

渤海水文因子对石油平台影响的研究*

李磊 王以谋 吴永成 李世山

(中国科学院海洋研究所)

开发海洋石油需要使用固定式平台、浮动式平台或钻井船。不论在设计制造平台和钻井船时,还是在建成以后的海上作业期间,都必须详细地了解海洋环境对平台与船舶的影响。因此,必须掌握海洋环境资料,其中特别是海洋水文气象资料,以便对这个问题进行深入的研究。1966年以后,我们在已建成的石油平台上、海洋调查船上或者利用锚碇浮标收集资料以研究海洋环境对石油平台的影响问题。主要工作海区在渤海湾,其次在渤海的中部和个别其它海区。测量的要素有风、海流、潮汐、波浪和海冰等。本文简要地综合介绍收集这些资料的方法及部分资料的分析结果。

一、环境要素的测量

在气象要素中,风对海工建筑物和钻井船水面以上部分影响最大。在确定平台和钻井船的朝向、布置平台与船舶的上层建筑时,必须考虑风向频率与强风方位。因为风力大小,特别是强风大小将影响平台水面以上部分的风荷载。为了研究风向频率分布和风力极值,需要长期、连续地进行风的测量。但是,海上长期的风资料极少,通常有两种替代或弥补的办法:一是采用近岸气象台站的资料;二是利用多年的历史天气图。我们除应用这两种办法外,还在两个石油平台上进行了较长时期的实际测量。为此,我们在开阔的生活用房的顶部安装了风速风向仪。这种地方可以避免石油钻机振动和其它建筑物对测风的影响。由于石油井架高度大,要完全避免其影响是不可能的。因此,风速风向仪的位置应选在强风时石油井架的上风处。由于条件限制,测风点离海面的高度约为16m,在使用此点的风资料时,应根据需要再换算到所要求的高度。在没有安装风速风向自记仪的平台和船上,我们便在平台的高处或船的最上层甲板上用手持风速仪进行观测。观测时间为每日02, 08, 14和20时。每遇特殊天气,特别是当风向或风速突变时,增加观测次数,以便准确掌握风情。

为了确定海流对平台冲击力的大小、作业船在平台哪一个侧面停靠时才能使平台承受的水流作用力最小等等,需要取得海流大小和方向的观测资料,据以计算平台的强度,正确选定平台的安置方位。活动平台移位时,需用这些资料校正船位或船向。我们在锚碇浮标下系印刷海流计以观测海流(如图1所示)。测流处水深5m,海流计悬挂在浮标下2m处。每次测量的时间为15天以上,每隔15分钟(或30分钟)记录一组海流数据。

* 中国科学院海洋研究所调查研究报告第884号。
石油部海洋石油勘探局合作进行了现场试验,特此致谢。
收稿日期:1982年9月1日。

锚碇浮标测流点离平台较近,观测期间可随时对浮标进行监视和检查。在渤海湾我们进行过两次这样的测流工作,分别获得了连续的海流资料。

在没有测量外海水位设备的情况下,水位测量比较困难。这时,我们使用水压式轻便

验潮仪。该仪器的最大感应水深仅有 8m,不能把仪器的感应器置于海底,而只能固定在平台桩柱的水下某一个深度上。记录器置于振动小的房间内,传导压力用的橡皮管应逐段固定,以减少振动。用这种方式得到的资料精度一般可达 ± 10 cm。在波浪较大的情况下,由于水位振荡,记录曲线变粗,测量精度下降,水位读数应取在曲线的中央。为了提高测量精度,将验潮仪的感应器置于直径为 30cm 的钢管内。这根钢管固定在平台框架上,其上端露出水面,下端开口并接近海底。所得记录曲线比较光滑,效果甚佳(图 2)。在远离

