

# 泌阳断陷双河—赵凹地区下第三系核三上段 陆相层序发育的可容空间机制

胡受权

(西南石油学院博士后流动站 四川南充 637001)

**提 要** 泌阳断陷湖盆基底呈“反铰链式”构造沉降。在湖平面变化和构造沉降共同作用下,泌阳断陷湖盆陡坡带的可容空间变化仅有三种可能性: a. 南缘及北缘减小,中央带增加; b. 南缘不变,中央带及北缘增加; c. 南缘、中央带及北缘均增加。针对这三种情况,分别在不同的物源供给速率条件下,分析了断陷湖盆陡坡带不同构造部位的剩余可容空间变化规律及沉积响应特征。文中探讨了参照井选择的可容空间机理;以泌 207 井作为参照井,对下第三系核三上段的陆相层序进行了划分;并采用 Fischer 图解法,作出了其实际可容空间变化曲线。

**关键词** 构造沉降 湖平面变化 可容空间 Fischer 图解 陆相层序 下第三系 泌阳断陷

**作者简介** 胡受权 男 33 岁 博士后 油气地质与勘探专业

## 1 反铰链式构造沉降与陆相层序的发育

构造沉降是控制陆相层序形成的关键因素,尤其在陆相断陷湖盆中。但是,因盆地基底构造沉降较为复杂,对其构造沉降轨迹难于用一个统一的数学函数准确地描述,大多数研究者简单地将盆地在某个特定时间区间内的沉降作用假定为匀速沉降。来自于被动大陆边缘的层序地层学理论前提亦是如此。Posamentier 等人假定<sup>[1]</sup>,海底沉降速率在有限时间间隔内保持稳定,且向盆地方向逐渐增加(通常称之为“铰链式”沉降)。事实上,盆地基底构造沉降可能是非线性或间断函数。就泌阳断陷湖盆双河—赵凹地区(位于断陷湖盆陡坡带至湖心区)而言,由盆缘控盆边界断裂向盆地中心,其沉降速率逐渐减小,呈“反铰链式”沉降(图 1)。

在同一断陷湖盆的不同构造部位,由于构造沉降速率的差异性,从而在相同沉积机制下,也可能造成不同的沉积层序响应特征。在呈“反铰链式”沉降的泌阳断陷湖盆双河—赵凹地区,靠近边界断裂的部位,沉降速率较大,从而可容空间相对较大,因而表现出各级层序单元厚度较大;而远离边界断裂的部位,情况恰恰相反<sup>[2]</sup>。

实际上,断陷湖盆基底构造沉降作用是呈幕式旋回性的<sup>[3]</sup>,每一次幕式旋回并不是单一的加速沉降或减速沉降,更不可能是单一的匀速沉降过程。为了讨论的方便,可采用分段函数来刻画一次幕式基底构造沉降作用。通常地,一个构造幕式旋回可划为四个时期(图 2):静止时期( $y = k_1$ )、加速沉降时间( $y = k_2x^2$ )、稳定沉降时间( $y = k_3x$ )和减速沉降

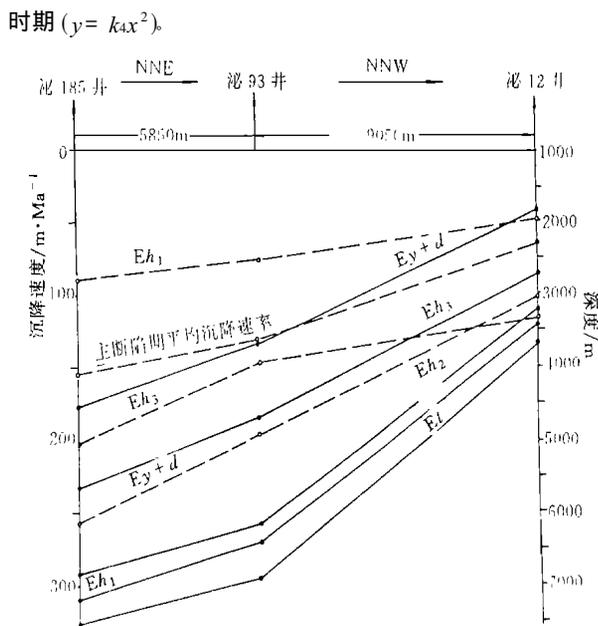


图 1 泌阳断陷双河—赵凹地区盆地基底反铰链式构造沉降特征

(实线与虚线分别表示不同地质时期盆地基底深度及沉降速率)

Fig. 1 Anti-hinge-typed structural subsidence of basement in Shuanghe-Zhaoao area of Biyang fault-depression

图中表示了一个构造沉降旋回与层序发育之间的关系。 $t_{ot1}$  时间段,属构造静止期,由于上一个构造旋回晚期的减速沉降和沉积物的不断充填,使可容空间变得甚小乃至缺乏,

