

前陆盆地二级层序内可容纳空间发育演化及三级层序对比

王家豪, 陈红汉, 王 华, 严德天, 赵忠新

中国地质大学资源学院, 湖北武汉 430074

摘要: 强烈不对称的楔型地层是前陆盆地的典型特点, 前隆带地层大量减薄或缺失, 前隆带与前渊带三级层序的细分对比是建立前陆盆地层序地层格架的关键。结合前人对前陆盆地岩石圈挠曲变形模拟的认识, 经过对库车前陆盆地的实例分析表明, 前陆盆地挤压构造活动引起前渊带沉降、而前隆带隆升, 导致可容纳空间发育在横向上不协调。可容纳空间的不协调发育与前隆的产生和迁移的动态演化过程相伴随; 在构造的活动期, 前隆隆升并向冲断带迁移, 盆地变窄变深, 可容纳空间发育的不协调性逐渐增强; 在构造宁静期, 盆地变宽变浅, 可容纳空间整体性发育。因此, 前陆盆地二级层序在 seismic 剖面上具双层结构(如库车盆地侏罗系、白垩系卡普沙良群), 其下层为一组楔状、向冲断带收缩的退积反射; 上层反射呈带状、延续范围广。层序的对比模式为: 在二级层序的底部, 三级层序向克拉通渐次超覆; 在二级层序的中部, 三级层序的分布向冲断带渐次收缩; 在二级层序的上部, 三级层序分布广泛, 可对比性强(如库车盆地地下第三系)。

关键词: 前陆盆地; 可容纳空间; 层序对比; 库车前陆盆地。

中图分类号: P53

文章编号: 1000-2383(2005)02-0140-07

收稿日期: 2004-07-23

Accommodation Space Evolution and Third-Order Sequence Correlation in the Second-Order Sequence of a Foreland Basin

WANG Jia-hao, CHEN Hong-han, WANG Hua, YAN De-tian, ZHAO Zhong-xin

Faculty of Earth Resources, China University of Geosciences, Wuhan 430074, China

Abstract: From the forebulge to the foredeep of a foreland basin, the stratigraphic framework appears asymmetrical and wedge-shaped. The stratigraphic sequence at the forebulge is thin or absent. Research on the Kuqa foreland basin in Northern Tarim basin and previous studies on lithospheric flexural simulations of foreland basins show that accommodation space from the forebulge to the foredeep develops inconsistently due to compressional tectonism, which results in the forebulge rising while the foredeep subsides. This inconsistency is dynamically associated with the formation and migration of the forebulge. In an active tectonic phase the forebulge rises and migrates gradually toward the thrust-fault belt, which results in the basin narrowing and deepening, and the development of accommodation space becoming more and more inconsistent. In an inactive tectonic phase the basin is wide and shallow and accommodation space develops consistently. Therefore, the reflection configuration of a second-order sequence is two-layered in seismic sections such as the Jurassic and the Kapushaliang Group, Cretaceous of the Kuqa basin; the lower layer is a group of wedge-shaped, regressive reflections shrinking gradually toward the thrust-fault belt; the upper layer is a group of strap-shaped, widespread reflections. Further, the correlation model showed that the third-order sequences in the lower part of a second-order sequence overlapped gradually toward the craton, which indicates the initial tectonism and the formation of the forebulge; that the third-order sequences in the middle part gradually decrease in size toward the thrust-fault belt, corresponding to intense tectonism; that the third-order sequences in the upper part are widely distributed, corresponding to an inactive tectonic phase such as the Lower Tertiary of the Kuqa basin.

Key words: foreland basin; accommodation space; sequence correlation; Kuqa foreland basin.

基金项目: 中国地质大学(武汉)优秀青年教师基金。

作者简介: 王家豪(1968—), 男, 讲师, 博士在读, 主要从事层序地层学、油气储层地质学。

0 引言

自 20 世纪 80 年代层序地层学产生以来,我国学者将该理论应用于东部广泛发育的断陷盆地,以“可容纳空间”、“坡折带”等概念为理论指导,在东部断陷盆地发现了丰富的岩性圈闭,使一些老油田获得了新生.相比之下,前陆盆地层序地层学研究至今还存在较多分歧(刘贻军,1988),诸多问题有待进一步深入.其中,强烈不对称的楔型地层是前陆盆地的典型特点,前隆带地层大量减薄或缺失,前隆带与前渊带三级层序的细分对比是建立前陆盆地层序地层格架的关键问题.

