

# 涌浪基本理论研究综述

周延东<sup>1</sup>, 雷震名<sup>1</sup>, 孙国民<sup>1</sup>, 尹汉军<sup>1</sup>, 张义丰<sup>2</sup>, 裴 晔<sup>3</sup>

(1.海洋石油工程股份有限公司,天津 300451;2.交通运输部天津水运工程科学研究所,天津 300456;3.河海大学港口海岸与近海工程学院,南京 210098)

**摘要:**涌浪作为影响严重的海洋灾害之一,因其发生时对在行船舶、石油平台等海洋结构物以及近岸建筑物的破坏性,发生机制的复杂性等原因,一直备受全世界相关领域研究人员的关注。本文首先介绍了涌浪的危害性,然后从研究对象不同角度、研究方法的发展及得出的主要结论等方面阐述了到目前为止国内外学者对涌浪的认知程度。最后,总结前人对涌浪的研究多集中在外观特性的归纳、内部结构的理论推导及整体特征的数值模拟等方面,提出对特定海域涌浪的生成机理及运动特性等方面研究的不足,以期能够为以后的涌浪研究工作提供一些思路。

**关键词:**涌浪;涌浪谱;风涌浪分离;生成机制;演变特性

中图分类号:TV 143

文献标识码:A

文章编号:1005-8443(2016)01-0001-06

近年来,随着我国海洋大开发战略的实施,对于海洋工程建设及海洋能源的开发利用也在持续进行中。在海洋中作业主要受海浪作用,其中涌浪是海浪的重要组成部分。涌浪是指风停止或削弱、转向以后遗留在海上的或来自于其他海域的波浪。相比于一般的风浪,涌浪具有较规则的外形,排列比较整齐,波峰线较长,波面较平滑,比较接近于正弦波的形状。在深海因其频率比较低且和船舶航行的振动频率比较接近,容易与在行船舶及海洋石油平台等结构物发生共振,具有惊人的破坏力,能使舰船发生中拱、中垂、螺旋桨空转失速,使海洋平台发生倾斜和摇晃等现象,给舰船及海洋平台造成严重损伤,甚至损毁。当其传播到浅水或近岸时,波高增大,波长减小,常形成猛烈的拍岸浪,对岸边建筑物破坏性很大。因此,深入研究涌浪的成因、传播和分布特征,对海上航行、海洋资源开发利用、防止和减少海浪灾害都具有重要的意义。本文将就涌浪研究的国内外有代表性的研究文献进行综述。

国内外的学者对涌浪做了大量研究,也得到了很多研究成果,推进了涌浪的相关研究。综合分析前人的大量研究,发现学者们对涌浪的研究主要集中在以下几个方面。

## 1 涌浪谱的研究

早在上个世纪五十年代,国外学者就提出了几种预报、分析涌浪的理论。Sverdrup等<sup>[1-2]</sup>,从能量的角度去计算涌浪传播中的波高与周期变化以及传播时间。他们假设波面在行进过程中遇到的空气阻力是构成涌浪能量损失的唯一来源。但这种假设后被证明是错误的,且这种理论不能解释涌浪周期增加的过程。之后也有一部分学者基于实测资料的分析,给出了一些经验性的解释。Bretschneider<sup>[3]</sup>就依据观测资料绘制出了一系列的涌浪特性图例,来解释涌浪在传播过程中的一些特性的变化。这种实测资料分析虽然直观易懂,但是它的精确度不能保证,受到数据的获取途径、质量以及分析手段等许多因素的影响。这些推导分析虽然对于涌浪的研究有所推进,但是理论上和精度上都存在较大缺陷。

收稿日期:2015-03-30; 修回日期:2015-06-04

基金项目:国家自然科学基金(41106001,51137002);教育部留学回国人员科研启动基金(教外司留[2012]1707)

作者简介:周延东(1959-),男,山东省人,高级工程师,主要从事海洋工程及相关技术研究。

Biography:ZHOU Yan-dong(1959-), male, senior engineer.

