

文章编号:1001-6112(2002)04-0327-07

鄂尔多斯盆地西南部上古生界 层序地层和沉积体系特征

朱筱敏, 康安, 王贵文, 王力清

(石油大学 地球科学系, 北京 102249)

摘要:该文在现代沉积学和层序地层学理论的指导下,综合利用露头、钻井、测井和地震资料,以层序体系域边界特征为划分依据,将研究区上石炭统至二叠系划分成 3 个沉积层序,并确定了低位、水进和高位体系域的发育情况,明确了滨海沼泽、河流、三角洲、滨浅湖和滩坝等 5 种沉积体系的特征和展布,最后指出了有利的生储盖层发育层段和有利勘探地区。

关键词:沉积体系;层序地层;石炭系和二叠系;鄂尔多斯盆地

中图分类号:TE121.3

文献标识码:A

鄂尔多斯盆地是中国重要的含油气和含煤盆地,面积为 $32 \times 10^4 \text{ km}^2$,上古生界石炭系、二叠系发育良好、分布范围广、厚度大而稳定(400~700m),以一套海陆交互的煤系地层和河湖环境的碎屑岩沉积组合为特征,发育良好的烃源岩和多种类型砂岩储集体。研究区位于鄂尔多斯盆地西南部平凉、铜川和淳化地区,面积约 $5 \times 10^4 \text{ km}^2$ 。该地区目前勘探程度偏低,除有平凉二道沟等多处石炭系、二叠系露头之外,还有十余口钻遇石炭系、二叠系的探井以及沿山沟走向布置的二维地震剖面。根据鄂尔多斯盆地晚古生代整体石油地质特征^[1-3],在现代沉积学和层序地层学理论指导下^[4-6],综合研究平凉二道沟、淳化口镇和耀县石川河 3 个露头剖面、十余口钻井、测井资料和 1 000 多千米的二维地震剖面,建立了上古生界层序地层格架,确定了沉积体系类型和空间展布规律,进行了生储盖初步评价和有利勘探区预测。

1 露头资料层序地层分析

鄂尔多斯盆地西南部上古生界露头主要分布在平凉、淳化、耀县一带,主要出露的地层自下而上为上石炭统太原组、下二叠统山西组和下石盒子组、上二叠统上石盒子组和石千峰组。本文重点以平凉二道沟剖面来介绍露头的层序地层特征。

1.1 层序边界特征及划分

根据岩性、岩相、地层叠置样式及古生物等资料,在露头剖面上识别出 3 个层序边界,分别定名为 SB₁、SB₂ 和 SB₃。3 个层序界面特征明显。SB₁ 为山西组与下伏奥陶系之间的不整合面,其特征为:a)层序界面具陆上暴露特征,奥陶系顶面为风化壳,分布有薄层铝土页岩,厚 2.3m,厚度不均;b)岩性、岩相突变,下伏为海相灰岩,上覆为陆相三角洲沼泽相。SB₂ 为石盒子组与山西组之间的界面,并且具有层序边界的特征,其确定依据为:a)岩性组合突变,界面之下为含煤地层,界面之上为不含煤的互层状砂泥岩;b)界面之下为黑色薄煤层,之上泥岩颜色突变为杂色和棕红色,表明气候的突变;c)岩相突变,下伏为三角洲平原沼泽相,其上为典型河流沉积;d)具有明显的河流深切作用(图 1)。SB₃ 为石盒子组与石千峰组之间的界面,其特征明显,确定依据为:a)岩性组合突变,界面之下为大套灰绿色、棕红色泥岩夹薄层砂岩,界面之上为互层状砂泥岩;b)岩性突变,界面之下为上石盒子组滨浅湖泥岩相,界面之上为典型的河流相;c)沉积旋回突变,界面之下发育自下而上由粗变细再变粗的旋回,界面之上为向上变细的旋回;d)地层叠置样式的转变,由前积式转变为退积式。因此,平凉二道沟露头上古生界地层可划分为 3 个层序(表 1),各沉积层序厚度为 61.5~197.38m。

收稿日期:2001-04-11;修订日期:2002-05-29.

