

文章编号: 1000-0550(1999)03-0397-06

鄂尔多斯盆地西缘晚石炭世沉积 体系与高频层序旋回 ——以呼鲁斯太剖面例析

贾进华¹ 刘焕杰² 郭英海²

1(石油勘探开发科学研究院 北京 100083) 2(中国矿业大学 江苏 徐州 221008)

摘要 鄂尔多斯盆地西缘呼鲁斯太剖面上石炭统包括靖远组、羊虎沟组和太原组,发育有堡岛、堡岛—台地和潮控三角洲三种沉积体系,自下而上可以划分出 16 个海进—海退层序旋回,每个层序旋回的时限为 1.1~3.3 Ma,平均 1.9 Ma,相当于四级相对海平面变化旋回,属高频层序旋回。每个层序由海侵体系域和早期高位体系域、晚期高位体系域组成,偶发育有强制海退体系域。晚石炭世早期海侵来自祁连海,太原晚期,祁连海与华北连通。研究区古海平面变化表现为先慢速后快速海侵和快速海退,少数为正常海退,并由此建立了古海岸平原的层序地层模式。

关键词 鄂尔多斯盆地 晚石炭世 沉积体系 高频层序旋回 呼鲁斯太剖面

第一作者简介 贾进华 男 1965 年出生 博士后 副教授 沉积地质与储层研究

中图分类号 P539.2 **文献标识码** A

1 前言

鄂尔多斯盆地西缘包括北部的贺兰山—桌子山地区和南部的中卫—中宁地区。本文研究范围指盆地西缘的贺兰山—桌子山地区。南部的中卫—中宁地区晚古生代地层出露较全,自下而上可划分出前黑山组、臭牛沟组、中卫组、靖远组、羊虎山沟组、太原组^[1~3]。北部的贺兰山—桌子山地区晚古生代地层缺失下石炭统,上统地层呈不整合覆于古风化面上。上统由于受祁连海影响而表现出与盆地东部绝然不同的沉积特征和古生物面貌。上统自下而上为靖远组、羊虎沟组和太原组^[4]。

关于靖远组的划分和时代意义,历来有不同看法。靖远组最早划分为上、中、下段^[2]后,在原靖远组上段新建红土洼组^[2],将原靖远组下段命名为中卫组、时代为早石炭世晚期^[6]。狭义的靖远组指原靖远组的中上段,分布于贺兰山—桌子山地区,时代为晚石炭世早期,本文采用后一划分方案。

80 年代—90 年代初,许多学者^[3~4]已对鄂尔多斯盆地的构造、沉积古地理和油气资源做过深入研究。同时本区石炭系具备了丰富的古生物地层资

料^[5~8],特别是纳缪尔期—斯蒂芬期筳类动物群的发现^[6],为本区地层时代的厘定及其与华北区的对比奠定了基础。

2 构造—沉积背景

鄂尔多斯盆地西缘构造—沉积演化与相邻的贺兰山坳拉槽、北祁连海和西秦岭海的发展演化有着密切联系。早海西期之后,华北板块与扬子板块碰撞对接形成中国东部统一陆块。从晚石炭世开始,中国东部陆块受古太平洋域和古特提斯域的双重作用,进入整体裂隙沉降阶段。鄂尔多斯盆地西缘在中元古代—早古生代为坳拉槽背景,晚古生代是在早古生代坳拉槽封闭后,受南北古大陆边缘活动带挤压而再活动的碰撞槽^[9]背景,从而沉积了巨厚的晚石炭世海湾—泻湖沉积,成为秦岭—祁连海的一部分。

从鄂尔多斯盆地晚石炭世岩相石地理图看^[10](图 1)。晚石炭世早期,盆地东部和西部之间有古陆相隔。东部属华北海,主要是本溪组和太原组的潮坪沉积环境。西部属祁连海,主要是靖远组和羊虎沟组的海湾—泻湖沉积环境。晚石炭世晚期,海

