

doi:10. 6053/j. issn. 1001-1412. 2016. 03. 011

六盘山盆地石炭系一二叠系成藏组合 特征分析与评价

谢青¹, 杨兴科¹, 江宽², 杨龙伟¹, 张正民¹

(1. 长安大学地球科学与资源学院, 西安 710054; 2. 中国石油西部管道兰州输气分公司, 兰州 730070)

摘要: 六盘山盆地区域构造位置特殊, 是一个多组多期构造带和地块交汇叠合部位。据野外调研, 油气显示出露多, 表明盆地具有一定的生油气潜力。为了探明六盘山盆地石炭系一二叠系的地质背景、烃源岩、储层及成藏组合等, 采用野外调研、实验分析、拟编、标准界定等方法, 对石炭系一二叠系石油地质条件及成藏组合进行了分析和评价。结果表明, 六盘山盆地大地构造背景复杂, 石炭系发育良好, 属于滨海、潟湖、沼泽、海陆交互相等; 厚层灰-黑色页岩、泥岩、碳质泥岩可以作为有利的生油气层。二叠系分布局限, 属于河流、湖沼相沉积, 发育了中-细粒岩屑砂岩及长石岩屑砂岩, 以剩余粒间孔、溶蚀粒间孔为主, 物性相对较好, 总体属于中低孔、低渗型储集层。石炭系形成了两套成藏组合——自生自储和下生上储成藏组合; 二叠系在下生上储中发挥良好储层的作用。

关键词: 烃源岩; 储层; 成藏组合; 石炭系一二叠系; 六盘山盆地

中图分类号: P536; P618.130.21 **文献标识码:** A

0 引言

六盘山盆地的系统基础地质工作主要是宁夏地质调查院先后实施的1:5万、1:20万和1:25万区域地质调查及其矿产资源普查。在20世纪50年代, 六盘山盆地由于其众多的油气显示而引起重视。自1955年以来, 先后有地矿系统、中国石化集团公司、中国石油集团公司、长庆油田、胜利油田、土哈油田、江汉油田等多家单位采用野外地质调查、重力、磁法、电法、地震、钻井、化探等多种方法对六盘山盆地进行过普查工作。地质学家和石油勘探专家分别对六盘山盆地的演化、油气资源形成条件及勘探前景进行了研究。黄汲青(1955)主要研究了鄂尔多斯西沿(六盘山盆地东麓附近)大地构造轮廓与找油方向; 杨福忠等(1995)认为六盘山盆地主要发育地层

为石炭系、二叠系、侏罗系、白垩系和第三系; 张彦杰等(2002)认为六盘山地区下白垩统构成一系列完整的内陆盆地充填三级层序; 屈红军等(2003)将下白垩统六盘山群划分为一个沉积层序, 分别由低位体系域、湖侵体系域和高位体系域构成; 巴秀娥等(2006)认为六盘山盆地形成了新生界下生上储式和白垩系自生自储式等多套良好的生储盖组合, 具有可观的勘探前景。

在过去的半个世纪里, 对六盘山盆地白垩系的研究较多, 而对前白垩系的研究较少。我们在同心小红沟发现了石炭系中的灰岩晶洞原油, 并显示具有一定的油气资源远景。为了解石炭系一二叠系的油气成藏条件, 本文对六盘山盆地石炭系一二叠系的地质背景、生油岩、储层、成藏组合进行研究及评价。

收稿日期: 2016-03-30; 改回日期: 2016-07-04; 责任编辑: 余和勇

基金项目: 中国地质调查局地质调查工作资金项目(编号:12120113039900)和中央高校基金“优秀博士学位论文”项目(编号:310827165013)资助。

作者简介: 谢青(1987—), 女, 博士研究生, 主要从事油藏描述、资源评价预测及成矿研究。通信地址: 西安市雁塔路126号, 长安大学地球科学与资源学院; 邮政编码: 710054; E-mail: xieqingsunny@163.com

1 六盘山盆地地质概况

1.1 盆地形成的构造背景

六盘山盆地的形成受多期构造控制,变形改造时代新,成盆动力学条件复杂(翟光明等,2002)。盆地的大地构造位置为华北地块西南缘和祁连—秦岭构造带的结合部位(图 1)^[1-3]。六盘山盆地演化主要经历了元古宙“秦祁贺”三叉裂谷发育阶段^[4]、寒武纪—奥陶纪被动陆缘盆地发展阶段、志留纪—泥盆纪前陆盆地发育阶段、石炭纪—二叠纪类克拉通发育阶段、侏罗纪—白垩纪断陷盆地阶段及新生代再生前陆盆地阶段等 6 个阶段^[5-6]。

