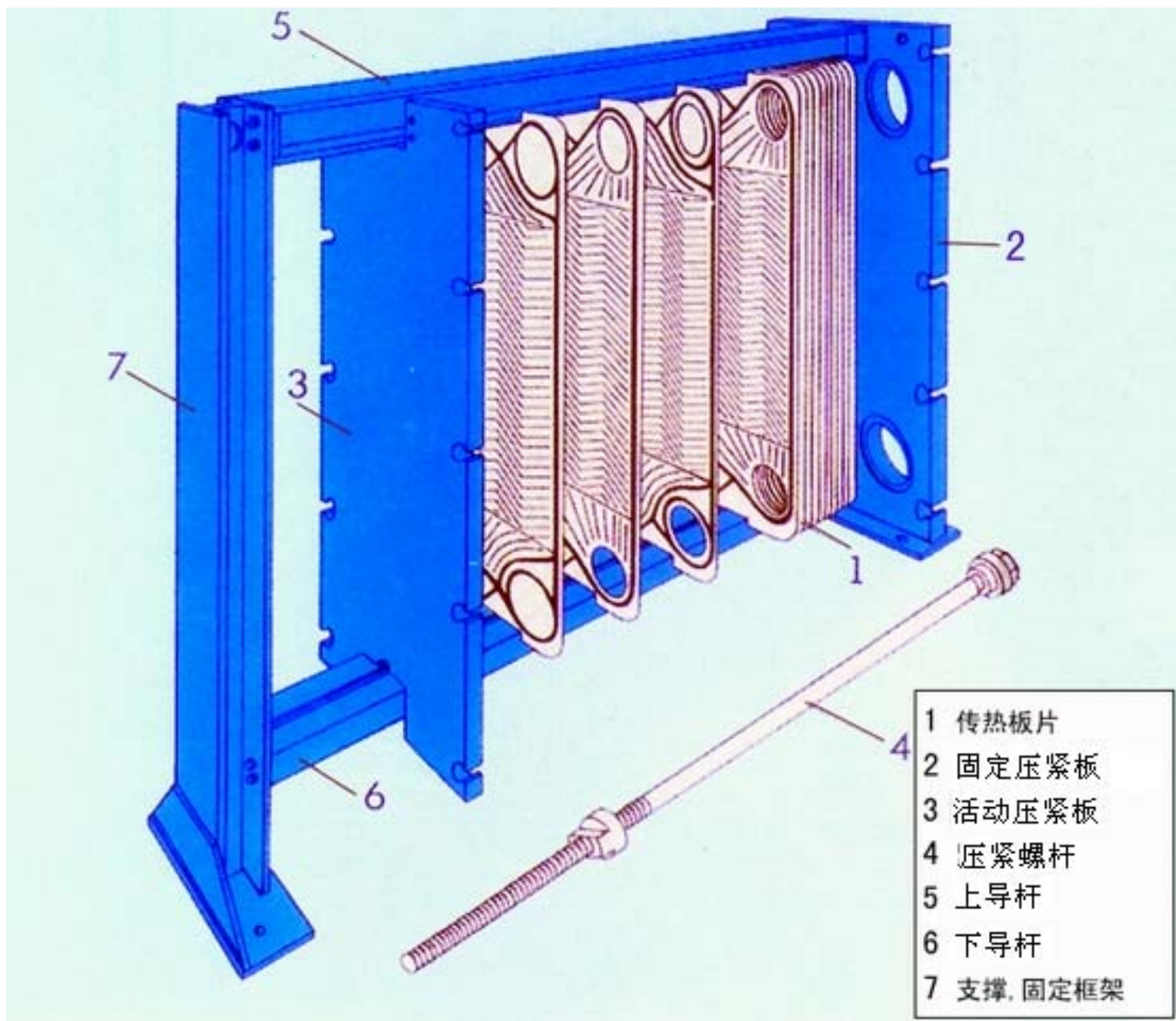


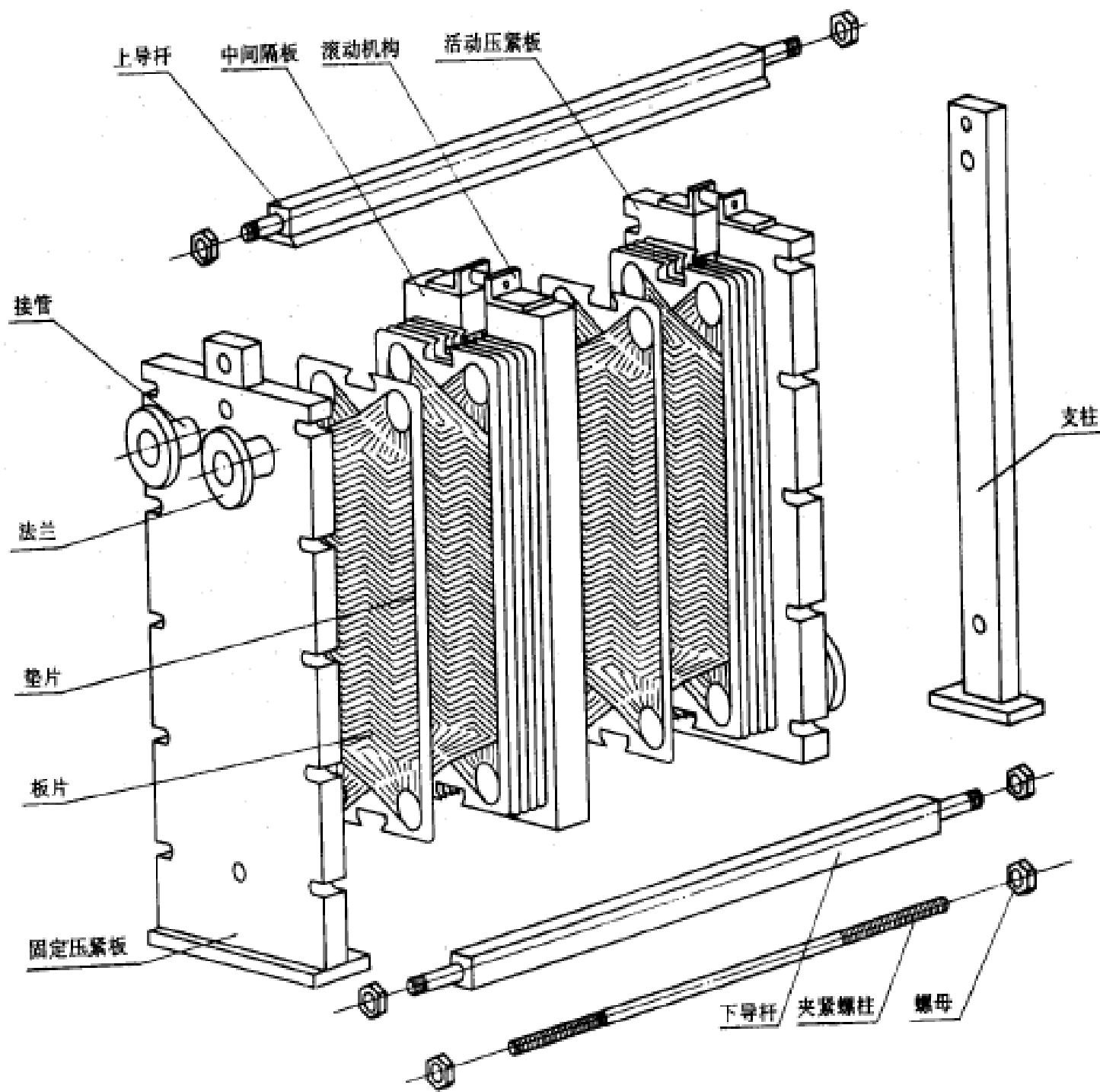
## 3.2 板式换热器

板式换热器是由一系列具有一定形状的金属片叠装而成的一种新型高效换热器。各种板片之间形成薄矩形通道，通过板片进行热量交换。

## 构造:

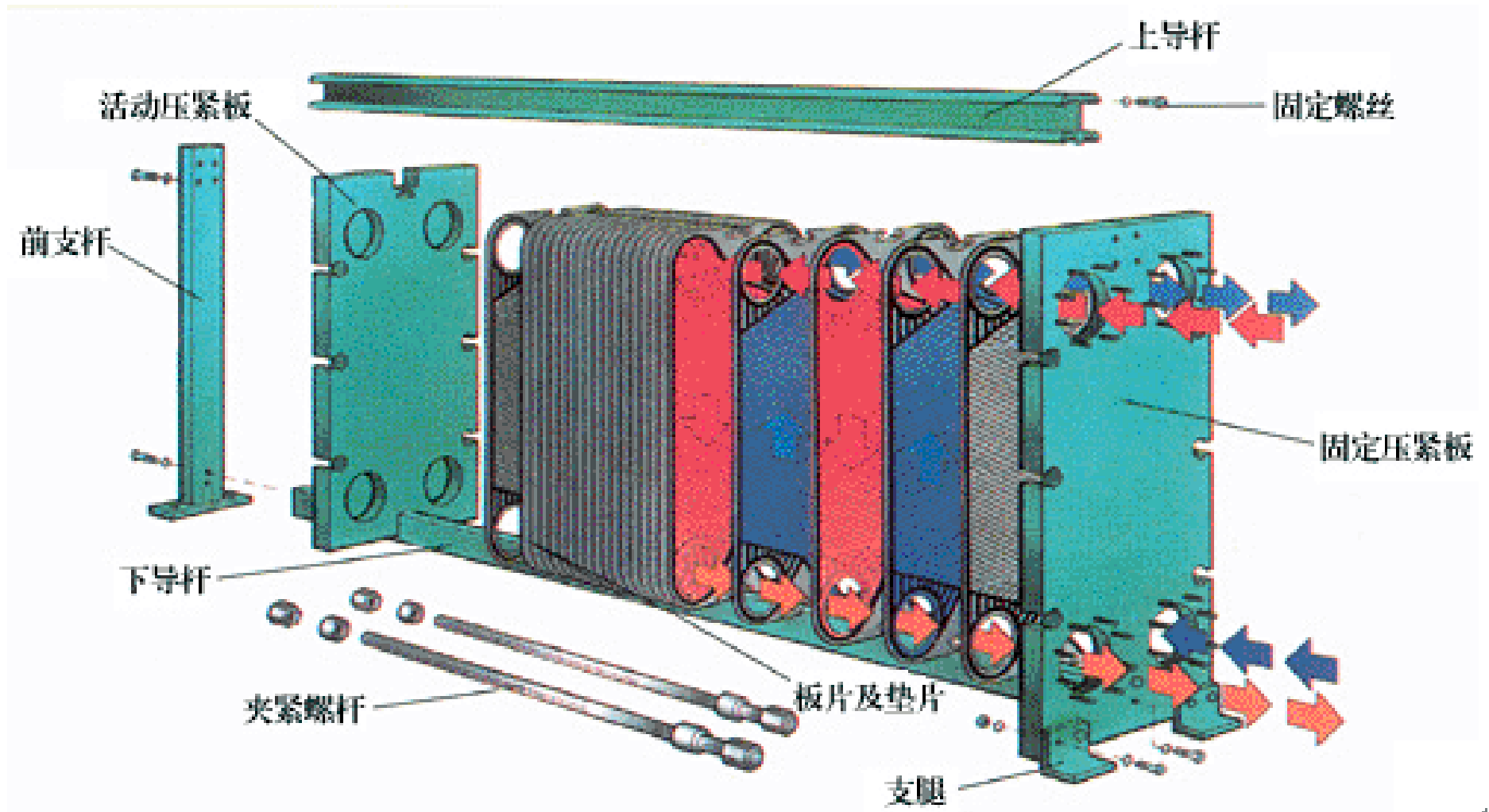
是由一组长方形的薄金属板平行排列，夹紧组装于支架上而构成。两相邻板片的边缘衬有垫片，压紧后板间形成密封的流体通道，且可用垫片的厚度调节通道的大小。每块板的四个角上，各开一个圆孔，其中有一对圆孔和一组板间流道相通，另外一对圆孔则通过在孔的周围放置垫片而阻止流体进入该组板间的通道。



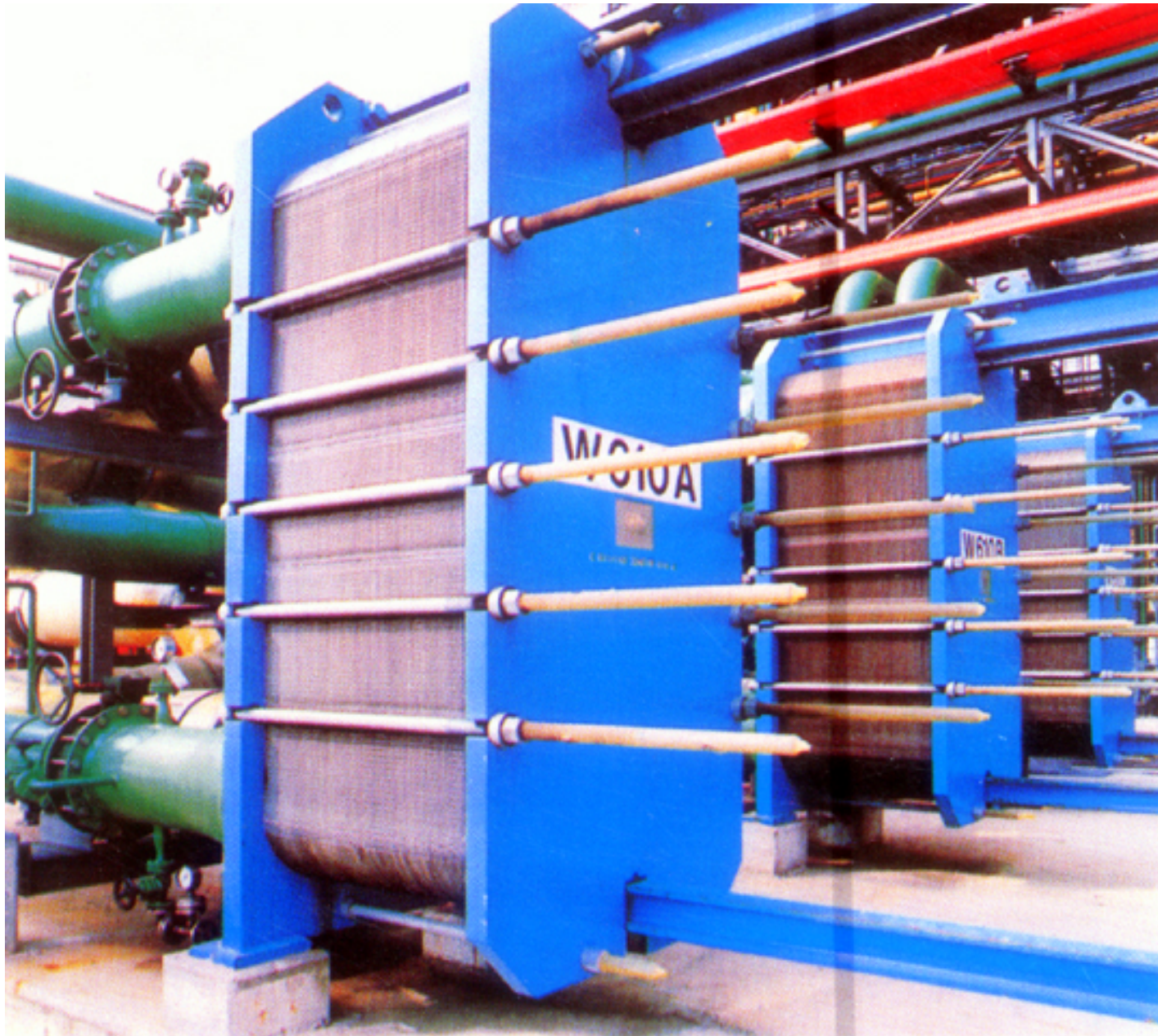


换热原理：冷热流体交错地在板片两侧流过，通过板片进行换热。板片厚度约为**0.5~3mm**，通常压制凹凸地波纹状。例如人字形波纹板。两板凹凸形成触点既增加了板的刚度以防止板片受压时变形，同时又使流体分布均匀，增强了流体湍动程度和加大了传热面积，有利于传热。

