

云南抚仙湖现代浊流沉积特征的初步研究*

孙 顺 才 张 立 仁

(中国科学院南京地理研究所)

浊流沉积是沉积学研究中新兴的研究领域,近一、二十年来,国外曾进行了大量深海和湖泊浊流沉积的研究,提出了浊流沉积理论。近几年来在进行我国陆相油田沉积相研究中,曾发现有深水浊流沉积体系。为结合我国东部中、新生代断陷盆地及陆相油田沉积特征,我们选择了我国已知的深水湖泊——云南抚仙湖,进行了现代沉积的研究,并采用了重力取样管在湖区各种部位不同水深处,钻取了沉积物柱状样品,分析了它的沉积特征、沉积物的物理化学性质,并结合湖泊环境条件,对现代浊流、沉积进行了初步研究。

一、湖泊自然概况

抚仙湖位于云南省昆明以南约 60 公里的澄江盆地中,是我国目前已知的第二深水湖。湖泊的基本形态特征见表 1。

表 1

面积 (km ²)	湖长 (km)	湖 宽 (km)			长轴/ 平均宽	湖岸线总 长(km)	湖岸发 育率	湖面海拔 高程(M)	平均水 深(M)	最大水深 (M)	最大水深/ 平均水深	容积 (亿立方)	流域面 积(km ²)
		最宽	最窄	平均									
212	31.5	11.5	3.2	6.7	4.9	88.2	1.72	1720	87	155	1.8	185	1084

抚仙湖是地堑式断陷湖泊,四周大部分为断层崖或断块山地围绕。没有大河注入,成为半封闭的山间盆地型湖泊。入湖的山地河流,流程短、坡降大。湖岸及湖滨地形陡峻,从岸线到水深 50 米,湖底平均坡度 5—6°,部份地段达 20—30°,所占面积为 41.4 平方公里,占湖泊总面积的 19.5%,而水深 100 米以下的湖底坡度仅 1—2°,面积达 96.4 平方公里,占总面积的 45.1%,成为宽阔的湖底平原。这种岸带陡峻而狭窄,中心平坦而宽阔的湖底地形,对浊流的发生有着重要的影响。

抚仙湖位于云南高原亚热带西南季风气候区,年平均温度 15.7℃,降水量 1000 毫米,但 84% 是集中在雨季。旱季时河水断流,雨季时洪水陡涨。四周山地普遍发育很厚的富 Fe、Al 型红色风化壳,为湖泊现代沉积提供了丰富的陆源碎屑。

二、浊流沉积物的分布

浊流沉积分布于湖泊的北部和南部。北部自湖滨至湖中心呈扇形分布,面积达 30 平方公里,占湖泊总面积的 13%。根据砂体的平面分布,大致可以划分三个区(图 1)。

本文 1980 年 10 月 29 日收到。

* 这项工作是在祁延年同志领导下进行的。协同进行工作的还有高礼存、刘京海、胡文英、龚辉、董本凤、汪明蓉、庄大栋等同志,以及国家海洋局第一海洋研究所谢福缘、孙荣生、孔繁荣等同志。

1. 物源区：自西岸河口、湖滨至水深约 50 米处，为碎屑物质组成的三角洲沉积，从沉积物组成和分布看，它是浊积物质主要来源区；

2. 驱动或流动区：自三角洲前缘至水深 100—120 米地段（湖底坡度 5—6°），为砂、砾、泥混合组成，泥质含量可占到 30% 以上，单层厚 6—8 厘米，向上依次递变为砂层和粘土层。在地形上并伴有宽数十米至百米，深 1—2 米的侵蚀谷地，反映出具有滑动型浊积岩沉积的特征；

3. 浊积区：分布于 100 米以下至 150 米深处，沉积物为自含砾的中粗砂向前缘逐渐过渡到粉、细砂层，水深 150 米以下的最前缘部份，则以含泥的粉砂为主。堆积形态上呈现为几个大型舌状体，舌状体之间为宽一、二十米，长达数百米的槽状凹地。

南部浊积砂体则呈长条状分布，物源主要来自湖东岸的几条河口洪积扇沉积区，泥沙沿着狭长的湖底谷地，在 2—3‰ 的坡度上自南而北流动，形成长达 16 公里的浊积体堆积带。

三、沉积剖面及沉积特征

受物源区性质影响，浊积物为一套棕红色、棕色砂泥互层沉积，其沉积层序如图 2。下部为棕红色含砾中粗砂层或砂层（A 段），厚 4—6 厘米，呈粒级递变，向上逐渐过渡为粉砂层和粉砂质粘土层（B、D 段），顶部为厚层棕红色粘土（E 段），从砂

