

胶州湾的潮汐与潮流*

丁 文 兰

(中国科学院海洋研究所)

胶州湾是我国沿海的一个重要港湾, 长期以来对其进行了较多的调查研究工作^[1,2]。大港验潮站自 1926 年起开始观测 (1936—1946 年曾中断), 目前已积累了 44 年的长期水

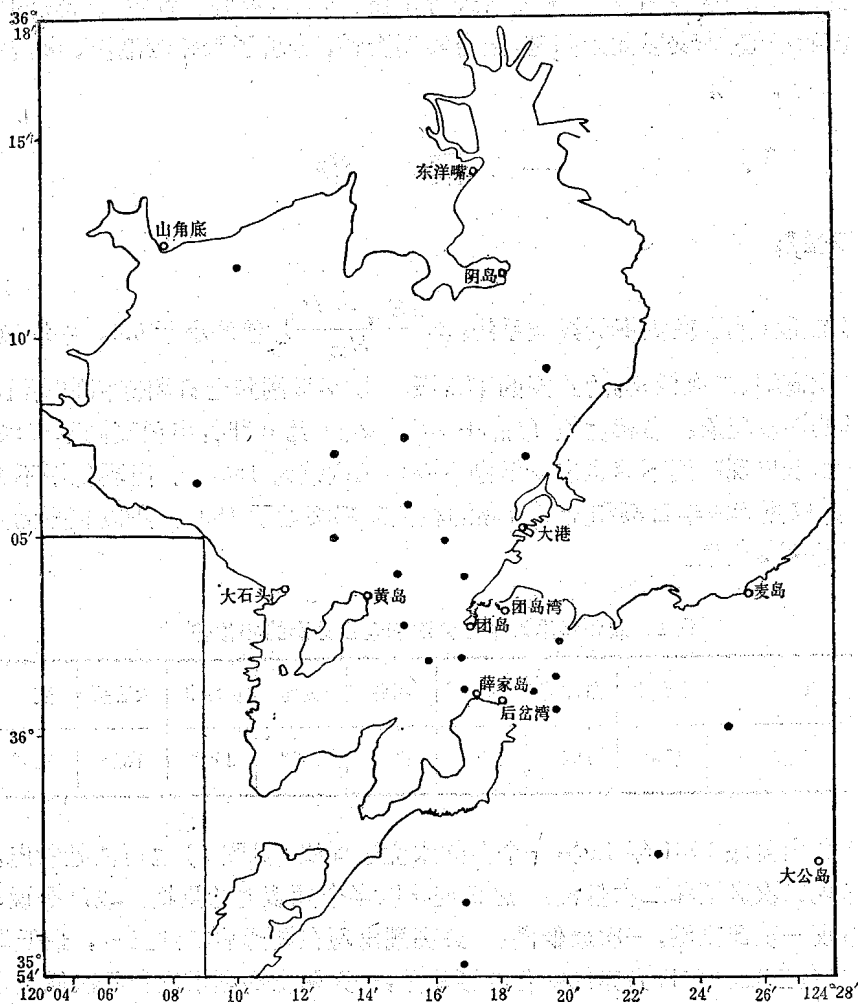


图 1 胶州湾及其附近潮汐、潮流观测站位图

○ 潮汐观测站; ● 潮流观测站

* 中国科学院海洋研究所调查研究报告第 1079 号。

收稿日期: 1984 年 1 月 19 日。

位资料。山角底验潮站自 1967 年开始观测,也积累了 16 年的水位资料。我们还系统地搜集了我所 1958—1959 年在薛家岛、东洋嘴、团岛、麦岛、大公岛分别进行的四个月、两个月及半个月的观测资料,以及山东海洋学院 1975 年在红岛船厂(阴岛)、黄岛客运码头分别进行的三个月及两个月的水位观测资料和团岛湾、后岔湾、大石头等地的潮汐调和常数。此外,我们还搜集了胶州湾及其附近海区共二十三个测站的海流连续观测资料,其中十九个站的数据是由我所在 1957—1959 年观测的,三个站是 1982 年“全国海岸带调查”中测得的,另一个站是华东水利学院提供的资料。这些测站,除六个站为一昼夜连续观测外,其余十七个站均为二昼夜以上连续观测(有一个站为十五昼夜连续观测)。观测站位见图 1。

我们把搜集到的这些潮汐、潮流资料进行了调和分析,得到了各主要分潮的调和常数及潮汐、潮流特征值,本文以此为基础,结合实测资料,分析了胶州湾潮汐、潮流的基本特征。

一、潮 汐

1. 潮汐性质

胶州湾的潮汐属于南黄海的潮波系统,其 $\frac{H_{K_1} + H_{O_1}}{H_{M_2}}$ 值均小于 0.4,平均值为 0.38,即每天有二次高潮、二次低潮,为正规的半日潮。从半日潮和全日潮位相的差值,可以说明多种多样的潮汐现象。当相位差 $(g_{K_1} + g_{O_1} - g_{M_2})$ 为 0° 时,出现高潮不等;相位差为 90° , 270° 时,既出现高潮不等也出现低潮不等;相位差为 180° 时,出现低潮不等。从表 1 可以看到,胶州湾内半日潮和全日分潮的相位差都接近于 180° ,所以胶州湾内低潮不等较高潮不等来得明显。

表 1 胶州湾沿岸半日分潮和全日分潮的相位差

地 点	山角底	东洋嘴	大港	阴岛	黄岛	薛家岛	大石头	麦岛	大公岛
$g_{K_1} + g_{O_1} - g_{M_2}$	170°	152°	160°	164°	169°	176°	162°	169°	164°

从大港和山角底 1981 年 12 月一个月的水位过程线(见图 2)也可清楚看出,在一个太阴日里出现二次高潮和二次低潮。逐日变化以半个朔望月为周期。也就是说,在半个朔望月中出现一次最高潮,一次最低潮。最高潮出现在朔望后二到三日,最低潮出现在上、下弦后二到三日。在日月赤纬变化的影响下,一天两次高潮水位和两次低潮水位常不相等,一般在南北赤纬最大后二、三天相差最大,表现在两相邻低潮位差大于两相邻高潮位差。在图 2 的水位过程线中,相邻二次低潮最大相差 1.04m(12 月 14 日)。月赤纬为 0° 后二、三天相差最小。

根据胶州湾及其附近现有的九个站的潮汐资料,统计了主要潮汐特征,并在图 3 中描绘出它们的沿程变化。

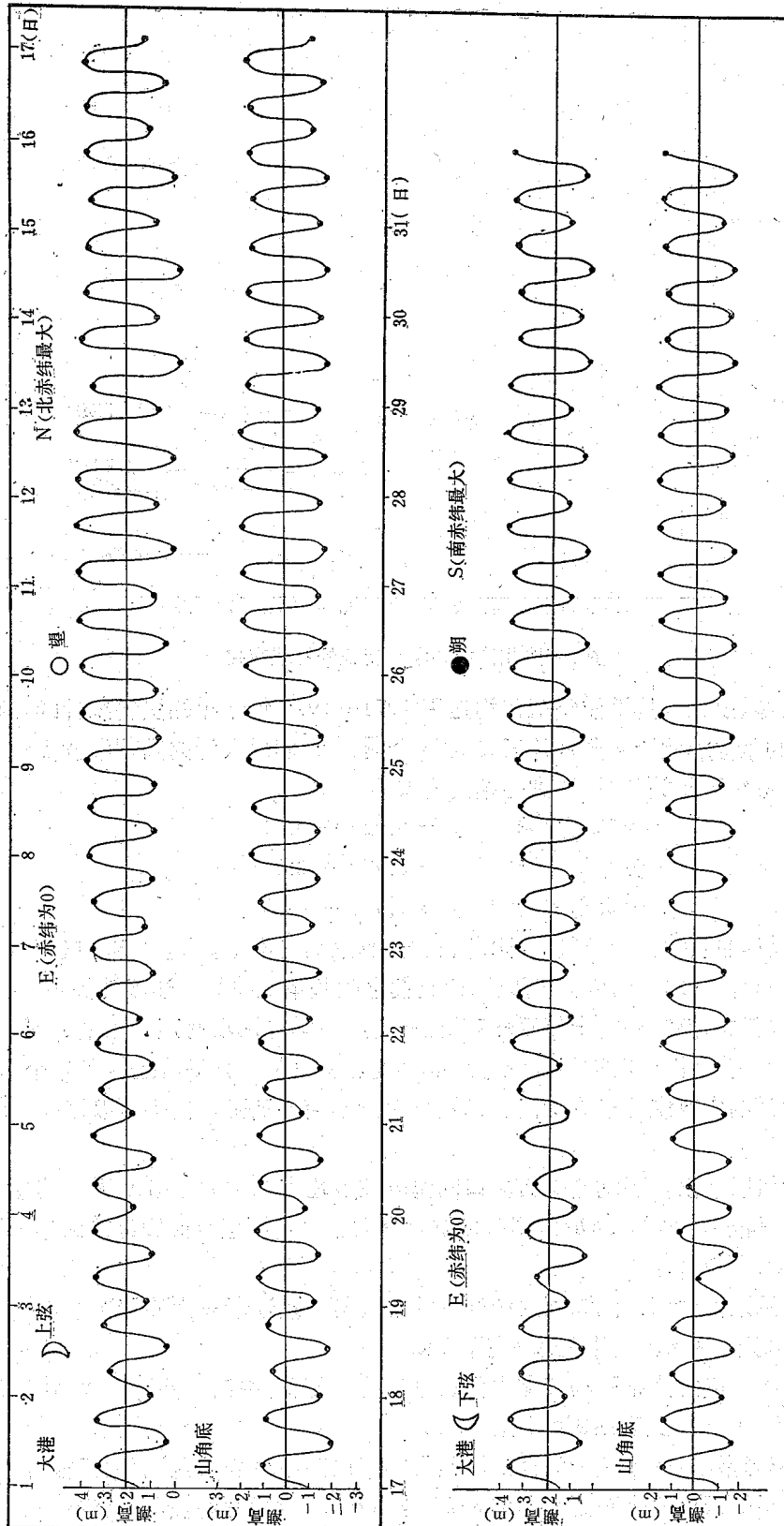


图 2 大港、山角底 1981 年 12 月水位过程线

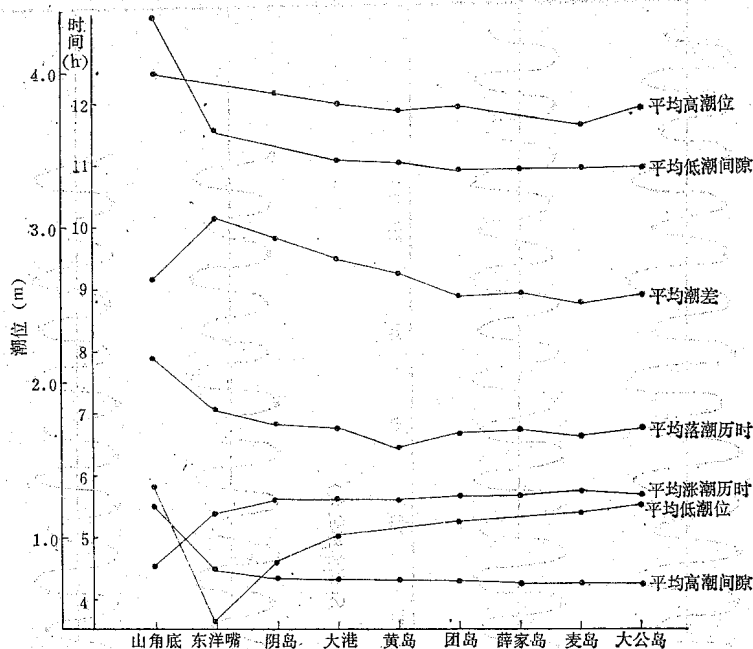


图3 胶州湾主要潮汐特征的沿程变化

其中大港、山角底的潮汐特征值均是用1971—1979年十年的资料统计的，阴岛、黄岛、薛家岛的水位观测资料分别为三、二、四个月。我们用大港的同期潮位资料与这三个地方的潮位进行了相关分析，得到的相关公式为：

$$\text{阴岛与大港} \quad y = 0.92x + 0.24$$

$$\text{黄岛与大港} \quad y = 0.99x + 0.08$$

$$\text{薛家岛与大港} \quad y = 1.04x - 0.13$$

其中， y 为大港的潮位， x 分别代表阴岛、黄岛、薛家岛的潮位，单位为米，它们的相关系数分别高达0.954，0.984，0.998。可以认为它们之间基本上符合上述线性关系。由以上公式求得阴岛、黄岛、薛家岛的十年平均高、低潮位。东洋嘴因没有逐时水位资料，我们用了仅有的两个月高、低潮资料进行了统计；而团岛、麦岛和大公岛各进行了半个月的观测。用这样短时间的资料统计出平均高、低潮位无疑不会太准确，但仍可以用来说明潮汐性质。

