

6.6.4 高效换热器

- 换热器种类繁多，广泛应用于石油化工、冶金、电力、造纸、船舶、机电、分区供热、暖通空调、余热利用、核工业、食品饮料、医药、纺织等工业领域，换热介质从普通水到高粘度的非牛顿液体；从含固体小颗粒的物料到含有少量纤维的物料；从水蒸汽到各种气体；从无腐蚀性到强腐蚀性的各种介质等，其主要功能是保证工艺过程对介质所要求的特定温度，同时也是回收废热，提高能源利用率的主要设备之一。

6.6.4 高效换热器 (214页)

- 大至单机功率为130万千瓦的**汽轮发电机组**；
- 小至微电子器件的冷却都与传热过程密切相关。
- 如果把**锅炉**也看作换热设备，则再加上**冷凝器，除氧器，高、低压加热器**等换热设备，换热器的投资约占整个电厂投资的**70%**。

6.6.4 高效换热器

- 在**炼油企业**中四分之一的设备投资用于各种各样的换热器，换热器的重量占设备总重量的**20%**。
- 在**氨制冷设备**中换热设备的重量也要占整个机组重量的**90%**。
- 在**氟利昂制冷设备**中换热设备的重量也要占整个机组重量的**50%以上**。

6.6.4 高效换热器

- 从传热学中我们知道换热器中的传热量可用下式计算，即

$$Q=kF\Delta T$$

- 式中， k -传热系数 $[W/(m^2\cdot K)]$ ， F -传热面积 $[m^2]$ ， ΔT -冷热液体的平均温差 $[K]$ ，从上式可以看出，欲增加传热量 Q ，可用增加 k 、 F 或 ΔT 来实现

。

6.6.4 高效换热器

1. 增加冷热液体的平均温差 ΔT

① 顺流、逆流、交叉流、混合流。尽可能采用逆流或接近于逆流的布置。

② 可以用增加冷热流体进出口温度的差别来增加 ΔT

冷热流体的种类和温度的选择常常受到生产工艺过程的限制，不能随意变动；而且这里还存在一个经济性的问题，采用更高温度的饱和水蒸气，则其饱和压力亦相应提高，此时饱和温度每增高 2.5K ，相应压力就要上升 105Pa 。压力增加后换热器的壁厚必须增加，从而使设备庞大，笨重，金属消耗量大大增加

所以：用增加平均温差 ΔT 的办法来增加传热只能适用于个别情况

6.6.4 高效换热器

2. 扩大换热面积F

扩大换热面积是常用的一种增强换热量的有效方法，如采用小管径。管径越小，耐压越高，而且在金属重量相同的情况下，表面积也越大；采用各种形状的肋片管来增加传热面积其效果就更佳了，这里应特别注意的是肋片（扩展表面）要加在换热系数小的一侧，否则会达不到增强传热的效果。

