

# 鄂尔多斯盆地东南部延长组长 7 段陆相页岩气地质特征及勘探潜力评价

姜呈馥<sup>1</sup> 王香增<sup>1</sup> 张丽霞<sup>1</sup> 万永平<sup>1,2</sup> 雷裕红<sup>2</sup> 孙建博<sup>1</sup> 郭 超<sup>1</sup>

(1. 陕西延长石油(集团)有限责任公司, 陕西 西安 710075; 2. 中国科学院油气资源研究重点实验室 中国科学院地质与地球物理研究所, 北京 100029)

**摘要:**鄂尔多斯盆地为大型富含油气盆地,发育本溪组、山西组、延长组长 7 段、长 9 段等多套页岩层系,具备页岩气形成的基本地质条件。为查明鄂尔多斯盆地东南部延长组长 7 段页岩气的勘探潜力,本文利用有机地球化学和岩石学分析、含气量测试、等温吸附曲线测定等多种手段,分析了延长组长 7 段页岩的基本地质、地化及含气性特征。在此基础上,对长 7 段页岩气勘探潜力进行了初步评价。结果表明,长 7 段陆相页岩埋深和厚度适中、有机质类型以 I、II 型为主,有机质丰度和脆性矿物含量高,含气量可达 1.25~6.45 ml/g。与北美地区典型页岩相比,研究区长 7 段页岩有机质类型、有机碳含量类似,粘土矿物含量和长石含量偏高,碳酸盐和石英含量偏少,有机质成熟度偏低。研究区内延长组长 7 段页岩气资源勘探潜力巨大,资源量为 1 528.409 亿 m<sup>3</sup>,可作为常规油气勘探的重要补充,志丹—甘泉一线西南部为页岩气勘探的有利目标。

**关键词:**鄂尔多斯盆地;延长组长 7 段;陆相页岩气;地质特征;勘探潜力

**中图分类号:**P618.13 **文献标志码:**A **文章编号:**1000-3657(2013)06-1880-09

能源是支撑国民经济持续稳定增长和社会发展的重要战略物资,关系着国家经济和安全。近年来,随着国民经济的持续快速发展以及现代社会对能源需求的逐渐增加,中国能源供应不足的矛盾日益凸显。中国工信部近日披露数据显示,2011 年上半年中国原油对外依存度首次超越美国,高达 55.2%<sup>[1]</sup>,迫切需要新的能源来满足国内日益增长的能源需求。

页岩气具有储量大、稳产时间久、生产周期长、埋藏相对较浅的特点<sup>[2-3]</sup>,被认为是常规油气类型的重要补充,甚至接替。近年来,在政策、价格和先进技术的推动下,页岩气在勘探和开发方面都取得了突破性的进展,页岩气资源在北美地区逐渐得到较为经济的开发利用,页岩气勘探开发越来越受到各国政府和石油公司的重视<sup>[4-5]</sup>。

鄂尔多斯盆地三叠系延长组发育多套页岩层系<sup>[6]</sup>,具备页岩气形成的物质基础<sup>[7-11]</sup>。2011 年 4 月,延长石油集团在鄂尔多斯盆地陕北斜坡延长探区柳评 177 井长 7 段页岩段中取得突破,日产气量 2 350 m<sup>3</sup>,成为中国乃至世界第一口陆相页岩气井,随后柳评 179、新 WQ、新 WJ、延 YY 等井长 7 段页岩气勘探相继取得成功。另外,通过老井复查在长 7 段泥页岩段中普遍发现气测异常,表明鄂尔多斯盆地陆相页岩具有巨大的资源潜力和良好的勘探前景。本文选择鄂尔多斯盆地东南部延长探区(图 1)延长组为研究对象,通过对该组长 7 段陆相页岩的地质地化及含气性特征进行深入分析,在此基础上综合评价鄂尔多斯盆地延长探区长 7 段页岩气勘探潜力,为该区的页岩气勘探提供依据。

收稿日期:2012-12-24;改回日期:2013-10-19

基金项目:国家自然科学基金项目(41102078)和国家重大科技专项课题(2011ZX08005-004)共同资助。

作者简介:姜呈馥,女,1965 年生,高级工程师,主要从事石油地质和非常规油气勘探研究;E-mail:petrojcf@163.com。

# 1 地质背景

鄂尔多斯盆地是中国华北地台西部一个古生代稳定沉降、中生代拗陷迁移、新生代周边扭动、断陷的多旋回叠合的陆相大型含油气盆地<sup>[11-13]</sup>。受太平洋构造域和特提斯—喜马拉雅构造域地壳运动的共同影响,鄂尔多斯盆地在太古宇及古元古界结晶基底的基础上,经历了中、新元古代拗拉谷、早古生代浅海台地、晚古生代滨海平原、中生代内陆拗陷、新生代盆地周边断陷五大构造演化阶段<sup>[11-14]</sup>,从而形成了鄂尔多斯盆地多旋回叠合,地质构造平缓,缺少背斜与断层,总体上呈东部翘起向西部倾伏的区域性斜坡面貌<sup>[11-13]</sup>(图 1)。其中,晚三叠世至晚白垩世的构造活动对鄂尔多斯盆地油气的生成和聚集起着

