与外部铝合金管道连接时,采用焊接结构,见图 5.1 a)。

5.1.2 封头的接管与外部管道连接时,采用法兰连接,结构见图 5.1 b)。

5.1.3 封头的接管与外部异种金属管道(不锈钢或铜)采用焊接结构,见图 5.1 c)。

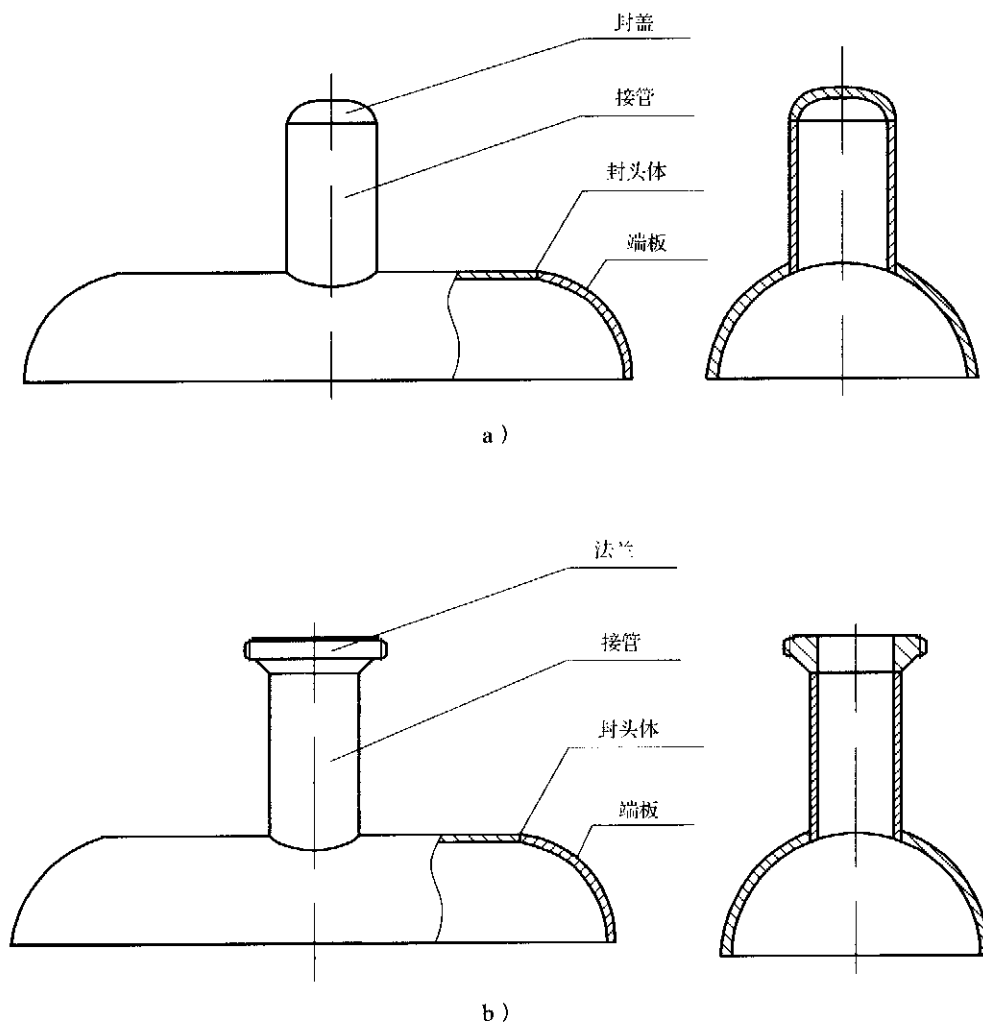


图 5.1 封头结构示意图

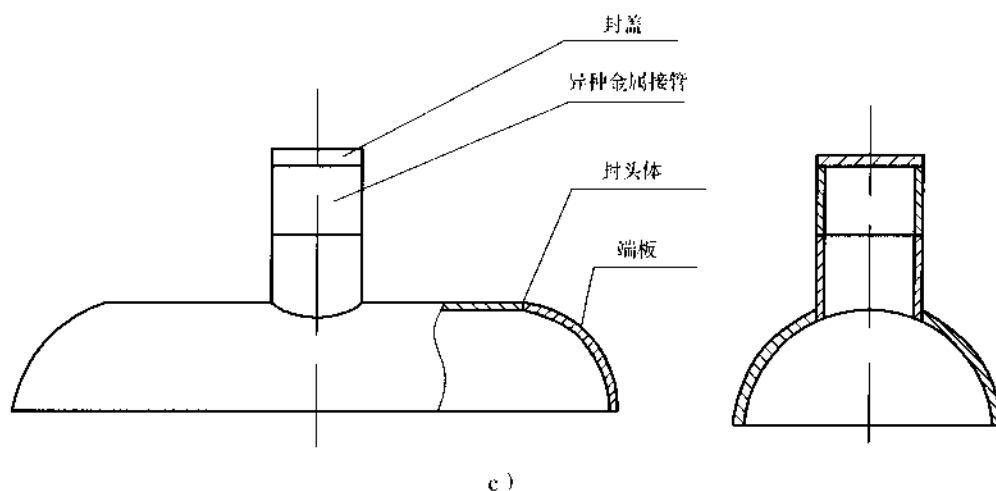


图 5.1 (续)

5.1.4 封头/接管的配置形式 (典型的配置图见图 5.2)。



图 5.2 典型的封头/接管形式

5.1.5 符号说明:

- B —— 组合式封头矩形底面横向宽度, mm;
- C —— 壁厚附加量, mm;
- D_i —— 半圆筒内直径, mm;
- d_i —— 接管内直径, mm;
- D_p —— 平板形端板计算直径, 圆形平板为内直径, 非圆形平板为短轴;
- F —— 接管到封头的内截面上所计算的合力, N;
- F_r —— 接管到封头的内截面上所允许的合力, N;
- F_x —— 接管到封头的内截面上 X 轴方向的分力, N;
- F_y —— 接管到封头的内截面上 Y 轴方向的分力, N;
- F_z —— 接管到封头的内截面上 Z 轴方向的分力, N;
- h_1, h_2 —— 板组合式封头折边高度, mm;
- h —— 过渡短节高度, mm;
- H —— 板组合式封头的高度, mm;
- L —— 组合式封头矩形底面纵向宽度, mm;

M ——接管到封头的内截面上所计算的合力矩, $\text{N} \cdot \text{m}$;
 M_r ——接管到封头的内截面上所允许的合力矩, $\text{N} \cdot \text{m}$;
 M_x ——接管到封头的内截面上 X 轴方向的分力矩, $\text{N} \cdot \text{m}$;
 M_y ——接管到封头的内截面上 Y 轴方向的分力矩, $\text{N} \cdot \text{m}$;
 M_z ——接管到封头的内截面上 Z 轴方向的分力矩, $\text{N} \cdot \text{m}$;
 p ——设计压力, MPa ;
 R_i ——封头体内半径, mm ;
 R_p ——平板形端板计算半径, mm ;
 δ_p ——平板形端板厚度 (包括壁厚附加量), mm ;
 α ——斜平板形端板的倾角, $45^\circ \leq \alpha \leq 90^\circ$;
 δ ——封头体壁厚, mm ;
 ϕ ——焊接接头系数;
 $[\sigma]^t$ ——设计温度下材料的许用应力, MPa 。

5.1.6 热交换器封头结构形式见图 5.3 ~ 图 5.7。

5.1.7 封头与板束的连接结构

根据设计压力和封头厚度, 可采用图 5.8 的结构形式。

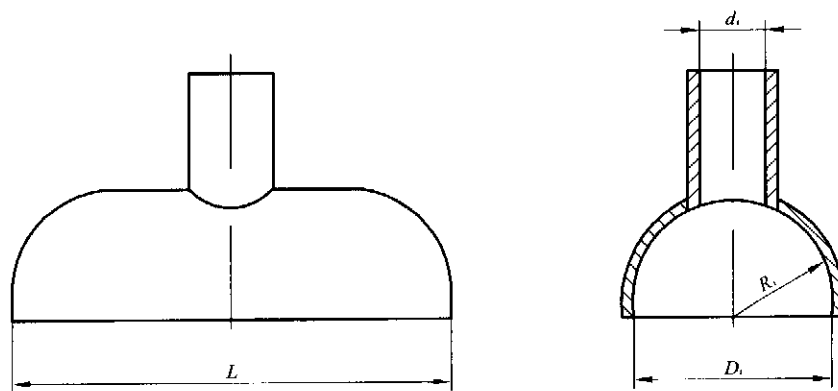


图 5.3 弧形端板封头示意图

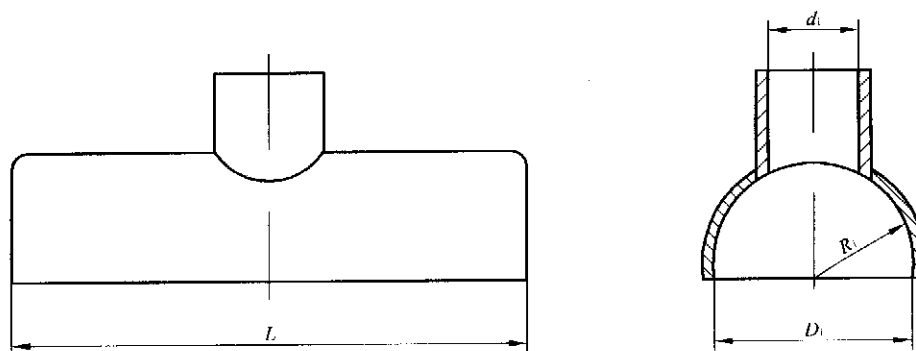


图 5.4 平板形端板封头示意图

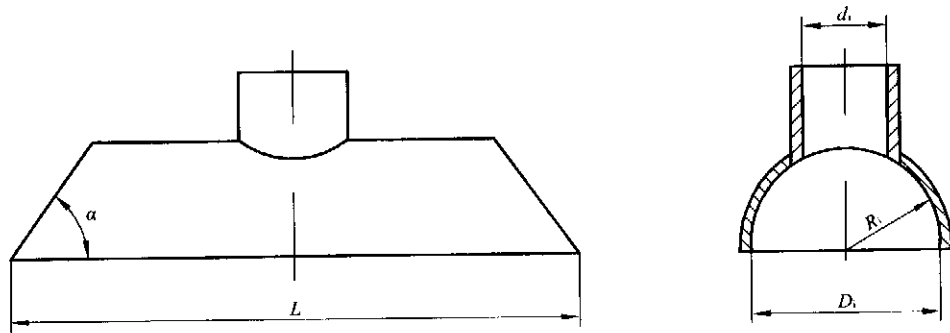


图 5.5 斜平板形端板封头示意图

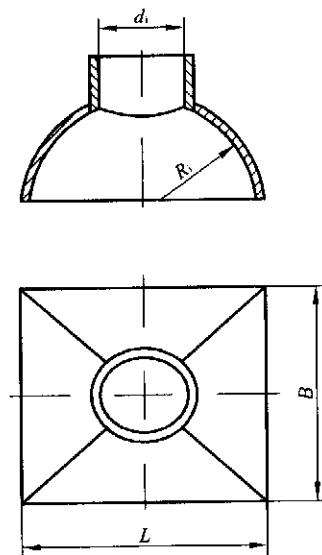


图 5.6 弧形端板组合式封头

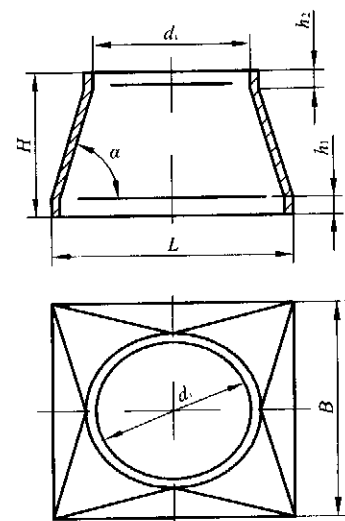
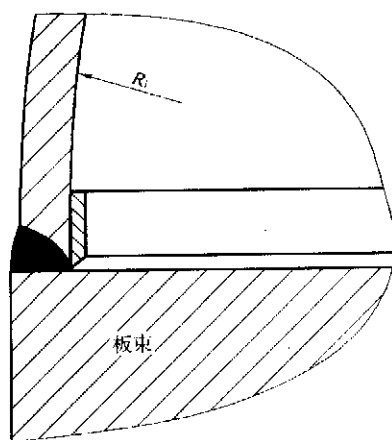
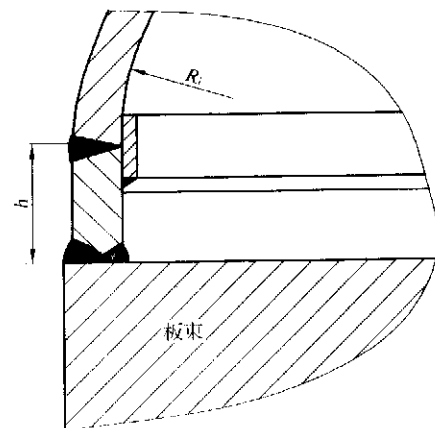


图 5.7 板组合式封头



a) 不带过渡板短节



b) 带过渡短节

图 5.8 封头与板束连接 (示意图)

5.1.8 壁厚计算与强度校核

5.1.8.1 弧形端板及封头体(图 5.3)的壁厚计算:

当 $d_i/D_i \leq 0.5$, 由式 (5.1) 计算:

$$\delta = \frac{pR_i}{[\sigma]'\phi - 0.6p} + C \quad \dots\dots\dots (5.1)$$

其中 $\phi = 0.6$ 。

5.1.8.2 图 5.4~图 5.6 所示封头, 其封头体的壁厚采用式 (5.1) 计算。图 5.7 所示封头, 对于一定的设计壁厚 δ , 除非已经作了有效的应力分析, 或采用有实践经验的公式, 否则应对每一设计尺寸进行压力试验前的应力校核。

压力试验前, 应按式 (5.2) 校核圆筒应力:

$$\sigma_T = \frac{p_T(R_i + 0.5\delta_c)}{\delta_c} \quad \dots\dots\dots (5.2)$$

式中:

σ_T —— 试验压力下圆筒的应力, MPa;

R_i —— 圆筒内直半径, mm;

p_T —— 试验压力, MPa;

δ_c —— 圆筒的有效厚度, mm。

σ_T 应满足下列条件:

液压试验时:

$$\sigma_T \leq 0.9\phi R_{0.2}$$

气压试验时:

$$\sigma_T \leq 0.8\phi R_{0.2}$$

式中:

$R_{0.2}$ —— 圆筒材料在试验温度下的规定残余延伸应力, MPa;

ϕ —— 圆筒的焊接接头系数。

5.1.8.3 平板形端板

当需采用平板形端板时, 其结构可按图 5.9 选用。

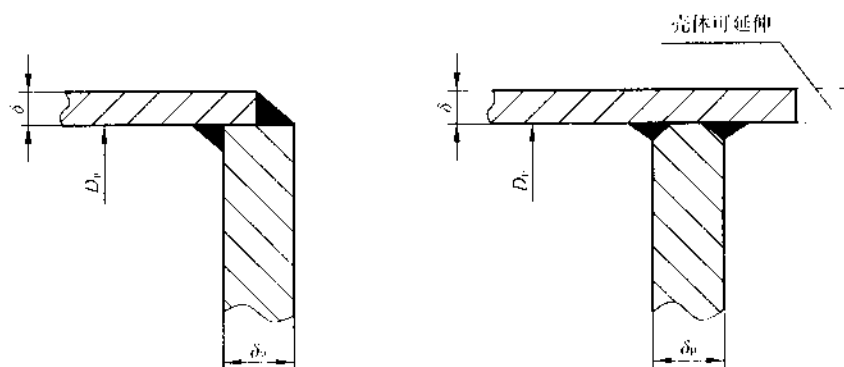


图 5.9 常用平板形端板结构示意图

圆形平板最小厚度按式 (5.3) 计算:

$$\delta_p = D_p \sqrt{\frac{0.44p}{[\sigma]^t}} + C \quad \dots\dots\dots (5.3)$$

半圆形平板最小厚度按式 (5.4) 计算:

$$\delta_p = R_p \sqrt{\frac{0.44p}{[\sigma]^t \sin \alpha}} + C \quad \dots\dots\dots (5.4)$$

其中: $45^\circ \leq \alpha \leq 90^\circ$ 。

5.1.8.4 接管

接管的计算方法按照 JB/T 4734 的有关规定执行。

5.2 侧板、隔板

5.2.1 侧板

侧板应和所配用的封头厚度相适应, 侧板厚度一般为 3mm ~ 6mm。

5.2.2 隔板

隔板厚度的选择须考虑压力引起的来自侧封条的拉应力。

隔板典型厚度在 0.8mm ~ 2mm, 由设计者根据应力选取。

5.3 翅片、导流片

5.3.1 翅片

翅片高度、厚度及翅片节距一般为:

- a) 翅片高度 $h=2.5\text{mm} \sim 20.0\text{mm}$;
- b) 翅片材料厚度 $t=0.1\text{mm} \sim 0.6\text{mm}$;
- c) 翅片节距 $p=0.8\text{mm} \sim 4.2\text{mm}$ 。

翅片的允许最高设计压力按附录 A 确定, 安全系数范围为 4 ~ 6, 可根据使用场合选取。

5.3.1.1 翅片分为锯齿型、多孔型、平直型、波纹型等。具体结构如图 5.10 所示。

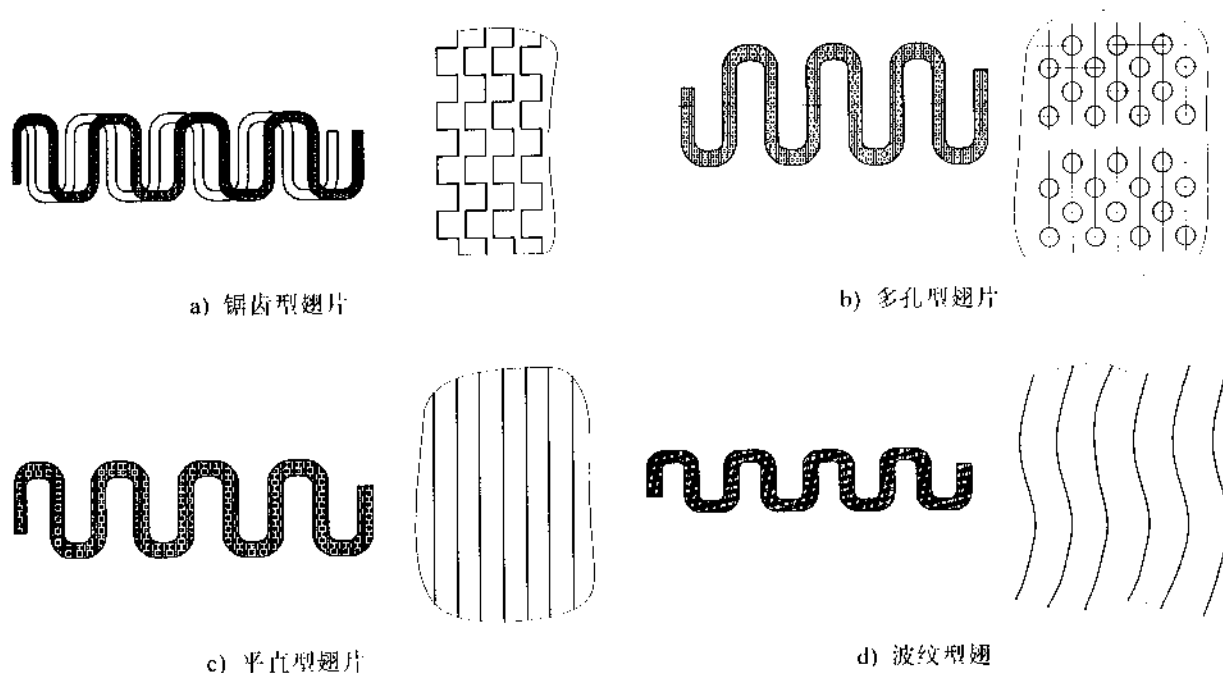


图 5.10 主要翅片类型

5.3.1.2 翅片规格尺寸。翅片有不同的形式，高度 (h)、厚度 (t)、不同的节距 (p)，可组成多种翅片的规格尺寸，如图 5.11 所示。常用的规格见表 5.1 ~ 表 5.3。