作者简介:朱筱敏(1960—),男(汉族),江苏江都人,教授、博士生导师,主要从事层序地层学和沉积学的教学和科研工作。

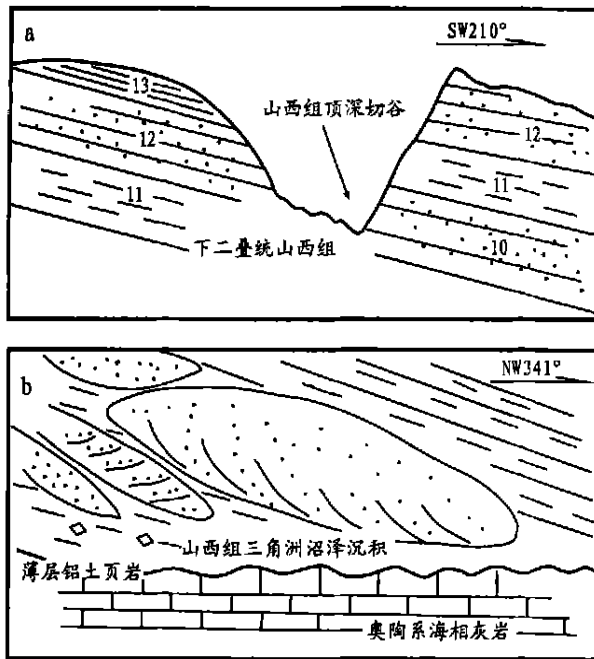


图1 甘肃平凉二道沟下二叠统山西组顶底深切谷和不整合

Fig. 1 Incised valley and unconformity at the top and bottom of the Lower Permian Shanxi Formation in Erdaogou, Pingliang, Gansu province

1.2 体系域特征

体系域是由层序边界、首次湖泛面和最大湖泛面界定的。首次湖泛面形成于首次较大规模或明显的湖进期。最大湖泛面形成于一个层序中最大规模的湖进期,常与沉积物欠补偿面伴生。研究区最典型的最大湖泛面是层序B最大湖泛面,对应露头分层57层的深灰色泥岩厚2.65m,分布广泛,其下伏地层呈退积式叠置,上覆地层呈前积式叠置。首次湖泛面对应露头剖面的44层和109层,该界面表现出岩性和岩相的突变,如层序B首次湖泛面处为河流相厚层砂岩沉积与滨浅湖相灰绿色泥岩沉积突变接触。

平凉二道沟上古生界露头剖面层序A仅由高位体系域三角洲沉积构成,其下部为具同生菱铁矿结核、粉砂岩透镜体的灰黑色碳质页岩及薄煤层(图1),中上部为具大中型槽状交错层理的浅灰色石英砂岩,垂向上构成向上粒度变粗、砂岩加厚、层理规模加大的反旋回沉积。

层序B发育完整的低位、水进和高位体系域。低位体系域由棕灰色厚层长石石英砂岩夹中厚层粉砂质泥岩、泥质粉砂岩构成,具典型的、厚度为6~13m的河流二元结构,发育槽状、板状交错层理,砂岩含量为68%。水进体系域以滨浅湖沉积的灰绿色、棕红色泥岩夹薄层粉细砂岩为特征,单砂层厚度小于3m,发育波状层理及斜坡状交错层理,垂向上

略显一定的退积式地层叠置样式,砂岩百分含量为14%,向上减少,顶部演变为深灰色泥岩。高位体系域发育滨湖相的灰绿色、棕红色泥岩夹薄层粉细砂岩,垂向上构成向上砂岩厚度和含量加大、发育板状和波状交错层理的进积式准层序叠置样式。

层序C由低位和水进体系域组成。低位体系域仍以厚2.5~13m的典型河流二元结构为特征。水进体系域以滨湖的棕红色、灰绿色粉砂质泥岩与长石细砂岩间互为特征,砂岩中砾石顺层分布,发育大型槽状和板状交错层理,垂向组合序列反映了湖泛水进特征。

2 钻井、测井资料层序地层分析

2.1 钻井、测井资料层序边界特征

平凉二道沟野外露头层序地层分析结果为研究盆地内部覆盖区层序地层特征提供了参照依据。根据对研究区十余口井钻井岩性序列和测井曲线特征的综合研究,识别出3个层序边界,同样,可将上古生界划分成3个沉积层序(表2)。

