

埕岛油田及附近地区的水位*

丁文兰 方国洪 曾卓英

(中国科学院海洋研究所) (胜利油田浅海公司)

在渤海内, M_2 分潮有两个无潮点, 一个在秦皇岛东面, 另一个位于渤海湾至莱州湾之间。此外, 渤海海峡附近还有一个 K_1 分潮的无潮点。埕岛油田位于 M_2 分潮无潮点和 K_1 分潮波的腹部附近。整个石油开发区半日潮差均较小, 其中以东南部最小, 西北部有明显增加。全日潮差由东北向西南增加, 变化幅度较小。在一般天气条件下, 海面高度主要决定于潮汐, 潮差不大, 但在台风影响下, 可能引起异常的增水, 寒潮可以引起大的减水或增水。国内不少单位在黄河口做过潮汐观测, 但资料甚少。埕岛油田位于黄河口的西北部, 海上水位资料十分缺乏。我们利用 12 井位和 20 井位进行了 4 个月的水位观测, 使用 Aanderaa 水位计, 取样间隔为 15min。岸边站(3 站)是在岸边打桩, 使用滚筒式水位计, 获得了一年的水位观测资料, 这些资料十分宝贵。本文详细地分析了该区域的水位特征, 并给出工程设计需要的各个参数。

一、潮汐调和分析方法

我们在本海区设立了两个较长期的水位观测站。海上观测站原设在 12 井, 后移至 20 井; 岸边站原设在 1, 2 站, 后移至 3 站。此外, 在这两个测站周围进行了每站两天的观测, 站号分别为 A, B, C, D (表 1, 图 1)。

表 1 潮汐测站的位置及观测时间长度

站 名	北 纬	东 经	观测起止日期(年·月·日)
20井	38°12'49.8"	118°50'38.7"	1989.5.4—1989.7.8
12井	38°11'54.1"	118°49'09.3"	1989.4.2—1989.5.4
1 站	38°09'34"	118°48'30"	1989.3.29—1989.4.12
2 站	38°10'01"	118°48'36"	1989.4.12—1989.5.21
3 站	38°08'36"	118°47'29"	1989.5.21—1989.12.28 1990.3.3—1990.6.14
A 站	38°13'52"	118°46'00"	1989.7.5—1989.7.7
B 站	38°11'19"	118°56'35"	1989.6.26—1989.6.28
C 站	38°09'59"	118°44'41"	1989.7.2—1989.7.4
D 站	38°06'41"	118°59'00"	1989.6.29—1989.7.1

