

海岸带推移质泥沙运动的现场测量及 航道淤积量的计算*

李 凡

(中国科学院海洋研究所)

提要 本文介绍了海滩及近岸浅水区使用的两种推移质捕沙器的结构及使用方法,并分析了部分测量结果。测量表明,中潮线以下海滩及近岸浅水区内,推移质沙的运动方向基本上和波能的传递方向一致。据此关系,提出了直接运用波能流和推移质沙量的函数关系来计算推移质输沙量的方法,它不同于常用的只利用波能的沿岸分量的计算方法。

泥沙运动的现场测量,是了解海岸带推移质泥沙运动规律直观而可靠的方法。五十年代初,一些学者曾经用染色沙,其中包括流明沙、放射性示踪沙等,对海岸带推移质泥沙运动进行直接观测。后来,又采用各种捕沙器进行观测^[3,4],为认识海岸带推移质沙的运动规律积累了大量资料。1972—1978年,笔者曾在山东省白沙口海岸和广西防城港外航道拦门沙区,分别用沉沙盆、袋式底沙捕沙器等,对于推移质沙进行了现场测量^[1],本文是在上述工作基础上的总结。由于影响推移质沙运动的因素很多,目前尚无较理想的观测技术,许多问题有待进一步探讨。

一、推移质捕沙器的结构

海浪、潮流及各种形式的能流(energy flux)对海滩及水下岸坡上推移质沙的运动都产生一定的影响。由于影响海岸带泥沙运动的因素复杂,导致了那里泥沙运动规律的复杂多变。用红砖粉、流明沙等指示沙在海滩和水下岸坡区进行的实验表明,推移质沙基本上是向四面八方扩散的,但其中常有一、二个主导方向。主要方向往往接近于扩散的合成方向。为了正确地判断推移质沙的扩散方向并测量其净输沙

量,应当分别在各个方向上捕取泥沙,然后用矢量合成的方法,计算出推移质沙的运动方向和数量。沉积盆和袋式底沙捕沙器就是根据上述原理而设计的两种推移质捕沙器。

1. 沉沙盆

沉沙盆的形状如盆,内分8格,每格代表一个方位。其底部各留一取沙孔。测量时用橡皮塞塞紧(图1)

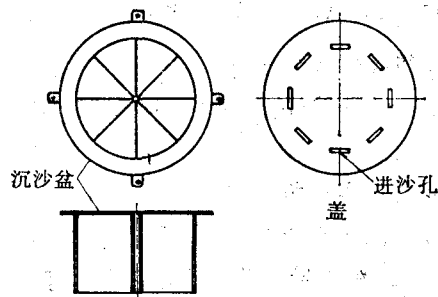


图1 沉沙盆结构示意图

Fig. 1 Structure of the basin sand trap

沉沙盆主要用于潮间带测量。测量时,在既定的站位上,先将盆沿上写有“N”字的一格对北,后将盆身埋入沙中,使盆沿与滩面平。

* 参加现场测量的有林宝荣、杨治家、林国军、周天成、李本兆、张秀荣、尤芳湖和吴龙生等同志,谨表谢意。

然后记下沉沙盆被海水淹没的时间,经过一个或数个潮周期后取出,记下出水的时间。分别将各格内的沙取出,烘干,称重,并进行粒度分析。

为避免淤平,在盆上加一盖子。盖子与盆内的8个格子相对应有8个长方形的进沙孔。沉沙盆在风浪大、海滩上活动层厚的时候可能被冲走。它的优点正象裂缝式捕沙器那样^[5],基本不破坏水流结构,既能反映真实情况,又简单易行。在测沙的同时,需进行海浪要素同步观测。

