

鄂尔多斯盆地油页岩的主要地质特征及资源潜力

白云来 马 龙 吴武军 马玉虎

(中国石油勘探开发研究院西北分院, 甘肃 兰州 730020)

摘要:前人及笔者最近研究结果表明:鄂尔多斯盆地除赋存有大量的石油、天然气、煤、煤层气、地下水及铀矿而外,还赋存着巨量的油页岩资源。油页岩分别赋存于早二叠世山西组、中-晚三叠世延长组、晚三叠世瓦窑堡组及中侏罗世早期延安组、中侏罗世晚期安定组地层中;在空间上,油页岩多呈层状展布于盆地内部而隐伏于地下。中、晚三叠世延长组和中侏罗世早期延安组是主要含油页岩层位。早二叠世油页岩形成于海陆交互的滨海环境,中-晚三叠世延长组中的油页岩形成于陆相深湖或半深湖环境,晚三叠世瓦窑堡组油页岩、中侏罗世早期延安组油页岩形成于陆相湖泊三角洲湖沼环境,与煤层共生,而中侏罗世晚期安定组油页岩仅局限于陆相半深湖环境。通过对陕西铜川北部和宁夏固原炭山典型油页岩矿的剖析,查明鄂尔多斯油页岩矿层厚度一般为 4~36 m,含油率一般为 1.5%~13.7%(下限略低于 3.5%这一油页岩矿的最低工业品位,本次低于部分暂不参加资源量的计算);发热量一般为 1.66~20.98 MJ/kg,视比重 1.55~2.46。埋藏 2000 m 以上的页岩油资源量(334)达 2000×10^8 t 以上,其中探明储量(121) 1×10^8 t,显示了巨大的资源前景。盆地东南部及西部的油页岩埋藏浅,部分地段探明程度高,交通条件好,如果及时开发利用,不仅可以获得初步经济效益,同时也可作为鄂尔多斯油页岩的开发利用获取开拓性的宝贵经验。

关键词:油页岩;地质特征;资源;鄂尔多斯盆地

中图分类号:P618.12 **文献标志码:**A **文章编号:**1000-3657(2009)05-1123-15

鄂尔多斯盆地是中国大型含油气盆地之一,中生代原型盆地分布面积近 400000 km²^[1]。现已查明,该盆地不仅蕴藏巨量的油气资源,而且赋存丰富的煤、煤层气及地下水资源^[2]。2001 年还在盆地东北部发现了大型可地浸砂岩型铀矿^[3],表明鄂尔多斯盆地是一个多种资源聚集的宝库。不仅如此,近年来笔者在前人研究的基础上,通过野外调查,认为除上述资源而外,该盆地还存在着规模巨大的油页岩资源,仅其中的长 7 油层组页岩油(油页岩矿经干馏提取而成,相当于原油)资源量超过 500×10^8 t,占全国页岩油资源量的 34%^[4,5]①②,据全国之首。该盆地油页岩含矿层位多(早二叠世、中-晚三叠世、晚三叠世、

中侏罗世)、类型多(滨海相、与煤共生的三角洲相、半深-深水湖泊相)、延展稳定、分布范围广,含油率较高,构造简单,既有利于露天开采的矿体(如陕西铜川市金锁关霸王庄),也有适宜地下开采的地段(如陕西子长县三叠纪煤田里赋存的油页岩)③。深入地、全面地、系统地了解和研究鄂尔多斯盆地不同时期油页岩的产出特征、赋存规律、资源规模、探索其现实的开发利用条件,是一项十分重要的具有前瞻性和战略性的工作,已引起了包括中石油长庆油田公司在内的有关部门的高度重视。本文就是近年来国土资源部、中国石油天然气股份有限公司及中石油长庆油田公司组织实施的油页岩调查项目部分成果的

收稿日期:2009-01-16;改回日期:2009-06-06

作者简介:白云来,男,1957 年生,博士,教授级高级地质工程师,长期从事区域构造与岩石学、成矿学方面的研究和实践;
E-Mail: baiyl6666@sina.com。

① 中国石油长庆油田分公司勘探开发研究院,中国石油集团西北地质研究所.鄂尔多斯地区油页岩资源初步评价,2008.

② 中国工程院,刘招君.“中国可持续发展油气资源战略研究(2020-2050)-全国油页岩资源评估”,2005.

③ 陕西省石油工业局勘测队.铜川北部油页岩普查初勘报告,1959.

④ 中石油西北分院.西北地区油页岩资源调查与评价,2006.

⑤ 宁夏回族自治区国土资源厅.宁夏炭山煤矿普查地质报告,1976.

总结。

笔者认为,现在不断地对油页岩进行多方面的研究,不断积累相关资料和技术,当全球经济回暖、石油价格重新走高之际,油页岩就会趁势有用武之地,就会及时产生巨大的经济效益。因为尽管世界范围内新的油、气田不断有重要发现,但能源的可用量不断减少的趋势是不可改变的,油气的产能与人类社会的需求形成的剪刀差将会越来越明显,资源短缺的局面在以后 20~30 年内将会越来越严峻^[6]。而油页岩加工工艺成熟、相对容易开采、用途广泛,开采利用历史悠久^[4,7-13]^①,是最有希望成为现实的能够部分替代石油的新能源之一。因此,查明和分析鄂尔多斯地区油页岩的特征及开发利用条件,有着十分重要的现实意义。

1 鄂尔多斯油页岩的时空分布特点

现已查明,鄂尔多斯盆地含有多套油页岩矿层^[14-16],受构造旋回以及气候变化的影响,油页岩分别赋存于早二叠世山西组、中、晚三叠世延长组、晚三叠世瓦窑堡组及中侏罗世早期延安组、中侏罗世晚期安定组地层中(表 1)。油页岩多呈层状展布于盆地内部而隐伏地下,仅在盆地边部、盆地深切谷及部分钻孔中可见其分布。

早二叠世山西组地层中的油页岩主要见于盆地周边的山西保德—洪洞一带以及宁夏石嘴山、中卫地区,和煤紧密伴生,底部常有一层约 0.5 m 厚的含油率较高的腐泥煤^②。在盆地内部,由于埋深较大(东部深度超过 600 m,西部达 2200 m),部分地段有机

表 1 鄂尔多斯盆地中、上三叠统一下中侏罗统层序及其控制因素与多种能源矿产聚集
Table 1 Middle-Upper Triassic and Lower-Middle Jurassic sequences and their controlling factors as well as the accumulation of various energy resources in Ordos basin

时代	地层/油层组	构造层序	三级层序	湖平面变化	古气候变化	沉积环境	构造作用	烃源岩	油页岩
中侏罗世晚期	安定组	II	IV	[湖平面变化曲线]	干旱	滨浅湖	升	[烃源岩柱状图]	[油页岩柱状图]
	直罗组		III		早期潮湿 晚期干旱	河流			
中侏罗世早期	延安组	II	II	[湖平面变化曲线]	半潮湿 - 潮湿 - 半潮湿	曲流河	稳定 降	[烃源岩柱状图]	[油页岩柱状图]
						网状河			
						湖泊, 三角洲			
						冲积扇 - 河流侵蚀堆积			
						延1-3			
延4-5									
延6,7									
延8,9									
延10									
早侏罗世	富县组	I	I	[湖平面变化曲线]	早期潮湿 晚期干旱	冲积扇 - 河流侵蚀堆积	早升降	[烃源岩柱状图]	[油页岩柱状图]
晚三叠世	瓦窑堡组	I	IV	[湖平面变化曲线]	半潮湿 - 半干旱	曲流河三角洲	整体抬升	[烃源岩柱状图]	[油页岩柱状图]
						三角洲平原沼泽			
中晚三叠世	延长组	I	I	[湖平面变化曲线]	湿热	三角洲前缘	稳定	[烃源岩柱状图]	[油页岩柱状图]
						深湖 - 半深湖			
						辫状河三角洲	最大沉降		
						河流	沉降		
						长3	II		
						长4+5			
						长6	I		
						长7			
长8	I								
长9									
长10	I								
长1									
长2									

注:据文献[1,2,5,14-21],有修改。

① 中国石油长庆油田分公司勘探开发研究院,中国石油集团西北地质研究所.鄂尔多斯地区油页岩资源初步评价,2008.
② 陕西省石油工业局勘测队.铜川北部油页岩普查初勘报告,1959.

