

渤海及北黄海潮流场的基本特征

修日晨 李繁华 孔祥德

(国家海洋局第一海洋研究所, 青岛)

关键词 I型流场, II型流场, 潮急流, 引潮天体

提要 文中根据潮流场永久预报方法所提供的渤海、北黄海的I型和II型潮流场永久预报图, 分析讨论了本海区潮流场的基本特征。文中对本海区半日潮、全日潮同时存在时的混合流场的基本特征进行了较详细的分析讨论。观测资料业已表明, 在本海区的强流区中, 易发生流速高达5kn以上、持续时间仅为几分钟或十几分钟这样短暂的潮急流。

关于渤海和北黄海区潮流的一般特征, 已有不少作者进行了分析讨论。这些分析讨论皆是仅以某一半日分潮, 通常是以 M_2 分潮来代表其整体的半日潮流。不言而喻, 某一分潮流与海区中实际存在的半日分潮流的整体之间必有较大的差别。通常是以某一全日分潮 O_1 分潮或 K_1 分潮来代表其整体的全日分潮流^[1]。但是, 由于传统的方法尚不能把半日分潮和全日分潮有机地合并在一起, 所以对本海区全日分潮和半日分潮共同存在时的混合流场的运动特征, 就无法进行具体的分析讨论。

文献[2]已提供出一种潮流场的永久预报方法。根据该方法, 绘制了渤海、北黄海区I型和II型两种流场的永久预报图。按照一定的天文条件, 该流场图就能够准确地预报出本海区内任一地点, 任一时刻的流速及流向值, 故可以准确地表示出本海区任一时刻的潮流场的运动特征。在I型流场期间, 流场的周日不等最弱, 此时其半日分潮占绝对优势而全日分潮最弱, 因此, I型流场所表示的正是半日潮型的潮流场的运动特征。在II型流场期间, 流场的周日不等最为强烈, 因此, II型流场所表示的正是全日分潮充分强盛时的一种混合型的潮流场运动特征。这是两种典型的潮流场, 其他的流场, 则是属于在这两种流场之间相互转化的过渡性流场。因此, 对于渤海、北黄海潮流场的基本特征的认识, 只需对其I型、II型流场的运动特征进行分析讨论即可。本文以I型、II型流场永久预报图为依据, 分析讨论本海区潮流场的基本特征。

需指出, 文中所说的时、日, 既不是太阳时、太阳日, 也不是太阴时、太阴日, 而是引潮时、引潮日。中天时刻也不是月中天, 而是引潮天体(太阳和月球的合成体)的中天时刻, 而且, 引潮时、引潮日并非常量。详见文献[2]。

一、半日潮型的流场基本特征

由于渤海和北黄海地形特点的差异以及地理位置的不同, 两者流场的特征也就不同。

由I型流场分布图可知¹⁾, 在北黄海的全面涨潮期间, 整个海区皆为涨潮流, 在此期间的渤海

1) 因受篇幅所限, I型流场图未给出, 可参阅图1。

和南黄海则为落潮。也就是说,北黄海的水位之所以能够全面上升,是因为大量的海水由南黄海、渤海流入的结果,其中大量的海水来自南黄海。南黄海的水越过成山头—白翎岛断面之后,大部分涌向鸭绿江口及西朝鲜湾,一小部分绕过成山头进入北黄海中部。与此同时,渤海的海水则穿过渤海海峡由西面进入北黄海,其中仅一小部分沿辽东半岛南岸涌向鸭绿江口,大部分海水则流向北黄海中部,从而在烟台和威海以北的区域形成海水的辐合。在北黄海,鸭绿江口的庙沟最早达到高潮,在中天前 3 时即发生高潮;小长山岛和朝鲜的南浦次之,在庙沟发生高潮 1h 之后才分别出现高潮;旅顺、蓬莱、烟台、威海的高潮时相差不多,皆出现在中天前 1—2 时之间;成山头的高潮发生最晚,在中天后 20min 才出现高潮。总之,北黄海的北岸先出现高潮,而且其北岸的潮差也较南岸大,其最大潮差出现在鸭绿江口及西朝鲜湾。可以推测,在烟台、威海北部的潮流辐合(散)区,其潮差将较大,但至今尚无实测资料予以验证。

