

海洋中的内波现象

浦咏修

早在本世纪初, Nansen 和 Helland-Hansen 就发现了在海洋中有内波现象存在, 以后有关内波现象的报导日渐增多。由于内波现象在海洋研究及军事上有着相当重要的意义, 对这一现象的研究已愈来愈为人们所重视, 尤其是第二次世界大战后, 无论就实地考察、抑或是理论的发展都使人们对自然界这一复杂现象的了解大大地深入了一步。

迄至目前, 从有关内波的报导来看, 这是一个极为复杂的波动现象, 它通常在密度梯度较大的所谓分层界面上表现最为明显。其振动周期可短至分、长至月甚至年。内波的振幅均比表面波浪为大, 一般不会小于1米, 大则可达100米以上。但其传播速度却要比表面波的小得多, 在深海大洋地区, 一般不超出10节; 而在浅海往往仅在1节以下。内波的波长也因周期和波速的不同而不同, 短的只有数百米, 长的则在数十公里以上(至于特长周期的内波就很难去讨论它的振幅、波长和波速等性质了)。

按振动周期, 通常又可把内波分为三大类: (1) 振动周期与潮汐相近的内潮; (2) 具有自由振动周期的惯性内波(其周期取决于纬度 φ , 可按下式求得: $T = \frac{12}{\sin \varphi}$); (3) 具有其他周期的内波。

关于内波的理论研究也早已引起了海洋学家的兴趣。本世纪初, Ekman 即用双层液体中自由振动的理论解释了航海上碰到的“死水”现象。以后, 还有不少人从事了内波理论的研究, 但他们大多把内波的讨论局限在两均匀液体的不连续面(界面)之上。直到1933年 Fjeldstad 才提出了密度为深度的连续函数的内波理论。Fjeldstad 理论的这一优点是非常重要的, 因为这就可能对海洋中所遇到的现实条件进行比较精确的描述。这一理论还给出了计算内波要素的方法, 对后人的影响很大, 后来被许多人所采用并得到了发展。但是, 就象这以前的其他理论一样, Fjeldstad 并没有阐明内波究竟是怎样形成的。

人们通常认为引潮力(或潮汐运动)、风以及外力的突然作用(如部分海面气压的急剧改变以及海底地震等)等是引起内波的主要原因。

由于最初发现的内波的周期与潮汐周期相近, 因此人们就自然而然地把这些内波的成因与潮汐现象联系起来, 并把具有潮汐周期的内波称之为内潮。Haurwitz^[2] 和 Defant^[1] 在1950年分别从理论上解释了这一现象, 建立了有名的共振理论。他们指出, 如果考虑了地球偏转力的作用, 在某些海域, 内潮和惯性振动之间可能产生共振, 从而使得内潮的振幅达到极大值。Defant 认为, 对于日周期来说, 纬度 30° ; 对于半日周期来说, 纬度 74° 的地方, 就是此两振动的共振区。

1956年 Reid^[7] 在分析1950年加里福尼亚西部的三船同步观测资料时发现, 内潮仅在近岸(距岸40哩)一个测站上可观测到, 而在距岸较远的另外两站(距岸分别为160和320哩)即不能发现。因此他认为, 内潮在岸边形成, 然后向外海传播, 在传播过程中, 由于海流和密度水平梯度的影响而有所变形, 内潮性质逐渐衰退。1958年 Yasui^[11] 指出, 在日本邻近海域上也有内潮存在, 但其表现程度没有象 Reid 在加里福尼亚西部所观测到的那样明显。Веселова 和 Покудов^[13] 在1960年发表文章说, 在太平洋中部也有内潮存在。

鉴于内潮在大洋各部及许多海区均有发现, 而且近岸处的内潮要比外海的强烈和明显, 运用上述共振理论就无法对这些现象加以解释, 因此 Rattray^[6] 在1960年提出了自己的内潮近岸成因理论。他认为在近岸地区, 内潮的振幅取决于此处内潮与表面潮汐之间的偶合机制(Coupling mechanism)及表面潮汐的振幅, 如果此机理不变, 则内潮的振幅在任何地区都将正比于表面潮汐的振幅。但是, 内潮与表面潮汐之间的偶合机理将随着海洋条件的改变而改变。他还指出, 内潮的形成和水深的变化关系紧密, 当等深线和岸线平行时, 内潮的产生也和岸线平行。根据这一理论,

近岸处内波具有驻波性质,但在浅滩以外,内波的性质则变成了一个向外传播的前进波,在传播过程中,由于摩擦,能量不断地损耗。关于内波的传播衰减, Rattray^[5]早在 1957 年就发表过专论,认为内波的衰减系数和海水的涡动粘滞系数,海水双层结构中的上、下层密度差,上层均匀层的厚度及内波频率有关。因此,内波的实际传播距离与海洋条件及内波的周期有着密切的关系,但和纬度无关。按照这一理论,在相同的条件下,半日周期内潮要比日周期内潮的传播损耗来得大。

采用 Rattray 的理论能够解释许多实际观测到的内波性质,它显然比共振理论深入了一步。

之后,为了验证这个理论的正确性, Weigand 和 Rattray^[10]曾在 U 形波槽中作了实验,证明了内波的形成是由表面波在大陆浅滩上的运动所致,而内波在大陆浅滩和海外海中的性质及内波的传播方向,除个别情况外,也是与理论相符的。1963 年 Summers 和 Emery^[8]根据南加里福尼亚外海三次多船同步连续观测的结果指出,此处内波的频段是相当宽的,但其中以半日周期的为主,并且半日周期内潮的波阵面是近乎平行于大陆坡的;内波的传播方向向岸,但内波的形成确是在大陆坡上,因而认为这样的观测结果与 Rattray 的理论并不矛盾。这样,通过实验和考查,内波的近岸成因论得到了初步的证实,虽然在内波的传播方向上,观测和实验结果与理论不尽相同,但理论所阐明的海底地形(深度)的改变对内波形成的重要意义却得到了有力的证明。

