



# 潮汐现象的成因及规律分析

韩忠全

陕西省汉中市汉台中学, 陕西省 汉中市 723000

潮汐是指海水每天发生的两次涨落现象。海水的涨落发生在白天的叫潮, 发生在夜间的叫汐。潮汐现象的出现主要是由月球、太阳对海水的引潮力产生的。本文将从力学的角度来探讨潮汐现象的成因及其规律。

## 1 引潮力及引潮力公式

### 1.1 月球对海水的引潮力

地球在绕着太阳高速运动的同时, 也绕着地球的轴在自转, 所以地球是一个非惯性系。在非惯性系中, 存在一个惯性力。随着地球的自转而旋转的海水, 一方面受到惯性力的作用, 同时也受到月球对海水的万有引力的作用。月球对海水的万有引力跟月球距海水的距离有关, 致使月球对海水的引力不均匀, 所以不同处海水受到的惯性力与月球对海水的万有引力的合力就不同。我们把海水的惯性力与月球对海水的万有引力的合力叫引潮力。正是由于月球和太阳对海水的引潮力引起了海水的涨落, 形成了潮汐现象。

### 1.2 月球的引潮力公式

如图1所示, 以地月两球心的连线为平面坐标系的  $x$  轴, 垂直于地月连线的直线为  $y$  轴, 以地心为坐标系的原点。则对地心有  $\vec{F}_{\text{合}} = \vec{F}_{\text{引}} + \vec{F}_{\text{惯}} = 0$ , 其中  $F_{\text{引}}$  为月球对地球的万有引力,  $F_{\text{惯}}$  为地球的惯性力。由此式得:  $F_{\text{惯}} = -F_{\text{引}} = -GM_{\text{地}} M_{\text{月}} / r^2$ , 式中  $M_{\text{地}}$ 、 $M_{\text{月}}$  分别表示地、月两球的质量,  $r$  表示地月两球球心间的距离。

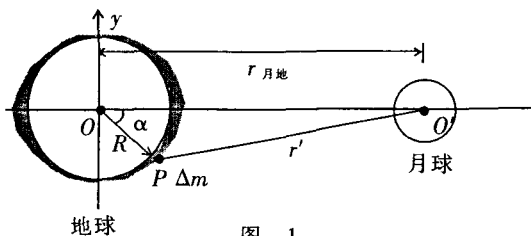


图 1

对于地球上任意处的海水  $\Delta m$  来说, 其受到的惯性力  $\vec{F}_{\text{惯}} = -GM_{\text{月}} \cdot \Delta m / r'^3 \cdot \vec{r}'$ , 其受到月球的万有引力  $\vec{F}_{\text{引}} = GM_{\text{月}} \Delta m \cdot \vec{r}' / r'^3$ ,  $\vec{r}'$  是  $\Delta m$

的海水  $P$  到月球的距离, 所以海水的引潮力

$$\vec{F}_{\text{潮}} = \vec{F}_{\text{惯}} + \vec{F}_{\text{引}}.$$

海水的引潮力在  $x$ 、 $y$  轴上的分力分别为:

$$F_{\text{潮}x} = F_{\text{引}x} - F_{\text{惯}x} = GM_{\text{月}} \Delta m (r - R \cos \alpha) / r'^3 - GM_{\text{月}} \Delta m / r^2, \quad (1)$$

$$F_{\text{潮}y} = F_{\text{引}y} = -GM_{\text{月}} \Delta m R \cos \alpha / r'^3, \quad (2)$$

$$r' = \sqrt{r^2 + R^2 - 2Rr \cos \alpha},$$

$$\therefore F_{\text{潮}x} = GM_{\text{月}} \Delta m (r - R \cos \alpha) / (r^2 + R^2 - 2Rr \cos \alpha)^{3/2} - GM_{\text{月}} \Delta m / r^2. \quad (3)$$

$$\because r > R, \therefore 2Rr \cos \alpha / (r^2 + R^2) < 1.$$

$$\text{根据泰勒级数 } (1+x)^2 = 1 + 2x + 2(2-1)x^2/2! + \dots + 2(2-1)\dots(2-n+1)x^n/n!,$$

$$\therefore F_{\text{潮}x} \approx GM_{\text{月}} \Delta m (r - R \cos \alpha) (1 + 3R \cos \alpha / r) / r^3 - GM_{\text{月}} \Delta m / r^2,$$

$$\text{整理得: } F_{\text{潮}x} = 2GM_{\text{月}} \Delta m R \cos \alpha / r^3. \quad (4)$$

