

柴达木侏罗系的构造层序及前陆盆地演化

夏文臣 张 宁 袁晓萍 孟 科

(中国地质大学地学院, 湖北武汉 430074)

张兵山 彭晓群

(青海石油局研究院, 敦煌 736200)

在柴达木盆地的侏罗系中, 鉴别出了两种指示前陆盆地动力过程的构造层序: 一种是响应于造山带逆冲加载过程的弹-塑性转换沉降型构造层序; 另一种是响应于基底塑性回沉过程的塑性回沉型构造层序。柴达木盆地的侏罗系共出现了 8 个构造层序: 下侏罗统普林斯巴阶至中侏罗统巴柔阶 4 个弹-塑性转换沉降型构造层序; 中侏罗统巴通阶至卡洛阶下部 2 个塑性回沉型构造层序; 中侏罗统卡洛阶上部 and 上侏罗统 2 个弹-塑性转换沉降型构造层序。这种充填序列表明侏罗纪的柴达木盆地经历了多旋回弹-塑性转换沉降、总体塑性回沉和再次弹-塑性转换沉降 3 个演化阶段。此演化过程与同期造山带的隆升和向前陆带的逆冲加载过程密切相关。

关键词 柴达木盆地 侏罗系 构造层序 前陆盆地

第一作者简介 夏文臣 男 57 岁 教授(博士生导师) 沉积学

柴达木盆地的成因类型和演化过程是一个颇有争议的问题^[1~3]。格尔木-额济纳旗地学大断面的研究提供了大量深部资料^[4~6], 从而为柴达木盆地形成演化动力过程的解释提供了较充分的依据。积多年石油地质勘探的成果, 从研究盆地充填序列和构造层序地层格架入手, 通过盆-山关系和盆地深部地质过程分析, 发现如今保存下来的柴达木盆地是由多个原型盆地叠覆构成的复合型盆地。晚古生代它作为洋盆中的陆块接受了陆表海或大陆边缘型沉积序列; 侏罗纪柴达木作为南祁连山造山带和巴颜喀拉印支造山带之间的陆块接受了前陆盆地型沉积序列; 前陆盆地封闭之后, 中生代末期出现了短暂的稳定克拉通阶段; 新生代初地幔上隆导致陆块伸展, 形成早第三纪的陆内伸展裂陷盆地; 晚第三纪开始受印度板块与欧亚板块碰撞的影响, 伸展裂陷盆地转化为受中地壳韧性剪切过程控制的挤压型盆地。本文重点讨论侏罗纪准前陆盆地的构造层序地层序列和演化过程。

1 构造层序

根据基本层序叠覆的方式和所代表的构造过程不同, 在柴达木盆地的侏罗系中鉴别出两种类型的构造层序: 一种是代表前陆盆地演化过程的弹-塑性转换沉降型构造层序, 另一种是前陆盆地晚期出现的塑性沉降型构造层序。

1.1 弹-塑性转换沉降型

弹-塑性转换沉降型构造层序多次重复出现在前陆(或准前陆)盆地的早、中阶段, 沉积厚度大, 最小百余米, 最大千余米, 常见数百米, 构造层序时限约为 6~7 Ma, 平均沉降速率每百万年几十至百余米。构造层序自下而上由弹性挠曲沉降层序、下部塑性回沉层序、上部塑性回

