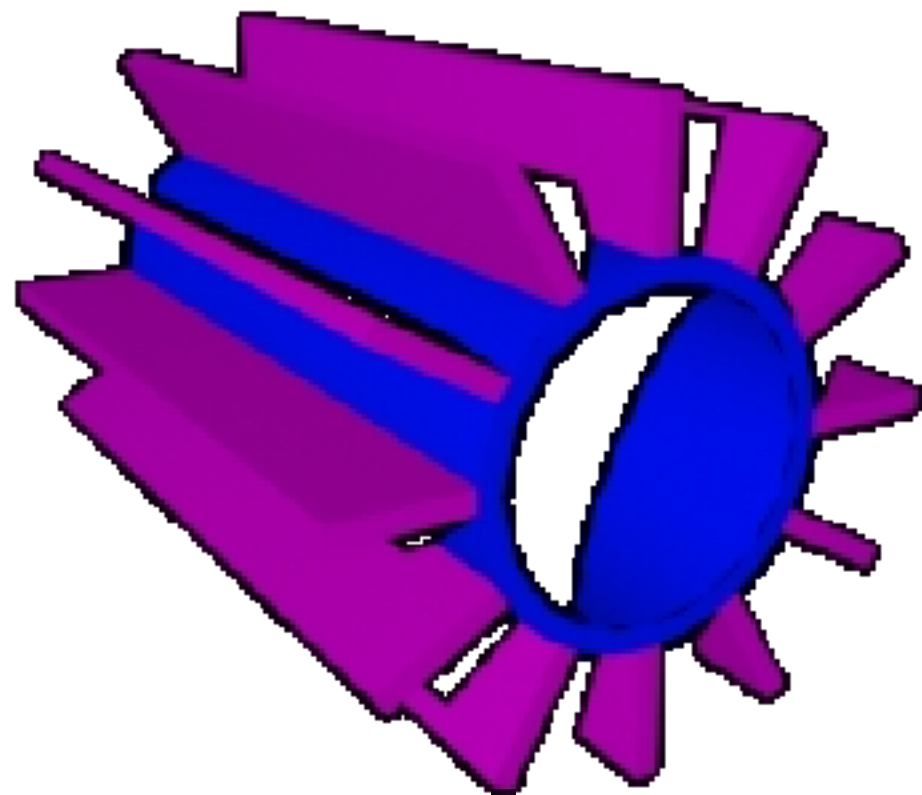


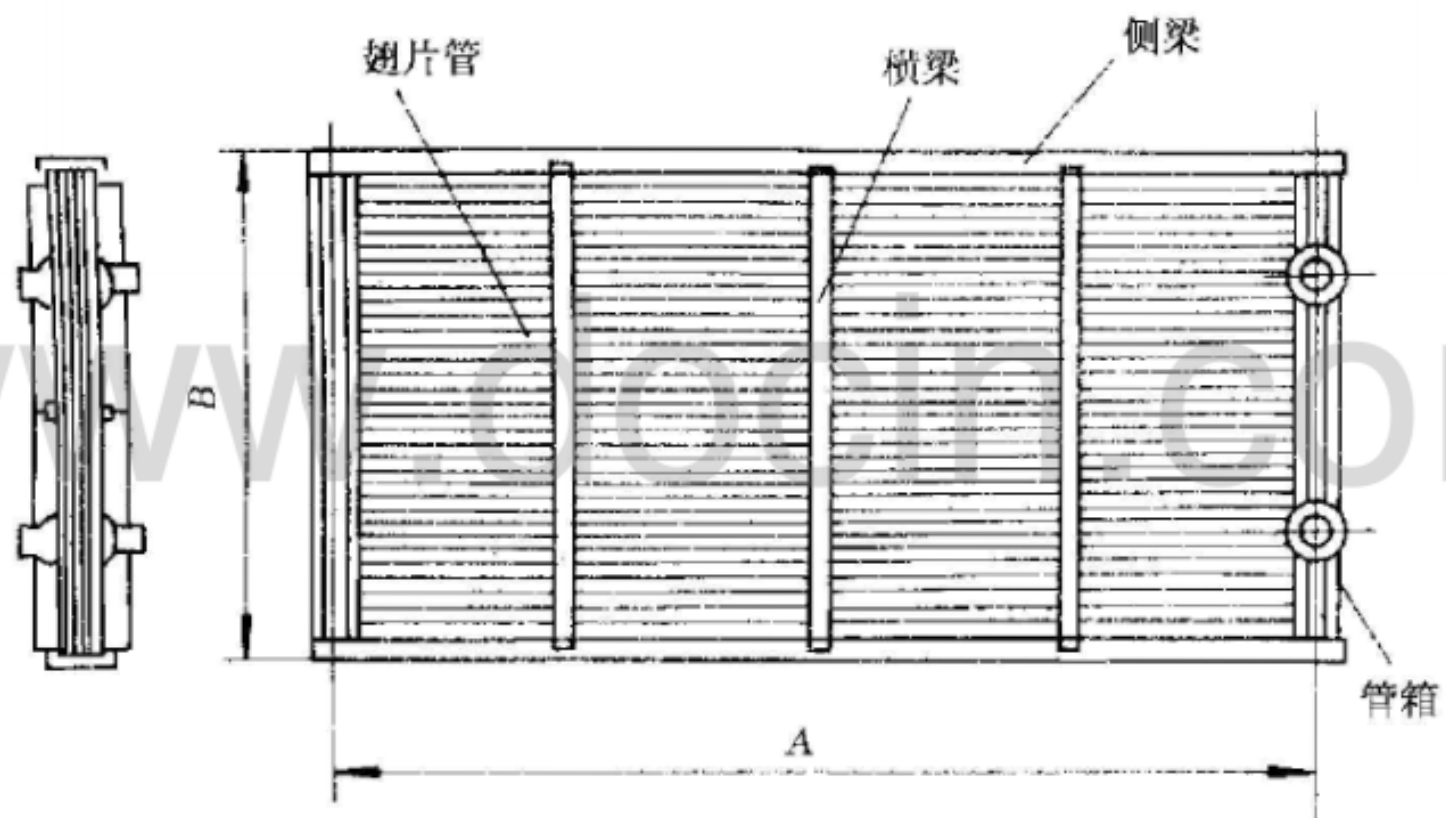
## 3.4翅片管式换热器

- 翅片管是在管的表面加装翅片制成。
- 常用的连接方法有热套、镶嵌、张力缠绕和焊接等方法。此外，翅片管也可采用整体轧制、整体铸造或机械加工等方法制造。
- 当两种流体的对流传热系数相差较大时，在传热系数较小的一侧加翅片可以强化传热。

