

文章编号: 1674-5566(2017)05-0766-10

DOI:10.12024/jsou.20161201913

马里亚纳海沟海域深渊潜器作业海况条件分析

姚辰阳¹, 林丽金¹, 高郭平¹, 孔祥洪²

(1. 上海海洋大学 海洋科学学院, 上海 201306; 2. 上海海洋大学 信息学院, 上海 201306)

摘要: 深海是海洋科学研究和技术发展重点关注的海域, 其中又以探索和研究全球最深的海域——马里亚纳海沟挑战者深渊为重要标记和挑战。为保障深渊潜器在该海域的作业安全, 本文利用美国海洋大气局 (NOAA) 发布的 WAVEWATCH III 后报产品, 和基于 Jason II 卫星的海浪遥感数据产品, 统计分析了该海域自 2005 年 2 月到 2015 年 7 月期间, 波浪要素的空间分布和时间变化特征。结果表明, 马里亚纳海沟海域多年逐月区域平均有效波高为 1.30(6 月)~2.53 m(1 月), 周期为 8.0(6 月)~9.6 s(12 月), 逐月最大波高分别为 3.03、2.79、2.58、2.19、1.74、1.56、1.68、1.78、1.85、2.22、2.37、2.81 m。海浪的季节差异显著, 其中冬季平均波高最大, 夏季平均波高最小, 春秋两季为过渡期。本文对发生的 4 m 以上巨浪进行统计, 发生频率逐月区域平均值为 0.2%~3.5%, 冬季发生频率较高, 春夏秋三季巨浪频率较低。根据“蛟龙号”及其他相关深渊潜器在四级海况下进行布放和五级海况下回收的设计参数条件要求, 在马里亚纳海沟海域, 更合适的作业时间为 5 到 10 月, 在其他月份, 需要选择良好的海况条件进行作业。

关键词: 马里亚纳海沟; 有效波高; 深渊潜器; 作业安全

中图分类号: P 731.3 **文献标志码:** A

深海是海洋科学研究优先发展和重要突破的方向, 是美国国家自然科学基金会确定的未来 10 年的优先研究内容之一^[1], 在 2012 年出版的国家科学思想库海洋卷——《未来 10 年中国学科发展战略-海洋科学》中也突出强调了其重要性^[2]。

深海海底是地球上历史演化信息保存最好的地方, 存在地球上独特的极端海洋环境, 具有特殊的物理、生物和水文特征, 与上层海洋和海底洋壳之间存在广泛的物质、生物和能量的交换, 是海洋科学研究的前沿领域。开展海洋万米深渊探索是人类的梦想, 也是海洋科技发展的目标和挑战, 对于深刻了解地球生命起源, 感知气候变化, 促进海洋环境与生态保护, 改进地震预报能力都有重要意义^[3]。开展深海科学研究, 开发利用深海资源也都必须依靠深海探测设备和装载装备, 发展深渊潜水器和具备精细的深海作业能力, 才能让科学家可以直接参与到深海前沿

科学研究, 在深渊环境下进行资源勘查、科学考察和采样以及其它深海特定作业^[4]。

深海科技的重要研究海域是全球海洋最深的海沟海域, 现已探明的深度超过万米的深渊海域有 5 个(图 1): 分别是马里亚纳海沟, 最大深度 10 920 m^[5]; 汤加海沟, 最大深度 10 882 m^[6]; 千岛海沟, 最大深度 10 542 m^[7]; 菲律宾海沟, 最大

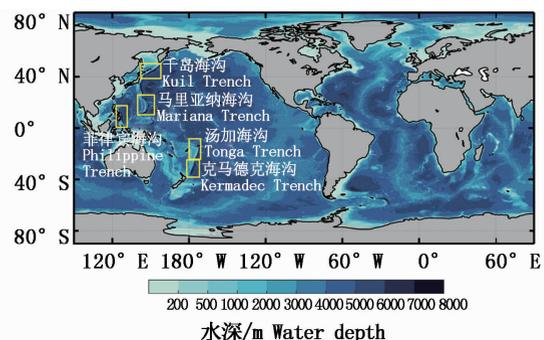


图 1 全球海沟分布示意图

Fig. 1 Global distribution of the Trenches

收稿日期: 2016-12-05 修回日期: 2017-05-12

基金项目: 上海市高峰高原学科海洋科学高原学科(沪教委科 2014-70 号)

作者简介: 姚辰阳(1995—), 男, 研究方向为物理海洋。E-mail: cyyao1995@foxmail.com

通信作者: 高郭平, E-mail: gpgao@shou.edu.cn

深度为 10 497 m^[8];克马德克海沟,最大深度为 10 047 m^[9]。其中又以马里亚纳海沟海域最深,也最为著名。

马里亚纳海沟位于西北太平洋,菲律宾东北、马里亚纳群岛附近,北起硫黄列岛、西南至雅浦岛附近,全长 2 550 km,其中最深处为“挑战者深渊”,约为 10 920 m,位于 11° 22. 4' N, 142° 35. 6' E,是世界海洋的最深处(图 2)。“挑战者深渊”距离关岛约 169 海里,距离密克罗尼西亚联邦雅浦港直线距离约 289. 2 海里,距帕劳科罗尔港口直线距离约 535. 34 海里,距巴布新几内亚腊包尔(Rabaul)港和莱城(Lae)港直线距离分别约为 1 095 海里和 1 114 海里。

马里亚纳海沟海域是开展万米深渊研究的理想场所,但是该海域位处北半球信风带,也是台风形成、加强和经过的主要海域,天气多变,并常受强风影响,形成恶劣海况,这给开展海上现场作业带来较多限制。