质多已转化成天然气(可能是陕北气田的源岩),因此,本次暂不将其作为研究的主要对象。

中、晚三叠世延长组、晚三叠世瓦窑堡组的含油页岩层位,呈不对称向斜状展布于盆地之中。东部翘起,露出地表,中东部向西略倾,华池—环县一带凹

陷最深,靠近银川地堑逐渐隆起,向东倾斜,上部多被削蚀。油页岩露头与地层露头一起主要分布于盆地东部和南部,分布范围具体在宜君—铜川—綏曲—彬县一带,大致呈弧形展布(图 1)。

中侏罗世早期延安组中的油页岩主要分布于盆

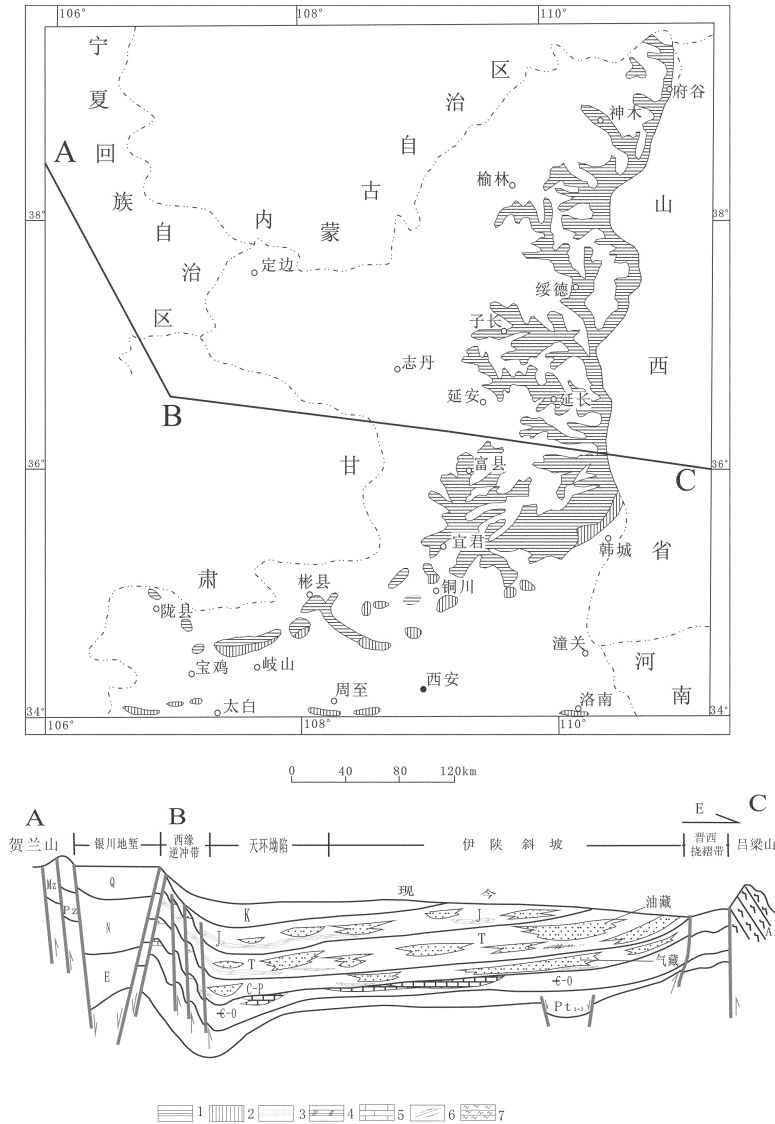


图 1 鄂尔多斯盆地中、晚三叠统露头分布范围(上)及盆地横剖面(下)

(上图据文献[16];下图据中石油长庆油田公司研究院资料,2002)

- 1—三叠系;2—石炭系及二叠系;3—砂岩储层;4—油页岩;5—碳酸盐岩储层;6—断层;7—变质岩;
- Q—第四系;N—新近系;E—古近系;K—白垩系;J—侏罗系;T—三叠系;C—P—石炭系—二叠系;
- €—O—寒武系—奥陶系;Pt₂₋₃—中—新元古界;Ar—太古宇

Fig.1 Map showing the distribution of outcrops of Middle-Late Triassic strata (upper) and cross profile (lower) of Ordos basin (upper map after literature [16]; lower map after Changqing Oilfield Company, PetroChina, 2002)

- 1-Trassic; 2- Carboniferous and Permian; 3-Sandstone reservoir; 4-Oil shale; 5-Carbonate rock reservoir; 6-Fault;
- 7-Metamorphic rock; Q-Quaternary; N-Neogene; E- Paleogene; K -Cretaceous; J-Jurassic; T-Triassic;
- C-P Carboniferous and Permian; €-O - Cambrian and Ordovician; Pt₂₋₃-Middle-Upper Proterozoic; Ar-Archean

地内部,露头主要见于盆地西部的宁夏固原炭山、甘肃华亭一带。分布范围西部与煤层分布范围相同,东部与湖泊分布范围吻合(图2)。

中侏罗世晚期安定组的油页岩主要分布于湖泊范围之内,隐伏于盆地内部(图3)。露头见于盆地深切谷中。

2 油页岩地质特征

2.1 中、晚三叠世油页岩地质特征(以铜川北部油页岩为例)

2.1.1 油页岩的层位

鄂尔多斯地区铜川北部油页岩的具体层位为延长组第二段(T₂²,长7,即原铜川组上部),延长组是一套以灰绿、灰黄绿色、浅肉红色长石砂岩为主,夹深灰绿色页岩及煤线的陆相地层^[9]。下部夹黑色油页岩层,中、上部含石油,且以颜色浅区别于上、下地

层。与上、下地层均为整合接触。底界以二马营组顶部紫红色泥岩的结束为标志,以一互层状含煤层或含煤线砂泥岩之底面为上覆窑堡组开始(窑堡组含另外一层油页岩,沉积环主要为三角洲相,见后文)。油页岩层和油层关系见表2。表明油页岩和油层有着空间上的叠置关系。

将该区含油页岩的关键层段(253~266层)列于图4中,不难看出,本区油页岩在剖面上的主要特点:下部粉砂岩、细砂岩夹油页岩层,油页岩层一般较薄,多为0.5~2m;中部为油页岩主矿层,一般厚度较大,为20~36m,其中砂岩或页岩的夹层较少,分布稳定;上部为粉砂岩、页岩、页岩及泥岩互层。一般中部油页岩主矿层工业价值较大,是勘探的主要目标。

2.1.2 油页岩分布区的构造特点

图5反映铜川北部油页岩空间上的展布特点。

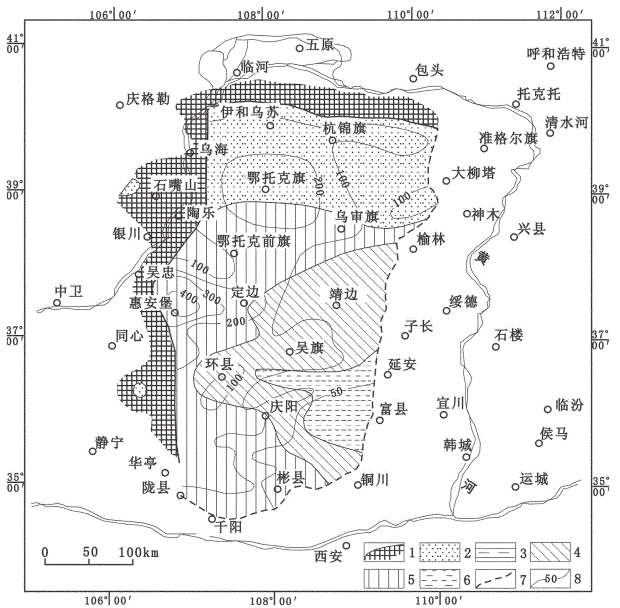
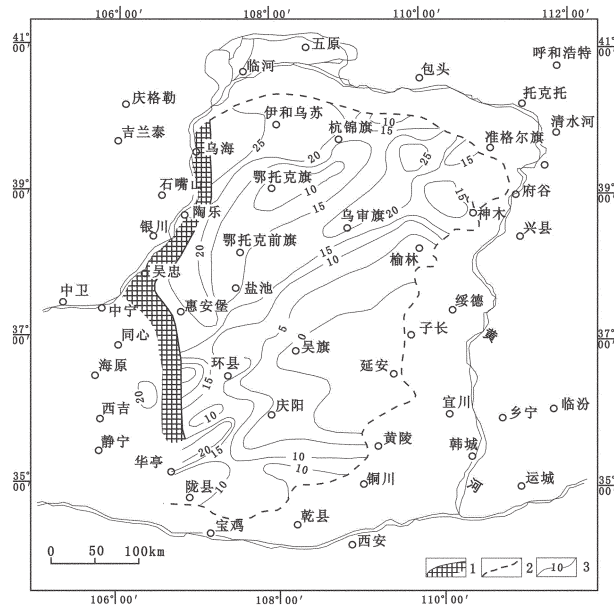


图2 鄂尔多斯盆地中侏罗世早期延安组煤层分布(该期的油页岩在煤层分布区夹于煤层之中,在无煤区——0等值线范围为湖相油页岩分布区,据文献[2,18])

Fig.2 The distribution of coal beds in Yan'an Formation in early Middle Jurassic (Oil shale intercalated in coal bed in the distributed area of coal, and lacustrine facies oil shale distributed in area barren of coal (0 contour line) in Ordos basin, after literature [2, 18]).