管壳式换热器在 1m^3 体积内仅能布置换热面积 150m^2 左右。而在板式换热器中则可达 1500m^2 ，板翅式换热器中更可达 5000m^2 ，

采用扩展面常会使流动阻力增加，金属消耗增加，因此在应用时应进行技术经济比较。

6.6.4 高效换热器

3. 提高传热系数k

提高传热系数k是强化传热的最重要的途径，且在换热面积和平均温差给定时，是增加换热量的唯一途径。

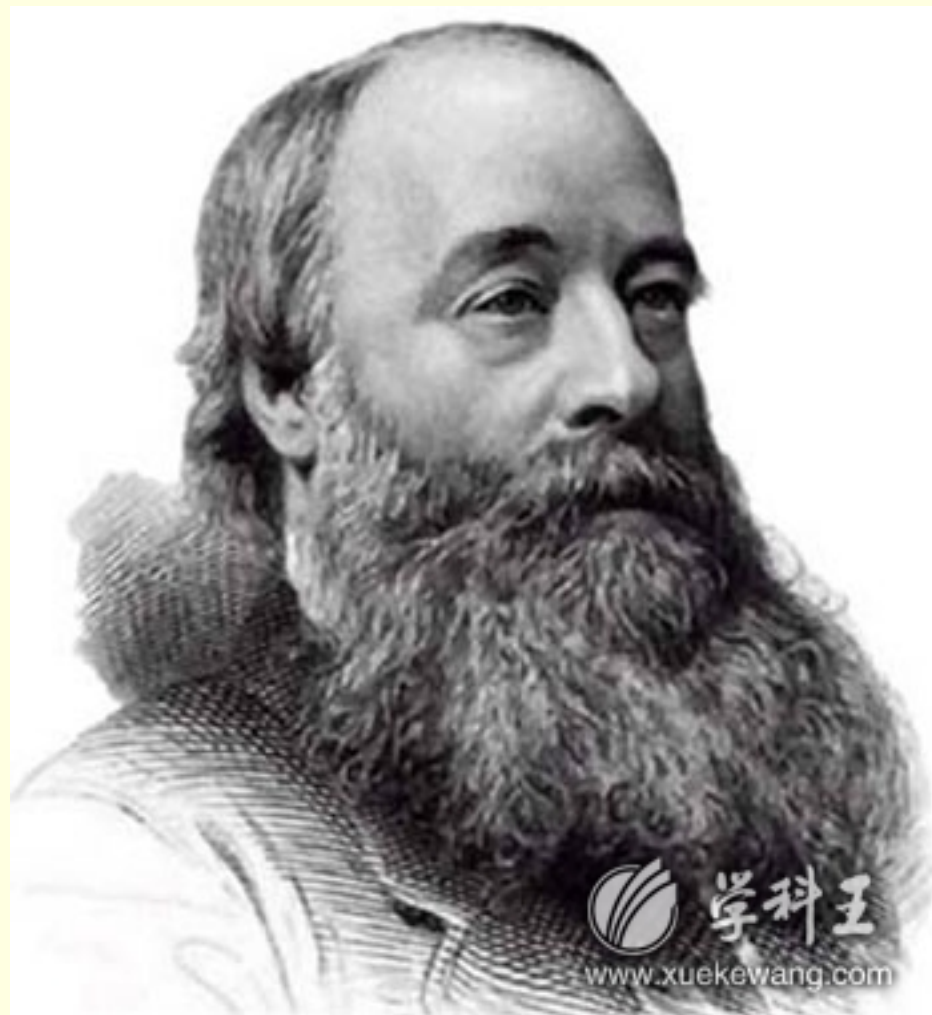
$$k = \frac{1}{\frac{1}{\alpha_1} + \frac{\delta}{\lambda} + \frac{1}{\alpha_2}}$$

一般讲金属壁很薄，导热系数很大， δ/λ 可以忽略。因此传热系数k可以近似写成：

$k = \alpha_1 \alpha_2 / (\alpha_1 + \alpha_2)$ 。由此可知欲增加k，就必须增加 α_1 和 α_2 ，但当 α_1 和 α_2 相差较大时，增加它们之中较小的一个最有效。要想增加对流换热系数，就需根据对流换热的特点，采用不同的强化方法。

6.6.4 高效换热器

1861年焦耳
发表冷凝器
水侧传热强
化



6. 6. 4有效肋表面积及传热系数 K'



6.6.4有效肋表面积及传热系数K'

Bergles教授在麻省理工学院获得学士、硕士和博士学位，现任麻省理工学院教授。Bergles教授在沸腾传热和强化传热领域发表了398篇学术论文，目前是13篇国际热科学期刊的编委。Bergles教授是ASME Fellow (1979)，美国化学工程师学会AIChE Fellow (2004)，美国制冷和空调工程协会 Fellow (1992)。他曾获得多个国际大奖，包括有ASME 传热纪念奖（1999），AIChE Donald Q. Kern Award（1990），Nusselt-Reynolds Prize（2001），ASME/AIChE马克杰可奖（1995）等。他被选为美国国家工程学会院士（2002），英国皇家工程学会院士（2000），意大利国家科学学会院士（2003）。

