

## 山西能源学院教案

授课班级\_\_\_\_\_ 授课时间\_\_\_\_\_ 计 2 学时

课题（章节及内容）	7.3 膜状凝结的影响因素及其传热强化、7.6 沸腾传热的影响因素及其传热强化、7.7 热管简介
教学目的和要求	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. 了解影响凝结因素及增强换热的措施；</li> <li>2. 了解影响沸腾及增强换热的措施；</li> <li>3. 热管工作原理及特点。</li> </ol>
重点难点	影响凝结因素及增强换热的措施。影响凝结和沸腾换热的各因素及增强换热的措施。管内沸腾换热概述。
教学进程（含课堂教学内容、教学方法、辅助手段等）	<p>教学内容：</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. 影响凝结因素及增强换热的措施；</li> <li>2. 影响凝结和沸腾换热的各因素及增强换热的措施。管内沸腾换热概述。</li> <li>3. 热管工作原理及特点</li> </ol> <p>教学方法：讲授与练习、启发讨论、诱导式、归纳总结法。</p>
作业布置	无
主要参考资料	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. 杨世铭 陶文铨，《传热学》（第四版），高等教育出版社，2006.</li> <li>2. 章熙民、任泽霏等，《传热学》，中国建筑工业出版社，2014.</li> </ol>
课后自我总结分析	<p>在课堂教学中穿插一些生活实例. 用力知学知识进行解释. 使学生从根本上清楚原因，会提高学生的学习兴趣。</p>

# 山西能源学院教案

## 7.3 膜状凝结的影响因素及其强化措施

### 一、膜状凝结的影响因素

#### 1. 不凝结气体:

由于不凝结气体形成气膜, 故:

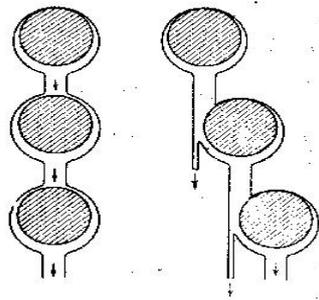
- 1). 蒸气要扩散过气膜, 形成阻力;
- 2). 气膜导致蒸气分压力降低, 从而使  $t_s$  降低:

严重性: 1% 的不凝结气体能使  $h$  降低 60%

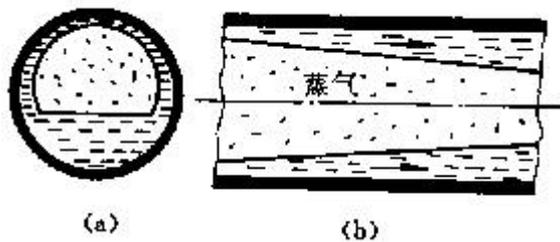
#### 2. 管子排数

$n$  排, 特征长度  $d \Rightarrow nd$

由于凝结液落下时要产生飞溅以及对液膜的冲击扰动, 会使  $h$  增大。



#### 3. 管内冷凝



$$Re_v = \frac{\rho_v u_{mv} d}{\mu_v} \quad \text{按管子进口蒸汽参数计算}$$

$Re_v < 35000$  时

$$h = 0.555 \left[ \frac{g\rho(\rho - \rho_v)\lambda^3 r'}{\mu d(t_s - t_w)} \right]$$

#### 4. 蒸气流速

前面的理论分析忽略了蒸气流速的影响。

u 向上 液膜增厚  $h \downarrow$  ; u  $\uparrow\uparrow$  液膜破裂  $h \uparrow$

u 向下 液膜减薄  $h \uparrow$  ; u  $\uparrow\uparrow$  液膜破裂  $h \uparrow$

#### 5. 蒸气过热度

实验证实  $h-h'$  (焓差) 代替  $r$  即可

#### 6. 液膜过冷度及温度分布的非线性

只要用  $r'$  代替计算公式中的  $r$ , 即可:

$$r' = r + 0.68c_p(t_s - t_w)$$

### 二、膜状凝结的强化原则和技术

1. 强化的原则: 尽量减薄粘滞在换热表面上液膜的厚度。

2. 实现的方法:

减薄液膜厚度: 尖锋的表面

使凝结液尽快从换热表面上排泄掉

如低肋管、纵向沟槽等

表面改性, 使膜状凝结变为珠状凝结

## 7.6 沸腾传热的影响因素及其传热强化

### 一、影响沸腾传热的影响因素及其强化

#### 1. 不凝结气体

与膜状凝结不同, 溶解于液体中的不凝结气体会使沸腾换热得到某种强化。因为, 随着工作液体温度的升高, 不凝结气体会从液体中逸出, 使壁面附近的微小凹坑得以活化, 成为汽泡的胚芽, 从而使  $q \sim \Delta t$  沸腾曲线向着  $\Delta t$  减小的方向移动, 即在相同的  $\Delta t$  下产生更高的热流密度, 强化了换热。但对处于稳定运行下的沸腾换热设备来说, 必须不断地向工作液体注入不凝结气体。

