

两相区放汽过程的热力学分析与试验

吴沛宜 孙实文 王毓清
(西安交通大学)

一、引言

两相区放汽过程在工程实际中常会遇到,例如,利用太阳能或低温余热的沸石吸附式制冷机^[1,2],低温工程中的西蒙氨液化器^[3],以及核工程和低温液体输送^[4]等方面。本文以平衡态为前提,运用变质量热力学原理,导出两相区放汽过程中排放汽量与系统温度下降的一般关系式,进而对水和氨,给出各自的具体计算式。这些公式简便明瞭,便于实际使用。此外,还进行了水在两相区放汽过程的观察和试验。

二、理论分析

两相区放汽的物理模型如图1所示,控制容积为一个典型的变质量热力系统,在微元放汽时间内传入系统的热量包括外界热负荷 δQ 、导热量 δQ_c 和容器吸热量 δQ_M 。系统的能量平衡方程为

$$\delta Q + \delta Q_c + \delta Q_M = dU + h_c dm_c \quad (1)$$

因为 $h_c = h''$; $dm_c = -dm = -d(m' + m'')$
 $V = m'v' + m''v''$; $dU = d(m'u' + m''u'')$

代入方程(1),经整理后得到以下微分方程

$$dm/dt + mF_1(t) = VF_2(t) + KF_3(t) \quad (2)$$

其中 $f_1(t) = (v''u' - v'u'')/(v'' - v')$
 $f_2(t) = (u'' - u')/(v'' - v')$
 $f_3(t) = h'' - f_1(t)$ } (3)

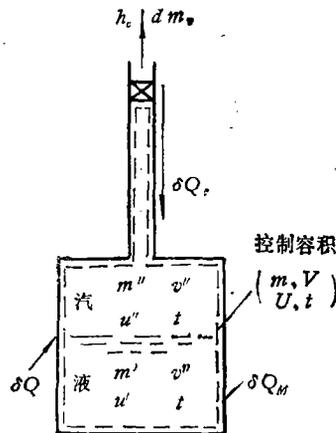


图1 物理模型

本文曾在1985年10月在苏州召开的中国工程热物理学会第五届年会上宣读。

$$\left. \begin{aligned} F_1(t) &= [df_1(t)/dt]/f_3(t) \\ F_2(t) &= [df_2(t)/dt]/f_3(t) \\ F_3(t) &= 1/f_3(t) \end{aligned} \right\} \quad (4)$$

$$K = -(\delta Q_c/dt + \delta Q_M/dt + \delta Q/dt) \quad (5)$$

方程(2)为一阶变系数非齐次微分方程,其解为

$$m = Rg_1(t) + Vg_2(t) + Kg_3(t) \quad (6)$$

其中

$$\left. \begin{aligned} g_1(t) &= \exp \left\{ \int F_1(t) dt \right\} \\ g_2(t) &= g_1(t) \int [F_2(t)/g_1(t)] dt \\ g_3(t) &= g_1(t) \int [F_3(t)/g_1(t)] dt \end{aligned} \right\} \quad (7)$$

$$R = [m(t_0) - Vg_2(t_0) - Kg_3(t_0)]/g_1(t_0) \quad (8)$$

以上符号 f 、 F 和 g 都是温度的单值函数。 t_0 为初温。式(6)就是一般式,右边三项分别反映了初态、容积和热负荷的影响。需要指出,对于吸附式制冷机中汽冰共存区放汽,只要用饱和冰参数 u_s 和 v_s 替代式(3)中 u' 和 v' 即可(这时用 f_s 表示之);对于汽冰水三相共存区放汽,可以求得^[7]

$$m_{02} = \{m_{01}f_3(t) - [f_{2s}(t) - f_2(t)]V - Q\}/f_{3s}(t) \quad (9)$$

其中 m_{01} 和 m_{02} 为三相共存区始末时刻系统的质量, Q 为这一期间总热负荷。

三、水和氨在两相区放汽过程的计算式

物性数据由文献[5]和[6],按式(3)、(4)、(7)求得,计算式如下:

水:

$$t = 50^\circ\text{C} \sim 0.01^\circ\text{C}$$

$$g_1(t) = 0.99878 + 0.0018328t$$

$$g_2(t) = -3.1198 \times 10^{-2} + 3.6145 \times 10^{-3}t \quad (\text{g/l})$$

$$g_3(t) = -1.6186 \times 10^{-4} + 4.1958 \times 10^{-4}t \quad (\text{g} \cdot ^\circ\text{C}/\text{J})$$

$$t = 0.01^\circ\text{C} \quad (\text{汽水冰三相共存})$$

$$m_{02} = 0.88240m_{01} + 5.7061 \times 10^{-4}V - 3.5274 \times 10^{-4}Q$$

$$t = 0.01^\circ\text{C} \sim -40^\circ\text{C}$$

$$g_1(t) = 0.99961 + 6.7942 \times 10^{-4}t$$

$$g_2(t) = -1.895 \times 10^{-3} - 3.622 \times 10^{-5}t \quad (\text{g/l})$$

$$g_3(t) = -2.323 \times 10^{-6} + 3.5217 \times 10^{-4}t \quad (\text{g} \cdot ^\circ\text{C}/\text{J})$$

