

# 海水的潮汐现象

天津师范学院地理系 方雅娟

到过海边的人，在看见海水时涨时落的潮汐现象时，总会提出一连串的问题。比如，海水为什么会有涨落现象？海水时涨时落，光是白天发生，还是黑夜也有呢？这种涨落现象是不是有一定的规律？又是谁来主宰这个规律？

为了解答这些问题，我们祖先很早以前，就对这个自然现象发生了浓厚的兴趣。根据文字记载，早在东汉时期，王充在《论衡》一书中提到“涛之起也，随月盛衰，小大满损不齐同”。唐朝卢肇著有《海潮赋》，也认为“乃知日激水而潮生，月离日而潮大”。他们都注意了海潮是日、月球对海水的作用，使海水面的形状发生盈缩而造成的。

在外国也有过各种的想法。例如，古希腊哲学家柏拉图猜想，地球的地下岩穴中发生振动，好象人的心脏跳动一样，由此而形成的地球的呼吸，就是潮汐。

人们对潮汐现象的认识，随着对天体运动的研究而逐步深化。在十六世纪初，波兰天文学家哥白尼提出了地球和其它行星都是围绕太阳运动的“日心学说”。一百年后，德国天文学家开普勒在前人研究的基础上，于1609—1619年总结出行星围绕太阳运动的三大定律，即开普勒三大定律。直到十七世纪末（1685年），英国的牛顿利用当时的力学发展成果，对开普勒三大定律作了深入分析研究，正式提出了万有引力定律之后，对潮汐的科学解释才得到了初步解决。

力，是天体引潮力。太阳是离地球最近的一颗恒星，而月球又是离地球最近的天然卫星，月球、太阳与地球的关系最为密切。据计算：月球最大引潮力比太阳大2.17倍；月球和太阳产生的最大引潮力，可使海面升高达78厘米左右，其中53.4厘米为月球所作用，太阳作用为24.7厘米。可见，地球上潮汐主要是由月球引潮力所产生的，其次是太阳引潮力。

天体引潮力是什么样的力？它对海水作用的大小、方向和作用点又是如何呢？

到目前为止，研究天体运动的引力理论仍然是采用大家所熟悉的万有引力定律。牛顿在前人积累的丰富知识的基础上，通过大量的实践，发现天体之间是互相吸引的，“引力的大小与两个质点的质量乘积成正比，并与它们之间距离的平方成反比”。地球上大海之水处处受有日、月等天体引力的作用，所受引力的大小是正比例于两天体质量之乘积，反比例于两天体间的距离平方。以月球引力为例，地球上单位质量水体所受到的月球引力为： $F_{月} = K \frac{m}{R^2}$ ，即地球上任何一处单位质量海水所受月球引力（ $F_{月}$ ）的大小，与月球的质量（ $m$ ）成正比，并与该水体至月球的距离平方（ $R^2$ ）成反比。K是引力常数。由此可知，地球上各处的海水所受到月球

引力的作用，则因距月心的远近而不等。离月心

引起海水产生潮汐的外



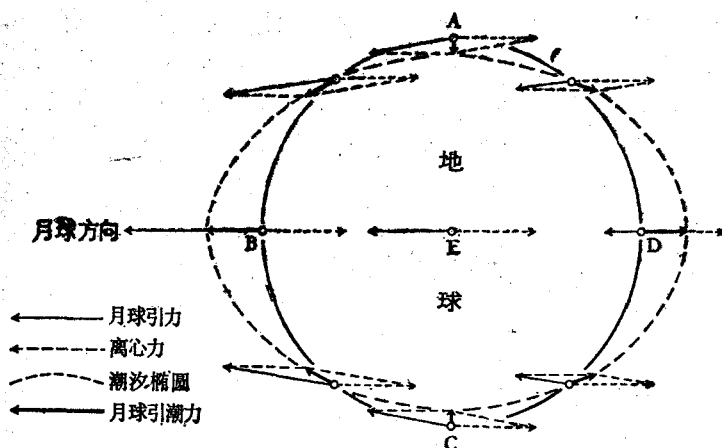


图1 月球引潮力和潮汐椭圆

近者受到的引力大，离月心远者受到的引力小。如图1所示：在月球的直射点（B）受到内引力最大，地心（E）点次之，A、C点再次之，对蹠点（D）受到的引力最小。各处所受月球引力的方向均为指向月球中心。

