

# 中国西北新能源——油页岩典型特征 及开发利用中的几个问题

汤 桦<sup>1</sup> 白云来<sup>2</sup> 吴武军<sup>2</sup>

(1. 西安地质矿产研究所, 陕西 西安 710054; 2 中国石油勘探开发研究院西北分院, 甘肃 兰州 730020)

摘要: 随着石油资源的可用量不断减少, 油页岩、油砂与稠油作为一种非常规资源即新能源而备受人们的重视。中国西北地区存在着丰富的油页岩资源。笔者近年来对其进行了初步研究。通过收集前人相关资料、野外地质剖面测量、典型矿区考察、关键样品化验分析等手段, 结果表明中国西北油页岩有以下特点: ①矿体多呈层状展布, 油页岩单层厚度一般为 1~36 m。油页岩多为褐黑色、黑色, 有的表面因氧化而呈褐红色, 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及粉砂级碎屑矿物(长石及石英)组成。油页岩化学成分主要为  $\text{SiO}_2$ 、 $\text{Al}_2\text{O}_3$ 。二者和为  $65.44 \times 10^{-2}$ , 表明其属中等灰分的油页岩。油页岩有机碳为  $14 \times 10^{-2}$ , 全碳  $16.28 \times 10^{-2}$ 。含油率一般为 1.5%~13.7%, 发热量一般为 1.66~20.98 MJ/kg, 视密度 1.55~2.46  $\text{kg}/\text{m}^3$ 。时代越新, 油页岩稀土元素丰度越高。主要有 3 种矿床类型: 中、晚石炭世—早二叠世滨浅海相沉积矿床、晚二叠世残余湖湾—湖相沉积矿床以及中生代内陆大型湖泊相沉积矿床。其中中生代大型内陆深水—半深水湖泊相油页岩是主要工业类型, 它也是鄂尔多斯盆地主要的生油岩, 其成因类似于“黑海模式”。中、晚石炭世和侏罗纪形成的油页岩矿床多与煤层共生, 形成于三角洲环境。该区预测的油页岩总资源量至少是  $30000 \times 10^8 \text{ t}$ , 折合页岩油约  $2100 \times 10^8 \text{ t}$ 。其中鄂尔多斯盆地油页岩资源量几近占 99%, 可与美国西部绿河油页岩媲美。西北地区已查明的油页岩矿均位于大、中城市附近, 只要解决好环境污染问题, 采用适当的开发技术, 必将获得巨大的经济效益。

关键词: 西北地区; 新能源; 油页岩; 典型特征; 开发利用

中图分类号: P618.12 文献标志码: A 文章编号: 1000-3657(2011)03-0731-11

2007 笔者曾撰文总结过中国西北地区新能源之一——油页岩的特点<sup>[1]</sup>。对其中一些典型油页岩矿床进行过剖析<sup>[1-6]</sup>。近年来又对鄂尔多斯盆地油页岩进行了研究, 获得了一些新的成果<sup>[5, 6]</sup>。这不仅增加了中国西北地区油页岩的资源量及其级别, 而且使得陆相油页岩的重要性及成因得到了世界同行的重视。在 2010 年 9 月第 21 届加拿大蒙特利尔世界能源大会上, 白云来报告的“鄂尔多斯盆地油页岩地质特征”引起了同行们的兴趣。表明包括油页岩在内的非常规资源已引起人们的普遍关注。现在一般认为, 油页岩是能分馏出相当数量石油的一种“岩石”, 有机质含量比较高(大于 15%), 灰分高(大于 40%), 可

燃烧, 通常含油率大于 3.5%, 发热量 4.18~16.7 MJ/kg, 约是煤的一半。含油率和发热量是评价油页岩的重要指标<sup>[7-15]</sup>。20 世纪中叶中国因未找到可供大量开采的石油资源而大量开发利用油页岩, 提炼出的页岩油(相当于原油, 下同)当时可占到全国原油产量 60%<sup>[14]</sup>。后来由于陆相油田的大量发现, 其开采成本相对较低, 油页岩才淡出了人们的视野。但现在随着石油供应日益紧缺, 特别是根据国际能源机构(IEA)公布的新数据, 中国在多年来经济快速增长的推动下已成为世界最大的能源消费国。2009 年消费了相当于  $22.52 \times 10^8 \text{ t}$  石油的能源, 超过美国约 4%。在此背景下, 不仅只是石油等常规资源需要加

收稿日期: 2010-07-26; 改回日期: 2010-12-06

基金项目: 中国石油“西北地区油页岩资源调查与评价”项目(2004121611)和中国石油长庆油田公司预探项目(00066297)资助。

作者简介: 汤桦, 女, 1965 年生, 高级工程师, 主要从事地质矿产信息方面的研究工作; E-mail: tanghual@163.com。

© 1994-2013 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. <http://www.cnki.net>

大勘探力度,提高储量储备,而且非常规能源即所谓新能源也应加大研究和开发步伐。在非常规资源—新能源中,油页岩是最有可能现实的石油资源部分替代品,已成为目前油气研究领域的热点。笔者在原来研究的基础之上,根据近年来所获得的新资料,如鄂尔多斯盆地油页岩研究的最新成果,将中国西北部油页岩特征重新加以总结,供同行参考。除早先调查过的内蒙古西部、宁夏、甘肃、青海及新疆等地油页岩外,本次研究范围还包括陕西北部的油页岩(图1)。这些地区多属高原、荒漠或戈壁地貌景观,干旱少雨,经济相对比较落后,合理而有效地开发利用新能源——油页岩,不仅为解决能源短缺做出贡献,而且对西北地区的经济发展有着十分重要的意义。