海岸看不见岸标的地方,很难确定测点相对于黄海平均海面的位置(或最大低潮面的位置)。这时,我们只能根据水位记录计算出潮汐调和常数并进而求得最高水位。这些数据

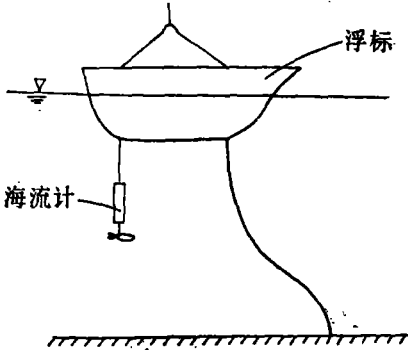


图 1 海流测量示意图

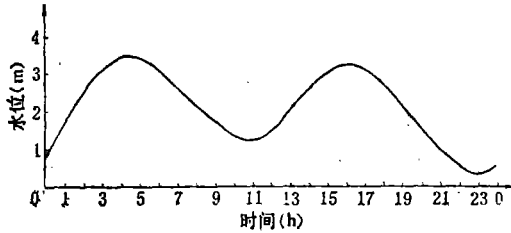


图 2 水压验潮仪记录

对于设计施工有较大的实用意义。

波浪测量是环境要素测量中最重要的一个项目。这一项工作持续时间最长,并且曾使用了多种仪器,如光学测波仪,几种不同类型的测波杆,两种海底压力波自记录仪,自行改制的回声测波仪等等。这些仪器的原理各不相同,它们的性能、安装方式、使用条件也各

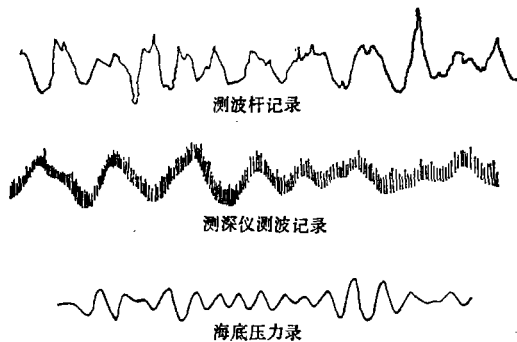


图 3 实测记录曲线

有特点。为了便于彼此间的相互比较,有时使用几种仪器同时进行观测。图 3 给出了测波杆、海底压力波自记仪和回声测波仪分别测得的连续记录曲线。根据历史天气资料可知,渤海湾的强风多来自东北方向。为了得到不受平台干扰的波浪记录,将回声测波仪的换能器和海底压力波自记仪的感应器安装在平台东北方距平台约 100m 处。前者观测水面的波浪,后者观测水面波浪在海底引起的压力波动。所得资料已应用于渤海湾海况的研究。对于两者之间的关系,目前我们仍在进一步分析研究中。我们将测波杆装在平台桩柱上,测量波浪在桩柱上的爬升高度及波形变化。考虑到东北向是强风向,故将测波杆安装于平台东北面桩柱的东北侧。使测波杆正对强风,直接感受风浪的作用,测量到的结果

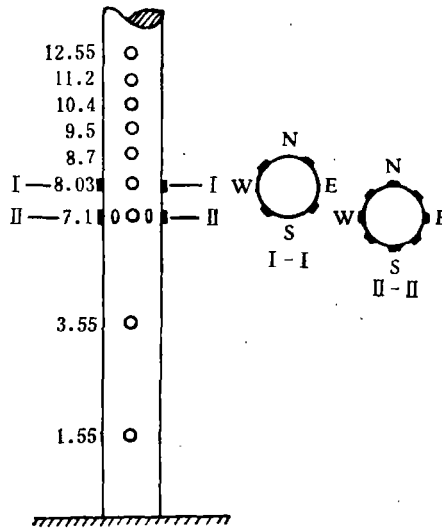


图 4 波压感应器安装位置^[1]

