

近岸带水下沙丘的群体运动*

尤 芳 湖

(中国科学院海洋研究所)

在近岸带,水下沙坝(或沙丘)常以大型沙波的型式作群体运动,从而对多种海岸工程造成威胁。

Choulet, J. Sonu等^[2,3]曾以大量实测资料,将进行群体运动的沙波划分为坝式和岬式两类,并分别指出其动力成因;随后又以数理统计方法,确认坝式沙波的群体运动符合马尔柯夫过程。

作者根据山东白沙口附近海岸多年实测资料得出,碎波带内的一些大型沙波,不仅不断向岸作群体运动,而且随沙波向前推进,其储沙量逐渐增大。分析表明,这类沙波的运移过程不能以马尔柯夫过程或其它风暴海岸过程来描述,但却与近岸带纵、横向碎波能流有良好的相关,其运移方向与近岸带波能合成方向相当一致。故可以认为,这是作群体运动的另一种沙波类型,可称为丘式沙波。本文还根据同步实测资料,导出近岸带碎波能流纵横向的输沙经验公式,并与前此得出的近岸波浪纵向输沙公式进行了比较和讨论。

一、实测资料

我们研究的海岸是位于山东白沙口潮电站防沙坝东侧,岸线较为平直,岸滩平均坡度约为4—8‰,碎波带内沉积物中值粒径为0.15—0.20毫米,平均潮差2.4米,正规半日潮型,属沙质海岸(图1)。腰岛临时测波站距海岸约2公里,实测全年(1972.7—1973.6)各级海浪的频数分布见图1中插图。当年百分之一大波平均波高为3.3米,近岸带出现的碎波多属

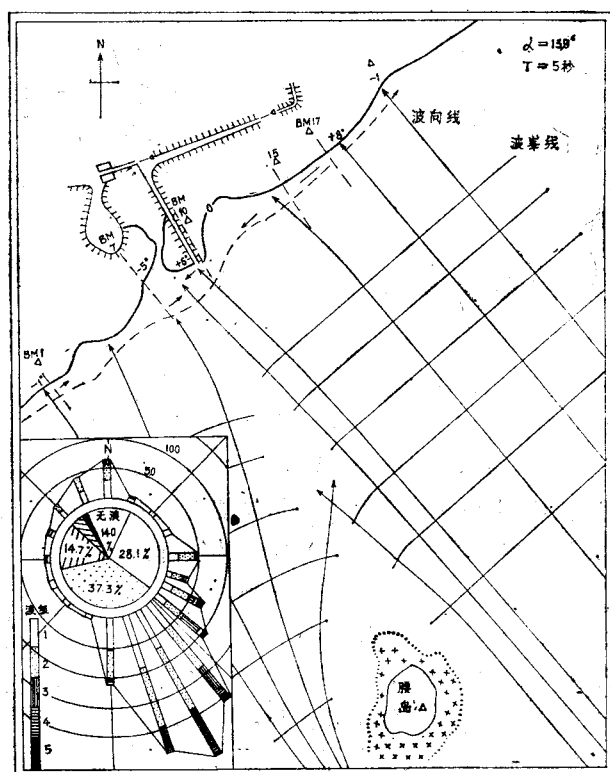


图1 白沙口附近海岸及波况

卷碎波。由于波向年频率曲线在SSE和N附近分别出现峰值,可设峰值附近的概率函数具有抛物线形式,以易于求得最大概率的象限中线及其概率。结果得:腰岛年盛行波向为149°,其相应概率为52.34%,第二峰值分别为348°和8.62%。前者主要系由夏半年的涌浪所组成,波高大且周期长;后者主要发生在冬半年,系由离岸风所导致,周期波高均小,对于白沙口附近海岸的泥沙运动作用不大。