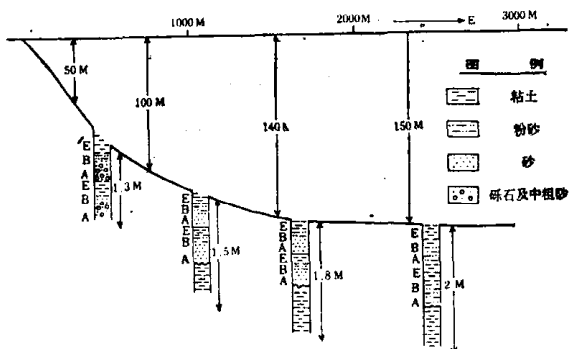


图 2 抚仙湖现代浊流沉积柱状剖面图

层到粘土层总厚 25—30 厘米，上下颜色一致，岩性逐渐过渡，其砂泥比为 0.2—0.3。尽管来自不同物源区，但大部份剖面普遍表现为两个沉积旋回，层位一致而稳定，表明它们在形成过程和时间上的一致性。

砂体直接覆盖在早期湖相深灰色粘土层之上，在接触面附近，偶而还可见到一些气孔。它是下伏有机质含量高的湖相粘土，在还原环境下形成的少量天然气，向上扩散和运移到浊积砂层中，而砂体上部又有厚层粘土覆盖和遮挡，因而有利于气体的充填。这也帮助说明，在陆相油田中，浊积砂体可以成为很好的储集层，它连通性好，层位稳定。

四、沉积过程分析

根据 Keulegan 等人(1968 年)，对密度流实验理论和 Keulegan 方程 $u = k \sqrt{\frac{\Delta \rho}{\rho}} g D$ 以及能量梯度概念，我们对南、北两个浊流体的厚度、密度和流速进行了计算，北部浊流体自路岐河

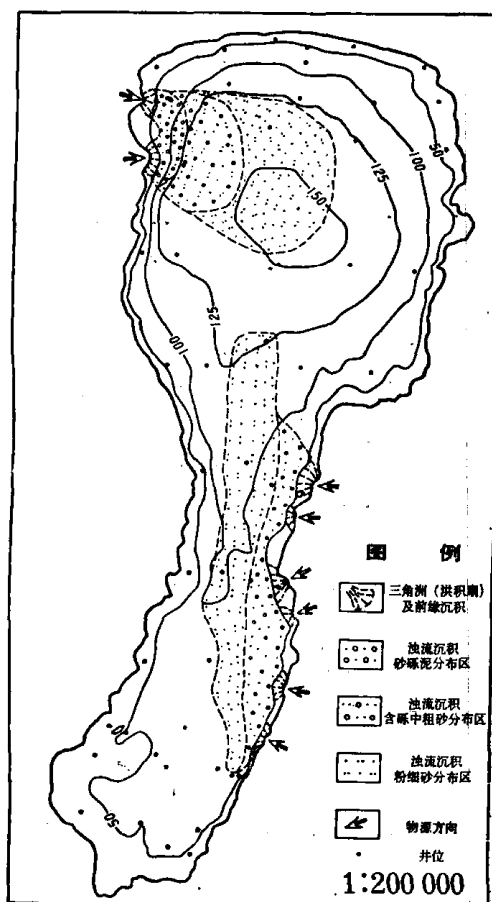


图 1 抚仙湖浊积砂体平面分布图

与尖山河的三角洲前缘至堆积终点,流程达6公里多,在距离3.5公里,水深138米处计算得到:

$$\Delta p = p_1 - p_2 = \frac{d \cdot h}{D} = \frac{1.5 \times 20}{5.5 \times 10^2} = 0.0545 \text{ 克/厘米}^3,$$

Δp 为有效密度, p_1 为浊流体密度, 根据以上计算为 1.0545 克/厘米³, p_2 为湖水密度, 应为 0.998, 这里近似取 1, D 为浊流体厚度, 根据能量梯度概念, 并用图解法计算出约为 5.5 米, d 为沉积物容重, 经测定为 1.4—1.8, 取均值为 1.5 克/厘米³, h 为沉积层厚度, 测量为 20 厘米左右。

根据 Keulegan 方程计算浊流体的流动速度为

$$u = k \sqrt{\frac{\Delta p}{p_1} g D} = 0.71 \sqrt{\frac{0.0545}{1.0545} 980 \times 550} = 118.5 \text{ 厘米/秒} = 1.185 \text{ 米/秒},$$

k 为系数, 与流体粘滞性和密度有关, 根据实验为 0.64—0.9 间, 这里取 0.71。由此得到它的移动速度为 1.185 米/秒。

同样方法对南部浊流体在距离终点 9 公里, 水深 104 米处计算得到, 浊流体厚度为 7 米, 有效密度 $\Delta p = 0.0429$ 克/厘米³, 流速 $u = 1.19$ 米/秒。