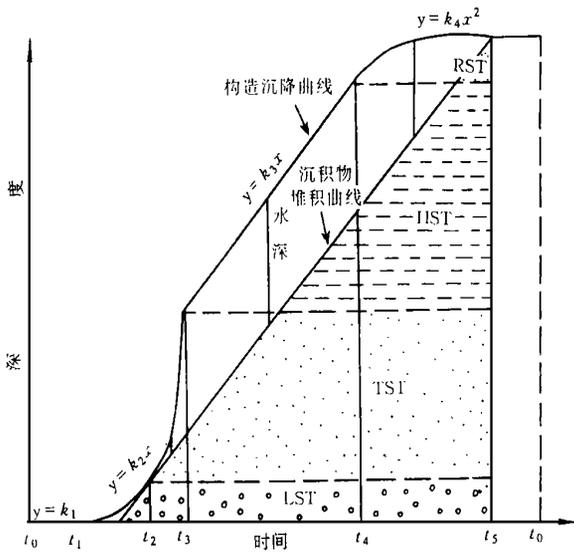


图 2 一个构造旋回曲线与陆相层序及其体系域的形成  
Fig. 2 Correspondence between the formation of system tract in a terrigenous sequence and a structure cycle curve

极有可能发生陆上暴露并遭受侵蚀作用,形成不整合面,构成层序底界;  $t_1t_2$  时间段,为加速沉降早期,此时需克服阻力而启动沉降作用,故可容空间增加较为缓慢,水深较小,因而沉积作用相对较快,导致较粗的偏砾相沉积物大量堆积,形成低水位体系域(LST);  $t_2t_3$  时间段,为加速沉降晚期,可容空间增加极快,水深急剧加大( $t_3$ 水深达到最大)形成水进体系域偏砂相沉积物;  $t_3t_4$  时间段,属稳定匀速沉降期,在中等匀速物源供给条件下(两者变化速率近于平衡),水深基本保持极大值不变,发育高水位体系域的湖相泥质岩加积作用;  $t_4t_5$  时间段,为减速沉降期,可容空间增加速率逐渐减小,水深亦渐趋减小,堆积一套水退体系域的偏砂相沉积物;至  $t_5$  时,可容空间渐趋为零,发生侵蚀作用,形成不整合面,构成层序顶界。由此可见,一个构造沉降旋回过程控制着一个层序及其体系域的形成。

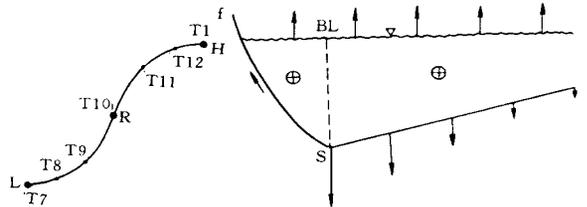


图 4 泌阳断陷双河—赵凹地区可容空间(湖平面上升期)  
Fig. 4 Accommodation diagram in Shuanghe-Zhaoao area of Biyang fault-depression(during lacustrine level ascent)

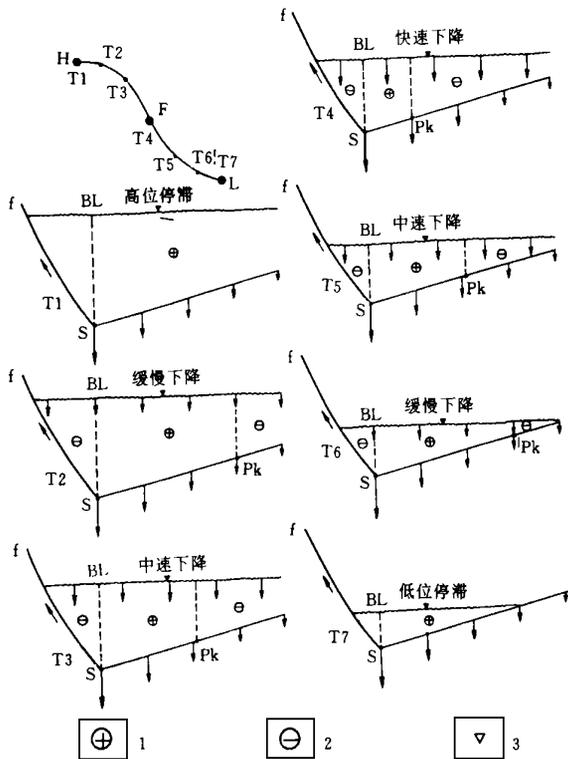


图 3 泌阳断陷双河—赵凹地区可容空间(湖平面下降期)  
1. 可容空间增加; 2. 可容空间减小; 3. 湖平面; H 湖平面最高点; F 湖平面下降拐点; L 湖平面最低点; T1- T7 湖平面下降特定时刻; f 边界断裂; S 构造枢纽点; BL 湾线; Pk 可容空间变化平衡点

Fig. 3 Accommodation diagram in Shuanghe-Zhaoao area of Biyang fault-depression(during lacustrine level descent)