沉层序和宁静层序构成(图 1)。

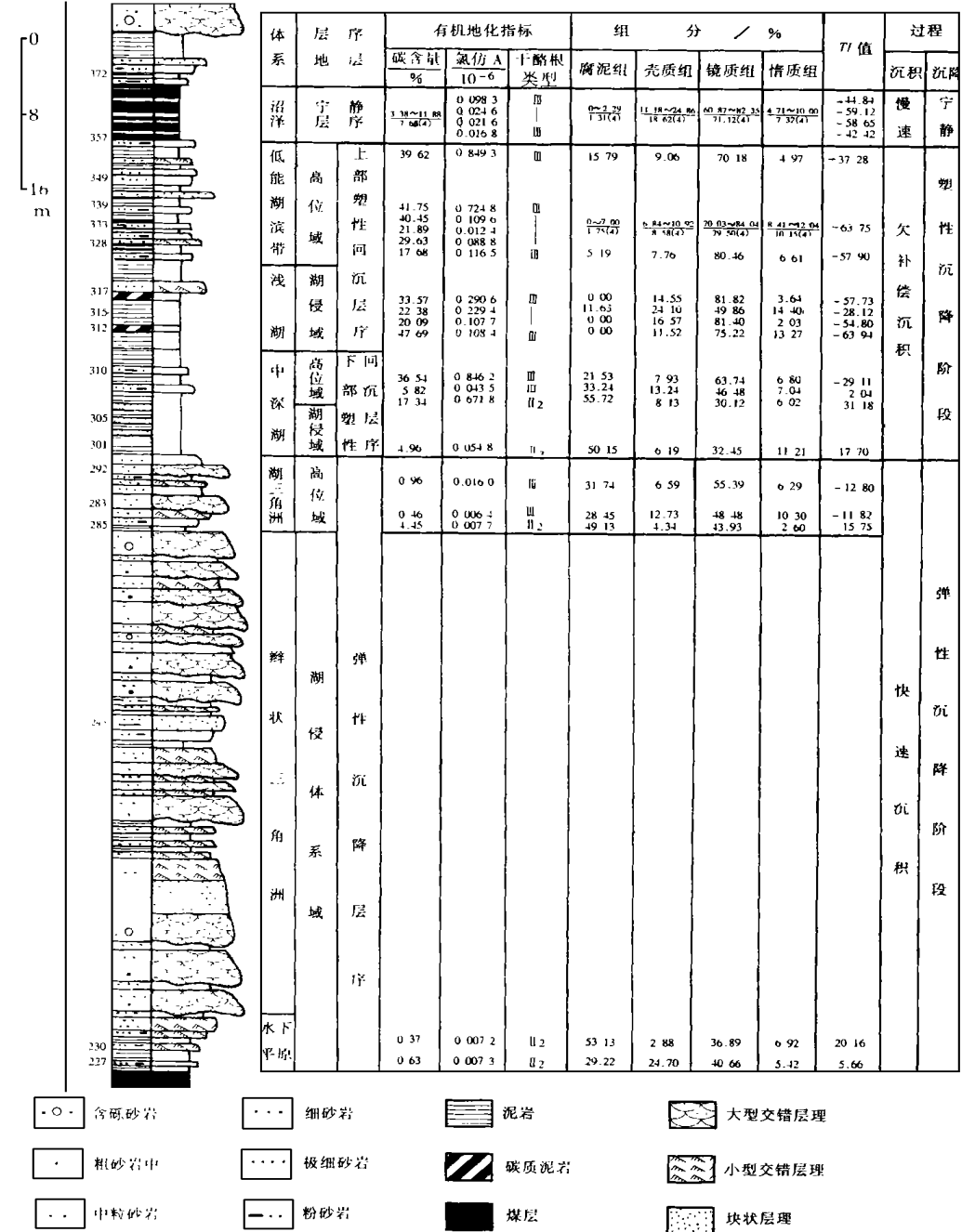


图 1 弹-塑性转换沉降型构造层序的内部构成

(大煤沟剖面第 2 构造层序)

弹性挠曲沉降层序厚度最大, 占整个构造层序的二分之一以上, 由粗粒沉积体系或粗粒体系的边缘相构成相关的准层序组和体系域, 其中的湖泛或局部宁静环境形成的泥质岩或碳质泥岩虽然也含较高的有机碳, 但腐泥组分含量普遍低, Tl 值中等, 干酪根类型为 II-II₂型。该

