第 32 卷 第 2 期 力 学 进 展 Vol. 32 No. 2
2002 年 5 月 25 日 ADVANCES IN MECHANICS May 25, 2002

关于气液两相流流型及其判别的若干问题*

劳力云[1,2] 郑之初[1] 吴应湘[1] 李东晖[1]

[1] 中国科学院力学研究所应用流体力学研究室，北京 100080

[2] 中国计量学院机电工程学院，杭州 310034

摘 要 气液两相流体系是一个复杂的多变量随机过程体系，流型的定义、流型过渡准则和判别方法等方面的研究是多相流学科目前研究的重点内容. 本文就与气液两相流流型及其判别有关的研究状况进行了回顾和评述，力图反映近年来气液两相流流型及其判别问题研究的状态和趋势.

关键词 气液两相流，流型，流型的识别

1 引 言

气液两相流的宏观运动规律以及它与其他运动形态之间的相互作用是两相流体力学的主要研究内容之一. 气液两相流的研究，是随着工业技术的需要而发展起来的. 特别是本世纪 40 年代后，由于动力工程、化学工程、石化工程、原子能工程、航天工程以及环境保护工程的兴起和发展，气液两相流的研究日益得到重视，促使它形成为一门完整的应用基础学科 [1]. 广义而言，气液两相流动属流体力学的研究范畴之一，流体力学的基本方程也适合于气液两相流. 但由于在气液两相流中，存在气液两相间的相互作用，因此两相流动问题较单相流动问题要复杂得多，两者间在本质特征上也有较大的不同. 气液两相流流型的复杂性和多样性就是显著区别于单相流动的特点之一.

两相流流型是两相流的结构形式. 对于流型形成机制及其特点的认识，是两相流的机理及其规律研究的重要组成方面，同时也直接关系到对两相流学科中其他问题的分析研究. 例如，对于气液两相流问题的分析处理，经常采用基于流型的方法，即首先分清气液两相流的流型，然后根据各种流型的特点，分析其流动特性并建立关系式. 这种方法考虑了两相流的流型特征，具有较强的针对性 [2].

流型研究在工程中也具有重要的应用价值. 在涉及到气液两相流动的管路系统设计时，流动压降是基本参数之一，而两相流压降与流型具有密切关系. 实验结果表明，在相同的质量流量下，不同流型下的流动阻力可以变化几倍甚至几十倍. 不同的流型，将会使管道受到不同频率分布特性的作用力，这将直接关系到管道结构的减振设计，以确保管道系统的安全运行. 为了进行多相流动参数的监测和计量，流型也是必须考虑的重要因素. 因为流型的变化往往会造

收稿日期: 2001-05-29, 修回日期: 2002-02-27
* “十五” 期间国家高技术研究发展计划 (863 计划) 资助项目 (2001AA413210)

成测量装置特性的显著改变. 另外, 不同的流型具有不同的传热、传质特性, 这对于化工、动力等过程的工艺设计也至关重要 [3].

气液两相流流型与两相间界面的形状及其组合变化密切相关, 流型的发展与稳定往往是相对的 (例如, 在长距离管线中, 由于沿程状态参数的变化, 流型会发生改变 [4]), 从而导致流型问题变得复杂. 早期的研究者为了方便, 常常用各单相流型 (层流或湍流) 的不同组合为描述多相流流型并以此建立计算模型或在此基础上根据质量流速、压力等参数进行修正以提高模型的精度. 例如对于气液两相流的压降计算模型的研究就是如此 [5,6]. 显然, 这种流型描述方法比较粗糙. 目前常用的流型分类方法是根据流动形态分类. 这种分类方法比较直观, 但流型确定容易受到观测者主观因素的影响. 目前对于流型的分类方法还没有一个统一的标准, 这是流型研究需解决的基本问题之一 [7]. 另外, 如何根据流动条件确定流型, 以及如何在流动过程中实时地利用流动状态信息确定流型也是目前在流型研究及工程应用中迫切需要解决的问题. 本文针对上述问题进行评述, 以期反映近年来对于气液两相流流型问题的研究状态.

2 气液两相流流型的分类

由于目前在研究和应用中涉及的气液两相流大多数是管内流动, 因此下面的讨论主要针对气液两相管流进行.

在气液两相流流动过程中, 由于气、液两相均可变形, 两相界面将不断变化, 从而两相介质的分布状态也不断改变, 所以流型极为复杂. 同时, 流型还与管道尺寸、管截面形状、管道角度、管道加热状态、所处的重力场、介质的表面张力、壁面及相界面间的剪切应力等因素有密切关系. 因此总体而言, 流型的种类是相当复杂繁多的. 这使得不同的研究者, 从不同角度对流型进行研究时, 会给出流型的不同定义和划分. 例如, 对于垂直上升管中的流型划分就有几十种, 如表 1 所示. 又如, 对于水平管绝热流动, 在不同的液相流量下, Spedding 等 [9] 提出的流型划分也有十余种, 如表 2 所示.

