

# 延长油气区中生界页岩气资源评价系统分析

刘刚, 刘超, 孙建博, 尹锦涛

(陕西延长石油(集团)有限责任公司研究院, 陕西 西安 710075)

**摘要:**在延长油气区中生界长7陆相页岩气勘探认识的基础上,综合分析选取适合当前勘探程度的条件概率体积法计算页岩气地质资源量,其中通过有利区优选标准圈定含气面积922 km<sup>2</sup>,页岩厚度与含气量相乘作为单一参数进行条件概率赋值,最终计算得到长7页岩气地质资源量 $2\,456.26 \times 10^8$  m<sup>3</sup>。应用对比法和参数加权法对长7页岩气资源量可采系数进行估算,其中对比法估算为0.12,参数加权法估算为0.164。通过可靠度加权得到可采系数为0.151,结合评价出的地质资源量获得页岩气可采资源量 $368.44 \times 10^8$  m<sup>3</sup>。评价结果为延长油气区陆相页岩气的深入勘探开发提供了重要的指导作用,同时为其他地区页岩气资源量评价相关研究提供了技术借鉴。

**关键词:**页岩气资源量 条件概率体积法 参数加权法 可采系数 长7

**中图分类号:**TE155 **文献标识码:**A

## Evaluation of Mesozoic shale gas resource in Yanchang oil and gas area

LIU Gang, LIU Chao, SUN Jianbo, YIN Jintao

(Research Institute of Shaanxi Yanchang Petroleum( Group) Co. Ltd., Xi'an 710075, China)

**Abstract:** Based on the understanding of the shale gas of Mesozoic Chang 7 in Yanchang oil and gas area, the conditional probability volume method was selected to evaluate the geological resource of shale gas. According to the screening criteria of favorable area, the gas bearing area of 922 km<sup>2</sup> was determined. And then the conditional probability was assigned by the product of shale thickness and gas content. The calculation results indicated that the geological resource of Chang 7 shale gas is  $2\,456.26 \times 10^8$  m<sup>3</sup>. The recoverable coefficient was estimated by the contrasting method and the parameter weighting method corresponding to 0.12 and 0.164. And then the final recoverable coefficient is 0.151 by the reliable weighting, and the corresponding recoverable resource is  $368.44 \times 10^8$  m<sup>3</sup>. The evaluated result provides an important guiding role for further work of terrestrial shale gas in Yanchang oil and gas area and a technical reference for related research of the other area.

**Key words:** shale gas resource; Chang 7; conditional probability volume method; parameter weighting method; recoverable coefficient

在页岩气资源量评价过程中,页岩气地质资源量和可采资源量是主要的评价参数,对气藏初期评价、储量标定等多个方面起到重要的指导作用。2011年国土资源部开展了全国页岩气资源潜力调查<sup>[1]</sup>,评价结果表明鄂尔多斯盆地及其外围页岩气地质资源量和可采资源量达到 $11.81 \times 10^{12}$  m<sup>3</sup>和 $2.71 \times 10^{12}$  m<sup>3</sup>。然而当时鄂尔多斯盆地页岩气勘探工作刚刚起步,勘探程度较低,评价结果难免存在误差。

从2011年至今,延长石油集团在鄂尔多斯盆地延长油气区内开展了大规模的陆相页岩气勘探工

作,当前勘探程度进一步提高,资料收集较为完备<sup>[2-9]</sup>,本文以延长油气区中生界三叠系长7页岩储层为研究对象,通过系统研究页岩气资源量评价方法,力求实现页岩气资源量的准确评价,为后期页岩气勘探开发提供指导作用。

收稿日期:2017-09-30;改回日期:2017-10-10。

第一作者简介:刘刚(1985—),工程师,硕士,从事非常规油气勘探开发研究。E-mail:liugang8558@126.com。

基金项目:陕西省科技统筹创新工程项目“延长石油陆相页岩气成藏机理及资源潜力评价”(2012KTZB03-03-01-01)。

1 延长油气区长 7 页岩气勘探认识

延长油气区位于鄂尔多斯盆地陕北斜坡东南部,区域覆盖甘泉、富县、延长、延川、子长等区县(图 1),面积约  $1 \times 10^4 \text{ km}^2$ 。

