

大容器内水沸腾放热实验指导书



上海交通大学机械与动力工程学院
基础实验与创新实践教学中心

大容器内水沸腾放热实验

液体沸腾时的传热是传热学科中的重要方面，特别是水的沸腾传热特性，不仅有其典型性，而且有更广泛的使用意义。

一、实验目的及要求

通过本实验观察水在大容器内沸腾的现象，建立起水泡状沸腾的感性认识。改变试件的热负荷，同时测定加热功率及表面温度，即可绘制大容器内水泡状沸腾区的沸腾曲线 $q \sim \Delta t$ 。

二、基本原理

大容器沸腾换热系数 α 由下式定义：

$$\alpha = \frac{q}{(t_2 - t_s)} \quad \text{W} / (\text{m}^2 \cdot \text{K}) \quad (3.1)$$

其中： q —试件表面的热流密度， W/m^2 ；

t_2 —试件表面温度， $^{\circ}\text{C}$ ；

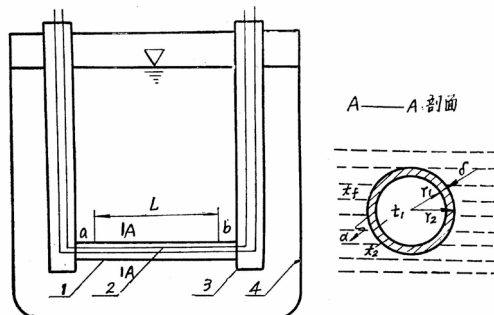
T_s —工作介质的饱和温度， $^{\circ}\text{C}$ 。

本实验装置所用的试件是不锈钢管，放在饱和温度状态下的蒸馏水中。利用电流流过不锈钢管对其加热，可以认为这样就构成了表面有恒定热密度的圆管。测定流过不锈钢圆管的电流及其两端的电压降即可确定表面的热流密度。表面温度的变化直接反映出表面换热系数的大小。

三、实验装置及测量系统

图3-1为实验设备的本体，其试件为不锈钢薄壁管1。其两端通过电极管3引入低压直流大电流，将不锈钢管加热。管子放在盛有蒸馏水的玻璃容器4内，在饱和温度下，调节电极管的电压，可改变管子表面的热负荷，能观察到汽泡的形成，扩大，跃离过程，泡状核心随着管子热负荷提高而增加的现象。

管子的发热量由流过它的电流及其工作段的电压将来确定。为排除试件端部的影响，在a、b两点测量工作段的电压降，以确定通过a、b之间表面的散热量 Q 。试件外壁温度 t_2 很难直接测定，对不锈钢管时间，可利用插入管内的铜—康铜热电偶2测出管内壁温度 t_1 ，再通过计算求出 t_2 （详见附录C）。

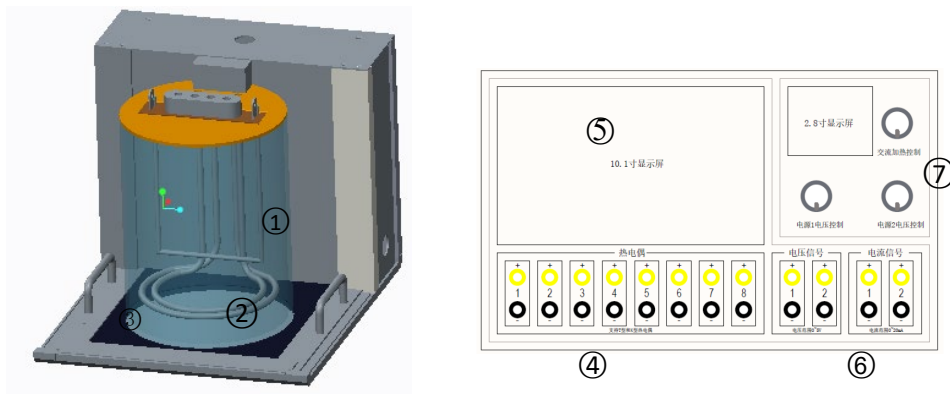


1. 不锈钢试件；2. 热电偶；3. 电极管；4. 玻璃容器；

图3-1 大容器内水沸腾放热试件本体

要达到上述基本要求，整个实验装置见图3-2。

加在管子两端的直流低压大电流由硅整流器2供给，改变硅整流器的电压可调节钢管两端的电压及流过的电流。测定标准电阻3两端的电压降可确定流过钢管1的工作电流。



1. 试件本体；2. 辅助加热器；3. 冷却水管；4. 温度采集通道；5. 温度电压显示屏
6. 电压采集通道；7. 0-100A电流调节模块

图3-2 大容器内水沸腾放热实验装置简图

本实验台中为方便起见，省略了冰瓶，测量管内壁温的热电偶的参考点温度不是摄氏零度，而是容器内水的饱和温度 t_s ，T型热电偶焊接在不锈钢管内壁，通过热电偶温度采集系统，直接读取不锈钢管内壁温度。K型热电偶插入蒸馏水中读取容器内水温度，同时插入一支水银温度计，以便校核K型热电偶读取的水温值是否准确。为使蒸馏水达到饱和温度，实验前先用辅助电热器2将水加热到沸腾，并在400W功耗下保持其沸腾状态，即可开始实验。

做泡状沸腾换热实验时，选用其中任何一种直径的不锈钢管皆可。

四、实验步骤

1. 准备与启动。按图3-2将实验装置测量线路接好，调整好电位差计，使其处于工作状态。玻璃容器内充满蒸馏水至4/5高度。接通辅助电热器，将蒸馏水烧开，并维持其沸腾温度。启动直流电源，逐渐加大工作电流。