与此同时,渤海的情况较为复杂。此时渤海湾与辽东湾为落潮,莱州湾为涨潮,秦皇岛与滦河口一带也是涨潮。龙口的高潮时较蓬莱迟近 1h,而秦皇岛的高潮时最迟,在中天后 2 时才发生高潮。很显然,秦皇岛与滦河口一带之所以为涨潮,是由于渤海湾与辽东湾的落潮流的汇集作用所致,亦可推知,在此两海湾落潮流的汇合区域,其潮差亦将显著些。

在北黄海的落潮期间,其大部分海水又返回南黄海,一小部分海水则通过渤海海峡又返回渤海。在此期间,渤海的情况也较复杂,其渤海湾、辽东湾为涨潮,而莱州湾及秦皇岛和滦河口一带则皆为落潮。

在 I 型流场期间,此时引潮天体位于赤道及其附近,其引潮力场的周日不等最弱。因此,在 I 型流场期间,渤海和北黄海区任一点的潮流皆呈现为正规的半日潮型,其所有的港口,包括渤海的全日潮港秦皇岛在内,亦表现为正规的半日潮型,即一天之内两次高潮和两次低潮。

二、混合潮型时流场的基本特征

在 II 型流场期间,引潮天体远离赤道区,引潮力场出现了强烈的周日不等。因此,在 II 型流场期间,海区内的潮流、潮位场也必然出现强烈的周日不等。但是,把渤海和北黄海区的 II 型流场图与其 I 型流场图比较之后则发现,除个别区域外,流场分布形势两者并无重大的区别。整体而言,在 II 型流场期间,渤海区的潮流、潮位周日不等较北黄海更为强烈,且在秦皇岛和滦河口区域为正规的全日潮。需指出,就渤海和北黄海区而言,不仅其周日不等的强烈程度因地而异,而且其周日不等的表现形式也各不相同。

在北黄海,除渤海海峡外,其潮流的周日不等皆不很强烈,故其潮位场的周日不等也不很强烈。在北黄海的北部沿岸,其潮位的周日不等表现为两次高潮高的不等,如鸭绿江口的庙沟和小长山以及西朝鲜湾的南浦,其两次高潮高的差别最大,但其两次低潮高的差别就很小。在北黄海的南部海岸区,其周日不等现象主要表现在低潮高的周日不等,其高潮高的周日不等并不明显,如烟台、威海以及成山头皆如此。这是因为在成山头附近,该区域在下中天期间的落潮流反而较其上中天期间的涨潮流更强,从而使北黄海南部沿岸诸港出现了强烈的低低潮。

渤海区的周日不等现象较北黄海复杂。首先,由于渤海海峡区的潮流出现了最为强烈的周日不等,因此渤海区的周日不等要较北黄海强烈。在上中天的前后,渤海海峡出现强大的西向流,这次西向流不仅其流速最大,而且其所持续的时间也最长。如,在老铁山水道,此时其西向流可持续长达 8h 以上。这样,在此期间有大量的海水涌入渤海湾和辽东湾,且以辽东湾为最多,故在辽东湾的葫芦岛、营口出现了强烈的高高潮,秦皇岛和滦河口区也一直处于涨潮之中,而渤海湾的塘沽港