* 中国科学院海洋研究所调查研究报告第 2078 号。
收稿日期: 1991 年 12 月 9 日。

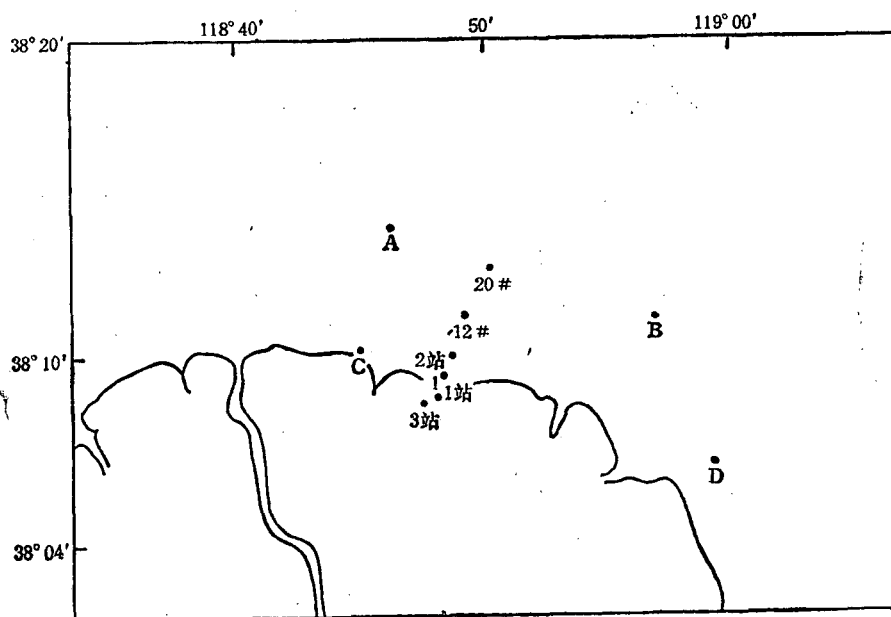


图 1 站位图

1. 方法 I

除 3 站外,其它各站都采用下述方法。由于各测站资料不够长,故无法得到各点水位的季节变化,为使各点有一个共同的潮位起算面,假定各点水位的季节变化与附近沿岸验潮站——塘沽、龙口基本一样,并且等于塘沽、龙口用多年平均的 S_a 和 S_{sa} 分潮调和常数进行推算的水位值。我们对各站资料分别进行处理,先计算各站水位的平均值,将各个时刻值减去平均值,再加上每两时刻值中间时刻的水位季节订正值(这个季节订正值是由塘沽、龙口平均的 S_a 和 S_{sa} 分潮推算的),校正后的资料与相对于平均水位的海面高度相当。

为了检查资料的可靠程度,我们把观测到的水位过程画成曲线,总的来看资料质量比较好,曲线平滑正规。图 2 示出了 20 井 1989 年 6 月 1 日至 6 月 30 日的实测水位过程,在良好的天气条件下,每日有两次高潮和两次低潮,或一次高潮和一次低潮。潮汐涨落非常有规律。

由于各站资料长度不同,我们首先对各站资料分别进行调和分析。在对 20 井、12 井、2 站的分析中,分别采用了王骥和方国洪(1981)所提出的、不完整逐时潮汐观测记录的分析方法中的第 II 类和第 III 类,1 站和 A, B, C, D 站则采用了第 V 类。

在观测中采用的时间间隔为 15min, 为了尽可能消除观测中的偶然误差,我们首先对原始记录进行低通数字滤波,把频率高于 0.5(周/h)的部分滤掉,然后按每小时间隔取样。目前,国际上已有多种低通滤波器,但它们各有其优缺点,使用时不能令人满意。因此,我们采用了自己设计的新型低通滤波器,它最大的优点是: 经过低通滤波的样本资料之时间长度只比原始资料少 5.5h, 而且能保证滤波后样本所包含的各类振动的位相与原始样本所包含的各类振动的位相一致。

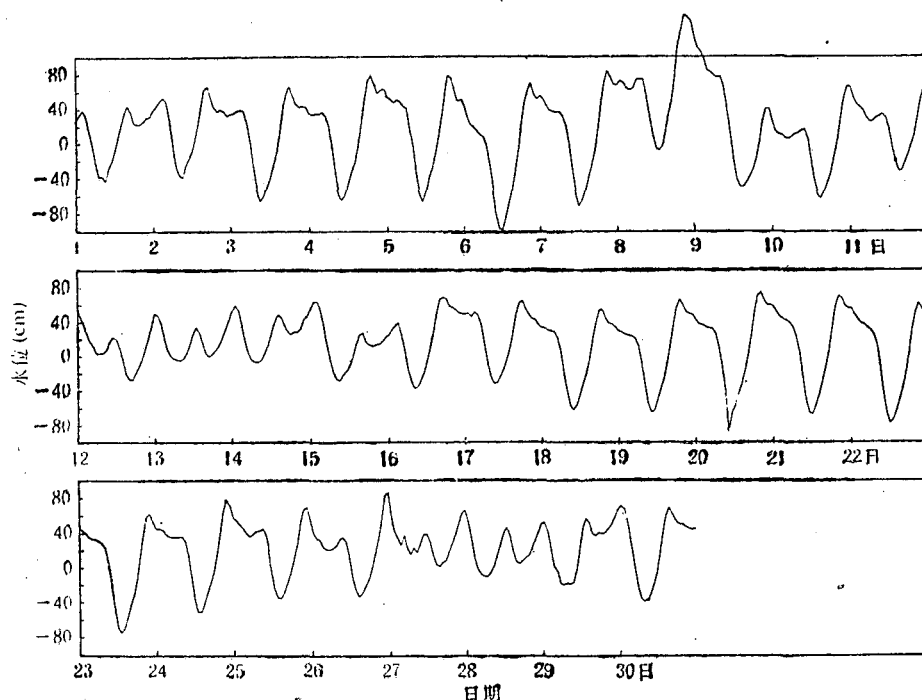


图2 20井1989年6月1—30日实测水位过程

通过上述低通滤波器滤波而得到了间隔为 $1h$ 的水位序列, 然后进行调和分析, 得出 66 个分潮的调和常数。

2. 方法 II

此法只适用于岸边站(3站), 由于该站设在浅水潮滩上, 低潮时常因水退不出而不能测得其前后的水位变化。我们采用多次分析自报方法将缺测部分予以补插, 并求出调和常数。