而深渊器的作业需要相对良好的海况条件,根据设计参数,“蛟龙号”及其他相关深渊潜器,必须满足四级海况进行布放,五级海况进行回收^[10]。为保障深潜器海上作业安全,本文搜集和分析了全球海浪回报数据产品,以及基于卫星遥感的海浪数据产品,采用概率气象水文预报形式^[11],讨论了马里亚纳海沟海域极端海洋环境条件下,海浪要素的特征、巨浪发生频次,为选取合理的深潜器作业窗口,保障作业安全提供辅助决策信息。

1 数据与方法

1.1 数据来源及处理方法

为了开展马里亚纳海沟海域海况的研究,我们选用了两个海浪数据产品。其中,数值模型回报数据产品,它是美国国家海洋大气管理局(NOAA)与美国环境预报中心(NCEP)在 WAVEWATCHI 和 WAVEWATCHII 的基础上开发的全谱空间的第三代海浪模型,是基于 WAVEWATCH III 模式的计算结果,简称 WWIII。该模式运用 JONSWAP 谱的条件下,在传播过程中考虑地形和海流空间变化导致的波浪折射作用和浅水变形作用及线性的波浪传播运动。共发布了与海面有关的 9 种数据产品,可以用于船

舶航行、远洋捕捞专业、海上营救、港口建设、海上工程建设、海洋科学研究等方面^[12]。全球与北极的回报数据空间分辨率为 30 分度网格;阿拉斯加,北大西洋,美国西海岸(包括墨西哥湾流)以及太平洋岛屿的回报数据空间分辨率为 10 分度网格,阿拉斯加和美国西海岸的回报数据还有更高精度的 4 分度网格。可下载的有波场,海浪谱和站点 3 种输出数据,主要下载地址为 <http://data.nodc.noaa.gov/ncep/nw3/>。本文研究使用的回报数据为 2005 年 2 月 1 日 0 时到 2015 年 7 月 31 日 24 时,空间分辨率为 0.5°×0.5°,时间分辨率为 3 h。

我们使用的观测数据产品是 Jason-2 卫星产品。OSTM/Jason-2 是法国航天局(CNES)、美国国家航空航天局(NASA)、欧洲气象卫星组织(EUMETSAT)和美国国家海洋大气管理局(NOAA)的一项联合任务。该卫星于 2008 年 6 月 20 日在美国加利福尼亚州的范登堡空军基地被成功发射升空,它的轨道高度为 1336 km,轨道倾角为 66.04°,重复周期约为 9.915 6 d。经过变轨处理后,在 2009 年 8 月 5 日,对外发布了 Jason-2 的“T”GDRs 数据产品。其观测结果可以改善浅海与大洋的模型,改良气候预测以及全球海平面变化的测量,增强我们对海洋环流的理解^[13]。Jason-2 卫星装载 Poseidon-3 号高度计,有 Ku 波段(13.575 GHz)与 C 波段(5.3 GHz)两种波段,采样频率为 1 s。数据经过了干对流层订正,湿对流层订正,电离层订正,海况订正后测量精度达到 2 cm。由于 C 波段受地面微波等干扰源的同频干扰比较严重,存在部分观测有效波高远大于 10 米的可疑数据,我们采用了 Ku 波段数据。对基于 Jason-2 的 sw_h_ku 数据,通过 Jason-2 数据集中的 surface_type 与 qual_alt_1hz_range_ku,以及 3 σ 准则对 Jason-2 数据进行质量控制^[14],主要下载地址为 <http://data.nodc.noaa.gov/jason2/>。本文研究使用的卫星数据为 2008 年 7 月 5 日 0 时到 2014 年 12 月 31 日 24 时,空间分辨率为 6 km,时间分辨率为 1 s。

本文研究区域根据作业需求以 11° 20' N, 142° 11.5' E 为中心,空间覆盖约 600 km 范围,包括 22 个经向网格点(6° N-16.5° N)和 32 个纬向网格点(134° E-149.5° E)。

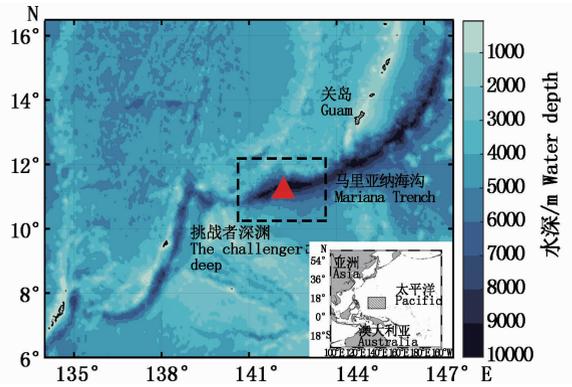


图2 马里亚纳海沟海域示意图
Fig.2 Location of the Mariana Trench

阴影部分为选取的研究区域,虚线内为马里亚纳海沟核心作业海域,红色三角为位于11°22.4'N,142°35.6'E的挑战者深渊 Shadow part is the study area, within the dotted rectangle is the tag target area of Mariana Trench sea, and the challenger deep (11°22.4'N,142°35.6'E) is at the center of red triangle

2 结果与讨论

2.1 数据校验

本文首先比较分析了 Jason-2 与 WW III 海浪数据产品,在2008年7月5日0时到2014年12月31日24时,共有193 455个有效数据。

得到在此期间,两个产品的有效波高相关系

数为0.77,均方根偏差为0.52 m,标准差为0.79。其中,在2月相关性系数最大为0.78,均方根偏差为0.48 m;在7月相关性系数最小为0.53,均方根偏差为0.67 m。冬季与早春平均有效波高大于1.80 m,两个数据的相关性较强,为0.7~0.78;夏季平均有效波高较小,低于1.34 m,两个数据相关性相比冬季较弱,为0.53~0.63(表1)。