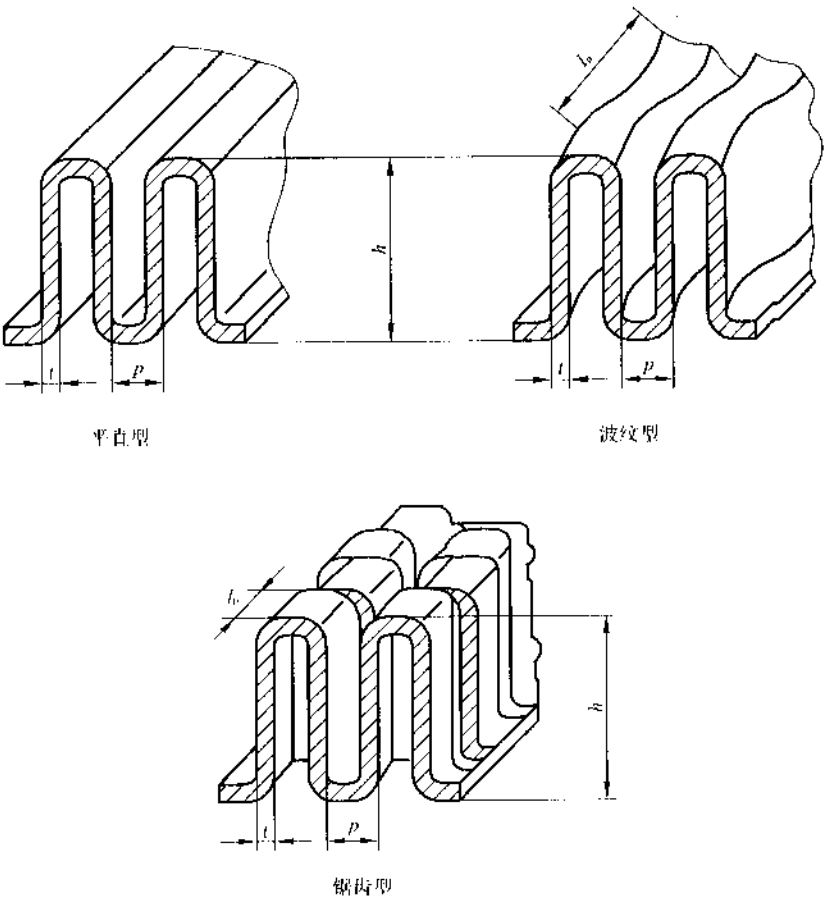


图 5.11 翅片尺寸定义

表 5.1 锯齿型翅片

翅高 h , mm	翅距 p , mm	翅厚 t , mm	当量直径 D_e , mm	通道截面积 f_i , m^2	传热面积 F_i , m^2	二次换热面积所占比例
9.5	1.4	0.2	2.125	0.007 97	15.0	0.886
9.5	1.7	0.2	2.583	0.008 21	12.7	0.861
9.5	2.0	0.2	3.016	0.008 37	11.1	0.838
6.5	1.7	0.3	2.284	0.005 11	8.94	0.816
6.5	2.0	0.3	2.67	0.005 27	7.9	0.785
4.7	2.0	0.3	2.45	0.003 74	6.1	0.721
3.0	3.5	0.3	2.93	0.002 47	3.37	0.458
注：选用锯齿型翅片时应注出锯齿齿长 l_p 。						

表 5.2 多孔型翅片、平直型翅片

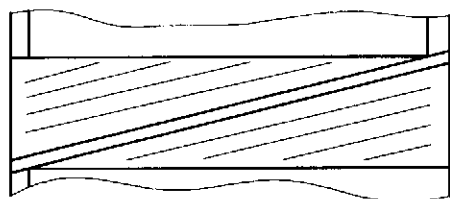
翅高 h , mm	翅距 p , mm	翅厚 t , mm	当量直径 D_e , mm	通道截面积 f_i , m^2	传热面积 F_i , m^2	二次换热面积所占比例
9.5	4.2	0.6	5.13	0.007 63	5.95	0.712
9.5	2.0	0.3	2.87	0.007 82	10.9	0.844
6.5	4.2	0.5	4.58	0.005 3	4.62	0.619
6.5	2.0	0.6	2.263	0.004 13	7.30	0.808
6.5	2.0	0.3	2.67	0.005 27	7.9	0.785
6.5	1.7	0.3	2.284	0.005 11	8.94	0.816
6.5	1.4	0.5	1.565	0.003 86	9.857	0.87
4.7	4.2	0.5	3.934	0.003 7	3.76	0.532
4.7	2.0	0.3	2.45	0.003 74	6.1	0.721
3.0	4.2	0.5	2.984	0.002 2	2.95	0.403
注：选用打孔翅片时应扣除开孔所占有的传热面（多孔型应注出开孔率）。						

表 5.3 波纹型翅片

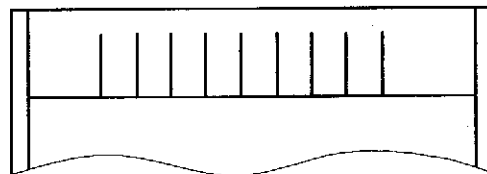
翅高 h , mm	翅距 p , mm	翅厚 t , mm	当量直径 D_e , mm	通道截面积 f_i , m^2	传热面积 F_i , m^2	二次换热面积所占比例
10.0	5.0	0.4	7.07	0.010 75	6.08	0.676
9.5	3.0	0.3	4.17	0.008 28	7.933	0.773
6.5	3.0	0.3	3.76	0.005 58	5.933	0.697
4.7	2.5	0.3	2.933	0.003 87	5.28	0.667
注：选用波纹型翅片时应注出翅片峰顶距离（波长） l_{pc}						

5.3.2 导流片

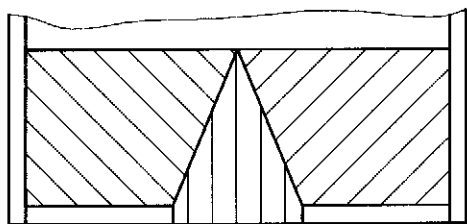
根据板束的宽度及导流片在板束内的开口位置和开口方向，导流片一般有如图 5.12 a) ~ h) 所示等多种型式。



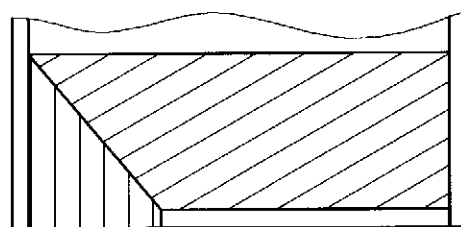
a) 通道侧面开口型导流片结构示意图



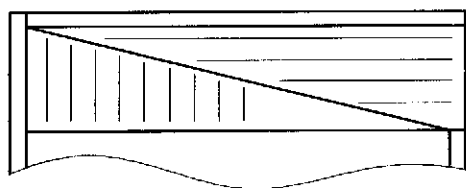
b) 通道敞开导流片结构示意图



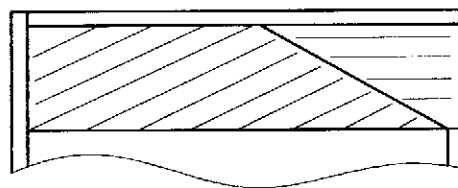
c) 通道中间开口导流片结构示意图



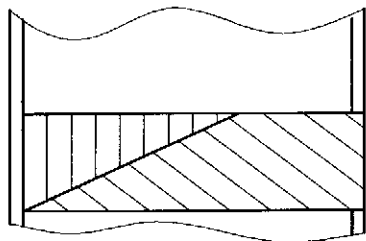
d) 通道端头局部开口的导流片结构示意图



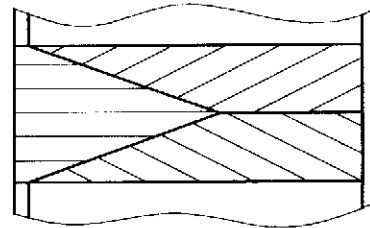
e) 通道侧面开口导流片结构示意图



f) 通道侧面开口导流片结构示意图



g) 板束中部通道中流体导出或导入时导流片结构示意图

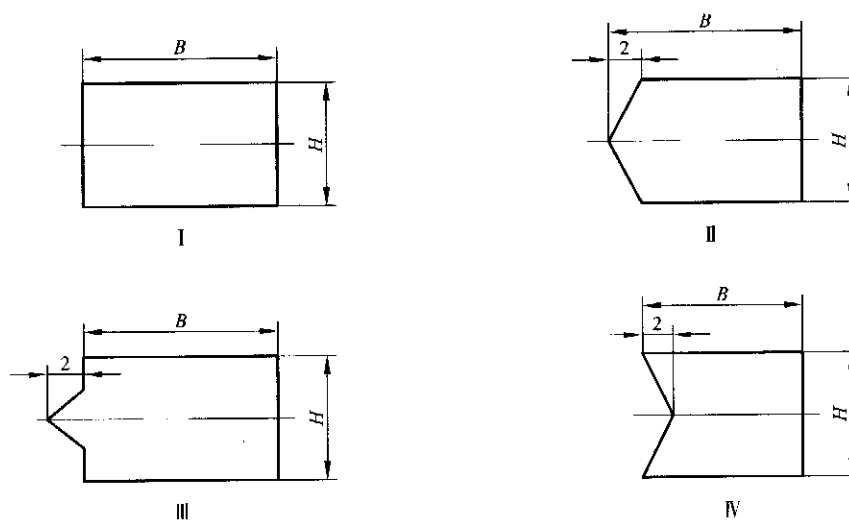


h) 板束中部通道中流体导入或导出时导流片结构示意图

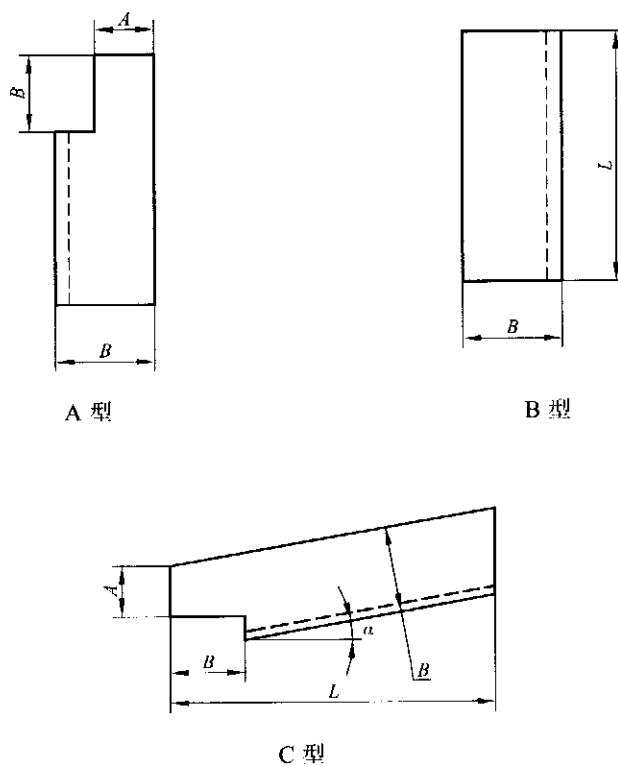
图 5.12 导流片结构示意图

5.4 封条

封条宽度可根据封头的壁厚及焊接的合理性选择。封条常用截面形式如图 5.13 a) 所示, 常用端头形式如图 5.13 b) 所示, 其质量见表 5.4。



a) 常用封条的截面型式



b) 封条端部接口型式 (以截面型式 IV 为例)

图 5.13 常用封条结构示意图

表 5.4 常用封条规格质量表 kg/m

封条宽度 B mm	封条高度 H , mm					
	3.0	4.7	6.5	8.9	9.5	12.0
6	0.049	0.077	0.106	0.146	0.155	0.197
8	0.066	0.103	0.142	0.194	0.207	0.262
10	0.082	0.128	0.177	0.243	0.259	0.328
12	0.098	0.154	0.212	0.292	0.311	0.394
15	0.123	0.192	0.266	0.365	0.389	0.492
20	0.164	0.256	0.354	0.486	0.518	0.656
25	0.205	0.320	0.443	0.608	0.648	0.820
30	0.246	0.384	0.531	0.728	0.777	0.984
35	0.287	0.488	0.620	0.849	0.907	1.148
注：密度按照 2 730kg/m ³ 计算。						

5.5 法兰

法兰的设计计算参照 GB 150 的有关规定执行。材料的许用应力按 JB/T 4734 的有关规定选取。

5.6 开孔和开孔补强

5.6.1 符号说明：

- d —— 开孔内直径，mm；
- D_i —— 壳体内直径，mm。

5.6.2 概述

本节规定适用于热交换器壳体和封头上开孔及其补强。开孔形状应为圆形，必要时可为椭圆形或长圆形。当为椭圆形和长圆形开孔时，其长径与短径之比不应大于 2，超过此值的开孔应采取特别的加强措施。

所有开孔应避开焊缝，开孔边缘与焊缝的距离应大于 3 倍壳体的实际壁厚，并不小于 60mm。若开孔应通过焊缝时，则开孔中心两侧各不小于 1.5 倍开孔直径范围内的焊缝须经 100% 无损检验。合格标准与壳体要求相同。

5.6.3 补强型式

筒体与封头的开孔补强应根据具体条件选用下列的补强型式。

5.6.3.1 加补强圈的补强

用全焊透和局部焊透方法，将补强圈与壳体、接管相焊，如图 5.14 和图 5.15 所示，其开孔补强设计计算参照 GB 150 的有关规定执行。

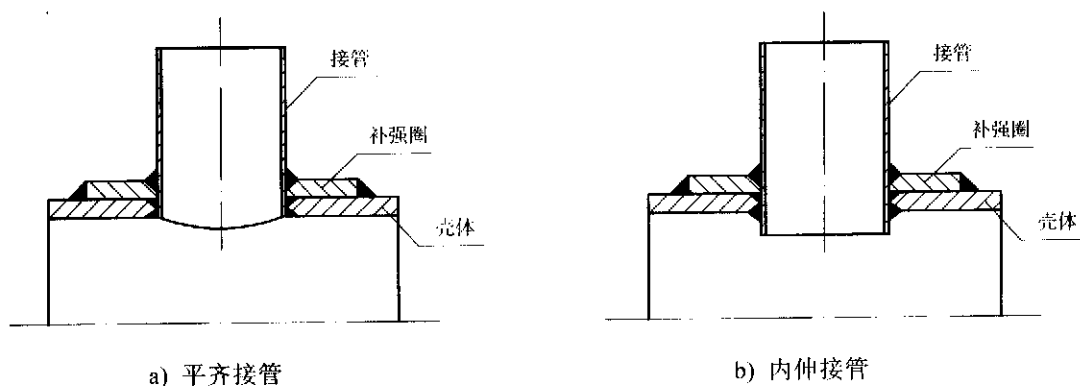


图 5.14 补强圈补强

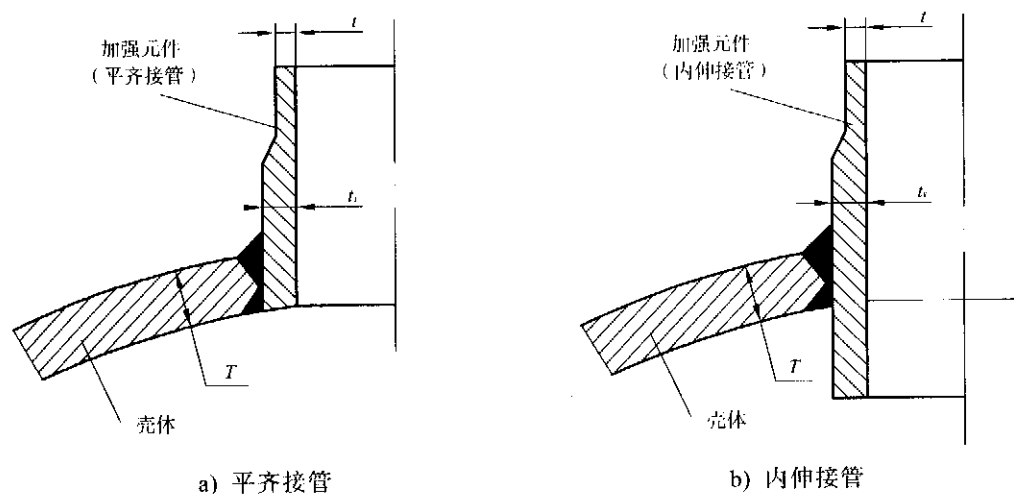


图 5.15 接管补强的开孔

当采用图 5.14 的补强搭焊结构进行开孔补强时, 应满足下列规定:

- 外加补强件材料的许用应力值应等于或大于筒体或封头材料的许用应力值, 若为后者, 其增大部分不得利用作为附加的补强面积;
- 当外加补强件材料的许用应力值小于筒体或封头部分材料的许用应力值时, 所需补强的截面积须乘以两许用应力的反比值;
- 补强圈厚度不得大于 1.5 倍壳体厚度。

5.6.3.2 接管补强

以全焊透方法将厚壁接管与壳体相焊, 如图 5.15 所示, 条件许可尽量以接管补强代替补强圈补强, 尤其是筒体或球壳半径较小时。

5.6.3.3 翻边或凸颈补强

壳体或封头允许采用图 5.16 所示的结构形式, 但开孔补强应通过应力分析计算。

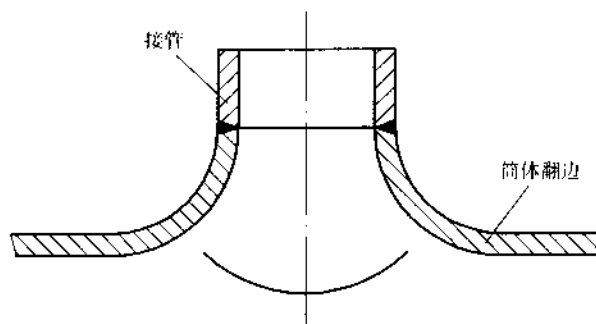


图 5.16 外翻边对焊接管

5.6.3.4 整体补强

整体补强应按照 JB/T 4734 的有关规定执行。

5.6.4 允许开孔的范围

开孔范围超出 GB 150 规定时,开孔的补强结构与计算应作特殊考虑。必要时应做验证性试验,以校核设计的可靠性,或用应力分析方法设计。

5.7 翅片最高允许设计压力的确定

当热交换器采用新型翅片时,应进行翅片爆破试验,通过爆破试验确定翅片、导流片的最高允许设计压力,试验方法按附录 A 的规定进行。

5.8 接管

5.8.1 结构

接管一般与封头的圆筒形部分焊接在一起,其连接方式如图 5.2 所示,也可以采用其他的连接方式:

- 接管一般选用标准无缝管,较大的或特殊的接管可以采用焊接管材或板材制成;
- 如果需要维持一定的流速,而接管的直径受到限制,可在同一封头上焊接几个接管;
- 为了防止或减少热交换器进出口处铝制构件的侵蚀,应考虑流速的极限;
- 热交换器接管外径小于 40mm 时,宜采用棒材加工成承插焊接接管的连接形式。对于切向接管,接管与封头之间的流通面积应不小于接管的横截面积。

5.8.2 接管安装

接管安装时,应确保各个压力腔中的流体排放彻底。需要时,可在封头或连接管道上增设排放接头用于安装放净阀等。

5.8.3 接管载荷

当连接管道对热交换器的接管增加力与力矩时,制造厂应校核接管、封头等部件允许的最大力与力矩。

总的合力 F 与合力矩 M 按照式 (5.5) ~ (5.7) 计算确定:

$$M = \sqrt{M_x^2 + M_y^2 + M_z^2} \quad \dots\dots\dots (5.5)$$

$$F = \sqrt{F_x^2 + F_y^2 + F_z^2} \dots\dots\dots (5.6)$$

并且:

$$(M/M_r) + (F/F_r) \leq 1 \dots\dots\dots (5.7)$$

三坐标轴的位置见图 5.17。

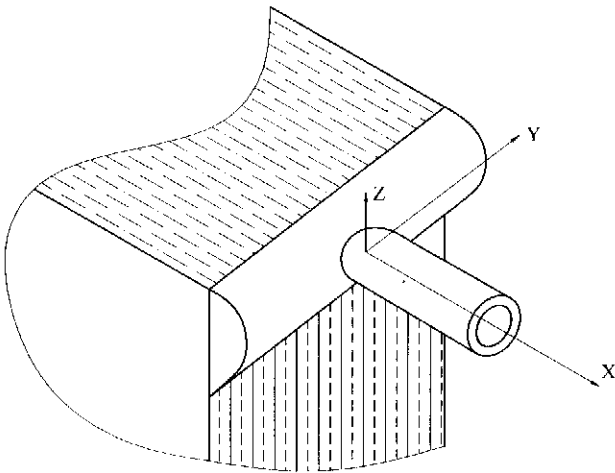


图 5.17 坐标轴的位置

6 制造、检验与验收

6.1 制造

6.1.1 总则

- 6.1.1.1 热交换器的制造、检验与验收除应符合本标准外，还应符合图样要求。
- 6.1.1.2 焊接应由持有技术监督部门颁发的相应类别焊工合格证的焊工担任，焊工考试按 JB/T 4734 的附录 A 执行。
- 6.1.1.3 热交换器受压部分的焊接接头（钎焊缝除外），按其所在位置分为 A、B、C、D 四类，如图 6.1 所示：
 - a) 封头、接管受压部分的纵向焊接接头均属 A 类焊接接头；
 - b) 封头、接管受压部分的环向焊接接头及接管与法兰对接环向焊接接头等均属 B 类焊接接头；
 - c) 接管与法兰的角焊接接头，接管与封盖、封头与端板、封头与板束连接的焊接接头等均属 C 类焊接接头；
 - d) 接管与封头连接的焊接接头、补强圈与封头连接的焊接接头等均属 D 类焊接接头。