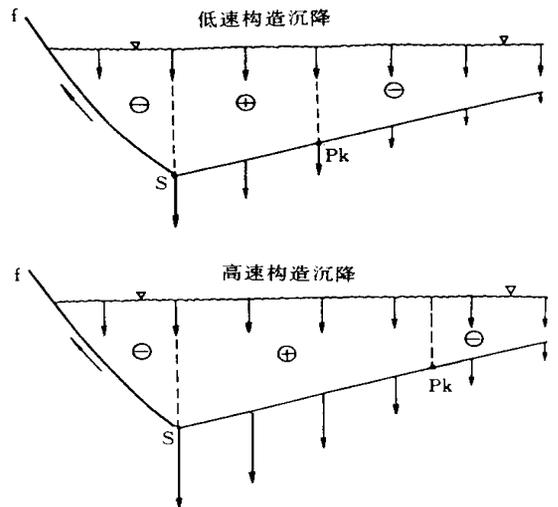


图 5 泌阳断陷双河—赵凹地区高速及低速构造沉降条件下可容空间图解  
(图例及图注参见图 3)

Fig. 5 Accommodation diagram at high and low velocity of tectonic descent in Shuanghe-Zhaoao area of Biyang fault-depression

## 2 断陷湖盆陆相层序发育的可容空间

假定泌阳断陷湖盆以特定的“反铰链式”沉降速率沉降,

那么在湖平面下降的 T1- T4- T7过程中(除 T1 T7两个特定时刻之外),断陷湖盆的南缘及北缘的可容空间是减少的,而湖盆中央地带则呈增加趋势(图 3);而 T1及 T7时刻,湖盆南缘的可容空间基本不变,其北缘虽有所增加,但因北缘构造沉降速率渐趋减小,故可容空间增加速率甚微,加之盆地南、北缘均靠近物源区,沉积速率极高,所以很可能出现剩余可容空间减小之趋势,引起盆缘区的暴露并遭受侵蚀作用。

另外,在湖平面上升的(T7)- T8- T10- T12- (T1)过程中,除 T1 T7时刻已讨论外,湖盆在其它时刻(或时间段)的可容空间均呈增加之势(图 4)。但与盆地中央地带相比,南部及北部盆缘可容空间的增加幅度甚小,而其沉积速率却远较中央地带高(因靠近物源区),故盆地南、北部边缘的剩余可容空间必然较盆地中央地带小,极易出现陆上暴露并遭受侵蚀作用。

假定泌阳断陷湖盆湖平面以特定速率下降,那么无论在加速构造沉降条件下,还是在减速构造沉降条件下,南、北部

盆缘的可容空间均呈减小之势,而盆地中央地带的可容空间却呈增加之势(图 5)。正是由于上述可容空间变化机理,导致了断陷湖盆南缘及北缘易于发生陆上暴露,并遭受侵蚀间断,而盆地中央地带的沉积层序则呈连续、整合关系。

由上述讨论结果可知,在湖平面变化的构造沉降共同作用下,泌阳断陷湖盆陡坡带的可容空间变化有(且仅有)三种可能性:a. 南缘及北缘减小,中央带增加(图 6A B),称(- + -)型;b. 南缘不变,中央带及北缘增加(图 7A B),称(O + +)型;c. 南缘、中央带及北缘均增加(图 8A B),称(+ + +)型。针对这三种情况,分别在不同的物源供给速率条件下,分析断陷湖盆陡坡带不同构造部位的剩余可容空间变化规律及沉积响应特征(图 6- 8)。

在较高速率物源供给条件下,岸线位于湾线的向盆一侧,最大水深位置远离湾线,断陷湖盆陡坡带发育冲积扇-扇三角洲-湖相沉积体系组合(图 6E图 7E和图 8E)。随着物源供给速率的减小,岸线向湾线位置迁移,最大水深位置也随之移动。在中等速率物源供给条件下,岸线可能与湾线

