

两相流动特性研究

俞大邦 贾衡 王世洪

张孝暘

(北京工业大学热能工程学系)

(扬州市职工技协交流站)

【摘要】 建立了用于毛细管两相流实验研究的模拟实验台, 分析了制冷剂 $F-11$ 在毛细管中的两相流动特性, 进行理论计算, 给出了毛细管流量和有关物理量之间的特性曲线, 实验结果与理论计算的误差为15%, 可作为空调与制冷设备设计时参考。

关键词: 两相流动, 毛细实验, 特性曲线

毛细管作为空调和制冷设备中的节流装置, 具有结构简单、成本低、没有运动部件和运行可靠的优点, 使用毛细管的设备不需要制冷剂贮藏, 这样可减少灌装制冷剂的量; 停机后, 高压、低压端容易达到压力平衡以致压缩机容易启动。使用的毛细管在一定范围内能自动调节, 因此毛细管被广泛地应用在中小型空调与制冷设备中。蒸汽压缩制冷装置主要由4个部分组成: 压缩机、冷凝器, 蒸发器和节流装置。为了使设备正常而又经济地运转, 除了使压缩机、蒸发器和冷凝器的生产率相匹配外, 还必须使节流阀的工作特性与压缩机、蒸发器和冷凝器的工作特性相适应。因此, 作为节流阀的毛细管的性能将对其它部件的性能产生直接影响。在非设计工况条件下, 毛细管会使制冷系统的特性恶化, 制冷能力和实际制冷系数下降。而毛细管的工作特性在很大程度上取决于所使用的制冷剂。这样, 选择一种合适的制冷剂以便使系统能够可靠而又经济地运行便显得十分重要。目前的情况是两种制冷剂 $F-12$ 和 $F-22$ 被广泛地使用在中小型空调和制冷设备中并习惯被认为是理想的制冷剂, $F-11$ 是否可能是更适合于通常所使用的制冷设备呢? 但目前设计使用制冷剂 $F-11$ 的毛细管缺乏完整的实验数据、参考资料、图表和可靠的经验公式。基于上述原因, 本文建造了一个用于进行毛细管两相流特性实验研究的模拟实验台, 通过实验, 给出了有关的一些特性曲线。

1 实验方法和条件

1.1 实验研究和测量

本文提出的实验台模拟了在通常的空调与制冷设备中的毛细管运行条件, 见图1。图中, 毛细管17连接一个高压容器5'和一个低压容器5'', 它们相当一个冷凝器和一个蒸发器。高压容器5'中的温度和压力作为毛细管进口前的状态参数, 通过压力泵13和一个加热器18调节; 低压容器5''中的压力作为毛细管背压通过真空泵4调节; 高低压分别用压力表8'和8''以及压力传感器9和9'测量; 它们的温度分别用温度计10和10'以及温度传感器11和11'测量; 毛细管流量使用流量计12和12'以及量筒6测量。用传感器测得的物理量被转换成电量, 通过微机处理后直接被显示和打印。所有的用电设备连续可调, 所以泵的流量和加热功率可以控制。

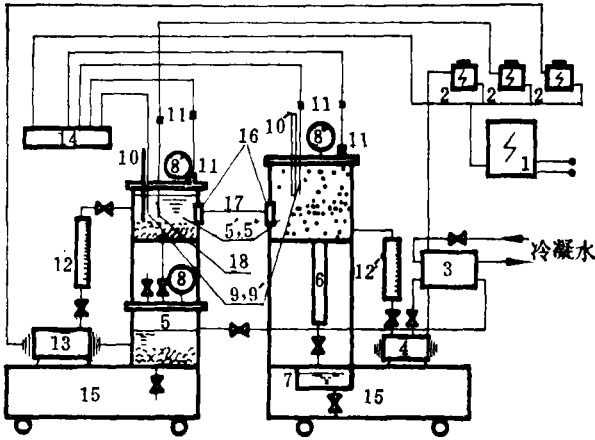


图1 毛细管模拟实验台

1.2 实验原理和方程

毛细管是一种等截面为 A 的细管, 一般情况下, 它的内径在0.6mm与2.5mm之间, 而分子平均自由程 l 大约为 10^{-3} mm, 根据准则 $kn=l/D \sim 10^{-3}$, 则毛细管中制冷剂的流动规律应遵循一般连续介质流体力学规律。