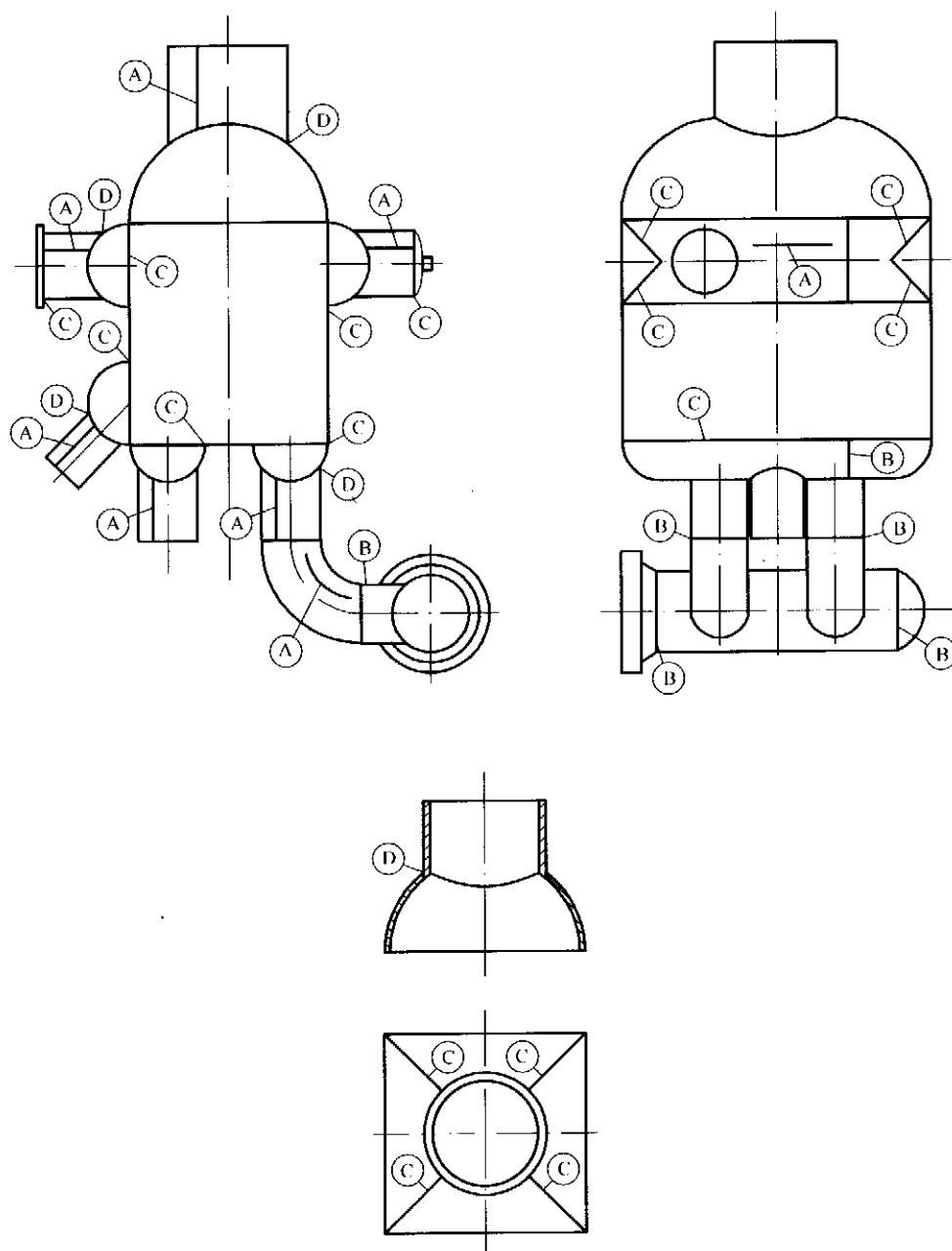


图 6.1 主要受压焊接接头类别示意图

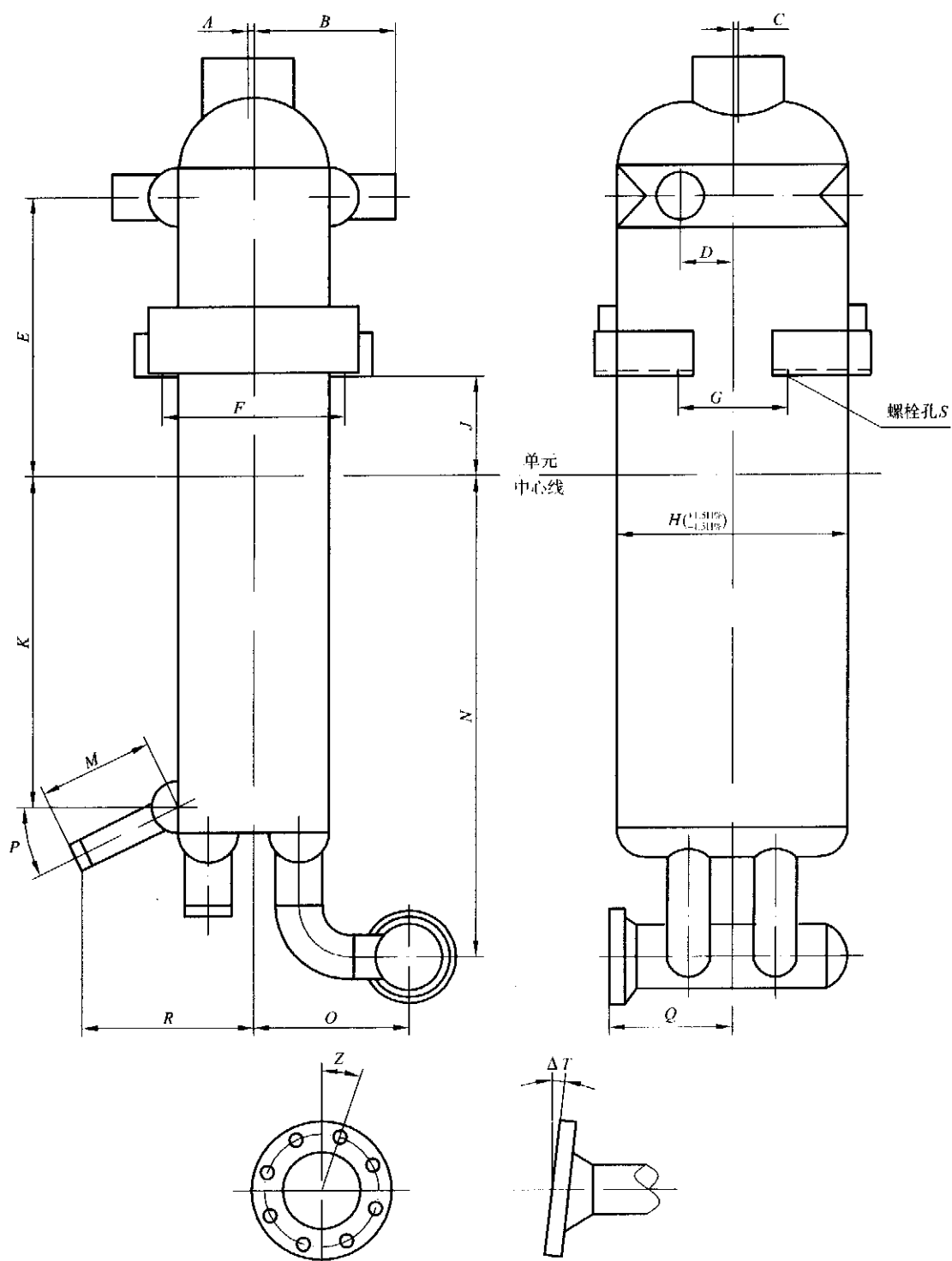
6.1.2 公差要求

6.1.2.1 单元体接管的轴线位置和法兰面位置均以板束各形面的几何轴线为基准，应在法兰平面和管端面进行检测。

6.1.2.2 单元体组装时，应符合图 6.2 ~ 图 6.4 的规定，并应满足图样的要求。

6.1.2.3 管口或法兰面应垂直于接管或单元的主轴中心线，安装接管法兰应保证法兰面的水平或垂直（有特殊要求时应按图样规定），其偏差 ΔT 不得超过图 6.2 ~ 图 6.4 的规定。

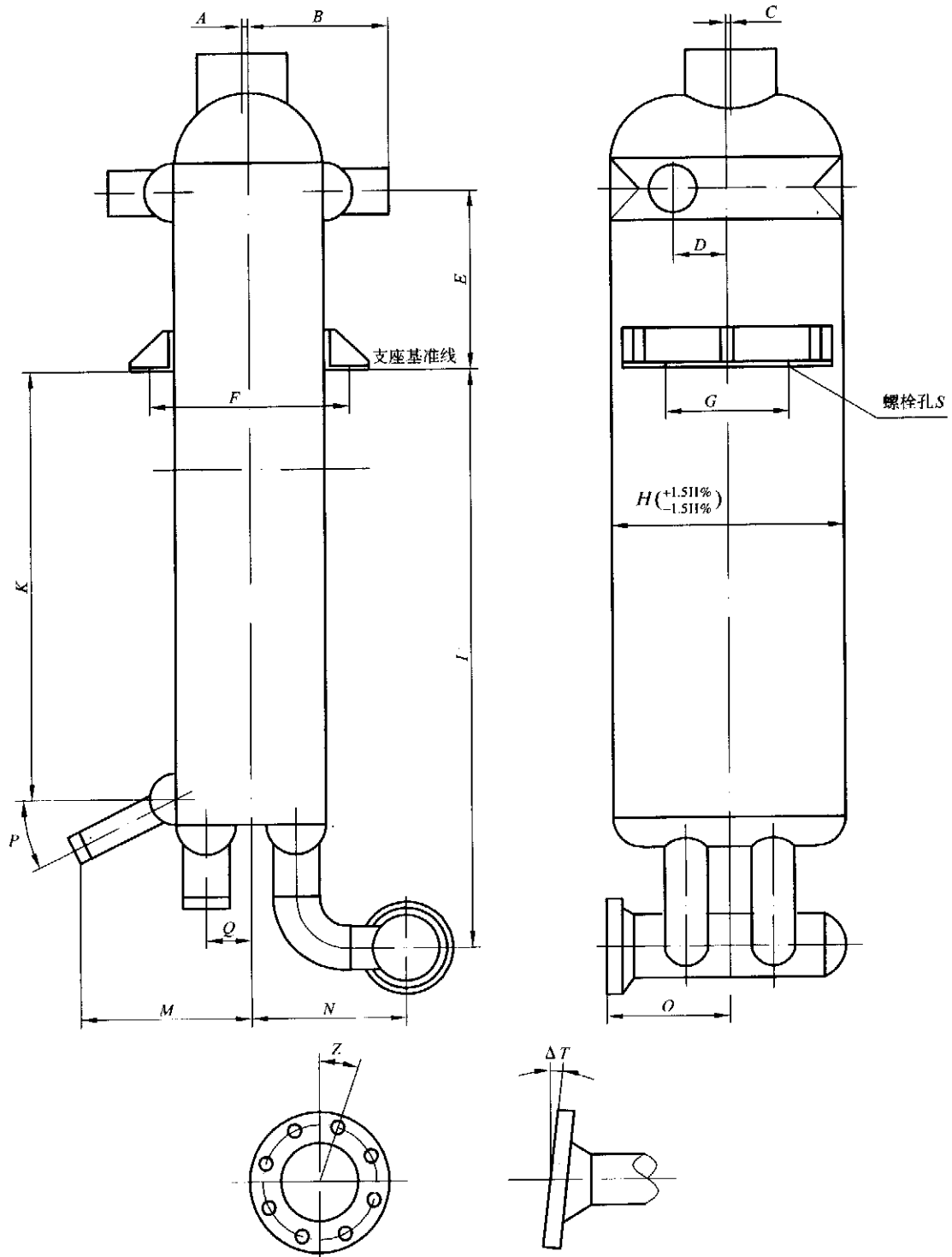
6.1.2.4 法兰螺栓孔应与接管轴线或铅垂线跨中布置，如图 6.2 ~ 图 6.4 所示。有特殊要求时，应在图样上注明。



mm

符号	基本尺寸	允许偏差	符号	允许偏差	符号	允许偏差
B, E, K, N, Q, O	≤ 1000	± 6	A, C, D, M, R	± 6	P	$\pm 3^\circ$
	$> 1000 \leq 2000$	± 8	J, F, G	± 3	ΔT	$\pm 1^\circ$ 在法兰外径 $\max \leq 5$
	> 2000	± 10	S	± 1	Z	$\pm 1^\circ$ 在螺栓孔圆 $\max \leq 5$

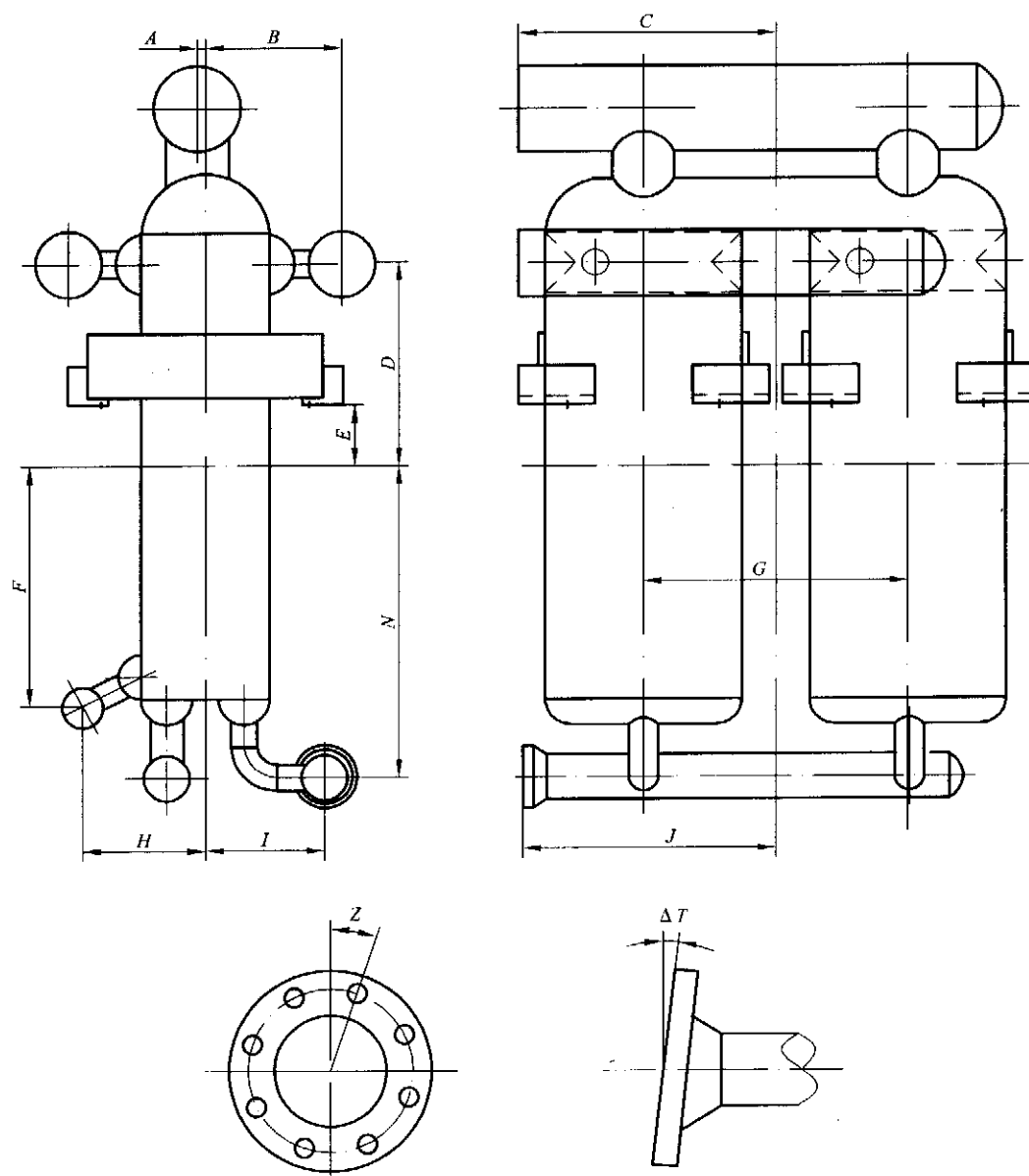
图 6.2 板束中心线为基准线的公差示意图



mm

符号	基本尺寸	允许偏差	符号	允许偏差	符号	允许偏差
B, I, K, E M, N, O	≤ 1000	± 6	A, C, D, Q	± 6	P	$\pm 3^\circ$
	$> 1000 \leq 2000$	± 8	F, G	± 3	ΔT	$\pm 1^\circ$ 在法兰外径 max ≤ 5
	> 2000	± 10	S	± 1	Z	$\pm 1^\circ$ 在螺栓孔圆 max ≤ 5

图 6.3 支座基线为基准线的公差示意图



符号	基本尺寸	允许偏差	符号	允许偏差
$B, C, D, F, G, H, I, J, N$	≤ 1000	± 6	A	± 6
	$> 1000 \leq 2000$	± 8	ΔT	$\pm 1^\circ$ 在法兰外径 $\max \leq 5$
	> 2000	± 10	Z	$\pm 1^\circ$ 在螺栓孔圆 $\max \leq 5$
—	—	—	E	± 3

图 6.4 两台热交换器单元组装的公差示意图

6.1.2.5 单台热交换器外形尺寸的标准公差应按照图 6.2 和图 6.3 的规定，板束中心线（见图 6.2）和支座基线（见图 6.3）作为外形尺寸的基准线。制造厂可使用其他的基准线。买方和制造厂双方同意后，可采用其他的公差值。

6.1.2.6 两台热交换器单元组装的外形尺寸的标准公差应按照图 6.4 的规定,其支座基线也可作为外形尺寸的基准线。

6.1.2.7 图 6.2~图 6.4 中规定了法兰的尺寸公差要求。

6.1.3 板束

6.1.3.1 组装要求:

- a) 钎焊元件的尺寸偏差和形位公差应符合图样或相关技术文件的要求;组装前不得有毛刺,且表面不得有严重磕、划、碰伤等缺陷;组装前应进行清洗,以除去油迹、锈斑等杂质,清洗后应进行干燥处理;
- b) 组装前的翅片和导流片的翅形应保持规整,不得被挤压、拉伸和扭曲;翅片、导流片和封条的几何形状有局部变形时,应进行整形;
- c) 隔板应保持平整,不得有弯曲、拱起、小角翘起和无包覆层的白边存在;板面上的局部凹印深度不得超过板厚的 10%,且最深不大于 0.15mm;
- d) 组装时每一层的钎焊元件应互相靠紧,但不得重叠。设计压力 $p \leq 2.5\text{MPa}$ 时,钎焊元件的拼接间隙应不大于 1.5mm,局部不得大于 3mm;设计压力 $p > 2.5\text{MPa}$ 时,钎焊元件的拼接间隙应不大于 1mm,局部不得大于 2mm。拼接间隙的特殊要求应在图样中注明。

6.1.3.2 钎焊工艺

钎焊工艺的制定应按合格的钎焊工艺评定进行。

6.1.3.3 板束外观:

- a) 板束焊缝应饱满平滑,不得有钎料堵塞通道现象;
- b) 导流片翅形应规整,不得露出于隔板之外;
- c) 相邻上下层封条间的内凹、外弹量不得超过 2mm;
- d) 板束上下平面的错位量每 100mm 高不大于 1.5mm,且总错位量不大于 8mm;
- e) 侧板的下凹总量不得超过板束叠层总厚度的 1%。

6.1.4 焊接

6.1.4.1 焊接接头型式

应根据介质温度和载荷条件选择焊接接头型式,选择焊接接头型式时应避免产生过大的应力集中和明显的外形突变,附录 B 提供了可供选择的焊接接头型式。

6.1.4.2 焊接工艺:

- a) 热交换器施工前的焊接工艺评定应按 JB/T 4734 的附录 B 进行。热交换器的焊接工艺文件应按图样技术要求和评定合格的焊接工艺并参照 JB/T 4734 的附录 E 制订;
- b) 焊接工艺评定报告、焊接工艺规程、施焊记录的焊工识别标记等文件的保存期不得少于 7 年。焊工识别标记应打在规定的容器部位,但不得在耐腐蚀面上打钢印;
- c) 焊接接头表面的形状尺寸及外观要求、焊接接头返修要求应符合 JB/T 4734 的有关规定;
- d) 受压元件的 A、B、C、D 类焊接接头及钎焊缝的补焊应采用钨极氩弧焊、熔化极氩弧焊或采用通过试验可保证焊接质量的其他焊接方法,并应符合 JB/T 4734 的有关规定。

6.1.5 封头

成型后封头的壁厚减薄量不得大于图样规定厚度的 10%,且不大于 3mm。

6.1.6 机械加工表面和非机械加工表面的线性尺寸的极限偏差,应分别按 GB/T 1804 中 m 级和 c 级的规定执行。

6.1.7 无损检测

6.1.7.1 封头和接管等受压元件的本体及其复合件的焊接接头的无损检测要求应符合 JB/T 4734 的规定。其对接接头应按 JB/T 4730.2 进行射线检测或 JB/T 4730.3 进行超声检测。

6.1.7.2 封头和板束的焊接接头,应采用全焊透结构。封头采用热处理提高材料机械强度时,应按 JB/T 4730.5 进行渗透检测,图样有要求的按照图样执行。

6.1.7.3 需在总装时完成的相邻封头之间的对接接头,对无法进行射线或超声检测的部位,应按 JB/T 4730.5 进行渗透检测,Ⅰ级合格。

6.1.7.4 接管和法兰的焊接接头,当两种零件中有一种采用热处理提高材料机械强度时,应按 JB/T 4730.5 进行渗透检测,Ⅰ级合格。

6.2 试验、检验与验收

试验方法按本标准附录 A 的规定进行。

热交换器的检查和试验除根据项目要求在使用现场进行外,一般应在制造厂内进行,每台热交换器须经制造厂(和第三方)技术检验部门检验合格,并附有产品合格证方可出厂。

6.2.1 压力表要求

压力试验应使用两个量程相同的并且经过校验合格的压力表。压力表的量程应在压力试验压力的 2 倍左右为宜,但不应低于 1.5 倍和高于 4 倍的试验压力。

6.2.2 耐压强度试验

热交换器的压力试验除符合本标准或设计图样特殊规定外,还应符合《压力容器安全技术监察规程》的规定。

热交换器制造完成后,应进行压力试验,压力试验的项目和要求应在图样中注明。

6.2.2.1 液压试验

热交换器的液压试验一般应采用水作试验介质,水应是洁净对工作无腐蚀的。

试验压力按 3.7.1 的规定。试验时,逐个通道进行,每一通道加压时,其余通道放空,检查要求按照图样规定。

6.2.2.2 气压试验

热交换器的气压试验应采用干燥无油洁净的空气、氮气或惰性气体作为试验介质,试验压力按 3.7.1 的规定。采用气压试验时,应要有可靠的防护措施。

6.2.3 泄漏试验

6.2.3.1 气密性试验

热交换器的气密性试验应采用干燥无油洁净的空气、氮气或惰性气体作试验介质,试验压力为设计压力;试验时,对所有通道同时充压到各自规定压力值,逐个通道进行检查并符合图样要求。