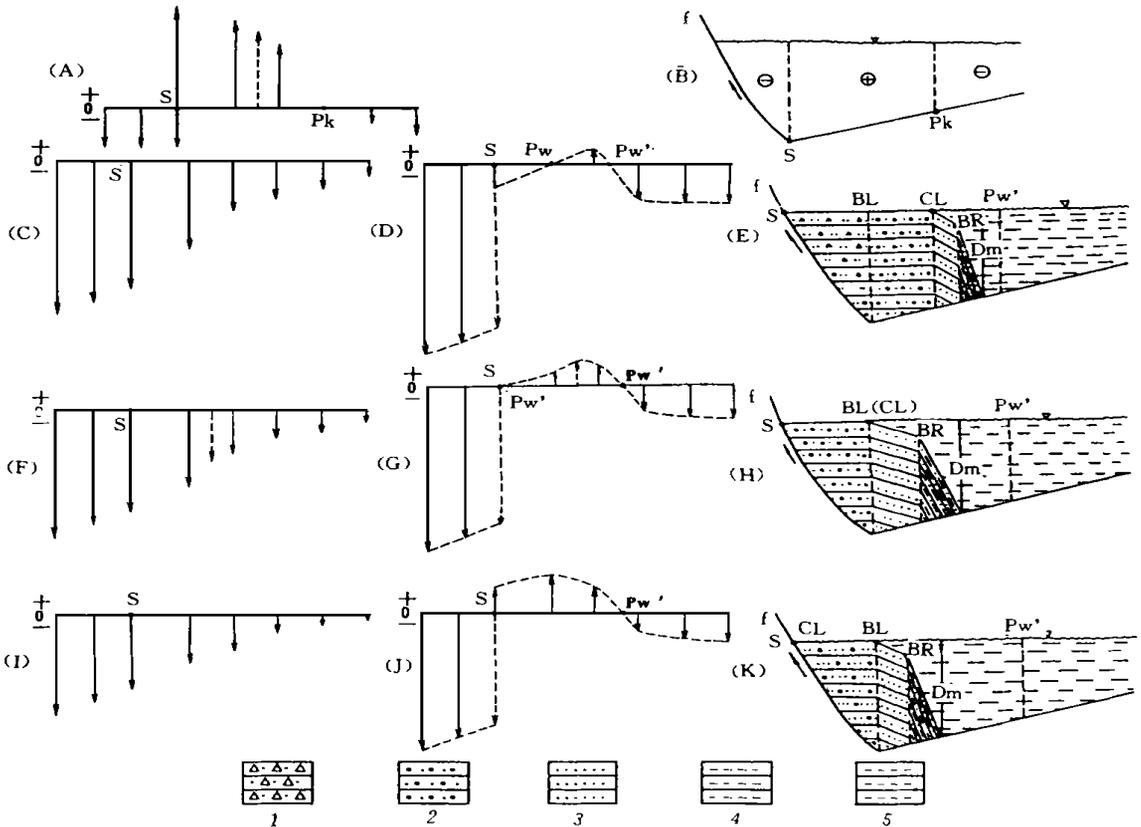


图 6 泌阳断陷双河-赵凹地区(陡坡带至湖心区)可容空间(- + -)型变化在不同物源供给速率条件下沉积响应特征

A B. 可容空间(- + -)型变化; C. 较高速率供给; D. C条件下剩余可容空间变化(B与C相减); E. C条件下沉积响应特征; F. 中等速率供给; G. F条件下剩余可容空间变化(B与F相减); H. F条件下沉积响应特征; I. 较低速率供给; J. I条件下剩余可容空间变化(B与I相减); K. I条件下沉积响应特征; 1. 冲积扇相; 2. 扇三角洲平原亚相; 3. 扇三角洲前缘亚相; 4. 前扇三角洲亚相; 5. 湖相; Pw. 水深变化平衡点; Pw'. 水深变化转换点; CL. 岸线; BR. 沉积楔坡折(滨线); Dm. 最大水深; (其它图注及图例参见图 3)

Fig. 6 Sedimentary response to accommodation change(- + -) under the condition of different rate of source recharge in Shuanghe-Zhaoao area of Biyang fault-depression

重合,沉积体系为扇三角洲—湖相组合(图 6H 图 7H和图 8H)。随着物源供给速率的进一步减小,岸线继续往构造枢纽方向迁移。在较低速率物源供给条件下,岸线可能抵达构造枢纽位置,湖盆几乎无湖岸带发育,最大水深位置靠近湾

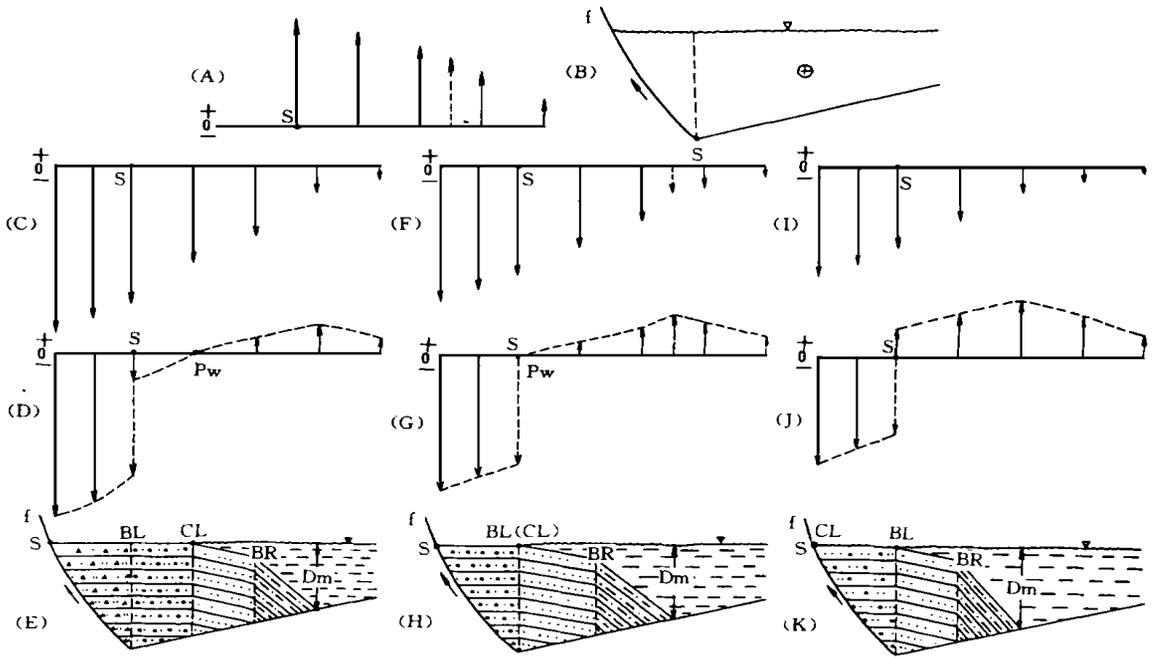


图 7 泌阳断陷双河—赵凹地区(陡坡带至湖心区)可容空间(O++型)变化  
在不同物源供给速率条件下沉积响应特征

A B. 可容空间(O++型)变化; C~ K. (同图 6说明)