当流动是稳定的并且假定为绝热, 则有:

$$W = G/A = \rho V \quad (1)$$

式中 G 为流量, ρ 为密度, V 为速度。

因为 $W = \text{const}$, 则

$$d\rho/\rho + dV^2/V^2/2 = 0 \quad (2)$$

从毛细管中取一无限小流体微元分析, 我们得到:

$$-Adp - \tau_w dA_w = GdV \quad (3)$$

式中 A_w 为剪应力作用的壁面积, τ_w 为剪应力。

注意到摩擦系数 $f = 2\tau_w/(\rho V^2)$; 水力直径 $D = 4A/(dA_w/dL)$, 把(1)或与(2)式, f 和 D 代入(3)式, 则得:

$$dp = -4f\rho V^2 dL/2/D - GdV/A \quad (4)$$

对(4)式求积分:

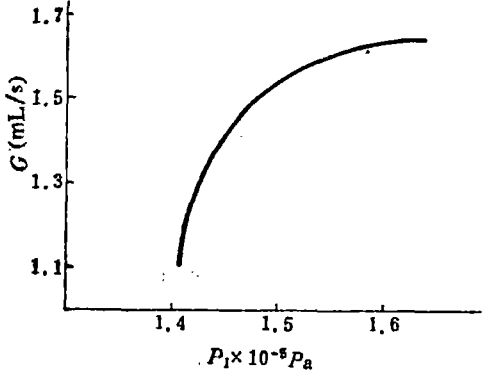
$$\int_{P_{01}}^{P_{02}} dp = -2/D \int_0^L f\rho V^2 dL - G/A \int_{V_1}^{V_2} dV \quad (5)$$

式中 p_{01} 、 p_{02} 为进出口压力。

(5)式右边第二项仅表示用于流体加速的压力降, 而方程右边第一项则表示用于消耗摩擦上的压力降。根据毛细管内制冷剂的状态, 一根毛细管可以被分成两部分, 第一部分是单纯的液相段, 第二部分是两相流动段。在第一部分 $dV=0$, 因此总压降仅消耗在摩擦阻力上。一般情况下, 空调或制冷设备设计给出冷凝器出口和蒸发器进口的压力和温度, 这时对于给定的毛细管的流量 G 是确定的。如果我们能找到函数关系 $f(L)$ 、 $\rho(L)$ 和 $V(L)$, 然后把把这些关系代入(5)式, 很容易确定 G 。关键问题是 f 取决于 Re 数和相对粗糙度 e/D , 因此, 在目前情况下, 找出解析关系 $f(L)$ 、 $\rho(L)$ 和 $V(L)$ 几乎是不可能的。数值法是可行的, 但需要求解 f 的经验公式。最好的方法是实验, 根据方程(5)及分析, 可以知道, 在方程(5)中存在7个相互独立的变量, 即 G 、 p_{01} 、 p_{02} 、 t_{01} 、 D 、 e 和 L (对于某一种制冷剂而言)。因此, 当毛细管的几何参数一旦确定, 即 e 、 L 和 D 确定, 在 p_{01} 、 p_{02} 和 t_{01} (进口温度)给出后, G 是唯一的。

