

文章编号:0253-9985(2011)04-0568-09

泌阳凹陷陆相页岩油气成藏条件

陈祥,王敏,严永新,章新文,罗曦,张永华

(中国石化河南油田分公司,河南南阳473132)

摘要:泌阳凹陷AS1井陆相页岩储层压裂后获得最高日产油 4.68 m^3 、天然气 90 m^3 ,从而在我国东部陆相第三系断陷湖盆页岩油气领域取得了重要突破。页岩油与页岩气通常为共生关系,文章将重点应用地质实验、地质录井、测井等资料对泌阳凹陷深凹区AS1井井区的页岩分布特征、地化特征、储集特征及保存条件进行分析。研究表明AS1井2450~2510 m主力页岩段单层厚度大,分布范围广,有机碳含量较高,热演化程度镜质体反射率值一般在 $0.57\%\sim 0.72\%$,表明烃源岩处于成熟阶段和生烃高峰期。含油气页岩录井气测异常明显,测井曲线上具有“三高两低”的特征;页岩储集空间类型发育微孔隙、微裂缝,储集性能较好;储层石英等脆性矿物含量高,易于页岩油储层压裂改造。采用容积法对泌阳凹陷深凹区页岩油气资源量进行计算,得出泌阳凹陷页岩油气资源量 $5.4\times 10^8\text{ t}$,勘探潜力较大,勘探前景良好。

关键词:有机质丰度;热成熟度;成藏条件;陆相页岩油气;泌阳凹陷

中图分类号:TE121.1

文献标识码:A

Accumulation conditions for continental shale oil and gas in the Biyang Depression

Chen Xiang, Wang Min, Yan Yongxin, Zhang Xinwen, Luo Xi and Zhang Yonghua

(SINOPEC Henan Oilfield Company, Nan yang, Henan 473132, China)

Abstract: The AS1 Well in the continental shale reservoir in Biyang Depression reached a peak production of oil $4.68\text{ m}^3/\text{d}$ and gas $90\text{ m}^3/\text{d}$ after hydraulic fracturing stimulation, marking a major breakthrough in shale oil & gas exploration and development in the Eocene continental faulted basins in eastern China. Oil in shale is often symbiotic with gas. The data gathered from geological experiments, well logging, etc., are used to analyze shale distribution, organic geochemical features, reservoir characteristics and sealing conditions of AS1. Results show that major shale layers within the interval of 2450–2510 m in well AS1 feature in great thickness and wide distribution of a single layer, high TOC and a R_o within $0.57\% - 0.72\%$, indicating that the source rocks are maturity and in peak hydrocarbon generation. R_o Gas logging of shale oil & gas layers show abnormal results and the logging curve present special features of “3 high points and 2 low points”. Shale layers contain well-developed micro-pores and fissures, which can be excellent reservoir space. The layers are also rich in brittle minerals like quarts, which is favorable for fracturing. After assessment by using the volumetric method, we believe that the Depression has great shale oil and gas exploration potential (about 0.54 billion tons of shale oil & gas).

Key words: Organic matter abundance; thermal evolution; accumulation condition; continental shale oil and gas; Biyang Depression

页岩油气藏相态类型一般分为页岩气、页岩油两种类型,其形成机理与常规油气藏基本相似,

但页岩油气藏属原地成藏,主要受控于盆地烃源岩热演化程度^[1-3]。页岩油与页岩气通常为共生

收稿日期:2010-03-02。

第一作者简介:陈祥(1962—),男,博士,教授级高级工程师,油气地质勘探与管理。

关系,不同于油页岩通过干馏得到的合成原油,它是指富含有机质、成熟的暗色泥页岩或高碳泥页岩中发育着微裂缝和基质孔隙,原地储集了具商业价值的原油,具有典型的自生自储特性^[4-7]。本文以泌阳凹陷页岩油气突破井——AS1 井为例,对其成藏条件进行较深入分析,为目前日益兴起的页岩油气勘探提供借鉴。

1 地质背景

泌阳凹陷是南襄盆地内的一个次级构造单元,是中、新生代断控凹陷,面积 1 000 km²,是典型的富油凹陷(图 1)。其西北为社旗凸起,西部以唐河低凸起与南阳凹陷相隔,南部和东部毗邻桐柏山,东北部为伏牛山。自北向南依次划分为北部斜坡带、中部凹陷带与南部陡坡带 3 个构造单元^[2]。泌阳凹陷深凹区 AS1 井页岩储层于 2011 年 1 月 23 日经特大型压裂后获得最高日产 4.68 m³的工业油气流,率先在我国东部第三系断陷湖盆取得了陆相页岩油气勘探重要突破。

2 陆相页岩油形成条件

北美地区在海相页岩油气勘探中成果显著,

首先取决于海相泥页岩分布稳定,面积较广^[8]。泌阳凹陷陆相湖盆虽然面积不大,但在湖盆稳定沉降阶段形成分布广泛的陆相生油岩,生烃潜力很大,是东部典型的富油凹陷,具有陆相页岩油气藏形成的物质基础。