6.6.4 高效换热器

- 强化传热技术有两类：一类是有源技术，即耗功强化传热技术，需要应用外部能量来达到强化传热的目的，如机械搅拌法、振动法、静电场法等五种。
- 另一类是无源技术，即无功强化传热技术，不需外部能量，如表面特殊处理法、粗糙表面法、强化元件法、添加剂法等八种。

6.6.4 高效换热器

- 我国学者过增元院士在研究对流换热强化时，提出了著名的**场协同理论**。该理论指出要获得高的对流换热系数的主要途径有：
 - 1) 提高流体速度场和温度场的均匀性；
 - 2) 改变速度矢量和热流矢量的夹角，使两矢量的方向尽量一致；



6.6.4 高效换热器

目前，国内外已开发的新型高效的换热器主要有：螺旋槽纹管换热器、横纹管折流板换热器、旋流管换热器、折流杆式换热器、空心环管壳式换热器、可拆式板式换热器、**焊接式板式换热器**、整体翅片式换热器、热管换热器、不结垢换热器、碳化硅换热器、澳大利亚的柔性换热器、日本的SM型换热器和Hybrid 换热器、美国Chemineer 公司的Kenics 换热器和德国的块式换热器、由法国Secatnen 公司开发，CacDregamont 设计并制造的Packinox 板壳式换热器、德国thermowave 板式换热器等

6.6.4 高效换热器

国外

(1) 传热强化剂对换热器换热性能的提高

研究表明，在水中加入浓度低于总质量50%的**挥发性添加剂**，在水的物性没有显著变化下，可使其传热膜系数增加**80%**左右。有文献报道，在水中加入微量的**十八烷基胺**以后，不仅强化了核沸腾换热以及冷凝换热，并且它不易吸附于金属表面，可有效的缓减金属的腐蚀还具有清除金属表面污垢的能力。对空气中喷入液滴时的传热工况进行的研究表明，如能在换热面上形成连续液膜，则换热系数最多可增加30 倍。添加剂强化技术的研究，英国、美国居领先地位。

6.6.4 高效换热器

- (2) 在换热器的设计过程中增加电场的强化传热及节能技术
- 早在1916年，英国学者Chubb就提出了电场强化传热的理论。
- 在液体中加一静电场以强化单相流体的对流换热量是一种有吸引力的强化传热方法。这种方法对气体和液体的自然对流和强制对流都能产生一定的强化传热效应。

6.6.4 高效换热器

- 日本Mizushina以空气为介质，进行**环形通道内电晕风对强制对流影响**的试验，分别得到了存在电晕风时的努赛尔数及阻力系数与雷诺数关系曲线及经验公式。
- 采用静电场可使蒸发器的传热系数提高一个数量级，并克服油类介质对泡核沸腾的影响，也能使冷凝液膜产生波状失稳，引起膜层减薄，进而降低热阻，使传热系数增加**2**倍。

6.6.4 高效换热器

(3) 纳米粒子在强化传热领域的广阔应用前景

美国Argonne 国家实验室的研究人员早在1995年就在国际上首次提出了纳米流体粒子的概念。研究表明，在液体中添加纳米粒子能有效的增加其导热系数。因此，能够生产出成本低廉的纳米粒子和找到其强化传热倍数的准确的数学关系，在换热设备的改进中设计一个纳米粒子按比例混入装置对换热效率的提高将十分有意义，同时也能减小换热器本身的设计制造成本。

6.6.4 高效换热器

(4) 换热器上扰流子强化传热节能技术在换热管中加**扰流子添加物**主要是通过改变液体的流动状态进行强化传热，可大大节省换热器的传热面积，降低设备重量，节约大量金属材料。扰流子强化元件有多种形式，现在使用最多的包括：