海浪是指一种复杂的随机过程, Persion 等<sup>[4]</sup>最先将瑞斯关于无线电噪音的理论应用于海浪, 从此利用谱以随机过程描述海浪。到了二十世纪六十年代, 国内的学者也关注到了涌浪的问题, 文圣常<sup>[5]</sup>就基于他自己提出的普遍风浪谱推导出了文氏涌浪谱。该涌浪谱克服了上述理论的一些不足, 假定风浪谱中每一组成波离开风区以后独立传播, 考虑了滑动粘滞性的选择性消耗作用以及散射的作用。但是文氏涌浪谱理论仅分析了充分成长的涌浪, 而对于涌浪的成长、消衰的整个过程没有给出讨论。王涛<sup>[6]</sup>在文氏涌浪谱的基础上, 充分考虑波散对涌浪谱的影响。分析指出在涌浪的成长阶段涌浪谱的显著部分分别向高低频率两个方向扩大, 波高和离风区较近的波周期都随时间的增加而增大; 而在消衰阶段涌浪谱向高频方向推移, 波高和波周期都逐渐减小。另外, 计算所得的涌浪波高和周期随时间的变化与观测资料吻合良好, 涌浪的最大值也很接近。这些结论不仅具有理论上的意义, 而且给当时的涌浪特性研究和涌浪预报工作提供了有用的资料。

涌浪谱的发展对涌浪的研究是有很大帮助的, 因其容易观测分析在以后的涌浪研究中有许多方法都是基于涌浪谱的, 从最初的理论分析涌浪的成长、消衰及传播过程, 到近些年随着计算机技术的发展而出现的数值模拟的方法, 很多都是基于涌浪谱的概念。

## 2 风涌浪的相互作用

涌浪通常都表现为风浪与涌浪的叠加, 即涌浪的发生几乎都伴随风浪的存在, 因此在研究涌浪的相关问题时必然少不了对于风、涌浪的相互作用的考虑。涌浪与风浪的相互作用的研究开始于对长短波的研究, 但由于涌浪与风浪的相互作用很复杂, 海上观测和实验室实验给出的结论不尽相同, 且对于这些结论也提出了很多可能的解释<sup>[7-9]</sup>。

二十世纪六十年代初 Longuet-Higgins 和 Stewart<sup>[10]</sup>对长短波方面进行了大量的理论研究。他们假设在小振幅的情况下将单一频率长波叠加在单一频率短波上, 发现当短波遇上长波时, 短波在长波波峰处波长变长、波陡变大, 在长波波谷处波长变短、波陡变小, 并用短波在长波波峰处辐聚, 在长波波谷处辐散的理论解释了这一现象。在解释该现象的同时他们还引入了辐射应力的概念, 指出长波与短波之间是通过辐射应力的做功传递能量的。

前人对于风、涌浪的相互作用的研究主要分为两个方面, 即风涌浪同向时及风涌浪逆向时的风涌浪之间的相互影响。在风涌浪同向的研究中, 最早是 Mitsuyasu<sup>[11]</sup>在实验中发现, 当风浪与造波机造成的长规则波同向传播时, 长波的存在会抑制风浪的发展。当长波的波陡变大时, 风浪的总能量及谱密度都会随之减小。后来 Phillips 和 Banner<sup>[12]</sup>也得出了相同的实验结果, 并依据实验数据建立了一个动力学模型, 认为这一现象是由于受到长波波峰附近的风生漂流的调制, 波峰处的风浪破碎被加强, 增大了风浪能量的耗散, 从而使得风浪的振幅受到了限制。

许多学者对逆行涌浪与风浪的相互影响进行了研究, 但是大多数学者都集中在逆行涌浪在风作用下的衰减。Mitsuyasu 和 Maeda<sup>[13]</sup>在得出该结论的同时还注意到了风浪的发展, 指出逆行涌浪并不能明显的减小风浪的能量。Cheng 和 Mitsuyasu<sup>[14]</sup>观测到与风向反向传播的涌浪不会抑制风浪成长, 反而能促进风浪成长。程展<sup>[15]</sup>在前人研究的基础上对逆行涌浪引起的风浪谱的变化进行了研究, 表明当涌浪存在时, 风浪谱被逆行涌浪扩宽, 并指出不管风、涌浪传播方向的关系如何, 涌浪将会改变风浪的能量或改变风浪的能量在各频率间的分布。也有学者指出非线性波-波相互作用也会引起风、涌浪之间的能量传输。Masson<sup>[16]</sup>的数值分析表明, 共振作用引起的风浪向涌浪的能量传输随风浪谱峰频率与涌浪频率比值的增加而迅速下降, 当该比值大于 1.6 时, 这一能量传输便可忽略。在此基础上学者还通过进一步的推导, 得出能量比  $E/E_0$  与频率比  $f_s/f_{wp}$  的关系