这里应当指出：月球对地球的引力，并不是月球的引潮力，它只是月球引潮力的一个分力。而月球引潮力的另一个分力是地球月运动所产生的惯性离心力。

众所周知，地球运动有绕地轴的自转运动和绕太阳的公转运动，前者的周期为一天，后者的周期为一年。此外，还有地心绕地月公共质心转动，周期为一个月。地球月运动。由于万有引力的制约，地球与月球之间构成一个相互吸引的引力系统，并有一个公共的质量中心（据计算，地月公共质心位于地球内部，距地心0.73倍地球半径之处）。当月球绕地球转动时，确切地说，当月心绕地月公共质心转动时，为了保持地月引力系统的平衡，也就是为了维持地月中心的平均距离不致改变，地球中心必须绕地月公共质心作近似的圆周运动，并产生惯性离心力。因地球月运动是平动，所以地球上各点因地球月运动而产生的惯性离心力的大小相等，方向相互平行（如图1中虚线箭头所示）。

从上述可知，地球上各点受到的月球引力大小不等，而惯性离心力都相等。那么，除地

心以外，地球上各点所受到的力就不平衡，因而便有一个合力存在，这个合力就是月球引潮力。可见，月球引潮力，就是地球上单位质量的物体所受到的月球引力，与因地球月运动所产生惯性离心力的合力。同样，太阳对地球的引潮力，也是类似这两种力的合力。

月球引潮力对地球上各处海水作用的大小和方向又是如何呢？

根据万有引力定律，我们可以算出，月球对地心（E点）

1,000克物质的引力仅有+3.38毫克，离心力与之相平衡，为-3.38毫克；离月球最近的直射点（B）引力稍大，为+3.49毫克；离月球最远的对蹠点（D）引力稍小，为+3.27毫克。根据力的合成便知：除地心（E点）因该点所受的两力大小相等、方向相反、相互平衡没有引潮力外，地球上其它各点都有大小不等、方向不一的引潮力。其分布情况是（如图1）：在月球直射点（B点引潮力=+3.49-3.38=+0.11毫克）和对蹠点（D点引潮力=+3.27-3.38=-0.11毫克）引潮力最大，方向向上；在与直射点和对蹠点连线相垂直的方位上（如A、C点）引潮力最小，约为B或D点的二分之一，并方向向下。受引潮力向上的地方，海水面上涨升高；受引潮力向下的地方，海水面便相对地下落降低，才能达到新的平衡状态，这样就形成了海水面涨落升降运动。假设地球表面全被等深海水所包围的话，那么，海水自由表面的形状，就由正球形变为椭球形，称为潮汐椭圆。简而言之，海水面涨落变化（海水面形变），是在海水具有易流动性（易变形性）这个内在根据的基础上，由于受到天体引潮力不均等作用的结果。

海水面涨落现象是否有一定的规律呢？

海水面涨落运动，从时间变化上是有规律的，具有一定的周期性。潮汐现象的周期变化，大约有日变、月变、年变以及 8.85 年和 18.61 年的变化等等，其中最显而易见的是日变和月变。

潮汐日变化，是指潮汐在一个太阴日（24 小时 50 分）之内有高潮与低潮的变化。潮汐在一天之内之所以有高、低潮的变化，是由于地球自转运动的结果。因为地球上任何一点，在一天之内都随着地球自转一周，就都有经过类似于月球直射点和对蹠点以及距这两点连线相垂直的方位（即类似图 1 所示的 A、B、C、D 四点）的机会。当地球上某一定点转到直射点或对蹠点方位时，该处海水受到的引潮力最大，海水面上涨达到最高潮水位，便是高潮。相反，当该定点转到引潮力最小的方位时，海水面降落达到最低潮水位，便是低潮。因而，在地球自转一周的一个太阴日之内，海水面便具有高潮、低潮交替变化的规律。