翅片管由基管和翅片组成，基管有圆管、扁管、椭圆管等，翅片有各种各样型式，可以各自加工在基管单管上，也可同时与数管连接。

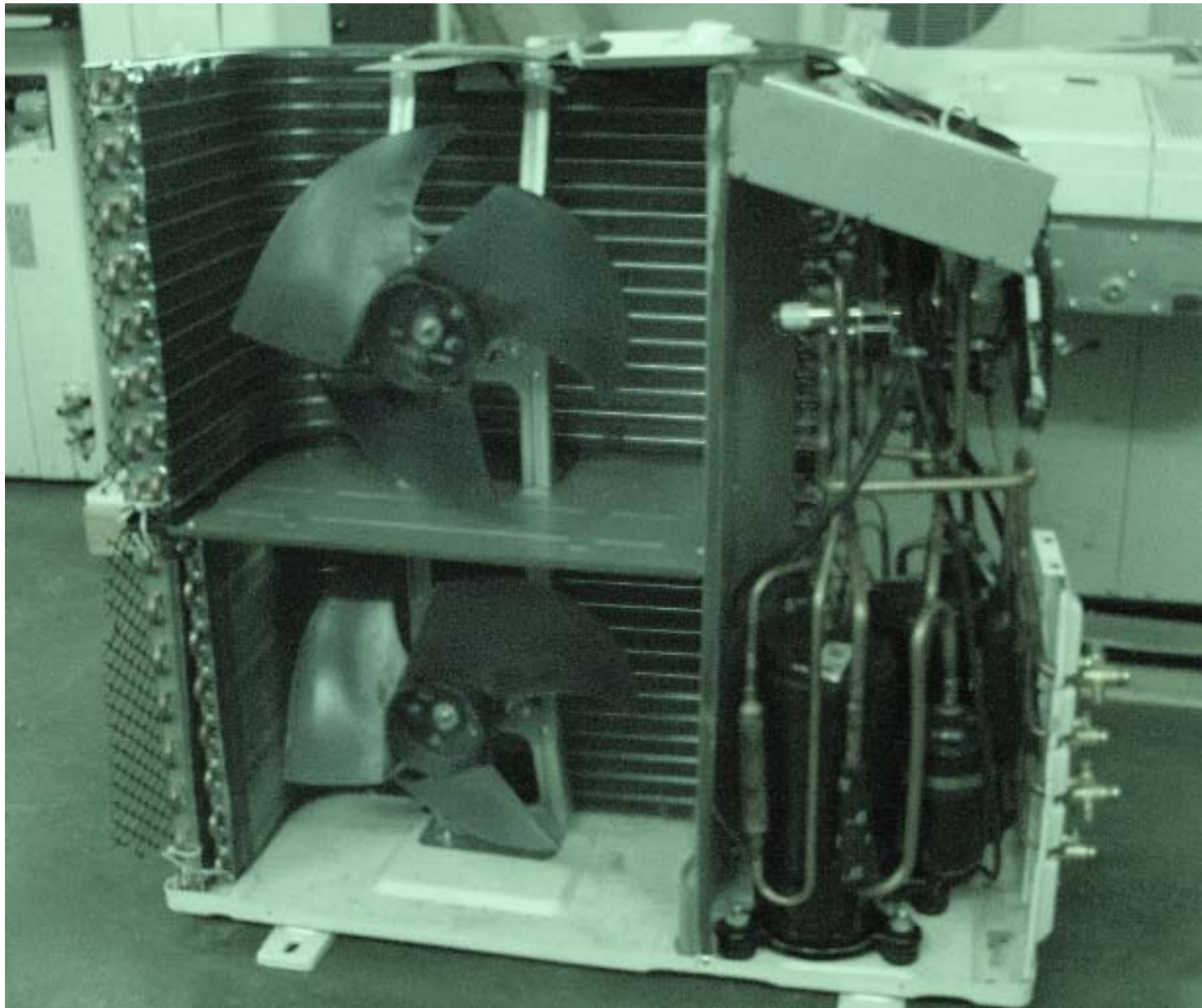
空气冷却器（简称空冷器）是一种常见的翅片管，组成包括翅片管束、风机和构架，应用很广。不仅在缺水地区适用，而且在水源充足的地方，采用空冷也可取得较大的经济效果。

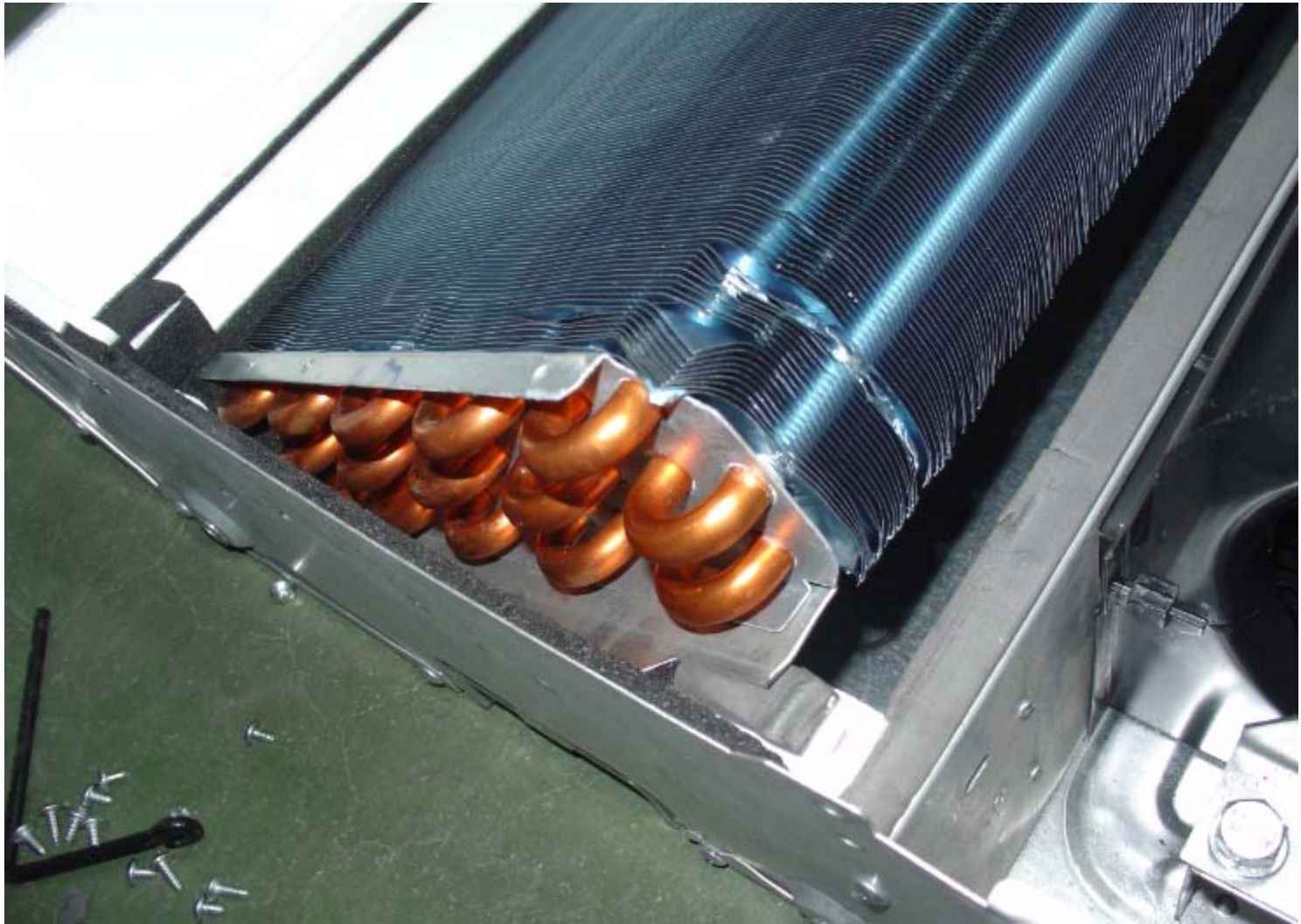




## 3.4.1 构造和工作原理

- 翅片管热交换器可以仅由一根或若干根翅片管组成，如室内取暖用翅片管散热器；也可再配以外壳、风机等组成空冷器型式的热交换器。
- 翅片管是翅片管热交换器中主要换热元件。管内、外流体通过管壁及翅片进行热交换。由于翅片扩大了传热面积，使换热得以改善。