除了内潮以外,内波还有其他各种可能的周期。1956 年 Veronis 和 Stommel^[9]已经注意到了不稳定风对海水的作用问题,并从理论上论证了因气象原因而引起的内波振动之可能。1960 年 Ямпольский^[16]在研究黑海中的内波现象时,证实了惯性周期内波的存在,并经分析后指出,这一内波是由气旋的过境而引起的。次年,他对这一现象又作了理论上的研究^[17]。1963 年 Глинский^[14]根据“罗蒙诺索夫”号科学调查船在北大西洋的多

日连续观测资料的分析,支持了 Veronis、Stommel 和 Ямпольский 等关于惯性周期内波和由气象原因而引起的内波存在的理论。

除了上述类型的内波以外,有人还对特长周期的内波进行了研究。Yasu^[12]根据太平洋中“Tango”号天气船(29°N, 135°E)三年多的水文观测资料的分析,于 1961 年撰文指出,在该地水文条件中存在着 80, 95 和 195 天的振动周期。通过分析,他认为其中 95 天和 80 天的振动周期最为可能。1963 年, Максимов^[15]发现在北大西洋和北冰洋中海流流速具有明显的半月、月和半年的振动周期,认为这样的振动和相应的潮汐振动有关。

近年来由于水声科学和水声技术的发展及其在国防上的广泛应用,人们对以分计的短周期内波愈益重视。Lee^[4]测得了周期为 5—15 分的内波, Lafond 和 Lee^[3]在 1962 年又报导了 5—6 分周期的内波。

至此,我们已粗略地介绍了最近十多年来有关内波,特别是内潮研究方面的发展动态。可以看出,这是自然界中一个相当复杂的现象。到现在为止,关于内波的成因和变化规律也还没有完全弄清,也还没有一个比较全面的内波理论, Rattray 的内潮近岸成因论固然有许多优点,但理论中所谓的内表两波之间的耦合机理仍然是一个尚待阐明的概念。为了深入地研究内波的成因及其传播规律,必须以多船(至少三船)同步连续观测资料做为基础,然而在目前,广泛地组织这样的专门考查还是有相当困难的。

虽然如此,由于内波问题在现代海洋学发展中的重要意义以及在军事上的价值,对这一问题的研究已愈益为各国的海洋研究部门所重视。我国各海大多为水深不大的陆棚浅海,夏季海水的层化现象极为强烈,因此,在阐明各海的水文分布及其他动力、热力学研究中,内波的影响是必须考虑的重要因素,否则有可能会得到错误的结论。

参 考 文 献

- [1] Defant, A., 1950. On the origin of internal tide waves in the open sea. *Mar. Res.*, **9**(2): 111—120.
- [2] Haurwitz, B., 1950. Internal waves of tidal character. *Trans. American Geophys. Union*, **31**(1):47—52.
- [3] Lafond, E. C. and O. S. Lee, 1962. Internal waves in the ocean. *Navigation (USA)*, **2**:231—236.
- [4] Lee, O. S., 1961. Observations on internal waves in shallow water. *Limn. and Oceanogr.* **6**(3):312—321.
- [5] Rattray, M., 1957. Propagation and dissipation of long internal waves. *Trans. American Geophys. Union*, **38**(4):495—499.
- [6] Rattray, M., 1960. On the coastal generation of internal tides. *Tellus*, **12**(1):54—62.
- [7] Reid, J. Jr., 1956. Observations of internal tides in October 1950. *Trans. American Geophys. Union*, **37**(3):278—286.
- [8] Summers, H. S. and K. O. Emery, 1963. Internal waves of tidal period off Southern California. *J. Geophys. Res.*, **68**(3):827—839.
- [9] Veronis, G. and H. Stommel, 1956. The action of variable wind stresses on a stratified ocean. *Mar. Res.*, **15**(1):43—75.
- [10] Weigand, J. C. and M. Jr. Rattray, 1962. Model studies on the coastal generation of internal waves. *J. Geophys. Res.*, **67**(4):1662.
- [11] Yasui, M., 1958. Internal waves in the open ocean. *Oceanogr. Mag.*, **10**(2):227—234.
- [12] Yasui, M., 1961. Internal waves in the open ocean—Internal waves of long periods in the ocean weather station “Tango”—*Oceanogr. Mag.*, **12**(2):185—205.
- [13] Веселова, Л. Е. и В. В. Покудов, 1961. О вертикальном распределении и суточной изменчивости гидрологических элементов в центральной части Тихого океана. *Труды ДВНИГМИ*, **12**: 18—37.
- [14] Глинский, Н. Т., 1963. О внутренних волнах в Северной Атлантике. *Океанология*, **3**(1): 13—17.
- [15] Максимов, И. В., 1963. О характере астрономических вариаций океанских течений. *Океанология*, **3** (2): 193—199.
- [16] Ямпольский, А. Д., 1960. О внутренних волнах в Черном море по наблюдениям на многосуточной якорной станции. *Труды Ин-та Океанологии АН СССР.*, **39**: 111—126.
- [17] Ямпольский, А. Д., 1961. О колебаниях гидрологических элементов со инерционным периодом. *Изв. АН СССР. сер. геофиз.*, **3**(3): 445—452.