重要的作用<sup>[12-13]</sup>。晚三叠世,扬子陆块与华北陆块碰撞、拼合,秦岭海槽和北祁连海向西南退缩,秦岭的崛起,在鄂尔多斯盆地内部形成了大型的内陆淡水湖泊,沉积了延长组长 10 至长 1 段的地层<sup>[12,15-17]</sup>。其中深湖—半深湖的长 9、长 7 段是研究区的主要烃源岩,长 9 段顶部和长 7 段底部分别沉积了李家畔和张家滩两套页岩<sup>[12,16-17]</sup>。早侏罗世因松潘、甘孜海槽关闭,鄂尔多斯盆地隆升遭受剥蚀,形成了早侏罗世富县组、延安组大型河流相沉积<sup>[12-13]</sup>。晚侏罗世早期,鄂尔多斯盆地及周围地区发生了一次强烈的构造热事件<sup>[18-20]</sup>,初步形成鄂尔多斯盆地现今的构造格局,延长组烃源岩开始成熟。早白垩世盆地西缘继续受向东的逆冲作用,使鄂尔多斯盆地西部延长组地层继续沉降,西部地层发生掀斜形成西倾大斜坡。

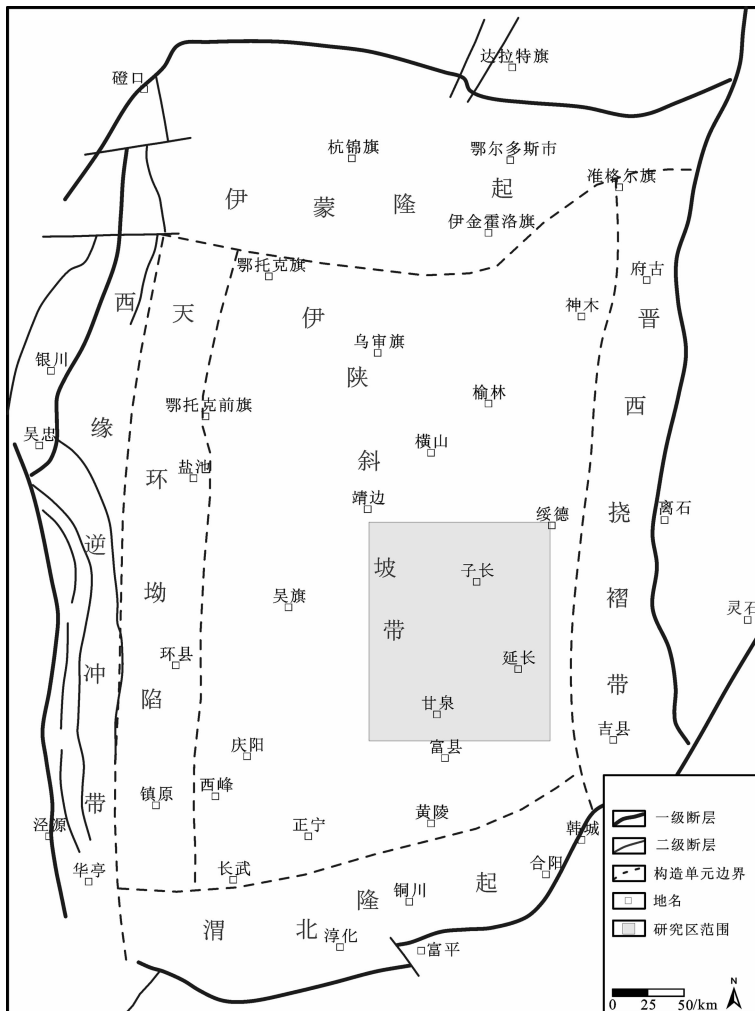


图 1 研究区位置及区域构造图

Fig.1 Map showing tectonic division and location of the study area

这一时期研究区延长组达最大埋深,是烃源岩主要的生烃期和油气运聚时期<sup>[21-22]</sup>。

## 2 长 7 段页岩地质特征

### 2.1 页岩埋深与厚度特征

鄂尔多斯盆地陕北斜坡东南部延长组长 7 段页岩顶面埋深变化于 500~2 000 m,多数变化在 700~1 600 m。长 7 段页岩层顶面埋深由延长探区西北部向东南,由西向东、由北向南逐渐变浅。其中,研究区西北部最深,一般埋深大于 1 400 m,最深达 2 000 m;研究区东南部、东部埋深最浅,一般埋深小于 1 000 m,最浅的不到 500 m。陕北斜坡延长探区延长组长 7 段页岩顶面埋深与北美地区 Ohio、Lewis、Fayetteville 页岩埋深相当,比 Barnett、Woodford、Haynesville 页岩埋藏浅,比 New Albany、Antrim 页岩埋藏深(表 1)。

研究区延长组长 7 段页岩厚度变化在 15~100 m,具有由西南向东北方向逐渐变薄的趋势。西南部

厚度较大,一般大于 50 m,最厚达 100 m 以上。子长—延川一线及其以北地区的页岩厚度一般小于 20 m (图 2)。长 7 段页岩厚度与北美地区 Woodford、Fayetteville、New Albany 页岩厚度近似,比 Ohio、Lewis、Barnett、Haynesville 页岩厚度小,比 Antrim 页岩厚度大(表 1)。

### 2.2 岩石矿物学特征

延长组长 7 页岩段岩性多为黑色、黑灰色、灰黑色、深灰色油页岩夹暗色泥岩、炭质泥岩、粉砂岩、铁质泥岩,其中粉砂岩主要以纹层、条带或夹层的形式发育。页岩中碎屑成分主要为石英、长石、云母,少量酸性喷出岩、变质岩等岩屑。泥铁质在颗粒间分布不均,呈层状、条带状或斑状聚集,主要成分以泥杂基为主,部分氧化铁质,少量黄铁矿。石英、云母和有机质定向分布,见部分炭屑、炭质条纹。胶结物主要为石英、粘土矿物、菱铁矿、黄铁矿等。可见石英和长石自生加大、长石和方解石溶蚀、绢云母和高岭石交代等成岩现象。与北美地区页岩相比,长 7 段页岩石英

表 1 延长组长 7 段陆相页岩与美国海相页岩地质特征对比

Table 1 Geological characteristics of continental shale in 7th member of Yanchang Formation in comparison with North America marine shale