- 管束是空冷器中主要部分，它由翅片管、管箱与框架组成，是一个独立的结构整体。它的基本参数有管束型式(指水平式、斜顶式等)，工作压力和温度，翅片管型式和规格、管箱型式、管束长度和宽度、管排数、管程数等。
- 型号表示法如下例所示；

型式 长度 × 宽度 管排数 换热面积 工作压力 翅片管型式 管程数 法兰型式

$$P \ 9 \times 3 - 4 \ \frac{3020}{129} \ 16 \ R \ I \ a \text{ 型管束}$$

即：P——水平式管束，长、宽各名义尺寸分别为9m和3m，4管排，翅片表面积和光管表面分别为3020m<sup>2</sup>和129m<sup>2</sup>，压力等级为16 × 10<sup>5</sup>Pa，R——绕片式翅片管，I——2管程，a——法兰密封面为平面型。



- **特点：**
- 1、传热能力强

根据强化传热原理，在换热系数小一侧管表面上加翅，使之传热面积增加，同时促进了湍流，提高了传热系数。试验表明：与光管相比，传热面积可增大**2~10**倍，传热系数可提高**1~2**倍。

- 2、结构紧凑

- 由于单位体积传热面加大，传热能力增强，同样热负荷下与光管相比，翅片管换热器管子少，壳体直径或高度可减小。

- 3、能更有效和合理利用材料

- 不仅因为结构紧凑使材料用量减少，而且可以针对传热和工艺要求能灵活选用材料。例如用不同材料制成的镶嵌或焊接翅片管。

- 4、传热面结垢减轻

- 由于翅片管不会象光管那样沿圆周或轴向结成均匀的整体垢层，沿翅片边缘结成的垢片或管外表面翅跟间形成的断续垢片在涨缩作用下，硬垢会自行脱落。

- 5、翅片管用于空冷器带来一系列优点。
- 节省工业用水量，避免工业用水排放所带来的环境污染；
- 空气的结垢、腐蚀性低；
- 空冷系统的维护费用只有水冷系统的  
**20~30%**

- 缺点：造价高和流阻大
- 空冷器的翅片管由于工艺复杂，其造价比较高；
- 以空冷代替水冷时，由于空气密度远小于水，相对于水冷却器，空冷器的体积很大；
- 因为表面有翅，流动阻力大，动力消耗大。

- 低翅管(低肋螺旋管或螺旋管)热交换器是翅片管热交换器的另一种型式，是通过在光管上滚压轧出连续的螺旋翅片而成，约为**2mm**左右，翅化比相当小，约**3~5**。不适用于空气而适用于低沸点介质的冷凝或蒸发。多用于空调和冷冻设备中的冷凝器和蒸发器。
- 其基本结构与管壳式热交换器相同，即具有管束、折流板、管板、壳体及管箱等部件。

## 3.4.2 翅片管的类型和选择

翅片管是翅片管热交换器中的重要部件。对翅片管的基本要求是：有良好的传热性能、耐温性能、耐热冲击能力(如空冷器在起动、停机或介质热负荷不稳定时)及耐腐蚀能力，易于清理尘垢，压降较低等。

- 翅片按其在管子上排列方式，可分纵向和横向(径向)翅片两大类。其它类型都是这两类的变形、例如大螺旋角翅片管接近纵向，而螺纹管则接近横向，可根据流体的流动方向及换热特点来选择。

- 通常宜将翅片设在  $\alpha$  小侧；
- 当两侧  $\alpha$  接近时，则宜于在管内、外两侧均加翅片，或外加翅片，内加麻花铁、螺旋体等扰动元件。
- 翅片管上横向翅片的形状一般都为圆形或矩形。
- 为了使气流流经翅片时产生扰流、破坏其边界层，以提高管外换热系数而有紊流式翅片、但清除尘埃困难。图**3.48**（**162**页）表示了开槽、轮辐、波纹三种型式的紊流式翅片。



- 按制造方法分：
- 有整体翅片、焊接翅片和机械连接翅片。
- 整体翅片由铸造、机械加工或轧制而成，翅片与管子一体，无接触热阻，强度高，但要求翅片与管子同种材料。如低压锅炉的省煤器就是采用整体铸造的翅片管。
- 焊接翅片用钎焊或氩弧焊等工艺制造，可使用与管子不一样的材料。由于它的制造简易、经济且具有良好的传热和机械性能。故已在工业上广为应用。它的主要问题是焊接工艺质量。
- 机械连接翅片管有绕片式、镶片式、套片式及双金属轧片式等。图**3.49 163**页，图**3.50 164**页