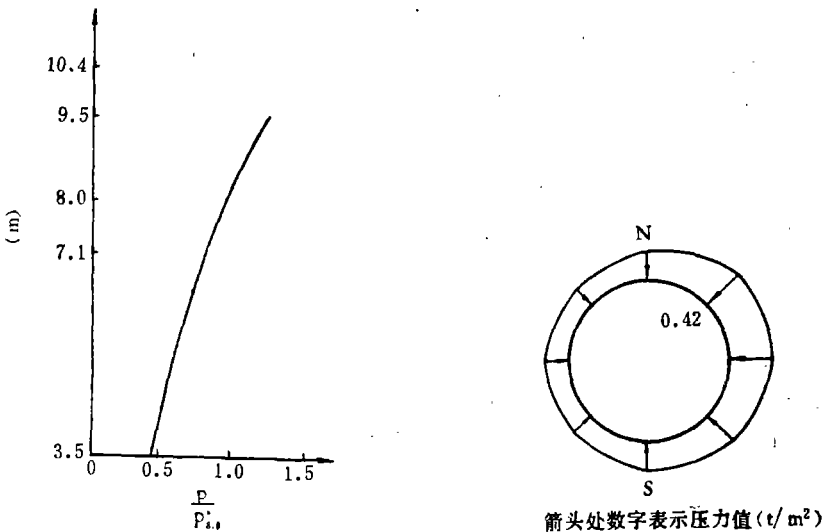


图 5 波压力随深度的变化及其在圆周上的分布^[1]

可免受(或少受)其它桩柱的影响。多次测量的统计结果表明,在直径为 1.1m 的圆柱形桩柱上,水面波动高度为原作用波高的 1.3 倍左右。

为了确定波浪对桩柱的作用力,我们先测量波浪作用在桩柱上各点的压强,然后计算桩柱所承受的力。这时,仍选择平台东北方向的桩柱进行测试。在这根桩柱的东北方向上,从波浪可能到达的最大高度直到海底,沿一条直线布设了 9 个波压感应器(图 4)。在低潮面附近沿桩柱圆周等间隔地布设了 8 个感应器,另在此圆周以上 0.9m 处,再布设一环 4 个感应器。这样便可测得波压随深度的变化和在某一高度上波压沿桩柱表面的变化。所得桩柱压强垂直分布和桩周分布情况如图 5 所示。

渤海(特别是辽东湾)冬季常有冰冻。它对海工建筑及在该海区中航行的船舶等有重要的影响,是一个需作特别考虑的环境因素。必须重视海冰对石油平台等海上固定建筑物影响问题的研究。在 1970—1974 年间,我们开展了下列各项海冰测试工作:海冰对平台桩柱的作用力、海冰的漂流、海冰的温度、密度、盐度以及海冰的破断强度等。

二、环境资料的分析与研究

在渤海测量到的全部环境资料,已经作了整理和分析。本文参照即将刊出的文献^{[1,2],2)}简述分析方法的要点和计算结果中较有实用意义的部分。

1. 最大风速和最大波高的计算

由于开发渤海石油的需要,管秉贤等¹⁾选定了 4 个计算点 A, B, C 和 D ,各自代表其附近海域。 A, B, C 三个点的位置在渤海湾, D 点在渤海海峡西侧。对这四个海区以 20 年一遇的最大波高作为确定平台标高的依据之一。为此先确定产生最大波高的风向和最大风速值。根据龙口妃姆岛、北隍城和塘沽等海洋台站出现的大风浪日期,查阅了地面天气图,从中选出几次大风过程。另外,再参照气象资料,查阅地面天气图,补选了一些大风过程。经过对 21 年(1951—1971)的地面天气图的分析比较,可知 1964 年 4 月 5—6 日的东北风为最强,这次强劲东北风造成的波高最大。依照地面等压线的分布,计算得 D 点的最大风速为 32m/s,渤海湾内各点的最大风速为 24m/s。为了验证这两个风速值是否具有“20 年一遇”的统计意义,取龙口妃姆岛(与 D 点接近)和塘沽灯船(与另外三个计算点接近)两处的多年风速资料作频率分析。结果表明,按 Pierson-III 型曲线、Gumbel 和 Weibull 分布曲线分别计算的“20 年一遇”的最大风速,塘沽灯船为 22.7, 23.1, 23.0m/s; 龙口妃姆岛为 30.5, 30.8, 31.0m/s。这些数值仅略小于上述最大风速的计算值(24 和 32m/s)。因此,前述的计算值确有“20 年一遇”的统计意义。