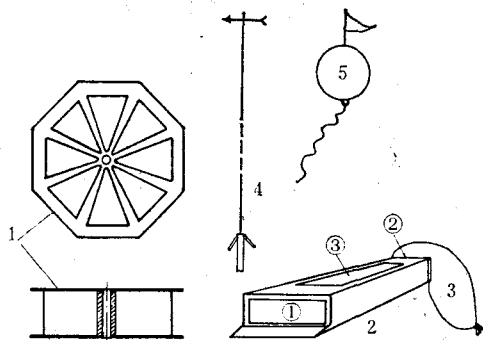


图2 袋式底沙捕沙器结构示意图

Fig. 2 Structure of the bag sand trap

1.捕沙器架; 2.捕沙盒: ①进沙口, ②出沙口, ③尾水口; 3.沙袋; 4.施放竿和解脱器; 5.浮标

2. 袋式底沙捕沙器

袋式底沙捕沙器(图2)由捕沙器架、捕沙盒、沙袋、定向施放竿和浮标等5部分组成。捕沙器架由两层八角形架子焊接,中间等分8个孔,分别代表8个方位。捕沙盒是由马口铁焊制的铁盒,编上号。前有进沙口,后有出沙口,顶有尾水口。出沙口处系上由尼龙丝绸做成的沙袋。进沙口的高度为10cm、宽15cm,故捕到的沙为距海底10cm以内的推移质及跃移质沙。尾水口上盖有140目的铜网,便于尾水通过,以减少对水流结构的破坏。架上安有铅块,中间有施放竿插座。定向施放竿可用自来水管,下端安一个带弹簧的解脱器,上有指示方向的箭头。当解脱器插入施放竿插座时,箭头和

一号捕沙盒的中线一致。

袋式底沙捕沙器主要用于低潮线以下的浅水区。施放时,先将沙袋系于盒上,再将盒固定在架子上;后将定向竿插到插座内,装好解脱器,将捕沙器从船上放到水中。接近海底时暂停,后用罗盘定向,使竿上的箭头指向北,待船稍稳即放入海底。此时,捕沙器自动脱落,同时将系在捕沙器上的浮标抛入海中,取下施放竿,记下时间。经过一定时间的测量,即可提出捕沙器。为了取沙方便,将捕沙器放在特制的转凳上,解开沙袋底部的取沙器,将沙取出,烘干,称重,进行机械分析。

若在捕沙器上安装定向罗盘,可以代替施放竿定向。捕沙的同时,进行海浪要素、海流及水位同步观测。

以上各捕沙器在每个方位上捕到的沙量,可看作输沙的一个矢量。进沙口的长度是已知的,故用矢量合成的方法,可计算出测量时段内推移质沙的运动合成方向和输沙量。

二、推移质沙运动方向与波向的关系

影响海岸带推移质沙运动方向的因素很多,然而,其主要因素当推海浪。海浪要素在近岸带受地形影响,发生折射、绕射、破碎等复杂变化,因而,在不同地貌部位上,波向与推移质沙运动方向之间的关系亦不相同。

我们对山东省白沙口岸段海滩上22个测点共136次的观测资料表明^[1],推移质沙的运动方向在中潮位以下的海滩和实测海浪方向上基本一致。在某些测点上,波向和泥沙运动方向之间相差较大,这是受地形影响的结果。若进一步观测就会发现,沙的运动方向和那里的波向,即折射后的方向是一致的。如果取14个测点较为完整的资料进行回归分析,其相关系数 r 为0.905,标准离差 18° 。然而,在高潮线附近,其关系遭到破坏。例如,测点6—9,初始波向为 138° — 140° ,而来沙方向却分别为 251° , 320° , 130° , 20° 。然而结合海岸线的走向可以

看出, 7, 8, 9 三个测点上, 沙的来向大致和岸线垂直, 而测点 6 则与岸线斜交, 其上输沙方向与用 Р. Я. Кнапс 公式计算出的沿岸输沙力的指向一致。这说明, 在高潮水边线附近, 前冲的波流受沿岸砂堤的阻挡, 波向与岸线的交角 (α) 特征, 对于推移质沙的运动方向和运动量特别敏感, $\alpha \approx 90^\circ$ 时, 泥沙只产生向岸、离岸运动, 不产生沿岸(平行于海岸)的泥沙净输移。 $\alpha < 90^\circ$ 时, 激岸浪受沿岸砂堤阻挡, 产生波生沿岸流, 从而也产生沙的沿岸净输移。它们的运动方向, 虽与初始波向有关, 但不一致。低潮线至中潮线附近, 前冲的海浪可越过海滩上的堆积体向前推进, 从而将挟带的泥沙向前抛去, 因此, 这里的沙与波向可以保持一致。在破碎波前进的过程中, 可以产生二次、三次破碎, 泥沙运动方向总是与相应的碎波流前进的方向一致。