## 2. 过冷度

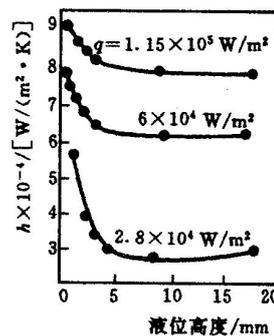
在大容器沸腾中流体主要部分的温度低于相应压力下的饱和温度的沸腾称为过冷沸腾。对于大容器沸腾，除了在核态沸腾起始点附近区域外，过冷度对沸腾换热的强度并无影响。在核态沸腾起始段，自然对流的机理还占相当大的比例，而自然对流时  $h \sim \Delta t^{\frac{1}{4}}, \Delta t \sim (t_w - t_f)^{\frac{1}{4}}$ ，因而过冷会使该区域的换热有所增强。

## 3. 重力加速度

在很大的范围内重力加速度几乎对核态沸腾的换热规律没有影响。但重力加速度对液体自然对流则有显著的影响（自然对流随加速度的增加而强化）。在零重力场（或接近于零重力场）的情况下，沸腾换热的规律还研究得不够。

## 4. 液位高度

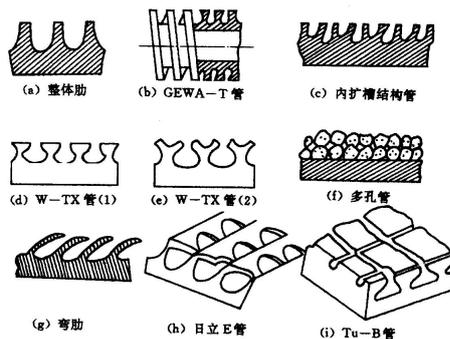
在大容器沸腾中，当传热表面上的液位足够高时，沸腾换热表面传热系数与液位高度无关。但当液位降低到一定值时，沸腾换热的表面传热系数会明显地随液位的降低而升高。这一特定的液位值称为临界液位。对于常压下的水，其值约为 5mm。



## 5. 沸腾表面的结构

前已指出，沸腾表面上的微小凹坑最容易产生汽化核心。

强化沸腾传热的基本原则是尽量增加加热面上的汽化核心即产生气泡的地点。主要方法：(1). 用烧结、钎焊、火焰喷涂、电离沉积等物理与化学的方法在换热表面上造成一层多孔结构；(2). 采用机械加工的方法在换热管表面上造成多孔结构。

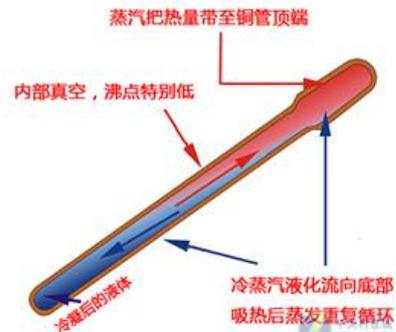
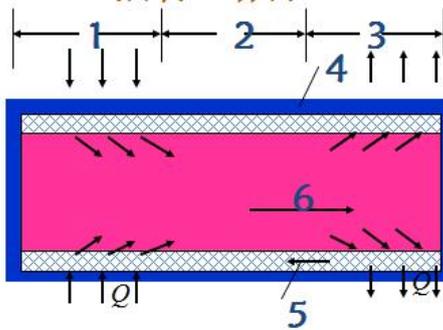


## 7.7 热管简介

### 一、热管基本组成

由管壳、管芯（起毛细管作用的多孔结构物）和工作液组成。

### 二、热管工作原理



### 三、热管特点

1. 靠蒸气流动传输热量，故传热能力大，若把它当作导热元件看待，它的导热能力可超过同样形状和大小的铜、银的导热能力几倍到几千倍；
2. 由于沸腾和凝结是在同一根管内，两者间几乎没有压力差，故加热区和散热区的温度接近相等，整个热管趋于等温，减少了传热时的温差损失。
3. 采用不同的工作液，可使热管适应由-200 到 2200℃的温度范围内工作；
4. 在热量传递中，具有变换热流通量的性能，即加热区和散热区热管表面的热流密度可以不同；
5. 结构简单，无运动部件，工作可靠，可根据使用对象做成直管、弯管、圆筒等等。

### 四、热管的应用

1. 在生活中的应用。
2. 在航天器中的应用