

文章编号:1004-7824(1999)06-0053-06

河相地层研究的几个问题

卜 淘

(成都理工学院 石油系, 四川 成都 610059)

摘要:河相地层是寻找非构造油气藏的重要目标。笔者对陆区基准面、陆上可容空间、河流随基准面变化的沉积响应以及河流相地层模式进行了详细的研究。认为采用高分辨率层序地层学得到基准面原理和方法能提高河流相储层预测的精度。

关 键 词:河相地层;基准面变化;沉积响应;地层模式

中图分类号:P512.31;P539.2

文献标识码:A

随着寻找石油技术的不断提高,世界上大多数大型构造油气藏已被发现。近年来对大型油气藏发现的成功率明显下降,勘探工作者不得不把注意力转到地层圈闭和岩性圈闭等非构造油气藏上。河相地层具独特的沉积方式,能形成多种类型的沉积砂体。因此,深入研究河流层序对寻找新的油气藏具有实际意义。

1 河流体系的特点

河流是由陆地流向湖泊或海洋的通道,也是陆源沉积物搬运的主要动力。从理论上讲,河流系统可能受多种因素的控制^[1,2],包括地质、气候、植被、水流、沉积物的排放、构造运动、地壳均衡和海(湖)平面升降等。控制河相层序更具体的因素有:河道水流的排放量、河流携带的沉积物的数量、沉积物的大小和搬运方式、地形梯度、流经河道水流的地质作用以及海(湖)平面的变化等,各种因素的综合作用表现为由基准面的变化而导致陆上可容空间与沉积物通量比值的调整,从而控制河相地层的发育。

2 基准面与陆上可容空间

在地层学中,基准面的本意是指侵蚀基准面。美国地质术语辞典中所定义的基准面为由地球表面侵蚀作用可达到的最低界面。Sloss(1962),Weeler(1964),Cross(1994)等发展了基准面的概念,并赋予了更深的含义。一般认为,在海洋滨线和浅水陆架,基准面大致相当于海平面和均夷的陆架表面,但在陆区却更复杂一些,Vail 和 Posamentier 在 EXXON 模式中将陆区的基准面视为河流均衡剖面或递降水流剖面^[3](图 1)。其认为河流均衡剖面的形态为上游陡、下游缓,坡度呈指数下降,在毗邻河口的三角洲平原或滨海平原,坡度极缓,可

收稿日期:1999-01-24

作者简介:卜淘,男,27岁,硕士,从事油气田开发工程的研究

能已接近水面,与滨海处的基准面相接。于是,在一个特定的河流体系内,河相沉积记录就是水流在一个较长时间内未达到平衡而向上加积或向下侵蚀的结果。然而,河流系统是依靠不断修正河道的规模和模式来适应其内部和外部变化的一种动态的、开放的复杂响应系统,具有自动调整平衡的倾向性,水流达到平衡并非只改变坡降比,还可通过改变自身的形态、样式、粗糙度来进行调整。因此,EXXON 模式引发了异议。按照经典理论,只有在准平原化过程中,水流才可能达到平衡,水流剖面此时变成了平衡剖面,则其形态不大可能呈指数式下降,而是一个与大地均夷表面(最终基准面,图 1)相当的极低起伏的面。于是,有人提出了陆区基准面究竟是河流平衡剖面还是与大地均夷面相当的地貌基准面的讨论。一些人认为两种基准面在近海部分可能接近或重合,其主要区别在内陆区,尤其河流的近源区,河流的沉积、无沉积或侵蚀作用极为复杂,因此对陆区的基准面认识仍不深刻。在以往的实际工作中,多数学者仍以河流平衡剖面作为处理河流层序的基础。近年来,高分辨率层序地层学理论的提出使得对基准面的认识更进一步深化。

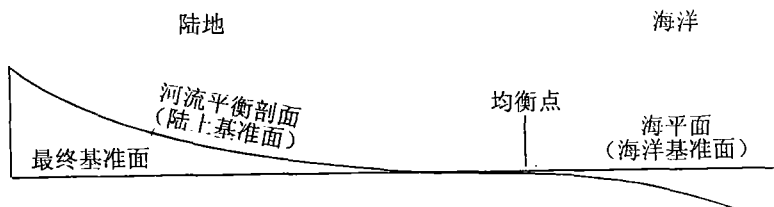


图 1 陆区和滨海处基准面^[4]