序(图 3), 31 个受湖水位变化旋回控制的基本层序。

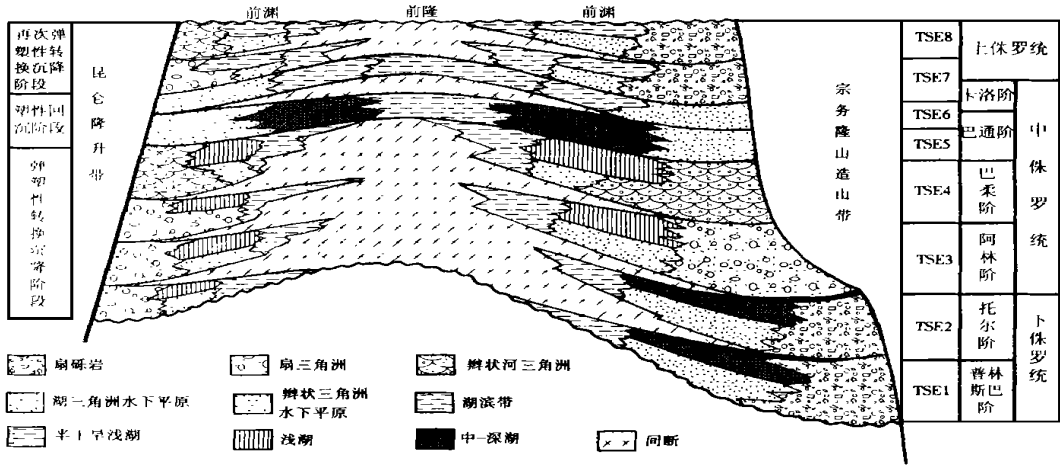


图 3 侏罗纪柴达木盆地的地层序列

2.1 第 1 构造层序

岩石地层单位包括小煤沟组和火烧山组, 基本相当于普林斯巴阶 (Pliensbachian)。该构造层序底部与元古宙基底或上古生界不整合接触, 顶部以暴露不整合面与第 2 构造层序分界。层序厚度最大的剖面大部分被沉积期后的逆冲断裂破坏, 仅在宗务隆山的前缘 (如大头羊煤矿) 有较完整的保存, 以盆缘冲积扇砾岩和扇前湿地沉积为主, 底界面未露出地表, 可见层序厚度 472.6 m。大煤沟剖面较好地表现了该构造层序的内部构成, 层序出露厚度 108.40 m, 明显可分为 4 个基本层序。弹性挠曲沉降层序厚度最大, 以扇三角洲及滨浅湖沉积为主。下部和上部塑性回沉层序厚度变小, 以中-深湖泊型扇三角洲沉积为主, 湖泛层中出现了腐泥组分含量高、正的 TI 值和 II 类干酪根为主的中-深湖泥岩。宁静层序为厚达 10 余米复杂结构的煤层, 代表构造稳定和缓慢沉积的过程。

2.2 第 2 构造层序

岩石地层单位包括甜水沟组, 大致相当于下侏罗统托尔阶 (Toarcian), 底界为暴露不整合面, 顶界为侵蚀不整合面。构造层序厚度最大的剖面见于大头羊煤矿, 而内部层序清楚完整者仍见于大煤沟剖面 (图 1)。弹性挠曲沉降层序由辫状河三角洲构成; 下部塑性回沉层为中深湖泥岩, 代表大面积塑性回沉和湖水位上升的过程, 上部塑性回沉层序以滨浅湖沉积为主, 代表塑性回沉后期的补偿充填过程; 构造层序顶部宁静层序为多夹矸复合煤层, 代表缓慢充填的过程。

2.3 第 3 构造层序

岩石地层单位包括饮马沟组中、下部, 大致相当于中侏罗统阿林阶 (Aalenian), 底部以侵蚀不整合面为界。地表露头剖面 and 钻井所揭示的地下剖面沉积厚度都较大 (图 4), 红山-大煤沟一线, 厚度 400~ 650 m。弹性挠曲沉降层序厚度最大 (300~ 460 m), 由辫状河三角洲或三角洲间湾沉积组成, 充分显示了大幅度沉降和快速充填的特点, 代表了造山带隆升与前渊快速沉降同步加大的过程。下部和上部回沉层序厚度较小, 以湖泊和湖三角洲体系为主, 代表大面积塑性回沉和湖水位上升的过程。该构造层序的宁静层序不够明显, 以被剥蚀后残留下来的薄