的高高潮就不如辽东湾诸港那样强烈。在其后的落潮流期间,渤海海峡东向流的流速不仅较其西向流小得多(在老铁山水道和登州水道其流速要减小 1kn 以上),其持续时间也短,因此,仅有一部分海水通过该海峡又返回北黄海,其相当多的海水涌入了莱州湾,因而莱州湾的龙口港出现了强烈的高高潮。在下中天的前后,渤海海峡西向流的流速远小于其上中天期间的西向流流速,其持续时间也较前次短得多。如,此时老铁山水道西向流的流速尚不到上中天期间西向流流速的 1/3,其持续时间也仅有 1h 左右。因此,此时渤海湾、辽东湾水位的升高主要是依靠莱州湾水位的降低,其次是渤海海峡的西向流以及秦皇岛和滦河口一带水位的降低。所以此次渤海湾和辽东湾的涨潮流皆较前次弱,渤海湾和辽东湾诸港皆出现低高潮,而秦皇岛和滦河口区则一直为落潮,变为正规的全日潮。随之而来的落潮流,渤海湾与辽东湾略有不同。辽东湾的落潮流较前一次弱,一般要减小 0.1—0.2kn,因而葫芦岛、营口诸港的低潮高的不等并不显著。渤海湾则不然,这次的落潮流反而较前次的落潮流强,其流速一般要增加 0.2—0.4kn,故塘沽港就出现了强烈的低低潮,这就是渤海湾低潮高的周日不等最为强烈的原因所在。此时,莱州湾的涨潮流较前次涨潮流弱,因而龙口港出现低高潮。与此同时,渤海海峡的东向流也较前次东向流强,一般可增加 0.5kn 左右。这样,就使得渤海区整个水位普遍较前次低。

总之,由渤海、北黄海区 II 型潮流(位)场分布图可知,当引潮天体偏离赤道区时,引潮力场出现了显著的周日不等时,海洋中的潮流(位)场也随之发生强烈的周日不等。但是,不同海区、不同区域不仅其周日不等的强烈程度不同,而且其周日不等的表现形式也不相同。就渤海和北黄海而言,对其周日不等的具体表现,传统的经典理论是很难予以解释的,这也是理论工作者应该予以重视的研究课题。

三、分析与讨论

实践结果表明,本方法^[2]所绘制的 I 型潮流场永久预报图,能够准确地把渤海、北黄海区的半日潮型的潮运动特征展现在我们面前,其 II 型潮流场永久预报图,则能够准确地把渤海、北黄海区的半日潮与显著的全日潮共同存在时的混合潮型的潮运动特征展现在我们面前,特别是 II 型潮流场永久预报图,首次把该海区混合潮型的潮运动特征展现在我们面前。现在,本文将依据 I 型、II 型潮流场永久预报图,分析讨论其潮运动特征。因受篇幅所限,本文仅给出 II 型中的有代表性的 8 幅图,如图 1 所示。

1. 实际情况表明,即使在很正规的半日潮型的流场中,也存在着较明显的周日不等现象,本文认为其产生的原因有两个方面:其一从引潮力势展开式中的高阶项得知,其中始终存在着全日分潮项。这表明,引潮力场中的周日不等现象是始终存在着的,这样,在潮流场中也必然要出现相应的周日不等。其二,摩擦力的消耗作用也必然使得潮流场出现周日不等现象,如,以渤海为例,若以 S 为渤海海峡的截面积, V_1 为其涨潮流的平均流速, T_1 为涨潮流所持续的时间, E_1 为输入到渤海的动能, V_2 为落潮流的平均流速, T_2 为落潮流所持续的时间, E_2 为其输出的动能,那末,在半周日内,由于质量守恒原理,则有