2.1 页岩分布特征

广泛分布且具有一定厚度的泥页岩是形成页岩油藏的物质基础,也是影响页岩油资源丰度高低的主要因素。富含有机质泥页岩的厚度越大,页岩油气资源量规模越大^[9]。泌阳凹陷泥页岩主要分布在深凹区湖相-半深湖相,面积约 400 km²,纵向上主要分布在核桃园组二段至核桃园组三段。位于深凹区的 AS1 井自上而下共发现页岩 89 层/670 m,岩性主要为黑色页岩、深灰色泥岩、灰色白云质泥岩,其中 2 230 ~ 2 350 m 及 2 450 ~ 2 510 m 井段页岩尤为发育,纯页岩厚度达 60 ~ 70 m,平面上分布面积达 100 ~ 200 km²(图 2),为页岩油的形成奠定了物质基础。

在三维地震资料精细解释的基础上,利用波阻抗反演、地层切片、分频地层切片、属性分析等技术对页岩储层进行了精细描述,预测其展布范围,预测结果表明 AS1 井的页岩横向分布稳定,分布较广(图 3)。

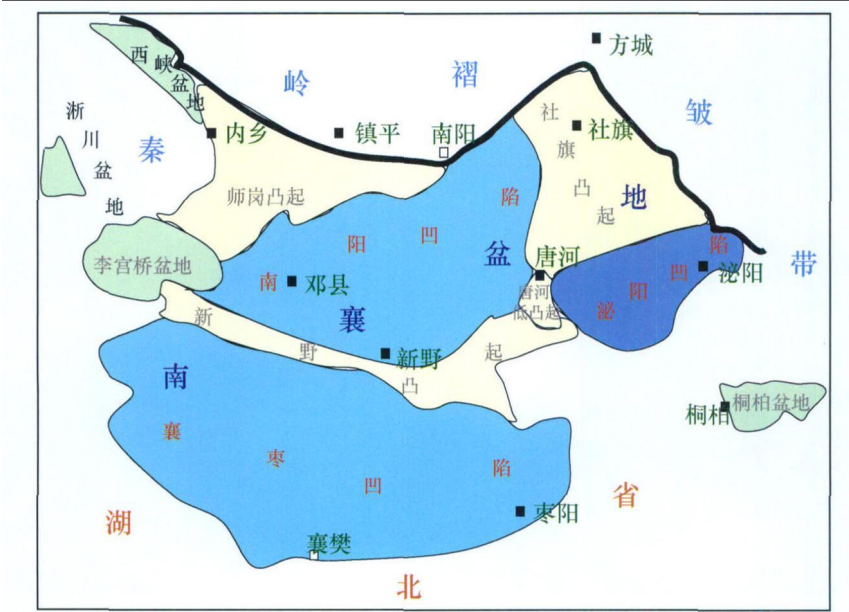


图 1 泌阳凹陷构造位置示意图
Fig. 1 Tectonic location of Biyang Depression

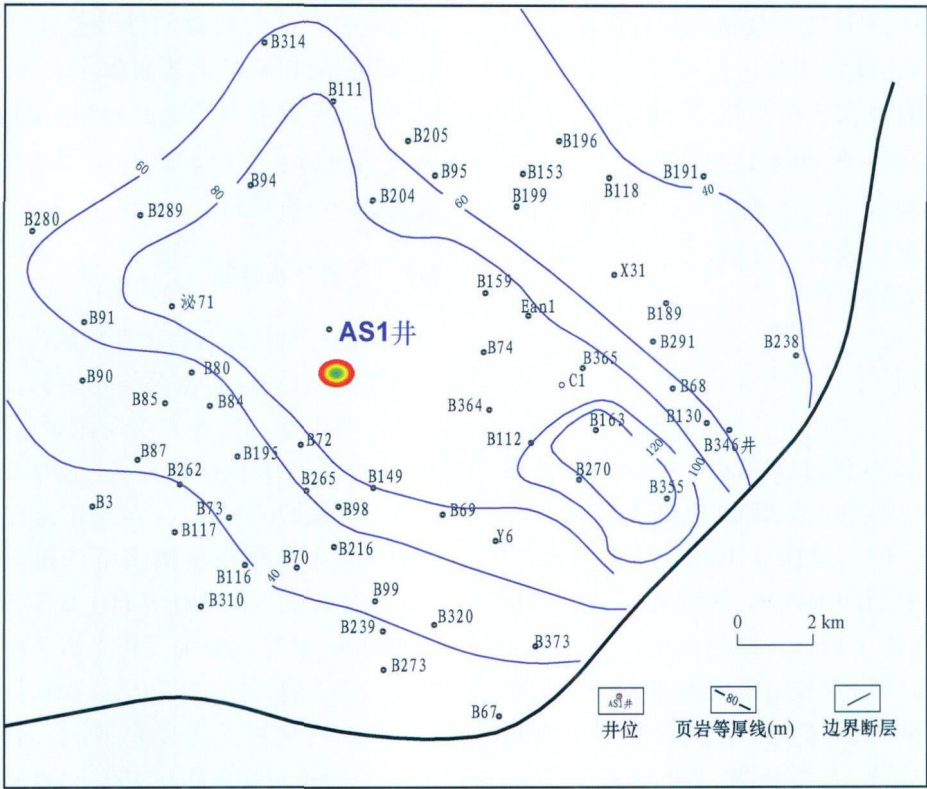


图 2 AS1 井 2 450 ~ 2 510 m 泥页岩等厚图
Fig. 2 Isopach of shale in the Well AS1 (2 450 ~ 2 510 m)