1—Ablation area; 2—Boundary of preserved strata; 3— Thickness contour of coal bed

图3 鄂尔多斯盆地中侏罗世晚期(安定组沉积时)岩相古地理(油页岩沉积于较深湖相环境中,据文献[2,18])

1—剥蚀区; 2—河流相; 3—河湖相; 4—浅湖区; 5—滨湖三角洲相; 6—较深湖区; 7—地层保存边界; 8—地层等厚线(m)

Fig.3 Lithofacies and palaeogeographic map of Anding Formation in late Middle Jurassic in Ordos basin (Oil shale distributed in relatively deep lake facies, after literature [2, 18]).

1—Ablation area; 2—Fluvial facies; 3—Fluvial and lacustrine facies; 4—Shallow lacustrine facies; 5—Shorelake area; 6—Relatively deep lacustrine facies; 7—Boundary of preserved strata; 8—Thickness contour of strata

表 2 延长组地层系统、油层组及标志层之间的关系
Table 2 The relationship between the stratigraphic system, oil layers and marker beds in Yanchang Formation

地层系统				油层组	标志层		
系	统	组	段		区域标志层	地区标志层	
三叠系	上统	瓦窑堡组 Ty ^w	相当于三普队 延长组第 5 段 (Ty ⁵)	长 ₁	瓦窑堡煤系地层 (辅助)		
				长 ₂			
	中、上统	延长组 Ty	上	Ty ³	Ty ⁴	永坪砂岩段 (辅助)	凝灰质泥岩 (薄层)
					长 ₄₊₅	细脖子泥岩段 (辅助)	
					长 _{6¹⁻²}		
					长 _{6³⁻⁴} 长 _{7¹⁺²}		
下	Ty ²	长 _{7³}	张家滩页岩、油页岩				
		长 ₈ 、 长 ₉	李家畔页岩				

时代	地层名称		层号	厚度 /m	岩性柱	岩性描述
	组	段				
中晚三叠世	延长组	上段	Ty ³	266~314	322	灰色、灰绿色厚层一块状中粒砂岩为主夹泥质岩
		下段	Ty ²	266	10.7	黑灰、浅黄色页岩及油页岩
				265~264	35	黄绿、灰绿色中厚层粉砂岩与页岩、泥互层
				263	27	油页岩
				262~253	58	褐灰、灰、黄绿色泥质粉砂岩、粉砂岩、油页岩及细砂岩
		Ty ¹	252~206	203.3	黄绿色泥质粉砂岩、细砂岩及泥岩互层夹灰黑色页岩	
下伏地层:中三叠统二马营组						

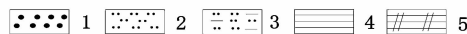


图 4 鄂尔多斯盆地东南部油页岩分布区关键层位结构特征

1—砂岩;2—粉砂岩;3—泥质砂岩;4—页岩;5—油页岩
(岩性柱栏只表示了岩性组合,不表示真实厚度,各组具体厚度见厚度栏)

Fig.4 Architectural characteristics of oil shale in key horizon of southeast Ordos basin

1—Sandstone; 2—Siltstone; 3— Argillaceous sandstone; 4—Shale; 5—Oil shale

(Lithologic column only denotes lithologic assembly, not denotes true thickness; see real thickness in thickness column)

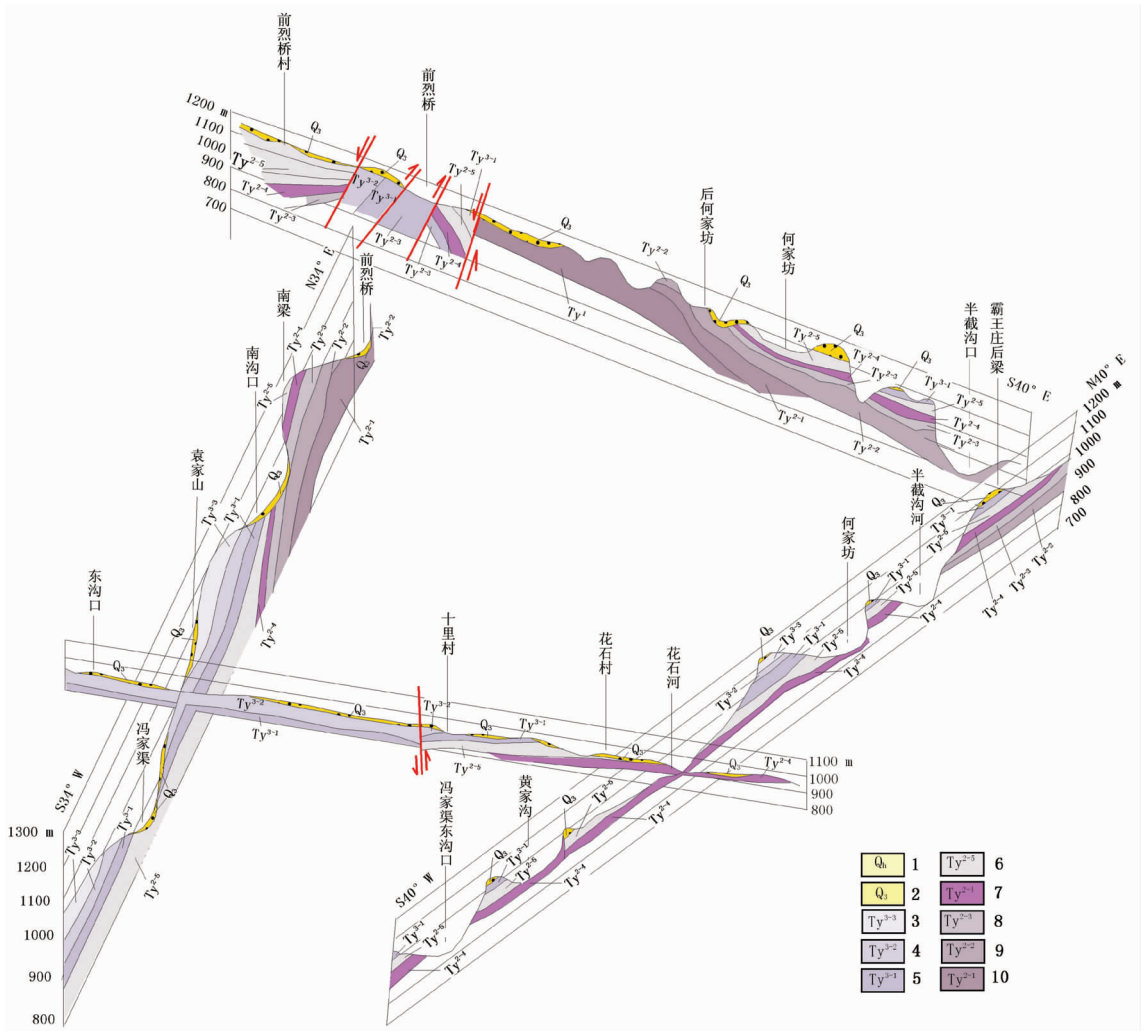


图5 鄂尔多斯盆地铜川北部油页岩矿区构造栅状图

1—全新统冲洪积层;2—黄土层;3—延长组第3段第3层:灰绿色页岩、砂岩;4—延长组第3段第2层:灰绿色厚层砂岩夹薄层页岩;5—延长组第3段第1层:灰绿色、浅灰色页岩;6—延长组第2段第5层:灰绿色、黄绿色页岩,上部为厚层砂岩;7—延长组第2段第4层:油页岩夹油砂层;8—延长组第2段第3层:灰绿色页岩、砂质页岩;9—延长组第2段第2层:灰绿色中、厚层砂岩;10—延长组第2段第1层:灰绿色厚层中砂岩;图中红线及红色箭头为断层两盘运移方向

Fig.5 Fence diagram showing structure of the oil shale district in northern Tongchuan

