

文章编号: 1009-3850(2000)01-0078-07

湖泊辫状河三角洲特征、储集性及分类

卜 淘, 陆正元

(成都理工学院石油系, 四川成都 610059)

摘要: 辫状(河)三角洲是湖泊三角洲的主要类型, 它与扇三角洲和正常三角洲有着明显的区别。其发育背景广泛, 沉积物分选较好, 杂基含量少, 孔渗性较好, 砂体呈席状展布, 面积较大, 因而具有较好储集油气的潜力。笔者对辫状三角洲的沉积特征、储集性能进行了详细的描述, 并对其分类进行了探讨。

关键词: 辫状三角洲; 沉积特征; 储集性; 分类

中图分类号: P512.31 文献标识码: A

The characteristics, reservoir quality and types of lacustrine braid deltas

BU Tao, LU Zheng-yuan

Department of Petroleum, Chengdu Institute of Technology, Chengdu 610059, China

Abstract: A braid delta is an important type of lacustrine deltas. Unlike fan deltas and normal deltas, the braid deltas are widely developed and characterized by well-sorted sediments, minor amount of matrix, relatively good porosity and permeability. The sandstone bodies always occur as sheets over a wide range of scales, and thus have significant reservoir potential. The sedimentary characteristic, reservoir quality and types of the braid deltas are discussed in detail in the present paper.

Key words: braid delta; sedimentary characteristic; reservoir quality; classification

1 湖泊三角洲研究的回顾

三角洲是中国含油气盆地的重要沉积体系, 三角洲砂体因邻近烃源岩, “近水楼台先得

收稿日期: 1999-09-05

作者简介: 卜 淘(1972—), 男, 硕士, 从事油气田开发工程研究

月”,因而是我国重要的油气储层,一直受到石油工作者的重视。三角洲的研究最早始于吉尔伯特^[1],他根据河道切割剖面表现出来的三重构造,提出三角洲在推进时,不同层理类型的垂向层序。而后,巴雷尔(1912,1914)进一步提出底积层、前积层和顶积层的概念,这就形成了经典的吉尔伯特三角洲模式,并长期支配着人们对三角洲的认识。我国从20年代开始研究古代三角洲沉积体系。60年代以来,随着我国陆相沉积盆地中的石油和天然气勘探取得举世瞩目的成就,更激发了人们对湖泊三角洲的研究兴趣。在70年代末,我国开始了扇三角洲的认识和研究,到80年代出现了大量关于扇三角洲的研究成果。80年代是三角洲研究的深化阶段,人们逐渐从理论上探讨湖泊三角洲的控制因素、成因机制及其类型。裘亦楠等^[2]最早以坡降和离物源区距离为主线索提出湖盆三角洲的二端元分类,即扇三角洲、鸟足状三角洲和两者之间的过渡类型的裙边状三角洲。吴崇筠^[3]的构造湖盆三角洲分类,即根据地形把湖泊三角洲分为长轴三角洲、短轴陡坡三角洲和短轴缓坡三角洲。何治亮^[4]以湖水进退、坡度陡缓、浪控河控三种因素为基本原则,将湖盆三角洲分成八端元类型。朱海虹(1989)等根据水动力强度的差异和对三角洲形态的影响,把三角洲分成伸长形、舌形、扇形、尖头形和平直滨岸形5种类型。另外,许多学者(如薛良清等^[5])也对湖泊三角洲分类进行了有益的探讨,并提出了典型的实例。80年代末期,国外学者又提出了辫状河三角洲概念,并逐渐被国内学者引用到实际研究工作中来。进入90年代,随着层序地层学理论的提出和应用,尤其是高分辨率层序地层学理论的提出使得对湖泊三角洲的研究更进一步。徐怀大^[7]、余素玉^[8]、邓宏文和王洪亮^[9~11]等先后应用层序地层学理论来研究我国湖泊三角洲储层的划分和精细的对比问题,提高了储层预测的准确性和精度。所有这些促进了对湖泊三角洲的深入研究,推动了石油工业的发展。