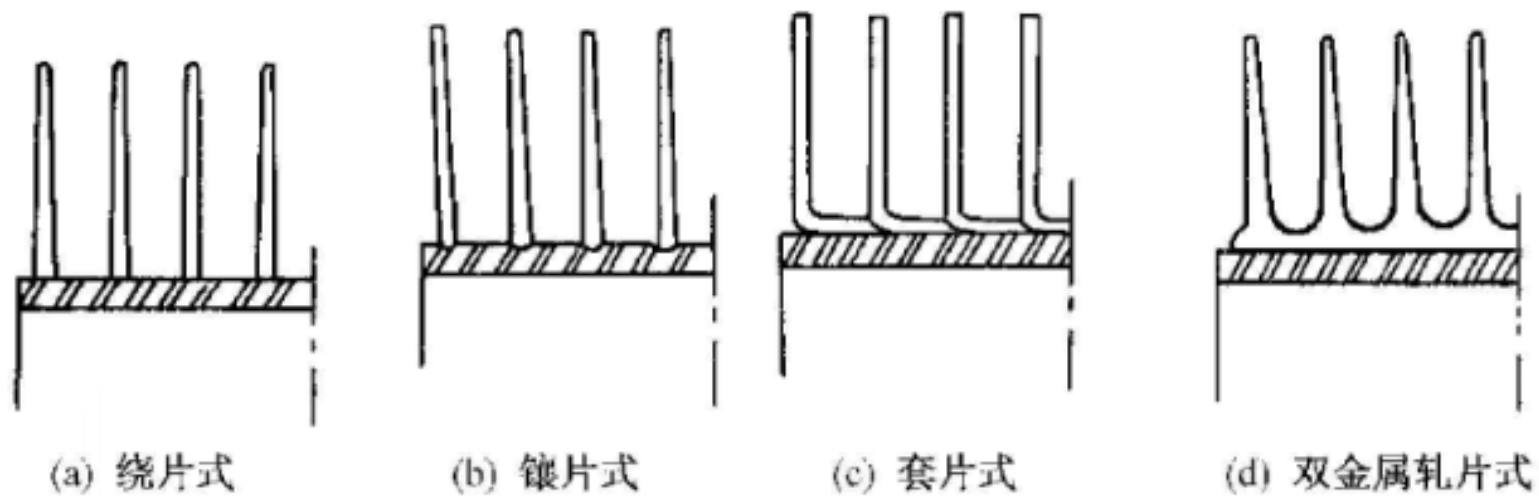


图 3.49 几种机械连接的翅片管

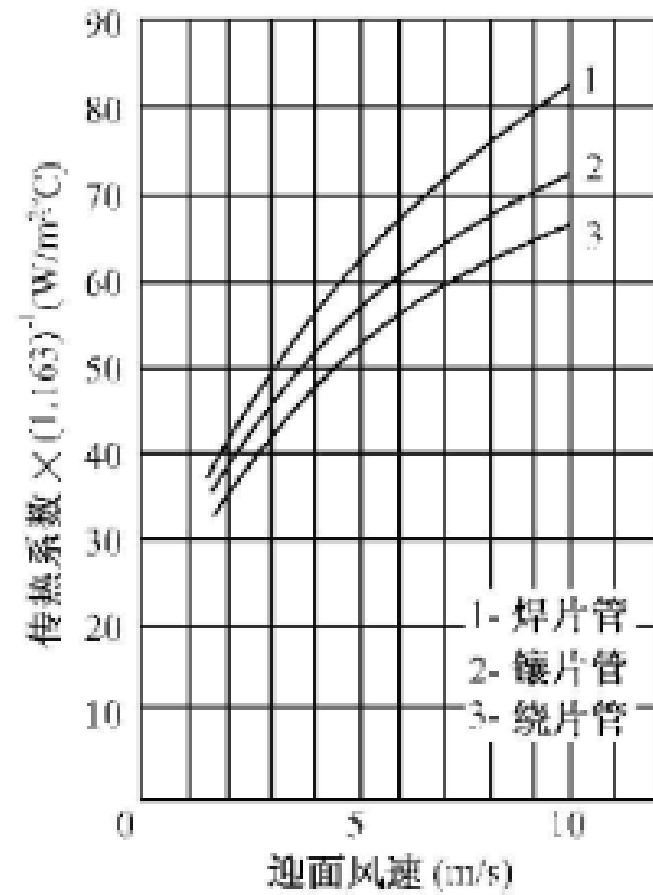


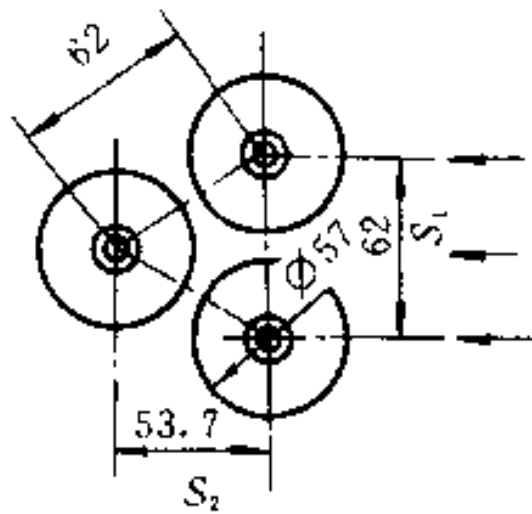
图 3.50 翅片管的传热性能比较

- 翅片管管子常为圆形，空冷器中为强化传热也用椭圆管。椭圆管的管外对流换热系数比光管约可提高**25%**，而空气阻力约可降低**15%—25%**
- 翅片管的基本几何尺寸包括：
  - ①基管外径和管壁厚： 对于镶片管、其壁厚应自沟槽底部计算其内壁。
  - ②翅片高度和翅片厚度 增加翅高使翅片表面积增加，但却使翅片效率下降，因而使有效表面积(即翅片表面积乘以翅片效率)的增加渐趋缓慢。翅片厚度主要考虑其强度、制造工艺和腐蚀裕量，国产铝翅片(绕片式、镶片式)和钢翅片(套片式)一般均选用**0.5~1.2mm**。

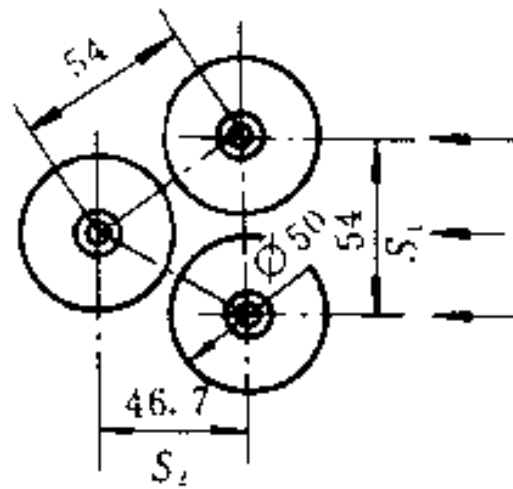
- ③翅片距 翅片距的数值会影响到翅化面积的大小，但对管外对流换热系数的影响极小。翅片距的选择取决于管外介质，国产用于空冷器的翅片管的翅片距常力**2.3mm**。
- ④翅化比 它是指单位长度翅片管翅化表面积与光管外表面之比。

对于空冷器因为管外介质已经确定为空气，所以翅化比的选择应根据管内介质对流换热系数大小而定。

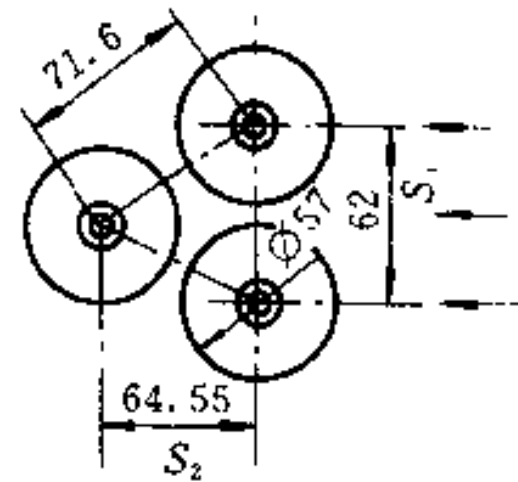
- ⑤管长 国内空冷器翅片管长系列为：**3,4,5,6,9m**四种。表**3.1**列出了国产翅片管的特性参数供参考。
- 为取得最佳传热性能，空冷器中所有管束翅片管均采用三角形排列方式。



(a) 高翅片  
(等边三角形排列)



(b) 低翅片  
(等边三角形排列)



(c) 高翅片  
(等腰三角形排列)

- 翅片材料：碳钢、不锈钢、铝及铝合金、铜及铜合金
- 基管材料：碳钢、铬钼钢、铝及铝合金、铜及铜合金

### 3.4.3 翅片管热交换器的传热计算与阻力计算

- 1) 传热量的计算

由以下传热基本方程式求得：

$$Q = K_o F_o \Delta t_m = K_f F_f \Delta t_m$$

- $F_f$ 、 $F_o$ —分别为翅片管外表面积、翅片管光管外表面积。
- $K_f$ 、 $K_o$ —分别相应于以翅片管外表面积及翅片管光管外表面积为基准的传热系数。
- $\Delta t_m$ —平均温差，



## • 2) 传热系数的计算

### 1) 单层翅片管

以光管外表面积为基准时:

$$\frac{1}{K_o} = \frac{1}{\alpha_i} \frac{F_o}{F_i} + r_{s,i} \frac{F_o}{F_i} + \frac{d_o}{2\lambda} \ln \frac{d_o}{d_i} + \frac{r_{s,f}}{\eta} \frac{F_o}{F_i} + \frac{1}{\alpha_f \eta} \frac{F_o}{F_i}$$

以翅片管外表面积(包括翅片面积及无翅部分面积)为基准时:

$$\frac{1}{K_f} = \frac{\beta}{\alpha_i} + r_{s,i} \beta + \frac{F_f}{2\pi\lambda L_f} \ln \frac{d_o}{d_i} + \frac{r_{s,f}}{\eta} + \frac{1}{\alpha_f \eta}$$