* 中科院海洋研究所调查研究报告第718号。

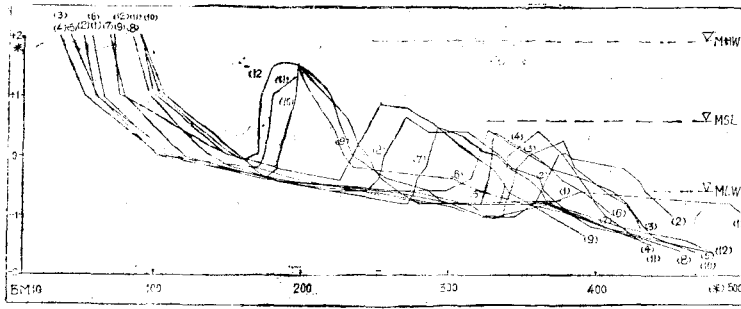


图2 BM10—130岸滩剖面

(1)1972.7.13 (4)1972.9.28 (7)1973.7.5 (10)1974.7.22
(2)1972.8.12 (5)1973.1.10 (8)1973.9.15 (11)1974.7.30
(3)1972.8.28 (6)1973.4.22 (9)1974.4.1 (12)1974.8.4

由于盛行波向只考虑各波向的频数分布,没有计入波高和周期(或即波能)的作用,为此,据小振幅波理论,令一海浪在单位时间内通过测波站附近(平均水深6米)单位宽度的波能为:

$$E_1 = \frac{H_1^3 \cdot w_0 \cdot n_1 \cdot L_1}{8T} \quad (1)$$

式中, H_1 为均方根波高(米); w_0 为海水容重(1.03吨/米³); n_1 为能量传递系数; L_1 为水深6米处的波长(米); T 为波浪周期(秒)。据此算得一年(或各时段)内各波向的波能,然后参照 Lambert 公式求出年波能合成方向为 139° (SE), 与上述盛行波向甚为接近。

在测波的同时,曾在图1所示断面(BM1—BM17)长约1.5公里的滩面范围内,进行了比尺1:2000的多次重复地形测量¹⁾,从而获得了多组波浪与滩面地形变化的同步资料。根据这些资料,作者已就波浪沿岸输沙率的计算公式进行了探讨⁽¹⁾。这里再选择不受白沙口潮电站尾水渠影响,而且经常处于碎波作用下的一个大型沙波的群体运动与海浪关系作一讨论。

图2为1972.7—1974.8月共12次重复地形测量所得岸滩剖面图。该剖面图系以BM10为原点,沿130°走向直至低潮线附近。图3系据同期1:2000滩面地形测量

所得这一水下沙波平面移动图,以零米等深线表示。由此可见,这一沙波有如下特征:

1. 自1972年7月起形成于平均低潮位附近的沙波,逐步向岸作群体式运动,至1974年8月初,共移动了247米(水平距离),在这两年中没有出现向海移动的情形。

2. 这一沙波在向陆岸运动过程中,逐步增高、增大,两年中,其最大高程共增高2米,即由平均低潮位增至接近平均高潮位,其单宽体积则由44立方米增至198立方米,沙波储沙量(以第一次观测剖面为基线)增加了18810立方米。

3. 沙波前坡(向海)坡度缓,后坡(向陆)陡削。作为一个沙波其波高可达1.5米,波长为100—120米。

4. 各个时段间,整个沙波的运动方向与相应时段的波能合成方向(如图3中各个箭头所示)基本一致。

如结合观测期间岸线的进退和近岸水文动

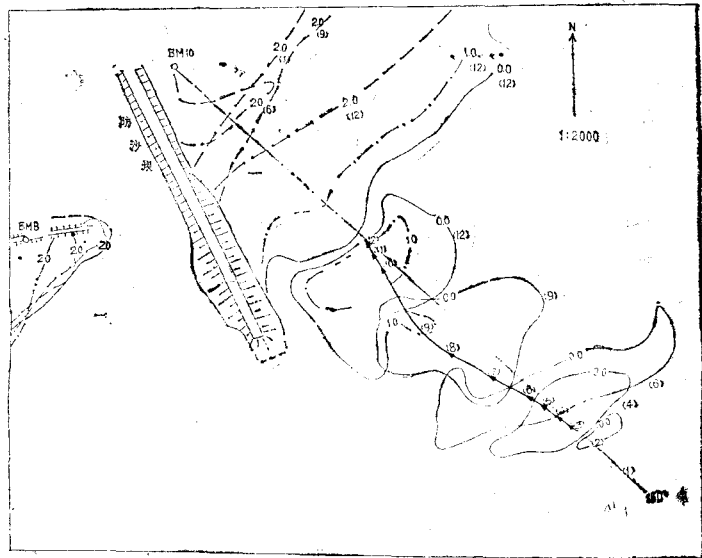


图3 水下沙丘的群体运动与合成波向
〔(1)—(12)观察日期同图2〕

¹⁾这项工作主要由山东省水文总站姚金堂、匡林等同志完成。

力因素的可能变化,则可将这一沙波的发育过程划分以下三个阶段:

第一,可称为初生阶段〔图2(1)~(4)所示〕。即自1972年7~9月底,这时沙波位于月平均水位之下,距BM10原点达350米以上,夏季海浪(多属涌浪)在此及其两侧破碎后,仍有足够能量传至岸边形成击岸浪。因此,沙波本身向陆运动,逐步增大增高,而岸线(高程+2.0米)则受到击岸浪的冲刷以同一方向后退,岸与堆积体之间的沟坡平稳,沟底或沙丘的后坡脚高程几乎不变。

第二,发展阶段〔图2(5)~(9)〕。历时一年多,沙波距BM10原点尚有200米左右,其最大高程已达到或超过月平均水位。因此,在约半潮周期的历时内,一般碎浪难以直接越过沙丘,而其两侧的海浪虽仍能通过折射或绕射进抵岸线附近,但由于能量的散逸,对海岸的上爬冲刷能力也显著减弱;在另一半潮周期内,当潮位接近或超过月平均水位时,碎波所掀起和挟带的沙波上的沉积物,将搬运至其后坡和岸线之间,再次沉积。因此,整个沙波继续向陆推进、增大,而岸线则反而朝海向淤进,沟坡和沟底随之逐步淤浅。

第三,併岸阶段〔图2(10)~(12)〕。历时不到半年(1974.4~8),沙丘向岸运动至距岸线约100米处,最大高程接近高潮平均水位,其西侧靠近防沙坝,东侧有小型沙波,因而在一般潮位和海浪下,碎波既不能越过沙丘,也难于从两侧进抵海岸,而在高潮附近和较大海浪作用下,碎波仍能导致沙丘进一步向岸运动,岸线位置则大致不动,沟底迅速淤浅,终将使沙丘与海岸併接起来。同时在低潮线附近,又形成一个类似(1)的小型沙丘。

可见,这类沙波从初生、发展至併岸,形成一颇为系统的独特发育过程,这种不可逆转的群体运动过程,与坝式或岬式群体运动过程迥然不同。

二、分 析

基于以上实测资料,我们可将相邻两次滩

面地形观测所得沙丘群体运动的水平距离(R ,米)、储沙增量(Q ,立方米)与同一时段内的合成波能率(E_t/t_t)联系起来,绘制其年程直方图(图4)。由此可见,在碎波区内,沙丘群体运动的距离和储沙增量均与碎波区外波能的大小有关,且在冬、夏半年均出现低值和峰值。这就使我们有可能假设这类沙丘的运动特性(R 、 Q)与近岸波浪能流存在着线性关系,以便进行分析。

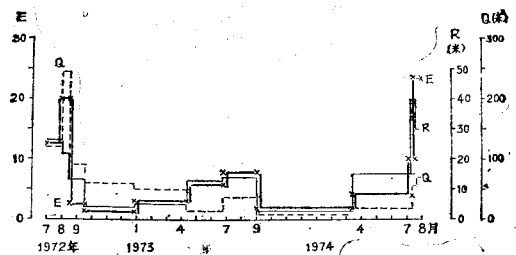


图4 BM10-130R-Q-E年程直方图

首先,根据小振幅波理论和碎波条件,我们可将从碎波带外(腰岛附近)进入碎波区内的波浪能流沿岸(纵向, P_{ls})和垂直于海岸(横向, P_{tv})的分量分别写成:

$$P_{ls} = \frac{1}{2}(CnE)_b \sin 2\alpha_b \quad (2)$$

$$P_{tv} = (CnE)_b \cos^2 \alpha_b \quad (3)$$

式中, $(CnE)_b$ 为作用于单宽海岸的碎波能流(吨·米/米·秒); C 为波速(米/秒); α_b 为波浪频于破碎时与岸线法向的交角,其余符号同式(1)。如假定波浪浅水系数的影响不大,则上两式可展开成:

$$P_{ls} = \frac{w_0}{16T} (K_R^2 \cdot H_1^3) \cdot n_b \cdot L_b \cdot \sin 2\alpha_b \quad (2')$$

$$P_{tv} = \frac{w_0}{8T} (K_R^2 \cdot H_1^3) \cdot n_b \cdot L_b \cdot \cos^2 \alpha_b \quad (3')$$

