

# 现代沉积构造的水动力解析尝试

## ——潮流沉积一例

于 联 生  
(山东海洋学院)

**内容提要** 在美国西海岸的一个小河口湾中沉积动力观测系统(SDS)进行现场试验之际,采集了四个箱式柱样,经过X光透射照相和粒度分析、判读分析等工作,获得了该处沉积作用的动态分析成果:1.确定出潮流活动层厚及其影响的因素。2.鉴定出涨潮流层与退潮流层。3.推移质沉积与悬移质沉积。4.确定出底层潮流中存在着优势流,且定为涨潮流。5.确定出该潮流的流速大小。以上解析结果都为现场SDS实测资料所证实是正确的,进一步求得动态的具体数据,最后建立了一个潮汐通道的简单沉积模式。

**主题词** 原生沉积构造 X光透视照相 解析水动力的状况 潮流沉积 潮汐通道环境  
**作者简介** 于联生 男 58岁 副教授 海洋地质

现代沉积学的研究重心是沉积作用,特别强调沉积作用的过程和机制的问题。沉积作用是与沉积环境中的很多因素有关,尤以与动力因素紧密相关。过去对沉积物的研究常由于受到方法和手段上的限制,往往只注意组分、成分以及来源等方面的问题,而对于沉积物结构构造,虽然也做了一些工作,但都以野外观察、肉眼所能看到的大沉积构造为主,或者借助显微镜来对松散颗粒的表面形态及其间的接触、排列进行一些观察和研究,或在水槽中进行一些理想条件下泥沙运动的试验与研究,对于解决沉积构造的实际问题犹如隔靴搔痒,尤以海底沉积的原生构造就更少得可怜。至于动力作用与沉积结构构造之间的关系,是说不清楚的。其间的沉积作用机理也因此常处于臆想与推断之中。自1969年Arnold H. Bouma在他的沉积物构造研究方法的专著中,把X射线照相技术作为研究沉积构造的一种有效方法进行了详细介绍和总结,由此得以在现代沉积学中广泛应用,揭示出外部构造形态在沉积物内部的延伸情况,且把隐性的沉积构造得以清晰地显示出来。

笔者去年有幸与美国华盛顿大学沉积动力学家R. W. Sternberg教授进行协作,主要是趁他在进行沉积动力观测系统(SDS)现场试验之际,笔者以箱式取样器采样。地点在美国西北海岸大峡湾内一个小河口湾,三角洲前缘的潮汐通道里(图1)。水深达30米,该处潮汐系不正规的半日潮,潮流近似往复流,尤以在沟底最清楚。涨潮流向 $290^\circ$ ;退潮流向 $110^\circ$ 。根据旁侧声纳记录,在该通道内见有大小不等的沙波、波痕( $L = 1-10\text{m}$ ;  $H = 5-30\text{cm}$ )的存在。

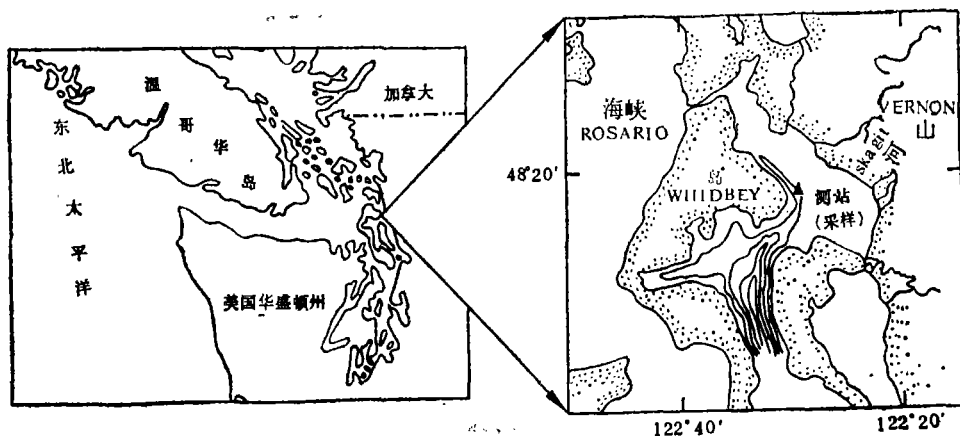


图1 沉积动力观测系统现场试验的站位即采集柱样的地点(△)

