

分异流体河口作用

曹 宏

(北京石油勘探开发科学研究院 北京 100083)

提 要 鄂尔多斯盆地 QW 地区湖泊三角洲沉积特征与常规三角洲有所不同。水下分流河道砂体发育,在分流河道和水下分流河道的末端分别沉积有不同的河口砂坝复合体,它们共同构成三角洲前缘骨架。本文在对三角洲河口作用的研究作简要回顾的基础上,对比其它研究实例,对该区三角洲的形成机理进行了探讨,提出了分异流体河口作用的概念,并对其沉积体特征进行了分析。分异流体的主要特征是入注流体纵向上的载荷和速度差异分布,气候和沉积物供给是其主要影响因素。水下分流河道砂体发育和同期不同空间位置存在不同的河口砂坝是分异流体河口作用的重要沉积响应之一

关键词 三角洲 河口作用 分异流体 河口砂坝

第一作者简介 曹宏 男 26 岁 博士 沉积学、开发地震

本文在研究鄂尔多斯盆地 QW 地区中生代长₂ (延长)期湖泊三角洲时,发现其沉积相特征有别于常规的湖泊三角洲。作者在对比成国栋等对现代黄河三角洲研究成果的基础上^[1],提出了分异流体河口作用的概念,并试图以之解释 QW 三角洲的形成机理

1 问题的提出

鄂尔多斯盆地 QW 地区在晚三叠世延长期沉积了一套厚逾千米的湖泊三角洲体系。由于当时研究的重点为长₃-长₁期的沉积相特征,因而在相对较小的时间跨度内(沉积物厚度一般小于 400 m), we 有机会对这套沉积物进行细分,并逐个研究不同时期的沉积特征,这样有助于更为详细地分析该区沉积作用的垂向演化和三角洲的形成过程。长₃-长₁期基本上是该区湖泊三角洲走向衰亡的过程。长₃期,区内南部为浅湖相沉积,中北部为湖泊三角洲沉积;长₂期,来自北部的沉积物继续向湖区推进,湖区逐渐缩小,长₂晚期区内北部已开始出现三角洲平原沉积;至长₁期,研究区已基本为三角洲平原沉积所垄断,湖泊消亡。

研究表明,在三角洲沉积发育的长₃-长₂期,三角洲前缘主要可见以下微相:水下分流河道、河口砂坝、水下天然堤、远砂坝、水下决口扇、湖湾等。其中水下分流河道砂体分布尤为广泛,它与河口砂坝(及

水下决口扇)构成了三角洲前缘的骨架砂体,以长₂期为例(图 1),在分流河道入湖分叉处往往分布一片面积 10 km²左右的河口砂坝复合体,接着以水下

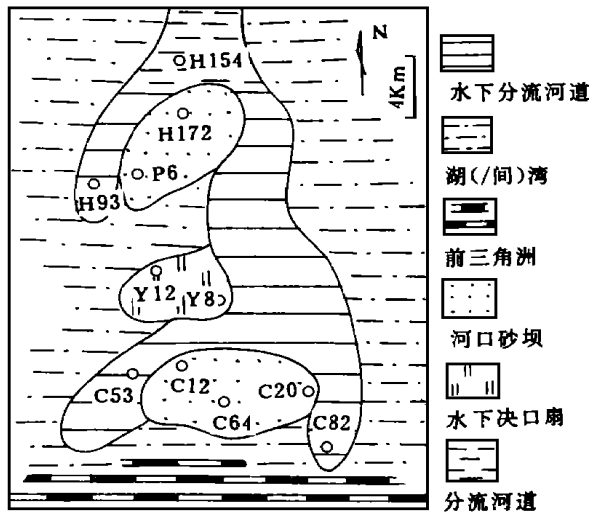


图 1 QW 地区长₂期三角洲主砂体展布图

Fig. 1 The distribution map of main delta sandbodies in C₂ period, QW area

分流河道形式向南部延伸,可见水下决口扇。水下分流河道向湖区推进 8 km 左右,在其末端又出现一个分布面积相近的河口砂坝复合体,河口砂坝前方主要是浅湖(或前三角洲)沉积体。在沉积相图上,这些骨架砂体相连成似哑铃状,并且同期形成的两个