# 板式换热器的原理







# 板式换热器的应用场合

- a. 制冷：用作冷凝器和蒸发器。
- b. 暖通空调：配合锅炉使用的中间换热器、高层建筑中间换热器等。
- c. 化学工业：纯碱工业，合成氨，酒精发酵，树脂合成冷却等。
- d. 冶金工业：铝酸盐母液加热或冷却，炼钢工艺冷却等。
- e. 机械工业：各种淬火液冷却，减速器润滑油冷却等。
- f. 电力工业：高压变压器油冷却，发电机轴承油冷却等。
- g. 造纸工业：漂白工艺热回收，加热洗浆液等。
- h. 纺织工业：粘胶丝碱水溶液冷却，沸腾硝化纤维冷却等。
- i. 食品工业：果汁灭菌冷却，动植物油加热冷却等。
- j. 油脂工艺：皂基常压干燥，加热或冷却各种工艺用液。
- k. 集中供热：热电厂废热区域供暖，加热洗澡用水。
- l. 其他：石油、医药、船舶、海水淡化、地热利用。



# 板式换热器

Plate heat exchanger

---

## 1 范围

本标准规定了可拆卸板式换热器(简称板式换热器)的设计、制造、检验与验收要求。

本标准适用于设计压力不大于 2.5 MPa 的板式换热器,其设计温度范围应不超过垫片材料的允许使用温度。

## 2 引用标准

下列标准所包含的条文,通过在本标准中引用而构成为本标准的条文。本标准出版时,所示版本均为有效。所有标准都会被修订,使用本标准的各方应探讨使用下列标准最新版本的可能性。

GB 699—88 优质碳素结构钢技术条件

GB 700—88 碳素结构钢

GB/T 983—1995 不锈钢焊条

GB 1173—86 铸造铝合金技术条件

GB 1220—92 不锈钢棒

GB 2041—89 黄铜板

GB 3077—88 合金结构钢技术条件

密封垫式板式换热器主要部件：

板片、密封垫片、压紧装置以及其他附件

# 1) 传热板片

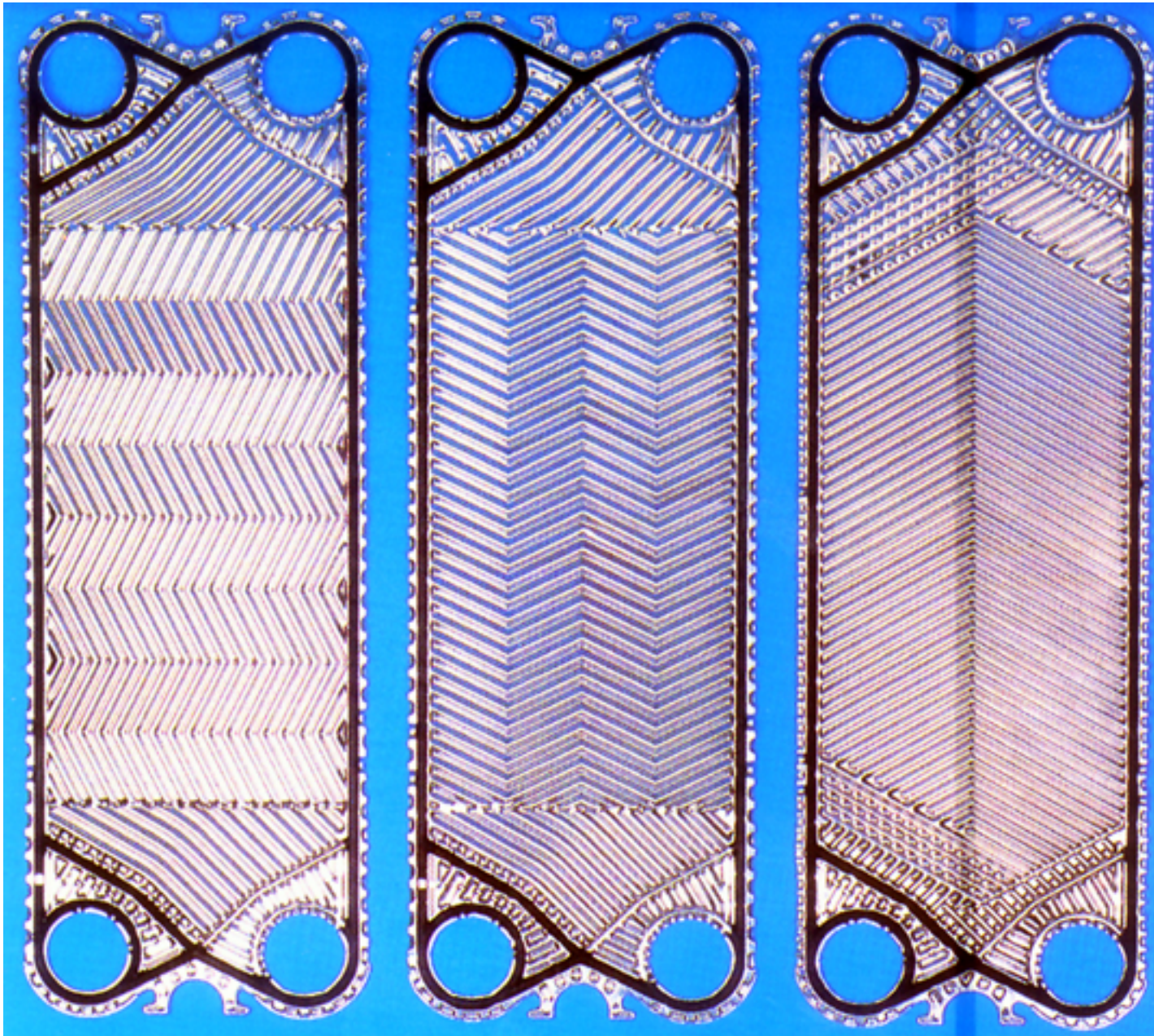
- 传热板片是板式热交换器的关键元件。板片形式主要有有人字形波纹板、水平平直波纹板和瘤形板片等多种。它的设计主要考虑两方面因素：
  - ①使流体在低速下发生强烈湍流、以强化传热；
  - ②提高板片刚度，能耐较高的压力。

- 人字形板—它的断面形状常为三角形，人字形之间夹角通常为**120°**。板式热交换器组装时，每相邻两板片是相互倒置的，从而形成网状触点，并使通道中流体形成网状流。流体从板片一端的一个角孔流入，可从另一端同一侧的角孔流出(称之为“单边流”)、或另一端另一侧的角孔流出(称之为“对角流”)。此种板片不仅刚性好，传热性能也较好。但人字形板的流阻较大不适宜于含颗粒或纤维的流体。