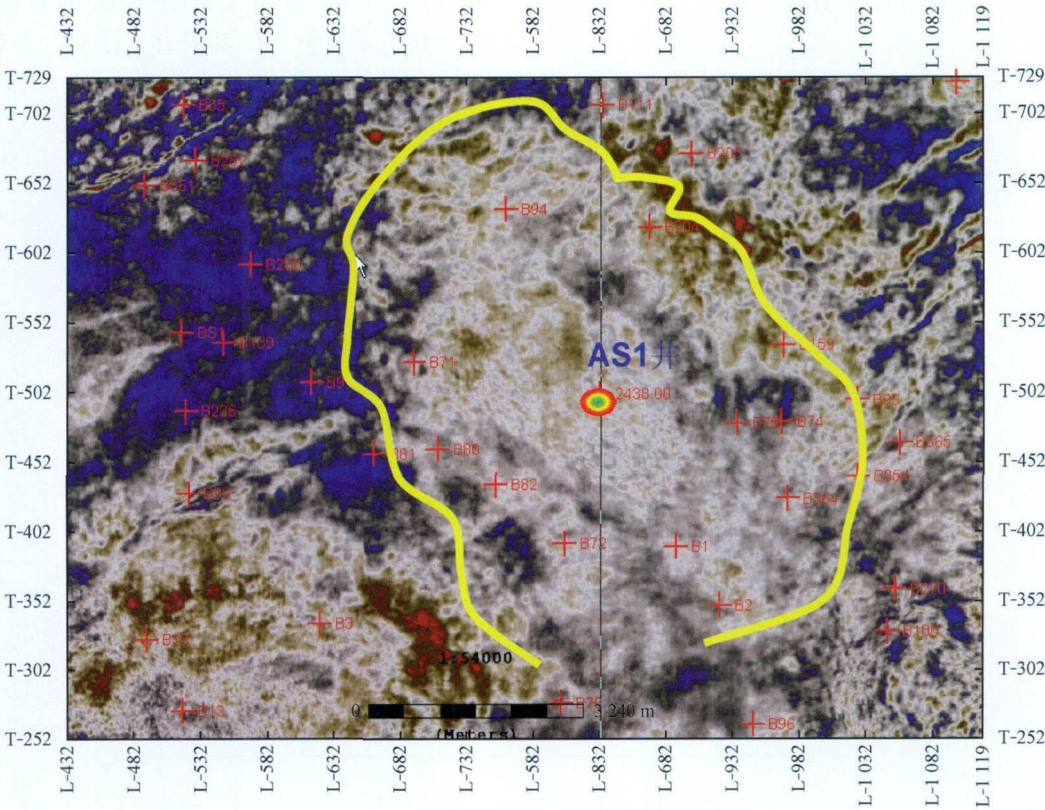


图 3 AS1 井 2 488 ~ 2 498 m 井段地层振幅切片
Fig. 3 Amplitude slice of perforated interval (2 488 ~ 2 498 m) in the Well AS1

2.2 页岩地球化学特征

Barnett 页岩的油气分布、含油气饱和度以及生产能力主要取决于有机质丰度及热成熟度^[10-11]。有机地化指标是页岩油气区带评价优选的重要参数,一般而言有机质丰度(*TOC*)大于 2,且需要适宜的热演化程度(*R_o*)。

2.2.1 有机质丰度

有机质丰度是生烃强度的主要影响因素,决定着生烃量的多少,页岩中有机碳含量与页岩油气的生烃率具较好的正相关性^[10-13]。泌阳凹陷 AS1 井页岩有机碳分析结果为 1.59%~4.53%,平均值 2.93%(表 1),表明有机质丰度较高,为好的烃源岩。

2.2.2 热演化程度

热演化程度主要反映了烃源岩生油气窗演化阶段,当镜质体反射率(*R_o*)小于 1.1%时,以生油为主^[12]。研究表明 AS1 井页岩样品 *R_o* 值一般在 0.57%~0.72%之间,处于成熟阶段和生烃高峰窗(表 2),主要是以生油为主,是页岩油形成的决定性因素。AS1 井在试采过程中以产油为主,同时也伴生有页岩气,不同取样时间的气样组份在发生变化,甲烷含量在 46.24%~63.24%之间,点火火焰颜色呈黄色。

2.2.3 有机质类型

Barnett 页岩的有机质以易于生油的 I 型和 II

表 1 AS1 井页岩有机碳含量分析数据
Table 1 Statistics of *TOC* of the shale interval
in the Well AS1

井名	层位	井深/m	有机碳含量,%	岩性	样品
AS1 井	Eh ³⁽³⁾	2 450~2 451	1.59	页岩	岩屑
AS1 井	Eh ³⁽³⁾	2 460~2 461	4.35	页岩	岩屑
AS1 井	Eh ³⁽³⁾	2 470~2 471	2.66	页岩	岩屑
AS1 井	Eh ³⁽³⁾	2 480~2 481	3.01	页岩	岩屑
AS1 井	Eh ³⁽³⁾	2 490~2 491	3.35	页岩	岩屑
AS1 井	Eh ³⁽³⁾	2 500~2 501	2.73	页岩	岩屑
AS1 井	Eh ³⁽³⁾	2 510~2 511	2.84	页岩	岩屑
平均值			2.93		

表 2 AS1 井页岩镜质体反射率(*R_o*)分析数据
Table 2 Vitrinite reflectance of shale in the Well AS1