辫状三角洲的概念提出较晚,较扇三角洲和正常三角洲研究也更为薄弱,而且国内外发表的文章也较少,但其作为湖泊三角洲的一种类型,对于油气储层研究也具有重要的理论和实际经济价值。近几年,在我国东部断陷湖盆和西部的广大盆地中都发现有大量的辫状(河)三角洲沉积体系,并具有良好的油气储集性能。因此,笔者主要对辫状三角洲的概念、特征及分类进行论述,以期对辫状(河)三角洲有更深刻的认识。

2 辫状河三角洲的概念

辫状河三角洲(braid delta,也叫辫状三角洲)的概念最早由 McPherson^[6]提出,其定义为由辫状河体系(包括河流控制的潮湿气候冲积扇和冰水冲积扇)前积到停滞水体中形成的富含砂和砾石的三角洲,其辫状分流平原由单条或多条底负载河流提供物质。在此之前,辫状河三角洲归属于扇三角洲范畴,McPherson等认为把辫状河三角洲从扇三角洲中分出来的理由有两个:一是辫状河和辫状平原与冲积扇没有什么联系,如在阿拉斯加和冰岛海岸发现的冰水辫状河与冰水辫状河平原;二是与冲积扇毗连的辫状河冲积平原通常是几十公里甚至上百公里长,严格地说,并不真正是冲积扇复合体的组成部分。Nemec和Steel^[12]则不赞成McPherson的看法,认为辫状三角洲是辫状分流平原由单条底负载河流进积到静止水体中形成的(图1)。辫状三角洲的平面形态通常呈“扇”形(图1a,c),但这种“扇形”是三角洲建造过程的结果,而不是三角洲的冲击补给系统的固有特征。与扇三角洲不同,一旦静止的水体移开,辫状三角洲必然重新变为单条河流。辫状平原三角洲(图1b)是辫状平原的三角洲,该辫状平原朝上游未显示直接过渡为“近端”冲积扇沉积物,这种变化可以由冲积扇从

侧向上补给附加的水及沉积物,这种辫状三角洲的辫状河或辫状平原与冲积扇并置,可能形成于裂谷拉张型盆地的发育晚期^[1]。国内对于辫状三角洲的认识,笔者认为最早应该是裘亦楠提出的过渡类型的裙边状三角洲^[2],如胜坨油田沙二⁸层三角洲,其为离源区数十公里较窄的冲积平原上的辫状河分支直接进入湖形成的三角洲,当时由于还没有人提出和使用辫状(河)三角洲的概念,故以过渡类型而命名之,现在看来,这种三角洲无疑应归为辫状三角洲的范畴。

3 辫状三角洲的特征

3.1 辫状三角洲的发育背景

辫状三角洲是由单条或多条辫状河入湖(海)形成的沉积体系,一般远离断裂带^[6]的古隆起、古构造高地^[19]的斜坡带发育,在沉积盆地的长轴和短轴方向均可发育,沉积地形和坡度较扇三角洲更缓,比正常三角洲更陡,但也有坡度较大形成的辫状三角洲,坡度可达 25° ,如内蒙古贷岱海湖现代辫状河三角洲^[14]。辫状三角洲河流的流量受季节性洪水控制^[3]。McPherson认为其与冲积扇没有必然联系,而Nemec和Steel则反对这种认识。尽管他们的看法不一致,但重要的一点是强调其为辫状河流进入水体形成的一类三角洲,属于粗碎屑三角洲的范畴。笔者认为,与冲积扇有联系以及与冲积扇没有联系的辫状河三角洲在沉积盆地中可同时存在,按照McPherson, Nemec和Steel对辫状三角洲的认识,辫状河道提供的物质进入水体是形成辫状三角洲的必然条件,那么在一定的坡度条件下,只要有辫状河携带的物质进入稳定水体就可能形成辫状三角洲,因此,冲积扇末端和扇顶侧缘冲积平原或山区直接发育的辫状河道经短距离或较长距离搬运后可能直接进入湖泊而形成辫状河三角洲沉积体系。总之,辫状三角洲的发育背景广泛,在陆相湖盆中发育较扇三角洲广泛。

