

准噶尔盆地西北缘侏罗系层序模拟 与沉积相演化特征

胡宗全¹, 李明娟²

(1. 中国石化石油勘探开发研究院, 北京 100083; 2. 中国地质大学, 北京 100083)

摘要: 控制层序发育的主要因素包括: 湖盆地形、基底沉降、湖平面升降和沉积物供给等。综合分析这些因素在时间和空间上的变化规律, 运用计算机技术对具坡折带的陆相盆地的层序地层进行数值模拟。设定一高程点为沉积基准面, 高出部位将被截平, 低的部位将接受充填; 而沉积物的粗细以沉积物距此基准面的距离来确定, 距离大则沉积物细, 反之则粗。模拟结果表明, 在一个完整的层序周期中, 低位体系域主要分布于坡折带以下, 具填平补齐沉积特征; 湖侵体系域随水深的不断加大, 上超至坡折带之上的凸起区; 因可容空间增速变缓, 高位体系域沉积物以粗粒为主并向盆进积, 而坡折带之上的凸起部位遭受不同程度的剥蚀。准噶尔盆地是一具前陆特征的拗陷盆地, 侏罗纪时受挤压应力控制, 基底差异升降而在盆地边缘形成坡折带。整个侏罗系是一个Ⅱ级层序, 并可进一步划分为4个Ⅲ级层序, 自下而上分别为层序A、B、C和D。整个Ⅱ级层序具有粗-细-粗的岩相变化特征, 构成一个完整的构造沉降幕, 与计算机模拟结果的吻合程度很高, Ⅲ级层序虽也比较吻合, 但对称性和完整性较差。4个Ⅲ级层序在纵向上构成一个先退积后进积的粗-细-粗变化旋回, 在平面上, 偏砂相比例也具有先降低后升高的变化特征。

关键词: 准噶尔盆地; 层序地层; 坡折带; 数学模型; 计算机模拟

第一作者简介: 胡宗全, 男, 32岁, 高级工程师(博士后), 储层与油藏地质

中图分类号: P 631.445 **文献标识码:** A

侏罗纪准噶尔盆地属挤压背景下形成的拗陷湖盆, 沉积了一套河湖沉积体系, 构成一个较完整的粗-细-粗沉积旋回。西北缘地区是准噶尔盆地油气最为富集的地区, 但现今所发现的油气藏以构造油气藏为主。对侏罗系进行层序地层划分与对比, 在等时地层格架内预测沉积体系的平面分布, 对于在斜坡区寻找岩性油气藏, 具有重要的意义。对具有坡折带拗陷湖盆的层序发育过程进行计算机模拟, 可以进一步了解各种因素在控制层序发育及相演化过程中的作用方式, 对丰富拗陷湖盆的层序地层理论具有一定的理论意义, 并可以提高沉积相分布的预测精度。

1 层序控制要素数学模型的建立

20世纪90年代我国研究者成功地将层序地层学引入到陆相盆地研究领域, 取得了丰硕的理论研究成果^[1~6], 并在各个含油气盆地研究中获得了良好的应用效果^[7~12]。

陆相层序地层理论认为层序的主要控制因素

包括构造沉降、湖平面升降、沉积物供给和气候。基准面分析原理是陆相层序发育过程中所遵循的基本原理^[13, 14](图1)。

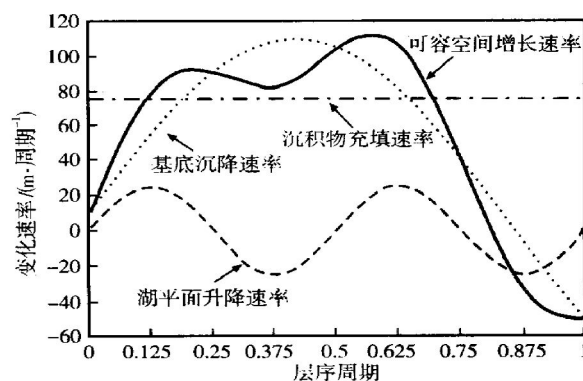


图1 具地形坡折带拗陷湖盆的层序地层要素
随时间变化曲线

Fig. 1 A plot showing sequence stratigraphic elements change with time in the downwarped lake basin with slope-break belt

