

# 南海海流环境特征及其对深水钻井装置的影响研究

赵 德, 卢先刚, 庞东豪, 冷雪霜

(中海油能源发展工程技术公司, 广东 湛江 524057)

**摘要:** 中国南海深水勘探钻井装置面临海流环境的冲击影响, 这对海洋钻井装备安全造成较大影响。本文结合中国南海海域主要海流的成因及其特征, 分析其对深水钻井作业的影响。经分析, 南海海域常见的表层流对深水钻井作业影响不是太大, 最大的影响因素是由潮汐作用产生的非线性孤立波。因此, 有必要详细分析孤立波产生的影响及其监测预防手段。分析结果可以为南海深水勘探钻井作业提供参考。

**关键词:** 南海; 海流; 孤立波; 深水; 钻井船

**中图分类号:** TE254      **文献标识码:** A      **文章编号:** 1008-9500(2022)02-0065-03

**DOI:**10.3969/j.issn.1008-9500.2022.02.019

## Study on Environmental Characteristics of the South China Sea Current and Its Influence on Deepwater Drilling Unit

ZHAO De, LU Xiangang, PANG Donghao, LENG Xueshuang

(CNOOC EnerTech-Drilling & Production Co., Zhanjiang 524057, China)

**Abstract:** Deepwater exploration drilling unit in the South China Sea is faced with the impact of the ocean current environment, which has a great impact on the safety of offshore drilling equipment. This paper combines the causes and characteristics of the main currents in the South China Sea to analyze their impact on deepwater drilling operations. After analysis, the common surface current in the South China Sea has little effect on deepwater drilling operations, and the biggest influencing factor is the nonlinear solitary wave generated by tidal action. Therefore, it is necessary to analyze in detail the effects of solitary waves and their monitoring and preventive measures. The analysis results can provide reference for deepwater exploration drilling operations in the South China Sea.

**Keywords:** South China Sea; ocean current; solitary wave; deep water; drilling ship

近十年来, 全球重大油气发现 70% 来自深水, 排名前 50 的超大油气开发项目中, 75% 是深水项目。走向具备巨大油气开发潜力的深水区, 是海洋油气资源勘探开发的发展趋势。中国南海是未来我国油气资源的重要接替区。据估计, 中国南海油气地质储量可能高达 700 亿 t, 70% 蕴藏在深海<sup>[1-2]</sup>。世界主要深水作业区位于超过大陆坡顶部至大陆坡底部之间的海域, 深水海洋环境不同于大陆架浅水海域, 深水海域作业的钻井平台装备承受了更多表层至深层的海流冲击<sup>[3-4]</sup>。本文对南海主要的海流类型及其对深水钻井平台的影响进行分析评估, 识别出对钻井平台影响最

大的孤立波, 并针对孤立波的影响提出应对策略。

### 1 南海主要海流类型影响分析

#### 1.1 南海主要海流类型

##### 1.1.1 表层流

表层流按成因可分为风海流、密度流和补偿流, 对南海影响比较明显的是表层流的主要形式风海流。作为北太平洋西部流势最强的暖流, 黑潮(日本暖流)主要通过吕宋海峡进入南海, 在南海季风表层流的影响下, 该支流主要在冬季对南海的深水作业产生影响: 流向自动向西, 流速 1.852 ~ 2.778 km/h, 厚 500 m 左右<sup>[5]</sup>。

收稿日期: 2021-12-03

作者简介: 赵德(1984-), 男, 山东济宁人, 工程师, 主要从事深水钻井项目管理和技术研究等工作。

### 1.1.2 内波流

南海是内波高发海域,南海内波的成因可以分为两类:吕宋海峡产生的潮汐内波和南海北部大陆架边缘产生的内波<sup>[6]</sup>。其中,吕宋海峡产生的内波是南海海域最主要的内波来源,占总内波数量的83%。南海北部陆坡类成因的内波占总内波数量的比例较小,为17%。

