

抚仙湖沉积物粒度特征

龚 墀 张立仁

(中国科学院南京地理研究所)

抚仙湖地处云南高原东部,是我国地壳断陷形成的第二深水湖。湖面海拔1721米,面积211平方公里¹⁾,平均水深89米,最大水深155米,为滇东湖群中面积仅次于滇池的大湖。除湖盆南北两端为面积不大的湖积—冲积平原外,四周均被石灰岩、砂砾岩、玄武岩组成的断块山所环绕。湖岸陡峭,植被稀疏,在温湿气候条件下,发育了厚达数十米的疏松风化壳,为现代湖泊沉积提供了丰富的碎屑物质。湖岸间歇性山间小溪源短流急,每年雨季,暴雨洪流携带大量碎石、泥砂倾泻入湖充填湖盆。

本文是在多次钻孔取样分析的基础上²⁾,着重对抚仙湖沉积物的粒度特征进行初步分析。

一、采样和分析方法

我们按不同深度在抚仙湖均匀布置61个表层采样点和52个钻孔取样点,并采集部分湖岸样品(图1)。表层采样深度约20厘米³⁾,钻孔样品深度约2米⁴⁾。共采集样品260个。在实验室分析中,将粗于 4.38ϕ 的颗粒用筛析法分析,筛子间隔为 $1/2\phi$ — $1/4\phi$ 。 4.38ϕ 以下的细粒物质加分散剂 $0.5N$ 六偏磷酸钠,经超声波处理后,由Rs-11型粒度分布自动测定仪测定。最末端粒级的上界为 11ϕ (约0.5微米)。资料整理用矩值法,以样品的粒度分布特征数——平均粒径($\bar{x}\phi$),标准差($\sigma\phi$),偏态(Sk),峰态(K),表示样品粒度组成的特征。粒径均以 ϕ 值表示。

二、粒度分布特征

1. 平面分布特征

根据抚仙湖沉积物平均粒径($\bar{x}\phi$)和标准差($\sigma\phi$)的平面分布(图2),从湖岸到湖心,大致分为三个环带状沉积带。

砂砾沉积带 分布于水深小于10米的滨湖地区,愈近岸砂质愈粗,以粗、中砂为主, $\bar{x}\phi$ 一般为 $0-1\phi$,分选中等。砾石直径一般在 -4ϕ — -2ϕ ,成分随湖岸母岩而异。西北岸以红色、紫红色的砂页岩、砾岩、玄武岩为主,东南部为灰色石灰岩,圆度

1) 湖面高程为1721.22米时的面积。
2) 样品由本所孙顺才、张立仁提供。
3) 彼得森采泥器。
4) 重力取样管。

半圆至半棱角状。

粉砂—砂沉积带 分布于水深10—20米的浅湖区，由红棕色的细砂、粉砂和粘土组成， $\bar{x}\phi$ 3—6 ϕ 。愈近湖岸砂质含量愈高，分选较好。愈向湖心，粉砂和泥质含量增加，泥质成分可达20—30%，分选变差。

泥质沉积带 分布于20米以下的深水区，沉积物为红棕色、棕色粘土， $\bar{x}\phi$ 为8.4—9.25 ϕ 分选相对较好。在抚仙湖样品中，大于8 ϕ 细粒物质的百分含量达60%以上，约占全湖面积的85%。

各沉积带宽度，主要受到湖水动力与湖底地形的控制〔1〕。滨湖砂砾沉积带为拍岸浪和岸坡重力双重营力作用的高能沉积带，沉积物最粗，其粒径大小随波浪强度的差异而变化。滨岸陡坡在拍岸冲流作用下，物质以滑动、滚动为主。随深度增大的浅湖缓坡段，波能减弱，物质变细，以跳跃搬运为主。物质来源丰富的河口湖滨区，水下地形相对平缓，砂—粉砂带分布较为宽阔。水深20—25米以下的深水区，处于浪基面和温跃层以下，动力交换极其微弱，均为悬浮沉积。随深度增大，沉积物中泥质含量也相应增大。受到动力控制的抚仙湖沉积物的分异作用，是深水断陷湖泊沉积的重要特征。

抚仙湖沉积物西粗东细，北粗南细的分布特征明显受到物源供给的影响。来自西岸的尖山河、立昌河、路岐河等较大的溪流，发育于风化壳较厚的砂页岩、砾岩和玄武岩山地，提供了粗物源。东岸入湖溪流较小，多发育于石灰岩地区，风化壳为红色粘土，物质较细。抚仙湖北部平原的东大河、西大河物源丰富，在南向的盛行风影响下，经波浪反复颠洗，沉积物相对较粗。南岸多由石灰岩组成，物源少，背向盛行风，其南部两