具坡折的拗陷湖盆原始地形可以简化为线性模型, 在坡折带的坡降大于凸起上和盆地内;

基底的沉降具有幕式旋回特征^[15], 基底的沉

降速率随时间的变化关系可设为一正弦曲线,同时由盆地边缘向盆地内部线性增加,在坡折两侧,基底沉降速率具有突变;

湖平面的升降在横向上是一致的,其与时间之间为正弦函数关系;

可容空间增长速率为基底沉降速率与湖平面变化速率之和;

陆相盆地中沉积物充填速率在各个层序阶段可以近似认为是一定的,由盆缘向盆地内部沉积物充填速率有小幅度的增大。

2 层序发育过程模拟

计算机模拟是将层序地层研究定量化的重要

研究方向,国内已有研究者对断陷湖盆的发育过程进行了模拟^[16],层序地层模拟的核心是模拟沉积物对可容空间的充填过程和相迁移过程。沉积物对可容空间的充填原则是:设定一高程点为沉积基准面,高出沉积基准面的部分将被截平,此时沉积物顶面保持在沉积基准面处;岩相的确定方法是以沉积物距沉积基准面的垂向距离来确定,该值越大,沉积物越接近湖相细粒沉积,反之则越接近陆相及过渡相的粗粒沉积,通过设定截止值来区分粗粒相和细粒相。

图2展示了用计算机对一个完整层序周期的层序发育过程进行模拟的结果。

$t = 0 \sim 1/8T$,可容空间增长速率总体小于沉

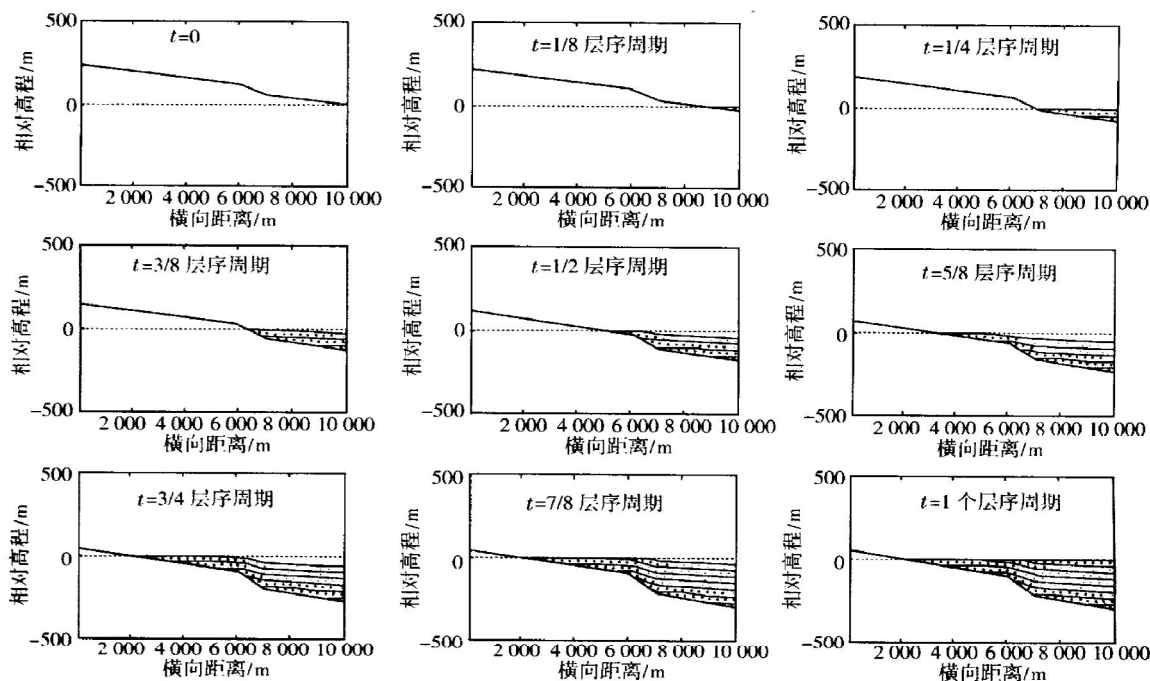


图2 计算机模拟的具有地形坡折带拗陷湖盆的层序地层发育过程

Fig. 2 Computer modeling of the development of sequence stratigraphy in the downwarped lake basin with slope-break belt

