

·成果简介·

“和平号”空间站不同重力环境下两相流 流型微重力实验

解京昌 胡文瑞*

(中国科学院力学研究所国家微重力实验室,北京 100030)

[关键词] 微重力流体力学,两相流,空间实验,国家自然科学基金

1 概况

根据1998年4月中俄双方就利用俄罗斯“和平号”空间站开展合作研究的协议,中国科学院国家微重力实验室与俄罗斯空间局 Keldysh 研究中心经过一年多的合作研究,在“和平号”空间站完成了不同重力环境下的两相流流型空间微重力实验,实验获得圆满成功。此次研究合作,中方负责提出学术思想、实验设计与工况要求、实验段的设计及根据俄方提供的接口条件制定实验方案。俄方负责实验系统的硬件研制、宇航员的实验操作培训及实现空间实验获取实验数据。研究内容为不同微重力条件下气/液两相流流型特征^[1]。经过双方的共同努力及积极合作,先后完成了两相流空间实验研究的立项和方案设计,同俄罗斯科学家合作完成了地面模拟实验研究。研制了空间实验装置,成功完成了在俄罗斯“和平号”空间站上进行的不同重力环境下的两相流流型空间微重力实验,取得了很好的实验结果^[2,3]。

该项目具体执行情况良好。1998年4—5月与俄罗斯空间局 Keldysh 研究中心签署正式合作合同及相关技术文件和备忘录。1998年5—11月进行了实验装置的开发研制,并完成了地面模拟实验。1999年8月在“和平号”空间站成功地进行了不同重力环境下的两相流流型空间微重力实验,取得了重要的实验结果。1999年10—11月获得实验数据并开始进行数据分析。2001年8月获得俄方数值化图像资料,进行实验过程的分析。

2 空间实验的主要学术成果

此次实验在国际上首次成功获得长时间、稳定的高微重力水平($10^{-5}g$)下气/液两相流流型实验结果,得到包括泡状流、弹状流、环状流及其转换流型的各种气/液两相流流型和相互转换条件。在“和平号”空间站背景重力水平($10^{-5}g$)下获得了42组实验数据和图像。所获得的微重力两相流流型图与以前国际上微重力两相流实验不同,在流型的分布及不同流型之间的转换方面都有很大区别。(失重飞机抛物线飞行: $10^{-2}g-10^{-3}g$,低重力持续时间约20秒,残余重力较大,且抛物线飞行带来的“超重”现象导致重力水平的波动很大;落塔虽微重力水平高 $10^{-5}g$,但持续时间很短约几秒,这些对两相流的特性及流动参数的测量影响较大)。

实验研究了稳定低重力环境下两相流流型特征,利用“VOLNA-2A”装置旋转产生0.1g低重力条件(接近月球重力,两相流流型特征),获得了11组实验数据及图像。实验研究了重力水平对流型的影响。在同一实验中对 $10^{-5}g$ 与0.1g条件下的流型进行了部分对比。另外,还获得了30组地面正常重力1g对比实验数据。此次空间实验的一个重要发现是在低液相流速条件下存在一个新的环状流型区域。与已有的实验相比,由于实验中使用的液相介质(Carbogal)与实验段壁面具有很好的润湿性(接触角0—7度),新环流区域的发现启发人们有必要对固液润湿性及微重力环境对流型的产生及分类的

* 中国科学院院士。

国家自然科学基金重点资助项目。

本文于2002年12月10日收到。

作用进行深入探讨。这一问题的解决,有可能导致新的流型及流型分类,解释如“逆环状流”产生的原因等。进一步分析研究正在进行中。

实验结果还表明,残余重力仍将对两相流流动特性产生影响,在 $10^{-4}g$ 的微重力环境下仍可产生相滑移现象。重力水平及失重时段长短等因素都可能对流型造成影响。理论研究及进一步的实验有望证实这一推断,并揭示壁面润湿性对微重力气/液两相流型产生与转换的影响机理。

我们提出了气/液两相流从弹状流向环状流转换的修正 We 数判据,在此次实验结果中得到了验证。此次实验结果对于探讨两相流流动的固有特征提供了新的重要的信息,对揭示微重力气/液两相流型产生与转换的机理、探讨建立更为准确的微重力气/液两相流型的预测模型、为空间开发和应用中所广泛涉及的微重力气/液两相流动系统的设计、更好地理解地面常重力环境中的气/液两相流动现象,进而改进地面环境中应用的气/液两相流动系统提供了重要的实验依据。

此次实验,引起了国际同行的关注。国际上有关专家评价为杰出的实验工作,获得了独一无二的科学实验数据。国外有关研究机构已表示基于此次实验的新的结果,将需对两相流的机理进行进一步的研究,并尽快在国际空间站上进行有关新的实验。

3 经验小结

微重力科学是当代空间科学的前沿,是载人空间活动的主要利用项目,正在推动高科技的发展。随着我国载人航天活动的开展,为了应对国际空间站计划的挑战,我国也开展了微重力科学的研究。近十年来,我国的微重力研究获得各方的支持。但是,我国微重力研究的投入经费强度很低、特别是空间实验的机会少、条件差、使我国微重力研究水平与国外有相当大的差距。这次与俄国的合作,在低投

入下,取得了一个方面的重要学术成果。这也是我国首次长时间、有人操作的空间实验,积累了有益的经验,具有很高的产出、投入比。

此次“和平号”空间获得了国家自然科学基金委员会(以下简称基金委)提供的及时支持。在1998年签订双方合作协议后,我们向基金委申请空间实验的搭载费。基金委有关领导大力支持,及时组织立项论证,并获批准作为正在执行中的基金委重点项目的追加内容,使空间实验能按计划进行。该项目也获得中国科学院国际合作计划、科技部“921”计划及“攀登”计划的支持,使该项国际合作能成功地顺利完成。

此次中俄合作研究项目的圆满完成,使我们与俄方的科学研究合作有了一个良好的开端并奠定了进一步合作的基础。中俄双方都已表示了继续加强合作交流的愿望。合作领域涉及到微重力燃烧、微重力流体及微重力材料加工各个方面。双方还就利用国际空间站俄罗斯舱进行合作研究的可能安排内容和前景等进行了讨论。通过此次合作,我们体会到:通过国际合作的方式,利用目前我国尚不具备的国外先进技术、先进设备条件,花费有限的经费进行具有国际领先水平的、创新性的研究,是我国现阶段进行科学研究的一条有效途径。在这一方面,好的科学思想的提出、科学实验与国外设施相适应的可行性设计是取得有价值研究成果的重要前提。

参 考 文 献

- [1] Zhao J F, Hu W R. Slug to annular flow transition of microgravity two-phase flow, *Intl. J. Multiphase Flow*, 2000, 26: 1 295.
- [2] Xie J C et al. Investigation on two-phase flow regimes in microgravity, *Proceedings 1st Intl. Symp. Microgravity Res. & Appl. in Physical Sci. & Biotechnology*, Sorrento, Italy, ESA SP-454, 2001, 63.
- [3] Zhao J F, Xie J C et al. Experimental studies on two-phase flow patterns aboard the MIR space station, 2001, 27: 1 931.

EXPERIMENTS OF THE TWO-PHASE FLOW PATTERN UNDER DIFFERENT GRAVITY ENVIRONMENT ON BOARD THE MIR SPACE STATION

Xie Jingchang Hu Wenrui

(*Institute of Mechanics, CAS, Beijing 100080*)

Key word microgravity fluid mechanics, two-phase flow, space experiment, National Natural Science Foundation