# 1 西北地区新能源——油页岩的主要特征

## 1.1 资源潜力大、探明程度低、分布不均匀

调查表明:西北地区油页岩总资源量/储量约  $31000 \times 10^8$  t,折合页岩油约  $2026 \times 10^8$  t,可以与美国西部油页岩(绿河油页岩)对比,后者页岩油资源量达  $2000 \times 10^8$  t<sup>[15]</sup>。其中,探明、控制的经济储量  $(121b+122b+2m22)22.86 \times 10^8$  t,折合页岩油约  $1.5 \times 10^8$  t(埋藏深度 300 m 以上)。查明油页岩资源量近  $131.56 \times 10^8$  t。探明油页岩储量比例显著偏低,约占全国油页岩探明储量  $(374 \times 10^8$  t<sup>[15])</sup> 的 6%。预测的、

内蕴经济的资源量  $(334)30848 \times 10^8$  t,主要分布于鄂尔多斯盆地,占 99%(图 1),且大多数分布于地表 300 m 以下。上述这些均表明西北地区油页岩不仅勘查程度较低,而且分布极不均匀、埋藏深度大。但同时也表明其勘查开发潜力较大。

## 1.2 西北地区油页岩时空分布

西北地区目前发现的油页岩主要分布于晚古生代和中生代不同类型盆地(滨海海盆地及内陆湖泊)中(图 1~2,表 1),一般埋藏较浅,但鄂尔多斯盆地中晚三叠世半深湖—深湖相油页岩大部分埋藏较深,最大埋深达 2000 m。现将其具体特征概述如下:

(1)晚古生代油页岩主要形成于古华北板块西南被动大陆边缘的滨海盆地及塔里木与准噶尔古板块缝合后的内陆湖泊环境中。前者以宁夏中卫地区的上下河沿油页岩(形成时代为晚石炭世)为例,后者以新疆乌鲁木齐—吉木萨尔地区的油页岩(形成时代为晚二叠世)为例。二者在形成环境上有明显差异。前者本质上属海相环境,后者则属陆相环境,但有海陆过渡的特点。宁夏中卫地区上下河沿油页岩现分布于六盘山盆地北缘,但前人对古环境研究表明,油页岩形成于晚古生代被动大陆边缘的继承性滨海盆地<sup>[8]</sup>。原来新疆乌鲁木齐—吉木萨尔地区含油页岩地层认为是海相,后来在相应地层中发现了淡水瓣鳃类,遂又确定其为陆相地层<sup>①</sup>。