Fig.1 Location of sampling and field work for sediment dynamic system (SDS)

## 方法与步骤

沉积动力观测系统系将各个单项观测仪器组装在一个三角架上,它能同步地自动观测记录下海底边界层的水体流速、流向、潮位、浊度等多种项目。笔者使用了一个普通箱式取样器,口径为 $20\text{cm} \times 30\text{cm}$ ,能采集不受扰动的原状柱样,进行沉积物结构和构造的分析。笔者一共取了四个箱式柱样岩心。其中三个可构成该潮汐通道的剖面,有二个组成时间序列。

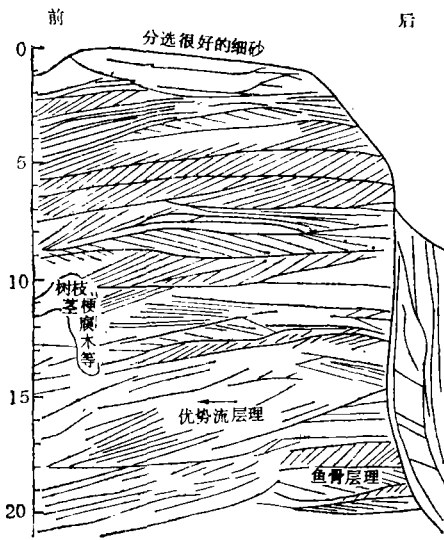
取回箱样后,在室内把箱式取样器的一侧卸下,用不锈钢插片和有机玻璃长方盘作为托盘,连箱状样品切割成板状样品。刮平修整到厚度约 $1\text{cm}$ 左右。然后连同感光胶片一起,放入X-光透射仪(Faxitron, 43804N型)。注意胶片需紧贴于板样盘之下,与X-光管的距离约为 $61\text{cm}$ ,管电流一般定为 $3\text{mA}$ ,电压用 $45\text{KV}$ ;曝射时间 $10-15$ 分钟。进行冲洗处理(图2a)。再进行 $1:1$ 的沉积构造素描,有时要对照板样进行勾画,或作些注释,目的是突出构造形踪(图2b),并做部分样品的粒度分析,最后进行解释,且与水体边界层实测资料进行对比,以验证解释成果。在整个方法和步骤中,值得强调的关键问题是,在采样、运样和制样的过程中,务必使松散沉积物能保持住原状,一点也不受到扰动。

## 讨论与成果

在此提出四个主要问题,归纳六个结论:

1.如何从X光透射过的胶片(或像片)上众多的交错层理(图2a、b)中判读、鉴别或划分出各个不同的层次来?