Fig. 7 Sedimentary response to accommodation change(O++ ) under the condition of different rate of source recharge in Shuanghe-Zhaoao area of Biyang fault-depression

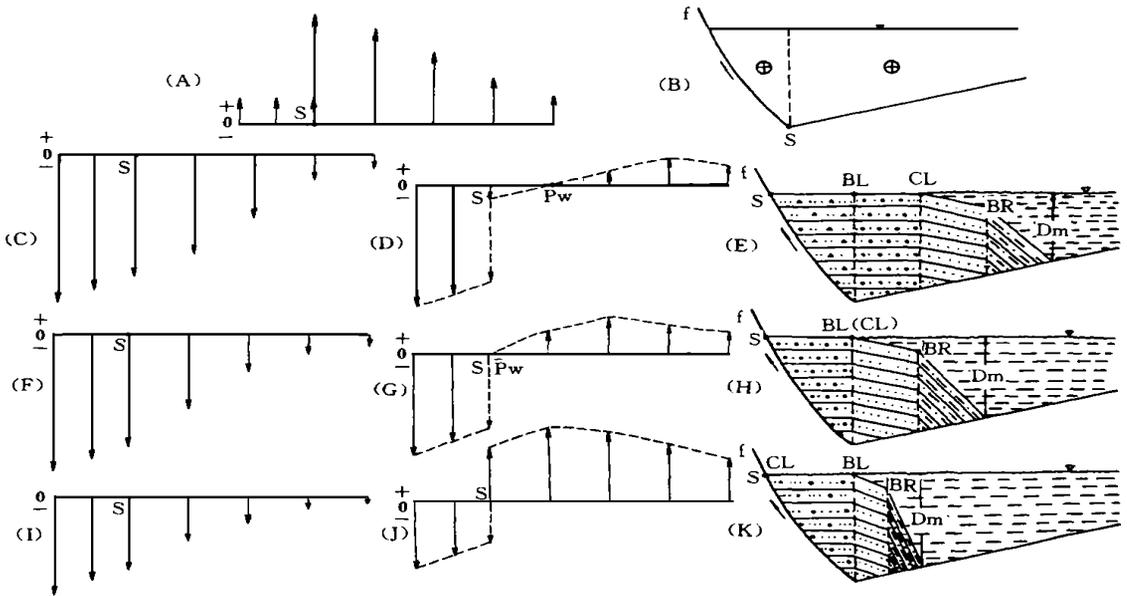


图 8 泌阳断陷双河—赵凹地区(陡坡带至湖心区)可容空间(+++型)变化  
在不同物源供给速率条件下沉积响应特征

A B. 可容空间(+++型)变化; C~ K. (同图 6说明)

Fig. 8 Sedimentary response to accommodation change(+++ ) under the condition of different rate of source recharge in Shuanghe-Zhaoao area of Biyang fault-depression

线,整个湖盆陡坡带湖水充盈,水体饱满,主要形成显著分带的湖相沉积,即从构造枢纽线至湾线地段发育滨浅湖相沉积,从湾线向盆内则发育半深湖—深湖相沉积(图 6K、图 7K 和图 8K)。

陆相断陷湖盆物源供给速率通常较高,泌阳断陷双河—赵凹地区更是如此。因此,在泌阳断陷湖盆中,岸线不可能越过湾线位置而向盆缘迁移太远,甚至完全与构造枢纽重合,故在其陡坡带往往发育一宽窄不等的湖岸带。该湖岸带长期暴露于陆上,极有可能遭受侵蚀作用而形成沉积间断。

### 3 参照井选择的可容空间机理

沉积滨线坡折 (Depositional Shoreline Break) 是指陆棚上的一个具沉积学意义的特殊位置<sup>[4]</sup>。在沉积滨线坡折处,沉积作用变化活跃,能较为敏感地反映海平面的升降情况,是识别层序地层的理想场所,因而受到层序地层学派的重视。但是在陆相断陷湖盆中,尤其断陷湖盆陡坡带(如双河—赵凹地区),由于盆地古地形上不存在从平缓到陡峻的突然坡折,所以沉积滨线坡折难以识别。为了实际操作上的可行性和方便性,本文拟就将特定井的位置作为参照物,该井位与盆缘边界断裂的距离决定着湖平面升降幅度和湖岸线上超远近,因而影响着划分层序单元的级别。故在选择参照井时,应与所划层序单元级别相匹配。

