

# 从前陆盆地充填地层分析盆山耦合关系

汪泽成<sup>1</sup> 刘和甫<sup>1</sup> 熊宝贤<sup>1</sup> 周海民<sup>2</sup>

(1. 中国地质大学能源系, 北京 100083; 2. 冀东石油勘探开发公司勘探开发部, 唐山 063004)

**摘要:** 根据前陆盆地充填地层分析盆地和造山带的耦合关系, 研究区域包括四川中生代前陆盆地和鄂尔多斯中生代前陆盆地。研究表明, 前陆盆地和造山带具有较好的耦合关系。前陆盆地充填沉积物特征是造山带形成演化和盆地沉降的响应。向上变粗的沉积序列以及地层不整合向盆地方向的迁移反映了造山带向前陆不断隆升的演化过程。前陆盆地沉积物的岩石学特征反映了双物源供给和造山带的剥蚀。层序地层的体系域构成和地层堆积方式主要受控于前陆盆地沉降速率的变化。

**关键词:** 前陆盆地; 盆山耦合; 四川盆地; 鄂尔多斯盆地。

**中图分类号:** P534 **文献标识码:** A

**文章编号:** 1000-2383(2001)01-0033-07

**作者简介:** 汪泽成, 男, 工程师, 1966年生, 1998年毕业于中国矿业大学, 获博士学位, 现在中国地质大学博士后流动站做博士后研究, 主要从事石油天然气勘探与地质研究工作。

前陆盆地可以简单定义为介于造山带前缘及相邻克拉通之间的沉积盆地。通过国内外学者的十几年来来的工作, 对于前陆盆地, 世界上最重要的含油气盆地的研究已取得了重大进展。有的从板块构造的观点出发分析前陆盆地的成因、类型<sup>[1]</sup>; 有的从岩石圈变形特征提出前陆盆地岩石圈变形模式<sup>[2,3]</sup>。研究最多的要算造山带及前陆盆地构造变形特征<sup>[4]</sup>。近几年来, 前陆盆地的层序地层学研究也取得了重大进展<sup>[5~7]</sup>, 盆山耦合的研究也在近几年得到了加强。

## 1 区域地质背景

四川前陆盆地是扬子板块与华北板块在中晚三叠世因板块碰撞, 发生盆山转换, 而在扬子板块西边及北缘被动边缘一侧的山系与克拉通之间形成的沉积盆地。盆地演化大体分为两个阶段: 板块碰撞和前陆隆起形成阶段、陆相磨拉石充填阶段。中晚三叠世, 由于板块碰撞及冲断载体的重力负荷作用使得岩石圈挠曲, 在克拉通一侧形成前陆隆起, 即泸州—开江古隆起。隆起部位地层遭受剥蚀, 核部已剥蚀到

下三叠统上部。由于俯冲带岩石圈被冲断载体的持续加载, 使得扬子陆块的边缘发生裂隙, 台地边缘和前陆隆起迅速沉没, 盆地内部出现深海沉积, 并出现锰质岩、放射虫等<sup>[8]</sup>。晚三叠世地层向隆起超覆。自晚三叠世中晚期开始, 板块后继俯冲发生的陆内汇聚, 自北而南向上扬子克拉通不断推进的逆冲推覆山链, 使原来的边缘海盆地几乎全被构造侵位。由于逆冲侵位推进到上扬子克拉通西部和北部边缘, 从而前陆盆地迁移到“四川盆地”内, 开始了向陆相磨拉石前陆盆地的转化。从逆冲推覆山链剥蚀下来的陆屑, 流向扬子克拉通上的前陆盆地, 形成须家河组陆相磨拉石沉积。从晚三叠世中晚期到老第三纪, 前陆盆地在西缘、北缘逆冲推覆山系的前沿拗曲沉降区, 充填了厚度数 km 到 10 km 的沉积, 大体由 6 个以上向上变粗的巨旋回陆相磨拉石组成<sup>[9]</sup>。

鄂尔多斯前陆盆地是在晚古生代至中早三叠世华北克拉通盆地基础上发育起来的, 对于鄂尔多斯西缘来说, 更早的历史为坳拉槽和大陆边缘。因此, 前陆盆地是叠合在不同大地构造单元之上的。盆地在中生代经历了两次大的构造运动, 即三叠纪末期的印支运动及中侏罗世末的燕山运动<sup>[10]</sup>。这两次构造运动以整体抬升造陆运动为主, 造成三叠系与侏罗系、侏罗系与白垩系之间的区域不整合。但在盆地西缘却经历了从西向东的挤压碰撞作用。这种挤压