井深/m	层位	岩性	<i>R_o</i> , %	测点数
2 266~2 267	Eh ³⁽²⁾	页岩	0.570	3
2 310~2 311	Eh ³⁽²⁾	页岩	0.556	4
2 315~2 316	Eh ³⁽³⁾	页岩	0.641	5
2 344.65	Eh ³⁽³⁾	页岩	0.648	12
2 450~2 451	Eh ³⁽³⁾	页岩	0.518	6
2 470~2 471	Eh ³⁽³⁾	页岩	0.681	3
2 480~2 481	Eh ³⁽³⁾	页岩	0.643	5
2 500~2 501	Eh ³⁽³⁾	页岩	0.647	10
2 510~2 511	Eh ³⁽³⁾	页岩	0.693	10
2 540~2 541	Eh ³⁽³⁾	页岩	0.707	3
2 558~2 561	Eh ³⁽³⁾	页岩	0.647	6
2 575~2 576	Eh ³⁽³⁾	页岩	0.656	2
2 590~2 594	Eh ³⁽³⁾	页岩	0.647	5
2 595~2 600	Eh ³⁽³⁾	页岩	0.718	5

型干酪根为主,有机质类型通常对产油产气能力影响较小,热演化程度和有机质丰度才是影响产油气能力的关键因素^[12]。AS1 井有机质类型以 I 和 II a 型为主,少量 III 型,显示良好的倾油型。

2.3 页岩储层特征

2.3.1 脆性矿物含量

页岩中石英、长石、方解石、白云石等脆性矿物含量越高,岩石脆性越强,在人工压裂外力作用下越易形成网状结构缝,增加油气泄流面积,有利于页岩油气开采;而高粘土矿物含量的页岩塑性强,以形成平面裂缝为主,不利于页岩体积改造^[11]。因此,脆性矿物含量是影响页岩基质孔隙和微裂缝发育程度以及页岩储层可压性的重要因素。AS1 井页岩中含有大量石英、长石、方解石、白云石等脆性矿物。全岩 X 衍射分析结果表明,脆性矿物含量高达 73.47%,粘土矿物含量仅 20.15%(图 4),说明页岩岩性较脆。另外,AS1 井的白云岩化作用明显,表现在云质泥岩发育,白云岩化作用能提高岩石的脆性^[10],有利于后期压裂改造。

2.3.2 微孔隙、微裂缝发育程度

微裂缝、微孔隙的发育程度是评价页岩油气藏的重要参数。微裂缝不仅是页岩储层的渗流通

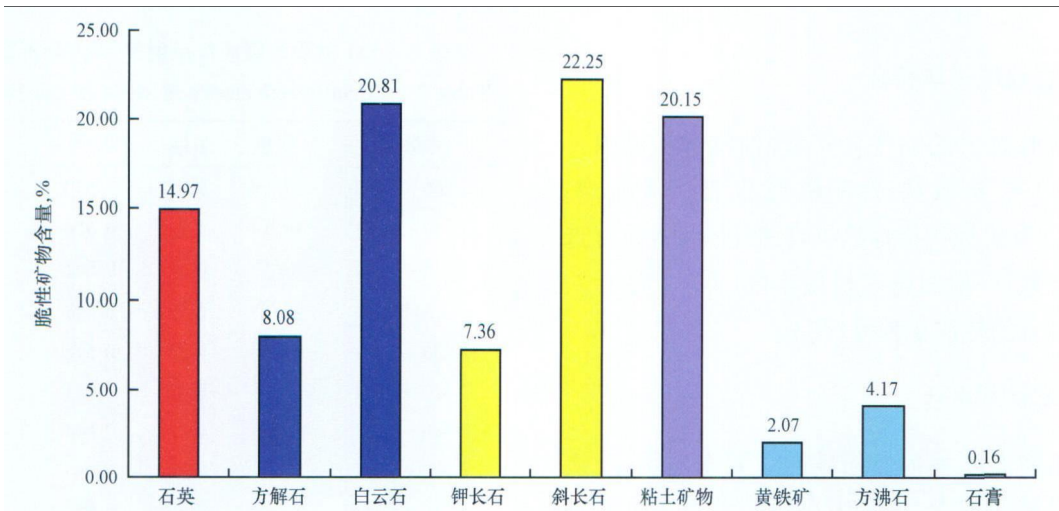


图 4 AS1 井 2 450 ~ 2 510 m 页岩全岩 X 衍射组分直方图
Fig 4 Column diagram of x ray diffraction components of shale in the Well As1 (2 450 – 2 510 m)

道,能起到沟通油气和改善物性的作用^[14-16],而且有利于后期压裂改造的人工裂缝与自然裂缝交汇形成网状缝。AS1 井区页岩天然微裂缝较发育,可见高角度缝、水平层理缝(图 5a,b),部分裂缝被方解石、石英等矿物充填(图 5c,d)。另外,页岩储层的微孔隙主要是指基质孔隙,利用扫描电镜可观察到 AS1 井页岩微孔隙发育,主要以晶间孔的形式存在(图 5e,f)。利用核磁测井资料,通过岩心实测数据标定解释,AS1 井 2 488 ~ 2 498 m 井段平均孔隙度 4.83%,平均渗透率 $0.000\ 36 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$ (表 3),表明该井页岩储层物性较好。