$$E/E_0 = (1 - \pi H/L)^2 \left[ \frac{(f_s/f_{wp}(1 - \pi H/L) - q_{\max}/C)}{f_s/f_{wp} - 0.52u^*/C} \right] \quad (1)$$

式中:  $H/L$  为涌浪波陡;  $u^*$  为摩擦风速;  $C$  为涌浪相速; 通过实验室实验(实验条件  $f_s/f_{wp} = 0.2 \sim 0.7$ )证实涌浪对风浪的影响随  $f_s/f_{wp}$  的增加而下降。Donelan<sup>[17]</sup>的实验观测结果显示涌浪的存在对风浪的风输入没有影

响。而Makin和Kudryavtsev<sup>[18]</sup>研究指出,虽然涌浪对风能输入没有影响,但是涌浪和风之间的耦合会引起风浪中风能输入的减小,即遮拦效应。

鉴于以上这些研究<sup>[19-20]</sup>的不足,黄必桂等<sup>[21]</sup>用风浪显著波的零阶谱矩表示风浪的能量,在实验的基础上分析了涌浪对风浪的影响随风区、波龄倒数、涌浪波陡、涌浪频率及涌浪频率与纯风浪谱峰频率的比值的变化的变化。指出涌浪对风浪的抑制作用随风区的变化比较小,随波龄倒数和涌浪波陡的增大而增强,且当涌浪的频率与纯风浪谱峰频率两者越接近,涌浪对风浪的抑制作用也越强。而陈汉宝等<sup>[22]</sup>,用脉动风模拟风浪及风与浪的耦合作用,从波谱的角度分析发现影响风能输入的主要因素是波浪是否充分发展,而与波陡、风速、波速等没有直接关系。

前人对于风浪与涌浪的相互影响做了大量的研究,这为风浪、涌浪的分别研究提供了很大的帮助,但是由于现场实测的因素复杂,数值模型和物理实验的验证都存在很大的难度,风浪和涌浪相互作用的研究仍旧不是很充分,有待更多的研究。

### 3 风涌浪的分离

在海洋中,海浪通常都是以风浪和涌浪组成的混合浪的形式存在的。由前面的介绍我们知道风浪和涌浪之间是相互影响的,而且风浪和涌浪的成长、消衰、传播及破坏机制都存在明显的差异。因此在海浪研究中必须对二者进行区别对待,准确分离和识别海浪中的风、涌浪成分,对于海浪理论研究,海浪预报,海洋船舶工程都有着重要的意义。

国内外学者对于风涌浪的划分问题进行了很多讨论,对于风涌浪分离的判据大体可归纳为三类:波型,波要素以及谱分析。汪炳祥等<sup>[23]</sup>在总结前人研究的基础上,延续波要素的观点提出了三个新的判据:①深水:  $\frac{U^2}{H} = 43.6$ ,  $\delta \leq 0.0193$ ,  $\beta \geq 1.17$ ; ②浅水:  $\frac{U^2}{H} = 62.0$ ,  $\delta \leq 0.0177$ ,  $\beta \geq 1.07$  认为只要海浪满足所给判据中的任意两个就可以确认是涌浪,弥补了之前所提判据很难判准的缺陷。郭佩芳等<sup>[24]</sup>从海浪谱能量的角度出发,依据谱的零阶矩,提出了混合浪成分因子的概念作为划分风、涌浪的新判据。在混合浪的谱估计中,假设组成混合浪的风浪部分和涌浪部分的零阶矩分别为  $M_{0w}$  和  $M_{0s}$ ,混合浪的零阶矩为  $M_0$ ,则定义混合浪的能量成分因子为