碰撞作用力的来源同西南方向特提斯构造域的碰撞和闭合有密切关系,挤压碰撞作用的结果,使得特提斯前陆区老的造山带复活以及坳拉槽反转<sup>[11]</sup>,冲断活动不断向克拉通方向迁移,从而使鄂尔多斯盆地进入前陆盆地演化阶段.鄂尔多斯西缘及南缘在晚三叠世开始的冲断活动及其前渊形成,标志着前陆盆地开始形成.从现有资料上看,早中三叠世和晚三叠世及侏罗—白垩纪鄂尔多斯盆地的古构造格局有明显差异.早中三叠世的沉降中心在盆地西南缘也存在,大致呈“L”型展布,南缘的沉降中心大体呈东西向展布,向东可以与以郑州为中心的华北盆地南缘沉降中心相连<sup>[12]</sup>.晚三叠世的沉降中心主要分布在西缘,呈南北向展布,而且沉积厚度和盆地内部相差太大,南缘不再成为沉降中心.侏罗纪、白垩纪的沉降中心和晚三叠世相似,均位于盆地西缘且呈南北向展布,且不断向盆地内部迁移.因此,从盆地沉降角度考虑,早中三叠世受西缘构造带和南缘的秦岭构造带的双重影响,从晚三叠世以后,主要受西缘构造带的影响,从而使盆地的构造格局大致呈南北走向.

## 2 前陆盆地构造地层组合

大地构造环境控制并影响沉积盆地的形成和充填,反过来岩层记录又可以恢复构造环境并追溯构造演化历史.在地质研究中常把一定构造环境下形成的地层层序称之为构造—地层组合,这些地层组合反映大地构造信息的主要参数包括地层厚度及其分布特征、岩性组合、重要不整合界面以及盆地充填的沉积学和岩石学特征.

### 2.1 地层组合

前陆盆地是叠加在克拉通基底之上的.前陆盆地地层组合和基底克拉通地层组合有着明显差异.克拉通基底组合通常具有厚度相对均一、岩性及相的展布稳定等特点;而前陆盆地地层组合在地层厚度上从造山带到前陆盆地具有明显的由厚到薄的变化,沉积相展布沿此方向也发生明显的变化.

四川中生代前陆盆地的基底为中下三叠统,是一套以局限台地和开阔台地为主的碳酸盐岩沉积,地层厚度变化不大,总体上东厚西薄,厚度变化主要受克拉通内部不平衡沉降和海平面变化的影响.进入晚三叠世后,地层主要以陆相碎屑岩沉积为主,地层厚度从造山带到盆地具有明显的西厚东薄的特

点.

鄂尔多斯盆地晚三叠世前陆盆地沉积和早三叠世克拉通内坳陷沉积均为一套陆源碎屑岩沉积,但两者在地层厚度和沉积相展布上有明显差异.早中三叠世的沉积体系呈南北向展布,地层厚度呈“L”型分布于盆地的西南缘.晚三叠世沉积体系展布以东西向为主,地层厚度显示的沉降中心位于盆地西缘,呈南北向延伸.

### 2.2 不整合面分布特征

地层不整合是地质或地震剖面上常见的现象.进行不整合分析对于划分层序、确定构造运动、研究古隆起分布和迁移以及在不整合有关的油气圈闭均有重要意义.

前陆盆地不整合包括平行不整合和角度不整合.角度不整合又可划分为构造角度不整合和同构造期角度不整合.前者是指构造运动造成的地层褶皱剥蚀的结果;后者是指冲断活动过程中沉积地层不断旋转造成的同构造渐进不整合,或者由于前陆隆起隆升造成的地层超覆不整合.它能直观地反映盆山转换时期以及冲断褶皱作用过程,是前陆盆地分析中很重要的地质现象.

冲断活动具有渐变和突变两种方式.渐变是指同沉积的冲断活动,并伴有巨厚的粗碎屑(磨拉石)充填前渊.突变是指区域角度不整合的出现及其地层缺失,根据角度不整合展布特征,可以推测冲断带前缘的大体位置.

鄂尔多斯盆地中生界各层组之间有几个不整合面,即晚三叠世延长组与早侏罗世富县组的假整合面或微角度不整合面、早侏罗世富县组与中侏罗世延安组之间的假整合面、中侏罗世延安组与直罗组之间的假整合面、晚侏罗世芬芳河组与中侏罗统不整合接触,以及侏罗系与下白垩统之间的不整合面.冲断活动始于中晚三叠世,但主要在盆地西缘贺兰山—平凉以西地区,这个时期的前渊位于贺兰山—石沟驿—平凉等地.三叠纪末印支运动结束了该前渊发育历史,前渊的变形微弱,仅在西侧可以看到侏罗系与三叠系的角度不整合(图1).早、中侏罗世,冲断活动相对宁静,前渊稳定沉降,沉积以细粒沉积物为主.中、晚侏罗世的冲断活动已向东扩展到桌子山—陶乐—炭山等地区,并形成中晚侏罗世前渊,在铁克苏庙坳陷沉积巨厚的芬芳河组可能是冲断活动同沉积产物.侏罗纪末的燕山运动I幕,鄂尔多斯西缘发育强烈的冲断褶皱活动,导致西缘北段