盆地	阿巴拉契亚	密执安	伊利诺斯	福特沃斯	圣胡安	阿克玛	鄂尔多斯		
盆地类型	前陆盆地	克拉通盆地	克拉通盆地	前陆盆地	前陆盆地	前陆盆地	前陆盆地	Haynesville	克拉通盆地
页岩名称	Ohio	Antrim	New Albany	Barnett	Lewis	Fayetteville	Woodford	Haynesville	长 7 湖相暗色泥页岩
时代	上泥盆统	上泥盆统	上泥盆统	下石炭统	上白垩统	下石炭统	上泥盆统	上侏罗统	三叠统
沉积环境	海相深水	海相深水	海相深水	静水深斜坡—盆地相	近海远端	近海陆棚	海相深水	近海陆棚—浅海相	深湖—半深湖相
气体成因	热解气	生物气	热气、生物气	热解气	热解气	热解气	热解气	热解气	热解气
埋藏深度/m	610~1524	183~730	183~1494	1981~2591	914~1829	305~2287	1829~3353	3048~3962	500~2 000
厚度/m	91~610	49	31~140	61~152	152~579	6~76	37~67	15~304	10~100
干酪根类型	II	I	II	II	III为主,少量 II	II	II	II	I,II
有机碳含量/%	0.5~23	0.3~24	1~25	1~13	0.45~3	2~9.8	1~14	0.5~4.0	1.76~6.28
镜质体反射率/%	0.4~4	0.4~0.6	0.4~0.8	1.0~2.1	1.6~1.88	1.2~4	1.1~3.0	2.2~3.0	0.6~1.25
含气量/(ml/g)	1.7~2.83	1.13~2.83	1.13~2.64	8.49~9.91	0.37~1.27	1.7~6.23	5.66~8.5	2.83~9.34	1.25~6.45
孔隙度/%	4.7	9	10~14	4~5	3~5.5	2~8	3~9	8~9	1.82

注:表中北美地区页岩数据据文献[2-3]、[5]、[23-25]。

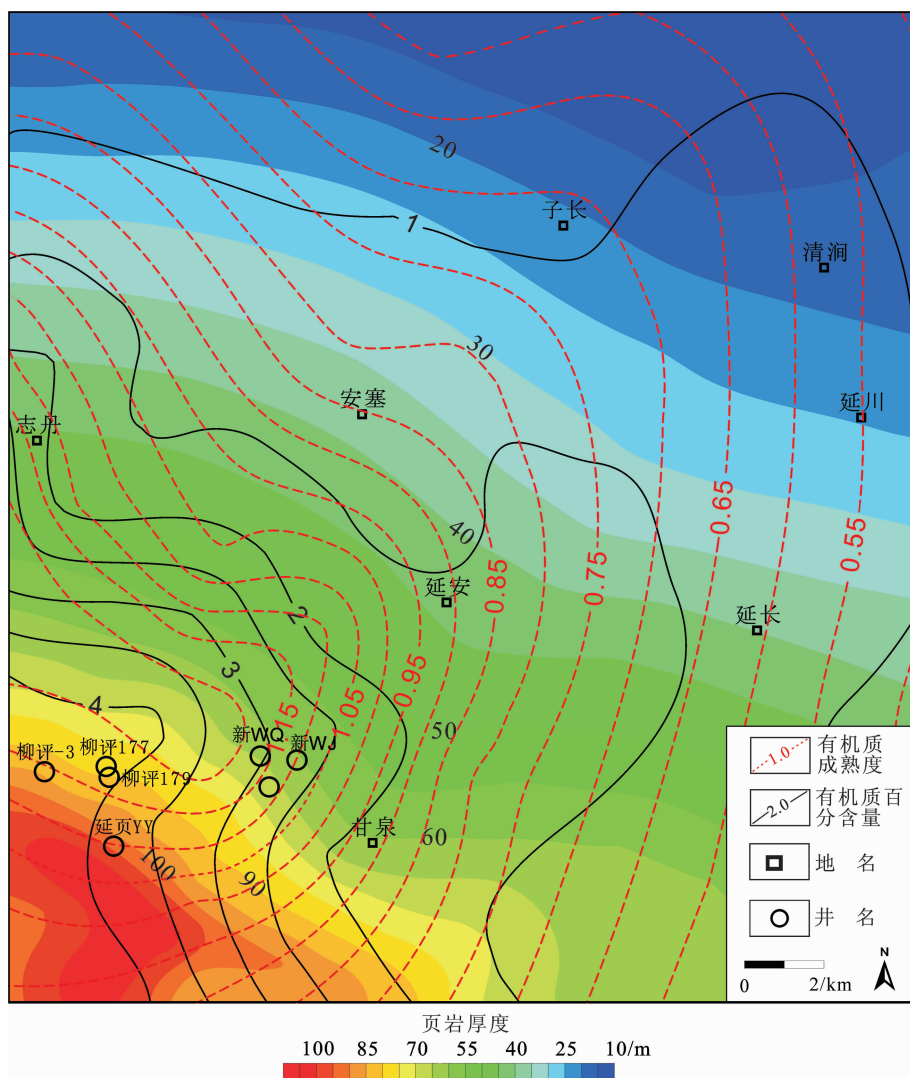


图 2 鄂尔多斯盆地东南部长 7 段页岩厚度、有机碳百分含量及有机质成熟度分布图

Fig.2 Contour map of thickness, TOC and Ro of shale of 7th member of Yanchang Formation in southeastern Ordos Basin

