



# 大容积沸腾

---

存在

温差→自然对流

气泡运动→液体运动 根据液流主体温度是否达到相应压力下的饱和温度，沸腾传热又分为过冷沸腾与饱和沸腾。过冷沸腾液流主体温度低于饱和温度，而加热表面上有气泡产生。气泡在液流主体中重新凝结，通过汽化—冷凝传递热量。饱和沸腾液流主体温度达到饱和温度，所产生的气泡不会重新凝结。

本节讨论：大容积中的饱和沸腾

# 大容积饱和沸腾

**沸腾条件：**过热度**和汽化核心** 气泡存在的必要条件：其内部的蒸汽压必须等于外压和

液层静压强之和。

**过热度** 气泡生成的必要条件：液体要过热，即液体的温度要高于相应的饱和温度。

**汽化核心** 粗糙表面的**细小凹缝**提供了汽化核心。

①凹缝侧壁对气泡有依托作用，产生气泡所需的表面功较小；

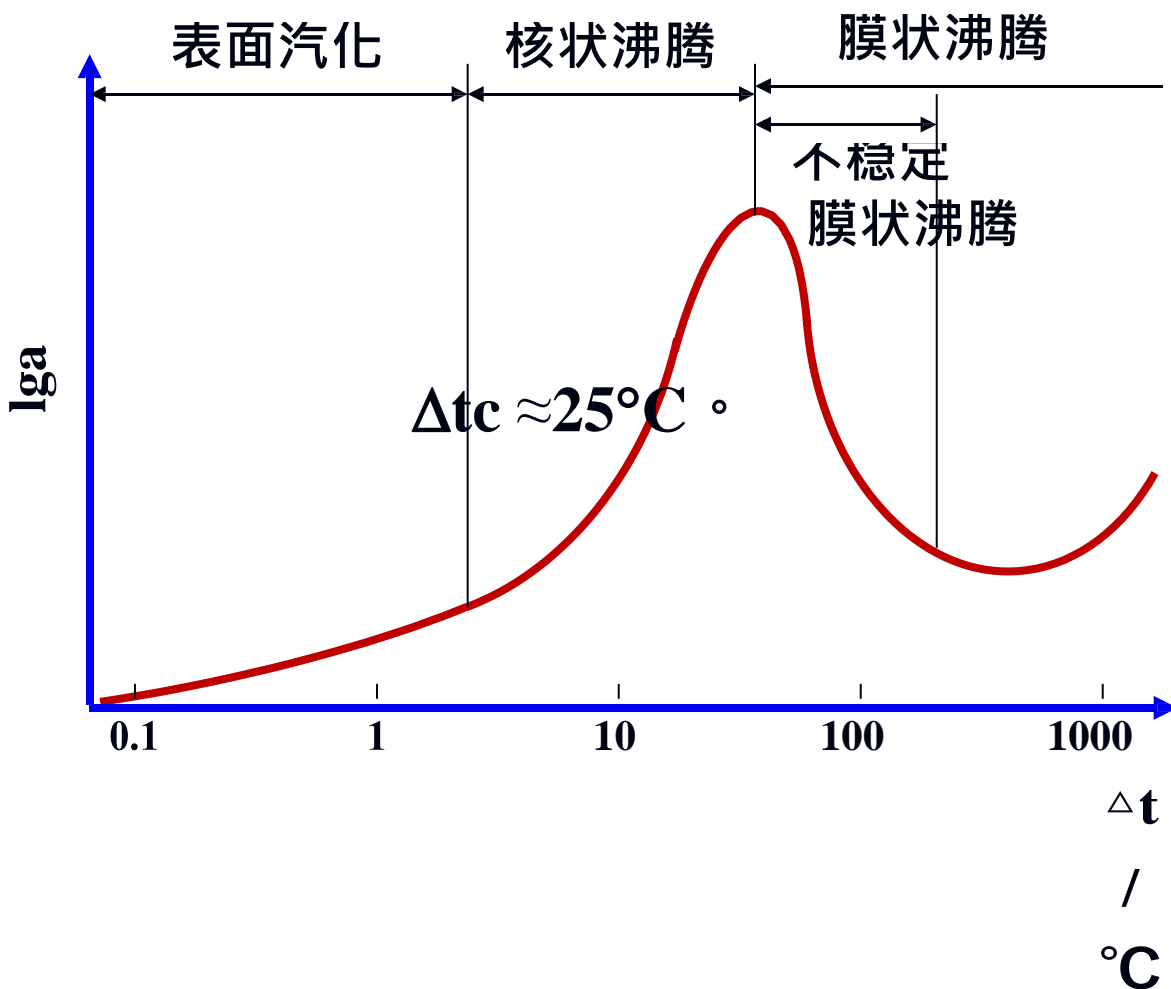
②凹缝内存在气泡胚胎。

**暴沸现象**加热面较光滑时，必须有较大的过热度才能产生气泡，一旦所产生的气泡长大，过热液体在气泡表面迅速蒸发产生大量蒸汽，由于此过程十分剧烈，易形成暴沸。暴沸之后，过热度全部丧失，重又开始气泡的生成→长大→暴沸.....。可见，此过程是不平稳的。

沸腾传热的强度远高于无相变的对流给热，其原因在于气泡的存在和扰动，使传递热阻大大下降。

工业采用核状沸腾。优点 $\alpha$ 大，壁温 $T_w$ 低。临界点：核状沸腾与膜状沸腾的转折点。临界点对应于临界热负荷 $q_c$ 及临界温差 $\Delta t_c$ 常压水的临界值为 $q_c \approx 1.25 \times 10^6 \text{W/m}^2$

## 大容积饱和沸腾曲线



$$(\Delta t = T_w - t_s)$$

GLL

## 沸腾传热系数的计算

采用实验数据回归法计算。

影响沸腾传热过程的因素：

- ① 液体和蒸汽的性质
- ② 加热面的粗糙度和表面物理性质
- ③ 操作压强和温差

所以： $\alpha = A \Delta t^{2.5} B^{t_s}$  或  $\lg \alpha = a' + 2.5 \lg \Delta t + b' t_s$  其中： $\Delta t$  为壁温与操作压力下液体的饱和温度之差；