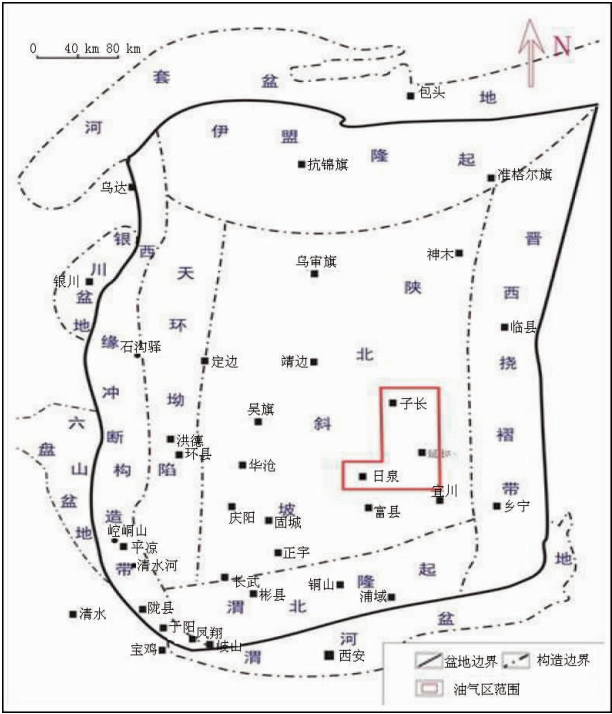


图 1 延长油气区地理位置

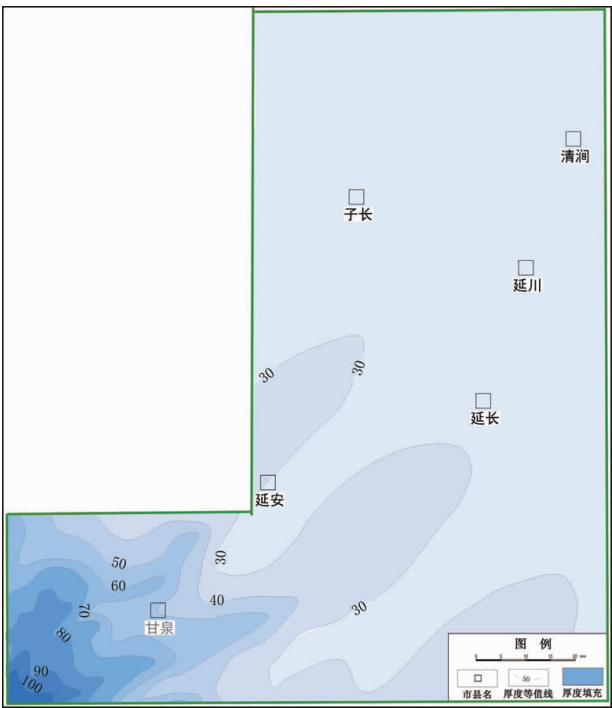


图 2 油气区中生界页岩厚度分布

该区中生代三叠纪时期受深湖 - 半深湖相沉积环境影响在延长组长 7 层广泛发育暗黑色、黑色页

岩,埋深 1 100 ~ 1 400 m,油气区内中生界页岩累计厚度自东北向西南逐渐变厚,其中在甘泉地区页岩累计厚度普遍达到 50 m 以上,局部地区甚至超过 90 m(图 2)。页岩有机质类型主要以 I 型 - II<sub>1</sub> 型干酪根为主,油气区内有机碳含量 TOC 主要分布于 1% ~ 5.5%,总体呈现北低南高的趋势,在南部和西南部普遍达到 4%(图 3)。

