深海工程力学专题

深海工程力学专题序

高福平[1)]

(中国科学院力学研究所流固耦合系统力学重点实验室，北京 100190)

(中国科学院大学工程科学学院，北京 100049)

海洋资源开发及空间利用等工程实践不断迈向更深和更远的海域，面临深水极端环境载荷和复杂海床地质条件的严峻挑战。《力学与实践》组织出版“深海工程力学”专题，包括 2 篇邀请综述论文[1-2] 和 10 篇研究论文[3-12]。本专题旨在聚焦深海工程开发中的关键科学与技术难题，刊登我国学者在深水工程结构系统设计与安全保障技术、深海超常环境力学等方面取得的若干研究进展，主要涉及深海矿物资源开采[1]、深水管道及立管多相流动与分离调控[2-4]、管道结构力学响应及优化设计[5-6]、深水工程结构基础系统（包括深水拖曳锚[7]、深水防波堤[8] 及海上漂浮式风力机[9]）、深海天然气水合物开采[10-11] 以及深海陆坡地层稳定性[12]。

海南大学沈义俊教授等[1] 综述分析了国内外深海矿物资源开采系统的发展进程及几种典型的深海资源开采系统，提出了深海矿物资源开采系统所涉及到的关键力学问题及技术挑战，主要包括深海矿物资源开采系统的总体设计及集成控制、采矿车采集动态性能控制、立管输送系统动态特性、以及环境监测与评价。

如何准确预测长距离输送管道内部复杂工况条件下的气液两相流动是深海油气输运的关键工程科学问题。江苏大学张德胜研究员等[2] 对欧拉–欧拉框架下气液多相流模拟的主要相间力模型及其发展情况进行综述，分析了欧拉–欧拉方法应用于深海油气混输高压高含气率特殊环境的局限性并展望了未来发展趋势。针对海上油气井关井状态下柔性立管内油气分层导致的立管张力分布不均匀问题，大连理工大学王振教授等[3] 建立分段海洋立管横向振动的简化数学模型，给出了关井状态下立管横向振动的自然频率及相应的模态函数表达式，进而分析了油气占比、密度、顶张力对振动自然频率和模态函数的影响。面向海上油田低含气率采出液除气作业的工程需求，中国科学院力学研究所许晶禹研究员等[4] 研发了一种被动式轴向旋流除气装置并设计原理样机，通过接入自循环流动系统开展装置的除气特性测试，观测了内部流场气相分布，并考察了分流比、除气率、处理后液体含气率和压降之间的关系。

深水海底软管连接器受到多种载荷工况作用，对海底管道及整个水下生产系统的安全运营产生重要影响。中海石油（中国）有限公司刘孔忠教授级高级工程师等[5] 以南海某深水气田软管连接器安装工程为例，介绍了鹅脖连接器的工作原理和技术优势；针对软管平铺阶段、连接器测漏和静水压测试三种深海工况条件开展了鹅脖连接器极限载荷计算及结构应力分布有限元仿真研究。低温柔性管道是海上浮式液化天然气生产储卸装置系统的核心装备之一，而 U 型波纹管作为管道最内层结构，直接影响低温管道的安全性。大连理工大学阎军教授等[6] 选取波径和环板长度作为独立结构设计参数进行了结构有限元分析，并采用遗传算法对 U 型波纹管结构开展了多目标优化研究。

拖曳锚是一种结构简单、造价经济的深水系

本文于 2022–10–05 收到。

1) 高福平，研究员，主要研究方向为海洋土力学、流固土耦合力学、海洋工程。E-mail：fpgao@imech.ac.cn

引用格式: 高福平. 深海工程力学专题序. 力学与实践, 2022, 44(5): 1003-1004

Gao Fuping. Preface of special issue on deep-sea engineering mechanics. *Mechanics in Engineering*, 2022, 44(5): 1003-1004

(C)1994-2022 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net

泊基础型式，其安装下潜深度直接影响抗拔承载力的发挥。大连理工大学于龙教授等[7]提出了一种通过调整锚胫侧倾角提高拖曳锚下潜性能的方法，并采用大变形有限元分析进行了验证；以MK5拖曳锚在砂土中的安装过程为例，分析了锚胫前倾角、锚胫侧倾角、拖曳锚密度、锚–土界面摩擦特性等因素对拖曳锚下潜深度的影响。为适应船舶大型化的需要，沿海港口逐渐向外海深水区发展，这对深水防波堤的工程设计提出了更高要求。天津大学肖忠教授和章嘉晨[8]针对现有箱筒型基础防波堤存在的主要问题，提出一种圆矩形吸力式深水防波堤型式；参考天津海积软土不排水循环三轴试验数据推导软土循环强度计算公式，进而建立了圆矩形吸力式防波堤循环承载力的高效计算方法。海上漂浮式风力机支撑结构动力载荷的确定对于结构设计、施工过程及运维保障至关重要。上海交通大学张景新副教授等[9]阐释了浮式支撑平台水动力载荷计算的势流理论方法和计算流体动力学CFD模型方法和各自的优势及劣势；以某浮式支撑结构的物理模型实验为例，指出现有物理模型实验技术存在比尺效应等局限性，并提出了改进措施。