表 3 AS1 井核磁解释物性数据

Table 3 Physical properties from NMR logging interpretation in the Well AS1

井深/m	孔隙度, %	渗透率/($10^{-3} \mu\text{m}^2$)
2 450	4.50	0.000 000 861 2
2 455	5.14	0.000 006 305 0
2 460	2.83	0.000 000 013 3
2 465	2.83	0.000 000 033 7
2 470	4.71	0.000 000 559 3
2 475	4.07	0.000 001 367 6
2 480	6.35	0.000 535 932 6
2 485	5.19	0.000 025 213 2
2 490	5.97	0.000 535 932 6
2 495	6.17	0.002 470 877 7
2 500	5.22	0.000 535 932 6
2 505	5.04	0.000 219 203 1
平均值	4.83	0.000 361 000 0

2.4 测录井响应特征

2.4.1 气测录井响应特征

气测录井特征能较好的反映储层的含油气性,在页岩油气地质录井识别评价中,有较重要的参考借鉴价值。AS1 井 2 450 ~ 2 510 m 井段气测异常明显(图 6),岩性为黑色页岩,气测全烃 2.52% ~ 36.21%,其中甲烷 1.77% ~ 17.50%,气测组分较全,主要反映了油型气特征,与该井压后排采求产以页岩油为主,伴有少量的页岩气结果相吻合。

2.4.2 测井响应特征

国外页岩油气层具有四高(自然伽马、中子、声波、电阻率)一低(低密度)的测井响应特征^[17-18]。泌阳凹陷页岩油气层具有如下测井响应特征:①三高(高伽马、高中子、高声波),两低(低密度、低电阻);②中子与声波交绘有一定面积。电阻总体较低(小于泥质白云岩、白云质泥岩的电阻),局部存在高值,推测与含油气性有关(图 7),中子与声波的交汇面积与含油气性的大小有关,面积越大,含油气性越高。