六盘山盆地大地构造位置独特,中新生代既受祁连和秦岭两大构造带陆内构造活动的制约,同时也受华北地台克拉通盆地解体过程中深部地质作用的控制,新生代还受到青藏高原特提斯构造系活动的影响^[7]。中国重要的 SN 向构造带(贺兰山—六盘山—龙门山—横断山构造带)对六盘山盆地的后期改造和构造系统样式等具有十分重要的影响。六

盘山盆地以清水河断裂为界,可划分为 2 个构造单元——中央拗陷和东部斜坡^[1]。中央拗陷主要包括兴仁堡凹陷、梨花坪凸起、贺家口子凹陷、海原凹陷、沙沟断阶等次级构造单元,是盆地的主体部分,总体呈 NNW 向的倒三角形(图 1)^[6-7]。盆地内不同深度的逆冲推覆—走滑断裂叠加交织,油气显示出露点多,生油拗陷分布广泛,油气资源丰富。

1.2 地层及沉积相

六盘山盆地的基底为元古宇及下古生界。盆地内部的露头 and 钻井资料表明,六盘山盆地的盖层发育有石炭系、二叠系、三叠—侏罗系、白垩系、古近系、新近系和第四系^[5,8]。

石炭系发育良好,化石丰富,主要分布在香山地区的校育川、油景山和烟筒山南麓的土坡等地。岩石地层从下而上为前黑山组、臭牛沟组、靖远组、羊虎沟组(表 1)。其中,前黑山组岩性为紫红色、灰白色砂砾岩、石英砂岩、泥质粉砂岩,属于滨海—潟湖—沼泽相;臭牛沟组岩性为灰白色砂砾岩、粉砂岩及灰岩,中间夹劣质煤线,属于湖沼—滨浅湖相;靖远组岩性为黑灰色页岩夹泥岩,局部夹灰岩透镜体,属于潟湖—滨海相;羊虎沟组岩性为灰—灰白色石英砂岩及灰黑色砂岩、页岩及泥岩互层,属于海陆交互相。

二叠系分布局限,出露于老圈沟、香山南麓、新断头等地,自下而上分为太原组、大黄沟组、窑沟组(表 1)。其中,太原组岩性为灰白色砂岩与灰色页岩、碳质页岩及薄煤,属于海陆交互相;大黄沟组岩性为浅黄色砂质页岩、长石石英砂岩、凝灰质角砾岩,属于湖沼—河流相;窑沟组岩性为紫红色长石石英砂岩、含砾粗砂岩、泥质粉砂岩及页岩,属于河流相。

2 烃源岩评价

从六盘山盆地沉积盖层演化来看,在晚古生代石炭纪—二叠纪类克拉通盆地发展阶段,祁连构造

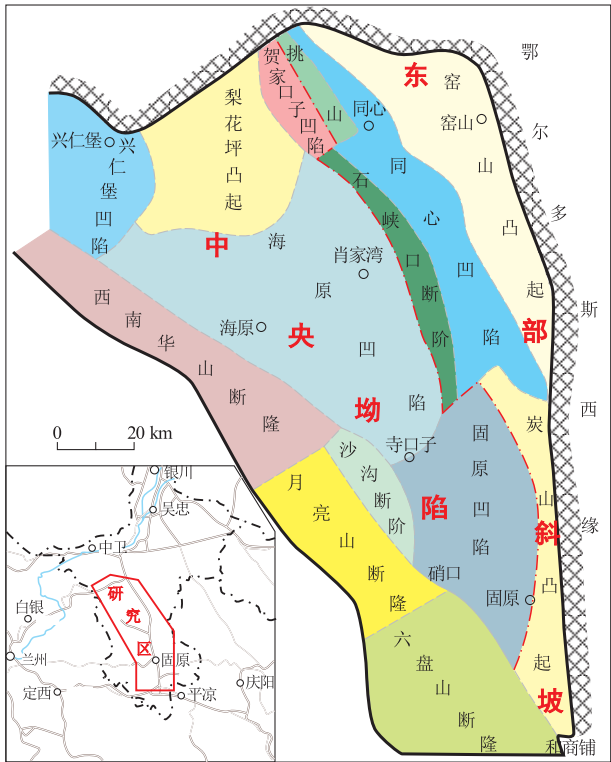


图 1 六盘山地理位置及构造划分图

Fig. 1 Map showing geographic location and tectonic unit division of Liupanshan basin