积物充填速率,此时湖区距坡折带较远,沉积物以充填盆底低洼地带为主,岩相以粗粒相为主(图2);

$t = 1/4 \sim 3/8T$,除凸起部位的基底沉降速率仍小于沉积物充填速率外,坡折以下地区基底沉降速率略大于沉积物充填速率(图1),此时可容空间增长速率与基底沉降速率之间相差不大,粗粒相仍有相当的比例(图2),此前的沉积为低位体系域,其填充补齐作用使坡折处的地形明显变缓;

$t = 1/2T$,可容空间的增长速率快速增大(图1),由凸起到盆内均大于沉积物充填速率,湖水首

次越过坡折,湖水水深逐渐增大,沉积物粗粒相所占比例开始降低,为初始湖侵期沉积(图2);

$t = 5/8T$,可容空间增长速率已经开始下降(图1),但仍远高于沉积物充填速率,所以湖侵仍在继续,湖水水深持续增大,在坡折以下则完全被湖泊相细粒沉积所占据,为典型的湖侵体系域;

$t = 3/4T$,可容空间增长速率已经低于沉积物充填速率,但由于此前尚有大量的可容空间未被充填,因此湖水还要在一定时期内保持深水,此时湖区达到最大,沉积以最大湖泛期细粒沉积为主;

$t = 7/8 \sim 1T$, 可容空间增长速率急剧降低, 甚至出现负增长(图 1), 沉积物向盆进积充填盆内尚未被前期充填的剩余可容空间, 湖水退却, 沉积物以粗粒相为主, 此期沉积为高位体系域。

3 层序地层划分

整个侏罗系可以看成一个 II 级层序, 其顶底均为区域不整合面。侏罗系内部存在多个局部不整合面, 进一步将侏罗系划分为 4 个 II 级层序, 由下向上称为层序 A、B、C 和 D, 大致对应于岩石地层中的下八道湾组、上八道湾组、三工河组和西山窑组(图 3)。层序 A 发育于底部侵蚀地形之上, 主要发育洪积沉积; 层序 B 基底沉降速率逐渐增大, 湖水进侵, 沉积物上超至坡折以上地区; 层序 C 湖

区达到最大, 湖水最深, 沉积物上超到坡折的高度也达到最大, 层序 B 和层序 C 主要发育湖泊沉积体系; 层序 D, 湖水迅速退却, 粗粒沉积物向盆内进积, 主要发育冲积沉积体系。可以看出整个 II 级层序具有明显粗-细-粗的岩相变化特征, 反映了一个构造沉降幕, 与计算机模拟结果吻合程度很高; II 级层序的地层空间分布特征与模拟结果也有较好的相似性, 但层序的完整性和对称性较差, 主要是由于 II 级层序处在构造幕的某个特定阶段, 尽管独立的构造沉降旋回和湖平面沉降旋回均是对称性旋回, 但二者相叠加, 可容空间变化旋回就是不对称的(图 1)。在构造高速沉降期, 可容空间加速增长半旋回占优势, 层序总体表现为湖侵过程, 相反, 在构造沉降减速期, 可容空间减速