选取泰勒图方法将模式数据与观测数据的相关性系数、标准差、均方根偏差同时显示在二维的图中,以反映出模式结果与观测值的匹配程度^[15]。为了了解在不同月份中 WW III 海浪回报能力的差异,我们将 WW III 回报数据与 Jason-2 观测数据逐月进行比较。大部分模式数据的均方偏差在0.4~0.6/m弧线之间,4月和5月的均方根偏差最小;相关性系数集中在0.6~0.8之间,只有5—7月低于0.6;12个月模式的标准差主要在0.6~0.8 m之间(图3)。

通过以上对比,WW III 的有效波高与 Jason-2 波高数据一致性很好,说明模式回报具有较好的可信度。而回报数据提供了大范围、长期的海浪信息,更适合应用于海浪的分析和研究工作。

表1 Jason-2 与 WW III 的有效波高统计特征

Tab.1 The statistical properties of Significant wave height in Jason-2 and WW III

月份 Month	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
相关性系数 Correlation coefficient	0.7	0.78	0.74	0.74	0.57	0.57	0.53	0.63	0.7	0.6	0.63	0.73
标准偏差/m Standard Deviation	0.67	0.75	0.71	0.45	0.34	0.38	0.75	0.7	0.76	0.71	0.53	0.63
均方根偏差/m RMSD	0.5	0.48	0.48	0.32	0.33	0.37	0.67	0.61	0.58	0.61	0.44	0.45

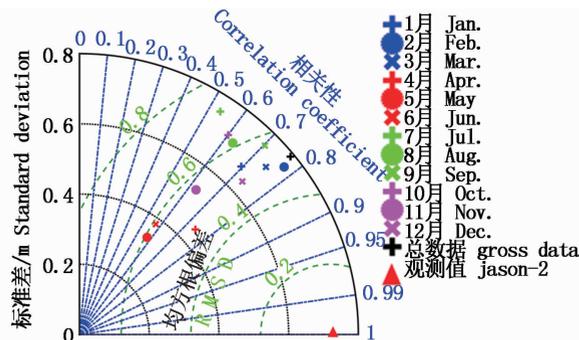


图3 WW III有效波高与 Jason-2 数据产品对比泰勒图

Fig.3 The Taylor diagrams of the significant wave height between the WWIII and the Jason-2

2.2 多年逐月平均海浪状况

海浪波高和周期的地理分布图可以更直观

的给出海浪的特征^[16],体现不同海域有效波高的分布情况,为此,根据 $0.5^\circ \times 0.5^\circ$ 每个网格点上的有效波高取逐月平均进行分析。为了解该海域整体的有效波高情况,对有效波高数据也计算了逐月区域平均值,以此分析马里亚纳海沟海域巨浪出现的频率以及时空分布特征的概率统计,得到如下结果:

根据分析,研究海域多年逐月平均有效波高和周期地理分布如图4所示。从图中实线和阴影对应的波高分布可以看出,整个海区,波高呈北高南低的态势,南北有效波高最大可相差0.5 m以上(夏季)和1 m以上(冬季),主要海浪极大值出现在岛屿附近。马里亚纳海沟海域的海浪有效波高介于研究海域的平均值附近。波浪周