1—Holocene alluvium-diluvium;2—Loess layer;3—Third layer of third segment of Yanchang Formation: celadon shale, sandstone;4— Second layer of third segment of Yanchang Formation: celadon thick sandstone with thin bed shale;5— First layer of third segment of Yanchang Formation: celadon-grayish shale;6— Fifth layer of second segment of Yanchang Formation: celadon-olivine shale, upper part being thick sandstone;7—Fourth layer of second segment of Yanchang Formation: oil shale with oil sand;8— Third layer of second segment of Yanchang Formation: celadon shale, arenaceous shale; 9—Second layer of second segment of Yanchang Formation: celadon intermediate-thick sandstone;10— First layer of second segment of Yanchang Formation: celadon thick sandstone; Red line and red arrowhead show faults and their movement direction

何家坊—前烈桥剖面反映的是一个背斜的构造特点,大背斜的核部在后何家坊—前烈桥一带。背斜核部地层为延长组下段下部(Ty¹)地层,其上地层包括油页岩均被剥蚀,背斜两翼平缓,由于受正断层影响,在前烈桥一带背斜西翼被断下落而免于后期被

剥蚀。花石河—东沟口剖面反映的是一向西缓倾斜的单斜构造,油页岩自东而西逐渐倾没。

前烈桥—冯家渠剖面反映的是一向南倾伏的单斜构造。

霸王庄后梁—冯家渠东沟口剖面反映的是较平

坦的水平构造特点。

综上所述,本区南部为一幅度不大的穹隆构造,核部在后何家坊一带,但穹状构造西部和南部均有向西向南倾没的趋势。该穹状构造可称为“何家坊穹状构造”。它对铜川北部金锁关油页岩矿有一定的控制作用。

2.1.3 油页岩的厚度

本次根据露头观察,结合井上资料,查明油页岩主矿层厚度一般为 25~36 m。最厚地段在淌泥河—马庄一带,向南、西南变薄。

2.1.4 油页岩宏观特征及物质组成特点

油页岩宏观上呈黑色,具油脂光泽,风化面上常因铁质氧化而成红色(照片 1)。片状、层状构造,参差状、贝壳状断口。硬度小,条痕亮褐色,油脂光泽明显。肉眼观察,岩石主要由粘土矿物组成。一般油页岩层面比较光滑油腻,但略具砂质引起的粗糙感,这也是此处油页岩与其他地区油页岩的显著区别之一。总的显示为深湖—半深湖厌氧沉积环境,但有近源碎屑物加入,镜下见板状长石碎屑呈棱角明显,显示近源特征(照片 2)。

镜下见油页岩具变余泥质结构,板状构造。主要由粘土、粉砂屑和铁质等组成。粘土由隐晶质粘土组成,粉砂屑由石英和斜长石组成。岩石矿物定向排列,具板状构造。粘土显微隐晶质局部发生轻微的绢云母化现象,定向排列。铁质,隐晶质,充填在粘土

中。粉砂屑,棱角状、次棱角状及圆状,粒径为 0.03~0.06 mm,个别 0.15 mm,达砂级级别。岩石板劈理发育,粘土、砂屑分别相对聚集,呈成分不同的层理分布。岩石矿物含量:粘土 92%,粉砂屑 3%,铁质 5%。油页岩化学成分 (10^{-2}): SiO_2 52.02 (56.14~47.89)、 Al_2O_3 13.42 (12.22~14.61)、 TFe_2O_3 7.03 (8.62~5.44)、 MgO 1.12 (1.28~0.95)、 CaO 0.78 (0.67~0.68)、 Na_2O 1.66 (1.79~1.53)、 K_2O 2.96 (3.19~2.72)。其中 SiO_2 、 Al_2O_3 之和为 65.44×10^{-2} ,表明油页岩主要物质成分为 SiO_2 、 Al_2O_3 ,属中等灰分的油页岩^[2],其他组分较少;且属硅质灰分 (SiO_2 40×10^{-2} ~ 70×10^{-2} 、 Al_2O_3 8×10^{-2} ~ 30×10^{-2})、 Fe_2O_3 $< 20 \times 10^{-2}$ 、 CaO $< 20 \times 10^{-2}$)^[2]。 SiO_2 、 Al_2O_3 含量与抚顺等地油页岩 (SiO_2 61.59×10^{-2} 、 Al_2O_3 23.36×10^{-2})^[23]相比,均较低。油页岩有机炭为 14×10^{-2} ,全炭 16.28×10^{-2} 。

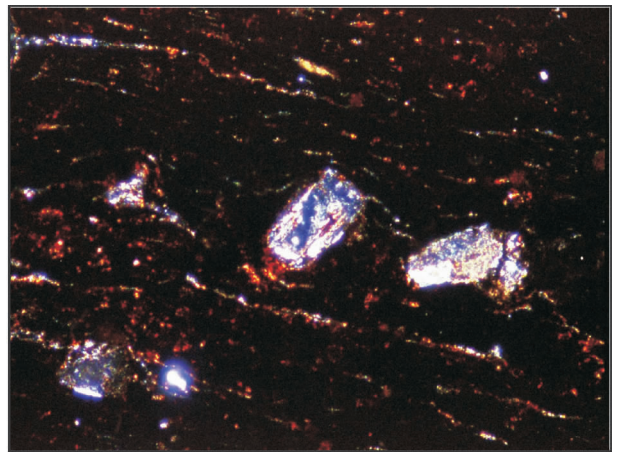
2.1.5 油页岩矿的质量

含油率和发热量是评价油页岩质量的两个最重要的指标。根据本次测定结果,结合前人资料,鄂尔多斯油页岩质量中等偏好,含油率一般为 1.8%~13.7%,平均 7.70%(表 3),发热量 1.66~11.45 MJ/Kg (本次测得),干酪根类型 I-II1,产烃率 400 kg/t^[24]。鄂尔多斯油页岩密度一般为 1.41~2.59 (ARD 视密度),平均为 1.72。



照片 1 铜川金锁关霸王庄油页岩(比例尺 1:4)

Photograph 1 Oil shale in Bawangzhuang, Tongchuan(Scale1:4)



照片 2 霸王庄油页岩的镜下特征(变余泥质结构,板状构造。岩石由隐晶质粘土、铁质和粉砂屑石英等组成,岩石发生较轻微的绢云母化,为铁质所染色。正交偏光 $\times 4$)

Photograph 2 Characteristics of Bawangzhuang oil shale under microscope (Blastopelitic texture, slab structure. The rock is composed of cryptocrystalline clay, ferruginous matter and silt quartz scrap. The rock has experienced weak sericitization dyed by ferruginous matter, crossed nicols $\times 4$)

另外,卢进才、刘招君^①提出鄂尔多斯地区长 7 油层组油页岩含油率为 5%~10%;20 世纪 50 年代,陕西省石油工业局(1959)^②查明前烈桥油页岩含油率为 7%,淌泥河油页岩含油率为 5%;何家坊油页岩含油率为 9.25%;顺便提及,辽宁抚顺油页岩含油率为 5%~10%,探明储量 41×10^8 t。广东茂名油页岩最厚达 49 m,平均含油率为 6%~8%,最高 13.66%,热值 3900~6200 J/kg,探明储量 55.15×10^8 t。笔者现将这些资料一并列出,以资对比。综合各项参数,估计铜川北部油页岩矿的页岩油储量为 7000 万 t。将

鄂尔多斯油页岩的 TOC 等指标和其他地区油页岩的进行对比,其属于好的油页岩范畴(表 4)。

2.1.6 铜川北部油页岩矿的成因

目前一般把油页岩沉积分为三大类^[4,5,23]:第一类包括黑色的、极少见的浅棕色海相被动陆缘台地型油页岩,它们与碳酸盐岩、硅质岩和含磷酸盐的岩系伴生。油页岩层一般都很薄,厚度不超过几米,厚度 10 m 的极少,但含油率较高,可达 20%。第二类黑色湖相油页岩,形成于深湖—半深湖的沉积环境中。油页岩层有几百米厚,含油率一般不到 10%,这类油页岩