### 1.1.3 孤立波

南海内波在复杂地形的海域内传播,发生破碎、干扰,产生非线性的孤立波,南海是世界上孤立波发

生最频繁的海域之一<sup>[7]</sup>。

### 1.2 主要海流类型对南海深水钻井装置的影响评估

南海海流类型对深水钻井装置的影响评估如表1所示。经过评估分析,因影响水深大、发生频率高、影响后果严重,孤立波是对南海深水钻井装置影响最大的海流类型。针对孤立波的上述特征,对南海钻井船记录的孤立波数据进行分析,统计其发生规律和强度范围,在此基础上制定专项孤立波监测技术方案和预防孤立波冲击措施。

表 1 南海海流类型对深水钻井装置的影响评估

海流类型	影响深度范围(m)	流速	发生频率	影响严重度	综合影响评估
表层流	< 500	低	高,受季风影响持续时间长	低,规律性强,可预测性高,影响严重度低	低
内波流	> 1 000	低	中,受潮汐影响,大潮期频率高	中,规律性强,可预测性低,影响严重度低	中
孤立波	< 500	高	中,受季节性影响大,不确定性高	高,规律性低,可预测性低,影响严重度高	高

## 2 南海孤立波风险分析和应对策略

南海常用的深水钻井装置分为动力定位钻井装置和锚泊式钻井装置,根据南海动力定位平台 FX 号和锚泊定位平台 NHX 号作业期间的现场孤立波记录,对南海孤立波发生规律及影响进行针对性分析。

### 2.1 对动力定位钻井装置的影响

表 2 数据分析表明,动力定位钻井装置作业期间,孤立波在大潮期发生频率高,平均为 1 ~ 2 次/d,

非大潮期频率较低。孤立波平均持续时间较长,为 19 min/次。平均最大流速较大,为 1.2 m/s。孤立波发生方向集中在东至东南方向,介于 81° ~ 110°。孤立波突发性较强,在作业期间总计记录的 27 次冲击中,有 9 次未能提前监测到,未提前监测到的比例为 43%。整体分析结果为:孤立波在大潮期发生频率高,冲击流速大,可监测性一般。

表 2 动力定位平台 FX 号孤立波数据

开始日期	开始时间	持续时间 (min)	最大流速 (m/s)	方向 (°)	最大浪高 (m)	是否提前监测到
7月13日	18:45	5	1.00	90	1.1	是
7月14日	18:36	21	1.55	88	1.3	是
7月15日	19:24	14	1.25	99	4.4	否
7月15日	20:00	6	1.15	98	3.9	否
7月17日	20:30	10	1.20	81	2.2	是
7月18日	10:55	35	0.55	80	1.0	否
7月18日	20:55	40	1.20	108	2.0	是

深水动力定位钻井装置对装置定位稳定性的要求较高,以 FX 号在 1 000 m 水深的作业为例,正常钻井作业期间,FX 号定位精度应满足三级要求:内圈区域可进行正常钻井,半径为 13 m;中圈区域需要停止钻井并进行解脱准备,半径为 22 m;外圈区域需要启动解脱程序,半径为 43 m。

突发性孤立波对平台稳定性的影响极大,容易造成平台被动漂移,从而产生作业中断,影响作业时

效,甚至导致隔水管及平台装备损坏,存在一定经济、安全、环境后果。

### 2.2 对锚泊式钻井装置的影响

表 3 数据分析表明,在大潮期,孤立波发生频率较高,为 1 次/d。持续时间较长,平均为 23 min/次。最大流速较强,平均为 1.5 m/s。其对平台冲击较大,平均平台漂移为 65 m,平均倾斜为 2.7°。孤立波提前监测率为 62%。整体分析结果为:孤立波在大潮期

发生频率高,冲击流速大,可监测性一般。

表 3 锚泊定位平台 NHX 号孤立波数据

发生日期	发生时间	持续时间 (min)	最大流速 (m/s)	平台位移 (m)	平台倾斜角度	是否提前检测到
4 月 3 日	09:15	47	1.4	89	右偏 1.5°	否
4 月 4 日	21:20	34	2.0	101	右偏 4°	是
4 月 5 日	22:30	30	2.5	112	右偏 3°	是
4 月 6 日	11:45	23	1.7	137	右偏 3.5°	否