期空间总体趋势也具有北部略高的特点,但是在 5—9 月周期呈东北高,西南低的特点,最大相差

可达 0.3 s 以上。

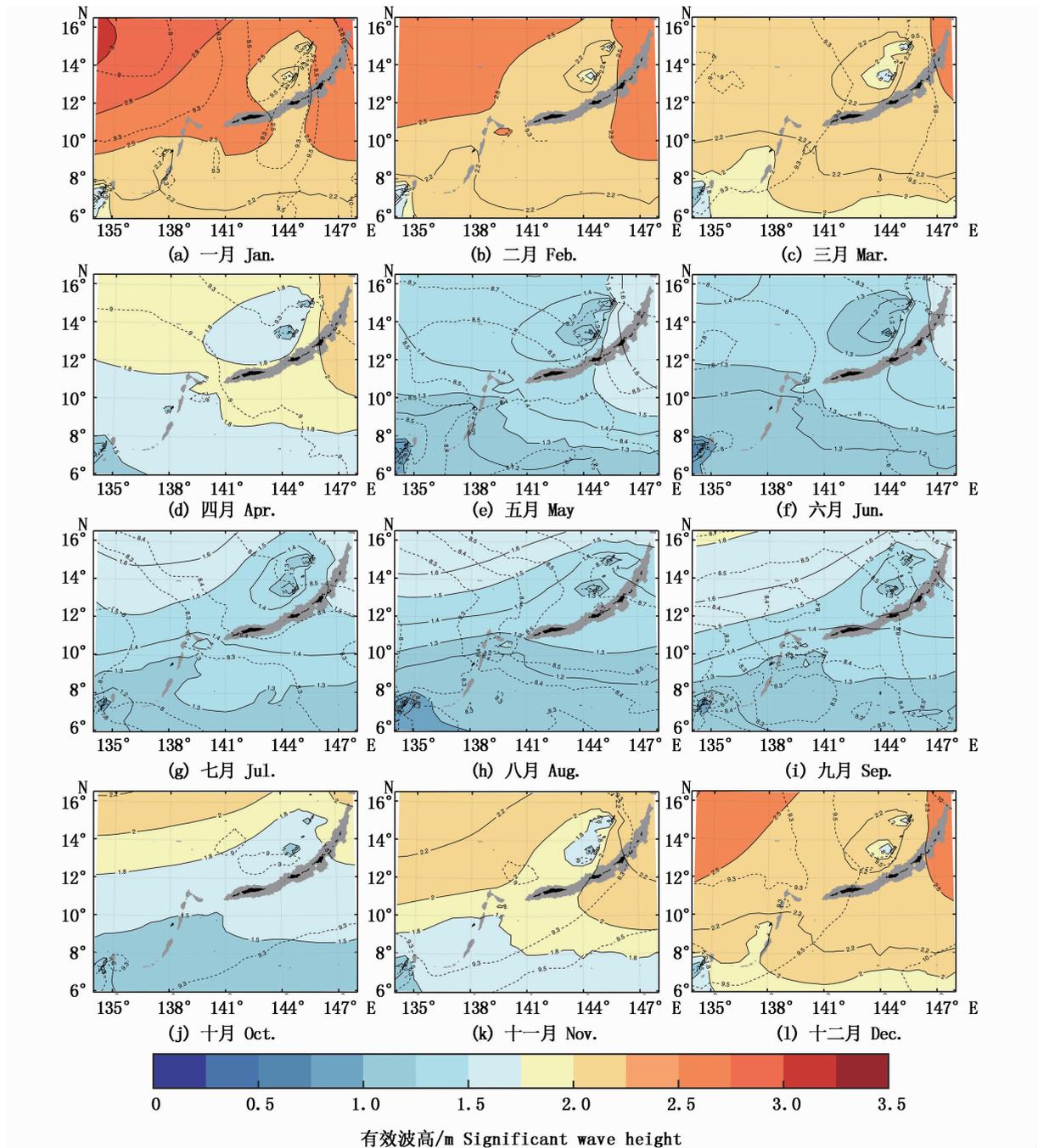


图 4 多年逐月平均有效波高和周期地理分布图

Fig. 4 Geographic distribution of the average significant wave height and peak wave period through out the years
实线是波高(m),虚线是波浪周期(s);图中的阴影为海底水深大于6 500 m的区域,黑色区域为海底深大于9 000 m的区域,图6-8同

Solid line is the wave height(m), and dotted line is the period(s);The diagonal shadow indicates area with a depth greater than 6 500 m, blacking is more than 9 000 m, the same in fig. 6-8

根据研究区域的有效波高数据,进一步得到 其出现频率(图5),其中0~4 m海浪出现频率占

到 98.89%, 其中, 0~1 m、1~2 m、2~3 m、3~4 m 波高出现频率分别为 11.33%、54.02%、27.62%、5.93%。多年逐月平均波高为 0.70~3.04 m, 周期为 7.3~10.3 s。夏季是全年中平均波高最小的季节, 波高在 0.74~1.78 m。与冬季相比, 夏季波高下降了 0.52~1.25 m, 区域平均值为 1.34 m, 海浪周期为 7.3~8.8 s; 冬季波高为 1.26~3.03 m, 区域平均值为 2.41 m, 海浪周期为 8.9~10.3 s; 春秋两季为过渡期, 波高在 0.70~2.58 m, 区域平均值分别为 1.80 m、1.68 m, 海浪周期为 7.6~9.9 s。

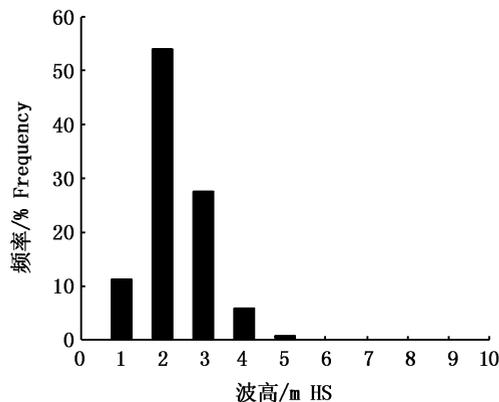


图5 马里亚纳海沟海域有效波高出现频率直方图

Fig. 5 Frequency histogram of significant wave height around the Mariana Trench

2.3 巨浪的时空分布特征

为了解对海上活动及作业安全有更显著影响的巨浪的特征, 进一步分析了 4 米以上巨浪频率^[17] (图 6), 可以看出冬季巨浪频率较高, 区域平均值为 2.11%, 其中 1 月份的巨浪频率的极大值超过了 14%。春夏秋三季巨浪频率较低, 区域平均值分别为 0.64%、0.76%、0.95%, 有 6 个月的巨浪频率的极大值不超过 5.5%, 其中有 3 个月的巨浪频率的极大值不超过 1.5%。地理分布上看, 从 12 月到次年 11 月巨浪频率高值区主要在 12°N-15°N, 134.5°E-136°E 的范围内, 其中巨浪频率整体是由西北向东南递减。在马里亚纳海沟作业海域, 巨浪频率的逐月区域平均值在 0.2% 和 3.5% 之间。

冬季(12月到2月): 冬季巨浪频率最高, 区域平均值为 2.11%。冬季三个月中, 1 月份的巨浪频率最高, 极大值超过 14%。2 月份, 巨浪频率开始降低。巨浪的地理分布: 在 12°N-16°N,

134.5°E-138°E 为巨浪出现的高值区。巨浪频率由西北向东南递减。

春季(3月到5月): 巨浪出现的频率低于冬季, 区域平均值为 0.64%。从 3 月到 5 月, 巨浪频率逐渐降低, 在 5 月份达到全年最低, 巨浪频率的极大值小于 1.5%。巨浪的地理分布: 因为在整个研究海域中巨浪频率小, 巨浪的地理分布整体是由北向南递减, 东西向变化差异很小。

夏季(6月到8月): 夏季巨浪频率相比春季, 有小幅提升, 区域平均值为 0.76%, 从 6 月到 8 月, 巨浪频率开始。巨浪频率的极大值大于 4.8%。巨浪的地理分布: 巨浪出现的高值区向东移动, 为 14°N-16°N, 135°E-140°E。巨浪频率由西北向东南递减。