潮汐月变化，是指在一个月之内有大潮和小潮的变化。这是由于日、地、月三球在宇宙空间相对位置周期性变化的缘故。前已提及，月球是地球的卫星，当它绕地球作为期一个月公转的同时，还随着地球绕太阳而转动。在这运转过程中，产生月球表面光暗部分圆缺形象的变化，也就是月相。与此同时，当夏历初一（即朔——月球可见面全暗无光时）、十五（即望——月球可见面光亮满月时），日、地、月三天体接近于在同一直线上，这时月球引潮力和太阳引潮力的作用相叠加。在月球引潮力为主的潮汐的基础上，太阳潮最大程度地加强了太阴潮，两者的高潮与高潮重合，低潮与低潮重合，形成了一个月中两次最大的日、月合成潮：高潮特高，低潮特低，潮差最大，即为大潮，又称“朔望潮”（见图 2(A)）。朔望以后，随日、地、月三天体不断运动，在宇宙空间相对位置不断地变化，使得太阴潮和太阳潮的关系由互相配合逐渐转变为互相抵消，潮差日益减小。到了夏历初八和廿三（即上弦和下弦——月球可见面亮暗各半呈半圆形时），

日、地、月三者的位置成直角关系，这时日、月合成引潮力最小。一者的高潮与另一者的低潮重合，太阳潮最大程度地削弱了太阴潮，一个月中出现了两次最低的高潮和最高的低潮，潮差最小的合成潮，即为小潮，又称“方照潮”（见图 2(B)）。这样，在一个月中便出现两次大潮和两次小潮。那么，每半个月就有大、小潮各一次。显然，潮汐这种周期变化是与月相密切相关，也就是由于日、地、月三球在宇宙空间相对位置周期性变化的缘故。

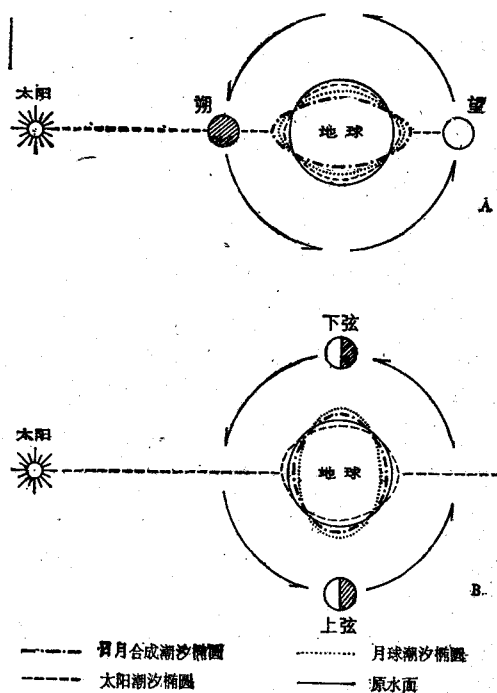


图 2 大潮 (A) 和小潮 (B)

### 三

从理论上说，潮汐现象不仅在时间上有周期性变化规律，而且在空间上具有一定的纬度地带性的变化规律。

如前所述，地球上某地点海水涨落潮的变化，与吸潮力最大的月球直射点与对蹠点有直接关系。而月球直射点、对蹠点并不是永远落在地球的赤道上，而是随着月球在其公转轨道上位置的逐日变化，大部分时间往返在赤道及