3.2 辫状三角洲的沉积特征

辫状三角洲同扇三角洲和正常三角洲一样,具有三层结构,即由辫状三角洲平原、辫状三角洲前缘和前三三角洲构成。辫状三角洲平原由单条辫状河道或多条辫状河道构成的辫状河平原相组成。高度河道化和持续而深的水流与很好的侧向连续性是平原相的典型特征。辫状河道底部的冲刷面比较平缓,充填物一般为宽厚比高、宽平板状、沿倾向的多侧向砂砾岩带。大型板状交错层理的砾岩相和砂岩相,平行层

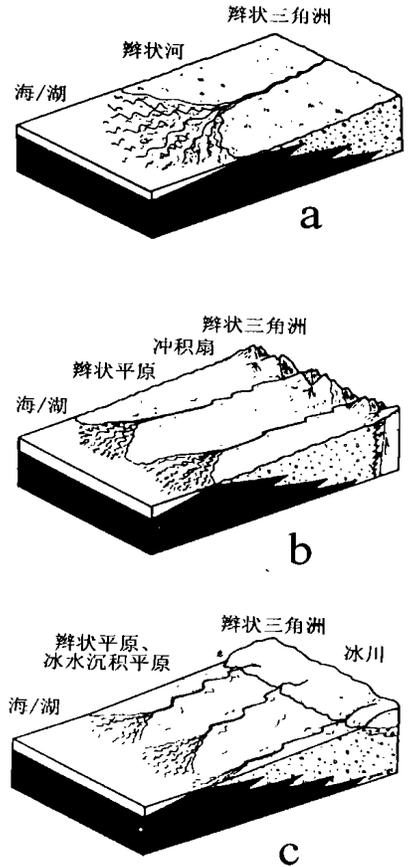


图1 辫状三角洲类型

a. 具远山区高地物源的辫状三角洲; b. 与发育于山前冲积扇前方辫状平原有关的辫状三角洲; c. 与冰川冲积平原有关的辫状三角洲

Fig. 1 Schematic models to show the types of braid deltas

a. a braid delta, sourced in distant mountainous uplands; b. coalescing braid deltas related to a broad braid plain developed downslope of a mountainous upland; c. coalescing braid deltas of fluvioglacial outwash plain (sandur) origin (after McPherson et al., 1987)

理的砾岩相和砂岩相,大型槽状交错层理的砾岩相和砂岩相以及块状砾岩相常见(表1),也常见以砂质为主的辫状三角洲。与扇三角洲平原相比,辫状三角洲平原相为位于陆上的辫状河组合,以牵引流为主,缺少碎屑流沉积;而扇三角洲平原的水上部分为冲积扇组成部分的片流、碎屑流与辫状河道互层沉积,其岩石类型和层理、构造更复杂(表1)。两者平原相带沉积物的差异是区分它们的关键特征。与正常三角洲平原相相比,辫状三角洲粒度更粗,层理类型更复杂;而正常三角洲平原相的沉积物由限定性极强的分流河道和分流间相组成。

表1 扇三角洲与辫状三角洲对比

Table 1 Generalized characteristics of fan deltas and braid deltas (modified from McPherson et al., 1987)

特 征	扇 三 角 洲		辫 状 三 角 洲
构造背景	活动(造山带)		活动或被动
自然地理背景	断块、山前、火山高地		冲积扇末端、扇顶侧缘、山区辫状河,辫状平原,冰川冰碛
古水流	半放射状,复杂		单一,简单
沉积环境及作用	水上	沉积物重力流:碎屑流、泥石流、滑塌 过渡流 河流(限定及不定),片流	牵引流 辫状构造 片流(次要)
	水下	海和湖:波浪、潮汐、密度流、沉积物重力流、悬浮沉积	
水上岩相	砾岩及角砾岩(颗粒或杂基支撑)、砂岩(次要)、 泥岩(泥流) Gms、Gm、Gh(次要 Gt、Gp、St、Sp、Sh)		砾岩(颗粒支撑)、砂岩、Gm、Gh、Gt、Gp、St、Sp、Sh
最大粒度	漂砾及卵石常见		少见漂砾和卵石
分 选	差,不见粒序		中一差,常见粒序
颗粒形态	不规则,棱角一次圆		次圆一圆
水上剖面	很陡		陡一中等(也有很陡,大于20°)
相变化	复杂、多、突变		简单、少、渐变
侧向连续性	低		中一高
土壤及氧化作用	常见		少见
地质上出现率	多		很多
几何形态及大小	楔形及透镜状,数十平方公里或更小		席状,达数百平方公里
储集性能	差,也见较好一好的(如双河油田扇三角洲储层)		好一较好