研究结果表明,在盆缘边界断裂某一沉降时刻,确定了一个特定的湾线位置(所谓湾线系指河流—冲积扇与扇三角洲之间的分界线),该湾线位置通常不随湖平面升降及物源供给(沉积速率)的改变而迁移,它是构造沉降的函数。

前文已述,介于构造枢纽与湾线之间的盆地边缘地区,其可容空间变化有三种可能情况(图 3 和 4): a. 减小(湖平面下降期); b. 停滞(湖平面静止期); c. 增加(湖平面上升期)。因该盆地边缘地区靠近物源区,且陆相断陷湖盆陡坡带往往物源供给十分充足,因而这一地区总是表现为水深减小(图 6 7 和 8),且多数情况下极有可能频繁发生陆上暴露、剥蚀作用或过路沉积现象,识别层序界面较为困难。

另外,从断陷湖盆湾线位置至湖盆中央区,在湖平面上升期或静止期,其可容空间总是增加的(图 3 和 4)。在湖平面下降期,介于湾线与可容空间变化平衡点(湖平面下降速率等于构造沉降速率的位置)之间的盆地区,可容空间亦是增加的(图 3)。泌阳断陷双河—赵凹地区正好处于这种特定的盆地区内。越过平衡点至断陷盆地缓坡带,可容空间逐渐减小,随着缓坡带物源的不断供给,水深渐次减小,有可能形成易于识别的陆上暴露剥蚀面,可作为理想的层序界面。因此断陷湖盆缓坡带的层序地层学研究较为简单,与经典层序地层学研究背景基本相近,可借鉴其模式进行层序地层分析与研究。

在断陷湖盆陡坡带,岸线位置变迁频繁(图 6~8),当物源供给充足时(沉积速率大于可容空间增长速率),岸线位置处于湾线向盆一侧;当物源供给适度时(沉积速率等于可容

空间增长速率),岸线位置与湾线重合;当物源供给匮乏时(沉降速率小于可容空间增长速率),岸线位置处于湾线向山一侧。因而湾线附近沉积作用活跃,是识别、分析陆相层序的理想场所,故划分、研究陆相层序的参照井应选在湾线附近(最好是湾线向盆不远的位置)(图 9)。

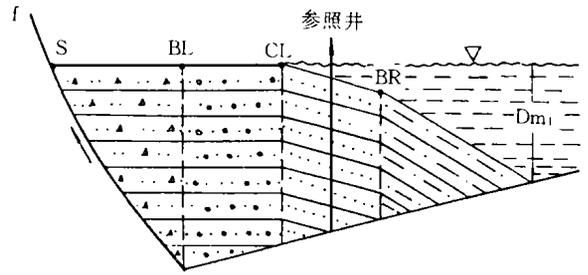


图 9 泌阳断陷双河—赵凹地区陆相层序分析参照井选择(图注及图例参见图 3 图 6)

Fig. 9 Reference well selection for terrigenous sequence analysis in Shuanghe-Zhaoao area of Biyang fault-depression

当相对湖平面下降导致参照井位置暴露于陆上,则形成陆相层序界面(SB)——陆上暴露面。若 SB 之上出现垂向加积—弱进积型冲积扇沉积,表明 SB 形成之后,相对湖平面继续下降,故而出现沉积相向盆地迁移现象。此类界面相当于 Vail 等人的 I 型层序界面(SB1)<sup>[5]</sup>,其所对应的 I 型层序的下部体系域为低水位体系域(LST)。SB1 属沉积相“跳相”界面,通常造成陆上冲积扇直接覆盖于界面下的水下沉积相之上,其间缺少过渡相沉积物。

### 4 陆相层序划分及其实际可容空间变化曲线求取

选择目的层段( $Eh_3$ 上)发育较为齐全的泌 207 井作为参照井,研究结果表明,泌阳断陷下第三系核三上段( $Eh_3$ 上)所划三个层序(S4 S5 S6)发育 I 型层序界面(SB1)一个(S6 顶界面) II 型层序界面(SB2)三个(S6 S5 及 S4 底界面)。

若陆相层序界面(SB)——陆上暴露面之上仅为加积型扇三角洲平原相沉积,其上再转换为扇三角洲前缘相,缺乏冲积扇沉积,表明 SB 形成之后,相对湖平面出现上升趋势,无沉积相向盆地迁移现象发生,此类界面可定义为 II 型界面(SB2),其所对应的 II 型层序的下部体系域为水进体系域(TST),缺失低水位体系域(LST)。SB2 属沉积相转换面,界面上下沉积相变化是渐变的、过渡的。但是 SB2 具显著的陆上暴露特征,记录着相对湖平面一个显著的下降历程。

由此所见,泌阳断陷双河—赵凹地区下第三系核三上段所划三个层序(S4 S5 及 S6)均缺乏低水位体系域,在层序界面(SB)之上,直接覆盖水进体系域。这表明在湖平面变化、构造沉降及物源供给三者协同作用下,参照井位置虽暴露于