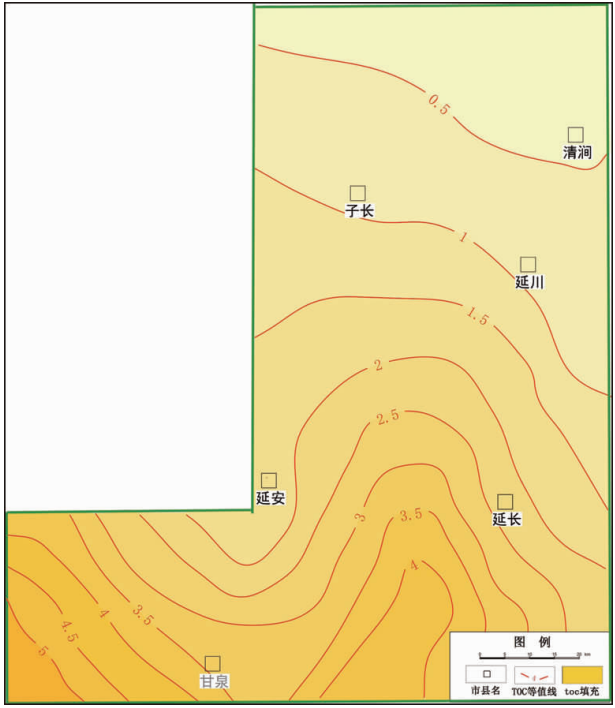


图 3 油气区中生界 TOC 分布

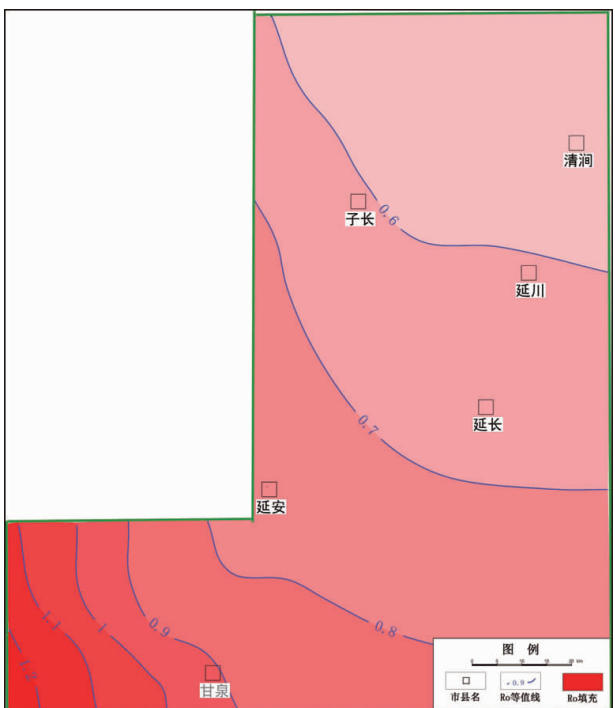


图 4 油气区中生界 R<sub>o</sub> 分布

油气区内热成熟度  $R_o$  主要分布在  $0.6\% \sim 1.25\%$  之间,其中西南部甘泉地区  $R_o$  基本上达到了  $0.9\%$ ,超过了生气门限(图4)。油气区内储层物性较好,基质孔隙度分布在  $1.5\% \sim 6.5\%$ ,平均达到  $4.0\%$ 。脆性矿物含量较高,其中石英含量约  $20\% \sim 42\%$ ,长石含量约  $10.0\% \sim 33.9\%$ ,微裂缝、裂隙较发育,走向主要为北东东向,在  $70^\circ \sim 90^\circ$  之间。现场解吸气含量普遍超过  $1.5 \text{ m}^3/\text{t}$ ,含气性较好。整体上延长油气区内长7页岩具备良好的页岩气地质成藏条件。

## 2 页岩气地质资源量评价

### 2.1 条件概率体积法原理

页岩气地质资源量是在勘探工作和勘探技术充分使用的条件下,根据目前的地质资料计算出来的,最终可探明的具有现实或潜在经济意义的页岩气总量。页岩气地质资源量一般通过体积法计算<sup>[10-12]</sup>(式1)。然而与国外较成熟的页岩气区块相比,延长油气区内页岩气勘探程度仍然偏低,资料获取太少,参数离散度过大,造成地质资源量计算出现较大