6.2.3.2 氦质谱检漏试验

在热交换器设计图样上或供货合同中有要求时需进行本项试验,漏率要求应根据热交换器的技术参数、工质类别、纯度要求等,由设计者计算确定并标注于图样中,作为考核依据。

氦检漏应在强度、气密性检验合格后进行。

6.2.4 气阻试验

按设计图样的要求对热交换器有关通道进行气阻试验。试验条件和要求按本标准附录 A 中 A.3 或设计图样的规定。对空分设备中的切换热交换器的切换通道,除应检验其本身的阻力值外,还应满足两者之间相互阻力差的要求。

切换热交换器阻力差允许值应通过计算确定。

6.2.4.1 同一单元中(冷段或热段),两切换通道(A、B)的阻力偏差按式(6.1)计算。

$$[(\Delta p_{\text{大}}/\Delta p_{\text{小}}) - 1] \times 100\% \leq 8\% \quad (6.1)$$

式中:

$\Delta p_{\text{大}}$ —— A、B 通道中气阻值较大者(下同);

$\Delta p_{\text{小}}$ —— A、B 通道中气阻值较小者(下同)。

6.2.4.2 冷、热段组合成一个小单元(含冷、热段串联的整体热交换器),小单元内两个切换通道总的阻力偏差按式(6.2)计算。

$$[(\Delta p_{\text{大}}/\Delta p_{\text{小}}) - 1] \times 100\% \leq 2.4\% \quad (6.2)$$

6.2.4.3 由若干个小单元组合成一个大单元后,该单元各通道的阻力值与相应通道的平均值的偏差按式(6.3)计算。

$$[(\Delta p_i/\Delta p_{\text{cp}}) - 1] \times 100\% \leq \pm 4\% \quad (6.3)$$

式中:

Δp_i —— 被测某一通道气阻值;

Δp_{cp} —— 被测某一通道的平均阻力值,按式(6.4)计算。

$$\Delta p_{\text{cp}} = \left(\sum_{i=1}^N \Delta p_i / N \right) \quad (6.4)$$

式中:

N —— 冷热段组合的小组数。

6.2.5 荧光检验

在热交换器设计图样上或供货合同中有要求时需进行本项试验。

对于用于氧气作业的热交换器的通道,需进行脱脂处理,待热交换器完工后,采用波长为 3200 Å ~ 4000 Å 紫外线对该通道封头下面的热交换器表面、封头及接管的内侧进行检验,以证明无碳氢化合物引起的荧光迹象。

6.3 不一致的修正

热交换器在制造过程中,如果发生与要求不一致时,则需要修正。制造厂需判断不一致的严重性,并根据合同要求确定买方是否参与处理。当合同无要求时,可以采用下述方法进行不一致修正。

6.3.1 规程与记录

修正工作应遵照可靠的规程和工艺规范要求进行,应确保热交换器的性能和安全性不受影响,且不影响结构完整性。制造厂应作好不一致的文件记录,需要时应提供给买方。

6.3.2 封条与隔板钎焊缝泄漏的修正

应按照可靠的补焊工艺规程采用手工密封焊接,对钎焊缝泄漏进行修正。

6.3.3 通道的封闭

当隔板穿通,导致通道相互间内漏时,应由设计部门确定应该采取的纠正方法。一般可封闭某一通道,并作出封闭通道对热交换器性能和压力降影响程度的报告。

6.3.4 允许存在的表面缺陷

在不影响产品的使用性能和寿命的情况下,单元体表面允许存在缺陷,但封头和接管的缺陷深度不得大于 0.3mm;板束的缺陷深度不得大于 0.5mm。

6.3.5 补焊:

- a) 试压后发现焊缝有渗漏或无损检测不合格时, 允许进行返修补焊。补焊时制造厂应制订补焊工艺规范, 但同一部位补焊次数一般不得超过 2 次, 超过 2 次以上时, 需提供相应的焊接工艺评定报告。补焊前应铲除缺陷部位的金属, 并将焊接区重新清理, 且不得带压施焊;
- b) 对于空分设备中的切换热交换器、主热交换器、冷凝蒸发器和设计压力大于 2.5MPa 的热交换器单元体, 钎焊缝允许的补焊长度不得大于外露隔板 (包括封头内) 总长度的 0.5%; 对于其他热交换器, 钎焊缝允许的补焊长度不得大于外露隔板 (包括封头内) 总长度的 1.5%。

6.4 质量证明书、标志、油漆、包装、运输和贮存

6.4.1 出厂准备工作

6.4.1.1 清洁

产品外表面应去除油污、脏物, 以保持干净。涂漆和其他防腐处理应符合设计图样和有关技术文件的规定。

6.4.1.2 干燥

运输之前, 制造厂应确保热交换器所有压力腔充分干燥, 具体要求按附录 A 的规定进行。

6.4.1.3 法兰保护

法兰所有外露加工接触面均应加以适当的保护, 以防止机械损伤, 尤其是法兰密封面。

6.4.1.4 强度层及无用区域的保护

强度层及无用区域的开口以及封闭的无用区域的开口应加适当保护, 以防止水分、灰尘侵入。

6.4.1.5 氮封:

- a) 经干燥合格后的热交换器压力腔应充入干燥无油氮气进行置换并氮封, 氮封压力一般为 0.025MPa ~ 0.05MPa, 特殊要求按设计图样和有关技术文件的规定;
- b) 氮封后应在管口处贴上压力警告标志, 启封前应将压力腔卸压;
- c) 对于无法进行氮封或供需双方同意不进行氮封的热交换器, 应采用塑料薄膜包装并放置干燥剂或吸湿剂。

6.4.2 质量证明文件

热交换器出厂质量证明文件应至少包括下列内容:

- a) 产品合格证;
- b) 产品说明书;
- c) 产品质量证明书。

6.4.3 制造厂铭牌

6.4.3.1 一般规定:

- a) 每台热交换器都应安装有制造厂的铭牌, 铭牌应安装在该热交换器就位后容易接近的明显位置;
- b) 铭牌宜采用合适材料制成, 如买方允许, 铭牌可以安装在热交换器的托架上。如果热交换器要安装在冷箱或容器之内, 制造厂还应提供复制铭牌, 并安装于冷箱或容器外表上;
- c) 对热交换器处理多种流体并具有多个独立压力腔时, 可使用多块铭牌。

6.4.3.2 基本内容

铭牌至少应包括下列内容:

- a) 产品型号;

- b) 产品名称;
- c) 主要技术特性参数: 设计压力或最高允许的工作压力; 试验压力; 最高和最低允许的工作温度或设计金属温度; 介质; 换热面积; 容积、热交换器类别等;
- d) 制造日期;
- e) 制造厂名称;
- f) 认可机构的检验标记。

6.4.4 包装、运输和贮存

6.4.4.1 包装

热交换器包装应符合 GB/T 13384 的规定。

6.4.4.2 运输和贮存:

- a) 热交换器的运输应符合铁路、公路、水运的要求;
- b) 热交换器在运输中应防止碰撞、雨淋;
- c) 热交换器应存放在清洁、干燥, 没有酸、碱等腐蚀介质气氛的场所。不得存放在露天场地;
- d) 存放期内热交换器各通道的氮封压力不得低于 0.02MPa, 否则买方应随即用干燥氮气补充至氮封压力。

7 安装与操作

7.1 概述

支座一般安装位于板束(热交换器芯体)的上半部, 这样可以减少角撑架与支撑横梁接合处在设备启动和停车时的震动。

除了主支座之外, 当需要增设滑动导架时, 应按图 7.1 与图 7.2 所示结构设置, 并考虑如下因素:

- a) 热交换器的外形尺寸;
- b) 热交换器的重量;
- c) 现场条件(地震、风力、管道负荷等);
- d) 主支座平面与热交换器重心的相对位置。

当需方要求时, 制造厂应提供热交换器封头与接管接合处所允许施加的外力和力矩。买方应确保所有连接管路的载荷不超过制造厂提供的数值。

7.2 起吊及搬运

热交换器应设置起吊装置, 制造厂应提供在起吊、搬运热交换器时的注意事项。

7.3 支承架

支承架的安装应满足如下要求:

- a) 热交换器应安装于支承架上。选择支承架时, 除了要考虑热交换器的自重外, 还应考虑外部所施加的力和力矩;
- b) 热交换器安装于支承架后的垂直度偏差应不大于 0.5°或 15mm, 并可采用垫金属薄片的方式来调整垂直度;
- c) 支承架与热交换器配合面应绝热, 绝热材料的强度应和承受的载荷与震动相适应, 并根据工作条件确定绝热材料的厚度。

7.4 滑动导轨

如果风载、地震或管道负荷所施加的外力足以引起热交换器横向移动时, 应设置滑动导向架加

以防止。

典型的支撑系统和导向架如图 7.1 ~ 图 7.3 所示。导向架与热交换器之间需用绝热材料隔开。绝热材料应压紧，且用不锈钢螺钉固定于导向架上，以防松动脱开。热交换器还可以装上保护用的防磨板。导架连接件应用合金钢制成，并固定于冷箱的主结构件或支架上。

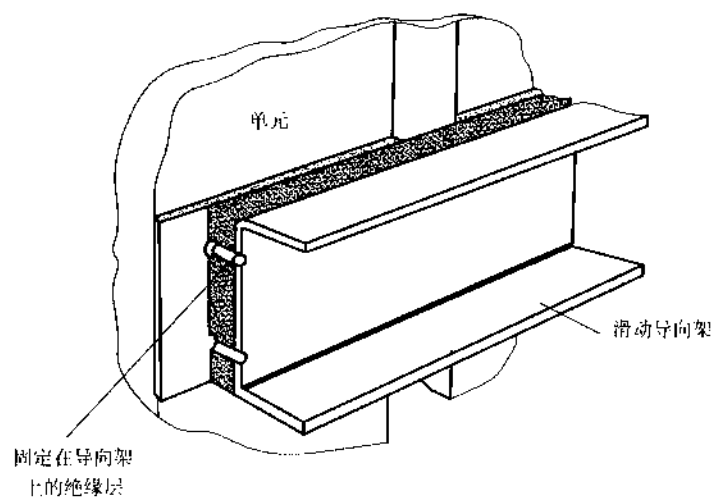


图 7.1 典型的滑动导轨（滑动控制架）

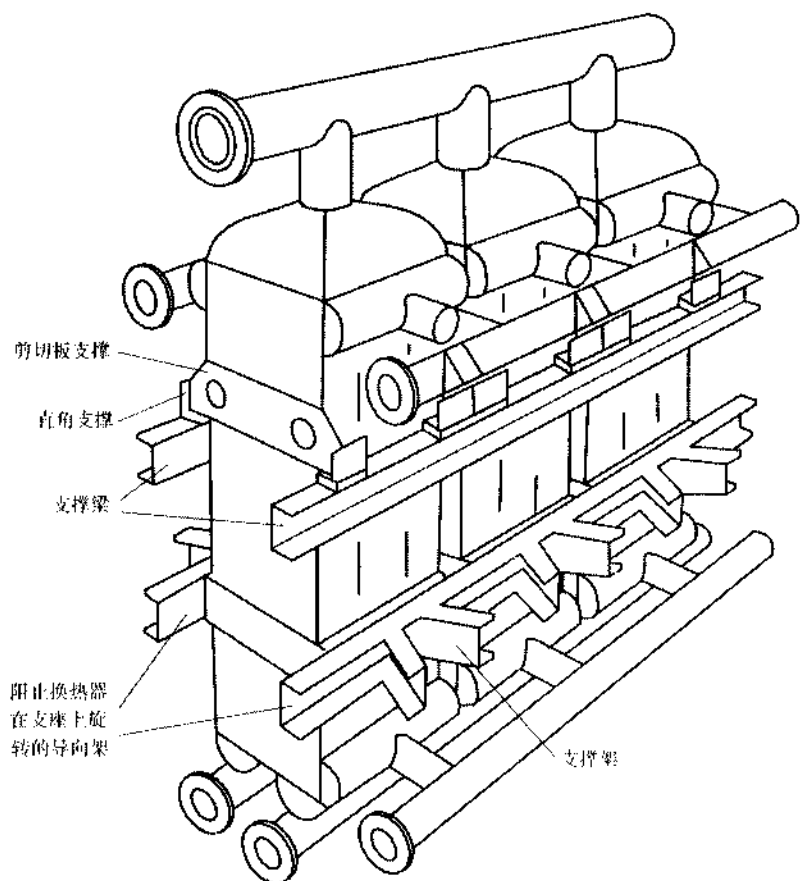


图 7.2 具有剪切边板支撑的三个热交换器单元组合装置

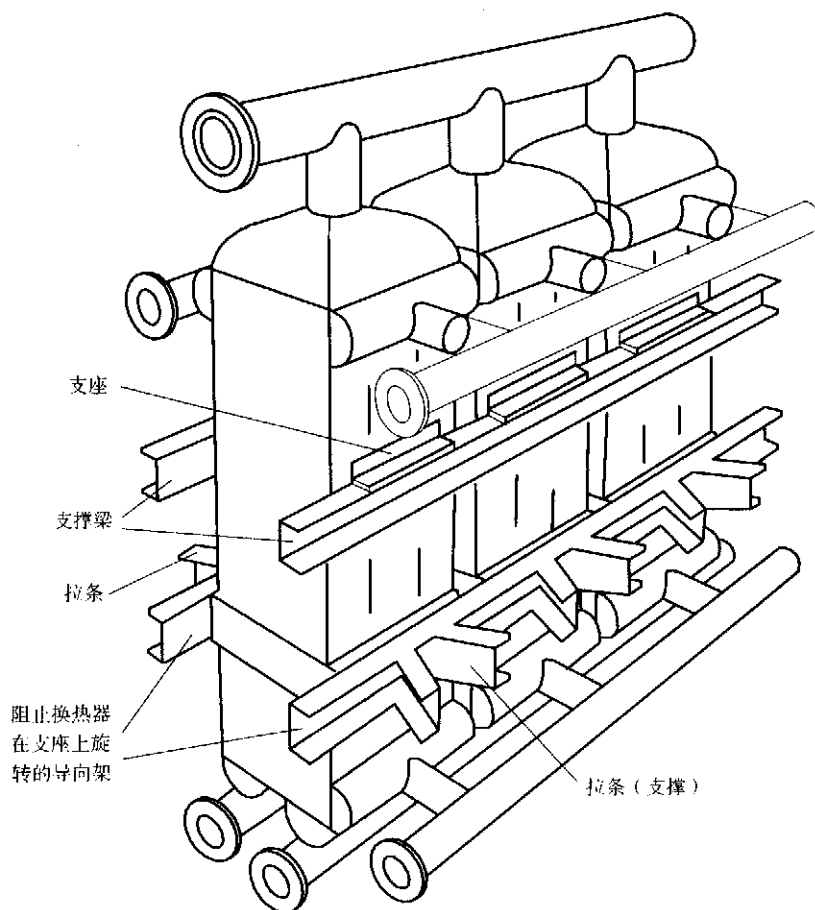


图 7.3 具有直角托架支撑的三个热交换器单元组合装置

7.5 固定螺栓

热交换器安装于支撑架上应采用螺栓固定，固定时应考虑因热胀冷缩导致的力和力矩的增加

7.6 无用通道的开口

7.6.1 以下无用通道应设置开口：

- a) 强度层；
- b) 位于板束侧面相邻两个封头之间的空间；
- c) 端部导流片使用斜封条后形成的死角；
- d) 两个板束并联（焊接）在一起时形成的空间；
- e) 其他特殊结构。

7.6.2 开口应有标记并应保证无用通道空腔的畅通，运输前应对开口进行干燥和封闭处理。

7.6.3 安装完成后，覆盖在开口上的封闭物（如螺钉、塞子或防水膜等）应在现场试验和运行前去除，并根据需要决定是否安装排放管路。

7.7 检验与试验

7.7.1 安装检验

安装完成后,应对焊接接头进行目视检查,用户要求时,可进行渗透或射线检测,渗透和射线检测应符合相关标准的规定。

7.7.2 压力试验

安装完成后系统应进行压力试验,压力试验应符合有关规范的要求并满足以下要求:

- 压力试验的介质一般采用干燥空气,必要时应采用干燥氮气;
- 压力试验时应采取必要的安全措施;
- 压力试验应按通道分别进行,一个通道进行压力试验时,其他通道不能同时进行压力试验;
- 压力试验完成后应降压,然后进行气密性试验;
- 评价压力试验时,应考虑整个保压期间环境温度的变化,最终压力可按公式修正:

最终压力读数 = 最初压力读数 $\times$ [最终环境绝对温度 (K)/最初环境绝对温度 (K)]

- 各通道的压力试验合格后,系统应进行气密性试验,保压 30min 无泄漏为合格。

7.8 绝热 (隔热保冷)

热交换器现场试验完毕后应进行绝热处理,并满足以下要求:

- 对于冷箱内的热交换器,热交换器与冷箱壁之间的最小绝热层不得小于图 7.4 规定的最小绝热厚度。绝热材料可采用珠光砂或矿渣棉。珠光砂的密度一般为 $60 \text{ kg/m}^3 \sim 80 \text{ kg/m}^3$ 。充填矿渣棉时应避免损坏热交换器接头。绝热处理后,应采用干燥氮气吹除冷箱绝热材料中残留的空气;
- 对于其他热交换器,绝热材料一般采用聚氨酯泡沫,最小绝热厚度应满足图样的要求。绝热处理后,绝热材料应加外壳封闭保护。

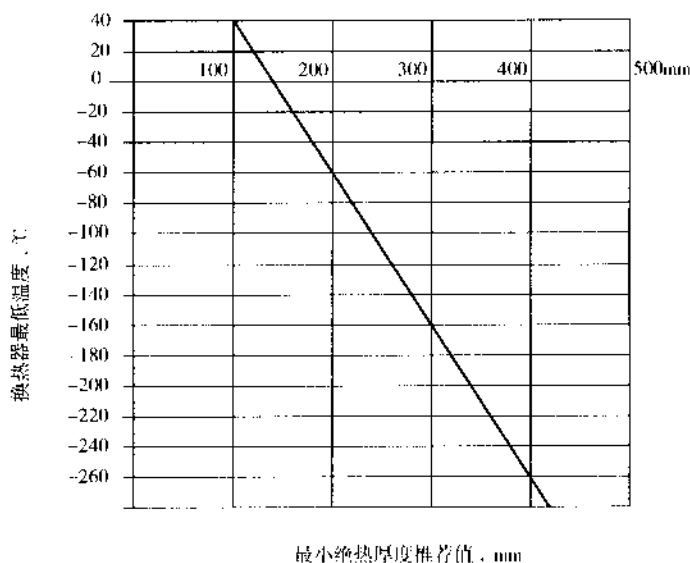


图 7.4 热交换器与冷箱壁之间的最小绝热厚度

7.9 系统操作

以下各条规定了低温系统的操作要求,高温系统可参照执行。

7.9.1 启动

启动前应采取以下措施:

- 应对热交换器各通道的压力泄放装置进行检查;

- b) 应采用吹扫等方法对管道与热交换器间连接系统中的氧化皮和沙粒等固体颗粒杂质予以清除;
- c) 应采用露点不高于 -40°C 的氮气对系统内残余的水分和碳氢化合物进行吹除,直至满足系统图样的要求;
- d) 应采用干燥气体进行系统冷却,冷却时降温速率不得大于 $2^{\circ}\text{C}/\text{min}$ 以避免对系统产生热冲击,冷却气体应同时引入各通道,冷却气体温度与局部金属温度的温差不得超过 30°C ;
- e) 启动数据应记录存档。

7.9.2 运行

运行时应符合如下要求:

- a) 流体的入口处应设置过滤器,并设置一个旁通系统,过滤网至少应能清除直径大于 0.18mm 的固体颗粒杂质;
- b) 系统内流体的流动应保持稳定,以避免来自压缩机或泵的脉冲或喘振气流的直接冲击;
- c) 压力泄放装置的泄放压力不得大于最大允许工作压力,泄放压力设定值和泄放量应符合有关标准的规定。

7.9.3 停车

停车应符合如下要求:

- a) 停车后应先排出系统中的液体,并应采用干燥气体使系统升温,升温速率不得大于 $2^{\circ}\text{C}/\text{min}$,并严格控制加温气体和系统之间的即时温度差不大于 50°C ;
- b) 系统达到常温后应停止升温,并采用干燥气体或露点不大于 -40°C 的氮气进行吹除;
- c) 吹除后,如果停车需要持续一段时间,应考虑对系统进行氮封。

7.10 维护保养

维护保养应符合如下要求:

- a) 应记录热交换器的运行情况,记录内容应包括启动、停车和故障时的详情及运行数据;
- b) 当热交换器发生故障时,应向制造厂咨询,咨询前不得自行处理;
- c) 对于介质中含有碳氢化合物等有害物质的系统,进行检查前应采用必要的安全防护措施;
- d) 对于低温系统,进入冷箱内检查前,应切断冷箱内保护氮气的气源。冷箱内氧气含量未达到 19% 之前,不得进入冷箱检查。进入冷箱检查时,应采用报警式监测器连续监测氧气含量,至少应有两台监测器每隔 1h 轮流使用;
- e) 如需要移开冷箱内部分绝热材料检查时,应采取措施防止其余绝热材料垮塌,焊接时还应采取防火措施;
- f) 检查用珠光砂绝热的冷箱时,不得在珠光砂完全移出前进入冷箱。

7.11 泄漏检查

7.11.1 一般检漏

一般检漏按如下要求:

- a) 当热交换器有外漏时,可以从绝热外壳上局部结冰或冒出蒸气而被察觉。若热交换器装在冷箱之内,则从冷箱排气阀排出的气体的气味或组分含量的明显改变或流体漏出的声音等也能被察觉;
- b) 当热交换器有内部泄漏时,会使产品纯度降低,如果泄漏量较大,会使相关流体的流量发生明显变化;