表 1 六盘山盆地石炭系—二叠系地层系统

Table 1 Carboniferous-Permian strata in Liupanshan basin				
系	统	组	地层代号	构造运动
二叠系	上统	窑沟/红泉组	P ₂ y	华力西—印支旋回
	中统	大黄沟组	P ₁ dh	
	下统	太原组	C ₃ t	
石炭系	上统	羊虎沟组	C ₂ y	
		靖远组	C ₂ j	
	下统	臭牛沟组	C ₁ c	
		前黑山组	C ₁ q	类克拉通盆地阶段

带及走廊边缘坳陷带发生了整体沉降,形成滨海相-浅海相碎屑岩、碳酸盐岩沉积,泥岩和灰岩为主要的烃源岩岩石类型^[7,9];晚石炭世末期为海陆交互相沉积,海水自北向南退却,含碳泥岩、细碎屑岩夹碳酸盐岩建造形成,普遍含煤层^[7]。

从石炭系岩性组合来看,厚度巨大的深灰-黑色页岩、泥岩、碳质泥岩、煤层、泥晶灰岩和生物碎屑灰岩等都可以作为生油气的潜力层^[7]。盘浅 14 中有荧光显示,岩性主要为灰绿色细-中粒砂岩。在校育川剖面中,石炭系的暗色泥岩厚度达到了 200 m,厚度占比为 41.2%;灰岩的厚度为 103 m,厚度占比为 21.2%;碳质泥岩和煤层厚度较小,且埋深一般都>5 km。六盘山北缘香山一带出露的黑色、深灰色泥页岩、碳质页岩的累积厚度近 200 m,单层最大厚度近 40 m。海原坳陷肖家湾残存的暗色泥岩总厚度>300 m,分布面积约 2 500 km²(图 2)。这些数据都印证了“石炭系不乏烃源岩”的推论。盆地内部的同心小红沟剖面在灰岩晶洞中发现过油苗,可以肯定石炭纪曾有油气生成。

2.1 有机质丰度

根据盆地北部校育川剖面 11 块暗色泥岩样品分析结果,石炭系的有机碳含量较高,为 0.41%~5.73%,平均 2.10%,氯仿沥青“A”含量为 0.003 4%~0.112 2%,平均 0.030 1%,生烃潜量为 0.04×10^{-6} ~ 16.46×10^{-6} ,平均为 1.84×10^{-6} 。根据湖相泥岩有机质丰度评价标准,有机碳质量分数为 18.2% 的样品属中等生油岩,质量分数为 72.7% 的样品属好的生油岩;但氯仿沥青“A”的质量分数相对较低,仅有 16.7% 的样品属好的生油岩。盆地北缘香山一带单层最大厚度可达 40 m,石炭系生烃潜量为 0.04×10^{-6} ~ 16.46×10^{-6} ,平均 1.84×10^{-6} ;有机碳质量分数较高,一般为 0.41%~5.73%,平均 2.10%;镜质体反射率(R_o)为 0.80%~1.58%,平均 1.30%,为过成熟阶段,主要生气^[7,10]。

据石炭系 12 块碳酸盐岩样品分析,有机碳质量分数为 0.22%~0.64%,平均 0.35%,氯仿沥青“A”的质量分数普遍较低,为 0.001 3%~0.004 6%。根据碳酸盐岩有机质丰度评价标准,有机碳的质量分数均属中等-好的生油岩,氯仿沥青“A”质量分数则均属差-非生油岩^[11-12]。因此,从烃源岩地化指标来看,石炭系湖相暗色泥岩要比碳酸盐岩的生油条件好。

2.2 有机质类型及成熟度

经鉴定,石炭系灰岩Ⅱ型干酪根占 66.6%,暗色

泥岩以Ⅲ型干酪根为主,Ⅲ型干酪根占 60%。由于石炭系埋藏较深,有机质热演化时间长,使盆缘露头剖面的烃源岩达到成熟-高成熟的演化阶段,且在灰岩的晶洞中发现多处油苗,有力地证明石炭系具有很大生油潜力的推论^[7]。校育川剖面暗色泥岩的镜质体反射率为 1.50%~2.22%,灰岩的演化程度略低于泥岩,镜质体反射率为 0.80%~1.58%,盆内石炭系埋深很大,烃源岩演化程度将更高,推测已处于过成熟阶段。