Cross 在 Weeler 基础上发展了基准面的概念^[5]。他认为地层基准面并非海平面,也不是相当于海平面的一个向陆方向延伸的水平面,而是一个相对于地球表面(物理面)波状起伏的、连续的、略向盆地方向下倾的抽象面,其位置、运动方向及升降幅度不断随时间的变化而变化(图 2)。基准面可以完全在地表之上或地表之下摆动,也可以穿越地表之下摆动到地表之上再返回。基准面的变化伴随着可容空间的变化,当基准面位于地表之上时,提供了沉积物的沉积空间,沉积作用发生,任何侵蚀作用均是局部的或暂时的;当基准面位于地表之下,可容空间消失,任何沉积作用均是暂时或局部的;当基准面与地表一致(重合)时,既无

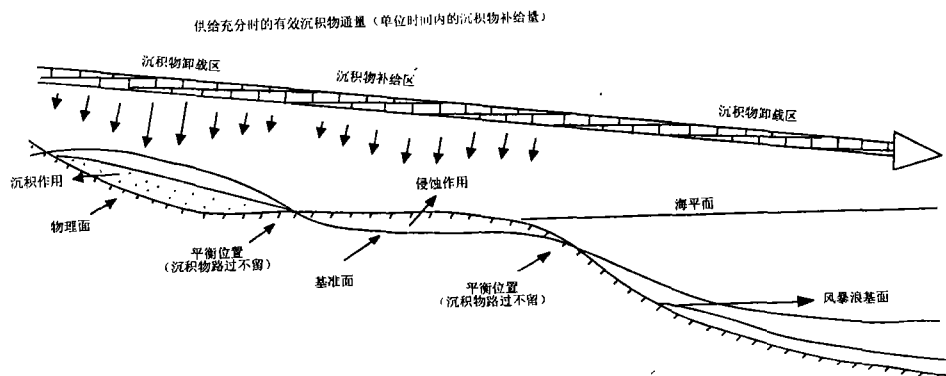


图 2 基准面、可容空间与沉积物供给之间平衡的地貌状态^[5]

沉积作用又无侵蚀作用发生,沉积物仅仅路过而已。因而,在基准面变化的连续时间域内,地表的地理位置表现为 4 种地质状态,即沉积、侵蚀、沉积物路过时产生的非沉积作用及沉积物非补偿产生的饥饿性沉积作用乃至非沉积作用^[5]。

高分辨率层序地层学的基准面原理是从地层过程-响应动力学角度来认识一个地层的发育过程。河流具有沉积和搬运的双重作用,运用基准面原理可以从四维(空间+时间)动力学变化过程中分析河流可容纳空间的增长与消失,解决水流剖面达到平衡的极限,即当基准面与地貌基准面(地球表面)一致时,水流达到一种平衡的状态,沉积物表现为路过不留。由于地表是起伏不平的,而且坡度在各局部地方不一致,并非呈指数式下降。因此,以往用河流平衡剖面研究陆区可容空间及河流地层响应并不合理。

3 基准面的变化与河流的沉积响应

3.1 河流平衡剖面变化与河流地层响应

理论上河流平衡剖面的变化包括位置和形态两个方面。EXXON 模式只强调位置的变化,认为当水流达到平衡时,其下游端与滨海处基准面衔接的点称为河流剖面被均衡的点(均衡点,图 1)。由于相对海平面变化常改变均衡点的位置,因而引起河流平衡剖面作相应位移,使陆区可容空间发生改变。按照这个模式,均衡点向海移动,河流平衡剖面也向海移动,陆区可容空间加大,河流沉积作用发生(图 3a),但图 3b 反映的河流加积却并非由于平衡点的向下移动所致。Koss(1994)用物理模拟实验揭示,当海平面下降时,不仅河流没有加积作用,三角洲水上平原反而出现轻微下切,这也说明了用河流平衡剖面单一方向的移动来解释河相层序的发育模式是不完善的。河流平衡剖面的形态是变化的,并且这一变化不仅受下游因素控制,而且上游也要起作用,从这一点讲,支持把地貌基准面看成陆区基准面的观点似乎较合理些;然而,陆区基准面的变化导致河流地层响应却十分复杂,以往 EXXON 模式及许多学者认为的河流响应仅限于垂直方向的加积、无沉积或侵蚀下切,而河流沉积物主要是由侧向加积和垂向加积两种作用形成的,因而无论是平衡剖面或地貌基准面都不能全面反映河相沉积记录的动力学变化过程。但是,用 Cross 的基准面原理则能更好地解决河流地层响应的问题。