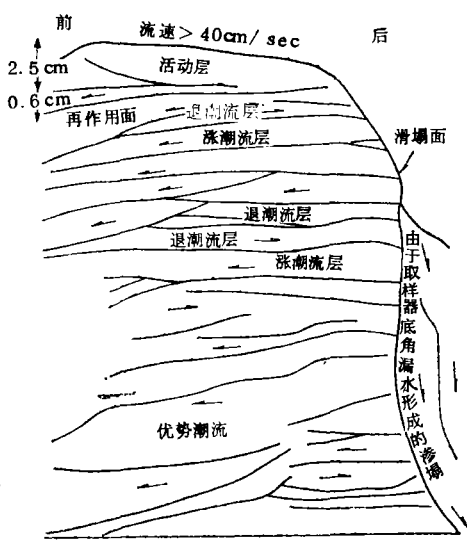
在像片(或胶片)上有规律出现的、呈波状起伏的较深暗的线条正是许多纹层或纹



站位, 122°33.20'W 水深26.0米  
48°19.15'N 日期1983-05-26

图 2 a 柱样号 3—3 层理素描

Fig.2a Sketch of the bedding of sample 3-3



站位, 122°30.20'W 水深26.0米  
48°19.15'N 日期1983-05-26

图 2 b 柱样号 3—3 解释

Fig.2b Interpretation of the sedimentary structures of sample 3-3

理密集交汇的地方。可以认为，这些线条就是再作用面在垂向上的侧面投影，也就是代表再作用面，即沉积作用的间断面。它们与水体中出现的极大流速相吻合、相对应。它们即代表着极大流速。由于流速极大，底面颗粒在此时所受的剪切应力也是极大，致使底床沉积物颗粒重新排列成相对紧密的堆积以相适应。当沉积物孔隙度相应变小，X光就不太容易透过，因此在像片上就留下了较暗的线条。据此，就可把这些当做一种标志线条在像片上划分出层次或层理来。

(1) 底质活动层厚度可在像片上直接定出，为1.5—2.5cm。活动层是指在一次水体营力作用过程中，海底表层沉积物参与该次运动的厚度，也可认为是该次有多少沉积物参与了这次运动。这一厚度数据对于海洋工程和沉积物搬运（尤以推移质）的调查是极为重要的。对于沉积岩相分析来说，也是恢复古水流重要的资料。

(2) 活动层的厚度在该潮汐通道的不同部位上是不同的。这可从构成剖面的三箱柱样胶片上作出判读。通道底部的（2.5cm）较沟坡处的（1.5—20cm）要厚些，约厚0.5—1.0cm。通道顶部侧边最薄。这样一种活动层厚的分布也就相对应地说明通道水体流速的分布：通道中流速最大处是在该沟底，向上沟坡处变小，再向上至沟顶处侧边就更小。这也可从通道剖面上沉积物类型分布作出这一判断来（参见图6和下面的第六点）。影响活动层厚的因素，除了流速强度大小之外，还有三个因素：即流向流速的持续时间，底质形貌（也称床沙形体），和沉积物颗粒的水力特性（如密度、粒径、形状等）。流速流向如能保持一定，持续时间越长，则活动层厚度就越大。底质形貌是指水体底部凹凸粗糙的程度，往往在低洼部位上，层厚增大，在凸起的部位上变薄，所以

在确定活动层厚度数据时,这一点应予注意。沉积物颗粒的水力特性不同表现为:有的颗粒极易搬运,有的则较难侵蚀;有的一经起动后,能较长时间地悬浮于水体中。因此由这些颗粒组成的活动层厚度也会不同。

## 2. 如何从像片上判别出涨潮流层与退潮流层来?

这一问题的最终解决,还需依据沉积物构造本身的特征。由于海底沉积物常被水动力重新改造,来自河流的组分与来自海洋的组分相互混杂而不易被分辨。当已知在该通道中存有各种大小不等的波痕,即使在箱式柱样的顶面上也可看到小波痕的存在。根据波痕形成的原理(Allen, J.R.L, 1968; Wunderlich, 1967; Jopling, A.V. & Walker, R.G.1968),波痕前积纹层可用作水流方向的指示器<sup>[5,6,7]</sup>。从像片(或胶片)上可明显地判读出两组流向完全相反的交错层理,形成人字形纹理,也称鱼骨形纹理(图2b)。如果能在箱式取样器上按装一个水下罗盘的话,则涨潮流层与退潮流层依据方位随即就可被定出。可惜此次在箱式取样器上没有按装水下罗盘。但这次采样有现场的潮位和潮流记录。由于第二箱柱样是在高潮2小时后采集的,因此最表层的层次应是退潮流层(流向 $110^{\circ}$ ),依次向下的顺序可将反向层划为涨潮流层( $290^{\circ}$ )来,在一直向下划分的过程中以及在底层划分中,发现存在有优势流的层理(图2b),而且正是涨潮流在该通道底部是优势流。这一发现还为河口区的环流模式理论(D.W.Prichard,1967; Allen,G.P,1971)提供了在沉积物微构造上的证据。这一发现也为现场实测