3 储层特征

可以肯定,石炭系是六盘山盆地中最下部的生油气层位。在合适的条件下,油气也能够石炭系内部聚集成藏。可以作为储集空间的主要条件有:层位中砂砾岩和中细粒砂岩的发育程度、灰岩和砂岩中的孔隙度、灰岩中的裂缝和溶蚀孔洞的发育程度^[7]。六盘山盆地的主要储层还包括二叠系的岩屑砂岩及长石岩屑砂岩^[11]。

3.1 岩石学特征

二叠系主要发育砂质沉积岩,以灰色中-细粒岩屑砂岩及长石岩屑砂岩为主(图 2)。粒级成分主要为细砂和极细粒砂,中砂和粗砂次之,泥质含量极少,岩性较为致密^[13]。矿物成分以石英、长石和岩屑为主,其次是方解石、黏土矿物等,石英 $\varphi =$

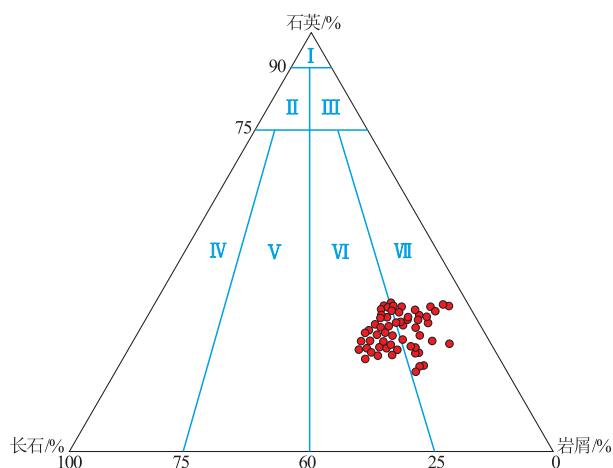


图 2 六盘山盆地二叠系储层砂岩类型

Fig. 2 Types of sandstone of Permian reservoir in Liupanshan basin

- I. 石英砂岩; II. 长石石英砂岩;
III. 岩屑石英砂岩; IV. 长石砂岩; V. 岩屑长石砂岩;
VI. 长石岩屑砂岩; VII. 岩屑砂岩

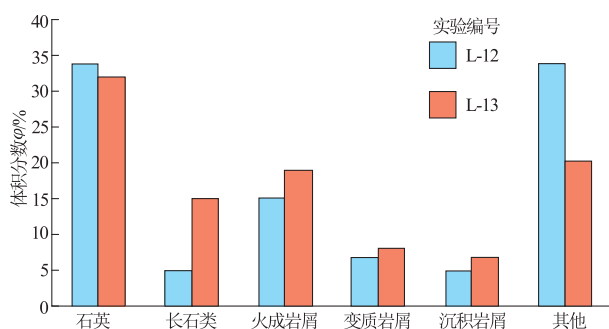


图 3 六盘山盆地黄家洼二叠系碎屑岩成分图

Fig. 3 Diagram of clastic rock composition of Permian system in Huangjiawa region, Liupanshan basin

36.7%~45.9%, 长石 $\varphi=6.8\%\sim 17.2\%$, 岩屑 $\varphi=46\%\sim 47.3\%$ 。长石主要为钾长石和斜长石, 岩屑主要为一些火成岩岩屑、变质岩和沉积岩岩屑(图 3)。钾长石碎屑呈不均匀分布。赋存于碎屑间的黑云母可见绿泥石化现象, 副矿物偶见黝帘石、榍石微粒。填隙物主要为碳酸盐矿物(铁方解石、铁白云石)、水云母及绢云母、凝灰质、绿泥石等。岩石中的

胶结物除碳酸盐(方解石)外, 尚有凝灰质充填于碎屑物间, 由于蚀变作用凝灰质已变为绢云母。胶结类型为孔隙和基底式胶结。分选性中等或差。风化蚀变程度深, 磨圆度为次圆-次棱角状。支撑类型为颗粒支撑和杂基支撑。颗粒接触方式为线状-凹凸状。