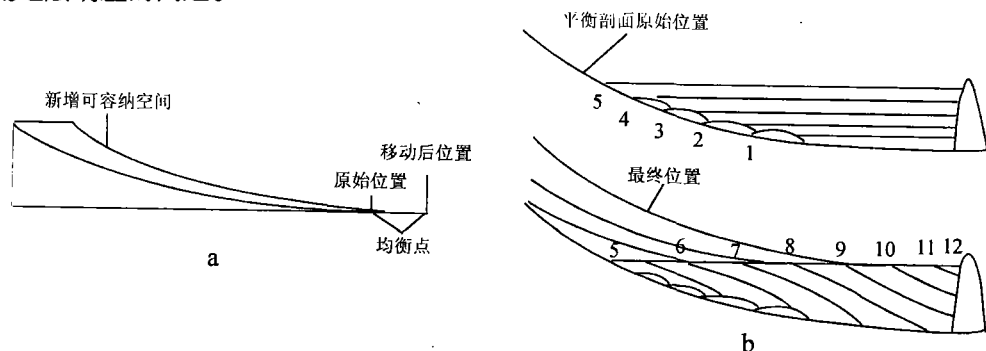


图 3 河流平衡剖面与陆区可容空间的增加示意图^[4]

a. 均衡点和平衡剖面向海平移; b. 人工水库沉积作用对河流加积作用的影响

3.2 基准面与河流地层响应

基准面变化描述了可容空间的建立或消失与沉积作用变化过程。陆区可容空间控制了某一时间内在某一地理位置堆积的最大值。在沉积物供给速度不变的情况下,可容空间与沉积物供给量比值(A/S)决定了可容空间内沉积物的堆积速度、保存程度及内部结构特征。实际上,基准面的位置、形态的变化不仅限于垂向上的变化,而且在横向上也存在变化,如曲流河侧积体迁移和辫状河“泛连通”砂体^[6]正是基准面横向与垂向变化综合作用的产物,也受海(湖)平面、构造沉降、沉积物供给、沉积地形和气候等综合因素制约基准面在“四维空间”内发生变化。

基准面旋回一般由下降半旋回和上升半旋回两部分组成。河流随基准面变化的地层响应相当于短期旋回级别,并且多表现为非对称旋回形式。在陆地部分,主要发育向上变细的岩石结构,而在远河口通常发育向上变粗的岩石结构。一个结构旋回对应于一个短期旋回,向上变细结构的短期旋回只保留上升半旋回的沉积,缺少下降半旋回沉积,是由于基准面下降期间地表暴露或可容空间不断减少甚至负向增长,河流下切冲蚀明显,即使有沉积作用发生,保留的也是滞留沉积。根据旋回保存的沉积厚度和岩相组合以及下降期间对沉积物侵蚀和冲刷作用的强度,又可分为较高可容空间和低可容空间两种旋回结构样式。较高可容空间河流层序自下而上为滞留沉积→河道沉积→天然堤(决口扇)沉积→泛滥平原沉积组成的岩石序列(图 4a),显示了基准面上升期间河流沉积了较完整的序列,而下降幅度较小,对上升期沉积物侵蚀不多的沉积动力学过程。低可容空间旋回结构表现为多个叠置的砂体序列,出现多个侵蚀冲刷面(图 4b),成因有基准面下降幅度大,对上升期河流堤泛沉积有强烈地侵蚀冲刷作用,因而只保留了上升半旋回下部的河床沉积。