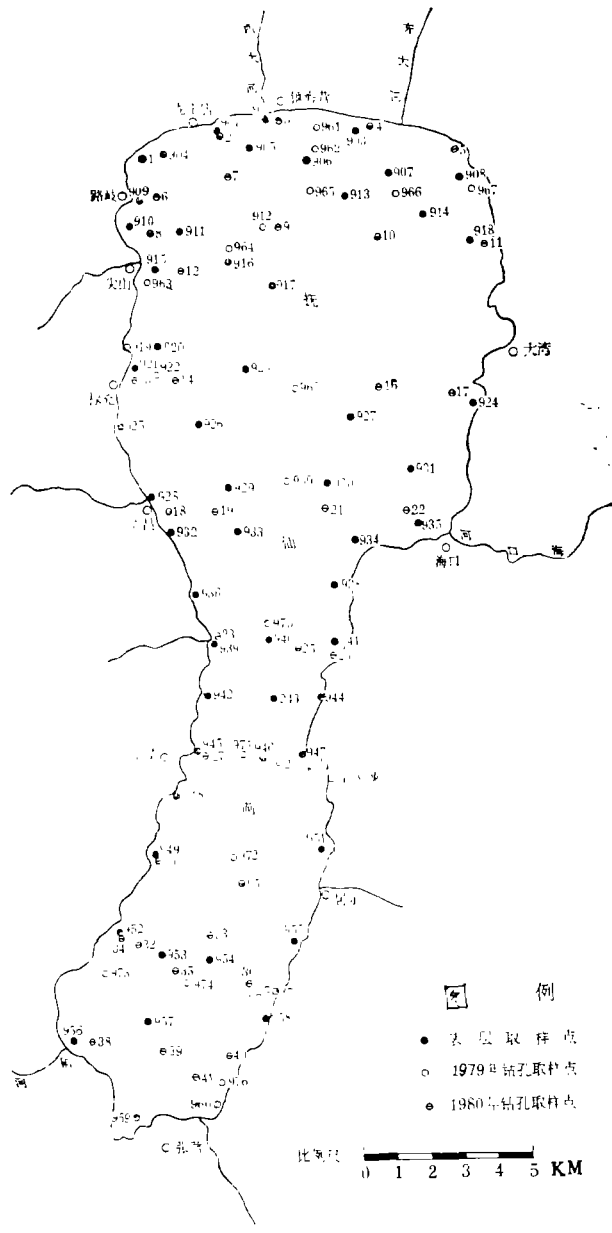


图1 抚仙湖沉积物取样点分布图

Fig. 1 Distribution of spots for taking sedimentation sample at Fu Xian lake

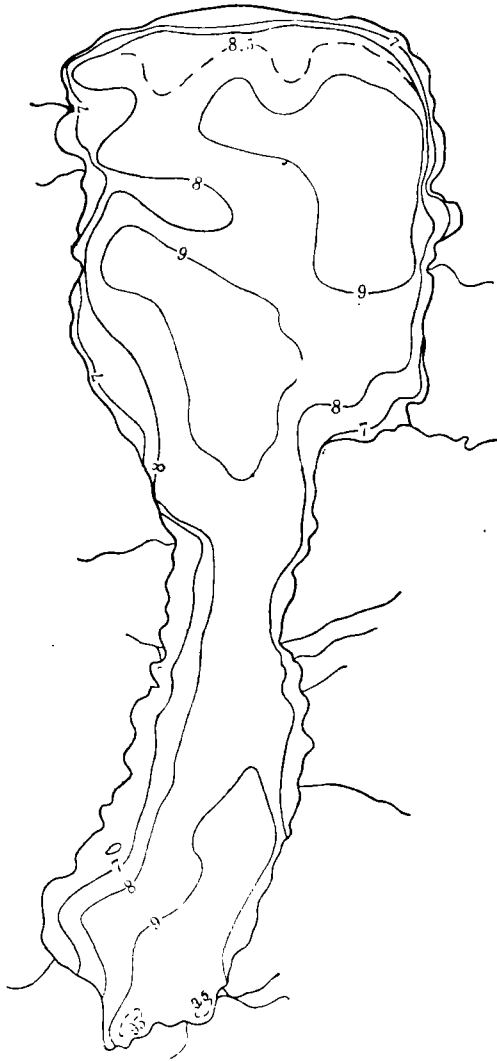


图2 平均粒径 $\bar{x}\phi$ 平面分布图

Fig. 2 Plane distribution of the mean grain size

形沉积区的外围。

砂泥互层的类复理层沉积是垂直分布的另一特征(图3)。下部棕红或棕色中细砂层,内含磨圆差的小砾石, $\bar{x}\phi$ 为1—2 ϕ 。向上渐变为粉砂,粉砂质粘土, $\bar{x}\phi$ 为4—6 ϕ 。顶部为红棕色粘土层, $\bar{x}\phi$ 为8—9 ϕ 。单旋回由底向上,颗粒由粗变细,具粒级层理。粒级层理除粒度递变外,未见内部纹理,其底部和下伏红棕色粘土的界面清晰。这种砂泥互层的韵律,在一个剖面上能见到两个或两个以上旋回。