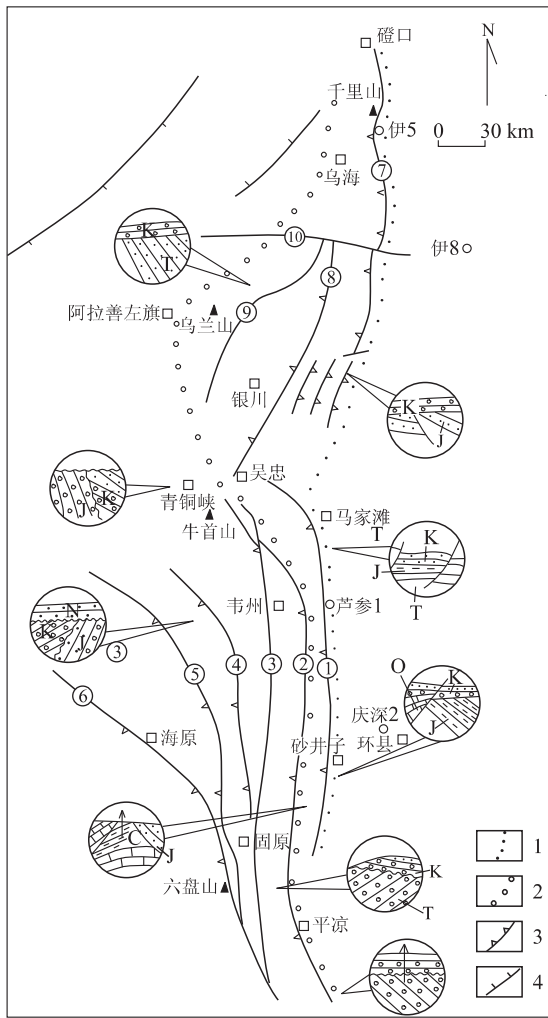


图 1 鄂尔多斯西缘中生界地层不整合分布特征  
 Fig. 1 Mesozoic unconformities distributed on western margin of Erdos basin

①惠安堡—砂井子断裂;②青龙山—平凉断裂;③青铜峡—固原断裂;④崆山断裂;⑤清水河断裂;⑥南西华山东麓断裂;⑦桌子山—陶乐断裂;⑧,⑨银川地堑边界;⑩正义关断裂。1. K/J 角度不整合;2. J/T 角度不整合;3. 冲断层;4. 正断层

的贺兰坳拉槽反转,贺兰山褶皱冲断带最终形成<sup>[11]</sup>,西缘南段冲断活动进一步推进到惠安堡—砂井子断裂以西。在该断裂以东,可见白垩系与侏罗系的角度不整合,且早白垩世沉积一套近源的粗碎屑沉积,断裂以西缺失白垩系沉积。白垩纪末的燕山运动Ⅱ幕,冲断活动再次向东推进到马家滩冲断带,并使该冲断最终定型<sup>[10,11,13]</sup>,此时前渊已向东迁移到现今的天环向斜。

四川盆地在晚三叠须家河组的须四段(相当于瑞替克期)和下伏的须三至须一段(相当于诺利克期)存在地层不整合(图 2)。沉积相研究表明,该不

整合应属于同构造期不整合,反映了龙门山造山带在诺利克期从西向东不断侵位、前渊的沉降以及前陆隆起不断隆升的作用过程,导致了须一段到须三段沉积时坳陷沉积范围不断缩小,沉积体不断由川中古隆起向川西坳陷退缩,沉积体系由边缘海沉积向三角洲沉积转换,具有向上变粗的沉积序列。到瑞替克期,龙门山造山带已侵位到现今龙门山位置,并已隆升出水面,成为前陆盆地的主要物源区。

### 2.3 沉积岩石学分析

人们早在 20 世纪 60 年代就认识到根据前陆盆地沉积序列中出现的不同碎屑岩类型或特征重矿物组合来分析造山带隆升的去顶历史。到 20 世纪 70 年代, Dickinson<sup>[14]</sup> 提出用轻矿物组合的三角图解来区分沉积盆地物源的大地构造背景,并用此推测盆地的构造演化。

一般说来,前陆盆地具有双物源,即来自于造山带的物源和来自于克拉通的物源。轻矿物分布在平面上表现出靠近造山带的沉积物以高含长石、低含石英为特征,靠近克拉通一侧的沉积物以高含石英、低含长石为特征。但在前陆盆地形成初期,由于造山带地形未出露地表,物源主要来自克拉通,石英矿物丰富,而长石矿物和岩屑含量较少。如四川盆地须一段至须三段岩石类型主要以石英砂岩和岩屑石英砂岩为主,石英含量高达 60%~90%,而长石含量仅为 5%~15%。须四段岩石类型主要以长石砂岩和岩屑长石砂岩为主,石英含量为 30%~70%,而长石含量为 10%~20%,岩屑含量也较高,为 20%~30%,而且从龙门山到川中石英含量明显增高,长石和岩屑含量明显降低。