其中, K_R 为海浪折射系数; n_b 和 L_b 分别表示波浪频于破碎的能量传递系数和碎波长(米)。

因此,根据腰岛海浪实测统计资料,并分波向、周期绘制折射图(图1),就可求得计算式(2')和(3')所需的各个参数,从而分

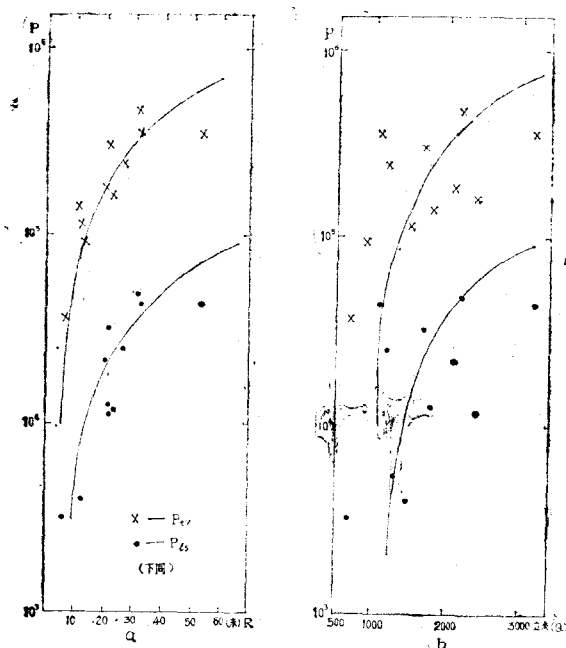


图5 P-R和P-Q关系图

别获得相应时段内作用于这一沙丘的碎波纵、横向总能流。

图5 a、b分别是纵、横向碎波能流 (P_{ts} 和 P_{tv}) 与该沙丘运动距离 (R)、储沙增量 (Q) 的关系。由此可见,碎波能流与 R 的关系良好,而与 Q 的关系则差。这不难想象, R 与 Q 的乘积是这些泥沙所作的功与碎波能流的因次相同。如上述碎波能流与输沙量之间存在着线性关系的假设成立,则 P_{ts} 与 P_{tv} 当与 $R \times Q$ 有着良好的相关。图6所示正是这一关系。应用一元线性回归分析法,得出这三组回归方程及其相关系数,列于下表。

碎波能流与 R 、 Q 和 $R \times Q$ 的回归方程表

P_{ts}		P_{tv}	
回 归 方 程	相 关 系 数	回 归 方 程	相 关 系 数
$\hat{Q} = 1248 + 19.8 \times 10^{-3} P_{ts}$	0.437	$\hat{Q} = 1110 + 2.76 \times 10^{-3} P_{tv}$	0.487
$\hat{R} = 6.9 + 6.7 \times 10^{-4} P_{ts}$	0.833	$\hat{R} = 4.9 + 0.8 \times 10^{-4} P_{tv}$	0.795
$\widehat{R \times Q} = 3502 + 1.758 P_{ts}$	0.631	$\widehat{R \times Q} = -1726 + 0.209 P_{tv}$	0.599

按照相关系数检验 (5%) 可知, P 与 R 有着良好的线性关系,即这一沙丘向前作群体运动的距离与纵横向也即整个碎波能流的大小

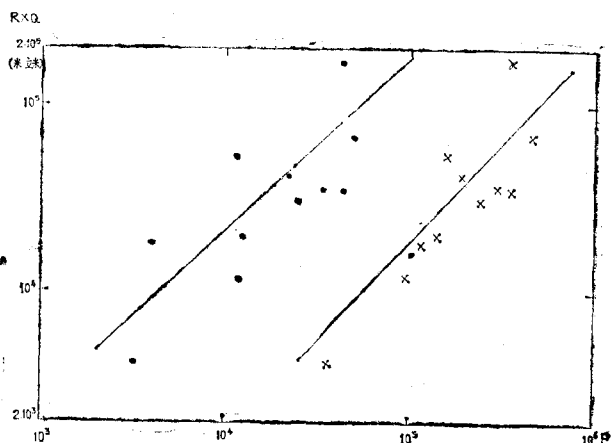


图6 $P-R \times Q$ 的关系

密切相关; P 与储沙增量向前运动所作的功 ($R \times Q$), 也可以建立线性关系; 而 P 与 Q 的相关则较差, 所配得的直线似乎是沒有明显意义的, 难以据此进行预测。

