

# 薛家岛湾沉积动力学特征 及海港开发研究\*

李 凡 林宝荣 吴永成 王从敏

(中国科学院海洋研究所, 青岛 266071)

**提要** 于 1990 年秋对胶州湾内的薛家岛湾进行海洋水动力条件及沉积动力学特征、泥沙运动规律研究, 为开发建设港口提供科学依据。结果表明, 湾内水深大于 1m 的海底泥沙发生“全面移动”的时间, 一年内仅有 1—2d, 其余处于稳定状态或“表面移动”状态。湾内泥沙来源很少, 预计建港后, 港池和航道年平均回淤量分别小于 16cm 和 10cm, 对于开发中小型港口十分有利。

**关键词** 薛家岛湾 沉积动力学 海港开发

薛家岛湾位于胶州湾南部, 面积为 7.01km<sup>2</sup>, 平均水深为 2.1m, 湾口最大水深 3.6m。海湾的区域地貌类型为基岩港湾式海岸。湾内无大河流入, 海湾两侧附近沿岸无泥沙发育, 两侧岬角突出, 海湾伸入陆地呈半封闭型。从海岸地貌条件分析, 可开发为中、小型港口的理想场地。能否被开发利用, 则取决于湾内的沉积动力学特征。故需在研究湾内泥沙运动规律的基础上, 对建港后的回淤量进行预报。

于 1990 年 9—11 月对薛家岛湾海洋水文动力条件、沉积动力学特征及泥沙运动规律等进行了调查。结果如下。

## 1 海洋水文特征

**1.1 潮汐与潮流** 薛家岛湾为正规半日潮,  $(H_{O_1} + H_{K_1})/H_M = 0.33$ , 平均潮差为 2.63m, 最大达 4.0m。海流以潮流为主, 属正规半日潮流, 最大实测流速为 0.33m/s, 最大流速表层为 0.28—0.38m/s, 底层为 0.31—0.39m/s, 大于湾底泥沙的起动流速。从潮流椭圆图中可以看出, 湾内以往复流为主(图 1), 涨潮流进入湾内, 落潮则流出海湾。湾内涨潮流速大于落潮流速。

**1.2 余流** 由于湾小水浅, 余流流速一般不大于 1cm/s, 流向较乱, 不能构成明显的环流系统(图 2)。应当指出, 湾内潮流流速虽然大于该区泥沙的起动流速, 但因余流流速小且方向多变, 故不利形成湾内泥沙的定向搬运。

**1.3 海浪分布特征** 海浪是近岸浅水区泥沙运动的主要动力因素。本区海浪以风浪为主, 涌浪次之。波型以风浪居多, 混合浪次之。强波向为北向, 盛行波为东北向, 其年频率

\* 中国科学院海洋研究所调查研究报告第 2341 号。青岛市经济开发区资助项目。

参加工作的还有李成治、丁宗信、张君元、赵保仁、徐善民等同志, 谨志谢忱。

收稿日期: 1992 年 6 月 27 日, 接受日期: 1993 年 9 月 21 日。



图 1  $M_2$  分潮流椭圆长短轴分布 (表层)  
 Fig. 1 Distribution of tidal current ellipse axis of  $M_2$  (surface layer) of Xuejiadao Bight in Jiaozhou Bay, Yellow Sea

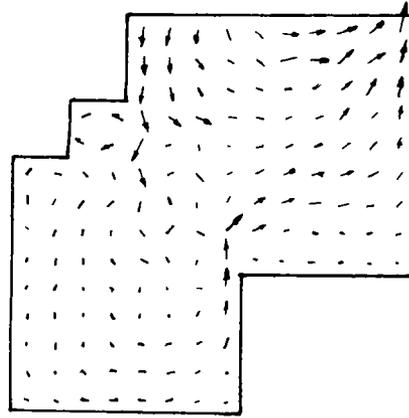


图 2 胶州湾南部欧拉余流场图(1:5)  
 Fig. 2 Distribution of Eulerian residual current in the southern part of Jiaozhou Bay (1:5), Yellow Sea