- c) 当怀疑有泄漏时,应立即进行检查,并尽快与制造厂联系。如果泄漏的是有害物质,应立即采取措施。

7.11.2 现场试压检漏

现场工作开始之前,所有的通道应用干燥氮气或干燥空气吹除。应进行气体分析,以确保该系统没有残余的有害气体。如果热交换器装在冷箱之内,应维持冷箱上下出气孔的出气并连续监控它的氧含量,氧含量小于 19% 时,不允许进入工作。

各通道用盲板封闭并装上合适的压力表,依次对各个通道进行加压;初期的试验压力设定为最大 0.5MPa (表压),因为大部分泄漏可在低压下查出。根据泄漏的情况,可能还需用较高的压力进行试验,但试验压力不能超过该通道的工作压力。试验介质应采用干燥氮气或干燥空气。

充压后确认所有机械接头都没有泄漏。保压 10h ~ 12h 小时,如果此时压力下降,而且不是因为温度变化造成的,则说明确实有泄漏。保压时间取决于压力表的灵敏度以及试验通道的容量。与此同时,如有相邻通道压力升高,则说明通道之间有内部泄漏。如果此时相邻通道的压力没有升高,则说明是外部泄漏。所有的通道都应设置压力泄放装置以防超压。

采用这种检漏方法时,应遵照 7.7.2 的规定,同时应采取预防措施,确保泄漏不会置换封闭空间里的氧气或形成可燃氛围。

记录的压力应按 7.7.2 所述方法进行调整,以补偿试验期间环境温度的变化。

外部泄漏可采用 7.7.2 所述的方法用肥皂水对新布管道焊接接头进行检验判定。

7.12 泄漏的修补

外部泄漏,由合格的焊工按照补焊工艺进行补焊。

如果热交换器有内漏需修复,应与制造厂协商提出修复的建议与方法。

附 录 A
(规范性附录)
热交换器性能试验方法

A.1 翅片最高允许设计压力的确定

A.1.1 通过爆破试验确定翅片、导流片的最高允许设计压力。

A.1.1.1 试验设备和仪表:

- a) 试验使用的测量仪器、仪表应经计量部门鉴定合格并在有效期内;
- b) 试压泵选用 40MPa 以上;
- c) 压力表精度为 1.5 级,表盘刻度极限值应是试验压力的 2~4 倍,表盘直径不应小于 100mm。压力表至少两只,其中一只应带有记录功能。

A.1.1.2 试验条件:

- a) 试验规定用纯净水作试压介质,当试件与介质大致处于相同的温度后,才能加压至试验压力;
- b) 试件尺寸及结构。试件尺寸为 300mm×300mm,共三层;试件中间层为试验翅片层,上、下两层为强度层。

上述试件隔板厚度、封条尺寸,翅片型式均与产品要求相同,并钎焊成整体。

A.1.1.3 试验程序:

- a) 在进行爆破试验时应认真地做好试验人员的安全工作;
- b) 准备试验的通道应充满水。在试验之前应将试件内的气体排净,然后开始缓慢加压。强度层不做试验应通大气;
- c) 当压力逐渐增加到翅片拟定的最高允许设计压力的 2 倍后,按照 0.5MPa 的增量缓慢加压到最高允许设计压力的 4~6 倍。如果在加压到拟定的最高允许设计压力的 4~6 倍时,此试验单元不破裂,应继续加压直到爆破发生为止,及时记录爆破时的压力值。最后由设计部门按照 A.1.1.5 计算出试验翅片的最高允许设计压力。试验过程中设计人员、检验人员应在场,并在制造厂试验报告上签字认可(试验报告的推荐样表可按表 A.1)。报告应足够详细,包括试验设备、仪器及所得结果。报告书作为技术文件存档保存。

A.1.1.4 试件爆破后,应对试件进行切块检验,如爆破形式是翅片拉伸断裂,则试验合格。如果是钎焊缝脱开,则应重新做一次试验。

A.1.1.5 评定:

- a) 计算该试验翅片的最高允许设计压力;

$$[p] = \frac{p_b}{n_b} \times \frac{R_m}{R_{mp}} \quad \dots\dots\dots (A.1)$$

式中:

$[p]$ —— 最高允许设计压力, MPa;

p_b —— 试件的爆破压力, MPa;

表 A.1 制造厂翅片允许设计压力试验报告推荐样表

制造厂翅片允许设计压力试验报告	
No: _____	
1. 试验日期: _____	
2. 翅片型号: _____	
3. 试验依据: _____	
4. 试验条件 (1) 试验是在设计人员、检验人员在场的情况下进行的。 (2) 试件的试验通道充满清洁的水, 强度层通大气。 (3) 试验用设备、仪表及环境条件如下: 水 泵: 型号: _____ 设备编号: _____ 压力范围: _____ 压力表: 型号: _____ 编号: _____ 刻度范围: _____ 精度: _____ 有效日期: _____ 温 度: 室温: _____ ℃ 水温: _____ ℃	
5. 试验规定: 拟定试件的最高允许设计压力值为 _____ MPa, 预计试件的最大试验压力值为 _____ MPa, 按规定第一次升压值为 _____ MPa, 保持 3min, 确认试件无变形、无泄漏时再继续按规定升压至爆破。	
6. 爆破压力: _____ MPa。	
7. 破坏位置: 见图	
8. 试验操作者: _____	

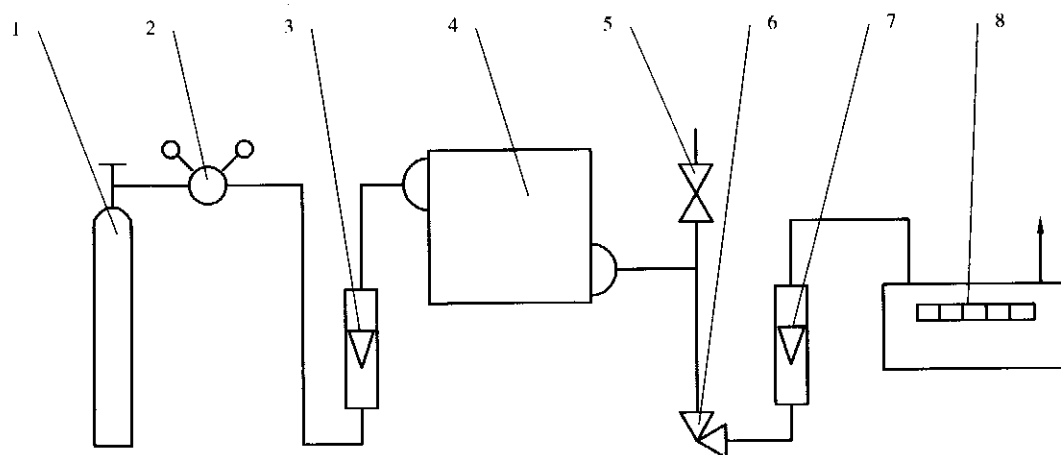
表 A.1 (续)

9. 试验检验人员:	
10. 试验记录:	
钎焊的类型_____	
试件芯体尺寸(长)_____×(宽)_____×(高)_____	
封条尺寸_____材料_____	
侧板厚度_____材料_____	
翅片类型_____	
翅片材料_____	
翅片高度_____	
翅片节距(每英寸翅数)_____	
翅片材料厚度_____	
爆破的原因_____	
爆破试验压力_____	
拉伸试验平均抗拉强度_____	
修正后的爆破试验压力 = 爆破试验压力 × $\frac{\text{室温下材料的标准规定最小抗拉强度}}{\text{室温下试件材料实测平均抗拉试验强度}}$	
修正后的爆破试验压力 _____ × _____	
最高允许设计压力 = $\frac{\text{修正的爆破试验压力}}{\text{安全系数}}$ _____	
参与试验的设计代表 _____ 日期 _____	
合格批准人 _____ 日期 _____	
授权检验师或设计人员:	

A.2 干燥度测试

A.2.1 概述

用露点仪测定热交换器各通道的干燥度。即各通道中通以一定压力、流量的气体流经露点仪测定该通道的露点，测试装置见图 A.1。



说明：

- 1——压缩气瓶；2——减压表；3、7——玻璃转子流量计；
4——热交换器；5、6——阀；8——露点仪

图 A.1 露点测试装置简图

A.2.2 测试仪器和设备：

- a) 压缩气瓶；
- b) 减压表；
- c) 露点仪， $\pm 1^{\circ}\text{C}$ ；
- d) 阀门；
- e) 玻璃转子流量计。

A.2.3 试验程序

向各通道通入露点为 -30°C 以下的干燥、无油洁净的空气或惰性气体。通过露点仪流量为 $10\text{L}/\text{min}$ 。然后用露点仪测出排出气体的露点。

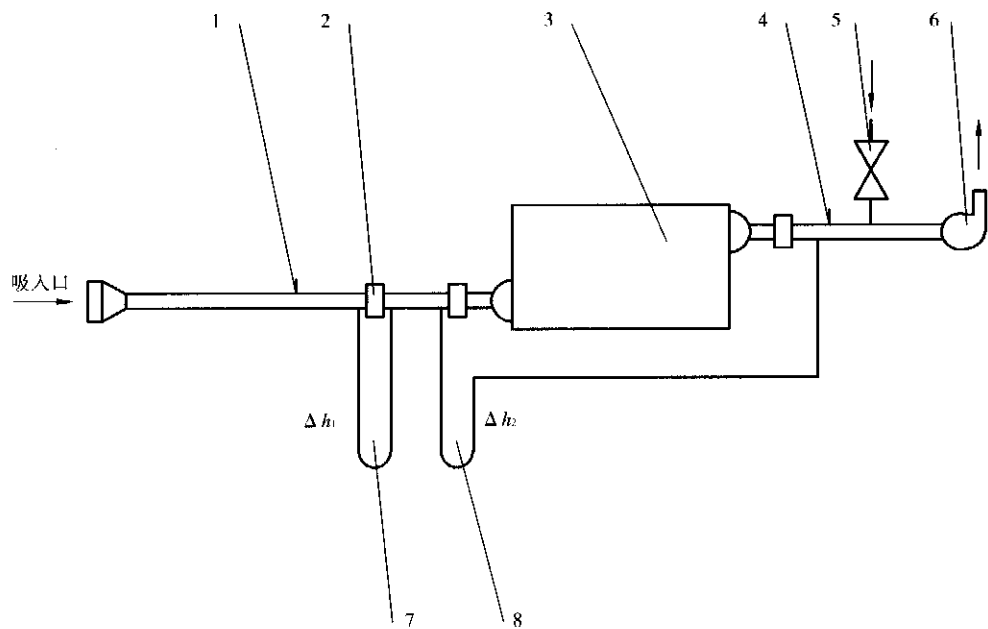
A.2.4 试验评定

各通道露点低于 -5°C 为合格。如合同对露点值有要求时，按合同规定值执行。

A.3 气阻试验

A.3.1 概述

向被测通道通入规定流量的常温空气，测定该通道实验工况下进、出口的压差。从而评定实现该通道设计工况下气阻值的可能性。一般采用吸入法，其装置见图 A.2。



说明:

1、4——玻璃温度计；2——流量孔板；3——热交换器；
5——风量调节阀；6——风机；7、8——U型管压差计

图 A.2 气阻试验装置简图

A.3.2 试验条件

A.3.2.1 试验用气体为无油洁净常温空气或惰性气体。

A.3.2.2 试件清洁度、干燥度应符合图样要求。

A.3.3 试验设备和仪器:

- a) 玻璃温度计，允许 $\pm 0.5^{\circ}\text{C}$ ；
- b) U 形管压差计， $\pm 1\text{mm}$ 水柱；
- c) 气压计；
- d) 流量孔板，符合 GB/T 2624.1 ~ 2624.4 中的精度；
- e) 风量调节阀；
- f) 风机。

A.3.4 试验程序

按图 A.2 装接好的设备、仪表和试件，打开阀 5 并全开；启动风机 6，然后调节阀 5；使通过试件的空气流量由小到大。当空气流量与图样规定的值相差小于 2% 时，停止调节。稳定 5min；并记录 T_1 、 T_2 、 Δh_1 和 Δh_2 的值。如此每隔 5min 连续记录 3 组数值。并记录当时的大气压 p 和相对湿度 ϕ 。

A.3.5 计算

A.3.5.1 取 3 组数据的平均值作为测试值，即 $T_{1\text{试}}$ 、 $T_{2\text{试}}$ ； $\Delta h_{1\text{试}}$ 和 $\Delta h_{2\text{试}}$ 。

A.3.5.2 试验气阻值换算

A.3.5.2.1 试验温度 $T_{\text{试}}$ 的计算按式 (A.2) 进行:

$$T_{\text{试}} = (T_{1\text{试}} + T_{2\text{试}}) / 2 \quad \dots\dots\dots (\text{A.2})$$

式中:

$T_{\text{试}}$ —— 试验时空气的平均温度, K;

$T_{1\text{试}}$ —— 试验时试件空气进口的温度, K;

$T_{2\text{试}}$ —— 试验时试件空气出口的温度, K。

A.3.5.2.2 试验空气流量 $Q_{\text{试}}$, 根据 $\Delta h_{1\text{试}}$ 和 GB/T 2624 中附录 E 和 G-G 采用计算机用迭代法计算。

A.3.5.2.3 将测定的气阻值换算成设计图样规定的在实验条件下的气阻值按式 (A.3) 进行换算。

$$\Delta h = \frac{Q_{2\text{图}} \times T_{\text{图}} \times p_{\text{试}}}{Q_{2\text{试}} T_{\text{试}} p_{\text{图}}} \times \Delta h_{2\text{试}} \quad \dots\dots\dots (\text{A.3})$$

式中:

Δh —— 设计图样规定的在实验条件下的气阻值, Pa;

$p_{\text{试}}$ —— 试验工况下空气压力, Pa;

$T_{\text{图}}$ —— 设计图样规定的空气温度, K;

$Q_{\text{图}}$ —— 设计图样规定的空气流量, m^3/h ;

$Q_{\text{试}}$ —— 试验工况下空气流量, m^3/h ;

$\Delta h_{2\text{试}}$ —— 试验工况下试件进出口压差, Pa;

$p_{\text{图}}$ —— 设计图样规定的空气压力, Pa。

A.3.6 试验评定

Δh 应符合设计图样的规定。

A.4 微漏检验方法 (内漏检验)

该项试验可以作为现场板式热交换器安装之前气密试验检查的方式之一, 不作为制造厂应有的气密试验检查方式, 当合同有要求时, 制造厂也可以按照此方法对气密试验有异常的通道进行此试验, 以判定板式热交换器的密封性能。

A.4.1 概述

选择比被测通道压力高的通道 (有可能漏入被测通道的通道) 且压差最大的相邻通道, 充入干燥洁净的空气或惰性气体, 加压至设计压力, 观察被测通道上 U 形管压差计的变化情况, 测试数据经计算后, 求得该两通道之间的漏率。从而判定板式热交换器的密封性能。

A.4.2 试验设备和仪器:

- a) 压缩气瓶;
- b) 温度计, 允许 $\pm 0.5^\circ\text{C}$;
- c) U 形管压差计, $\pm 1\text{mm}$ 水柱;
- d) 气压计。

A.4.3 试验程序

A.4.3.1 被测通道放空通大气, 一端堵住, 选择比被测通道压力高的通道 (有可能漏入被测通道的通道) 且压差最大的通道先测, 用空气加压至设计压力 (压力高时要缓慢升压), 压力到达后, 停压 10min 以上观察压力表指示稳定 (使温度平衡一下), 再连接 U 形管压差计, 并将各接头严格密封, 开始计时。温度计设在试件内部。记录压力表、U 形管压差计、温度计、气压计的值之后, 放置时间不少于 8h, 终了时记录上述各表的指示值。

如有必要,重新选择比被测通道压力高的次高通道,(压差次大的通道)加压再求出该两通道之间的漏率。如此等等,可求得所有比被测通道压力高的通道和被测通之间的漏率。该被测通道的漏率等于所有漏率之和。

A.4.3.2 数据记录

采用 U 型管检漏必需记录以下数据:

- a) 起始时间 T_0 , 当时的大气压 p_0 (Pa), 热交换器内部温度 t_0 (°C);
- b) 终止时间 T_1 , 当时的大气压 p_1 (Pa), 热交换器内部温度 t_1 (°C);
- c) 被测通道的 U 形管差值 U (mmH₂O), 被测通道容积 V (L)。

A.4.4 计算方法:

- a) 不漏时理论压差值按式 (A.4):

$$\Delta h = [p_0 \times (t_1 + 273.15) / (t_0 + 273.15) - p_1] \times 10^4 \dots\dots\dots (A.4)$$

式中:

Δh —— 理论不漏时, U 形管压差计压力变化值, Pa;

p_0 —— 试验开始时的实测大气压, Pa;

p_1 —— 试验终止时的实测大气压, Pa;

t_0 —— 试验开始时的实测热交换器内部温度, °C;

t_1 —— 试验终止时的实测热交换器内部温度, °C。

- b) 测试漏率按式 (A.5):

$$\phi_c = V \times (U \times 9.8 - \Delta h) / [3600 \times (T_1 - T_0)] \dots\dots\dots (A.5)$$

式中:

V —— 被测通道容积, L;

T_0 —— 试验开始时的时间, h;

T_1 —— 试验终止时的时间, h;

U —— 试验终止时 U 形管压差计压力差的实测读数, mmH₂O。

A.4.5 试验评定

测试的漏率经过压差修正、纯度修正、组分修正后的值小于允许的漏率为合格。

A.5 氦质谱检漏

A.5.1 把被测通道与氦质谱仪连通,并抽真空;向氦罩或相邻通道通入氦气或氦-氮混合气。氦气如漏入被测通道,用氦质谱仪可测出渗漏量。用以衡量被测通道的漏率。其装置见图 A.3、图 A.4。

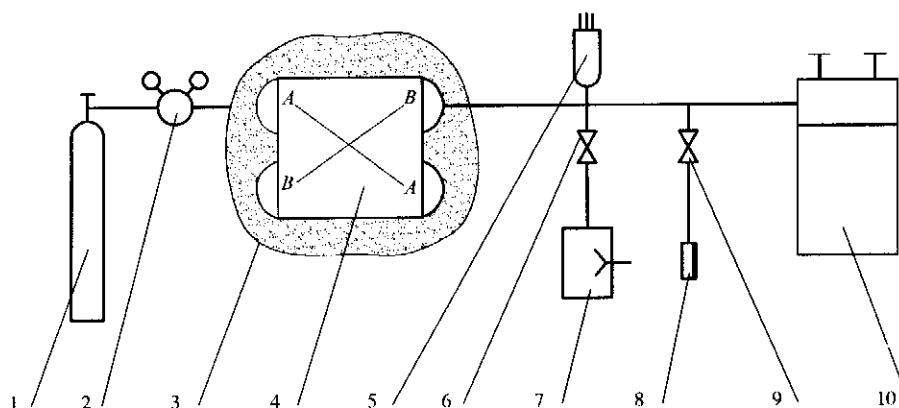
A.5.2 试验设备和仪器:

- a) 真空机组;
- b) 氦气瓶, 氮气瓶;
- c) 真空计, 精度 $(0.133 \sim 1.33) \times 10^{-6}$ Pa;
- d) 氦质谱检漏仪, 灵敏度 1.33×10^{-6} Pa · L/s。

A.5.3 试验条件

A.5.3.1 被测通道的清洁度和干燥度应符合图样规定。

A.5.3.2 氦气纯度为工业级,当被测通道容积大于 100L 时,可采用氦-氮混合气体。当试验压力较高,容积较大,氦气和氮气的比例可取较小值,但氦气不得低于 10%。



说明:

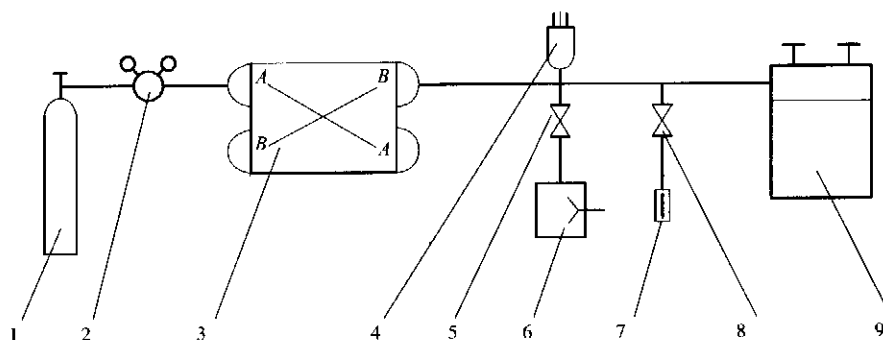
- 1——氦气瓶; 2——减压表; 3——塑料袋; 4——热交换器; 5——热偶真空计;
6——真空阀; 7——真空泵; 8——标准漏孔; 9——真空阀; 10——氦质谱仪。

图 A.3 氦检外漏装置图

A.5.4 试验程序

A.5.4.1 外漏(被测通道向大气渗漏)检查

A.5.4.1.1 按图 A.3 连接设备和仪表。



说明:

- 1——氦气瓶; 2——减压表; 3——热交换器; 4——热偶真空计; 5——真空阀;
6——真空泵; 7——标准漏孔; 8——真空阀; 9——氦质谱仪。

图 A.4 氦检内漏装置图

A.5.4.1.2 把被测热交换器用聚乙烯塑料袋密封形成罩室, 排除罩室内的空气, 然后充满氦气或氦-氮混合气体至一个大气压(绝压)。此时罩室的容积大于 100L 时, 静置时间为 1h~2h, 小于 100L 时, 可适当缩短静置时间。

A.5.4.1.3 在静置时间内, 被测通道抽真空至仪器的工作真空度, 一般低于 1.33 Pa。同时调试仪器灵敏度。测出仪器本底信号 $A_{\text{本}}$ 。