2.2 钻井、测井资料体系域特征

综合岩心、岩屑录井资料,利用测井曲线特征在钻井、测井剖面上识别出最大湖泛面和首次湖进面,进一步划分出低位、水进和高位体系域单元。

低位体系域只发育在B和C层序中,在A层序中缺失,估计位于盆地的中心。在湖盆边缘,其低位体系域以河流相沉积为主,在自然伽马曲线上表现为齿化的箱状和齿化平直线的形态组合,以加积叠置方式为主,垂向上砂泥比变化不大。在盆地内部,低位体系域为滨浅湖相薄层砂泥岩互层,垂向上呈加积叠置样式,自然伽马曲线呈微齿化指形组合(表3)。

表1 甘肃平凉二道沟上古生界层序划分
Table 1 Sequence division of the Upper Paleozoic in Erdaogou, Pingliang, Gansu province

地 层	露头分层号	层序	体系域	沉积环境
上二叠统 石千峰组	76~112	C	TST (110~112)	滨湖
			LST (76~109)	河流
上二叠统 上石盒子组	45~75	B	HST (58~75)	滨湖
			TST (45~57)	滨浅湖
下二叠统 下石盒子组	15~44		LST (15~44)	河流
下二叠统 山西组	1~14	A	HST (1~14)	三角洲

表 2 层序边界特征及其测井响应

Table 2 Characteristics of sequence boundaries and their logging responses



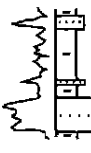
层序划分	层序边界	层序边界特征			
		岩性岩相特征	地层叠置样式	气候特征	暴露特征
层序 C TST LST	层序 C 底 边界 SB ₃	下伏三角洲平原 泥岩突变为河流 相砂岩	具漏斗形自然伽马 曲线的三角洲前积 序列突变为具箱形 自然伽马曲线的河 流加积序列	干旱	
层序 B HST TST LST	层序 B 底 边界 SB ₂	下伏三角洲平原 泥岩突变为河流 相砂岩	低电阻、高伽马三 角洲平原泥岩夹 砂岩序列突变为 高电阻、低伽马河 流相厚层砂、泥岩 间互序列	干旱 潮湿	
层序 A HST	层序 A 底 边界 SB ₁	下伏奥陶系碳酸 盐岩突变为太原 组、山西组滨海沼 泽相煤系地层	高电阻、加积式碳 酸盐岩突变为低 电阻滨海沼泽相 泥岩	潮湿	不整合面 之上铝土 页岩, 自然 伽马值高 达 225API

水进体系域在 A、B 和 C 3 个层序中均有发育, 分布范围较相应层序中低位体系域要广泛。在盆地边缘, 以水进三角洲沉积为主, 形成退积式地层叠置样式, 砂岩层厚度向上减薄、含量减少, 自然伽马曲线由下而上由箱形到指形到平直泥岩基线, 总体构成复合钟形形态组合。在盆地内部为退积式滨浅湖沉积, 垂向上呈齿化的指形, 总体上构成一钟形组合, 异常幅度小, 特征不明显, 其顶部凝缩层特征明显, 容易识别(表 3)。

高位体系域在盆地边缘表现为向上呈前积式地

表 3 体系域地层叠置样式及主要沉积体系类型

Table 3 Main types of depositional systems and stratigraphic superimposition styles of system domains

地 层	层序及体系域	地层叠置样式	主要沉积体系
石千峰组	层序 C TST LST		滨浅湖 河流三角洲
石盒子组	层序 B HST TST LST		三角洲 滨浅湖 河流
山西组 太原组	层序 A HST TST		三角洲 滨海沼泽

层叠置样式的水退式三角洲沉积, 在自然伽马曲线上表现为指形、箱形, 自下而上总体上构成一个复合漏斗形; 在盆地内部高位体系域沉积序列则由齿化的指形构成不太明显的漏斗形(表 3)。

3 地震资料层序地层分析

3.1 地震层序的划分及特征

在地震剖面上, 利用地震反射终端关系及反射波组特征, 识别出 T_{8上}、T_{8下} 和 T₉ 3 个地震层序反射界面, 相应地将上古生界划分成 2 个地震层序, 进而利用旬探 1、耀参 1 井等 5 口井的合成地震记录及 VSP 资料对地震层序进行了标定, 确定其分别对应于依据钻井资料划分的 B 和 C 层序, 明确了地震层序的年代地质意义(图 2)。