从图3可以看出，平均潮差自湾口向湾内逐步增大的现象十分明显。其分布趋势和 M_2 分潮的振幅分布一样，由湾口到湾顶增至最大。平均潮差从薛家岛到大港增大24cm，到东洋嘴则增大50cm。

平均高潮水位由湾口向湾顶逐渐升高的情况与潮差逐渐增大的情况非常一致。从麦岛到大港增高了13cm，到阴岛则增高了20cm。

平均低潮水位的分布则与高潮水位的分布趋势相反，由湾口向湾顶逐渐降低，自麦岛到大港降低了15cm，到阴岛则降低了32cm。

另外，应当指出，位于胶州湾西北潮间带内南胶莱河口的山角底，因受径流的影响，平均高潮位与平均低潮位分别比大港增高20与30cm，而平均潮差则比大港小13cm。

平均涨潮历时由湾口向湾顶逐渐减小,从薛家岛到东洋嘴约缩短 18 分钟,山角底比薛家岛约缩短 69 分钟。相应地平均落潮历时则由湾口向湾顶逐渐增加。

高、低潮间隙由湾口向湾内逐渐增加,从薛家岛到东洋嘴高、低潮时间均延迟约半小时,这与 M_2 分潮的同潮时线分布情况极为接近。

2. 高潮水位和低潮水位

我们统计了大港 1955 年至 1981 年共 27 年,山角底 1970 年至 1982 年共 13 年的高、低潮水位资料,绘制了多年平均高、低潮水位的季节变化图和年平均高、低潮水位的年际变化图(见图 4, 5, 6, 7),为便于分析比较,各站的潮位零面均订正到黄海零面上。大港

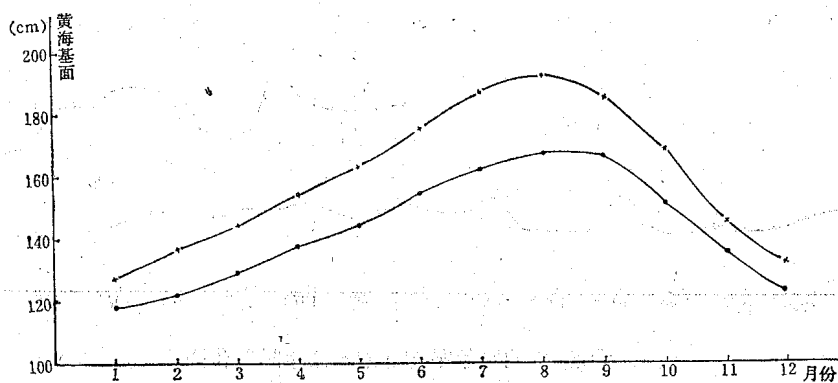


图 4 大港、山角底多年平均高潮水位季节变化图

大港—●—; 山角底—×—

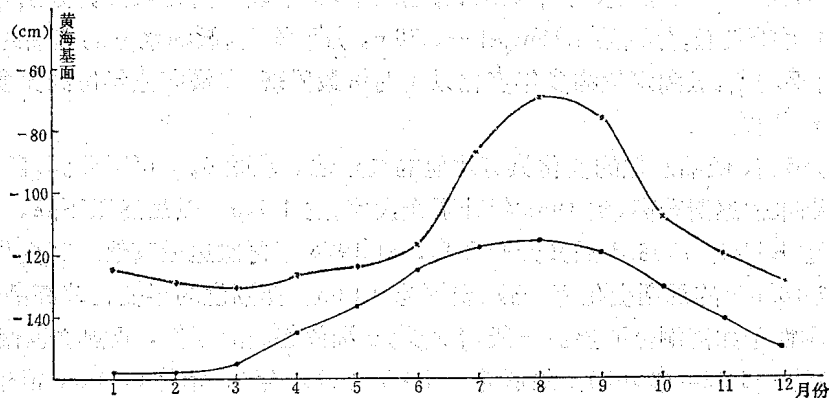


图 5 大港、山角底多年平均低潮水位季节,变化图

大港—●—; 山角底—×—

反映了胶州湾的普遍情况,可作为胶州湾的典型代表站,而山角底则反映了河口潮汐的特殊情况。

从图中我们可清楚地看到,以大港为代表胶州湾的高、低潮水位大体有以下的特征。

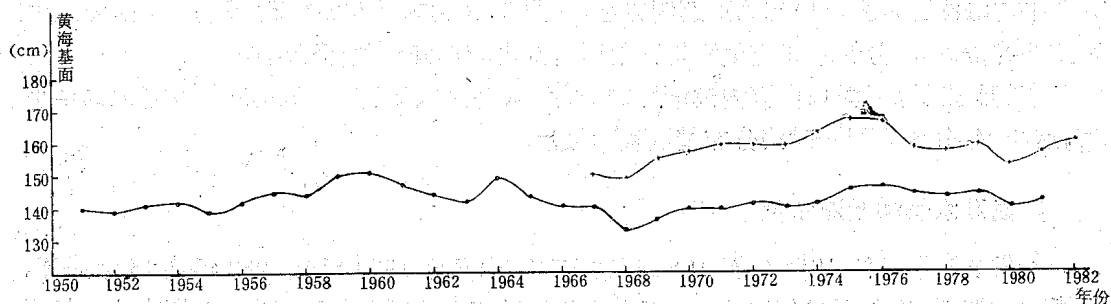


图6 大港、山角底年平均高潮水位年际变化图

大港—●—；山角底—×—

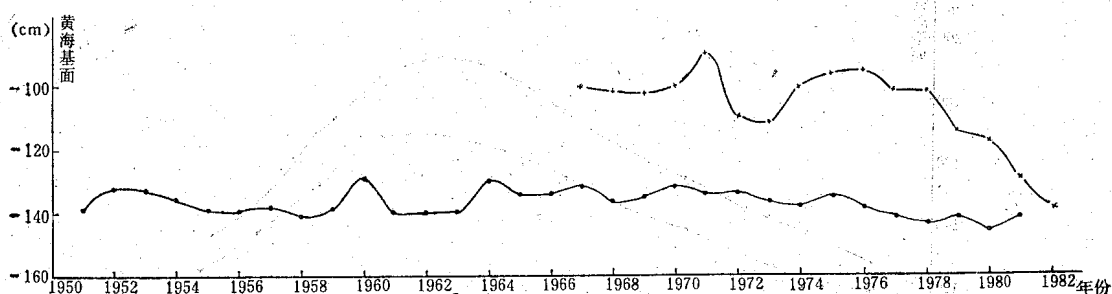


图7 大港、山角底年平均低潮水位年际变化图

大港—●—；山角底—×—

(1) 月平均高、低潮水位具有明显的年周期变化,大港多年平均高、低潮位分别为 1.43m 和 -1.38m。一年中,月平均高、低潮水位在 5—10 月均高于多年平均高、低潮水位,11 月到次年 4 月均低于多年平均高、低潮水位;其中以 8 月份最高,分别为 1.61m 和 -1.16m;1 月份最低,分别为 1.18m 和 -1.58m,月平均高、低潮水位的变幅约为 0.4m。

(2) 月平均高、低潮水位的多年变化以 1 月份最显著,在最高值年份约比多年月平均值偏高 0.2m 左右。

(3) 历年高、低潮水位的变化具有明显的周期性。从图 6, 7 可以看到,自 1950 年开始,平均高潮水位逐渐升高,到 1960 年升至最大值,达 1.51m;以后逐渐下降,到 1968 年降至最低,为 1.33m。1968 年后又开始升高,到 1976 年再次达最高值。其变化周期大体与白道交点 18.6 年的周期变化相一致,变幅为 0.18m。低潮位的年变化较高潮位要小,其周期性、规律性不如高潮位明显。一般情况是,高潮位偏高的年份,低潮位也偏高。平均低潮位最高为 -1.32m (1967),最低为 -1.46m (1980 年),相差 0.14m。但也有特殊年份,如 1960 年就特别高,达 -1.29m,1950 年特别低,为 -1.52m。

(4) 自 1950 年以来观测到的大港最高高潮水位出现在 1956 年,为 2.97m,比平均高潮位高 1.54m,比 1963 年最高高潮位也要高 0.67m。最低低潮位水位出现在 1980 年,为 -3.09m,比平均低潮位低 1.71m,比 1964 年最低低潮位也要低 0.59m。

山角底与大港同为胶州湾内的验潮站,在潮汐、潮流方面有很多相同点;但山角底验潮站位于南胶莱河的人海口处,其后方为一流体边界,与大港验潮站后方为陆地固体边界

的情况完全不同,山角底因受径流的影响,在潮汐、潮流方面与大港存在着一定的差异。

山角底月平均高、低水位在一年中的变化趋势与大港大致相同。年平均高潮位的变化也有明显的周期性。但山角底的年平均高潮位为 1.58m, 约比大港高出 0.15m, 平均低潮位为 -1.13m, 约比大港高 0.25m, 且年最高高潮位和最低低潮位的变化没有明显的周期。如年最高高潮位出现在 1975 年, 为 3.44m, 年最低高潮位出现在 1967 年, 为 2.36m, 相差 1.08m, 差值较大。为了说明这一问题, 我们把南胶莱河年径流量与山角底年最高高潮位作一比较, 见表 2。从表上可清楚地看出, 年径流量与最高高潮位具有正相关, 两者的相关关系为

$$y = 0.141x + 2.518$$

相关系数为 0.81, 式中 y 为最高高潮位, 单位为 m, x 为南胶莱河年径流量, 单位为 10^8 m^3 。可以认为山角底年最高水位与南胶莱河的年径流量有着密切的关系。

