

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): 2091–2098.

Qiu Xiaosong, Hu Mingyi, Hu Zhonggui, et al. Evaluation methods and parameter assignments of shale gas resources: A case study of the Wufeng–Longmaxi Formation in the Middle Yangtze region[J]. Geology in China, 2014, 41(6): 2091–2098(in Chinese with English abstract).

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

邱小松^{1,2} 胡明毅^{1,2} 胡忠贵^{1,2} 叶 颖³ 蔡全升²

(1. 长江大学油气资源与勘探技术教育部重点实验室, 湖北 武汉 430100; 2. 长江大学地球科学学院, 湖北 武汉 430100;
3. 中国石油华北油田采油四厂, 河北 廊坊 065000)

摘要: 页岩气是一种重要的非常规油气资源, 其评价方法不同于常规油气资源。以页岩气聚集机理及形成过程为依据, 结合中国页岩气勘探开发现状, 认为体积法是适合中国现阶段页岩气资源评价的最优方法。结合财政部对页岩气的界定标准及中扬子地区五峰组—龙马溪组泥页岩有机质成熟度、埋深、含气量、保存、地表条件等因素, 认为研究区目的层页岩气勘探开发有利区位于出恩施—彭水地区; 以体积法计算页岩气资源量的原理为依据, 对有利区含气页岩面积、有效页岩厚度、密度等参数采用确定性赋值, 其值分别为 5174 km²、57 m、2.71 t/m³; 并采用条件概率赋值法分别对有机碳含量、总孔隙度、含气饱和度等不确定性参数进行条件概率赋值。最终估算出了有利区内五峰组—龙马溪组页岩气地质资源量为 5434.7×10⁸ m³。

关键词: 页岩气; 资源评价方法; 评价参数; 条件概率; 中扬子地区

中图分类号: P618.13 **文献标志码:** A **文章编号:** 1000-3657(2014)06-2091-08

1 引 言

页岩气是主体上以吸附态和游离态赋存于泥页岩层系中的天然气。所谓泥页岩层系是指泥页岩及以夹层状产出的粉砂岩或灰岩的组合。页岩气聚集机理复杂, 具有自生、自储、自保、储层致密等特点^[1], 传统的资源评价方法无法准确评价出页岩气资源量。美国的页岩气勘探开发程度较高, 资料积累和实践经验丰富, 美国地质调查局主要采用体积法、FORSPAN 模型法及 AC-CESS 模型法等静态法及物质平衡法、递减曲线分析法、生产分析法

等动态法进行页岩气资源定量评价^[2-4]。美国能源信息署(EIA, 2011 年)公布的全球页岩气资源评估结果显示, 中国页岩气可采资源量为 36×10¹² m³, 排名世界第一^[5, 6]。中国页岩气资源评价尚处于探索阶段, 缺乏资料积累和实际生产数据, 采用类比法、体积法、成因法及特尔菲法等方法^[7-11]对中国进行页岩气资源量评价较为现实, 估算出中国页岩气可采资源量为 10×10¹²~32×10¹² m³。不同评价方法具有各自优越性和局限性, 其可信度也有所差异, 因此依据现有资料优选可靠性较强的评价方法进行页岩气资源量评价至关重要。

收稿日期: 2013-11-02; 改回日期: 2014-07-15

基金项目: 武汉地质调查中心“武陵—湘鄂西页岩气资源调查评价”下设专题“中扬子地区页岩气储层特征及非均质性研究”、油气资源与勘探技术教育部重点实验室(长江大学)开放基金资助项目(K2014-10)和湖北省自然科学基金项目(2011CDB005)联合资助。

作者简介: 邱小松, 男, 1986 年生, 博士生, 主要从事非常规天然气地质研究; E-mail: 379482517@qq.com。

通讯作者: 胡明毅, 男, 1965 年生, 博士, 教授, 博导, 主要从事沉积学与层序地层学方面的教学和研究工作; E-mail: humingyi65@163.com。