表 3 鄂尔多斯油页岩含油率
Table 3 Oil-bearing rate of shale in southeast Ordos basin

编号	样品名称	葛金低温干馏			
		焦油产率 Tar (%)	半焦产率 CR ad (%)	总水分产率 Water ad (%)	焦 型
V-1	黑色片状油页岩(烈桥槽子沟)	13.7	77.9	2.5	B
t68	黑色纸片状油页岩(贾曲河)	11.0	80.8	1.6	B
VII-2	灰黑色片状油页岩(焦萍站)	10.6	80.2	4.0	B
VI-1	黑色片状油页岩(风化呈灰红色)(何家坊)	10.2	77.4	4.6	B
IV-1	黑色片状油页岩(淌泥河)	9.6	78.6	7.0	B
t74	黑色片状油页岩(五十亩塔)	8.9	78.5	6.0	B
t61	黑色片状油页岩(风化呈灰白色)(柳树台)	8.6	76.2	5.0	B
t21	黑色纸片状油页岩(冯家渠)	7.0	82.6	3.3	B
t94	黑色片状油页岩(马泉)	6.4	83.9	4.1	B
t69	黑色片状油页岩(风化呈灰白色)(聂家河)	5.2	78.6	8.8	B
t86	灰黑色片状油页岩(福地)	5.2	89.4	3.4	B
II-1	黑色片状油页岩(风化呈灰黄色)(霸王庄)	3.6	86.2	3.0	B
t28	黑色片状油页岩(风化呈灰白色)(半截沟)	2.5	90.0	4.8	B
TC-1-1	黑色片状油页岩(风化后朱红色)(霸王庄)	1.8	92.8	4.2	B
t110	黑色含植物碎片粉砂岩(张家滩)	1.8	96.6	0.0	B

注:样品由西北地质研究所白云来(2008,6)采集,由煤炭工业甘肃省煤炭质量监督检验站分析。测试者:刘兵元;测试时间:2008.9.16~2008.11.16;测试方法:葛金低温干馏;测试标准:GB-T1341-2007;试验室设备:葛金干馏炉;实验条件:干馏炉子通电加热到 300°C,保持其温度,待其稳定一段时间后,将装有样品的干馏管插入炉内,并以每分钟提升 5°C 的加热速度继续加热,连续加热至 600°C;精度及误差(重复性误差范围):干馏总水分产率 1%,半焦产率 1.5%,焦油(页岩油)产率 1%;B 为焦型型号,标准焦型分 ABCDEFGHIJ 等 10 类,其中 B 型是指试验前后样品体积变化大体相当,样品干馏后略有粘结性,多于 3 块,或块带少量粉末,一拿就碎;总水分产率:干馏出的水分质量/样品的质量;焦油(页岩油)产率:(干馏出的冷凝物质的质量-干馏总水分质量+干馏管及其支管内沾附的焦油(页岩油)的质量)/样品的总质量;半焦产率:半焦是将样品干馏后形成的固体物质,其产率指半焦总质量/样品质量。

①中国工程院,刘招君.“中国可持续发展油气资源战略研究(2020-2050)-全国油页岩资源评估”,2005。

②陕西省石油工业局勘测队.铜川北部油页岩普查初期报告,1959。

③中国石油大庆油田分公司勘探开发研究院,中国石油集团西北地质研究所.鄂尔多斯地区油页岩资源初步评价,2008。

表 4 鄂尔多斯油页岩与中国陆相生油岩有机质丰度对比^[25]
 Table 4 Correlation of organic material abundances between oil shale in southeast Ordos basin and that in land facies oil source rock of China

项目	岩相	岩性	C% (有机C)	'A%氯仿 沥青	HC × 10 ⁻⁶ (总烃)	HC / C%
好生油岩	半深-深湖相	灰黑色泥岩	> 1.0	> 0.10	> 500	> 4
较好生油岩	浅-半深湖相	灰色泥岩为主	0.6~1.0	0.051~0.1	200~500	2~4
较差生油岩	滨-浅湖相	较差生油岩	0.051~0.1	0.01~0.05	100~200	1~2
非生油岩	河流相	灰绿色泥岩为主	< 0.4	< 0.05	< 100	< 1
窑街油页岩	浅-半深湖相	黑色油页岩	10.55	0.28	2108	2.19
鄂尔多斯地区 油页岩	浅-深湖相	黑色油页岩	19.3	0.4~1		1.92~5.77

注:中国陆相生油岩有机质丰度及评价指数数据黄弟藩,1998^[4];窑街油页岩资料据中石油西北分院^①。

岩是季节性气候旋回直接控制下湖盆内部水体生物与化学环境周期变化的产物,是盆内成因或湖控成因的。第三类是与煤层伴生的油页岩,包括海陆交替相和沼泽相沉积环境形成的油页岩,一般分布在煤层的顶、底部或煤层之间,多数为煤层底板,以含油率高为特点,但厚度相对较薄。铜川北部的油页岩就属于大型内陆湖盆的半深-深湖相油页岩。

2.2 中侏罗世油页岩地质特征(以宁夏固原炭山油页岩为例)

2.2.1 矿区区域地质概况及矿体层位

宁夏固原炭山油页岩矿位于鄂尔多斯盆地西缘^[26]^②、大型青铜峡-固原深大断裂东侧。原型盆地恢复结果表明^[1],矿区地层应是喜山运动将盆地西缘褶皱造山、剥蚀、残留下来的产物。油页岩矿赋于这些残留的中侏罗统延安组中^[26]。延安组主要为砂岩、页岩夹煤层、油页岩及粘土岩,厚 300 m,与下伏地层呈角度不整合接触(图 6)。中侏罗晚期安定组主要由石英砂岩夹页岩组成,与下伏地层呈平行不整合。

2.2.2 矿区构造

矿区位于鄂尔多斯西缘褶皱冲断带内,构造较为发育,主要由一系列褶皱和不同方向不同性质的断层所组成。

勘探区大部位位于秦家窑主背斜东翼(图 7),由秦家窑背斜、槐岔梁向斜、槽子背斜及小西湾向斜 4

个中等紧闭程度的次一级褶皱组成。褶皱轴向基本为北西西向,Ⅱ线以南略呈“S”型,褶皱总体向北倾伏,南部翘起,Ⅲ线以南两翼较为对称,地层倾角一般 20°~30°。秦家窑背斜轴已为两翼钻孔及露头所控制,F5 断裂以北及 F8 断裂以南控制程度较差,多属推断。区内较大的断层有 9 条,根据其褶皱构造的关系,可大致分类划归为北北西向纵向断层、北东东向横断层及北东、北西向斜断层 4 组。它们均对油页岩和煤层有一定的控制作用。

2.2.3 油页岩特征

(1) 油页岩的产出特征

如前所述,炭山油页岩赋存于中侏罗世延安组中,油页岩的分布和煤层一样,完全受延安组及构造控制。该区油页岩主要有 8 层,总厚度约 14.39 m,分布于延安组第一、二含煤段 J₂¹⁻² 中,和煤层密切相关,这在该区综合柱状图(图 6)中有较清楚的反映。结合区域分布特点,与煤 14、16 和 19 相关的油页岩-油 3、4、5、6 分布稳定,且有一定的厚度。其中油 3 分布于煤 14 的上部,油 4 分布于煤 16 的上部,而油 5、6 则分布于煤 19 的上、下两盘。油 3、4、5、6 厚度分别为 2、2、4、0.95 m。油页岩呈层状展布,严格受上述褶皱和断裂控制(2、4 油页岩层)。其中煤 19 灰分大于 40%,但含油率大于 7%,为炼油用煤,可作为油页岩对待,其储量为 7284 万 t,仅此一项,就可折合成页岩油至少 510 万 t。

①中石油西北分院.西北地区油页岩资源调查与评价,2006.

②中国石油长庆油田分公司勘探开发研究院,中国石油集团西北地质研究所.鄂尔多斯地区油页岩资源初步评价,2008.

③陕西省石油工业局勘测队.铜川北部油页岩普查初勘报告,1959.