(2)中生代油页岩主要形成于华北古板块与华

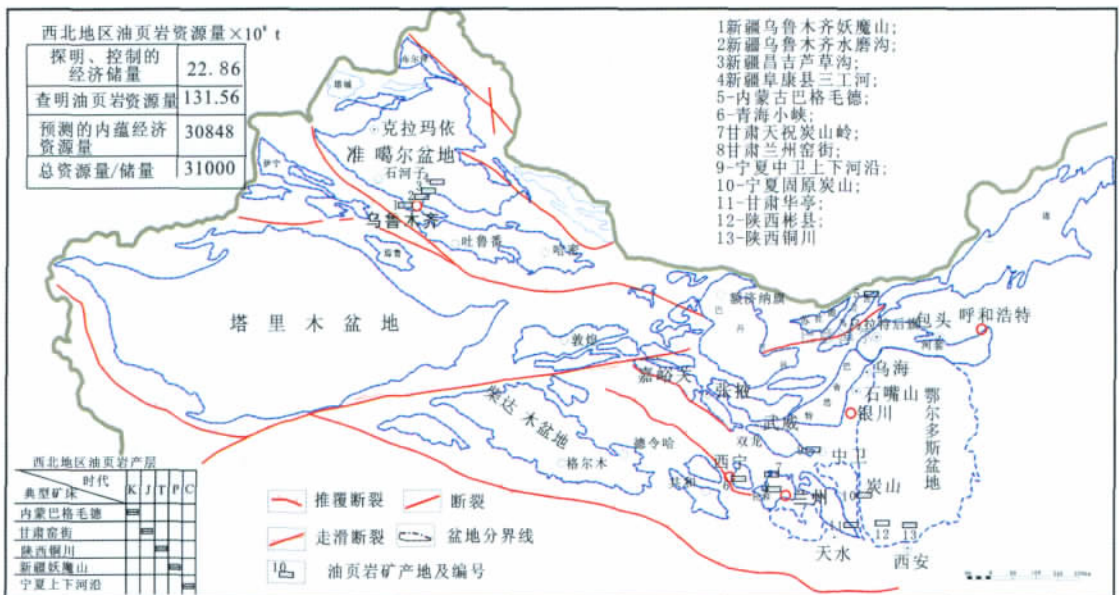


图 1 中国西北油页岩矿露头分布

Fig.1 Outcrop distribution of oil shale deposits in northwest China

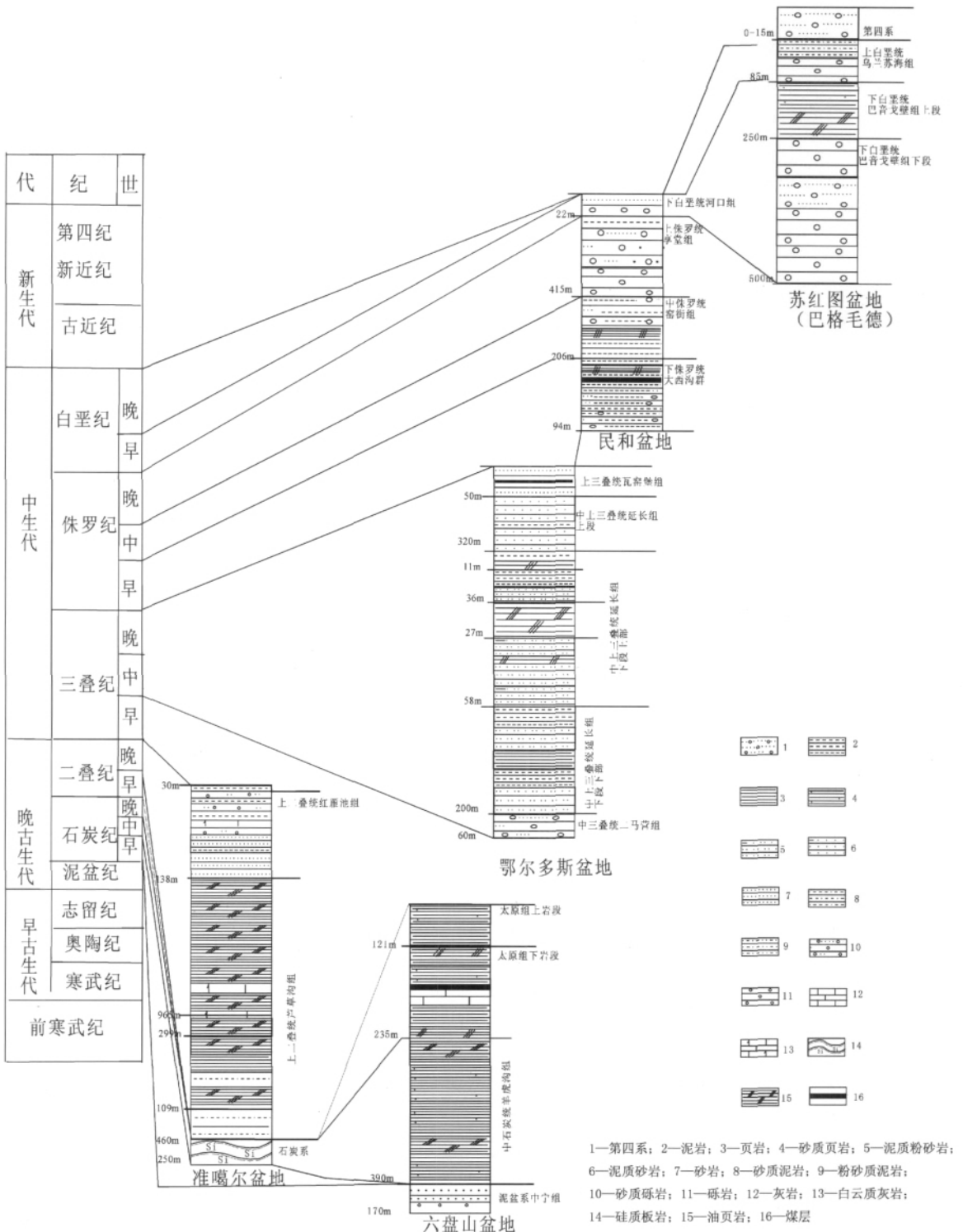


图 2 中国西北地区油页岩时空结构及沉积特征(油页岩露头分布位置见图 1)

Fig.2 Space-time structure and sedimentary characteristics of oil shale in northwest China (for locations of oil shale see Fig.1)

南古板块拼贴后的内陆湖泊环境。其中,中晚三叠世形成的鄂尔多斯盆地,主要是南侧印支运动推挤作用的结果,其中的油页岩也是鄂尔多斯盆地超大型油田的主要生油岩<sup>[16,17]</sup>。而侏罗纪及白垩纪内陆湖泊发育主要则是受东侧的伊泽奈崎古大洋板块和南侧的特提斯古大洋板块的俯冲作用影响<sup>[18,19]</sup>。宁夏炭山地区的油页岩形成于鄂尔多斯湖盆的西部,其形成时代为中侏罗世延安组沉积期,鄂尔多斯盆地南部铜川等地的油页岩形成时代为中晚三叠世延长组沉积期;窑街、炭山岭及小峡油页岩形成于民和盆地及其有成因联系的西宁盆地中<sup>[2]</sup>,形成时代均为中侏罗世窑街组沉积期;内蒙古巴格毛德油页岩形成于苏红图盆地东北边缘,形成时代为早白垩世晚期

巴音戈壁组沉积期(表 1,图 2)。

### 1.3 西北地区油页岩的矿床类型及古环境

西北地区油页岩矿床主要有 3 种类型:(1)中、晚石炭世—早二叠世滨浅海相沉积矿床;(2)晚二叠世残余湖湾—湖相沉积矿床;(3)中生代内陆湖泊体系沉积矿床(其中包括湖泊相和三角洲相)。

中、晚石炭世—早二叠世古气候为温湿及亚热干湿交替过渡环境,古植物多为华夏拟鳞木。晚二叠世古气候为温带半潮湿,古植物多为安哥拉植物群。中晚三叠世古气候为湿热环境,古植物多为真蕨银杏、苏铁、松柏;中侏罗世古气候为温带潮湿,古植物多为凤尾银杏、似木贼、新芦木、锥叶蕨等。早白垩世古气候为温带—亚热带干湿交替过渡,古植物多为

表 1 西北地区油页岩矿床主要地质特征(据文献[1,8],有补充)

Table 1 Main geological characteristics of oil shale deposits in northwest China (from references [1,8], with some supplements)

时代	代表性矿床	盆地类型	沉积环境	古气候条件	古植物组合	油页岩特征				
						层数	厚度/m	含油率/%	面积/km <sup>2</sup>	共生煤级
早白垩世	内蒙巴格毛德	裂谷-凹陷型	内陆湖	温带—亚热带干湿交替过渡	松柏, 克拉梭粉-粒面球藻	6	49.4	6	预测 520 查明 42	
中侏罗世	青海小峡	断陷-凹陷型	山间湖	温带潮湿	凤尾银杏, 锥叶蕨	2	4.28~6.18 平均 5.06	7.85	5.015	长焰煤
	甘肃窑街	断陷-凹陷型	山间湖	温带潮湿	似木贼, 新芦木, 锥叶蕨	4	油一 8.35~ 11.36 油二 4.73 合计 30.73	油一 4.6 油二 8.9	19	长焰煤 不粘煤
	甘肃炭山岭	断陷-凹陷型	山间湖	温带潮湿	似木贼, 新芦木, 锥叶蕨	2	11.6	5.98~7.98	10.375	长焰煤
	宁夏炭山	前陆盆地	山前湖	温带潮湿	银杏, 真蕨	4	4.22	11.2	300 (预测)	长焰煤
中晚三叠世	鄂尔多斯	凹陷盆地	内陆湖	湿热	真蕨银杏、苏铁、松柏、叶肢介、介形虫、双壳类、鱼	3	4-36	1.5~13.7	29000	
晚二叠世	乌鲁木齐妖魔山	山前凹陷	湖湾	温带半潮湿	安加拉植物群: 介形虫、瓣鳃类、叶肢介(淡水瓣鳃类)	10	71 (单层 2~5)	5.79~8.14	3.3	
	新疆米泉、芦草沟	山前凹陷	湖湾	温带半潮湿		23	66.18(单层 2~10)	7.08	11.49	
	新疆水磨沟	山前凹陷	湖湾	温带半潮湿		23	47(单层 2~10)	5.4~10.3	4.34	
中晚石炭世、早二叠世	宁夏上下河沿	滨浅海盆地	滨海	热带-亚热带潮湿	华夏拟鳞木	6	油 1 + 油 3 2.1	8.9	4.68	无烟煤