含量偏低,平均含量为 27.75%,长石和粘土矿物含量偏高,平均含量分别达 26.28%和 42.11%,方解石平均含量 1.31%,铁白云石平均含量 0.75%,黄铁矿含量为 1.31%(图 3)。脆性矿物总量(石英、长石、碳酸盐和黄铁矿含量之和)变化在 36%~77%,平均 57.2%,脆性矿物含量较高,有利于页岩气压裂开发。

### 2.3 储集空间类型及物性特征

长 7 页岩的储集空间类型根据其成因可分为以下几类:①因受刚性颗粒如石英、长石、碳酸盐、黄铁矿或化石碎片的抗压支撑作用所造成的压力的影响而形成的残余原生孔隙(图 4-a);②长石、方解石、白云石等不稳定矿物溶蚀孔(图 4-a);③粘土矿物

环状絮凝物沉积时保存的原生孔隙(图 4-b);④有机质生烃形成的(粒内)微孔隙,这类孔隙在研究区长 7 页岩中比较少见;⑤矿物晶体间的晶间孔和解理缝;⑥裂缝,包括微裂隙和宏观裂隙两类。微裂缝主要是因为有机质生烃造成的异常压力或由于有机质生烃造成体积的收缩而形成,此类裂缝一般平行页岩层理(图 4-c)。宏观裂缝区域构造应力所形成的,此类裂缝一般是高角度裂缝,常被方解石等矿物充填。

248 块长 7 页岩样品实验室岩心物性分析表明,页岩孔隙度变化在 1.69%~6.83%,孔隙度平均值为 3.83%;渗透率主要变化在  $0.01 \times 10^{-15} \text{m}^2 \sim 0.43 \times$

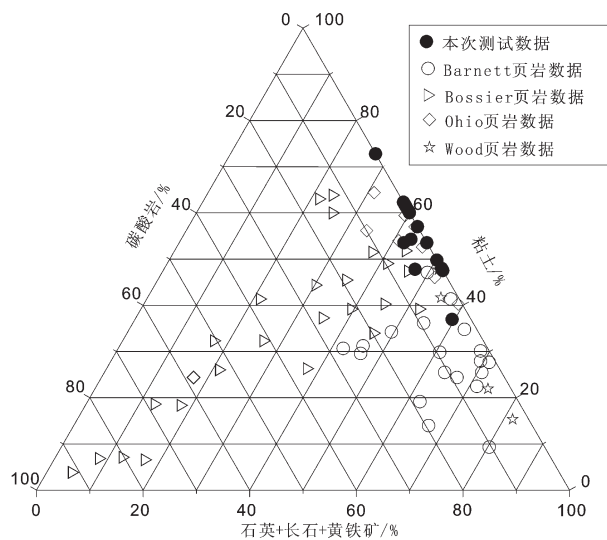


图3 页岩(石英+长石+黄铁矿)-碳酸盐-粘土矿物三角图  
(图中北美地区页岩数据据文献[2-3],[5],[17-19])

Fig.3 Ternary diagrams showing mineral compositions of various shale reservoirs  
(Data of shales in North America after Reference [2-3], [5], [23-25])

$10^{-15} \text{ m}^2$ ,平均值为  $0.068 \times 10^{-15} \text{ m}^2$ 。

### 3 页岩地球化学特征

#### 3.1 有机质类型

对 20 余个页岩干酪根的显微组分的镜下鉴定结果表明,长 7 段页岩层有机质类型主以腐泥无定型为主,其次为惰质组和镜质组,壳质组少见。在蓝光激发下,腐泥无定型体发黄色荧光(图 5),镜质体

无荧光,介壳碎屑呈黄色荧光。长 7 段干酪根类型主要为 I、II 型。

#### 3.2 有机质丰度

有机质丰度既是页岩生气的物质基础,决定着页岩的生烃强度,也是页岩吸附气的载体之一,决定页岩的吸附气量大小,还是页岩孔隙空间增加的重要因素之一,为页岩中游离气提供部分储集空间。因此,有机碳含量是页岩气评价的重要参数之一。在平面上,高有机质丰度烃源岩主要分布在研究区西南部(图 2),西南部长 7 段页岩有机碳含量主要分布范围在 1.76%~6.28%,平均含量 3.92%,最高可达 21%,属富含有机质页岩。由研究区西南往东、北东方向,页岩有机质丰度逐渐降低,研究区北部和东部页岩有机质为 1%左右(图 2)。

#### 3.3 有机质成熟度

长 7 段页岩有机质成熟度(镜质体反射率值)变化在 0.5%~1.2%(图 2)。有机质成熟度较高的页岩主要分布在志丹—延安—甘泉以西,一般大于 1.0%。由西南往北、东北方向,有机质成熟度逐渐降低。研究区长 7 段页岩气为热解成因页岩气,有机质成熟度除比北美地区具生物成因气的 Antrim 页岩和具生物气、热解气混合成因的 New Albany 页岩的高外,明显低于其他具有热解成因的页岩的成熟度(表 1)。但根据林腊梅等(2012)的研究成果<sup>[26]</sup>,研究区西部和西南部长 7 段页岩的 II 型干酪根已进入大量生气阶段,部分 I 型干酪根也进入了生气门限。笔者对长 7 段页岩的含气量的现场解析结果显示,页岩