另外,由于物源区的影响,在不同水深地区,这种砂泥互层韵律,在粒度组成和分布

个湖湾是相对静水区,沉积物最细, $\bar{x}\phi$ 值达9.5 ϕ 以上。

抚仙湖沉积物平面分布的另一特征是北部深水区存在一个粒径为8.2—8.5 ϕ 扇形沉积区,其范围由尖山河口向湖区延伸达6公里,面积约30平方公里〔2〕。扇形区沉积物粒径,其形成的主要原因如下:

(1) 抚仙湖主要入湖的河流是尖山河,汛期的含砂量达12.471公斤/公方和23,000公斤/公方¹⁾,表明物源丰富。

(2) 尖山河口区水下坡度较大,水深20米以内坡度达7—10°,有利于引起斜坡的重力滑动。

(3) 雨季时,尖山河口水温为18.6℃,而抚仙湖表层和水深10米处水温分别为23℃和22.5℃,河水温度明显低于湖水温度,有利于密度流的形成。从含砂量分布看,尖山河口外2.5公里处,湖水表层含砂量为0.001公斤/公方,50米深处为0.002公斤/公方,130米深处为0.005公斤/公方。上述由上而下含砂量的递增,表明泥砂入湖后,已成为密度流潜入湖底。

2. 垂直分布特征

柱状样品基本上由粘土组成。平均粒径在8—9 ϕ 之间,剖面上部为棕色、棕褐色,向下渐变为浅黑灰色。在1—1.5米以下剖面,见条带状棕灰色粘土夹于黑灰色粘土之中,粒度垂直变化不大。这类剖面主要位于水深40—70米的南部湖区,以及北部扇

1. 本所湖泊—室于1979年6月19日和9月1日实测资料。

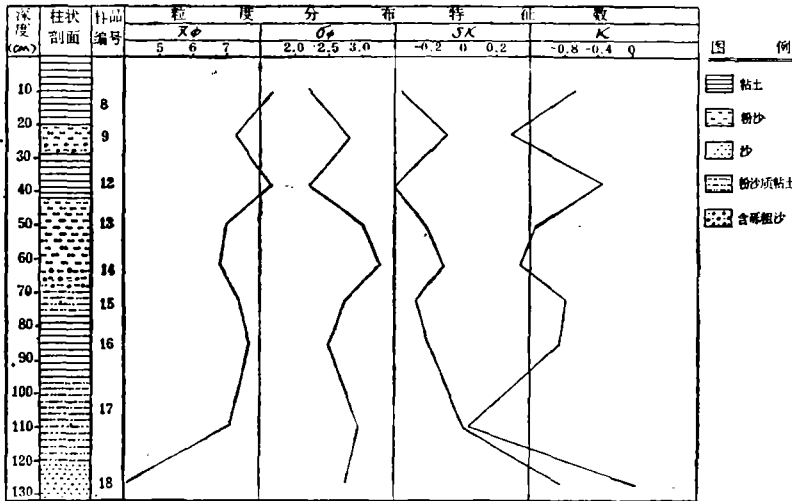


图 3 粒度组成在剖面上的变化曲线

Fig. 3 Curves of the change of grain size composition on the profile

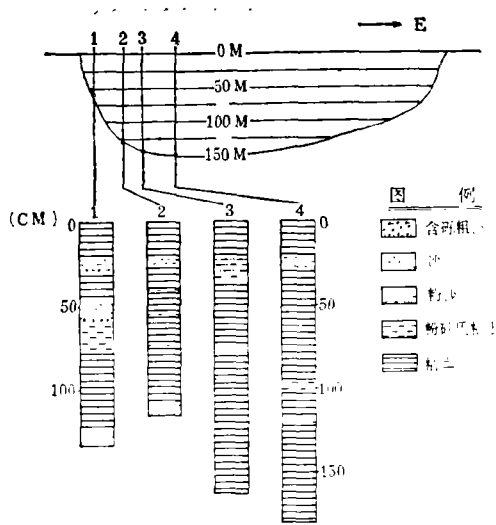


图 4 湖区柱状剖面分布

Fig. 4 Profile columnar distribution in lake area

上也有一定差异(图 4)。在水深约 50 米的水下三角洲前缘, 坡度 8—11°, 粒级层理的厚度较大, 一般 20—25 厘米, 物质较粗, 以含砾中粗砂为主。从三角洲前缘至水深 100 米湖底, 坡度 5—6°, 在砂泥互层的剖面中, 未发现粒级层理, 砂层厚度不到 10 厘米, 主要为粉细砂。在水深 100 米至 150 米深处, 坡度为 1°, 砂层仅几厘米, 物质更细, 以含泥粉砂为主。