松柏等(表 1)

### 1.4 西北地区油页岩面积及厚度

西北地区含油页岩面积相差较大。鄂尔多斯盆地中晚三叠世含油页岩面积达 29400 km<sup>2</sup><sup>[5,16]</sup>、中侏罗世含油页岩面积超过 100 000 km<sup>2</sup><sup>[5,18]</sup>,但民和盆地含油页岩面积不到 35 km<sup>2</sup>(表 1)。探明油页岩矿的面积一般为 3.3~520 km<sup>2</sup>。油页岩单层厚度较小,一般为 1~5 m,但鄂尔多斯盆地中晚三叠世油页岩主矿层厚度为 3~36 m<sup>[5,6]</sup>。不同矿区油页岩总厚度相差也比较大(表 1),如新疆妖魔山油页岩矿区油页岩总厚达 71 m,而宁夏炭山油页岩总厚仅 4 m 多。

### 1.5 西北地区油页岩的宏观特征及物质组分特点

中国东部油页岩多呈浅灰黄色、浅褐色<sup>[8,10]</sup>。而西北地区油页岩多为褐黑色、黑色,比中国东部油页岩颜色深,略具油脂光泽,层状构造,参差状、贝壳状断口,硬度较小,指甲刻之,见明显的褐色亮痕,油脂光泽十分明显。其上见植物碎片。硬度小,片理发育,风化后呈棕褐色纸片状,有的能直接燃烧。鄂尔多斯盆地南部铜川地区中晚三叠世油页岩风化面上常因铁质氧化而成红色,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<sup>[5,6]</sup>。铜川地区中晚三叠世油页岩从成层性及表面因含铁高而呈红色等特点来看,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棱角明显<sup>[5]</sup>。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。粉砂屑由石英和

斜长石组成。粘土 92%,粉砂屑 3%,铁质 5%。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。铁质和隐晶质充填在粘土中。粉砂屑呈棱角状、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(甘肃地质矿产研究局中心实验室提供镜下鉴定特征)<sup>[5,6]</sup>。这种成层性明显的特征,是黑海模式的标志之一<sup>[15]</sup>。

### 1.6 西北地区油页岩主量元素及微量元素特征

西北地区油页岩的主量元素、稀土元素和微量元素丰度见表 2~3。主量元素分布直方图见图 3,微量元素与地壳克拉克值比值图见图 4,稀土分配型式见图 5。

从表 2 不难看出:油页岩物质组成主要为 SiO<sub>2</sub>(含量为 33%~72%)及 Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>(含量为 8.51%~21.43%),二者之和约为 67.64%,表明油页岩主要物质成分为 SiO<sub>2</sub> 及 Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>,属中等灰分的油页岩<sup>[9,13]</sup>,其他组分较少;且属硅质灰分(SiO<sub>2</sub> 40%~70%、Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 8%~30%、Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub><20%、CaO<20%)<sup>[9,13]</sup>。与抚顺等地油页岩(SiO<sub>2</sub> 含量为 61.59%,Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 含量为 23.36%<sup>[9]</sup>)相比,除准噶尔盆地南缘水磨沟地区油页岩的 SiO<sub>2</sub> 偏高外,其他地区 SiO<sub>2</sub>、Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 含量均偏低。表明油页岩灰分相对较低,一般小于 83%(油页岩灰分含量的上限值,高于此值则为含油的页岩<sup>[9]</sup>)。

研究油页岩中的微量元素,利于综合利用有用

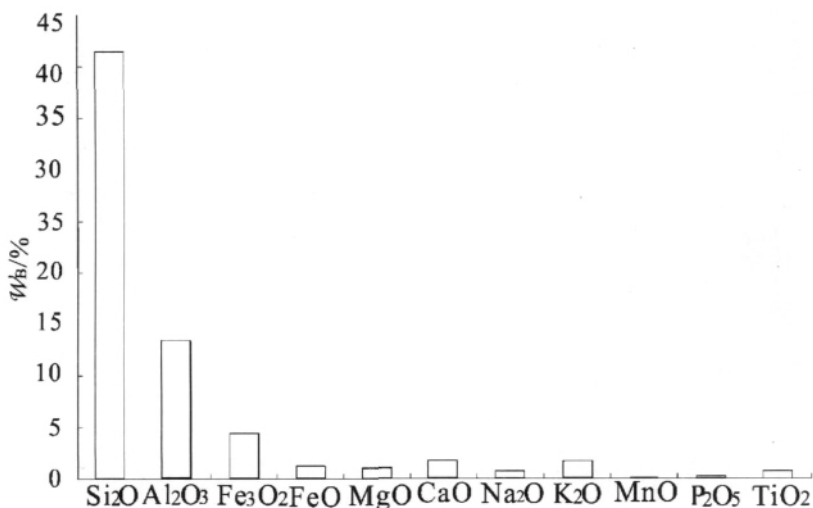


图 3 中国西北地区油页岩主量元素含量直方图

Fig.3 Histogram showing the main elements in the oil shale of northwest China

表 2 中国西北地区油页岩化学成分(%) (据文献[1~6])  
 Table 2 Chemical composition of oil shale in northwest China (%) (after references [1~6])