1 前陆盆地二级层序内可容纳空间发育演化和三级层序对比

前陆盆地二级层序与幕式构造活动对应,一个二级层序是一次成盆期的产物,其内部三级层序对比有赖于二级层序内可容纳空间演化过程的分析.

1.1 二级层序内可容纳空间发育特点

前陆盆地是挤压体制的产物,挤压应力既可使盆地边缘差异性隆起,又可使盆地中心差异性沉降(Posamentier and Allen, 1993). Giles and Dickinson(1995)对前陆盆地的动力学作用与可容空间变化关系进行了归纳(图 1);伴随着前陆盆地的演化,前渊带强烈沉降、可容纳空间增加;同时,前隆带隆升、可容纳空间减少.因此,在前陆盆地不同沉积单元(前渊、前隆和隆后盆地),可容纳空间发育极不协调,前隆至前渊带强烈不对称楔型地层正是可容纳空间不协调发育的结果.

1.2 二级层序内可容纳空间的演化

由于海(湖)平面变化产生的可容纳空间在全盆一致,前陆盆地可容纳空间发育的不协调性与构造

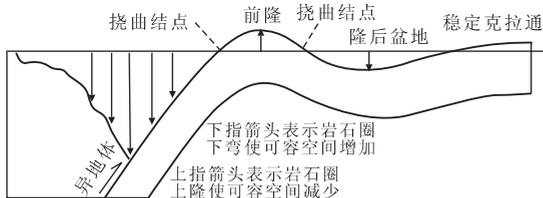


图 1 可容纳空间与岩石圈沉降关系示意(据 Giles and Dickinson, 1995)

Fig. 1 Schematic diagram displaying the relationship of the lithospheric flexure to accommodation space

活动密切相关.构造活动导致前渊与前隆带可容纳空间发育的方向相反;并且,前隆向上挠曲的幅度与前渊沉降中心下沉的幅度呈正比(Quinlan and Beaumont, 1984),从而造成可容纳空间发育的不协调性在前渊至前隆部位表现突出.大量的研究表明,前隆既不是先存的,也不是固定不变,它与构造活动相伴随,前隆产生和迁移指示着可容纳空间不协调发育的动态演化过程.

关于前隆的产生,前人研究认为:在盆地发育早期,推覆载荷引起紧邻造山带的岩石圈发生挠曲沉降形成前渊;随着沉积物的大量注入,沉积物和水体的载荷作用开始共同对盆地的发展起影响,使岩石圈的挠曲向克拉通方向发展(Flemings and Jordan, 1989),由于地壳的均衡作用,在远离推覆体的前隆带抬升,将前渊带与隆后盆地分隔开来(Crampton and Allen, 1995).由此可见,伴随着前隆的产生,盆地范围和可容纳空间向克拉通方向扩展.

前陆盆地动力学研究的弹性流变模型和粘弹性流变模型对前隆的迁移规律进行了分析.粘弹性流变模型中(Quinlan and Beaumont, 1984; Beaumont et al., 1988),岩石圈挠曲过程表现为(图 2):冲断负载期间,前隆向逆冲断裂迁移,盆地变窄变深(曲线 1 至 3);冲断负载之后,岩石圈发生应力松弛以及侵蚀卸载作用,临近逆冲断裂处将发生回弹上升