# 板片

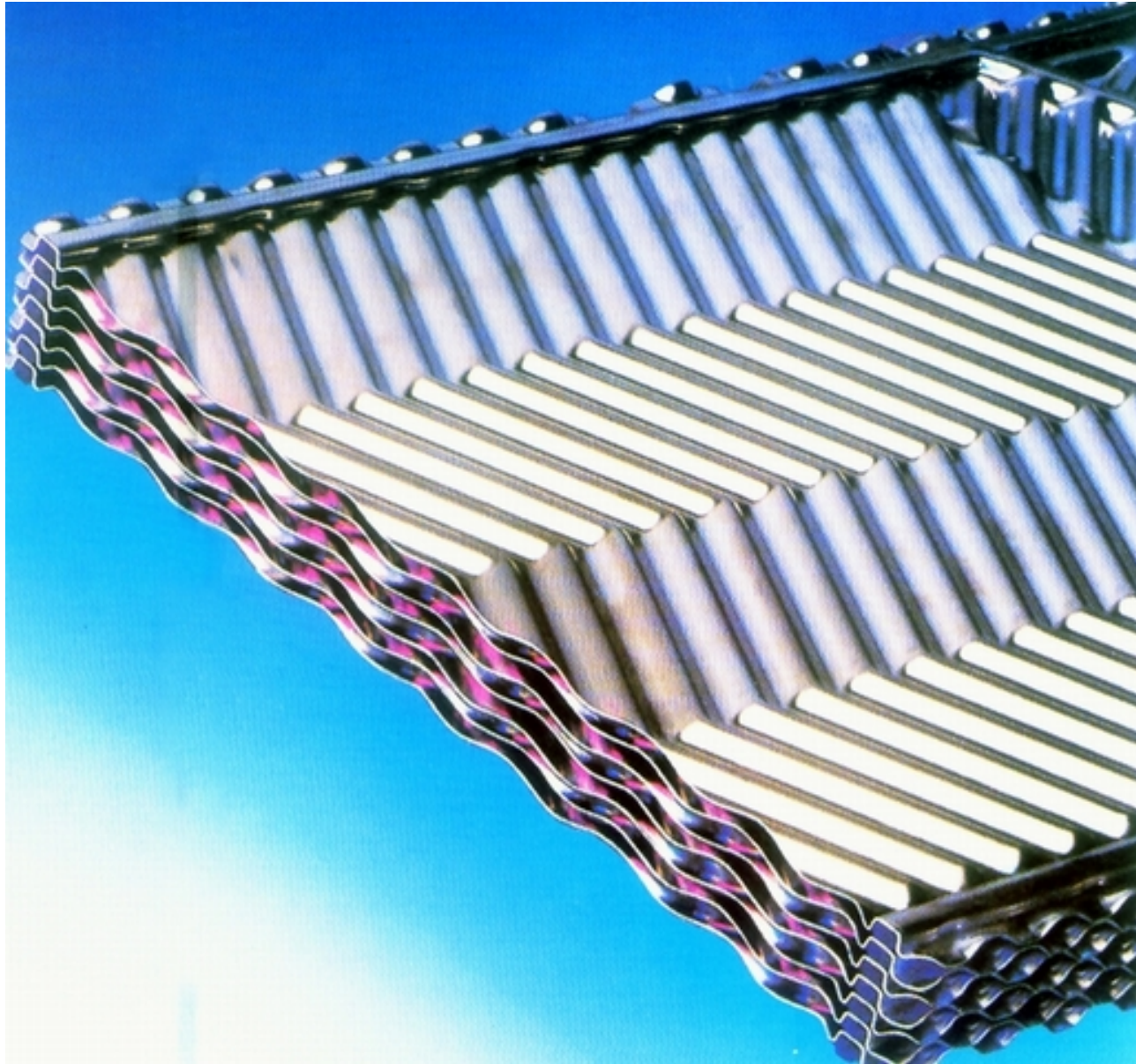




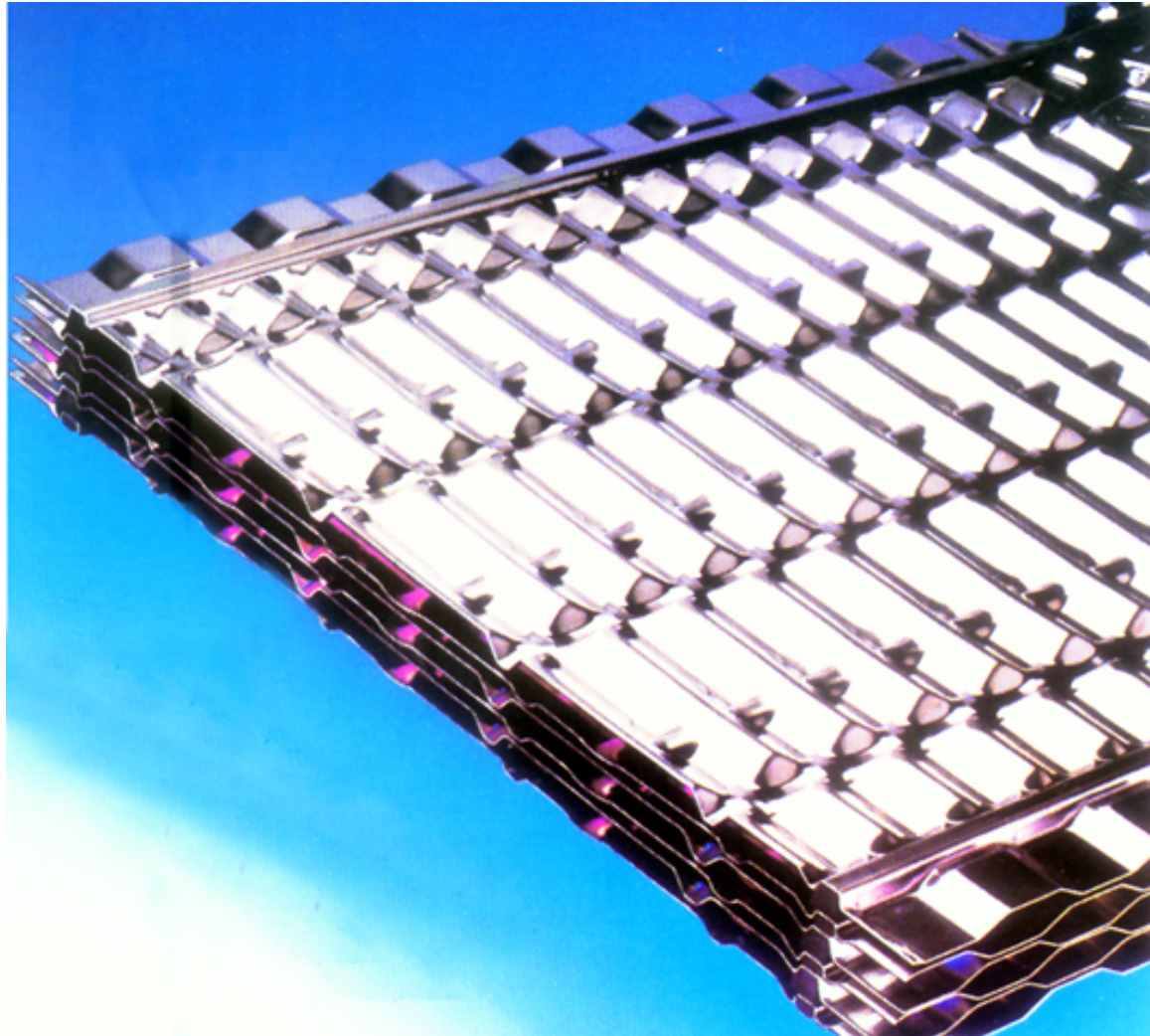


双人字、人字

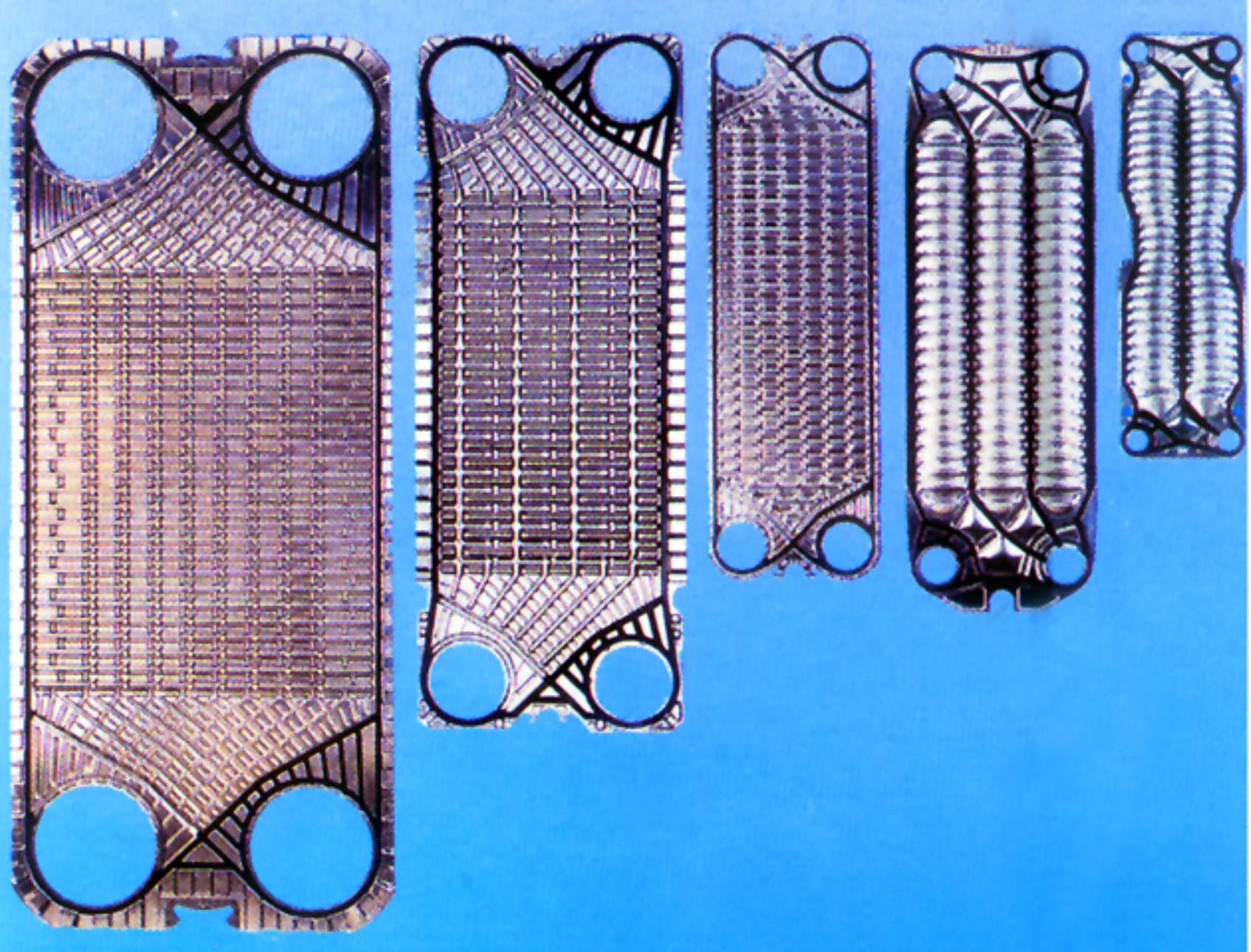


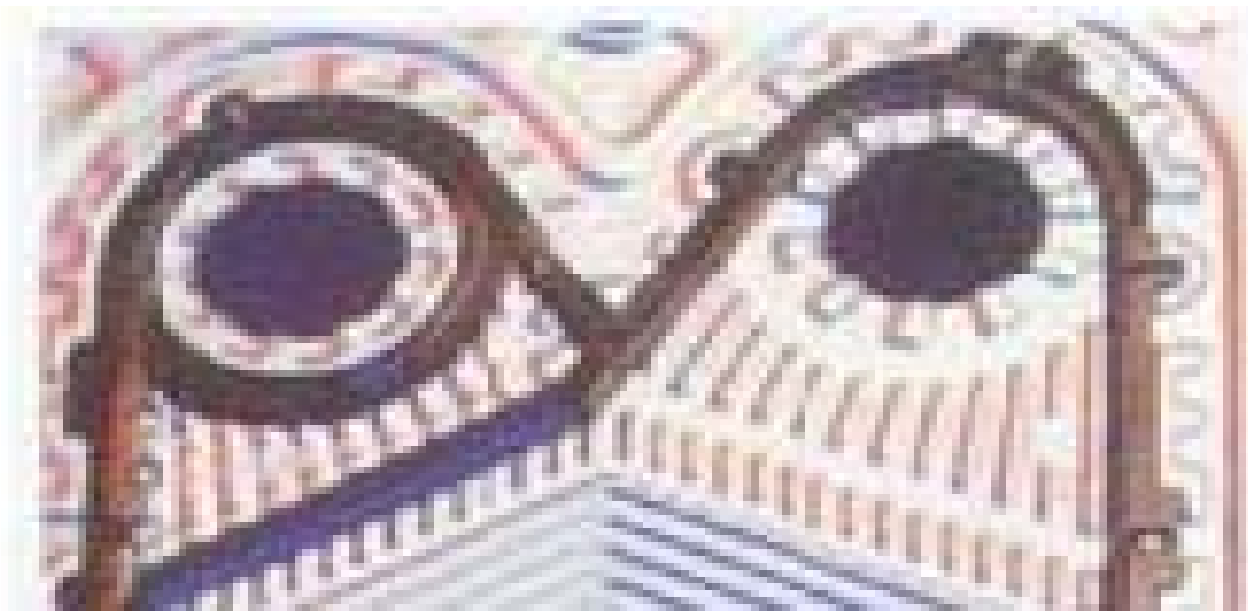


- 水平平直波纹板一为一种断面形状为等腰三角形的水平平直波纹板、它的传热和流体力学性能均较好。









板片都具有以下共同部分：

- 强化传热的凹凸形波纹；
- 板片四周及角孔处的密封槽，
- 流体进出孔(角孔，一般为圆形，大型冷凝器板片角孔常为三角形)；
- 悬挂用缺口。

*组装后两板片间都有相互接触的地方。称为触点。*

板片材料有碳钢、不锈钢、铝及铝合金、黄铜、镍、钛等。目前应用最广的是不锈钢。钛的耐腐蚀性能好，用于化工等腐蚀性强的场合。

板片厚度很薄，为**0.5~1.5mm**，通常为**1mm**左右。

目前板片采用的是冲压成型的方法制造。



表 5

序 号	主要零部件名称	材料牌号或材料名称	材料标准
1	板片	1Cr18Ni9 0Cr18Ni9 00Cr19Ni10 0Cr17Ni12Mo2 00Cr17Ni14Mo2	GB 3280
		TA1-A	GB/T 14845
		H68 HSn62-1	GB 2041
2	导杆	Q235-A·F Q235-A	GB 700
		45	GB 699
		2Cr13	GB 1220
3	压紧板	Q235-A·F Q235-A Q235-B	GB 700
		16MnR	GB 6654
		16Mn	GB 3274
4	中间隔板	钢材同压紧板	材料标准同压紧板
		ZL 101    ZL 102 ZL 103    ZL 201	GB 1173

表 5(完)

序 号	主要零部件名称	材料牌号或材料名称	材料标准
3	接管	18 28	GB 8163
		0Cr18Ni9 0Cr18Ni9Ti 0Cr17Ni12Mo2 08Cr17Ni12Mo2	GB 18258 或 GB/T 14978
		1Cr18Ni9Ti	GB 18258
		TA1 TA2	GB 18254 或 GB 3625
4	法兰	Q235-A Q235-B	GB 700
		Z0.30.18Ma	JB 4738
		0Cr18Ni10Ti 0Cr18Ni9 0Cr17Ni12Mo2 00Cr17Ni14Mo2	GB 4237 或 JB 4738
		TA1,TA2	GB 3621
		Z0D.18MD	JB 4737
7	接管螺栓	Q235-A 35 45	GB 708 或 GB 899
		40Cr 30CrMoA 35CrMoA	GB 3077
8	垫片	丁腈橡胶	



图 3

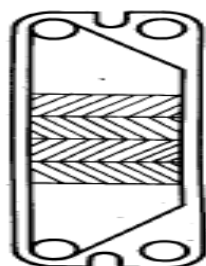


图 4



图 5

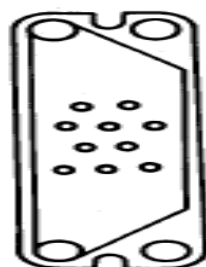


图 6

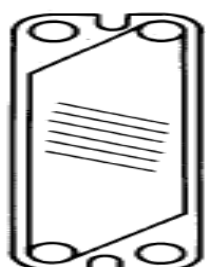


图 7



图 8

3.4.1 板式换热器常用的板片波纹形式见表 1。

表 1

序 号	波 纹 形 式	代 号
1	人字形波纹(图 3、图 4)	R
2	水平平直波纹(图 5)	P
3	球形波纹(图 6)	Q
4	斜波纹(图 7)	X
5	竖直波纹(图 8)	S

注：流体在板面上可以是对角流，也可以是单边流。图 3、5、7、8 为对角流，图 4、6 为单边流。

## 2)密封垫片

- 为了防止流体的外漏和两流体之间内漏，必须要有密封垫圈。它安装于密封槽中，运行中承受压力和温度，而且受着工作流体的侵蚀，此外在多次拆装后还要求它具有良好的弹性。密封长度长、问题突出。对橡胶质量的要求除了耐蚀、耐温外。还要求其他物理性能满足下列要求；
- 根据使用压力不同，硬度一般应在**65—90**邵氏硬度，压缩永久变形量不大于**30%**。抗拉强度**>8MPa**、延伸率**>200%**。

- 板式热交换器运行中出现的故障、很少是板片或其它构件的损坏，大部分是垫圈发生问题，如脱垫、伸长、老化、断裂等。所以，对于板式热交换器的密封垫圈的材料有着特殊的要求。
- 聚四氟乙烯或其他塑料、金属垫片等都不适合，目前广泛应用的有：天然橡胶、丁晴橡胶、丁苯橡胶、氯丁橡胶、三元乙丙橡胶、硅橡胶等。

- **3)压紧装置**

- 包括固定与活动的压紧板、压紧螺栓。它用于将垫圈压紧。产生足够密封力，使得热交换器在工作时不发生泄漏。通过旋紧螺栓来产生压紧力。对于大型板式热交换器，密封压紧力较大，所以要有坚固的框架。在制造成本中，压紧装置占了一个相当大的比例。



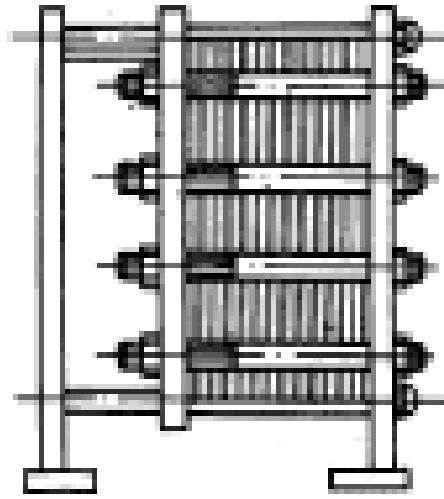


图 9

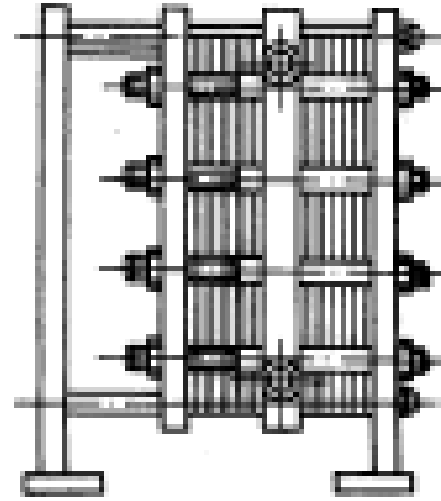


图 10

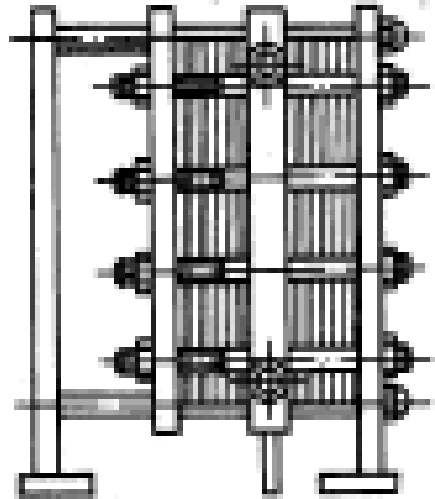


图 11

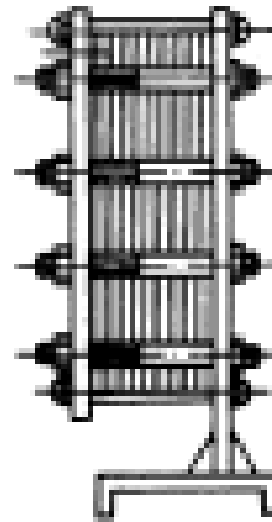


图 12



## 板式换热器的主要特点是：

- (1) 传热系数高 由于不同的波纹板相互倒置，构成复杂的流道，使流体在波纹板间流道内呈旋转三维流动，能在较低的雷诺数（一般 $Re=50\sim 200$ ）下产生紊流，而且板薄，因而 $K$ 值可达到 $1200\sim 1500W/m^2k$ ，一般认为是管壳式的3~5倍。
- (2) 结构紧凑。由于板薄而且两板间距小，因而单位体积提供的传热面积大，可达到 $250\sim 1000m^2/ m^3$ ，为管壳式的2~5倍，金属耗用量少，占地小。
- (3) 操作灵活性大。容易改变换热面积或流程组合，只要增加或减少几张板，即可达到增加或减少换热面积的目的；改变板片排列或更换几张板片，即可达到所要求的流程组合，适应新的换热工况，而管壳式换热器的传热面积几乎不可能增加。

- **(4)**对数平均温差大，板式换热器多是并流或逆流流动方式，其修正系数也通常在**0.95**左右，此外，冷、热流体在板式换热器内的流动平行于换热面、无旁流，因此使得板式换热器的末端温差小，对水换热可低于**1℃**，而管壳式换热器一般为**5℃**。
- **(5)**重量轻 板式换热器的板片厚度仅为**0.4~0.8mm**，而管壳式换热器的换热管的厚度为**2.0~2.5mm**，管壳式的壳体比板式换热器的框架重得多，板式换热器一般只有管壳式重量的**1/5**左右
- **(6)**价格低 采用相同材料，在相同换热面积下，板式换热器价格比管壳式约低**40%~60%**。
- **(7)**可拆结构，容易清洗 框架式板式换热器只要松动压紧螺栓，即可松开板束，卸下板片进行机械清洗，这对需要经常清洗设备的换热过程十分方便。

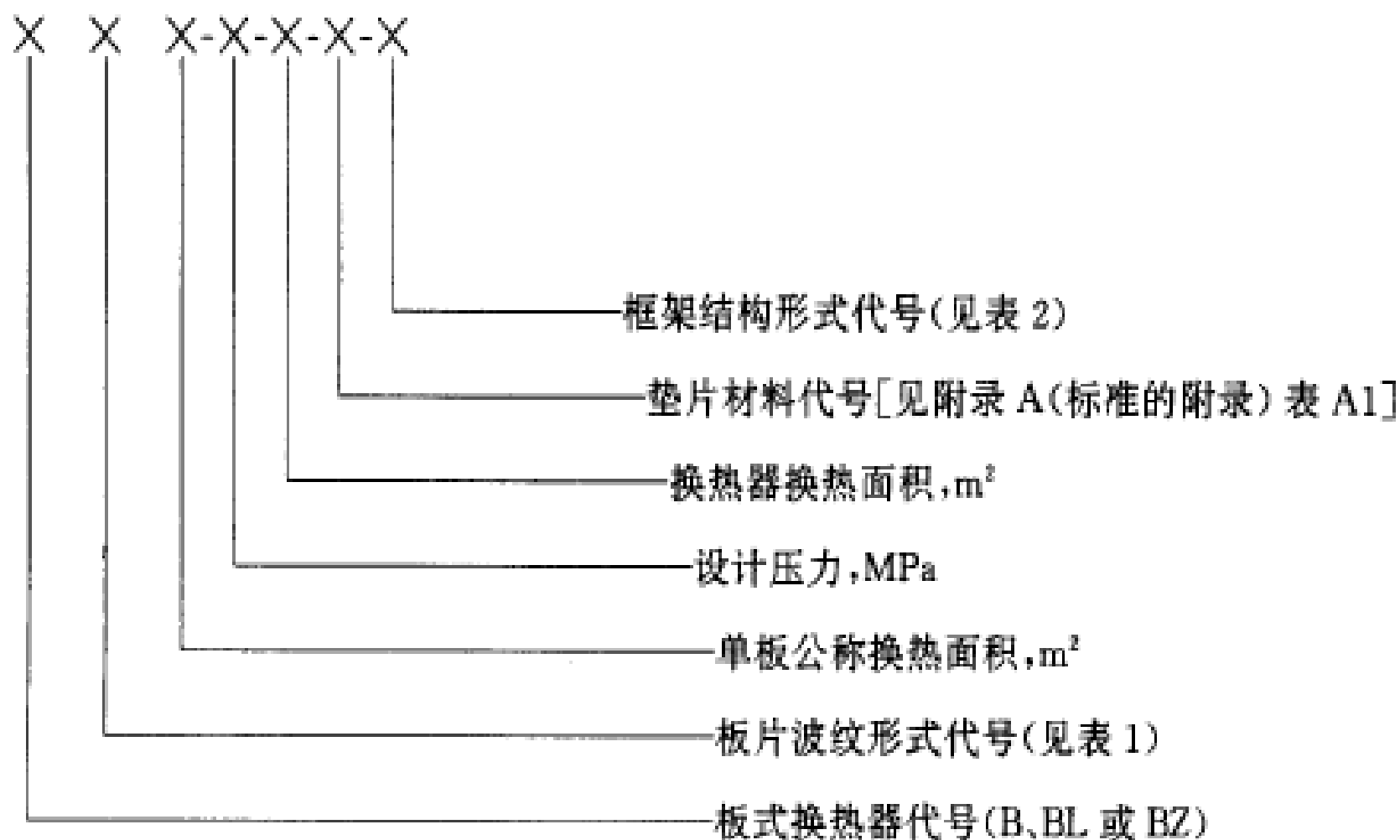
- 主要缺点是允许的操作压强和温度低。因板薄压强高容易变形，垫片压强高时容易渗漏，所以操作压强一般不超过**0.6MPa**，因受垫片材料的耐热性限制，操作温度对橡胶垫不超过**120℃-150℃**，石棉垫不超过**250℃**。
- 此外流通截面积小，故处理量小。
- 单位长度的压力损失大 由于传热面之间的间隙较小，传热面上有凹凸，因此比传统的光滑管的压力损失大。