### 3 前陆盆地沉降史分析

前陆盆地的沉降速率取决于盆地岩石圈的刚度、构造负载和沉积负荷的大小<sup>[3]</sup>。对于某一特定的前陆盆地而言,盆地沉降速率是构造负载的函数,即构造负载越大,盆地沉降速率和幅度也越大;反之亦然。正是这种形成机制与被动大陆边缘不同,导致了前陆盆地沉降速率一般比被动大陆边缘盆地沉降速率大,其沉降曲线形态也不同于被动大陆边缘盆地,前者为上凸型,后者为上凹陷<sup>[5]</sup>,而且沉降速率在空间上变化也与被动大陆边缘盆地相反,前者沉降速率自盆地中心向盆缘(靠造山带一侧)递增,而后者沉降速率自盆缘向盆地中心增加。冲断活动的多阶

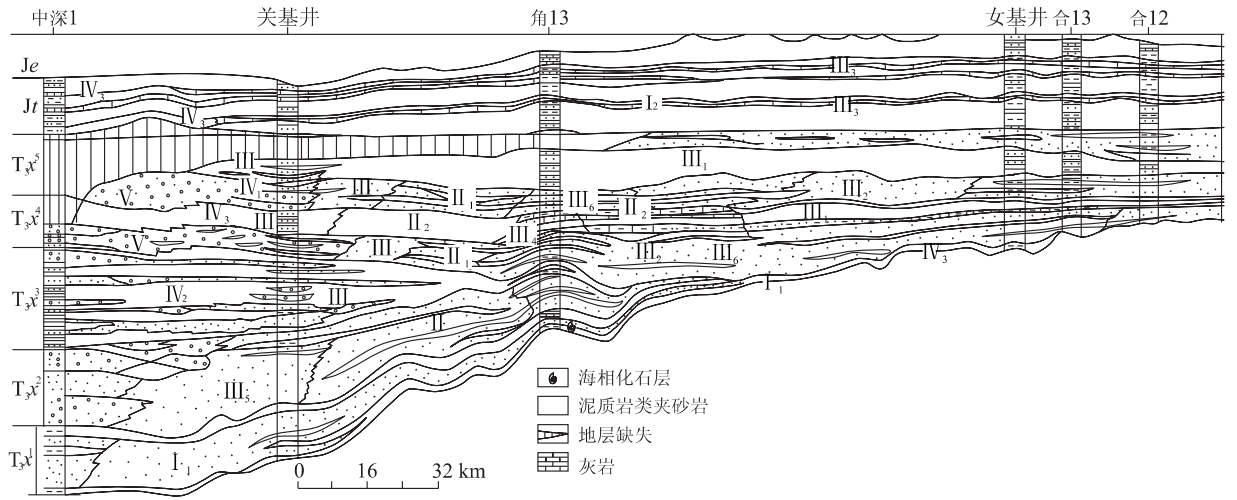


图 2 川西—川中中生界岩性岩相地质横剖面

Fig. 2 Chuanxi-Chuanzhong Mesozoic lithologic and lithofacies section

I. 深、半深湖(或海湾); I<sub>1</sub>. 海湾沉积; I<sub>2</sub>. 深、半深湖页岩夹砂岩。II. 浅湖区; II<sub>1</sub>. 浅湖砂泥岩; II<sub>2</sub>. 浅湖灰岩、页岩。III. 滨湖、三角洲前缘; III<sub>1</sub>. 湖泊沼泽页岩夹砂岩、泥灰岩与煤层; III<sub>2</sub>. 滨浅湖沙滩; III<sub>3</sub>. 介壳滩; III<sub>4</sub>. 三角洲前缘砂岩; III<sub>5</sub>. 扇三角洲砂岩。IV. 三角洲平原; IV<sub>1</sub>. 分支河道砂岩; IV<sub>2</sub>. 分支间湾泥岩; IV<sub>3</sub>. 滨岸沼泽泥岩夹煤线。V. 泛滥平原

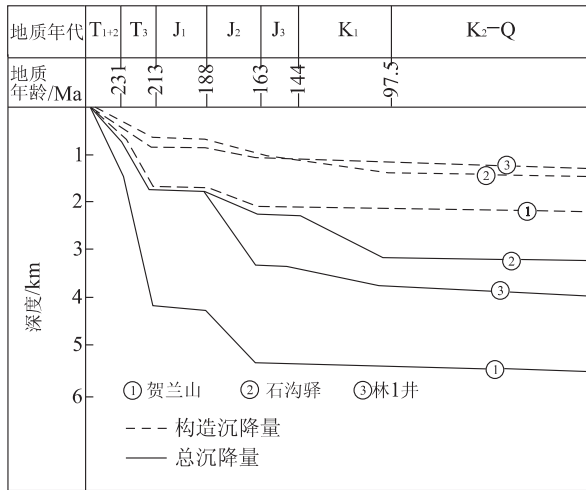


图 3 鄂尔多斯西缘及其邻区的晚古生代—中生代沉降曲线

Fig. 3 Late Paleozoic—Mesozoic subsiding curves in western margin of Erdos basin

段性反映在前陆盆地沉降曲线上呈“多段式”。从鄂尔多斯西缘及其邻区的晚古生代—中生代沉降曲线分析(图 3),晚三叠世沉降速率明显增大,标志着鄂尔多斯盆地已进入前陆盆地演化阶段。不同时期的构造沉降速率对比表明,中生代沉降速率具有逐步递减的趋势。这一现象可能与构造载荷作用的逐渐减弱有一定关系。此外,早侏罗世到中侏罗世早期(相当于富县组、延安组沉积期),沉降速率明显降低,反映了此阶段冲断活动处于相对停滞状态,与该