表 2 山角底年最高高潮位与南胶莱河年径流量统计表

年 份	1967	1968	1969	1970	1971	1972	1973	1974	1975	1976	1977	1978	1979	1980	1981	1982
最高高潮位 (m)	2.36	2.42	2.57	2.73	2.93	2.52	2.84	3.37	3.44	2.77	2.44	2.60	2.55	2.57	2.74	2.53
年径流量 (10^8 m^3)	0.057	0.014	0.086	1.187	4.502	1.170	0.377	2.680	6.411	1.458	0.150	1.130	0.864	1.510	0.039	0.353

3. 平均水位

从大港 1951—1981 年及山角底 1974—1982 年月平均水位的季节变化图 (图 8) 中, 可以看到, 月平均水位的变化规律与高潮水位和低潮水位的变化规律相似。大港多年平均水位为 0.03m。月平均高值出现在 7—9 月份, 8 月份最高, 为 0.25m; 低值出现在 12—2 月份, 1 月份最低, 为 -0.19m; 最大差值 0.44m。山角底多年平均水位为 0.15m, 比大港高 0.12m, 月变化也比较剧烈, 最高值 (8 月份) 为 0.59m, 最低值 (1 月份) 为 -0.08m, 相差 0.67m。

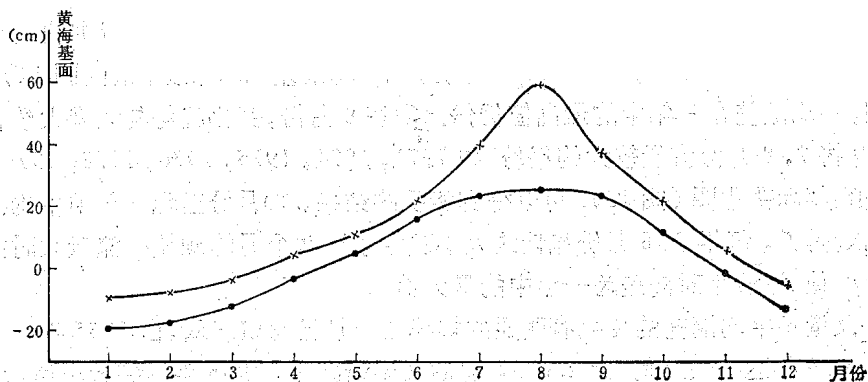


图 8 大港、山角底多年平均水位季节变化图

大港—●—; 山角底—×—

另外,从大港、山角底平均水位年际变化图(图9)中可以看出,大港年平均海平面的变化比较小,年平均水位最高值出现在1964年,为0.10m,最低值在1980年,为-0.02m,相差0.12m。而山角底年平均水位的变化比较大,在仅有的九年资料中,最高值出现在1975年,为0.32m,最低值在1982年,为0.03m,相差达0.29m。

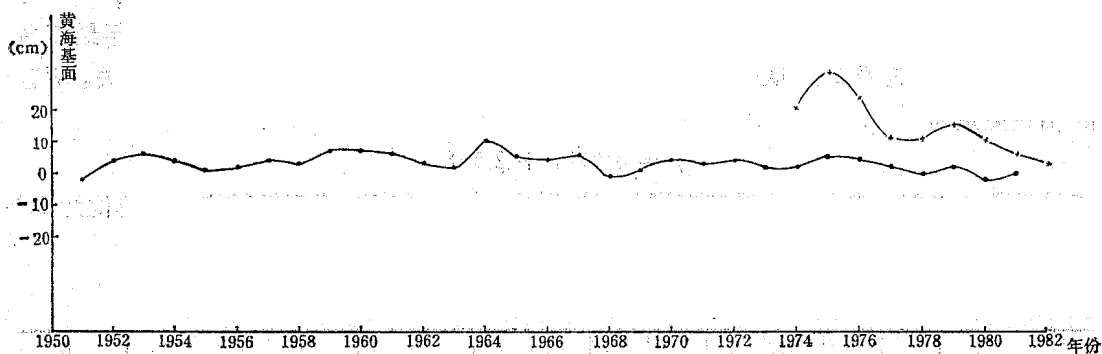


图9 大港、山角底年平均水位的年际变化图

大港—●—; 山角底—×—

4. 潮差

从大港1955—1981年及山角底1967—1982年的月平均潮差和年平均潮差的变化图(图10, 11)中,可清楚地看出:

(1) 大港多年平均潮差为2.80m,一年中出现两高两低,3月和9月份最高,6月和12月份最低。这是因为大港为正规的半日潮港口,3月和9月是太阳通过春分点和秋分点的时间,潮差最大;6月和12月份是太阳通过南北回归线的时间,潮差最小。月平均潮差的最大差值为0.13m。最大潮差也呈现一年两高两低的趋势,大体上和月平均潮差的季节变化相似,这是由于日、月引潮力在大潮时相加的缘故。值得注意的是,太阳过秋分点附近所产生的大潮要比过春分点产生的大一些,年最大潮差发生在8月份。自有验潮记录以来,历年最大潮差为4.89m。

山角底月平均潮差却可能出现7,8月份偏低的现象。我们将7,8月份流量较小的年份,如1972,1973,1977,1980,1981年,绘制平均潮差的季节变化图(图12),从图中可以看到,平均潮差在一年中的最高值仍然出现在8月份,变化趋势与大港大致相同。另外,我们再将7,8月份流量较大的年份,如1971,1974,1975,1976,1978,1979年,绘制平均潮差的年际变化图(图13),可以得到相反的结果,8月份出现一年中平均潮差的最低值。也就是说,每年7,8月份流量的大小决定了这两个月的潮差:流量大时潮差为一年中的最小值,流量小时潮差为一年中的最大值。

(2) 大港年平均潮差的变化有明显的规律性。从已有资料看,自1955年开始潮差逐渐加大,1959年达到最大值,为2.87m;随后又逐渐减小,1968年达到最小值,为2.70m;1968年后潮差又逐渐加大,至1978年再次达到最大值,为2.88m,相差0.18m。年平均潮差变化的趋势与历年平均高潮位变化趋势基本一致,月赤纬绝对值最大时潮差最小,月赤

纬绝对值最小时潮差最大,变化周期为 18.6 年。历年中,多年平均潮差为 2.80m,变幅在 $\pm 0.1\text{m}$ 之内,变化甚微。年最大潮差的年际变化缺乏显著的规律性,这主要是受气象条件的影响。

山角底年平均潮差的变化没有明显的周期性,而与年径流量有关。在年径流量大的年份,平均潮差反而小,例如 1975 年,年径流量为 $6.411 \times 10^9 \text{m}^3$,平均潮差为 2.54m;在年

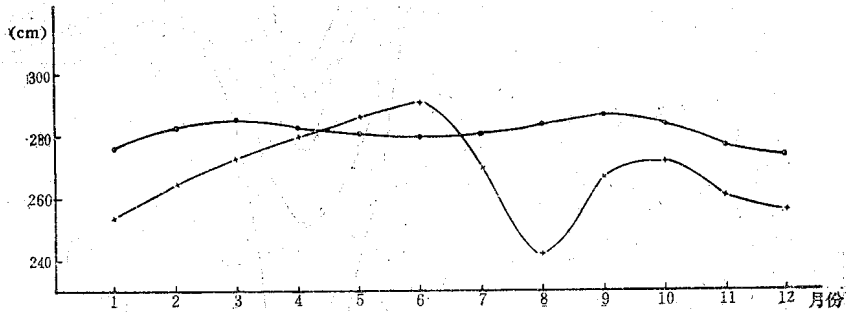


图 10 大港、山角底多年平均潮差季节变化图

大港—●—; 山角底—×—

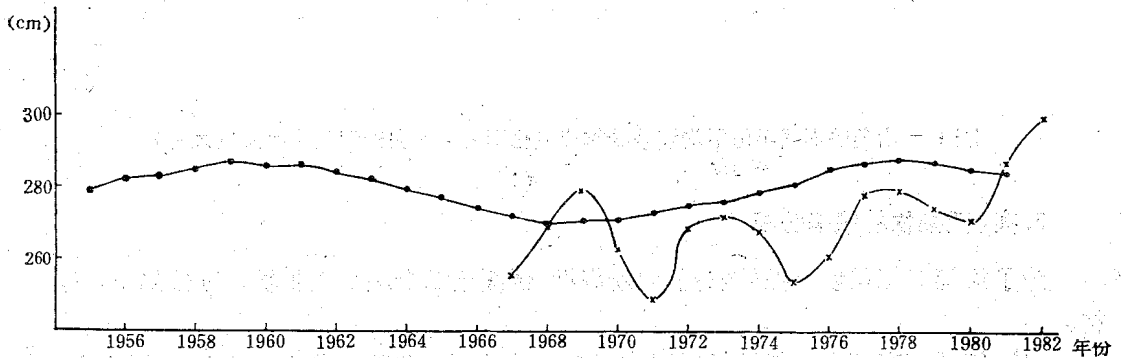


图 11 大港、山角底年平均潮差的年际变化图

大港—●—; 山角底—×—

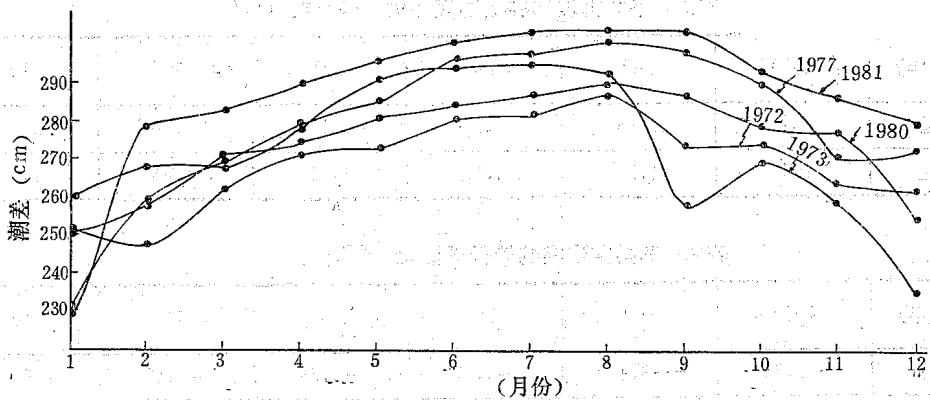


图 12 山角底不同年份平均潮差的季节变化图(7, 8 月份南胶莱河流量小时)

径流量小的年份平均潮差反而大,例如1982年,年径流量为 $0.353 \times 10^8 \text{m}^3$,平均潮差为2.99m。另外,年平均潮差的变化还与气象因素如降水、蒸发等有关。