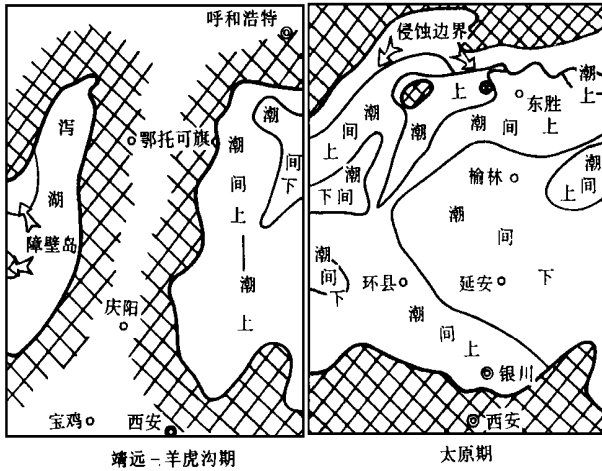


图 1 鄂尔多斯盆地晚石炭世岩相古地理图
(据张福礼等, 1994 修改)

Fig. 1 Late Carboniferous lithofacies—paleogeography of Ordos basin (after Zhang Fuli *et al.*, 1994 modified)

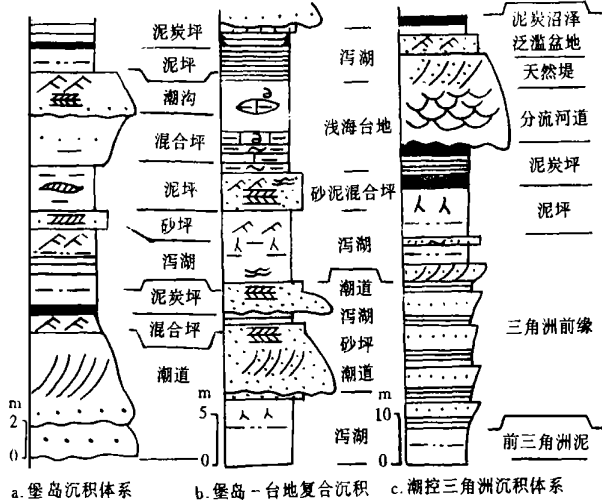


图 2 鄂尔多斯盆地西缘晚石炭世沉积体系类型
Fig. 2 Late Carboniferous depositional systems of the western ordos basin
a. Barrier system b. Barrier—platform composites system c. Tidal delta system

侵范围进一步扩大, 华北海和祁连海连为一体, 形成广阔的陆表海潮汐平原环境。

3 沉积体系

本区晚石炭世主要为堡岛、堡岛—台地和潮控三角洲沉积体系(图 2)。

3.1 堡岛沉积体系

主要分布在呼鲁斯太剖面的羊虎沟组下段和上段上部, 其基本组成自下而上为潮道相、潮坪相(砂坪)、煤层、泻湖相、潮坪相(砂泥混合坪)。潮道相往

往覆于潮坪相(砂坪)之上或直接覆于泻湖相之上, 其岩石类型为灰白色含细砾石英粗砂岩, 发育双向交错层理、楔形交错层理和板状交错层理, 底部存在冲刷面, 自下而上为正粒序构造。潮坪相岩石类型为灰白色薄层细—粉砂岩及其与黑色粉砂质泥岩互层, 发育明显的小型双向交错层理、砂泥互层层理和透镜状层理, 少数层面上可见泥砾和波痕构造。泻湖相岩石类型以灰黑色泥页岩和灰黑色粉砂质泥页岩为主夹黄色薄层条带状细—粉砂岩和菱铁质结核。

