

舌状三角洲和鸟足状三角洲 形成及演变的沉积模拟实验

赖志云 周 维
(江汉石油学院, 湖北)

提 要 本实验是在美国科罗拉多州立大学地球资源系的一个长6m、宽4.5m、高0.8m的水槽内进行的。实验中保持流量、含沙量、粒度级配等参数不变,仅改变湖平面高程。实验分三个阶段进行,即: I. 湖平面固定; II. 湖平面由高逐渐降低; III. 湖平面由低逐渐升高。

本文着重提出入湖斜坡区的坡度控制着舌状三角洲、鸟足状三角洲的形成、演变;对舌状三角洲的成因提出新的观点;用三角洲沙体的宽厚比值作为识别舌状三角洲和鸟足状三角洲的另一个重要标志,这对于从事石油天然气勘探是很有意义的。

关键词 舌状三角洲 鸟足状三角洲 沉积模拟 湖平面 沉积速率

第一作者简介 赖志云 男 1930年11月出生 教授 沉积学

1 实验装置

1.1 水槽尺寸及结构(见图1)

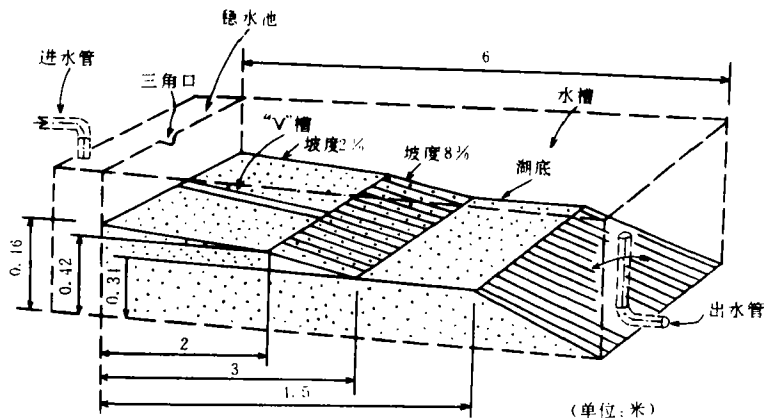


图1 实验水槽

Fig. 1 Experimental flume

水槽有效长 6m、宽 4.5m、高 0.8m。

清水由进水管流入稳水池,经三角口流入河道,水槽内的水经出水管流出,出水管可改变角度以控制槽内水位的高度。水槽上有活动测桥,用于检测水槽内沉积体的变化。

1.2 河道及湖盆的原始地形(人工造形)

河道长 2m、宽 10cm、深 2cm、坡降 2%;入湖斜坡区长 1m、坡降 8%;湖底区长 1.5m、宽 4.5m、坡降为零。

2 三角洲模拟实验过程

实验中保持流量 0.35L/s、加沙量 4g/s、粒度级配等参数不改变,仅改变湖面高程。实验分三个阶段进行,即:Ⅰ.湖平面固定;Ⅱ.湖平面由高依次降低;Ⅲ.湖平面由低逐步升高。各阶段跟踪观察河道变化,三角洲的形成、演变,并测量其形态、厚度以及取沙样共历时约 50 小时。