岩性相符号略

(引自[13],有修改)

辫状三角洲前缘相带主要发育水下分流河道、席状砂和水下河道间沉积。与扇三角洲一样,河口坝一般不发育或发育不好,是由于水下分流河道不固定,常侵蚀下伏沉积物,而且河道频繁叠置交互,形成多个正韵律的砂砾岩组合。水下分流河道整体上向上粒度变细,单砂体厚度减薄,其在辫状三角洲中所占的厚度最大,岩性一般较粗。席状砂一般为粒度较细的砂岩、细砂岩、粉砂岩与泥岩互层,剖面上这种互层特点是由于陆上水系间歇性变化造成湖平面升降所致,在河口坝不发育或形状不明显时,席状砂不易区分。水下河道间沉积为水

下河道改道被冲刷保留下来或沉积的较细粒物质。另外, 辫状三角洲前缘的重力流沉积一般分布于较低的前三角洲和盆地内部, 而扇三角洲前缘的重力流沉积则存在于前缘上部和前三角洲以及盆地内部, 因此, 辫状三角洲前缘和扇三角洲前缘很难区分。

前辫状三角洲沉积主要为泥岩和粉、细砂质泥岩沉积, 颜色较深很难与湖相沉积相区分。辫状三角洲垂向层序可能表现为两种韵律结构, 一是向上变细的退积型辫状三角洲, 剖面上由多个水流作用自强到弱形成的向上变细的正韵律组合, 二是向上变粗的进积型辫状三角洲, 由多个向上变粗的沉积旋回组合而成。完整的层序由下而上表现为滨浅湖相→平原相→前缘相。由于水动力条件和古地形条件的变化, 辫状三角洲垂向上的三层结构往往保存不完整, 多以平原相和前缘相互层沉积的形式出现于剖面上。

3.3 辫状三角洲的储集性能

湖泊三角洲的骨架砂体为水下分流河道砂体。辫状三角洲和扇三角洲同为粗碎屑类型的三角洲, 但从岩石学、沉积和成岩特征可以看出: 辫状三角洲具有较好的储集性能, 明显较扇三角洲具有良好的储层质量。辫状三角洲岩石分选较好, 基质含量较低, 砂、砾岩体的侧向连续和连通性能较好, 因此, 辫状三角洲砂体具有较高的孔隙度和渗透率, 如塔北三叠系辫状河三角洲砂体^[16] 平均孔隙度达 20.61%(样品多于 3000 块), 平均渗透率达 $540 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$; 吐鲁番-哈密盆地 M1 井中侏罗统三间房组辫状三角洲水下分流河道砂体, 其孔隙度为 15.1%, 渗透率为 $27.26 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$; 柴达木盆地油砂山辫状河三角洲分流河道砂体^[18] 平均孔隙度高达 27.27%, 平均渗透率达 $402.72 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$ 。孔渗变化主要受控于沉积作用和方式, 分流河道砂体在垂向上孔渗性表现为向上变差。辫状三角洲砂体在纵横向上具有不同层次的非均质性, 于兴河^[19] 对内蒙古尕斯库勒湖现代辫状河三角洲从微观非均质性、层内非均质性和空间非均质性进行了研究, 认为微观非均质性与颗粒的排列方式有关, 依据颗粒的堆积方式和大小划分出含砾中粗砂、中砂、细砂和粉砂 4 个粒级的沉积, 并按此顺序, 孔隙度逐渐减小, 颗粒的排列方式基本上由疏松到紧密; 层内非均质性主要受控于沉积作用和方式; 空间非均质性主要从砂体平面特征、断面特征反映出来。张希明等^[15] 在研究塔北三叠系辫状河三角洲砂体时根据 Miall(1985, 1988) 的构型分析, 将其非均质性分为区域级、亚区域级、局部级和构型单元内的小范围非均质性 4 个级别, 认为辫状三角洲砂体主要由受控于六级界面的辫状河道砂体复合充填体构成。于兴河则认为尽管陆相断陷三角洲的界面可分为 6 级^[20], 但一般在研究层间和层内非均质性主要考虑后 3 个级别大的界面。辫状三角洲砂体在平面上呈席状展布, 面积达数百平方公里(表 1), 且水下分流河道的砂砾岩体与烃源岩呈频繁互层出现, 油气形成之后能很快运移到储集层之中, 加之纵、横向非均质性等特点, 使其具备良好的生储盖配置关系, 并有利于油气的运移、聚集和保存。从目前发现的辫状河三角洲构成的油气藏看, 与水下分流河道沉积有关的圈闭主要有岩性圈闭油气藏、构造圈闭油气藏和构造-岩性圈闭复合油气藏几类^[16]。