首先读下各整小时的潮位值。对低潮缺测部分可首先用人工外推曲线的方法予以估计, 这种估计可认为是实际值的第一次近似。然后, 采用方法 I, 对由实测和估计所组成的潮位资料进行调和分析, 求得第一次近似调和常数, 用这个近似调和常数作自报, 假设某一段缺测共有 M 个小时, 人工估计的水位值(即第一次近似值)为:

$h_1^{(1)}, h_2^{(1)}, \dots, h_M^{(1)}$, 它前面三个实测水位为 h_{-2}, h_{-1}, h_0 ; 后面三个实测值依次为 $h_{M+1}, h_{M+2}, h_{M+3}$, 与这些相对应的第一次自报值分别为:

$$\hat{h}_{-2}^{(1)}, \hat{h}_{-1}^{(1)}, \hat{h}_0^{(1)}, \hat{h}_1^{(1)}, \hat{h}_2^{(1)}, \dots, \hat{h}_M^{(1)}, \hat{h}_{M+1}^{(1)}, \hat{h}_{M+2}^{(1)}, \hat{h}_{M+3}^{(1)}$$

先计算出:

$$a = 1/3(h_{-2} + h_{-1} + h_0 - \hat{h}_{-2}^{(1)} - \hat{h}_{-1}^{(1)} - \hat{h}_0^{(1)})$$

$$b = 1/3(h_{M+1} + h_{M+2} + h_{M+3} - \hat{h}_{M+1}^{(1)} - \hat{h}_{M+2}^{(1)} - \hat{h}_{M+3}^{(1)})$$

然后以下列 $h_1^{(2)}, h_2^{(2)}, \dots, h_M^{(2)}$ 作为第 2 次近似值, 代替第一次近似值:

$$h_m^{(2)} = \hat{h}_m^{(1)} + [b(1 + m) + a(M + 2 - m)] / (M + 3)$$

$$(m = 1, 2, \dots, M)$$

即,第二次近似值是由第一次自报值作订正后得出的。

对全部第一次潮位近似值均换上第二次近似值,并在此过程中比较两个近似值之差,求出整个潮位序列中最大的一个差值 $\delta_{\max}^{(1)}$ 。

按照上述方法,对第 n 次 ($n = 2, 3, \dots$) 近似潮位值和实测值进行分析,可以得出第 n 次近似潮位值及它们与第 n 次近似值的最大差值 $\delta_{\max}^{(n)}$ 。这个过程可以一直重复下去,直到 N 次,以便得 $\delta_{\max}^{(N)} < \varepsilon$, ε 为预先给定的数,我们将其定为 1cm。以第 N 次分析得到的调和常数为最后的结果。

为了检验该方法的正确性,我们利用 20 井 1989 年 5 月 21 日 15 时至 1989 年 7 月 7 日 23 时的水位资料来进行验证。首先假定该站平均水位以下的逐时水位值为缺测,用人工内插补齐做为第一次近似,然后按上述介绍的方法 II 进行分析。在用以上方法得到的主要分潮的调和常数与 20 井同期用全部实测水位方法 I 进行分析的调和常数的比较中,可以看出,主要分潮振幅的最大差值为 0.6cm,迟角相差大都在 2° 之内,仅最小的分潮 S_2 迟角相差 7.9° 。这说明这种分析方法是相当可靠的,因此,岸边站(3 站)的分析结果也是可以信赖的。

在实际分析时,除因低潮时水退不出而不能测得低潮,以及因更换磁带或结冰等因素而中断观测外,12 个月的资料共分为 7 段,各段的观测时间如下:

1989 年 5 月 21 日 16 时—1989 年 6 月 30 日 23 时

1989 年 7 月 1 日 00 时—1989 年 7 月 31 日 23 时

1989 年 8 月 1 日 00 时—1989 年 8 月 31 日 23 时

1989 年 9 月 1 日 00 时—1989 年 9 月 30 日 23 时

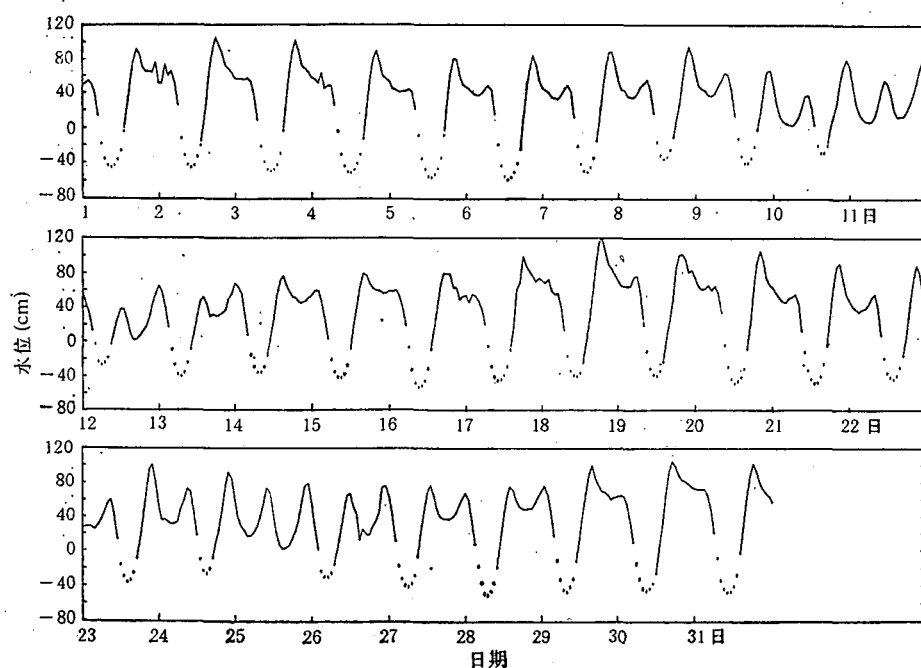


图 3 3 站 1989 年 7 月 1—31 日实测水位过程

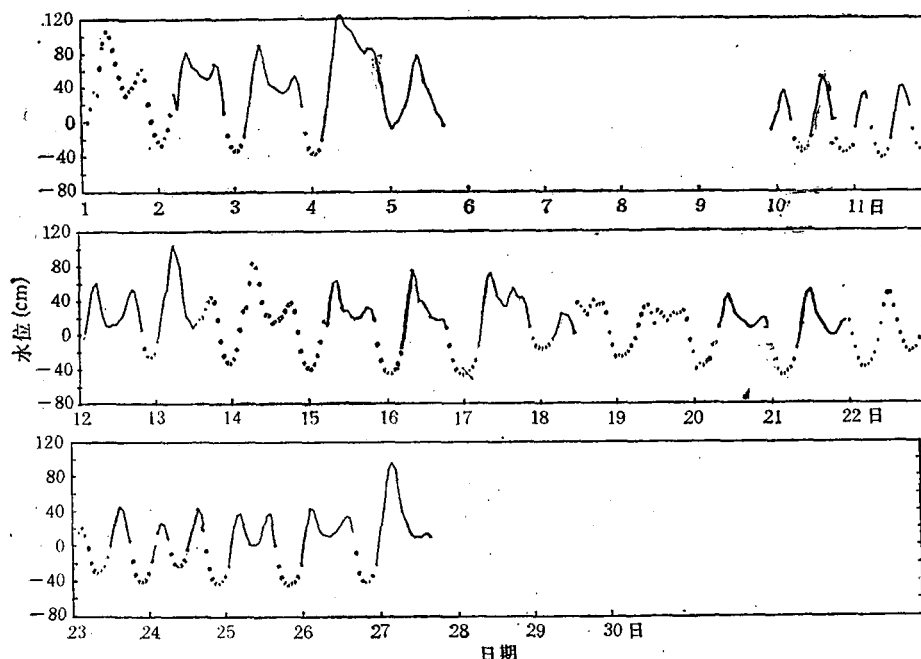


图4 3站1989年11月1—28日实测水位过程

1989年10月1日00时—1989年10月31日23时

1989年11月1日00时—1989年12月28日23时

1990年5月1日00时—1990年6月14日11时其中1990年1—2月因海面结冰无法观测,3月3日恢复观测,因冰期刚过,水位偏低,3—4月份资料短缺较多,没有进行分析。