由(2)(4)两式得月球对海水的引潮力有:

$$F_{\text{月潮}x} = 2GM_{\text{月}} \Delta m R \cos \alpha / r_{\text{月地}}^3,$$

$$F_{\text{月潮}y} = -GM_{\text{月}} \Delta m R \sin \alpha / r_{\text{月地}}^3,$$

$$\therefore F_{\text{月潮}} = GM_{\text{月}} \Delta m R \sqrt{1 + 3\cos^2 \alpha} / r_{\text{月地}}^3.$$

### 1.3 太阳对海水的引潮力公式

同理, 太阳对海水的引潮力有, 如图2:

$$F_{\text{日潮}x} = 2GM_{\text{日}} \Delta m R \cos \alpha / r_{\text{日地}}^3,$$

$$F_{\text{日潮}y} = -GM_{\text{日}} \Delta m R \sin \alpha / r_{\text{日地}}^3,$$

$$F_{\text{日潮}} = GM_{\text{日}} \Delta m R \sqrt{1 + 3\cos^2 \alpha} / r_{\text{日地}}^3.$$

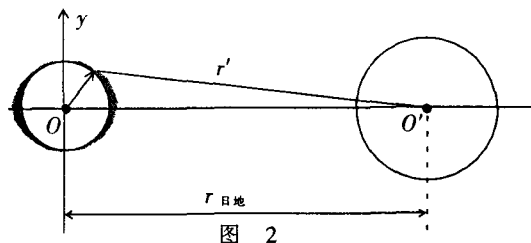


图 2

## 2 月球和太阳对潮汐现象的影响

由月球、太阳的引潮力公式可知: 月球和太阳对近月、近日一侧海水的引潮力大小分别为  $F_{\text{月潮}} = 2GM_{\text{月}} \Delta m R / r_{\text{月地}}^3$ ,  $F_{\text{日潮}} = 2GM_{\text{日}} \Delta m R / r_{\text{日地}}^3$ 。

根据已知的数据:  $M_{\text{日}} = 2.0 \times 10^{30} \text{ kg}$ ,  $M_{\text{月}} =$

$7.35 \times 10^{22} \text{ kg}$ ,  $r_{\text{日地}} = 1.5 \times 10^{11} \text{ m}$ ,  $r_{\text{月地}} = 3.84 \times 10^8 \text{ m}$ .

代入可得:  $F_{\text{月潮}} : F_{\text{日潮}} = 11 : 5$ .

可见,月球的引潮力比太阳的引潮力大,月球对潮汐现象的贡献比太阳的大.所以说月球对潮汐的大小起主要影响.

### 3 潮汐现象中的大小潮成因分析

在潮汐现象中,涨潮的大小会出现周期性的变化,在每月的月初或月中旬会出现一次大潮,两次大潮之间出现一次小潮.这主要是由于地球、月球不断运动,导致地球、月球与太阳的相对位置发生周期性变化.

下面来分析出现大小潮的条件:

月球对正对地面上的海水的引潮力有:

$$F_{\text{月潮}x} = 2GM_{\text{月}} \Delta m R / r_{\text{月地}}^3, \quad (5)$$

$$F_{\text{月潮}y} = 0. \quad (6)$$

不妨设太阳与地球球心的连线与月地间的连线间的夹角为  $\theta$ ,如图 3 所示.

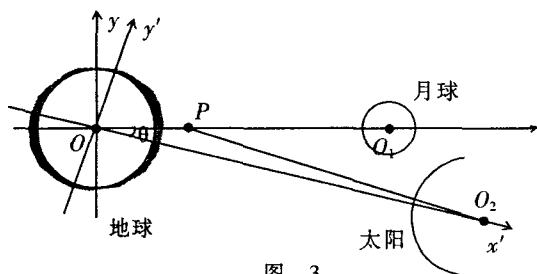


图 3

由上面的公式可知,太阳对地月间正对的那部分海水 P 的引潮力为

$$F_{\text{日潮}x'} = 2GM_{\text{日}} \Delta m R \cos\theta / r_{\text{日地}}^3, \quad (7)$$

$$F_{\text{日潮}y'} = -GM_{\text{日}} \Delta m R \sin\theta / r_{\text{日地}}^3, \quad (8)$$