序号	采样地点	样品编号	SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	FeO	MgO	CaO	Na <sub>2</sub> O	K <sub>2</sub> O	MnO	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	TiO <sub>2</sub>	LOI	TFe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	CO <sub>2</sub>	Total
1	青海小峡	XX-1	41.75	14.00	3.22	1.01	0.32	0.34	0.46	1.09	0.01	0.15	0.96	36.15	4.13	1.49	99.48
2	青海小峡	XX-2	34.19	10.27	3.40	1.69	0.26	1.62	0.78	0.73	0.03	0.11	0.71	46.31	5.18	1.99	100.10
3	甘肃炭山岭	TSL-1	54.68	15.85	5.88	0.17	2.24	2.07	1.15	2.68	0.04	0.40	0.81	14.15	5.78	1.00	100.11
4	甘肃炭山岭	TSL-4	52.13	15.07	4.56	0.26	2.11	4.20	1.13	2.37	0.06	0.18	0.72	16.62	4.71	1.39	99.41
5	甘肃窑街	YJ-1	48.15	21.43	5.87	0.25	0.62	0.14	0.55	2.39	0.05	0.19	0.76	18.94	5.97	0.09	99.33
6	甘肃窑街	YJ-3	35.51	12.09	0.16	0.57	0.24	0.09	0.08	0.98	0.00	0.00	1.16	48.77	0.80	3.80	99.66
7	内蒙古毛德	BGMD-1	41.01	15.44	8.35	2.40	1.54	5.99	0.41	1.90	0.17	0.21	0.92	21.14	11.02	6.13	99.47
8	内蒙古毛德	BGM-2	33.06	8.51	0.94	2.25	0.37	0.58	0.46	0.40	0.03	0.28	0.75	52.03	3.44	0.89	99.65
9	宁夏炭山	Tanshan-1	20.44	7.12	6.36	1.50	0.83	0.27	0.27	1.12	0.013	0.05	0.32	61.73	8.01		100.33
10	鄂尔多斯	Tongchuan-1	52.02	13.42	5.01	2.02	1.12	0.78	1.66	2.96							

注:样品由白云来、吴武军(2005)采集,由国土资源部西安测试中心(2005)测试。

表 3 中国西北地区油页岩微量元素和稀土元素丰度(据文献[1-6])  
Table 3 Abundances of trace elements and REE of oil shale in northwest China ( $\times 10^{-6}$ , Au/Ag  $\times 10^{-9}$ ) (after references[1-6])

采样地	样品编号	微量元素丰度																
		Au	Ag	As	Ba	Co	Cu	Cs	Mo	Ni	Pb	Se	U	V	Zn	Mn	Ti	Sr
小峡矿区	XX-1	1.8	87	38.3	466	6.9	39.4	9	2.66	25	31.4	1.0	5.6	43.5	65.6			
	XX-2	2.5	92	23.4	304	9.4	31.8	5	3.11	49.9	1.01	5	30.8	85.7				
炭山岭矿区	TSL-1	10.6	160	21.5	1018	13.1	42.3	17.5	2.29	33.5	26.5	0.81	6.3	76	89.9			
	TSL-4	5.2	178	23.4	286	10.9	37.4	15.1	1.45	26.8	22.7	1.04	4.6	67.4	106			
窑街矿区	YJ-1	4	127	17.6	267	12.5	29.8	6.9	1.29	31.1	28.6	2.94	12.9	61.3	102			
	YJ-3	2.1	299	4.8	432	3.8	39.9	16.9	1.24	8.2	29.7	0.12	5.3	22.6	24.3			
水磨沟	Shuimogou-1	1.06	74	20.5	370	13.8	56.3	6.83	2.7	62.9	15.4	0.48	2.13	109.2	103.2			
	BGMD-1	2.8	79	18	526	16.8	36.7	7	1.68	39.1	27.7	0.46	6.3	64.2	83			
巴格毛德矿区	BGM-2	2.4	49	7.7	386	19.6	27.4	1.8	0.91	46.2	10.6	0.07	1.9	60	59.7			
	SXHY-1	4.8	107	40	630	21.3	49.8	10.6	1.05	61.2	28.2	0.73	4.5	82.7	95.2			
鄂尔多斯盆地南部 (铜川矿区)	Tongchuan II-2	3.95	171	66.0	1010	1.3	71.3	7.94	79.0	6.9	29	1.38	36.20	183	13.1	50	2970	146.5
	Tongchuan IV-2	1.19	177	38.0	655	4.6	55.7	8.68	73.0	17.3	32	0.42	26.66	228	29.0	73	2855	146.8
地壳元素丰度		4	70	1.8	390	25	55	3	1.5	75	12.5	0.05	2.7	135	70	100	4500	340

采样地	样品编号	稀土元素丰度														
		La	Ce	Pr	Nd	Sm	Eu	Gd	Tb	Dy	Ho	Er	Tm	Lu	Sc	Y
小峡矿区	XX-1	31.4	50	6.5	25.6	5.1	1.16	4.12	0.66	3.43	0.63	1.86	0.3	0.28		
	TSL-1	26.8	56	6.9	27	5.7	1.2	5.28	0.93	4.85	0.94	2.74	0.45	0.39		
窑街矿区	YJ-1	54	101	12.4	49.6	10.6	2.33	9.86	1.65	9.07	1.77	5.44	0.96	0.8		
	BGMD-1	54.4	108	13.4	52.2	10.7	1.99	9.99	1.73	9.54	1.81	5.27	0.82	0.69		
上下河沿矿区	SXHY-1	42	78	9.7	35.9	6.8	1.45	5.74	0.96	5.08	1.02	3.1	0.54	0.46		
	Tongchuan II-2	26.31	45.05	5.14	17.28	2.72	0.50	1.94	0.29	1.58	0.32	1.06	0.18	0.2	8.63	9.8
鄂尔多斯盆地南部 (铜川矿区)	Tongchuan IV-2	29.60	50.54	5.88	21.27	3.80	0.78	3.30	0.53	2.91	0.59	1.96	0.30	0.36	7.99	19.8
	北美页岩	32	73	7.9	33	5.7	1.24	5.2	0.85	6	1.04	3.4	0.5	0.48		
球粒陨石		0.3	0.91	0.12	0.64	0.2	0.07	0.26	0.05	0.3	0.08	0.2	0.03	0.03		