时期沉积物反映的稳定构造环境的石英矿物含量明显增高,且远高于其他层段是相一致的。

### 4 前陆盆地充填层序地层分析

前陆盆地层序地层研究表明,前陆盆地层序地层主要受控于构造作用、古气候和沉积物的供给速率,沉积物供给主要受控于与冲断造山有关的地形起伏的影响<sup>[6]</sup>。在其他控制因素不变的情况下,沉积物供给是控制地层构成最重要的因素之一。在前陆盆地不同的演化阶段、不同的构造作用背景下,盆地充填的层序地层在体系域构成、相序组合、地层堆积方式等方面有着明显的差异。

四川盆地从三叠系到白垩系至少可以划分出 5 个层序(图 4)。层序 I 由 2 个体系域构成,早期水进体系域以局限海湾向川中古隆起超覆沉积为特征,晚期高水位体系域以三角洲—湖泊沉积为特征,反映了龙门山造山带从早期的水下地形到晚期造山带出露地表,成为阻隔甘孜海槽与四川盆地相通的古隆起。层序 III—V 以陆相碎屑岩沉积为主,盆地边缘以冲积扇粗粒沉积为主,向盆地过渡到湖泊沉积,沉积体系不断向盆地迁移。层序构成包括早期的低水位体系域和中晚期的水进体系域和高水位体系域。

四川盆地上三叠统层序 I 地层模式和 Swift 等<sup>[7]</sup>研究了美国西部科迪勒拉中生代前陆盆地晚白

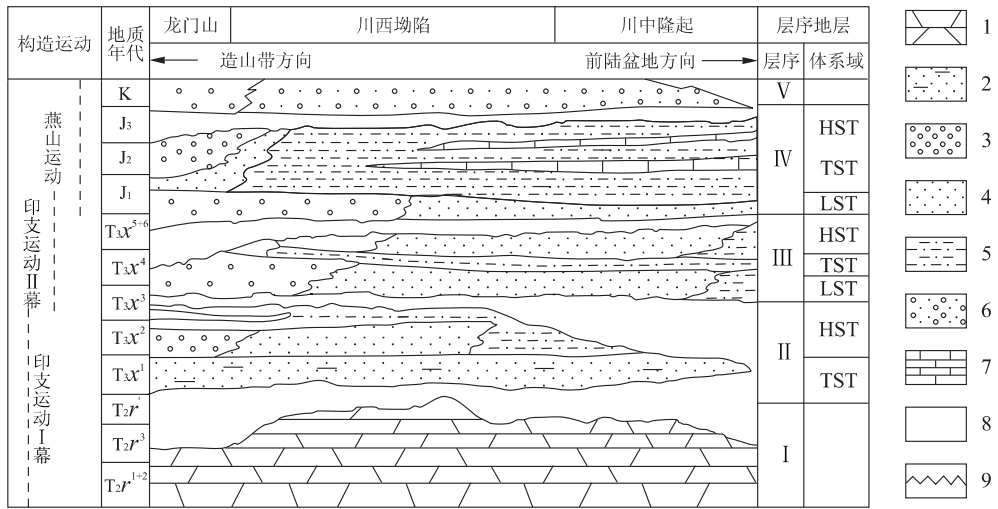


图 4 四川西部中生代前陆盆地充填等时地层层序

Fig. 4 Sequence chronostratigraphy of Mesozoic foreland basin in western Sichuan Province

1. 局限台地碳酸盐岩; 2. 局限海湾砂泥岩; 3. 冲积扇砾岩、扇三角洲砾岩; 4. 三角洲砂岩; 5. 湖相砂泥岩; 6. 冲积平原砂砾岩; 7. 湖相灰岩;
8. 地层缺失; 9. 不整合

丕世 Mesaverde 群层序地层所建立的前陆盆地层序地层模式相似。该模式显示了前陆盆地层序地层模式与经典被动大陆边缘层序地层模式明显不同,层序形成的主要控制因素为沉降速率和沉积物供给。由于前陆盆地沉降速率相当大,超过了全球海平面下降的速率,导致了前陆盆地中相对海平面处于持续上升状态;盆地中仅充填了海侵沉积和海退沉积,相当于经典层序地层模式中的海侵体系域和高位体系域,层序界面为水下侵蚀界面,间断时间短,缺乏与河流复活相伴的陆上侵蚀作用和所造成的侵蚀不整合面,而且,沉积物供给来自于盆地西缘,并主要受控于冲断造山有关地形起伏的影响,与海平面升降无关,它与沉降速率自东而西递增的叠加,导致了前陆盆地中层序整体几何形态呈楔形。