$K_o$ 、 $K_f$  -- 以光管外表面积及翅片管外表面积为基准的传热系数

$F_o$ 、 $F_i$ 、 $F_f$  -- 光管外表面积、光管内表面积和翅片管外表面积

$\lambda$  -- 管子导热系数;  $\beta$  -- 翅化比  $\beta = F_f / F_o$

$\eta$  -- 翅片壁面总效率  $\eta = \frac{F'_b + F'_f \eta_f}{F_f}$ ;  $d_o$  -- 光管外径

$F'_b$  -- 以翅片根部直径为基准的无翅片部分表面积

$F'_f$  -- 翅片管上翅片的表面积;  $L_f$  -- 翅片管长

$r_{s,f}$ 、 $r_{s,i}$  -- 分别以翅片管外表面积及光管内表面积为基准的外侧及内侧垢阻。

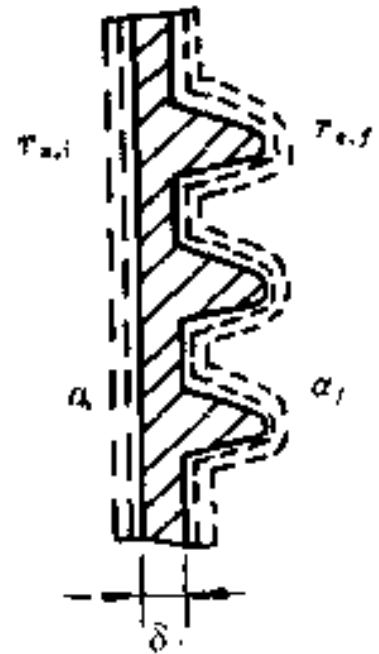


图 3.50 单层翅片管壁面

## 2) 复合层翅片管 (翅片与基管材料不同)

以光管外表面积为基准时:

$$\frac{1}{K_o} = \frac{1}{\alpha_i} \frac{F_o}{F_i} + r_{s,i} \frac{F_o}{F_i} + \frac{d_b}{2\lambda} \ln \frac{d_b}{d_i} + r_{c,b} \frac{F_o}{F_b} + \frac{F_o}{2\pi\lambda_f L_f} \ln \frac{d_o}{d_b} + \frac{r_{s,f}}{\eta} \frac{F_o}{F_f} + \frac{1}{\alpha_f \eta} \frac{F_o}{F_f}$$

以翅片管外表面积为基准时:

$$\frac{1}{K_f} = \frac{\beta}{\alpha_i} + r_{s,i} \beta + \frac{F_f}{2\pi\lambda L_f} \ln \frac{d_b}{d_i} + r_{c,b} \frac{F_f}{F_b} + \frac{F_o}{2\pi\lambda_f L_f} \ln \frac{d_o}{d_b} + \frac{r_{s,f}}{\eta} + \frac{1}{\alpha_f \eta}$$

$\delta_f$ 、 $\delta$  —— 外套的翅片管壁厚及基管厚

$\lambda_f$ 、 $\lambda$  —— 外套翅片管及基管导热系数;

$r_{c,b}$  —— 以基管外表面积为基准的接触热阻

$F_b$  —— 基管外表面积。

$d_b$  —— 外套翅片管翅根处直径

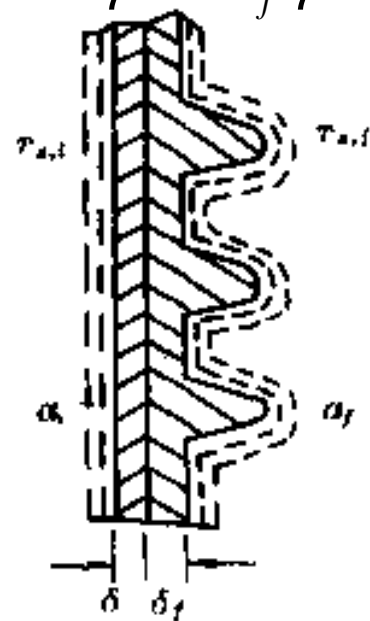


图 3.51 复合翅片管

- 工程上一般都以光管外表面积为基准计算传热系数。
- 翅片管中存在的接触热阻(或间隙热阻)的测定或计算都很困难, 国内绕片式翅片管的接触(间隙)热阻, 今归纳于表**3.6**中。
- 以上各式只适用于通常所遇到的外翅情况。在有内翅或内外翅时, 可查阅专门文献。

- **(3) 湿工况**
- 上式适用于空气流过翅片管被加热或冷却时，均不产生空气含湿量发生变化的情况。这种工况称为干工况。
- 伴有结露的空气被冷却的过程，即减湿冷却的运行工况为湿工况。

- 如空调中的表面冷却器，由于管内流体进口温度常为低于 $10^{\circ}\text{C}$ 的冷冻水，当空气通过翅片管束时，表冷器的管外表面温度低于空气露点，使空气在被冷却过程中结露析出水份，并在翅片管表面形成水膜。此时换热不但有显热交换，同时空气中水蒸气凝结而发生潜热交换。伴有结露的空气被冷却的过程。此为湿工况。

- 对于湿工况在计算其传热系数时，通常在干工况的计算式中的翅片管外流体的对流换热热阻项上乘以修正项 $1/\xi$ ，以考虑因伴有湿空气中水蒸气凝结而使传热加强这一因素。 $\xi$ 为析湿系数，定义式为：

$$\xi = \frac{i_1' - i_2''}{c_p(t_1' - t_2'')}$$

$i_1'$ 、 $i_2''$ ——空气进出口焓

$t_1'$ 、 $t_2''$ ——空气进出口温度

### 3) 换热系数和压力损失的计算

翅片管管束外流体的 $\alpha$ 和压力损失计算随翅片形式、管束排列方式不同而有不同表达式。

#### (1) 空气横向流过圆管外环形翅片管束

低翅片管束： $d_f/d_b = 1.2 \sim 1.6, d_b = 13.5 \sim 16\text{mm}$

$$\frac{d_b \alpha_f}{\lambda} = 0.1507 \left( \frac{d_b G \max}{\mu} \right)^{0.667} \left( \frac{c_p \mu}{\lambda} \right)^{1/3} \left( \frac{Y}{H} \right)^{0.164} \left( \frac{Y}{\delta_f} \right)^{0.075}$$

高翅片管束： $d_f/d_b = 1.7 \sim 2.4, d_b = 12 \sim 41\text{mm}$

$$\frac{d_b \alpha_f}{\lambda} = 0.378 \left( \frac{d_b G \max}{\mu} \right)^{0.667} \left( \frac{c_p \mu}{\lambda} \right)^{1/3} \left( \frac{Y}{H} \right)^{0.296}$$

$d_f$ 、 $d_b$  —— 翅片外径和翅根直径

$Y$ 、 $H$ 、 $\delta_f$  —— 翅片间距、高度和厚度

$c_p$ 、 $\mu$ 、 $\lambda$  —— 按流体平均温度取值； $G \max$  —— 最小流通截面处质量流速。

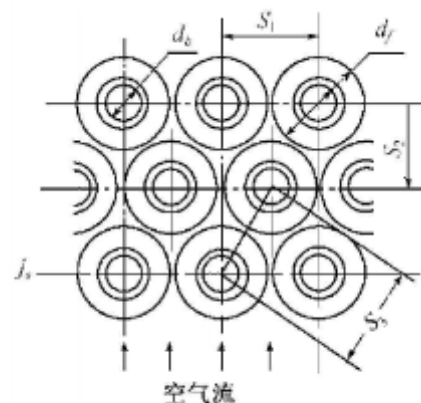


图 3.55 空气横向绕流翅片管束

将我国常用高低翅片管参数代入上两式，并换算到以光管外表面积为基准，可得以下两简式：

$$\text{低翅片管： } \alpha_o = 412 v_{NF}^{0.718} \Phi$$

$$\text{高翅片管： } \alpha_o = 454 v_{NF}^{0.718} \Phi$$

$\alpha_o$  ——以基管外表面积为基准的空气侧换热系数

$v_{NF}$  ——标准状态下迎风面风速

$\Phi$  ——修正系数，鼓风式风机 = 1.0，引风式风机见表3.7

$$\text{空气压降： } \Delta P = 0.66 n v_{NF}^{1.725} / \rho^{2.725}$$

$n$  ——管排数；

$\rho$  ——空气在定性温度（管束进出口平均温度）时的密度。



(2) 空气横向流过圆管外距形翅片管束

翅侧换热系数:

$$\frac{d_e \alpha_f}{\lambda} = 0.251 \left( \frac{d_e G \max}{\mu} \right)^{0.67} \left( \frac{s_1 - d_b}{d_b} \right)^{-0.2} \left( \frac{s_1 - d_b}{s} + 1 \right)^{-0.2} \left( \frac{s_1 - d_b}{s_2 - d_b} \right)^{0.4}$$

$$d_e = \frac{F'_b d_b + F'_f \sqrt{F'_f / 2n_f}}{F'_b + F'_f}$$

$d_b$  -- 翅根直径;  $n_f$  -- 单位长度上翅片数

$F'_b$  -- 每根管单位长度上以翅跟直径为基准的无翅片部分表面积

$F'_f$  -- 单位长度上翅片的表面积; 对于两根管共有一个翅片的情况每根管取一半。

$G \max$  -- 最小流通截面处质量流速。

压降计算: 
$$\Delta P = \frac{f G_{\max}^2 n}{2\rho}$$

$f$  -- 摩擦系数 
$$f = 1.463 \left( \frac{d_e G \max}{\mu} \right)^{-0.245} \left( \frac{s_1 - d_b}{d_b} \right)^{-0.9} \left( \frac{s_1 - d_b}{s} + 1 \right)^{0.7} \left( \frac{d_e}{d_b} \right)^{0.9}$$

55)

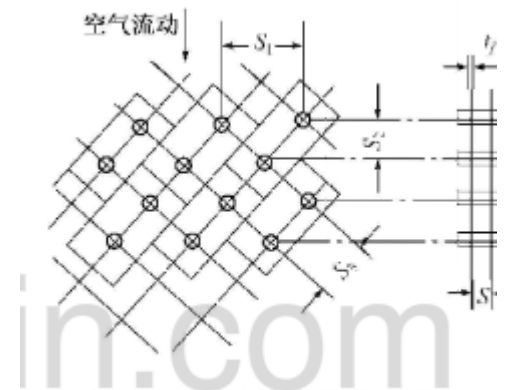


图 3.56 空气横掠圆管-矩形翅片的错排管束

## 3.4.4空冷器设计

### 1)干式空冷器的几个设计参数

#### (1)管内流体温度

①热流体入口温度 一般要求为**120—130℃**左右或以下。

因为入口温度过高，传热固然好，但被空气带走热能过多。如温度低于**60—80℃**，以采用水冷器或湿式空冷器为宜。

②热流体出口温度 这是决定采用干式空冷器是否经济的一个重要指标。现大多采用所谓“接近温差”，即热流体出口温度和设计空气温度(即空冷器入口空气温度)之差，作为选取和确定热流体出口温度的依据。

- **(2)设计气温**

这是指空冷器设计时所采用的入口空气温度，它是空冷器设计的一个重要参数。

如果设计气温高于实际气温，则空冷器的设计过于保守，甚至会将工艺流体冷却到比所希望的温度还要低；如低于实际气温，传热面积就显得偏小，空冷器将不能冷却到所要求的负荷。

设计气温的选取方法有多种，根据我国情况，建议所选用的设计气温值为每一年中只允许有**5**天的时间的实际气温会超过它。即其它天数内出现的实际气温不会比它高。

### (3)管排数

目前通用的管排数是**2、4、6、8**排，以**4、6**排居多，管排数对经济效果影响很大。

管排数少，传热效果好，但单位传热面积造价高，占地面积大。同时由于空气温升小，需要的风量就大。

如管排数太多，对数平均温差降低，面积增大，气流阻力也增加。这些因素对投资与成本都有影响。所以要合理选择。

经过经济比较，认为一般空气温升应在**15—20** °C以上，如设计中发现空气温升较小，则要增加管排数。为了合理选用管排数可参考图**3.59**

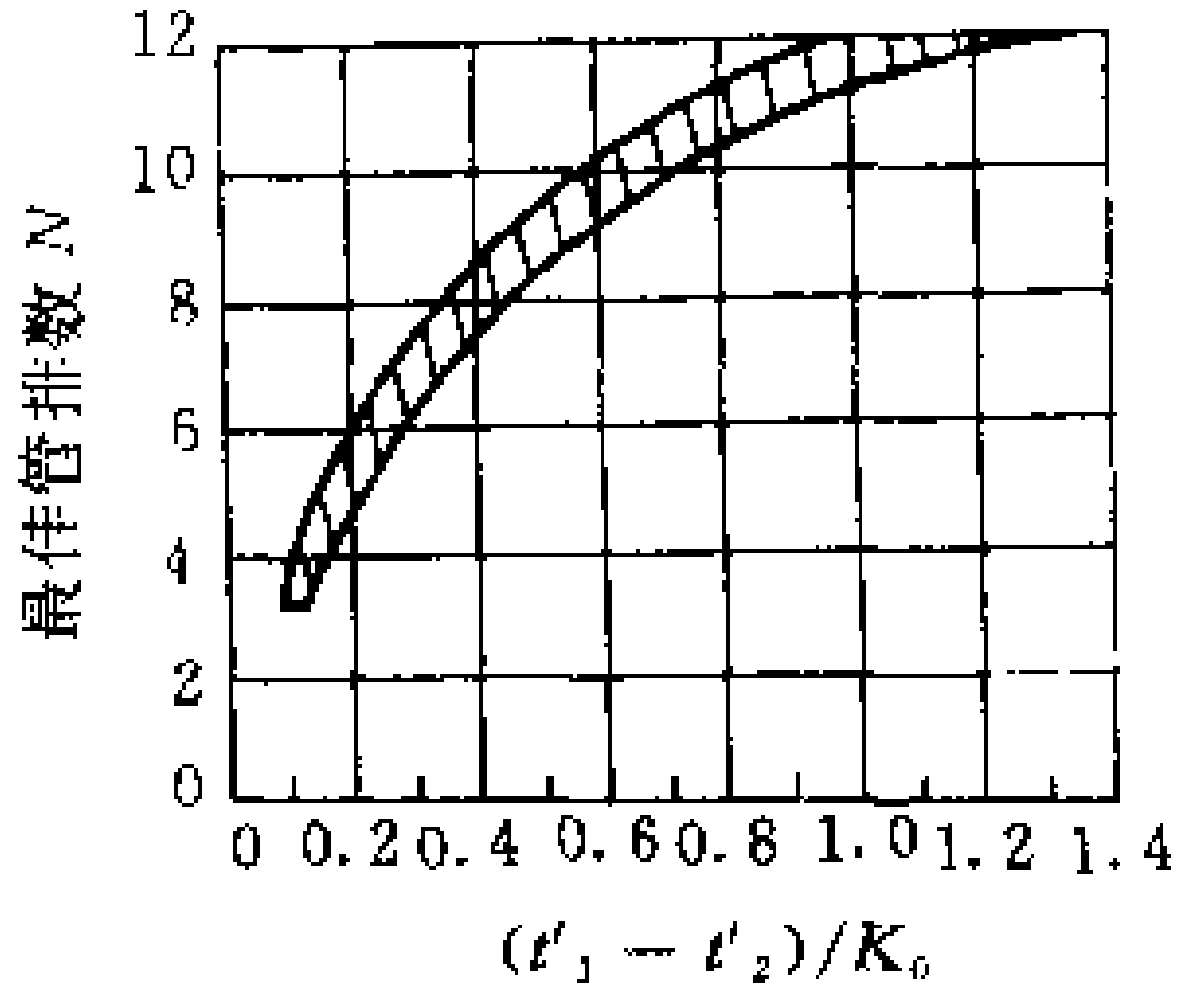


图 3.57 最佳管排数算图

**(4)迎面风速** 指空气通过迎风面的速度。

迎风面积 $A_F$ 为管束外框内壁以内的面积，即

$$A_F = (\text{管束宽} \times \text{长} - 2 \times \text{侧梁宽} \times \text{长})$$

当空气为标准状况时(**20 °C**，**1气压**)，迎面风速为标准迎面风速 $v_{NF}$ 。迎面风速太低，影响传热效果；，迎面风速太高，增加功率消耗及使噪音提高。