地震层序 B 由 3~7 个反射同相轴组成, 连续性好、中弱振幅, 其顶 T_{8下} 具有顶超反射, 其底 T₉ 以下伏地层的削截为特征。地震层序 C 由 5~8 个反射同相轴组成, 连续性差, 反射振幅较弱, 顶界 T_{8上} 被上覆地层上超并被下伏地层顶超。由于研究区层序 A 层序厚度偏薄和地震分辨率的限制, 目前尚不能在地震剖面上将依据钻井资料划分的层序 A、B 区分开来(图 2)。

3.2 露头、钻井和地震资料的层序地层对比

露头、钻井和地震资料的层序划分和对比研究表明, 尽管不同资料的垂向分辨率不同, 但是层序划分的结果是基本一致的(表 1、2、3)。

根据研究区地层展布和井网分布特征, 本文研

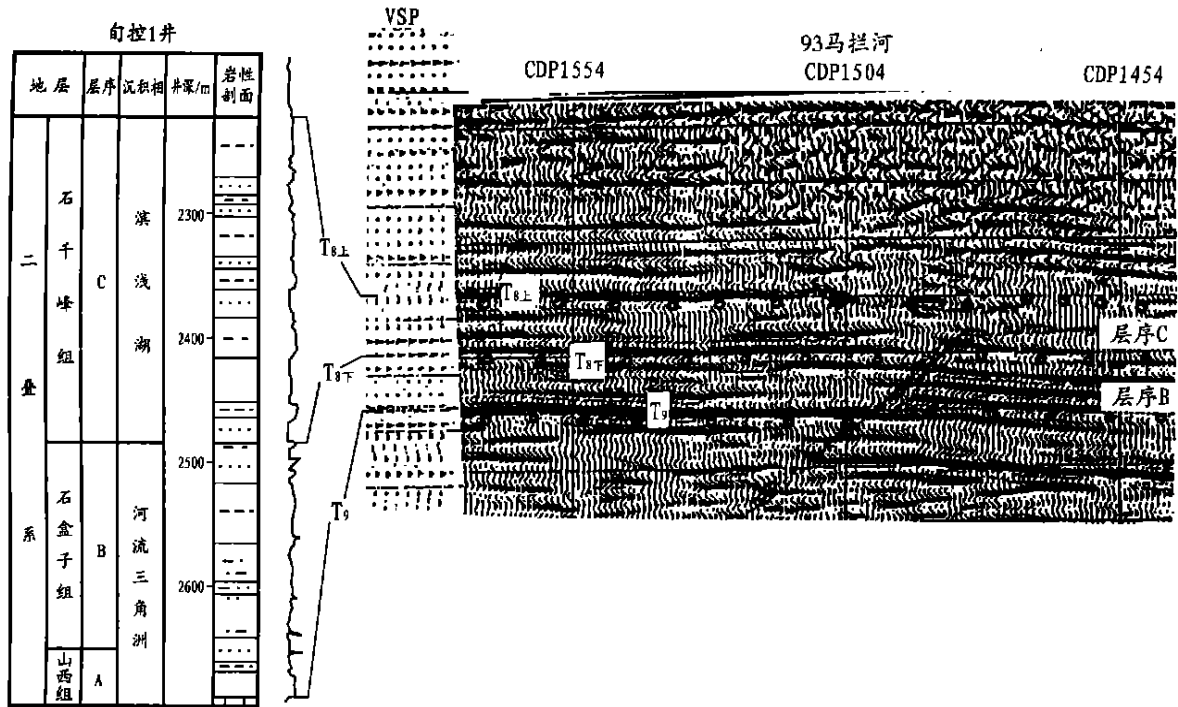


图2 地震测线93马拦河的地震层序划分及标定

Fig. 2 Seismic sequence division and demarcation in Line 93 Malanhe

究了多条纵横向露头、钻井、地震综合对比剖面特征,即a)不同井区层序发育的完整性不同,在盆地边缘仅发育层序B、C,而在盆地内部则发育完整的3个层序A、B、C;b)不同类型体系域内沉积体系特征不同,低位体系域多以河流沉积为特征,水进体系域以滨浅湖沉积为特征,高位体系域发育三角洲沉积;c)据露头、钻井资料准确划分层序和识别多种类型体系域,但很难根据地震资料详细划分体系域;d)层序B、C较发育,而层序A由高位和水进体系域或仅由高位体系域组成,每个层序沉积物的垂向变化表现出了明显的旋回性。