3.2 孔隙结构

经显微镜观测, 二叠系岩石样品中的孔隙类型主要为次生孔隙, 以剩余粒间孔、溶蚀粒间孔为主, 次为粒内溶孔、晶间溶孔, 偶见微裂缝(图 4a)。其中, 剩余粒间孔被绿泥石不完全充填(图 4b), 孔隙大小为 0.05~0.45 mm, 残余粒间孔约占 3%, 溶蚀孔约占 3.5%, 粒内溶孔约为 1%, 晶间溶孔约为 0.3%。从成藏方面考虑, 可以作为石炭系油气向上运移的有利储层。岩性致密, 孔隙吼道细, 中值压力、排驱压力大, 并发现渗透率、孔隙度与中值压力、排驱压力呈负相关。片丝状伊利石集合体充填于碎屑颗粒之间, 见粒间次生溶蚀微孔隙(图 4c)。长石颗粒次生加大呈阶梯状, 叶片状绿泥石附着于碎屑

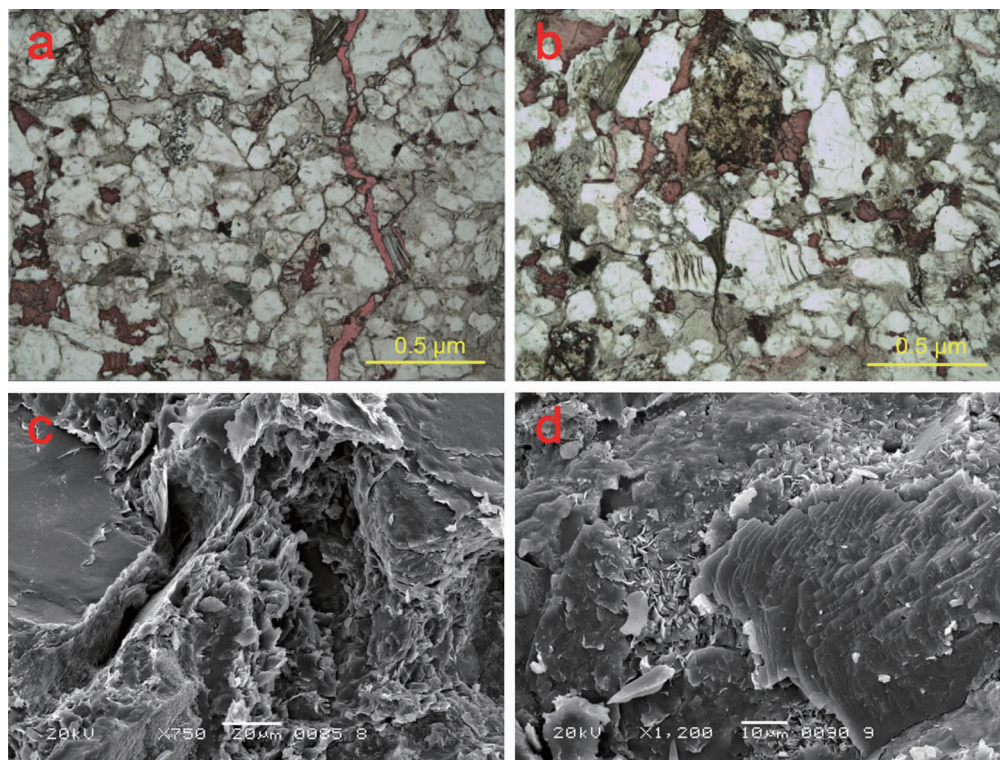


图 4 二叠系岩石的孔隙结构照片

Fig. 4 Photo of pore structure in rock of Permian system

- a. 偶见微裂缝(实验号 LPF-12, 铸体薄片); b. 剩余粒间孔发育, 剩余粒间孔被绿泥石不完全充填(实验号 LPF-13, 铸体薄片); c. 片丝状伊利石集合体充填于碎屑颗粒之间, 见粒间次生溶蚀微孔隙(实验号 LPF-12, 扫描电镜); d. 长石颗粒次生加大呈阶梯状, 叶片状绿泥石附着于碎屑颗粒表面(实验号 LPF-13, 扫描电镜)