抚仙湖砂泥互层的粒级层理, 可能是由某种突发性因素如地震、水下滑塌形成的高密度流和雨季山洪形成的低密度流所造成的一种湖泊浊流沉积。

三、粒度频率曲线、累积曲线及其参数特征

抚仙湖沉积物的分析数据表明,不同环境的沉积物,粒度频率曲线、累积曲线及其参数特征具有明显差异(表1)。

表1 抚仙湖不同沉积环境的粒度参数值

Table 1 Parameter values of grain size in different sedimentation environments at Fu Xian lake

沉积环境	粒 度 参 数			
	平均粒径 $\bar{x}\phi$	标准差 $\sigma\phi$	偏 态 SK	峰 态 K
滨 湖	-1—2	2.50左右	0.18—0.22	-0.65—-1.40
浅 湖	3—7	2.00—3.00	0.15—0.75	-0.50—-1.50
深 湖	8.4—9.25	1.50—2.10	-0.20—-0.50	-0.50—-0.95
浊 积	8.0—8.6	1.90—2.30	-0.20—-0.35	-1.00—-1.80

滨湖沉积物的频率曲线,粒级范围宽阔,一般自 -6ϕ — 4ϕ ,曲线呈多峰型、峰低,最高含量不到25%,主峰在 -4ϕ — -1ϕ 之间, $\bar{x}\phi$ 值为 -1ϕ — -2ϕ ,分选差, $\sigma\phi$ 为2.5左右,Sk大于零,表明粒级集中于粗端一侧,在累积曲线上也表明滨湖沉积物集中于粗端,曲线形态呈不规则弧形,反映分选较差。

浅湖沉积频率曲线的粒级范围也较宽,从 0 — 10ϕ 以上, $\bar{x}\phi$ 值为 3 — 7ϕ .曲线一般呈双峰型,主峰集中于 3 — 5ϕ 之间,峰高达40—50%,次峰在 10ϕ 左右.表明浅湖沉积物主要为砂和粉砂外,也含有一定量的粘土质成分.分选好坏取决于尾部的泥质含量.泥质组分含量高,分选差, $\sigma\phi$ 值可达3左右.当尾部泥质组分减少时, $\sigma\phi$ 值减小到2左右.浅湖沉积物的粒级主要集中在粗端,所以Sk为正偏态.累积曲线图形下陡上缓,表明砂组分分选好,泥组分分选差。

抚仙湖深湖沉积物分布很广,其频率曲线粒级范围一般都在 4ϕ 以上,呈单峰型,主峰集中于 8 — 9ϕ 之间, $\bar{x}\phi$ 值 8.4 — 9.25ϕ ,表明深水沉积物全部为 4ϕ 以上的泥质组分.由于粒级相对集中, $\sigma\phi$ 值在 1.50 — 2.10 之间,为湖相沉积中分选较好的部分.深湖沉积SK均为负偏态.K值一般为负值,与正态曲线($K=0$)比较,属宽峰态型,但K值较小,绝对值多数在0.5以下.从累积曲线图形看,深水沉积物偏于细粒部分,90%以上含量集中于 6ϕ 以上,曲线形态几乎成一直线,斜率相对较大。

浊积物粒级范围变化在 3ϕ 至 10ϕ 以上, $\bar{x}\phi$ 值为 8.0 — 8.6ϕ 之间,曲线无明显峰,分选差, $\sigma\phi$ 值都在 1.90 — 2.30 之间,SK和K值分别为负偏态和宽峰态,K值绝对值大于1,反映沉积物由几个组分混合而成。

抚仙湖湖底沉积物粒度分布特征数之间的相关曲线^[3],表明 $\bar{x}\phi$ 和 $\sigma\phi$,SK之间 \bar{x} 具有直线相关.相关系数(γ)都大于0.80(表2).反映了抚仙湖沉积物粒度分布

表 2 湖底沉积物粒度分布特征数之间的相关系数

Table 2 The correlation coefficient of characteristic numbers of lake-floor sediments grain size distribution

相 关 项	$\bar{x}\phi \cdot \sigma\phi$	$\bar{x}\phi \cdot SK$	$\bar{x}\phi \cdot K$	$\sigma\phi \cdot SK$	$\sigma\phi \cdot K$	$SK \cdot K$
相 关 系 数	-0.8234	-0.8095	0.6507	0.5866	0.6441	-0.4309

形态受到粒度大小强烈影响。 $\bar{x}\phi$ 和 $\sigma\phi$ 相关图表明粒径愈细,分选变好,为深水沉积物的分选特征。抚仙湖沉积物频率曲线具单峰、双峰和多峰的复杂形态,直接影响了粒度分布的集中趋势或离散程度,因此 $\sigma\phi$ 和SK、K以及SK和K之间的关系,难以用直接方程表示。