4 沉积体系类型及其特征

4.1 沉积体系特征

根据露头、钻井资料的沉积相分析和地震资料的地震相分析,在研究区上古生界识别出了滨海沼泽、河流、三角洲、滨浅湖和滩坝沉积体系。滨海沼泽沉积体系以黑色碳质泥岩夹薄层灰白色细砂岩及煤层为特征;河流沉积由中厚层含砾中粗砂岩与黄绿色砂质泥岩互层构成河流沉积的“二元结构”;三角洲沉积体系以发育多种沉积构造、砂泥岩及煤层构成复合韵律为特征;滨浅湖沉积主要由互层的灰绿色砂质泥岩和中薄层中细砂岩构成;滩坝沉积具有较高的成分和结构成熟度,垂向上表现出典型的


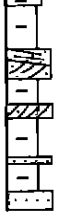



反韵律(表4)。

4.2 沉积体系平面展布特征

在建立研究区层序地层格架的基础上,综合露头、钻井、地震资料,确定了各层序不同体系域的沉积体系类型及其展布。层序A高位体系域(山西组)发育时期,在平凉地区发育了由西南向东北延伸的、三角洲平原亚相发育的浅水三角洲,形成了互层的灰黑色碳质泥岩、浅灰色薄层砂岩及薄煤层。在旬探1、石川河及黄深1井区也存在一个由南向北延伸的三角洲沉积体系,形成了互层的灰白色石英砂岩、灰黑色碳质泥岩及薄煤层。层序B低位体系域以河流和滨浅湖沉积为主,在平凉、石川河地区发育由南向北的河流沉积体系,相应发育了一套由多个厚3~20m的正韵律组成的地层序列,其它地区为滨浅湖沉积(图3)。到了层序B水进体系域发育时期,湖平面上升,可容空间增大,在好时河地区发育一个大型的水进型三角洲,三角洲前缘及前三角洲发育,缺乏三角洲平原沉积。同时,在石川河、口镇也发育一个小型的水进型三角洲。在平凉、庆深1及黄深1井区主要为砂泥岩互层的滨浅湖沉积。在层序B高位体系域发育时期,湖平面下降,物源持续供给,水进期发育的三角洲得以持续发育,但三角洲湖盆延伸更远,三角洲平原沉积较发育(图3)。层序C(石千峰组)沉积环境以广泛展布的滨浅湖环境为特征,低位体系域以河流、三角洲沉积为特征,

表 4 主要沉积体系沉积特征

Table 4 Sedimentary characteristics of main depositional systems

沉积体系类型	岩性特征	沉积构造	电性特征	沉积序列	典型井及层段
滨海沼泽	灰黑色泥岩、碳质泥岩夹浅灰色石英砂岩及薄煤层	砂岩中不发育层理, 泥岩中富含黄铁矿、菱铁矿及植物化石	自然伽马值高, 呈尖峰状; 电阻率高, 井径扩径明显		庆深 1 井, 山西组
滨浅湖	中薄层灰绿色、紫红色砂质泥岩与中细砂岩间互	泥岩具水平层理, 砂岩具波状交错层理和斜坡状交错层理	自然伽马曲线为平直锯齿状与齿化指形组合		庆深 1 井, 下石盒子组
三角洲	浅灰色含砾粗砂岩夹灰绿色泥岩、灰黑色碳质泥岩及薄煤层	砂岩中发育冲刷面、槽状和板状交错层理及波状交错层理, 含菱铁矿结核	自然伽马曲线呈漏斗形——箱形及钟形组合		旬探 1 井, 上石盒子组
河流	中厚层含砾中粗砂岩与黄绿、紫红色砂质泥岩近等厚间互	发育板状交错层理、平行层理、冲刷面及钙质结核	自然伽马曲线表现为齿化箱形与齿化平直泥岩基线间互		薄探 1 井, 下石盒子组
滩坝	灰绿色泥岩与中细砂岩间互, 砂层单层厚度较大, 为 5~10m	发育波状、斜坡状交错层理和小型槽状交错层理	自然伽马曲线为齿化指形或钟形		黄深 1 井, 上石盒子组

到水进期盆地整体沉降, 在研究区主要发育了滨浅湖沉积物, 在黄深 1 井以北地区为相对较深水的浅湖沉积区。

5 油气地质综合评价

研究区上古生界烃源岩主要为 A 层序高位体系域的碳质泥岩及少量煤层。暗色碳质泥岩有机碳含量为 0.71% ~ 6.62%, 平均为 2.42%; 氯仿沥青

“A”含量平均为 0.015 3%, 干酪根类型为 I 型。其它层序中泥岩有机碳含量很低, 没有生烃能力。层序 A 碳质泥岩厚度为 0 ~ 90m, 在庆阳和耀参 1 井区厚度最大, $R_o = 1.75\% \sim 3.0\%$, 是研究区主要的生气中心。

