

内孤立波的线下线上融合式教学模式

孙晓芳, 张世崧, 李改肖

海军大连舰艇学院, 军事海洋与测绘系, 辽宁 大连

收稿日期: 2023年5月30日; 录用日期: 2023年8月10日; 发布日期: 2023年8月18日

摘要

围绕海洋流体中内孤立波知识点, 统计五届海洋学专业学员任务单测评数据, 分析中尺度现象——内孤立波理论教学中存在的不足, 总结出需要改进的问题, 进而有针对性地探索线下线上融合式教学模式。该模式坚持学为主体、理实一体的教学理念, 采用理实结合、虚实结合的教学方法, 尝试在实验实操 + 仿真拓展的教学过程中, 重塑学员海洋环境知识体系, 加深学员对内孤立波运动特征的认识, 教学效果得到显著提升。

关键词

内孤立波, 理实一体, 虚实结合, 融合式教学模式

Exploring the Offline and Online Integrated Teaching Mode of Internal Solitary Waves

Xiaofang Sun, Shisong Zhang, Gaixiao Li

Department of Hydrography and Cartography, PLA Dalian Navy Academy, Dalian Liaoning

Received: May 30th, 2023; accepted: Aug. 10th, 2023; published: Aug. 18th, 2023

Abstract

Based on the knowledge of internal solitary wave in marine fluid, this paper collects the assessment data of the task order of the fifth session of oceanography students, analyzes the shortcomings in the teaching of mesoscale phenomenon—internal solitary wave theory, summarizes the problems that need to be improved, and then explores the offline and online integrated teaching model. This model adheres to the teaching concept of learning as the main body and integrating

science with reality, and adopts the teaching method of combining science with reality and virtual with reality. In the teaching process of experimental practice and simulation expansion, it tries to reshape the students' knowledge system of marine environment, deepen the students' understanding of internal solitary wave movement characteristics, and the teaching effect has been significantly improved.

Keywords

Internal Solitary Wave, Integration of Reason and Reality, Combination of Virtual and Real, Integrated Teaching Mode

Copyright © 2023 by author(s) and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY 4.0).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

1. 引言

内波与海浪不同,它是发生在海洋内部密度跃层处的一种波动。内波虽不像海面波浪那样汹涌澎湃,但它隐匿水中,暗中作祟,常使人们防范不及,故有“水下魔鬼”之称。内波中尤以内孤立波的破坏力最强,内孤立波在跃层上下会形成两支反向流,产生强剪切作用,内孤立波还具有大振幅,当潜艇穿过波面进入低密度海区时,会因为所受浮力大幅度减小,而发生“掉深”。1963年4月10日,美国“长尾鲨”号核潜艇,在大西洋距波士顿港口350公里处突然沉没,艇上160人无一生还,事后经过对沉入海底、变成碎片的残骸分析后发现,下沉的原因是潜艇在水中航渡时,遭遇了强烈的内孤立波,因“掉深”后无法承受极限压力而破碎。

我国某潜艇在南海某海域执行任务时,也曾遭遇“水下魔鬼”——内孤立波的影响,瞬间引发潜艇急剧“掉深”,可谓惊心动魄,多亏处置得当,安全脱险,差点酿成艇毁人亡的重大事故。内孤立波是怎么生成的,为何有如此大的破坏力,有无制服它的绝招?这些都是海洋流体中内孤立波知识点的相关内容。

内孤立波的运动复杂,在以往的理论教学中,对其生成机理的讲授通常采用类比海浪成因来完成;内孤立波的传播特征,因其与海浪的运动有着极大的差异性,也只能通过动画演示内孤立波环境下不同位置水层的运动情况来定性讲授;对于为什么会使潜艇发生“掉深”,则采用理论受力分析的形式剖析运动与受力的关系。这种多维度、时空场的海水运动晦涩难懂,上述教学模式的教学效果并不理想。

统计五届海洋学专业学员课上-课后任务单的测评结果如下表1,分析数据发现:采用传统理论讲授的课堂教学模式,在基本知识模块,学员的掌握情况较好,对于什么是内孤立波,作答准确率为90%左右,对于形成内孤立波的条件,作答准确率为85%左右;学员知识间的融合能力较强,能够区别海浪与内孤立波的本质特性,相关习题的作答准确率为89%左右,对于常见的扰动源类型也能归纳3或4种,准确率达86%左右。相比较而言,课堂上采用运动分解的方式讲授内孤立波强剪切、大振幅、表层辐聚辐散等运动特征,教学效果却较为一般,相关习题作答准确率只有70%左右。内孤立波的运动特征是进一步解释潜艇发生“掉深”的根本依据,对传播规律理解不深刻,学以致用效果固然也不理想,所以在归纳总结内孤立波与“掉深”关系以及内孤立波对潜艇航行安全影响部分,学员的准确率也只有66%左右,这足以说明学员对复杂海洋现象背后的机理掌握还不够透彻。隐藏在水下的内孤立波运动是海洋中的复杂现象,其运动规律较为抽象,要想提升教学效果,尝试新的教学方法或教学模式迫在