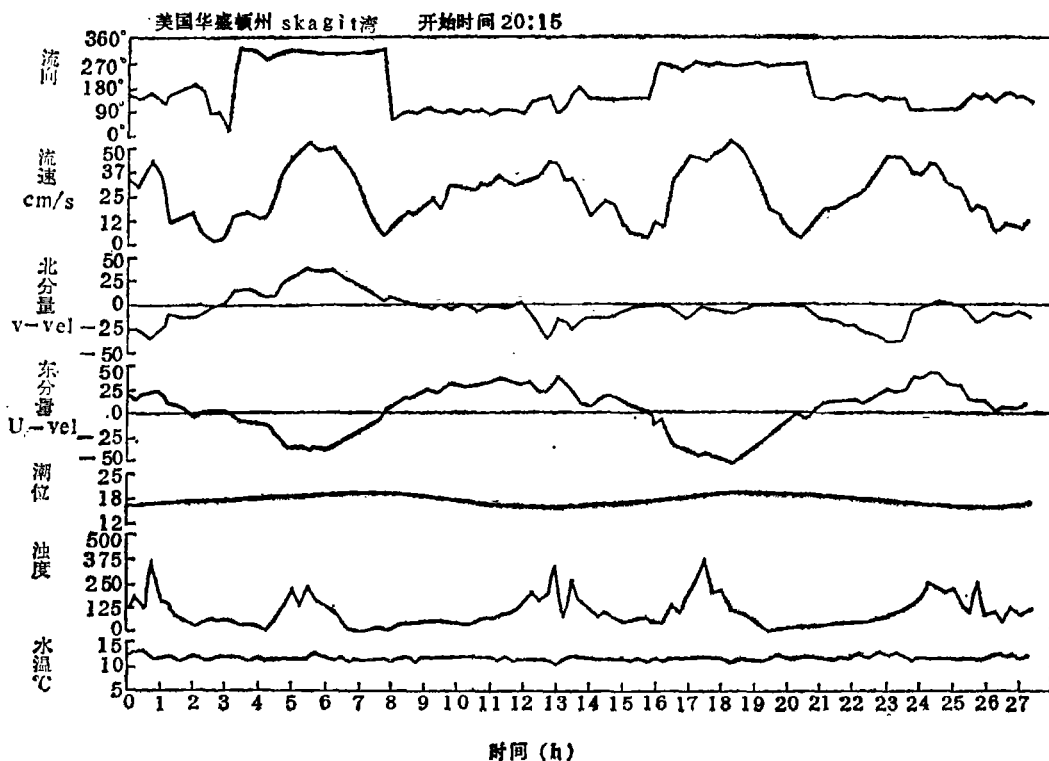


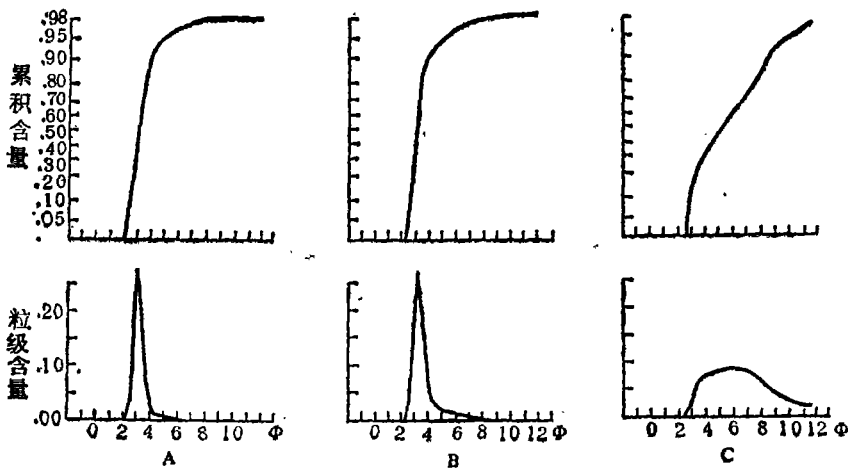
图3 沉积动力观测(SDS)的现场记录

Fig.3 The record of SDS on the spot

资料(图3)所证实。

值得提出的是,必须注意制板样的方位,要与水流方向相平行即横切波痕前积纹层,否则见不到前积纹层,也就无从划分出涨潮流层与退潮流层了。

(3)从胶片上可以直接判读出一个潮汐周期中沉积动态的信息。如在一个涨潮流的周期里可判读出活动层厚度2.5cm,侵蚀率是1.5—2.0cm。这样,净沉积速率为0.5—1.0cm,在稍高部位上该数值要小些,约为0.5cm;在突起部位上甚至可为0.0cm,也即在一个潮周期中没有沉积作用发生。显然,影响这些速率数据的因素是与影响活动层的因素相同的。似乎与底质形貌的关系更为密切。在低凹部位沉积厚些,突起部位薄些。可采用统计学方法求出平均沉积速率。这些沉积动态的数据资料对于沉积动力学和海洋工程上,尤以港口建设,至为重要。这一方法的优点还在于从胶片上直接判读出来,无需通过复杂的计算。



A,箱样3—2,沟底表层沉积物水深26.0m,  $\bar{x}$ ,  $M_z$ , 3.23,  $\sigma_4$ 1.39 SK 4.22,  $K$  23.13  $M_4$ 3.00,

细砂B,箱样2—4,沟坡表层沉积物水深23.5米,  $\bar{x}$ ,  $M_z$ , 3.34,  $\sigma_4$ 1.29,

SK 4.50,  $K$  25.78,  $M_d$ 3.25, 极细砂