$$\rho S T_1 V_1 = \rho S T_2 V_2$$

式中, ρ 为海水密度。由此可得 $V_1 T_1 = V_2 T_2$, 以及

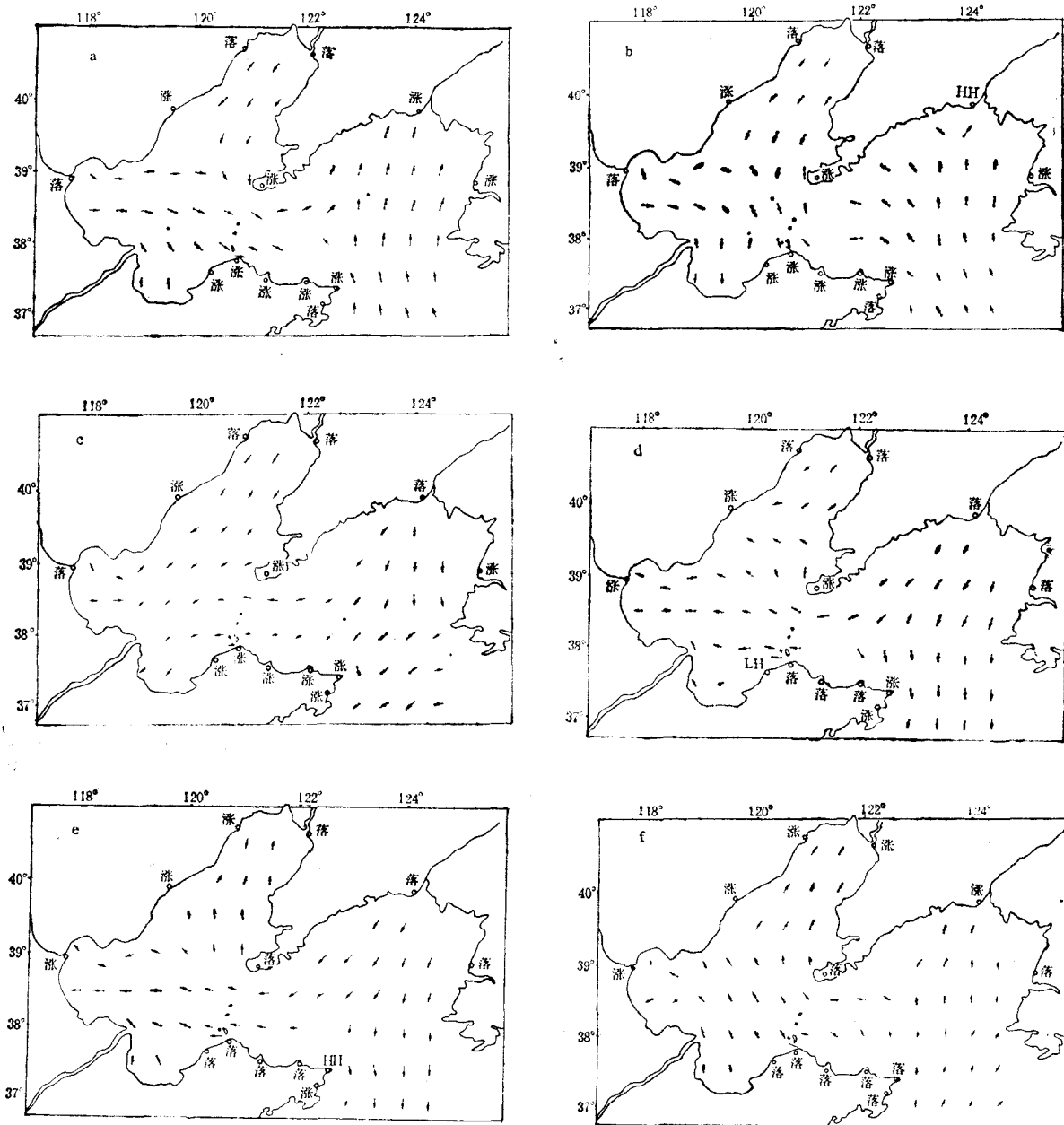
$$E_1 = \frac{1}{2} \rho S V_1 T_1 V_1^2, \quad E_2 = \frac{1}{2} \rho S V_2 T_2 V_2^2$$

当海水进入渤海经过一个潮运动过程之后再由海峡返回时,由于摩擦力的消耗作用必然要损失相

当多的能量。因此

$$E_1 > E_2, \text{ 即 } T_1 V_1^3 > T_2 V_2^3$$

这样,如果 $V_1 = V_2$, 必然是 $T_1 > T_2$; 如果 $T_1 = T_2$, 则又必然是 $V_1 > V_2$, 而这又与质量守恒原理相矛盾,因此,其结果必然是 $V_1 \neq V_2, T_1 \neq T_2$ 。也就是说,仅仅由于摩擦力的消耗作用,也将使得半日潮型的流场出现了日不等现象。由此可知,现实海洋中决不会存在没有日不等现象的半日潮型的潮流场。因此,对于渤海和北黄海区,其 I 型流场永久预报图是 24 幅流场图,进行的也是周日预报。而且实践结果表明,若仅进行 12h 的预报,必然会出现较大的误差。