2.5 保存条件

页岩本身既是烃源岩又是储集层,因此对盖层条件要求不是很苛刻。但构造演化及大断裂对页岩油气保存影响较大。热成因型页岩油气藏主要靠微裂缝、微断层就近运聚,而大断裂对

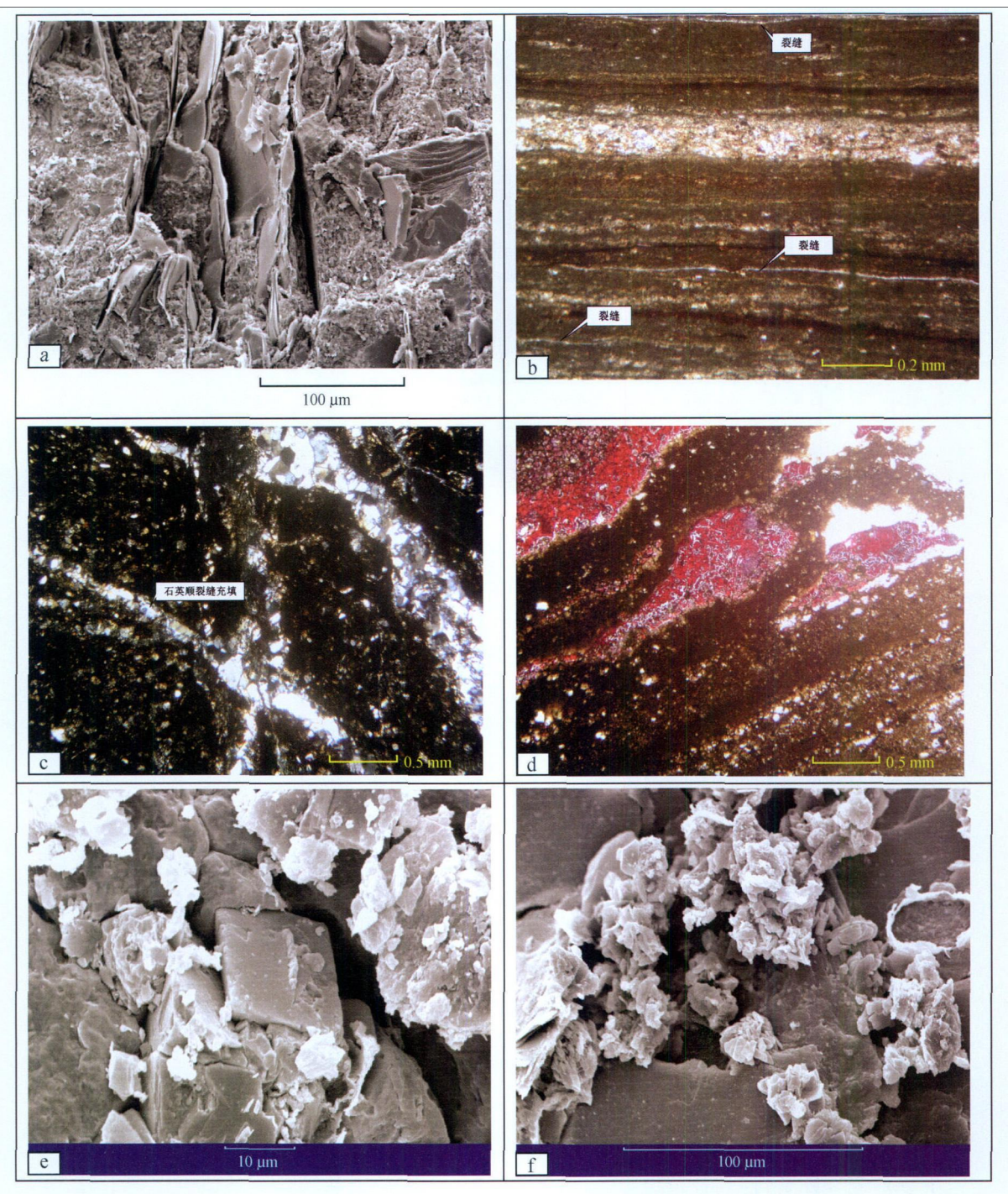


图5 AS1井微孔隙、微裂缝薄片及扫描电镜照片

Fig. 5 Thin section and SEM photos of micro pores and fissures in the Well AS1

a. 高角度裂缝(2 423 m,扫描电镜);b. 顺层理发育的裂缝(2 487 m,单偏光);c. 石英充填裂缝(2 490 m,正交光);d. 方解石充填裂缝(2 492 m,单偏光);e. 晶间微孔隙发育(2 498 m,扫描电镜);f. 晶间微孔隙发育(2 494 m,扫描电镜)

页岩油气保存起破坏作用,因此强烈的构造活动不利于页岩油气藏的保存^[19]。同时大断层在压裂改造过程中易沟通上下水层,不利于页岩油气开采。泌阳凹陷为中新世断陷湖盆,