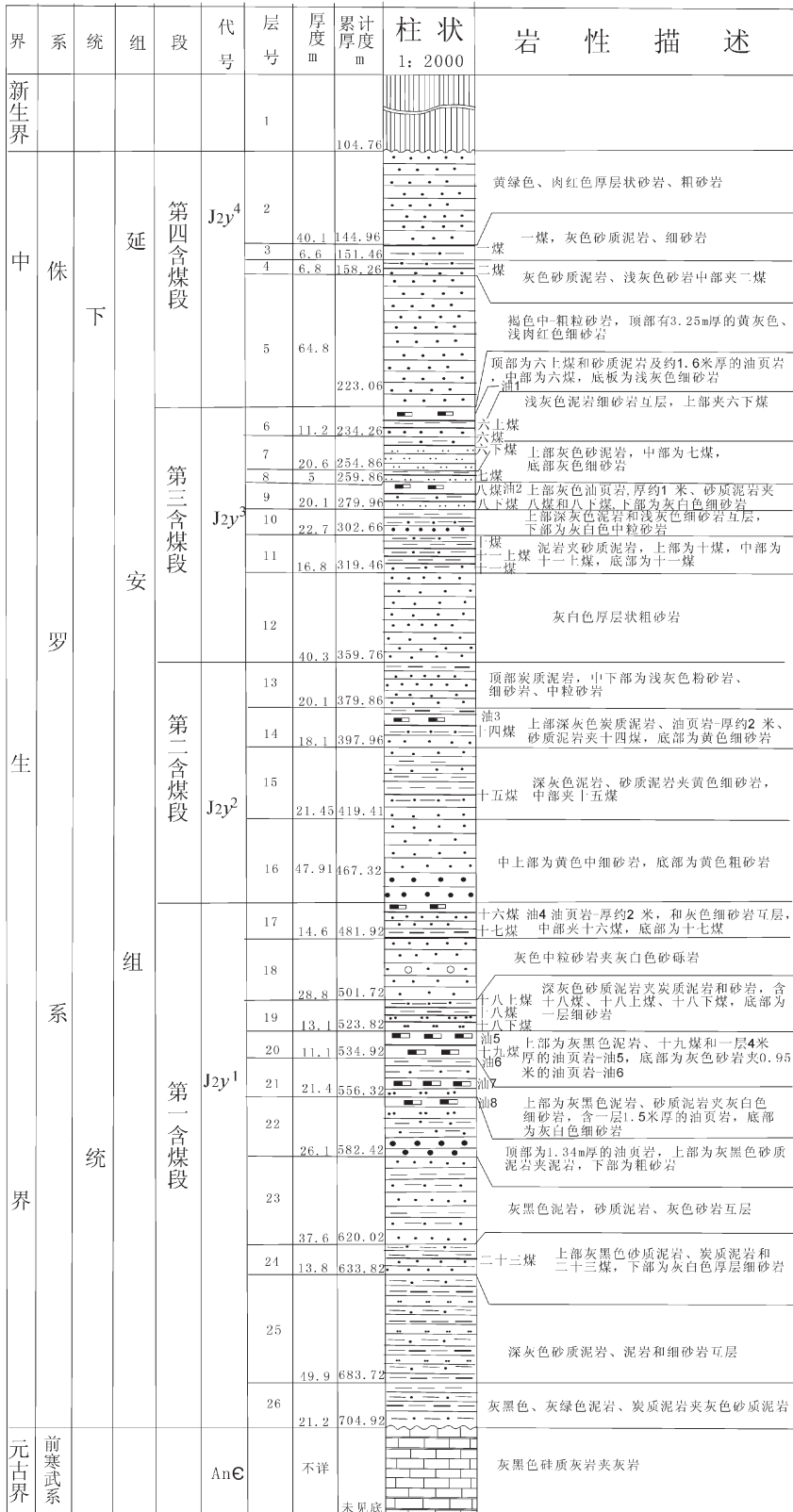


图6 炭山油页岩矿区综合柱状图

Fig.6 Composite column of the Tanshan oil shale ore district

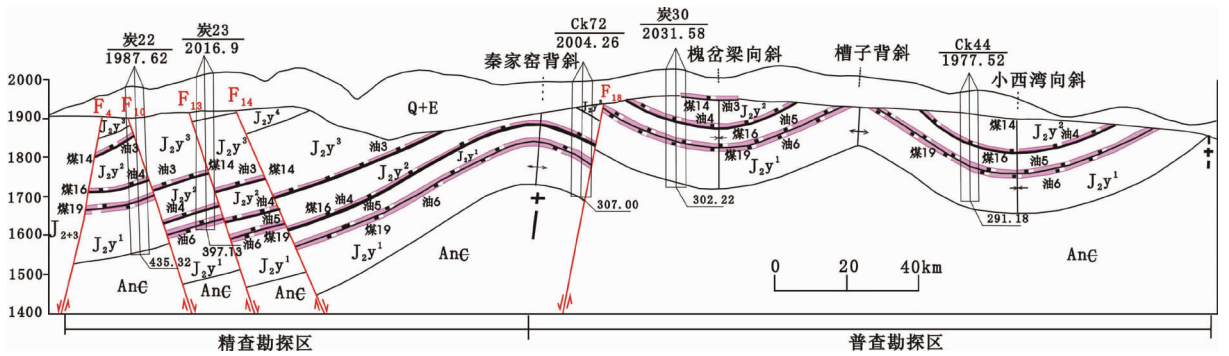


图 7 炭山油页岩矿区勘探线剖面
Fig.7 Geological section along the exploration line in the Tanshan oil shale deposit

(2)油页岩的宏观特征、物质组成、化学成分及含油率

炭山油页岩宏观上呈黑色，略具油脂光泽。片状、层状构造，参差状、贝壳状断口。硬度小，条痕亮褐色，肉眼观察，岩石主要由粘土矿物组成。层面光滑而油腻(照片 3)。

本次分析结果表明：油页岩含油率一般为 2.0%~11%，高位发热量 4.36~20.98 MJ/kg，低位发热量达 3.91~19.38 MJ/kg，近于或高于油页岩发热量的边界指标(4.18 MJ/kg)。矿区油页岩样品含油率均符合工业要求，而外围样品含油率比最低工业品位略低。

油页岩化学成分 (10⁻²):SiO₂ 20.44、TiO₂ 0.32、

Al₂O₃ 7.12、Fe₂O₃ 6.36、FeO 1.50、MnO 0.013、MgO 0.83、CaO 0.27、Na₂O 0.27、K₂O 1.12、P₂O₅ 0.050、H₂O⁺ 1.90、H₂O⁻ 3.39;LOI 61.73; 其中 SiO₂、Al₂O₃ 之和为 27.44×10⁻²，远小于 83×10⁻²(油页岩灰分含量的上限值高于此值则为含油页岩^[2])。上列化学组成表明炭山油页岩物质组成主要为 SiO₂、Al₂O₃，与抚顺等地油页岩(SiO₂ 61.59×10⁻²、Al₂O₃ 23.36×10⁻²)^[23]相比，SiO₂、Al₂O₃ 均较低。

(3)炭山油页岩的规模 根据含油率、分布范围及相关规范估计的炭山油页岩矿页岩油储量为 3718 万 t^[20]。

2.2.4 炭山油页岩矿成因

炭山油页岩与煤层伴生，分布在煤层的顶、底部或煤层之间，应是沼泽相沉积环境的产物。

3 鄂尔多斯油页岩资源量的估计

综前所述，鄂尔多斯油页岩主要有 4 个主要层位，分别形成于中、晚三叠世，晚三叠世以及中侏罗世早期、中侏罗世晚期。

中、晚三叠世延长组及晚三叠世瓦窑堡组分布范围如图 1 和图 8 所示，延长组深-半深湖区油页岩厚一般 13~36 m，含油率 5%~10%；晚三叠世瓦窑堡沼泽相(与煤共生)厚度 8~12 m，含油率 6%~14%^[20]。

中侏罗世早期延安组油页岩西部与煤层分布范围相同，东部与半深湖分布范围吻合(图 2)，该范围不含煤，但含油页岩。油页岩厚 4~10 m，含油率



照片 3 炭山油页岩
Photograph 3 Tanshan oil shale

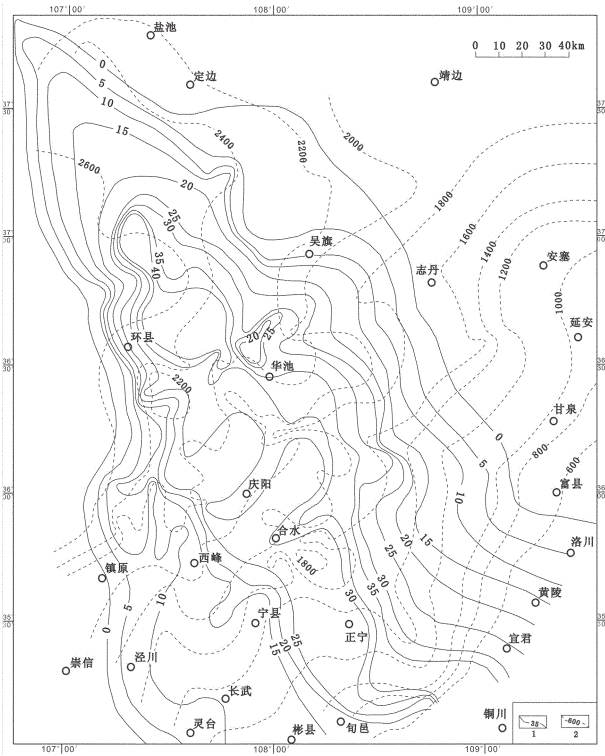


图8 鄂尔多斯盆地延长组油页岩厚度分布
 1—油页岩厚度等值线;2—油页岩埋深等值线
 Fig.8 Thickness distribution of oil shale in Yanchang Formation of Ordos basin
 1- Thickness contour of oil shale; 2-Burial depth of oil shale

