

碎屑湖滨带沉积总体的构成及沉积过程解释

夏文臣 方艳君

(中国地质大学, 武汉 430074)

在湖泊沉积体系中,碎屑湖滨带沉积总体不仅具备反映特定沉积过程的岩性相和成因单位,而且在砂分散体系的形态和内部沉积构成上也有特色。完整的沉积层序通常由深湖相、水下重力流相、湖滨过渡相、低能滨浅湖相和高能湖滨相组成。在沉积盆地中,湖滨带砂分散体系与深湖泥岩指状交互,并具有较高的孔隙度和渗透性,因此它是良好的油气储集层。

关键词 碎屑湖滨带 沉积构成 成因单位 沉积相 生长层序 沉积总体

第一作者简介 夏文臣 男 51岁 副教授 沉积学

在对中生代的鄂尔多斯盆地和中-新生代广西合浦盆地,进行沉积构成和成因地层分析时,都发现了碎屑滨岸带沉积^[1],它们作为一种沉积总体都有相似的构成特征。

一、基本构成元素——岩性相和成因单位

在碎屑湖滨带沉积总体中,时常出现一些有特殊环境意义的岩性相和成因单位^[2],准确地鉴别它们并对其进行合理的沉积过程解释,是建立湖泊滨岸带环境过程-响应模式的基础。常见的岩性相概括为21种(表1),其中有特殊意义的有如下8种:

1. 低角度交错层或冲洗交错层中-细砂岩 (S_{la} , S_{lw})

多为分选磨圆较好的中砂岩,也有细砂岩。钙质或菱铁质胶结,杂基含量<5%为净砂岩。显示平纹纹理、低角度交错纹理或冲洗交错层理,层系截顶面发育。与单向水流成因平行层理的区别是纹层细、平直无小波纹叠覆,有切割层理的成岩期钙质结核。为高波浪能冲洗带成因。

2. 浪成波纹交错层理中-细砂岩 (S_{wr})

以分选中等的细砂岩为主,有时为中砂岩,钙质或菱铁质胶结,杂基含量低,显浪成波纹交错层理。在中-细砂岩中,交错层理的层系厚度较大,为3—5 cm,纹层波状弯曲且相互平行,晚期层系底面切割早期层系,形成“人”字形交错层系组。而在细-极细砂岩中,层系厚度小于3 cm,仍然显示“人”字形交错层的特点。层面上保存有对称波痕,生物潜穴少见。属高能湖滨带浅水波浪作用的产物。

3. 波状纹理细-极细砂岩 (S_{wt})

以细砂岩或极细砂岩为主,含泥量较高,由泥质显示波状纹理或连续脉状层理。层面上有小波痕和密集的生物爬痕,属高能湖滨带下部的产物。

4. 具波状层理的砂泥岩互层 (ES_w)

细砂岩或极细砂岩与泥岩近等厚互层,波状层理、生物潜穴和生物扰动构造十分发育。波状层理自身特征反映了波浪能周期性变化,通常与风的强度有关。风力强时,波浪能触及底部形成浪成沙纹;风力弱时,不承受波浪作用影响,形成泥质纹层。波状层理的出现标志着进入低能滨浅湖带。

5. 透镜状层理或水平纹理粉砂岩 (F_l)