- 为了解决板式热交换器(可拆式、密封垫片式)的耐温耐压偏低问题，全焊式、半焊式的板式热交换器已经出现，使应用的范围大大扩展。
- 全焊式通常为整体钎焊而成。
- 半焊式为每两张板片焊在一起成为一个焊接单元，单元之间用垫片密封，然后组装成一体。





### 3.5 板式换热器型号表示方法



注

1 框架结构形式为 I 时, 框架结构形式代号可省略。

2 B—板式换热器代号; BL—板式冷凝器代号; BZ—板式蒸发器代号。





图 3

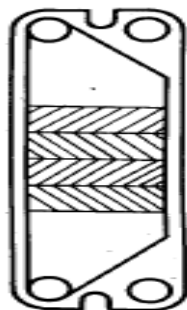


图 4

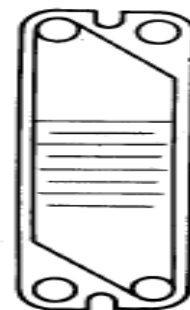


图 5

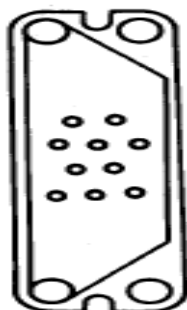


图 6

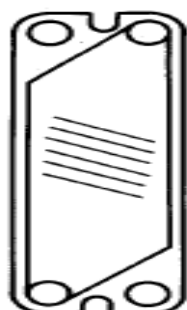


图 7

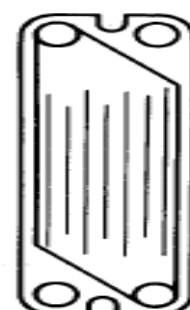


图 8

表 1

板式换热器常用的板片波纹形式

1	人字形波纹 (图 3、图 4)	R
2	水平平直波纹 (图 5)	P
3	球形波纹 (图 6)	Q
4	斜波纹 (图 7)	X
5	竖直波纹 (图 8)	S
流体在版面上可以是对角流,也可以是单边流。图 3、5、7、8 为对角流,图 4、6 为单边流。		

表 2

垫片材料代号及特性

垫片材料及代号 <sup>1)</sup>	丁晴橡胶	三元乙丙橡胶	氟橡胶	氯丁橡胶	硅橡胶	石棉纤维板 <sup>4)</sup>
	N	E	F	C	Q	A
适用温度 <sup>2)</sup>	-20~110	-50~150	0~180	-40~100	-65~230	20~250
扯断强度 MPa	≥ 10					-
扯断伸长率%	≥ 120					-
硬度 (邵尔 A 型)	75 ± 3	80 ± 5	80 ± 5	75 ± 5	60 ± 2	-
压缩永久变形率 <sup>3)</sup> %	≤ 15					
<p>1) 食品、医药用垫片材料的代号：在相应垫片代号后面加 S。            示例：丁晴橡胶垫片 N            丁晴橡胶食品垫片 NS</p> <p>2) 垫片在超过适用温度范围时，应由供需双方商定。</p> <p>3) 测定条件：室温 X24 小时；压缩率 20%。</p> <p>4) 物理性能指标参照 GB 3985，由供需双方商定。</p>						

表 3

板式换热器框架形式

序号	框架形式	代号
1	双支撑框架式（图 9）	I
2	带中间隔板双支撑框架式（图 10）	II
3	带中间隔板三支撑框架式（图 11）	III
4	悬臂式（图 12）	IV
5	顶杆式（图 13）	V
6	带中间隔板顶杆式（图 14）	VI
7	活动压紧板落地式（图 15）	VII

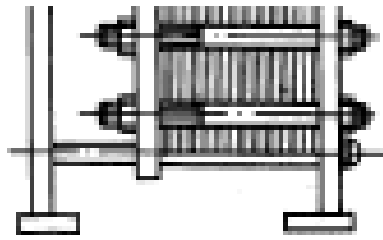


图 9

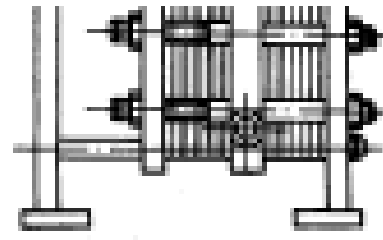


图 10

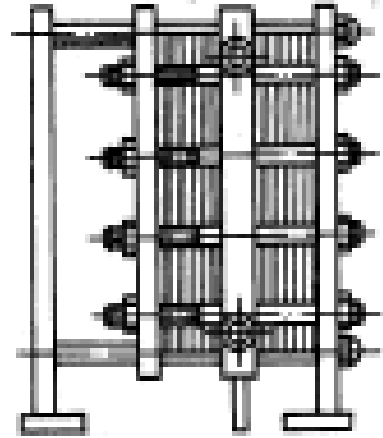


图 11

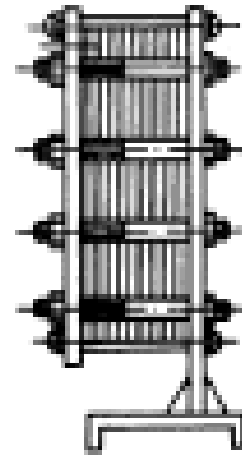
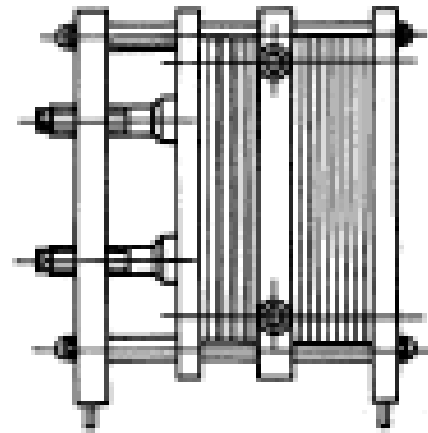
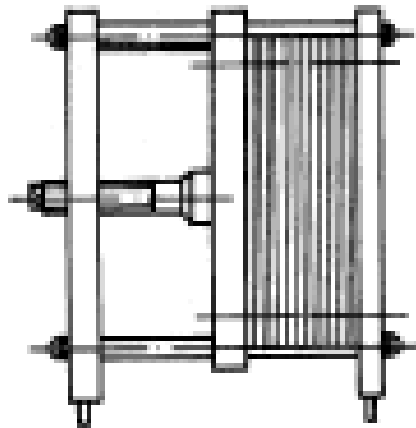


图 12



示例 1:

波纹形式为人字形,单板公称换热面积为  $0.3 \text{ m}^2$ ,设计压力为  $1.6 \text{ MPa}$ ,换热面积为  $15 \text{ m}^2$  垫片密封的双支撑框架结构的板式换热器,其型号表示为:

BR0.3-1.6-15-N-1 或 BR0.3-1.6-15-N

示例 2:

波纹形式为水平平直波纹,单板公称换热面积为  $1.0 \text{ m}^2$ ,设计压力为  $1.0 \text{ MPa}$ ,换热面积为用三元乙丙垫片密封的带中间隔板双支撑框架结构的板式换热器,其型号表示为:

BP1.0-1.0-100-E-1

## 3.2.2 流程组合及传热、压降计算

- 1)流程组合
- 为了满足传热和压力降的要求. 对于板式热交换器可进行多种流程与通道数的配置:
- ①流体流动可以是串联、并联(这时形成纯逆流)和混联(一种流体为并联. 而另一种流体为串联)
- ②流程可以是单流程或多流程、两流体的流程数可以相等或不相等
- ③两流体的流程中通道数不一定要相等。

$$\frac{M_1 \times N_1 + M_2 \times N_2 + \cdots + M_i \times N_i}{m_1 \times n_1 + m_2 \times n_2 + \cdots + m_i \times n_i}$$

• 流程与通道的配置方式:

$M_1、M_2 \cdots M_i$  -- 从固定压紧板开始，热流体流道数相同的流程数

$N_1、N_2 \cdots N_i$  -- 相应于  $M_1、M_2 \cdots M_i$  流程数中的流道数

$m_1、m_2 \cdots m_i$  -- 从固定压紧板开始，冷流体流道数相同的流程数

$n_1、n_2 \cdots n_i$  -- 相应于  $n_1、n_2 \cdots n_i$  流程数中的流道数

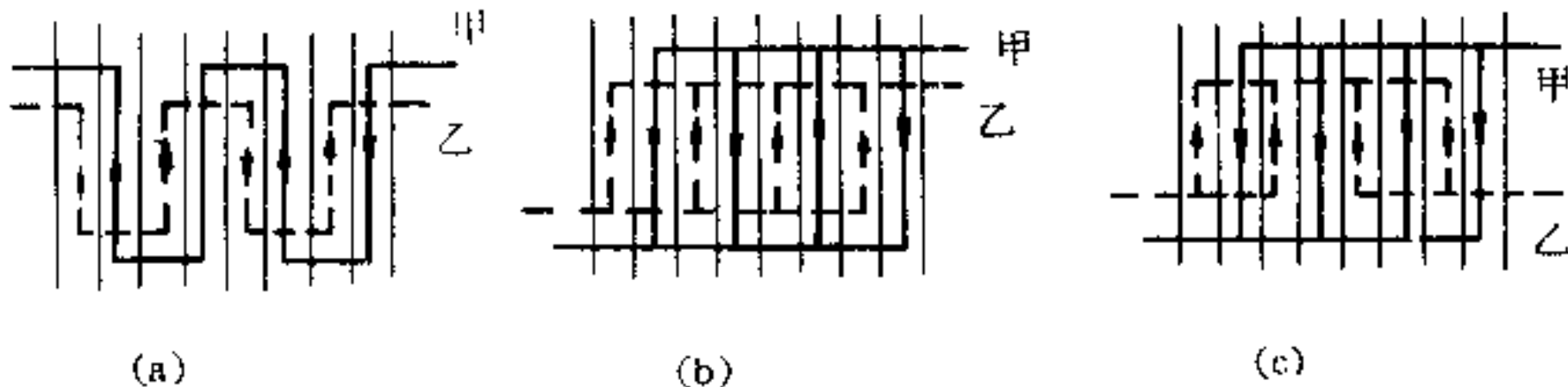


图 3.14 流体的流动联接

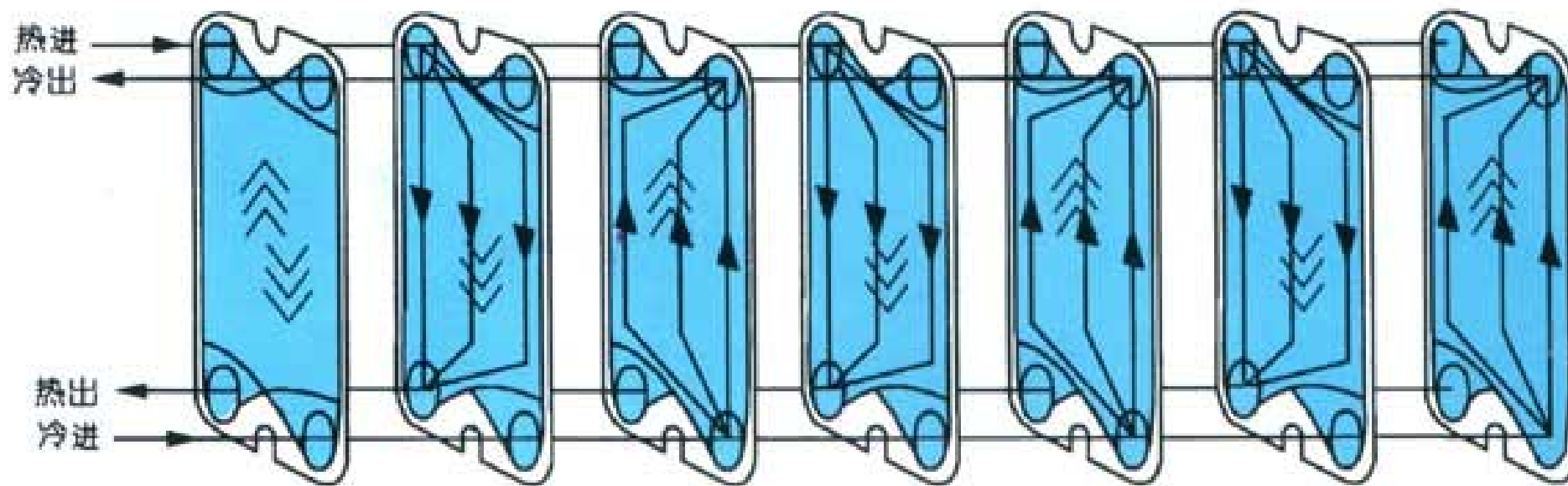
(a) 串联

(b) 并联

(c) 混联

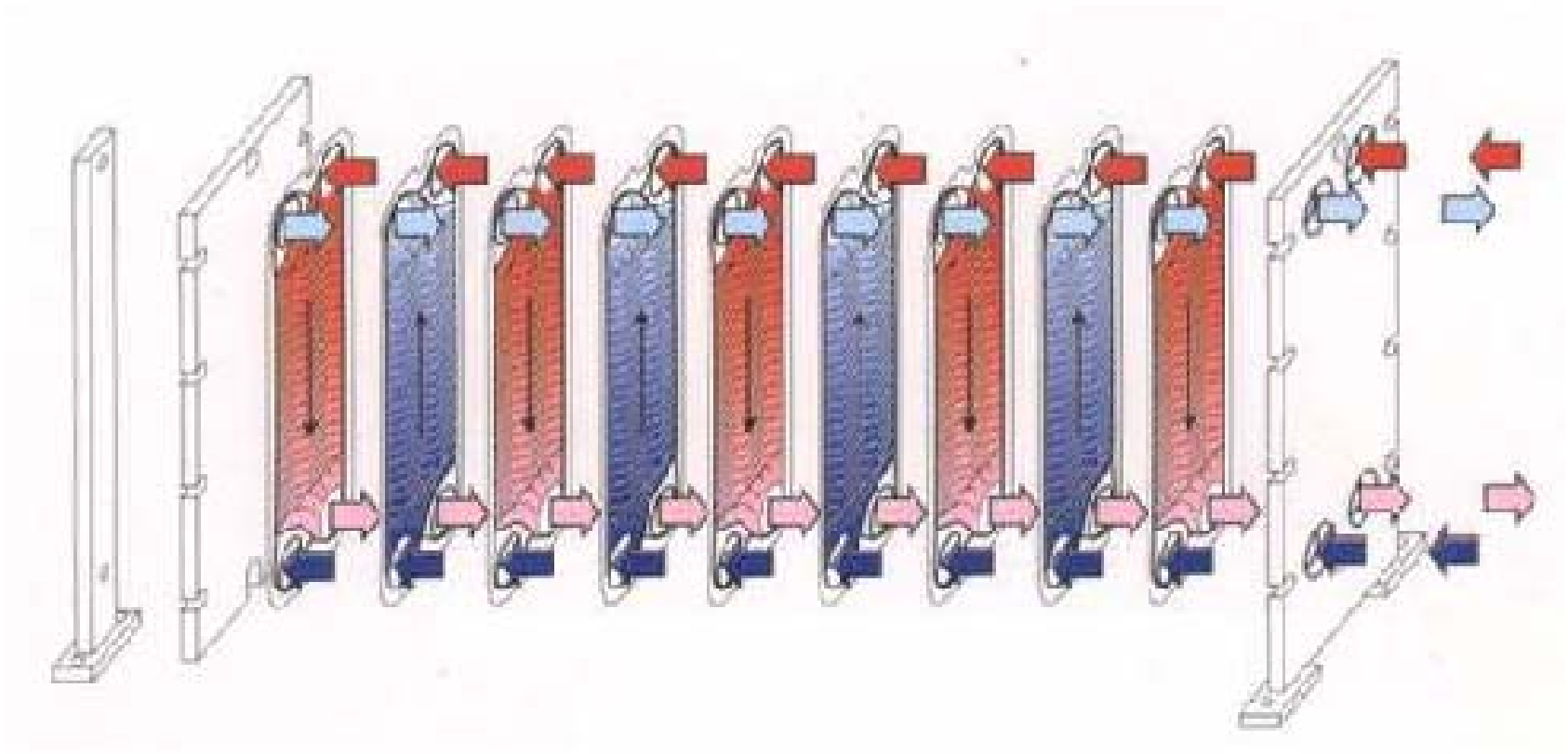
# 介质的流程

单流程:



$$\frac{1 \times 3}{1 \times 3}$$

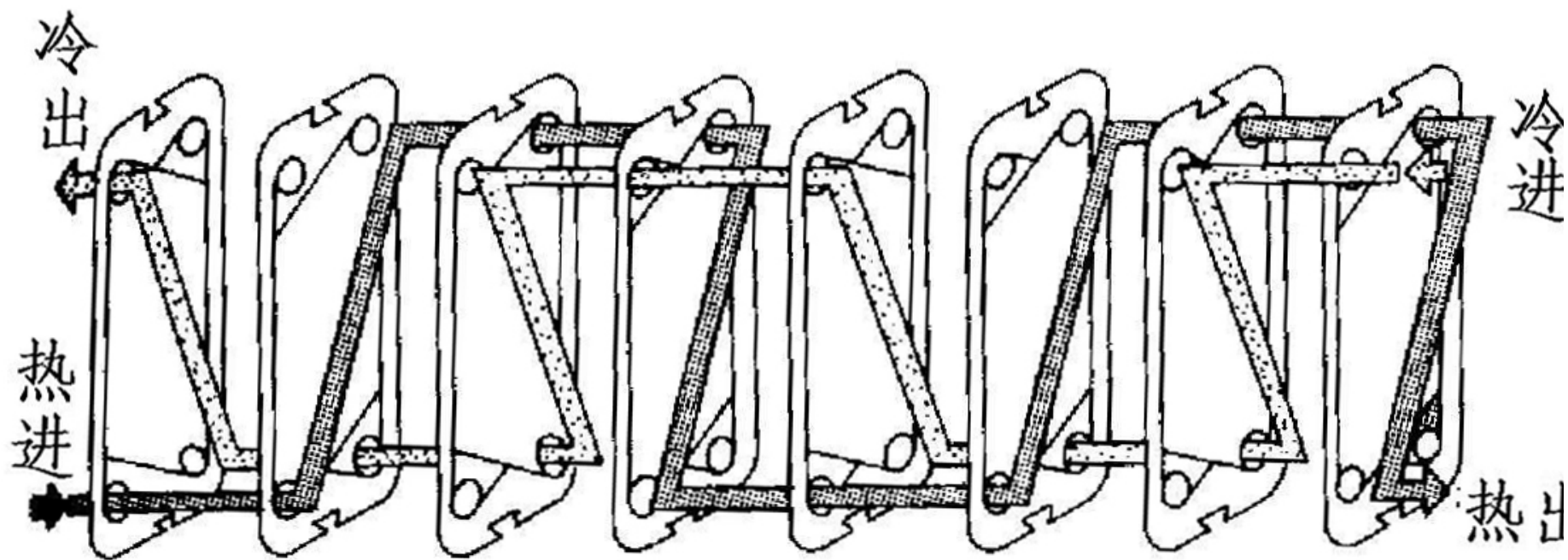




$$\frac{1 \times 5}{1 \times 4}$$

# 组装形式之一

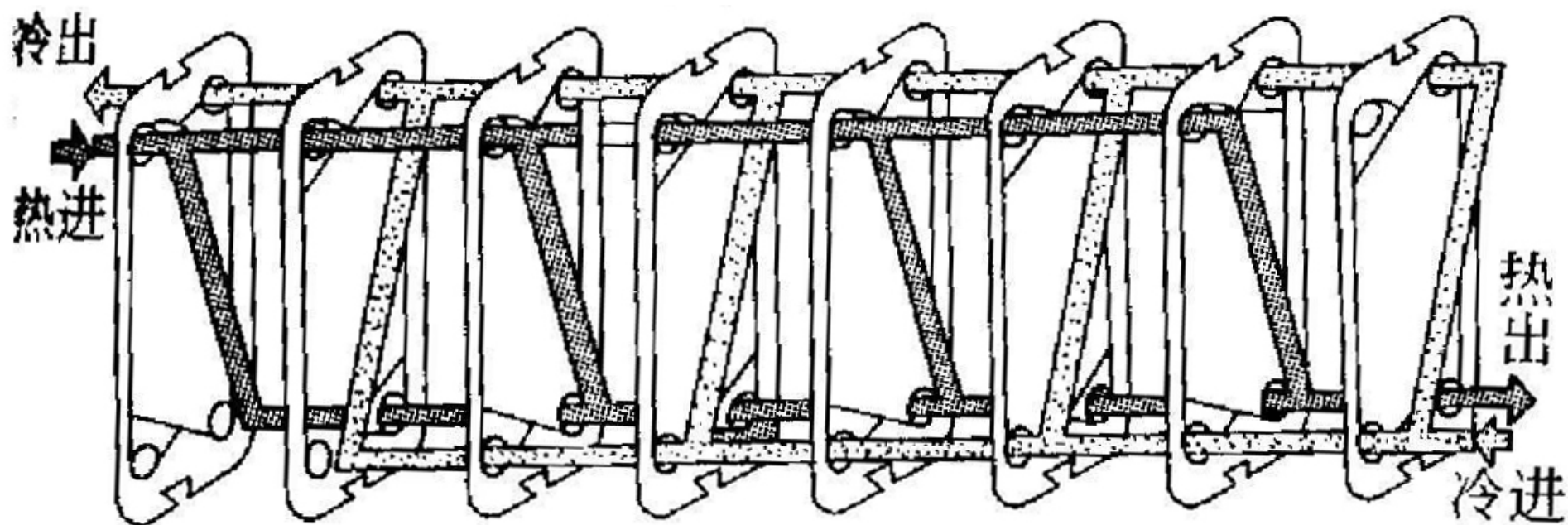
$$\frac{4 \times 1}{4 \times 1}$$



(a) 串联流程

# 组 装 形 式 之 二

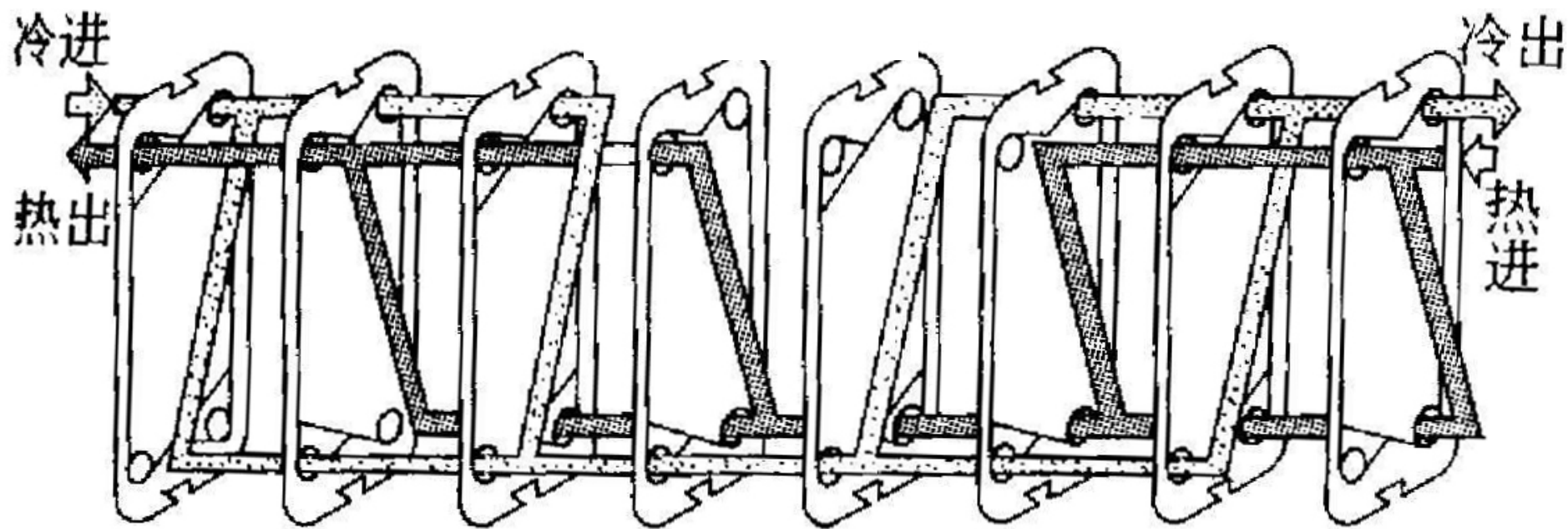
$$\frac{1 \times 4}{1 \times 4}$$



(b) 并联流程

# 组装形式之三

$$\frac{2 \times 2}{2 \times 2}$$



(c) 复杂流程

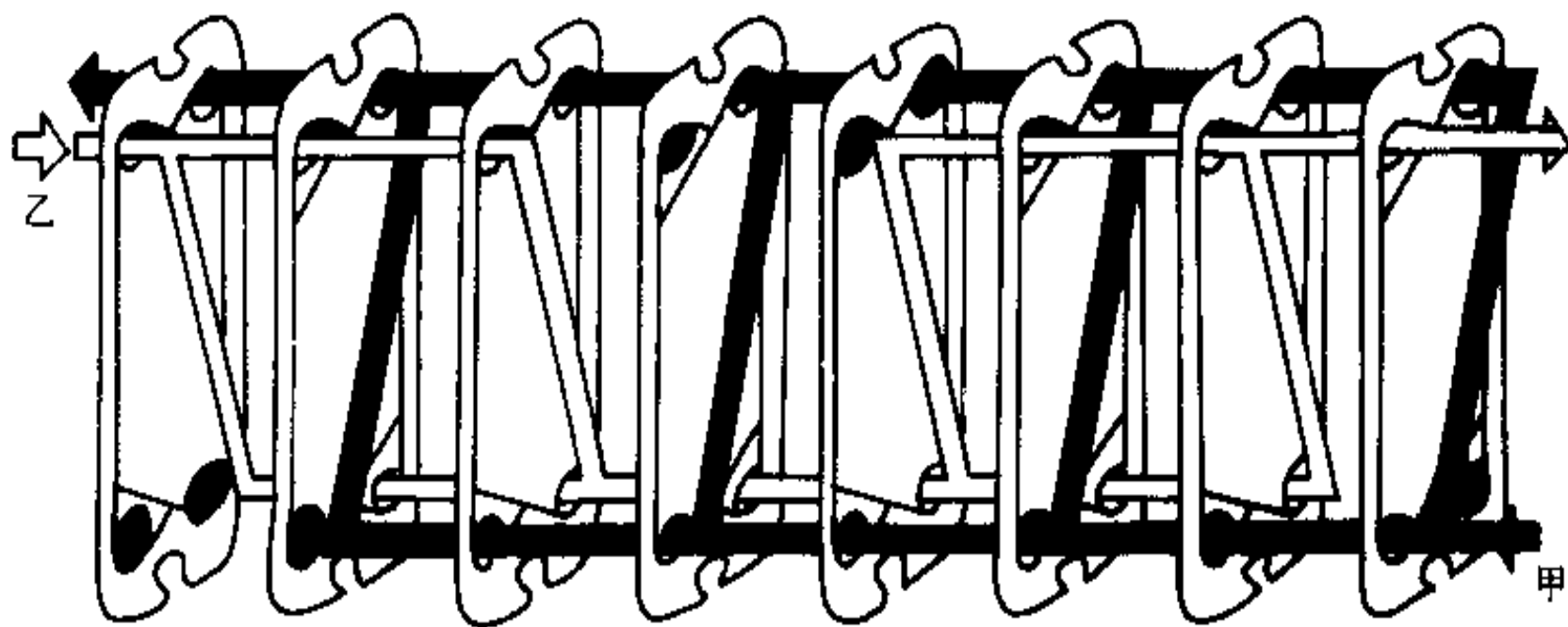


图 3.15 板式热交换器的  $\frac{1}{2} \times \frac{1}{2}$  流路联接

- ①通常板片四角都开孔，但在实现流程换向(即不是单流程)的板片上应有不开孔的情况，即存在“盲孔”。此外，在两端的端片上也有盲孔。
- ②对于“单边流”的板片．如果甲流体流经的角孔位置全在热交换器的左边．则乙流体所流经的角孔位置应在热交换器的右边。同理，“对角流”的板片(如本例)，甲流体如流经一个方向的对角线的角孔位置．乙流体应流经另一方向的对角线的角孔位置。

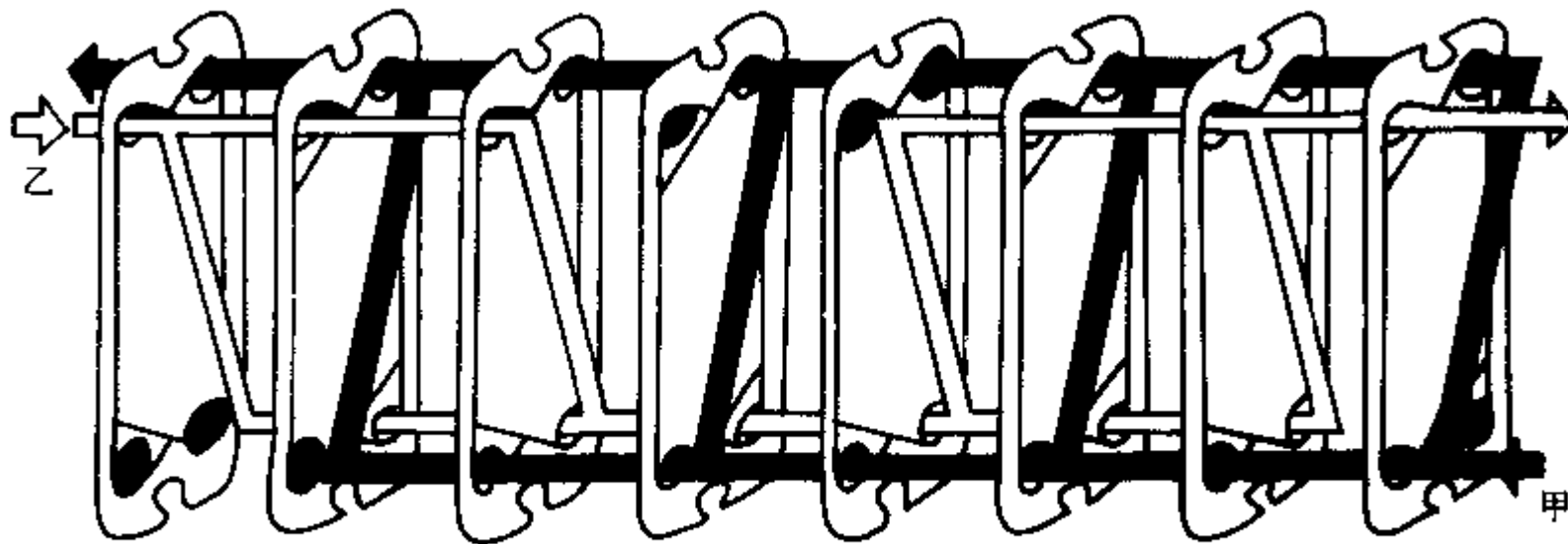


图 3.15 板式热交换器的  $\frac{1}{2} \times \frac{1}{2}$  流路联接

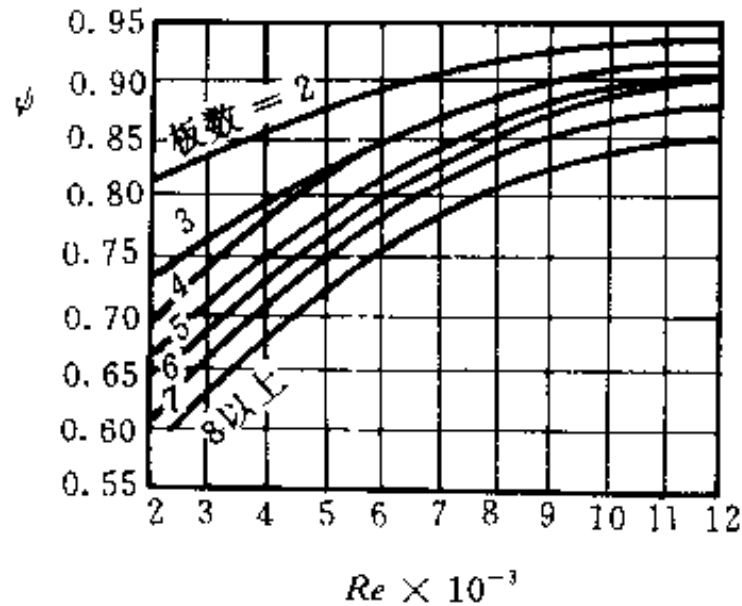
## 2) 传热计算

- 传热计算的基本方程仍是传热方程式，要特别指出的是：其中的传热面积并不是工程上所应用的板片面积。
- 板片的传热面积应不包括板片周边、角孔和导流等处，所以称为有效传热面积。它可以指板片的投影面积，也可以指板片展开面积。
- 由于板片具有波纹形的表面，展开面积和投影面积是不同的，在计算传热系数或使用他人数据时、应注意是以哪一种面积为基准。