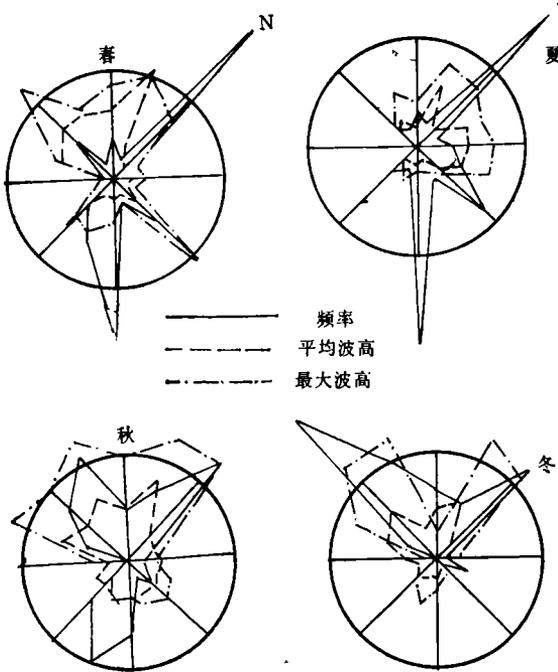


图 3 各季节波浪玫瑰图 (1980.8—1982.7, 引自国家海洋局第一海洋研究所, 1984)  
 Fig. 3 Seasonal distribution of the wave factors (Aug. 1980—Jul. 1982) of Xuejiadao Bight in Jiaozhou Bay, Yellow Sea

为 19%。海浪要素的季节分布绘于图 3。由于湾口朝向 NNE, 故北向大浪时湾内泥沙运动影响最大。特别是冬季, 强劲的北风可使湾内浅水区海底泥沙搅动再悬浮, 后顺流搬运至较稳定的海区沉积。据观测, 大风天气, 湾内海水中悬浮体含量可增至 7—10 倍。故海浪为本区海底泥沙运动的主要机制。但由于大风出现频率很低, 故海浪作用于湾底泥沙的机率很小。

**2 湾底沉积类型及其分布规律**

全新世以来, 湾内沉积了不同厚度的沉积物, 最大厚度为 8m。据粒度分析资料, 绘出本区湾底表层沉积类型分布图 (图 4)。从图 4 中可以看出, 沉积类型比较简单, 可分为细砂、粉砂和粉砂质粘土软泥等 3 类。按样品数量 (大致相当于覆盖面积) 统计列入表 1。从表 1 可

表 1 沉积类型及粒度参数

Tab. 1 Sediment patterns and grain parameters of Xuejiadao Bight in Jiao zhou Bay, Yellow Sea

沉积类型	样品数量 (%)	占样品总数 (%)	平均粒径 (Mzφ)	标准离差 (σ)	偏态 (Sk)	峰态 (K <sub>G</sub> )
细砂	5	2.3	3.12	1.12	+0.25	1.84
粉砂	7	13.0	4.88	1.65	+0.46	1.71
粉砂质粘土软泥	42	77.7	6.14	2.02	+0.15	0.62

可以看出，粉砂质粘土软泥占湾内样品总数的 77.7%。它们主要分布在海湾中部及水下岸

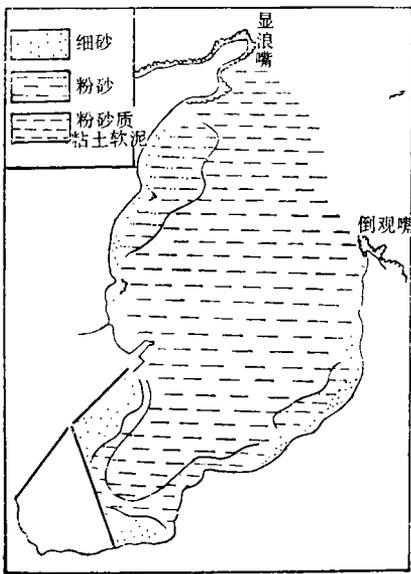


图 4 薛家岛湾沉积类型分布

Fig. 4 Distribution of sediment pattern of the Xuejiadao Bight in Jiaozhou Bay, Yellow Sea

坡下部的大部分海区。砂质沉积物数量很少，主要分布在湾顶及岸边局部浅滩区。总体而言，沉积物分选较差，除岸边的细砂在海浪筛选作用下分选较好外，绝大多数 σ 值大于 1.6，而粉砂质粘土软泥 σ 则高达 2.2。σ 值偏大说明，湾内沉积物的物源近，搬运距离短，搬运过程中，以及沉积后得不到充分的分选。同时沉积物的 Sk 多为正值说明，海浪虽是泥沙搬运的重要动力因素，但机率太小，经常起作用的仍是潮流。

应当指出，湾内大部分海底生长很多大叶藻 (Rostera marinal)。大片海草的生长增大了海底的糙度，减小了流速和海水的垂直紊动强度，阻碍了沉积物的再搬运，这也是形成大面积细粒沉积物分布的重要原因。

