

# 沸腾液体的平衡温度的研究<sup>\*</sup>

翁荣周 蔡 晓 陈 峥

(华侨大学化工与生化工程系, 泉州 362011)

**摘要** 研究恒热流壁面条件下沸腾液体的平衡温度问题, 得到了沸腾液体饱和温度与热流率, 沸腾液体质量和换热面等因素的关系, 理论研究结果与实验结果一致.

**关键词** 沸腾换热, 饱和温度, 饱和水

**分类号**

关于恒壁面温度下的自由沸腾问题已有很多的研究, 文 [1, 2] 给出了典型的  $q-T_w$  曲线, 该曲线表明, 随着热流的增加, 壁温也相应加大. 但后来多次实验发现<sup>[3]</sup>, 汽泡在生成过程中壁温不能保持常数, 这是由于当汽膜蒸发过程中, 需要从壁面取得热量, 因而壁面温度不可能保持不变. 恒热流壁面条件往往作为一个自控条件在工业生产中遇到, 如电极中的放热问题, 核控制中铀棒能量的释放问题等, 但恒热流壁面条件沸腾换热问题却研究的较少. 本文从实验和理论分析两种角度出发, 研究了恒热流壁面条件下沸腾液体的温度响应和沸腾液体的平衡温度问题.

## 1 实验装置及实验方法

原则性试验装置如图1所示. 容器内装置一定量的液体, 底部设有主加热器, 其功率由功率表测出. 为防止主加热器从底部散热, 在主加热器下面设有辅助加热器; 容器侧壁裹有绝热材料, 以防容器侧壁散热; 容器中装有搅拌器, 使液体温度均匀, 液体中在不同位置布有热电偶测定其温度. 实验时, 在某一主加热器功率下, 调整辅助加热器, 使主加热器与辅助加热器温度均匀, 两加热器之间没有传热.

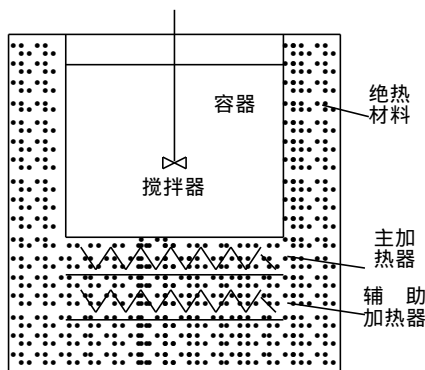


图1 实验装置图

## 2 数学模型及数值解

考虑装有质量为  $M_0$  的液体容器底部有一恒定热流  $q$  对该液体进行加热. 假设容器底部面积为  $F$ , 容器侧壁绝热, 顶部敞开, 液体沸腾后所形成的饱和蒸汽可自由从顶部离开流入大气中.

当液体沸腾后, 根据能量平衡, 在单位时间内, 从容器底部加入液体的热量应等于液体的内能变化和从容器顶部溢出的饱和蒸汽所带走的能量两部分之和, 即

$$qF = M_1 C_p \frac{dt}{d\tau} + \lambda \frac{dM_2}{d\tau}. \quad (1)$$

根据质量平衡, 容器中饱和水的质量等于液体总质量减去汽化溢至大气中的质量, 故有

$$M_1 = M_0 - M_2, \quad (2)$$

式中  $q$  是热流率 ( $\text{kJ m}^{-2} \text{s}^{-1}$ ),  $F$  是底部面积 ( $\text{m}^2$ ),  $M_0$  是容器中液体总质量 ( $\text{kg}$ ),  $M_1$  是沸腾液体质量 ( $\text{kg}$ ),  $M_2$  是饱和汽质量 ( $\text{kg}$ ),  $C_p$  是沸腾液体比热 ( $\text{kJ kg}^{-1} \text{s}^{-1}$ ),  $\lambda$  是液体汽化潜热 ( $\text{kJ kg}^{-1}$ ),  $t$  是沸腾液体温度 ( $^{\circ}\text{C}$ ),  $\tau$  是时间 ( $\text{s}$ ).  $M_1$ ,  $M_2$  和  $t$  均是未知数, 故需补充第3个方程, 这可通过换热机理确定.

由于液体温度的升高, 饱和水过热度加大, 根据热力学规律, 汽化核心半径减少, 因此单位面积汽化的质量  $M_2$  增加. 另一方面, 在某一温度下, 单位面积上有一确定的汽化核心数. 随着时间的增加, 汽化的质量  $M_2$  也增加, 故  $M_2$  应是沸腾水温度 and 时间的函数, 我们可以认为

$$M_2 = aF\tau(t - t_s), \quad (3)$$

式中  $a$  是比例因子, 由实验数据确定. 根据文 [6] 数据,  $a$  等于  $0.815 \times 10^3$ , 将式 (2), (3) 代入式 (1), 整理得恒热流壁面条件下液体温度响应的控制方程

$$\frac{dt}{d\tau} = \frac{qF - aF\lambda(t - t_s)}{M_0 C_p + aF\tau C_p t_s + aF\tau(\lambda - C_p t)}, \quad (4)$$

方程 (4) 可进行数值求解, 由于篇幅关系, 数值方法和计算程序从略.