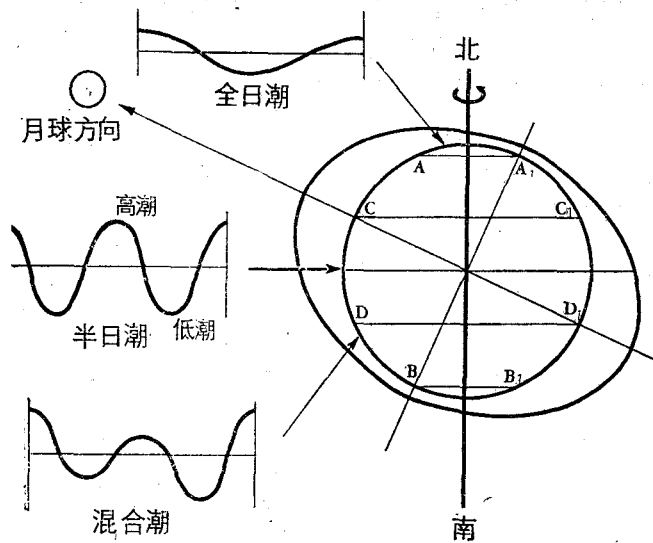


图3 潮汐类型理论分布

两侧低纬度地带，最大可达到南、北纬 $3^{\circ}36'$ 。因此，海水面形变后的潮汐椭圆就不以赤道对称，这就造成了在地球上不同纬度地带，在同一天内出现的高低潮的次数、高度以及相邻的高低潮间隔的时间（称潮时）都不相等，其分布规律是（如图3）：

赤道上，一天内出现两次高潮、两次低潮，潮高相等，潮时也相等，属于半日潮类型。

高纬度地带，一天内只有一次高潮、一次低潮，为全日潮类型。

介于上述两地带之间的中、低纬度带，在一天之内也出现高、低潮各两次，但两次高潮、两次低潮的潮高不等，潮时也不等，属于半日潮与全日潮的过渡类型，称为混合潮。

与潮汐类型地带性分布的情况类似，在只考虑引潮力作用的条件下，直接受月球引潮力大小控制的潮高（或潮差）的大小，也应当具有一定的纬度地带性；最大潮汐应该是在低纬度地带。但实际上不然。例如，按月球引潮力这个天文因素的作用来说，位于赤道上的加里曼丹岛东岸应当全是半日潮类型，而位于北极圈（北纬 $66.5^{\circ}$ ）附近的欧亚大陆北部沿岸，应是全日潮。实际情况恰恰相反：加里曼丹岛四周沿海是混合潮和全日潮所包围，而欧亚大陆在北冰

洋沿岸却是半日潮。

这又是为什么呢？原来，海洋里之所以会有潮汐现象，固然月球引潮力是生潮的主力，其次是太阳引潮力。不过，这些天体引潮力只是潮汐成因的一个方面。海水对引潮力作用的反应如何？则是另一方面。而海水对月、日引潮力的反应如何，就要受海湾形态、海底地形、自然地理因素的影响。由于各海区自然地理因素组合的不同，影响海水对引潮力反应的总和也复杂多变，这就打破了潮汐类型等潮汐现象的理论分布。

从世界大洋最大可能潮差的分布，更可看出地理因素干扰作用是很大的。前面说过，按月球和太阳最大引潮力计算，最大潮差的理论值为78厘米左右。在大洋中若干岛屿实测潮差与其相近，都在1米以内。但是，到了大洋边缘的浅海及海湾区，其潮差就大大超过了理论值。并且最大潮差多是在中、高纬而不在低纬（见下表）。

世界主要最大可能潮差表

湾名	地点	潮差(米)	地理纬度	海湾形态
芬地湾	大西洋西岸	18.0	约 $44^{\circ}$ — $46^{\circ}$ N.	喇叭形
圣马洛湾	英吉利海峡南侧	13.5	约 $48.5^{\circ}$ — $50^{\circ}$ N.	喇叭形
布里斯托尔湾	圣乔治海峡南侧	11.5	约 $51^{\circ}$ N左右	喇叭形
坎贝湾	阿拉伯海东北岸	10.8	约 $20^{\circ}$ — $22^{\circ}$ N.	喇叭形
杭州湾	东海西岸	9.8	约 $30^{\circ}$ — $31^{\circ}$ N.	喇叭形

北美的芬地湾（Fundy Gulf）是世界海洋里潮差最大的地方，其最大可能潮差达18米。这样巨大的潮差，是由多方面原因造成的。在引潮力作用的基础上，共振就是一个重要因素。我们知道，海水和任何物质一样，具