### 3 湾内泥沙运动规律

3.1 湾底泥沙活动性分析 流速大于泥沙起动临界流速时即泥沙发生运动。粒径小于 0.05mm 的细粉砂及粘土颗粒，其扬动流速大于

起动流速(沙玉清, 1964), 即泥粒一经起动立即悬浮。考虑到本区港口开发工程的需要, 计算湾底泥沙动态时, 采用佐藤氏的公式, 因为该式依现场实验为基础, 同时考虑到海浪和泥沙要素。该式为:

$$\frac{H_0}{L_0} = 1.35 \left( \frac{d_s}{L_0} \right)^{1/3} \sin h \frac{2\pi D_1}{L} \cdot \frac{H_0}{H} \tag{1}$$

$$\frac{H_0}{L_0} = 2.40 \left( \frac{d_s}{L_0} \right)^{1/3} \sin h \frac{2\pi D_2}{L} \cdot \frac{H_0}{H} \tag{2}$$

式(1)计算沉积物表面移动的临界水深, 式(2)计算全面移动临界水深。本区的海浪要素列入表 2。

文献中无海浪周期资料, 只提到最大周期 (τ<sub>max</sub>) 为 3.7s。本次现场实测大浪周期为

表 2 海浪要素分布(国家海洋局第一海洋研究所,1984)

Tab. 2 Distribution of the wave factors of Xuejiadao Bight in Jiaozhou Bay, Yellow Sea

$H_{(1/10)}$ (m)	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5
频率(%)	44	22	10	10	5
$H_{(1/3)}$ (m)	0.08	0.16	0.24	0.32	0.39

表 3 湾底泥沙起动临界水深<sup>1)</sup>

Tab. 3 Threshold depth of the sediments on sea bottom of Xuejiadao Bight in Jiaozhou Bay, Yellow Sea

$P$ (%)	$H_{(1/10)}$ (m)	$H_{(1/3)}$ (m)	$\tau$ (s)	$L_0$ (m)	$d_s$ (m)	$D_1$ (m)	$D_2$ (m)	$d_b$ (m)
44	0.1	0.08	3.7	21.36	$1.34 \times 10^{-5}$	0.47	0.21	0.23
22	0.2	0.16	3.7	21.36	$1.34 \times 10^{-5}$	1.13	0.54	0.37
10	0.3	0.24	3.7	21.36	$1.34 \times 10^{-5}$	1.86	0.91	0.48
10	0.4	0.32	3.7	21.36	$1.34 \times 10^{-5}$	2.58	1.31	0.58
5	0.5	0.39	3.7	21.36	$1.34 \times 10^{-5}$	3.20	1.72	0.68

表中  $d_b$  为海浪破碎水深。

3s。从安全考虑,取  $\tau = 3.7s$ , 计算结果列入表 3。由于受潮汐作用的影响,表 3 中  $D_1$  和  $D_2$  的位置是变化的。如果求海图上某一水深处的海浪作用频率,可按不同波高作用的临界水深  $D_1$  分别绘出  $D_1$  和  $D_2$  的累积曲线(图 5),再按所求点的海图水深加该区平均低潮位,得出该点的实际水深,然后在曲线图上查找即可。例如:求海图上 2m 等深线处的海浪作用频率,查本区平均低潮位为 1.128m,即该处实际水深为 3.128m。在图 5 上查得泥沙相应的表面移动频率为 9%,全面移动频率为 0,说明 1 年之内,2m 等深线以外的湾底,泥沙处于表面移动状态的时间频率为 9%,即最长不超过 32d。1 年之内没有一天其底部泥沙发生全面移动。相应地,在 1m 等深线附近,其表面移动和全面移动的时间频率分别为 24% (86d) 和 0.5 (1.8d)。由此可以得出:(1) 水深大于 2m (海图水深)的湾底泥沙,常年不会发生大规模的全面移动行为。(2) 水深 1—2m 处的湾底泥沙,除大风天气过程外,一般也不会发生全面移动。因此可以认为,该区除低潮线附近外,泥沙活动十分微弱。

**3.2 海底泥沙的再悬浮** 实测表明,调查区在正常天气条件下,海水 中含沙量为  $0.004-0.0128\text{kg/m}^3$ , 平均为  $0.0049\text{kg/m}^3$ 。1990 年 11 月 13 日出现北向大风,风速

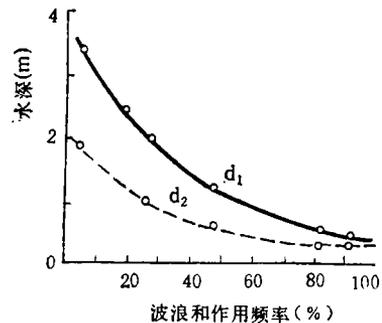


图 5 海浪作用临界水深曲线

Fig. 5 Threshold depth curves of wave action of Xuejiadao Bight in Jiaozhou Bay, Yellow Sea