煤层或褐红色粘土层为鉴别标志。

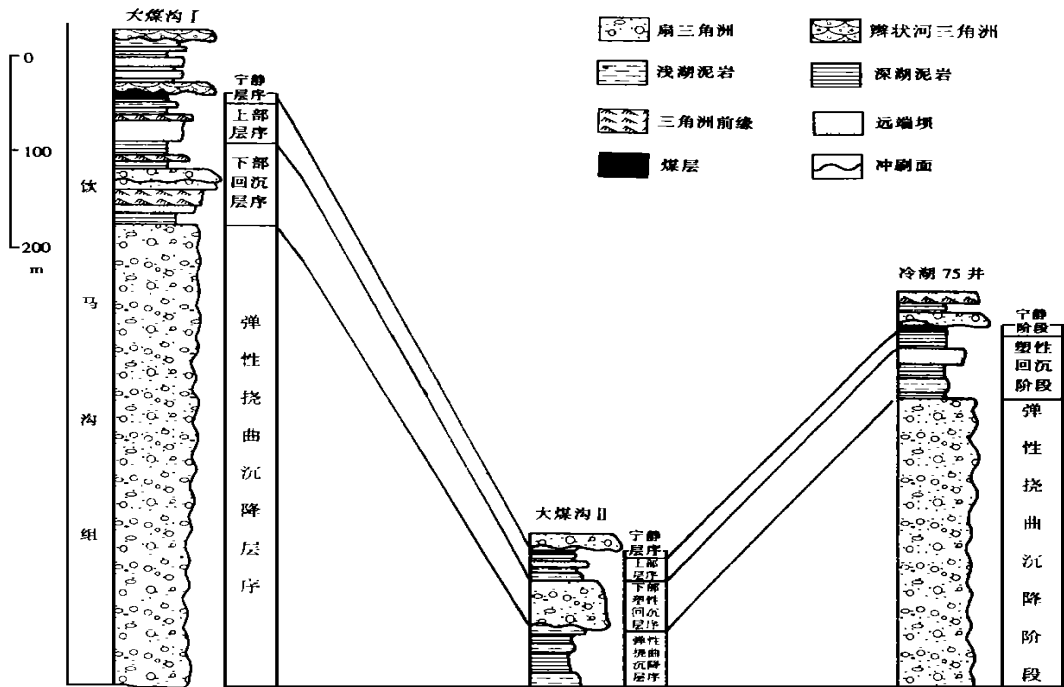


图 4 第 3 构造层序的对比图

2.4 第 4 构造层序

岩石地层单位包括饮马沟组上部和大煤沟组,大致相当于中侏罗统巴柔阶(Bajocian),层序厚度 281~ 412 m(图 5)。弹性挠曲沉降层序以扇三角洲沉积为主,厚度为 200~ 300 m,充