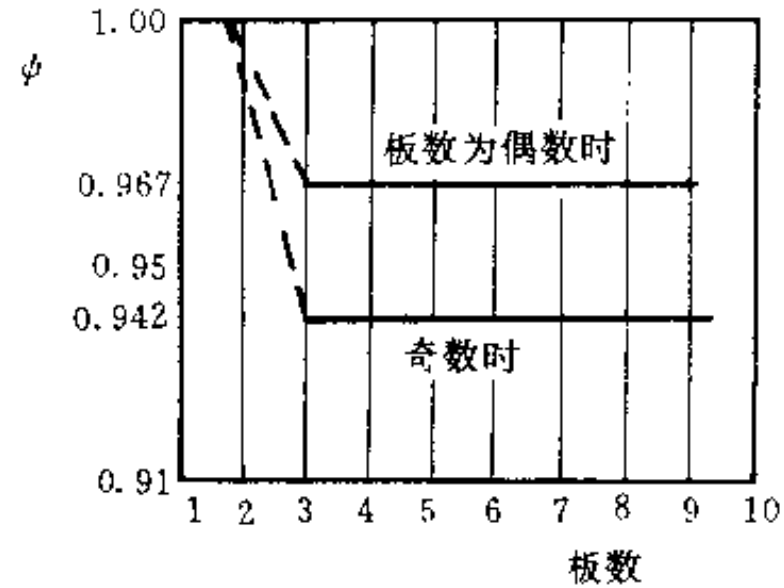


平均温差 $\Delta t_m$  计算为按纯逆流情况下对数平均温差 $\Delta t_{lm,c}$  乘以修正系数 $\psi$ :  $\Delta t_m = \Delta t_{lm,c} \psi$

$\psi$ 的确定, 在串连和并联时可采用图3.18, 混联时采用管壳式换热器的温差校正系数。



(a) 串连时(板数不包括两端的传热板)



(b) 并联时(板数不包括两端的传热板)

图 3.16 板式换热器的温差修正系数(LMTD 法时)

(a) 串连时(板数不包括两端的传热板)

(b) 并联时(板数不包括两端的传热板)

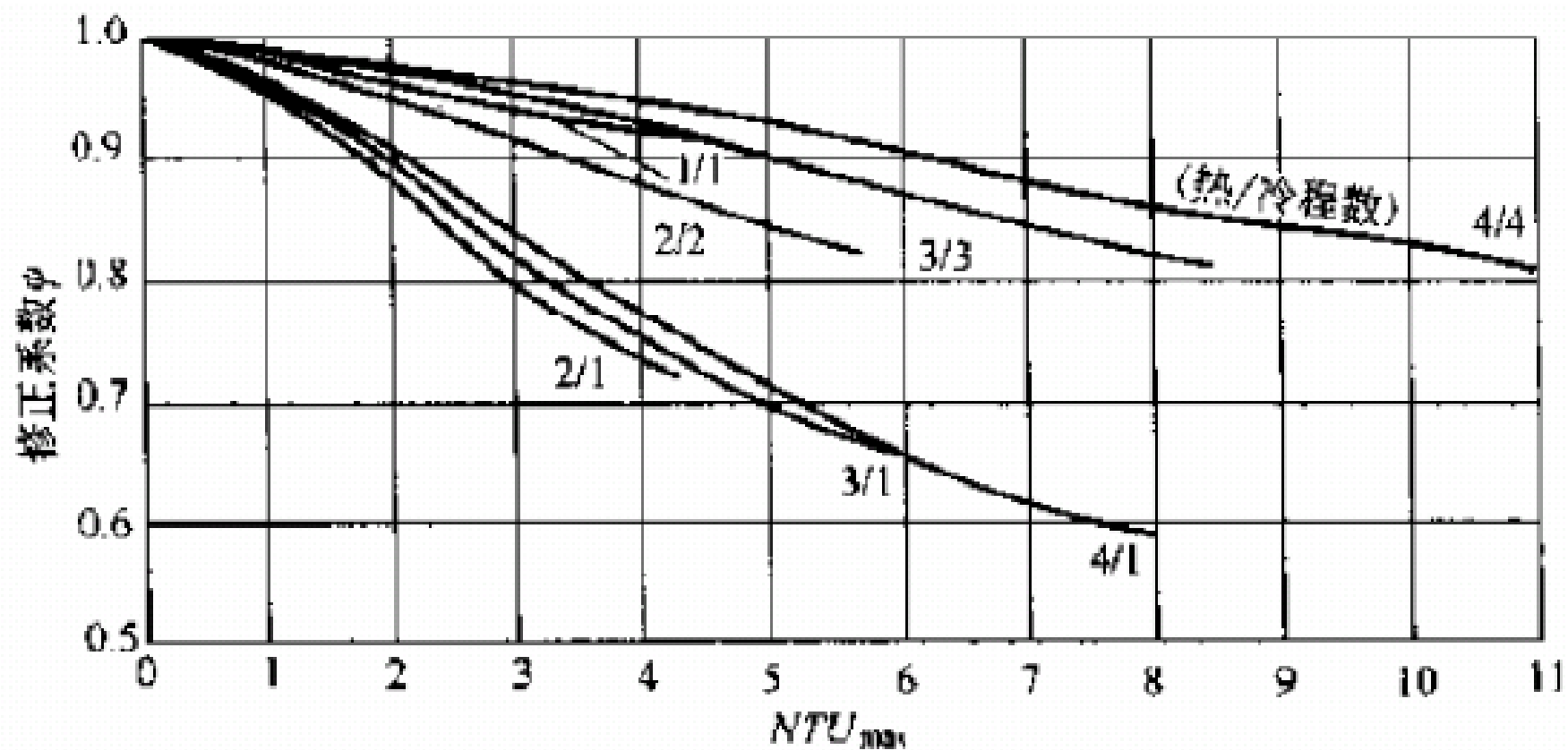


图 16-3 多程流程组合的对数平均温差修正系数

- 在计算板式热交换器流道内流体的**Re**值时，所采用的当量直径 **$d_e$** 。可按下式计算

$$d_e = \frac{4A}{U} = \frac{4Lb}{2(L+b)} \approx 2b$$

式中 **L**--板有效宽；

- **b**——板间距，
- 当板片两侧冷热流体的流通截面不等时，应按其实际的流通截面积**A**及热周边**U**来分别计算板片两侧流道的当量直径。

- 对流换热系数  $\alpha_1$  及  $\alpha_2$  的计算，一般在无相变情况下板片两侧都将保持传热相似，所以它们可按同样的公式计算，如传热不相似则需分别用各自的公式计算。
- 板式热交换器放热计算的基本公式形式与管内或槽道内的对流换热计算公式相同，湍流换热时为

$$Nu_f = C Re_f^n Pr_f^m \left( \frac{\mu_f}{\mu_w} \right)^{0.14}$$

- 当流体被加热时， **$m=0.4$** ；被冷却时， **$m=0.3$** 。其中的 **$c$** 、 **$n$** 值随板片、流体和流动的类型不同而不同。

C: 0.15-0.4; n:0.65-0.85;x:0.3-0.45

- 牛顿型层流

$$Nu_f = C \left( \text{Re}_f^n \text{Pr}_f^m de / L \right)^n \left( \frac{\mu_f}{\mu_w} \right)^x$$

C: 1.86-4.5; n:0.25-0.33;x:0.1-0.2,通常0.14

湍流推荐:

$$Nu_f = 0.159 \text{Re}_f^{0.7} \text{Pr}_f^{1/3} \left( \frac{\mu_f}{\mu_w} \right)^{0.14}$$

- 传热系数**K**的计算，在已知两侧对流换热系数及垢阻条件下，仍用以往常用的公式，即

$$\frac{1}{K} = \frac{1}{\alpha_1} + \frac{\delta}{\lambda} + r_1 + r_2 + \frac{1}{\alpha_2}$$

- 式中， $\delta$  与  $\lambda$  分别为板片厚及其导热系数
- $r_1$ 、 $r_2$  为板片两侧的污垢热阻。
- 板式热交换器由于流动湍动较大，故比较不易结垢，其污垢热阻要比一般的管壳式小。某些流体的垢阻如表**3. 2**所示。

### 3) 压力损失计算

对于板式换热器用于无相变换热时的压力降计算采用欧拉数

$E_u$  与雷诺数之间准则关系式给出：

$$E_u = b \text{Re}^d$$

系数  $b$ 、 $d$  由板式换热器的具体结构而定，其中  $d$  为负数，一般由厂商提供。

$$\because E_u = \Delta P / \rho w^2$$

$$\therefore \text{多程压降为：} \Delta P = m E_u \rho w^2 = m b \text{Re}^d \rho w^2$$

$m$  —— 流程数；  $w$  —— 流道中工质流速

计算板式换热器压降时的  $\text{Re}$  值时，当量直径  $d_e$  按下式计算：

$$d_e = \frac{4A}{U} = \frac{4Lb}{2(L+b)}$$

若板片两侧流通截面不等， $A$ 、 $U$  按其实际值计算

# $\varepsilon$ -NTU法

$$\varepsilon = \frac{\text{实际传热速率 } Q}{\text{最大可能传热速率 } Q_{\max}}$$

$$\text{当 } W_1 = W_{\min} \Rightarrow \varepsilon = \frac{Q}{Q_{\max}} = \frac{W_1 (t_1' - t_1'')}{W_1 (t_1' - t_2')} = \frac{t_1' - t_1''}{t_1' - t_2'}$$

$$\text{当 } W_2 = W_{\min} \Rightarrow \varepsilon = \frac{Q}{Q_{\max}} = \frac{W_2 (t_2'' - t_2')}{W_2 (t_1' - t_2')} = \frac{t_2'' - t_2'}{t_1' - t_2'}$$

$$\frac{kF}{W_{\min}} = NTU; \quad \frac{W_{\min}}{W_{\max}} = R_c$$

换热器交换的热流量:

$$Q = \varepsilon W_{\min} (t_1' - t_2')$$



## 一、设计性热计算

在这种热计算中，通常可以已知（或通过事先的计算）两流体的热容量 $W_1$ 、 $W_2$ 及四个进、口温度中的三个，需要求传热面积 $F$ 的大小。两种热计算的计算步骤如表所示：

平均温差法	传热单元数法
<ol style="list-style-type: none"><li>1、由已知条件，利用热平衡方程求出另一个未知温度及传热量<math>Q</math></li><li>2、确定流动方式，求出平均温差</li><li>3、取经验传热系数<math>K</math>，估算传热面<math>F</math>，并对传热面进行初步设计，计算相应传热系数<math>K</math></li><li>4、由传热方程式计算传热面积<math>F</math></li></ol>	<ol style="list-style-type: none"><li>1、同左</li><li>2、确定流动方式，求出传热有效度<math>\varepsilon</math>和<math>R_c</math>，用相应公式或线图求出<math>NTU</math>；</li><li>3、同左</li><li>4、由<math>F=NTU \times W_{\min}/K</math>，确定<math>F</math>。</li></ol>

## 二、校核性热计算

平均温差法	传热单元数法
<p>1、假定一个出口温度，用热平衡方程求另一个出口温度</p> <p>2、由传热面的已知布置情况计算相应的传热系数<b>K</b></p> <p>3、根据四个进出口温度和流体的流动形式，计算出平均温差 <math>\Delta t_m</math></p> <p>4、将<b>F</b>、<b>K</b>、<math>\Delta t_m</math>代入公式求<b>Q</b></p> <p>5、用下式核算流体的出口温度</p> $t_2'' = t_2' + \frac{Q}{W_2}; t_1'' = t_1' - \frac{Q}{W_1}$ <p>6、将所求出口温度与第一步的假定值比较，若相差较大，应重新假定，重复上述步骤，直至满意。</p>	<p>1、同左</p> <p>2、同左</p> <p>3、计算出传热单元数<b>NTU</b>和热容量之比<b>Rc</b></p> <p>4、用线图或公式求出传热有效度<b><math>\epsilon</math></b></p> <p>5、由<b><math>\epsilon</math></b>利用公式求出传热量<b>Q</b>，并用热平衡关系求出量流体的出口温度</p> <p>6、同左</p>