秋季(9月到11月): 开始向冬季的情况过渡。秋季巨浪频率的区域平均值为 0.95%。从 9 月到 11 月, 巨浪频率继续增加, 巨浪频率的极大值大于 7.5%。巨浪的地理分布: 巨浪频率高值区出现在 14°N-16°N, 134.5°E-138°E, 向冬季分布情况演变。巨浪的出现频率是由西北向东南递减。

2.4 海上作业安全分析

参考“蛟龙号”设计参数和作业安全要求的环境条件, 即布放(4级海况)与回收(5级海况)^[10], 为了保障海上作业安全, 均以海况等级的最低波高来进行统计, 四级海况按有效波高小于 1.25 m, 五级海况按有效波高小于 2.5 m 进行统计。统计得到马里亚纳海沟 4 级海况与 5 级海况的概率分布(图 7~8)。参考“蛟龙号”潜水器海上试验的作业时间, 以 10 d 为海上作业时间长度(占每月总天数的 1/3), 选取符合要求的海况出现概率达到 30% 以上的月份, 将其作为选择开展作业时间的标准^[18]。

根据图 7~8 及表 2 可以得到: 在马里亚纳海沟作业海域, 五级海况出现频率在全年中都大于 50%, 其中, 4 月到 10 月, 出现概率均大于 90%。

5 到 10 月, 四级海况出现的频率为 30%~60%, 可以开展深渊潜器的作业。但是要注意到, 在统计结果中, 缺少对达到作业标准的持续天数的统计, 并且深渊潜器一次完整的上下潜时间超过 10 小时, 结果中未体现海况的昼夜变化。从统计上, 在 7、8、9 月份更适合深渊器开展海上作业, 可以工作的时间超过了 50%, 平均波高在