C,箱样5—1,沟顶沉积物,水深5.5m,  $\bar{x}$ ,  $M_z$ , 5.8,  $\sigma_4$ 2.25, SK 0.59,  $K$  2.82,  $M_4$ 6.00, 粉砂

图4 该潮汐通道底部和沟坡的表层沉积物粒度( $\phi$ )曲线图和粒度参数都说明沟底与沟坡是分选良好的细砂,但沟坡稍细

Fig.4 Size distribution curves and parameters to indicate the well-sorted fine sands of the surficial sediment on the bottom and the slope of the channel and more fine on the slope than on the bottom

### 3. 如何从沉积物本身求得水流流速的数值来?

若根据沉积构造——波痕前积纹层的角度和形状判断出水流的强弱来,只是定性地说出强弱的相对关系而已。众所周知,颗粒的起动速度是粒径的函数,而且有不少现成的公式(Inman, 1963)〔1〕可用来计算,同样也可从水流流速与颗粒粒径的曲线关系图(Hjulström, 1939; Sundborg, 1967; Sternberg, 1972)(图5a),依据粒径查出相对应的起动流速来。经过多次的粒度分析,该通道沟底和部分沟坡的表层沉积物是分

选程度很高的细砂（中值粒径 $3.00\phi$ ，标准偏差 $\sigma\phi = 1.42$ ）（图4）。据此可算出或查找出相应的流速为 $40\text{cm/s}$ ，由于这种起动流速，是个下限故可得出该潮流速可达 $40\text{cm/s}$ 以上。后与现场实测资料（图3）对比，结果相符。应该指出，目前尚存在不能推算出完整确切的数值的缺陷。