陆上,形成了II型层序界面及其上覆的一套扇三角洲平原相沉积物,但暴露时间持续不长,参照井位置随即淹没于水下,沉积相过渡至扇三角洲前缘相,构成水进体系域。

针对这一情况,本文采用 Fischer图解法<sup>[6]</sup>,作出了实际可容空间变化曲线(图 10)。从图中可以明显看出,研究区下第三系核三上段自底至顶基本上可分为三个完整且规模较大的实际可容空间旋回,是三次显著的湖平面上升—下降旋回(即水进—水退旋回)及三次显著的盆缘边界断裂活动—

静止旋回综合效应。结合其它地质资料,可将其定为三个层序单元,其跨时均为 1 Ma 以上,相当于 P. R. Vail 等人所定义的三级旋回层序单元。从图中还可以看出,研究区核三上段可进一步划分为 15 个次级旋回,跨时 20 万年左右,介于米兰柯维奇天文旋回的偏心率周期(40~10 万年)之间,与天文驱动的古气候变迁所引起的湖平面高频振荡有关,可定为相当于 Vail 等人所定义的四级旋回层序单元——小层序组。根据实际资料分析研究,在研究区的目的层段中,可识别

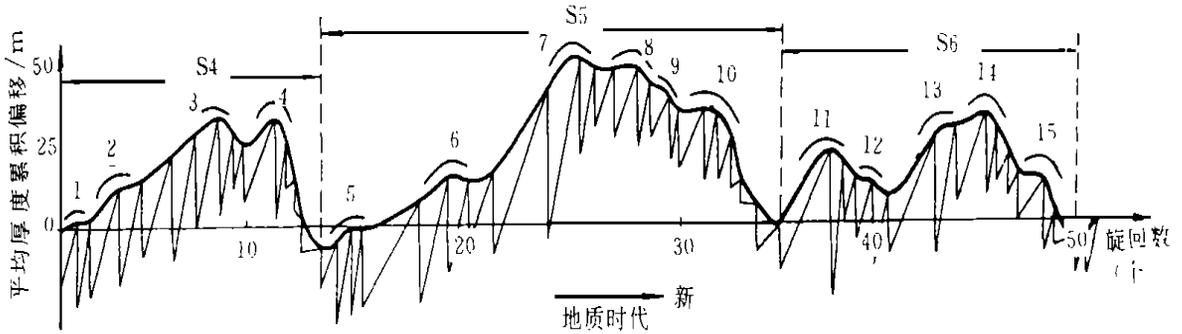


图 10 泌阳断陷双河—赵凹地区下第三系核三上段 Fischer图解曲线

Fig. 10 Fischer diagram curve of the upper of E<sub>3</sub> in Shuanghe-Zhaoao of Biyang fault-depression

