

水平管内气—液两相流型及其转换特性研究

周云龙 夏国栋 陈晓珊 蒋安众 李泓源 李学武
(东北电力学院)

〔摘要〕 本文以空气—水为介质,在水平圆管中对两相流型进行了试验研究,根据试验结果绘制了流型图,并与传统的试验结果进行了比较,表明它们有类似的特征,进而提出了预测能力更强的流型转换关系式。

关键词 水平管 气—液两相流 流型 转换特性
分类号 O359.1

1 前言

近几十年来,国内外对气—液两相流动问题开展了广泛深入的研究^[1,2],取得了一定的进展,但尚有若干理论不够完善,特别是关于流型的划分和流型转换特性等方面有许多问题还未能取得共识,许多工作还有待于深入研究。

为此本文以空气—水为工质,对水平管内气—液两相流流型和转换规律进行了研究。

2 试验设备和方法

全部试验是在空气—水两相流试验台上进行的,如图1所示。其运行流程为:

储存在水箱中的水经水泵送入试验系统,经流量调节阀调节流量后,通过水转子流量计测量流量,空气经空压机加压后送入试验系统,经流量调节阀调节流量后,通过空气

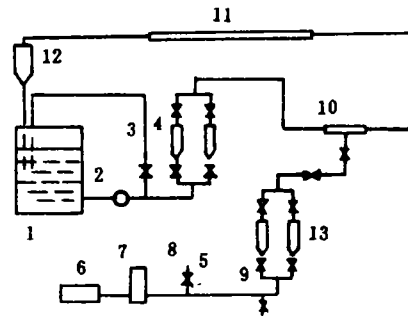


图1 空气—水两相流实验系统

1—水箱,2—水泵,3—水旁路,4—水流量计,5—压力表,6—空压机,7—稳压器,8—气旁路,9—测温点,10—混合器,11—实验段,12—分离器,13—空气流量计

转子流量计测量流量,空气和水经流量计测量流量后进入气—液混合器,混合成两相流体,然后经管路进入试验段进行两相流动测试,从试验段出来的气—水混合物经气液分

分离器分离后,空气排空,水重新注入水箱循环使用。

试验段采用 $\phi 32 \times 3$ 有机玻璃管制成,试验段两端采用环室取压,两取压点距离为 1500 mm,压差采用差压变送器测量,差压变送器将差压信号转换为电信号,用毫安表测量,再通过转换将电流信号转变为电压信号,接于函数记录仪记录压差波动信号。

试验条件如下:

工作压力 P 0 ~ 0.6 MPa

空气流量 Q_a 0 ~ 40 m³/h

水流量 Q_w 0 ~ 4 m³/h

温度 t 16 ~ 22 C

3 试验结果及分析

3.1 流型图

本文流型的鉴别采用目测法和差压波动法相结合的方式。压差波动法鉴别流型的基本原理是^[3]:气-液两相流动时,两相之间存在复杂的质量、动量和能量交换,使得局部区域流动结构不断发生改变,这一情况在两相压力下充分体现出来。流型不同,两相流动扰动度不同,因此当不同流型的两相流体流过压差测量段时,就会得到不同的压差波动信号,用压差波动信号法判别流型正是利用这一特性。

试验结果表示在以两相折算流速为座标的图 2 上,该图分为五个区域,分别是分层流型区,波状分层流型区,间歇状流型区,环状流型区和弥散状流型区。各流型间转换并非突变,而是存在过渡区,在图 2 上用斜线表示过渡区。

分层流型出现在较低的两相流率下,该流型出现范围较窄,两相折算流速稍有增大,即向波状和间歇状流型转变,出现分层流动时,若保持液相流率不变,提高气相流率到一

定值后,形成波状分层流型,出现分层或波状流动时,若保持气相流率不变,提高液相流率到一定值后,就会出现间歇状流型,本流型图将泡状流归入间歇流,波状或间歇状流型条件下,增大气相流量,由于惯性力作用,气相将以气柱的形式在管道中央偏上的区域运动,液相分散于管道四周形成液膜,该流动型式即为环状流型;弥散泡状流型出现较高的液相折算流速下,以气相离散气泡的方式分布在连续的液相中,当液相折算流速超过一定数值后,两相流动将以弥散泡状流型的形式存在。

