

海洋工程研究进展与展望

李家春

(中国科学院力学研究所, 北京 100190)

蔚蓝的海洋令人向往, 咆哮的海洋让人敬畏, 冰冻的极地使人却步. 尽管古希腊在爱琴海已有海上商贸, 但直至 15 世纪以后才有郑和下西洋、麦哲伦环球航行和达尔文随舰全球考察的壮举, 在海洋中开采资源和拓展空间更非易事. 现代海洋科学迟至 19~20 世纪之交萌芽, 50 年后, 物理海洋学方逐步成熟. 相应地, 1947 年墨西哥湾的首座平台下水标志了海洋工程的发端, 而今在墨西哥湾、北海、西非和中国南海等海域油气平台林立. 我国的海洋工程从 1970 年左右起从渤海湾起步, 再到莺歌海、北部湾, 迄今已经自主制造半潜式深水钻井平台, 并进入我国南海深水区. 近几年, 我国对北极的科学考察和冰区航运也进行了有益的探索.

《力学学报》组织的这一《海洋工程专题》的 11 篇研究或综述论文, 旨在反映我国研究机构、高等院校、企业公司的科技人员在这一领域的最新研究进展, 涉及海洋工程和水动力学的若干方面, 以促进学术交流, 供该领域的读者参考.

内波是因海水温度、盐度差造成密度稳定分层现象产生的水面下的波浪, 相对于水表面波是一个更为困难的课题. 中国科学院力学研究所王展等人的论文综述了内波研究的最新进展, 涉及连续和间断分层情况, 给出了强、弱非线性内波的基本方程、观测现象、物理特性. 小尺度内波可以促进海洋的混合过程, 大尺度的内波可以导致物质、能量运输, 对海洋结构物产生巨大载荷, 迫切需要深入研究.

流(冰)固土耦合是海洋工程的核心科学问题, 本专题有 4 篇文章与此相关: 上海交通大学王千等的工作是孤立波通过有限淹没平板的水池模型实验. 他们首次应用多目视觉立体重构技术测量自由表面局部形状, 给出了经过淹没平板时孤立波三维变形规律, 为定点波高仪时间序列印证. 他们还用四个三分力测力传感器组成的系统测量了孤立波演化各阶段对平板的作用力和力矩; 上海大学浦俊等研究了三层密度分层流体中斜入射波作用下半无限平板的水弹性响应, 给出了半解析的近似解, 确定了入射波在上下界面间和开阔水域中反射波与透射波存在的临界角; 中国科学院力学研究所刘俊等的工作结合大型流固土耦合波流水槽, 设计具有微结构阻尼的柱体涡激振动装置, 研究了近壁面柱体涡激振动的迟滞效应, 即: 与涡激振动停振对应的下临界速度小于涡激振动触发的上临界速度. 实验还发现, 近壁面柱体涡激振动触发的临界速度随柱壁间隙比减小而减小等现象; 大连理工大学刘璐等采用扩展多面体离散元方法对海冰在斜面结构上的堆积过程、多桩腿结构的冰载荷、船舶在冰区航行中的冰阻力进行了系统的数值计算和对比验证, 并进一步开发了船舶与海洋平台结构冰载荷的高性能离散元计算软件, 可为极地海洋工程结构的抗冰设计和安全保障提供有效的科学手段.

浮体运动响应是海洋工程界关注的另一关键科学问题. 本专题刊登了哈尔滨工程大学周斌珍等的一篇国内、国际合作论文, 他们关注可再生能源的新方向——风能和波浪能联合发电装置的研发. 该文分析讨论了多种研究联合发电系统性能的水动力学方法, 为联合发电系统的水动力设计提供依据; 另一篇是大连理工大学张崇伟等有关具有多个晃荡液舱的浮式结构运动响应的论文, 浮体运动将与外场水动力和各液舱内晃荡力耦合. 作者给出了浮体结构运动响应时域方程和高效算法, 发现晃荡可对纵荡和纵摇运动产生显著

引用格式: 李家春. 海洋工程研究进展与展望. 力学学报, 2019, 51(6): 1587-1588

Li Jiachun. Progress and prospect of ocean engineering. *Chinese Journal of Theoretical and Applied Mechanics*, 2019, 51(6): 1587-1588

影响,但对垂荡运动影响很小,研究结果为单液舱浮式结构实验验证。

空泡问题是众所周知的水动力学难题。一方面,在高速水流条件下,由于水介质蒸发可产生多种形式的气泡和气泡群,它们的变形、相互作用、溃灭过程、射流产生和载荷等预测十分困难;而因水下爆炸产生的气泡脉动对结构物的巨大的破坏力机理也尚未深入认识。本专题的2篇研究论文都与气泡的溃灭有关。哈尔滨工程大学李帅等的研究论文采用水下高压放电技术产生气泡,并通过高速摄影对不同边界条件下气泡的运动特性进行数值和物理实验研究,模拟气泡非球状坍塌过程。研究表明,边界条件改变近气泡流场压力梯度方向,进而影响气泡射流初生位置,气泡附近的局部高压区和射流之间的“正反馈效应”则是导致气泡射流骤增的力学机理。另一方面,射流速度和碰击压力在回弹时将逐渐减小;中国科学院力学研究所的郭文璐等综述了空泡溃灭现象,着重讨论单气泡与自由面的相互作用规律。在有限区域条件下空泡与自由面相互作用会产生瞬态强烈耦合,涉及空泡变形、自由面失稳、非球形溃灭等现象。论文还介绍了卡尔文冲量理论、界面凹陷奇点概念和瑞利-泰勒不稳定性等理论模型。

本专题还有2篇文章属于近岸工程研究范畴。河口底层浮泥异重流对河口地貌和航道淤塞有重要影响,是海岸工程研究的热点之一。天津大学的徐海钰等构建了波浪与底泥相互作用的双层流体模式(上层牛顿流体,下层幂律流体),分析了波浪作用下上层水流场、下层底泥流场、压力场以及异重流泥面波与水表面波的波幅比等特性,讨论了波圆频率、底泥密度、幂律指数的影响。实测的波幅比数据证实了该异重流模型的合理性;中山大学詹杰民等人研究了与泥沙运输和海岸防护相关的近岸波浪的变形与破碎问题。作者提出一种三维分区混合湍流模拟方法:即在造波区采用层流模型,在波浪传播区采用大涡模拟(LES),在消波区用多孔模型消波。采用VOF方法捕捉波浪破碎时的自由面变化。针对典型的规则/不规则波的波浪破碎和非破碎情形进行了研究,模拟结果与实验吻合,为三维波浪的传播与破碎研究提供新途径。

21世纪海洋工程的发展趋势是从近岸走向远海,从浅海走向深海,从水面走向水下,从中低纬度走向极地。海洋经济、生物资源、能源开发、空间利用和国家安全为水动力学与海洋工程界的科技人员提供了良好的机遇。另一方面,鉴于严峻的海洋环境和有限的探测手段,下海的难度绝不亚于上天,人类为开发海洋仍面临严峻的挑战。因此,不仅本专题涉及领域的课题都有待于深入研究,还有许多尚未涉及的重要科学前沿和技术难题,诸如:先进海洋观测、水合物的开采、深水工作站系统设计、水下航行器研发、海洋噪声机理与探测、极地海洋结构抗冰设计等需要开拓,因此,我们将通过加强海洋工程界创新研究,科技人员国内外学术交流和优秀青年人才培养,共同为我国在不远的将来实现建成海洋强国的宏伟目标而不懈努力。

doi:10.6052/0459-1879-19-355