四、粒度概率曲线特征

粒度概率曲线能够揭示沉积物与搬运营力之间的关系[4, 5]。曲线由几个呈对数正态分布的直线段组成,它们分别代表悬浮跳跃、滚动三种搬运方式的组分。分析各组分的数量、大小、混合情况,分选程度,可为分析水动力条件提供依据。

抚仙湖滨湖沉积物的物源主要来自洪积物的不断补给,以滚动搬运为主,其粒度区间一般在 $-5 - 0.5\phi$ 之间,占60—80%,粗截点 $0 - 2\phi$,悬浮组分含量很少,甚至缺失。整个曲线斜率低,分选差,成熟度低。

浅湖沉积物概率曲线(图5B),滚动组分很少或缺失,跳跃组分粒度区间多数在 $2 - 4.5\phi$,占总体的40—80%,浅湖沉积物明显特征是具有波浪冲流和回流造成的双跳跃组分,斜率较陡,分选较好,悬浮组分占20—60%,分选差。

深湖沉积物概率曲线(图5C),均由大于 4ϕ 的悬浮物质组成。在 $5.5 - 6.5\phi$ 和

表 3 深水沉积物概率曲线水深和截点位置对照表

Table 3 Comparison of water depth and junction point position of probability curve of deep-water sediments

样 品 号	水 深 (米)	截 点 位 置	
		粗 截 点 (ϕ)	细 截 点 (ϕ)
1	44	4.85	7.65
14	91	5.55	7.65
40	104	6.00	7.75
26	120	6.10	8.00
23	144	6.65	8.65

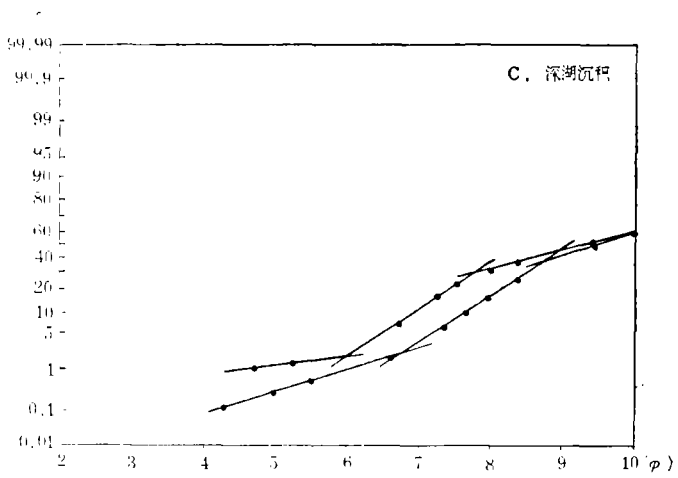
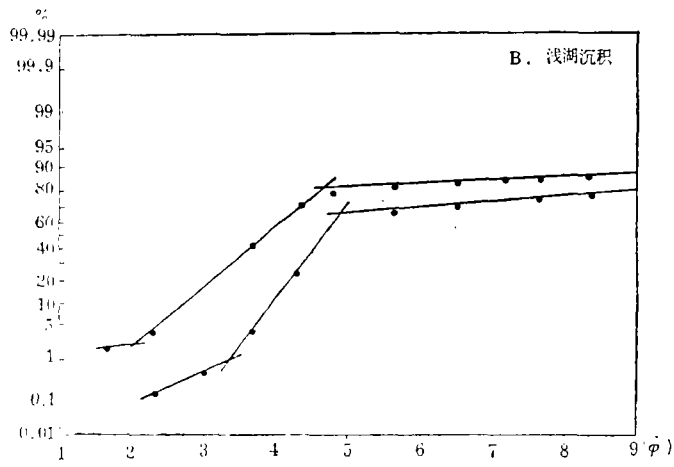
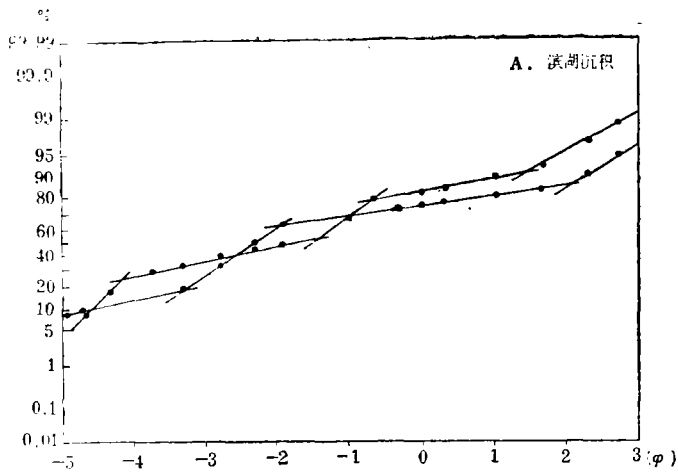