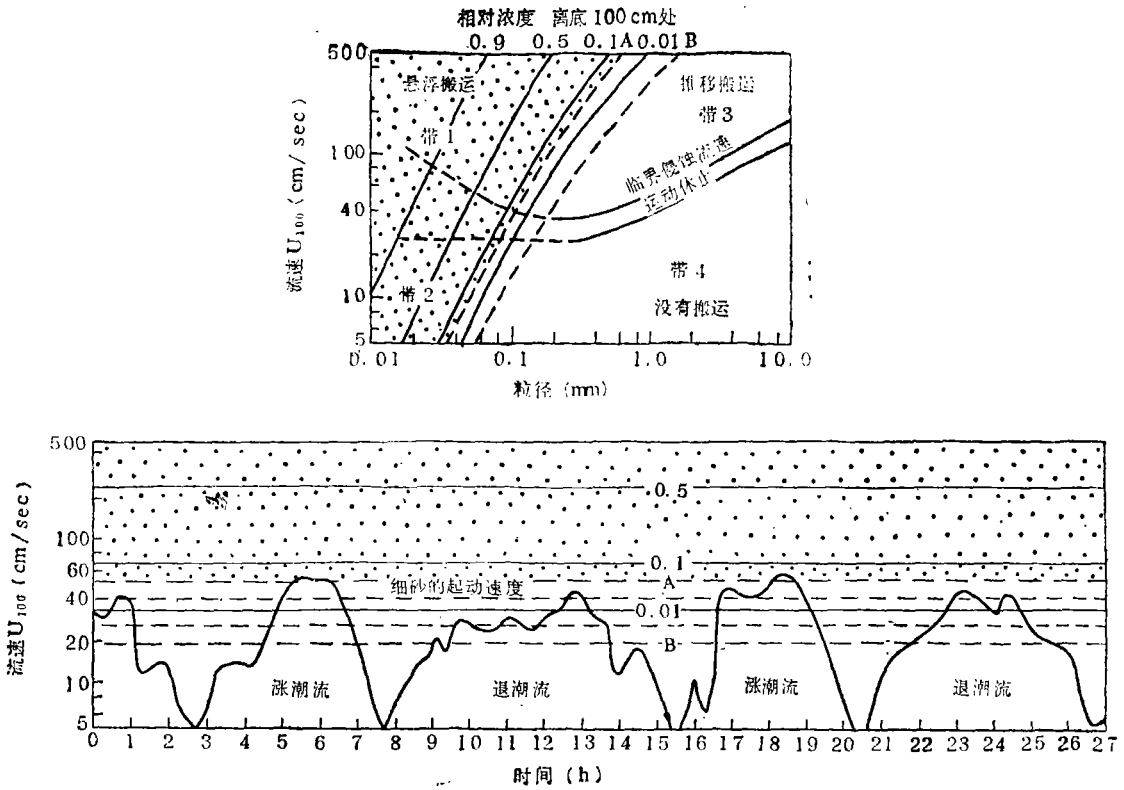


图5 左上图为流速、粒径和沉积物运动状态之间的关系图（Sundborg, 1967, Sternberg, 1972修改） $A \frac{W_s}{Ku^*}$ ,  $B \frac{W_s}{Ku^*}$

可与图3三角架观测流速记录构成一个三维立体图。由于沟底沉积物系分选良好的细砂（ $Md = 3\phi$ 即 $0.125\text{mm}$ 粒径固定不变可改成下图即沟底沉积物运动状况随着流速的变化情况图

Fig.5a The relationship between velocity, grain size, and state of sediment movement (Sundborg, 1967; Sternberg, 1972)

5b With the change of current velocity the state of sediment movement on the channel bottom variations

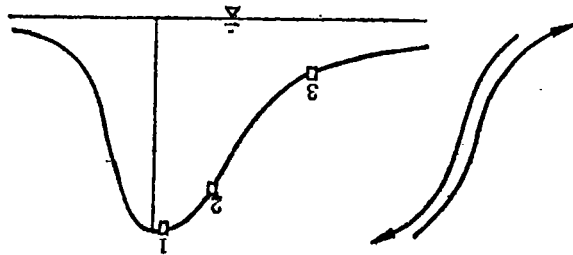
#### 4. 如何从沉积构造胶片上判断出悬移负载与推移负载？

这个问题较棘手，在多次反复的沉积构造的素描过程中，发现在下凹部位中偶而见有前积纹层向上逐渐消失的现象，在与波痕形成的理论进行对照，发现悬移沉积与推移沉积的界限可能就在于此。因为前积纹层是由于推移负载（包括跃移部分）沿着底面滑动、滚动、跳跃以及坍落等运动而形成的。悬移负载在沉积时就不会产生上述的前积纹层。这一判别的见解在察看了现场实测资料（图3）后，得到了证实与肯定。在图3实