以粉砂岩为主,夹细砂岩或极细砂岩透镜体,有时为砂泥互层形成的水平纹理。分枝的生物潜穴及生物扰动构造发育,是低能滨浅湖沉积的产物。

表1 碎屑湖滨带沉积总体中常见的岩性相类型

代号	岩性相	沉积结构和构造	过程解释
S_{la}	低角度交错层理中砂岩	分选、磨圆好,钙质胶结	高流态牵引流
S_{lw}	冲洗交错层理中砂岩	净砂岩、钙质胶结	高流态牵引流
S_b	平行纹理中砂岩	净砂岩,分选好	高流态牵引流
S_{lc}	大型交错层理中砂岩	分选中等,含成岩期结核	单向低流态牵引流
S_{br}	复合平行层理中砂岩	分选中等,净砂岩	脉冲式高流态牵引流
S_{lu}	丘状交错层理细砂岩	伴随有柱状层理	风暴浪作用
S_l	小型波纹交错层理细砂岩	分选中等—较差	低流态牵引流
S_{wr}	浪成波纹交错层理细砂岩	具少量潜穴	波浪产生的低流态牵引流
S_{wl}	波状纹理极细砂岩	少量生物潜穴	波浪产生的低流态牵引流
FS_w	波状层理砂泥互层	生物爬迹及生物扰动	波浪作用周期性触及底面
FS_l	水平纹理砂泥互层	强烈生物扰动	波浪作用微弱触及底面
F_l	水平纹理粉砂岩	生物扰动构造	极微弱波浪作用
FS_{db}	变形层理砂泥互层	生物扰动构造	滑动变形作用
F_{mg}	递变粉砂岩		低密度风暴重力流
F_{ng}	均一状泥岩	含黄铁矿结核	悬浮沉积作用
S_{mb}	块状层理中细砂岩	含泥砾	风暴滞留沉积
S_{mg}	递变层理中细砂岩	含泥砾	水下重力流
S_{ld}	液化变形层理细砂岩	泄水构造	风暴液化流
S_{lb}	砂球构造极细砂岩	泄水构造	风暴液化流
B_c	生物碎屑岩		风暴重力流
L_{mb}	平行纹理粉屑灰岩		风暴浪作用

6. 变形层理砂泥互层或粉砂岩 (FS_{db} , F_{db})

粉砂岩或砂泥岩互层,原生纹理变形后显示包卷层理及滑动变形层理,通常出现在湖水较深的滨岸斜坡带。

7. 平行纹理粉屑灰岩 (L_{mb})

呈透镜状,沿一定层位分布,见平行纹理和低角度交错层理。镜下鉴定和X-衍射分析证明主要由方解石或白云石的碎屑组成,粒度0.005—0.02 mm,混有粉砂和极细砂,定名为

含粉砂的粉屑灰岩。

8. 生物碎屑岩 (B_s)

主要由大小不等、排列无定向的生物壳及碎屑组成，泥基支撑并混有碎屑石英和长石颗粒，呈几公分至十几公分的薄层与湖泊泥岩共生，为风暴或风暴重力流沉积。

在碎屑湖滨带沉积物中，还发现一些由突发性沉积事件产生的成因单位，常见有如下三种类型：

1. 风暴浪成因单位

最大特点是以极细砂岩和粉砂岩为主，但发育高流态的沉积构造，如含泥砾的块状层理、丘状交错层理和平行纹理。完整型成因单位的岩性相序是：在底冲刷面之上，出现含泥砾的块状层理细砂岩 (S_{ms})，向上依次为丘状或洼状交错层理极细砂岩 (S_{hu})、平行纹理极细砂岩 (S_h)、浪成波纹交错层理极细砂岩 (S_{wr}) 和波状层理砂泥岩互层 (FS_l) (图 1-A)。这种序列表明了一个由风暴滞留沉积开始，到高流态风暴流沉积，然后逐渐向低流态波浪作用转化的过程。成因单位厚几至几十公分，呈透镜状分布在湖泊泥岩之中。在有些盆地中还会出现由生物碎屑岩组成的风暴浪成因单位，其底部为冲刷面，之上为泥基支撑的块状生物碎屑岩，并逐渐变为生物碎屑质泥岩和含生物碎屑泥岩 (图 1-B)。