前陆盆地构造沉降上的差异在地层堆积方式有明显的表现。例如鄂尔多斯盆地在晚三叠世和早侏罗世—中侏罗世早期构造沉降速率存在明显差异(图 3),晚三叠世沉降速率快,早中侏罗纪沉降速率相对较慢,两者在地层堆积方式、相序组合、砂体形态等方面有明显差异。地层堆积方式见图 5。

(1)快速沉降地层堆积模式。沉降速率快,物源供应充分。低水位期在近带(盆地西缘)以块状砾岩、席状砾岩和块状砂岩沉积为主,沉积相由冲积扇过渡到三角洲平原相、滨浅湖相。在远带(盆地中东部)以湖控三角洲沉积和湖泊沉积为主。低水位的深切谷不明显,层序边界为 II 型。准层序堆积方式为进积

型。水进体系域期,在近带以冲积扇、水下扇、深湖沉积为主,远带以湖泊沉积为主,三角洲发育局限,准层序堆积方式为加积到退积。高水位期,近带冲积扇、河流沉积为主,远带以浅湖、三角洲、冲积平原沉积为主。准层序堆积方式为加积和进积。

(2)缓慢沉降地层堆积模式。构造沉降速率低,物源供应充足。低水位体系域以深切河谷充填为特征,砂体多呈块状,连续性好,层序边界为 I 型。水进体系域和高水位体系域以三角洲、湖泊沉积为主。在近带以发育三角洲平原泥炭沼泽沉积及天然堤、决口扇透镜状砂体为特征,在远带以发育三角洲平原分流河道砂体及三角洲前缘河口坝砂体为特征。近带和远带上的沉积差异反映了两个带的沉降上的差异,近带沉降速度快,阻止了侧向迁移速度快的辫状河和曲流河的发育,加上温暖潮湿气候条件,为形成区域性煤田(延安组煤)创造了条件。

### 5 结论

作者尝试性地从盆地充填地层分析前陆盆地的盆山耦合关系。研究表明造山带和前陆盆地具有很好的耦合关系,主要表现在造山带的隆升过程和盆地的沉降历史、地层的剥蚀和充填的沉积物、地层的不整合分布与造山带的迁移规律、构造沉降速率与地层堆积方式等方面均具有对应关系。概括起来,前陆盆地沉积充填特征是造山带的形成演化和前陆盆

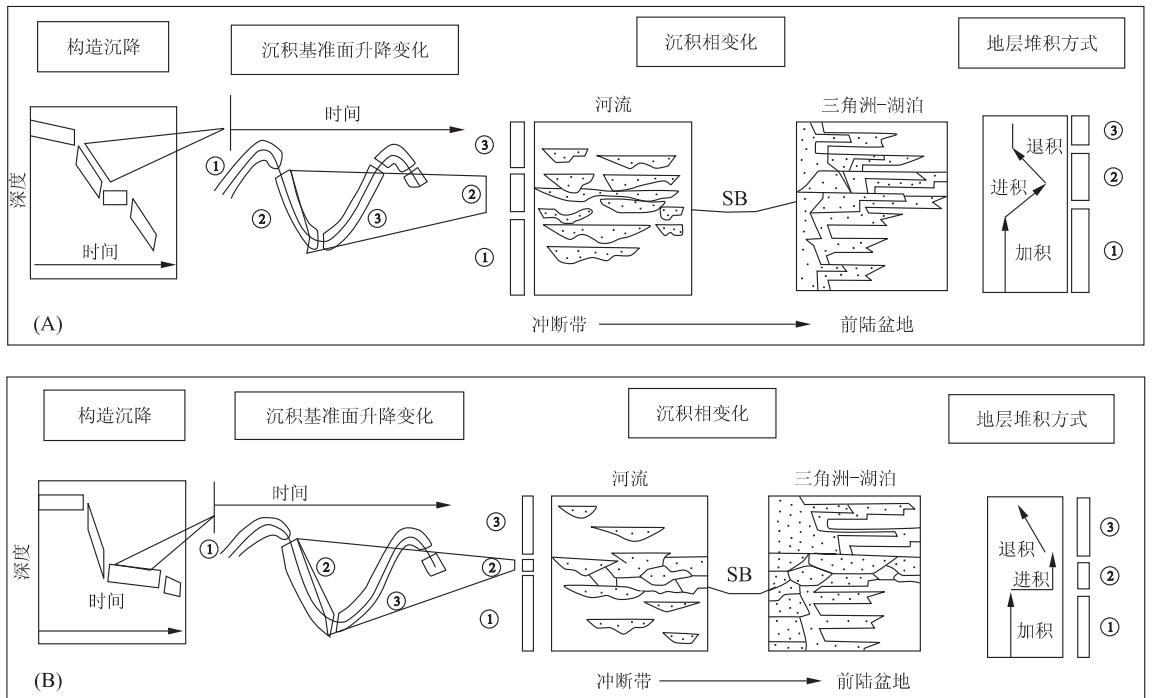


图5 鄂尔多斯中生代前陆盆地两种地层堆积模式(据文献[13]修改)