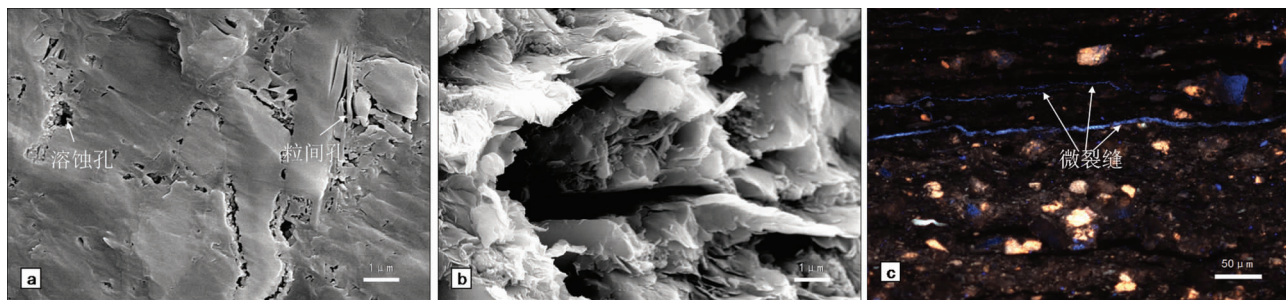


图 4 长 7 页岩储集空间类型及特征

a—延页 x 井,1522.8 m,页岩中粒间孔和溶蚀孔发育; b—延页 x 井,1522.8 m,粘土矿物絮凝孔和粒间孔;  
c—万 Jy 井,1402.33 m,荧光(-),近平行页岩层理的微裂缝

Fig.4 Types and characteristics of pores in shale of 7th member of Yachang Formation

a—Field emission scanning electron microscope (FE-SEM) image of sample from Well Yyx, 1522.8 m, intergranular pores around feldspar and quartz, dissolved pores around matrix and cements; b—FE-SEM image of sample from well Yyx, 1522.8 m, floccule pores and intergranular pores around clay minerals; c—Fluorescent image of sample from well Wan-Jy, 1402.33 m, horizontal fractures

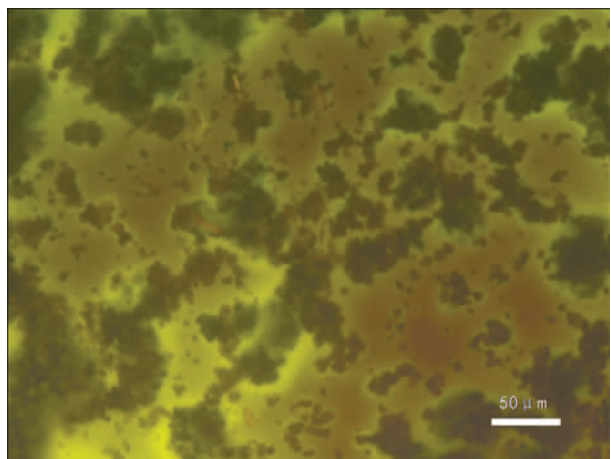


图 5 长 7 页岩干酪根显微组分镜下观察照片(荧光光片), 万 JZ 井, 978.38 m, 干酪根中的腐泥组无定形体  
Fig.5 Photographs showing microconstituents of kerogen (amorphous solid) of shale in 7th member of Yanchang Formation (fluorescent image of amorphous solid, Well Wan-Jz, 978.38 m)

中的含气量较高。这表明,关于研究区长 7 段页岩部分已经进入了大量生气阶段,但鉴于总体成熟度还较低,页岩气的形成机制的研究还有待进一步深入探讨。

## 4 页岩含气性特征

### 4.1 页岩气含气量现场解析

为了分析长 7 段页岩的含气性,在取心时,应用了常规取心和密闭取心两种方式,本次工作对刚出筒的页岩岩心进行细致观察的同时,进行了浸水实验,以观察页岩的含气性并收集页岩气样品,并用解吸仪器在现场测试了页岩的含气量。浸水实验显示,岩心刚出筒时,可见大量气泡冒出,出气点多、面积大,在岩心侧面层理处,气泡十分连续,成串珠状,最

大气泡直径可达 4 mm 以上。利用解析仪对柳评 YQY 井和万 YLJ 等井页岩近 20 块岩心的含气量进行了测试,结果表明,长 7 段页岩含气量良好,含气量变化在 1.25~6.45 ml/g。长 7 段含气量除比北美地区 Haynesville、Woodford、Barnett 页岩的含气量低外,比其他页岩的含气量均要高(表 1)。

### 4.2 页岩等温吸附测试

等温吸附模拟是解吸的逆过程,通过等温吸附模拟,可以获得页岩在一定压力下的最大气体吸附量,此参数是指导页岩气勘探和资源可采性评价的重要参数之一<sup>[2]</sup>。本次工作选取研究区多口井长 7 段页岩进行等温吸附实验,实验结果(表 2)表明,页岩样品在 1 MPa 的压力下最大气体吸附量已接近或达到最低工业标准 1 ml/g,而在 5 MPa 的压力下,大部分样品气体吸附量超过 2.0 ml/g(图 6),页岩最大气体吸附量多数在 2.2~3.35 ml/g,最大达 4.5 ml/g,吸附能力较好。

与现场解析获得的含气量相比,等温吸附模拟得到的含气量明显小于解吸获得的含气量,其原因主要是解吸气与吸附气之间不是等量关系。解吸获得的页岩气中包括一定量的残留游离气、溶解气和部分吸附气。

## 5 延长组长 7 段页岩气勘探潜力评价

有机质类型、有机质丰度、有机质的转化程度、页岩厚度、页岩储集空间大小及吸附能力、页岩含气量等是评价页岩潜力的关键因素,泥页岩厚度越厚、有机碳含量越大,越利于页岩气的形成<sup>[27-30]</sup>。上述研究区延长组页岩的基本地质地球化学特征表明,研究区延长组长 7 段页岩厚度大,分布面积广,有机碳含量高,气测显示较好,非常有利于页岩气形成。由

表 2 长 7 段页岩不同压力下的甲烷吸附量 (ml/g)

Table 1 Methane adsorption capacity under different pressures for shale of 7th member of Yanchang Formation