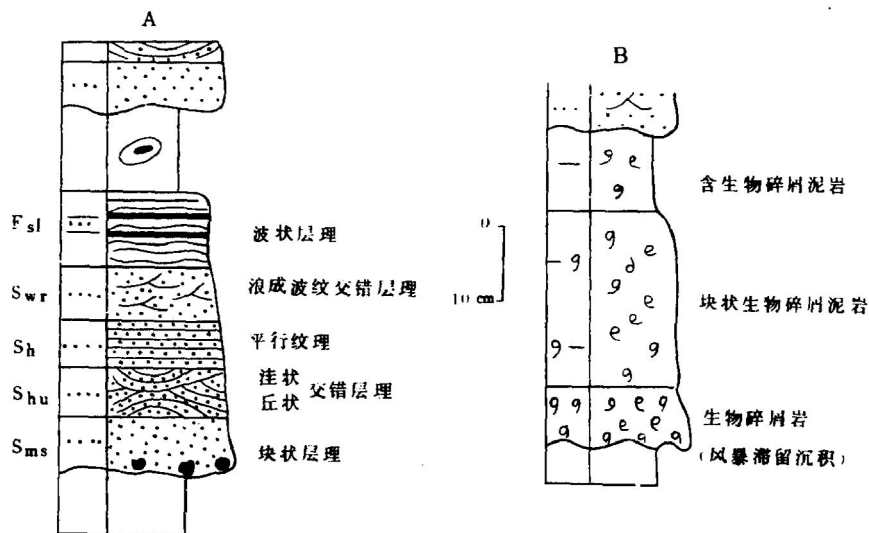


图 1 风暴浪成因单位的沉积构造层序

A—陆源碎屑型，B—生物碎屑型

2. 风暴重力流成因单位

通常厚度不大，夹在深湖泥岩之中，具十分清晰的顶底界面 (图 2)。成因单位的沉积构造层序常见有两种：一种是与鲍马层序相似的风暴浊积单位 (图 2-A)，另一种是由液化变形层理细砂岩 (S_d) 和递变粉砂岩 (F_{mg}) 组成的简单型成因单位 (图 2-B)。由于它们与风暴浪成因单位共生，并缺少滑塌性沉积构造，因此将其解释为风暴重力流事件成因。通过薄片观察发现，组成这类成因单位的细砂岩中含大量的泥质或灰质内碎屑，少见岸边植物碎片。

3. 离岸流成因单位

主要由中细砂岩组成，发育不同类型、不同大小的水流及波浪成因的沉积构造。完整的

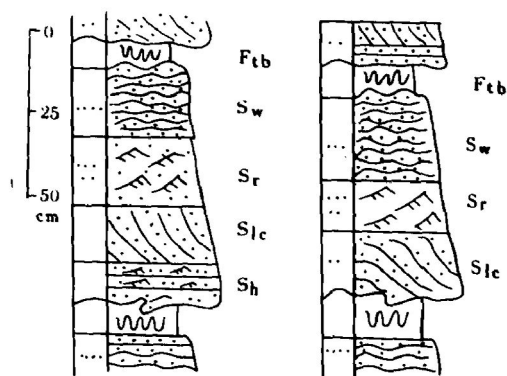
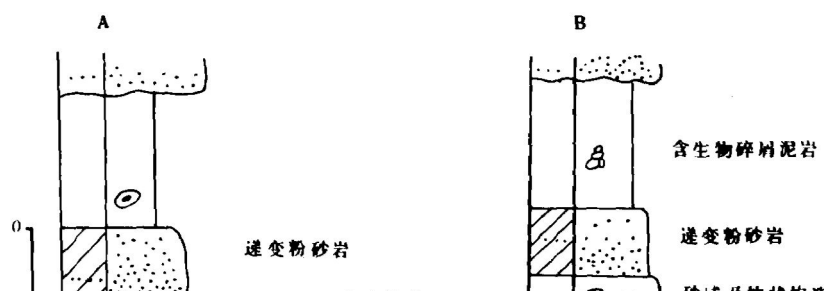


图3 离岸流成因单位的沉积构造层序

水下决口扇沉积；(2) 成因单位的厚度小（几十公分），岩性相垂向变化快，说明为突发性沉积事件的产物，而不是固定的水下河道沉积；(3) 成因单位底冲刷面上常见槽模等底痕构造；(4) 组成这种成因单位的砂岩成熟度高说明它来源于高能湖滨带；(5) 成因单位顶部波浪作用段的存在，以及层面上对称波痕和生物爬迹，都说明它形成于波浪作用和生物作用交替的湖滨带环境之中。