如图 3 所示,日地间的直角坐标系的  $x'$  轴与月地间的直角坐标系  $x$  轴相差  $\theta$  角.根据坐标轴旋转有:

$$F_{\text{日潮}x} = F_{\text{日潮}x'} \cos\theta + F_{\text{日潮}y'} \sin\theta, \quad (9)$$

$$F_{\text{日潮}y} = F_{\text{日潮}x'} \sin\theta - F_{\text{日潮}y'} \cos\theta, \quad (10)$$

月球、太阳对海水 P 的引潮力的合力  $F_{\text{潮合}}$  为

$$F_{\text{潮合}} = \sqrt{(F_{\text{月潮}x} + F_{\text{日潮}x})^2 + (F_{\text{月潮}y} + F_{\text{日潮}y})^2}, \quad (11)$$

联立(5)(6)(7)(8)(9)(10)(11)得:

$$F_{\text{潮合}} = \sqrt{4K^2 + \frac{5}{2}K'^2 + 2KK' + \frac{3}{2}K'^2 \cos 2\theta + KK' \cos 2\theta}.$$

其中  $K = GM_{\text{月}} \Delta m R / r_{\text{月地}}^3$ ,

$K' = GM_{\text{日}} \Delta m R / r_{\text{日地}}^3$ .

很显然,当  $\theta = 0^\circ$  或  $\theta = \pi$  时,  $\cos 2\theta = 1$ , 此

时  $F_{\text{潮合}}$  有最大值,  $F_{\text{潮合max}} = 2(K + K')$ , 月球和太阳对海水的引潮力的合力最大,此时出现一次大潮,如图 4 所示.所以大潮一般发生在月初或月中旬(农历).如我国著名的钱塘江大潮,在每年的农历 8 月中旬左右,会出现壮观的大潮.著名诗人苏东坡曾写到“八月十八潮,壮观天下无”的诗句.

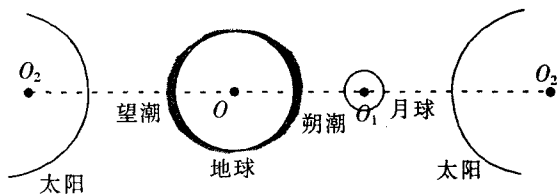


图 4

当  $\theta = \frac{\pi}{2}$  或  $\theta = \frac{3\pi}{2}$  时,  $\cos 2\theta = -1$ ,  $F_{\text{潮合min}} =$

$2K - K'$ , 月球和太阳对海水的引潮力的合力最小,此时出现一次小潮,如图 5 所示.

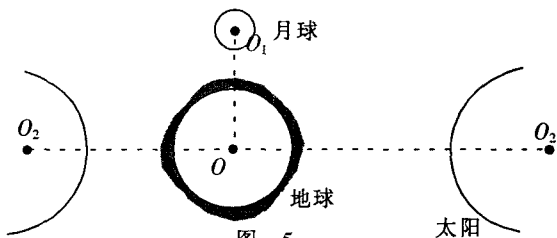


图 5

### 4 潮汐周期性发生的原因

生活在海边的有经验的人,都知道潮汐涨落的时间每天都要延后 50 分钟.根据前一天潮汐发生的时间,大都能推算出当天潮汐发生的时间,潮汐现象周期性发生,是由于地球、月球与太阳的相对位置发生周期性变化,引潮力也在周期性变化造成的.

由于地球的自转,同一地域的海水发生潮汐也有周期性,这主要是地球的自转和月球绕地球的公转引起的.地球自转的周期  $T_{\text{地}}$  为 23h56min4s,月球公转周期  $T_{\text{月}}$  为 27d7h43min,海水的潮汐周期设为  $T$ ,则有  $T(\frac{2\pi}{T_{\text{地}}} - \frac{2\pi}{T_{\text{月}}}) = 2\pi$ ,所以  $T = T_{\text{地}} \cdot T_{\text{月}} / T_{\text{月}} - T_{\text{地}}$ ,计算得到  $T$  为 24h50min.这便是一日之内,地球上除南北两极及个别地区外,各处的潮汐均有两次,每次周期 12h25min,一日两次共 24h50min 的原因.因此潮汐涨落时间每天都要延后 50 分钟.

(栏目编辑 邓 磊)