金属丝制元件（图1）

、金属螺旋圈、盘状

构件、麻花铁、翼形

物等。



双螺旋强化管结构示意图

6.6.4 高效换热器

- 采用扰流子强化传热的换热器，设备管侧的**污垢显著减少**。首先，由于流体的弥散流动，介质的温度梯度较小，抑制了污垢的形成生长；其次，由于弥散流紊动度很高（扰流子强化相当于静态搅拌器），流体中的杂质不易沉积成垢。

6.6.4 高效换热器

■ 国内

- 为了提高换热器的传热系数，强化传热效率，国内外出现了多种强化元件及强化措施，主要包括在换热器中使用螺旋槽管（图2）、横纹管（图3）、缩放管、波纹管（图4）、大导程多头沟槽管、整体双面螺旋翅片管等扩展表面的方法。另外，在利用处理表面法、粗糙表面法的强化传热技术方面也有了一定的研究。

6.6.4 高效换热器



螺旋凹槽管

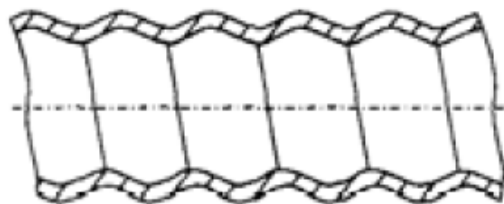


图2 螺旋槽管

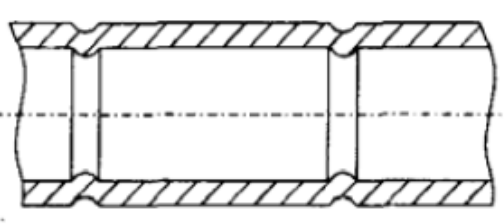


图3 横纹管

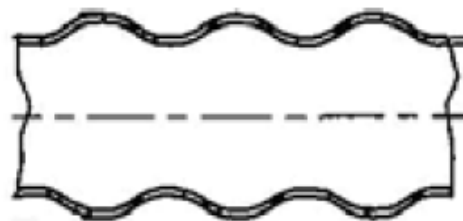
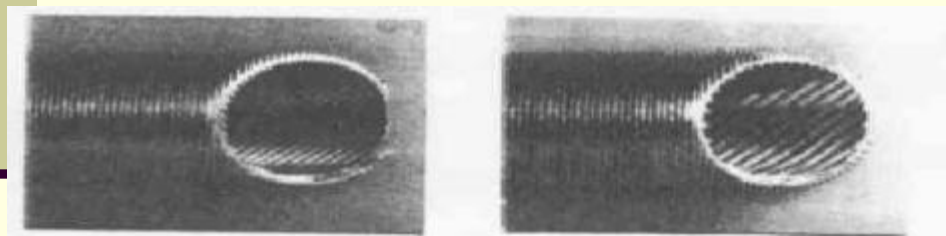


图4 波纹管



$N_s=40, e_r=0.5, \alpha=35^\circ$

$N_s=25, e_r=0.53, \alpha=35^\circ$

6.6.4 高效换热器——沸腾换热的强化

- 沸腾换热的强化主要从**增多汽化核心和提高汽泡脱离频率**两方面着手，具体方法有**粗糙表面和对表面进行特殊处理，扩展表面，在沸腾液体中加添加剂等**。下面介绍常用的强化沸腾换热的方法。

6.6.4 高效换热器——沸腾换热的强化

- 1. 使表面粗糙和对表面进行特殊处理
- 粗糙表面可使汽化核心数目大大增加，因此和光滑表面相比其沸腾换热强度可以提高许多倍。最简单的粗糙表面的办法是用砂纸打磨表面或者采用喷砂的方法。
- 工程上为增强沸腾换热应用最多的还是对表面进行特殊处理。特殊处理的目的是使表面形成许多理想的内凹穴，这些理想的内凹穴在低过热度时就会形成稳定的汽化核心。
- 制造上述表面多孔管的方法很多，一种是在加热面上覆盖一层多孔覆盖层；另一种是对换热面进行机械加工以形成表面多孔管。