为 17.9m/s, 平均波高为 0.9—1.1 m, 最大为 1.2 m。此时含沙量增至 0.033—0.093 kg/m<sup>3</sup>, 平均含量为 0.049kg/m<sup>3</sup>, 比正常天气条件下大 10 倍。再悬浮的泥沙粒径一般小于 0.05mm, 其挟流速为 1cm/s, 很容易“随波逐流”, 被带到湾内海水较稳定的环境下沉积。但是由于总体上含沙量较小, 而且再悬浮的时间频率低, 故湾内不会产生大规模的泥沙运动。另根据全潮水沙平衡计算, 落潮带出湾外的泥沙量为 167t, 涨潮带进的为 257t, 带出的泥沙量仅为带进的 65% 左右, 因此不断有泥沙顺潮流带入湾内, 但唯量甚小。本区海水中含沙量与其它港湾比较是很小的, 连云港区为 0.297 kg/m<sup>3</sup>, 赤湾港区为 0.173 kg/m<sup>3</sup>, 海口港区为 0.207—0.228kg/m<sup>3</sup> 等, 分别为本区的 29, 17, 20—22 倍。

#### 4 海港开发的可行性分析

目前对于淤泥质海岸的港池、航道回淤预报公式已有十几种, 其中简易而又相对可靠的办法是采用经验关系式。本文采用的是刘家驹公式(1982):

$$P = \frac{\cos t}{r_0} \left\{ K_1 \left[ 1 - \left( \frac{d_1}{d_2} \right)^3 \right] \sin \theta + K_2 \left[ 1 - \frac{1}{2} \frac{d_1}{d_2} \left( 1 + \frac{d_1}{d_2} \right) \right] \cos \theta \right\} \quad (3)$$

式中,  $P$  为航道年淤积强度 (m)。经测量计算, 上述有关参数分别为:  $\omega = 0.05\text{m/s}$ ;  $r_0 = 795\text{kg/m}^3$ ; 航道区  $d_1, d_2$  分别为 4.50m 和 6.46m, 泊位前分别为 3.80m 和 7.96m; 北向风涨潮时  $S = 0.0117 - 0.0218\text{kg/m}^3$ , 落潮时  $S = 0.0042 - 0.0099\text{kg/m}^3$ ; 南向风涨潮时  $S = 0.0089 - 0.0141\text{kg/m}^3$ , 落潮时  $S = 0.0099 - 0.0155\text{kg/m}^3$ ; 涨潮时  $\theta = 16 - 53^\circ$ ,  $\theta = 53 - 16^\circ$ 。

依式(3)计算结果为, 航道区年平均回淤强度为 0.044m, 最大为 0.097m, 即年平均回淤强度不大于 10cm, 港池区平均为 6.8cm, 如果计入含沙量和平均流速统计的标准离差  $S = \pm 0.0143$ , 则最小回淤强度为 0, 最大为 15.6cm。由于平均值有很好的代表性, 故预报值可以取平均值。如不考虑人为影响或其它异常因素的影响, 按设计回淤富余深度 0.4m 考虑, 则航道和港池区安全使用期分别为 8—10a 和 6—7a。由此得出结论, 在该区开发 2 000t 级的中型港口, 自然条件良好。

#### 参 考 文 献

- 刘家驹, 1982, 连云港扩建工程港口回淤问题的研究, 水利水运科学研究, 4: 33—43。  
沙玉清, 1965, 泥沙运动学引论, 中国工业出版社(北京), 186。  
国家海洋局第一海洋研究所, 1984, 胶州湾自然环境, 海洋出版社(北京), 24。

# STUDY ON THE SEDIMENT DYNAMIC CHARACTERISTICS AND HARBOUR DEVELOPMENT OF THE XUEJIADAO BIGHT IN JIAOZHOU BAY, YELLOW [SEA]\*

Li Fan, Lin Baorong, Wu Yongcheng, Wang Congmin

(*Institute of Oceanology, Academia Sinica, Qingdao 266071*)

## ABSTRACT

Xuejiadao Bight is in the southern part of Jiaozhou Bay, Yellow Sea. In order to develop the harbour, its marine hydrodynamics, sediment dynamic properties and sand transport processes were investigated in Autumn 1990. The results showed "Whole sand movement" on the bottom of more than 1'm water depth lasts 1—2 days in a year and steady or "surface sand movement" elsewhere. The sources of sand are rather limited and average siltation amount in the harbour and channel is less than 16cm and 10cm respectively after establishing the harbour, and very favourable for further out of middle, and small harbours.

**Key words** Xuejiadao Bight Sediment dynamics Harbour development

\* Contribution No. 2341 from the Institute of Oceanology, Academia Sinica.