A.5.4.1.4 测出标准漏孔在氦质谱仪的输出信号 $A_{\text{标}}$ 。

A.5.4.1.5 到静置时间后, 被测通道抽真空至低于 1.33Pa, 测出被测通道漏率信号 $A_{\text{试}}$ 。

A.5.4.2 内漏(通道间串漏)检查

A.5.4.2.1 按图 A.4 连接设备和仪表。

A.5.4.2.2 向被测通道的相邻通道充氮气或氮-氮混合气体升压至该通道气密性试验压力。

A.5.4.2.3 将被测通道抽真空至低于 1.33Pa, 保压 1h。

A.5.4.2.4 在保压时间调试仪器灵敏度。同时测出仪器本底信号 $A_{\text{本}}$ 和标准漏孔信号 $A_{\text{标}}$ 。

A.5.4.2.5 在被测通道压力至低于 1.33Pa, 并保压 1h 后测出被测通道氮质谱仪的信号 $A_{\text{试}}$ 。

A.5.5 计算与试验评定

A.5.5.1 漏率按式 (A.6) 计算:

$$Q = \frac{A_{\text{试}} - A_{\text{本}}}{A_{\text{标}}} \times Q_{\text{标}} \quad \text{..... (A.6)}$$

式中:

Q —— 漏率, $\text{P} \cdot \text{L/s}$;

$Q_{\text{标}}$ —— 标准漏孔的漏率, $\text{P} \cdot \text{L/s}$;

$A_{\text{试}}$ —— 测得的被测通道信号 mV ;

$A_{\text{标}}$ —— 标准漏孔的实测信号, mV ;

$A_{\text{本}}$ —— 仪器实测本底信号, mV 。

计算时要考虑温度变化及混合气氮分压的修正。

A.5.5.2 评定标准按图样和技术文件规定执行。

附录 B
(资料性附录)
焊接接头型式

B.1 热交换器焊接接头型式分类

热交换器的受压部分的焊接接头(钎焊缝除外)根据焊接形式可分为 A、B、C、D 四类。具体见图 6.1 所示。

B.2 热交换器焊接接头的焊接要求

B.2.1 接管纵向焊接接头的焊接

接管纵向焊接接头的焊接见图 B.1 和图 B.2。

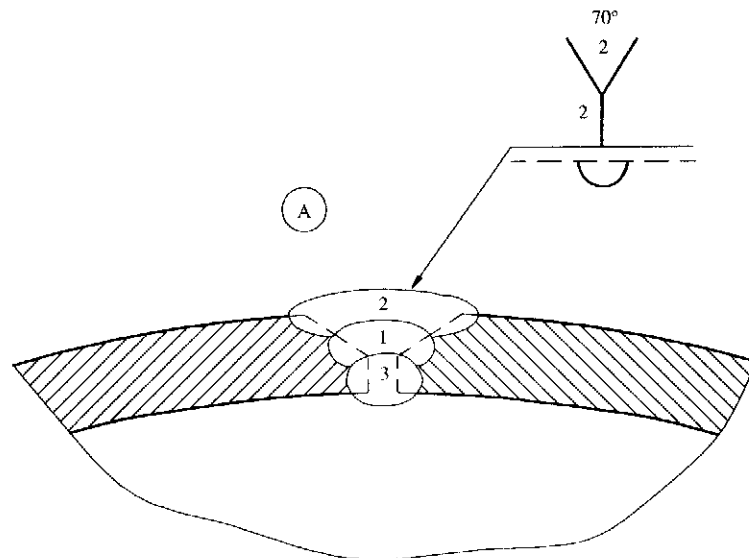


图 B.1 接管纵向接头

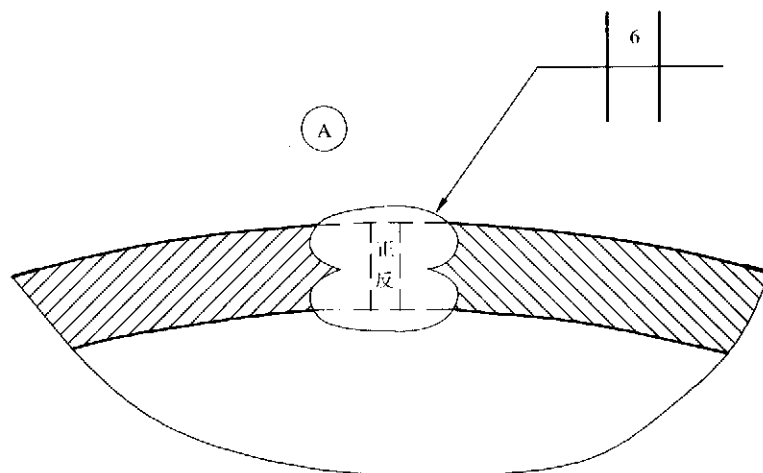


图 B.2 接管纵向接头

B.2.2 多板束体热交换器板束间的拼接接头的焊接

多板束体热交换器板束间的拼接接头的焊接见图 B.3。

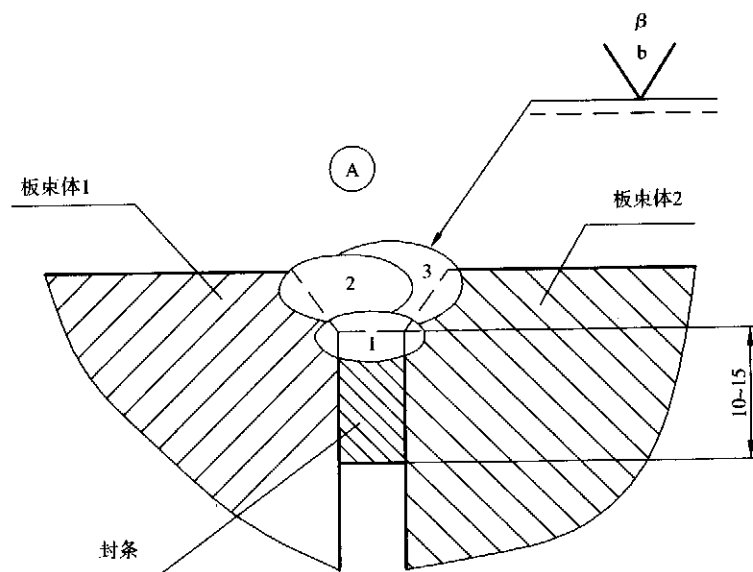


图 B.3 两板束并接接头 (带垫条)

B.2.3 短节与封头体对接接头的焊接

短节与封头体对接接头的焊接见图 B.4。

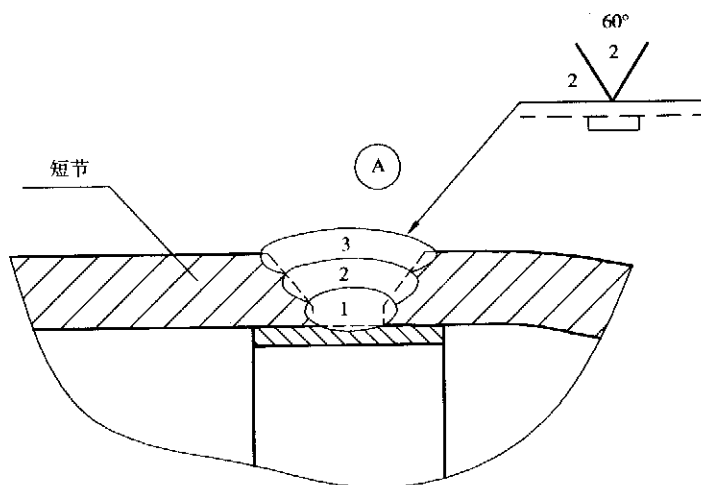


图 B.4 短节与封头体对接接头 (带垫板)

B.2.4 椭圆形封头与接管接头的焊接

椭圆形封头与接管接头的焊接见图 B.5。

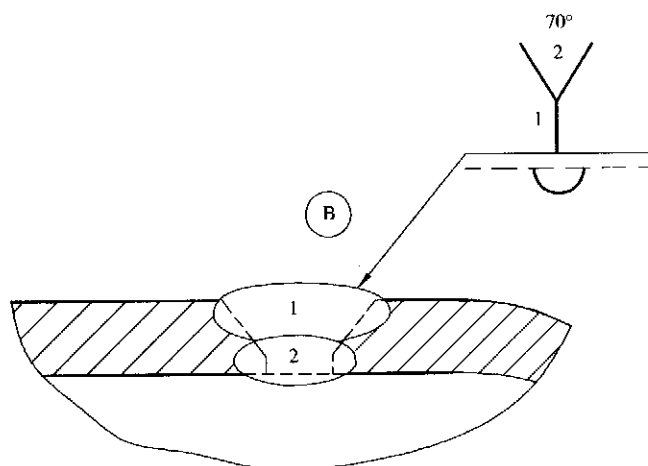


图 B.5 椭圆形封头与接管接头

B.2.5 长颈法兰与接管接头的焊接

长颈法兰与接管接头的焊接见图 B.6。

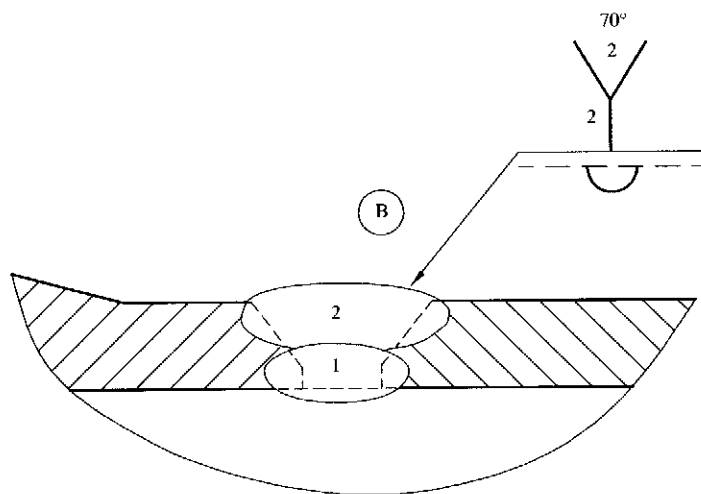


图 B.6 长颈法兰与接管接头

B.2.6 封头与接管间接头的焊接（带垫板）

封头与接管间接头的焊接（带垫板）见图 B.7。

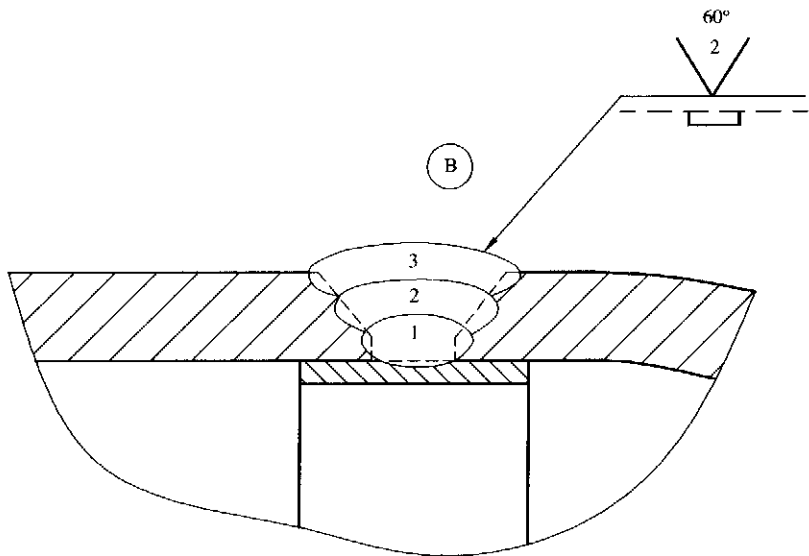


图 B.7 封头与接管间接头（带垫板）

B.2.7 中间隔板与封头体或板束间接头的焊接
中间隔板与封头体或板束间接头的焊接见图 B.8。

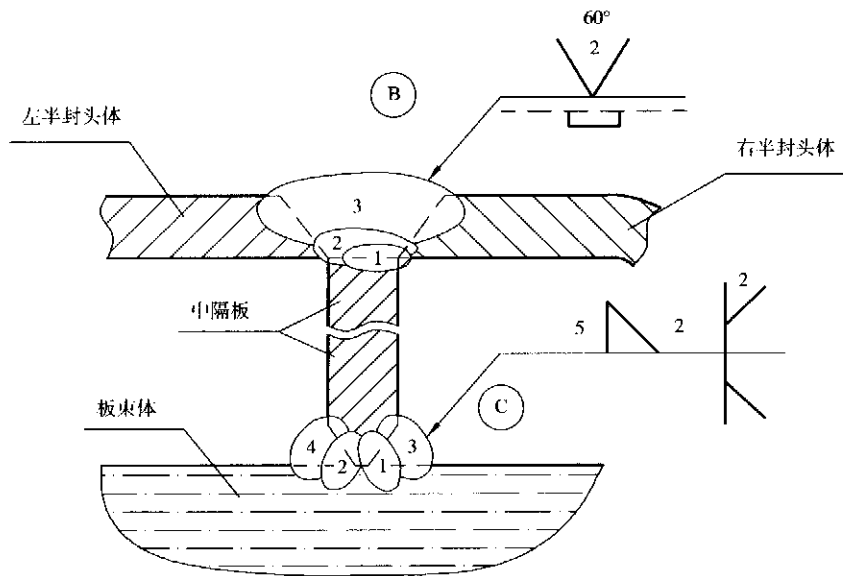


图 B.8 中隔板与封头体或板束间的接头

B.2.8 封头与板束间接头的焊接
封头与板束间接头的焊接见图 B.9 ~ 图 B.11。

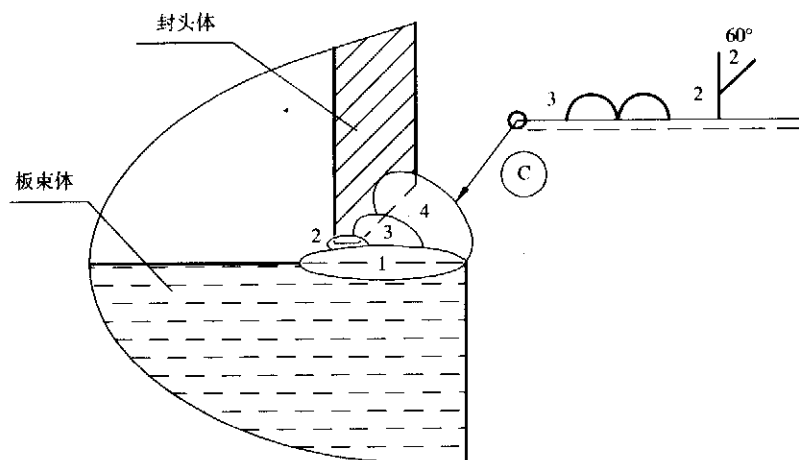


图 B.9 封头体与板束间接头

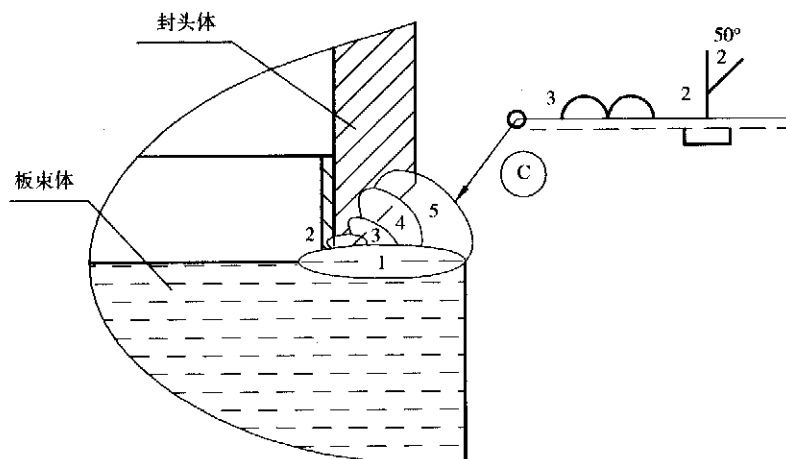


图 B.10 封头体与板束间接头 (带垫板)

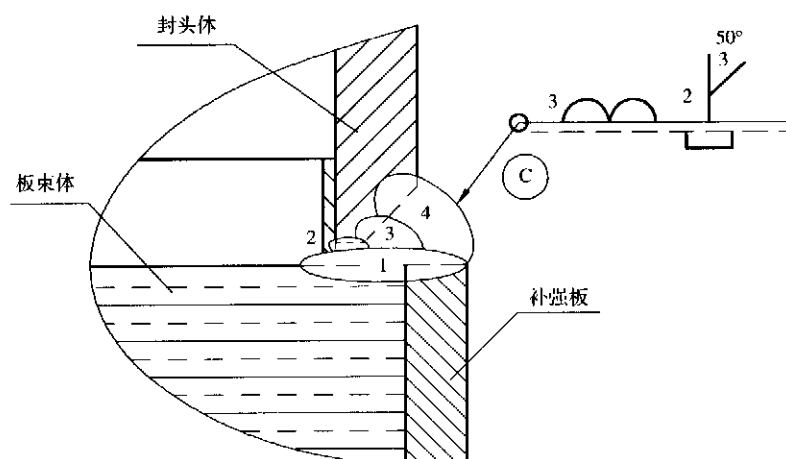


图 B.11 封头体与板束间接头 (带垫圈, 补强板)

B.2.9 封头体与半圆板（端板）接头的焊接

封头体与半圆板（端板）接头的焊接见图 B.12。

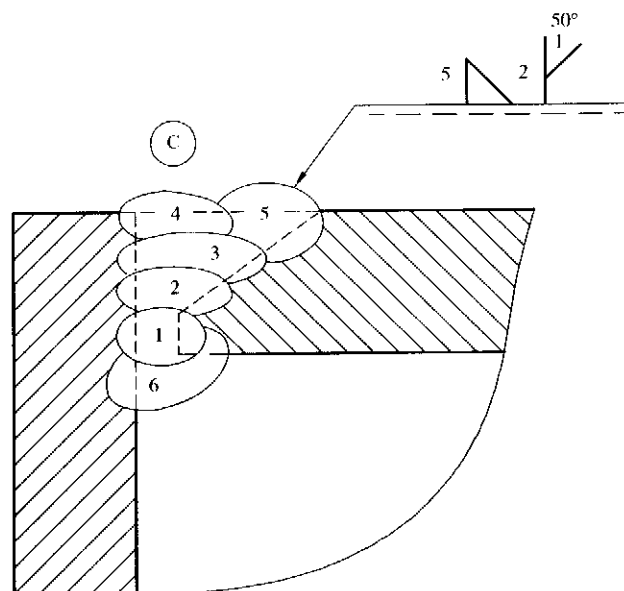


图 B.12 封头体与半圆板（端板）接头

B.2.10 接管与平盖接头的焊接

接管与平盖接头的焊接见图 B.13。

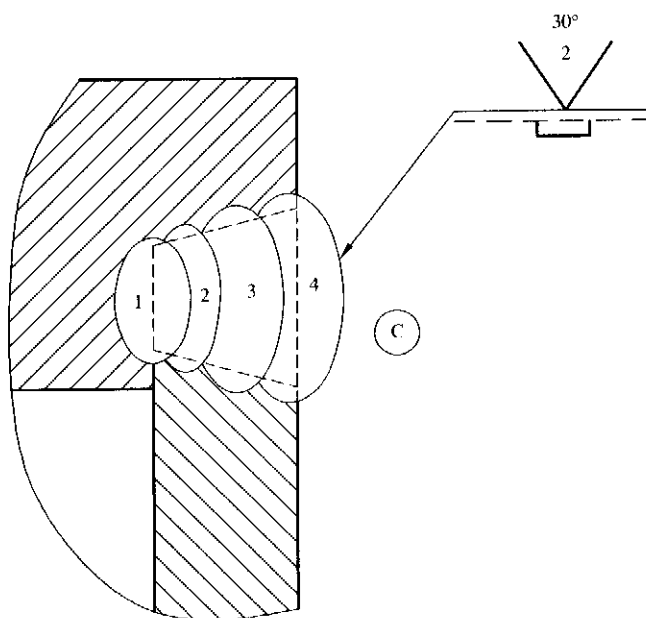


图 B.13 接管与平盖接头

B.2.11 接管与法兰接头的焊接

接管与法兰接头的焊接见图 B.14。

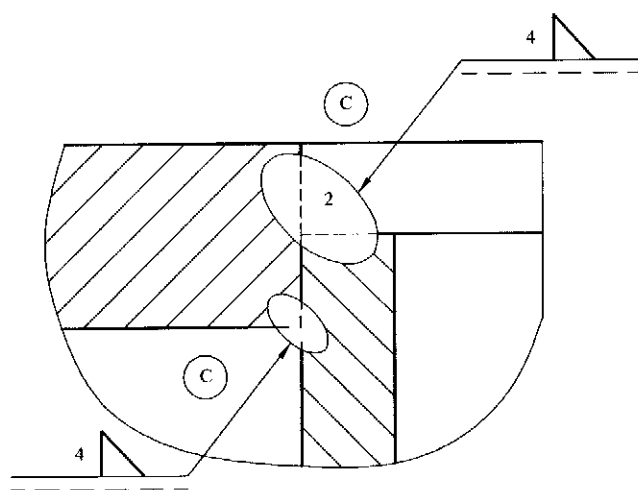


图 B.14 接管与法兰接头

B.2.12 接管与封头角接头的焊接

接管与封头角接头的焊接见图 B.15 和图 B.16。

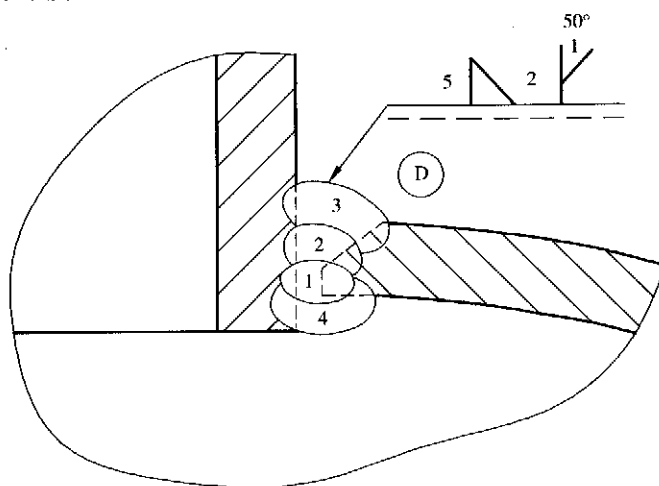


图 B.15 接管与封头角接头

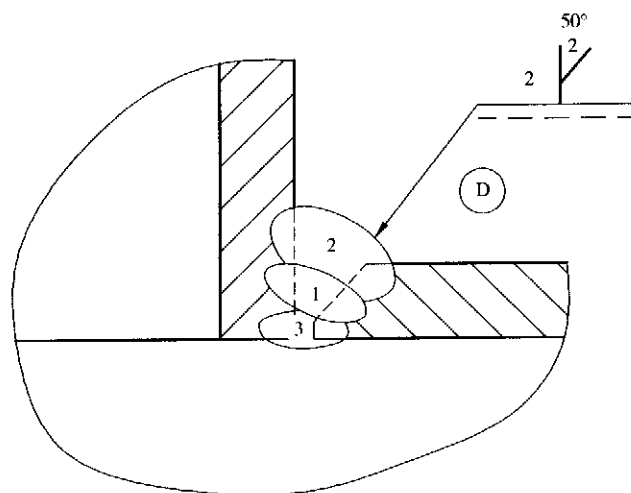
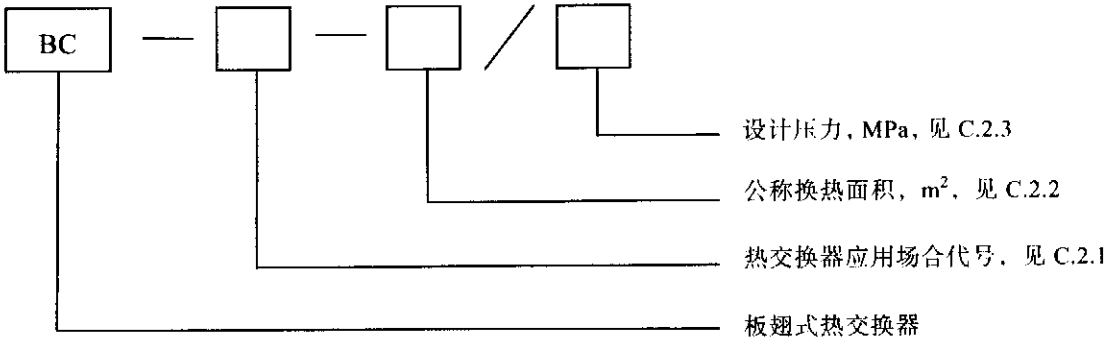