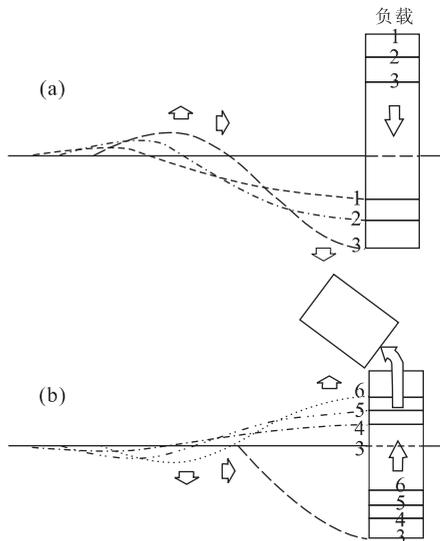


图 2 粘弹性岩石圈在逆冲负载和侵蚀卸载作用下的挠曲响应(据 Beaumont et al., 1988)

Fig. 2 Flexural response of the viscoelastic lithosphere of the thrust loading and erosional unloading
a. 逆冲负载; b. 侵蚀卸载

(曲线 4 至 6). 在弹性流变模型中(Flemings and Jordan, 1989, 1990), 变形开始时, 盆地变窄, 前隆向冲断带迁移; 在变形停止后, 构造作用居于次要地位, 由于造山带遭受剥蚀, 岩石圈均衡补偿, 导致弹性抬升, 盆地变宽变浅, 前缘隆起远离冲断带移动, 此时的沉降主要与沉积负载有关. 总体上, 虽然前陆盆地的动力学模型在岩石圈的力学性质、盆地的负载和作用力方面存在不同认识(刘少峰和李思田, 1995), 但都将前陆盆地的构造活动划分为活动期和宁静期 2 个阶段; 在构造活动期, 前隆向冲断带迁移, 盆地变窄变深, 导致可容纳空间发育的局限性和不协调性增强; 在构造宁静期, 盆地宽而浅, 可容纳空间发育的不协调性减弱, 整体性增强.

1.3 二级层序内三级层序对比

前人在前陆盆地的层序研究中, 大多强调构造活动对三级层序的控制作用, 认为三级层序界面是构造活动或构造活动与海平面变化叠加作用的结果, 即三级相对海平面变化是地方性的、区域性的, 因而可能导出前陆盆地不同的构造活动单元(如前隆与前渊)的三级层序不等时的结论. 对此, Giles and Dickinson(1995)的研究做了回答, 他们对 Nevada 和 Utah 的 Antler 前陆盆地晚泥盆世至早石炭世各沉积区(前渊、前隆和隆后盆地)剖面进行详细对比研究, 用生物地层和年代地层等对各层序界面的时限进行了精细标定, 以不整合面或与之对应的整合面为标志, 识别出 8 个时限约 1~4.5 Ma 的层序(与 Vail 的三级层序时限 0.5~3 Ma 相当), 各层序界面都与全球海平面下降期接近, 印证了前陆盆地三级层序的等时性和可对比性, 而构造作用只能加强层序界面的反应(Vail *et al.*, 1991).

关于前陆盆地的地层对比, 普遍认为: 构造活动期可容纳空间变化主要由前陆挠曲作用和全球海平面变化控制, 受构造作用的影响, 沉积厚度、沉积相及沉积体堆积样式各沉积区差别很大; 构造宁静期, 前陆盆地和隆后盆地表现为被动充填, 地层展布样式主要受控于海(湖)平面变化和沉积物补给速率的变化, 地层在各沉积区可对比性强(刘贻军, 1998). 进一步结合上文对可容纳空间发育演化过程的分析, 可建立图 3 对比模式: 在构造活动初期, 可容纳空间向克拉通扩张, 三级层序向克拉通方向渐进超覆(SQ₁—SQ₂); 随后, 前渊带迅速沉降, 前隆隆升并向冲断带迁移、甚至暴露而遭受剥蚀, 盆地的不对称性增强, 层序分布向冲断带渐次收缩(SQ₃—SQ₇);

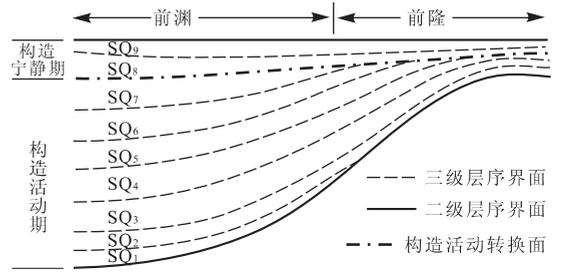


图 3 前陆盆地前隆—前渊带三级层序对比模式

Fig. 3 Correlation model of third-order sequences from the forebuckle to foredeep of a foreland basin

在构造宁静期, 盆地变宽变浅, 可容纳空间发育的整体性增强, 三级层序在前隆—前渊带发育较协调(SQ₈—SQ₉).