仅经历廖庄末期构造抬升运动,构造破坏作用相对较弱,加之泌阳凹陷页岩主要发育地区为深凹区,断层极不发育,有利于页岩油气的保存。

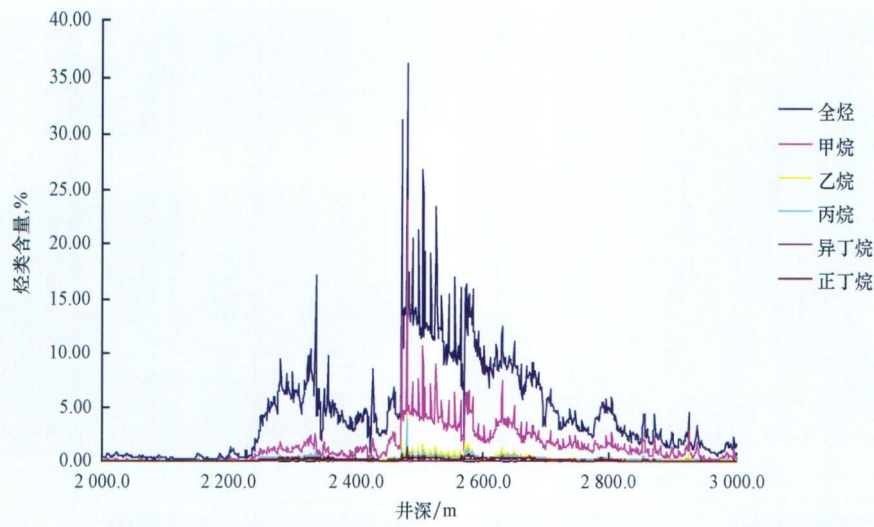


图 6 AS1 井地质录井气测响应特征
Fig 6 Gas logging response characteristics of the Well AS1

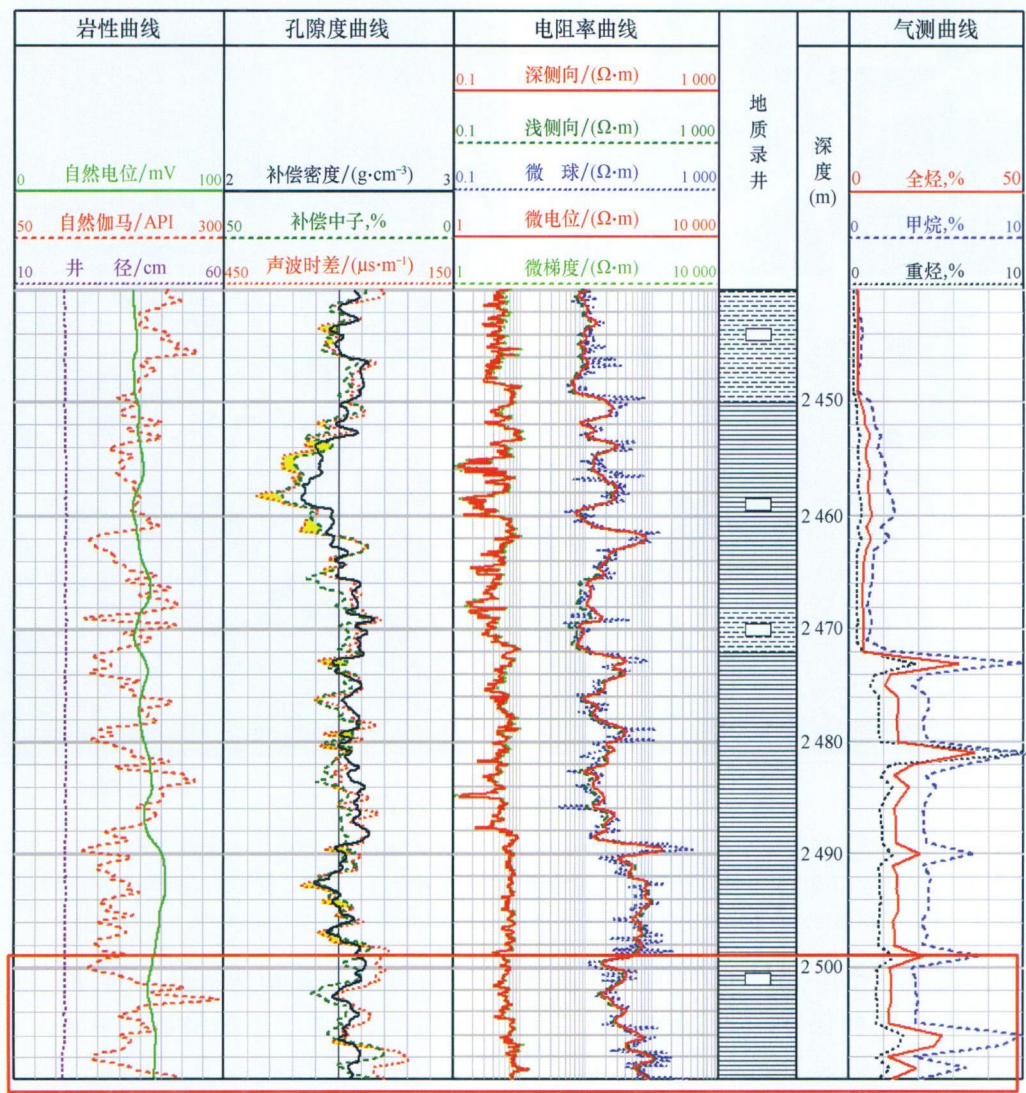


图 7 AS1 井含油气页岩测井响应特征
Fig. 7 Logging response characteristics of oil/gas shale layers in the Well AS1

3 页岩油气勘探潜力

根据老井复查情况,结合精细地层对比、储层预测结果,泌阳凹陷深凹区 AS1 井区核二段—核三段上部主要发育 5 套主力含油气页岩层,研究表明该区主力页岩层甜点区累计面积354 km²,初步估算泌阳凹陷页岩油资源量2.3×10⁸t;泌阳凹陷深凹区南部核三段下部泥页岩发育,埋深2 800~4 000 m,热演化程度较高,*R*_o一般为0.9%~1.8%,处于生气阶段,是下步页岩气勘探有利目标区,预测页岩分布面积100 km²,厚度300 m,初步估算泌阳凹陷页岩气资源量3 132×10⁸ m³(表4)。根据泌阳凹陷的基本地质特征、页岩油气成藏条件及热演化特征,综合评价认为泌阳凹陷页岩油气具有“北油南气、上油下气”的成藏规律,按照“整体解剖、立体勘探、重点突破”的非常规油气勘探思路,首选 AS1 井区作为页岩油的评价勘探地区,部署一口页岩油气水平井,采用水平井钻井及多级分段压裂技术,有望取得陆相页岩油勘探的重大突破。

表 4 泌阳凹陷深凹区页岩油气估算资源量
Table 4 Estimated resources of shale oil/gas in the depocenter of Biyang Depression

层位	厚度/m	面积/km ²	资源量	
			页岩油/ (10 ⁸ t)	页岩气/ (10 ⁸ m ³)
核二段— 核三段上部	30~60	354	2.3	
核三段下部	300	100		3 132

4 结论

- 1) 泌阳凹陷泥页岩分布面积广,母质类型好,生烃能力强,为一典型富油气凹陷,具有形成页岩油气藏的物质基础,初步估算泌阳凹陷深凹区页岩油气资源量5.4×10⁸ t(油当量)。
- 2) 泌阳凹陷深凹区页岩油气成藏条件有利,主要表现在页岩储层具有单层厚度大,有机质丰

度高,热演化程度适宜,脆性矿物含量高,微孔隙微裂缝发育等特征;同时含油气页岩测录井响应特征明显,页岩油气保存条件较好。

3) 泌阳凹陷页岩油气具有“北油南气、上油下气”的成藏规律,深凹区北部 AS1 井区核三段Ⅲ砂组是页岩油评价勘探的有利层系及地区,深凹区南部核三段下部是页岩气预探的有利地区。

参 考 文 献

[1] 陈祥,严永新,章新文,等. 南襄盆地泌阳凹陷陆相页岩气形成条件研究[J]. 石油实验地质,2011,33(2): 27-32.
Chen Xiang, Yan Yongxin, Zhang Xinwen, et al. Research on continental shale gas forming conditions of Hetaoyuan formation in Biyang depression of Nanxiang basin [J]. Petroleum Geology & Experiment, 2011, 33(2): 27-32.

[2] 王敏,秦伟军,赵追,等. 南襄盆地泌阳凹陷油气藏形成条件及聚集规律[J]. 石油与天然气地质,2001,22(2): 169-172.
Wang Min, Qin Weijun, Zhao Zhui, et al. Pool-forming condition and accumulation regularity of oil and gas in Biyang Depression, Nanxiang Basin [J]. Oil & Gas Geology, 2001, 22(2): 169-172.

[3] 李新景,吕宗刚,董大忠,等. 北美页岩气资源形成的地质条件[J]. 天然气工业,2009,29(5): 27-32.
Li Xinjing, Lü Zonggang, Dong Dazhong, et al. Geologic controls on accumulation of shale gas in North America [J]. Natural Gas Industry, 2009, 29(5): 27-32.

[4] 张抗,谭云冬. 世界页岩气资源潜力和开发现状及中国页岩气的发展前景[J]. 当代石油石化,2009,17(3): 9-12.
Zhang Kang, Tan Yundong, The status of world shale gas resources potential and production status as well as development prospect of China shale gas [J]. Petroleum & Petrochemical Today, 2009, 17(3): 9-12.