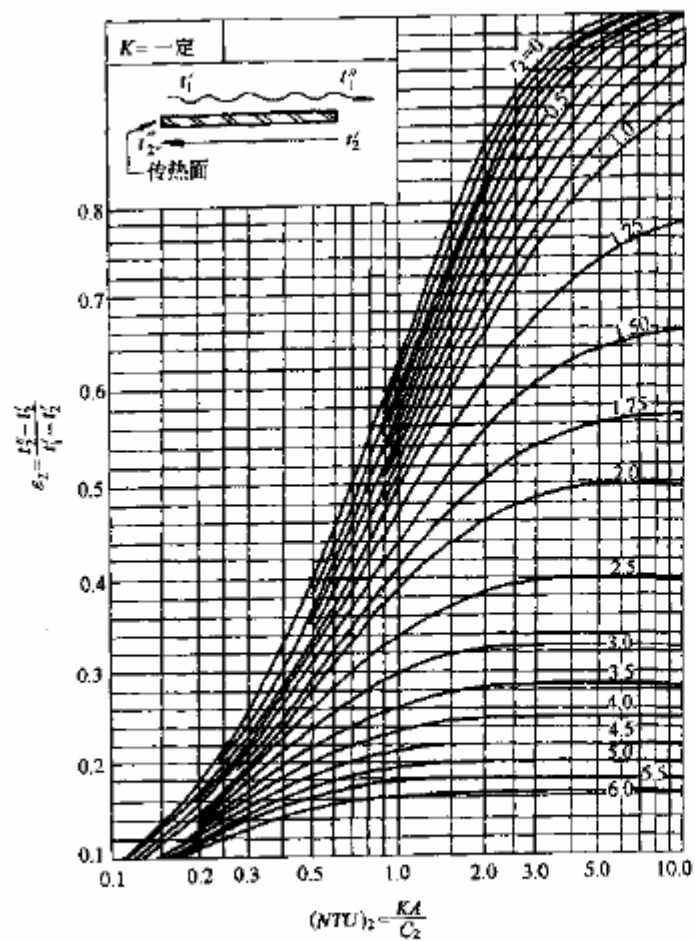


图 17-1 逆流 注：适用于 1-1 程，1-1 流道，1-2 流道；1-1 程，每程流道数在 3 以上；或有一方程数在 4 以上者

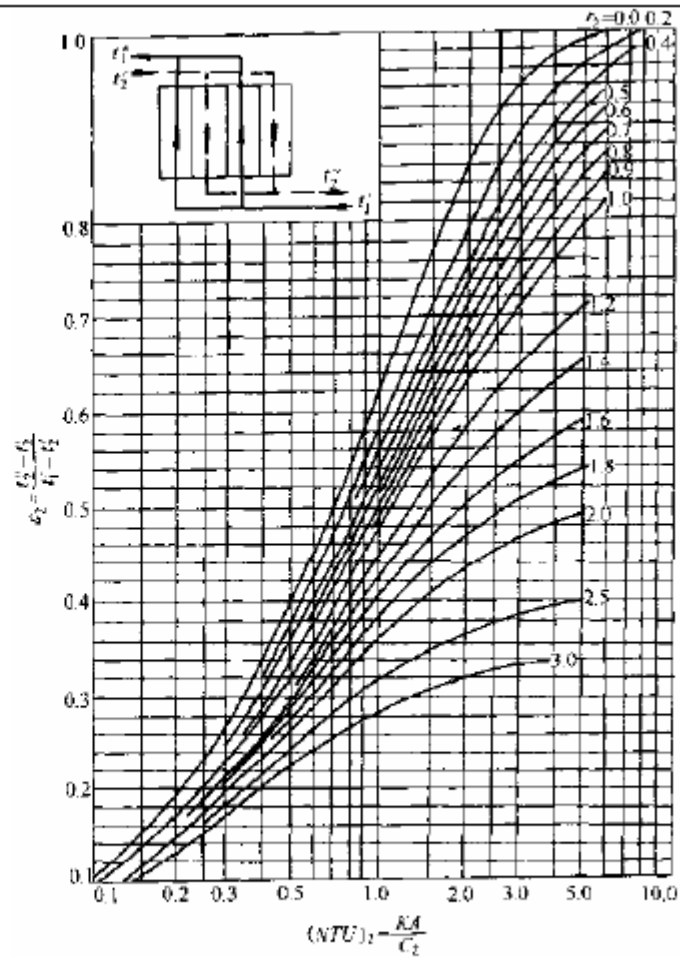


图 17-2 1-1 程、2-2 流道

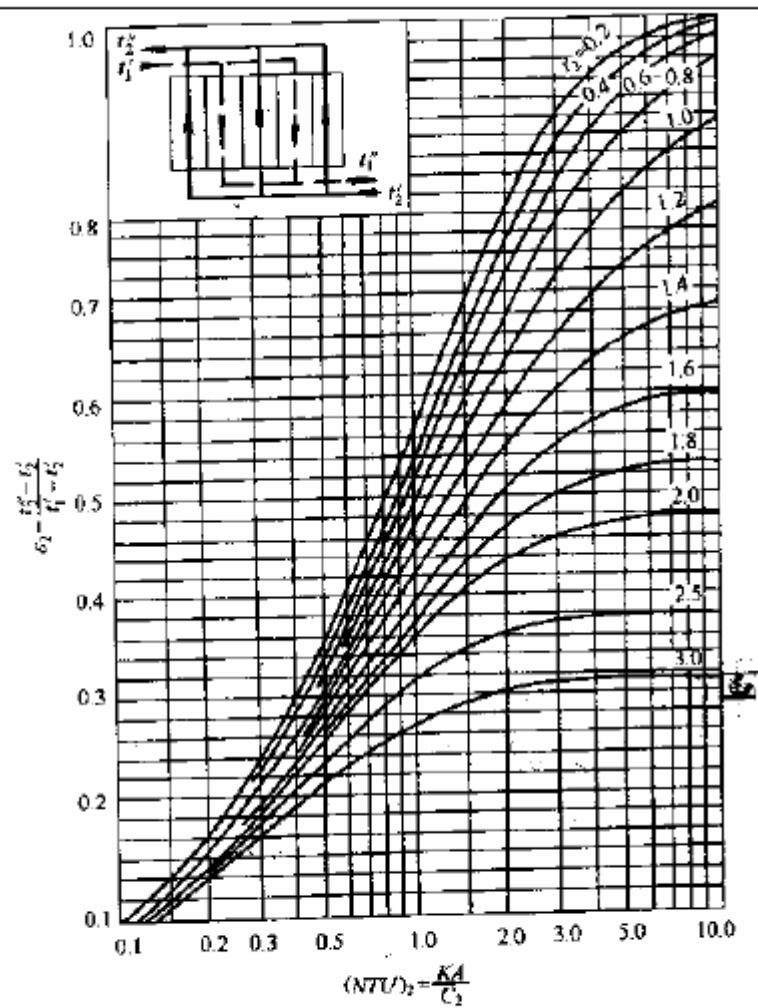


图 17-3 1-1 程、2-3 流道

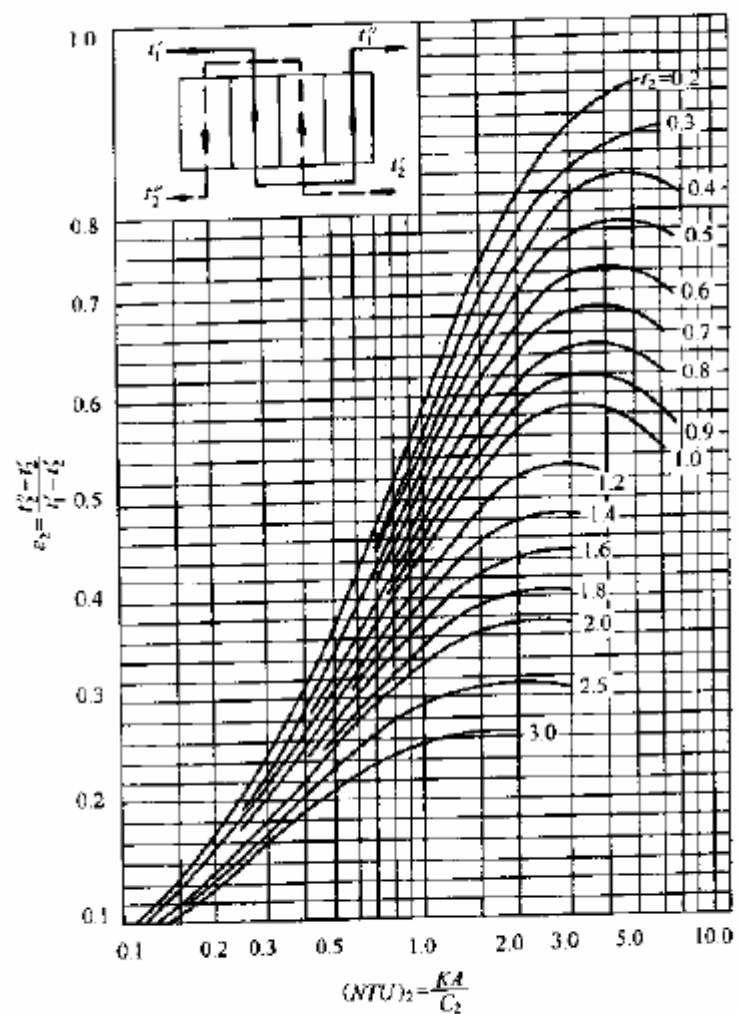


图 17-4 2-2 程、1-1 流道 (并流)

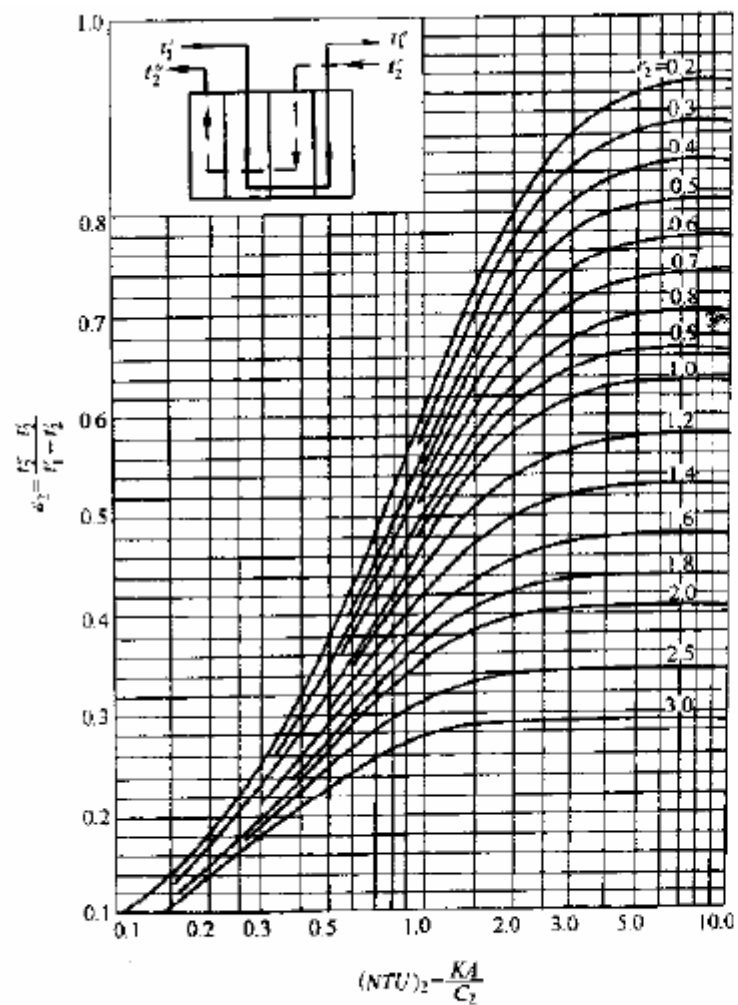


图 17-5 2-2程、1-1流道

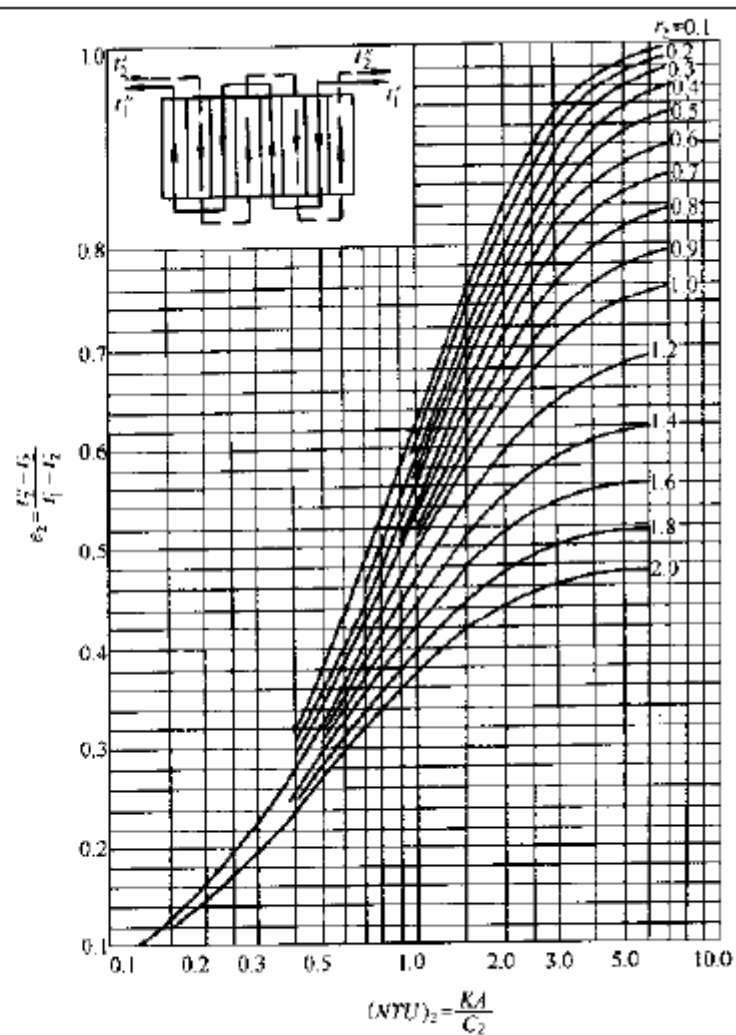
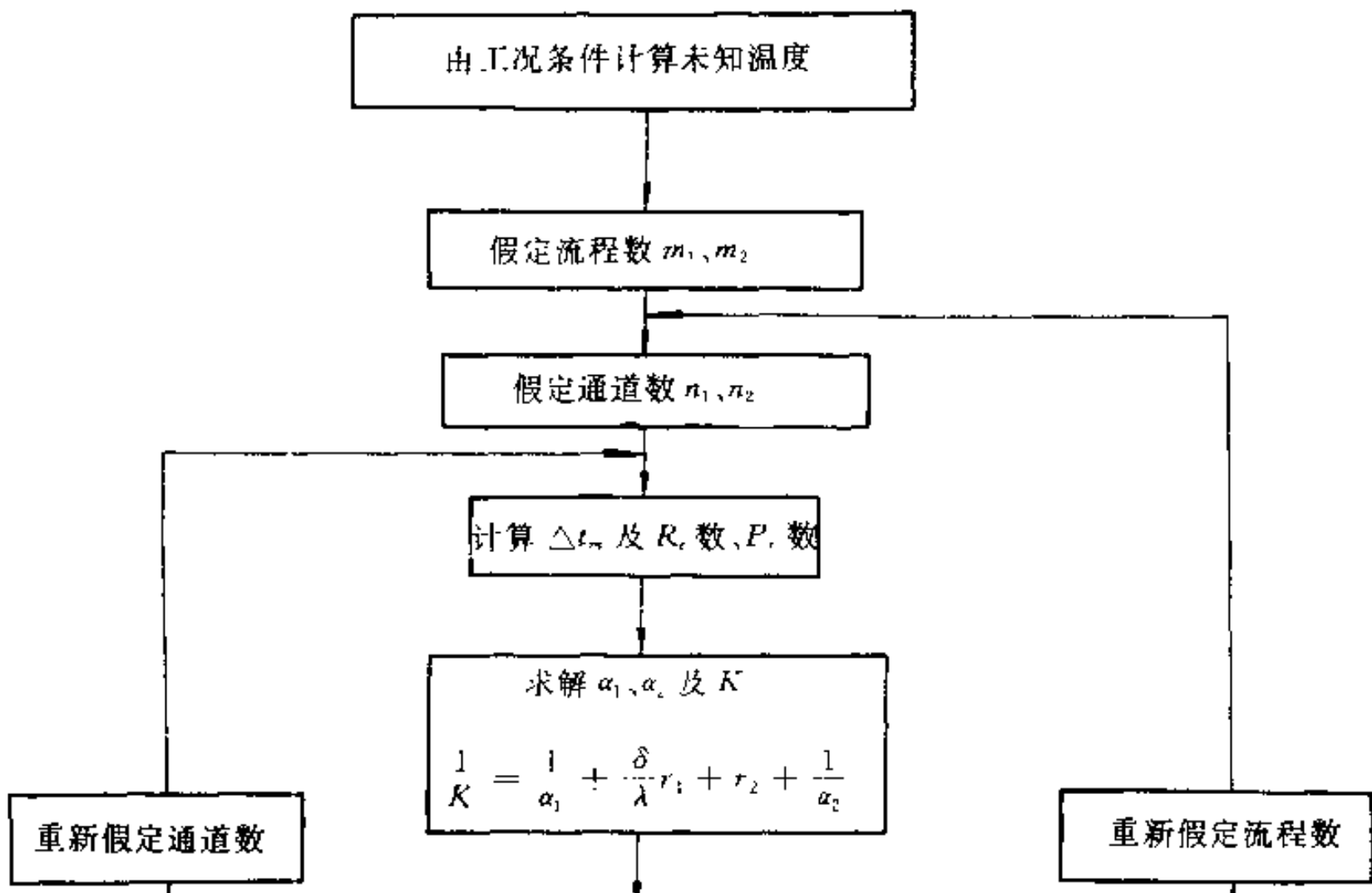


图 17-6 两流体程数大于或等于 4、各程的流道数亦相等

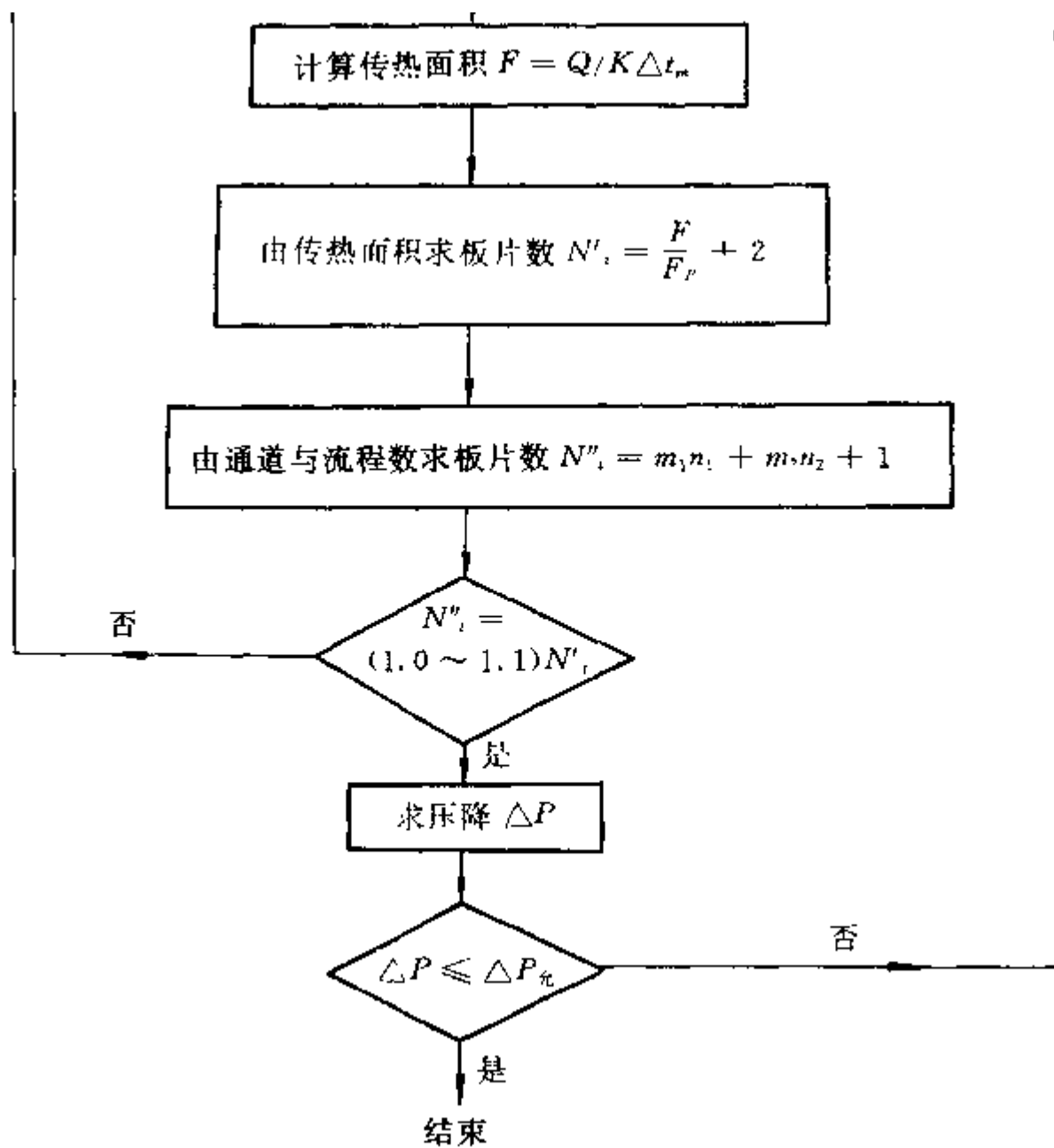
- 设计的一般要求
- 1 板间流速
  - 流速在板间是不均匀的，在主流线上的流速约为平均流速的4~5倍；
  - 在一个流程内每个流道的流速也是不均匀的；
  - 为使流体在板间流动时，处于充分的湍流状态，宜取板间地平均流速0.3~0.8m/s；
  - 压力降允许的情况下取大值；
- 2 流程组合
  - 程数宜少；
  - 冷热介质等程，逆向流动布置-温差修正系数较大；
  - 并联U型流程组合也常被采用；
  - 对于冷凝和蒸发工况，只能采用单程，且被冷凝的流体应从上而下，便于排出冷凝液；对于蒸发工况，则相反，蒸发介质采用单程，由下而上，使蒸汽从上部排出。
- 3 板片选择
  - 适当的单板面积可得到较好的流程组合，使得程数少，流体阻力小；
  - 角孔的尺寸与单板面积有一定的内在联系，为使流体通过角孔流道不致损失过多压力，一般取流体在角孔中的流速为4~6m/s，表5列出了单板面积和处理量的关系，