眉睫。

Table 1. In class-after class task list test results of internal solitary wave
表 1. 内孤立波课上 - 课后任务单测评结果

问题	2015 级	2016 级	2017 级	2018 级	2019 级	
课上 准确率	1) 什么是内孤立波?	91.20%	87.30%	85.60%	90%	93.75%
	2) 形成内孤立波的条件有哪些?	89.30%	88.70%	86.30%	81.80%	80.50%
	3) 内孤立波的运动特征有哪些?	70%	72%	68.75%	75%	75%
	4) 解释“掉深”现象与内孤立波的关系。	68.18%	66.67%	73.08%	70%	65%
课后 准确率	1) 内孤立波与海浪的区别有哪些?	91.82%	85%	86.92%	90%	85%
	2) 扰动源的常见类型有哪些?	90.90%	83.33%	84.62%	86.67%	87.50%
	3) 内孤立波对航行安全的影响有哪些?	63.63%	58.33%	61.54%	60%	62.50%
	4) 预报内孤立波传播位置的方法有哪些?	72.73%	66.67%	76.92%	73.33%	75%

2. 探索线下理实一体的教学模式

2.1. 理论讲授融合线下实验

实验教学是帮助学员理解客观世界运动规律、掌握知识生产能力的重要方式，是在客观知识学习与实践技能培养之间建立联系的有效手段[1]。为了在课程教学中贯穿理实一体、学为主体的教学理念，课题组开始探索理论讲授融合线下实验的教学模式。该教学模式以培养探究学习能力为基础，以保障潜艇航行安全为目的，将抽象的理论知识融于实践教学中，让学员在学中作、作中学，在动手实操中理解内孤立波。

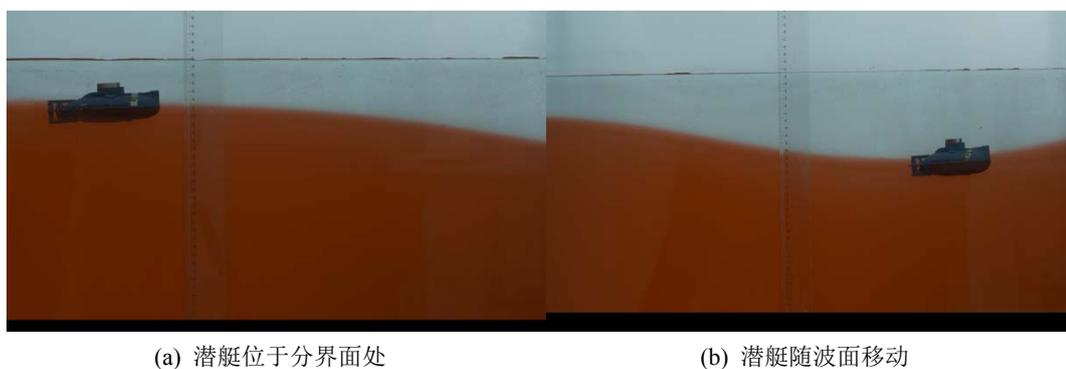


Figure 1. Submarine “Sinking” after encountering internal solitary wave
图 1. 潜艇遭遇内孤立波后“掉深”

基于海洋流体动力学实验室现有水槽设施，通过配比稳定的密度层化水、布设扰动源、构造塌陷水生成内孤立波，进而“复现”某潜艇遭遇内孤立波后的“掉深”过程，见图 1。学员在配比稳定密度层化水时，可以随机变换上下层水体的高度比；又可在构造塌陷水时，任意改变塌陷深度与塌陷高度的数值；也可在潜艇下潜深度上做不同的位置选取。在自主探究流体环境的构建中，学员不知不觉地理解了内孤立波的生成机理，唤起了学员认知海洋的热心，也点燃了应用海洋的信心。

2.2. 线下理实一体的教学模式的优缺点

优点主要体现在：一是有利于探究各个参数与内孤立波波长、波幅的关系，分析潜艇“掉深”与下潜深度的关系，这对更深层认识复杂现象背后机理有着至关重要的作用；二是实验水中也配置了对应密度的 PIV 粒子，在激光照射下，通过可视化参照粒子的运动轨迹可以直观地呈现上下层水体的运动情况，这对解释内孤立波的传播规律具有很好的说服作用，见下图 2；三是培养了学员动脑分析问题、动手解决问题的能力，实验实操让学员知识掌握更透彻。