[5] 董大忠,程克明,王玉满,等. 中国上扬子区下古生界页岩气形成条件及特征[J]. 石油与天然气地质,2010,31(3): 288-308.
Dong Dazhong, Cheng Keming, Wang Yuman, et al. Forming conditions and characteristics of shale gas in the Lower Paleozoic of the Upper Yangtze region, China [J]. Oil & Gas Geology, 2010, 31(3): 288-299, 308.

[6] 翟光明. 关于非常规油气资源勘探开发的几点思考[J]. 天然气工业,2008,28(12): 1-3.
Zhai Guangming. Speculation on the exploration and development of unconventional hydrocarbon resources [J]. Natural Gas Industry, 2008, 28(12): 1-3.

[7] 孙红军,刘立群,吴世祥,等. 从深水油气勘探到页岩油气

- 开发—2009年AAPG年会技术热点透视[J]. 石油与天然气地质, 2009, 30(5): 1-5.
- Sun Hongjun, Liu Liqun, Wu Shixiang, et al. Exploration from deep water hydrocarbon to shale oil—AAPG forum hot spot technology[J]. Oil & Gas Geology, 2009, 30(5): 1-5.
- [8] 姜在兴. 沉积体系及层序地层学研究现状及发展趋势[J]. 石油与天然气地质, 2010, 31(5): 535-541.
- Jiang Zaixing. Studies of depositional systems and sequence stratigraphy: the present and the future[J]. Oil & Gas Geology, 2010, 31(5): 535-541.
- [9] 蒲伯伶, 包书景, 王毅, 等. 页岩气成藏条件分析——以美国页岩气盆地为例[J]. 石油地质与工程, 2008, 22(3): 32-39.
- Kong Bailing, Bao Shujing, Wang Yi, et al. Analysis of shale gas forming conditions—a case of shale gas basin in America[J]. Petroleum Geology and engineer, 2008, 22(3): 32-39.
- [10] 杨振恒, 李志明, 王果寿, 等. 北美典型页岩气藏岩石学特征、沉积环境和沉积模式及启示[J]. 地质科技情况, 2010, 29(6): 59-64.
- Yang Zhenheng, Li Zhiming, Wang Guoshou, et al. Enlightenment from petrology character, depositional environment and depositional model of typical shale gas reservoirs in North America[J]. Geological Science and Technology Information, 2010, 29(6): 59-64.
- [11] 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): 641-652.
- 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): 641-652.
- [12] 聂海宽, 张金川, 张培先, 等. 福特沃斯盆地 Barnett 页岩气藏特征及启示[J]. 地质科技情报, 2009, 28(2): 87-93.
- Nie Haikuan, Zhang Jinchuan, Zhang Peixian, et al. Shale Gas reservoir characteristics of Barnett shale gas reservoir in Fort Worth Basin[J]. Geological Science and Technology Information, 2009, 28(2): 87-93.
- [13] 张大伟. 加速我国页岩气资源调查和勘探开发战略构想[J]. 石油与天然气地质, 2010, 31(2): 135-139.
- Zhang Dawei. Strategic concepts of accelerating the survey, exploration and exploitation of shale gas resources in China[J]. Oil & Gas Geology, 2010, 31(2): 135-139, 150.
- [14] 杨振恒, 李志明, 沈宝剑, 等. 页岩气成藏条件及我国黔南坳陷页岩气勘探前景浅析[J]. 中国石油勘探, 2009, (3): 24-27.
- Yang Zhengheng, Li Zhiming, Shen Baojian, et al. Shale gas accumulation conditions and exploration prospect in Southern Guizhou depression[J]. China Petroleum Exploration, 2009, (3): 24-27.
- [15] 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 features and evaluation of shale gas reservoirs[J]. Natural Gas Industry, 2010, 30(10): 7-12.
- [16] 张雪芬, 陆现彩, 张林晔, 等. 页岩气的赋存形式研究及其石油地质意义[J]. 地球科学进展, 2010, 25(6): 597-602.
- Zhang Xuefen, Lu Xiancai, Zhang Linye, et al. Occurrences of shale gas and their petroleum geological significance[J]. Advances in Earth Science, 2010, 25(6): 597-602.
- [17] 潘仁芳, 伍媛, 宋争. 页岩气勘探的地球化学指标及测井分析方法初探[J]. 中国石油勘探, 2009, 3(2): 6-9.
- Pan Renfang, Wu Yuan, Song Zheng. Geochemical parameters for shale gas exploration and basic methods for well logging analysis[J]. China Petroleum Exploration, 2009, 3(2): 6-9.
- [18] 潘仁芳, 赵明清, 伍媛. 页岩气测井技术的应用[J]. 中国科技信息, 2010, 7(2): 16-18.
- Pan Renfang, Zhao Mingqing, Wu Yuan. Application of shale gas well logging[J]. China Science and Technology Information, 2010, 7(2): 16-18.
- [19] 李登华, 李建中, 王社教, 等. 页岩气藏形成条件分析[J]. 天然气工业, 2009, 29(5): 22-26.
- Li Denghua, Li Jianzhong, Wang Shejiao, et al. Analysis of controls on gas shale reservoirs[J]. Natural Gas Industry, 2009, 29(5): 22-26.

(编辑 董立)