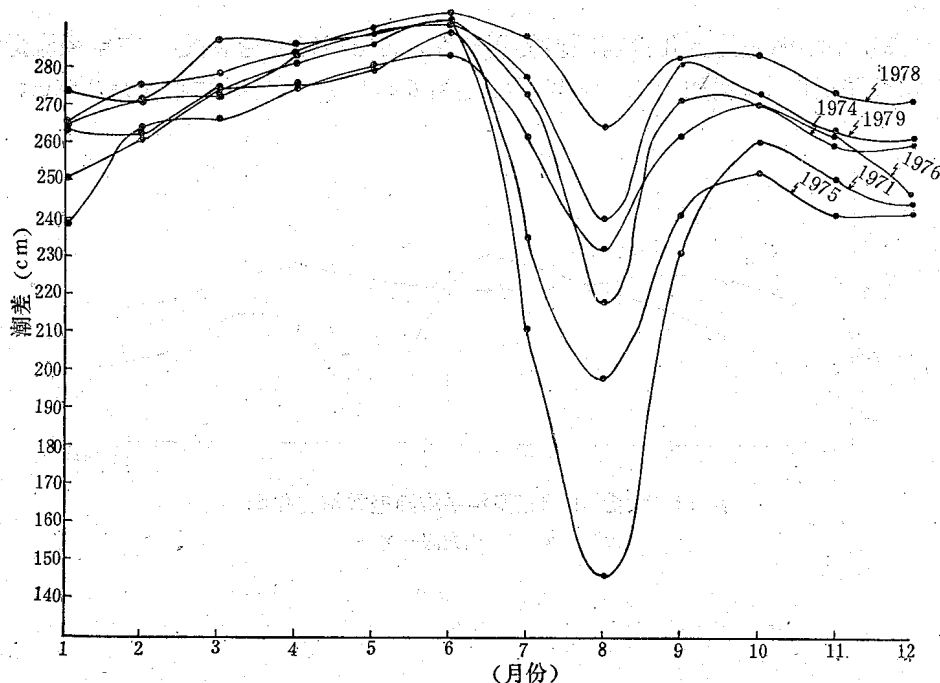


图 13 山角底不同年份平均潮差的季节变化图 (7, 8 月份南胶莱河流量大时)

5. 高、低潮位的频率分析

为了给港口工程设计提供依据,现就高潮、低潮这二个潮汐主要项目进行如下频率分析。

(1) 年最高高潮位、年最低低潮位频率 我们分别用大港验潮站 1950 至 1979 年共 30 年,山角底验潮站 1967 至 1982 年共 16 年的年最高高潮位和年最低低潮位作为统

表 3 不同重现期的最高高潮位 (单位: m)

重现期(年)	1000	500	200	100	50	10
大 港	3.45	3.35	3.21	3.11	3.01	2.76
山角底	4.59	4.38	4.11	3.91	3.70	3.43

表 4 不同重现期的最低低潮位 (单位: m)

重现期(年)	1000	500	200	100	50	10
大 港	-3.58	-3.49	-3.37	-3.28	-3.19	-2.98
山角底	-2.58	-2.50	-2.39	-2.30	-2.22	-2.02

计序列,利用 Gumbel 统计方法,求得各重现期最高高潮位和最低低潮位的数学期望值,见表 3, 4。

根据港口工程技术规范的规定,某港口的校核高、低水位采用重现期为五十年的高、低潮位,故大港的校核高、低潮位为 3.01m 和 -3.19m,山角底为 3.70m 和 -2.22m。

(2) 高、低潮位频率 山角底高、低潮位频率的统计使用 1970 至 1979 年的十年资料。大港高潮位频率的统计用的也是同一时期的资料,而低潮频率则是用刘凤树等人统计的 1959 至 1968 年的十年资料(个人交流)。求得频率曲线,并得到高、低潮位频率如表 5, 6 所示。

表 5 高潮位频率表 (单位: m)

频率(%)	0.1	0.5	1	2	5	10	20	50	80	90	95
大 港	2.61	2.43	2.35	2.25	2.10	1.95	1.79	1.43	1.07	0.88	0.73
山角底	2.90	2.55	2.47	2.40	2.26	2.17	1.99	1.64	1.24	1.03	0.86

表 6 低潮位频率表 (单位: m)

频率 (%)	[0.5	1	2	5	10	20	50	80	95
大 港	-2.58	-2.49	-2.37	-2.21	-2.05	-1.85	-1.42	-0.97	-0.67
山 角 底	-1.73	-1.70	-1.65	-1.58	-1.52	-1.41	-1.14	-0.83	-0.30

根据港工规范,累积频率 10% 的高潮位为设计高水位,故大港的设计高水位为 1.95 m,山角底为 2.17m。设计低水位采用累积频率 90% 的低潮位,因此大港的设计低水位为 -0.77m,山角底为 -0.48m。

二、潮 流

1. 胶州湾的潮波

(1) 潮波的传播 我国近海的潮振动主要为太平洋潮波所引起的协振动。太平洋潮波首先通过日本与台湾间的水道由东南向西北传入我国东海,其主要部分通过东海北部进入黄海。进入黄海的潮波受山东半岛南岸和辽东半岛南岸的反射,入射波与反射波干涉形成黄海潮波,使之具有驻波性质。 M_2 分潮和 K_1 分潮在南黄海都存在无潮点,在地转偏向力的作用下,驻波绕节点呈逆时针方向旋转,潮差由无潮点向四周增大。胶州湾潮波属于南海的潮波系统,并处在驻波的腹部。 M_2 分潮等振幅线和同潮时线分布图明显地反映了这一性质(见图 14)。胶州湾口同潮时线由东向西传播,进入湾内后由于地形的影响呈南北方向传播。从胶州湾外的大公岛到胶州湾顶端的东洋嘴, M_2 分潮迟角相差 13° , K_1 分潮迟角相差 6° ,也就是说 M_2 分潮和 K_1 分潮从大公岛传播到东洋嘴大约需要

半个小时。 M_2 分潮的等振幅线在湾外呈南北向,振幅由东向西增加,湾内由于水深变浅,等振幅线呈东西向,振幅由南向北增加。从大公岛到东洋嘴, M_2 分潮的振幅增加了28cm, K_1 分潮的振幅约增加了2cm。

为了作进一步的研究,我们以大港高潮时为指标,计算了高潮前6小时到高潮后6小时逐时的流速、流向,从而得到潮波在一个潮周期里的传播情况。

在高潮前3小时,湾外潮流为西、西北方向,湾内处于涨潮流阶段,海水流动方向系自东向西;至湾口附近,因受薛家岛的阻挡,西流海水分成两支,一支沿薛家岛西侧与海岸线平行,向西南方向流去;另一支沿正西方向流入胶州湾湾道,入湾后由于黄岛的阻挡转折向北。流入海湾后,得到充分的扩张,呈幅射状向海湾里面伸展。在海湾东面,最大流速方向与海岸平行,成西南-东北方向流动;海湾西部最大流速作西北-东南方向流动;在海湾中央部分,潮流为正南-正北方向流动。此时,整个湾内的涨潮流速达到了最大值。

在高潮时,湾外潮流由西、西北方向转为西南方向,湾内处于涨潮转流阶段,流速很

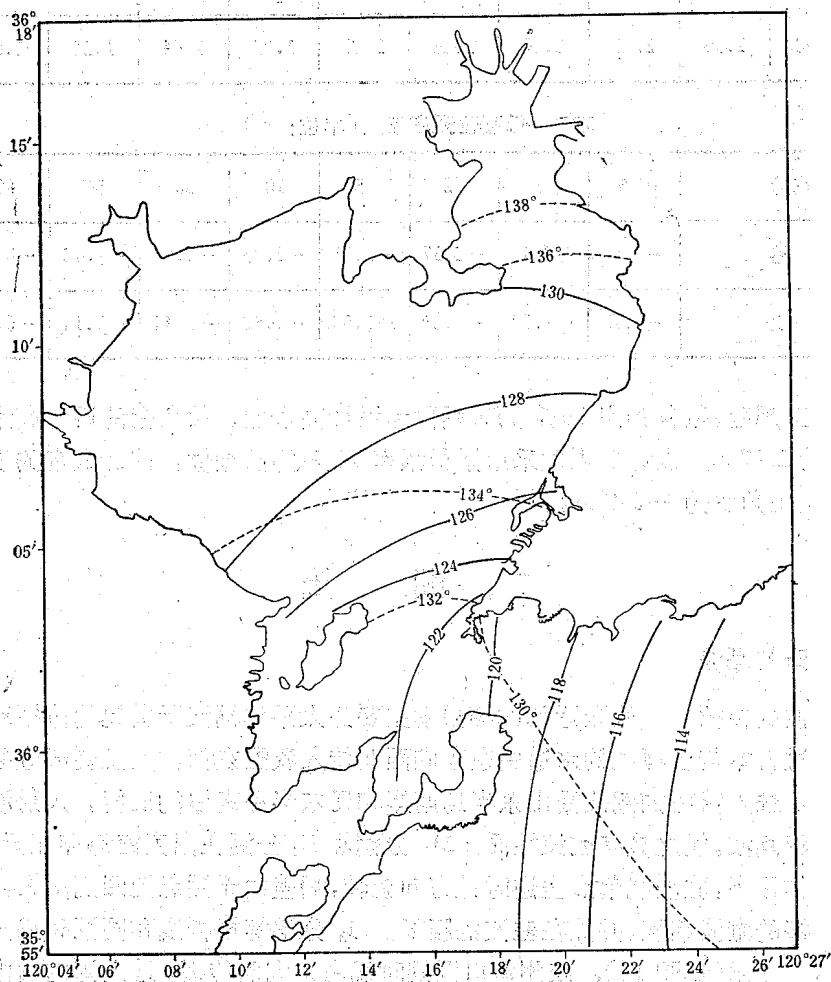


图 14 M_2 分潮同潮时线和等振幅线分布图

----- 同潮时线; ———— 等振幅线

弱；中央区潮流仍为南北方向，其东西两侧已分别成西南、东南方向流动，在西北广大的滩涂地带流动方向仍垂直于岸边。薛家岛—团岛区域似乎有一个逆时针的小环流，湾口处的潮流已转向东南，并流出湾外。

经过 $1/4$ 周期后，即高潮后 3 小时，湾外潮流由西南转为东南、东北方向，湾内落潮流达最大值；此时中央区的潮流已由北转南，顺着胶州湾的主航道转向东南，并流出湾外；湾口逆时针的小环流已消失；在西北广大滩涂地带的流动，已转向垂直于等深线的方向。落潮流的量值比涨潮流的量值要小。