在广西防城港外航道“拦门沙”段, 我们用袋式底沙捕沙器分别在低潮线以下(水深 2—4m) 4 个测站测量 21 次, 计算结果, 其相关系数 $r = 0.719$ 。标准离差 44.8° 。若去掉因船只位移导致的捕沙器失误, 取 19 次进行统计, 则 $r = 0.857$, 标准离差 30° 。若考虑捕沙器只有

8 个方位, 每个方位 45° , 即可认为, 其误差并不算大(见泥沙动态表)。

白沙口测量的标准离差小于防城港的测量数值, 是因为潮流影响及测量误差所致。

综上所述可见, 在中潮线以下至水下岸坡的海浪作用临界水深范围内, 推移质沙的运动方向基本上和测点海浪的传播方向一致, 因此, 大致上可以用波向代表那里推移质沙的运动方向。显然, 这是受质量输送流控制的结果。如果那里的潮流流速大于泥沙的起动流速或搬运流速, 推移沙的运动方向将与波向和潮流的合成方向一致。

上述结论在地貌调查中得到了证实: ①山东省白沙口岸段 3 号沙洲, 原来位于泻湖口落潮三角洲前部低潮线以下。1972 年 7 月—1974 年 7 月两年间向岸移动了 240m, 移动方向为 310° , 测量时段的年平均波能合成方向为 139° , 其传播方向为 319° , 与沙洲的移动方向基本相同。高潮线附近的 1 号沙嘴, 由 NEE 向 SWW 顺岸延伸, 那里波能的合成方向与岸斜交, 输沙力指向西。②广西防城港外航道“拦门沙”段, 1970—1973 年的波能合成方向为 163° , 这里发育了走向接近于东西方向的水下沙坝——“拦门沙”。

三、推移质沙对于航道淤积量的估算

按照物理学原理, 海岸带泥沙运动量可以分为沿岸分量和法向分量两部分。经典的沿岸输沙率计算方法, 只取波能流的沿岸分量, 认为造成航道淤积的原因与波能的法向分量无关。实际上, 泥沙运动在形式上是统一的。上述实验结果表明, 除了在高潮线海滩以外, 低潮线以下浅水区内, 泥沙运动的方向基本上和波向, 或波能流传递方向一致。因此, 计算航道淤积量时, 应从波能流的传递方向出发, 而不是单纯计算沿岸分量。基于这种理解, 可直接根据测量地区的波能流和用捕沙器捕获的泥沙量建立联系, 计算对于航道的输沙率。

用袋式底沙捕沙器测量防城港外航道泥沙动态表
Tab. Transport Dynamics measured by bag sand trap of the bar in the outer waterway region off the fangcheng port

测 点	测量日期 (年·月·日)	波 向 ¹⁾ ($^\circ$)	来沙合成方 向($^\circ$)
4	1977.8.14—16	184	176
4	1977.8.16—18	173	168
4	1977.8.18—20	184	289
4	1977.8.20—22	191	159
4	1977.8.24—25	261	254
3	1977.8.14—16	184	171
3	1977.8.16—18	173	171
3	1977.8.18—20	184	223
6 ⁴⁾	1977.8.15—17	175	191
6	1977.8.17—19	180	201
6	1977.8.21—24	184	185
6	1977.8.13—15	281	297
6	1977.8.19—21	190	80

1) 波向为测量时段中的平均值。

与经典的计算沿岸输沙率理论一样,输沙量也是波能流的函数,即

$$Q = KE \quad (1)$$

若求 A, B 两断面间的输沙量 Q , 则

$$Q = \int_B^A Q dt \quad (2)$$

由于航道往往是边坡较陡的凹槽,某种程度上具有沉沙池的性质;一般情况下,推移质沙被海浪推进航道以后,很难逆坡而上冲出航道。因此,计算对于航道的输沙量时,可借用总输沙率 Q_g (gross transport rate) 的概念,换言之,进入航道的沙量,或毛输沙率,是从不同方向进入航道的沙量的总和,即:

$$Q_g = \sum Q_i = \sum K_i E_i \quad (3)$$

i 表示海浪的不同方位。

E_i 仍采用经典计算波能流的方法,即:

$$\text{单宽波能量 } E = \frac{1}{8} \rho g H^2 \quad (4)$$

T 小时通过既定断面上的波能量:

$$E_i = 46.4 \times 10^4 H^2 \frac{\lambda}{\tau} \cdot n \cdot L \cdot T \quad (5)$$

