文章编号：1000-4882(2006)S-0165-05

南海北部海域沙波预测*

林 缅，邹舒觅，刘玉君
（中国科学院力学研究所，北京 100080）

摘 要

运用浅水波流场和底床变形的耦合动力学模型，考察了南海北部海域在 M2 分潮和风生流共同作用下沙波增长率、移动速率及运动方向，以及极端条件下沙波运移规律，并和现有的一些实测资料进行了比较分析，表明本文所采用的耦合动力学模型是可行的。

关 键 词：沙波；增长率；移动速率；移动方向

1 引言

海底沙波就是一种常见底床形态，一般发生在浅海区，30m 左右的水深，形状为非对称波状，波长从 100m 到 1km，波高 1m 到 10m。在许多海域都有沙波，比如，我国的南海、东海和渤海湾，以及英国的北海等等，其分布范围广，规模大。由于海底沙波由未固结的沉积物组成，孔隙度高、变异性明显。在海洋水动力(风暴、波浪、潮汐、海流)作用下，沙脊沙波运动具有变化频繁、迅速、复杂的特点，容易造成海工结构物失稳等重大事故。

以位于海南省东方市岸外东方 1-1 油气田为例。该油气田有两条海底管线，其中一条是从中心平台到岸上东方富岛终端站(DFTS)的22吋外输管线，另一条是中心平台到井口平台的12吋平台间管线。海底管线长约 109km。输气管线路由通过三条活动沙脊，沙波几乎均发育在沙脊脊间沟槽区及其两侧脊坡上，分布在水深 20m ~ 50m 范围。由于该海域沙波活动非常活跃，并且还是台风和热带风暴频频北上的主要路径区，海底管线投入营运后经常发现输油管线悬空现象。中国科学院海洋研究所曾对该海域 50km 长海底输气管线进行了多波束和旁扫声纳测量，发现管线绝大部分路段暴露于海底之上，尤其是近岸段沙波分布区，悬空情况更为严重，跨度最大可达 50m 以上，并且位置、数量和尺度还在不断变化，直接威胁到气田的安全运营。为此，中海油每年都需要投入大量的经费进行技术性维护。比如，在海管悬空的地方投放沙袋。然而这种被动方式并不能解决根本问题。每次台风过后还要进行相应的维护。因此我们希望通过对南海北部海域沙波运移规律的研究，为该海域海底管线的安全防护提供参考。

2 东方 1－1 油气田附近沙波地貌及海况

在南海北部东方 1－1 气田管道路由海底分成三大区域：平坦海底区、沙波区、水下岸坡区。其中沙波区海底地貌结构相对复杂，海底微地貌发育，形态特征多样。根据沙波高度可将外输管道路由沙波分为四个级别：小沙波（波长 2m~30m，波高$\Delta h \le 0.25$m），中沙波（波长 20m~60m，波高 $0.25\text{m} \le \Delta h \le 0.5\text{m}$），大沙波（波长 70m~150m，波高 $0.5\text{m} \le \Delta h \le 3\text{m}$），特大沙波（波长~900m，波高$\Delta h > 3$m）。详细数据参见表 1。分布位置参见图 1。

*自然科学基金项目（项目编号 40576046）和中国石油总公司与中国科学院“十五”科技合作项目（项目编号 KJCX2-SW-L03-04-HB02）

© 1994-2007 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

由统计表数据和沙波位置图，我们可将该海域沙波分为东区、中区、西区三段：西区（即第一，二沙波组群），水深 36m～52m,沙波规模小，沙波发育供砂量严重不足，沙波有自南向北迁移趋势；中区（即第三沙波组群）,.水深在 29m～37m,海底沙波对称性强，沙波呈稍有向上加高趋势，而水平迁移速度缓慢或处于相对稳定状态；东区（即第四至第七沙波组群），水深<33m,沙波极为发育，且规模大，大多为不对称形态，陡坡朝向南，砂源供应较为充足，海底沙波有明显迁移；因此在本文中我们仅考虑第四至七沙波组群的演变规律。又据观测资料显示，整个管道路由海区的常风向为 NE。季风特征也比较明显，每年 10 月到次年 3 月盛行东北风（NE），平均风速为 5.83m/s；5 月到 8 月盛行西南风（SSW），平均风速为 7.19 米/秒。4 月和 9 月为风向转换季节。整个管道路由海域风速大于 8m/s 的频率为 9.22%~13.8%。潮流方向主要为南北向，平均流速 30cm/s－50cm/s。详见表 2 和表 3。