$$G = \frac{M_0}{M_{0w}} = 1 + \frac{M_{0s}}{M_{0w}} \quad (2)$$

式中:混合浪的零阶矩  $M_0$  与特征参量有效波高  $H$  的关系为:  $M_0 = H^2/16$ ,则上式还可以转换为另一种写法:  $G = H^2/H_w^2$ ,由此可以定义混合浪波高成分因子为

$$G_h = \sqrt{G} = \frac{H}{H_w} \quad (3)$$

但这些方法针对波浪的主特征参量对波浪进行主导类型上的判别,在风、涌浪成分的分离方面还存在着一定的局限。而海浪谱可以反映海浪的复杂的内部结构,于是许多研究者想到了采用海浪谱的方法对风涌浪进行分离<sup>[25-27]</sup>。

依据海浪谱的维数,可以将基于海浪谱的风涌浪分离法分为一维谱方法(1D)和二维谱方法(2D)。二维谱方法是根据风对波浪传输能量的基本特征,通过分析波浪方向谱和风速矢量信息对风、涌浪成分进行分离,这种方法被认为可以给出较可靠的分离结果,但是2D法需要考虑的信息较多,这给它的应用性带来很大的局限。相比较而言,1D法在实践中更为可行,它的基本思想是给出一个分割频率,将海浪频谱中对应高频部分的风浪成分和对应低频部分的涌浪成分分离开来。研究至今学者们已经提出了很多种1D分离方法,这些方法有些需要同时考虑风速和海浪频谱信息,如PM法,有些则只需考虑海浪频谱信息。后者比较典型的主要有两种,一种是由Wang和Hwang<sup>[28]</sup>提出的一种仅依靠波浪频谱分离风涌浪的分离方法,该方法借助风浪和涌浪波陡特征的差异对风涌浪进行分离;另一种是通过波系统分析来对风、涌浪进行分离,如近年Portilla等<sup>[29]</sup>提出的基于风浪超射特性对风涌浪进行分离的方法。李水清,赵栋梁<sup>[30]</sup>经过比较分析还指出2D法和前面提到的3种比较有代表性的1D法的分离结果存在一定的差异,与实测资料相比2D法在不同的海浪情况下的分离结果都比较可靠,但是同时使用一维法和二维法会得出与实测值更为一致的分离结果。

虽然学者们对于风涌浪分离的研究有很多,也提出了很多分离的判据,且这些判据多是以单一的成分或者特性变化作为分离的依据,但是由于实际的海浪成份复杂,并不是以一个单一成份的风浪或者涌浪而存在的,绝大部分是以不同成份的风浪和涌浪混合而成的,所以对于如何选取更全面且组合合理的分离参数作为分离判据这一方面的研究还存在很大的不足,并不能对风涌浪进行准确的分离。

## 4 极端气象条件下涌浪的研究

台风与寒潮期间风浪、涌浪都较正常天气比为大,给海洋建设及近岸生产、生活都带来了很大的威胁<sup>[31]</sup>。因此,很早就有学者对台风等极端天气期间的涌浪进行了研究。

Unoki<sup>[32]</sup>根据观测资料,分析了台风期间波浪的分布特征,得到了一些简单的统计结果。周学群等<sup>[33]</sup>,基于8719号一次台风资料,分析了台风涌浪在南海东北部海域的传播特征,指出随着涌浪往低纬度传播,波长越来越大,涌高越来越小;且随着台风强度的降低,涌高也明显减小。但是由于早期理论缺陷和技术欠缺的双重阻碍,这些结论都是粗略的,且可靠度有待进一步验证。到了二十世纪九十年代,许为民和钱志春<sup>[34]</sup>从谱的概念出发,提出了静止台风涌浪的计算方法,该方法能够很好的反映涌浪传播的物理特征,结论指出当距离风区越远,频率和方向分布的范围就越窄,涌浪的内部结构就越简单,表现出来的特征就越有规律。但是由于该计算方法的推导前提是假定台风是静止的,且风场是突然发生又突然消失的,因此该方法有一定的局限性。在此基础上,钱志春和永田丰<sup>[35]</sup>又推导了台风涌浪较普遍的公式,相比前者能更好地反映出台风涌浪传播的主要特征,但该公式最大的缺点就是忽略了涌浪在传播过程中能量衰减及与风浪之间作用,计算出的涌浪值偏高。