二、沉积相及其沉积构成特征

在碎屑湖滨带环境中，波浪作用是主导的，因此沉积相的划分也应与波浪作用的分带对

复合平行层理中砂岩 (S_h, S_{hr})，向上依次出现大型水流波纹交错层理中细砂岩 (S_k)、中小型交错层理细砂岩 (S_{kr}) 及波状纹理极细砂岩 (S_{w1})，顶部时常出现波状层理砂泥互层 (FS_w)。这种沉积构造层序明显具有两段性 (图3)，即下部为水流作用段 (S_h-S_{kr})，上部为波浪作用段 ($S_{w1}-F_{sw}$)，较清楚地反映了由高流态单向水流向低流态水流再向波浪作用转化的过程。产生这种过程的不是陆面河道在水下的延续，而可能是风暴冲岸浪派生的离岸流。可以证明这种成因的标志有：(1) 与其共生的为低能滨浅湖或湖滨过渡带沉积，而不是

应(图4)。不论是通过详细沉积断面分析,还是对钻井岩芯进行垂向层序分析,都可在古代的碎屑湖滨带层序中区分出四种沉积相。

1. 高能湖滨相 (HLS)

形成于洪水位和枯水位之间的浅水高能区，它是在波浪冲洗作用和浅水波浪作用下形成的，因而由风暴和洪水作用而产生的成因单位难以保存下来。这种沉

积相主要是由代表高能条件的几种岩性相组成(图5),发育完整者由下而上依次为波状纹理

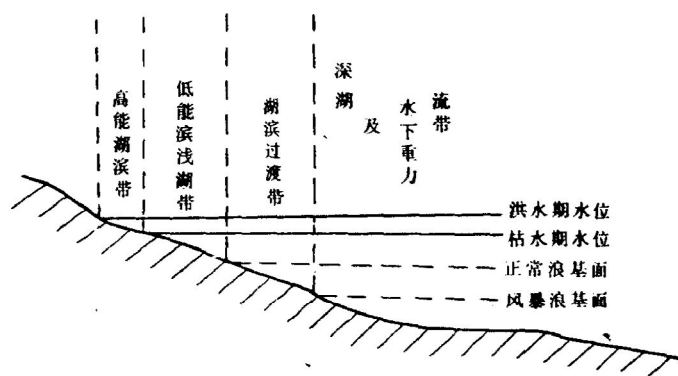


图 4 湖泊沉积作用分带的断面示意图

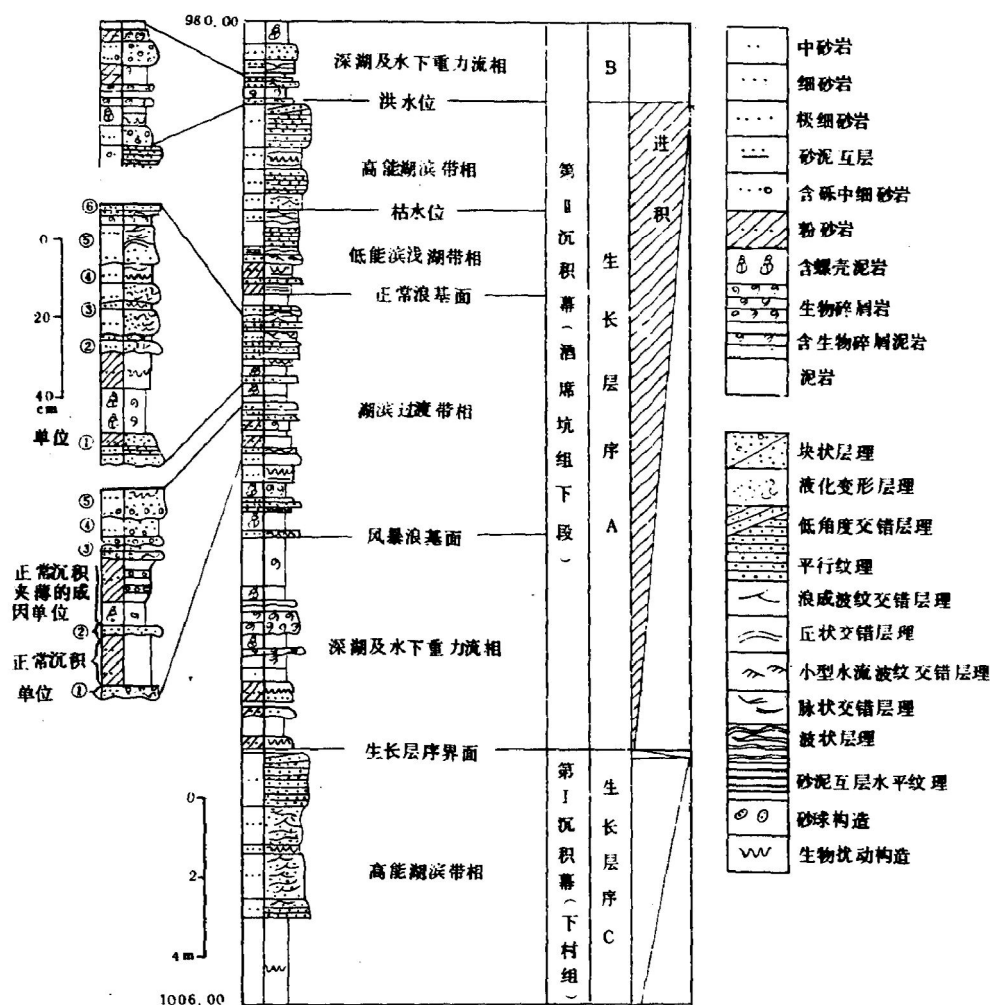


图 5 碎屑湖滨带沉积总体中一个生长层序的相序及垂向构成 (据合浦亚 1 井)

极细砂岩 (S_{w1})、浪成波纹交错层理细砂岩 (S_{w2}) 和低角度交错层理或平行纹理中砂岩 (S_{w3} , S_{w4})。有时还会出现冲洗交错层理中砂岩 (S_{w5}) 或大型交错层理中砂岩 (S_{w6})。垂向上显示向上粒度变粗和层系增厚的变化趋势, 反映湖水逐渐变浅和波浪能逐渐增强的沉积演化过程。高能湖滨带的砂岩具分选性好、成分和结构成熟度高的特点, 因此原生孔隙度高, 渗透性较好, 是良好的储集层。