4 湖泊辫状三角洲的分类

影响三角洲的因素很多, 也很复杂。科尔曼(1975)研究了 50 多个现代三角洲, 分析了 400 多个参数后, 得出了主要影响因素有气候、高差、流量等 12 个, 并且这些因素大多数又可反映在河流和水体的动能上, 但笔者认为其忽略了构造作用、物源区母岩性质等控制辫状三角洲沉积发育的重要因素; 另据有关学者对世界上已知的各种三角洲统计结果, 影响因素

达 163 种以上^[21]。尤其在陆相盆地中, 影响因素更多, 各因素之间的辩证关系更为复杂。于兴河等(1995)对内蒙古尕斯库勒湖现代辫状河研究认为构造作用的幅度(断层的陡、缓及沉降幅度)地形坡度的大小通常是辫状河三角洲建设作用为主还是改造作用为主的关键。从前述湖泊三角洲的分类方案看, 主要考虑以下几种主要影响因素: 物源区母岩性质、沉积地形高差(坡降)、具物源区远近、在盆地中发育的位置、湖平面升降、水动力强度和砂体的展布形态等。较少学者对构造活动背景下的三角洲发育进行详尽的研究, 笔者和导师及其合作者(1997, 1998)在对松辽盆地深层断陷湖盆沉积相研究时识别出地堑式断陷低角度控陷断层一侧发育的辫状河三角洲, 为构造活动背景下发育的辫状河三角洲, 构造活动使得物源区上升缓慢, 相对较低的沉积地形为高度河道化的辫状河进积于湖泊形成辫状三角洲起到了决定性的作用。

任何事物都是相互联系的。尽管影响因素多而复杂, 各因素互相制约和影响, 彼此间具有一定的辩证关系, 在某一环境条件下, 某一种或几种因素可能起主导作用, 但与其它各个因素之间却不是独立的。因此, 我们不能孤立地看待各种控制因素, 这样有助于我们辩证地认识事物。综合上述主要控制因素, 参照和结合裘亦楠(1982)、吴崇筠(1983)、何治亮(1986)、朱海虹(1989)等湖泊三角洲的分类, 笔者对陆相湖泊辫状三角洲的成因类型进行划分(表 2), 并举我国陆相盆地中发育的部分类型。在此分类方案中, 我们主要考虑辫状三角洲在盆地中所处位置、沉积地形、湖平面变化、水动力条件及物源区性质等几方面的控制因素进行分类, 实际情况远较此复杂、多变, 而且各因素之间关联和组合又可派生出多种复合类型, 如短轴陡坡型辫状三角洲, 在此不过多阐述。

表 2 湖泊辫状三角洲的分类

Table 2 Classification of lacustrine braid deltas

主控因素	盆地中位置	沉积地形、坡度	水位升降	建设或破坏性作用	粒度粗细
类型及实例	长轴辫状三角洲 (青海油砂山辫状三角洲 ^[18])	陡坡型辫状三角洲 (胜坨油田沙二 ₈ ³ 层三角洲 ^{2,31})	水进型辫状三角洲 (塔北三叠系辫状河三角洲砂体 ^[16])	河控型辫状三角洲 (松辽深层断陷辫状三角洲)	砾质辫状三角洲
	短轴辫状三角洲 (胜坨油田沙二 ₈ ³ 层三角洲 ^[31])	缓坡型辫状三角洲	水退型辫状三角洲 (吐哈盆地 M1 井中侏罗统三间房组辫状三角洲 ^[17])	浪控型辫状三角洲	砂质辫状三角洲