我们将3站全部水位过程画成曲线,实测值用实线表示;低潮时水退不出而不能测得的水位,以及其他原因用人工内插出的水位用虚线表示。总的来看,岸边站(3站)资料质量较海中观测站差一些,但仍然能代表埕岛油田岸边的潮汐情况,特别是6—9月份,资料短缺较少,曲线分布很有规律。图3示出的1989年7月1—31日的实测水位过程代表了在良好天气条件下取得的典型实测曲线。10—12月份的资料差一些,图4示出的1989年11月1—28日实测水位过程中,一个月有三次(即4,13,27日)水位异常增高,最高增水达到1.25m,这是由于此时正遇东北大风的影响。

我们对各段资料分别用上述介绍的多次分析自报方法进行调和和分析,得到了66个分潮调和常数。

将3站各段分析出的调和常数与海中调和常数进行比较,我们认为6—9月份资料分析出的调和常数较好,10—12月份较差。

二、潮汐特征

埕岛油田各个测站的主要分潮振幅之比与半日分潮和全日分潮相位差列于表2,其中岸边水位观测站(3站)采用1989年7,8,9月的平均值。由表2可以看出,埕岛油田的

20井、12井、2站以及A、C站的 $(H_{O_1} + H_{K_1})/H_{M_2}$ 值均大于0.5而小于2.0,属于不正规半日潮性质。从图2亦可看出,一月之中有相当多的日期只有一次高潮和一次低潮,潮差不大, $H_{K_1} + H_{O_1} + H_{M_2} + H_{S_2} = 0.75$ (20井),而位于本区块之外的B、D站,由于更接近 M_2 分潮无潮点,其潮汐性质分别属于不正规的全日潮和正规全日潮性质。半日潮和全日潮相位差值可以说明多种多样的潮汐现象。当相位差为0时,出现高潮不等;相位差为 $90^\circ, 270^\circ$ 时,既出现高潮不等也出现低潮不等;相位差为 180° 时,则出现低潮不等。由表2可看出,埕岛油田大部分站位的半日潮和全日潮相位差都较接近 180° ,所以埕岛油田低潮不等等较高潮不等等更加明显;而D站相位差接近 90° ,因此既出现高潮不等等也出现低潮不等等。

表2 埕岛油田各站分潮振幅之比与全日潮和半日分潮的相位差

站 名	20井	12井	2 站	3 站	A	C	B	D
$(H_{O_1} + H_{K_1})/H_{M_2}$	1.98	1.86	1.83	1.59	1.43	1.45	2.50	18.46
$g_{O_1} + g_{K_1} - g_{M_2}$	154°	155°	151°	151°	163°	139°	206°	96°

为了对合成的潮汐变化特征有个数量上的了解,我们用观测分析所得的潮汐调和常数计算了主要非调和常数,计算方法参考《潮汐潮流的分析和预报》第七章(方国洪等,1986)。由于本区块潮汐属不正规半日潮,大的潮差发生在月赤纬较大期间,因此即使在分点潮期间,日不等亦十分显著,与工程关系密切的是一天之中高高潮和低低潮的高度。我们计算了在一般状况(总的平均)和回归潮状况下平均高高潮和平均低低潮的高度(相对于平均海面),结果见表3。

表3 潮汐非调和常数 (cm)

站 名		20井	12井	2 站	3 站	A	C	平均(20井和12井)
总的平均	平均高高潮高	44	46	49	53	53	59	45
	平均低低潮高	-50	-53	-53	-56	-65	-64	-52
	平均大的潮差	95	101	103	110	119	124	98
回归潮	平均高高潮高	52	55	58	61	59	67	54
	平均低低潮高	-64	-69	-68	-70	-78	-77	-67
	平均大的潮差	117	125	127	132	137	145	121

取20井和12井各项非调和常数的平均值来代表埕岛油田的潮汐特征。由表3可以看出,平均高高潮高在平均海平面上45cm,平均低低潮高在平均海平面下52cm,因而平均潮差(指一天之内最大的潮差,所有日期的平均)为98cm。而回归潮状况下的平均高高潮在平均海面上54cm,平均低低潮在平均海面下67cm,因而平均潮差(指回归潮情况下的所有潮差平均值)为121cm。