2 库车前陆盆地三级层序对比分析

我国中西部广泛发育的前陆盆地是我国 21 世纪油气勘探的希望所在(翟光明, 2002). 库车前陆盆地位于塔里木盆地北部, 北缘是南天山造山带, 南面是塔北隆起, 呈北东东向展布, 东西长 550 km, 南北宽 50~90 km, 面积 42 700 km². 经过“八五”和“九五”科技攻关, 对库车盆地的构造、沉积和石油地质等研究已经积累了大量资料. 近年来, 通过盆地沉降史(杨庚和钱祥麟, 1995)、层序地层学(肖建新等, 2002; 林畅松等, 2002)、碎屑岩岩石学(张希明等, 1996)等多方面的研究证实, 库车盆地侏罗纪—老第三纪都遭受了不同程度的构造挤压, 具有前陆盆地性质.

库车盆地侏罗系—下第三系总体为一套巨厚的陆相碎屑岩沉积, 夹薄层海侵地层. 其中, 侏罗系煤系地层发育; 白垩系—下第三系湖相泥岩普遍呈褐红色调, 表明研究区侏罗纪—老第三纪湖平面呈低幅度振荡变化, 从而使构造活动对可容纳空间的作用更加突出.

2.1 地震反射波组结构—层序对比的证据

地震反射波组追踪是揭示宏观地层格架的有效途径. 本次研究对塔北隆起(前隆)北斜坡带二维地震剖面反射波组结构进行了分析.

在 P₁ 剖面上(剖面位置见图 6), T₃₂—T₄₀ 反射对应于白垩系下统卡普沙良群. T₄₀ 为侏罗系顶面反射, 之下削截现象普遍; T₃₂ 反射轴之上见上超反射. 剖面上, 卡普沙良群地层明显呈楔型, 可识别出 7 个

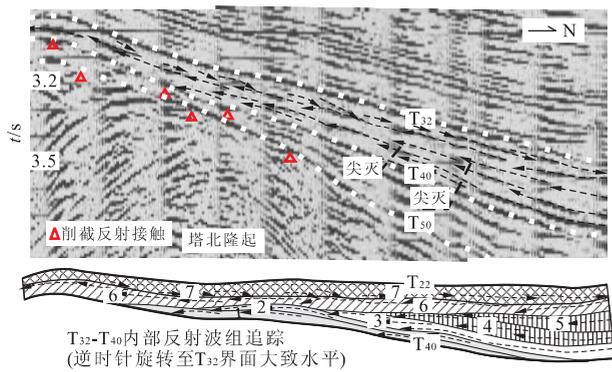


图 4 P_1 地震剖面白垩系卡普沙良群反射波组结构(剖面位置见图 6)

Fig. 4 Reflection configuration of Kapushaliang Group, Cretaceous in seismic profile P_1 (the profile location seeing in Fig. 6)

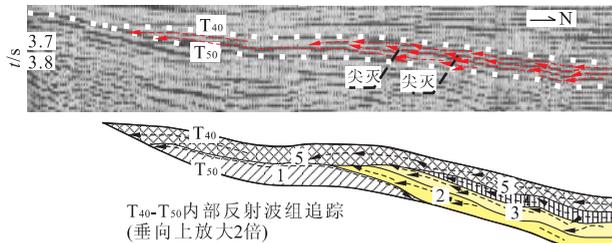


图 5 P_2 地震剖面侏罗系反射波组结构(剖面位置见图 6)

Fig. 5 Reflection configuration of the Jurassic in seismic profile P_2 (the profile location seeing in Fig. 6)