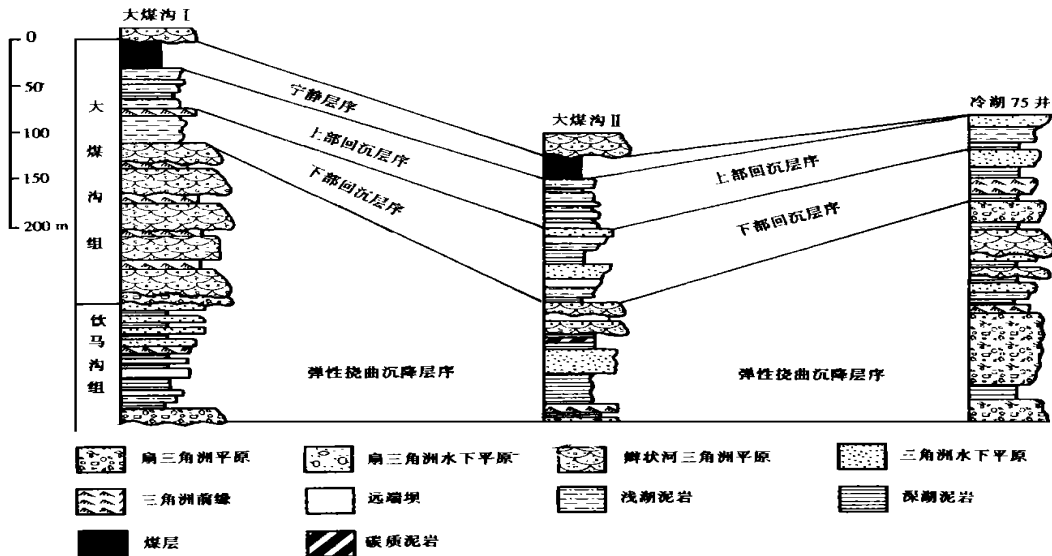


图 5 第 4 构造层序的对比图

分表现出大幅度沉降和快速充填的过程。下部回沉层序厚度明显变小,由中深湖泊三角洲体系组成;上部回沉层序中出现湖泊泥岩和碳质泥岩,沉积厚度更小。宁静层序为多夹矸的巨厚煤层,代表构造稳定和慢速充填的过程。

2.5 第5构造层序

岩石地层单位包括石门沟组下部,大致相当于巴通阶(Bathonian)中、下部,厚度中等,估计分布范围较广。内部各基本层序的构成和叠覆方式明显不同于前4个构造层序,由4个厚度相近和内部构成相似的基本层序叠覆组成(图2),自下而上依次为上超层序、下部湖侵层序、上部湖侵层序和高位层序。此种叠覆方式充分表现出盆地基底均匀沉降和湖水位变化控制层序结构的特点。在每个基本层序的湖侵体系域和最大湖侵层,都出现了较厚的中-深湖泊泥岩。而每个基本层序的高位体系域都以湖三角洲或碎屑湖滨带体系为主。这类构造层序的出现说明造山带对前陆盆地的逆冲加载过程已基本结束,盆地基底在先成沉积物及盆地水体的重力作用下,总体进入塑性回沉大阶段。

2.6 第6构造层序

包括石门沟组上部,大致相当于巴通阶(Bathonian)上部和卡洛阶(Calloviaian)下部,顶和底均以侵蚀不整合面为界。盆缘区的剖面只能划分出3个基本层序,缺失上超层序,不整合界面之上直接出现下部湖侵层序,向上依次变化为上部湖侵层序和高位层序。各基本层序的厚度和内部构成与第5构造层序中相应基本层序相近,所不同的是各基本层序内部均由干旱-半干旱湖泊和三角洲沉积组成,湖泊泥质岩呈褐红色。这种变化一则表明古气候条件的变更,二则说明总体塑性回沉阶段后期,盆地开始克拉通化。

2.7 第7构造层序

岩石地层单位包括采石岭组,可能相当于中侏罗统卡洛阶(Calloviaian)中、上部及上侏罗统牛津阶(Oxfordian),厚度200~800 m,再次出现响应造山带逆冲加载过程的弹-塑性转换沉降型构造层序。弹性挠曲沉降层序由干旱型冲积扇、扇三角洲和辫状河三角洲组成;下部和上部回沉层序以干旱-半干旱湖泊及三角洲沉积为主;宁静层序为红色粘土层。

2.8 第8构造层序

岩石地层单位为红水沟组,大致相当于上侏罗统基末里阶(Kimmeridgian)和提塘阶(Tithonian),内部构成相似于第7构造层序,为由弹性挠曲沉降层序、下部回沉层序、上部回沉层序和宁静层序构成的弹-塑性转换沉降型构造层序。