河口砂坝复合体(图 1)分布于水下分流河道的首末端。这种特征用传统的河口作用理论似乎难以解释。

关于水下分流河道,近年来相关报道日增。其亚相归属大致有两种意见:其一,属于三角洲平原的水下延伸部分,可以再划出一个三角洲水下平原亚相;其二,水下分流河道通常在浪基面以上,砂体被湖湾沉积所掩覆,与河口砂坝空间上紧密相关(有时甚至出现难以区分的情况),故可以划归三角洲前缘,本区的情况基本属于后者。水下分流河道与分流河道沉积体特征有时很相象,所以经常难以区分。本文之所以称之为水下分流河道,主要基于以下因素:(1)二者的厚度统计特征不同。分流河道砂体 90% 小于 20.7 m, 50% 小于 10.4 m, 水下分流河道砂体 90% 小于 15.0 m, 50% 小于 6.8 m。(2)水下天然堤中常见与湖水波浪作用有关的浪成沙纹层理。(3)分流洼地以泥质或粉砂质泥沉积为主,可见泥裂、煤线;水下分流间湾则可见虫孔、植物碎片化石,泥岩较前者色暗,但一般无煤线,有时细粉砂与泥质形成极薄的韵律层或季候纹泥。(4)SP 曲线特征也有不同之处。分流河道常见的 SP 曲线为典型的钟形,说明河道侧向迁移保存了完整的点坝;而水下分流河道一般很难保存完整的点坝,故多呈叠置的钟形(图 2),一方面可能说明其侧向迁移不显著,多呈顺直型河道(非绝对意义),另一方面也反映了后期流体对前期沉积物的侵蚀作用。当然,水下分流河道砂体更重要的鉴别特征还包括它与河口砂坝的空间关系。王龙

樟^[2]在研究延安组(平行不整合于延长组之上)三角洲沉积时亦发现与本文所述相似的情形,“在分流河道入湖的时候,由水上分流河道转变为水下分流河道,并在分流河道的末端形成河口坝”。他将这种特征的三角洲称为“水下分流河道-河口坝层偶型三角洲”。

2 对河口作用的简要回顾

Bates^[3]所提出的喷流理论最先系统地解释了三角洲沉积物的分散和沉积作用。他提出并论述了三角洲形成过程中超入重流、等入重流和低入重流的概念和作用。而 Wright^[4]在此基础上,又从另一角度对河口作用进行了研究划分,即考虑入注流体的惯性、底摩擦及浮力的影响。Galloway^[5]研究了河流、波浪、潮汐对三角洲砂体形态的不同控制作用,并由此提出了基于砂体形态的三角洲分类图解,即河控、浪控、潮控三角洲及其过渡类型。Farquharson^[6]在研究中生代 Camp Hill 冲积层序时,把三角洲体系分为 Gilbert 型和河口砂坝型两个主要类型。

上述具代表性的研究成果基本上确立了对三角洲沉积体系认识的框架。对于河口作用的主要类型, Berg 已有总结(表 1)^[9]。

Bates(1953)等的研究无疑为正确、全面地认识和研究三角洲沉积体系奠定了坚实的基础。事实上我们所研究的几乎所有三角洲体系的形成都不外乎这些河口作用型式,这也正是这些理论为我们所接受并长期沿用的原因。

表 1 河口作用基本类型

Table 1 The main types of river mouth processes

水流类型	河口环境	水流特征	沉积类型
湍流喷射流	高流出速度;深河口;向盆地方向为深水;底载荷含量少至中等	低扩散角	狭窄的新月型砂坝; Gilbert 型层序
湍流摩擦流	中至高流出速度;浅河口;盆地方向为浅水;底载荷含量高	迅速侧向扩散和减速	快速沉积;砂洲;分叉河道;决口扇型
漂浮流	中等流出速度;深河口;盆地方向为中等水深;底载荷含量低	侧向扩散并变薄;流速迅速递减	向海推进的砂洲;向海方向粒度变细; Mississippi 南水道型
密度流	高流出速度;高悬浮载荷;盆地方向为深水	低密度流;迅速扩散	河口处沉积物少;向盆地方向形成扇状沉积物;有关文献少

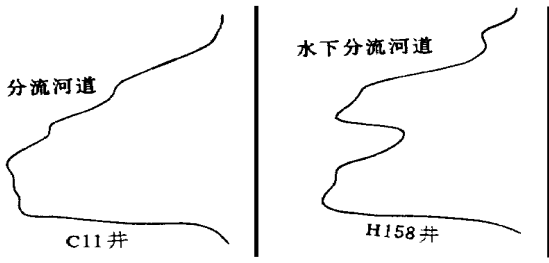


图 2 两种类型河道砂体的 SP 曲线
 Fig. 2 The SP curves of two different types of channel sandbodies