式中, L 为海浪通过的航道实际长度。若波向与航道轴线平行, L 取航道的宽度。 n 为浅水系数。

$$n = \frac{1}{2} \left[1 + \frac{4\pi d/\lambda}{\sinh(4\pi d/\lambda)} \right]$$

T 为海浪实际作用于测量地点的时间,其确定方法如下:先根据测点的海浪要素和底质的平均粒径,求出海浪作用的临界水深。本文采取美国海岸研究中心 (C. E. R. C) 规范^[5]中提出的公式确定,即:

$$\frac{U_{\max}(-d)T}{H} = \frac{\pi}{\sin h^{2\pi d/\lambda}} \quad (6)$$

式中 $U_{\max}(-d)$ 为水深 d 处的水分子最大轨道速度。算出临界水深后,再根据实测潮位过程线进行改正,即只取海浪能够起动泥沙的那段时间。

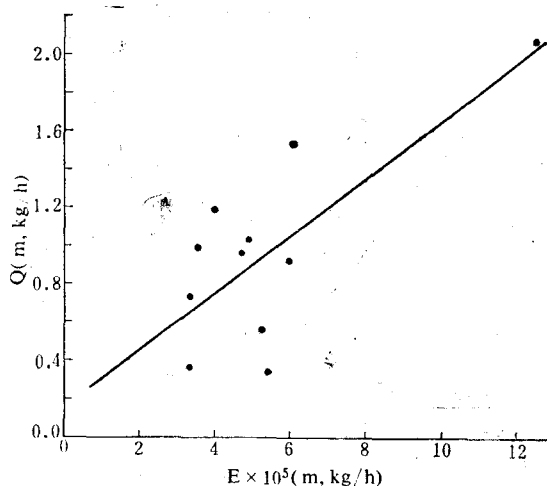


图3 实测输沙量和波能流的关系

Fig. 3 Relationship between transport volume and wave energy current

根据广西防城港现场捕沙和同步海浪观测的资料,算得 K 值为 $0.06-0.30 \times 10^5$, 平均值 $\bar{K} = 0.19 \times 10^5$ (见图3)。

根据 K 值和“拦门沙”航道段附近的海浪资料,用式(3)计算。计算结果:在长1.5km的航道区,毛输沙率为1.8万方, K 的标准离差为0.027;海浪作用产生的年淤积量约为1.5—2.1万方。这个数据,与用修改了的 Larras 公式等计算的结果相似^[5]。

不言而喻, K 值随测量地区的地貌、底质及水动力条件等的不同而变化。

参 考 文 献

- [1] 李凡, 1981。白沙口海岸带泥沙运动和地貌演变。海洋科学集刊 18:133—148 页。
- [2] 林宝荣等, 1986。防城港拦门沙航道的泥沙来源及冲淤规律的研究。海洋科学集刊 26:41—56 页。
- [3] Cook, D. O., and D. S. Gorsline, 1972. Field observations of sand transport by shoaling waves. *Mar. Geol.* 13:31—55.
- [4] Thornton, E. B., 1968. A Field investigation of sand transport in the surf zone. 11th conference on coastal engineering. 6:335—351.
- [5] U. S. Army, 1975. Coastal Engineering Research center. *Shore protection manual* 1: 4-61—4-65.

FIELD MEASUREMENT OF THE TRAVELLING SAND MOVEMENT IN THE COASTAL ZONE

Li Fan

(Institute of Oceanology, Academia Sinica)

Abstract

The travelling sand and some part of the saltational sand were measured with trap on the beach of Baishakou, Shandong Province and on the submarine bar off Fangcheng Port, Guangxi Province. The result shows that movement direction of the travelling sand is generally consistent with progressive direction of wave energy flux from middle tidal level to shallow region where sand is being moved by wave. Meanwhile, transport rate of sand is the function of the progressive wave energy flux. Therefore, calculation of back setting volume in the waterway can be immediately based on the progressive wave energy flux and measured transport coefficient of sand with trap, rather than longshore component of the wave energy flux.

The waterway is like a pond where sand will settle down. Travelling sands coming into the waterway are difficult to go out. Therefore, gross transport rate can be used for the calculation of back setting volume of the travelling sand in the waterway. In other words, back setting volume in the waterway is considered the sum of the transport rate of sand from different directions, i.e. $Q_s = \sum K_i E_i$.