注:样品由白云米、吴武军(2005)采集,由国土资源部西安测试中心(2005)测试;地壳元素丰度为秦勒值<sup>[4]</sup>,除 Au、Ag 单位为  $10^{-9}$  外,其他元素单位为  $10^{-6}$ 。

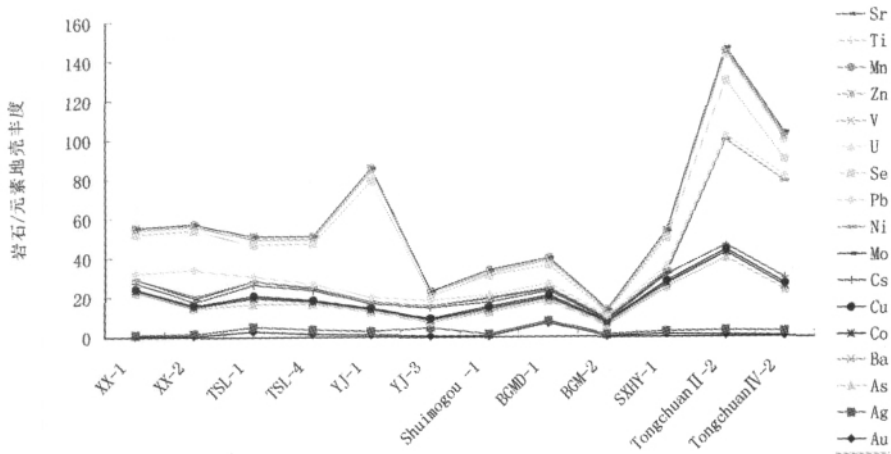


图 4 中国西北地区油页岩微量元素与元素地壳丰度比值图  
 Fig.4 Microelement/clarke ratio map of oil shale in northwest China

元素、处理那些有害元素，提高油页岩综合利用价值，同时也为环境保护提供依据。油页岩微量元素含量见表 3。从表 3 和图 4 可知，西北地区特别是鄂尔多斯盆地及窑街油页岩 Mo、U、V、Mn、Se 明显偏高，Pb、Ni 在鄂尔多斯盆地明显偏高，而 Cu、Co、As、Cs 较高，其他元素相当或较低。

值得注意的是鄂尔多斯盆地油页岩 Mo、U、V 明显较高，表明鄂尔多斯盆地的油页岩可能和该盆地里的特大型铀矿有一定的联系。同时也提示在该盆地应注意寻找钼和矾矿产。Se 明显较高对人体健康有着重要的意义。另外鄂尔多斯盆地油页岩 Mn/Ti 为 0.01，远小于 0.1，表明油页岩是在近源环境沉积的；Sr/Ba 为 0.17，表明油页岩沉积时湖水盐度较低；V/Ni 比值与水体的氧化还原电位有关，也与有机质含量有关，鄂尔多斯地区油页岩 V/Ni 为 16，表明湖水是以富含有机质的强还原环境为特点。综上所述，鄂尔多斯地区油页岩是在淡水、近岸、强还原富含有机质的沉积环境下沉积的。

稀土元素分配型式与太古宙后沉积岩的稀土分

配型式一致，分配曲线相互平行，其  $La_N/Yb_N$  值为  $13.6 \pm 2$ ，具有铕异常， $\delta Eu$  值为  $0.67 \pm 0.05$ 。油页岩时代越新，稀土元素丰度越高，与北美页岩稀土分配型式类似。

鄂尔多斯油页岩稀土元素与北美页岩相比，稀土亏损，与球粒陨石相比，Ce 明显富集(图 5)。

与中国各时代、各产地的油页岩一样，西部地区油页岩多属高 H/C、低 O/C 类型。

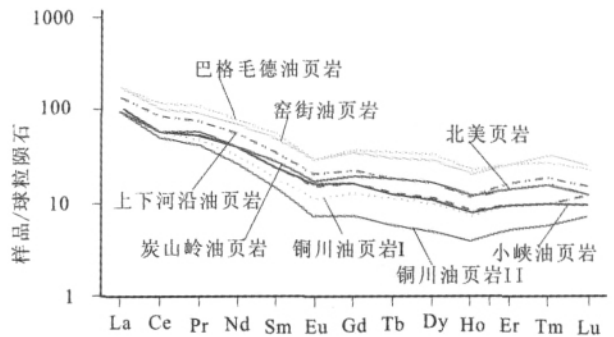


图 5 中国西北地区油页岩稀土分配型式图  
 Fig.5 Distribution of REE of oil shale in northwest China

表 4 中国西北地区油页岩部分地球化学特征  
 Table 4 Geological characteristics of oil shale in northwest China

采样地	层位	颜色	有机质 %	H/C	O/C	发热量 (J/g)	成熟度	有机碳/%	生油潜力 ( $S_1+S_2$ ) (千克/每吨岩石)
小峡	J <sub>2</sub>	灰褐—深灰	47.95	1.44	0.24	10 491	未熟	30.45	159.98
窑街	J <sub>2</sub>	深灰—灰黑	17.56	1.56	0.63	9 100	未熟	9.48	13.95
鄂尔多斯盆地	T <sub>2-3</sub>	黑 (风化面呈红色)	30.88	1.92~5.77		1660~11450	成熟	19.3	400
乌鲁木齐	P <sub>2</sub>	深灰—灰黑	22.33	1.17	0.10	6 429	成熟	13.10	73.02
中卫	C <sub>2+3</sub>	深灰—灰黑	23.83	1.37	0.23	21 760	未熟	14.90	