3 盆地类型及演化过程分析

柴达木盆地因后期的构造叠加已失去其原型盆地的构造样式,能够表现盆地成因的标志除侏罗系的充填序列之外,还有宗务隆山造山带南缘的古前陆逆冲断裂带。前陆逆冲断裂带宽几公里至十几公里,由侏罗系、上古生界、下古生界和前寒武系的“断片”组成。在所观察的每条构造剖面上都没发现白垩系及后白垩系,但在前陆逆冲断裂带内部却叠有新生代断陷盆地(图6),这表明造山带向前陆盆地的逆冲推覆过程结束于侏罗纪末,没有延续到白垩纪和第三纪。地表及石油钻探所揭露的深部资料表明,柴达木盆地无上三叠统和下侏罗统赫塘阶和辛涅缪阶^[7],组成前陆逆冲断裂带的下、中侏罗统以边缘相扇砾岩为主,而逆冲断裂带以北的宗务隆山造山带内未出现侏罗系,说明前陆盆地开始于早侏罗世中期(195 Ma)。

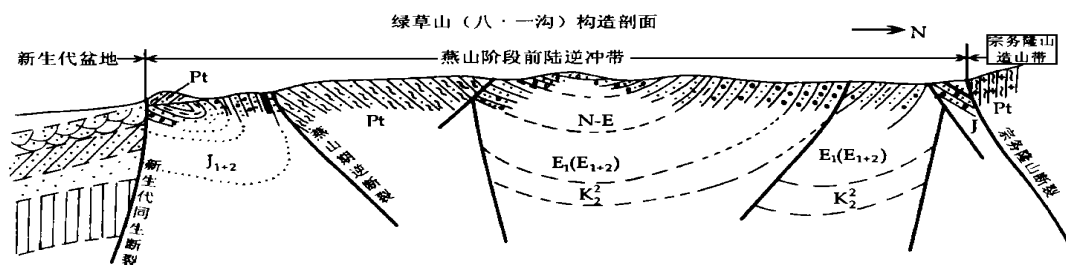


图6 柴达木盆地北缘横穿古前陆逆冲断裂带的构造剖面图

宗务隆山造山带和前陆逆冲带中,均出露有形成于俯冲带的“1”型花岗岩和花岗闪长岩(据岩石化学和微量元素分析结果判定),其稀土元素分布模式表现岩体为地壳重熔型。挑选锆石采用铀-铅同位素测定绝对年龄为:短轴自形晶体的 $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ 表面年龄平均值为 $242.6 \pm 3.2 \text{ Ma}$,长轴晶体的 $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ 表面年龄值为 $270 \pm 7.8 \text{ Ma}$ (由天津地矿所测定)。由此看来,相邻造山带的前身——宗务隆裂谷洋的俯冲时间为晚二叠世至早三叠世,而闭合和褶皱隆升的时间可能较晚。区域地层序列表明造山带隆褶过程开始于晚三叠世末期的印支运动,与盆地发育过程基本一致。

综上所述,盆地内部侏罗系的充填序列和盆缘区保留下来的前陆逆冲断裂带的结构都证明,侏罗纪柴达木盆地发育在同造山阶段,具前陆盆地的特点,受造山带多周期逆冲加载过程的影响,盆地基底多旋回弹-塑性转换沉降形成多构造层序叠覆的地层格架。下侏罗统普林斯巴阶至中侏罗统巴柔阶(195~170 Ma),连续出现了4个弹-塑性转换沉降型构造层序,每个构造层序代表了造山带隆升和向前陆方向逆冲加载的一个过程,4次逆冲加载过程连续出现代表盆地多旋回弹-塑性沉降阶段。中侏罗统巴通阶和卡洛阶下部(170~158 Ma),出现了两个总体塑性回沉型构造层序,代表造山带隆升和逆冲加载过程停止之后盆地基底的总体回沉阶段。中侏罗统卡洛阶中、上部 and 上侏罗统(158~145 Ma),又出现两个弹-塑性转换沉降型构造层序,相应基本层序均由干旱-半干旱冲积体系或湖泊体系构成,显示快速堆积的特点,代表造山带隆升和向前陆的逆冲加载过程再次加强,盆地进入挤压封闭状态。