样号	0.4 MPa	0.8 MPa	1.6 MPa	2.0 MPa	2.9 MPa	3.7 MPa	5.4 MPa	7.7 MPa	10.2 MPa
LP-1	0.86	1.69	2.14	2.40	2.85	3.00	3.10	3.14	3.14
LP-2	1.06	1.92	2.30	2.45	2.76	2.85	3.03	3.28	3.34
LP-3	1.04	1.61	2.15	2.24	-	2.62	2.72	2.91	2.96
LP-4	0.84	1.40	2.02	2.19	2.47	2.56	2.62	2.89	2.90
LP-5	1.04	2.01	2.57	2.80	3.32	3.60	4.00	4.40	4.49
Wan-1	0.48	0.89	1.10	1.07	1.12	1.36	1.62	1.94	2.16
Wan-2	0.44	0.73	1.03	1.27	1.42	1.56	2.09	2.35	2.44
Wan-3	0.44	1.00	1.39	2.10	1.55	1.99	2.15	2.42	2.50
Wan-4	0.42	1.00	1.48	1.50	1.56	1.67	1.82	2.13	2.25

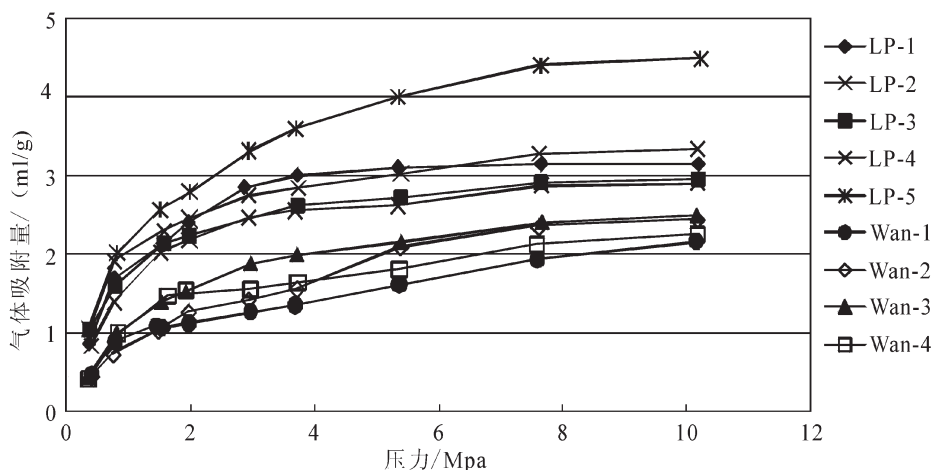


图6 研究区长7页岩等温吸附曲线

Fig.6 Sketch map showing methane adsorption on shale under different pressures

研究区页岩厚度、有机碳百分含量及热演化程度叠合图可知,志丹—甘泉一线西南部页岩厚度一般大于60 m,页岩有机碳百分含量一般大于2%,有机质成熟度一般高于1.0%,页岩含气量较大,是页岩气勘探的有利目标区(图2)。

现今评价页岩气资源量计算的方法总体上可以划分为两大类,即基于静态地质资料的静态法和基于动态生产资料的动态法<sup>[29-30]</sup>。静态法又包括成因法、类比法、数学统计蒙特卡洛法、特尔菲综合分析法等。静态法主要用于勘探程度较低、勘探开发前期和生产早期的油气田,资源量及储量评估;动态法主要用于已经进入开发中后期阶段,在具有大量的生产动态数据后使用的方法。动态法又可分为物质平衡法、递减曲线分析法和数值模拟法等。根据研究区页岩气的勘探开发现状,在研究区页岩基本地质、地化特征、含气性分析的基础上,笔者选用容积法初步估算了研究区内的延长组长7段页岩气资源量。估算结果表明,其中长7资源面积9 840.07 km<sup>2</sup>,资源量15 284.09×10<sup>8</sup> m<sup>3</sup>,资源丰度为1.55×10<sup>8</sup> m<sup>3</sup>/km<sup>2</sup>。研究区资源量较大,展示出较好的勘探前景。

## 6 结论

(1)鄂尔多斯盆地东南部延长组长7段页岩分布广,页岩埋深和厚度适中,TOC含量高,孔隙较发育,含气量较大,有利于页岩气形成和富集。

(2)鄂尔多斯盆地东南部延长组长7段页岩气资源量为15 284.09×10<sup>8</sup> m<sup>3</sup>,资源量较大,展示出较好的勘探前景,其中志丹—甘泉一线西南部为页岩气

的有利目标区。

## 参考文献(References):

- [1] <http://www.miit.gov.cn/n11293472/n11293832/n11293907/n11368223/13984910.html>.
- [2] Curtis J B. Fractured shale gas systems [J]. AAPG Bulletin, 2002, 86(11): 1921-1938.
- [3] Martineau D F. History of the newark east field and the barnett shale as a gas reservoir[J]. AAPG Bulletin, 2007, 91(4): 399-403.
- [4] 张金川, 薛会, 卞昌蓉, 等. 中国非常规天然气勘探综述[J]. 天然气工业, 2006, 26(12): 53-56.  
Zhang Jinchuan, Xue Hui, Bian Changrong, et al. Remarks on unconventional gas exploration in China [J]. Natural Gas Industry, 2006, 26(12): 53-56(in Chinese with English abstract).
- [5] Jarvie D M, Ronald J H, Tim E R, et al. Unconventional shale gas systems: The Mississippian barnett shale of north central Texas as one model for thermogenic shale gas assessment [J]. AAPG Bulletin, 2007, 91(4): 475-500.
- [6] 白云来, 马龙, 吴武军, 等. 鄂尔多斯盆地油页岩的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).
- [7] 徐士林, 包书景. 鄂尔多斯盆地三叠系延长组页岩气形成条件及有利发育区预测[J]. 天然气地球科学, 2009, 20(3): 460-465.  
Xu Shilin, Bao Shujing. Preliminary analysis of shale gas resource potential and favorable areas in Ordos basin [J]. Natural Gas Geoscience, 2009, 20(3): 460-465(in Chinese with English abstract).
- [8] 邹才能, 董大忠, 王社教, 等. 中国页岩气形成机理、地质特征及资源潜力[J]. 石油勘探与开发, 2010, 37(6): 641-653.  
Zou Caineng, Dong Dazhong, Wang Shejiao, et al. Geological characteristics, formation mechanism and resource potential of shale gas in China[J]. Petroleum Exploration and Development, 2010, 37