5 结论

辫状河三角洲是粗粒的湖泊三角洲, 其水上部分主要由辫状河道组成, 以缺乏碎屑流沉积与扇三角洲相区别; 水下部分主要为分流河道沉积, 剖面上两者常呈互层叠加的厚层砂体, 在平面上砂体呈席状展布, 面积达数百平方公里。辫状三角洲砂体分选较好, 杂基含量较少、孔渗性较好, 具有极大的储集潜力, 因此深入认识辫状三角洲的特征, 重新评价和认识以往某些扇三角洲及其储集性, 对于油田挖潜和增储具有十分重要的经济意义。

参考文献:

- [1] GILBERT G K. Lake Bonneville[C]. Reston (Virginia): U. S. Geol. Surv. Mongr. 1890, 1.
- [2] 裘亦楠等. 湖盆三角洲分类探讨[J]. 石油勘探与开发, 1982, (1): 1—11.
- [3] 吴崇筠. 构造湖盆三角洲与油气分布[J]. 沉积学报, 1983, (1): 5—23.
- [4] 何治亮. 湖盆三角洲分类的初步探讨[J]. 石油与天然气地质, 1986, 7(4): 385—403.
- [5] 薛良清, GALLOWAY W E. 扇三角洲、辫状河三角洲与三角洲体系的分类[J]. 地质学报, 1991, (4): 141—152.
- [6] McPHERSON J G, SHANMUGAM G and MOIOLA R J. Fan-deltas and braid deltas; varieties of coarse grained deltas [J]. Geol. Soc. Amer. Bull., 1987, 99(3): 331—340.
- [7] 徐怀大. 陆相层序地层学研究中的某些问题[J]. 石油与天然气地质, 1997, 18(2): 83—89.
- [8] 余素玉等. 层序地层学方法及其在陆相湖盆研究中的应用[J]. 地质科技情报, 1993, 12(2): 216—219.
- [9] 邓宏文, 王洪亮等. 层序地层基准面的识别、对比技术及应用[J]. 石油与天然气地质, 1996, 17(3): 177—184.
- [10] 邓宏文. 美国层序地层研究的新学派——高分辨率层序地层学[J]. 石油与天然气地质, 1995, 16(2): 89—97.
- [11] 王洪亮, 邓宏文. 地层基准面原理在湖相储层预测中的应用[J]. 石油与天然气地质, 1997, 18(2): 96—102.
- [12] McPHERSON J G, SHANMUGAM G and MOIOLA R J. Fan-deltas and braid deltas; conceptual problems[A]. NE-MEC W and STEEL R J. Fan Deltas; Sedimentology and Tectonic Settings[M]. Glasgow and London: Blackie, 1988, 14—22.
- [13] 钱丽英编译. 扇三角洲和辫状三角洲——两种不同类型的粗粒三角洲[J]. 岩相古地理, 1990, 5(5): 55—62.
- [14] 于兴河等. 湖泊辫状河三角洲岩相、层序特征及储层地质模型[J]. 沉积学报, 1995, 13(1): 48—57.
- [15] 张希明, 刘青芳等. 塔里木盆地北部三叠系辫状三角洲砂体储集层非均质性研究[J]. 石油勘探与开发, 1997, 24(1): 50—54.
- [16] 张希明, 刘青芳. 塔北地区辫状三角洲沉积特征及油气勘探意义[J]. 石油勘探与开发, 1999, 26(2): 21—24.
- [17] 李文厚等. 吐鲁番哈密盆地的两种粗碎屑三角洲[J]. 沉积学报, 1996, 14(3): 113—120.
- [18] 林克湘, 张昌民等. 地面-地下对比建立储层精细地质模型[M]. 北京: 石油工业出版社, 1995.
- [19] 于兴河, 王德发等. 辫状河三角洲砂体特征及砂体展布模型[J]. 石油学报, 1994, 15(1): 26—36.
- [20] 于兴河, 王德发. 陆相断陷盆地三角洲相的构形要素及其储层地质模型[J]. 地质论评, 1997, 43(3): 225—231.
- [21] 何义中, 郑荣才等. 湖泊三角洲研究的回顾与展望[J]. 岩相古地理, 1999, 19(3): 40—43.