有自由振动的特性，海水的自由振动周期是和海区的形状、大小及水深有密切关系。形态不同的海区，其海水就有不同的自由振动周期。当海水的自由周期和引潮力周期相一致时，便引起“共振现象”，海水面涨落就特别大。芬地湾的情况就是如此，海湾呈喇叭形状，其具体的长度和水深等，使湾内海水对引潮力的反应产生“共振”，形成了世界罕见的巨大潮差。

“八月十八潮，壮观天下无！”的我国钱塘江大潮，属于涌潮性质，又称暴涨潮或怒潮。当海潮来临时，潮端陡立，好象一道直立的水墙高速地推向湾内，来势凶猛，轰轰作响，加上急流所激起的水花，大有万马奔腾、

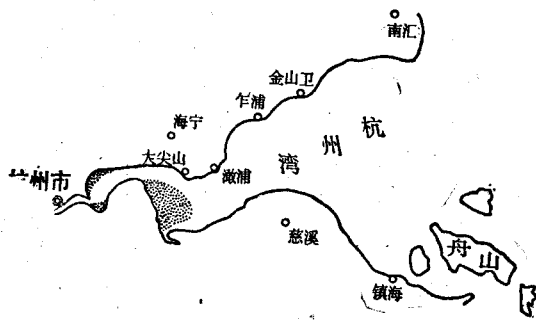


图4 杭州湾地势

排山倒海之势。钱塘江大潮之所以壮观，主要与杭州湾的特殊地形(图4)有关。杭州湾是一个喇叭形的浅水海湾，口宽滩平，在澉浦附近河槽突然收束，河底迅速抬高，水深迅速变浅。因此，当海潮以潮波形式传入湾内，拥挤入狭窄河道时，能量高度集中，同时潮波传播速度随水深变化而变化，水深大的潮波波峰传播速度大于水深小的波谷的波速。随着潮波愈向前传播，潮波的峰与谷的水平距离愈近，于是潮波前面坡度增大，亦即潮位上涨很快，而且潮波能量大大地超过了克服水流阻力所需的能量。到了澉浦附近河段，潮波峰终于赶上了潮波谷，潮波的前坡趋于陡立，甚至破碎，水花翻腾，涌潮现象就此发生了。

由此可见，海水之所以有潮汐现象，是因海水本身是个流体，在天体的引潮力作用下发生的。但是，地球海洋在不同地区、不同时间因受自然地理因素的影响，潮汐现象会发生大小不等的变化。所以在具体分析某一海区或某一时间的潮汐原因时，必须要全面考虑，结合分析当时当地的天文因素和地理因素，才能对千变万化的海洋潮汐现象有个比较正确的认识。

注：文内插图系赵继曾同志绘



## 东海地质钻探 初获成果

东海大陆架是世界上最宽的大陆架之一，蕴藏着丰富的矿物资源。不少单位曾做过不同程度的调查研究。但是，揭示东海的形成历

史，探讨它的起源及其变化这一重大课题的调查研究工作，则因种种原因而受到局限。开展东海地质钻探工作，不仅能为研究东海形成及其发展史提供必不可少的基础资料，而且对于东海地质学问题(如沉积学、矿物学、地球化学、古生物学、古海洋学及地质年代学等等)的研究，也是十分重要的条件。作为地质基础资料尚可用于其他方面的研究。

为此，中国科学院海洋研究所与浙江省地质局及其水文地质大队共同协作，派出“金星”、“海燕”、“海鹏”调查船联合作业，于1979年6—7月在东海海域进

行了一次钻探工作。船、队员们勇斗风浪，克服了各种困难，在船舶摇摆度较大的情况下，寻找有利时机，进尺三十余米，取得岩心二十七米，首战初获成果。

对东海海域来说，二十七米的岩心样品是很不够的，但它比以往用振动式、重力式取样管获取的岩心长度增加五、六倍之多，到目前为止也是少有的。这次开钻也为东海钻探工作的继续开展打下一定的基础。目前科研人员对所获得的样品进行室内综合分析，已初步编写出报告。

(黄庆福 杨治家)