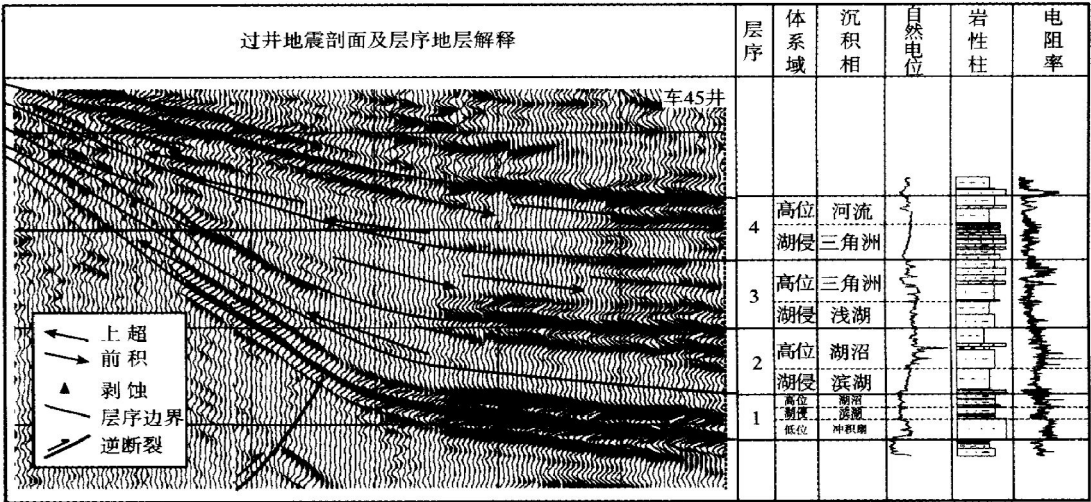


图 3 准噶尔盆地西北缘侏罗系层序地层划分

Fig. 3 Classification of Jurassic sequence stratigraphy in the northwestern margin of Junggar basin

增长半旋回占优势, 层序总体表现为湖退过程。

4 沉积相演化模式及分布特征

4.1 沉积相模式

基于计算机层序发育过程模拟结果和准噶尔盆地西北缘坡折带附近的实际层序特征, 建立了准噶尔盆地西北缘侏罗系层序地层与沉积体系演化模式(图 4)。

层序 A 低位体系域仅发育在斜坡下部低部位, 湖侵体系域可以达到坡折以上, 层序 A 的主体为高位体系域, 沉积物进积入盆, 在坡折带主要发育冲积扇, 向盆内方向演化为扇前平原- 辫状河

沉积体系。层序 A 的沉积对坡折带两侧地形差异具有显著的填充补齐作用。

层序 B 湖侵范围较层序 A 扩大, 坡折带以下普遍可达浅湖环境, 沉积体系上超至坡折以上; 在坡折带主要发育辫状河三角洲, 向盆内则进入正常湖泊沉积, 发育滩坝砂体, 在湖侵期至高位期, 辫状河三角洲向盆内进积, 滩坝向盆内迁移。

层序 C 湖侵彻底, 湖相上超较层序 B 更高, 湖相沉积最为发育。在斜坡高部位发育辫状河三角洲沉积体系, 斜坡低部位水体较深, 在三角洲前缘一带可形成小型浊积扇体。层序 C 高位期, 构造沉降速率趋缓, 在斜坡高部位以上形成剥蚀。

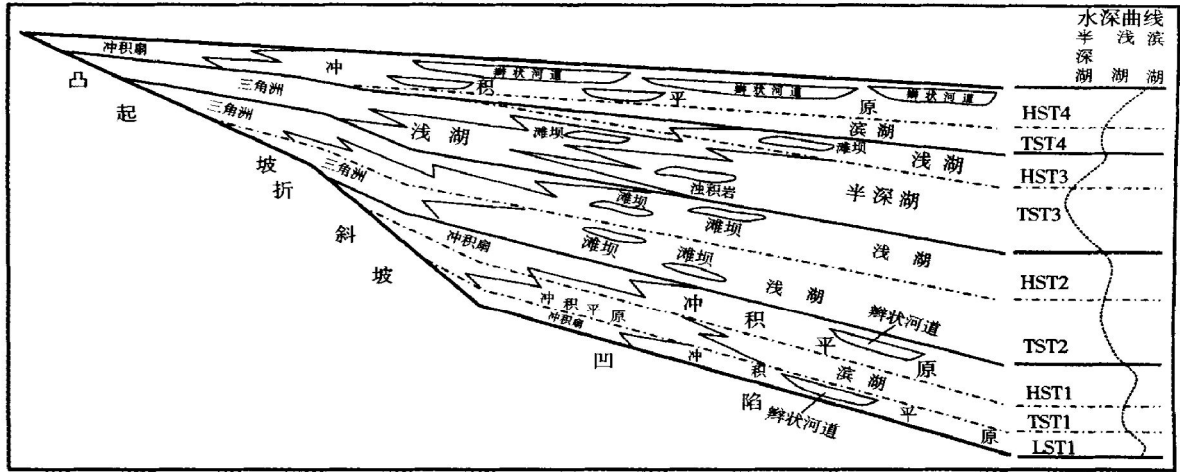


图 4 准噶尔盆地西北缘侏罗系层序地层与沉积体系演化模式

Fig. 4 Evolution pattern of Jurassic sequence stratigraphy and sedimentary system in the northwestern margin of Junggar basin