- (6): 641-653(in Chinese with English abstract).
- [9] 周文, 苏媛, 王付斌, 等. 鄂尔多斯盆地富县区块中生界页岩气成藏条件与勘探方向[J]. 天然气工业, 2011, 31(2): 29-34.  
Zhou Wen, Su Yuan, Wang Fubin, et al. Shale gas pooling conditions and exploration targets in the Mesozoic of Fuxian Block, Ordos basin[J]. Natural Gas Industry, 2011, 31(2): 29-34(in Chinese with English abstract).
- [10] 雷宇, 王凤琴, 刘红军, 等. 鄂尔多斯盆地中生界页岩气成藏地质条件[J]. 油气田开发, 2011, 29(6): 49-54.  
Lei Yu, Wang Fengqin, Liu Hongjun, et al. Geological conditions for shale gas accumulation in Ordos basin Mesozoic[J]. Oil and Gas Field Development, 2011, 29(6): 49-54(in Chinese with English abstract).
- [11] 王社教, 李登华, 李建忠, 等. 鄂尔多斯盆地页岩气勘探潜力分析[J]. 地质勘探, 2011, 31(12): 1-7.  
Wang Shejiao, Li Denghua, Li Jianzhong, et al. Exploration potential of shale gas in the Ordos basin [J]. Natural Gas Industry, 2011, 31(12): 1-7(in Chinese with English abstract).
- [12] 何自新. 鄂尔多斯盆地演化与油气 [M]. 北京: 石油工业出版社, 2003: 1-245.  
He Zixin. Evolution and Petroleum of Ordos Basin [M]. Beijing: Petroleum Industry Press, 2003: 1-245 (in Chinese with English abstract).
- [13] 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: 1-228.  
Yang Junjie. Structural Evolution and Hydrocarbon Distribution in Ordos Basin [M]. Beijing: Petroleum Industry Press, 2002: 1-228 (in Chinese with English abstract).
- [14] 赵红格, 刘池洋, 王建强, 等. 鄂尔多斯盆地西部晚三叠世构造属性探讨[J]. 中国地质, 2007, 34(3): 384-391.  
Zhao Hongge, Liu Chiyang, Wang Jianqiang, et al. Tectonic attribute of the western Ordos basin during the Late Triassic [J]. Geology in China, 2007, 34(3): 384-391(in Chinese with English abstract).
- [15] 郭艳琴, 李文厚, 陈全红, 等. 陇东地区延长组层序地层特征及油气勘探意义[J]. 中国地质, 2007, 34(3): 406-413.  
Guo Yanqin, Li Wenhou, Chen Quanhong, et al. Sequence stratigraphic characteristics of the Yanchang Formation in the Longdong area and their significance for petroleum exploration[J]. Geology in China, 2007, 34(3): 406-413(in Chinese with English abstract).
- [16] 倪新锋, 陈洪德, 韦东晓. 鄂尔多斯盆地三叠系延长组层序地层格架与油气勘探[J]. 中国地质, 2007, 34(1): 73-80.  
Ni Xinfeng, Chen Hongde, Wei Dongxiao. Sequence stratigraphic framework of the Triassic Yanchang Formation in the Ordos basin and petroleum exploration[J]. Geology in China, 2007, 34(1): 73-80(in Chinese with English abstract).
- [17] 党森, 赵虹, 李文厚, 等. 鄂尔多斯盆地陕北地区上三叠统延长组不同级次层序界面的识别[J]. 中国地质, 2007, 34(3): 414-421.  
Dang Ben, Zhao Hong, Li Wenhou, et al. Identification of sequence boundaries of different orders in the Upper Triassic Yanchang Formation in northern Shaanxi, Ordos basin[J]. Geology in China, 2007, 34(3): 414-421(in Chinese with English abstract).
- [18] 任战利. 利用磷灰石裂变径迹法研究鄂尔多斯盆地地热史[J]. 地球物理学报, 1995, 38(3): 339-349.  
Ren Zhanli. Thermal history of Ordos basin assessed by apatite fission track analysis[J]. Chinese Journal of Geophysics, 1995, 38(3): 339-349(in Chinese with English abstract).
- [19] 任战利, 张盛, 高胜利, 等. 鄂尔多斯盆地热演化程度异常分布区及形成时期探讨[J]. 地质学报, 2006, 80(5): 675-684.  
Ren Zhanli, Zhang Sheng, Gao Shengli, et al. Research on region of maturation anomaly and formation time in Ordos basin [J]. Acta Geologica Sinica, 2006, 80 (5): 674-684 (in Chinese with English abstract).
- [20] 张岳桥, 廖昌珍. 晚中生代-新生代构造体制转换与鄂尔多斯盆地改造[J]. 中国地质, 2006, 33(1): 28-40.  
Zhang Yueqiao, Liao Changzhen. Transition of the Late Mesozoic -Cenozoic tectonic regimes and modification of the Ordos basin[J]. Geology in China, 2006, 33(1): 28-40(in Chinese with English abstract).
- [21] 高振东, 赵靖舟, 曹青, 等. 鄂尔多斯盆地三叠系延长组油藏成藏年代分析[J]. 西北地质, 2008, 41(3): 92-98.  
Gao Zhendong, Zhao Jingzhou, Cao Qing, et al. Geochronological analysis of oil accumulation in Triassic Yanchang Formation, Ordos basin [J]. Northwestern Geology, 2008, 41 (3): 92-98 (in Chinese with English abstract).
- [22] 梁宇, 任战利, 史政, 等. 鄂尔多斯盆地富县—正宁地区延长组油气成藏期次[J]. 石油学报, 2011, 32(5): 741-748.  
Liang Yu, Ren Zhanli, Shi Zheng, et al. Classification of hydrocarbon accumulation phases of the Yanchang Formation in the Fuxian-Zhengning area, Ordos basin [J]. Acta Petrolei Sinica, 2011, 32(5): 741-748(in Chinese with English abstract).
- [23] Ursula H, Scott H, Thomas E E. Geologic analysis of the Upper Jurassic Haynesville Shale in east Texas and west Louisiana [J]. AAPG Bulletin, 2011, 95(10): 1643-1666.
- [24] Broadhead R F, Kepferle R C, Potter P E. Stratigraphic and sedimentologic controls of gas in shale: Examples from Upper Devonian of northern Ohio[J]. AAPG Bulletin, 1982, 66(1): 10-27.
- [25] Wenlong Ding. Fracture development in shale and its relationship to gas accumulation[J]. Geoscience Frontiers, 2012, 3(1): 97-105.
- [26] 林腊梅, 张金川, 刘锦霞, 等. 页岩气勘探目标层段优选[J]. 地学前缘, 19 (3): 259-263.  
Lin Lamei, Zhang Jinchuan, Liu Jinxia, et al. Favorable depth zone selection for shale gas prospecting[J]. Earth Science Frontiers, 2012, 19(3): 259-263(in Chinese with English abstract).
- [27] 李玉喜, 乔德武, 姜文利, 等. 页岩气含气量和页岩气地质评价综述[J]. 地质通报, 2011, 30(2/3): 308-317.  
Li Yuxi, Qiao Dewu, Jiang Wenli, et al. Gas content of gas-bearing shale and its geological evaluation summary [J]. Geological Bulletin of China, 2011, 30(2/3): 308-317(in Chinese with English abstract).
- [28] 李延钧, 刘欢, 刘家霞, 等. 页岩气地质选区及资源潜力评价方