2. 低能滨浅湖相 (LSL)

形成于枯水位和正常浪基面之间的浅湖区。既遭受低能波浪作用影响, 又间有生物作用和悬浮物的沉积过程, 因此岩性相的垂向变化大。常见有两种构成特点: 一是浪成波纹交错层理细砂岩 (S_{w1}) 与波状层理砂泥互层频繁交替; 另一种是相关的岩性相多旋回重复出现, 每个小旋回底部由厚度不大的均一状泥岩开始, 向上依次出现水平纹理粉砂岩 (F_1)、变形层理砂泥互层 (FS_{w1})、波状层理砂泥互层 (FS_{w2}) 及小型浪成波纹层理极细砂岩 (S_{w1}) (图 6), 在低能湖滨带相中, 常出现一些离岸流成因单位。

3. 湖滨过渡带相 (LST)

形成于正常浪基面和风暴浪基面之间的斜坡地带^[3]。风暴时期, 风暴浪触及湖底, 形成各种类型的风暴浪成因单位。另外在风暴浪影响下, 先期沉积下来的未固结沉积物, 也可能周期性地因波浪负荷作用而液化^[4], 并沿斜坡流动, 从而形成风暴重力流成因单位。在无风暴的正常期, 则以悬浮物沉积作用和生物作用为主。因此风暴波、风暴重力流和离岸流成因单位与具生物扰动构造的湖泊泥岩交替, 是湖滨过渡相的基本构成特点 (图 5)。

4. 深湖及水下重力流沉积相 (DL)

形成于风暴浪基面之下的湖泊区 (图 4)。以悬浮的细碎屑物和有机质沉积作用为主, 并常为生烃源岩。当浅水区或过渡带遭受风暴作用产生液化型水下重力流时, 深湖区也会受到影响而形成水下重力流成因单位 (图 5)。

三、生长层序和相的空间关系

在湖面升降变化或构造沉降相对稳定阶段, 碎屑湖滨带通常不断向湖泊中央进积, 形成进积型生长层序 (图 5)。这种相序明显代表一个湖水逐渐变浅和波浪能逐渐增强的沉积演化过程。