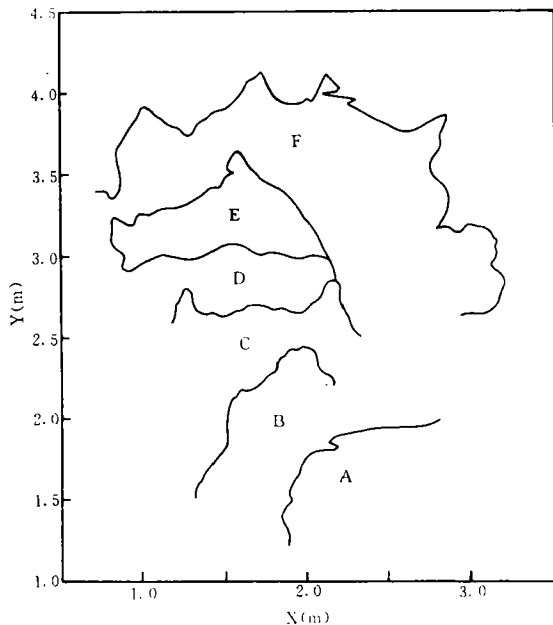


图2 在第三阶段湖水水平面上升形成的三角洲特征

Fig. 2 Delta expanding characteristics
formed at stage with lake level raised

次下降,再加上前阶段细物质的淤积使湖底变浅,斜坡区的坡度更缓,于是主河道分为三股分流河道,携带泥沙向前推进,开始出现鸟足状三角洲雏形。

湖平面降至 38cm,起初右侧河流被抢水,左侧变为主河道,后来水流向左偏移,最后主

Ⅰ.湖平面保持在 42cm,湖水淹至河口,通水后由于河道直而窄,水流湍急,至河口喷射注入湖区,堆积成长条状三角洲雏形。然后逐渐向两侧加宽,侧向加积速度逐渐大于向前进积速度。4 小时后三角洲前端逐渐淤高,出现左右分流,侧向加积进一步加强,三角洲变宽呈舌状(图版 I-1)。通水 12 小时后成为更大的舌状三角洲(图版 I-2)。

Ⅱ.湖平面下降阶段,下降速率每 2 小时下降 1cm。

当湖平面从 42cm 降至 41cm,通水后流水的侵蚀、搬运能力增大,下游河道的左岸出现垮塌,而右侧则形成边滩与 ΔA 的阶地连成一个整体,在 ΔA 的前方迅速发育 ΔB (图版 I-3)。

湖平面降至 40cm,河道切割 ΔB 。并在前方形成 ΔC 。湖平面降至 39cm,主河道切割 ΔB 及 ΔC ,形成 ΔD 。由于 ΔD 的前缘已进入湖底区域,湖平面一次又一次

河道又分为三股分流河道形成 ΔE (图版 I-4)。至此,鸟足状三角洲的形态越来越明显了。

表 1 舌状三角洲与鸟足状三角洲比较表

Table 1 Comparison between lobate and birdfoot

参 数	名 称 位 置	舌状三角洲	鸟足状三角洲
		入湖斜坡区上部至中下部	入湖斜坡区中下部至湖底区
宽(m)	最 大	0.758	2.280
	最 小	0.520	1.338
	平 均	0.678	1.760
厚(cm)	最 大	2.740	2.5
	最 小	1.160	1.77
	平 均	1.737	1.96
宽:厚	最 大	57.9:1	128.1:1
	最 小	27.6:1	72.4:1
	平 均	43.4:1	91.5:1
沉积速率 (mm/hr)	最 大	2.28	1.47
	最 小	0.68	1.04
	平 均	1.35	1.16
表 面 坡 度	最 大		1°38'12"
	最 小		0°23'11"
	平 均	1°6'40"	1°12'20"
左缘坡	最 大	16°57'4"	24°47'18"
	最 小	5°42'25"	1°27'49"
	平 均	12°22'3"	10°15'40.2"
右缘坡	最 大	30°4'34"	26°12'28.2"
	最 小	5°13'28.6"	0°10'48"
	平 均	16°15'22.3"	14°59'44.8"
前缘坡	最 大		22°7'
	最 小		13°13'54"
	平 均	22°53'51"	17°44'41"

湖平面降至 37cm,主流线转移到中央,三角洲右侧露出水面与右边滩连成一片,主流线在中央迅速向前推进形成 ΔF 鸟足状三角洲。

Ⅲ. 湖平面上升阶段,上升频率每 2 小时上升 1cm。

湖平面从 37cm 上升到 38cm,发生湖侵,河口后退, ΔF 被淹没水下,流水携带的泥沙在新的部位逐渐沉积,形成 $\Delta E'$,其形态仍为鸟足状。从 38cm 依次上升到 39cm、40cm,分别形成 $\Delta D'$ 、 $\Delta C'$ 。它们的展布大致平行(图 2)。