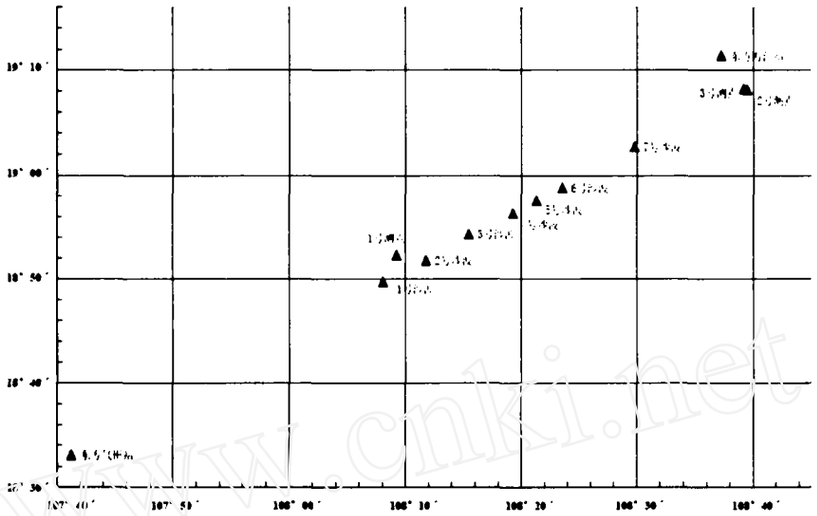

图 1 各个沙波分布位置图

表 1 东方 1-1 气田外输管道路由沙波形态参数统计表

沙波	位置 北纬	位置 东经	波高(m)	波长(m)	水深(m)	主要成份
1	18°49'	108°08'	1~3.2	55~97	46~52	泥质粉砂，中值粒径 0.02mm 左右
2	18°52'	108°12'	1~3.9	27~153	36~42	粘土，中细砂或中砂
3	18°54'	108°16'	1~1.5	14~24	29~37	松散薄砂，中细砂，
4	18°56'	108°19'	1~5.5	36~226	26~40	砾砂沉积，中值粒径约 0.25mm~0.5mm
5	18°58'	108°22'	1~11	32~115	22~39	粗中砂，中值粒径 0.25mm~0.8mm 左右
6	18°59'	108°29'	1.8~9.5	39~233	22~36	砂层松散，中砂
7	19°03'	108°14'	3.8~8.2	68~176	21~29	含砾粗砂，中值粒径 1mm~2.3mm 左右

3 计算结果和实测数据的比较

预测南海北部海底沙波增长率、移动速率以及运移方向随波长变化规律（图 2－图 4）。由图 2 可知，该区域内沙波增长率随沙波波长增加，且在 112m 附近达到最大，说明该海域最有可能发育波长约 112m 左右的沙波，年增长率在冬季和夏季相差不大，基本上在 1.6（冬）到 1.7（夏）之间。很明显，沙波在夏季（5 月～8 月）的增长率要大于冬季（11 月～3 月）的增长率。但是该海域沙波在冬夏两季的移动速率也相差较大。从图 3 可以看出，对波长为 112m 的沙波，其冬季的移动速率为 3.3m/yr，夏季的移动速率为 5m/yr。由于冬夏两季风速方向不同，所得到的沙波运移方向也有所不同，在冬季的运移方向大致在东北方向 293.5°左右，夏季的运移方向则大致在西南方向 125.3°左右。归纳起来，该海域将会有波长为 112m 左右的沙波发育，冬季运移 1.375m，夏季运移 1.7m，全年向西南方向运

© 1994-2007 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

移 0.291m 左右。这一结果和实际测量结果接近。

表 2　外输管道由各测点实测风速统计表

测点位置	东方海洋站		东方气田点	
	19°08'01.11″ N	108°39'31.76″ E	18°36'N	107°43'E
项目	风速(m/s)	风向	风速(m/s)	风向
平均风速	1.97~7.19	S　SSW	6.33~6.80	NW-N-NE
最大风速	34	NNE SSE	31.3	ENE

表 3　东方 1-1 外输管道路由沙波运移方向与速率统计表

沙波组群	运移速度（N 向为+，S 向为-） N 向	S 或 SSE 向	运移速率 (m/yr)
第一，二沙波	3.45	-3.16	0.29
	2.18	-2.00	0.18
第三沙波	3.3	-3.3	0
第四、五、六沙波	6.24	-8.23	-1.99
	3.95	-5.21	-1.26
	1.83	-2.4	-0.57
第七沙波	5.05	-6.66	-1.61
	2.34	-3.07	-0.73