在 Wright^[4]等的研究中,河流注入流体与海(湖)水之间的相互关系或作用得到了足够的重视。由于河水与盆地水体之间的密度差异以及惯性、底摩擦及浮力作用的不同,在河口环境出现不同的河口作用水流,与之相应的载荷扩散方式也不同。从而导致了砂体形态、微相展布、层序型式等的不同。显然,入注流体一直是被作为一个性质基本均一的整体来处理的。那么,河流流体注入蓄水盆地时是否都具备均一性特征呢?如果不是均一的,它对三角洲的形成过程会产生什么样的影响呢?

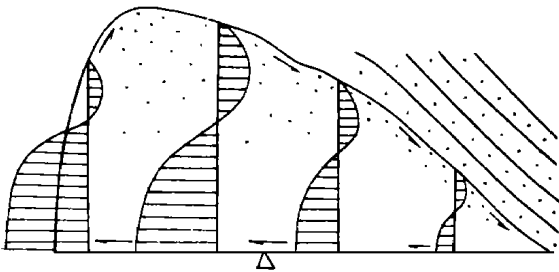


图 3 曲流河混合作用示意图
 Fig. 3 The Cross section showing the mixing of the meandering river

注入流体的均一程度与流态有直接关系,雷诺实验早已证明了这一点。在曲流河中,混合作用主要与流速差异分布有关(图 3)。流速一般在河道中心部位达到最高,陡岸比缓岸整体流速高,这样就发生流速迁移现象,载荷随水流向缓岸一侧搬运,混合作用因而呈现图中箭头所示的方向。这也是曲流带凹岸侵蚀、凸岸沉积的机理。然而在曲流河进入盆地的末端地带,河流的属性已发生了较大的变化——河道宽度迅速变大,不对称性降低,相应的混合作用程

度也大大降低。在通常的气候条件下,泥沙的搬运量不大时,搬运物以悬浮和跳跃载荷为主,推移体很少。在横截面上,入注流体并不显示显著的密度差异,尽管重力分异作用仍然存在。但在洪水期,搬运量急剧增长时,这种分异作用就比较明显,入注流体可以出现下部的较高密度和上部低密度两部分流体。上部水体主要含有悬浮载荷,下部流体则为各种载荷的混杂体。在进入蓄水盆地时,两种密度的流体与盆地水体的作用方式必然会有较大的差异,这就是本文所要讨论的分异流体河口作用。

3 分异流体河口作用与河口砂坝

3.1 机理探讨

河流搬运量大和沉积物的近距离搬运是本区三角洲的主要特征,三角洲的快速推进、消亡以及砂岩的高长石含量、低成熟度都能反映这些特点。

晚三叠世温暖潮湿的气候条件^[6]使经常性的洪水作用成为可能,洪水期载荷混杂、含量大,在河流注入湖盆时往往出现明显的纵向差异,亦即这种注入水流的混合作用是不完全的,甚至是很差的,因为在河湖过渡区内河床已基本趋于对称化。这种垂向上的性质差异包括载荷的差异分布、上下速度差异以及流量的差异等。其中载荷差异分布造成的流体密度差异和流速分异成了分异流体河口作用的主要因素。这种流体在入湖以后的运行过程中的流速分异和载荷分布可用图 4 来表示。显然,上部较低密度流体(亦为浑水)的河口作用不外乎 Wright 等^[4]的河口作用基本类型。由于本区的三角洲具备典型的浅水特征(梅志超等^[7],称之为“浅水台地型三角洲”),故而常表现为湍流摩擦流型河口作用,沉积物迅速扩散,形成河口砂坝,伴随河流的分叉作用。

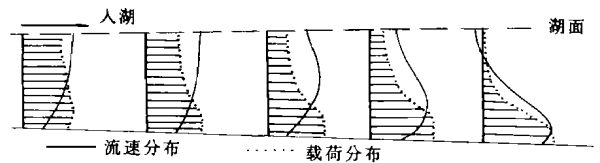


图 4 分异流体入湖后流速及载荷分布变化图(参考钱宁等^[8])
 Fig. 4 Changes of flow velocity and loads distribution after the differentiated fluid flow into the lake