- 法[J]. 西南石油大学学报(自然科学版), 2011, 33(2): 28-34.
- Li Yanjun, Liu Huan, Liu Jiaxia, et al. Geological regional selection and an evaluation method of resource potential of shale gas [J]. Journal of Southwest Petroleum University: Science & Technology Edition, 2011, 33 (2): 28-34 (in Chinese with English abstract).
- [29] 李武广, 杨胜来. 页岩气开发目标区优选体系与评价方法[J]. 天然气工业, 2011, 31(4): 57-62.
- Li Wuguang, Yang Shenglai. Research on shale gas development target area of optimization system and evaluation [J]. Natural Gas Industry, 2011, 31(4): 57-62(in Chinese with English abstract).
- [30] 蒋裕强, 董大忠, 漆麟, 等. 页岩气储层的基本特征及其评价[J]. 天然气工业, 2010, 30(10): 7-12.
- Jiang Yuqiang, Dong Dazhong, Qi Lin, et al. Basic feature and evaluation of shale gas reservoirs[J]. Natural Gas Industry, 2010, 30 (10): 7-12(in Chinese with English abstract).

## Geological characteristics of shale and exploration potential of continental shale gas in 7th member of Yanchang Formation, southeast Ordos Basin

JIANG Chen-fu<sup>1</sup>, WANG Xiang-zeng<sup>1</sup>, ZHANG Li-xia<sup>1</sup>, WAN Yong-ping<sup>1,2</sup>, LEI Yu-hong<sup>2</sup>,  
SUN Jian-bo<sup>1</sup>, GUO Chao<sup>1</sup>

(1. Shaanxi Yanchang Petroleum (Group) Co., Ltd., Xi'an 710075, Shaanxi, China; 2. Key Laboratory of Petroleum Resources Research, Institute of Geology and Geophysics, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100029, China)

**Abstract:** As a large-sized petroliferous basin with many shale formations such as Benxi Formation, Shanxi Formation, and 7th and 9th member of Yanchang Formation, the Ordos basin has the basic geological conditions for shale gas development. In order to evaluate the shale gas exploration potential of 7th member of Yanchang Formation, the authors investigated the geological and geochemical characteristics of 7th member shale with the aid of organic geochemical and petrologic analysis, gas quantity test and isothermal adsorption curve test. On such a basis, the preliminary evaluation of 7th member shale gas exploration potential was carried out. The results show that the shale of 7th member has moderate burial depth and thickness. With high abundance of organic matters which are mainly of I - II type, the maximum gas quantity could be up to 1.25-6.45 ml/g. The kerogen type and TOC of the 7th member shale are similar to those of marine shales in North America. Compared with marine shales in North America, the 7th member shale has higher content of feldspar and clay minerals but lower content of quartz and carbonate content as well as lower maturity. The shale gas exploration potential in the study area is quite promising and could serve as an important supplement of conventional exploration. The favorable targets lie in the southwest of Zhidan-Ganquan area.

**Key words:** Ordos Basin; 7th member of Yanchang Formation; continental shale gas; geological characteristics; geochemical characteristics; exploration potential

**About the first author:** JIANG Chen-fu, female, born in 1965, senior engineer, mainly engages in the study of petroleum systems and unconventional oil and gas; E-mail: petrojcf@163.com.