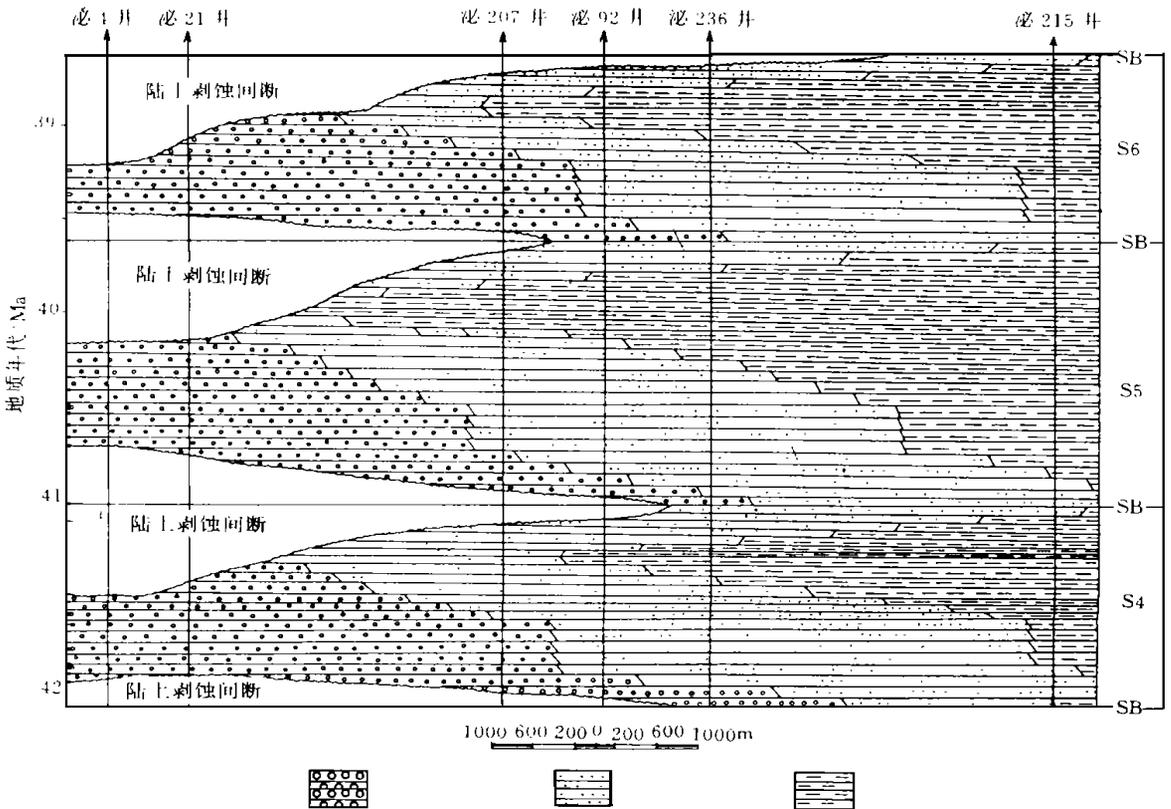


图 11 泌阳断陷双河—赵凹地区下第三系核三上段等时层序地层框架模式

1. 偏砾扇三角洲亚相; 2. 偏砂扇三角洲亚相; 3. 湖相

Fig. 11 Chronostratigraphic framework model of the upper member of E<sub>3</sub> in Shuanghe-Zhaoao area of Biyang fault-depression

出 13 个小层序组,这与 Fischer 图解结果基本上吻合。

泌阳断陷下第三系核三上段沉积时期,正值断陷湖盆发育巅峰期,湖泊水体呈显著的环带性(滨浅湖—半深湖—深湖),其沉积体系配置由南往北为:陡坡型扇三角洲—正常湖沼—三角洲沉积体系。

双河—赵凹地区位于泌阳断陷湖盆南缘陡坡带,根据其核三上段近南北向联井剖面层序地层对比图,可编制目的层段等时层序地层框架模式(图 11)。

从该模式图中可见,断陷湖盆南缘陡坡带每一层序在水进早期及水退期,均普遍遭受陆上剥蚀间断,这是构造沉降、湖平面变化及物源供给三者综合作用,造成该部位广泛出现陆上暴露所致。这些侵蚀间断面对于水进型扇三角洲及水退型扇三角洲砂砾岩储集体的封堵成藏作用极为有利。

该模式图清晰地展现了核三上段所划三个层序(S4、S5 及 S6)的沉积旋回性。随着水进过程的不断发展,岸线依次向盆缘构造枢纽线推进。就岸线推进距离来看,层序 S5 发育时期,湖侵幅度最大,滨线(相当于沉积楔坡折位置)已远远穿越参照井(泌 207 井)位置;层序 S6 发育时期,湖侵幅度次之,滨线刚刚越过参照井位置;层序 S4 发育时期,湖侵幅度最小,滨线迁移尚未抵达参照井位置。这一现象与前文采用

Fischer 图解法所求解的可容空间变化轨迹曲线具有很好的吻合性。在高水位期之后,随着水退过程的不断进行,岸线逐渐向盆内退却,直至参照井位置出现陆上暴露并遭受剥蚀间断,一个层序旋回才宣告结束。

### 参 考 文 献

- 1 徐怀大译. 层序地层学原理. 北京: 石油工业出版社, 1993. 138~184
- 2 胡受权. 断陷湖盆陆相层序地层学研究《博士学位论文》. 成都: 成都理工学院, 1996. 64~92
- 3 解习农, 程守田, 陆永潮. 陆相盆地幕式构造旋回与层序构造. 地球科学, 1996, 2(1): 27~33
- 4 Posamentier H W, Vail P R. Eustatic controls on clastic deposition I: Sequence and System Tract. SEPM Special Publication, 1988, (42): 126~148
- 5 Posamentier H W, Jervey M T, Vail P R. Eustatic controls on clastic deposition I: Conceptual Framework. SEPM Special Publication, 1988, (42): 109~125
- 6 Sadler P M, Osleger D A, Montanez L P. On the labelling, length and objective basis of Fischer plots. Journal of Sedimentary Petrology, 1993, 63(2): 360~368

## Accommodation Mechanics of Terrigenous Sequence Development in Fault-depressed Lacustrine Basin—A Case Study the Upper Member of $Eh_3$ , Shuanghe—Zhaoao, Biyang Fault-depression

Hu Shouquan

(Petroleum Institute of Southwest, Nanchong Sichuan 637001)

### Abstract

In Biyang fault-depressed lacustrine basin, the tectonic descent of basement presented antihinge-typed subsidence. Due to the joint effect of lacustrine level change and basement structural subsidence, accommodation change in the steep slope zone of Biyang fault-depressed lacustrine basin only have three possibilities a. decreasing at southern and northern rim zone but increasing in central zone; b. being invariant at southern rim zone but increasing in central zone and at northern rim zone; c. all increasing at southern and northern rim zone and in central zone. In the light of the three cases, the sedimentation-responses characteristics to the accommodation variation law at different structural positions of the steep slope zone in fault-depressed lacustrine basin have been respectively analysed at different recharge rate of sediment-source. In this paper, accommodation mechanics to select reference well has been discussed; and by using well B207 as reference well, the terrigenous sequences of the upper member of  $Eh_3$  have been divided; and by using Fischer diagram, the realized accommodation change curve of the terrigenous sequences is acquired.

**Key words** tectonic descent lacustrine level change accommodation Fischer diagram terrigenous sequence Palaeogene Biyang fault-depression