3.2 堡岛—台地复合沉积体系

主要分布于呼鲁斯太剖面的靖远组和羊虎沟组中、上段; 其基本组成自下而上为潮道相、潮坪相、泻湖相、潮坪相、浅海台地相、泻湖相、煤层。潮道相岩石类型为灰白色厚层含细砾石英粗砂岩、灰色中层石英粗砂岩, 向上出现褐色薄层泥质粉砂岩, 含较多的云母片和植物碎片, 发育典型的双向交错层理, 一般底部存在冲刷面, 具有典型的正粒序构造。泻湖相岩石类型为黑色泥页岩夹菱铁质结核。台地相岩石类型为土黄色厚层生物碎屑泥灰岩, 含丰富的腕足、海百合和珊瑚、苔藓、动藻迹等, 灰岩层顶部多为紫红色菱铁质层, 含植物根化石。灰岩中生物碎屑含量不同, 反映了碳酸盐台地水体的深浅与开阔程度的变化。浅海泥岩往往伏或覆于台地灰岩之下或之上, 普遍含钙质, 有的含较多的海百合茎和小个体腕足化石, 或夹泥灰岩透镜体, 代表了海侵和海退时期的浅海相沉积。煤层多位于浅海泥或台地灰岩和泻湖相泥页岩底部、中部和潮坪相(泥坪和砂泥混合坪)顶部, 代表了海退—海侵间隔期的泥炭坪沉积环境。

3.3 潮控三角洲沉积体系

主要分布在呼鲁斯太剖面 and 卡布其剖面的太原组, 其基本组成自下而上为前三角洲相、三角洲前缘相和三角洲平原相。前三角洲相主要为灰黑色薄层粉砂质泥岩、泥岩页, 代表了远滨相或浅海相沉积环境。三角洲前缘相主要为灰黑色粉砂质泥页岩, 粉砂岩、细砂岩和粗石英砂岩, 自下而上粒度变粗, 显示逆粒序特征, 其亚相组成主要为潮坪相, 是三角洲前缘沉积物受到潮汐流改造的结果。三角洲的水上部分主要由三角洲间和三角洲平原两部分组成。三角洲间沉积物主要为泥坪和泥炭坪的黑色泥页岩和煤层, 含植物根化石。三角洲平原沉积物为分流河道环境的灰色巨厚层含砾粗砂岩和灰绿色厚层粗砂