反射波组。其中,波组 1~6 为一系列上超退积反射,波组 7 为一组前积反射。波组 1~5 总体呈发散状,波组 2、3、4、5 依次尖灭于下伏波组之上,尤其以波组 4、5 特征清晰;波组 6、7 延续范围广,可追踪性好(图 4)。

在 P_2 剖面上(剖面位置见图 6),侏罗系顶部 T_{40} 上超尖灭于前侏罗系 T_{50} 反射轴上。侏罗系属煤系地层,内部反射强,结构清晰,可识别为 5 个波组。其中,波组 1 呈双超的丘形;波组 2~5 都呈上超退积反射;波组 2、3、4 依次尖灭于下伏波组之上; T_{40} 反射面之下未见削截现象,其下伏波组 5 延续范围最大(图 5)。

以上分析表明,2 条剖面反射波组都显示明显的双层结构:下层波组(P_1 剖面波组 1~5 和 P_2 剖面波组 2~4)为楔状、向北收缩的退积反射,反映相对湖平面持续上升,但湖盆范围和地层分布向北收缩,与图 3 所示构造活动期地层分布特点相同。上层波组(P_1 剖面波组 6 和 7、 P_2 剖面波组 5)为带状、延

续范围广的退积或前积反射,其特征反映前陆盆地进入构造宁静期,可容纳空间发育的整体性强。

2.2 库车前陆盆地下第三系层序横向对比

库车盆地下第三系由库姆格列木群(包括底砂岩段和上部的砂泥岩段)和苏维依组组成,与下白垩统平行或角度不整合接触,上白垩统缺失。由于库车盆地老第三纪早期发生了一次短暂海侵(贾进华, 2000),在库姆格列木群底部形成一层泥晶灰岩或白云岩的区域标志层,并导致盆地水体咸化,地层含石膏,区别于下伏地层。

在北部露头 LT1,下第三系厚度大,地层发育保存完整(图 6)。库姆格列木群底砂岩段厚层混杂块状砾岩发育,夹大型交错层理粗砂岩—含砾粗砂岩,为扇三角洲平原泥石流和辫状分流河道微相沉积;内部夹一套海侵形成的泥晶灰岩。库姆格列木群砂泥岩段主要由泥岩、砂质泥岩与薄层粉砂岩、细砂岩互层组成,波状层理、波状交错层理、波痕构造发育,局部夹混杂块状细—中砾岩和大型交错层理中—粗砂岩,总体以滨浅湖沉积为主体、扇三角洲体系间歇性发育为特征。苏维依组由发育小型交错层理、波痕构造和常见虫迹化石的粉砂岩—砂质泥岩—泥岩与混杂块状细—中砾岩、大型交错层理细砂岩—含砾砂岩组成,为一套扇三角洲体系平原相、前缘相与滨浅湖相交替沉积。

LT1 露头下第三系岩性至下而上呈粗—细—粗的变化,沉积体系由扇三角洲体系—滨浅湖体系为主—扇三角洲体系演化,总体构成一个完整二级层序(林畅松等, 2002),库姆格列木群底部大套粗碎屑沉积是构造重新活动的标志(李勇等, 2000; 林畅松等, 2002)。老第三纪时间跨度 41 Ma(起止时间 65~24 Ma)(杨庚和钱祥麟, 1995),与 Vail *et al.* (1991)二级层序的持续时间(3~50 Ma)一致。根据沉积体系垂相演化特征,下第三系可进一步识别为 8 个三级层序 SQ_1 — SQ_8 ,库姆格列木群、苏维依组分别包括 6 个和 2 个三级层序。三级层序的低水位体系域普遍为扇三角洲体系粗碎屑沉积。除 SQ_1 为海侵形成的局限海沉积之外,三级层序的湖侵体系域以滨浅湖、浅湖沉积为主, SQ_5 、 SQ_6 还发育扇三角洲前缘相沉积。三级层序的高位体系域沉积沉积相或微相包括扇三角洲平原相(SQ_1 、 SQ_8)、扇三角洲前缘相(SQ_2 、 SQ_5 、 SQ_7)、滨浅湖(SQ_3 、 SQ_4 、 SQ_5)。

下第三系泥晶灰岩或白云岩标志层在盆地腹