## 2 油页岩开采开发中的几个问题

### 2.1 与煤矿伴生的油页岩开采利用条件分析

小峡、窑街、炭山岭、炭山和上下河沿油页岩都与煤矿伴生。小峡油页岩总厚约 5 m, 质量较好, 保存完整, 含油率达 7.8%; 窑街油页岩总厚约 31 m, 其中油 4 厚 4.73 m; 炭山岭油页岩厚约 12 m, 工业储量 2 亿 t。开发利用的有利因素是在采煤的过程中可同时开采油页岩, 降低了成本, 提高了效益。但窑街和炭山岭油页岩矿层因采煤均有一定程度的破坏, 需要用新的技术方法进行开采。在采煤新区, 可与煤矿同时综合开采油页岩, 其开采深度可适当增加。

### 2.2 环境保护地区油页岩矿的开采问题

乌鲁木齐附近的水磨沟、妖魔山、芦草沟、三工河、韭菜园子等油页岩矿的工业储量达  $4 \times 10^8$  t, 预测资源量  $114 \times 10^8$  t。水磨沟油页岩厚 47 m, 妖魔山油页岩厚 71 m, 芦草沟油页岩厚 66 m, 三工河油页岩厚 281 m, 样品含油率一般为 3.69%~13.7%。鄂尔多斯盆地南部铜川油页岩矿工业储量  $9 \times 10^8$  t, 样品含油率一般为 6.6%。虽说储量有一定保证, 但这些油页岩矿多位于草原或森林覆盖区, 有的甚至在公园园区内, 如水磨沟油页岩矿。因此, 露天采矿的可能性不大, 只能考虑采用垂直原地采收法(MISR)。这个流程由 Occidental 油页岩公司和 Ralph M Parson 公司共同发展并由 Occidental 公司在 Colorado 进行了工业和商业规模的运用。

### 2.3 露天矿开采问题

原地矿部门于 1958 年对内蒙古巴格毛德矿区油页岩进行了普查, 后来又进行了部分钻探。巴格毛德矿区矿层由 6 个单层组成, 总厚度约 50 m, 已探明储量  $8119 \times 10^4$  t, 预测资源量为  $300 \times 10^8$  t, 含油率为 10%~15%, 最高可达 25%, 发热量 14.63~16.72 MJ/kg, 挥发成分达 49%~85%, 物理测定质量良好, 开采利用价值很高。该矿区构造简单, 矿层出露较好, 厚度大, 较稳定, 倾角较缓( $6 \sim 8^\circ$ ), 水文地质条件简单, 地表为戈壁景观, 0~300 m 露天开采的剥采比为  $0.53 \text{ m}^3/\text{t}$ , 适合于露天开采。

## 3 结论

西北油页岩矿体多呈层状展布, 单层厚度一般为 1~36 m。多为褐黑色、黑色, 有的表面呈褐红色, 略具油脂光泽。主要由粘土矿物及粉砂级碎屑矿物

(长石及石英)组成。灰分中等。含油率一般 1.5%~13.7%, 发热量一般 1.66~20.98 MJ/kg, 视密度 1.55~2.46  $\text{kg}/\text{m}^3$ 。时代越新, 油页岩稀土元素丰度越高。主要有 3 种矿床类型: 中、晚石炭世—早二叠世滨浅海相沉积矿床、晚二叠世残余湖湾—湖相沉积矿床以及中生代内陆湖泊相沉积矿床。其中中生代内陆深水—半深水湖泊相油页岩是主要工业类型, 它也是鄂尔多斯盆地主要的生油岩, 其成因类似于“黑海模式”。中、晚石炭世和侏罗纪形成的油页岩矿床多与煤层共生, 形成于三角洲环境。该区预测的油页岩总资源量至少是  $31000 \times 10^8$  t, 折合页岩油约  $2100 \times 10^8$  t, 其中鄂尔多斯盆地油页岩资源量几近占 99%, 可与美国西部绿河油页岩媲美。西北地区已查明的油页岩矿均位于大、中城市附近, 只要解决好环境污染问题, 采用适当的开发技术, 必将获得巨大的经济效益。

致谢:笔者在本文中引用了陕西省、甘肃省、青海省以及内蒙、宁夏、新疆等自治区国土资源厅油页岩矿资料; 在新疆工作期间, 新疆地矿局朱峡高级工程师(处长)、冯京教授级高级工程师(处长)曾给与多方面的帮助, 特表感谢!