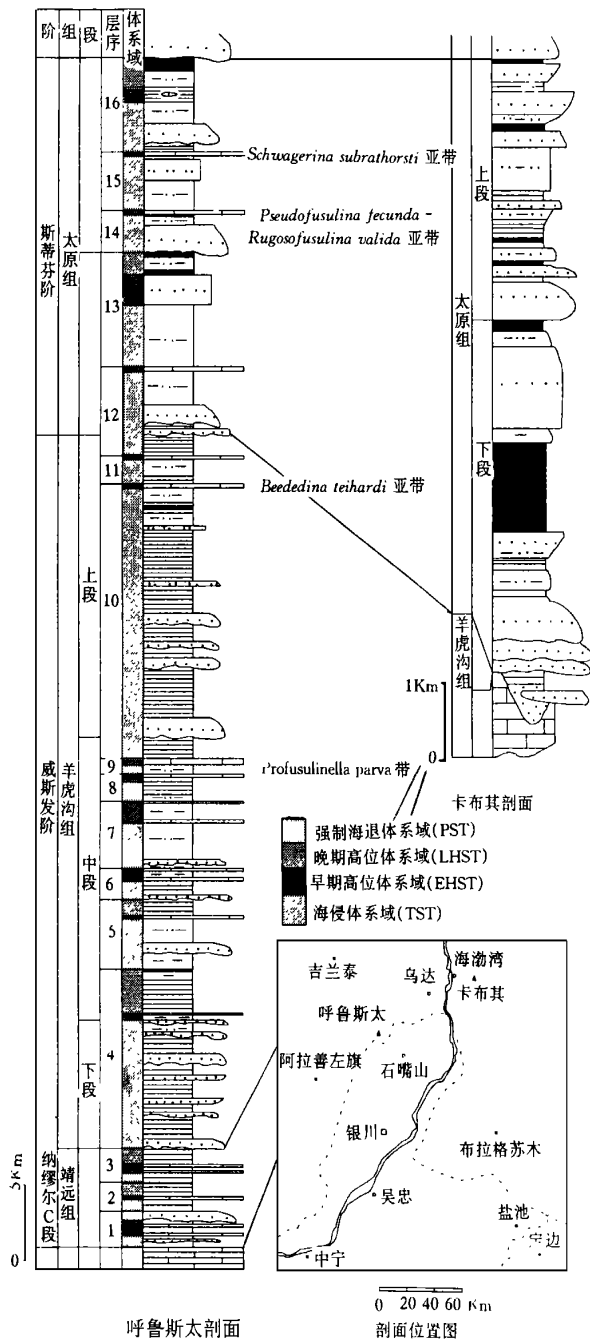


图 3 鄂尔多斯盆地西缘晚石炭世层序地层划分与对比

Fig. 3 Late Carboniferous sequence stratigraphy of the western Ordos basin

岩, 发育槽状交错层理和板状交错层理, 底部存在冲刷面。

4 高频层序划分与组成

鄂尔多斯盆地西缘呼鲁斯太剖面位于区域沉积中心, 沉积厚度较大, 各旋回地层发育良好, 有明显的海相生屑灰岩和煤层等标志层。上石炭统可以划分出 16 个海进—海退层序^[11] (图 3), 其中靖远组

分 3 个层序, 羊虎沟组分 8 个层序, 太原组分 5 个层序。每个层序由海侵体系域和早期高位体系域、晚期高位体系域组成, 一般晚期高位体系域不发育, 偶见强制海退体系域^[12]。

海侵体系域由堡岛临滨相、障后泻湖相、泥炭坪及冲越相、潮道相和潮坪相等组成, 代表了相对海平面的缓慢抬升。早期高位体系域为台地生屑灰岩、泥灰岩和海相泥岩, 代表了凝缩层沉积。泥灰岩下部化石较多、保存好, 向上化石相对较少、含植物茎、保存差。而且灰岩顶面多为紫红色菱铁质层, 且含较多泥质, 反映了水体由深到浅的变化。在高水位期, 可以见到灰岩层和泻湖相泥岩的多次交互, 并且最下部的灰岩分布广且厚, 上部两层灰岩均呈透镜状或串珠状分布于泻湖相泥岩中, 反映了泻湖与外海的连通性越来越差。在晚期高位体系域时, 随着陆源物质的不断持续供应, 盆地有效容纳空间减少, 主要以泻湖相沉积为主。之后泻湖转变为有利于泥炭堆积的沼泽或泥炭环境, 形成煤层。但相对海平面快速下降时, 则形成强制海退体系域, 表现为前滨相障壁岛砂体直接覆于海相层或泻湖相泥岩之上。在靖远组层序 1 顶部砂岩就代表了海退期前滨沉积。该砂岩发育海滩冲洗层理、双向交错层理, 自 NE 向 SW 方向进积, 向北砂岩厚度由 200 m 很快变薄到 1~2 m。

5 层序界面类型

5.1 海侵面

当相对海平面上升时, 前滨带以侵蚀形式向陆后退迁移^[13], 形成海侵侵蚀面^[14] (图 4)。这种由于海侵作用造成的后退临滨砂坝, 在以后的海退过程中被改造或保存, 称为“废弃海侵砂坝^[15]”。剖面可见到障壁岛相砂体夹在障后泻湖相泥岩中, 砂体底面为海侵侵蚀面。另外一种类型的海侵面, 其侵蚀作用并不明显。在障后泻湖环境, 随着地层基准面或相对海平面缓慢抬升, 有利于形成泥炭坪或沼泽环境, 从而导致稳定煤层覆于泻湖相泥岩之上, 所以稳定煤层的底面代表了海侵面。