到了二十一世纪,随着计算机技术的不断发展,对于涌浪的数值模型研究逐渐从理论推导转向数值模拟。韩晓伟等利用WAVEWATCH-III(Version3.14)的海浪模式对0801号台风“浣熊”进行了数值模拟,并基于此分析了台风浪的发展及台风影响下风、涌浪场的分布特征。结果显示海面有效波高的分布和演变随台风系统强度和移动的变化而变化;台风过程中所产生的大浪主要为风浪;涌浪场的分布与风浪场的分布几乎相反,涌浪场基本分布在远离台风中心的外围海域,涌浪场波高比风浪场波高要小。陈晓斌等基于1109号台风“梅花”探讨了涌浪和风浪波高随时间变化与台风中心位置的关系以及台风影响下海浪二维谱、风浪场和涌浪场分布和变化特征,指出距台风中心不同距离,混合浪波高的组成和波高变化不同,台风的外围区涌浪场的高值区对应着风浪场的低值区,台风的大风区风浪场的高值区对应着涌浪场的低值区,台风眼区则为涌浪区。

这些研究都较好的模拟出了台风期间海浪的演变过程,总结了风、涌浪场的分布和变化特征,但是都仅限于一次台风过程的影响,对于不同强度和移动速度的台风以及不同水深观测点这些结论是否具有代表性,还有待于更多的研究。

## 5 结语

总结前人对涌浪的研究,多集中在基于实测数据和实验观测的基础上对涌浪外部特性的归纳总结、内部结构的理论推导,以及极端天气情况下混合浪场的整体特征数值模拟分析等方面。对于涌浪的外表规律性虽然有所认识,但由于其内部结构比较复杂,能量变化机制仍旧没有得到确切的阐明,且由于积累的资料相对较少,模拟计算的建立与验证受到较大的限制。

我国海洋航运发达,海上工程众多,在海洋工程建设及运营过程中经常会受到涌浪的影响。而对于工程所在特定海域涌浪的产生原因及运动特性等研究还很少,国内只有对南海海域涌浪的研究,对其他海域的涌浪研究还很空缺。因此,对于深入进行海洋涌浪的生成机理及演变特性等研究对于掌握涌浪的相关特性,给海洋工程建设提供理论依据和关键性数据、减少海浪所带来的灾害都具有很重要的意义。

## 参考文献:

- [1] Sverdrup H U, Munk W H. Wind, sea, and swell; theory of relations for forecasting[J]. Hydrographic Office, 1947, 601: 1-44.