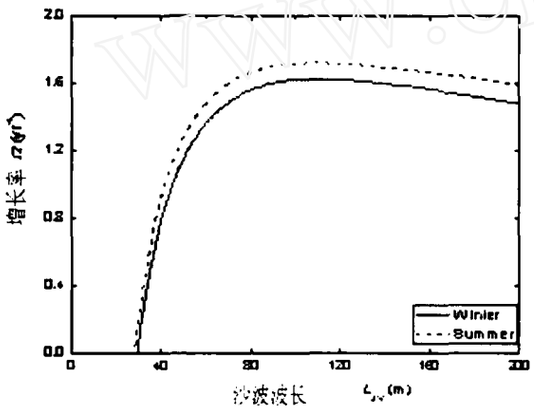

图 2　南海北部海底地形预测－沙波增长率

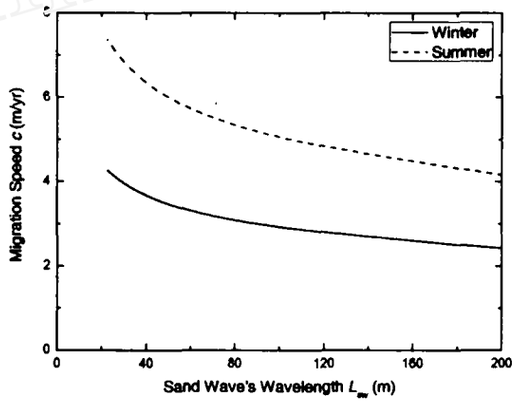

图 3　南海北部海底地形预测－沙波移动速率

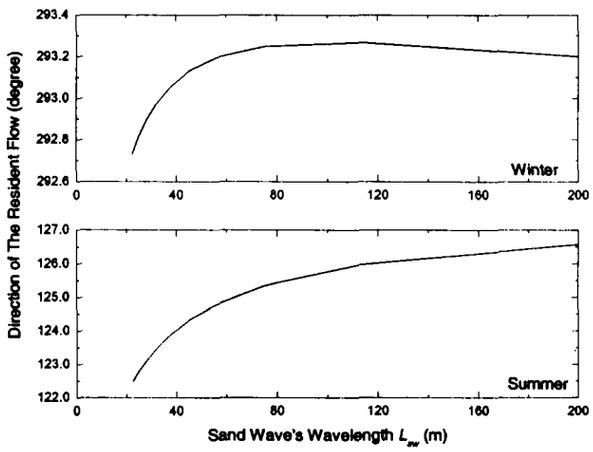

图 4　南海北部海底地形预测－余流方向

© 1994-2007 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net

同时我们还采用了日本学者莜原一郎提出的沙波运动速度公式进行计算，与以上结果比较：

$$\frac{ch}{\left(\frac{\gamma_s-\gamma_w}{\gamma_w}\right)}=\alpha\left(\frac{\gamma_w}{\gamma_s-\gamma_w}\frac{u_*^2}{gd}\frac{\tau_c}{\tau_0}\right)$$

其中 c 为沙波运动速度；h 为水深；γ_s 为泥沙比重；γ_w 为水比重；g 为重力加速度；d 为泥沙粒径；u_* 为水流摩阻速度；τ_c/τ_0 为底床存在沙纹和沙波时水流作用在床面上的剪应力比值；α 为依赖于粒径的经验系数。根据观测水文和地质数据，可得沙波运移速度为每年 0.18m-0.29m，与本文的计算结果在同一范围。

4 预测极端条件下沙波运移

对南海海域来说仅考虑季风的影响是不够的，因此我们提出预测极端风浪条件下东方 1-1 平台附近沙波的增长和运移情况。表 4 是东方 1-1 平台附近多年一遇的极端状况数据表。图 5 和图 6 分别给出了 5 年一遇和 10 年一遇极端风浪情况下的计算结果。