### 3 结果及讨论

本文以  $q$ ,  $M_0$  和  $F$  为参变量, 求得各种不同情况下沸腾液体温度响应曲线和平衡温度. 图2为  $q$ ,  $M_0$  和  $F$  一定时, 沸腾水温度随时间的变化关系; 图3为  $q$ ,  $F$  一定时, 液体达到平衡温度所需时间  $\tau_B$  与总质量  $M_0$  的关系; 图4为  $M_0$ ,  $q$  一定时, 达到液体平衡温度时间  $\tau_B$  与换热面  $F$  的关系.

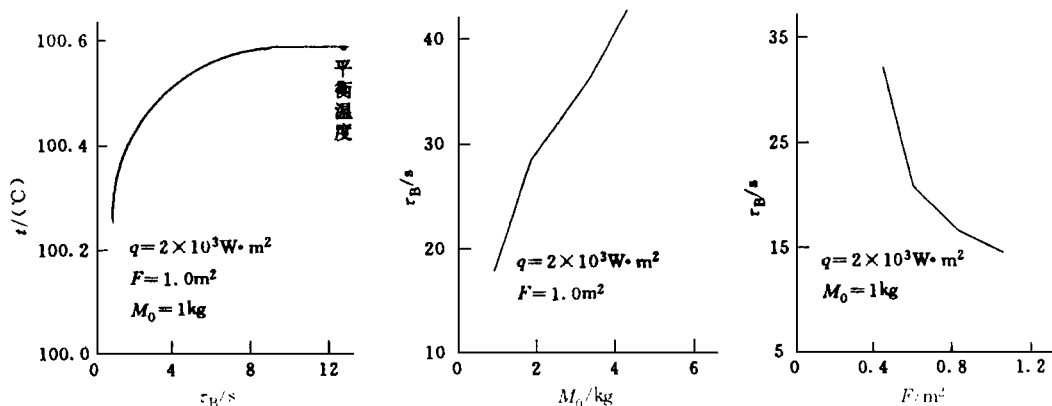


图2 沸腾水温度与时间关系 图3 平衡时间与总质量关系 图4 平衡温度时间与换热面关系

由图2可知, 随着时间的增加, 沸腾液体温度也增大, 但温度增加逐渐平缓, 最后达到一个

平衡温度. 图中实验的平衡温度值与本文计算值及文[6]给出的 $0.4 \sim 0.8$ 吻合得很好; 由图3可知, 随着  $M_0$  的增加, 液体达到平衡温度所需的时间也增大; 而由图4可知, 随着  $F$  的增加, 达到液体平衡温度时间减少, 这是因为换热面增大, 加热沸腾液体的总热量增加的缘故.

## 4 结论

通过上面的计算和实验结果, 我们可以得出如下结论: 在壁面恒热流条件下, 大容积自由沸腾时, 沸腾液体温度一般高于饱和温度. 而高出多少则取决于热流、加热面积和液体质量等因素. 本文计算及实验沸腾水温度比饱和水温度高 $0.5 \sim 1.0$  之间.

沸腾时沸腾液体的温度高于饱和温度, 除沸腾时需要有一定的过热度外, 还因为在恒热流壁面条件下, 从壁面来的热量除了一部分消耗于汽化液体的汽化潜热上, 剩余部分加热尚未汽化的沸腾液体, 使沸腾液体温度升高. 但随着沸腾液体的温度升高, 消耗于汽化部分的热量增大, 而消耗于加热沸腾液体的热量减少, 因此, 使沸腾温度最后趋于一个恒定值.

## 参 考 文 献

- 1 Tong L S. Boiling heat transfer and two-phase flow. New York: Robert E. Krieger Publishing Company, 1975. 2
- 2 科利尔 J G. 对流沸腾和凝结. 魏先英译. 北京: 科学出版社, 1982. 137
- 3 天津大学, 上海化工学院编. 化工传递过程. 北京: 化学工业出版社, 1980. 197 ~ 198

# A Study of Balance Temperature of Boiling Fluid

Weng Rongzhou      Cai Xiao      Chen Zheng

(Dept. of Chem. & Biochem. Eng., Huaqiao Univ., 362011, Quanzhou)

**Abstract** From the angles of experiment and theoretical analysis, a study is made on the temperature response of boiling fluid under the condition of constant wall heat flow. The authors obtain the relation between the saturation temperature of boiling fluid and such factors as heat flow rate, mass of boiling fluid and surface of heat transfer. The results of theoretical study coincide with those from experiment.

**Keywords** heat transfer of boiling fluid, saturation temperature, saturation water