图 B.16 接管与封头角接头

附录 C
(资料性附录)
热交换器型号的编制方法

C.1 热交换器型号的表示方法



C.2 符号规定说明

C.2.1 板翅式热交换器应用场合代号 (采用汉语拼音的第一个拼音字母表示):

- J —— 加热器 (JIAREQI);
- D —— 动力装置 (DONGLI);
- H —— 化工设备 (HUAGONG);
- K —— 空分装置 (KONGFEN);
- L —— 冷却器 (LENGQUE);
- R —— 热交换器 (HUANRE);
- Z —— 制冷装置 (ZHILENG)。

C.2.2 换热面积 F (m²)

- $F \leq 10$, 有效数字取小数后一位。如: 10.0、0.8 等;
- $F \leq 100$, 有效数字取个位整数。如: 100、85 等;
- $F \leq 1000$, 有效数字取十位整数。如: 850、540 等;
- $F \leq 10000$, 有效数字取百位整数。如: 8 500、6 100 等。

注: 换热面积 (F) 取热交换器单元总换热面积。

C.2.3 设计压力 (MPa)

有效数字取小数点后一位。如: 10.0; 0.8; 0.1 等。

注: 设计压力取热交换器单元中最高设计压力。

C.3 示例

示例如下：

- a) 一台板翅式热交换器有 850m^2 换热面积，应用在乙烯冷箱中。最高设计压力 4.6MPa 。
型号为：BC-H-850/4.6 型板翅式热交换器
- b) 一台板翅式热交换器有 8000m^2 换热面积，应用在空分装置中。最高设计压力 0.9MPa 。
型号为：BC-K-8000/0.9 型板翅式热交换器

附录 D

(资料性附录)

热交换器使用须知

D.1 热交换器的热应力

D.1.1 制造厂应根据预定设计压力来设计每台热交换器,并给买方提供现场可以施加在热交换器上的允许外加负荷的详细说明。热交换器应能适应它在工作时出现的所有负荷,包括压力负荷、外加负荷(即管路施加的力和力矩)和热感应负荷引起的热应力。

在标准和非标准使用工况时,为使总的综合应力维持在允许极限内,本附录将推荐一些方法,以便在使用热交换器时采取一些措施。

D.1.2 机械失效

热交换器的各部件是以各方向紧密刚性相互连接的,因此,在热交换器各部件内和部件间产生的局部金属温差会引起这些部件很大的热应力。

局部金属温差是因这些部件或部分部件随热量的输入(变化)以不同速度变热或冷却而引起的。这些温差在部件内或部件间会产生瞬间膨胀或收缩,机械限制了构件因热而产生的移动,导致部件内的热应力。如果局部金属温差大,则热应力和其他外部负荷应力就会超过屈服应力,并有可能超过材料的极限应力。

热交换器相邻间部件的温差,由下述原因有可能产生明显的热应力:

- a) 连续不稳定工况:如流量波动大,沸腾通道中流量不稳定,设备控制系统配备不适当等;
- b) 瞬变工况:如起动、停车、设备干扰、解冻、冷却和加温等。

如一个快速开启阀门而产生热应力的例子:如果快速开启此阀门能提供大量深度冷量的冷液体进入一热状态的热交换器时,则该热交换器能快速失去热量的那些部件就以最快速度收缩,装在进口部位的翅片的收缩速度比装在进口部件边上的封条的收缩速度更快。翅片内会产生拉伸热应力,封条中会产生压缩应力。这些应力会随温差降低而减小。除翅片外,热交换器的其他部件也会产生热感应失效。另一个最敏感部件是隔板。

如上所述,连续的不稳定工况会产生超过屈服强度的循环应力,并会因疲劳可能产生失效后果。

瞬间变化工况时,如果综合应力超过材料的极限拉伸强度,部件就可能会出故障。

D.1.3 几项建议

为减少部件在使用时损坏或出故障,特建议采用如下几种方法:

- a) 制造厂应把压力 and 外加负荷限制在允许限度范围内;
- b) 正如和其他任何热交换器一样,使用时也须使热交换器慢慢地进入使用工况或解冻工况,以避免过大热应力。尤其当导入热容量很大且传热迅速的液体或二相流时,这点非常重要,因此建议采用的起动速度、停车速度、冷却速度、加温解冻速度等要求可参见本标准第 7 章;
- c) 把热交换器任何地方两相邻通道间的温差限制在本标准第 3 章中推荐的温差范围内(或制造厂推荐的温差范围内)。第 3 章中推荐的温差范围热交换器都通用。如需制造厂提供专

用热交换器,制造厂可提供其他温差范围;

- d) 应特别注意的是对那些在热交换器内工质需完全蒸发的用法。蒸发到完全干燥的程度会产生很大温差,同时还会引起流量的不稳定性。因此,应严格遵守制造厂对那些完全蒸发的热交换器所建议的允许温差,工艺设备的设计应确保流量的稳定;
- e) 设计和操作工艺设备以及与热交换器连接的管道,都要防止流量偏差和不稳定(例如:进入热交换器的液体出现间断性滞流等),这对沸腾流来说非常重要;
- f) 限制任何流体周期的或经常交变的温度波动在 $\pm 1^{\circ}\text{C}/\text{min}$ 范围内。

D.1.4 摘要

热交换器是一种能承受稳定流体间温差大的坚固耐用热交换器。由于热交换器是紧密刚性结构,因此,如果该热交换器处于间断性或连续性不稳定工况下工作,则会产生过大热应力,损坏热交换器。过大热应力可遵循上述几项建议来避免,这有助于确保热交换器的使用寿命。

D.2 热交换器的污垢及堵塞问题

D.2.1 污垢问题

热交换器一般不会碰到污染问题,因它通常用于空分、碳氢化合物分离和气体的液化。

如果产品压降无大变化而传热性能下降,则有可能是污垢问题。如出现这一问题,建议采用下述措施:

D.2.1.1 预防措施

在决定使用热交换器前,应检查液体是否存在固体和外来物,以防使用时形成沉积,特别是低温区更应注意。

考虑可能因工艺液体的杂质存在而引起的污染是很重要的,典型例子就是致冷剂中使用的密封油。它会以固状膜沉积在翅片表面上,并降低热交换器的传热性能。

不得使用含有微量氧化氮(NO_x)的气体,它会聚积在设备的低温部分。经验表明,氧化氮不能从设备内排出,并有可能在设备加温时突然爆炸。

D.2.1.2 补救办法

如果加温可以使污垢剂固/液转换,则通过改变热交换器的操作条件,加温污垢区则可以消除沉积物,如果采用加温法无效,则可采用溶剂清洁法。热交换器还可以通过改型或改变设计,和溶剂喷射系统结合在一起,从而冲洗被污染的表面。

D.2.2 堵塞问题

堵塞即固体颗粒进入热交换器内部而阻塞了翅片流道。

热交换器如被堵塞,其后果(传热性能)是非常严重的,因堵塞介质不可能匀布到各通道中和每一通道整个宽度方向上,造成各通道的流体分布不均匀,同时还会使被堵塞通道的压降增加。

D.2.2.1 预防措施

热交换器的堵塞问题可通过下述方法加以预防:

- a) 制造时,热交换器的接管或端部应保持封闭,直到接管或法兰与设备的管道工程连接完成;
- b) 清扫连接管路检查其清洁度,确信铁锈、碎片和灰尘等不能进入热交换器;
- c) 在可能会使工艺液体受污染的任何地方,在通道进口处安装过滤器。过滤器的孔径及排污可根据操作条件和技术要求由制造厂提出,网眼 $177\mu\text{m}$ (80目)能够覆盖大多数使用场合。

D.2.2.2 补救办法

如因某些原因而使热交换器堵塞（如没有安装过滤器，设备管路系统的清洗工艺错误，过滤设备失效等原因），将影响传热和压降（阻力）性能。

被堵塞的通道通常能很快鉴别出来，并制订维修计划，可在停车时实施。从热交换器中除去堵塞物的机械方法需要川空气或氮气吹除。

- a) 返吹被堵塞通道：在通道进口处装一爆破片，升高吹除空气（或氮气）压力，直至爆破片破裂（此操作应重复进行，直至吹除气中无微粒排出）；
- b) 或在热交换器出口处设置“排堵器”。它是由一只快开阀和定量带压空气组成。操作时，在热交换器芯体内产生冲击波而清除堵塞物。

如堵塞严重时，可在每通道口连接“排堵器”，采用排堵法来排除堵塞物。

采用溶剂和气体发泡法是利用充满装置的液体内产生的气所提供的机械能，来排除微粒。

D.3 腐蚀问题

热交换器可很满意地用于许多不会出现腐蚀问题的工艺过程中。但正如其他热交换器一样，热交换器也有可能产生腐蚀问题。如出现腐蚀问题，则应注意工艺流体的选择和使用环境。买方/操作人员应与制造厂联系，以便决定使用最佳方案，避免腐蚀问题。

D.3.1 含水工艺环境

操作在水的冰点以下的热交换器的那些部位，其主要由水或含水而引起腐蚀现象，将会停止或不再进行。由于水的纯度变化及过冷现象，其冰点温度可能不是 0℃。上述冰点应考虑其他因素，例如解冻时。水的影响可分为三类：

D.3.1.1 水在中性环境中的影响

热交换器可以被广泛应用于许多含水物的工艺过程中而存在水，这些水在热交换器中甚至在有卤素的环境中保持中性（pH 值 6~8），拥有中性水为工艺流体的热交换器，其适应性受工艺流体中含有重金属多少及沉积程度的影响。

热交换器应避免和铜、铜合金、铁、镍和铅等重金属一起使用，除非使用防腐剂以保护热交换器部件。当那些重金属的可溶性离子减少时，使用含有重金属的工艺流体而引起的孔蚀一般没有多大问题，通常含有重金属的酸性或中性水，作为工艺流体使用的铝制热交换器，比碱性工艺流体更有害。奥氏体不锈钢非常适于热交换器一起使用于中性水工艺流体中。

D.3.1.2 水在酸性环境中的影响

通常用于热交换器的铝合金对酸性工艺流体或局部 pH 值在 4.5~6.0 范围的酸性工况都有抗蚀力。但如果在工艺流体中存在重金属或卤化物，则在上述 pH 值范围内的工艺流体需使用防腐剂。在 pH 值低于 4.5 以下时，就会因保护氧化膜的破裂而引起腐蚀。同时因铝制热交换器的零件或换热面和其他工艺装备中的贵金属之间产生电流偶合而产生电化腐蚀。在结构上重要的腐蚀是由于氧化膜破裂后，暴露的新生铝产生直接化学变化的结果。正如和中性环境一样，沉淀的形成会改变两方面的环境条件：腐蚀开始的条件和开始产生严重化学腐蚀的条件。

D.3.1.3 水在碱性环境中的影响

热交换器的合金铝材料在轻度碱性环境中（pH 值 8~9）具有非常好的抗腐蚀性。碱性工艺流体不会使铝制部件表面变色，表面上的变黑仅仅是外表上的变化，它不会影响热交换器的结构和整

体性能。如将铝制热交换器用于强碱环境中 (pH 值 >9)，则须仔细分析和考虑所涉及的化学工艺流体及其他因素，如流程和设备承受的操作环境的流体杂质浓度和温度等，也应考虑。

总之， pH 值应在 4.5 ~ 8.5 之间，同时须避免卤化物和重金属离子存在。

D.3.2 含汞的工艺环境

如果不允许汞与热交换器接触，汞通常不会与铝起反应。但如果汞以液态并含水存在于热交换器内，则汞杂质会引起很多问题。汞的侵蚀如和另一种腐蚀过程联在一起，则后果是非常严重的。

另一个可能因工艺流体中存在汞而引起的问题就是：汞会对有高含量镁的铝合金起反应，汞能在无水情况下迅速与合金铝中的镁基第二相反应。如果设备的零件设计没有考虑这些问题和条件时，将有助于汞的腐蚀破坏，并在比无汞条件下所需应力低的水平下产生损坏。

许多热交换器因采用了有效的保护措施，可成功地使用于含汞流体中的场合。买方可用市场上购买到的装置来清除原料气体中的汞。操作人员也可采用一些特殊封闭方法，如冶金中采用氮封来制止和避免水汽。如解冻时长时间将温度升到 100°C 以上，以避免和制止水汽的产生。

制造厂对用于含汞的设备可提供一些详细的供选择的方案，如设计部件时能设法消除汞的形成和堆积，设法避免使用反应敏感的合金。如这些办法都无法实行，则可采用一些预防措施，以隔离或保护含镁合金不受汞的侵蚀。

D.3.3 大气或环境腐蚀

任何装置的热交换器一般没有明显的受大气腐蚀的迹象。但如果把热交换器放在有温度变化的潮湿环境中，热交换器表面就会有因湿汽的凝结而引起的轻微自然腐蚀。

如将热交换器暴露在含有盐分的水雾或含盐大气的环境中，例如将热交换器长期存放在位于沿海地区的现场期间或海上运输而没有适应海运的包装期间，则应采取特殊保护措施。如果成套海上运输热交换器，热交换器到达现场后，则应立即用低氯水（含氯量小于 25mg/L ）冲洗热交换器的所有表面，制造厂应告知有关冲洗热交换器单元的详细方法。冲洗后，表面应彻底晾干。

由于很难确保任一热交换器的绝热部件不漏水，而绝热部件的安全性是用水来控制其容易引起火灾的。因此，使热交换器不暴露在海水或其他形式的盐水中是很重要的。这些盐水有可能被吸收积聚在热交换器绝热部件和金属面之间，从而引起暴露面的腐蚀。自来水在这些条件下也有可能产生腐蚀现象，因此买方应与制造厂就板束干燥的方法取得联系。

D.3.4 其他因素对热交换器影响

就安全使用热交换器问题，还可能存有许多腐蚀环境，但本附录不可能阐明所有的腐蚀性。因此，就流体或工艺工况对热交换器的腐蚀作用存有什么不明之处，可与制造厂联系，以便获得特殊说明。

NB/T 47006—2009 (JB/T 4757)《铝制板翅式热交换器》

标准释义

1 任务来源

本标准根据全国压力容器标准化技术委员会 2000 年标准编制计划,并参照我国质量技术监督局发布实施的 JB/T 4734《铝制焊接容器》和原 JB/T 7261《铝制板翅式热交换器技术条件》标准设计、制造、运行情况进行制定。

本标准包括七章正文和四个附录。

2 编制的依据

2.1 本标准所指的板翅式热交换器为铝制板翅式热交换器(以下简称热交换器)。它与人民生命和财产的安全,国民经济的发展有密切的关系。在国家质量监督检验检疫总局颁发的《固定式压力容器安全技术监察规程》(以下简称《容规》)中,铝制板翅式热交换器产品属压力容器,应接受《容规》的监督。《容规》即成为本标准编制的依据之一。

2.2 近年来,我国热交换器行业发展较快。随着石油、化工、化肥行业的需求,热交换器由低压向高压、由一般介质向易燃、易爆、有毒的介质发展。热交换器作为压力容器的一个分类,它除具备压力容器特点外,还有其特殊性。由于对真空钎焊、材料的要求较高,使热交换器产品质量的可靠性和安全性显得极为重要,制定标准,加强此类产品的统一管理是非常重要的。

2.3 我国工业气体生产正在向大型化发展,热交换器的设计、制造也从一般的低压空分流程产品向天然气、石化行业、高压空分流程的高压热交换器发展。由于近年热交换器行业发展较快,生产企业有国有专业企业、中外合资企业、乡镇企业、私营个体企业等。年产值有上百万元至上亿元不等。企业所属部门较杂,执行的产品标准各不相同,其质量水平参差不齐,同规格产品的质量指标相差很大。由于该类热交换器涉及的技术较多,比如低温技术、真空钎接技术、性能试验等技术,无统一的国家标准,生产得不到良好的规范,产品的可靠性得不到很好的保障,因而产品出现使用寿命高低不一致现象。

2.4 为了保证该类热交换器的可靠性和安全性,经全国锅炉压力容器标准技术委员会热交换器分会批准编写《铝制板翅式热交换器》标准,加强对生产单位的质量监督和管理,从而规范我国该类热交换器的生产,特别对非常压热交换器,属《容规》范围的,一定要取得压力容器的设计及制造资格证,以控制一哄而上的盲目发展状况。

2.5 JB/T 7261 实施已有十多年,它仅仅只有部分制造的技术要求,许多内容必须更改提高。加上目前国际上公认的“ALPEMA”标准内容,在 JB/T 7261 中没有体现。为了使本标准的内容向国际水平靠拢,也需把有关内容充实到标准中去。

2.6 自 2000 年开始,本标准编制工作组召开了多次会议,主要参编者在会上交换了编制内容,并得到了国内许多设计、制造、安装、使用单位和材料等专家的大力支持。在编制过程中进行了各种材料、不同翅型试件的各项性能试验。

3 编制原则

3.1 安全可靠原则

由于该类产品的特殊性,产品使用的安全可靠是十分重要的,根据《容规》要求,本标准在产品设计、与制造要求、检验规则等方面编写时,首先遵循安全可靠的原则,符合《容规》要求的,按《容规》要求执行。

3.2 合理适用性原则

该产品品种规格较多,各生产企业形成了不同的制造技术和工艺。本标准将根据不同要求,吸收、保留同类标准中的科学合理部分,以通用性和特殊性相结合,尽量使本标准具有较强的可操作性。

3.3 科学先进性原则

为提高我国板翅式热交换器行业的整体素质和技术水平,提高板翅式热交换器的产品质量,增强在国内外市场上的竞争能力和实力、和国际市场接轨,在产品使用指标、技术指标的选取方面,既要根据我国现有的技术水平,又要考虑科学技术的发展,结合国外情况综合确定,力图使标准具有一定的科学性、及先进性(按会议纪要)。

4 编制过程

4.1 2000年8月根据全国锅炉压力容器标准化技术委员会热交换器分会《铝制板翅式热交换器》国家标准编制计划。

4.2 2000年11月全国锅炉压力容器标准化技术委员会热交换器分会《铝制板翅式热交换器》标准专家工作组在河南开封成立。

4.3 专家工作组通过杭州制氧机集团有限公司关于《铝制板翅式热交换器》制定大纲。

4.4 2001~2003年标准由杭州制氧机集团有限公司、开封空分集团有限公司按照《铝制板翅式热交换器》大纲编制进行。

4.5 开封空分集团有限公司编写的《铝制板翅式热交换器》1~4章、附录A、附录B讨论稿在公司标委会主持下召开讨论会,标准根据到会人员提出的问题进行了修改。

4.6 开封空分集团有限公司编制人员赴无锡马山、四川简阳空分集团公司对《铝制板翅式热交换器》1~4章、附录A、附录B讨论稿进行了征求意见。

4.7 2003年11月全国锅炉压力容器标准化技术委员会热交换器分会《铝制板翅式热交换器》标准专家工作组在海南三亚召开讨论会,对标准讨论稿定稿。

4.8 2005年8月全国锅炉压力容器标准化技术委员会热交换器分会《铝制板翅式热交换器》标准专家工作组在北京召开讨论会,根据热交换器分会委员和专家提出的问题对标准征求意见稿进行了讨论和修改。