1.50%~12.00%,本次低于3.5%部分暂不参加资源量的计算^[21]。

中侏罗世晚期安定组的油页岩分布于半深湖中(图3)。由于气候干燥炎热原因,三角洲地区未见

煤层^[21],也不含油页岩,但在半深湖盆地中形成油页岩。

全盆地油页岩资源估计结果见表6。

4 结论

鄂尔多斯盆地除赋存大量的石油天然气、煤及煤层气、地下水及铀矿而外,还赋存着巨量的油页岩资源。油页岩分别赋存于早二叠世山西组、中、晚三叠世延长组、晚三叠世瓦窑堡组及中侏罗世早期延安组、中侏罗世晚期安定组地层中;在空间上,油页岩多呈层状展布于盆地内部而隐伏地下,仅在盆地边部、盆地深切谷及部分钻孔中可见其分布。中、晚三叠世延长组和中侏罗世早期延安组中的油页岩是主要含油页岩层位。早二叠世油页岩形成于滨海环境,中、晚三叠世延长组中的油页岩形成于陆相深湖或半深湖环境,晚三叠世瓦窑堡组油页岩、中侏罗世早期延安组油页岩形成于陆相湖泊三角洲环境中,与煤层共生,而中侏罗世晚期安定组油页岩仅局限于陆相半深湖环境。油页岩矿层厚度一般为4~36 m,含油率一般为1.5%~13.7%(下限略低于3.5%这一油页岩矿的最低工业品位,本次低于部分暂不参加资源量的计算);埋藏2000 m以上的页岩油资源量(334)达2000×10⁸t以上,其中探明储量(121)1×10⁸t。显示了巨大的资源前景。

综上所述,鄂尔多斯盆地不仅油页岩资源量巨大,而且有近期可供开采的油页岩储量,探明程度较高,交通方便,构造简单,矿层厚度大,较稳定,水文地质条件简单,如果能利用合理的采收方法,解决好

表5 炭山矿区油页岩含油率
 Table 5 Oiliness ratio in Tanshan oil shale

序号	样品编号	采样地点	样品名称	葛金低温干馏				焦型
				焦油产率 Tar ad (%)	半焦产率 CR ad (%)	总水分产率 Water ad (%)	损失量 (%)	
1	ts-1	大泉湾沟(外围)	黑色片状油页岩	2.0	82.2	10.0	5.8	A
2	ts-2	Z902孔深100 m(外围)	黑色片状油页岩	2.7	88.9	5.0	3.4	
3	ts-3	3号井6-7(油3)	黑色油页岩	4.6	76.1	9.0	10.3	A
4	ts-4	2号井8(油4)	黑色油页岩	5.4	82.7	8.0	3.9	A
5	ts-5	3号井煤6-7(油5)	黑色薄片状油页岩	11.6	75.0	0.5	4.7	A

注:分析方法、测试单位及值量同表3。

①中国石化长庆油田分公司勘探开发研究院,中国石油集团西北地质研究所.鄂尔多斯地区油页岩资源初步评价,2008.

表 6 鄂尔多斯盆地油页岩资源量(334)估计表
Table 6 Assessment for the amount of oil shale resources in Ordos basin

分布时代及层位	分布面积 (km ²)	厚度 (m) (平均)	体重	油页岩资源 量(10 ⁸ t)	含油率% (平均)	页岩油资源量 (10 ⁸ t)
中侏罗晚期安定组	8200	8.00~14.00 (11)	2.46	2218.92	4.00~5.00 (4.5)	99.85
中侏罗早期延安组沼泽相	113660	4.00~6.00 (5)	1.55	8808.65	1.50~12.00(6.75)	594.58
侏罗早期延安组湖泊相	17541	5.00~10.00 (7.5)	2.46	3236.31	3.00~5.6 (4.3)	139.16
晚三叠世瓦窑堡组	800	8.00~12.00 (10)	2.45	1960	6.00~14.00 (10)	196
中、晚三叠世延长组	29400	20.00~36.00 (28)	1.72	14159.04	1.80~13.70(7.7)	1090.24
总计				30382.92		2119.83

注:延长组油页岩面积据中石油长庆油田 2006 年资料^①;中侏罗早期沼泽相油页岩面积据文献 [21]。

环境保护问题,在适当时机开发和利用是可行的。如果能采用东北桦甸油页岩矿“小炉炼油”的先进经验,近期对鄂尔多斯油页岩进行探索性的开采和炼油,取得一些开拓性的宝贵经验,其意义是不言而喻的。

致谢:在项目执行和论文撰写过程中,长庆油田公司副总经理杨华教授级高级工程师、长庆勘探开发研究院院长付金华教授级高级工程师给予了热情的关怀和指导,长庆勘探开发研究院毛明陆、孙六一、包洪平高级工程师给予了大力支持,在此表示衷心的感谢!

参考文献 (References):

- [1] 白云来,王新民,刘化清,等.鄂尔多斯盆地西部边界的确定及其地球动力学背景[J].地质学报,2006,80(6):702-813.
Bai Yunlai, Wang Xinmin, Liu Huaqing, et al. Determination of the borderline of the western Ordos basin and its geodynamics background [J]. Acta Geologica Sinica, 2006, 80 (6):702-813 (in Chinese with English abstract).
- [2] 张泓,晋香兰,李贵红,等.鄂尔多斯盆地侏罗纪—白垩纪原始面貌与古地理演化[J].古地理学报,2008(10)1:2-11.
Zhang Hong, Jin Xianglan, Li Guihong, et al. Original features and palaeo-geographic evolution during the Jurassic-Cretaceous in Ordos Basin [J]. Journal of Palaeogeography, 2008, 10:2-11 (in Chinese with English abstract).
- [3] 陈法正.砂岩型铀矿的成矿地质条件与战略选区:以二连和鄂尔多斯盆地为例[J].铀矿地质,2002,18(3):138-143.
Chen Fazheng. Metallogenic geologic Prerequisites of sandstone-type uranium deposits and target area election: taking Erlian and Ordos basins as examples [J]. Uranium Geology, 2002, 18 (3):138-143(in Chinese with English abstract).
- [4] 刘招君,董清水,叶松青,等.中国油页岩资源现状 [J].吉林大学学报(地球科学版),2006,36(6):869-876.

- Liu Zhaojun, Dong Qingshui, Ye Songqing, et al. The situation of oil shale resources in China [J]. Journal of Jilin University (Earth Science Edition), 2006, 36(6):869-876(in Chinese with English abstract).
- [5] 卢进才,李宇宏,魏仙祥,等.鄂尔多斯盆地三叠系延长组长 7 油层组油页岩沉积环境及资源潜力研究[J].吉林大学学报(地球科学版),2006,36(6):928-932.
Lu Jincai, Li Yuhong, Wei Xianxiang, et al. Research on the depositional environment and resources potential of the oil shale in the Chang 7 Member, Triassic Yangchang Formation in the Ordos Basin [J]. Journal of Jilin University (Earth Science Edition), 2006, 36 (6):928-932(in Chinese with English abstract).
- [6] 李思田.盆地动力学与能源资源—世纪之交的回顾与展望 [J].地学前缘,2000,7(3):1-8.
Li Sitian. The dynamics of sedimentary basins and energy resources—retrospective and prospects at the turn of the century [J]. Earth Science Frontiers, 2000, 7(3):1-8(in Chinese with English abstract).
- [7] 王慎余,许家朋,王振海.我国油页岩资源开发利用状况及发展对策[J].中国地质经济,1992,5:16-19.
Wang Shenyu, Xu Jiapeng, Wang Zhenhai. Present state of China's oil shale development and utilization [J]. Geological Economy of China, 1992, 5:16-19(in Chinese with English abstract).
- [8] 关德师,牛家玉,郭丽娜,等.中国非常规油气地质 [M].北京:石油工业出版社,1995:228-287.
Guan Deshi, Niu Jiayu, Guo Lina, et al. Unconventionality Oil and Gas Geology in China [M]. Beijing: Petroleum Industry Press, 1995: 228-287(in Chinese).
- [9] Smith J W. Oil shale resources of the United States [J]. Mineral and Energy Resources, 1980, 23(6):15-23.
- [10] 赵应泰,刘文彬.外国油页岩综合利用进展 [J].地球科学进展,1992,7(2):49-50.
Zhao Yingtai, Liu Wenbin. Advance in synthesized using of oil shale in foreign countries [J]. Advance in Earth Science, 1992, 7(2): 49-50 (in Chinese with English abstract).
- [11] 赵隆业,陈基娘,王天顺.关于中国油页岩的工业成因分类[J].