### 参考文献(References):

- [1] 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, 34(6):1109-1114.  
Bai Yunlai, Ma Long, Wu Wujun. Geological characteristics and resources/reserves of oil shale in northwestern China and its exploitation and utilization conditions [J]. Geology in China, 2007, 34(6):1109-1114 (in Chinese with English abstract).
- [2] 白云来, 吴武军. 民和—西宁盆地油页岩资源特征及勘查开发利用条件分析[J]. 天然气地球科学, 2006, 17(5):627-633.  
Bai Yunlai, Wu Wujun. The resource characteristics of oil shale and analysis of condition of prospecting and using in Minhe Basin, west China[J]. Natural Gas Geoscience, 2006, 17(5):627-633(in Chinese with English abstract).
- [3] 白云来. 准噶尔盆地东南缘油页岩的开发前景[J]. 新疆石油地质, 2008, (4):462-465.  
Bai Yunlai. Prospects for development of oil shale deposits in southeastern margin of Junggar basin [J]. Xinjiang Petroleum Geology, 2008, (4):462-465(in Chinese with English abstract).
- [4] 白云来, 杨亚娟, 马玉虎. 宁夏固原炭山油页岩矿床的主要地质特征及开发利用前景[J]. 甘肃地质, 2008, 17(1):65-71.  
Bai Yunlai, Yang Yajuan, Ma Yuhu. 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).
- [5] 白云来, 马龙, 吴武军, 等. 鄂尔多斯盆地油页岩地主要地质特征及资源潜力[J]. 中国地质, 2009, 36(5):1123-1137.  
Bai Yunlai, Ma Long, Wu Wujun, et al. Geological characteristics and resource potential of oil shale in Ordos basin [J]. Geology in China, 2009, 36(5):1123-1137(in Chinese with English abstract).
- [6] 白云来, 赵应成, 徐东, 等. 陕西铜川-黄陵油页岩地质特征及利用前景[J]. 现代地质, 2010, 24(1):158-165.  
Bai Yunlai, Zhao Yingcheng, Xu Dong, et al. Geological characteristics and developing -prospecting of oil shale in Tongchuan -Huangling district, Shaanxi Province, China [J]. Geoscience, 2010, 24 (1):158-165 (in Chinese with English abstract).
- [7] 全国矿产储量委员会办公室. 矿产工业要求参考手册[M]. 北京:地质出版社, 1987:312-316.  
The Office of the National Committee of Mineral Reserves. Reference Manual of Mineral Industrial [M]. Beijing:Geological Publishing House, 1987:312-316(in Chinese).
- [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] 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).
- [10] 刘招君, 柳蓉. 中国油页岩特征及开发利用前景分析[J]. 地学前缘, 2005, 12(3):315-323.  
Liu Zhaojun, Liu Rong. Oil shale character and exploitation & utilization prospect [J]:Earth Science Frontiers, 2005. 12 (3):315-323(in Chinese with English abstract).
- [11] Smith J W. Oil shale resources of the United States[J]. Mineral and Energy Resources, 1980, 23(6):15-23.
- [12] 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).
- [13] 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, 1991, 5(4):423-429.  
Zhao Longye, Chen Jiniang and Wang Tianshun. Grade dividing and composition of shale in China [J].Geoscience, 1995, 5(4):423-429(in Chinese with English abstract).
- [14] 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 Jianming, 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).
- [15] 刘招君, 杨虎林, 董清水, 等. 中国油页岩[M]. 北京:石油工业出版社, 2009.  
Liu Zhaojun, Yang Hulin, Dong Qingshui, et al. Oil in China[M]. Beijing:Petroleum Industry Press, 2009(in Chinese).
- [16] 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):792-813  
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).
- [17] 汤桦, 白云来. 鄂尔多斯盆地西部“古陆梁”的形成和演化[J]. 甘肃地质, 2006, (15)1:2-9  
Tang Hua, Bai Yunlai. Formation and evolution of ancient land rise in the western Ordos basin[J]. Gansu Geology, 2006, 15(1):2-9 (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. Xian:Shaanxi Science and Technology Press, 1995 (in Chinese).
- [19] 左国超, 刘义科, 李相博. 蒙甘青宁地区侏罗纪盆-山构造格局及原型盆地沉积特征[J]. 地质通报, 2004, 23(3):261-271.  
Zou Guochao, Liu Yike, Li Xiangbo. Jurassic basin-range tectonic pattern and depositional features of prototype basins in the Inner Mongolia-Gansu-Qinghai-Ningxia region [J]. Geological Bulletin of China, 2004 (23) 3:261-271(in Chinese with English abstract).
- [20] 赵伦山, 张本仁. 地球化学[M]. 北京:地质出版社, 1979:174-187.  
Zhao Lunshan and Zhang Benren. Geochemistry [M]. Beijing: Geological Publishing House, 1979:174-187(in Chinese).

## Typical geological characteristics of the new energy resource of oil shale and some problems concerning its development and utilization

TANG Hua<sup>1</sup>, BAI Yun-lai<sup>2</sup>, WU Wu-jun<sup>2</sup>

(1.Xi'an Institute of Geology and Mineral Resources, Xi'an 710054, Shaanxi, China; 2.Northwest Research Institute of Petroleum Exploration and Development, PetroChina, Lanzhou 730020, Gansu, China)

**Abstract:** With the gradual decrease of oil resources in China, non-conventional resources such as oil shale, oil sands and heavy oil have aroused much attention among geologists. There are abundant oil shale resources in northwest China, which have been preliminary studied in this paper. Field geological section survey, standard mining investigation, and laboratory analysis of important samples indicate that the oil shale in northwest China has the following features: 1) Oil shale strata 1–36m thick exist in this region. 2) The color of the oil shale is mostly brown-black, black, whereas the color of some oil shale outcrops is maroon. Oil shale is characterized by slightly greasy luster, flaky layered structure, irregular conchoidal fracture, small hardness and light brown streak. 3) In hand specimen, oil shale is mainly composed of clay minerals and silt-sized detrital minerals (feldspar and quartz). 4) The main chemical components of oil shale are  $\text{SiO}_2$  and  $\text{Al}_2\text{O}_3$ , which possess 65.44% of the rock, indicating that the shale is of the medium ash type. The organic carbon possess 14% of the oil shale, total carbon possesses 16.28%, and oil yield is generally 1.5%–13.7%, for an overall caloric value of 1.66–20.98 MJ/kg. The density of the shale is 1.55–2.46 g/cc. Younger oil shale strata have progressively higher REE abundances. 5) Oil shale deposits can be mainly divided into 3 types: littoral-neritic facies sedimentary deposits in middle and late Carboniferous-early Permian strata, remnant lake bay-lacustrine facies sedimentary deposits in late Permian strata, and inland lacustrine-delta facies sedimentary deposits in Mesozoic strata. Oil shale formed in Mesozoic inland deep water-half deep water lacustrine facies is the major industrial type and its origin is similar to “the Black Sea Model.” Oil shale layers are also the main oil source rocks in Ordos basin. Oil shale formed in the deltaic environment in middle and late Carboniferous and Jurassic strata are mostly related to coal beds in genesis. 6) In this region, the total amount of predicted resources of oil shale is at least  $30000 \times 10^8 \text{ t}$ , which is equivalent to about  $2100 \times 10^8 \text{ t}$  shale oil; among them, oil shale resources in Ordos basin accounts for 99% and can be compared with oil shale resources in Green River area of western North American. 7) In northwest China, identified oil shale deposits are located in the vicinity of large and medium-sized cities, with good development prospects. As long as the problem of environmental pollution has been solved and the appropriate technologies have been used, immense economic benefits are likely to be obtained.

**Key words:** geological characteristics; resource; oil shale; Northwest China

**About the first author:** TANG Hua, male, born in 1965, senior engineer, mainly engages in the study of information of geology and mineral resources; E-mail: Tanghua1@163.com.