偏差,为此本文选择条件概率体积法进行计算。

$$Q = 0.01 A h \rho q \quad (1)$$

其中: $Q$ 为页岩气地质资源量, $10^8\text{ m}^3$ ;  $A$ 为含气页岩面积, $\text{km}^2$ ;  $h$ 为页岩有效厚度, $\text{m}$ ;  $p$ 为页岩密度, $\text{t}/\text{m}^3$ ;  $q$ 为页岩含气量, $\text{m}^3/\text{t}$ 。

根据数理统计分析,随着数据量的增大,离散数据概率分布服从正态分布。因此,随着勘探程度的提高,储层各参数的概率也必将趋于正态分布<sup>[13]</sup>。条件概率体积法基于这一原理对油气区地质参数进行正态分布概率描述,计算相应的概率密度函数,通过对函数积分进行不同条件的概率赋值(式2、表1),得到相应条件下的地质参数值。相较传统体积法,条件概率体积法在区域参数值选取方面考虑更加全面,取值更具代表性,在非均质性较强的储层中尤为明显<sup>[14-16]</sup>。

$$\int_a^b \frac{1}{\sqrt{2\pi\delta}} e^{\frac{1}{2\delta^2}(x-\mu)^2} dx = m \quad (2)$$

其中: $x$  为参数自变量; $m$  为概率分布赋值; $\mu, \delta$  为参数分布的均值和方差; $a, b$  为参数分布的上、下限。

表 1 条件概率体积法概率赋值含义

| 概率  | 参数意义            | 把握程度  | 赋值参考 |      |
|-----|-----------------|-------|------|------|
| P5  | 非常不利,机会较小       | 基本没把握 | 勉强   | 乐观倾向 |
| P25 | 不利,但有一定可能       | 把握程度低 | 宽松   |      |
| P50 | 一般,页岩气聚集或不聚集    | 有把握   |      | 中值   |
| P75 | 有利,但仍有较大的不确定性   | 把握程度高 | 严格   | 保守倾向 |
| P95 | 非常有利,但仍不排除小概率事件 | 非常有把握 | 苛刻   |      |

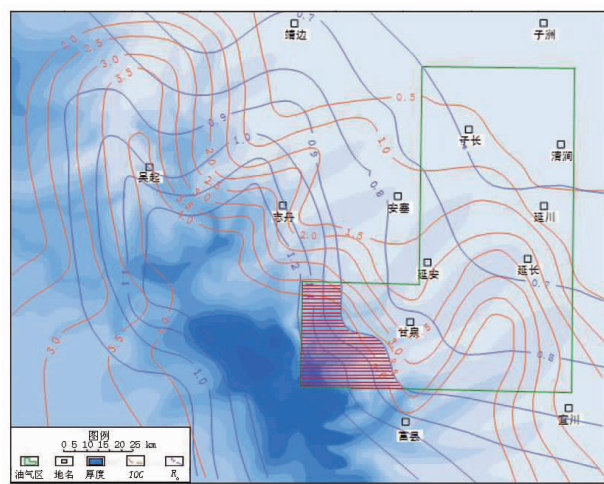


图5 延长油气区内含气面积圈定

## 2.2 延长油气区地质资源量评价

根据延长油气区页岩储层实际情况对评价参数进行赋值,其中含气面积参考国土资源部油气中心公布的页岩气有利区优选标准<sup>[1]</sup>进行圈定(表2、图

5), 根据油气区内有利区优选参数的把握程度大小进行条件概率赋值, 最终完成油气区内含气面积圈定, 其中 P50 条件下的含气面积约 922 km<sup>2</sup>。

表2 延长油气区中生界页岩气有利区优选参数标准

| 参数    | 优选标准   |
|-------|--|
| 页岩面积  | 最小连续分布面积 $\geq 50 \text{ km}^2$                          |
| 页岩厚度  | 单层页岩厚度 $\geq 10 \text{ m}$ 或 泥页岩连续厚度 $\geq 30 \text{ m}$ |
| $TOC$ | $\geq 2\%$   |
| $R_o$ | $\geq 0.9\%$   |
| 埋深    | $\geq 1\,000 \text{ m}$                                  |
| 总含气量  | $\geq 0.5 \text{ m}^3/\text{t}$                          |
| 保存条件  | 中等—好   |