Fig. 5 Summary of two strata models of Erdos Mesozoic foreland basin

A. 上三叠统快速构造沉降地层堆积方式; B. 中侏罗统缓慢构造沉降地层堆积方式. ①, ③表示沉积基准面上升期; ②表示沉积基准面下降期

地沉降的结果。

### 参考文献:

- [1] 刘和甫. 前陆盆地类型及褶皱—冲断层样式[J]. 地学前缘, 1995, 2(3): 59~68.
- [2] Watts A B. Tectonics subsidence, flexure and global changes of sea level [J]. Nature, 1982, 298: 469~474.
- [3] Beaumont C. Foreland basins [J]. Geophys J R Astr Soc, 1981, 65: 291~329.
- [4] 刘和甫, 夏义平, 刘立群. 造山带与前陆盆地连锁断滑系统[A]. 见: 马宗晋, 编. 构造地质学—岩石圈动力学研究进展论文集——庆贺马杏垣从事地质工作六十年暨八十寿辰[C]. 北京: 地震出版社, 1999. 29~40
- [5] Posamentier H W, James D H. An overview of sequence stratigraphic concepts: uses and abuses [A]. In: Posamentier H W, Summerhayes C P, Haq B U, et al, eds. Sequence stratigraphy and facies associations [C]. International Association of Sedimentologists Special Publication, 1993, 18: 3~18.
- [6] Van Wagoner J C. Sequence stratigraphy and marine to nonmarine facies architecture of foreland basin strata, Book Cliffs, Utah, U. S. A [A]. In: Van Wagoner J C, Bertram G T, eds. Sequence stratigraphy of foreland ba-

- sin deposits [C]. [s. l.]: AAPG Memoir, 1995. 64.
- [7] Swift D J P. Shelf construction in a foreland basin: storm beds, shelf sand bodies Cretaceous Mesaverda Group, Book Cliffs, Utah [J]. Sedimentology, 1987, 34: 423~457.
- [8] 殷鸿福, 杨逢清, 黄其胜, 等. 秦岭及邻区三叠系[M]. 武汉: 中国地质大学出版社, 1992.
- [9] 许效松, 刘宝珺, 徐强, 等. 中国西部大型盆地分析及地球动力学[M]. 北京: 地质出版社, 1997.
- [10] 赵重远. 鄂尔多斯地块构造演化及板块应力机制初探 [A]. 杨俊杰, 赵重远, 刘和甫, 主编. 鄂尔多斯盆地西缘地区石油地质论文集[C]. 呼和浩特: 内蒙古人民出版社, 1983.
- [11] 刘和甫, 陆伟文, 王玉新. 鄂尔多斯西缘冲断—褶皱带形成与变形[A]. 杨俊杰, 赵重远, 刘和甫, 主编. 鄂尔多斯盆地西缘掩冲带构造与油气[C]. 兰州: 甘肃科学技术出版社, 1990.
- [12] 张抗. 鄂尔多斯断块构造与资源[M]. 西安: 陕西科学技术出版社, 1989.
- [13] 汪泽成, 王玉新. 鄂尔多斯西缘马家滩滑脱型冲断构造 [J]. 石油与天然气地质, 1996, 17(3): 221~225.
- [14] Dickinson W R. Plate tectonics and sedimentation [A]. In: Dickinson W R, ed. Tectonics and sedimentation [C]. SEPM Special Publication, 1974, 22: 3~9.

## BASIN-MOUNTAIN COUPLING ANALYSIS FROM FILLING STRATIGRAPHY OF FORELAND BASIN

Wang Zecheng<sup>1</sup> Liu Hefu<sup>1</sup> Xiong Baoxian<sup>1</sup> Zhou Haimin<sup>2</sup>

(1. *Faculty of Energy Geology, China University of Geosciences, Beijing 100083, China*; 2. *Exploration Development Department, Jidong Petroleum Exploration and Development Company, Tangshan 063004, China*)

**Abstract:** This paper analyses the foreland basin-mountain coupling from the stratigraphy in the foreland basin. The research areas include the Sichuan Mesozoic foreland basin and Erdos Mesozoic foreland basin in the central part of China. The research shows that the foreland basin is relatively well coupled with the orogenic belt. The filling sediment features of the foreland basin mirror the formation and evolution of the orogenic belts and the subsidence of the foreland basin. The migration of the upward-coarsening sedimentary succession and the stratigraphic unconformity toward the direction of the foreland basin reflects the evolutionary process of the consecutive uplift of the orogenic belt toward the foreland. The lithological feature of the sediments in the foreland basin reflects the double-source supply and the orogenic-belt erosion. The structure of the system tracts in the sequence stratigraphy and the stratigraphic accumulation pattern are mainly controlled by the change in the subsidence rate of the foreland basin.