氨:

$$t = 5.2\text{K} \sim 3.8\text{K}$$

$$g_1(t) = 0.75377 + 0.11704t$$

$$g_2(t) = -0.096613 + 0.0058427t \quad (\text{g/l})$$

$$g_3(t) = -0.51613 + 0.38793t \quad (\text{g} \cdot \text{K}/\text{J})$$

四、试验

试验系统如图2所示。试验容器 $D = 50 \text{ mm}$, $L = 50 \text{ mm}$,用有机玻璃制成,内装有四根铜-康铜热偶,置于不同的位置上,外用泡沫塑料绝热后放入杜瓦瓶。用天平秤出容器

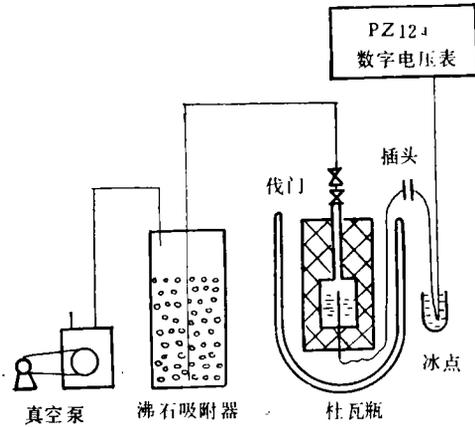


图2 试验系统

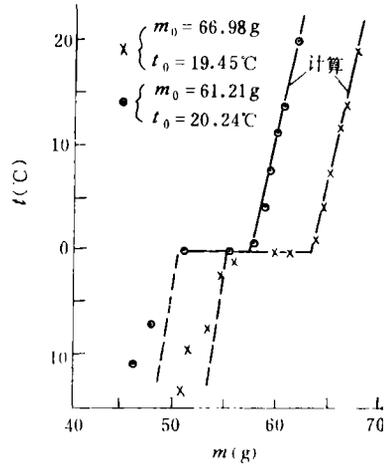


图3 试验结果

总重量的减少(即为放出的汽量),天平的最小感量为 0.015g。初步的试验结果示于图 3。

观察发现,一般情况下由沸石抽吸水蒸汽的放汽过程是蒸发冷却过程。在抽汽的情况下,容器内温度并不均一,上部较高,下部较低。实际的结冰过程是在测温读数(抽汽情况下)降低到 -4°C — -5°C 左右时的一瞬间发生的,而且是整个水空间一下子变成了冰块,相应的温度读数也一瞬间返回到三相点温度。但以后容器内上下温度又不均一。直到 -6°C 左右后,整个温度才基本均一。因此,进一步工作有必要结合传热传质过程研究实际的动态过程。

参 考 文 献

- [1] 严爱珍等:“沸石分子筛吸附式制冷”,制冷学报, No. 1, (1983)。
- [2] 吴 键等:“沸石分子筛制冷循环的分析及实验研究”,工程热物理学报, No. 4, (1985)。
- [3] 吴沛宜、马元:《变质量系统热力学及其应用》,高等教育出版社,(1984)。
- [4] F. J. Moody: “Maximum Two-Phase Vessel Blowdown from Pipes”, ASME Trans., 88c, 3, (1966), p. 285.
- [5] Keenan et al: “Steam Tables” N. Y. Wiley-Interscience, (1978)。
- [6] “氟低温物性表”,美国 NBS-TN-154, 沈裕浩译,国外深冷杂志编辑组印,(1979)。
- [7] 吴沛宜等:“两相区放汽过程的热力学分析与试验”,中国工程热物理学会第五届年会论文,苏州,(1985)。

A THERMODYNAMIC ANALYSIS AND TEST FOR THE DISCHARGE OF VAPOR IN TWO-PHASE REGION

Wu Peiyi Sun Shiwen Wang Yuqing

(Xian Jiaotong University)

Abstract

Using thermodynamics of variable mass systems, a general relation between the discharge amount of vapor and the temperature decrease of system during discharge process in two-phase region is derived. Two calculation formulas for steam and helium discharge are given respectively. A test for the discharge of steam in two-phase region are shown in the paper also.