为了计算 4 个测点“20 年一遇”的累积率 1% 的风浪波高,选用几种有代表性的方法计算出结果,然后将它们加以比较。其中考虑深度影响的两种方法是:(1)国家科委海洋组海浪预报方法研究组(1966)提出的预报方法,(2) Г. В. Ржеплинский 等(1968)的方法。此外,还采用了 H. U. Sverdrup, W. H. Munk (1947) 的方法。用这些方法分别计算了 1968 年 11 月 7—8 日和 1971 年 11 月 27—28 日渤海湾及渤海海峡西侧海区的海浪,然后把上述时间的实测记录与计算值进行比较。结果表明,在水深 10—35m 的海域

1) 管秉贤、杨鸿运。渤海南部若干测点风浪最大波高的计算结果。(待刊)

2) 李世山、袁业立、翁学传、高振芳、张庆华、王清志。渤海海冰物理特征值的测试和计算。(待刊)

内,当风速为 6—10 级时,上述第一种方法的计算值最接近观测值。

根据以上确定的最大风速、水深和风区,按第一种方法的查算图得到了 4 个海区的最大风浪波高和相应的周期(详见表 1)。应当说明的是,由于渤海是半封闭的海域,外海涌

表 1 各点最大风浪计算值*

计算点	风速 V (m/s)	风区 F (km)	水深 \bar{d} (m)	$\bar{\tau}$ (s)	$H_{1/10}$ (m)	\bar{H} (m)	$H_{1\%}$ (m)	$H_{0.1\%}$ (m)
A	24	$F_{ENE} = 300$	25	9.3	6.8	3.3	7.5	9.0
B	24	$F_{ENE} = 300$	25	9.3	6.8	3.3	7.5	9.0
C	24	$F_{ENE} = 350$	25	9.4	6.9	3.4	7.6	9.1
D	32	$F_{NE} = 190$	30	10.7	9.0	4.4	9.7	11.6

* 见第 414 页 1)

浪不易传入。因此在计算渤海最大波浪时,可以不考虑外海涌浪的影响。

2. 波力分析

在通常情况下,海洋环境对平台的作用力主要是由波浪造成的。依实测波力、波浪要素值,找出其间的关系,然后依据计算得到的最大波高推算最大波力,这是工程设计中一项重要工作。波力分析我们采用了以下两种方法。

(1) 单个波分析法: 1971 年 11 月 27 日至 28 日,渤海湾出现了 8 级东北风。在这次大风期间,进行了 6 次波压力测量。我们对 27 日 11:05—11:35 的连续记录作了分析。在测量波压力时记录到的最大波高为 3.2m。根据两个圆周上 12 个感应器测得的压力,求得单位高度桩柱所受的波力。另外,从垂直布置的感应器得到了压力随深度的变化,从而求得上下相邻两点的压力之比。由于这个比值与上下两圆周合力之比相等,因此可求得由水面至海底整根桩柱所受的波力。为了求得一个周期内波力的变化,可在该周期内等时间间隔地取 8 个时刻分别计算波力,以达到这个目的。对于上述的实测记录,最大正波力为 4.5t。为了使用 Morison 公式求多年一遇的波力,由实测的波高和波力,我们求得系数 $C_D = 1.8$, $C_M = 2.0$ 。根据这两个系数, C 点以北海区 20 年一遇 (1% 累积率波高 $H_{1\%}$ 为 4.1m, 周期为 7.0s) 的总波力为 5.4t。A 点处 20 年一遇 ($H_{1\%}$ 为 7.6m, 周期为 9.4s) 的总波力为 28.4t。

(2) 谱分析法: 由于海浪及波力都是随机现象,用此法进行分析是一个有效的途径。此法不要求波浪与波力具有严格的一一对应的关系,而只需其测量时间相近即可。这里仍应用 1971 年 11 月 27 日 11:05—11:35 的海浪实测资料和离海底 8m 高度处桩柱圆周上实测波压力值记录。先计算出单位桩长上的合力,再计算出此合力的谱和海浪谱。从图 6 可以看出,这两个谱的外形十分相似。依实测波压记录,计算出单位桩长上所承受的平均波力为 0.32t。为了确定海浪谱和波力谱之间的关系,把其主峰附近的值代入文献 [2] 的有关公式,用最小二乘法求得阻力系数 $C_D = 2.8$ 和惯性系数 $C_M = 2.3$ 。