三、讨 论

综上所述, 山东白沙口附近海岸出现的我们称之为丘式沙波的群体运动, 与过去一些学者提出的坝式或岬式沙波的群体运动特性有明显的不同。它有着独特的初生、发展和併岸过程, 且随着沙丘的向岸运动, 其储沙量逐步增大, 这种不可逆转的海岸剖面发展过程, 与前人分析的风暴海岸塑造过程或马尔柯夫过程截然不同。同时, 分析得知, 丘式沙波的群体运动水平距离, 可以较好地应用纵向或横向碎波能流来预测。

但是, 从海岸工程的角度来看, 我们所关心的不仅是这类沙丘的向岸运动速度或水平距离, 而是其储沙增量的大小, 因此, 寻找其储沙增量的预报方程仍然是我们所面临的问题。

这里, 可以认为, 沙丘向岸运动的储沙增量即为向岸输沙量。那么, 在其一侧有防沙坝拦

截的情况下, 向岸输沙量应能大体上遵循波浪沿岸输沙公式。作者曾根据整个白沙口沿岸的20组资料, 分析得出波能沿岸输沙公式可写

作^[1]:

$$Q = 0.125P_{1s} \quad (4)$$

其系数的标准偏差为0.06, 如用一元线性回归式表示, 则为:

$$\hat{Q} = -1174 + 0.152P_{1s} \quad (5)$$

其线性关系良好, 相关系数达0.79。现试将式(5)与上表所列的同类回归式作一比较。通过 t 检验得知, $t = 1.69$, 小于1%的 t 值(2.77),

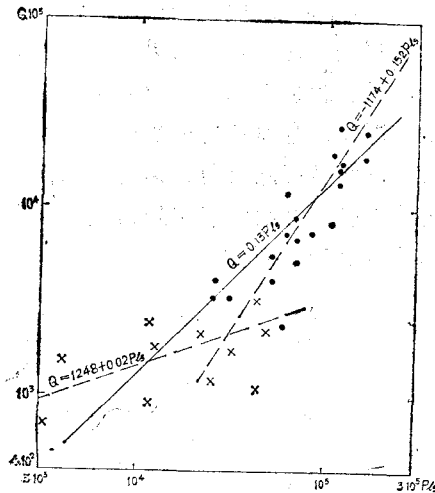


图7 纵向输沙公式合并

故可将这两条回归线联合起来(如图7所示)。合并后的回归方程为:

$$\hat{Q} = -1288 + 0.15P_{1s} \quad (5')$$

相关系数则增至0.853。联合后的波能沿岸输沙公式为:

$$Q = 0.131P_{1s} \quad (4')$$

与式(4)相当接近。因此, 作者建议, 在缺乏进一步观测研究的情况下, 丘式沙波群体运动的储沙增量可用波能沿岸输沙率公式(4)或(4')来估算。

参 考 文 献

- [1] 尤芳湖, 1979。波浪沿岸输沙率的计算公式。海洋湖沼通报 1:4—11。
- [2] Sonu, C. J., 1968. Collective Movement of Sediment in Littoral Environment. Proc 11th Conf. Coastal Eng., 373—400.
- [3] Sonu, C. J. and J. L. Van Beek, 1971. Systematic beach changes in the outer banks, North Carolina. J. Geol. 74:416—425.

COLLECTIVE MOVEMENT OF DUNE-TYPE SAND WAVE IN SURF ZONE

You Fanghu

(Institute of Oceanology, Academia Sinica)

Abstract

Collective movements of sand wave in surf zone are distinguished into two groups: "bar-type" and "cusp-type", as pointed by C. J. Sonu. Based on the field observations off the Shangdong coast, this paper presents a new type sand wave called "dune-type". This type forms on the foreshore bed and moves only in the onshore direction, the height, width and storage of this sand wave all increase with time, then, "dune" approaches to the shoreline.

Although the dynamic reason for this phenomenon is not so evident, this paper investigates the relationships between longshore energy flux of breaking waves (P_{1s}) and the resulting migration distance (R), and sediment storage (Q) of dune-type sand wave experimentally. The results indicate that the R and Q are directly proportional to the P_{1s} .