1.2 ~ 1.4 m,周期为 8.2 ~ 8.5 s。虽然在 5 月与 10 月中,四级海况出现的频率在 30% ~ 40%,但

是这两个月份,会出现一些海上试验项目无法展开的情况,存在一定的风险。

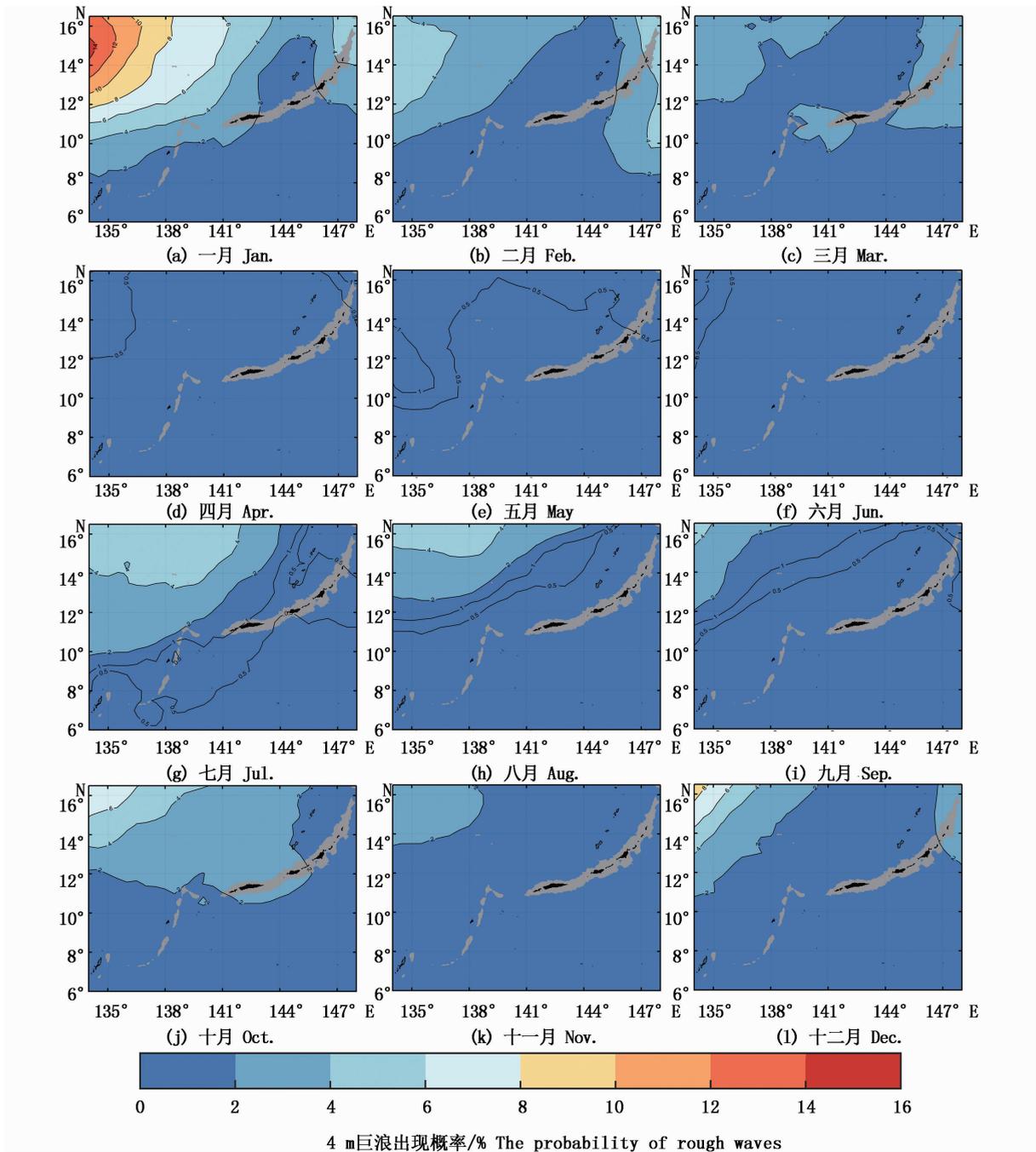


图 6 马里亚纳海沟海域巨浪分布图

Fig. 6 Geographic distribution of rough waves near Mariana Trench

在其他月份,好于四级海况出现频率都低于 30%,在该海域进行海上实验活动,应更多地关

注天气变化,避免在恶劣海况下影响安全。

表 2 马里亚纳海沟作业海域海况概率比较

Tab. 2 The probability of Sea State in target area of Mariana Trench sea

海况 Sea State	1 月 Jan.	2 月 Feb.	3 月 Mar.	4 月 Apr.	5 月 May	6 月 Jun.	7 月 Jul.	8 月 Aug.	9 月 Sep.	10 月 Oct.	11 月 Nov.	12 月 Dec.
四级海况/% Sea State Four	0~5	0~5	0~10	0~10	30~40	40~50	50~55	50~60	50~60	30~40	0~10	0~5
五级海况/% Sea State Five	50~70	50~60	70~75	92~94	98.5~99	99.5~100	92~94	92~96	94~96	90~95	85~90	65~70

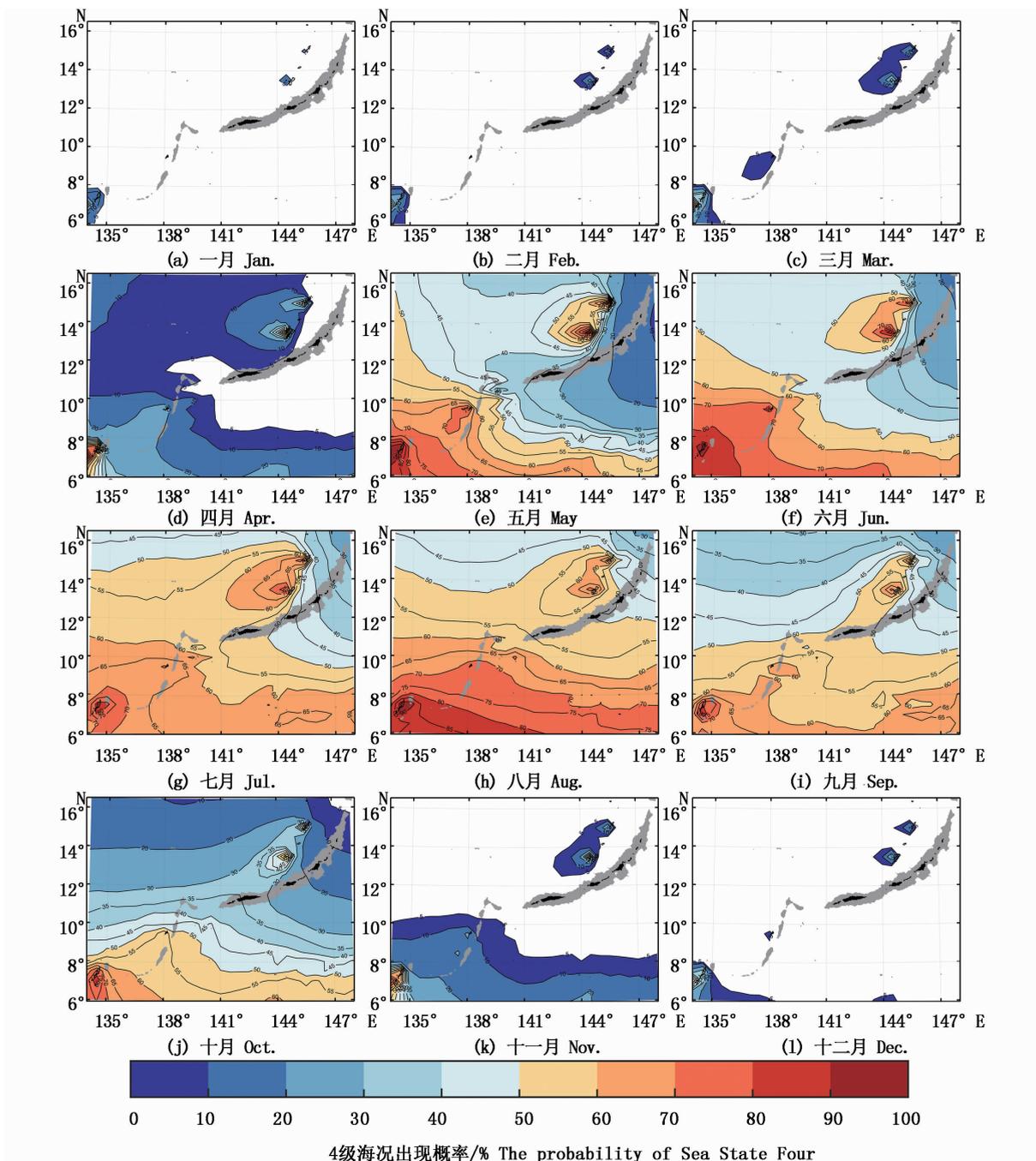


图 7 马里亚纳海沟海域 4 级海况出现概率 (%) 地理分布图

Fig. 7 Geographic distribution of probability of occurrence of Sea State 4 near the Mariana Trench