一般， **$3.4\text{m} / \text{s} \geq v_{NF} \geq 1.4\text{m} / \text{s}$** 。

排数少取其上限。排数多取其下限。

当采用鼓风式空冷器时，可按表**3.10**选用。

当采用引风式时，因被风机抽出的空气温度较高，为了节省动力可采用较低迎面风速。

表 3.10 推荐的标准迎面风速值

项 目	单位	翅片种类	管 排 数				
			2	4	6	8	10
标准迎面风速 $v_{NF}$	m/s		3.15	2.8	2.5	2.3	2.15
面积比 ( $F'_0/A_F$ )	$m^2/m^2$	高翅片	2.53	5.06	7.60	10.10	12.63
		低翅片	2.90	5.80	8.74	11.60	14.50

## (5)高翅片管的选用

当管内对流换热系数大于 **$2093\text{W}/(\text{m}^2\cdot^{\circ}\text{C})$** 时，采用高翅片管；

对流换热系数在 **$1163—2093\text{W}/(\text{m}^2\cdot^{\circ}\text{C})$** 时，高低翅片管均可；

在 **$116—1163\text{W}/(\text{m}^2\cdot^{\circ}\text{C})$** 之间时，用低翅片管；

低于 **$116\text{W} / (\text{m}^2\cdot^{\circ}\text{C})$** 时，用光管比翅片管经济，或采用在管子内表面装有翅片的管；

对高凝固点流体或在寒冷地区、为避免流体凝固与冻结。可采用低翅化比的翅片管或光管空冷器。



## 2)设计程序

设计计算程序如下：总体考虑→估算→选型设计→精确计算。

### (1)总体考虑

- ①按给定条件、对用空冷还是水冷进行比较，有充分理由才能选定空冷；
- ②选择空冷器结构型式。如鼓风式还是吸风式；水平式或斜顶式、直立式等
- ③选定流程，如空冷器与水后冷器或湿式空冷器的组合等。

## (2)估算

- ①根据工艺条件，进行传热量**Q**的计算；
- ②选定设计气温；
- ③根据管内流体情况，由附录**A**经验值选取传热系数；
- ④根据下列最佳温升计算式进行试算然后通过图**3.60**对空气温升进行修正
- ⑤计算平均温差  $\Delta t_m$ ；
- ⑥估算传热面积**F<sub>0</sub>**。选取定型的空冷器。