从柴达木盆地侏罗系的充填序列和构造层序地层格架来看,具前陆盆地的特点,而计算侏罗系各构造层序的平均沉积速率,每百万年只有几十至上百米,与典型前陆盆地对比^[8,9],基底沉降和沉积物充填速率都偏小,但比内陆克拉通型拗陷盆地沉降和沉积速率又大得多,因此我们认为侏罗纪的柴达木盆地应属同造山期的准前陆盆地。

4 油气远景及生、储、盖组合

既然有足够的证据说明柴达木盆地的侏罗系形成于前陆盆地之中,那么就可以比较有把握地讲柴达木盆地深部有较大的油气远景。被埋藏在深部的每个弹-塑性转换沉降型构造层序的下部和上部回沉层序中,通常保存着中-深湖成因的腐泥型或腐泥-腐殖型生烃岩系,其沉积厚度约占每个构造层序的三分之一,向盆地中央泥岩比例增高。覆盖塑性回沉层序的通常是巨厚的煤层或慢速沉积的泥质岩,分布范围广,除煤层自身可以生烃之外,它们还组成了良好的区域盖层。两个塑性回沉层序中的生烃岩系与边缘的三角洲或湖滨砂体构成自生自储组合,与下伏弹性挠曲沉降层序的巨厚粗粒沉积体系构成上生下储组合。在总体塑性回沉型构

造层序之中,每个层序的湖侵体系域和最大湖侵层都是良好的生烃岩系,它们与侧向的三角洲或湖滨砂体和上覆的高位体系域分别构成自生自储组合和下生上储组合。同时,厚度较大(数百米)的两个总体塑性回沉型构造层序也是整个前陆盆地的区域盖层。侏罗系中统下部和下统的4个构造层序中都有自成体系的生、储组合,在深埋藏和生烃岩系处于超孔隙压力的条件下,可以形成有价值的油气藏。从地层圈闭条件评价,盆地边缘的有关储集层更有利于形成有价值的油藏。另外,当前陆盆地原型被早第三纪同沉积断裂构造破坏时,油气沿断裂带再次运移,会在断层两盘的砂质沉积体系中形成较浅的油气藏。

5 结论

(1)在柴达木盆地的侏罗系中,识别出了两种指示前陆盆地动力过程的构造层序,一种是响应于造山带逆冲加载过程的弹-塑性转换沉降型层序,另一种是响应于基底塑性回沉过程的塑性回沉型构造层序。

(2)柴达木盆地的侏罗系共出现了8个构造层序:下侏罗统普林斯巴阶至中侏罗统巴柔阶4个弹-塑性转换沉降型构造层序;中侏罗统巴通阶至卡洛阶下部两个总体塑性回沉型构造层序;中侏罗统卡洛阶和上侏罗统两个弹-塑性转换沉降型构造层序。这种充填序列表明侏罗纪的柴达木盆地经历了多旋回弹-塑性转换沉降、总体塑性回沉和再次弹-塑性转换沉降3个演化阶段。此演化过程与同期造山带的隆升和向前陆带的逆冲加载过程密切相关。

(3)侏罗系充填序列和盆缘区残存的古逆冲断裂带均证明,侏罗纪的柴达木盆地发育在同造山期,属前陆盆地范畴。由于平均沉降速率和沉积速率比典型前陆盆地偏低,因此鉴别为准前陆盆地。