在高潮后 6 小时，湾外潮流为东北方向，湾内仍处于退潮流阶段，但已开始转流，流速变弱；湾内中央区的潮流仍向南，其两侧已转流，湾口三角区及湾口流速已变小。

从潮流的一个周期运动中可明显看到，湾内高、低潮时流速最小，平潮时流速达最大

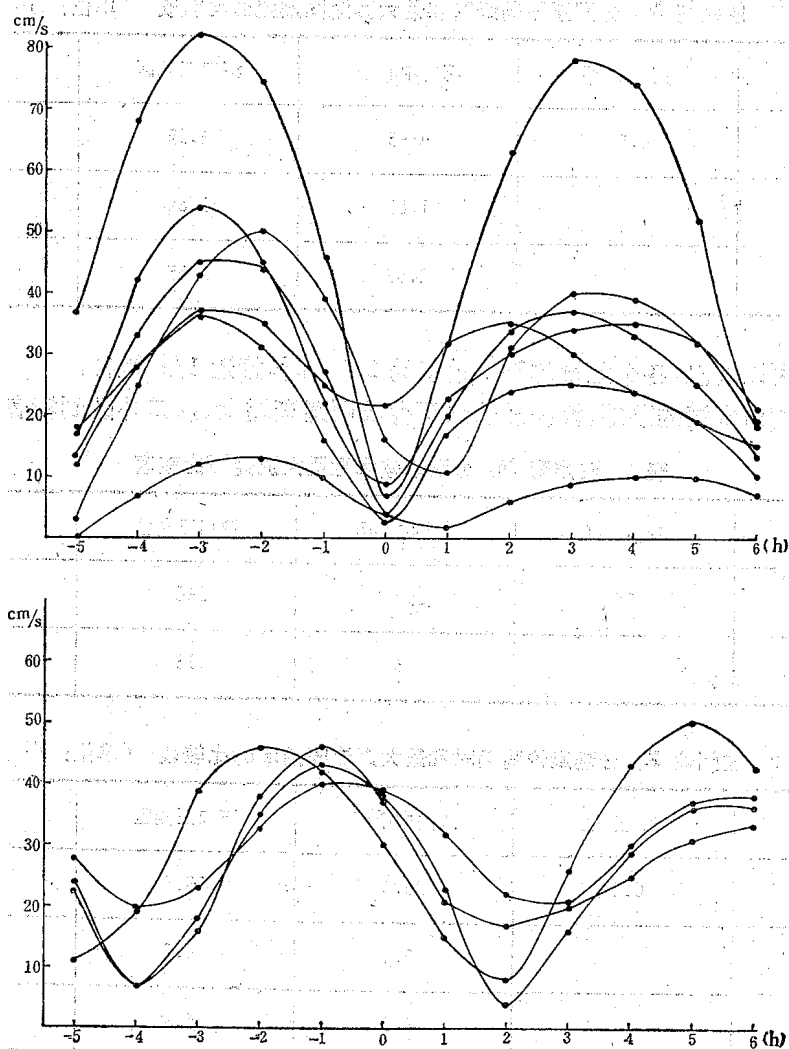


图 15 胶州湾及附近代表站流速在一个潮周期里的变化图

上：胶州湾内；下：胶州湾附近

值,说明湾内潮流具有明显的驻波特性。

另外,我们在胶州湾内选取七个站,湾外取四个站,绘制了各站在一个潮周期里的流速变化图(图 15)。从图中明显看到,胶州湾外各站最大潮流发生在高潮前 1 小时,最小潮流发生在高潮后 2 小时;湾内各站最大潮流均发生在高潮前 3 小时和高潮后 3 小时,而流速的最小值又正好发生在高潮时。这进一步说明胶州湾内驻波的性质较湾外更趋明显。

(2) M_2 半日潮波 为了详细地讨论各分潮潮波的传播,我们把胶州湾分为四个区域¹⁾: 团岛到薛家岛以东为口外区;团岛—薛家岛断面与团岛—黄岛断面构成湾口三角区;团岛—黄岛断面以北,阴岛以南构成湾内中心区;阴岛以北为湾底区。现把这四个区域的潮汐同潮时和最大潮流同潮流时作一比较(各个区域的数值由图 14 求得)。

表 7 胶州湾 M_2 分潮潮汐同潮时和最大潮流同潮流时比较表 (单位: 小时)

	湾底区	湾内中心区	湾口三角区	口外区
潮 汐	4.55	4.45	4.35	4.30
潮 流		1.83	1.80	1.50
差 值		2.62	2.55	2.80

从表 7 可以看出,各个区域的平均差值为 2.7 小时,接近 $1/4$ 周期。

由胶州湾口到湾的顶端,潮差随着水深变浅而逐渐增大,从口外区到湾底区大约增大

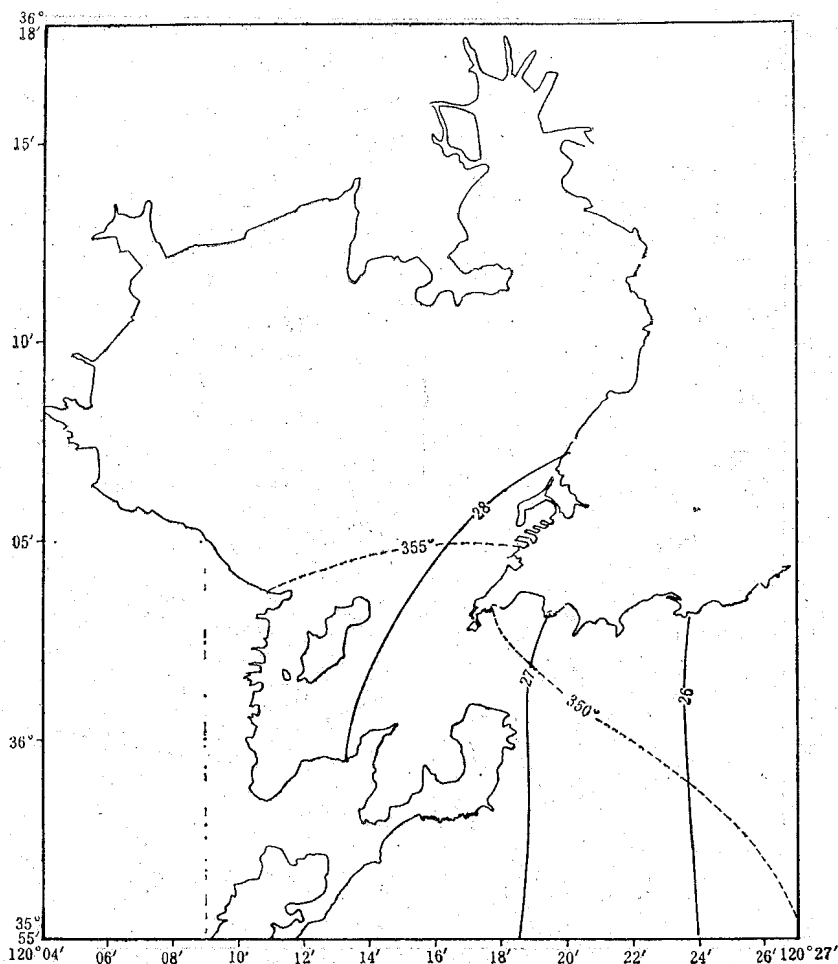
表 8 胶州湾 M_2 分潮潮差和近最大流速^[3]比较表

	湾底区	湾内中心区	湾口三角区	口外区
潮差 (cm)	260	250	242	236
流速 (cm/s)		63	113	80

表 9 胶州湾 K_1 分潮潮汐同潮时和最大潮流同潮流时比较表 (单位: 小时)

	湾底区	湾内中心区	湾口三角区	口外区
潮 汐	0.0	23.6	23.6	23.4
潮 流		5.4	4.7	5.5
差 值		6.2	6.9	5.9

1) 侍茂崇同志在研究胶州湾污染物输送及排污关系问题中,曾这样划分过。

图 16 K_1 分潮同潮时线和等振幅线分布图

-----同潮时线； ——等振幅线

了 24cm；而流速却以湾口三角区为最大，这是因为此处水域狭窄，向湾内流速逐渐减小。

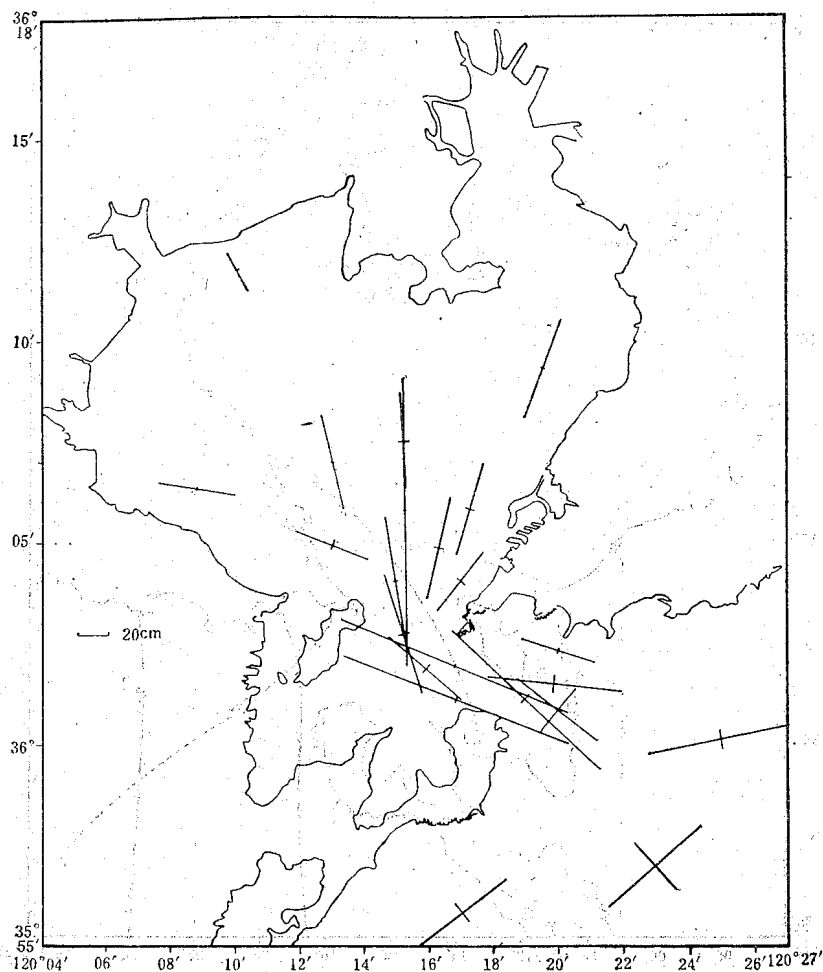
从表 7、8 看出， M_2 分潮波在胶州湾具有明显的驻波性质。

(3) K_1 全日潮波 为了分析胶州湾 K_1 全日分潮的性质，我们同样地把这四个区域的潮汐同潮时和最大潮流同潮流时作一比较(各个区域的数值由图 16 求得)。

表 9 可以说明，胶州湾的日潮潮汐基本上同时(23.5 小时)达到高潮或低潮，日潮流的最大潮流也有同时(5.2 小时左右)现象。由表 9 得知，胶州湾潮汐同潮时和最大潮流同潮流时差值为 6 小时左右，也就是说，在高潮后 6 小时或低潮后 6 小时涨潮流速和落潮流速达到最大值。这也充分说明胶州湾的 K_1 分潮波具有明显的驻波性质。

2. 主要分潮流的分布规律

(1) M_2 半日潮波 M_2 分潮流椭圆长轴的分布(见图 17)比较规则。其分布特点与

图17 M_2 分潮流椭圆长短轴分布图

地形有密切的关系。在胶州湾湾口外,椭圆长轴的方向与岸边平行,自东向西稍偏南;至湾口附近,椭圆长轴的方向自东向西指向胶州湾湾道,并与湾道平行,经黄岛转折向北,流入海湾。在海湾中央部分,椭圆长轴为正南-正北方向;海湾东面,椭圆长轴与海岸平行,成西南-东北方向;海湾西面,长轴为西北-东南方向。

M_2 分潮流椭圆率分布是有规律的,从图 18 可以看出,在胶州湾的大部分区域为左旋,这是潮波干涉的结果;仅海湾东部为右旋,这可能因为此处水深较深。从图 19 看出, M_2 分潮流最大潮流几乎是同一时刻(1 小时左右)发生的,海湾东侧较西侧稍提前,相差约一个小时。

(2) K_1 全日潮流 K_1 分潮流的量值较 M_2 分潮流的量值明显减小,其分布规律不如 M_2 分潮流明显,但在图 20—22 中,基本上仍可以反映出 K_1 分潮流椭圆长轴的方向与地形有着密切的关系。椭圆长轴的方向,在湾口附近自东向西指向胶州湾,经黄岛后转折向北;在海湾中央部分为南北向;在海湾东西两侧平行于岸边。