6.6.4 高效换热器——沸腾换热的强化

- (1) 带金属覆盖层的表面多孔管
- 上世纪六十年代末在美国首先出现用烧结法制成的带金属覆盖层的表面多孔管。除了烧结法外还可采用火焰喷涂法、电镀法等。一般讲烧结法的效果最好。作为覆盖层的材料有铜、铝、钢、不锈钢等。用烧结法制成的多孔管已在工业部门获得广泛的应用。这种多孔管一般可使沸腾换热系数提高4~10倍。

6.6.4 高效换热器——沸腾换热的强化

- (2) 机械加工的表面多孔管
- 用机械加工方法可使换热表面形成整齐的T型凹沟槽。这种机械加工的表面多孔管亦能大大强化沸腾换热过程和提高临界热负荷值。对形状和尺寸不同的凹沟槽，**沸腾换热系数可提高2~10倍**。用机械加工的方法还可克服烧结法带来的表面孔层不均的缺点，且多孔层也不易阻塞。

6.6.4 高效换热器——沸腾换热的强化

2. 采用扩展表面

用肋管代替光管可以增加沸腾换热系数。这一方面是肋管与光管相比除具有较大的换热面积外，还可以增加汽化核心；另外肋片和管子连接处受到液体润湿作用较差，是良好的吸附气体的场所；加之肋片与肋片之间的空间里的液体三面受热，易于过热。以上这些因素都促进了气泡的生长，一般换热系数可高**10%左右**。

对于管内强制沸腾换热，通常还采用内肋管或内外肋管。这些内肋片不但强化了沸腾换热过程，还强化了管内单相介质的对流换热。因此在**制冷和化工**中应用很广，其中应用的最多的是带星形嵌入式的内肋管，**一般换热系数可提高50%左右**。

6.6.4 高效换热器——沸腾换热的强化

3. 应用添加剂

在液体中加入气体或另一种适当的液体亦可强化沸腾换热。例如在水中加入合适的添加剂（如各类聚合物），有时可使沸腾换热系数提高**40%**。值得注意的是，如液体和添加剂配合不当，反而会使换热系数降低。

在液体中加入固体颗粒，当颗粒层的高度恰当时亦可强化沸腾换热，有时沸腾换热系数甚至可以比无颗粒层时高**2~3**倍。

6.6.4 高效换热器——沸腾换热的强化

- 4. 其它强化沸腾换热的方法
- 强化单相介质对流换热的流体旋转法对于强化管内沸腾亦非常有效，这时可以在管内插入扭带，螺旋片或螺旋线圈，亦可采用螺旋槽管或内螺纹管。它们不但能使换热系数提高（如扭带可提高10~15%，螺旋槽管可提高50%~200%），还可提高临界热负荷。

6.6.4 高效换热器——凝结换热的强化

凝结是工业中普遍遇到的另一种相变换热过程，一般认为凝结换热系数很高，可以不必采用强化措施。但对**氟里昂蒸汽或有机蒸汽**而言，它们的凝结换热系数比水蒸气小的多。例如对氟里昂，**其凝结换热系数仅为其另一侧水冷却换热系数的1/4~1/3**。在这种情况下强化凝结换热仍然是非常必要的。对空冷系统而言，由于管外侧空气的肋化系数非常之高，强化管内的水蒸气凝结换热也仍然是有利的。

6.6.4 高效换热器——凝结换热的强化

- 1. 管外凝结换热的强化
- (1) 冷却表面的特殊处理
- 对冷却表面的特殊处理，主要是为了在冷却表面上产生珠状凝结。珠状凝结的换热系数可比通常的膜状凝结高**5~10**倍，由于水和有机液体能润湿大部分的金属壁面，所以应采用特殊的表面处理方法（化学覆盖法、聚合物涂层法和电镀法等），使冷凝液不能润湿壁面，从而形成珠状凝结。

以上内容仅为本文档的试下载部分，为可阅读页数的一半内容。如要下载或阅读全文，请访问：<https://d.book118.com/227020156161010002>