

CN19302029

CN19302029

TSUNE-0036

# 中国核科技报告

CHINA NUCLEAR SCIENCE & TECHNOLOGY REPORT

节流装置噪音测量两相流量  
和干度的理论模型

A THEORETICAL MODEL FOR MEASURING MASS  
FLOWRATE AND QUALITY OF TWO PHASE FLOW  
BY THE NOISE OF THROTTLING SET

(In Chinese)



原子能出版社

中国核情报中心

China Nuclear Information Centre



佟允宪：副研究员，清华大学核能技术设计研究院热工水力学研究室主任。1970年毕业于清华大学工程物理系，1981年获清华大学热工自动化专业大有硕士学位。

Tong Yunxian; Associate professor director of the thermohydraulic division, Institute of Nuclear Energy Technology, Tsinghua University. Graduated from the Department of Engineering Physics of Tsinghua University in 1970 and got a master degree of Tsinghua University in 1981, majoring in thermal automation.

CNIC-00595

TSUNE-0036

# 节流装置噪音测量两相流量 和干度的理论模型

佟允宪 王文然

(清华大学核能技术设计研究院,北京)

## 摘 要

两相流质量流量和质量含汽率的测量是反应堆失水事故试验的重要课题。两相流流过节流装置时产生的差压测量噪音是由于相浓度在空间的随机分布所引起的。本文假设分散相浓度分布的方差正比于其平均相浓度,应用两相流分离流理论模型论证了节流装置差压方根噪音的方差近似正比于分散相流量,进而推导出利用噪音测量两相流质量流量和干度的理论模型。这一论证预示了可以根据简单的理论模型用单一节流装置实现两相流流量和干度的双参数测量。

**A THEORETICAL MODEL FOR MEASURING MASS  
FLOWRATE AND QUALITY OF TWO PHASE FLOW  
BY THE NOISE OF THROTTLING SET**

*(In Chinese)*

Tong Yunxian Wang Wenran

(INSTITUTE OF NUCLEAR ENERGY TECHNOLOGY  
TSINGHUA UNIVERSITY, BEIJING)

**ABSTRACT**

The mass flowrate and steam quality measuring of two phase flowrate is an essential issue in the tests of loss-of-coolant accident (LOCA). The spatial stochastic distribution of phase concentration would cause a differential pressure noise when two phase flow is crossing a throttling set. Under the assumption of that the variance of disperse phase concentration is proportional to its mean phase concentration and by using the separated flow model of two phase flow, it has demonstrated that the variance of noise of differential pressure square root is approximately proportional to the flowrate of disperse phase. Thus, a theoretical model for measuring mass flowrate and quality of two phase flow by noise measurement is developed. It indicates that there is a possibility to measure two phase flowrate and steam quality by using the simple theoretical model and a single throttling set.

## 引言

核反应堆的安全性是近年来核能领域的重要研究课题。核反应堆失水事故试验中,汽水两相流的测量方法是反应堆安全试验研究的重要基础研究项目。发达国家投入了巨额的人力和物力资源,发展了一系列的复杂测量装置,代表性的有 $\gamma$ 射线密度计—涡轮流量计—文丘利管组合装置<sup>[1]</sup>和 $\gamma$ 射线密度计—网状靶组合装置<sup>[2]</sup>等。这些方法过于复杂,虽已在失水事故研究中取得了成功,但都不理想。科学工作者一直在追求实现两相流测量的简单方法。广泛应用于工业流量测量的节流装置,很自然地成为人们研究的一个重点。Murdock 等建立了节流装置的分流理论模型<sup>[3]</sup>, James 等建立了改进均相流理论模型<sup>[4]</sup>,从而奠定了研究节流装置在两相流中的特性的理论基础。近年来我国学者对使用节流装置测量两相流进行了深入研究,提出了用两相密度比修正分流模型<sup>[5]</sup>和均相流模型<sup>[6]</sup>,改善了模型精度和适用范围,是该领域内近年来获得的显著进步之一。本文作者曾分析了两相流流过阻挡体(孔板)时发生的扰动,首次建立了应用噪音测量相比份的理论模型<sup>[7]</sup>,并指出该模型与孔板的分流或均相流模型相结合有可能实现两相流的测量。本文在分散相浓度分布的方差正比于其平均相浓度的假设条件下,利用两相流分流模型论证了两相流通过节流装置产生的差压方根噪音的方差近似正比于分散相流量。这一结果与文献[7]在有阻挡体扰动时分析所得结果相一致。由于不再依赖阻挡体的扰动分离效应,拓宽了理论的应用范围,可以适用于孔板,也适用于其它节流装置。本文并进一步推导了直接利用噪音测量两相流流量和干度的理论模型。这一模型理论上的明晰和型式上的简单,非常宜于仪表实现。

## 1 噪音模型

两相流动中,分散相在空间和时间的分布上具有随机性。在湍流流动中,这种分布随机性是由于湍流的局部相分离效应引起的。本文在分析中采用如下假设:

- 分散相浓度分布的方差正比于该相平均相浓度;
- 在平稳流动中连续相(载带相)的流量恒定,这在分散相为稀相时近似成立;
- 两相流分流模型的假设,即:

——两相分别流过节流装置

——无相间动量交换

——无相间质量交换

——满足绝热条件

在反应堆失水事故试验中,质量含汽率大于0.1时,汽相为连续相,水相为分散相。由节流装置两相流分流理论模型得到:

$$G_c = \alpha_c \cdot F \cdot \sqrt{2 \cdot \rho_c \cdot \Delta p_c}$$

$$G_d = \alpha_d \cdot F \cdot \sqrt{2 \cdot \rho_d \cdot \Delta p_d}$$

$$G_c = \alpha \cdot C_c \cdot F \cdot \sqrt{2 \cdot \rho_c \cdot \Delta p}$$

$$G_d = \alpha \cdot C_d \cdot F \cdot \sqrt{2 \cdot \rho_d \cdot \Delta p}$$

$$(C_c + C_d = 1, \alpha_c \approx \alpha_d \approx \alpha)$$

于是有：

$$\sqrt{\Delta p} = \frac{G_c}{C_c \cdot A \cdot \sqrt{\rho_c}} = \frac{\sqrt{\Delta p_c}}{C_c} = \frac{\sqrt{\Delta p_c}}{(1 - C_d)} \quad (1)$$

$$G = \frac{A \cdot \sqrt{\rho_c \cdot \Delta p}}{X_c + (1 - X_c) \cdot \sqrt{\rho_c / \rho_a}} \quad (2)$$

由假设  $b$  得到在平稳两相流动时,  $\sqrt{\Delta p_c}$  可以看作一个恒定量, 于是根据(1)式, 随机变量两相流过节流装置时的测量差压  $\Delta p(t)$  和分散相浓度  $C_d(t)$  有如下关系:

$$\sqrt{\Delta p(t)} = \frac{\sqrt{\Delta p_c}}{1 - C_d(t)}$$

考虑相对波动较小,  $\Delta p(t)$  与  $C_d(t)$  两随机变量的统计方差可由下式描述:

$$\sigma(\sqrt{\Delta p}) = \frac{\sqrt{\Delta p_c}}{(1 - C_d)^2} \sigma(C_d)$$

根据(1)式得到:

$$\frac{\sigma(\sqrt{\Delta p})}{\sqrt{\Delta p}} = \frac{\sigma(C_d)}{(1 - C_d)} \quad (3)$$

(3)式揭示了节流装置测量两相流时差压方根的相对统计方差近似等于分散相浓度随机波动的方差。其数值是很小的, 因此在实际应用中, 可设法增加扰动强度, 如用具有阻挡体的节流装置或其它增加扰动的装置。

前述假设  $a$  假定  $C_d$  分布的方差正比于  $C_d$ , 即:  $\sigma(C_d) = \theta C_d$ , 于是(3)式变成:

$$\frac{\sigma(\sqrt{\Delta p})}{\sqrt{\Delta p}} = \frac{\theta C_d}{(1 - C_d)}$$

当分散相为稀相时,  $1 - C_d \approx 1$ , 可进一步简化为:

$$\frac{\sigma(\sqrt{\Delta p})}{\sqrt{\Delta p}} = \theta C_d \quad (4)$$

在相间无动量交换的两相分离流假设条件下有:

$$C_d = \frac{X_d}{X_d + (1 - X_d) \cdot \sqrt{\rho_a / \rho_c}}$$

代入(4)式得:

$$\frac{\sigma(\sqrt{\Delta p})}{\sqrt{\Delta p}} = \frac{\theta X_d}{X_d + (1 - X_d) \cdot \sqrt{\rho_a / \rho_c}} \quad (5)$$

(5)式也可以表达成:

$$\frac{\sigma(\sqrt{\Delta p})}{\sqrt{\Delta p}} = \frac{\theta \cdot \sqrt{\rho_c / \rho_a} \cdot X_d}{X_c + (1 - X_c) \cdot \sqrt{\rho_c / \rho_a}}$$

将(2)式代入上式得:

$$\sigma(\sqrt{\Delta p}) = \theta \cdot G_d / (A \cdot \sqrt{\rho_c}) \quad (6)$$

(6)式具有非常明确的物理意义,即:在分散相为稀相时,差压方根随机波动的方差近似正比于分散相流量,这与文献[7]对气-液两相环状流通过孔板时建立的噪音模型理论上具有一致性。

定义:  $R = \sigma(\sqrt{\Delta p}) / \sqrt{\Delta p}$ , 解(5)式得:

$$X_c = 1 - \frac{R}{\theta \cdot \sqrt{\rho_c / \rho_d} + R(1 - \sqrt{\rho_c / \rho_d})} \quad (7)$$

(7)式中  $X_c$  即为汽水两相流的质量含汽率(干度)。这就是用噪音法测量两相流干度的理论模型。

将(7)式代入(2)式得:

$$G = A \cdot \sqrt{\rho_c \cdot \Delta p} + A \cdot \sigma(\sqrt{\Delta p}) \cdot \sqrt{\rho_d} / \theta - A \cdot \sigma(\sqrt{\Delta p}) \cdot \sqrt{\rho_c} / \theta \quad (8)$$