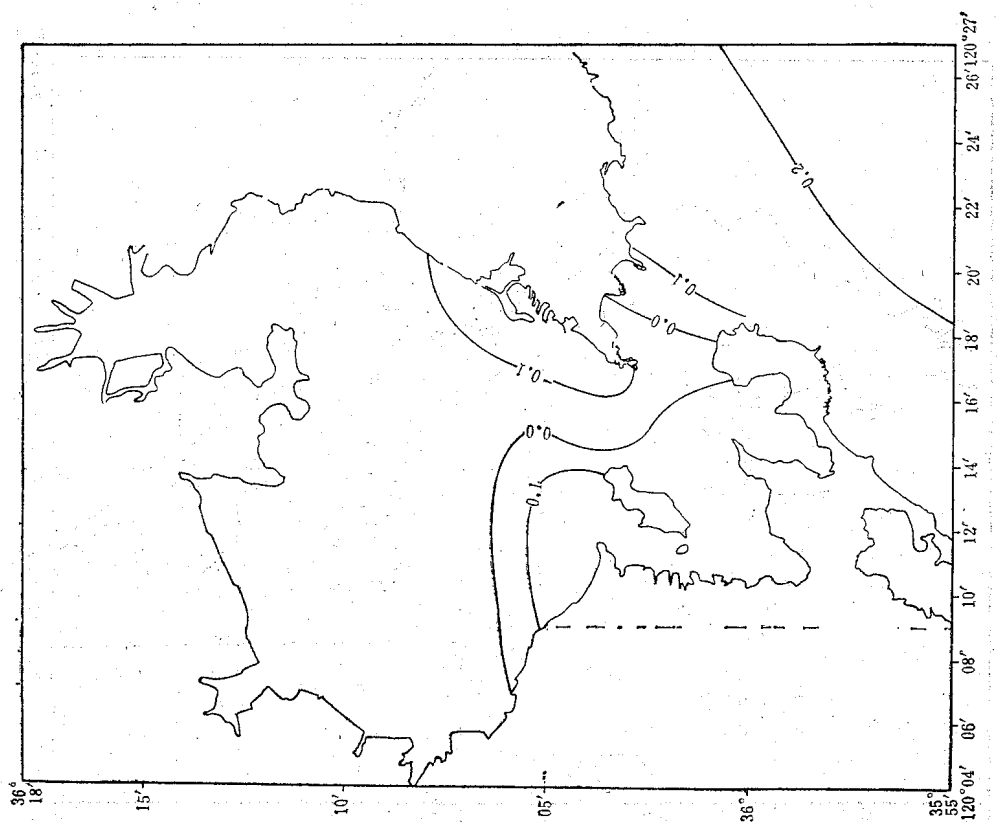


图 18 M_2 分潮椭圆率和流矢旋转方向分布图

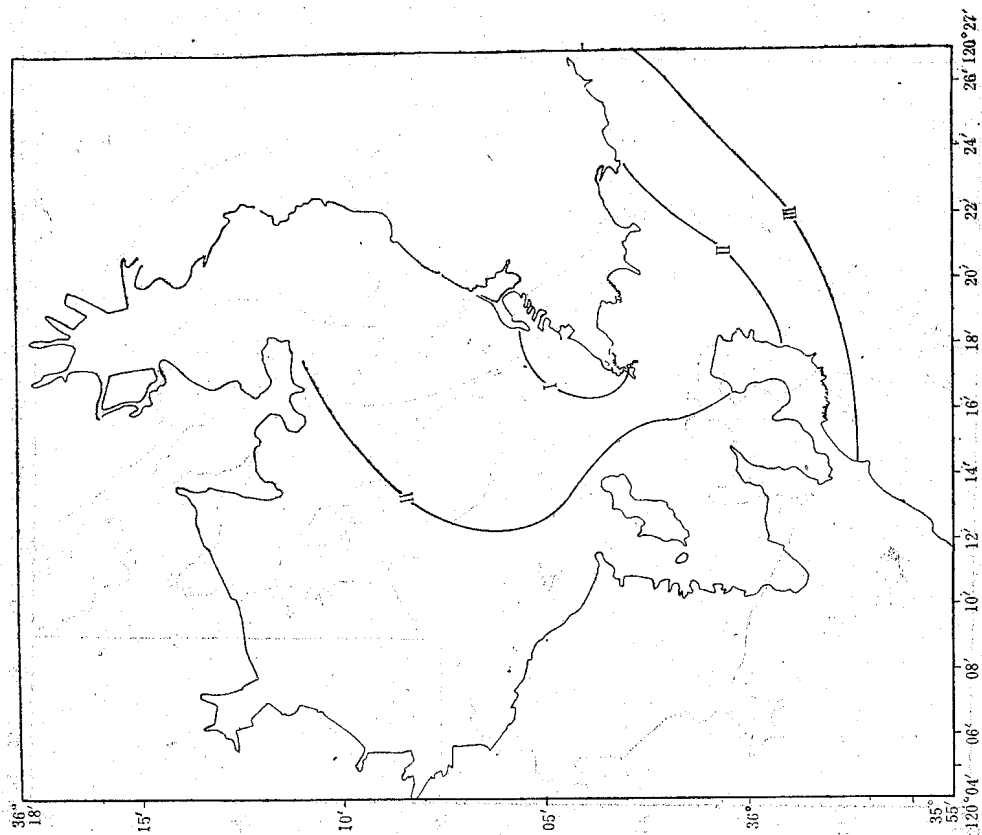
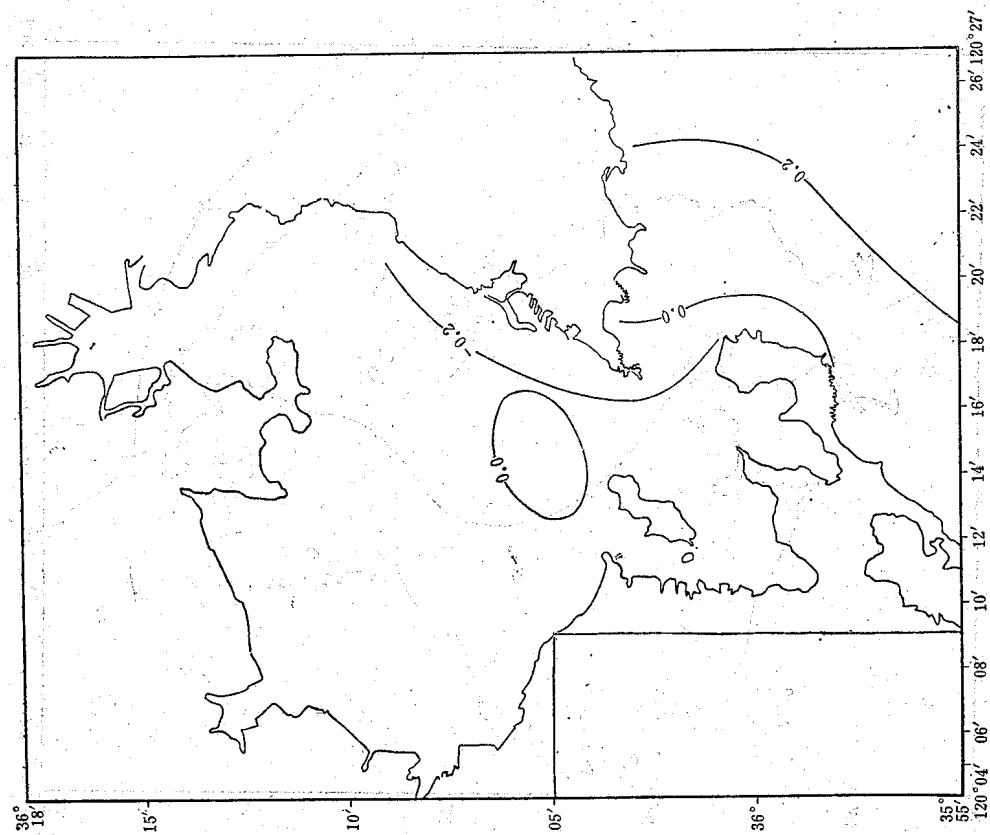
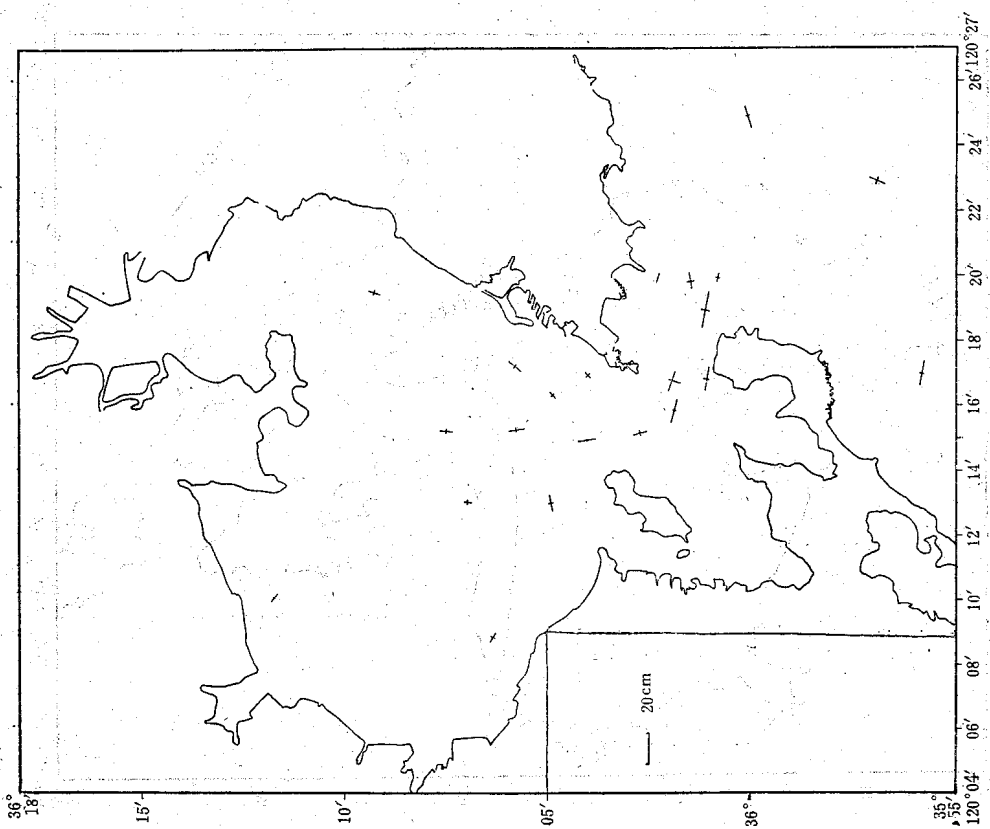


图 19 M_2 分潮最大潮流同时线图

图 21 K₁ 分潮椭圆率和流矢旋转方向分布图图 20 K₁ 分潮流椭圆长短轴分布图

胶州湾里 K_1 分潮的椭圆率很小, 平均值为 0, 即以往复流为主。最大潮流发生的时刻平均为 V 时左右, 并有从西侧向东侧逐渐推迟的趋势, 东西约相差两个小时。