$a', b'$  由实验测定， $t_s$  是蒸汽的饱和温度。

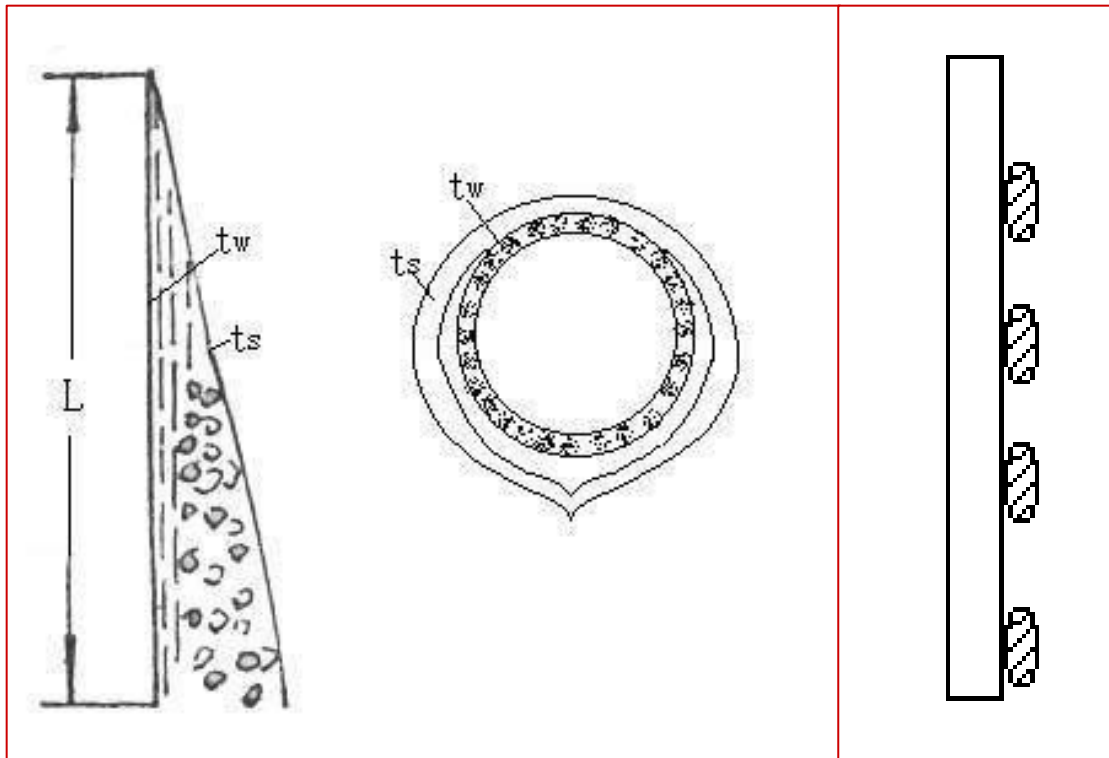
## 沸腾传热过程的强化

- ① 加热表面粗糙化；
- ② 降低沸腾液体的表面张力

# 蒸汽冷凝传热

冷凝传热过程的热阻:集中于冷凝液膜层传热  
热推动力:  $t_s - t_w$  饱和蒸汽冷凝释放潜热, 有相变, 无温变。

## 膜状冷凝和滴状冷凝



滴状冷凝比  
膜状冷凝的  
对流传热系  
数大5~10倍

## 冷凝传热系数

垂直管外层流时的平均冷凝给热系数  $P_{131}$ 4-52

垂直管外湍流时的平均冷凝传热系数  $P_{131}$ 4-54 单根水平管外

层流时的平均冷凝传热系数  $P_{131}$ 4-55 同条件下，水平圆管与

垂直圆管的冷凝传热系数之比  $P_{131}$ 4-56

通常冷凝传热系数水平的大于垂直的，故

工业冷凝器大部分是卧式的。

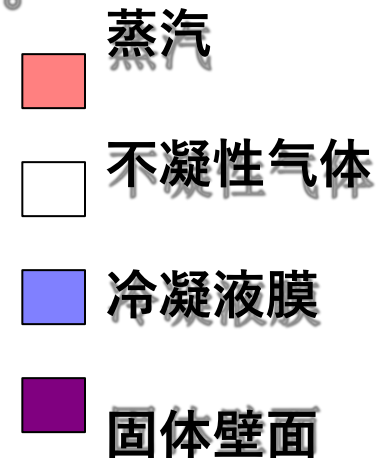
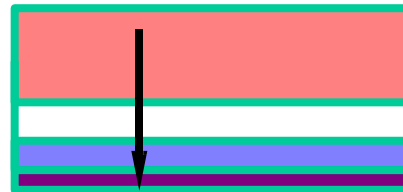
水平管束外层流时的平均冷凝传热系数  $P_{132}$ 4-57