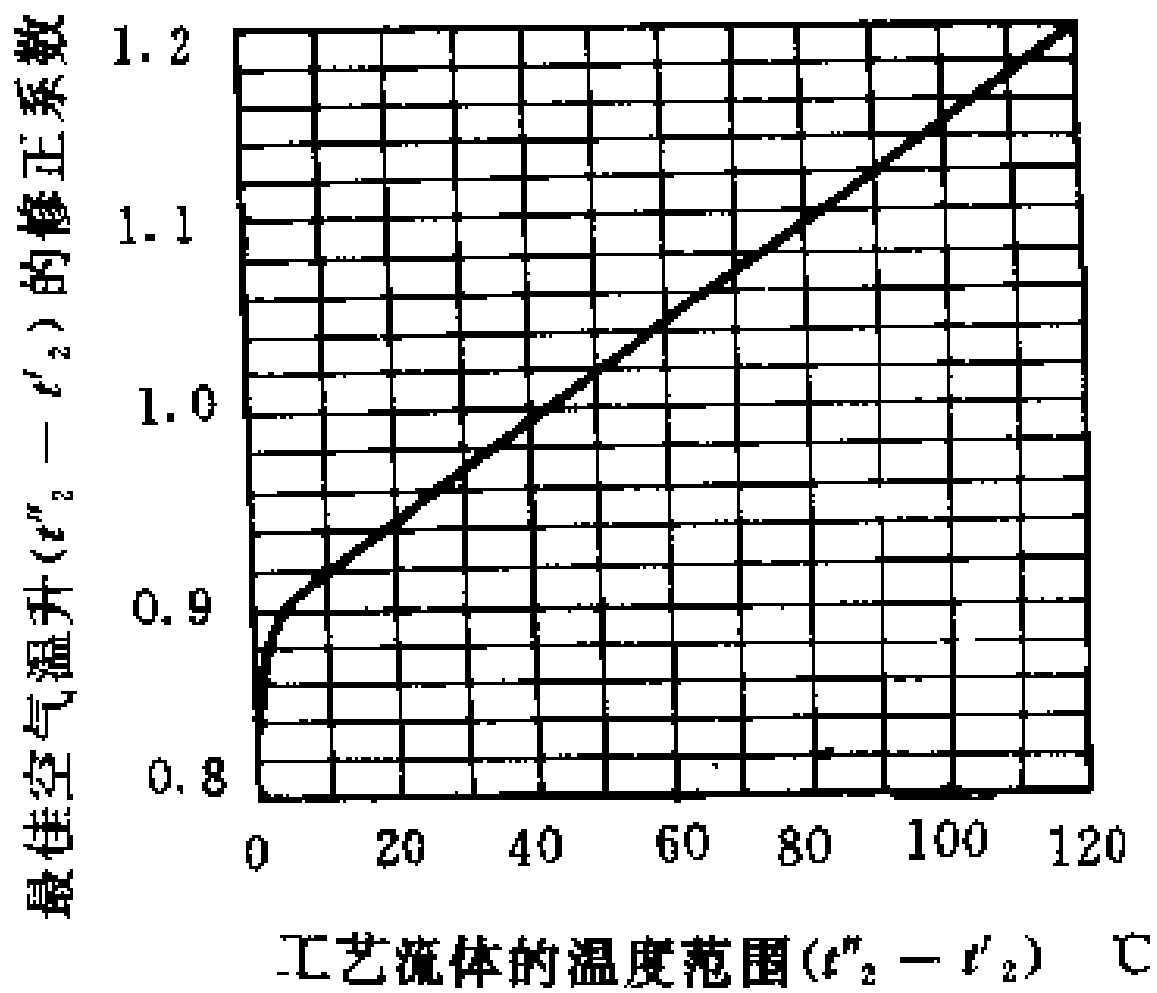


图 3.58 最佳空气温升范围  $(t_1 - t_1)$ , °C

### (3)选型设计

① 管排数选择：计算 $(t'_1 - t'_2)/K_o$ ，按图3.59选定最有利管排数

② 由管排数选取标准迎面风速 $v_{NF}$

③ 计算迎风面积 $A_F$ ：
$$A_F = \frac{Q}{3600v_{NF}\rho c_p(t''_2 - t'_2)}$$

④ 选取管束。

⑤ 定管程：保证管内流体有一定流速，且管内压将较小。

对液体： $w_1 = 0.5 \sim 1.5m/s$ 。管程数 $N_p$ 用下式计算

$$N_p = 3600 \frac{\pi}{4} d_i^2 n w_1 \rho_1 \frac{1}{m}$$

$n$ ——总管数； $d_i$ ——管内径；

$\rho_1$ ——管内流体密度； $m$ ——每管程管内流体质量流量

⑥ 选风机：风量由下式计算

$$V = 3600 A_F v_{NF}$$

计算风机全风压  $\Delta P = \Delta P_1 + \Delta P_2$

$\Delta P_1$  ——管束气流流动阻力， $\Delta P_1 = 5.1 v_{NF}^{1.504} N \Phi_f$

$\Phi_f$  ——翅高影响系数，高翅片  $\Phi_f = 1$ ；低翅片  $\Phi_f = 1.15$

$N$  ——最佳管排数

$\Delta P_1 = 5.1 v_{NF}^{1.504} N \Phi_f$  只适用于国产高低空冷器翅片用。

$\Delta P_2$  ——风机动压头，取  $20 \sim 40 N / m^2$

#### (4)精确计算

- ①管内流体换热系数。可由本书第二章中公式进行计算，
- ②选取污垢热阻，可查本书附录**C**、**D**、**E**。
- ③计算管壁热阻
- ④计算以光管外表面积为基准的换热系数。
- ⑤传热系数计算。
- ⑥计算传热平均温差。
- ⑦计算以光管外表面积为基准的传热面积 $F_o$ 。将 $F_o$ 的精确计算值与估算值相比较，如两者接近，则估算中所选空冷器即为所求。如误差太大，则应重新选型，重复**(3)**中①至④中各步，再比较精确计算与估算值。如此不断反复，直至满足要求为止。

**例3.4** 试选用一台定型的空冷器将流量为  $42\text{m}^3 / \text{h}$  的某种航煤从  $165^\circ\text{C}$  冷却到  $55^\circ\text{C}$ ，其热负荷为  $8.88 \times 10^6 \text{kJ} / \text{h}$ 。设计气温为  $35^\circ\text{C}$ 。

解：

1) 总体考虑 因接近温差为  $55-35=20^\circ\text{C}$ ，故选用空冷器是经济的

2) 估算和选型

(1) 按表3.7选取传热系数  $K_o = 350 \text{w} / (\text{m}^2^\circ\text{C})$ 。

(2)选取管排数

$$\frac{t'_1 - t'_2}{K_o} = \frac{165 - 35}{350} = 0.32, \text{查图3.57得最佳管排数为7。根据管束}$$

规格，考虑煤油的换热系数不高，故选用低翅片6排管。

(3) 选取标准迎面风速：由表3.10查得

$$v_{NF} = 2.5m/s, \text{面积比 } F'_o / A_F = 8.74$$

(4)试算空冷器出口空气温升及传热面积

假设几个可能的出口空气温升，按热平衡求得 $A_F$ 、 $F'_o$ ，再根据传热计算求得 $F_o$ ，比较 $F_o$ 与 $F'_o$ 。至两者接近为止。



空气出口温升 ( $t_1 - t_2$ )假定值	°C	35	40	45	50
$A_c = \frac{Q}{3600 u_{NE} \rho c_p (t_1 - t_2)}$	m <sup>2</sup>	23.4	19.2	18.2	16.4
$F'_o = 8.74 A_c$	m <sup>2</sup>	204.5	168.0	159.0	143.0
$\Delta t_m$	°C	48.1	46.5	44.8	43.3
$F_o = \frac{Q}{K_o \Delta t_m}$	m <sup>2</sup>	126.0	130.0	135.0	140.0

由估算可见，当空气出口温升**50°C**时、两面积接近，故取空冷器出口风温为  $t_2'' = 50 + t_2' = 50 + 35 = 85$

**(5)选型** 今已知流量为**42m<sup>3</sup> / h**、管排数为**6**，由图**3.62**查得油在管内流速**1m / s**左右时，可采用**PD9×2—6(VI)**的管束。

这一管束的光管表面积为**145m<sup>2</sup>**，与计算值接近。

实际迎风面积

$$A_F = 2 \times 9 - 2 \times 0.1 \times 9 = 16.2 \text{m}^2,$$

与计算值(上表中)接近，故迎面风速与出口风温均可不必调整。

(6)选风机:

$$\text{风量 } V = 3600 A_F v_{NF} = 3600 \times 16.2 \times 2.5 = 146000 m^3 / h$$

风压: 管束压将由下式

$$\Delta P_1 = 5.1 v_{NF}^{1.504} N \Phi_f = 5.1 \times 2.5^{1.504} \times 6 \times 1.15 = 140 N / m^2$$

$$\text{取风机动压头 } \Delta P_2 = 30 N / m^2$$

$$\text{故 } \Delta P = \Delta P_1 + \Delta P_2 = 140 + 30 = 170 N / m^2$$

选用F18风机三台。

### 3)精确计算

对 $PD9 \times 2 - 6(VI)$ , 管子总根数为  $35 \times 6 = 210$ 根, 体积流量

$m / \rho_1 = 42m^3 / h$ , 管程数  $N_p$ 可由下式计算

$$N_p = \frac{3600 \pi d_i^2 n w_1}{4} \times \frac{1}{m / \rho_1} = \frac{3600 \times 0.785 \times 0.02^2 \times 210 \times 1}{42} = 5.65$$

查有关资料当航煤温度 为 $110^\circ C$ 时, 其对流换热系数为

$1396W / m^2 \cdot ^\circ C$ ;当油品流速为 $1.06m / s$ 时, 校正系数为 0.84

所以油品管内对流换热 热阻为:

$$\frac{1}{\alpha_i} \frac{d_o}{d_i} \approx \frac{1}{1396 \times 0.84} = 0.00086 m^2 \cdot ^\circ C / W$$

由附录E查得航煤的污垢热阻为 $r_{s,i} \frac{d_o}{d_i} = 0.00026 m^2 \cdot ^\circ C / W$

管壁热阻为 $\frac{d_o}{2\lambda} \ln \frac{d_o}{d_i} = 0.00006 m^2 \cdot ^\circ C / W$

在 $v_{NF} = 2.5 m / s$ 时，由式

$$\alpha_o = 412 v_{NF}^{0.718} \Phi = 412 \times 2.5^{0.718} \times 1 = 791 W / m^2 \cdot ^\circ C$$

传热系数可由下式计算

$$K_o = \frac{1}{\frac{1}{\alpha_i} \frac{d_o}{d_i} + r_{s,i} \frac{d_o}{d_i} + \frac{d_o}{2\lambda} \ln \frac{d_o}{d_i} + \frac{1}{\alpha_o}}$$
$$= \frac{1}{0.00086 + 0.00026 + 0.00006 + \frac{1}{791}} = 409 W / m^2 \cdot ^\circ C$$

对数平均温差 $\Delta t_{lm,c} = 43.3^\circ\text{C}$

$$\text{参数 } P = \frac{t_2'' - t_2'}{t_1' - t_2'} = \frac{50}{130} = 0.384; R = \frac{t_1' - t_1''}{t_2'' - t_2'} = \frac{110}{50} = 2.2$$

由 $P$ 、 $R$ 值查附录I得 $\psi = 0.996$

传热平均温差 $\Delta t_m = \psi \Delta t_{lm,c} = 0.996 \times 43.3 = 43.1^\circ\text{C}$

$$\text{光管传热面积 } F_o = \frac{Q}{K_o \Delta t_m} = \frac{8.88 \times 10^6}{409 \times 43.1 \times 3600} = 139.9 \text{m}^2$$

$F_o$ 精确计算值与估算值一致，不必重算。