### 3.2.3 板式热交换器的热力计算程序设计

- 一般情况下，冷、热流体的流量(或热负荷)及冷、热流体进出口温度中的任意三个、两流体的允许压降等是已知的，板式热交换器的设计应包括确定板型、板片尺寸、流程与通道数的组合、传热面积等。
- 在进行设计计算时，首先可选定一种板型和板片尺寸，然后按以下程序框图编排计算程序进行计算。







- 计算时应注意到，设所选用的单片传热面积  $F_p$ 。传热总面积为  $F$ ，则所需传热板片数为

$$N_e = F / F_p$$

- 由于两块端片是不参加热交换的。所需的总板片数就应为

$$N_t = N_e + 2$$

- 从流程数  $m$  与通道数  $n$  的组合来考虑，总板片数儿也可表达为

$$N_t = m_1 n_1 + m_2 n_2 + 1$$

- **例3-2** 今欲将流量为**9000kg / h**的热水从**110℃**冷却到**40℃**，冷水的入口温度为**35℃**，出口温度为**65℃**，压降最大不超过**50kPa**，试进行一台板式热交换器热力设计计算。

解：首先确定板型。设选择兰州石油化工机械厂制造的BP型板片。从厂家产品规格查得：板间距 $b = 4.8\text{mm}$ ，流道宽 $L = 430\text{mm}$ ，板厚为 $1.2\text{mm}$ ，单片传热的投影面积为 $0.52\text{m}^2$ ，传热准则关系为 $Nu = 0.091\text{Re}^{0.73}\text{Pr}^n$ ，压降的准则关系式为： $Eu = 42400\text{Re}^{-0.545}$ ，当流程数 $m' \leq 7$ 时，应乘以校正系数 $\varphi_m$ ，

$$\text{即 } Eu' = Eu\varphi_m = Eu \frac{m'}{m}$$

(1) 传热量 $Q$

$$Q = M_1 c_{p1} (t_1' - t_1'') = 9000 \times 4.19 \times (110 - 40) = 2639700 \text{kJ} / \text{h}$$

(2)所需冷水量 $M_2$

$$M_2 = \frac{Q}{c_{p2}(t_2'' - t_2')} = \frac{2639700}{4.19 \times (65 - 35)} = 21101 \text{kJ} / \text{h}$$

(3)假定流程数 $m_1$ 、 $m_2$ : 热水 $m_1 = 6$ , 冷水 $m_2 = 3$

(4)假定通道数 $n_1$ 、 $n_2$ : 热水 $n_1 = 3$ , 冷水 $n_2 = 6$

(5)计算 $\Delta t_m$

$$\Delta t_{lm,c} = \frac{(110 - 65) - (40 - 35)}{\ln \frac{110 - 65}{40 - 35}} = 18.2^\circ \text{C}$$

$$P = \frac{65 - 35}{110 - 35} = 0.4; R = \frac{110 - 40}{65 - 35} = 2.33$$

按3壳程、6管程的管壳式换热器查得修正系数 $\psi = 0.88$

$$\therefore \Delta t_m = \psi \Delta t_{lm,c} = 0.88 \times 18.2 = 16^\circ \text{C}$$

(6)确定两侧对流换热系数 $\alpha_1$ 、 $\alpha_2$

$$\text{对于热水侧：流速 } w_1 = \frac{9000}{0.43 \times 0.0048 \times 3 \times 3600 \times 974.8} = 0.42 \text{ m/s}$$

$$\text{质量流速 } G_1 = \rho_1 w_1 = 974.8 \times 0.42 = 409 \text{ kg/m}^2 \cdot \text{s}$$

$$\text{当量直径 } d_{e1} = 2b = 2 \times 4.8 = 9.6 \text{ mm}$$

$$\text{取 } t_1 = \frac{t_1' + t_1''}{2} = \frac{110 + 40}{2} = 75^\circ\text{C} \text{ 为定性温度，查得水动力粘度}$$

$$\mu_1 = 380.6 \times 10^{-6} \text{ kg/m}^2 \cdot \text{s}, \text{ 导热系数 } \lambda_1 = 67.1 \times 10^{-2} \text{ W/m} \cdot ^\circ\text{C}$$

$$\text{比热 } c_{p1} = 4.19 \text{ kJ/kg} \cdot ^\circ\text{C}$$

$$\text{Re}_1 = \frac{d_{e1} G_1}{\mu_1} = \frac{9.6 \times 10^{-3} \times 409}{380.6 \times 10^{-6}} = 10317; \text{Pr}_1 = \frac{\mu_1 c_{p1}}{\lambda_1} = 2.38$$

$$\alpha_1 = \frac{\lambda_1}{d_{e1}} \times 0.091 \times \text{Re}_1^{0.73} \text{Pr}_1^{0.3} = 7020 \text{ W/m}^2 \cdot ^\circ\text{C}$$

对于冷水侧：流速  $w_2 = \frac{21101}{0.43 \times 0.0048 \times 6 \times 3600 \times 988.1} = 0.48 \text{ m/s}$

质量流速  $G_2 = \rho_2 w_2 = 988.1 \times 0.48 = 474.3 \text{ kg/m}^2 \cdot \text{s}$

取  $t_2 = \frac{t_2' + t_2''}{2} = \frac{65 + 35}{2} = 50^\circ\text{C}$  为定性温度，查得水动力粘度

$\mu_2 = 549.4 \times 10^{-6} \text{ kg/m}^2 \cdot \text{s}$ ，导热系数  $\lambda_2 = 64.8 \times 10^{-2} \text{ W/m} \cdot ^\circ\text{C}$

比热  $c_{p2} = 4.17 \text{ kJ/kg} \cdot ^\circ\text{C}$

$$\text{Re}_2 = \frac{d_{e2} G_2}{\mu_2} = \frac{9.6 \times 10^{-3} \times 474.3}{549.4 \times 10^{-6}} = 8288; \text{Pr}_2 = \frac{\mu_2 c_{p2}}{\lambda_2} = 3.54$$

$$\alpha_2 = \frac{\lambda_2}{d_{e2}} \times 0.091 \times \text{Re}_2^{0.73} \text{Pr}_2^{0.4} = 7386 \text{ W/m}^2 \cdot ^\circ\text{C}$$

(7)计算传热系数 $K$

由表3.2查得水垢阻 $r_1 = r_2 = 0.00017m^2 \cdot ^\circ C / W$ 。今板片厚 $\delta = 1.2mm$ ，不锈钢板材的导热系数 $\lambda = 14.4W / m^2 \cdot ^\circ C$

$$\begin{aligned} \therefore K &= \frac{1}{\frac{1}{\alpha_1} + \frac{\delta}{\lambda} + r_1 + r_2 + \frac{1}{\alpha_2}} \\ &= \frac{1}{\frac{1}{7020} + \frac{1.2 \times 10^{-3}}{14.4} + 0.00017 + 0.00017 + \frac{1}{7386}} = 2531W / m^2 \cdot ^\circ C \end{aligned}$$

(8)所需传热面积 $F$

$$F = \frac{Q}{K\Delta t_m} = \frac{2639700 \times 10^3}{2531 \times 16} = 18.1m^2$$

(9)由传热面积求板片数 $N'_t$

$$N'_t = \frac{F}{F_p} + 2 = \frac{18.1}{0.52} + 2 = 36.8 \approx 37$$



(10)由通道数与流程数求板片数 $N_t''$

$$N_t'' = m_1 n_1 + m_2 n_2 + 1 = 6 \times 3 + 3 \times 6 + 1 = 37; \quad N_t'' = N_t' \text{ 满足传热要求}$$

(11) 压将 $\Delta P$ 计算

$$\text{热水侧: } Eu_1 = 42400 Re_1^{-0.545} = 42400 \times 10317^{0.545} = 275.4$$

$$\text{今程数小于7, 故 } Eu_1' = Eu_1 \frac{m_1'}{m_1} = 275.4 \times \frac{6}{7} = 236.1$$

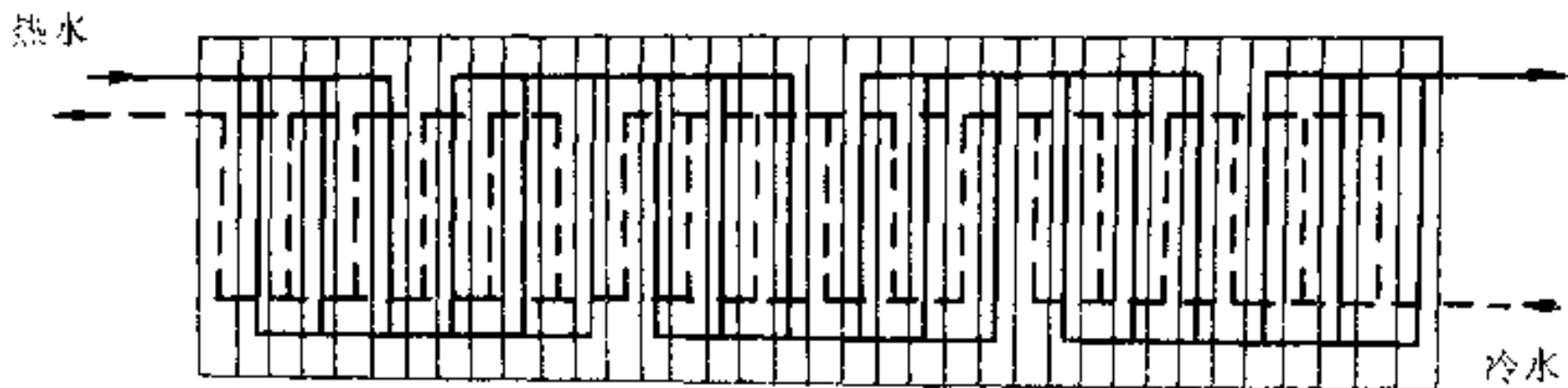
$$\Delta P_1 = Eu_1' \rho_1 w_1^2 = 236.1 \times 974.8 \times 0.42^2 = 40598 N / m^2 < \Delta P_{\text{允}}$$

$$\text{冷水侧: } Eu_2 = 42400 Re_2^{-0.545} = 42400 \times 8288^{0.545} = 310.3$$

$$\text{今程数小于7, 故 } Eu_2' = Eu_2 \frac{m_2'}{m_2} = 310.3 \times \frac{3}{7} = 133$$

$$\Delta P_2 = Eu_2' \rho_2 w_2^2 = 133 \times 988.1 \times 0.48^2 = 30279 N / m^2 < \Delta P_{\text{允}}$$

- 从上可知流道布置及传热面积和压降均符合要求，故此热力计算完成。该热交换器流道布置示意图如下。



例 3 - 2 图

**附 录 B**  
**(提示的附录)**  
**板式换热器产品**  
**热工性能和流体阻力特性的测定**

**B1 范围**

- B1.1** 本附录规定了板式换热器的热工性能和流体阻力特性的测定。
- B1.2** 本附录适用于试验流体为液体——液体的热工性能和流体阻力特性的测定。
- B1.3** 本附录仅考虑板式换热器的板片热阻,未考虑污垢热阻。
- B1.4** 按本附录测定的板片数宜不少于五片。

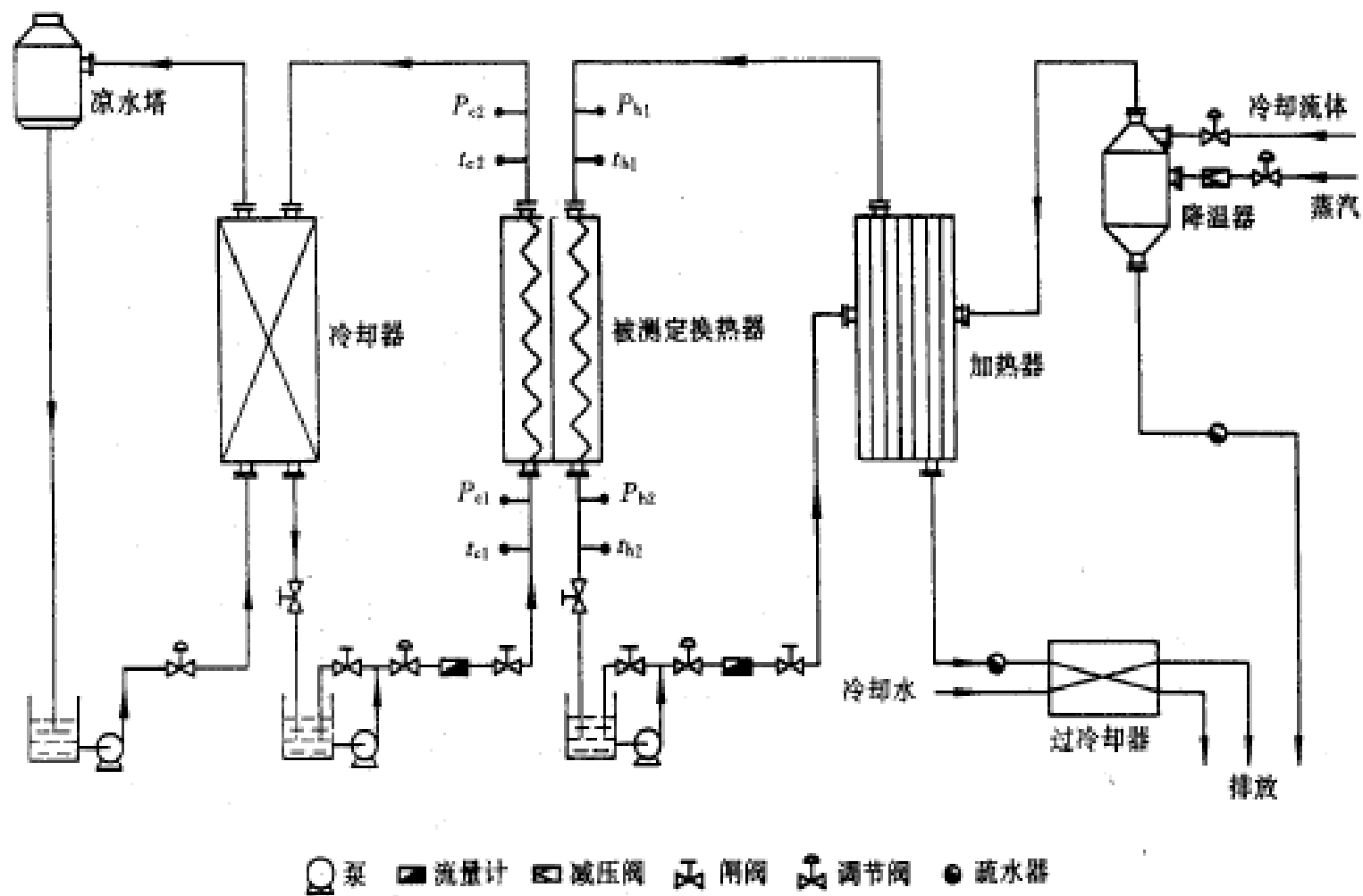


图 B1 板式换热器测定系统图