**Key words:** foreland basin; basin-mountain coupling; Sichuan basin; Erdos basin.

# 晚泥盆世牙形石动物卵细胞的三维保存

龚一鸣<sup>1</sup> 司远兰<sup>2</sup> 徐光辉<sup>1</sup> 李保华<sup>1</sup>

(1. 中国地质大学地球科学学院, 武汉 430074; 2. 中南民族学院, 武汉 430074)

在处理广西上泥盆统牙形石样品的过程中,笔者在广西桂林桐村和横县六景两个剖面的同一层位中发现了大量的微球粒,经过多方研究后认为,该微球粒与以往报道的硅质、铁镍质和磷质微球粒不同<sup>[1,2]</sup>,很可能是牙形石动物在排卵期排出的卵细胞,类似于现代的鱼卵.其大小 250  $\mu\text{m}$  左右,呈球状、椭球状,部分微球粒表面具脐状或对称型脐状浅凹.在球切面上微球粒的球核、球幔和球壳分异清楚(图版 II).显微激光拉曼光谱微区分析表明:球核、球幔和球壳的共有成分是磷、碳,特有成分是铁主要存在于球核和球幔中.这种成分特征与动物卵细胞在成岩和后生过程中经脱水、脱羧、脱甲基、脱氨基和脱硫后的细胞核、细胞质和细胞膜的成分颇为一致.球壳和球幔与牙形石属 *Palmatolepis* sp. 的齿片和齿台的显微激光拉曼光谱微区分析结果非常类似,说明二者的成分和物质结构有较大的亲缘性.我们认为这种磷质微球粒很可能是牙形石动物排出的卵细胞,球核、球幔和球壳可能分别代表卵细胞的细胞核、细胞质和细胞膜,类似于现今的鱼卵.脐状或对称型脐状浅凹可能代表卵细胞的动、植物极和以其为始端进行有丝分裂的开始.

自 Stauffer(见文献[2])首次描述奥陶系和泥盆系中与牙形石共生的微球粒以来,有关微球粒的成因提出了多种推断和解释:如牙形石动物的卵容器构造,动物的耳石,无机沉淀颗粒,牙形石动物分泌的珍珠等<sup>[2]</sup>.其中,以牙形石珍珠说提供的资料最详实,影响最广.但我们的资料在如下 4 方面不支持磷质微球粒为牙形石动物分泌的珍珠的推断.

其一:在磷质微球粒 10 倍至 50 倍的球切剖面上,均未见有规则或不规则的明暗、厚薄相间的同心层构造,微球粒的整体形态规则;其二:微球粒内部

的矿物成分和结构具有三分性,即在球壳、球幔和球核内部一致,在三者之是既存在共性——均含磷酸钙,也存在不同——有机碳含量和磷酸钙的有序度不同;其三:部分微球粒表面具有在游离、塑性状态下被碎屑物压印、刻划的痕迹(图版 II);最后,在我们所分析的 40 余个层位的牙形石样品中,仅在与角砾状灰岩事件层紧邻的样品中见有微球粒,经多次复查,其余样品中未见有微球粒,这表明微球粒的埋藏和保存与高能量、快速事件沉积有关.我们认为正是这种事件使得那些具有活性、刚刚发生卵裂(对称型脐状浅凹)或尚未发生卵裂的牙形石动物卵细胞死亡、埋藏.

地层记录中从寒武纪至三叠纪与牙形石共生的微球粒有多种成分和结构,其成因可能难用一种模式概括和解释.我们提供的磷质微球粒系牙形石动物产出的卵细胞的证据尽管是有限的,但这些证据和推断为我们揭开牙形石分子及其整体的绝灭、演化之谜提供了新线索,即牙形石分子的绝灭与牙形石动物卵细胞在灾变事件中遭受高能物理事件摧残(地震波的震撼,碎屑物的撞击、伤害,快速沉积物的掩埋)和超量有毒金属对海水的污染、毒化可能有一定的关系,正像恐龙的绝灭与恐龙蛋的大量埋藏、孵化不出小恐龙以及有毒物质在恐龙蛋中富集有关一样.

## 参考文献:

- [1] 殷鸿福,黄思骥,张克信,等.华南二叠纪—三叠纪之交的火山活动及其对生物绝灭的影响[J].地质学报, 1989, 63(2): 169~181.
- [2] Glenister B F, Klapper G, Chauff K M. Conodont pearls? [J]. Science, 1976, 193: 571~573.

收稿日期: 2000—03—28

基金项目: 国家“九五”攀登计划专项“SSER”项目;国家自然科学基金项目(No. 40072041);湖北省地球表层系统开放实验室基金.