- [2] Sverdrup H U. Period increase of ocean swell[J]. Transactions, American Geophysical Union, 1947, 28(3): 407-417.
- [3] Bretschneider C L. The generation and decay of wind waves in deep water[J]. Transactions, American Geophysical Union, 1952, 33(3): 381-389.
- [4] Pierson W J, Neumann G, James R W. Practical methods for observing and forecasting ocean waves by means of wave spectra and statistics[J]. Advances in Geophysics, 1955, 2: 93-178.
- [5] 文圣常. 涌浪谱[J]. 山东海洋学院学报, 1960(1): 44-64.  
WEN S C. Spectra for ocean swell[J]. Journal of Shandong Ocean University, 1960(1): 44-64.
- [6] 王涛. 涌浪成长与消衰过程的初步探讨[J]. 海洋与湖沼, 1964(4): 331-349.  
WANG T. The preliminary study on swell of its growth and decay processes[J]. Oceanologia et Limnologia Sinica, 1964(4): 331-349.
- [7] Drennan W M, Graber H C, Donelan M A. Evidence for the effects of swell and unsteady winds on marine wind stress[J]. Journal of Physical Oceanography, 1999, 29(8): 1 853-1 864.
- [8] Violante-carvalho N, Ocampo-torres F J, ROBINSON I S. Buoy observations of the influence of swell on wind waves in the open ocean[J]. Applied Ocean Research, 2004, 26(1): 49-60.
- [9] 丛培秀. 混合浪中长波对短波的调制研究[D]. 青岛: 中国海洋大学, 2009.
- [10] Longuet-higgins M S, Stewart R W. Changes in the form of short gravity waves on long waves and tidal currents[J]. Journal of Fluid Mechanics, 1960, 8(4): 565-583.
- [11] Phillips O M, Banner M L. Wave breaking in the presence of wind drift and swell[J]. Journal of Fluid Mechanics, 1974, 66(4): 625-640.
- [12] Donelan M A. The effect of swell on the growth of wind waves[J]. Johns Hopkins APL, Technical Digest, 1987, 8(1): 18-23.
- [13] Mitsuyasu H, maeda Y. On the contribution of swell to sea surface phenomena (2) [C]// Proceedings of the twelfth International Offshore and Polar Engineering Conference. International Society of Offshore and Polar Engineers. Japan: kitakyushu, 2002: 26-31.
- [14] Cheng Z, Mitsuyasu H. Laboratory studies on the surface drift current induced by wind and swell[J]. Journal of Fluid Mechanics, 1992, 243: 247-259.
- [15] 程展. 逆行涌浪引起的风浪谱的变化——I. 实验研究[J]. 海洋学报(中文版), 1994, 16(2): 134-142.  
CHEN Z. Changes of wave spectrum induced by retrograde swell——1. Experimental study[J]. Acta Oceanologica Sinica, 1994, 16(2): 134-142.
- [16] Masson D. On the nonlinear coupling between swell and wind waves[J]. Journal of Physical Oceanography, 1993, 23(6): 1 249-1 258.
- [17] Makin V K, Kudryavtsev V N. Coupled sea surface-atmosphere model: 1. Wind over waves coupling[J]. Journal of Geophysical Research: Oceans (1978 - 2012), 1999, 104(C4): 7 613-7 623.
- [18] Chen G A G, Belcher S E. Effects of long waves on wind-generated waves[J]. Journal of Physical Oceanography, 2000, 30(9): 2 246-2 256.
- [19] Hanson J L, Phillips O M. Wind sea growth and dissipation in the open ocean[J]. Journal of Physical Oceanography, 1999, 29(8): 1 633-1 648.
- [20] Ardhuin F, Herbers T H C, Watts K P, et al. Swell and slanting-fetch effects on wind wave growth[J]. Journal of Physical Oceanography, 2007, 37(4): 908-931.
- [21] 黄必桂, 郑桂珍, 丛培秀. 涌浪对风浪能量影响的实验研究[J]. 中国海洋大学学报(自然科学版), 2009, 39(3): 381-386.  
HUANG B G, ZHENG G Z, CONG P X. Laboratory research on the influence of swell on wind wave energy [J]. Periodical of Ocean University of China, 2009, 39(3): 381-386.
- [22] 陈汉宝, 刘海源, 徐亚男, 等. 风浪与涌浪相互影响的实验[J]. 天津大学学报(自然科学与工程技术版), 2013, 46(12): 1 122-1 126.  
CHEN H B, LIU H Y, XU Y N, et al. Experiment on interaction between wind wave and swell[J]. Journal of Tianjin Ocean University (Science and Technology), 2013, 46(12): 1 122-1 126.
- [23] 汪炳祥, 常瑞芳, 王一飞. 风浪与涌浪的划分判据[J]. 黄渤海海洋, 1990, 8(1): 16-24.  
WANG B X, CHANG R F, WANG Y F. Criteria of differentiating swell from wind waves[J]. Journal of Oceanography of Huanghai & Bohai Seas, 1990, 8(1): 16-24.