对于下部的高密度部分而言,可能就是另一种情形了。若以 g' 表示单位容积上的有效作用力与单

位容积的质量之比 (F/M), 则

$$g' = g^* \Delta d/d \quad (1)$$

Δd 为上下层流体的密度差异, d 为下层流体密度, g 为重力加速度。那么, 下层流体的弗劳德数便可表示为

$$Fr = U / \sqrt{g'd} \quad (2)$$

U 为两层流体的相对速度, d 为高密度层的厚度。显然, 由 (1) 式可以发现, g' 相对 g 而言是很小的, 这样弗劳德数便很容易达到较高值。因而, 即便在入湖后的坡降不大的“浅水台地”环境中, 亦可能表现为急流型式, 于是图 4 便很容易理解了。另外, 集中在下部的载荷相对而言要粗一些 (中—粗粒砂, 少量的砾), 又受水下河道的限制, 从而不易在湖水中迅速扩散。这些高密度流体在推进过程中, 首先表现为水下分流河道沉积作用, 并且其中的细粒成分含量逐步增加, 混合作用加强, 最终会在水下分流河道末端沉积新的河口砂坝。水下分流河道末端河口砂坝与分流河道河口砂坝的形成应该具有相似的过程, 如水体的抑制作用、混合程度的加大及湖底地形的变化等。显然, 下部流体应具有高侵蚀特性, 故而能被保存下来的水下分流河道砂体厚度要低于三角洲平原的分流河道砂体厚度, 并且砂体底部常见滞留沉积。

当然, 要形成水下分流河道末端河口砂坝, 仅具备分异特征的河口作用流体尚不够。高密度部分流体在湖底的运移、推进还要受到盆地底形特征的影响和控制。如果盆底是宽缓的, 就能保持流体沿水下河床稳定推进, 逐步混合而形成河口砂坝。如果盆底窄陡 (如某些扇三角洲), 则很可能出现深河口迅速下切进入盆底的情形, 最终生成盆底扇, 它可能是浊积的。对于本文的情况, 由于鄂尔多斯盆地是在华北地台最稳定的前寒武纪陆核的基础上形成的, 盆地沉降速率很小, 又无显著的构造运动, 故而能够保证水下分流河道在浅水台地上稳定推进, 乃至整个三角洲平原的稳定生长。作为湖盆水体的常见特征, 波浪作用不强, 对沉积物的改造作用也就比较弱, 于是水下分流河道砂体和河口砂坝能够在一定程度上被较完整地保存。

3.2 分异流体河口作用沉积体特征

分异流体河口作用与通常的河口作用的区别在于入注流体的纵向差异性, 于不同空间位置先后发生两次河口作用。从这种作用的理论出发, 结合所研究的实例, 作者认为其沉积体基本具备以下特征:

1) 水下分流河道复合砂体比较发育, 并沿河流走向能延伸较远的距离, 但其游荡性远不能和三角洲平原分流河道相比, 并且砂体厚度相对较小, 砂体底部有明显的底冲刷。

2) 水下分流河道末端通常分布有河口砂坝, 向前过渡为远砂坝或浅湖沉积; 水下分流河道复合砂体和河口砂坝复合体构成三角洲前缘的骨架砂体。

3) 从垂向剖面特征和沉积微相组合来看, 分流河口砂坝和水下分流河道末端河口砂坝还是可以正确区分的。前者砂体隔层少而薄, 与分流间湾沉积关系密切; 后者隔层多而厚, 与前三角洲沉积关系密切。

4) 这种类型的河口作用受气候和沉积物供给量的控制比较明显。

3.3 一个现代实例

根据成国栋等的研究资料^[1], 黄河水的含沙量随季节不同而有显著的变化。丰水期 (7~10 月份), 黄河流量大 (可达 $3\,000\text{ m}^3/\text{s} \sim 5\,000\text{ m}^3/\text{s}$), 含沙量也高, 底层可达 $50\text{ kg/m}^3 \sim 170\text{ kg/m}^3$ 。按照 QW 地区的资料换算, 其密度最高达 $1.1 \times 10^3\text{ kg/m}^3$, 这无论对海水还是湖水, 都已经是很高的了, 以这种流体注入淡水湖盆, 情形可想而知。对于黄河的情形, 河水在河口附近区域内呈狭长水体以水下分流河道的形式向海延伸, 可达 20 km 以上, 深度一般不超过 11 m , 上部含沙量低的水体呈漂浮扩散。

该实例与 QW 地区的例子有很多相似之处, 它至少可以证明分异流体入湖是客观存在的, 至于由两种盆地的水体性质、盆地结构等的不同所导致的河口作用细节上的差别也是理所当然的。