碎屑湖滨带沉积总体, 通常包括数个沉积层序 (图 6), 其中有些相序较齐全, 也有些发育不全, 或是缺少过渡相, 或是高能湖滨相与低能滨浅湖相难以区分; 但是都表现出了湖水变浅和波浪作用增强的变化过程。

利用地下资料系统进行成因地层对比之后, 以生长层序为单位编绘砂岩等厚图, 较好地表现了碎屑湖滨带砂分散体系的形态、空间展布和共生关系 (图 7), 其中大多数厚砂带呈长条状平行岸线分布, 也有少数与岸线直交或斜交, 呈朵状或指状展布。前者多为波浪作用产生的湖滩砂, 后者可能为小型湖三角洲砂体。根据两类砂体的相对数量和空间配置关系, 将碎屑湖滨带沉积总体分为三种组合类型: (1) 多个走向砂体平行展布的湖滩型, 代表波浪作用强和不直接承受河流作用影响的湖泊滨岸带环境; (2) 平行岸线的砂体与朵状倾向砂体相间分布型, 代表波浪作用和河流作用混合的湖泊滨岸带环境; (3) 障壁砂坝-坝后湖三角洲型, 既表明湖滨区分布范围较宽, 又说明沉积作用的分带性明显。

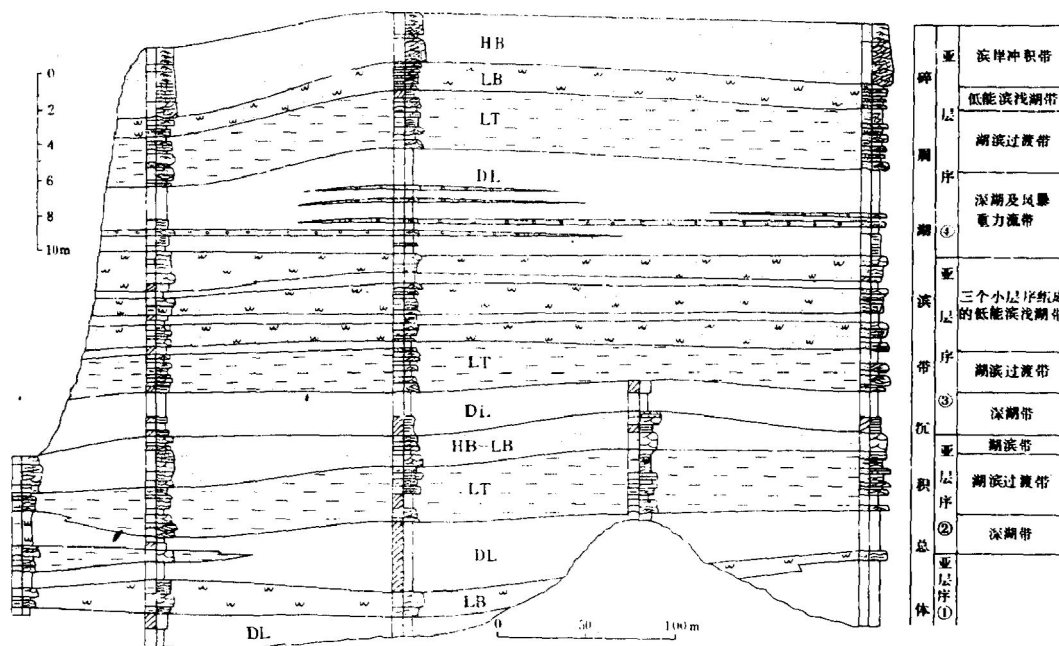


图6 碎屑湖滨带沉积总体的断面沉积构成图(鄂尔多斯盆地)