层序 D, 由于构造沉降速率已经很小, 导致湖侵不彻底, 湖侵体系域不发育, 湖区范围和湖泊环境持续时间都很局限, 高位期, 主要发育河流相沉积. 在坡折以上可能发育冲积扇. 后期遭受显著的剥蚀作用。

4 个层序共同组成一个先退积后进积的粗-细-粗变化旋回, 坡折带是粗粒相的卸载区, 由于存

在填充补齐作用, 坡折带的坡降在后期的层序中有降低的趋势。

4.2 沉积相平面分布

在层序发育和沉积相演化模式指导下, 以地震相为主, 结合地震层位对比和速度谱分析所得的地层等厚度图、砂岩百分含量分布图、古流向分析图, 预测各层序的沉积相分布(图 5)。

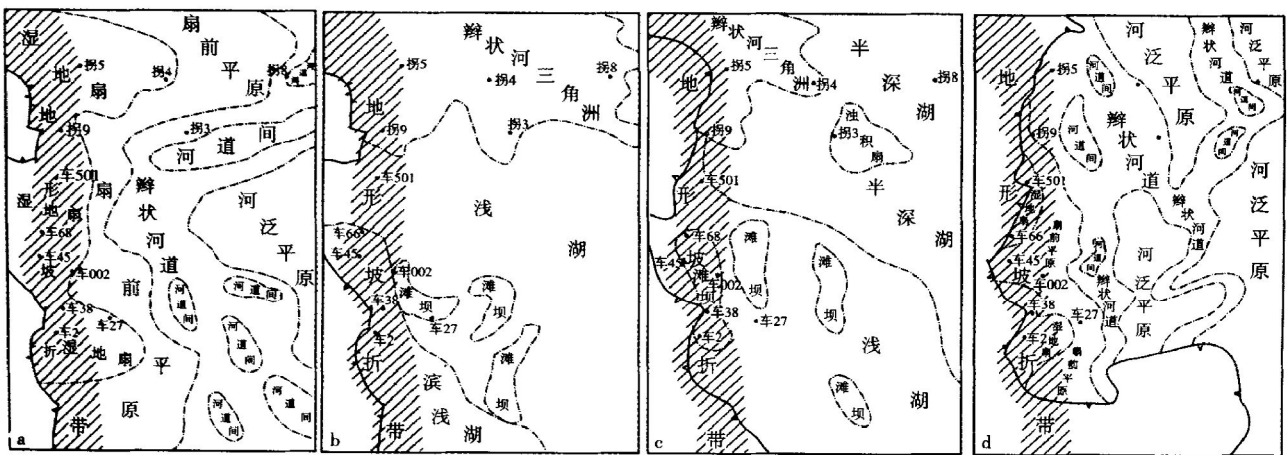


图 5 准噶尔盆地西北缘车排子地区侏罗系各层序沉积相图

Fig. 5 Sedimentary facies of Jurassic sequences in Chepaizi area in the northwestern margin of Junggar basin

层序 A 的偏砂相主要为冲积扇和辫状河道, 占研究区总面积的 45% 左右。冲积扇沿坡折带分布, 为至少 3 个扇体组成的扇群。在冲积扇向盆内方向主要为冲积平原沉积, 发育一条由北向南流向的、规模较大的辫状河(图 5a)。

层序 B 湖水位持续加深, 偏砂相主要为辫状河三角洲和滩坝, 偏砂相占相区总面积的 30% 左右。研究区北部发育一规模较大的辫状河三角

洲; 其他地区基本以正常湖相沉积为主, 只是在研究区西南隆起部位水体较浅, 发育由湖浪和沿岸流作用形成的滩坝(图 5b)。

层序 C 偏砂相主要为辫状河三角洲和滩坝, 以及小型深水浊积扇, 偏砂相占相区总面积 20% 左右。由于湖水不断进侵, 辫状河三角洲退缩到研究区西北角, 三角洲前缘向盆内方向水体较深, 坡降较大, 发育滑塌重力流成因的浊积扇体, 西南