参 考 文 献

- 1 Hsu J K. Relict back-arc basin: principles of recognition and possible new example from China. In: Kuren L K. New perspectives in basin analysis. New York: Springer-Verlag, 1988. 245~ 264
- 2 王鸿祯,刘本培,李思田. 中国及邻区大地构造划分和构造发展阶段. 见:王鸿祯,杨森楠,刘本培,等. 中国及邻区构造古地理和生物古地理. 武汉:中国地质大学出版社,1991. 3~ 34
- 3 狄恒恕,王松贵. 柴达木盆地中、新生代构造演化探讨. 地球科学——中国地质大学学报,1991,16(6): 533~ 539
- 4 王泽九,吴功建,肖序常. 格尔木-额济纳旗地学断面多学科综合调查概况. 地球物理学报,1995,38(增II): 1~ 14
- 5 崔作舟,李秋生,吴朝东,等. 格尔木-额济纳旗地学断面的地壳结构与深部构造. 地球物理学报,1995,38(增II): 15~ 28
- 6 邓晋福,吴宗絮,杨建军,等. 格尔木-额济纳旗地学断面走廊地壳-上地幔岩石学结构与深部过程. 地球物理学报,1995,38(增II): 130~ 144
- 7 青海地质矿产局. 青海区域地质志. 北京:地质出版社,1991. 138~ 194
- 8 Sinclair H D,Coakley B J,Allen P A, et al. Simulation of foreland basin stratigraphy using a diffusion model of example from the Central Alps, Switzerland. Tectonics, 1991, 10(3): 599~ 620
- 9 Peper T. Quantitative subsidence analysis of the western Canada foreland basin with implications for short-term facies changes. Tectonophysics, 1993, 266: 301~ 318

(下转第195页)

RULE OF OIL-WATER MOVEMENT DURING WATERFLOODING IN EASTERN AREA OF SHANSHAN OILFIELD

Sun Wei Qu Zhihao Yue Leping Liu Linyu Zhu Yushuang
(Northwest University, Xi'an, Shaanxi)

Wang Hongjian Chen Yang'ai Yuan Lianxi Zhu Yongxian
(Department of Development Affairs, Tuha Oilfield, Shanshan, Xinjiang)

Abstract

As waterflooding further advances, a new situation including the rise of water-bearing layer, the declining of oil production and the unbalance between injection and production has appeared in the production of the reservoirs in the Sanjianfang Formation. The oil wells located at the main river channel sandbodies are characterized not only by thick sandstone and better physical properties, but also by high initial production of single well, high recovery percentage of reserves and big decrease of reservoir pressure. The injected water flows towards the wells which have good physical properties, and the reservoir pressure decreases mainly along the extensional direction of the sandbodies. Most of the first and second order reservoirs, controlled by sedimentary cycle, developed in the middle and lower parts of reservoir group, that is to say, in the third or fourth subbeds. These subbeds have high fluid production and injectivity, which results in the water rising mostly in the single layer or direction. The variation of reservoir fluid production is closely related to water flood response, and the rise of ground water is the fundamental cause leading to the decrease of oil production in the main oil-producing areas.

(上接第180页)

JURASSIC TECTONIC SEQUENCES OF QAIDAM AND FORELAND BASIN EVOLUTION

Xia Wenchen Zhang Ning Yuan Xiaoping Meng Ke
(China University of Geosciences, Wuhan)

Zhang Bingshan Peng Xiaoqun
(Research Institute of Petroleum Geology, Qinghai Oil Administration)

Abstract

On the basis of the studies on outcrop sedimentary section, well logs and organic geochemistry of Jurassic System, 2 types of Jurassic tectonic sequences showing the dynamic processes of foreland basin are recognized in Qaidam Basin. One is the tectonic sequence converted from elastic to plastic subsidence corresponding to the thrusting and loading of orogenic belt, another one is plastic resubsiding tectonic sequence corresponding to the plastic subsidence of basin basement. Jurassic System of Qaidam Basin can be subdivided into 8 tectonic sequences, the succession from Pliensbachian to Bajoeian includes 4 tectonic subsequences of the first type; the succession of Bathonian-lower Callovian includes 2 plastic resubsiding tectonic sequences; the succession of upper Callovian-Upper Jurassic includes 2 tectonic sequences of the first type again. The total Jurassic fill-succession of Qaidam indicates that the basin underwent 3 evolution stages such as multicycle converted elastic-plastic subsidence stage, plastic resubsiding stage and converted elastic-plastic subsidence stage again. This evolutionary process of the basin is closely related to the thrusting and loading of orogenic belt toward foreland zone.