由于原来的河道经过 20 多个小时的侵蚀作用,使其加深加宽,当湖平面上升到 41cm,

湖水侵入该处,形成 $\Delta B'$,其展布与前者不同,是受河道的影响所致。湖平面上升到42cm,河口继续退缩形成 $\Delta A'$ 。

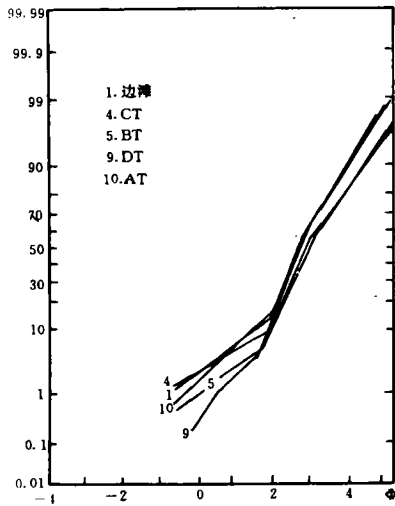


图3 概率曲线图

Fig. 3 Log probabikuty scale

湖平面上升阶段形成的 ΔF 、 $\Delta E'$ 、 $\Delta D'$ 、 $\Delta C'$ 、 $\Delta B'$ 、 $\Delta A'$ 的整体展布特征见图2。从中可看出:越来越远离湖底区靠近河源,三角洲的规模越来越小, ΔF 、 $\Delta E'$ 、 $\Delta D'$ 、 $\Delta C'$ 的界线基本平行, $\Delta B'$ 与 $\Delta A'$ 也基本平行,但与 $\Delta C'$ 不平行。这主要是形成 $\Delta B'$ 、 $\Delta A'$ 的边界条件不同所致。

3 实验结果

我们对I、II、III阶段所形成的河道和三角洲形态进行了测量和数据整理列于表1,从表1可以看出这两类三角洲有以下的区别:

(1)舌状三角洲发育在入湖斜坡区的上部至中上部,鸟足状在中下部至湖底区。

(2)鸟足状三角洲的宽度为舌状的两倍多,宽厚比也大。就宽厚比而言,鸟足状的最小值为72.4:1,而舌状三角洲的最大值才57.9:1。

表2 微相粒度参数表

Table 2 Size parametevs of micro facies

粒度参数 编号、位置	Md(ϕ)	Mz(ϕ)	σ_1	SK ₁	Sk ₁	Kg
3 河道	2.55	2.58	1.31	0.06	-0.18	2.12
17 三角洲分流河道	3.10	3.31	0.88	0.06	0.10	1.02
18 三角洲河口	3.00	3.07	0.84	0.12	0.15	0.99
22 三角洲水下河道	3.70	3.73	1.06	0.05	-0.02	1.17
23 前三角洲	4.00	3.92	0.98	-0.14	-0.21	1.21

(3)舌状三角洲的前缘坡、左缘坡和右缘坡的坡度都比鸟足状的大。这些差异是由于这两类三角洲形成时的水体深度、底坡、水动力条件的不同所致。

粒度特征,在不同的微相采集了31个沙样分析结果如下:

3.1 边滩和阶地

第II阶段采集了边滩和AT、BT、CT、DT阶地的沙样做了粒度分析。其概率累积曲线图特征(见图3)。除滚动总体有些差别,其余的相差不大,反映了形成时其水动力条件很相近。

3.2 微相

从图 4 的概率曲线的展布看出三角洲分流河道与其河口的曲线很接近;前三三角洲与三角洲水下分流河道的曲线也很接近,反映了它们之间水动力条件的相似性;而分流河道及河口的曲线向右偏;而水下分流河道和前三三角洲的曲线向右偏得更远,这说明其水动力条件相差更大些。再从微相粒度参数表(表 2),可以看出:从河道—→三角洲分流河道—→三角洲河口—→三角洲水下分流河道—→前三三角洲, M_d 或 M_z 增加、粒度变小、水动力条件逐渐减弱,这与概率曲线所展示的结果是一致的。