测的流速和浊度曲线的对照中可看到，流速当达到一定程度（如 40cm/a）后，海水浊度就随着流速的增加而增加，也即表示悬移负载在增加。又从流速变化曲线来看，涨潮流中流速的增加是平缓的；而流速的降低减弱的过程是陡急的。流向曲线也有类似现象。因此悬移质由于流速的急剧降低，它在沉积过程中可不通过推移阶段就从水体中直接沉积下来，因而也就不会有前积纹层。该悬移沉积往往在下一个潮流中又被侵蚀掉，只有在地形低凹的部位上才能有幸存保留的悬移质沉积。由此可以导出第五点结论。

（5）依据沉积构造的像片（胶片）上判别出悬移负载搬运与推移负载搬运的可能性是完全存在的。

（6）最后，利用三箱柱样结构构造的有限资料，综合起来构成一个剖面，初步建立起一个河口环境中潮汐通道的沉积模式（图 6）



3. 沟顶：粉砂（随机沉积植物碎屑）2. 沟坡：粉砂质砂（具滑塌和扭曲构造）  
1. 沟底：细砂（鱼骨交错层理和优势流层理）沟底至水面距离为 26.5m

图 6 河口环境中潮汐通道的沉积模式

Fig. 6 A sedimentary model of tidal channel in estuarine environment

注意这一模式与传统的想法不同，它是随着水深的加大，沉积物粒度变粗，也即水流强度变大，恰好与传统的正相反。这倒与浅水的潮坪沉积是一致的。从图 1 上可以看到，这是一种封闭性很高，但又可与外海水自由连通的峡湾环境内，一条主干潮汐通道的沉积特色。

笔者期待运用这一模式和上述找出的一些关系，作为钥匙去试解沉积岩中的原生构造问题，以恢复古环境，重建古地理，能为寻找沉积矿藏服务。

本文系水动力解析系初次尝试。沉积物微构造中的问题很多，如在沟坡上的厚泥层问题，以及砂/泥互层的问题等，仍然象一些没有被破译得出的密码似的谜。只要坚持不懈地去进行观察和研究一定会取得成功。

收稿日期 1986年2月5日

### 参 考 文 献

- [1] Shepard, F.P., 1973, 海底地质学, 梁元博、于联生译, 1979, 科学出版社, 448页、
- [2] 刘宝珺主编, 1980, 沉积岩石学, 地质出版社, 496页、
- [3] Allen, J.R.L, 1982, Sedimentary Structures, their character and physical basis, Elsevier, V, 1 & 2, P.593, 505
- [4] Bouma, A. H., 1969, Methods for the study of sediment structures, Wiley, p.

485

- [5] Harms, J. C., Southard, J. B., Spearing, D. R. and Walker, R. G., 1975, Depositional environments as interpreted from primary sedimentary structures and stratification sequences, Society of Economic Paleontologists and Mineralogists. Spe. Pub. 12.
- [6] Middleton, G. V. ed., 1965, 1977, Sedimentary processes: hydraulic interpretation of primary sedimentary structures, Soc. Econ. Paleo. Min., Special Publication 12.
- [7] Reineck, H. E., and Singh, I. B., 1973, Depositional sedimentary environments, Springer-Verlag.

## A TRIAL HYDRO-DYNAMIC INTERPRETATION ON MODERN SEDIMENTARY STRUCTURE—AN EXAMPLE OF TIDAL SEDIMENTATION

Yu Liansheng

(Department of Geology, Shandong College of Oceanography)

### Abstract

During the field work for Sediment Dynamic System (SDS) four box-core samples were taken in a tidal channel of Skagit Bay, Puget Sands Washington U. S. A. By using the X-radiography equipment and the conventional analysis in laboratory, some results have been got from sedimentary structures as follows:

1. The tidal active layer (or reactivity layer) is defined, its thickness of 1.5-2.5 cm, and its influential factors are examined critically.