5.2 最大海侵面

当相对海平面上升到最高位置时, 沉积物主要为海相泥岩和海相生屑泥灰岩, 其底面代表了最大海侵面, 它具有盆地规模的等时意义。

5.3 海退面

在快速海退中, 海退面往往位于生屑灰岩和灰

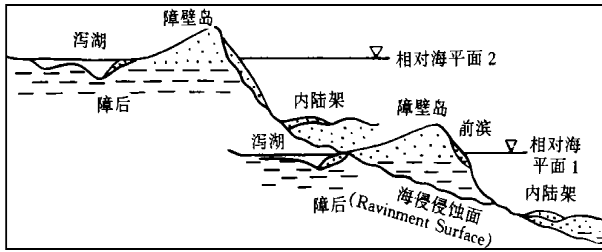


图 4 障壁岛沉积体系的海侵侵蚀面^[4]

Fig. 4 Ravinment surface of byrrier system(after numedal D and Swift D J P, 1987)^[4]

岩顶面, 有较多的氧化铁质和植物茎。在慢速海退中, 随着陆源输入增多, 在海退顶面可能会有不稳定煤层。

6 古海平面变化规程与古海岸平原层序地层模式

6.1 古海平面变化规程

海侵速率是影响地层层序特征和保存的主要因素之一^[16]。Exxon 层序地层模式反映的古海平面变化为缓慢海进—快速海退形式。PAC 旋回^[17]反映的海平面变化是快速海进—缓慢海退形式。所以, 在地质历史上存在两种类型海侵—即快速事件性和慢速渐进式^[18]。两种形式都反映了海平面变化是不连续的过程。一般认为: 冰川型海平面上升速率很快, 为 2.4 cm/a^[16], 比如晚古生代、晚更新世—全新世。它们有利于下伏地层的保存。构造型(被动大陆边缘热收缩和盆缘的幕式构造运动)海平面上升速率较慢, 为 0.002~0.004 cm/a^[16], 这比冰川型海平面上升慢 1 千倍, 这种海侵不利于下伏地层的保存。

图 5 反映了鄂尔多斯盆地西缘晚石炭世相对海平面变化为先慢速而后快速海侵和快速海退, 少数为正常海退。晚石炭世总体上构成一个大的海侵—海退旋回, 相当于二级海平面变化旋回。内部可划分出五次最大海侵期, 相当于三级海平面变化旋回。最大海侵期是在威斯发早期, 这次海侵使得沉积范围扩大到卡布其一带。晚石炭世初首先表现为海侵, 石炭纪末表现为大的海退。本区之所以保存了较好的海侵层序, 是因为在慢速海侵晚期相对海平面上升表现为快速事件性, 从而沉积了大范围的海相生物泥灰岩。

6.2 古海岸平原层序地层模式

当相对海平面持续上升时, 海岸带由海向陆后

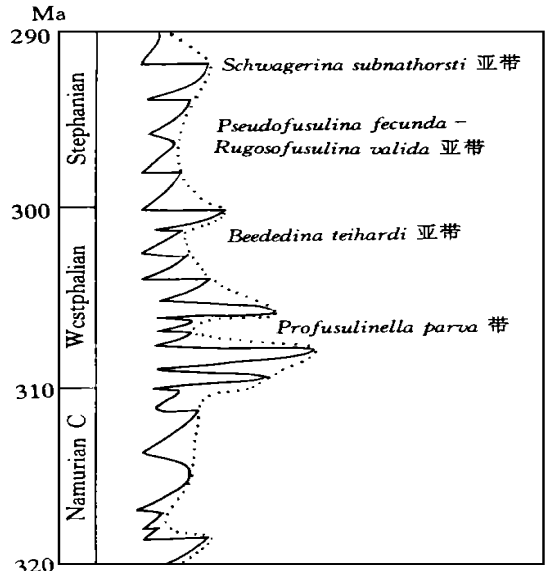


图 5 鄂尔多斯盆地西缘晚石炭世相对海平面变化曲线

Fig. 5 Relative sea level change of Late Carboniferous in the western Ordos basin

