

高压汽水两相流孔板测量的研究*

刘尧奇 陈听宽 陈学俊

(西安交通大学)

本文通过理论分析推导出一个计算两相流孔板压降的公式,可以方便地应用于高压汽水两相流流量和干度的单参数测量。公式计算结果与我校高压汽水试验回路上得到的试验数据吻合良好,试验压力为5.9~13.7MPa。

一、理论分析和推导 两相流体流过孔板是一个变截面流动过程(如图1所示),其实际的流动通道类似于一个Laval喷管。对于这样的流动结构,根据有关流体力学理论和知识,我们可以得到如下近似结果(详细分析及推导见文献[1]):

$$\Delta p_{tp} = \rho_h w_c^2 / 2 - \rho_h w_1^2 / 2 \quad (1)$$

其中, $\rho_h = \rho_l [1 + x(\rho_l / \rho_g - 1)]^{-1}$, Δp_{tp} 即为孔板角接取压两相压降; w_c 、 w_1 分别为截面 c-c 和 1-1 处的流速; ρ_l 、 ρ_g 、 ρ_h 分别为液相、气相及均相密度; x 为干度。

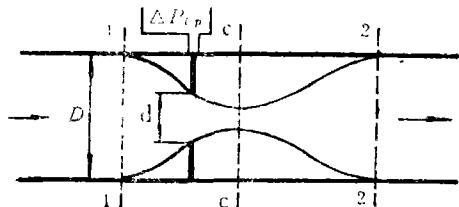


图1 两相流体流过孔板

由质量守恒方程求得 w_c 、 w_1 , 并采用 Chisholm 提出的收缩比计算式^[2], 同时考虑到流体可压缩性对两相流体流过孔板的特性有较大影响, 引入可压缩性影响修正系数 K , 则式(1)可转变为:

$$\Delta p_{tp} = KM^2 f(m) [1 + x(\rho_l / \rho_g - 1)] / (2\rho_l A_d^2) \quad (2)$$

$f(m) = [0.639(1 - m)^{1/2} + 1]^2 - m^2$, m 为孔板截面比, M 为流量; A_d 为孔板开孔面积。

对汽水两相流而言, 压力显然是影响其可压缩性的最主要参数, 因此取修正系数 K 为临界约化压力 p/p_c 的函数(图2), 即: $K = f(p/p_c)$, 式中, p_c 为临界压力。该式由试验数据确定。

显然, 式(2)一经确定, 如已知 Δp_{tp} 、 M 及 x 三参数中任两个, 即可方便地求得另一个。

二、试验系统 高压汽水试验回路工质流程如图3所示。试验系统的流量通过用阀 a 调节旁路的流量来调节, 压力用出口节流阀 b 调节, 二阀配合调节维持压力和流量不变。加热段采用交流电直接加热。流量用经过标定的孔板测量; 压降及电加热功率分别用信号变送器输入计算机数采系统采集; 压力用标准压力表测量; 工质温度用铠装 Cr-Si 热电偶测量; 干度由热平衡计算而得。

试验用孔板按国标 GB2624-81 设计加工, 用法兰接入水平直管并采用角接取压。试

* 贵岫庄、郑建学等同志参加了试验工作。

本文曾于1987年10月在四川峨眉召开的中国工程热物理学会传热传质学术会上宣读。

验管内径 0.021m, 孔板孔径 0.015m, 截面比 0.5102。本文还引用文献[3]的数据, 其试验管内径 0.032m, 孔板孔径 0.016m, 截面比 0.25。

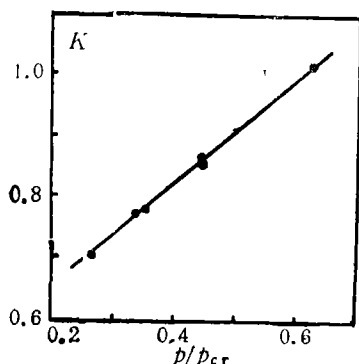


图2 K 与 p/p_{cr} 的关系

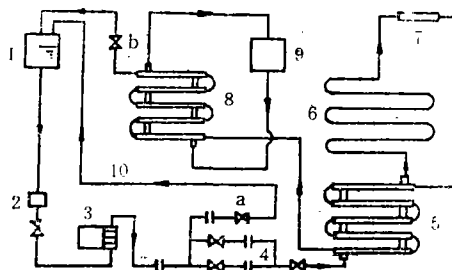


图3 高压汽水试验回路

1—水箱 2—过滤器 3—柱塞泵 4—流量孔板 5—换热器 6—加热段 7—试验段 8—冷凝器 9—冷却塔 10—旁路 a、b—调节阀

三、试验结果及讨论 试验参数范围为: 压力 $p = 7.3 \sim 13.7\text{MPa}$, 流量 $M = 0.1663 \sim 0.4991\text{kg/s}$, 干度 $x = 0.027 \sim 0.881$ 。文献[3]中, $p = 5.9 \sim 9.8\text{MPa}$, $M = 0.0872 \sim 0.5517\text{kg/s}$, $x = 0.235 \sim 0.997$ 。