结 论

1. 关于舌状三角洲的成因问题提出新的看法。以往认为舌状三角洲是由鸟足状三角洲经波浪改造而成的,而通过实验在没有波浪作用的情况下,只要有足够的坡度,便可形成舌状三角洲。

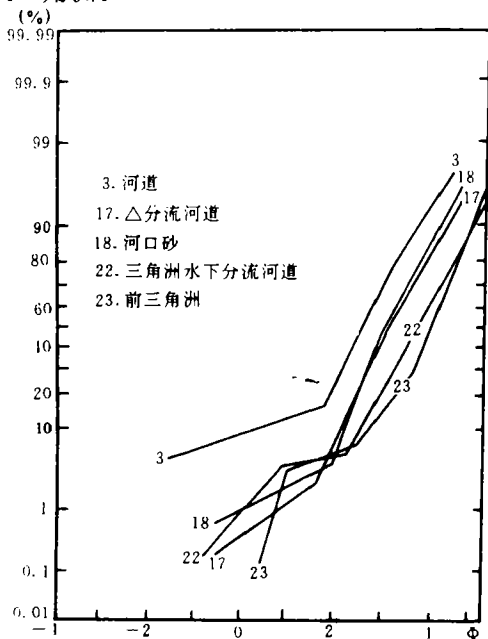


图 4 概率曲线图

Fig. 4 Log probability scale

的鸟足状三角洲改变了展布的方向,与前者不平行,受河道的影响。

5. 提出识别舌状与鸟足状三角洲的另一重要标志。形态当然是重要的,实验得知可根据三角洲的宽厚比来区分。舌状三角洲的宽厚比小于 58 : 1,鸟足状三角洲的宽厚比大于 72 : 1。这对于油气勘探、开发是很有意义的。

6. 为我们将要建立的大型湖盆沉积模拟实验室提供了有价值的参数。例如:河道为实验前的 16 倍,河口为 13 倍以上。鸟足状三角洲三角洲的长宽比为 0.88:1,接近 1:1。

致谢:在我们进行沉积模拟实验和撰写论文时,美国科罗拉多州州立大学地球资源系杰出教授 Stanley A. Schumm 博士,以他渊博的知识和丰富的经验给了我们许多指导,同时在人力和物力方面也给予帮助。Jeff Wave 和 John Koss 先生在实验过程中给了我们帮助,

2. 在流量、含沙量不改变的情况下,舌状三角洲和鸟足状三角洲的形成、演变受入湖斜坡区的坡度所控制。当坡降为 8% 时,斜坡区开始只能形成舌状三角洲。而后随着湖平面下降,河口向前推进,沉积物湖底淤高,斜坡区的坡度变缓,在它的中下部开始形成鸟足状三角洲雏形,当三角洲前缘进入湖底区鸟足状三角洲的形态愈明显。

3. 湖平面的下降、湖水变浅,加快了舌状三角洲向鸟足状三角洲的转变。当湖平面保持在 42cm 时,通水 12 小时,斜坡区一直发育着舌状三角洲。湖平面从 42cm 降到 39cm 共通水 5 小时后,便演变成鸟足状三角洲。

4. 第 III 阶段,湖平面从 37cm 逐步上升到 42cm,所形成的 ΔF 、 $\Delta E'$ 、 $\Delta D'$ 、 $\Delta C'$ 的鸟足状三角洲前缘界线大致平行,但湖平面上升到 41cm,湖水侵入被侵蚀的河道内,所形成的

David Jorgensen 先生帮助我们进行计算机资料处理。中国留美博士生曾旭斌、邵庆秋帮助我们在大型计算机上绘制复杂的图件。Frank Ethridge 教授为我们提供了极有参考价值的资料和多方面的帮助,对此我们向他们表示衷心的感谢!