3. 潮流的性质及其特点

(1) 潮流的性质 南黄海存在 M_2 和 K_1 潮波的无潮点, 形成南黄海的中央为不规则半日潮流, 其西部沿海一带为规则半日潮流。胶州湾处于南黄海 M_2 , K_1 分潮无潮点的西面, 整个海区的 $\frac{W_{K_1} + W_{O_1}}{W_{M_2}}$ 小于 0.5, 在 0.1—0.3 之间, 为正规的半日潮流。海湾中部平均值约为 0.17, 湾口附近平均值约为 0.29, 而海湾边缘地区数值更大一些, 一般在 0.40 左右。

(2) 涨潮流、落潮流特点 为了更好地了解胶州湾流场的空间结构, 我们计算了胶州湾及其附近二十三个站自表至底及各层平均值的半日潮流值。由此我们可清楚地看到,

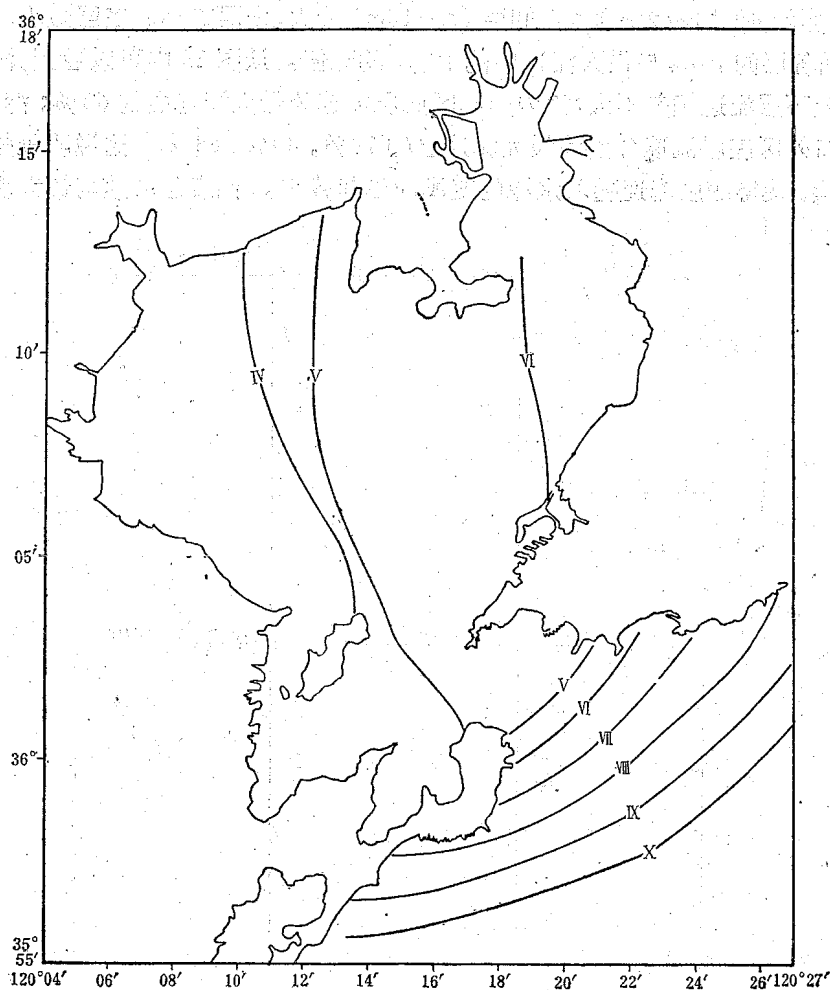


图 22 K_1 分潮最大潮流同时线图

胶州湾涨潮流速大,落潮流速小,涨潮时间短,落潮时间长。同时我们还计算了各站涨潮最大流速与落潮最大流速的差值,得到胶州湾各区域的平均差值,见表 10。从表中资料可以看到,湾口三角区的流速差值最大,湾口区次之;在胶州湾内,除湾底区外,其它各区域涨潮最大流速与落潮最大流速都比湾外区大,其平均差值湾内为 10.7cm/s,湾外为 7.0 cm/s。另外,从图15可明显看到,湾内落潮时一般比涨潮时长一个多小时。

表 10 涨潮最大流速与落潮最大流速的差值

区 域	湾 底 区	湾内中心区	湾口三角区	湾 口 区	湾 外 区
流速差值(cm/s)	5.5	10.4	13.5	11.0	7.0

(3) 潮流垂直分布的特点 我们以胶州湾各个区域的代表站(湾底区: A, A₁; 湾内中心区: B, C; 湾口三角区: D; 湾口区: E; 口外区: F) 的资料,分析胶州湾潮流各要素的垂直分布现象。

a. 分潮流的平均最大流速,中间层(5—10m)最大,表层略小,底层最小。我们统计了 M₂ 分潮各层的 $\frac{W_{\text{最大}}}{W_{\text{最大}}^*}$ 与最大流速层的 $\frac{W_{\text{最大}}}{W_{\text{最大}}^*}$ 的比值。从图 23 中可以看到,湾底区由于水深浅,上下层流速相差不大;湾内中心区底层流速为最大流速层的 65%;湾口三角区、湾口区、口外区底层流速分别为最大流速层的 70%, 80%, 88%。这说明胶州湾内由于海底的摩擦,使得底层流速随着水深的变浅而迅速减小。而表层流速与最大流速层的比

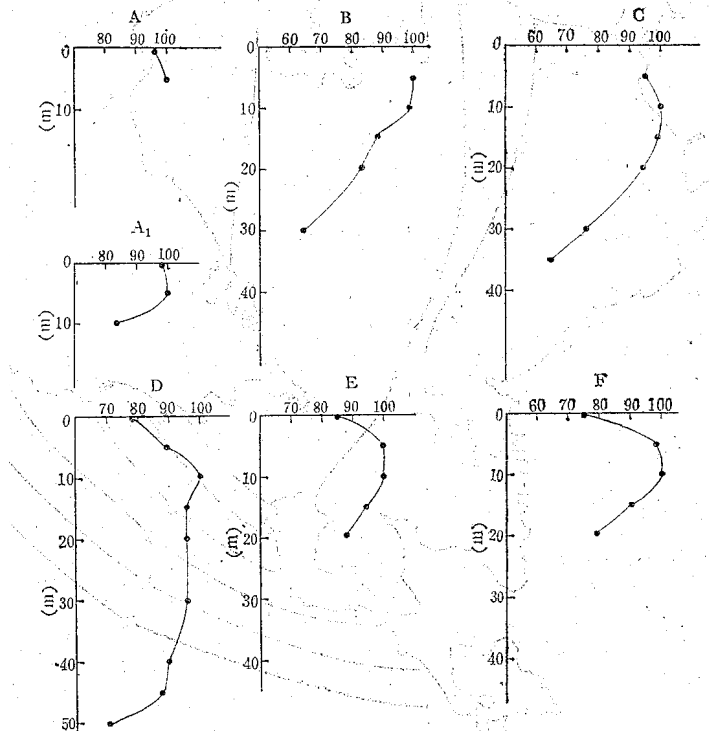


图 23a M₂ 分潮流 $\frac{W_{\text{最大}}}{W_{\text{最大}}^*}$ 之比值的垂直分布

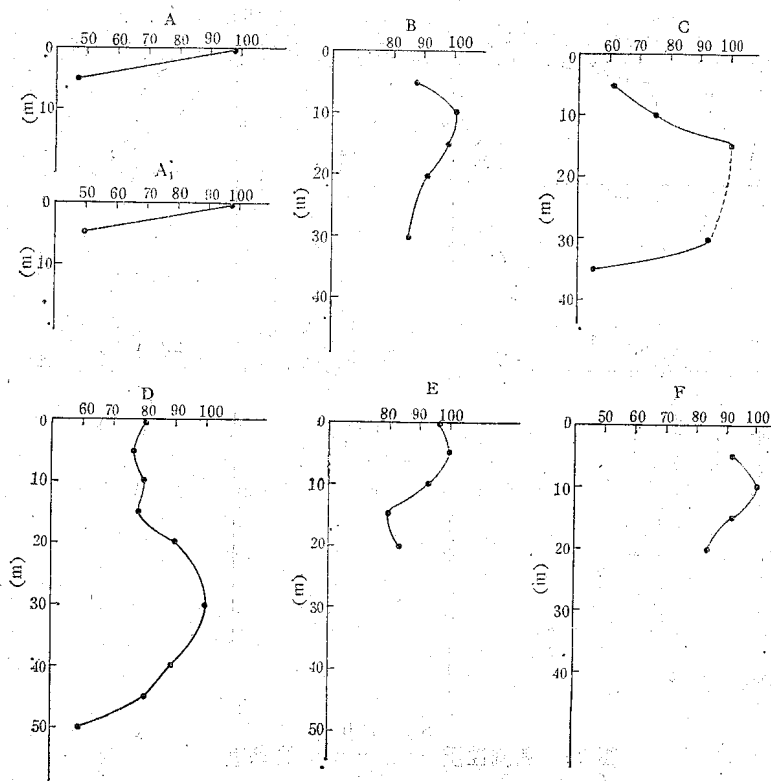


图 23b 日分潮流 $\frac{W_{K_1} + W_{O_1}}{W_{K_1}^* + W_{O_1}^*}$ 之比值的垂直分布

值,却有从湾外向湾内逐渐增大的趋势,从口外区到湾底区它们分别为 75%, 85%, 80%, 98%, 96%。

日潮流 $W_{\text{最大}}$ 的垂直变化情况与半日潮流相似,但其变化幅度更大,规律性不及半日潮流明显;但仍然可以看出,其最大流速 $W_{K_1} + W_{O_1}$ 的数值仍以 5m, 10m 层为最大,随深度的增加而逐渐减小。平均来说,底层流速为最大流速层的 66%,说明全日分潮流衰减得比半日分潮流更快,而表层流速比底层流速大,平均为最大流速层的 86%。

b. 潮流性质的垂直分布,我们以 $\frac{W_{K_1} + W_{O_1}}{W_{M_2}}$ 值的变化来说明。在图 24 中,

$$\frac{W_{K_1} + W_{O_1}}{W_{M_2}}$$

值的垂直变化不大,最大变幅不超过 0.20, 平均变幅为 0.13, 上下层基本均匀,略有随深度的增加而减小的趋势。

c. M_2 分潮流最大流速的到达时间,下层比上层略为早些,由图 25 可以看出,底层比表层平均提前约 0.2 小时。因胶州湾日潮流较小,最大流速的垂直分布曲线出现某些不规则现象,看不出明显的规律。