4 结论与讨论

综上所述, 本文认为至少可以得出以下结论:

1) 无论是对 QW 地区的研究, 还是比较其它实例, 我们都可以确认分异流体河口作用的存在;

2) 分异流体河口作用的形成受气候和沉积物供给的控制;

3) 分异流体河口作用的结果受盆地构造条件控制。在稳定基底、沉降速率小的浅水盆地可形成以水下分流河道和双河口坝区为骨架特征的三角洲前缘; 在受构造活动影响较明显的扇三角洲, 则极有可能向盆地进一步推进形成盆底扇或浊流沉积, 而不能充分的反映分异流体的特征;

4) 依据河口作用方式的不同及其与水下分流河

道的关系,不同的河口砂坝在沉积体特征和沉积相组合上应该是可以正确区分的,其它区别尚有待进一步研究

分异流体的底部层有可能被理解为高密度的浊流。事实上我们并不排除这种流体最终可能会演变为浊流,并浊积于盆底。但在所研究的实例中确实没有浊积岩的证据,呈现在我们面前的应该就是河口砂坝。因此,就不能简单地用密度流、浊流、异重流等术语来描述。作者在这里提出分异流体河口作用的概念,可作讨论或参考。由于两个实例在很大程度上类似性,并且搬运载荷又具有显著的二元结构特征^[1],故称为二元流河口作用亦未尝不可。相信通过对类似沉积体系的进一步研究会这一沉积作用作出更全面、确切的论述。

在本文的观点形成期间,曾与曾允孚、张锦泉、陈洪德教授等进行过有益的探讨,成文后承蒙裘亦楠教授审阅,作者在此一并表示衷心的感谢!

参 考 文 献

- 1 成国栋主编.黄河三角洲现代沉积作用及模式.北京:地质出版社,1991.19~ 92
- 2 王龙樟.鄂尔多斯盆地北部延安组水下分流河道-河口坝层偶型三角洲体系的沉积构成.岩相古地理,1992,(2):6~ 12
- 3 Farquhanson G W. Lacustrine Deltas in a Mesozoic Alluvial Sequence from Camp Hill. Antarctica Sedimentology, 1982, 29(5): 717~ 725
- 4 Wright L D. Sediment transport and deposition at river mouth: a synthesis. Bull. Geol. Soc. Am. 1977, 88 857~ 868
- 5 Galloway W E. Deltas Models for Exploration. In: Broussard M L, ed. Houston Geol. Soc. Houston, 1975. 87~ 98
- 6 傅英祺,杨季楷主编.地史学简明教程.北京:地质出版社,1987. 163~ 220
- 7 梅志超,林晋炎.湖泊三角洲的地层模式和骨架砂体的特征.沉积学报,1991,9(4):1~ 11
- 8 钱宁,万兆惠.泥沙运动力学.北京:科学出版社,1983.125~ 148
- 9 Berg R R. Reservoir Sandstones. Prentice-Hall. New Jersey: Englewood Cliffs, 1986. 310~ 331

River Mouth Processes of Differentiated Fluid

Cao Hong

(Research Institute of Petroleum Exploration and Development, Beijing 100083)

Abstract

Lacustrine delta in QW area of Shanganning basin has a different characteristic from other traditional deltas. Subaqueous distributary channel sandbodies and mouth bars are well developed here, and mouth bar complexes locate both at the beginning and the end parts of the subaqueous distributary channels, these sandbodies build up the framework of the delta front. Sediments of subaqueous distributary channels are distinguishable from those in distributary channels of delta plain as those in thickness, depositional structures and well-logging curves ect.

After reviewing the past researches on river mouth processes and comparing with some other similar studies, this paper introduces the concept of river mouth processes of differentiated fluid and different mouth bars respectively, and attempts to explain the developing mechanism of the lacustrine delta in QW area with this theory. The differentiated fluid is characterized by vertical loads and speed differentiated distribution, and mainly controlled by climate and quantities of sediments supporting. The results of river mouth processes are affected by basin structure and bottom geometry which may result in those stable moving forward or rapid downcutting of subaqueous distributary channels after the river water flew into the basin.

Two different types of mouth bars can be distinguished by connecting microfacies or facies association. long driven subaqueous distributary channels and its terminal mouth bar complex together with the ordinary mouth bar complex may be the most important responses to the river mouth processes of differentiated fluid.

Key Words delta river mouth process differentiated fluid mouth bar