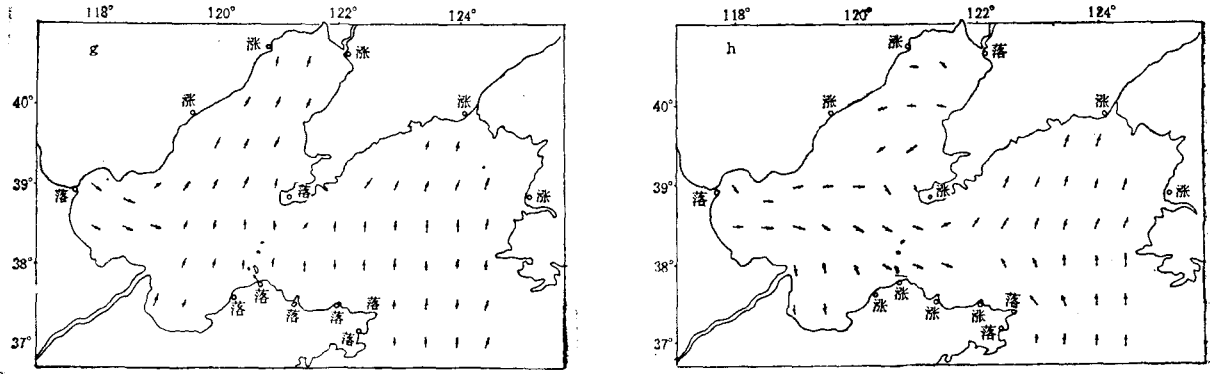


图 1 II 型流场分布图

a. 上中天前 5 时; b. 上中天前 3 时; c. 上中天前 2 时; d. 上中天前 1 时;
e. 上中天时; f. 上中天后 4 时; g. 上中天后 5 时; h. 上中天后 6 时

Fig. 1 The scheme map of the current field of the type II

2. 实践表明,在 I 型、II 型两种流场中, I 型流场不够稳定,持续时间最短。根据定义, I 型流场应是引潮天体位于赤道及其附近的时刻。但在进行预报时,我们根据实际情况把 I 型流场的范围尽可能地予以扩大,引潮力的日差值 ΔF 属于 $0 \leq \Delta F < 10.0 \mu\text{Gal}$ 的范围内,皆归属于 I 型流场。即使如此,在一年中 I 型流场出现时间最长的季节——春秋的朔望期间,在每半个回归月里其 I 型流场每次最多也仅能出现 3—4d,当然,此时的 I 型流场也最强。而在夏冬季节的上下弦期间里, I 型流场出现的时间最短,有时每次仅出现 1d,当然,此时的 I 型流场也最弱。由此可见,即使能够准确地提供出某海区的半日型潮流场永久预报图,其实用价值也是非常有限的。

II 型流场则不然。尽管我们把 $\Delta F > 70.0 \mu\text{Gal}$ 归属于 II 型流场,但 II 型流场不仅出现的时间长,而且其流场也很稳定。如,在每年的春秋季节的上下弦期间,此时 II 型流场出现的时间最短,但其每次也都有 3—4d。而在夏冬季节的朔望期间,此时不仅 II 型流场为最强,其所持续的时间也最长,每次可持续 7—8d。

当引潮天体穿越赤道时,引潮力场随之进行相应的转换与调整,出现了不稳定性,因此, I 型流场也必然随之出现了不稳定性。II 型流场则不然,由于其引潮力场一直是处于稳定状态,故 II 型流场也就一直处于稳定状态。由此可知,半日潮流场永久预报图的预报效果之所以较差,其流场本身的不稳定性也是其主要原因之一。