表 2 六盘山盆地石炭系—二叠系储层参数

Table 2 Reservoir parameters of Carboniferous-Permian in Liupanshan basin

编号	采集地点	岩性	层位	组	渗透率/ $10^{-3} \mu\text{m}^2$	孔隙度/%	备注
L-12	黄家洼	灰黄色中-细粒砂岩	P	红泉组	0.05	9.82	
L-13	黄家洼	灰黄色中-细粒砂岩	P	红泉组	0.07	18.02	
L-16	窑山	黄色中细粒砂岩	C	前黑山组	0.08	4.54	
L-17	窑山	紫色细粒长石石英砂岩	C	前黑山组	0.12	4.49	
L-18	窑山	浅黄色长石石英砂岩	C	前黑山组	19.07	13.02	
L-19	窑山	砖红色长石石英砂岩	C	前黑山组		4.83	裂缝
L-20	窑山	灰黑色薄层岩屑砂岩	C	前黑山组	0.02	2.88	
L-21	窑山	浅黄色岩屑长石砂岩	C	前黑山组	17.99	15.79	
L-22	窑山	灰黄色中细砂岩	C	前黑山组		7.57	裂缝

颗粒表面(图 4d),长石颗粒被溶蚀破碎形成次生溶蚀孔隙。

3.3 物性特征

石炭系主要的储集空间为内部发育的砂砾岩、中细粒砂岩以及灰岩,砂岩孔隙及灰岩裂缝和溶蚀孔洞^[7]。石炭系样品孔隙度为 2.88%~15.79%,渗透率为 $0.02 \times 10^{-3} \sim 19.07 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$,其中渗透率最大达 $17 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$ 以上,说明石炭系具备良好的储集条件(表 2)。二叠系主要发育剩余粒间孔、溶蚀粒间孔、粒内溶孔等,可以作为有效的储集空间。二叠系孔隙度主要为 2.83%~16.00%,渗透率为 $0.05 \times 10^{-3} \sim 18.02 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$,物性相对较好,总体属于中低孔、低渗型储集层。

4 成藏组合评价

石炭系主要属于滨海、潟湖、沼泽相、海相、滨浅湖相及海陆交互相沉积建造,既发育了有利的生油气层(厚度巨大的深灰色、黑色页岩、泥岩等),又发育了良好的储层(砂砾岩、中细粒砂岩以及灰岩)。二叠系分布局限,属于河流相、湖沼沉积,发育了中-细粒岩屑砂岩及长石岩屑砂岩,在盆地内仅可以作为良好的储层。石炭系上部的泥质岩既可以作为生油气岩层,也可以作为盖层,能够有效地阻挡石炭系油气向上运移,进而聚集成藏^[7]。因此,认为石炭系作为六盘山盆地最深层的生油气岩系,在合适的条件下,油气也可以在石炭系内部聚集成藏。

逆冲断层在多次挤压应力场作用下依次向前推移,致使复杂的叠置构造格局形成,很多伴生圈闭和断裂在逆冲席前锋发育^[10, 14]。主要的圈闭还有岩性圈闭、剥蚀造成的不整合圈闭及与逆冲推覆相伴生的背斜圈闭、断层圈闭及鼻状圈闭等,使局部圈

闭呈现出成排成带的分布特点^[1-2]。同时,二叠纪末由于海西晚期抬升剥蚀,可以形成地层平行不整合圈闭,有利于油气聚集^[7]。

总之,石炭系形成了两套成藏组合,即自生自储和下生上储成藏组合;二叠系在下生上储成藏组合中发挥着良好储层的作用(图 5)^[15-17]。

5 结论

(1)六盘山盆地位置独特,构造背景复杂,受多期构造控制。盆地以清水河断裂为界分为两个次级构造带(中央坳陷和东部斜坡)。石炭系和二叠系油气显示出露多,油气资源丰富。

(2)六盘山盆地石炭系发育良好,属于滨海、潟湖、沼泽相、滨海相等;厚层灰-黑色页岩、泥岩、碳质泥岩可以作为有利的生油气层。二叠系分布局限,

系	统	组	剖面	生	储	盖	自生自储	下生上储
二叠系	上统	窑沟组						
		大黄酒组						
	下统	山西组						
石炭系	上统	太原组						
		羊虎沟组						
		靖远组						
	下统	臭牛沟组						
		前黑山组						

图 5 研究区生储盖组合图

Fig. 5 Map showing plays in the study area

属于河流相、湖沼沉积,发育了中-细粒岩屑砂岩及长石岩屑砂岩,以剩余粒间孔、溶蚀粒间为主,物性相对较好,总体属于中低孔、低渗型储集层。

(3)石炭系形成了两套(自生自储和下生上储)成藏组合;二叠系为良好的储层。

参考文献:

- [1] 张磊. 六盘山盆地白垩系沉积构造演化及原型盆地研究[D]. 北京:中国石油大学, 2009: 25-40.
- [2] 杨福忠. 六盘山盆地含油气远景预测[J]. 石油勘探与开发, 1995, 22(1): 5-8.
- [3] 杨福忠,胡社荣. 六盘山盆地中、新生代构造演化和油气勘探[J]. 新疆石油地质, 2001, 22(3): 192-195.
- [4] 韩长金. 六盘山盆地石油地质条件及评价[J]. 石油勘探与开发, 1992, 19(3): 6-9.
- [5] 郑毅,何伟,柳强,等. 六盘山盆地硝口地区岩盐矿物学特征及地质成因分析[J]. 洁净煤技术, 2012, 18(5): 119-123.
- [6] 巴秀娥,许叶妹,何希鹏. 六盘山盆地中生界油气勘探潜力与勘探方向[J]. 新疆石油天然气, 2006, 2(4): 12-16.
- [7] 谢青,杨兴科,江宽. 六盘山盆地西南缘构造特征及盆地油气有利区预测[J]. 地质找矿论丛, 2015, 30(4): 560-566.
- [8] 汤济广,梅廉夫,李祺,等. 六盘山盆地构造演化及对成藏的控制[J]. 石油天然气学报, 2009, 31(5): 1-6.
- [9] 屈红军,李文厚,何希鹏,等. 六盘山盆地地下白垩统沉积层序与含油气系统[J]. 西北大学学报:自然科学版, 2003, 33(1): 70-73.
- [10] 李定方. 六盘山盆地石油地质特征与勘探方向[J]. 新疆石油地质, 2001, 22(1): 27-31.
- [11] 吕萌. 六盘山地区中生代沉积及构造特征研究[D]. 成都:西南石油大学, 2014: 24-32.
- [12] 刘运黎,汤玉平. 青藏高原东北缘六盘山盆地烃源岩的地球化学特征[J]. 地质通报, 2007, 26(4): 483-488.
- [13] 谢青,王建民,江宽,等. 鄂尔多斯盆地太阳湾地区长2特低渗储层评价及有利区预测[J]. 兰州大学学报:自然科学版, 2015, 51(4): 488-495.
- [14] 房建军. 宁南盆地沉积构造演化与改造[D]. 西安:西北大学, 2009.
- [15] 关宝文,郑建京,许世阳,等. 六盘山盆地油气成藏主控因素分析[J]. 特种油气藏, 2015, 22(1): 16.
- [16] 赵海华,崔红庄,王军,等. 六盘山盆地西南缘构造样式及勘探意义[J]. 东北石油大学学报, 2013, 37(4): 9-17.
- [17] 王军,王坤,崔红庄,等. 六盘山盆地白垩系烃源岩发育特征与勘探方向[J]. 西安科技大学学报, 2014, 34(6): 724-728.

Analysis and evaluation of the Carboniferous-Permian play characteristics of Liupanshan basin

XIE Qing¹, YANG Xingke¹, JIANG Kuan², YANG Longwei¹, ZHANG Zhengmin¹

(1. School of Earth Science and Resource, Chang'an University, Xi'an 710054, China;

2. PetroChina West Pipeline Gas Company, Lanzhou 730070, China)

Abstract: Liupanshan basin is located at a special tectonic position where multi-group and multi-stage structural belts cut the geological block. During field investigation many oil and gas show exposures are discovered suggesting a certain potential of oil and gas here. The geological background, source rocks and the play are investigated in the field and experimental analysis are carried out to comprehensively analyze and evaluate the geological conditions and play. The results show: tectonic background of Liupanshan basin is complex; the carboniferous strata well developed belonging to the coast, lagoon and swamp, littoral and marine-continent alternating sedimentary facies; thick grey and black shale, mudstone, carbonaceous mudstone the powerful source layers; Permian system distribution limited belonging to fluvial, limnetic facies of medium-fine grained lithic sandstone and feldspathic lithic sandstone with the dominant residual intergranular pore and dissolution intergranular pore; the Permian strata is a medium-low porosity and low permeability reservoir with better physical properties; Carboniferous system has two sets of play of which one combines gas-oil generating a storing together at the same place and the other is varied in its gas-oil generating at lower part and storing at upper part.

Key Words: source rocks; reservoir; play; Carboniferous-Permian; Liupanshan basin