部主要发育浅湖和滩坝砂(图 5c)。侏罗系顶部剥蚀面在斜坡高部位已剥蚀到层序 C。

层序 D 主要发育辫状河和冲积平原相,只在坡折带附近发育几个小型冲积扇,偏砂相占相区总面积的 40% 左右(图 5d)。层序 D 的剥蚀范围比层序 C 进一步扩大。

沉积相的平面分布也表明,4 个层序的偏砂相比例是先降低后升高,在早期的层序 A 和晚期的层序 D,坡折带主要是冲积扇的卸载区,而在中期的层序 B 和层序 C,则主要是三角洲的卸载区。中下部的层序 A 和层序 B 的沉积体系受坡折带的控制作用更为明显,由于剥蚀作用对中上部的层序 C 和层序 D 的影响更大,若恢复原始沉积,其沉积范围应该比层序 A 更广泛,层序 C 和层序 D 边缘相不发育就是一个重要的证据。

5 结论

(1) 以可容空间增长速率与沉积物充填速率对比关系作为关键数学模型的层序发育过程计算机模拟,与具有坡折带拗陷湖盆的实际层序特征吻合良好。

(2) II 级层序经历的构造沉降旋回完整性好,层序具完整粗-细-粗岩相变化特征;II 级层序由于处在 II 级构造旋回的不同阶段,湖平面升降的叠加效应造成可容空间变化的对称性差,导致层序发育的对称性较差。

(3) 准噶尔盆地西北缘侏罗系被划分为 4 个 II 级层序,早期层序 A 湖侵范围局限,主要发育洪积沉积体系;中期层序 B 和层序 C 湖侵范围逐步扩大,主要发育湖泊沉积体系;层序 D 湖侵不彻底,主要发育冲积沉积体系,保存条件也较差。

(4) 沉积相平面分布表明,侏罗系 4 个 II 级层

序由下向上表现为水体加深再变浅、偏砂相减少再增多、沉积物粒度变细再变粗的演化过程。

参 考 文 献

- 1 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
- 2 顾家裕. 陆相盆地层序地层学格架概念及模式[J]. 石油勘探与开发, 1995, 22(4): 6~ 10
- 3 朱筱敏. 层序地层学原理及应用[M]. 北京: 石油工业出版社, 1998
- 4 薛良清. 层序地层学在湖相盆地中的应用探讨[J]. 石油勘探与开发, 1990, 17(6): 29~ 34
- 5 薛良清. 湖相盆地中的层序、体系域与隐蔽油气藏[J]. 石油与天然气地质, 2002, 23(2): 115~ 119
- 6 邓宏文, 王洪亮, 翟爱军, 等. 中国陆源碎屑盆地层序地层与储层展布[J]. 石油与天然气地质, 1999, 20(2): 108~ 114
- 7 朱筱敏, 王贵文, 孙洪斌, 等. 辽河滩海地区下第三系层序地层学研究[M]. 北京: 石油工业出版社, 1999
- 8 高新生, 赵霞飞, 李天明, 等. 准噶尔盆地西部侏罗系层序地层特征[J]. 石油与天然气地质, 2001, 22(2): 165~ 168
- 9 纪友亮, 张继果. 沾化凹陷孤岛东部斜坡下第三系层序地层学[J]. 石油大学学报(自然科学版), 1998, 22(6): 34~ 38
- 10 胡受权. 层序地层学在泌阳断陷湖盆中的应用: 以双河-赵凹地区下第三系核三上段为例[J]. 石油地球物理勘探, 1998, 33(4): 541~ 552
- 11 武法东, 陈建渝. 东营凹陷第三纪层序地层格架及沉积体系类型[J]. 现代地质, 1998, 12(4): 559~ 566
- 12 樊太亮, 李卫东. 层序地层应用于陆相油藏预测的成功实例[J]. 石油学报, 1999, 20(2): 12~ 18
- 13 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
- 14 曹颖辉, 池英柳, 薛良清. 沉积基准面在层序划分对比及地层岩性油气藏预测中的应用[J]. 石油实验地质, 2002, 24(1): 36~ 40
- 15 解习农, 程守田, 陆永潮. 陆相盆地幕式构造旋回与层序构成[J]. 地球科学——中国地质大学学报, 1996, 21(1): 27~ 33
- 16 林畅松, 李思田, 任建业. 断陷湖盆层序地层研究和计算机模拟[J]. 地学前缘, 1995, 2(3~ 4): 124~ 131