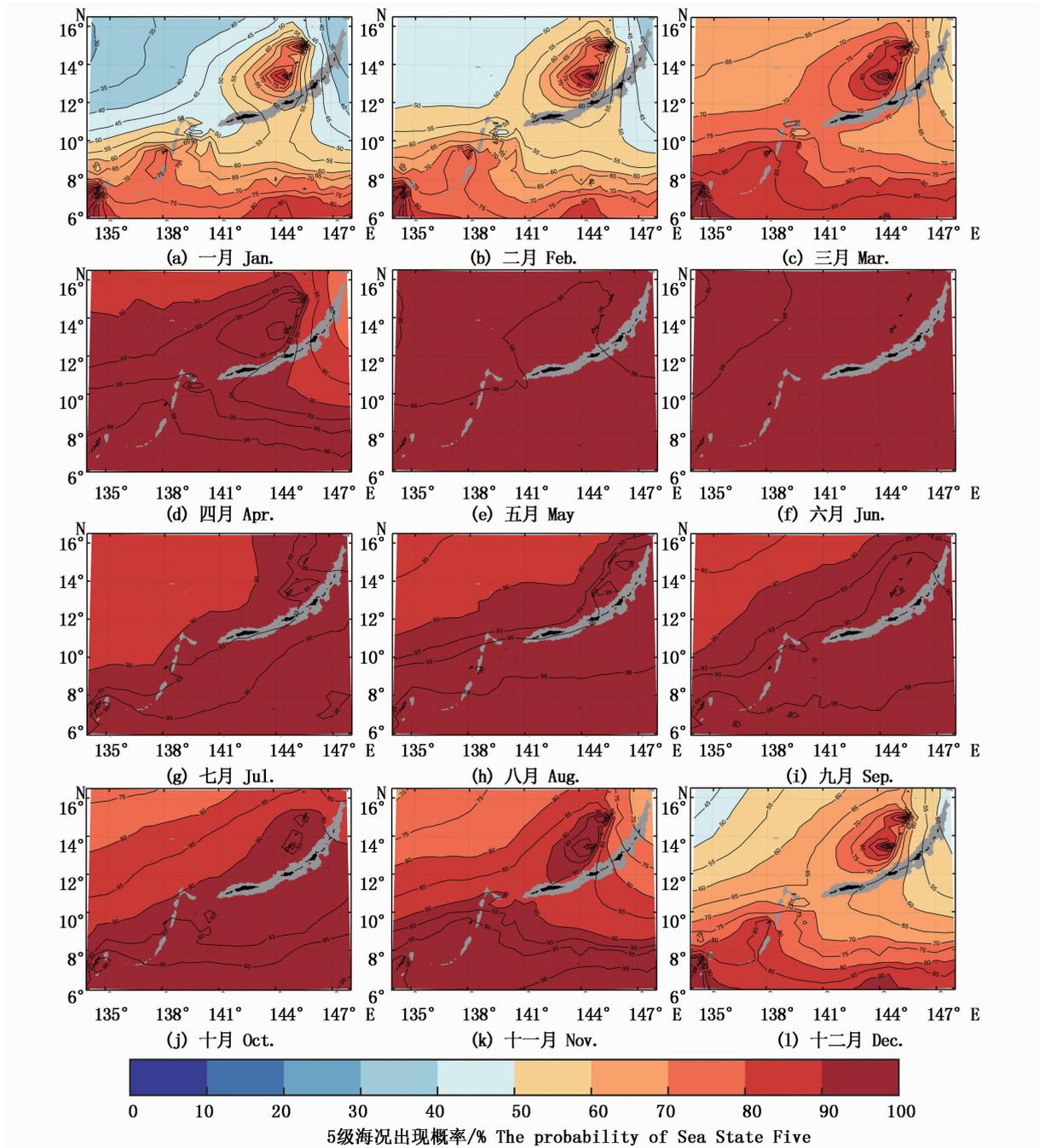


图 8 马里亚纳海沟海域 5 级海况出现概率 (%) 地理分布图

Fig. 8 Geographic distribution of probability of occurrence of Sea State 5 near the Mariana Trench

3 结论

(1) 在马里亚纳海沟海域, 多年逐月平均波高为 1.30(6 月) ~ 2.53 m(1 月), 周期为 8.0(6 月) ~ 9.6 s(12 月)。海浪季节差异显著, 其中冬季平均波高最大, 夏季平均波高最小, 春秋两季为过渡期。

(2) 发生 4 m 以上巨浪频率范围为 0.2% ~

3.5%, 冬季巨浪频率较高, 春夏秋三季巨浪频率较低。在空间分布上看, 从 12 月到次年 11 月巨浪频率高值区主要在 12°N-15°N, 134.5°E-136°E, 其中巨浪频率是由西北向东南递减。

(3) 按照四级海况的频率在 5 到 10 月为 30% ~ 60%, 其余时间都低于 30%。五级海况出现频率在全年中都大于 50%, 其中, 4 月到 10 月, 出现概率均大于 90%。

(4) 深渊潜器, 在马里亚纳海沟海域更适合的作业时间为 5 月到 10 月, 在其他时间进行作业时, 需要注意关注天气, 以避免恶劣的海况条件。

本研究分析的海浪数据分别是美国国家海洋大气管理局 (NOAA) 与美国环境预报中心 (NCEP) 提供的 WAVEWATCH III 数据和海洋表面地形测绘任务 (OSTM) 提供的 Jason-2 卫星数据。本研究得到上海市海洋科学高原学科本科生进实验室计划的支持。

参考文献:

- [1] COUNCIL N R. Sea Change: 2015-2025 Decadal Survey of Ocean Sciences [M]. Washington, DC: The National Academies Press, 2015: 98.
- [2] 国家自然科学基金委员会. 未来 10 年中国学科发展战略: 海洋科学[M]. 北京: 科学出版社, 2012.
The national natural science fund committee. Decadal China's Discipline Development Strategy: Ocean Sciences [M]. Beijing: Science Press, 2012.
- [3] 崔维成. 我国载人深渊器的发展策略及当前进展[J]. 江苏科技大学学报 (自然科学版), 2015, 29(1): 1-9.
CUI W C. On the Development Strategy of a Full Ocean Depth Manned Submersible and its Current Progress [J]. Journal of Jiangsu University of Science and Technology (Natural Science Edition), 2015, 29(1): 1-9.
- [4] 刘峰, 崔维成, 李向阳. 中国首台深海载人潜水器——蛟龙号[J]. 中国科学: 地球科学, 2010, 40(12): 1617-1620.
LIU F, CUI W C, LI X Y. China's First Deep Manned Submersible, JIAOLONG [J]. Sci China: Earth Sci, 2010, 40(12): 1617-1620.
- [5] NAKANISHI M, HASHIMOTO J. A Precise Bathymetric Map of the World's Deepest Seafloor, Challenger Deep in the Mariana Trench [J]. Marine Geophysical Research, 2011, 32(4): 455-463.
- [6] WRIGHT D J, BLOOMER S H, MACLEOD C J, et al. Bathymetry of the Tonga Trench and Forearc: a map series [J]. Marine Geophysical Research, 2000, 21(5): 489-512.
- [7] THOMAS P M. Kurile islands [C] // GILLESPIE, R G, CLAGUE D A. Encyclopedia of islands. Univ of California Press, 2009: 520-525
- [8] KIILLERICH A. Bathymetric Features of the Philippine Trench [M] // WOLFF T. Galathea report: scientific results of the Danish Deep-Sea Expedition Round the World 1950-52. Danish Science Press, 1959: 155-171.
- [9] BELIAEV G, BRUEGGEMAN P L. Deep Sea Ocean Trenches and their Fauna [M]. Moscow: Nauka Publishing House, 1989.
- [10] 崔维成. “蛟龙”号载人潜水器关键技术研究与创新 [J]. 船舶与海洋工程, 2012(1): 1-8.
CUI W C. The Key Technologies Research and Self Innovation of “JIAOLONG” Manned Submersible [J]. Naval Architecture and Ocean Engineering, 2012(1): 1-8.
- [11] 刘大刚, 吴彬贵, 解以扬, 等. 海事气象保障服务现状及发展趋势 [J]. 中国航海, 2014, 37(1): 131-135.
LIU D, WU B G, XIE Y Y, et al. Present State and Development Trend of Maritime Meteorological Support Service [J]. Navigation of China, 2014, 37(1): 131-135.
- [12] CHEN H. Ensemble Prediction of Ocean Waves at NCEP [C] // Proc. 28th Ocean Engineering Conference, 2006.
- [13] LAMBIN J, MORROW R, FU L-L, et al. The OSTM/Jason-2 mission [J]. Marine Geodesy, 2010, 33(s1): 4-25.
- [14] DUMONT J, ROSMORDUC V, PICOT N, et al. OSTM/Jason-2 products handbook [DB/OL]. 2011 http://www.ospo.noaa.gov/Products/documents/J2_handbook_v1-8_no_rev.pdf.
- [15] TAYLOR K E. Summarizing Multiple Aspects of Model Performance in a Single Diagram [J]. Journal of Geophysical Research: Atmospheres, 2001, 106: 7183-7192.
- [16] 孙湘平. 中国近海区域海洋 [M]. 北京: 海洋出版社, 2008: 169-190.
SUN X P. China Offing Sea [M]. Beijing: China Ocean Press, 2008: 169-190.
- [17] 王喜年, 包澄澜. 海洋灾害及其预报 [J]. 海洋通报, 1992(5): 90-94.
WANG X N, BAO C L. Marine Disasters and Forecast [J]. Marine Science Bulletin, 1992(5): 90-94.
- [18] 崔维成, 刘峰, 胡震, 等. 蛟龙号载人潜水器的 5000 米级海上试验 [J]. 中国造船, 2011, 52(3): 1-14.
CUI W C, LIU F, HU Z, et al. 5000m Sea Trials Test of the Deep Manned Submersible “JIAOLONG” [J]. Shipbuilding of China, 2011, 52(3): 1-14.

Analysis of wave condition for submersible operation in Mariana Trench

YAO Chenyang¹, LIN Lijin¹, GAO Guoping¹, KONG Xianghong²

(1. College of Marine Sciences, Shanghai Ocean University, Shanghai 201306, China; 2. College of Information Technology, Shanghai Ocean University, Shanghai 201306, China)

Abstract: Deep Sea is the key area of marine science research and technology. The explore to the Challenge Deep, Mariana Trench, the deepest oceans is the landmark and biggest challenge. In order to ensure the safety in deployment of the underwater vessels in the area, the significant wave features are studied with the WAVEWATCH III Hindcast Data from NOAA (National Oceanic and Atmospheric Administration) and the remotely-sensed waves product from Jason II satellite provided by CNES (French government space agency) and other organizations from February 2005 to July 2015 is analyzed. The results show that the regional average SWH is 1.30 (Jun)-2.53 m (Jan) over the Mariana Trench. The regional average peak period (T_p) is 8.0 (Jun)-9.6 s (Dec), The maximum monthly significant wave height are 3.03 m, 2.79 m, 2.58 m, 2.19 m, 1.74 m, 1.56 m, 1.68 m, 1.78 m, 1.85 m, 2.22 m, 2.37 m, 2.81 m, and the maximum appears in January (3.03 m), minimum in June (1.57 m). The seasonal variation has a great discrepancy. The maximum average SWH appears in winter, minimum average SWH is in summer. Spring and autumn are transitional period. For the appearance of the Rough waves with 4 m SWH, the frequency is 0.2% to 3.5%, which is more in winter and less in the other seasons. Following the required sea states condition for safety launch and recovery of "JIAOLONG" and others hadal submersible, May to Oct would be the practical operation period and in the rest months, a good sea condition would be much less.

Key words: Mariana Trench; significant wave height; hadal submersible; deployment security