图5 湖底沉积物粒度概率曲线

Fig. 5 Probability curve of grain size of lake-floor sediments

7.5—8.5 ϕ 附近出现两个截点，把悬浮组分分成三段，它们分别占总体的5%以下、20—30%、70—80%。第二、三段斜率较陡，分选较好。三条折线段实际上代表了粗粉砂(5—6 ϕ)，细粉砂(7—8 ϕ)和粘土(大于8 ϕ)组分。其中粘土组分占优势。它们的粗细截点，随深度增加，物质变细，其位置也相应后移(表3)。

浊流沉积物概率曲线粒级范围较深水沉积宽，除含有4 ϕ 以上的粉砂、粘土组分外，还含有一定量的砂组分，概率曲线图形成直线状，斜率低于20°，分选差(图6A)

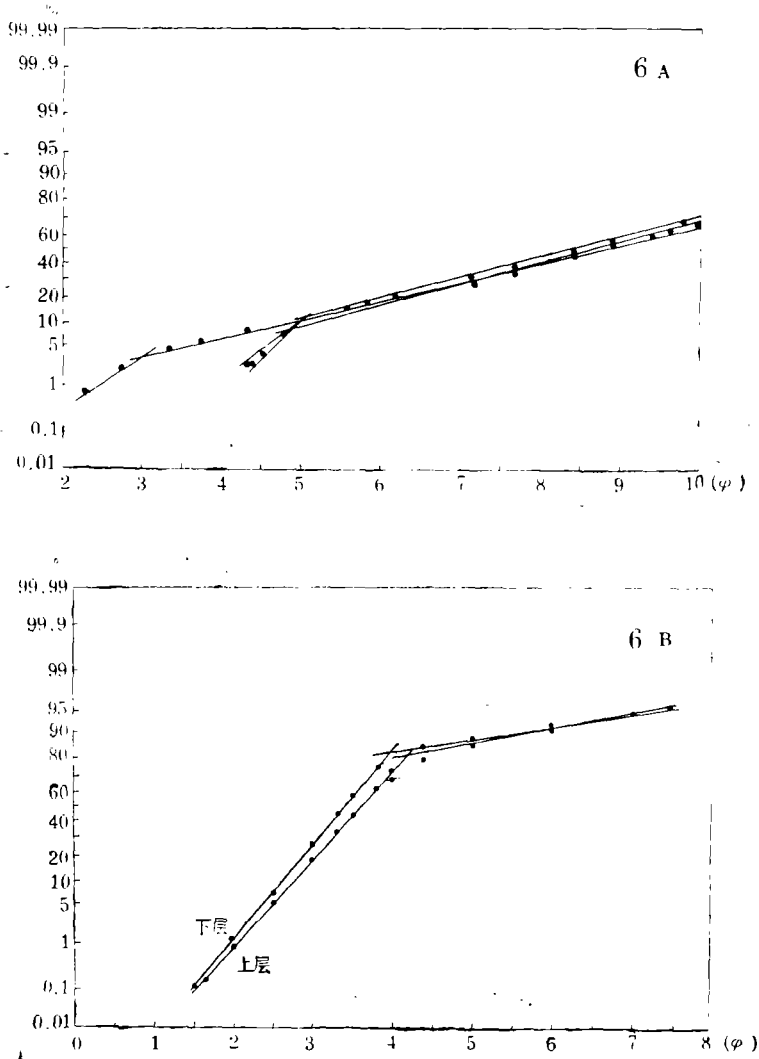


图6 浊流沉积物概率曲线

Fig. 6 Probability curve of turbidity sediments

钻孔中浊积砂体的概率曲线(图6B)，类似于哈德胜海下扇砂的分体曲线，除含有包括分选差的粉砂、粘土的悬浮组分外，同时还存在一个分选较好的跳跃组分，并与悬浮组分之间有混合作用(表4)。

表4 抚仙湖不同环境粒度概率曲线特征

Table 4 Characteristics of probability curve of grain size of different environment in Fu Xian lake

环境	搬运方式	截点		滚动组分		跳跃组分		悬浮组分			
		粗 (ϕ)	细 (ϕ)	粒度压 间(ϕ)	% 分选	粒度压 间(ϕ)	% 分选	粒度压 间(ϕ)	%	分选	
滨湖	滚动+跳跃	0--2		-5~-0.5	60~80	差	-2~4	20~40	好		
浅湖	跳跃+悬浮		4~5				2~4	40~80	好	4~5以上	20~60
深湖	悬浮									4以上	100
浊积	A 悬浮									3以上	100
	B 悬浮+跳跃		4~5				1~4.5	75~85	好	4~5以上	15~25