d. 在图 26 中可清楚看出, M_2 分潮流最大流速方向从表层到底层有偏左的现象,平

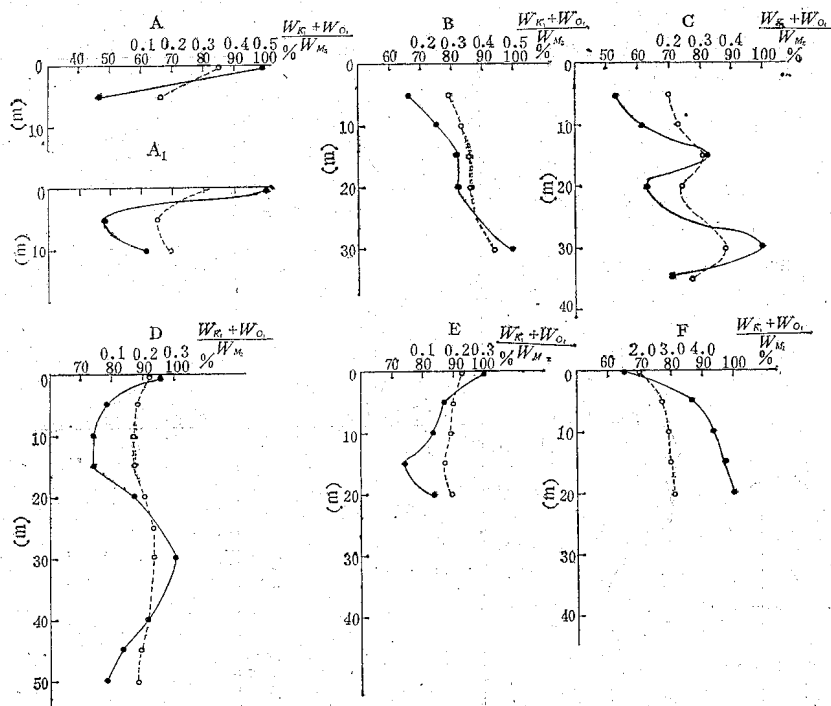


图 24 潮流性质 $\frac{W_{K_1} + W_{O_1}}{W_{M_2}}$ 的垂直分布

——各层 $\left(\frac{W_{K_1} + W_{O_1}}{W_{M_2}}\right)$ 与该站最大值 $\left(\frac{W_{K_1} + W_{O_1}}{W_{M_2}}\right)^*$ 之比; ---- $\frac{W_{K_1} + W_{O_1}}{W_{M_2}}$

均约偏左 7° ; 日潮流最大流速方向看不出明显的趋势, 偏左、偏右均有, 但变幅不大。

e. 对 M_2 分潮流的椭圆率 $W_{\text{最小}}/W_{\text{最大}}$ 的垂直分布情况, 我们统计了湾内及湾口共十九个站的数据, 其中有十三个站 M_2 分潮流的椭圆率随深度的增加而加大, 平均约增大了 0.13; 有三个站上下均匀; 只有三个站 M_2 分潮流的椭圆率随深度的增加而减小, 平均约减小了 0.08。这说明 M_2 分潮的椭圆率有随水深的增加而加大的特征。

以上潮流垂直分布的这些特征和方国洪 (1983)^[4] 的结论相当一致。

4. 余流的分布及特点

胶州湾属于近岸浅水海域, 平均水深在 10m 左右, 湾口附近深度较大, 一般在 30—40m 之间, 因而局部风情的变化能使本海域的表层余流时而偏北时而偏南。如 D 站, 在连续十五天的观测中, 流向有时向南有时向北; G 站在四天的观测中, 流向相差也很大。可见表层流是很不稳定的。

如果我们把表层余流与风的方向作一比较, 则可发现两者关系十分密切, 在偏南风时流矢大多向北, 偏北风时大多向南。同时我们还统计了胶州湾流偏角的出现率, 见表 11。在我们目前掌握的既有测流资料又有风的资料的胶州湾 48 次连续观测中, 流偏角在 $0-90^\circ$ 之间的有 17 次, 占 35.4%, 在 $0-90^\circ$ 之间的有 18 次, 占 37.5%, 合计流偏角在 $0-\pm 90^\circ$ 之间的次数达 72.9%。可见流向与风向尚比较一致。

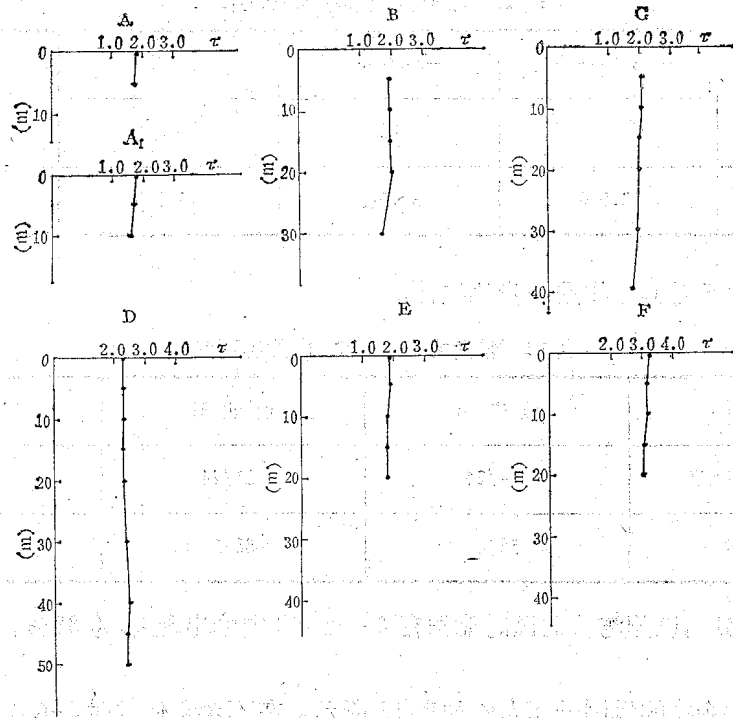
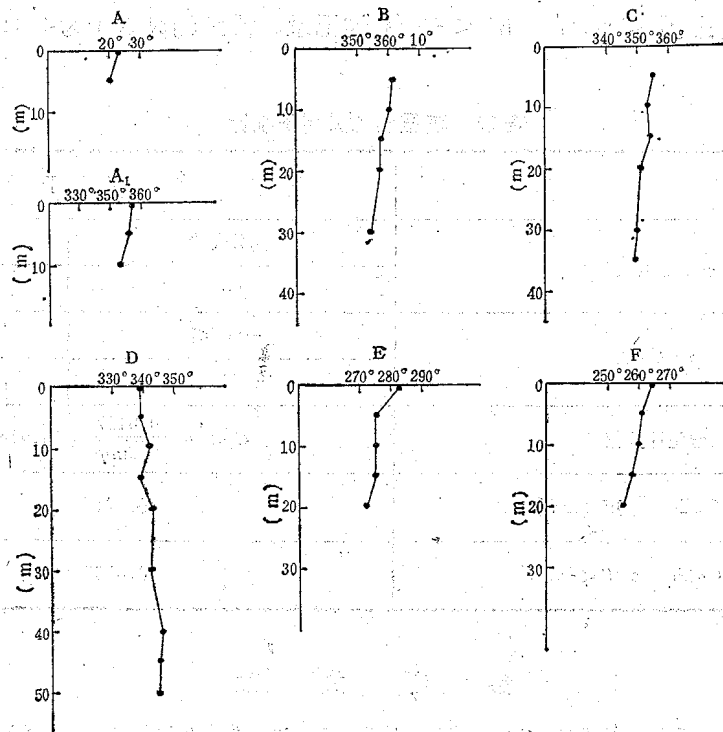
图 25 M_2 分潮流最大流速到达时间 τ 的垂直分布图 26 M_2 分潮流最大流速方向的垂直分布

表 11 表层余流偏角的出现率

余流偏角 ($\Delta\alpha$)	$-180^\circ-90^\circ$	$-90^\circ-0^\circ$	$0^\circ-90^\circ$	$90^\circ-180^\circ$
次 数	6	18	17	7
百分比	12.5%	37.5%	35.4%	14.6%

下面再按风系对偏角作进一步的统计。

表 12 偏角在 $0-\pm 90^\circ$ 内的出现率

风 向	偏 南 风	偏 北 风	合 计
出现次数/观测次数	14/24	21/24	35/48
所占百分数	58%	88%	73%

从表 12 可知, 胶州湾偏北风时偏角在 $0-\pm 90^\circ$ 内的出现率为 88%, 较偏南风时高。

胶州湾表层余流的风因子 C/W 如表 13 所示。在不考虑偏角时, 46 次观测, 余流风因子为 0.0351; 考虑偏角时, 34 次观测, 风因子为 0.0289。考虑到风速流速太小时 C/W 值的变动较大, 会影响统计结果, 故略去 $C < 2\text{cm/s}$, $W < 2\text{m/s}$ 的记录, 得到风因子为 0.0216。如果略去 $C < 4\text{cm/s}$, $W < 4\text{m/s}$ 的记录, 得到的风因子为 0.0157, 比较接近理论值。

表 13 表层余流风因子统计

	风 因 子	
	观测次数	平 均 值
不考虑偏角时	46	0.0351
考虑偏角时	$-90^\circ \leq$	$\Delta\alpha \leq 90^\circ$
	34	0.0289
理论计算值	$C/W = \frac{0.0127}{\sqrt{\sin\varphi}} = 0.0166$	
略去 $C < 2\text{cm/s}$ $W < 2\text{m/s}$	0.0216	
略去 $C < 4\text{cm/s}$ $W < 4\text{m/s}$	0.0157	

参 考 文 献

- [1] 王化桐、方欣华、匡国瑞、杨殿荣、陈时俊, 1980。胶州湾环流和污染扩散的数值模拟 I: 胶州湾潮流数值计算。山东海洋学院学报 10(1): 26—63。

- [2] 曹德明, 1984. 胶州湾潮汐潮流的数值计算. 海洋科学集刊 21: 157—164.
[3] 丁文兰, 1984. 东海潮汐和潮流特征的研究. 海洋科学集刊 21: 135—148.
[4] Guohong Fang, Takashi Ichiye, 1983. On the vertical structure of tidal currents in a homogeneous sea. *Geophys. J. R. astr. Soc.* (1983) 73:65—82.

THE TIDES AND TIDAL CURRENTS IN THE JIAOZHOU BAY*

Ding Wenlan

(*Institute of Oceanology, Academia Sinica*)

ABSTRACT

In this paper, the characteristics of the tides and tidal currents in the Jiaozhou Bay have been analysed on the basis of the data observed. The tide of Jiaozhou Bay is of semidiurnal type. The low water inequality is more remarkable than the high water inequality. From the mouth of the Bay to its closed end, the tidal range and high water level increase gradually, whereas the low water level decreases. Correspondingly, the duration of the raising tide decreases and that of the falling tide increases, whereas the intervals of the high and low waters increase gradually.

The monthly mean high and low waters and the monthly mean sea level have remarkable seasonal changes. The highest values appear in August and the lowest in January. The monthly mean tidal range also varies seasonally and has two maximum values and two minimum values in one year. The maximum values appear in March and September and the minimum values appear in June and December. The yearly mean high tide level, low tide level and tidal range vary with a period consistent with that of moon's orbit intersect. The variation of yearly mean sea level at Shajiaodi has a positive correlation with the yearly mean discharge of the Nanjiaolai River. The tidal range in July and August has a negative correlation with the discharge.

The tidal wave propagates from Dagongdao located outside of the Jiaozhou Bay to Dongyangzu within about half an hour. The slack current occurs at about the time of high water, and the speed of the tidal current is largest when the tide is on its mean level. Therefore, the tidal wave is remarkably of the characteristic of a stationary wave. In addition, the tides and tidal currents in the Bay show following characteristics: the speed of the flood is greater than that of the ebb and the duration of the flood is shorter than that of the ebb.

* Contribution No. 1079 from the Institute of Oceanology, Academia Sinica.