三、余 水 位

我们将各站实测水位分析出的调和常数进行自报,然后用实测值减去预报值,可得到余水位,下面给出各观测站及3站各观测段余水位的标准差:

站名	观测日期	标准差
20井	1989年5月4日—7月8日	16.33cm
12井	1989年4月2日—5月4日	13.03cm
2站	1989年4月12日—5月21日	15.47cm
3站	1989年5月21日—6月30日	15.63cm
	1989年7月1日—7月31日	7.83cm
	1989年8月1日—8月31日	15.76cm
	1989年9月1日—9月30日	12.15cm
	1989年10月1日—10月31日	16.90cm
	1989年11月1日—12月28日	16.72cm
	1990年5月1日—6月14日	16.60cm

其中3站的7月份余水位标准差较小,仅7.83,图5示出了该站此期间余水位的分布,它代表了在平静天气条件下的余水位曲线。其它各站及3站的其它月份在观测期间都出现几次东北大风,有明显增、减水。图6给出了20井1989年6月余水位的分布。6月8日16时刮起了15.0m/s的东北偏北大风,余水位明显增高,达81cm,同一时刻3站的余水位达到91cm;当大风停止,余水位又降到6—7cm。在整个观测期间,余水位的最高值出现在1990年4月2日,当时有15.3m/s的东北大风,水位高达143cm,余水位为113cm。