由此可见它是具有高密度, 流动快的浊流体, 而且南北规模相近, 沉积层序一致, 表明可能为共同的触发因素(如地震等)引起的大规模的水下滑坡或崩塌所造成。

五、粒度及岩矿分析

粒度分析并绘制成概率图(图 3), 呈现出一条代表悬浮组份的直线, 悬浮部分占 80—90% 以上, 跃移部分短缺, 没有滚动部分, 曲线倾角一般在 20—30°, 反映基本以递变悬浮方式搬运。

对矿物镜下鉴定结果: (1)砂层中岩屑含量占 15—20% 以上; (2)轻矿物主要是石英、长石、尚含一定量方解石, 石英颗粒保持了一定程度陆源形态特征; (3)重矿物含量低, 主要有绿帘石、角闪石、石榴子石、电气石、锆石等, 其中不稳定矿物含量高于稳定矿物; (4)粘土基质中 Ca、Mg 含量较高, 分别为 5—6% 与 2—3%, 且夹有圆化程度差的不成熟的石英颗粒。

六、生物特征

浊积层中见有硅藻(小环藻 *Cyclotella* ssp.)、介形虫(玻璃介 *Candoniella* sp.)、水蚯蚓 (*Oligochaete*)、摇蚊幼虫 (*Chironomid*) 等深水底栖和浮游生物及遗体, 后者还可在粘土中形成蠕动及虫孔。砂层及粘土层中同时还可有大量陆地植物残体及碎片, 如在水深 133 米处见到有陆上被冲刷带来的桃核、胡桃壳等, 以及浅水底栖的介形虫 (土星介 *Ilyocypris* sp.)、螺壳 (方格短沟蜷 *Semisulcospira cancellate*) 等碎片及幼体。形成陆地、浅水、深水包括浮游、底栖等不同生态环境的生物共同组合。

七、沉积物地化特征

1. 对浊积物中 pH 及 E_h 值现场测定结果, 浊流沉积 pH 值在 7.0—7.2 间, 属中性环境沉

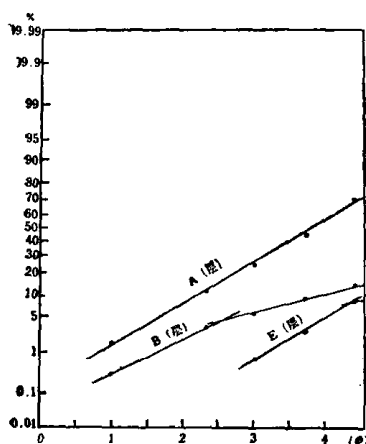


图 3 浊流沉积粒度概率曲线

积, 介于河流 (pH6.5) 与深湖沉积 (pH7.6—7.8) 之间。尽管它是位于 100—150 米的深水环境, 但 E_h 值却是在 0—+60 毫伏间, Fe^{+++}/Fe^{++} 值略高于 1, 高于湖湾及深湖, 保持了弱氧化环境特点。

2. 对砂层化学分析结果, SiO_2 含量为 67—68%, 低于一般砂岩的平均含量, Al_2O_3 含量为 9.5—12%, 高于砂岩的平均值, SiO_2/Al_2O_3 比值为 5—7, 属成熟度低的杂砂岩类。

3. 对粘土层的化学分析, 其 CaO 含量为 2.8—5.4%, 高于湿润区, 低于干旱区沉积 (如青海湖为 15.4%), MgO 含量为 2.75%, 反映了具有湿润、季节性干旱的环境特征。 Al_2O_3 与 Fe_2O_3 含量分别为 16.8% 与 7.51%, 表明其沉积物源是来自富铁铝的风化层, 这在一定程度上也反映了湖泊的地带性沉积特征。

4. 部分微量元素分析结果发现, 浊积物中某些亲 Fe 性元素 (Fe 、 Mn 、 Co 、 Ni) 等含量较高, 如 Mn 的含量有时可达 0.2%, 高于一般沉积物 2—4 倍, Co 、 Ni 含量亦明显高于其它类型沉积, 而亲 S 性元素 (如 Cu 、 Zn 、 Ga 等) 相对较低。这些高价氧化物含量相对增高, 反映了沉积物源更直接来自河口、湖滨的氧化环境。

对于内陆湖泊中现代浊流沉积的研究, 不仅将丰富我国湖泊沉积学研究内容, 而且还将对我国东部中、新生代盆地沉积特征, 沉积环境及寻找某些沉积矿产提供了一些启示。