SEQUENCE MODELING AND SEDIMENTARY FACIES EVOLUTION OF JURASSIC IN NORTHWESTERN EDGE OF JUNGGAR BASIN

Hu Zongquan¹ Li Mingjuan²

(1. Exploration & Production Research Institute, SINOPEC, Beijing;

2. China University of Geosciences, Beijing)

Abstract: Factors controlling sequence development include topography of lake basin, basement subsidence, lake level fluctuation and supply of sediments. Analyzing synthetically the changing characteristics of these factors with

(Please Turn to Page 361)

- 地质, 2002, 23(3): 300~ 302
- 8 李晓清, 汪泽成, 张兴为. 四川盆地古隆起特征及对天然气的控制[J]. 石油与天然气地质, 2001, 22(4): 347~ 351
- 9 袁政文, 许化政, 王百顺, 等. 阿尔伯达深盆地研究[M]. 北京: 石油工业出版社, 1996
- 10 Magara K. 压力封闭——烃圈闭的重要因素[J]. 陈炜, 译. 油气地质译丛, 1993, (4): 1~ 11
- 11 彭秀美. 用岩石力学试验方法研究区域盖层的埋深和厚度标准[A]. 见: 石宝珩, 关德范. 扬子海相地质与油气[C]. 北京: 石油工业出版社, 1993. 262~ 269
- 12 赵宗举, 冯加良, 陈学时, 等. 湖南慈利灯影组古油藏的发现及意义[J]. 石油与天然气地质, 2001, 22(2): 114~ 118

A RECOGNITION OF HYDROCARBON POTENTIAL IN WESTERN HUNAN AND HUBEI AREA

Xu Yangang^{1,2} He Ziai¹ Wang Jinyi¹

(1. *Jingzhou Branch of New Area Exploration, Exploration & Production Research Institute, SINOPEC, Jingzhou, Hubei; 2. Chendu University of Technology, Chengdu, Sichuan*)

Abstract: The western Hunan and Hubei area have been considered to have nice prospects due to its lower Paleozoic is similar to that in Weiyuan gasfield, and has also experienced similar geologic process of early subsidence and intensive late uplifting in later stage. However, the overpressure system is no longer present in western Hunan and Hubei area, because the uplifting amplitude has been too large and the lack of favorable paleostructure controlling early hydrocarbon accumulation. Therefore, the hydrocarbon exploration in this region should be cautious, but a further exploration is required in Zigui synclinore.

Key words: Weiyuan gasfield; analogy; uplift; pressure system; paleostructure; western Hunan and Hubei area

(Continued from Page 355)

time and space, the sequence stratigraphy in the terrestrial lake basin with slope-break belt has been simulated numerically. Setting an altimetric point to be the sedimentary base level, those located higher than the base level would be apt to be eroded away, while those lower than the base level would be apt to be filled with sediments. Grain sizes of sediments would depend on the distance from the sedimentary base level, the larger the distance, and the finer grain size would be. Simulation results indicate that within a complete sequence cycle, lowstand system tract would mainly distribute below the slope-break belt with filling up characteristics. Accompanying the rising of lake level, transgressive system tract would onlap the salient located above the slope-break belt. Because the increase of accommodation space became slower, high stand system tract would prograde into the basin and deposit mainly coarse sediments, but erosion occurred on the salient above the slope-break belt. Junggar basin is a downwarped basin with foreland characteristics, which has been controlled by extrusion stress in Jurassic, and the differential elevation and subsidence of the basement would result in the formation of slope-break belt at the margin of the basin. The whole Jurassic is a second-order sequence which can be subdivided into four third-order sequences, namely A, B, C and D sequences, respectively. The second-order sequence is lithologically characterized by coarse-fine-coarse, and constitute an integral episode of tectonic subsidence, which coincides very well with the computer modeling results. The coincidences of the third-order sequences are also relatively well, but the symmetry and integrity are not as good as those of the second-order sequence. The four third-order sequences consist, vertically, of coarse-fine-coarse cycles, or retrograding first and then prograding, and are, horizontally, characterized by decreasing proportion of sand-prone facies first and then increasing.

Key words: Junggar basin; sequence stratigraphy; slope-break belt; mathematic model; computer simulation