2. According to the features of the sedimentary structures, the layers of flood current and ebb current can be differentiated, the layers of bedload and suspended load discriminated, too.

3. There is a dominant current found along the bottom of the channel, and it is defined as the flood current

4. Based on the granulometric data of the sediment, the speed of the tidal current ups to more than 40 cm/sec.

The judgments above are confirmed by spot data measured by SDS.

5. Using the X-radiographed films, the information of the channel sedimentation



---

is got, for example net deposition rate is 0.5-1.0 cm, erosion rate is 1.0-1.5 cm in a tidal cycle.

6. A simple sedimentation model of a tidal channel in estuarine environment is set up finally.

于联生

现代沉积构造的水动力解析尝试

图版 I

YuLiansheng TRIAL HYDRO-DYNAMIC INTERPRETATION MODERN  
SEDIMENTARY SEDIMENTATION

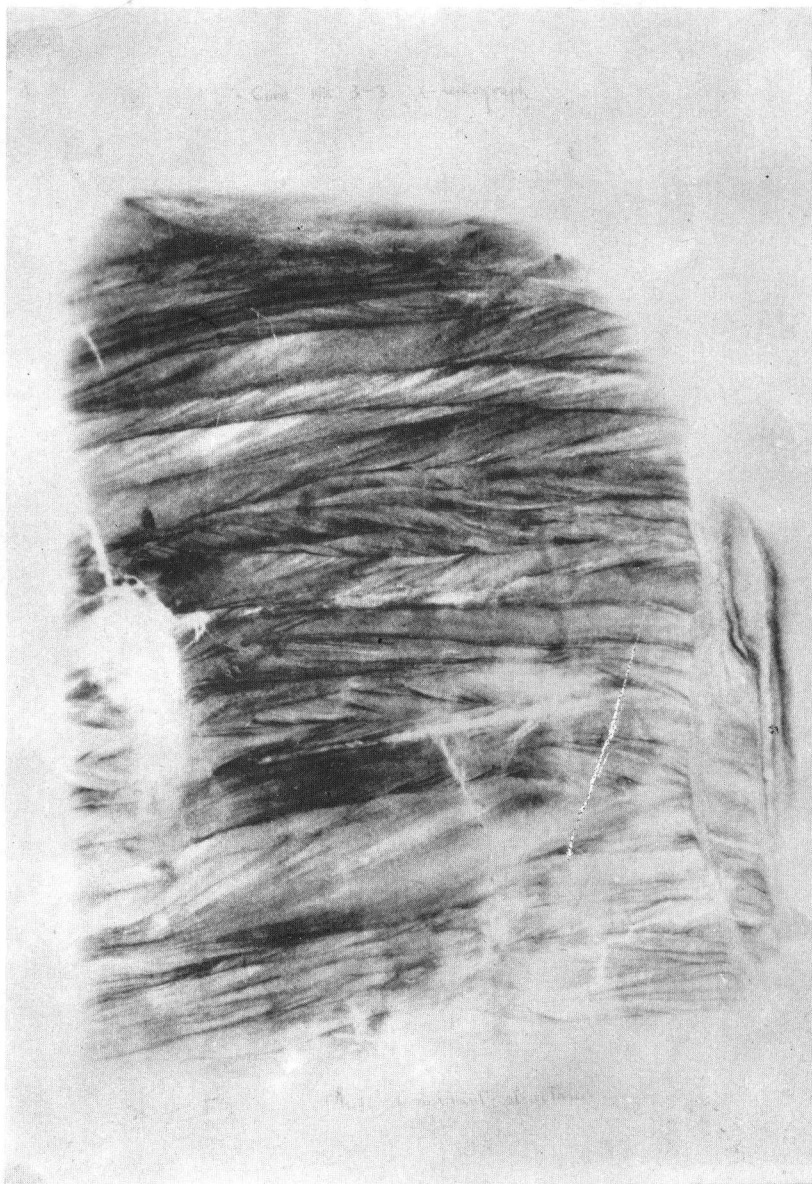


图 2a 箱式柱样 3 - 3 号的 X 射线照片