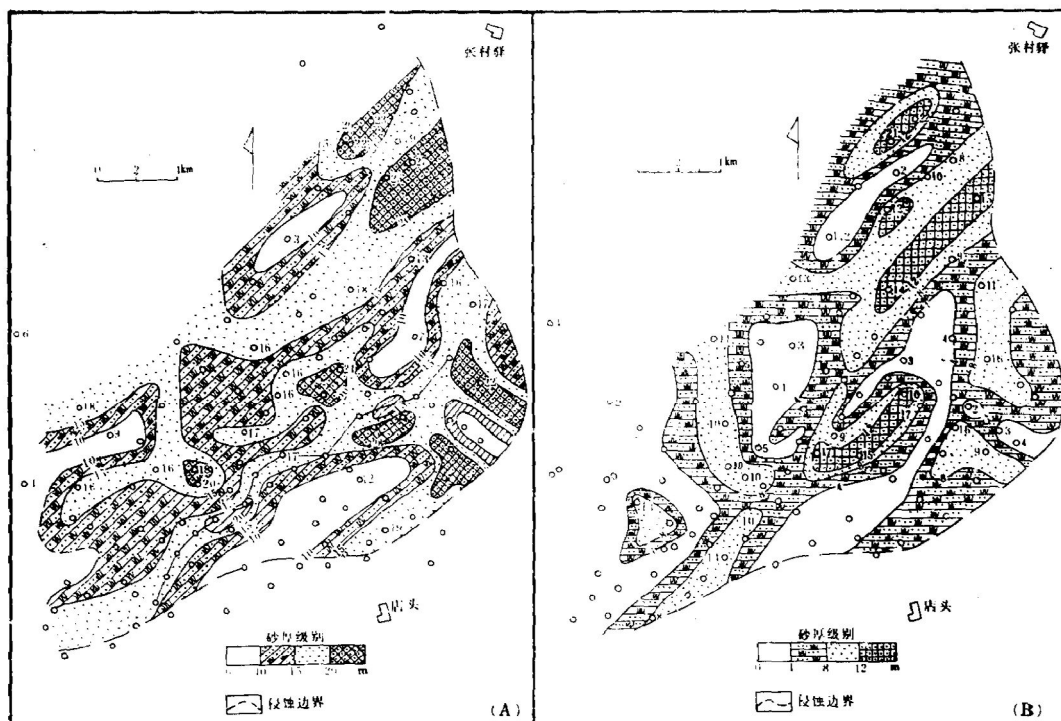


图7 碎屑湖滨带沉积总体的砂岩累计厚度图(A)及骨架砂体图(B)(鄂尔多斯盆地)

四、边界条件

在内陆湖泊盆地中,受波浪作用影响的湖滨带沉积物是常见的,但是自成体系的碎屑湖滨带沉积环境的出现是有条件的。

(1) 碎屑湖滨带环境时常出现在沉积盆地的最大扩张和相对稳定阶段,这时湖面开阔,盆地基底沉降缓慢,空间上的差异也不明显。如果波浪作用较强,就容易在湖泊滨岸带形成开阔的湖滨沙滩。

(2) 湖泊盆地的范围大小和水体深度,是影响碎屑湖滨带沉积发育的重要条件。通常是盆地范围越广,波浪作用越强,越容易出现碎屑湖滨带沉积。坳陷型或断拗型盆地中出现完整的碎屑湖滨带沉积总体;而断陷型沉积盆地中则难以见到这样完整的层序。湖水深度除直接控制单个生长层序的厚度之外,还会影响相序的完整性。在深水湖泊滨岸带,沉积过程的分带性明显,因而生长层序的相序完整。而在较浅湖泊的滨岸带,沉积过程的分带性不十分明显,故相序不完整。