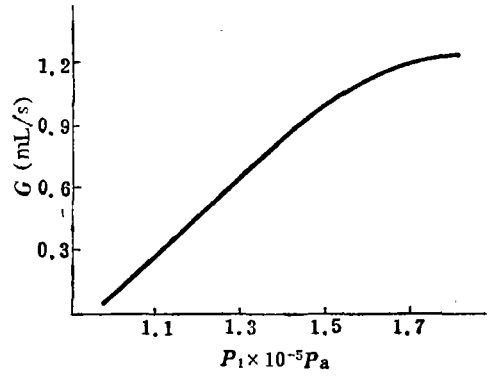
2 实验结果和分析

实验指出, 的确毛细管的流量取决于毛细管前的状态, 即 p_1 (进口前压力), 和 t_1 (进口前温度), 以及毛细管的出口压力 p_{02} (当未达到临界状态时, $p_{02} = p_2$), 图2和图3



$L=200\text{mm}, \quad d=1.2\text{mm}$
 $\Delta t_L=2.0^\circ\text{C} \quad P_2=9.81 \times 10^4\text{Pa}$

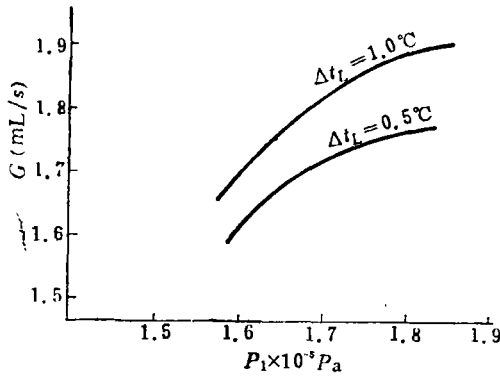
图 2



$L=250\text{mm}, \quad d=0.5\text{mm}$
 $\Delta t_L=3.8^\circ\text{C} \quad P_2=1.01 \times 10^5\text{Pa}$

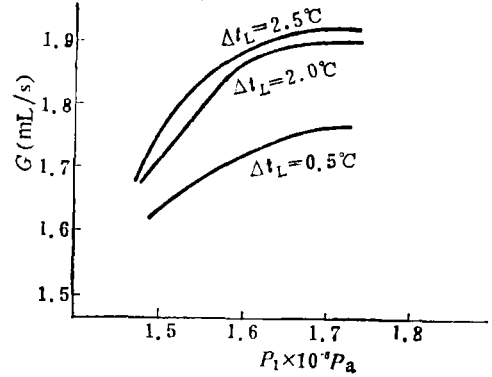
图 3

指出当其它 5 个量不变 G 和 p_1 的关系。当 p_1 增加，流量随之增加。图 4 和图 5 表示了当 L 、 D 、 e 和 p_2 (背压) 为常数时，对于不同的过冷度 Δt_L ($\Delta t_L = t_s - t_1$)、 G 和 p_1 之间的关系曲线，见图 4 和图 5。



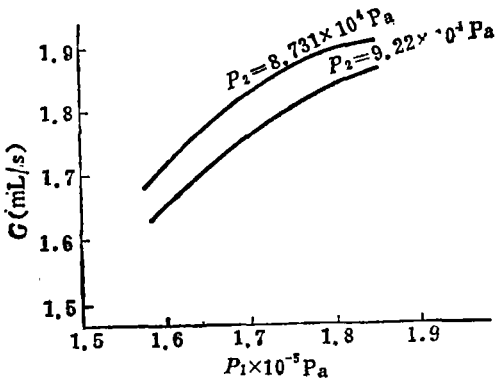
$L=250\text{mm}, \quad d=1.2\text{mm}$
 $P_2=8.731 \times 10^4\text{Pa}$

图 4



$L=200\text{mm}, \quad d=1.2\text{mm}$
 $P_2=7.85 \times 10^4\text{Pa}$

图 5



$L=250\text{mm}, \quad d=1.2\text{mm}$
 $\Delta t_L=1.0^\circ\text{C}$

图 6

很明显，当其它参数不变，流量 G 随着过冷度 Δt_L 的增加而增加。

图 6 给出了当其它独立量为常数时，对于不同的背压、流量 G 和压力 p_1 之间的关系曲线，背压愈高，流量愈小（所有上述情况都是未达到临界流量）。当流量 G 达到临界值时，改变背压（在一定范围内）并不能改变流量 G 。从实验我们还发现，毛细管后的温度一般对流量 G 没有影响。