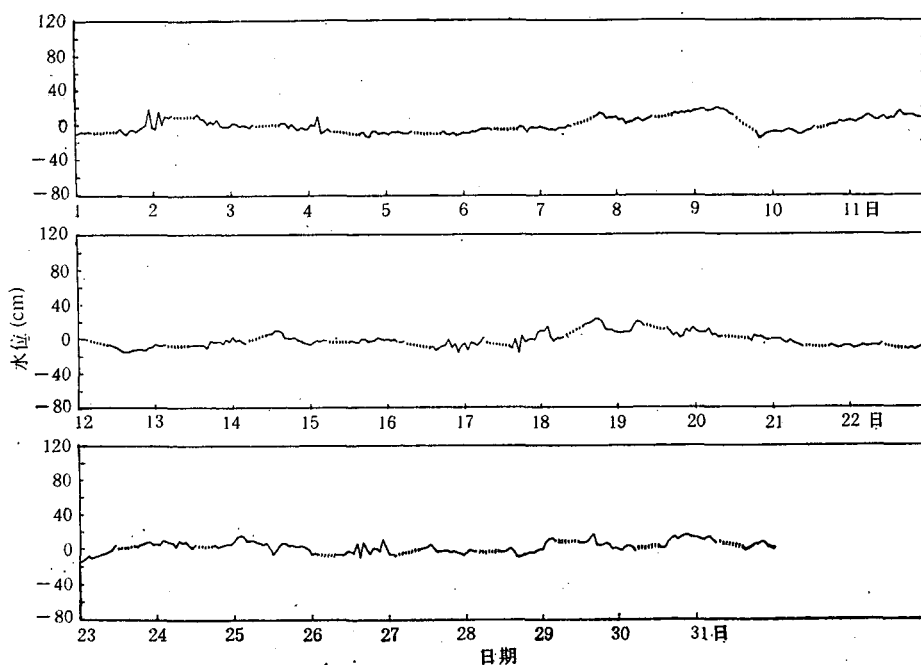


图5 3站1989年7月余水位分布图

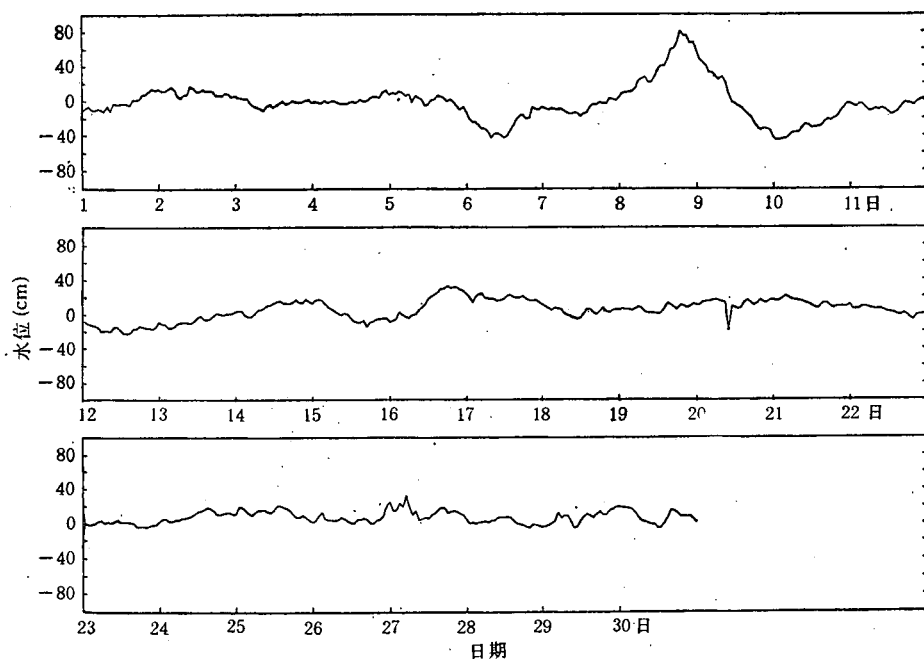


图 6 20 井 1989 年 6 月余水位分布图

四、最高、最低天文潮位

最高、最低天文潮取预报水位的最大和最小值。由于潮汐年变化主要取决于白道的升交点经度，而升交点经度又以 18.61 年周期变化，故通常取 19 年预报水位的最高值和最低值即可。20 井最高天文潮位为 95cm，最低天文潮位为 -127cm（潮位是相对当地平均海面而言）。

五、设计高、低水位

由潮汐调和常数和气象对水位影响的大小，可以计算出水位高于某一高度的出现频率，作者采用 BPF 法计算（方国洪等，1986）。按照《港口工程规范》的规定，采用逐时水位超值概率 98% 作为设计低水位，1% 作为设计高水位，具体数值见表 4。

由当地水位资料算得的设计潮位系相对于当地平均海面的数值。根据本所水准测量，岸边站水尺零点在黄海平均海面上 39.8cm。所根据的水准点为扬水站 IV，同时还根据岸边水位观测（采用 1989 年 7, 8, 9 月资料），该观测站水尺零点在本站平均海面上 0.1cm。依据上面两项结果，本海区平均海面在黄海平均海面上 39.7cm。因此，加上 39.7cm 后得出相对于黄海平均海面的高程。

表 4 设计高、低水位 (cm)

站 名	设计高水位		设计低水位	
	相对当地 平均海面	相对黄海 平均海面	相对当地 平均海面	相对黄海 平均海面
20井	100	140	-99	-59
12井	102	142	-102	-62
2 站	103	143	-103	-63
3 站	107	147	-107	-67
A 站	108	148	-109	-69
B 站	95	135	-95	-55
C 站	111	151	-108	-68
D 站	96	136	-87	-47

六、校核高、低水位和多年一遇的高、低水位

按照《港口工程规范》规定,校核水位取 50 年一遇极值水位,在确定这些数值时,应考虑风暴潮的效应。本文主要依据渤海南部塘沽、羊角沟和龙口三个长期验潮站的资料推算到本站,为此,首先对上述三个站的极值水位作统一分析。

对以上三站我们采用了 34, 18 和 23 年年极值水位拟合 Gumbel 分布,得出多年一遇水位(表 5)。

表 5 塘沽、羊角沟、龙口极值水位* (cm)

重现期(年)		2	10	20	50	100
高水位	塘 沽	246	286	301	322	337
	羊角沟	205	261	283	310	330
	龙 口	161	207	226	248	266
低水位	塘 沽	-297	-342	-361	-384	-401
	羊角沟	-161	-187	-198	-211	-221
	龙 口	-172	-205	-218	-236	-249

* 相对当地平均海面

首先检查这三站校核高、低水位和设计高、低水位的差,设计高、低水位按前面相同的方法计算,校核水位即 50 年一遇水位(表 6)。

表 6 塘沽、羊角沟、龙口校核水位和设计水位及其差值 (cm)

站 名		校核水位	设计水位	差值
高水位	塘 沽	322	182	140
	羊角沟	310	130	180
	龙 口	248	116	132
低水位	塘 沽	-384	-201	-183
	羊角沟	-211	-104	-107
	龙 口	-236	-94	-142