①中国石油长庆油田分公司勘探开发研究院,中国石油集团西北地质研究所.鄂尔多斯地区油页岩资源初步评价,2008.

- 煤田地质与勘探, 1991, 19(5): 2-6.
- Zhao Longye, Chen Jiniang, Wang Tianshun. Industrial -original classification of Chinese oil shale [J]. Coal Geology and Exploration, 1991, 19(5): 2-6 (in Chinese with English abstract).
- [12] 游军军, 叶松青, 刘昭君, 等. 油页岩的综合开发与利用[J]. 世界地质, 2004, 23(3): 261-265.
- You Junjun, Ye Songqing, Liu Zhaojun, et al. Comprehensive development and utilization of oil shale [J]. Globe Geology, 2004, 23(3): 261-265 (in Chinese with English abstract).
- [13] 姜秀民, 阎澈. 油页岩能源利用的现状与发展[J]. 新能源, 2000, 22(9): 33-38.
- Jiang Xiumin, Yan Che. Present situation and development in energy sources utilization of oil shale [J]. New Energy, 2000, 22(9): 33-38 (in Chinese with English abstract).
- [14] 卢进才, 李玉宏, 魏仙祥, 等. 西北地区油页岩形成条件及找矿方向[J]. 西北地质, 2006, (29)4: 57-64.
- Lu Jincai, Li Yuhong, Wei Xianxiang, et al. Formation and exploration target of oil shale in northwest China [J]. Northwestern Geology, 2006, 39(4): 57-64 (in Chinese with English abstract).
- [15] 陕西省地矿局. 陕西省区域地质志[M]. 北京: 地质出版社, 1989.
- Bureau of Geology and Mineral Resources of Shaanxi Province. Regional Geology in Shaanxi Province [M]. Beijing: Geological Publishing House, 1989 (in Chinese with English abstract).
- [16] 陕西省地质矿产局. 全国地层多重新划分对比研究 陕西省岩石地层[M]. 武汉: 中国地质大学出版社, 1998.
- Bureau of Geology and Mineral Resources of Shaanxi Province. Multiple Classification and Correlation of the Stratigraphy of China (61)-Stratigraphy (lithostratic) of Shaanxi Province [M]. Wuhan: China University of Geosciences Press, 1998 (in Chinese).
- [17] 杨明慧, 刘池洋. 鄂尔多斯中生代陆相盆地层序地层格架 [J]. 石油与天然气地质, 2006, (27)4: 563-570.
- Yang Minghui, Liu Chiyang. Sequence stratigraphic framework and its control on accumulation of various energy resources in the Mesozoic continental basins in Ordos [J]. Oil & Gas Geology, 2006, 27 (4): 563-570 (in Chinese with English abstract).
- [18] 张泓, 白清昭, 张笑微, 等. 鄂尔多斯聚煤盆地形成与演化[M]. 西安: 陕西科学技术出版社, 1995.
- Zhang Hong, Bai Qingzhao, Zhang Xiaowei. Formation and Evolution of the Ordos Coal-forming Basin [M]. Xi'an: Shaanxi Science and Technology Press, 1995 (in Chinese).
- [19] 杨俊杰. 鄂尔多斯盆地构造演化与油气分布规律 [M]. 北京: 石油工业出版社, 2002.
- Yang Junjie. Tectonic Evolution and Oil -gas Reservoirs Distribution in Ordos Basin [M]. Beijing: Petroleum Industry Press, 2002 (in Chinese).
- [20] 王永明. 陕北三叠纪煤田勘探中油页岩的地球物理测定效果[J]. 陕西地质, 2007, 26(1): 59-72.
- Wang Yongming. Geophysical logging of oil shale in exploration of the Triassic coal-fields in Northern Shaanxi [J]. Geology of Shaanxi, 2007, 26(1): 59-72 (in Chinese with English abstract).
- [21] 张泓, 何宗莲, 晋香兰, 等. 鄂尔多斯盆地构造演化与成煤作用—1:500000 鄂尔多斯盆地地质构造图简要说明 [M]. 北京: 地质出版社, 2005: 1-81.
- Zhang Hong, He Zonglian, Jin Xianglan, et al. Tectonic evolution and coal accumulation of the Ordos basin—A brief explanation of the geological tectonic map of the Ordos coal Basin (with scale of 1:500000) [M]. Beijing: Geological Publishing House, 2005: 1-81 (in Chinese with English abstract).
- [22] 赵隆业, 陈基娘, 王天顺. 我国油页岩的成分和品级划分 [J]. 现代地质, 1995, 5 (4): 423-429.
- Zhao Longye, Chen Jiniang, Wang Tianshun. Grade dividing and composition of shale in China [J]. Geoscience, 1995, 5(4): 423-429 (in Chinese with English abstract).
- [23] 袁见齐, 朱上庆, 翟裕生. 矿床学 [M]. 北京: 地质出版社, 1979: 327-329.
- Yuan Jianqi, Zhu Shangqing, Zhai Yusheng. Mineral Deposits [M]. Beijing: Geological Publishing House, 1979: 327-329 (in Chinese).
- [24] 牟泽辉, 朱红权, 张克银, 等. 鄂尔多斯盆地南部中生界成油体系[M]. 北京: 石油工业出版社, 2001: 1-10.
- Mu Zehui, Zhu Hongquan, Zhang Keyin, et al. The Oil-forming System of Mesozoic in South Ordos Basin [M]. Beijing: Petroleum Industry Press, 2001: 1-10 (in Chinese with English abstract).
- [25] 白云来, 马龙, 吴武军. 西北地区油页岩地质特征、资源现状及其开发利用条件分析[J]. 中国地质, 2007, (33) 6: 1105-1110.
- Bai Yunlai, Ma Long, Wu Wujun. Main characteristics of oil shale and its foreground of prospecting and using in Northwest-China [J]. Geology in China, 2007, 33 (6): 1105-1110 (in Chinese with English abstract).
- [26] 白云来, 杨亚娟. 宁夏固原炭山油页岩矿床的主要特征及开发利用前景[J]. 甘肃地质, 2008, 17(1): 65-71.
- Bai Yunlai, Yang Yajuan. Main characteristics of oil shale deposits and analysis for foreground of prospecting and using in Tanshan, Guyuan, Ningxia, West China [J]. Gansu Geology, 2008, 17(1): 65-71 (in Chinese with English abstract).

Geological characteristics and resource potential of oil shale in Ordos basin

BAI Yun-lai, MA Long, WU Wu-jun, MA Yu-hu

(Northwest Branch Institute of Research Institute of Petroleum Exploration and Development, PetroChina, Lanzhou 730020, Gansu, China)

Abstract: Researches have shown that there exist not only large quantities of oil and gas, coal, coal-bed gas, groundwater and uranium deposits but also abundant oil shale resources in Ordos basins. Oil shale mainly occurs in Early Permian Shanxi Formation, Middle-Late Triassic Yanchang Formation, Late Triassic Wayaobao Formation, early Middle Jurassic Yan'an Formation and late Middle Jurassic Anding Formation. Oil shale usually assumes the layered form and lies at the depth of the basin. The major oil shale beds lie in both Yanchang Formation and Yan'an Formation. Oil shale was formed in paralic offshore in Early Permian, in terrestrial facies (deep or semi-deep lake) in Middle-Late Triassic, and in terrestrial facies lacustrine delta and lacustrine bog (associated with coal bed) in Late Triassic and early Middle Jurassic, and confined to terrestrial facies (semi-deep lake) in late Middle Jurassic. Oil shale is usually 4-36m in thickness, its oil-bearing rate is 1.5%-13.7%, and its apparent gravity is 1.55-2.46, as revealed by an analysis of the oil shale in northern Tongchuan of Shaanxi Province and Tanshan of Guyuan in Ningxia. The shale oil resource amount (334) is over 2000×10^8 t, the burial depth is above 2000 m, and the proved reserves (121) have reached 1×10^8 t, suggesting a great resource potential. The buried depth of the oil shale is shallow, the verified extent is high in some areas, and the traffic conditions are good. If the oil shale can be developed in time, not only the preliminary economic benefit will be acquired but also the valuable experience in exploiting oil shale will be gained in Ordos basin.

Key words: oil shale; geological characteristics; resources, Ordos basin

About the first author: BAI Yun-lai, male, born 1957, doctor and senior engineer, long engages in the study of regional structure, petrology and metallogenesis and now specializes in basin analysis and oil shale resource research; E-mail: baiyl6666@sina.com.cn.