- [24] 郭佩芳,施平,王华,等.划分风浪与涌浪的一个新判据——海浪成份及其在南海的应用[J].青岛海洋大学学报,1997,27(2):131-137.  
GUO P F, SHI P, WANG H, et al. A new criterion between wind wave and swell wave——by mixed wave composition factors and its applications to the south China sea[J]. Journal of Ocean University of Qindao, 1997, 27(2): 131-137.
- [25] Hasselmann K, Olbers D. Measurements of wind-wave growth and swell decay during the Joint North Sea Wave Project (JONSWAP)[J]. *Ergänzung zur Deutsches Hydrographisches Institut*, 1973, A (8), 12: 1-95.
- [26] Durden S L, Vesecky J F. A physical radar cross-section model for a wind-driven sea with swell[J]. *IEEE Journal of Oceanic Engineering*, 1985, 10(4): 445-451.
- [27] Huang P J, Hu Z J. Representation of double-peaked sea wave spectra in Jiaozhou Bay[J]. *Acta Oceanologica Sinica*, 1989, 8(1): 201-211.
- [28] Wang D W, Hwang P A. An operational method for separating wind sea and swell from ocean wave spectra[J]. *Journal of Atmospheric and Oceanic Technology*, 2001, 18(12): 2 052-2 062.
- [29] Portilla J, Ocampo-torres F J, Monbaliu J. Spectral partitioning and identification of wind sea and swell[J]. *Journal of Atmospheric and Oceanic Technology*, 2009, 26(1): 107-122.
- [30] 李水清,赵栋梁.风浪和涌浪分离方法的比较[J].海洋学报(中文版),2012,34(2):23-29.  
LI S Q, ZHAO D L. Comparisons on partitioning techniques to identify wind-wave and swell[J]. *Acta Oceanologica Sinica*, 2012, 34(2): 23-29.
- [31] 纪华盾.华南沿海四大涌浪区[J].珠江水运,2002(8):28-29.  
JI H D. Four coastal areas of swells in southern China[J]. *The Pearl River Waterway*, 2002(8): 28-29.
- [32] Unoki S. An Investigation on the Variations of Sea Level due to Meteorological Disturbances on the Coast of Japanese Islands [J]. *Journal of the Oceanographical Society of Japan*, 1957, 35(2): 1-10.
- [33] 周学群,杨洪玉.8719号台风涌浪传播特征分析[J].海洋预报,1990,7(2):62-64.  
ZHOU X Q, YANG H Y. An analysis on swell propagation characteristics of 8719 typhoon[J]. *Marine Forecasts*, 1990, 7(2): 62-64.
- [34] 许为民,钱志春.静止台风涌浪计算方法[J].东海海洋,1990,8(3):10-16.  
XU W M, QIAN Z C. A method for computing swells of a stationary typhoon[J]. *Donghai Marine Science*, 1990, 8(3): 10-16.
- [35] 钱志春,永田丰.台风涌浪传播的计算方法[J].大气科学,1993,17(2):200-210.  
QIAN Z C, NAGATA Y. Computer for propagation of the swells due to typhoon[J]. *Scientia atmospherica sinica*, 1993, 17(2): 200-210.

## A review on basic theory research of swell

ZHOU Yan-dong<sup>1</sup>, LEI Zhen-ming<sup>1</sup>, SUN Guo-min<sup>1</sup>, YIN Han-jun<sup>1</sup>, ZHANG Yi-feng<sup>2</sup>, PEI Ye<sup>3</sup>  
(1. *Offshore Oil Engineering Co., Ltd., Tianjin 300451, China*; 2. *Tianjin Research Institute for Water Transport Engineering, Tianjin 300456, China*; 3. *College of harbor, Coastal and Offshore Engineering, Hohai University, Nanjing 210098, China*)

**Abstract:** Swell is an important component of the wave disasters. This phenomenon has been paid much attention to by the researchers in the area all over the world, for its damage to marine structures such as ships, oil platforms and other offshore structures and its complexity of the mechanism. The swell and its danger were presented at first. And then, from the different aspects of swell, the development of research methods and some corresponding conclusions elaborated the understanding of swell of these domestic and foreign scholars so far. Finally, conclusions were given that previous researches of swell were concentrated in the induction of appearance characteristics, theoretical analysis of the internal structure and numerical simulation of the overall features, etc. And the research deficiencies in swell about its generation mechanism and motion characteristics of specific sea were put forward to provide some train of thoughts for people in the future researching.

**Key words:** swell; swell spectrum; wind-swell separation; formation mechanism; evolution characteristics