页岩含气量与有机碳 *TOC* 一般保持线性关系, 所以油气区内页岩含气量与有机碳 *TOC* 呈现相同的分布趋势, 即北高南低。此趋势与油气区内页岩厚度分布趋势相近, 相应的概率密度分布也同样具有相似趋势。因此本文考虑将油气区内各页岩气井的页岩厚度和含气量相乘, 将其作为单一参数进行

正态分布概率描述,获取相应条件概率下的参数值(图6)。

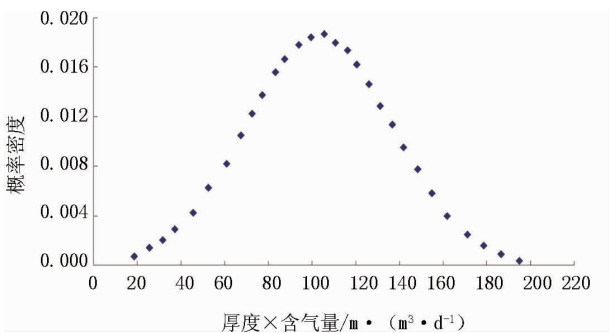


图6 厚度×含气量正态分布概率密度

表3 延长油气区长7页岩气地质资源量计算参数表

| 条件概率  | P5       | P25      | P50      | P75      | P95      |
|---|----------|----------|----------|----------|----------|
| 含气面积/km <sup>2</sup>                            | 1 125    | 1 008    | 922      | 814      | 699      |
| 页岩密度/(t·m <sup>-3</sup> )                       | 2.54     | 2.54     | 2.54     | 2.54     | 2.54     |
| 厚度×含气量/<br>m·(m <sup>3</sup> ·d <sup>-1</sup> ) | 195.00   | 151.45   | 104.88   | 66.16    | 22.11    |
| 地质资源量/<br>10 <sup>8</sup> m <sup>3</sup>        | 5 572.12 | 3 877.61 | 2 456.26 | 1 367.89 | 3 925.54 |

油气区内页岩密度变化幅度较小,通过对实钻页岩气井长7层岩心密度测试取均值2.54 t/m<sup>3</sup>。

在此基础上,计算出各条件概率下延长油气区长7页岩气地质资源量,并确定最终地质资源量为2 456.26 × 10<sup>8</sup> m<sup>3</sup>(表3)。

3 页岩气可采资源量评价

页岩气可采资源量是预期从页岩气资源量中可能采出并具有经济意义的页岩气量,一般通过可采系数计算。

当前对页岩气可采系数的研究较少<sup>[17-20]</sup>,本文考虑应用对比法和参数加权法对延长油气区长7页岩的资源量可采系数进行估算,实现油气区内页岩气可采资源量的评价。

3.1 对比法

当前美国页岩气勘探程度已达到非常成熟的阶段,掌握的页岩气地质资源量和可采资源量较为准确,统计得到各页岩气盆地的资源量可采系数约为0.12~0.35(表4)。与美国海相页岩储层相比,延长油气区长7页岩储层属于陆相沉积,在生烃条件、储层物性等方面均存在一定的差距<sup>[21-22]</sup>,因此可采系数相对较低,应处于美国页岩气可采系数区间下限0.12左右。