表4 极端状况数据

	5 年一遇	10 年一遇
风速（m/s）	24.1	27
风向	ENE	ENE
流速（cm/s）	132.6	147.8
流向	N-S	N-S

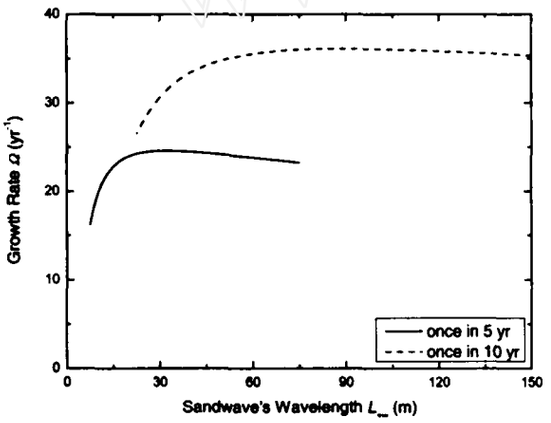

图5 东方1-1平台附近海底地形预测－不同重现期沙波增长率

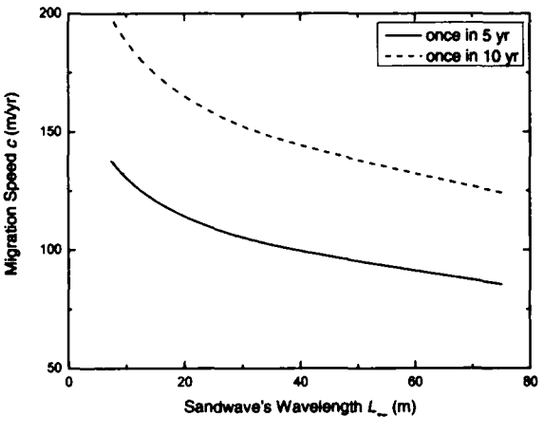

图6 东方1-1平台海底地形预测－不同重现期沙波移动速率

可以看到，在这两种极端情况下该海域沙波增长率比平常高了一个量级，同时可能发育的沙波波长也不同，五年一遇条件下最可能发育约 37 米波长沙波，十年一遇条件下则是约 75 米的沙波。沙波的移动速率达到了每年百米的量级。也就是说台风吹一天，就可能达到正常情况下一个月的沙波运移效果。因此，要研究海底沙波的发育和运移情况，就不能忽略台风的影响，尤其在台风多发海域。

5 结论

观测表明，在我国南海北部潮流和风成流是影响沙波运移的主要原因，因此本文运用以 M2 潮流和风成剪切流为基本流场所建立的耦合动力学模型，特别选取有实测数据的我国南海北部海域，通过比较分析模型计算结果与实际观测数据，验证了模型的可行性。同时，根据南海北部水文气象资料，

© 1994-2007 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

预测了极端海况下该海域地形变化，并着重考虑了东方1-1平台附近的海底地形变化，为我国南海海域油气开发中的海底管线路由设计提供了理论依据。另外，本文所采用的耦合动力学模型，它除了能预测不同方向风成流和M2潮流共同作用下任意形状沙波的运移规律外，同时该模型还可用于预测其他形式剪切流作用下的沙波运移。

参 考 文 献

1 Hulscher, S.J.M.H., De Swart, H.E., De Vriend, H.J., The generation of offshore tidal sand banks and sand waves, Cont. Shelf Research, 1993, 13 (11), pp 1183-1204.

2 Hulscher, S.J.M.H., Tidal-induced large-scale regular bed form patterns in a three-dimensional shallow water model. Journal of Geophysical Research, 1996, 101 (C9), pp 20727–20744.

3 Hulscher, S.J.M.H., Van Den Brink, G.M., Comparison between predicted and observed sand waves and sand banks in the North Sea. Journal of Geophysical Research, 2001, 106 (C5). pp 9327-9338.

4 Huntley, D.A., Huthnance, J.M., Collins, M.B., Liu, C.L., Nicholls, R.J., Hewitson, C., Hydrodynamics and sediment dynamics of North Sea sand waves and sand banks. Philosophical Transactions of the Royal Society of London, 1982, 4, pp 79-99.

5 Nemeth, A.A., Hulscher, S.J.M.H., De Vriend, H.J., Modelling sand wave migration in shallow shelf seas. Continental Shelf Research, 2002, 22, pp 2795-2806.

6 Zou S.M., Lin M., Influence On Migration of Sand Waves. The 16th International Offshore and Polar Engineering Conference, May 28-June 2, San Francisco, California, USA.

7 王尚毅，李大鸣，南海珠江口盆地陆架斜坡及大陆坡海底沙波动态分析，海洋学报，1994，Vol.16，No.6，pp 122 – 132

8 王文介，南海北部的潮波传播与海底沙脊和沙波发育，热带海洋，2000，Vol.19，No.1，pp 1-7

9 夏东兴等，海南东方岸外海底沙波活动型研究，黄渤海海岸，2001，Vol.19，No.1，pp 17-24

10 庄振业等，陆架沙丘（波）形成发育的环境条件，海洋地质动态，2004，Vol.20，No.4，pp 5-10

Predicting the evolution of Sand Waves in Northern South China Sea

Lin Mian，Zou Shumi，Liu Yujun

（Institute of Mechanics, CAS, Beijing, 100080）

Abstract

Applied the coupling dynamics mechanics model, which based on the shallow water equations and the bedload deformation equation, the rates of sand waves growth and migration and moving direction in Northern South China Sea are deduced by M_2 tidal current and wind-induced shear current, especially for extreme condition, and the results are compared with some field data. It is can be concluded that the coupling model is validating for predicting the evolution of sand waves and serving of designing pipeline route.

Keywords: Northern South China Sea；sand waves；growth rate；migration speed；moving direction

作者简介 林 缅 女，博士，研究员，主要从事海洋工程力学研究。

© 1994-2007 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net