缺点主要体现在：一是实验准备时间过长，搭建一次实验基础条件需要 9 个小时，完成整个多参数实验结果对比，需要 3 天时间，这显然不能在 90 分钟的课堂上完成；二是实验室生成的内孤立波幅值在 6 厘米左右，离实际海洋中内孤立波的幅值达几十米至几百米相差甚远，运动幅度的严重弱化，不利于挖掘内孤立波的其他运动特征。

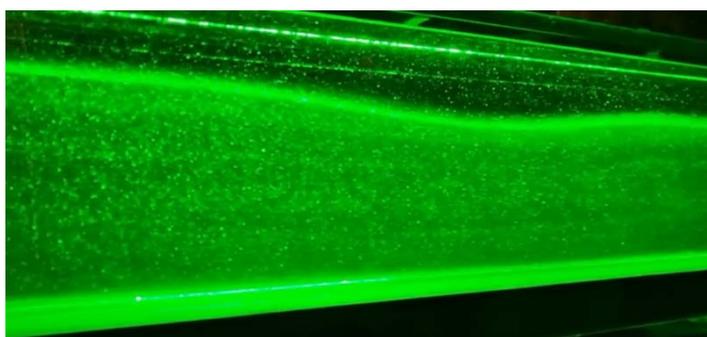


Figure 2. PIV particle imaging under laser condition
图 2. 激光条件下的 PIV 粒子成像

3. 探索“水下魔鬼”——内孤立波的线下线上融合式教学模式

3.1. 搭建虚拟仿真实验平台

基于虚拟仿真技术，如何实现对真实海洋环境的客观描述，以确保海水运动的各项参数通过量化模拟之后，能够精准地反映客观运动规律，是当下虚拟仿真实验教学需要解决的重要技术问题[2]。也就是说虚拟仿真关键技术突破在于解决复杂时变场景的物理仿真、多元数据驱动的智能高效场景建模与绘制等高难度虚拟仿真等问题[3]。

本文利用三维仿真技术嵌入海水运动方程以及地形等边界条件，以及软件中环境相关控制参数的选设，构建了多个高度接近现实海洋的虚拟环境，立体化模拟了多变量海战场环境，重塑学员海洋环境认知体系。又通过仿真模拟力的作用，呈现了潜艇受强剪切作用后发生断裂的场景，补充了内孤立波强剪切的运动效果，完善了内孤立波的知识体系。仿真技术刻画表达的内容直观形象，给学员带来的视觉震撼大大提升了教学效果。

3.2. 探索线上虚实结合的教学模式

应对“互联网+”时代的冲击，教学模式要做到超前识变、积极应变和主动求变，利用新兴信息技术建设虚拟仿真实验教学平台，有助于解决知识学习与实践技能获得之间的鸿沟[4]。在此背景下，高校陆续开展了在线虚拟仿真实验教学项目，精准破解高校实践教学中长期存在的做不了、做不好、做不到、做不上等难题。本文基于线下理实一体教学模式存在的问题，以及虚拟仿真实验教学效果，尝试探索线上虚拟仿真实验教学与线下理实一体深度融合的教学模式，以期利用仿真技术缩减实验耗时、拓展实验内容，

在参数选设中，再现内孤立波的发生与发展，图3则为线上仿真模拟生成的内孤立波。

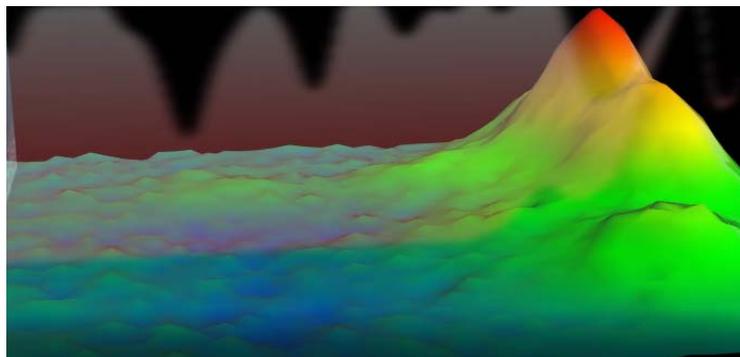


Figure 3. Simulation of internal solitary wave generation

图3. 仿真模拟内孤立波的生成

通过在仿真流体中添加光的作用，能够发现内孤立波环境下的水体运动会引发表层流场的变化，由仿真实验得到的启发，经分析可见光雷达图像发现，内孤立波发生的海区，海表面真的会形成“辐聚”、“辐散”现象，这种“辐聚”与“辐散”在光学成像上则对应着亮、暗相间的条纹。所以借助可见光遥感卫星便可感知内孤立波的发生位置与传播方向，这为精确预报内孤立波提供了科学依据，这一发现可为潜艇的深海潜行保驾护航。