针对天然气水合物热分解引起的地层多场响应问题，中国科学院力学研究所张旭辉副研究员和鲁晓兵研究员[10]利用量纲分析得到了传热、水合物相变、渗流、地层应力重分布的特征时间；发现各特征时间尺度相差两个量级以上，从而提出了便于应用的解耦分析方法。桂林理工大学颜荣涛教授等[11]以细粒土作为沉积物骨架，通过富气法制备含天然气水合物沉积物试样，开展三轴压缩试验探究了密实度对含水合物土体的力学特性的影响规律。中国科学院深海科学与工程研究所孙金副研究员和王大伟研究员[12]针对深水陆坡海底地层失稳预测难题，建立了深水陆坡井场海底稳定性评价流程；以琼东南陆坡区陵水深水井场为例，构建井场三维海底实体模型，进而预测分析了井场潜在滑坡体位置及可能滑动方向。

从上述文章介绍可以看出，深海工程实践所涉及的结构类型繁多，且不断创新演进；然而许多重要的深海工程结构在本专题未能涵盖，例如深潜器、深海空间站、海底通讯光缆等。海洋环境是复杂多变的，深海工程结构除了承受台风、海浪、内波、海底浊流、地震海啸等环境载荷，还遭受海水腐蚀及海洋生物侵蚀的影响。蔚蓝色的海洋蕴藏着丰富的资源，21世纪被称为海洋的世纪。我们要进一步“关心海洋、认识海洋、经略海洋，加快海洋科技创新步伐”，为建设海洋强国贡献力量。

参 考 文 献

1 沈义俊, 陈敏芳, 杜燕连, 李萌. 深海矿物资源开发系统关键力学问题及技术挑战. 力学与实践, 2022, 44(5): 1005-1020

2 高一博, 耿琳琳, 王振, 张振楠, 张德胜. 基于欧拉–欧拉方法的气液两相流数值模型发展综述. 力学与实践, 2022, 44(5): 1021-1036

3 王振, 韩佳琦, 李媛媛, 王芳, 张德胜, 张振楠. 关井状态下油气混输立管的自然频率分析. 力学与实践, 2022, 44(5): 1037-1047

4 张彦欢, 刘硕, 杨猛, 许晶禹. 被动式轴向旋流除气装置性能研究. 力学与实践, 2022, 44(5): 1048-1054

5 刘孔忠, 刘统亮, 何恩, 魏行超, 戚蒿, 薛大智. 深海多工况载荷作用下软管连接器结构强度分析. 力学与实践, 2022, 44(5): 1055-1065

6 曹慧鑫, 英玺蓬, 耿东岭, 阎军. FLNG低温软管内衬波纹管多目标优化设计. 力学与实践, 2022, 44(5): 1066-1074

7 于龙, 郭岩岩, 李书兆. 锚胫侧倾角对拖曳锚在砂土中的下潜性能大变形数值分析. 力学与实践, 2022, 44(5): 1075-1080

8 肖忠, 章嘉晨. 圆矩形吸力式深水防波堤的循环承载力的高效计算方法. 力学与实践, 2022, 44(5): 1081-1092

9 张景新, 赵永生, 樊翔, 何炎平, 邹望. 海上浮式风力机支撑结构的流固耦合动力学研究. 力学与实践, 2022, 44(5): 1093-1104

10 张旭辉, 鲁晓兵. 天然气水合物热分解引起多场响应的特征时间分析. 力学与实践, 2022, 44(5): 1105-1110

11 于鸿飞, 杨德欢, 颜荣涛, 魏厚振, 陆地. 密实度对含水合物土体力学特性的影响. 力学与实践, 2022, 44(5): 1111-1119

12 孙金, 王大伟. 考虑强度垂向非均质性的三维深水陆坡井场稳定性分析. 力学与实践, 2022, 44(5): 1120-1128

doi：10.6052/1000-0879-22-558

(C)1994-2022 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net