2. 观察大容器内水沸腾的现象。

缓慢地加大管子的工作电流，注意观察下列的沸腾现象：在钢管的某些固定点上逐渐形成气泡，并不断扩大，达到一定大小后，气泡跃离管壁，渐渐上升，最后离开水面。产生气泡的固定点称为汽化核心。气泡跃离后，又有新的气泡在该汽化核心产生。如此周而复始，有一定的周期。随着管自工作电流增加，热负荷加大，管壁上汽化核心的数目增加，气泡跃离的频率也相应加大。如热负荷增大至一定程度后，能产生的气泡就会在管壁面逐渐形成连续的汽膜，就由泡态沸腾向膜态沸腾过渡。此时壁温会迅速升高，以至将管子烧毁。（因此，实验中工作电流不允许过高，以防出现膜态沸腾。）

表3.1 试件的几何参数

参 数	单位	试 件 编 号			
		1 [#]	2 [#]	3 [#]	4 [#]
管子内半径 r_1	mm				
管子外半径 r_2	mm				
管子壁厚 δ	mm				
工作段ab间长度L	m ²				
工作段外表面积 $F=2\pi r_2L$	m				
系数 $\xi = \frac{1}{4\pi L \lambda} \left(1 - \frac{2r_1^2}{r_2^2 - r_1^2} \ln \frac{r_2}{r_1}\right)$	°C/W				

3. 测定放热系数 α

为了确定放热系数 α ，需要测定下列参数

- (1) 容器内水的饱和温度 t_s ，°C；
- (2) 标准电阻两端电压降 V_1 ，mV；
- (3) 管子工作段ab间的电压降 V ，V；
- (4) 管内壁温度 t_1 。

为了测定不同热负荷下放热系数 α 的变化，工作电流在30——95安培范围内改变，共测7至8个工况。每改变一个工况，待稳定后记录上列数据。

4. 实验结束前先将硅整流器旋至零值，然后切断电源。

5. 必要时可调换不同直径的不锈钢管子，进行上述实验。

五、实验数据的计算和整理

1. 电流流过实验管，在工段ab间的发热量 Q ：

$$Q = I \times V \quad \text{W} \quad (3.2)$$

式中： V ——工作段ab间电压降，V；

I ——流过试件的电流，A

2. 试件表面热负荷 q ：

$$q = Q/F \quad \text{W/m}^2 \quad (3.3)$$

式中： F ——工作段ab间的表面积，m²

3. 管子外表面温度 t_2 的计算（详见附录C）

试件为圆管时，按有内热源的长圆管，其管外表面为对流放热条件，管内壁面绝热时，根据管内壁温度可以计算外壁温度：

$$t_2 = t_1 - \left(1 - \frac{2r_1^2}{r_2^2 - r_1^2} \ln \frac{r_2}{r_1}\right) = t_1 - \xi Q \quad (3.4)$$

式中： λ ——不锈钢导热系数， $\lambda=16.3\text{W}/(\text{m}\cdot\text{k})$ ；

Q ——工作段ab间的发热量，W；

L ——工作段ab间的长度，m；

$$\xi = \frac{1}{4\pi\lambda L} \left(1 - \frac{2r_1^2}{r_2^2 - r_1^2} \ln \frac{r_2}{r_1}\right) \quad \text{°C/W.}$$

ξ ——计算系数,

4. 泡态沸腾似的放热系数 α

在稳定情况下, 电流流过实验管发生的热量, 全部通过外表面由水沸腾放热而带走。

$$\alpha = Q/F\Delta t = q/(t_2 - t_1), \quad \text{W/(m}^2 \cdot \text{K)}. \quad (3.5)$$

六、实验报告要求及注意事项

实验报告要求:

1. 在方格纸上, 以 q 为纵坐标、 Δt 为横坐标将各实验点绘出, 并连成曲线
2. 将实验结果与罗逊瑙整理推荐的泡态沸腾热负荷 q 与温差 Δt 的关系式:

$$\frac{C_{pf}\Delta t}{r} = C_{sf} P_r^{1.7} \left\{ \frac{q}{\mu_l r} \left[\frac{\sigma}{g(\rho_1 - \rho_2)} \right]^{0.5} \right\}^{0.33} \quad (3.6)$$

进行比较, 分析讨论系数 C_{sf} 变化带来的影响。

3. 纸上绘制 $\alpha \sim \Delta t$ 曲线。

注意事项:

1. 预习实验报告, 了解整个实验装置各个部件, 并熟悉仪表的使用, 特别是电源温度采集系统, 必须按操作说明使用, 以免损坏仪器。
2. 为确保实验管不致烧毁, 工作电流不得超过100安培, 以防实验管及电源系统损坏。

表3.2 实验原始数据记录及参数计算

项目 序号	参数	符号及计 算公式	工况 单位	1	2	3	4	5	6	7	8
1	沸腾水饱和温度	t_s	°C								
2	试件ab间电压	V_2	mV								
3	管内壁温度	t	°C								
4	管子工作电流	I	A								
5	管子放热量	$Q=V \cdot I$	W								
6	管子外壁温度	$t_2 = t_1 - \xi Q$	°C								
7	管子表面热负荷	$q=Q/F$	W/m ²								
8	沸腾放热温差	$\Delta t = t_2 - t_1$	°C								
9	水沸腾放热系数	$\alpha = Q/F\Delta t$	W/(m ² · °C)								

所用实验管编号:

实验管直径: $D_2 =$ 系数: $\xi =$ 工作段长度: $L =$

最大允许工作电流: $I_{\max} =$ 工作段表面积: $F =$