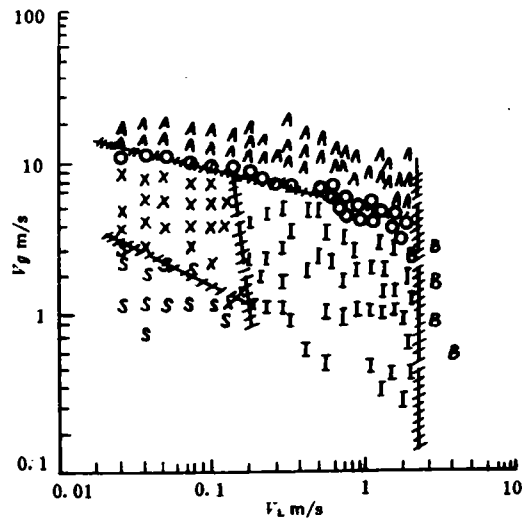


图 2 气-液两相流流型图

S, 分层流型区 X, 波状分层流型区
 I, 间歇状流型区 A, 环状流型区
 D, 细泡状流型区 O, 不可分辨区

通过与传统流型图^[4,5] 比较发现,该流型图基本上能反映双组分介质流型的变化规律。

3.2 流型转换特性

两相流动现象十分复杂,影响流型的因素有许多,如物性、流动参数、流道形状及位置等。由量纲分析,可以得到反映流型变化规律的无因次关系式:

$$F_{\text{flow pattern}} = F(Re_L, Fr_g, \rho_L/\rho_g, ku) \quad (1)$$

$$\text{其中: } Re_L = \frac{V_L d \rho_L}{\mu_L}, Fr_g = \frac{V_g^2}{gd},$$

$$ku = \frac{V_g \mu_g^{0.5}}{[g(\rho_L - \rho_g)\lambda]^{0.75}}$$

式中, ρ_L 液相密度, ρ_g 气相密度, d 管道内径, V_g 气相速度, λ 表面张力, μ_L 液相动力粘度, μ_g 气相动力粘度, g 重力加速度。

显然各流型转换物理机制不同, 上式中各无因次准则的作用也不相同。有必要针对不同流型转换的特点, 找出起主导作用的准则, 忽略次要因素, 建立流型转换的准则方程式。

3.2.1 分层—间歇流型转换

从流型转换的力学角度看, 气相惯性力、液相重力和表面张力的综合作用, 决定分层—间歇流型的转换。显然, 气相惯性力有助于界面波的产生和发展, 促使流型由分层向间歇流转换; 而液相重力和表面张力抑制界面波的发展, 不利于流型由分层向间歇流转换。其中表面张力对小管径 ($d < 10 \text{ mm}$) 以下的转换有明显的影 响, 但对其他尺寸的管道影响很小, 这里不考虑表面张力的作用。

由上面的分析, 可以确定代表分层—间歇流型转换的主要无因次准则有: Fr_g : 反映气相惯性力的影响, V_g/V_L : 反映两相相对运动的影响。分层—间歇流型转换关系式可表示如下:

$$F_{\text{str-int}} = F(V_g/V_L, Fr_g) \quad (2)$$

3.2.2 间歇—环状流型的转换

气相惯性力在促使流型由间歇向环状流转换中起主要作用, 而液相重力阻碍环状流的形成, 此外, 表面张力、液相粘性力对环形液膜的形 成也有影响, 然而威尔斯曼发现粘性力对于环状流形成影响不大, 故反映间歇—环状流型转换的主要无因次准则有: Fr_g , V_g/V_L 和 ku 。其中 ku 是考虑两相密度差和

表面张力的影响。流型转换关系式可表示为:

$$F_{\text{int-str}} = F(Fr_g, ku, V_g/V_L) \quad (3)$$

3.2.3 向弥散泡状流转换

弥散泡状流型发生在液相流速较高的区域, 当液相湍流雷诺应力克服促使气泡上升、团聚的浮升力时, 发生向弥散状流型的转换。引入无因次准则 T : 反映作用在气体上的湍流作用力和浮力比, S : 表示表面张力和浮力的影响。

$$\text{其中: } T = \left[\frac{dp/dz}{(\rho_L - \rho_g)g} \right]^{0.5},$$

$$S = \frac{\lambda}{(\rho_L - \rho_g)gd^2}$$

则向弥散状流型转换的关系式可表示为:

$$F_{\text{dis}} = F(T, S) \quad (4)$$

用本试验的流型数据, 整理上述准则方程式(2), (3), (4) 可得到水平管绝热流动条件下的流型转换关系式。

分层—间歇流型转换:

$$Fr_g^{0.5} = 0.85 \left(\frac{V_g}{V_L} \right) \quad (5)$$

间歇—环状流型的转换:

$$Fr_g^{1.2} ku^{2.8} = 281 \left(\frac{V_g}{V_L} \right) \quad (6)$$

向弥散泡状流型的转换:

$$TS^{-0.28} = 1.35 \quad (7)$$

4 结论

(1) 根据试验结果绘制了流型图, 并与传统的流型图进行了比较, 说明该流型图基本上能反映双组分介质流型变化的规律。

(2) 从流型转变的机理出发, 提出了三个主要流型转换的关系式, 它们具有良好的流型预测能力, 可用于描绘水平管内流动的流型变化规律。

参 考 文 献

- 1 陈之航. 气液两相流和传热. 机械工业出版社, 1983
- 2 林宗虎. 汽液两相流与沸腾传热. 西安交通大学出版社, 1987
- 3 周云龙等. 应用压差波动法测量气-液两相流流型. 第四届全国多相流非牛顿流物理化学学术会议论文集.