参 考 文 献

- [1] Harold Reading (1978) *Sedimentary Environments and Facies* p. 97—142. Blackwell scientific publications Oxford London Edinburgh Melbourne.
- [2] Stanley A. Schumm (1986) *Experiment Fluvial Geomorphology* P. 351—378. A wiley — Interscience publication JOHN WILEY & SONS NEW YORK Chichester Brisbane Toronto Singapore.

EXPERIMENTAL FORMATION AND DEVELOPMENT OF LOBATE AND BIRDFOOT DELTAS

Lai Zhiyun Zhou Wei

(Department of Geology Jianhan Petroleum Institute Jiangling Hubei)

The sedimentation simulating experiment of the Formation and development of delta was Conducted in a Flume that is 6 m long, 4.5 m wide and 0.8m high. in Department of Earth Resources Colorado. Sate University . The Parameters of discharge, quantity of contained sand and granulometric composition were kept unchangeable, not including the parameter of the height of the lake's level. The experiment has three main steps I. Fixing the altitude of the Lake's level; II. Gradually lowering the altitude of the lake's level; III. Gradually raising the altitude of the lake's level.

We had observed how the channel was changed and the delta was formed after each step the delta's geometry and thickness of sand body were measured and sand samples were collected.

The main results of our experiment are as follows:

1. We Put forward new viewpoint on formation of lobate delta, which had been considered that the formation of lobate was reformed by wave from birdfoot delta.

The Experiment excludes wave action. The formation and development of lobate and birdfoot delta were controlled by the lake slope at a constant discharge. Sand contents are unchangeable when bottom slope is 8% lobate deltas can only be formed at the beginning. As the lake level is lowered, the river mouth gradually progrades. Sediments aggrade the lake bottom gradually. The gradient of the lake slope area is decreased. An embryonic form of birdfoot delta began to form. When the front of delta developed onto the lake bottom. The Shape of birdfoot delta became more obvious. Transformation of a lobate delta into a birdfoot delta was accelerated by lowering the lake level. A lobate delta remained on the lake slope when take level kept at 42cm and the experiment run for 12 hours. As the front of delta entered the lake bottom and lake level fall down from 42cm to 40cm at