本文通过毛细管两相流动方程 (5) 对毛细管两相流动进行了数值计算，并进行了数值计算与实验结果的比较，见表 1。

表1 数值计算与实验结果比较 (F-11)

	e/D	G Kg/s	P_1 10^5 Pa	P_2 10^5 Pa	Δt_L °C	D mm	L mm	L' mm
1	0.005	2.41×10^{-3}	1.54	0.706	1.39	1.2	200	233
2	0.0015	0.817×10^{-3}	1.82	1.01	2.46	0.7	250	213

比较结果指出：当其它条件相同，实验用毛细管长度与数值计算得到的毛细管长度具有较大的偏差。表1中 L' 是数值计算长度， f 通过下述方程求得（经验公式）：

$$f = 0.001375[1 + (20000e/D + 10^6/Re)^{1/3}] \dots \dots \text{液相段}$$

$$f = 0.33/Re^{0.25}/4 \dots \dots \text{双相段}$$

从表1，我们可看到长度误差为15%左右。

3 结论

1. 本文提出的用于毛细管两相流动模拟实验的模拟实验台是可行的。
2. 毛细管两相流动理论计算与实验结果存在较大的误差，仅能作为参考。
3. 本文的研究结果，可以为空调与制冷设备的设计提供参考。

参 考 文 献

- [1] Shapiro. The Dynamics and Thermodynamics of Compressible Fluid Flow. New York: The Ronald Press Company, 1953: 164~166
- [2] American Society of Heating, Refrigerating, and Air-Conditioning Engineers. ASHRAE Handbook and Product Directory, Equipment Volume. Atlanta: ASHRAE, 1979
- [3] Cooper L, Chu C K, Briskin W R. Simple Selection Method for Capillaries Derived from physical Flow Conditions. Refrig Eng, 1957; 65(7): 37
- [4] Whitesel H A. Capillary Two-Phase Flow. Refrig Eng, 1957; 65(4): 42
- [5] Whitesel H A. Capillary Two-Phase Flow, Refrig Eng, 1957; 65(9): 35
- [6] Stoecker W F, Jones J W. Refrigeration and Air Conditioning, 2nd ed, New York: McGraw-Hill book Company, 1982: 284~293

Characteristic Study of Two-Phase Flow

Yu Dabang Jia Heng Wang Shihong

(Department of Thermal Engineering of Beijing Polytechnic University)

Zhang Xiaoyang

(Yangzhou Employee Technical Cooperation and Communication Center)

【Abstract】 This paper presents a simulating experimental stand for the study of capillary experiment and the analysis of two-phase flow characteristics of refrigerant F-11 (freon-11) in a piece of capillary. Based on the basic differential coupled equations and the experiment, the function curves about the transportation capacity and the relative physical measures are given. A comparison is made between the theoretic calculation and the experiment results of capillary two-phase flow at the same.

Key words: two-phase flow, capillary experiment, characteristic curve.

热能工程系积极参与国内外召开的国际学术会议

1983年以来,热能工程已先后参加了10个国际学术会议,发表了英文论文19篇.其中包括东京第四层计算机应用于环境工程国际会议、上海国际建筑设备会议、重庆国际相变传热会议、广州国际强化传热节能会议、北京国际传热会议、西安国际多相流传热会议以及在南斯拉夫召开的第一届实验传热流体热力学会议等.仅1989年8~9月在南斯拉夫召开的第二届世界供热通风制冷空调会议,热能系空调教研室就有5篇论文同时被接受.而在1989年8月在香港召开的第四届亚洲流体力学会议上,热能系共有4篇论文被接受,系副主任马重芳同志应聘担任会议传热量分会主席.