五、粒度象的应用

根据抚仙湖表层样品分析资料,取M(粒径中值)、C(百分之一处最大粒径近似值)和L、A(分别代表31、4微米样品的重量百分数),作成抚仙湖沉积物的“粒度象”。图上各点沉积物的位置,取决于搬运方式和水动力条件,不同环境的沉积物展示出不同的图式¹⁾。

图7是抚仙湖湖底沉积物C/M图,滨湖沉积区位于图的最上方,中值粒径大于4毫米,最大粒径大于20毫米,搬运方式以滚动为主。浅湖沉积区位于图的中部(图7A区)。中值粒径5—100微米,最大粒径100—500微米,沉积区粒级范围分布较广,沉

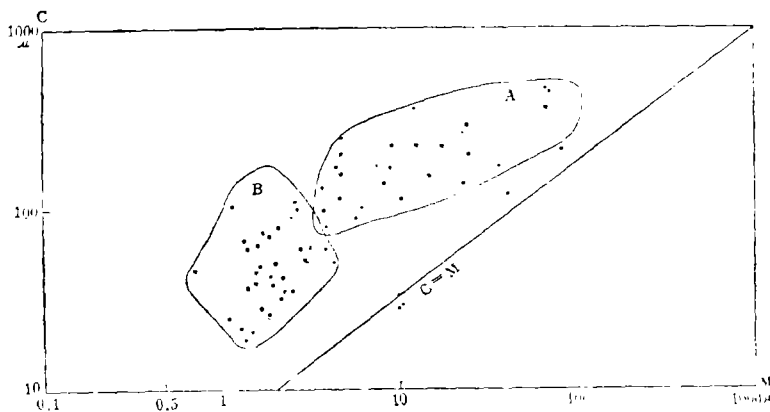


图7 湖底沉积物C/M图

Fig. 7 C/m of lake-floor sediments

1) 成都地质学院队北队, 1978。

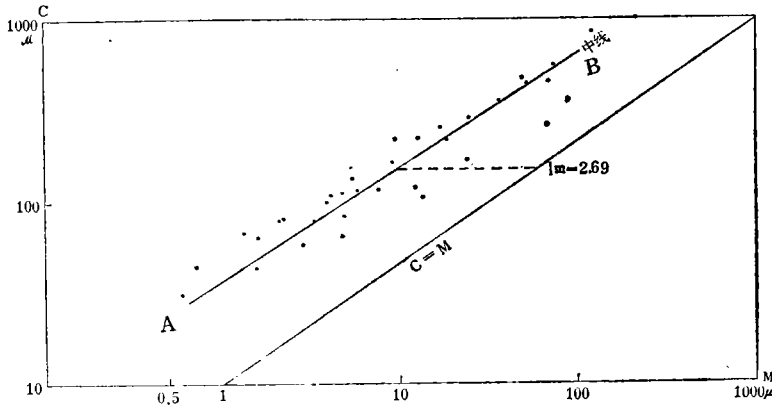


图8 浊流沉积物C/M图

Fig. 8 C/m of turbidity sediments

积物的分选变化较大，搬运方式为跳跃和悬浮。深湖沉积区位于图的最下方（图7 B区），中值粒径0.5—5微米，最大粒径小于100微米，类似于帕塞加拖曳流沉积C/M图中的深海悬浮。

另外，我们把浊积区沉积物作成C/M图（图8），其形态和分布与河流递变悬浮相似，也是呈与C=M线平行的长条形，C与M成比例地增加，这是浊积物的重要特征之一。图中AB线段是平分浊流点子的中线，最大分选指标 $1_m = 2.69$ ，不同地区的浊积物， 1_m 值均不相同，这表示浊积物的粒度分选程度都有不同。

在半对数纸上，以中值粒径M为横座标，小于 31.4 微米（大于 5ϕ ，大于 8ϕ ）组分的重量百分数为纵座标，构成L/M图和A/M图（图9）。在图上样品点相对集中，基本可用一条曲线表示，相当50%的固定点为 31.4 微米的M值，两条曲线中多数点位于集中于 $8-11\phi$ 之间，L值和A值的百分含量都较高，曲线斜率相对较大，这些都反映了抚仙湖沉积物以细组分为主，细组分又具有分选好的特征。