表4 美国页岩气资源量可采系数统计

| 页岩盆地        | 埋深/m        | 厚度/m   | TOC/%   | 孔隙度/% | 含气量/<br>(m <sup>3</sup> ·t <sup>-1</sup> ) | 地质资源量/<br>(10 <sup>12</sup> m <sup>3</sup> ) | 可采资源量/<br>(10 <sup>12</sup> m <sup>3</sup> ) | 可采系数  |
|-------------|-------------|--------|---------|-------|--|--|--|-------|
| Barnett     | 2 000~3 000 | 30~200 | 4.5     | 4~5   | 8.5~10                                     | 9.26   | 1.25   | 0.135 |
| Haynesville | 3 500~4 500 | 60~100 | 0.5~4.0 | 8~9   | 2.8~10                                     | 20.31  | 7.11   | 0.350 |
| Marcellus   | 1 500~3 000 | 15~75  | 3~12    | 10    | 1.7~2.8                                    | 42.48  | 10.79  | 0.254 |
| Woodford    | 2 000~3 500 | 40~80  | 1~14    | 3~9   | 5.5~8.5                                    | 1.47   | 0.32   | 0.219 |
| Antrim      | 200~700     | 25~40  | 1~20    | 9     | 1~3  | 2.15   | 0.57   | 0.263 |
| New Albany  | 150~700     | 15~35  | 1~25    | 10~14 | 1~2  | 4.53   | 0.54   | 0.120 |

3.2 参数加权法

参数加权法选取有机地化参数(有机碳含量A<sub>1</sub>和镜质体反射率A<sub>2</sub>)储层物性参数(粘土含量B<sub>1</sub>和孔渗B<sub>2</sub>)和构造保存参数(构造程度C<sub>1</sub>、埋深C<sub>2</sub>和保存条件C<sub>3</sub>)三大类,结合中国各区块页岩储层的不同特征进行了参数加权和赋值,形成相应的页岩

气资源量可采系数估算公式(式3),其中对三大类的加权值分别为0.3,0.3,0.4,具体参数的加权和赋值范围见表5。

$$K = 35\% \times [0.30 \times (0.5A_1 + 0.5A_2) + 0.30 \times (0.5B_1 + 0.5B_2) + 0.4 \times 0.5A_1 + 0.5A_2(0.2C_1 + 0.3C_2 + 0.5C_3)] \quad (3)$$

表4 美国页岩气资源量可采系数统计

| 参数                | 权重  | 1~0.75         | 0.75~0.5                   | 0.5~0.25                   | 0.25~0           |
|-------------------|-----|----------------|----------------------------|----------------------------|------------------|
| A <sub>1</sub> /% | 0.5 | >4.0           | 2~4.0                      | 1.0~2                      | <1.0             |
| A <sub>2</sub> /% | 0.5 | >3.5           | 2~3.5                      | 1.3~2                      | <1.3             |
| B <sub>1</sub> /% | 0.5 | <15            | 15~30                      | 30~45                      | >45              |
| B <sub>2</sub>    | 0.5 | 孔隙度>8<br>微裂缝发育 | 孔隙度5~8<br>微裂缝较发育           | 孔隙度3~5<br>微裂缝一般发育          | 孔隙度<3<br>微裂缝不发育  |
| C <sub>1</sub>    | 0.2 | 产状平缓,<br>断裂不发育 | 宽缓褶皱构造,<br>少量断裂            | 紧闭褶皱,<br>断裂发育              | 高陡构造,<br>断裂发育    |
| C <sub>2</sub> /m | 0.3 | 2 000~3 000    | 3 000~3 500<br>1 500~2 000 | 3 500~4 000<br>1 000~1 500 | >4 000<br><1 000 |
| C <sub>3</sub>    | 0.5 | 顶底板膏岩或盐岩       | 顶底板致密泥页岩                   | 顶底板致密砂岩、碳酸盐岩               | 顶底板砂岩、碳酸盐岩       |

参考可采系数参数取值标准,结合延长油气区长7页岩气勘探认识(图2),对圈定面积内各参数进行合理取值:有机碳含量普遍达到4%, $A_1$ 取值0.7; $R_o$ 在0.9%~1.25%内, $A_2$ 取值0.2;粘土含量在40%~70%, $B_1$ 取值0.2;孔隙度均值达到4%,取值0.4;该区域构造平缓,无明显断裂, $C_1$ 取值0.9;埋深在1300 m左右, $C_2$ 取值0.4;长7页岩封盖性较强, $C_3$ 取值0.6。将各参数值代入可采系数计算公式,得到相应的页岩气资源可采系数为0.164。

### 3.3 延长矿权区可采资源量评价

根据两种方法的可靠度对估算结果进行加权,权重分别赋值0.3和0.7,最终得到延长油气区页岩气资源量可采系数为0.151,结合评价出的页岩气地质资源量计算得到长7页岩气可采资源量约 $368.44 \times 10^8 \text{ m}^3$ 。

