

潮成内波在物理海洋和相关学科中的影响

杜 涛, 方欣华

(中国海洋大学物理海洋研究所, 山东 青岛 266003,)

摘 要: 潮成海洋内波作为物理海洋学中的一个研究内容, 虽然对海洋中的能量分配过程起着相当重要的作用, 但其作用和影响却不仅仅限于此范畴之内。在许多相关学科的研究中, 如水声学、地学(物质输运、地形地貌、深水沉积、地壳液体流动)、海洋工程(海洋资源的勘探、开发和保护等)、海洋生态环境, 海水养殖、渔业捕捞, 航道淤积以及观测仪器、卫星海洋学等, 都存在潮成内波的作用。文章分析了线性或弱非线性潮成内波(常称为内潮波)和强非线性潮成内波(常称为内孤立波)可能的作用方式, 对其在物理海洋学及各相关学科中的作用作了简单介绍。

关键词: 潮成内波; 内潮波; 内孤立波; 水声学; 海洋工程; 卫星海洋学

中图分类号: P732 **文献标识码:** A **文章编号:** 1003 — 0239 (2003) 04 — 0050 — 06

1 引言

在海洋内波被发现以前, 对于海洋中的“死水”现象(在海上正常航行的船只遇到合适的内波后, 由于推进器能量被内波消耗, 使得船速突然变慢、象被海水粘住似的)很难给出令人满意的解释。在海洋内波被发现后的很长时间内, 它在海洋观测中一直被看作是讨厌的噪声, 将观测资料中的“反常”或“不规则”现象都归因于它的存在。直到本世纪四十年代, 随着温深仪及之后大量快速密集取样的海洋调查仪器相继使用, 内波研究才较快地发展起来。“死水”现象和所谓的“噪声”或许是海洋内波对人类活动存在影响的最早的感性认识。

随着科学技术的不断发展, 人们在海洋中的活动范围越来越大。但就目前和今后一段时间的发展来看, 大部分的海上活动, 如对海洋石油和天然气等地矿资源的开采, 渔业和海水养殖业的发展, 海洋环境的保护等, 仍然限于近海或陆架浅海的区域内。在这个范围内最常出现的海洋内波就是潮成内波。因此潮成内波的影响也必然成为最为引人注目的问题之一。事实上, 由于潮成内波影响的广泛性, 不仅在物理海洋学中而且在很多其他相关学科中都需要对潮成内波的作用和影响进行研究。

2 潮成内波产生影响的方式

收稿日期: 2003-04-04; 修订日期: 2003-05-29

基金项目: 山东省自然科学基金资助(Y2000E04), 高等学校重点实验室访问学者基金资助;

作者简介: 杜 涛(1963-), 男, 博士, 近几年主要从事中国海海洋内波的研究。中国海洋大学海洋遥感教育部重点实验室访问学者。

在稳定层化的海水中, 潮成海洋内波的产生除了受海水的层化强度和层化的垂直结构影响外, 还与内波产生地的潮流和地形变化有着密切的关系。在潮成内波的传播过程中, 这些因素的影响同样也非常重要。线性或弱非线性潮成内波通常称为内潮波, 而强非线性潮成内波则常称为内孤立波。根据它们的特点, 其作用或影响方式大体分为以下几种:

(1) 内潮波和内孤立波使海水内部的等密度面产生大幅度的上、下波动, 这种波动会改变声信号在海水中的传播路线, 减小声信号的传播距离。

(2) 当内孤立波形式的潮成内波在较浅的密度跃层传播时, 可使表层流场产生较大的迅速改变, 表现为出现突发性强流, 对海洋工程结构物、设备和船只等施加额外的冲击作用力。

(3) 当密度跃层较接近海底时, 内潮波和内孤立波可使底层流动速度增加, 从而强化底层流场, 对海底产生较强的冲刷, 对底部的物质输运及地形地貌的变化等产生影响。

(4) 大振幅内潮波和内孤立波在浅海或水深较浅海区的破碎, 会引发强烈的海水混合或形成上升流, 从而将底部富含营养盐的低温海水带到表层, 使表层的生态环境等发生改变。

(5) 由于潮成内波的存在, 使得密度跃层上下的海水流动呈剪切状态, 对于跨越跃层的水中运动物体产生剪切作用, 从而可能影响到运动物体的运动姿态和运动轨迹等。

(6) 当内孤立波以波包形式出现或传播时, 伴随其中每一个内孤立波的出现, 都有强弱不等的剪切流产生。这样, 在不太长的时间内它们将产生多个、时间间隔不等的、变剪切强度的冲击载荷。