(8)式右边各项具有明确的物理意义:第一项为连续相流量的估计值,显然这一估计值偏高;第三项为对第一项偏高的修正,其修正量为当连续相单独流过节流装置产生相当于分散相单独流过节流装置产生的差压的连续相流量;第二项为分散相流量的估计值。

(8)式可以进一步推导为:

$$G = \therefore \sqrt{\rho_c \Delta p} \cdot (1 + R \cdot (\sqrt{\rho_d / \rho_c} - 1) / \theta) \quad (9)$$

(9)式即是用噪音法测量两相流流量的理论模型。它表明两相流流量是节流装置差压方根相对方差的线性函数,具有非常简单的型式,宜于在此基础上的经验模型的建立和仪表的实现。

其中

$G$ : 质量流量

$C$ : 相浓度,即体积相比份

$X_c$ : 质量流量相比份,即干度

$\rho$ : 密度

$\Delta p$ : 节流装置测量差压

$\sigma()$ : 随机变量()的统计方差

$R$ :  $R = \sigma(\sqrt{\Delta p}) / \sqrt{\Delta p}$ , 差压方根相对方差

\* : 文中不加说明的变量均系指其统计平均值。

$c$ : 连续相

$d$ : 分散相

\* : 无脚码变量代表两相流的参数。

$\alpha$ : 节流装置流量系数

$\beta$ : 节流装置孔径比

$F$ : 节流装置流道面积

$\theta$ : 比例系数

$A$ : 定义  $A = \sqrt{2} \alpha F$

## 2 结 论

(1) 两相流动是一随机过程,所谓两相流动的测量并非传统意义上的测量,其实质是对两相流动参数平均值的统计估计。

(2) 本文所用基本假设  $\alpha$ ,即两相流动中分散相浓度分布的方差正比于该相平均相浓度,是有一定实验依据的。文献[8]研究用电容噪音测量气固两相流的固相流量,发现在载带气体流量一定时,电容噪音的方差(即固相浓度分布的方差)近似正比于固相流量。理论上合理的推想可以认为在载带气体流量恒定时,固相流量近似正比于固相平均浓度。因此,文献[8]的实验结果支持分散相浓度分布的方差正比于分散相平均浓度这一假设。

(3) 比例系数  $\theta$  的影响因素是发展节流装置噪音模型的关键。从理论上分析,  $\theta$  可能是两相密度比、雷诺数和节流装置孔径比的函数,其中相密度比可能是支配因素。

(4) 本理论模型尚处于理论假设阶段,尚需要进行深入的理论研究,尤其是基础实验研究,以发展具有实用价值的半理论半经验模型。

## 参 考 文 献

- [1] 佟允宽等. "测量技术"译文集. 新疆石油管理局出版社,1983. 4
- [2] 佟允宽等. "两相流测量技术"译文集. 新疆石油管理局出版社,1984. 8
- [3] Murdock J W. Two-phase flow measurements with orificies, *Journal of Basic Engineering*, 1962,84(4): 419~433
- [4] James R. Metering of Steam-water two-phase flow by sharp-edged orificies, *Proc. Inst. Mech.* 1965,180(23): 549~566
- [5] 林宗虎. Two-phase flow measurements with sharp-edged orificies. *International Journal of Multiphase Flow*.1982,8(6): 683~693
- [6] 王文然等. 利用标准锐边孔板测量汽水两相流的实验研究. *清华大学学报*, Vol. 28, No. S2, 1988: 74~82
- [7] 佟允宽等. 孔板在两相流中的相分离效应与两相流湿度测量. *清华大学学报*, Vol. 31, No. 3, 1991: 12~17
- [8] 李晶等. 固体流量传感器特性分析和介电电特性,第二届全国多相流检测技术会议论文集, 1988. 10:577~587



节流装置噪音测量两相流量  
和干度的理论模型

原子能出版社出版

(北京 2108 信箱)

中国核情报中心排版

北京市海淀区三环快速印刷厂印刷

☆

开本 787×1092 1/16 · 印张 1 · 字数 6 千字

1992 年 3 月北京第一版 · 1992 年 3 月北京第一次印刷

ISBN 7-5022-0667-1

TL · 404

# CHINA NUCLEAR SCIENCE & TECHNOLOGY REPORT



This report is subject to copyright. All rights are reserved. Submission of a report for publication implies the transfer of the exclusive publication right from the author(s) to the publisher. No part of this publication, except abstract, may be reproduced, stored in data banks or transmitted in any form or by any means, electronic, mechanical, photocopying, recording or otherwise, without the prior written permission of the publisher, China Nuclear Information Centre, and/or Atomic Energy Press. Violations fall under the prosecution act of the Copyright Law of China. The China Nuclear Information Centre and Atomic Energy Press do not accept any responsibility for loss or damage arising from the use of information contained in any of its reports or in any communication about its test or investigations.

ISBN 7-5022-0567-1  
TL • 404

P. O. Box 2103  
Beijing, China

**China Nuclear Information Centre**