把求得的 C_D , C_M 值代入计算波力的谱公式,计算得水深 8m 处单位桩长上的平均波力为 0.33t, 全桩平均总波力为 3.31t (实测为 3.1t)。所得结果与实测值相吻合。

值得注意的是,用谱方法分析波力得到的 C_D , C_M 值比用单个波分析法得到的大,

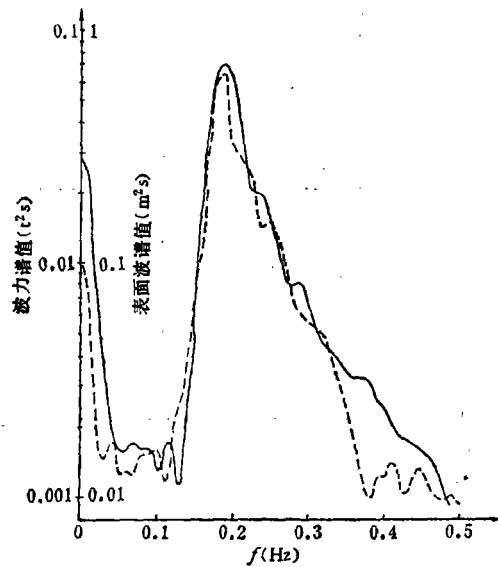


图 6 表面波谱及波力谱^[2]
——表面波谱 ----波力谱

这是因为在单个波分析法中,使用了 Stokes 三阶波理论计算水质点的速度和加速度,其量值比谱分析中所用的大,因此出现了上述差异。

3. 海冰的性质及其对桩柱的作用力

1970—1972 年的三个冬季,渤海的冰情很轻。1973 年冬季,渤海冰情较前三个冬季略重。由于受客观情况的影响,未能取得较多的现场观测资料。在对所得资料进行分析以后,我们对海冰性质及海冰对桩柱作用力取得了如下一些认识。

(1) 根据观测期间所见,桩柱所承受的浮冰的作用力,主要是由于海冰在挤压破断时产生的。有代表性的 5 次观测结果列于表 2。表中 $p_{1/3}$ 称为“有效压强”(意即三分之一

表 2 $p_{1/3}$, H , σ_y , u 数值表*

项 目	$p_{1/3}$	H	σ_y	u
日 期	kg/cm ²	cm	kg/cm ²	m/s
1974.2.9	6.55	11.0	3.74	0.43
1974.2.10	18.90	15.0	5.58	0.43
1974.2.10	16.70	17.0	5.84	0.43
1974.2.11	8.80	19.0	7.19	0.49
1974.2.13	6.20	20.0	5.42	0.48

* 见第 414 页 2)

大压强的平均值)。

浮冰对桩柱的作用力与冰的厚度 $H(m)$ 、抗压破断强度 $\sigma_y(t/m^2)$ 、漂流速度 $V(m/s)$ 、圆柱直径 $D(m)$ 、冰与桩柱间的摩擦、撞击以及挤压过程等多项因素有关。对于冰作用力,我们推荐下述形式的计算公式:

$$F_{1/3} = aD \cdot H \cdot \sigma_y \cdot V^{-\frac{1}{2}}(t)$$

$F_{1/3}$ 称为“有效作用力”(意即三分之一大作用力的平均值)。 α 是一个与圆柱直径、摩擦、挤压等因素有关的综合性系数,其取值范围为 0.78—1.25。

(2) 观测及计算表明,渤海湾浮冰的漂流过程主要是受潮流的影响,其漂流状态具有明显的潮流特性。根据观测得到的 52 组冰漂流数据计算得到渤海湾风、潮流对冰漂流的作用因子和偏角(其数值列于表 3)。偏角前的负号表示冰漂流方向偏于风或潮流的右