# 影响冷凝传热的因素及强化措施

(1) 不凝性气体的影响：存在扩散问题。

设置排放口，排除不凝性气体。

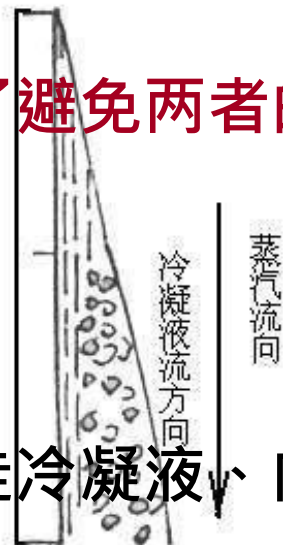


(2) 蒸汽过热的影响：与壁温  $T_w$  有关

当  $T_w > t_s$  时，无冷凝现象发生，与无相变对流相同。  
当  $T_w < t_s$  时，有冷凝现象发生。对于过热蒸汽，冷凝过程由冷却和冷凝串联组成，即  $r' = r + Cp(T_v - T_s)$ 。对液膜而言，传热推动力仍然是  $(T_s - T_w)$ ，通常将过热蒸汽按饱和蒸汽处理。

**(3) 蒸汽流速的影响**：当蒸汽流速较大时，要考虑蒸汽对液膜流动的影响。当两者同向流动时，蒸汽使液膜流动加快，从而降低膜厚，结果 $\alpha$ 增大。当两者逆向流动时，蒸汽将阻滞液膜的流动，使膜厚增加，结果 $\alpha$ 降低；但当蒸汽流速很大，将液膜吹飞，使部分壁面暴露于蒸中时， $\alpha$ 反而增大。

常把蒸汽入口放在换热器的上部，就是为了避免两者的逆向流动。



#### **(4) 强化措施**

减小热阻，降低液膜厚度。方法：尽快排走冷凝液、向滴状冷凝转化。