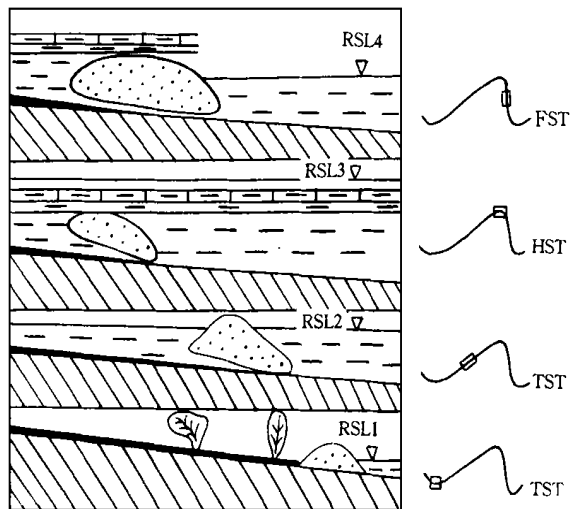


图 6 古海岸平原层序地层模式

Fig. 6 Sequence stratigraphic model of paleo-coastal plain

退。障壁岛通过海侵侵蚀使临滨后退机制^[13]向陆迁移, 导致在泻湖相泥岩中夹有许多废弃海侵砂坝。同时潮道相和越岸相砂岩也输入到障后泻湖中, 所以此阶段可见到泻湖相泥岩夹多层潮道、潮坪相或临滨相砂体, 二者之间存在一个冲刷面。由于相对海平面的抬升, 还导致障后泻湖环境的地下潜水面升高, 形成有利于泥炭堆积的泥炭坪和木质沼泽环境^[19](图 6)。

当相对海平面快速上升到最高位置时, 海域范围达最大, 沉积了海相泥岩和生物碎屑泥灰岩, 古海

岸平原的广大范围被浅海或碳酸盐台地覆盖。在相对海平面快速下降时,海相泥灰岩直接暴露地表,形成低位海退面,或者产生障壁岛临滨相砂体直接覆于海相泥岩之上,形成强制海退沉积体系域^[12]。在相对海平面缓慢下降时,则出现泻湖相沉积,随着陆源物质输入增多,逐渐形成潮坪相和泥岩沼泽的成煤环境。

7 晚石炭世高频层序旋回及其它地区对比

本区晚石炭世从靖远组到太原组可以划分出16个海侵—海退层序旋回,时代为从纳缪尔C期至斯蒂芬期,地质时间为320~290 Ma,跨时30 Ma。每个层序旋回的时限为1.1~3.3 Ma,平均1.9 Ma,相当于四级相对海平面变化旋回,属高频层序旋回。

鄂尔多斯盆地西缘晚石炭世高频层序旋回可与世界其它地区对比。Ross等^[20]将北美中大陆晚古生代地层划分为60个海侵—海退层序旋回,各旋回时限为1.2~4 Ma,反映了幅度为100~200 m的全球海平面变化,海平面变化表现为缓慢上升和快速下降的特点,这与本区极为相似。从全球看,中石炭世(纳缪尔期)在330 Ma附近有一个重要的全球海平面波动事件^[21]。事件开始为海退,随后是短暂的海侵(328 Ma)、结束于更大的海侵(325 Ma),它覆盖了世界上大面积的陆架和台区。这次事件在北美、欧洲、北非和澳大利亚均有明显表现,同时还有全球动物群分异度的显著波动和火山作用。这种全球海平面变化在中国的华北、华南^[22,23]和鄂尔多斯盆地均有明显表现。Veevers等^[24]将这种全球海平面波动事件归于晚古生代冈瓦纳大陆冰川的消融。

筭和双壳类化石组合^[6,8]都表明晚石炭世早期(靖远组)和中期(羊虎沟组)海侵来自南南西方向的祁连海,当时古地理格局为广阔的潮坪—海湾环境,盆地中部的古陆阻挡了祁连海的向东推进。盆地西缘的呼鲁斯太剖面海相灰岩层比较发育,向北、东的乌达、卡布其、雀儿沟和砂巴台剖面几乎没有海相灰岩层。在贺兰山南段苏峪口剖面仅有泻湖相泥质白云岩条带,无动物化石出现,说明呼鲁斯太剖面位于盆地中心位置。晚石炭世的羊虎沟组晚期至太原早期,盆地西缘祁连海处于海退期,而东部的华北海则不断海侵。到太原晚期的庙沟海侵期,华北海与祁连海最终汇合,致使东西筭类面貌相似。呼鲁斯太