从实际应用的简明性考虑, Oshinowo 等 [10~13] 在综合发展了其他研究者结果的基础上, 提出的几种常见流动条件下的流型划分, 成为目前比较经常采用的流型划分, 如表 3 所示 (目前常用的几种主要流型的名称和简要描述见附录).

尽管如此, 由于流动条件变化的多样性以及研究角度的多样性, 基于流动结构形态学上的流型划分方法有以下几个问题.

(1) 流型定义的模糊性　目前对于各种流型的定义只是建立于主观观察的结果上的, 这样不可避免引入观察者主观因素的干扰.

(2) 流型定义的多样性　对于各种流型, 目前还未建立起一套统一的且被公认的定义.

(3) 流型定义的定性特性　对于流型的判别只能定性判断, 公认的定量判断方法还没有.

近年来, 有些学者 (Barnea 等 [11,13]) 提出了从多相流中的流动介质的连续性出发进行流型的划分. 即将介质的形态分别分为连续的 (continuous) 、间断的 (intermittent) 和弥散的 (dispersed). 流型的要素就是不同介质及其形态的不同组合, 如对于水平蒸发管中的流型, 就可以图 1 所示的方式进行划分.

由于这种流型划分方法一方面考虑介质的连续性, 便于将两相流问题与比较成熟的单相流流体力学相联系, 另一方面又能将各种不同的流型归结为较少的几种模式, 相互之间有比较明确的区别特征, 简化了理论研究的对象, 从而便于气液两相流的研究与应用. 因此有希望为流型划分找到一条比较客观和完善的途径.

表 1　垂直上升管中的气液两相流流型划分 [8]

研究者	流　型　划　分
Gosline 1936	气泡流　弹状流　环状流　弥散液滴流
Cromer, et al 1940	气泡流　弹状流　乳沫状流　环状流
Bergelin 1949	气泡流　弹状流　环状流
Radford 1949	弹状流　混状乳沫流　管壁液膜流　雾状流
Galegar, el al 1954	鼓泡流　弹状流　搅拌流　半环状流　环状流
Calvert, et al 1955	鼓泡流　塞状流　混状流　波卷流　环状流　液滴夹带流
Govier, et al 1957	气泡流　塞状流　乳沫状流　波漪流　液膜流　雾状流
Duns, et al 1963	气泡流　弹状流　过渡流　环状流
Wallis 1969	气泡流　弹状流　环状流　液滴流
Govier, et al 1972	气泡流　弹状流　乳沫状流　环状流　雾状流
Oshinowo, et al.1974	气泡流　弹状流　乳沫状流　环状流　雾状流
Hewitt 1978	气泡流　弹状流　乳沫状流　液丝环状流　环状流
Spedding, et al 1980	气泡流　间断流　波状流　环状流　雾状流
Taitel, et al 1980	气泡流　弹状流　搅拌流　环状流　雾状流
Weisman, et al 1981	气泡流　塞状流　搅拌流　环状流
Vince, et al 1982	气泡流　弹状流　搅拌流　环状流
Mishima, et al 1984	气泡流　弹状流　搅拌流　环状流
Annunziato 1985	气泡流　弹状流　搅拌流　液丝环状流　环状流
Bilicki, et al 1987	气泡流　弹状流　乳沫状流　环状流　雾状流

表 2　水平绝热管中的流型 (管道内径 0.0935 m)[9]

	增加液相流量				
	ST	ST	ST	ST+IW	B
增	ST+R	ST+R	ST+IW	S	PB
加	ST+RW	ST+RW	S	BTS+A	PF
气	ST+RW+D	ST+LRW+D	ST+BTS	A+RW	
相	F+D	ST+RW+D	ST+LRW+D	A+D	
流	A+D	F+D	F+D		
量	D	A+RW	A+RW		
		A+D	A+D		

注：A — 环状流 (annular)，B — 气泡 (bubble)，BTS — 中空气弹 (blow through slug)，D — 液滴 (droplet)，F — 液膜 (film)，IW — 平缓波 (inertial wave)，LRW — 大翻卷波 (large roll wave)，PB — 气栓加气泡 (plug & bubble)，PF — 气栓加泡沫 (plug & froth)，R — 涟漪波 (ripple)，RW — 翻卷波 (roll wave)，S — 气弹 (slug)，ST — 层状流 (stratified)