

流固耦合动力学与控制专刊*

瞿叶高^{1†} 王琳² 张伟伟³

(1.上海交通大学 机械与动力工程学院,上海 200240)

(2.华中科技大学 航空航天学院,武汉 430074)(3.西北工业大学 航空学院,西安 710072)

摘要 围绕管道流固耦合振动建模理论与方法、流致振动与控制、涡激振动抑制等研究主题,本专刊介绍了流固耦合动力学与控制领域的一些研究成果。

关键词 流固耦合, 流致振动, 涡激振动, 振动控制

中图分类号:O322

文献标志码:A

Preface to the Special Issue: Dynamics and Control of Coupled Fluid-Structure System*

Qu Yegao^{1†} Wang Lin² Zhang Weiwei³

(1. School of Mechanical Engineering, Shanghai Jiao Tong University, Shanghai 200240, China)

(2. School of Aerospace Engineering, Huazhong University of Science and Technology, Wuhan 430074, China)

(3. School of Aeronautics, Northwest University of Technology, Xi'an 710072, China)

Abstract This special issue intends to present the new research progresses of the field of dynamics and control of fluid-structure interactions. Special topics including dynamic modeling methods of pipes, flow-induced vibration and control, and vortex-induced vibration control are considered.

Key words fluid-structure interaction, flow-induced vibration, vortex-induced vibration, vibration control

序言

流固耦合动力学是航空、航天、船舶、土木、海洋工程、轨道交通等领域重大工程和装备设计、建造及运行中关注的核心基础性力学问题之一。流体与固体的相互作用诱发的动力学问题不仅影响装备和工程结构的关键性能,还可能引起装备和结构的破坏失效,导致巨大的生命财产损失。如飞行器结构颤振、海洋立管涡激振动、土木结构风激振动、舰艇振动与噪声等诱发的安全和可靠性问题。流固耦合动力学系统具有显著的非线性特征,其动力学

现象、内在机理与控制等研究受到学术界和工程领域的广泛关注^[1-3]。近年来,随着力学与数学、材料科学、信息科学等深度交叉与融合,在流固耦合力学新现象和机理、理论分析、数值计算、实验技术以及动力学控制方法等方面促生了新的学科增长点,也取得了诸多研究突破。为了及时总结流固耦合动力学领域的最新研究成果,特组织“流固耦合动力学与控制”专刊,共包括 9 篇论文(含 2 篇综述论文),涉及流固耦合动力学建模理论与方法、管道流固耦合振动与控制、涡激振动抑制等研究领域。

华中科技大学何毅翔等的《外流作用下管道流

2023-06-02 收到第 1 稿,2023-06-18 收到修改稿。

* 国家自然科学基金资助项目(11932011),National Natural Science Foundation of China (11932011)。

† 通信作者 E-mail:quyegao@sjtu.edu.cn

固耦合非线性动力学研究进展》梳理了国内外学者在外流作用下管道振动领域的研究成果,重点分析了柔性管道分别在横向外流和轴向外流作用下的流固耦合非线性振动行为,从理论建模、仿真分析和实验研究等方面探讨了外部流体对管道动力学行为的影响机制,对当前国内外研究现状进行了简要的总结,并给出了这一研究领域仍存在的难点和挑战。

天津大学唐冶等的《输流管道动力学与控制的最新进展》对输流直管/曲管、不同外形输流管道、复杂支承和约束输流管道、运动输流管道、内流和外流作用下输流管道、多相流输流管道、复合材料输流管道动力学特性及输流管道的振动控制等进行了回顾,并对管道流固耦合非线性振动动力学模型降维、非线性动力学求解方法、输流管道宽频振动控制等挑战问题进行了展望。

上海交通大学宿恒等的《大变形柔性管道两相流致振动研究》针对柔性管道内段塞流引起的结构大变形流致振动问题,采用分区强流固耦合方法建立了面向大变形两相流输运管道的双向流固耦合数值计算模型,研究了不同气相表观流速下段塞流诱导的柔性管道大变形流致振动响应特性,分析了柔性管道的振动模态切换特性及管道的大变形振动对两相流流动特性的影响规律。

上海大学高思禹等的《热环境中超临界黏弹性输流管道自由振动分析》以热环境中超临界自由振动的输流管道为研究对象,通过广义 Hamilton 原理建立了两端简支受温度影响的输流管道的控制方程,基于复模态法和伽辽金法离散系统偏微分—积分控制方程,得到热环境下超临界输流管道的模态函数和固有频率,分析了温度增量及初始轴力对管道固有频率的影响规律。

上海交通大学赵峰等的《含翼板浮式防波堤消浪性能分析》基于粘性流体理论,采用计算流体力学方法,对新提出的一种含翼板的箱型浮式防波堤和不含翼板的传统箱型浮式防波堤进行了数值模拟,对比分析了两种浮式防波堤的消浪效果、运动响应和流场特性。

北京航空航天大学罗宸晟等的《涡激旋转下方柱小幅振荡模态的自由流线边界层理论模型》综合钝体绕流的自由流线与边界层理论,建立了流固耦合中方柱体涡激旋转小幅振荡模态下的自由流线—边界层理论分析模型,并且通过浸没边界法进

行数值仿真,分析了小幅振荡模态的主要驱动力,解释了出现周期性振荡的原因。

西南石油大学高岳等的《弯曲柔性立管段塞流致振动实验研究》在气液两相流循环实验系统中开展了水动力段塞流诱导的悬链线型柔性立管振动响应测试,利用高速摄像非介入测试方法同步捕捉了柔性立管的振动位移与管内的段塞流动细节,研究了气液混合流速和气液比两个流动参数对柔性立管振动响应的影响,分析了振幅与振频的时空分布、管内液塞长度、压力波动的变化规律及它们间的内在联系。

长沙理工大学罗楚钰等的《基于表面吸气的矩形截面涡激振动抑制及机理研究》采用数值模拟方法研究侧表面双气孔稳定吸气对宽高比为 4:1 的矩形柱体涡激振动的控制特性,分析了无量纲吸气流量对涡激振动抑制的影响机制和效果。

中国核动力研究设计院刘理涛等的《小型模块化压水核反应堆堆内构件模态特性研究》以国内自主研发的小型模块化压水核反应堆堆内构件为研究对象,采用有限元法开展了反应堆堆内构件干模态和湿模态数值建模分析,获得了吊篮组件、压紧组件、压紧筒组件以及分流环板在空气和静水中的固有频率及相应的振型,并开展模态试验验证了数值模型的正确性。

流固耦合动力学与控制的研究内涵和应用领域非常丰富和宽泛,受篇幅所限,本专刊所收录的论文还远不够全面,只能选取某些特定研究方向上的代表性问题进行展示,其他重要方向,如流固耦合动力学数值计算方法、实验技术、流致振动智能控制及其在航空、航天、船舶、土木、海洋工程、轨道交通等工程领域应用等研究还有待于进一步完善。

参考文献

- [1] DOWELL E H, HALL K C. Modeling of fluid-structure interaction [J]. Annual Review of Fluid Mechanics, 2001, 33(1): 445—490.
- [2] KAMAKOTI R, SHYY W. Fluid-structure interaction for aeroelastic applications [J]. Progress in Aerospace Sciences, 2004, 40(8): 535—558.
- [3] PAÏDOUSSIS M P. Fluid-structure interactions: slender structures and axial flow; second edition [M]. Elsevier Inc., 2016