西安, 1993, PP260~264

- 4 Taitel Y and Dukler A E. A model for predicting flow regime transitions in horizontal and near-horizontal gas-liquid flow, AIChE Tol. 1976 Vol. 22, PP. 147~155.
- 5 Weisman T, et al, Effect of fluid properties and pipe diameter on two-phase flow patterns in horizontal lines. Int. J. Multiphase flow, 1979 Vol. 5, PP. 437~462.

(梁源 李乡复 编辑)

作者简介:周云龙,男,1960年生,副教授,室主任。1991西安交通大学热能工程专业毕业,获博士学位。现为东北电力学院学术委员会委员,电力部高等学校热能动力专业教学指导委员会委员。(132012 吉林市东北电力学院动力系)

〔封面说明〕照片(下)

哈尔滨七〇三研究所无锡分部

(燃气轮机动力装置试验站)

分部位于无锡市西北郊,东近上海,西连南京,南临太湖,北靠长江。环境优美,交通便利,工业、信息基础良好,人才、协作条件优越。建有国内唯一、亚洲一流的大型现代化燃气轮机试验站,可进行各种功率系统的试验研究。

分部在燃气轮机电站工程技术服务、热能动力工程设计(小热电站、制冷空调工程……)、节能技术和产品的开发(重油加热系统、磁化节油器……)、微机自动控制,以及许多新技术开发和技术服务等领域进行了卓有成效的工作,并愿继续为社会各界提供优质的科学研究、技术咨询和技术服务。

地 址: 江苏无锡钱桥勤新支巷 19 号

通讯处: 211511 江苏无锡 117 信箱

电 挂: 8013

电 话: (0510)3702948

传 真: (0510)3708941

联系人: 吴金林 陈新海

attaining the above-mentioned aim and has practical significance for engineering applications. Key words: turbine rotor, high-temperature fatigue, service life evaluation

用工程方法考虑流动损失的跨音速透平级全三元流场的计算—Computation of a Transonic Turbine Stage Full Three-dimensional Flow Field with Flow Loss Being Taken Account of by a Engineering Method [刊, 中] / Huang Diangui (Southeastern University), Jiaog Zikang (Qinghua University) // Journal of Engineering for Thermal Energy & Power. -1995, 10(6). 393~396

Presented in the paper is a full three-dimensional flow field computational method for a transonic turbine stage with flow losses by the use of a time marching method. The flow losses are calculated by using the flow loss model proposed by Harbin Turbine Works. The full three-dimensional flow field computation results with flow losses being taken into account have been compared with those with the neglect of flow losses. It is found that in the case of flow losses being considered there emerged a certain enhancement in the degree of reaction with a slight change in speed triangle, indicating that the consideration of flow losses is essential to the further improvement of turbine stage design. The method recommended in the present paper is suitable for use in engineering designs. Key words: turbine, full three-dimensional, transonic.

汽液两相螺杆膨胀机的定熵膨胀功率特性—The Power Characteristics of a Two-phase Helical Screw Expander During Its Isentropic Expansion [刊, 中] / Wang Wei (Tianjin Urban Construction Institute) // Journal of Engineering for Thermal Energy & Power. -1995, 10(6). -397~400

The power characteristics of a helical screw expander during its isentropic expansion was studied in detail with the concept of expansion ratio of peak power being proposed. Also analysed was the effect of inlet working medium (steam-water mixture) parameters and the said medium pre-throttling on the power characteristics of the helical screw expander. Key words: total flow, helical screw expander, two-phase expansion, power characteristics.

水平管内气—液两相流流型及其转换特性研究—Gas liquid Two phase Flow Pattern in a Horizontal Pipe and the Study of its Conversion Characteristics [刊, 中] / Zhou Yunlong, Xia Guolong, Chen Xiaoshan, Jiang Anzhong, Li Hongyuan, Li Xuewu (Northeast Electrical Power Institute) // Journal of Engineering for Thermal Energy & Power. -1995, 10(6). -401~404

An experimental study was conducted of an air-water two phase flow pattern in a horizontal circular pipe. A flow pattern figure plotted on the basis of the test results was compared with that obtained through conventional test results, indicating the presence of analogous specific features. As a result, proposed was a flow pattern conversion relation with a greater forecast capability. Key words: horizontal pipe, gas-liquid two phase flow, flow pattern, conversion characteristics

Edited and Published by Harbin Marine
Boiler & Turbine Research
Institute and Editorial Staff
of this Journal

Printer: Printing House of Harbin Institute
of Technology

Address: P. O. Box 77, Harbin China

Cable: 6511, Harbin China

Post Code Number 150036

ISSN 1001-2060
Periodical Registration:
CN23-1176/TK

Distributed by China International
Book Trading Corporation,

P. O. Box 399, Beijing, China