4.9 2008年2月全国锅炉压力容器标准化技术委员会热交换器分会《铝制板翅式热交换器》标准专家工作组在上海召开了报批稿讨论会,完成了标准报批稿的修改。

5 标准主要内容编制说明

5.1 范围

5.1.1 本标准适用于设计压力不大于8MPa的板翅式热交换器。考虑到石化行业的需要,增加了设计压力在大于8.0MPa的热交换器时,在征得用户同意下,可参照本标准进行设计与制造的内容。

5.1.2 本标准适用于设计温度范围为 $-269^{\circ}\text{C} \sim 200^{\circ}\text{C}$ 。

原标准 JB/T 7261 规定设计压力不大于 6.3MPa, 设计温度为 $-270^{\circ}\text{C} \sim 150^{\circ}\text{C}$ 。根据《容规》2.7.2 的规定设计压力不应大于 16MPa、设计温度范围为零下 $269^{\circ}\text{C} \sim 200^{\circ}\text{C}$ 。本标准作了修订, 使之符合《容规》的规定。

根据铝制板翅式热交换器制造商协会标准“ALPEMA”表 1-1 设备类型及应用中的规定温度范围最高在 120°C , 压力范围在 100 巴 (bar)。含镁量大于 3% 的铝合金, 最高工作温度限定为 65°C 。在某些应用场合下使用最高温度 120°C 以上时, 通过改变使用的铝合金成分后仍然可使用。在压力更低的情况下, 设计温度可提高到 200°C 。最低设计温度为 -269°C 。

5.2 按照 GB 150 中 1.4 的要求, 因为《铝制板翅式热交换器》是一种比较特殊的容器, 有很多结构无法用经典公式进行强度计算, 要通过实验分析得到认可。因此对一些不能用本标准来确定结构尺寸的受压元件, 增加了允许用以下方法设计, 但需经全国锅炉压力容器标准化技术委员会评定、认可的内容:

- a) 包括有限元法在内的应力分析 (有分析设计资格的单位除外);
- b) 验证性实验分析 (如实验应力分析、验证性液压试验);
- c) 用可比的已投入的结构进行对比经验设计。

5.3 引用标准

引用标准均为最新版本。

6 总则

6.1 明确了热交换器的范围 (见本标准 3.2), 凡符合《容规》1.3 和 1.4 适用范围的, 均按压力容器进行管理。非常压热交换器的设计制造, 应持有压力容器制造许可证、压力容器设计单位批准书。

6.2 设计、制造非常压热交换器的单位应分别持有相应类别的许可书, 并具备相应的专业技术人员、资源以及健全的质量管理体系。

6.3 属于压力容器的热交换器, 必须在品种许可证规定的产品范围内和有效期内从事产品的制造。

6.4 增加了根据板翅式热交换器的特点提出的术语和定义的内容。去掉了 JB/T 7261 中表 3 关于零件加工公差范围的内容 (属工厂制造工艺范畴, 不应列入标准内容)。细化了产品外形尺寸允许的公差范围的内容 (要求和“ALPEMA”相同)。

6.5 一般规定中增加了流体之间最大温差的限定。设计时考虑热应力的影响, 使用时以防热应力损坏产品。增加了设计温度应和采用的金属材料允许的使用温度相适应的内容。

6.6 考虑到标准适用范围的扩大, 对其性能要求也有较大差异, 因此去掉了 JB/T 7261 中表 1 关于产品性能的内容。增加了产品按压力容器的技术要求进行检验的内容。

6.7 在压力试验一节中, 关于试验压力的值和设计压力之间的比例关系, GB 150 和《容规》中都为: 液压: $p_t = 1.25p \times [\sigma] / [\sigma]^t$; 气压: $p_t = 1.15p \times [\sigma] / [\sigma]^t$; 原 JB/T 7261 的比例为 1.5 和 1.25, 而“ALPEMA”为 1.3 倍。为了使该标准和国际标准接轨, 把比例关系定为 1.3 倍和 1.25 倍。而气密性试验压力和设计压力相等。把 JB/T 7261 中一些特殊压力要求, 用 3.7.1 替代。

7 材料

增加了材料按 JB/T 4734 和 GB/T 3198 选用的规定。

8 设计

增加了设计一个章节。

式(5-1)是按 ASME 规范中的 UG-27 节纵焊缝的强度公式套用,式(5-2)是经典强度公式。而式(5-3)和式(5-4)中的关键是系数 0.44 的选用依据。该系数最保守的是英国马尔斯顿上世纪 70 年代使用的值为 0.522;通过多年的使用经验表明 0.522 太保守。而 GB 150 中的该值为 0.44。这次为了确定该系数,进行了应力分析,分析结果表明系数 0.44 是安全的。

在该章中,特别强调了翅片的使用压力一定要通过爆破实验来确定,而接管的允许载荷也必需校核。其余内容无特殊。

5.8.1 增加了在换热器内流体流速的限制。进出导流片的流体其流动截面积,不小于进出口接管的截面积,并使流体经进出口导流片时的 ρv^2 值不得超过 $3340\text{kg}/(\text{m}\cdot\text{s}^2)$,流体在接管内的流动速度一般也不超过 $3340\text{kg}/(\text{m}\cdot\text{s}^2)$ 的限制,个别情况个别处理。

当进口管内的流体为两相流,气液两相相互夹带以相同速度流动时,为了实现流体在封头内仍然可达到两相流相互夹带同速度流动的目的,可以在封头内加孔板或其他措施,确保两相流的均匀分布。而实现两相流气液夹带的最低速度应当大于

$$v \geq 0.6[(\rho_l - \rho_v) / \rho_v]^{0.5}$$

注:在 GB 151 中,它适应的材料为:低合金钢及钢、铜、铝及其合金等。它的限速为 $5950\text{kg}/(\text{m}\cdot\text{s}^2)$,如果采用中等强度的材料即为铜材,而铜材(T1、T2)的许用应力为 $[\sigma]=41\text{MPa}$,铝合金的许用应力为 $[\sigma]=23\text{MPa}$ 。因此, $\rho v^2 = 5950 \times 23/41 = 3340$ 。

在和美国人交流时,他们提供如下数据:

在压力小于 5MPa 时, $\rho v^2 = 2083$; 当压力大于 5MPa 时, $\rho v^2 = 3572$ 。

因此建议使用:

压力小于 5MPa 时, $\rho v^2 = 2100\text{kg}/(\text{m}\cdot\text{s}^2)$; 当压力大于 5MPa 时, $\rho v^2 = 3600\text{kg}/(\text{m}\cdot\text{s}^2)$ 。

在 5.6.4 开孔补强一节中,当 $0.5 < d/D_1 \leq 0.8$ 建议按 HG 20582 执行。

例题说明了计算方法:

大开孔的补强 (HG 20582 使用例题)

1. 已知数据: 设计压力 $p=5\text{MPa}$ 设计温度 $+50^\circ\text{C} \sim -269^\circ\text{C}$

封头内径 $D_1=300\text{mm}$ 接管内径 $d_1=200\text{mm}$

材料:封头和补强板: 5083-H112 (GB/T 3880.1)

许用应力 $[\sigma]=68\text{MPa}$ (JB/T 4734—2002 表 4-1)

接管材料: 5083-H112 (GB/T 6893 2000)

许用应力 $[\sigma]=67\text{MPa}$ (JB/T 4734—2002 表 4-7)

壁厚:封头: $\delta=20\text{mm}$ 补强板: $\delta_2=8\text{mm}$ 接管: $\delta_1=12\text{mm}$

壁厚附加量: 封头: $C=C_1+C_2=0.75+0=0.75\text{mm}$ (GB/T 3880.3 表 3)

接管: $C=C_1+C_2=0.15+0=0.15\text{mm}$ (GB/T 4436 --1995 表-7)

有效壁厚: 封头: $\delta=20-0.75=19.25\text{mm}$

接管: $\delta_1=12-0.15=11.85\text{mm}$

2. 计算:

最小壁厚的计算: 因 $p=5\text{MPa}$, $< 0.4[\sigma]=0.4 \times 68=27.2\text{MPa}$

所以: 封头: $\delta=300 \times 5 / (2 \times 68 \times 1-5)=11.45\text{mm}$

接管: $\delta_1=200 \times 5 / (2 \times 67 \times 1-5)=7.75\text{mm}$

补强范围的计算:

$$b=[(300+20-0.75)(20-0.75)]^{0.5}=78.39\text{mm} > 3\delta \quad [\text{HG 20582 1998 式(7-1)}]$$

$$h_1=1.25[(200+12-0.15)(12-0.15)]^{0.5}=62.63\text{mm} \quad [\text{HG 20582—1998 式(7-2)}]$$

承压面积 A_σ 的计算:

$$A_\sigma=A_{\sigma 0}+A_{\sigma 1}+A_{\sigma 2}$$

$$A_{\sigma 0}=19.25 \times (78.39 \times 2 + 11.85 \times 2) = 3\,474.24\text{mm}^2$$

$$A_{\sigma 1}=11.85 \times (62.63 \times 2) = 1\,484.33\text{mm}^2$$

$$A_{\sigma 2}=8 \times 78.39 \times 2 = 1\,254.24\text{mm}^2$$

$$A_\sigma=3474.24+1484.33+1254.24=6\,212.81\text{mm}^2$$

受压面积 A_p 的计算:

$$A_p=(2 \times 78.39 + 200 + 11.85 \times 2) \times 150 + 62.63 \times 200 + 19.25 \times 200 = 73\,448\text{mm}^2$$

$$(A_p/A_\sigma+0.5) \times 5 = 12.322 \times 5 = 61.62 < [\sigma] = 68\text{MPa}$$

合格。

在 5.8.3 中接管载荷增加了接管到封头的内截面上所允许的合力和力矩要求, 现提供参考值 (表 8-1) 供设计人员参考。

表 8-1 接管到封头的内截面上所允许的合力和力矩

接管外径 d_0 , mm	合力矩 M_r , N·m	合力 F_r , N
60	60	405
89	165	750
114	330	1 330
168	765	1 800
219	1 080	2 770
273	1 050	3 370
324	1 650	4 500
356	1 950	5 400
406	2 320	6 450
457	2 700	7 500
508	3 000	8 250
610	3 600	10 300

9 制造、检验与验收

9.1 制造

为符合压力容器的要求, 增加了焊接接头分为四类的内容。并在无损检测时分别提出要求。对焊接工艺也作出了规定。对总装后的几何尺寸公差, 进行了细化。其余内容, 大体和 JB/T 7261 类同。

9.2 检验与验收

细化并增加了“压力表的要求”, “荧光检验”, “不一致的修正”, “规程与记录”, “通道的封闭”, “允许存在的缺陷及补救措施”等内容。

在 6.1.7.1 中明确了封头和接管等受压元件的本体及其复合件的焊接对接接头应按 JB/T 4730.2

进行射线检测或 JB/T 4730.3 进行超声检测。

在 6.1.7.4 渗透检测中,区分了不同材料采用不同的方式,采用不可通过热处理提高材料机械强度的材料品种时(如 5052, 3003, 5083 等),可不进行渗透检测,如采用可以通过热处理提高材料机械强度的材料品种时(如 6061, 6A02, 6063),要进行渗透检测,并符合 JB/T 4730.5 的 I 级要求。

9.3 完善与细化了包装、运输、标志、储存和质量证明书的内容。

10 参考“ALPEMA”标准,增加了安装一章的内容。明确了用户和制造商各自的责任,共同努力把产品安装质量搞好。

10.1 支架和支撑架的配合

制造厂推荐一种安装方法,可让热交换器的支座和支撑架产生不同程度的收缩。

图 10-1 所示是采用安装螺栓的方法,它使用了一段不锈钢管,比支撑构件的结合厚度长 0.5mm,以防安装螺栓拧得太紧。

也可以不使用不锈钢管,而用手指拧安装螺栓的螺母,以防拧得太紧。在这种情况下,螺栓应当大头朝上,螺母在下,并使用锁紧螺母,以防螺母松动而螺栓脱出。

每个热交换器一般使用 4 只螺栓,置于四个角落。螺栓应用不锈钢制成,为减轻重量起见,也可采用合适的铝合金。

启动时,热交换器会在横梁上横向收缩或膨胀,嵌入管段或螺栓与支撑构件之间应留有必要的间隙。

热交换器横向热胀冷缩所需的间隙可用下式计算:

$$X = \alpha \Delta T_R S \quad \dots\dots\dots (10-1)$$

式中:

X ——所需间隙 (mm);

α ——在常温与工作温度的平均温度下的线性膨胀系数, $m/(m \cdot ^\circ C)$ (见图 10-2);

ΔT_R ——支架的温度范围 = 工作温度与常温之间的温差, $^\circ C$;

S ——给定平面上两个螺栓之间的距离。

如果所需间隙在 4mm 以下,可在角撑架上加大尺寸钻孔。如果间隙较大,可在角撑架上按移动方向开槽。如果两向移动较大,可在角撑架上和支撑横梁上开槽,并使这两个槽互成 90° 角。

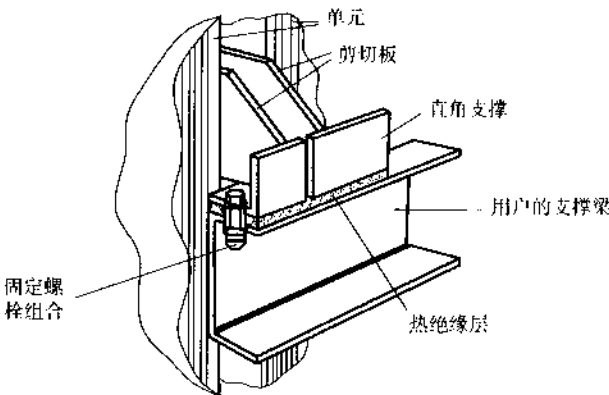


图 10-1 典型的剪切板支撑螺栓组合

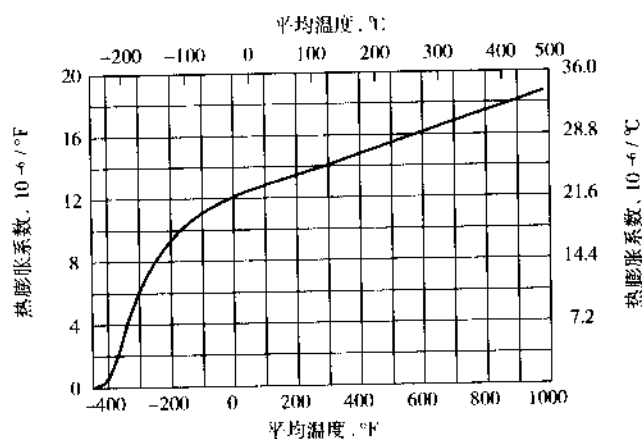


图 10-2 铝的热膨胀系数

11 附录 A

11.1 由于使用了真空钎焊工艺替代了原来的盐浴钎焊工艺方法，所以删除了 JB/T 7261 中附录 A1 “板束内清洁度测试”、附录 A5 “真空检漏”的内容。

11.2 由于产品服务对象的改变，删除了 JB/T 7261 中附录 A2 “体膨胀试验”、附录 A8 “现场测试切换热交换器出口空气中的二氧化碳含量”、附录 A9 “现场测试热交换器温差”的内容和附录 A10 “现场测试热交换器阻力”的内容。

11.3 增加了 A.1 “翅片最高允许设计压力的确定”一节，替代了原附录 A7 爆破试验的内容。

安全系数的选取应按下述原则进行：

- 对于空分设备中承受交变应力（压力波动大于 0.3MPa）的热交换器，切换式热交换器，其安全系数应取 6；
- 对于最高工作压力不高，但停车压力或瞬时压力较高的热交换器，其安全系数应取 4；
- 对于设计压力大于或等于最高工作压力 1.1 倍的热交换器，其安全系数可取 4；
- 其余的热交换器安全系数取 5。

11.4 根据用户现场产品检验的经验，增加了 A.4 “微漏检验方法”。

12 增加了附录 B、附录 C 和附录 D。

13 铝制板翅式热交换器的成功应用场合

13.1 典型应用例子

多数钎焊铝制板翅式热交换器用于气体分离的流程设备中，例如采用液化与精馏方法将原料气体分离为它的各种组分。产品气体和废气通过与原料气体换热而复热。分馏塔中设置有冷凝器和蒸发器。往往还使用于冷冻装置。而板翅式热交换器就非常适合应用于这些方面，见表 13-1。

表 13-1

名 称	应 用
主热交换器	用返流产品气体和废气冷却原料气体
可逆式热交换器	用于冷却空气并除去其中的水分和 CO ₂
过冷器	对液体产品或其他液体进行过冷
蒸发器	对塔底或塔板上的液体进行蒸发, 往往设置于分馏塔中
顶部冷凝器	用低温流体冷凝塔顶蒸气
冷冻装置	用蒸发制冷剂冷却流程气体
液化器	在封闭循环中液化原料气体
分凝器	冷凝顶部蒸气并进行传热和传质
后冷却器	冷却压缩机的排出气体

13.2 设备类型

铝制板翅式热交换器已成功应用于上述许多方面, 主要应用于低温空气分离设备, 天然气加工与液化设备、石油化工产品的生产及尾气的处理、大型制冷装置等。表 13-2 列出了板翅式热交换器可靠工作多年的典型应用场合。

表 13-2 装置类型和应用

装置类型	产品和流体	典型的温度范围, °C	典型的压力范围 MPa (a)
工业气生产, 空气分离液化装置	氧 氮 氩 稀有气体 二氧化碳	+65 ~ -200	1 ~ 6.0
天然气处理: 膨胀类 脱氮装置 液化石油气 氮气回收	甲烷 乙烷 丙烷 丁烷 戊烷 氮 氩 氢 己烷 二氧化碳	+100 ~ -130	1.5 ~ 10.0
天然气液化 基本载荷 调峰装置	液化天然气 多组分冷剂	+65 ~ -200	0.5 ~ 7.5
石化产品 乙烯装置 合成氨 炼厂尾气纯化装置	乙烯 丙烯 乙烷 氨 二氧化碳 氮	+200 ~ -200	1 ~ 10.0
制冷系统 串联冷却 液化装置	氨 氟里昂 乙烯 丙烷 氮 氢 多元制冷剂	+100 ~ 269	1.5 ~ 4.5

13.3 翅片几何尺寸选择

翅片是热交换器的基本元件，传热过程主要通过翅片热传导及翅片与流体之间的对流传热来完成。每块翅片必须传导所需的热量，并能在设计温度下作为结构元件承受设计压力，因此，在选择翅片的几何结构时须满足这两方面的要求。

对专用热交换器而言翅片的选择最大限度的影响了设计的经济性，各类翅片的一般用途参照表 13-3。

表 13-3

齿型	特征描述	适用范围
锯齿型	喘流和破坏边界层	常用于气体通道
多孔型	热阻边界层发生断裂	适用于相变的通道
平直型	最基本的一种翅片	一般用途
波纹型	流向不断改变，促进传热	适用于粘度系数较大的流体

13.4 通道排列

具有多股流体的换热器，叠层次序（或通道排列）的安排必须考虑流道间的局部热平衡和每股流体局部的非线性、焓温曲线的变化。热平衡好的叠层排列能在换热器任一横截面上具有均匀的金属温度，这样才符合具有公共壁温的前提条件下的详细设计。

任一横截面上金属温度的偏差值可通过详细的一层一层的分析来判断，也可采用计算（包括非邻近层间由金属传导的热量方法）来确定。

14 按换热器的特性，提出了换热器的使用要求。详细内容见附录 D。

关于归口标准有关事宜的补充声明

各标准用户：

感谢您采用全国锅炉压力容器标准化技术委员会归口的标准，有关标准内容、制定和修订、解释和信息反馈事宜，补充说明如下：

1. 内容

标准内容一般包含强制性要求、特殊禁用规定和推荐性指南，其中推荐性指南不是必须执行的部分。应当指出，标准不必要也不可能对其范围内的所有方面作出规定，因此不应该禁止使用那些没有作出规定的方面。标准不同于手册，不能替代培训、经验和技术鉴定的作用，但经验和鉴定也不能用来否定强制性要求和特殊禁用规定。

2. 制定和修订

关于锅炉压力容器国家标准和行业标准的制定、修订项目建议，应直接提交全国锅炉压力容器标准化技术委员会秘书处，由委员会决定是否上报政府有关主管部门。除遵循政府有关主管部门规定的程序外，本委员会归口标准的制定和修订采用提案审查制度，标准案例是本委员会对技术进步做出快速反应的一种形式。

3. 解释

只有全国锅炉压力容器标准化技术委员会有权对归口的标准做出正式解释，标准解释的申请应以书面形式提交秘书处，询问者有义务提供尽可能详细和全面的资料。与标准条款没有直接关系或不能被理解的询问均被视为属于技术咨询的范畴，委员会有权拒绝回答或协议提供有偿服务。

4. 信息反馈

除提供必要的纸制文件外，本委员会的专业网站（<http://www.cscbpv.org.cn>）将为标准用户提供全面的信息服务，各标准用户也可按以下地址与委员会秘书处联系。

通信地址：北京朝阳区和平街西苑2号楼D座三层

邮政编码：100013

电 话：010-59068953

传 真：010-59068929

全国锅炉压力容器标准化技术委员会

中华人民共和国行业标准

NB/T 47004—2009 (JB/T 4752)

板式热交换器

NB/T 47005—2009 (JB/T 4753)

板式蒸发装置

NB/T 47006—2009 (JB/T 4757)

铝制板翅式热交换器

*

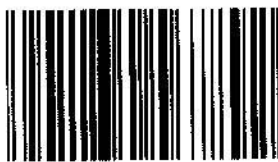
新华出版社出版发行

(北京石景山区京原路8号 邮编: 100043)

新华书店经销

北京明实印刷有限公司印刷

版权专有 不得翻印



NB/T 47004~47006—2009

开本 880×1230 1/16 印张 12.5 字数 145 千字

2010年4月第1版 2010年4月第1次印刷

*

书号: 155011·033 定价: 135.00 元