表 3 冰漂流因子表*

海 区 \ 因 子	k	δ	h	Δ
A 点附近	0.018	-11°45'	0.49	2°54'
C 点附近	0.007	4°19'	0.676	4°33'

* 见第 414 页 2)

表 4 海冰强度试验结果*

项 目	量 值	力向与冰晶轴关系
冰块抗压破坏强度 σ_y kg/cm ²	0.90—47.34	垂 直
	0.45—40.04	平 行
平均抗压破坏强度 $\bar{\sigma}_y$ kg/cm ²	16.44	垂 直
	18.45	平 行
冰梁抗弯破坏强度 σ_L kg/cm ²	3.75—7.71	平 行
	5.98	平 行
冰块相对压缩形变 ε_y ($\varepsilon_y = \Delta L/H$)	0.0065—0.0240	垂 直
	0.0025—0.0188	平 行
平均相对压缩形变 $\bar{\varepsilon}_y$ ($\bar{\varepsilon}_y = \frac{1}{n} \sum_1^n \varepsilon_y$)	0.0129	垂 直
	0.0113	平 行
冰梁相对弯曲形变 ε_L ($\varepsilon_L = \sigma_L/E$)	0.0126—0.0436	平 行
	0.0261	平 行
冰块最大抗压破坏强度 σ_{yMax} kg/cm ²	60.79	垂 直
	109.30	平 行
冰梁最大抗弯破坏强度 σ_{LMax} kg/cm ²	12.07	平 行

* 见第 414 页 2)

侧,正号表示偏于左侧。

依渤海水文气象的平均状况,计算得到:渤海湾浮冰在潮流作用下的平均漂流流速为 0.34—0.74m/s,在风作用下的平均漂流流速为 0.13—0.14m/s。

(3) 渤海浮冰物理特征值的实测结果如下:

冰温度: -1.2°C — -4.0°C ;

冰密度: 0.857 — $0.925\text{g}/\text{cm}^3$;

冰盐度: 2.61‰ — 10.55‰ 。

海冰强度试验,包括冰块抗压破断强度 $\sigma_y(\text{kg}/\text{cm}^2)$ 、相对压缩形变 ε_y 、冰抗弯强度 $\sigma_L(\text{kg}/\text{cm}^2)$ 以及相对弯曲形变 ε_L 。对试验数据的整理结果列于表 4。

另外,当浮冰温度在 -1°C — -4°C ,浮冰厚度为 20—30cm 时,我们得到一个计算冰抗压破断强度(力向垂直于冰晶轴)的半经验公式:

$$\sigma_y = 1 / \left(\frac{0.2686}{1 - \sqrt{\nu/\pi}} - 0.3204 \right) \text{kg}/\text{cm}^2$$

式中 ν 为冰中卤穴的体积与冰块体积之比,此值可依观测数据计算或直接用实验的方法得到。

参 考 文 献

- [1] 王以谋、赵保仁、吴永成、刘恩弟,1983。桩柱上海浪作用力的分析(一)——波力的测量及单个波分析。《中国海洋水文气象学会第一届学术讨论会论文集》(印刷中)。
- [2] 钟礼英、李磊、范顺庭、王兴德,1983。桩柱上海浪作用力的分析(二)——波力的谱分析。《中国海洋水文气象学会第一届学术讨论会论文集》(印刷中)。

A STUDY OF THE EFFECTS OF HYDROGRAPHIC FACTORS ON THE OIL PLATFORM IN THE BOHAI SEA*

Li Lei Wang Yimou Wu Yongcheng and Li Shishan

(Institute of Oceanology, Academia Sinica)

ABSTRACT

Measurements of hydrographic elements, such as current, tide, wave force and ice conditions in some regions near the oil platforms have been made for some years since 1966. In this paper, the methods and installations of equipments used for these measurements are briefly introduced and some results obtained from the analysis of the data are presented.

*Contribution No. 884 from the Institute of Oceanology, Academia Sinica.