剖面层序14、15灰岩,分别相当于庙沟灰岩和毛尔沟灰岩,层序16的灰岩透镜体相当于斜道灰岩。到太原最晚期的华北海东大窑海侵期,西部祁连海则出现广泛海退。由上可见,盆地西部祁连海和东部华北海,在高频的相对海平面变化方面并不完全同步。

8 结论

(1)鄂尔多斯盆地西缘晚石炭世地层自下而上包括靖远组、羊虎沟组和太原组。发育有堡岛沉积体系、堡岛—台地复合沉积体系和潮控三角洲沉积体系。

(2)呼鲁斯太剖面上石炭统可以划分出16个海进—海退层序。每个层序由海侵体系域和早期高位体系域、晚期高位体系域组成,偶发育有强制海退体系域。地层中可以识别出海侵面、海退面和最大海侵面三类层序界面。

(3)呼鲁斯太剖面晚石炭世海侵—海退层序旋回时限为1.1~3.3 Ma,平均1.9 Ma,相当于四级相对海平面变化旋回,属高频层序旋回。

(4)鄂尔多斯盆地西缘晚石炭世相对海平面变化表现为先慢速后快速海侵和快速海退,少数为正常海退。晚石炭世初首先表现为海侵,石炭纪末表现为大的海退,其总体上构成一个大的海侵—海退旋回,相当于二级海平面变化旋回。内部可划分出五次最大海侵期,相当于三级海平面变化旋回。最大海侵期是在威斯发早期。

(5)在相对海平面持续上升过程中,古海岸平原有利于形成废弃海侵砂坝,其底部为海侵侵蚀面。同时在障后泻湖环境有利于形成成煤泥炭坪。在快速海侵时,广泛发育海相生屑泥灰岩和泥岩,代表了凝缩层沉积。随着相对海平面的快速下降,泥灰岩直接暴露地表,形成低位海退面,或形成障壁岛临滨相砂体直接覆于海相泥岩之上,构成强制海退体系域。

(6)鄂尔多斯盆地西缘晚石炭世早中期海侵来自祁连海,至太原晚期,西部祁连海与东部华北海连为一体。

参 考 文 献

- 1 刘志才.宁夏卫宁北山的石炭系及其对比[J].宁夏地质,1990,2:117~128
- 2 吴秀元,李星学,沈光隆等.甘肃靖远石炭系研究新进展[J].地层