(7) 潜在在密度跃层上的潜艇, 在随着大振幅内潮波上下运动时, 随着潜艇潜水深度的改变, 潜艇的隐蔽性可能会受到影响。而运行中的潜艇, 当遇到强内孤立波时, 突然而至的强流对其操作性能、运行稳定性和安全性等都将产生较大影响。

(8) 现有的海洋调查仪器和方法在用于潮成内波和一般海洋内波的观测时, 还有很多地方需要更新和完善, 因此潮成内波的研究也对发展新观测仪器、研究方法和手段等有一定的刺激或促进作用。

在研究和考虑潮成内波的影响和作用时, 除了考虑上述可能的方式外, 还需要考虑影响潮成内波强度、非线性强弱等的因素。因为潮成内波的产生和传播要求海水必须是稳定层化的, 因此影响海水层化的因素必然对潮成内波产生影响; 又由于潮成内波是从正压潮中获取能量, 所以正压潮的强弱和地形变化的程度也都会影响到潮成内波。

3 潮成内波在相关学科中的作用与影响

3.1 潮成内波与水声学

在诸多受到潮成内波影响的学科中, 潮成内波对水声学的影响可能是研究得最早也是最多的。因为这种影响被认识的时间最早、涉及的范围最广。潮成内波的存在使得海水内部的温跃层或密度跃层等产生大幅度的垂直波动, 水中传播的声信号以不同的角度

与这种波动状况下的跃层相遇时,信号的反射、折射和聚焦性会受到严重的影响或破坏,信号强度下降,传播距离和传播方向等发生较大的改变。因此,一切与水声学有关的活动如海洋观测、水下通讯以及海洋观测资料分析等都因此受到不同程度的影响。例如,海洋内波被认识以前,在处理含有海洋内波的观测资料时,就常被其中复杂的内波信号所困扰。有关潮成内波对水声信号影响这方面的研究,有兴趣的读者请参阅相关的书籍、文章。

3.2 潮成内波与海洋资源的开发

资源紧缺、人口膨胀和环境污染等是人类社会持续发展迫切需要解决的一些问题。而开发和利用海洋中的石油、天然气等类资源正是解决这些问题的一个重要且有效的途径。对海洋资源进行开发和利用的活动是否能够成功,在很大程度上决定于对各种海洋环境要素如浪、流、潮以及内波等的分布和变化规律的掌握。因此,全面系统地掌握开发海域内各种海洋环境要素的变化规律是非常重要的。海洋内波作为一种常见的海洋环境要素,尤其是潮成内波对海洋结构物的影响,也是必须深入研究的一项重要内容。

比较随机海洋内波与潮成内波,不论是进行理论分析、实验观察、现场和遥感观测还是数值模拟等研究,潮成内波都要比随机内波容易的多。在现阶段开展内波对海洋结构物影响的研究,主要应该针对潮成内波的影响进行。这样做,一方面因为对潮成内波的生成机制和传播特性有了较多的了解。另一方面,先对较简单的潮成内波影响进行研究,再对较困难的随机内波影响进行研究,比较符合人类认识事物的一般规律。

海洋石油、天然气等资源的开发利用所涉及的结构物大体包括海上平台、钻杆、输油和输气管道、储油轮和缆绳等,潮成内波会给它们的施工安装以及正常工作时的安全或操作性能产生一定的影响,某些影响甚至具有潜在的破坏性。在 Ebbesmeyer et al (1991) 的报告中指出,80 年代中后期,Amoco 石油公司和中国海洋石油总公司南海东部公司,在我国南海流花油田进行的海上石油开采作业中,遇到了由强内孤立波引发的施工操作困难和设备损坏,如:锚定储油罐受到内孤立波引起的强流作用,在不到 5 min 内摆动 110° 从而导致操作困难等。在阿得曼海,一个石油钻井机被水下经过的内孤立波推移了 90° 并使其产生了 30 多米的位移^[1]。

潮成内波的影响不仅与承受其作用的具体构件有关,而且还与密度跃层的深、浅、强、弱以及潮成内波的非线性强弱等因素有关。例如,内孤立波在深度较浅的密度跃层传播时,其在表面流场引发的突发性强流会对各种海上设备产生较强的冲击作用,使运油轮在靠近海上储油罐时发生操作困难等;而当跃层的深度较深时,线性和非线性潮成内波都使底部流动增大,产生强烈的底部冲刷,可对海底输油、输气管道和柱桩等的安全稳定产生不利影响。目前公开报道的由内波引发的海上结构物破坏的实例虽不多见,但这不足以说明内波的影响较弱。因为:第一,对实际海域中内波本身的性质、特点等掌握的还不够全面,对它们的影响和作用缺乏足够的认识。第二,当有海上设施遇到操作困难或结构物等遭到破坏时,很少有可用的现场观测资料来证明当时是否有内波存在,