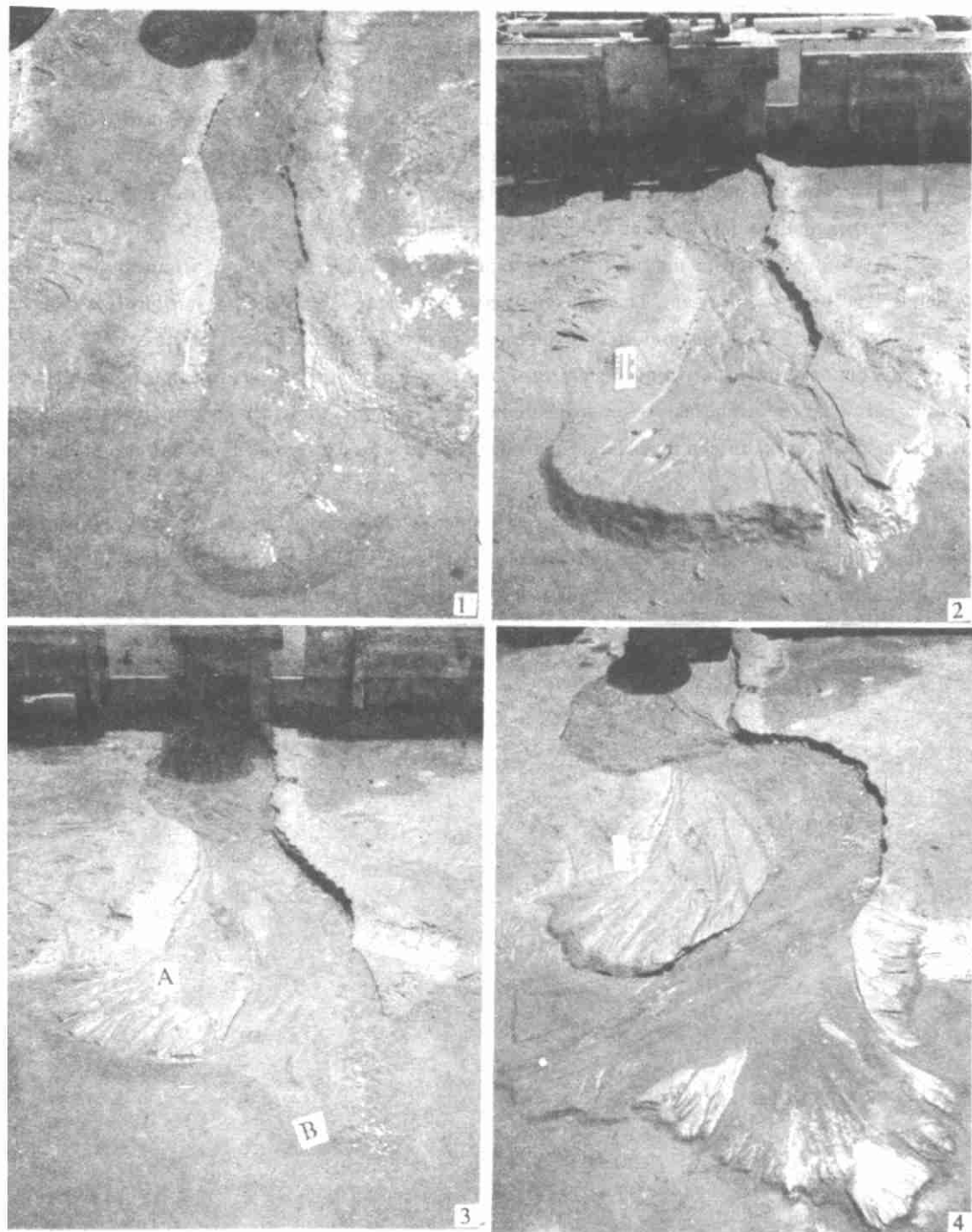
last to 39cm. Water running for only 5 hours created the embryonic form of birdfoot delta . we have been determined that a bottomslope of 2% ($1^{\circ}8'45''$) is necessary for formation of a birdfoot delta

2. When lake level was raised from 37cm to 42cm geological action after stage I made the bottom slope gentle and a birdfoot delta kept developing at the beginning and the shape was obvious. later on it became less obvious ,the reason for this change is that water entered the channel that had formed earlier and the development of the delta was limited.

3. To distinguish lobate and birdfoot delta other than by shape. the ratio of width to thickness of a deltas sand body is important. The ratio for lobate delte is less than 58 : 1. but birdfoot deltas is greater than 72 : 1. This has important significance to petroleum and gas explortion

4. This experiment has proved signifcant data for setting up the experimental equipment for simulation of large—scale lake basin sedimentatio. For example ,the river channel is sixteen times largr and the river is thirteen times larger than the original sizes The length to width ratio of birdfoot delta is 2m : 2. 28m i. e. 0. 88 : 1 ,it's nearly 1 : 1.

5. The probability curves and grain . size parameters obtabined from grain size analyses of the conected sand samples have shown satisfactory rasults in studing microfacies of point bar and terraces ,and analgzng the differences of their hydrodynamic conditions.



图版说明

1-1 通水 4 小时后三角洲前端逐渐淤高, 出现左右分流河道, 侧向加积进一步加强, 三角洲展宽呈舌状。

1-2 12 小时后, 舌状三角洲进一步增大。 1-3 下游河道左岸侧蚀作用严重, 出现河岸坍塌, 而右侧形成边滩与三角洲阶地 A 连成一个整体。三角洲 B 发育在 A 的前方。 1-4 湖水从 38cm 降至 37cm 高, 水平面下降 15 分后在三角洲前缘的中端和左侧出现三角洲小平原, 露出水平。