(3) 湖水面升降常常影响碎屑湖滨带沉积总体的内部构成,升降次数决定了生长层序的多少,上升幅度直接与生长层序的厚度和相的构成有关。

五、碎屑湖滨带沉积总体与油气的成因联系

碎屑湖滨带沉积总体通常是由多个生长层序叠覆构成的,每个生长层序都是一个很好的油气生、储、盖组合。层序下部的深湖泥岩有机碳含量高,既是生烃源岩,又是下伏层序的盖层。湖滨过渡相和低能滨浅湖相中的砂质成因单位及高能湖滨相中的砂岩都可能是油气的储集层;但不同沉积相中的砂岩体厚度和储集性是有差异的(表2)。这种差异既受沉积过程的影响,又与成岩过程的次生变化有关。在有机质成熟度相对较低和成岩作用较弱的盆地中(如合浦盆地),湖滨带砂岩的物性常与沉积过程能量的高低成正相关关系;但是,这类盆地中的油气远景通常较差,因此物性好的砂岩不一定有实际储集价值。在有机质成熟度相对较高的盆地中,也常常是成岩作用最强,原生沉积相、原始物性和水介质只提供成岩作用发生的空间条件和影响因素,因而它们对砂岩的物性只有间接影响。在湖水面周期性上升较快和湖水矿化度较高的情况下(如柴达木盆地),则出现高能湖滨砂岩胶结强物性差,水下重力流及风暴砂质成因单位胶结弱物性好的规律。这时湖滨带沉积总体发育的地层单位时常不是好的储集段,而冲积作用较强的湖三角洲、水下扇及河流沉积总体发育的地层单位,反而成为好的储集段。

尽管碎屑湖滨带沉积总体中的物性,可能因盆地类型不同而发生复杂的变化;但是由于这种沉积总体中常常出现较厚,而且多是上倾尖灭型砂体,因而仍然是形成“沉积圈闭”的有利成因地层单位。特别是从碎屑湖泊型盆地的成因地层格架和充填样式来看,这种沉积总体位于盆地周缘地带,向盆地中心逐渐过渡为生油性能好的深湖或中深湖沉积,二者的空间配置关系十分有利于油气的运移和聚集。另外,砂岩所占比例较高的障壁砂坝或湖滩,常位于同沉积构造活动相对稳定和沉降速率缓慢的地段,向盆地方向基底沉降加快,如果得以充分补偿,就形成较厚的深湖沉积。因此碎屑湖滨带沉积总体时常位于所在等时地层单位的厚

表2 碎屑湖滨带沉积总体中不同沉积相砂岩储集性对比

沉积相 指 标	高能湖滨相	低能滨浅湖相	湖滨过渡相	深湖及水下重力流相
K 值 (μm^2)	$\frac{0.0122-1.718}{0.638 (7)}$	$\frac{0.0008-0.00537}{0.00311 (3)}$	$\frac{0.0001-0.1316}{0.0267 (5)}$	$\frac{0.001-0.070}{0.0253 (5)}$
φ 值 (%)	$\frac{13.75-27.90}{23.71 (7)}$	$\frac{14.60-22.70}{17.38 (3)}$	$\frac{14.21-26.51}{19.04 (7)}$	$\frac{14.47-20.25}{17.34 (5)}$
砂岩厚度	厚 层	薄 层	薄-中厚层	薄 层
储集性评价	好	差	中 等	中 等

度由小变大的枢纽地带^[5]，恰好是最有利于出现油气“沉积圈闭”的部位。

参 考 文 献

- 1 夏文臣，雷建喜，张学义等. 南鄂尔多斯盆地的成因地层格架及沉积演化过程. 岩相古地理, 1991, (2): 2—11.
- 2 夏文臣，金友渔. 沉积盆地的成因地层分析. 武汉：中国地质大学出版社, 1989.
- 3 Elliott T. Clastic shoreline. In: Reading H G, ed. Sedimentary environments and facies. Oxford: Blackwell Scientific Publications, 1986. 143—175.
- 4 Walker R G, ed. Facies models. Geol. Assoc. of Canada, 1984. 141—174.
- 5 Conybeare C E B. Lithostratigraphic analysis of sedimentary basin. New York: Academic Press, 1979. 155—188.

ARCHITECTURE AND PROCESS INTERPRETATION OF LACUSTRINE CLASTIC SHORELINE DEPOSITIONAL PACKAGE

Xia Wenchen Fang Yanjun

(China University of Geosciences, Wuhan)

Abstract

Lacustrine clastic shoreline depositional package is common in the lacustrine system. Not only it has some particular lithofacies and genetic units which present relative depositional processes, but also has special features on the shape of sand-dispersal system and internal architecture. A complete sequence of lacustrine clastic shoreline depositional package consists of deep lake and subaqueous gravity flow facies, transitional zone facies, low energy shallow lake and beach facies, high energy shoreline facies. Because the sand-dispersal system of lacustrine clastic shoreline depositional package is usually interfingering with deep lake mudstone, and the sandstone has good porosity and permeability, it is a excellent reservoir for oil and gas.