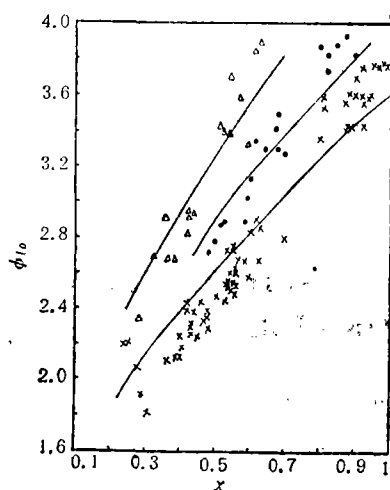


图4 文献[3]数据及其与计算结果比较
△ 5.9MPa, ● 7.8MPa × 9.8MPa,
——本文公式

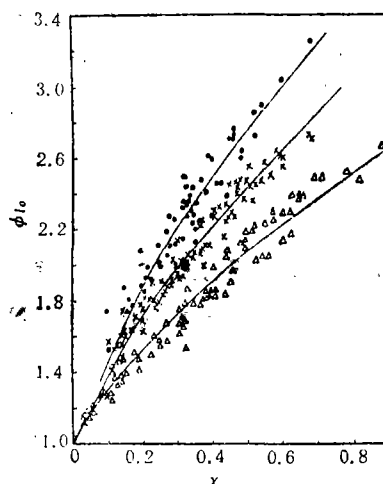


图5 试验结果及其与计算结果比较
● 7.3MPa, × 9.8MPa △ 13.7MPa,
——本文公式

为便于与其他公式比较, 将试验结果整理为全液相两相压降倍率 ϕ_{10} 与干度 x 的关系, 如图4、图5所示。这里,

$$\phi_{10} = (\Delta p_{tp} / \Delta p_{10})^{1/2} \quad (3)$$

其中, 全液相压降 $\Delta p_{10} = M^2 / (2\alpha^2 A_d^2 \rho_l)$ 。式中 α 为单相水孔板流量系数。在本试验范

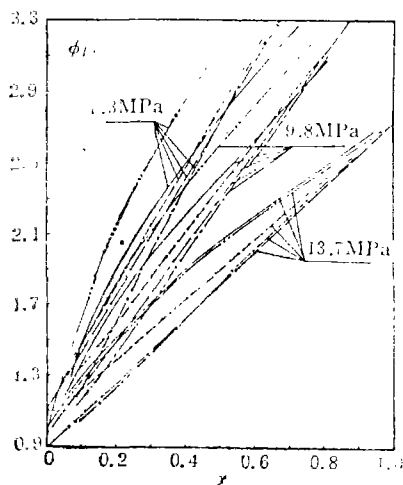


图6 本文公式与其他公式比较

····· 均相模型, ---- James 式,
- · - · - Lin 式, ---- Chisholm 式, — 本文公式

四、结论 本文经理论推导及试验修正所得孔板两相流压降计算式,可方便地应用于高压汽水两相流流量及干度的测量。在 5.9~13.7 MPa 的压力范围内,以蒸汽-水为工质的试验结果与本文公式计算结果符合良好。更宽广参数范围的试验及进一步的理论研究工作正在继续进行。

参 考 文 献

- [1] 刘尧奇,陈昕宽,陈学俊:“高压汽水两相流孔板测量的研究”,中国工程热物理学会传热传质学术会议,峨眉, (1987.11.).
- [2] Chisholm, D.: «Two-Phase Flow in Pipelines and Heat Exchangers», Longman Inc., New York, (1983).
- [3] 王栋:“笛形管、孔板的双相流特性及其在流量和干度测量中的应用”,西安交通大学硕士学位论文, (1985).

HIGH PRESSURE STEAM-WATER TWO-PHASE FLOW MEASUREMENT WITH ORIFICE

Liu Yaoqi Chen Tingkuan Chen Xuejun
(Xi'an Jiaotong University)

Abstract

On the basis of theoretical analysis and experimental studies, this paper presents a formula for calculating twophase flow pressure drop through orifice. It can be conveniently applied to the measurements of high pressure steamwater two-phase flow mass flow and steam quality. In the experimental range of pressures from 5.9 to 13.7 MPa, mass flows from 0.0872 to 0.5517 kg/s, steam qualities from 0.027 to 0.997, and flow area ratios of orifice with pipe from 0.25 to 0.5102, the formula can coincide well with experimental data.

围内, 标定得所用孔板流量系数 $\alpha = 0.7397$. 文献[3]中 $\alpha = 0.7036$.

根据试验结果, 在本文压力范围内, 式(2)中修正系数 K 与 p/p_{cr} 呈线性关系 (如图3所示). 由试验数据拟合得:

$$K = 0.46894 + 0.88342p/p_{cr} \quad (4)$$

图4、5中实线即是用式(2)(经式(3)转换)计算得到的. 试验值与计算值相比, 316个试验点大多都在 $\pm 10\%$ (对 ϕ_{lo})、 $\pm 12\%$ (对 x) 及 $\pm 5\%$ (对 M) 的误差范围内. 本文公式与其他公式的比较如图6所示. 以上结果表明, 本文提出的计算式能与试验数据良好吻合. 所以, 在高压汽水两相流中, 建议采用本文提出的公式.