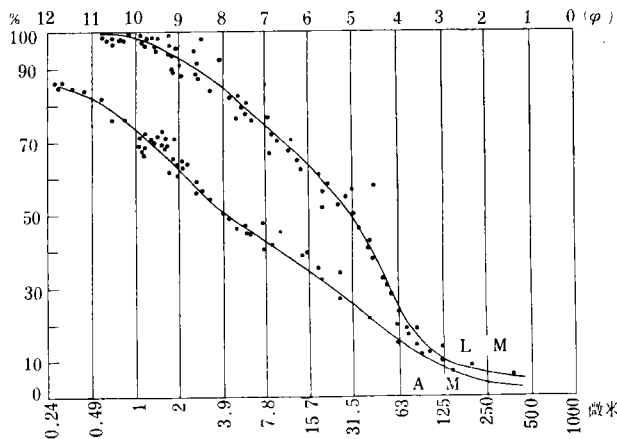


图9 湖底沉积物L/M、A/M图

Fig. 9 L/m and A/m of lake-floor sediments

（收稿日期：1982年5月10日）

参 考 文 献

- [1] 堀内清司, 1978, 湖水の流动よ堆积物, 陆水学杂志(日), 第39卷, 第2期。
- [2] 孙顺才、张立仁, 1981, 云南抚仙湖现代浊流沉积特征的初步研究, 科学通报第11期。
- [3] 刘东生等, 1966, 黄土的物质成分和结构, 科学出版社。
- [4] Reineck, H.E. & Singh, I.B., 1973, Depositional sedimentary environments with reference to terrigenous clastics, Springer-Verlag, Berlin, Heidelberg, New York.
- [5] Glaister, R.P. & Nelson, H.W., 1974, Grain-size distributions, an aid in facies identification, *Bulletion of Canadian Petroleum Geology*, 22, (3).

THE GRAIN-SIZE FEATURES OF SEDIMENTS OF FUXIAN LAKE

Gong Chi Zhang Liren

(Nanjing Institute of Geography, Academia Sinica)

Abstract

Fuxian Lake is situated in the east of Yunnan Plateau. It is a lake of the graben or intermontane type with fault blocks and scarps prevailing in its neighbourhood. Its area covers 211 km², and its maximum depth reaches 155 m with its mean 89 m.

Only minor rivulets run into the lake. The slopes of the lakeshore zone are, generally, rather abrupt. Floods containing a large amount of detritus swiftly flow into the lake in rainy season. Its deposit characterizes lake basin sediment of graben type. On the plane, the deposits are distributed from the highenergy zone of lake-shore to the low-energy zone of deep-lake and their grain size is from coarse to fine. Both the belts of lakeshore gravel and shallow-lake sand-silt are comparatively narrow. The water of sand-silt belt is generally deep up to 10-20 m, and the central part of the lake with muddy sediments covers 85% of the whole lacustrine area.

The frequency curve of lakeshore deposits is of polykurtosis. Its grain size range is very wide, $\sigma\phi$ —about 2.5, $SK > 0$, the cumulative curve presents an irregular arc, deposits mainly concentrate on the coarse end of the curve, traction population shows dominant in both log-probability plot and C/M diagram, which indicates coarser grains and poor sorting.

The frequency curves of shallow-lake deposits are strongly bimodal and the main peak of grain size concentrates on 3-5 ϕ , it shows that the deposits are mainly made of silt and sand which contain mud, $\sigma\phi$ —2 to 3, skewness being positive, the probability plot reflects that the deposits move in the way of saltation and suspension or hypersaltation, in the C/M pattern the range of grain size is wider, which indicates the great differentiation of sorting.

The kurtosis of the deep-lake deposits has a single peak, the grains are coarser than 4 ϕ , and their main peak concentrates on 8-9 ϕ . It illustrates that all the deposits consist of suspension population with $\sigma\phi$ of 1.5 to 2.0 and skewness being negative, probability plot has three log-normal segments, which represent coarse-silt, fine-silt and clay respectively. The position of their junction correspondingly shifts towards fine size with the increasing depth of water, the C/M diagram corresponds to

the sedimentary area of suspension of the deep-sea.

The turbidite deposits in the northern deep-lake are deposits of density flows triggered by slumping and moving downslope, the grain size is coarser than that of other deep-lake sediments.

The vertical section of turbidite deposits is interbedding of sand/mud with flysch feature. The monocyclic bed from the lower to the upper is moderate fine sand containing gravel, silt-sand and clay in turn, which reflects the feature of graded bedding.

The cyclic bottom is obviously separated from underlying clay bed. The kurtosis of the turbidite deposits is not obvious, and the grain size range is wider in frequency curve; the probability plot in a straight line has a low slope, indicating poor sorting; the position of points on C/M diagram corresponds to the graded suspension deposits. C/M pattern in long belt shape is parallel to C=M straight line.

In other deep-lake areas, the sediment sections show isotropic clay.

In this article the grain size data on 260 samples are adopted. These samples were collected from the bottom of the lake, the core and partly from the lakeshore, among them the coarse ones are analyzed with sieve analysis and those fine-grained ones of 4.38ϕ are determined by automatic particle size distribution determination apparatus (Type RS-11) after being given separation treatment with supersonic wave. Moreover, statistical parameters should be made to the grain size data with moment measure.