相比动力定位钻井装置,深水锚泊定位钻井装置在深水作业中面临两点孤立波的特殊挑战。一是锚泊系统定位能力较差。相比动力定位钻井装置,NHX 号通过悬链式锚泊系统定位,受限于水深和平台承重能力,无法按照浅水锚泊系统应用要求使用全锚链式锚泊系统,而是采用锚链和锚缆复合式锚泊系统,进一步增加钻井装置的定位不稳定性。二是锚泊系统主动调整定位能力较差。相比动力定位钻井装置,悬链式锚泊定位方式只能在监测到孤立波后,提前张紧来流方向锚张力,被动抵挡孤立波冲击,效果较差。NHX 号最大孤立波冲击位移达到 137 m,对钻井平台和隔水管装置造成一定损害,存在较大的经济、安全、环保风险。

### 2.3 孤立波风险应对技术

针对孤立波对深水钻井装置造成的较大潜在风险,要对孤立波进行风险分析,提高深水钻井作业安全性。孤立波风险应对技术主要包括三项内容:孤立波监测技术、动力定位钻井装置孤立波应对技术、锚泊定位钻井装置孤立波应对技术。

#### 2.3.1 孤立波的监测方法

孤立波监测方法主要有两种:直接监测和间接监测。两种方法的典型代表分别为声学多普勒流速剖面仪(ADCP)和合成孔径雷达(SAR)。现场最佳实践为将两者综合使用,更好实现对孤立波的提前预警和监测。

#### 2.3.2 动力定位钻井装置孤立波应对技术

目前,主要第六代动力定位钻井装置均配备了较为先进的动力定位三代系统,可以提供充足的动力稳定保障。在结合孤立波监测预警技术的情况下,动力定位操作需要根据孤立波冲击风险应对预案,提前启动备用动力系统,加强平台抗冲击能力,并提前通知平台各作业方做好防孤立波冲击的安全准备。

#### 2.3.3 锚泊定位钻井装置孤立波应对技术

锚泊定位系统应对孤立波冲击风险的整体能力

较弱,因其受限于锚链质量和平台可变荷载,整体深水定位能力不足。针对该风险,首先需要评估锚泊定位钻井装置的深水作业可行性,尽量避开孤立波频发海域和时间。

### 3 结论

南海主要的海流形式有表层流、内波流和孤立波,其中,孤立波对深水钻井装置影响最大。南海孤立波现场记录数据分析显示,其具有大潮期多发、流速较大、单次持续时间较长的特点。要针对这些特点,科学制定防范技术方案。动力定位钻井装置和锚泊定位钻井装置因各自的定位原理不同,应对孤立波风险的能力和方式也不同,需要分别进行适用性分析。结果表明,南海深水作业优先选用动力定位钻井装置,而锚泊定位钻井装置需要进行单独深水作业可行性分析。

### 参 考 文 献

- 1 李 中. 中国海油深水钻井技术进展及发展展望[J]. 中国海上油气, 2021(3): 114-120.
- 2 周守为, 李清平, 朱海山, 等. 海洋能源勘探开发技术现状与展望[J]. 中国工程科学, 2016(3): 19-31.
- 3 方文东, 陈荣裕, 毛庆文. 南海北部大陆坡区的突发性强流[J]. 热带海洋, 2000(1): 70-75.
- 4 邱 章, 方文东. 南海北部春季海流的垂向变化[J]. 热带海洋, 1999(4): 32-39.
- 5 郭 朴, 方文东, 甘子钧, 等. 南海北部大陆坡区的内潮特征[J]. 科学通报, 2006(3): 15-22.
- 6 胡伟杰, 刘正礼, 陈 彬. 南海内波流对深水钻井的影响及对策[J]. 石油钻采工艺, 2015(1): 160-162.
- 7 谢波涛, 雷方辉. 南海流花海域内孤立波特征分析[C]/2013年中国海洋工程技术年会. 2013.