也就不能否定破坏是否与内波有关系; 第三, 当内波与其它海洋环境因素共同作用时, 内波对共同作用结果的贡献究竟有多大。这个问题到目前为止还未研究过, 甚至还没有引起注意。例如, 若在潮成内波长期存在的地方出现台风, 这时的流场将是天文潮流场、台风产生的流场、潮成内波流场以及台风的压力场、应力场对应的内波流场等共同作用的结果。但对后两者的贡献, 显然还没有作足够的重视。如果这时在有海上结构物遭破坏, 肯定与潮成内波的作用有关, 只是由于实测资料的缺乏现在还难以认识和分析其中潮成内波的具体作用。总之, 海洋内波、尤其是潮成内波会对海洋结构物的安装和使用等产生影响是毫无疑问的。但由于这是一个全新的课题, 这种影响到底有多大、其重要性如何必须通过深入细致的调查研究才能得出科学而又可靠的结论。

3.3 潮成内波与地学

与内潮相关的流场底部强化是非常重要的现象。它对海洋中的环流场、物质输运、航道淤积、深水沉积和地形地貌的形成与变化等将产生重要的影响。例如, 在海底峡谷和其它类型的沟谷中内潮可引起规模可观的双向流动, 据深水潜水装置观察, 这种流动能搬运沉积物的粒度达细纱级, 并能在数千米深处形成大量波痕和沙丘; 海洋学调查的成果表明, 海洋内潮和内波是重要的地质营造力, 这些营造力对深水沉积作用有重要的影响, 必然在沉积的记录中保存下来; 在我国的浙江桐庐上奥陶统和塔里木盆地中奥陶统等地相继发现了内潮沉积^[8]。在我国渤海湾西部不断增长的黄河三角洲海区进行的调查表明, 短周期内波在该地区是广泛分布的, 其生成机制有待进一步研究; 潮流是强大的, 并能提供必要的能量, 随着潮相的变化, 在深度正在变化的三角洲前缘上已被断定的前缘移动可能触发内波系列。所以, 这里的内波如果不属于潮成内波, 它的生成至少与潮流的变化有密切的联系。就黄河三角洲成长的过程来说, 上述内波与其他海洋因素一起共同促成三角洲前缘沉积物的再悬浮是可能的。也许更重要的是, 内波能够通过三角洲上方散布着悬浮物的超重羽壮流的上表层增强混合, 从而有助于超重羽壮流的减速^[7]。显然, 若浅海航道所在的位置是潮成内波经常发生或出现的地方, 那么在合适的条件下, 由潮成内波引起的物质输运、沉积或沉积物的再悬浮等, 必然会对航道的淤积产生影响。或者加重航道的淤积, 或者使之减轻。在地壳内的岩浆流动中, 也存在着类似与海洋内孤立波的现象^[9]。那么, 岩浆中的这种孤立波是否与地震有某种联系呢? 如果有联系, 那么海洋内孤立波理论对地震的研究也应当有一定的参考价值。

3.4 潮成内波与海洋环境、生态、生物以及海水养殖和渔业捕捞

大振幅的潮成内波在传播到浅海区后, 由于各种因素导致的内波破碎将产生剧烈的海水混合或者形成上升流区, 将底层高营养盐含量的低温海水带到表层, 提高了表层海水的初级生产力, 给鱼类及其它海洋生物提供了良好的生存环境^[6]。内潮波流场直接影响到物质输运^[2]、尤其是对近海的污水排放^[4], 而污水的排放又直接关系到海洋环境保护问题。Pineda (1995)^[5] 在分析了美国西海岸从 Southern California 到 Washington in Neah

Bay 的 10 个沿岸站记录的 18~64 年间的表层水温后,发现内潮涌(破碎的内潮波)可引起持续 2~9d 的表层水温降低;这种水温异常在春、夏季比秋、冬季更容易预测,因为在层化良好的水体中内潮最活跃。上述内潮涌现象除了直接通过上下层的水体交换使海表层水温降低改变水文环境外,还使海洋生态环境在局部区域内发生较大改变,因而对研究海洋和大气的物质交换、海洋生态环境的保护、海洋生物、海水养殖与渔业捕捞、甚至赤潮等灾害的防治等都有一定的参考价值。