“水下魔鬼”-内孤立波的线下线上融合式教学模式创新点有三：一是构建了问题牵引-任务驱动-自我探究的全翻转式实验实操模式，体现了学为主体、理实一体的教学理念；二是采用仿真技术立体式模拟了内孤立波环境下的水体运动，创新了教学手段，完善了虚实结合的教学方法；三是完善了课前推送实验资料-课上理论讲授-课后仿真模拟的教学环节，创设了实验实操+理论学习+仿真拓展的教学过程。该模式的显著成果是：多数学员能够描述出内孤立波的生成机理；能够绘制出内孤立的运动特征；能够解释清楚潜艇“掉深”的原因；也能够应用知识预估内孤立波传播位置。2020级海洋学专业学员是采用线下线上融合式教学模式授课的第一届学员，他们在内孤立波课上-课后任务单测评中的表现见表2。

Table 2. Assessment of in-class and after-class task list completed by Class 2020 students

表2. 2020级学员完成内孤立波课上-课后任务单测评情况

	问题	2020级
课上 准确率	1) 什么是内孤立波?	93.70%
	2) 形成内孤立波的条件有哪些?	90.30%
	3) 内孤立波的运动特征有哪些?	91.50%
	4) 解释“掉深”现象与内孤立波的关系。	88.42%
课后 准确率	1) 内孤立波与海浪的区别有哪些?	91.52%
	2) 扰动源的常见类型有哪些?	93.90%
	3) 内孤立波对航行安全的影响有哪些?	85.63%
	4) 预报内孤立波传播位置的方法有哪些?	87.17%

4. 结论

内孤立波发生的海区，海面看似风平浪静，但水下已是暗藏杀机，这种藏而不露的假象往往使潜艇在深海大洋执行任务时命悬一线，险象丛生。对于内孤立波这种晦涩难懂的知识，基于仿真技术开展的线上虚拟仿真实验教学是对当前理论教学的补充、传统线下实验教学的拓展。探索线下线上融合式教学模式，有助于学员在动手实操、亲身体会之后，再由仿真手段进一步从环境模拟、实验范围、实验深度等方面立体化呈现内孤立波的传播过程及运动规律，显著提升内孤立波相关知识的学习效果；也有利于实现知识与能力、理论与实践、线上与线下的有机结合。在培养严谨求实科学态度的同时，加强内孤立波海洋环境对航海安全危害的深刻认识，这些对夯实学员专业基础、提升在海洋环境保障相关岗位工作的专业技能均有重要意义。

致 谢

本文选题来自李改肖副教授的推荐，感谢李改肖副教授在教学模式探索过程中，给予的教学理念指导以及教学方法建议。实验费时费力，没有详细的实验数据，就不会清楚掌握理实一体化教学模式的优缺点，感谢张世崧教员周详地保障了实验环境的搭建。感谢过往五届航海专业学员认真仔细地完成任务单，并及时准确地反映学习需求。最后，感谢流体力学教学组的各位教员，能在仿真实验平台的搭建中，贡献自己的力量。

基金项目

海军大连舰艇学院教育科研课题类项目《海洋流体力学创新模式研究》。

海军大连舰艇学院教育科研课题类项目《基于流体力学与海洋学实验室开展虚拟仿真试验平台融合线下实验的教学模式探索》。

参考文献

- [1] 刘宁. 虚拟仿真实践训练在化工生产实习中的探索[J]. 教育现代化, 2016(21): 121-122.
- [2] Wit, E. and McClure, J. (2004) *Statistics for Microarrays: Design, Analysis, and Inference*. 5th Edition, John Wiley & Sons Ltd., Chichester, 5-18.
- [3] Gao, X., Cui, H., Zhu, L., *et al.* (2019) Multi-Source Data-Based 3D Digital Preservation of Large-Scale Ancient Chinese Architecture: A Case Report. *Virtual Reality & Intelligent Hardware*, 1, 525-541. <https://doi.org/10.1016/j.vrih.2019.08.003>
- [4] 逯行, 朱陶, 徐晶晶, 等. 高校虚拟仿真实验教学的基本问题与趋势[J]. 现代教育技术, 2021(12): 61-68.