由表 6 可看出,这些差值有一定的一致性。为了保证安全又不致太保守,我们去掉这三个站的一个最小值,取两个大值的平均值作为埕岛油田的校核水位和设计水位之差,它们分别是 160 (高水位)和 -163 (低水位)。将这些值加到埕岛油田设计水位上,得到校核水位 (表 7)。

表 7 埕岛油田校核高、低水位 (cm)

站 名	校核高水位		校核低水位	
	相对当地 平均海面	相对黄海 平均海面	相对当地 平均海面	相对黄海 平均海面
20井	260	300	-262	-222
12井	262	302	-265	-225
2 站	263	303	-266	-226
3 站	267	307	-270	-230
A 站	268	308	-272	-232
B 站	255	295	-258	-218
C 站	271	311	-271	-231
D 站	256	296	-250	-210

推算过程中,我们没有考虑平均海面的变化。据很多科学家研究认为,由于空气中 CO_2 含量的增加,温室效应增强,在未来一个时期内,海平面将显著上升,因而对于像人工岛这样重要的工程,海平面上升的效应应予考虑。但是由于人们对 CO_2 含量增加以及由此引起海平面升高的效应认识不足,关于未来海平面升高的幅度有多种不同的估计。Hoffman (1984) 综合了各种预测,给出在不同年份海平面升高的四种不同估计量 (表 8)。

表 8 海平面升高量的估计 (cm)

年份	综合估计	中偏低估计	中偏高估计	高估计
2025	13	26	39	55
2050	24	52	79	117
2075	38	91	137	213
2100	56	144	217	345

表 9 海平面上升效应后的校核高水位 (cm)

站 名	相对当地平均海面	相对黄海平均海面
20井	323	363
12井	325	365
2 站	326	366
3 站	330	370
A 站	331	371
B 站	318	358
C 站	334	374
D 站	319	359

近年来,较多的人认为以前的估计量可能偏高。故我们这里拟采用表 8 中的中偏高估计量,这是一个相当安全的估计量。这样,至 2040 年(50 年后)海平面将增高 63cm,校核水位是依据 50 年一遇水位定的,据此我们给出考虑了海平面变化后的校核高水位,如表 9 所示。

参 考 文 献

- 王 骥、方国洪,1981,不完整逐时潮汐观测记录的分析,海洋学报,3(2):193—210。
方国洪、郑文振、陈宗镛、王 骥,1986,潮汐和潮流的分析和预报,海洋出版社,474。
方国洪、王 骥等,1987, BPF 法在海图基准面计算中的应用,海洋科学集刊,28:21—55。
Hoffman, J. S., 1984, Estimates of future sea level rise, in *Greenhouse Effect and Sea Level Rise* (ed. M. C. Barth and J. G. Titus), Van Nostrand Reinhold Co., UK, 79—104.

SEA LEVELS IN CHENGDAO OFFSHORE OIL FIELD AND ADJACENT AREA*

Ding Wenlan and Fang Guohong

(Institute of Oceanology, Academia Sinica)

Zeng Zhuoying

(Shallow Sea Company, Shengli Oil Field)

Abstract

A tidal level measurement project was carried out to estimate the design criteria for engineering applications in the Chengdao Oil Field located northwest of the Yellow River estuary.

Sea level was measured at a coastal station for a period of more than one year winter excluded because of icing. In the offshore area, tidal measurements were carried out at 8 stations: at one station for 2 months, at another 3 stations for 1 month, and at the remaining 4 stations for 2 days.

The tidal records from offshore stations were analysed using regular methods. The tidal record at a coastal station was often interrupted during low water period. To extract tidal harmonics from these interrupted data, data gaps were filled artificially before conducting tidal analysis to obtain the harmonics, used to predict the sea level for the period of the gaps. Then the predicted sea level heights were used to replace the artificially given heights and a new analysis was made. The same procedure was repeated several times until the harmonics did not change. To confirm the validity of this approach, we used the tidal record of the longest offshore station and discarded the low water part data. The remaining data were analysed using the above approach. The obtained tidal harmonics differed only slightly (within 0.6cm in amplitude and 2° in phase lag) from those obtained by using original complete data.

Analysis of the sea level records, yielded the distribution of the sea level for use as design criteria for engineering applications in the Chengdao Oil Field.

* Contribution No. 2078 from the Institute of Oceanology, Academia Sinica.