3. 如上所述,在 II 型流场期间,潮流场与潮位场皆出现了强烈的周日不等现象。就海区而言,渤海区的周日不等现象要较北黄海强烈得多。但其周日不等现象的表现形式而言,不同区域其表现形式也不相同。如,在北黄海的北部区域、渤海的辽东湾及莱州湾,其潮位的周日不等主要是表现为高潮高的周日不等;而在北黄海的南部及渤海湾,则主要表现为低潮高的周日不等;秦皇岛与滦河口的区域则表现在由 I 型流场期间的正规半日潮型转变为 II 型流场期间的正规全日潮型。潮位场的这种变化特点,则是由于潮流场的周日不等的变化特点所致。如, II 型流场期间,北黄海南部的成山头附近海区出现了落潮流大于涨潮流这一特别现象,故烟台、威海及成山头诸港就必然随之出现强烈的低低潮。渤海湾也是如此,其第二次高潮高较第一次高潮高低些,但随之而来的第二次的落潮流反较第一次落潮流强,这样,就必然使之出现强烈的低低潮。秦皇岛与滦河口区之所以能够出现全日潮,则完全取决于渤海海峡区潮流的周日不等。在 II 型流场期间,渤

海海峡的西向流出现了非常强烈的周日不等,其第一次西向流不仅流速最强,且持续时间也最长,故在这整个上中天期间秦皇岛和滦河口区皆处涨潮之中;而在下中天期间,渤海海峡的第二次西向流不仅流速弱,而且其持续时间也最短,而此时其东向流反而较第一次东向流强,在这种情况下,必然使得秦皇岛及滦河口区的水位一直处于下降状态,出现了一天一次高潮和一次低潮。

4. 在渤海和北黄海区,最强的强流区位于渤海海峡,其中以老铁山水道最甚,可高达 4kn 以上,其近岸区甚至可高达 6kn 。登州水道次之,可达 3kn 以上。成山头近海为第二个强流区,可达 2.5kn 以上。此外,在辽东湾的东侧,渤海湾的北侧和南侧,其最大流速亦可达 2kn 以上。另外,观测资料还一再表明,在上述强流区有时会出现一种潮急流,其流速可高达 5kn 以上,但其持续的时间仅有几分钟或十几分钟。尚需指出,本海区的观测资料表明,其最大流速总是发生在 II 型流场期间,对于这些强流区的产生(如图 2 所示),如果仅以无潮点为由进行解释,本文认为这很难自圆其说。从流场分布图可以看出,强流区总是位于那些易于形成潮能强烈集中的区域,对此,文献 [3] 曾在理论上进行了分析讨论。

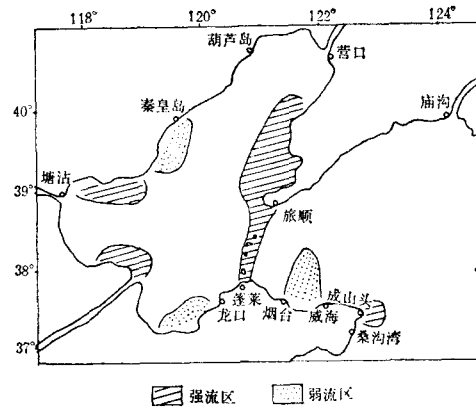


图 2 渤海、北黄海的强弱流区的地理分布

Fig. 2 The distribution map of the strong flow and the weak flow in Bohai Sea and North Yellow Sea

由图 2 还可知,弱流区分别位于烟台、威海附近,莱州湾东南部,以及秦皇岛和滦河口一带。莱州湾东南部不仅流速弱,且其潮差亦很小。其他两个弱流区,则皆是位于流场的辐合、辐散区,故此处流速虽然很弱,但其潮差却未必很小,可能较其周围区域更大些,但对此也不应简单地视之为“波腹”,因为从流场分布形势可知,其流速矢量分布并不具备明显的“驻波”的那些特征。

5. 如上所述,渤海和北黄海区依据各自的地形特点和所处的地理位置的差异,形成了相互联系又彼此不同的各自独立的潮振动系统。虽然这些潮振动系统所需要的能量是来自太平洋的潮能输入,但决不能由此而认为太平洋潮波可以“越过南黄海、绕过山东半岛而直接进入渤海”。实际上,北黄海和渤海的潮振动系统而言,太平洋的潮能只能是间接地输入。