向上变粗的河流层序主要发育于河口的河口坝沉积序列,层序以下降半旋回沉积为主,而上升半旋回表现为欠补偿或无沉积作用的间断面(图 4c)。

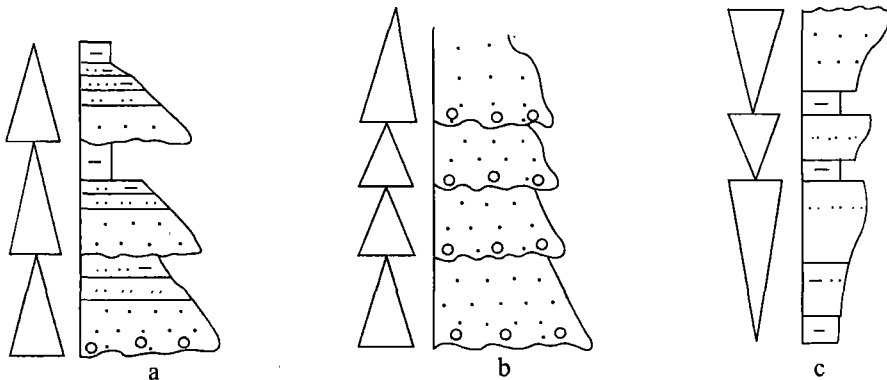


图 4 河流相层序的基准面响应示意图

然而,从基准面旋回理论和可容空间变化的动力学观点出发,较低级次的基准面旋回在高级次基准面旋回中的位置在很大程度上控制了旋回内部沉积物的地层学和沉积学特征。河流层序叠置砂体的短期基准面旋回堆积方式、结构特点同样受制于所处较长期基准面的位置(图 5a 中的斜线部分)。由于较低的可容空间,常出现当短期基准面上升时,沉积物首先堆积在具有最大潜在可容空间的区域,如充填在侵蚀冲刷形成的沟槽、深切谷等负地形中。而在整个短期基准面下降期间,侵蚀与过路不沉积作用频繁发生。当位于图 5a 下部的

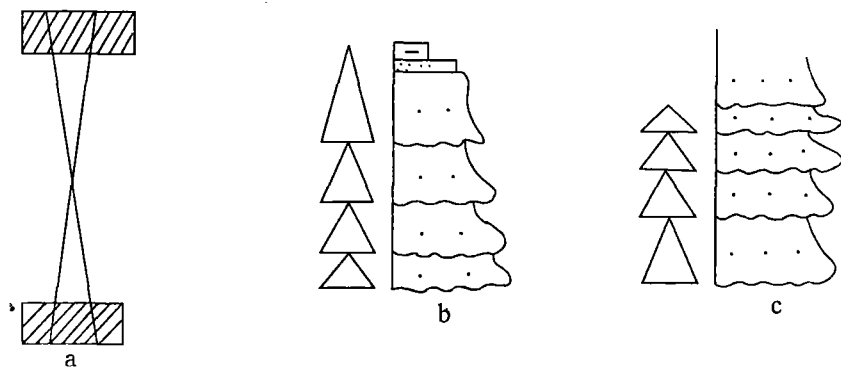


图5 较长期基准面旋回对短期地层旋回的控制

上升半旋回斜线位置时,叠置的河道砂体具有单层向上变厚、粒度变细的趋势(图 5b)。而当位于图 5a 上部的斜线位置时,叠置的河道砂体整体具有单层向上变薄、粒度变粗的趋势(图 5c)。

综上所述,河流随基准面在四维空间的沉积动力学响应主要表现为向上变“深”的非对称短期基准面旋回。这种响应不仅取决于 A/S 值的变化,而且还取决于河流层序在所属更长期基准面旋回中的位置。

4 河流相地层模式

4.1 河流相层序对比

由于横向相变剧烈,化石保存少,缺少生物地层标准层,河相地层的对比问题一直是棘手的难题。按照 EXXON 地层划分的对比模式,河相地层更强调界面大范围的不整合性质。然而,鉴别河相地层大范围的不整合较困难,因为河道在正常沉积过程中也伴随着底冲刷和侧向侵蚀,所以长期以来人们采用岩相向盆迁移、复合砂体、古流向偏转和无沉积作用面^[3]来识别河流层序。但是河流沉积主要为陆内沉积,在缺少海(湖)平面影响下,以某一标志难以达到对比的效果。目前认为古土壤层是识别河流地层的最好标志,但是古土壤可发育在任何时间的河岸阶地和河间地区,地质历史中又不容易保存下来,同时不具统一的“电性”特征,故古土壤层对比漫滩相泥岩较发育的河型沉积效果较好,而对于砂岩很发育的河流地层则难以奏效。

按 EXXON 模式对比存在较大的困难,而采用高分辨率成因层序对比则能达到更好的效果。运用高分辨率旋回等时对比技术进行河流层序的对比,不仅能揭示河流沉积环境的差异,同时也能揭示河流在基准面变化时间域内的沉积响应动力学变化过程,能对河道砂体的分布规律和开发动态特征进行更精确地预测,提高了储层研究的分辨率。在岩性剖面上识别河流地层短期旋回的标志主要有地层中的冲刷现象及滞留沉积、砂泥岩厚度的旋回性变化等,但实际运用中仍需考虑在更高级别基准面旋回中的位置进行纵向和横向上的追踪对比。

4.2 河流相层序模式

目前河流相地层的内部构成仍为三分。Oslen(1995)等提出了具有代表性的模式(图