3.5 潮成内波与军事海洋学

潮成内波的存在使海洋内部产生大振幅垂直波动,在跃层界面上下的水体中引起流动剪切,当运动物体(如潜艇、鱼雷等)穿越内潮波或内孤立波影响区域时,其运动稳定性或运动姿态可能会发生变化,从而改变其运动轨迹,这对海军战场环境的建设和研究是非常重要的。潮成内波对潜艇的影响包括潜艇的“适航性”,“耐波性”,“安全性”及航道航线的选取,潜艇的探测和反探测等。如,在强内潮区活动的潜艇,其发动机等产生的噪声可能由于内潮波的存在而很快衰减,这对己方潜艇的反探测是有利的。水下航行中的潜艇在遇到突然而至的强内孤立波时,潜艇的操作性、稳定性和安全性等会有一些影响。停坐在跃层上的潜艇,在随跃层内潮波做大幅度的上下波动时,可能会在潜艇距海面的距离变小时暴露其位置,这对己方潜艇的反探测是非常不利的。如果潜艇对内潮波的适应性较差,在选取其航线时,利用掌握的内波知识避开内潮波存在的区域就变得非常重要了。在水下发射鱼雷,当鱼雷在穿越内波区时受内波引起的剪切流的影响,鱼雷在水中和出水时的姿态将有异于没有内波的情况,为保证鱼雷打击目标的准确性,了解鱼雷发射区内潮波和内孤立波的活动规律也是非常必要的。

3.6 潮成内波与卫星海洋学

潮成内波观测在海洋内波研究中一直占有重要地位,各种观测仪器的发明和使用对潮成内波研究的发展起了相当大的推动作用。反过来,潮成内波研究对观测仪器、观测方法和观测手段等不断提出更新的要求,也刺激并推动了它们的不断创新。卫星海洋学在海洋内波观测研究中的应用,是近年来这方面的一个成功范例。潮成内波观测要求在大面积的范围内同步、连续进行,以获得关于其影响区域、传播方向、速度和强度,空间尺度等信息,但受各种因素的影响,用现有的海洋观测仪器目前还难以做到这一点。内孤立波的广泛存在,使得用卫星海洋遥感技术观测潮成内波的海面特征、获得关于潮成内波的大面积同步观测信息成为可能。显然,潮成内波研究为卫星海洋学的发展开辟了新的领域,而卫星海洋遥感技术在潮成内波观测中的应用也为潮成内波研究提供了新的获取内波信息的方法。

综上所述,对潮成内波及其影响的研究,不仅对物理海洋学学科的发展,而且对许多其它相关学科的深入研究都有积极的推动作用。同时,这也预示着潮成内波研究的一个发展方向就是要与其它学科进行联合研究,拓宽其研究范围。

参考文献:

- [1] Ebbesmeyer, C. C., Coomes, R. C., Hamilton, K. A., et al., New Observations on Internal Waves (solitions) in the South China Sea Using an Acoustic Doppler Current Profiler. Marine Technology Society Proceedings, New Orleans 1991, 165~175.
- [2] Huthnance, J. M., Internal Tides and Waves Near the Continental Shelf Edge. Geophysical and. Astrophysical Fluid Dynamics 1989, 48, 81~106.
- [3] Osborne, A. R., Burch, T. L., Internal solitons in the Andaman Sea, Science, 1980, 208: 451~460.
- [4] Petrenko, A. A, et al., Internal tide effects on a sewage plume at Sand Island, Hawaii, C. S. R. 2000, 20.1~13.
- [5] Pineda, J., An internal tidal bore regime at nearshore stations along western U. S. A.: Predictable upwelling with the lunar cycle. Continental Shelf Research. 1995, 15,1023~1041.
- [6] Russell e S. and William W. B., The Role of Internal Tides in the Nutrient Enrichment of Monterey Bay, California, Estuarine, coastal and shelf science, 1982, 15,57~66.
- [7] Wright L. D., Yang Z-S, Rornhold B. D., et al, Short period internal waves over the Huanghe (Yellow River) Delta front. Geo-Marine Letters, 1986, 6 (2): 115~120.
- [8] 何幼斌, 高振中. 内潮汐、内波沉积的特征与鉴别[J]. 科学通报, 1998, 43 (9): 903~908.
- [9] 於崇文. 大型矿床和成矿区(带)在混沌边缘[J]. 地学前缘, 1999, 6: 195~230.

THE INFLUENCES OF INTERNAL TIDES IN PHYSICAL OCEANOGRAPHY AND IN RELATED DISCIPLINES

Du Tao¹, Fang Xin-Hua¹

(1. Institute of Oceanography, Ocean University of China, Qingdao, 266003 China)

Abstract: Internal waves generated from the interaction between tides and topography, being a part of physical oceanography, play an important role in ocean energy distribution, but their influences or actions are not limited to the subject only. The roles of internal waves is studied in many related disciplines such as marine acoustics, geosciences (matter conveyance, topography and geomorphology, Sedimentology, liquid flow in the earth etc.), ocean engineering, marine ecological environments, marine cultivation, fishery catch, channel siltation, observation instruments and satellite oceanology. In what way can internal tides and solitons make their influences in these disciplines and what influences are, if they have, have been discussed in this paper.

Key words: internal tide; soliton; marine acoustics; ocean engineering; satellite oceanology