## 4 结论

(1)结合延长油气区长7页岩的实际特征,对条件概率体积法各项参数进行了合理赋值,其中将页岩厚度和含气量相乘作为单一参数进行了条件概率赋值,最终计算出页岩气地质资源量为 $2456.26 \times 10^8 \text{ m}^3$ 。

(2)应用对比法和参数加权法估算长7页岩气资源量可采系数,其中对比法估算0.12,参数加权法估算0.16,通过可靠度加权得到最终可采系数0.151,结合评价出的地质资源量计算得到页岩气可采资源量约 $368.44 \times 10^8 \text{ m}^3$ 。

### 参考文献:

- [1] 张大伟,李玉喜,张金川,等. 全国页岩气资源潜力调查评价[M]. 北京:地质出版社,2012:65-79.
- [2] 姜呈馥,王香增,张丽霞,等. 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[J]. 中国地质,2013,40(6):1880-1887.
- [3] 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]. 天然气与石油,2011,29(6):49-54.
- [4] 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.
- [5] 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.
- [6] 王香增,张金川,曹金舟,等. 陆相页岩气资源评价初探:以延长直罗一下寺湾区长7为例[J]. 地学前缘,2012,19(2):192-197.
- [7] 杨德婷,张金川,王香增,等. 陆相页岩气的泥页岩评价:以延长下寺湾区长7上三叠统延长组长7段为例[J]. 东北石油大学学报,2012,36(4):10-17.
- [8] 杨潇,姜呈馥,宋海强,等. 鄂尔多斯盆地陆相页岩地化特征及页岩气成因[J]. 天然气技术与经济,2015,9(4):14-17.
- [9] 王香增,高胜利,高潮. 鄂尔多斯盆地南部中生界陆相页岩气地质特征[J]. 石油勘探与开发,2014,41(3):294-304.
- [10] 马宁,侯读杰,包书景,等. 页岩气资源潜力评价方法[J]. 油气地质与采收率,2012,19(6):25-29.
- [10] 王凤琴,王香增,张丽霞,等. 页岩气资源量计算:以鄂尔多斯盆地中生界三叠系延长组长7为例[J]. 地学前缘,2013,20(3):1-7.
- [11] 李勇,汤达祯,许浩,等. 国外典型煤层气盆地开采资源量计算[J]. 煤田地质与勘探,2014,42(2):23-27.
- [12] 盛骤,谢式千,潘承毅. 概率论与数理统计[M]. 北京:高等教育出版社,2010:215-239.
- [13] 张金川,林腊梅,李玉喜,等. 页岩气资源评价方法与技术:概率体积法[J]. 地学前缘,2012,19(2):184-191.
- [14] 陈新军,包书景,侯读杰,等. 页岩气资源评价方法与关键参数探讨[J]. 石油勘探与开发,2012,39(5):566-570.
- [15] 邱小松,胡明毅,胡忠贵,等. 页岩气资源评价方法及评价参数赋值—以中扬子地区五峰组—龙马溪组为例[J]. 中国地质,2014,41(6):2091-2097.
- [16] 陈元千,李剑,齐亚东,等. 页岩气藏地质资源量、可采资源量和井控可采储量的确定方法[J]. 新疆石油地质,2014,35(5):547-551.
- [17] 刘成林,李景明,杜秀芳,等. 天然气资源评价重点参数—可采系数研究[J]. 西南石油学院学报,2004,26(3):9-11.
- [18] 刘成林,尺长波,朱杰,等. 油气资源可采系数研究[J]. 石油学报,2009,30(6):72-77.
- [19] 刘正. 山西省煤层气资源量及可采潜力[J]. 中国煤炭地质,2014,26(9):17-23.
- [20] 安晓璇,黄文辉,刘思宇,等. 页岩气资源分布、开发现状及展望[J]. 资源与产业,2010,12(2):103-112.
- [21] 蒲泊伶,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):33-38.

(编辑 杨芝文)