另外,渤海和北黄海潮流(位)场的运动特征还表明,科氏力的作用是不明显的。如图 1 所示,在北黄海的涨潮期间,来自南黄海的海水穿越成山头—白翎岛断面后,其中一部分海水绕过成山头进入北黄海中部,大部分海水则涌向鸭绿江口和西朝鲜湾,而且,鸭绿江口的庙沟最早发生高潮,其西部的小长山则次之,其高潮时较庙沟晚约 0.7h ,而其东南部的南浦港的高潮时则较庙沟晚约 0.8h ,此外,观测资料一再表明,渤海、北黄海区潮流的旋转方向不仅因地而异,而且有时同

一测点、不同层次的旋转方向也不相同,甚至同一地点在不同时间其旋转方向也不相同^[4]。另外,在任何一个独立的潮振动系统中,理论上也不难证明,其中必然拥有两种波动:一是驻波,二是行进波^[5]。旋转潮波是属于驻波的范畴。由此可见,从理论上讲,仅用旋转潮波系统来描述本海区的潮振动系统也是不全面的。

总之,渤海和北黄海两种典型的潮流(位)场的运动特征表明,有若干潮汐现象需要在理论上深入研究。如,在 II 型流场期间,渤海海峡的潮流出现了强烈的周日不等,其中老铁山水道竟出现一日一次西向流、两次东向流,但蓬莱和旅顺港的潮位仍然为半日潮型,且其潮位的周日不等并不很强烈。又如,在 II 型流场期间,辽东湾的潮流场依然为半日潮型,其潮流的周日不等现象也不很强烈,但在秦皇岛和滦河口一带,其潮位则由 I 型流场期间的正规半日潮型转变为正规的全日潮型。如此等等,在理论上皆需深入地进行研究之。

参 考 文 献

- [1] 陈宗镛, 1980。潮汐学。科学出版社。
- [2] 修日晨, 1987。潮流场永久预报方法及应用。山东海洋学院学报 17(3): 23—29。
- [3] 修日晨, 1983。潮波在截面积变化水域中传播的探讨。海洋学报 5(6): 687—693。
- [4] 修日晨, 1984。关于陆架海区潮流运动方向旋转的研究。海洋湖沼通报 (4): 8—17。
- [5] 修日晨, 1983。关于协振潮的共振问题。海洋湖沼通报 (2): 16—18。

THE BASIC CHARACTERISTIC OF TIDAL FLOW FIELD IN BOHAI SEA AND NORTH HUANGHAI SEA

Xiu Richen, Li Fanhua and Kong Xiangde
(First Institute of Oceanography, SOA, Qingdao)

Key Words: Current field type I, Current field type II, Tidal race, gravitational heavenly bodies

Abstract

The basic characteristic of the two kinds of typical flow fields, type I and type II, in Bohai Sea and North Huanghai Sea is discussed in this article. Under the astronomical conditions of the current field type I, the diurnal inequality of tide generating force field is very weak, so the diurnal inequality of the tidal flow field is also very weak, and the tide in every tidal harbours including Qinhuangdao which is known as the diurnal tidal harbour is presented with a standard semidiurnal tide. Under the astronomical conditions of the current field type II, the diurnal inequality of tide generating force field is very strong, so the diurnal inequality of the tidal flow field and that of tidal amplitude are also very strong, and the tide in the Qinhuangdao is presented with a standard diurnal tide but the behavior of the diurnal inequality in the other harbours differs from each other. For example, the diurnal inequality is presented as a higher high water, in Huludao, Yingkou, Longkou, Miaogou, Xiaochangshan and Nanpu, and a lower low water in Tianjin, Yantai and Weihai. It is evident that the basic characteristic of the tidal flow field and the tidal level field is as a result of topographic feature, not that of the effect of Coriolis force. The tidal race with a speed of over 5 knots in a few minutes always occurs in these regions where tidal energy is rapidly concentrated.