根据露头、钻井资料对砂岩储层的研究, 研究区上古生界砂体储集物性较差。其中, 以层序 A 高位体系域三角洲分流河道及河口坝砂体和层序 B 低位体系域河道砂体储集物性最好, 孔隙度为 7.8%

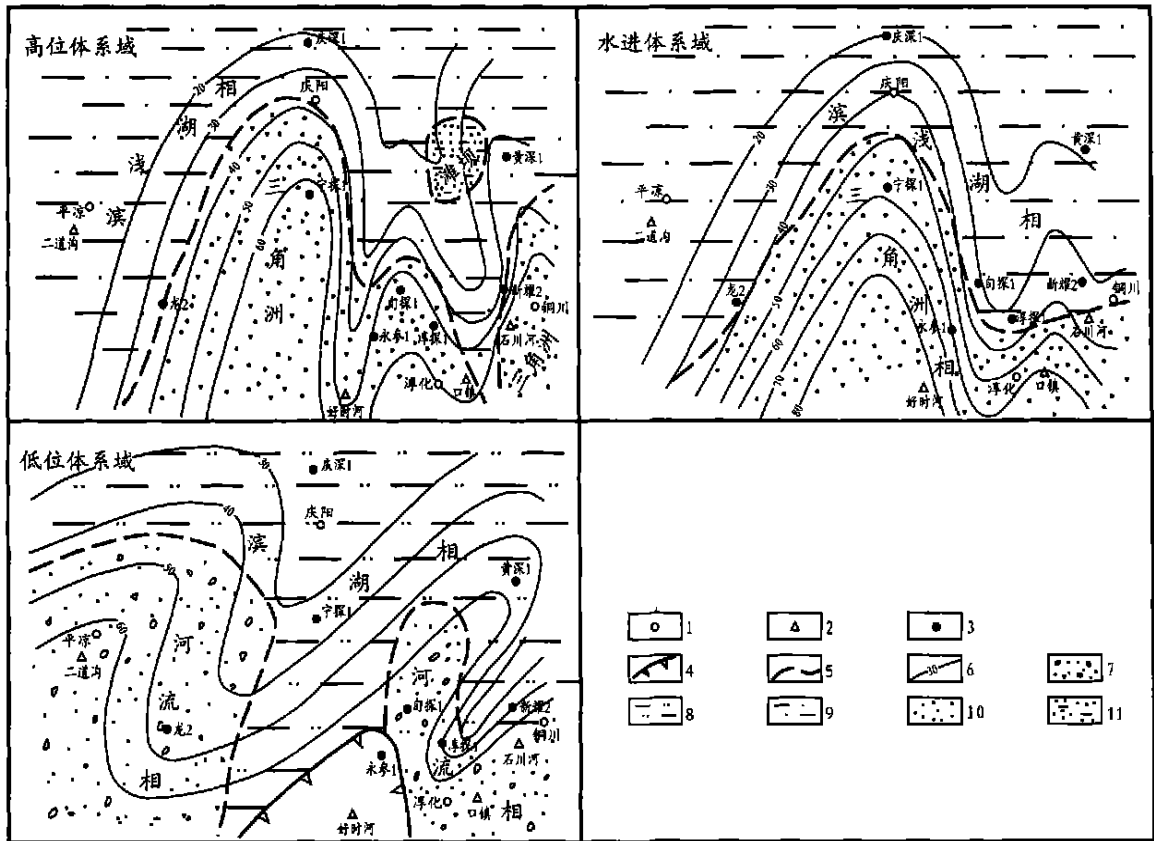


图3 鄂尔多斯盆地西南部上古生界层序B 低位、水进和高位体系域沉积相图

1. 地名; 2. 露头; 3. 井位; 4. 尖灭线; 5. 相边界; 6. 砂岩百分比; 7. 河流相; 8. 滨湖相; 9. 滨浅湖相; 10. 三角洲相; 11. 滩坝相

Fig. 3 Sedimentary facies diagram of lowstand, transgressive and highstand system domains for the Upper Paleozoic Sequence B in the southwestern part of the Ordos Basin