- 学杂志, 1987, 11(3): 163 ~ 175
- 3 张抗. 鄂尔多斯断块构造和资源[M]. 西安: 陕西科技出版社, 1989
 - 4 霍福臣. 宁夏地质概论[M]. 北京: 科学出版社, 1989
 - 5 袁效奇, 耿国仓. 鄂尔多斯盆地西缘石炭纪古生态、古地理及古气候初步认识[J]. 地层学杂志, 1987, 11(3): 180 ~ 186
 - 6 王玉净, 袁效奇, 耿国仓. 鄂尔多斯盆地石炭纪笔石类研究新进展及其古地理面貌初探[J]. 微体古生物学报, 1992, 9(2): 127 ~ 150
 - 7 陈芬, 周鸿瑞, 孙克勤等. 宁夏及邻区石炭纪植物群[J]. 现代地质, 1995, 9(1): 1 ~ 9
 - 8 崔新省, 周鸿瑞, 贾进华. 鄂尔多斯盆地西缘中宁、乌达地区石炭纪海相双壳类[J]. 现代地质, 1994, 8(4): 403 ~ 412
 - 9 Sengor A M, Burke, Dewey J F. Rifts at high angles to orogenic belts; tests for their origins and the upper Rhine Graben as an example[J]. Am. Jour. Sci., 1978, 278: 24 ~ 40
 - 10 张福礼, 黄舜兴, 杨昌贵等. 鄂尔多斯盆地天然气地质[M]. 北京: 地质出版社, 1994
 - 11 Busch R M, Rollins H B. Correlation of Carboniferous strata using a hierarchy of transgressive—regressive units[J]. Geology, 1984, 12: 471 ~ 474
 - 12 Posamentier H W, Allen G P, James D P, Tesson M. Forced regressions in a sequence stratigraphic framework: Concepts examples and exploration significance[J]. AAPG Bulletin, 1992, 76: 1687 ~ 1709
 - 13 Swift D J P. Coastal erosion and transgressive stratigraphy[J]. Journal of Geology, 1968, 76: 444 ~ 456
 - 14 Nummedal D, Swift D J P. Transgressive stratigraphy at sequence—bounding unconformities; some principles derived from Holocene and Cretaceous examples[R]. The society of Economic Paleontologists and Mineralogists, 1987, 241 ~ 260
 - 15 Wills A J, Moslow T F. Stratigraphic setting of transgressive barrier— island reservoirs with an example from the Triassic Halfway Formation, Wenbley Field, Alberta, Canada[J]. AAPG Bulletin, 1994, 78(5): 775 ~ 791
 - 16 Kamola D L, Huntoon J E. Changes in rates of transgression across the Permian White Rim sandstone, Southern Utah[J]. Journal of Sedimentary Research, 1994, B64(2): 202 ~ 210
 - 17 Goodwin P W, Anderson E J. Punctuated aggradational cycles: a general hypothesis of episodic stratigraphic accumulation[J]. Journal of Geology, 1985, 93: 515 ~ 533
 - 18 何起祥, 业治铮等. 受限陆表海的海侵模式[J]. 沉积学报, 1991, 9(1): 1 ~ 10
 - 19 Ainsworth B R. Marginal marine sedimentology and high resolution sequence analysis; Bearpaw — Horseshoe Canyon transition, Drumheller, Alberta[J]. Bulletin of Canadian Petroleum Geology, 1994, 42(1): 26 ~ 54
 - 20 Ross C A, Ross J R P. Late Paleozoic depositional sequences are synchronous and worldwide[J]. Geology, 1985, 13: 194 ~ 197
 - 21 Saunders W B, Ramsbottom W H C. The mid— Carboniferous eustatic event[J]. Geology, 1986, 14: 208 ~ 212
 - 22 刘本培, 李儒峰, 尤德宏. 黔南独山石炭系层序地层及麦粒蜓带冰川型全球海平面变化[J]. 地球科学, 1994, 9(2): 553 ~ 564
 - 23 杨瑞东. 华南地区石炭纪海平面波动与沉积效应[J]. 云南地质, 1993, 12(2):
 - 24 Veevers J J, Powell C M. Late Paleozoic glacial episodes in Gondwanaland reflected in transgressive— regressive depositional sequence in Euramerica[J]. GSAB 1987, 98: 457 ~ 487

Late Carboniferous Depositional Systems and High-Resolution Sequence Cycles of the Western Ordos Basin —Taking Hulusitai Section as an example

JIA Jin-hua¹ LIU Huan-jie² GUO Ying-hai²

1 (Research Institute of Petroleum Exploration and Development CNPC Beijing 100083)

2 (China University of Mining and Technology Xuzhou Jiangsu 221008)

Abstract

The tectonic setting of the study area was aulacogen in Mesoproterozoic to Early Paleozoic, and impactogen in Late Paleozoic. The lithostratigraphic units contain Jingyuan Formation, Yanghugou Formation and Taiyuan Formation during Late Carboniferous in Hulusitai section of Ordos basin. Based on the study of high resolution sequence cycle and depositional systems, sixteen T-R high-resolution sequence cycles occur from Namurian C stage to Stephanian stage in Late Carboniferous strata. There developed barrier-lagoon systems (Jingyuan Fm. and Yanghugou Fm.), barrier-lagoon with carbonate platform composite systems (Jingyuan

(Continued on page 408)