~10.9%, 渗透率为 $0.9 \times 10^{-3} \sim 1.8 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$ 。研究区B 层序水进和高位体系域的滨浅湖相泥岩是很好的区域性盖层, 其单层厚度大, 一般为10~20m; 连续性好, 在地震剖面上可追踪20~30km; 封盖性强, 渗透率一般为 $1 \times 10^{-7} \mu\text{m}^2$, 排替压力为6.0 MPa, 有效地阻止了油气的逸散。

研究区上古生界生储盖综合研究表明, 烃源岩主要发育于层序A 高位体系域暗色碳质泥岩之中; 储集层主要为层序A 高位体系域三角洲分流河道和层序B 低位体系域河道砂体, 储层横向连通性偏差, 易形成地层岩性圈闭; 盖层连通性好、分布稳定、封盖性好, 主要为层序B 水进和高位体系域滨浅湖相泥岩。目前油气勘探实践已证明, 在研究区寻找构造圈闭是困难的, 今后应加强对平凉地区和黄深

1 井层序A 高位体系域三角洲(山西组)和旬探1 井以北层序B 低位体系域河道砂体的综合勘探。

参考文献:

[1] 杨华, 张军, 王飞雁, 等. 鄂尔多斯盆地古生界含气系统特征[J]. 天然气工业, 2000, 20(6): 7-11.
 [2] 赵林, 夏新宇, 戴金星, 等. 鄂尔多斯盆地上古生界天然气富集的主要控制因素[J]. 石油实验地质, 2000, 22(2): 136-139.
 [3] 李思田. 鄂尔多斯盆地东北部层序地层学及沉积体系分析[M]. 北京: 地质出版社, 1992. 1-194.
 [4] 朱筱敏. 层序地层学[M]. 山东东营: 石油大学出版社, 2000. 1-207.
 [5] Emery D. Sequence stratigraphy[M]. Oxford: Blackwell Science, 1997. 1-297.
 [6] 王宜林. 第五届全国沉积学及岩相古地理学学术会议论文集[C]. 乌鲁木齐: 新疆科技卫生出版社, 1997. 1-631.

THE UPPER PALEOZOIC SEQUENCE STRATIGRAPHIC AND SEDIMENTARY SYSTEM CHARACTERISTICS OF THE SOUTHWEST ORDOS BASIN

ZHU Xiao-min, KANG An, WANG Gui-wen, WANG Li-qing

(*Department of Geosciences, Petroleum University, Beijing 102249, China*)

Abstract : Guided by the theories of modern sedimentology and sequence stratigraphy, comprehensively using the outcrop, drilling, logging and seismic data and based on the boundary characteristics of the sequence system domains, the Upper Carboniferous-Permian strata of the study area were divided into three sedimentary sequences. The development information of the lowstand, transgressive and highstand system domains was ascertained, and the characteristics and distribution of seamount, river, delta, shore shallow-lake and beach dam these five sedimentary systems were indicated. At last, the favorable developing sequences of source rocks, reservoirs and covers and areas for exploration were suggested.

Key words : sedimentary system; sequence stratigraphy; Carboniferous-Permian; the Ordos Basin

(continued from page 326)

ANALYSIS ON THE ENRICHMENT AND ACCUMULATION TYPES OF HYDROCARBON IN THE SOUTHWESTERN SEA AREA OF THE SOUTH CHINA SEA

LIU Bao-ming^{1,2}, XIA Bin¹, LIU Zhen-hu², WANG Yan-tang²

(1. *Guangzhou Institute of Geochemistry, Chinese Academy of Sciences, Guangzhou, Guangdong 510640, China;*

2. *Guangzhou Marine Geological Survey, Ministry of Land & Resources, Guangzhou, Guangdong 510760, China*)

Abstract : The study area is located on the collision, underthrusting and accretion parts of plates and landmasses in the southern part of the South China Sea. Based on the study of regional geologic structural background and regional stratigraphic correlation, some kinds of traps and five kinds of related reservoirs were classified. According to the results from basin simulation and petroleum system research, the characteristics, pool-forming factors and exploration prospects of each type of reservoirs were analysed, and the pool-forming times and favorable distribution areas of the reservoir types similar to the oil and gas fields found were pointed out. This will provide scientific bases for hydrocarbon exploration.

Key words : trap; accumulation; oil and gas; the South China Sea