2 页岩气资源评价方法

页岩气主要包括吸附气和游离气2种类型,区别于常规天然气以游离气为主,因此页岩气资源评价与常规天然气评价方法不尽相同^[12-19],页岩气资源评价方法可以分为类比法、成因法、统计法和综合分析法。其中类比法适用于盆地级页岩气资源评价的初期,对盆地的沉积环境,泥页岩厚度及分布特征有了初步了解,其主要影响因素包括被类比的对象的特征及类比系数2个方面。成因分析法是基于对整个盆地页岩气有了初步的了解后所采用的评价方法,采用“黑箱”原理,通过多次试验分别求得泥页岩层系的平衡聚集量,进而得出泥页岩层系中剩余总含气量。统计法是盆地内已经取得一定的含气量数据或拥有开发生产资料时的评价方法,运用已有资料更合理地进行页岩气的资源评价。综合分析法是在类比法、成因法、统计法计算资源量的基础上,采用蒙特卡洛法、盆地模拟法、专家赋值法、特尔非综合法等对计算结果进行综合分析^[20],并可通过概率分析法对页岩气资源的平面分布进行预测,得出可信度较高的结果。

中国页岩气勘探开发尚处于起步阶段,中扬子地区古生代海相页岩分布范围广,沉积厚度大^[21-23],并且已经取得少量含气量数据,适合采用统计法进行资源量评价。另外,中扬子地区自泥页岩沉积后经历了多期次的构造运动,相关计算参数难以得到准确的赋值,故采用体积法原理对计算参数进行条件概率赋值、计算更加合理,评价结果的可信度相对更高。

3 利用体积法计算页岩气资源量基本原理

页岩气资源量为泥页岩层系内所有天然气总和,体积法计算页岩气资源量的数学表达方式为泥页岩质量与单位质量泥页岩总含气量的乘积。其中泥页岩质量为泥页岩体积与泥页岩密度的乘积,泥页岩体积与含气泥页岩面积及有效泥页岩厚度密切相关;单位质量泥页岩总含气量近似为单位质量泥页岩吸附气量与单位质量泥页岩游离气量之和。

假设 Q 为页岩气资源量(10^8 m^3), M 为含气页岩质量(t), A 为含气泥页岩面积(km^2), h 为有效泥页岩厚度(m), ρ 为泥页岩密度(t/m^3), q 为单位质量泥页岩

总含气量(m^3/t),则:

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

在以上参数中含气泥页岩面积 A 、有效泥页岩厚度 h 、泥页岩密度 ρ 等参数可以较准确的获取,单位质量泥页岩总含气量 q 难以准确的赋值,而页岩气在泥页岩层系中主要以吸附态、游离态2种方式赋存,仅有少量以溶解气(含量小于1%),因此,我们可以将单位质量泥页岩总含气量近似的分解为吸附气量和游离气量,即:

$$q=q_a+q_f \quad (2)$$

式中, q_a 为单位质量泥页岩吸附气量(m^3/t), q_f 为单位质量泥页岩游离量(m^3/t)。

3.1 游离气量

游离气量参数获取可以分为直接法和间接法,其中直接法为页岩气现场测试仪中岩样经过加热得出的解析气量与从岩样返回地面到装罐那段时间损失气量之和,解析气量指页岩岩心装入解吸罐后在大气压力下自然解吸出的天然气量;损失气量是预测含量,即以标准状态下累计解吸量为纵坐标,损失气时间与解吸时间之和的平方根为横坐标作图,将最初解吸的呈直线关系的各点连线,延长直线与纵坐标轴相交,则直线在纵坐标轴的截距为损失气量。间接法是通过孔隙度、含气饱和度、压缩因子等计算得出的。设 Φ_g 为孔隙度(%), S_g 为含气饱和度(%), B_g 为压缩因子(无量纲), ρ 为泥页岩密度(t/m^3),则单位质量泥页岩游离气量 q_f 为:

$$q_f=\Phi_g \cdot S_g / (B_g \cdot \rho) \quad (3)$$

3.2 吸附气量

吸附气量参数获取可以分为直接法和间接法,其中直接法为页岩气现场测试仪中岩样在解析灌中经过加热散失解析气之后,将岩样粉碎后反复解析得出的残余气量,即为吸附气量。间接法主要为等温吸附模拟法,其原理为将试验样品通过模拟地下条件测出不同压力条件下泥页岩的大吸附气量,根据Langmuir吸附方程,假设 V_L 为兰氏(Langmuir)体积(m^3), P_L 为兰氏压力(MPa), P 为地层压力(MPa),则单位质量泥页岩吸附气量(q_a)为:

$$q_a=V_L \cdot P / (P_L+P) \quad (4)$$

采用等温吸附模拟法所得的吸附气量数值为最大值,不同地质条件其结果与实际含气量有一定误差,故实验法计算出来的吸附气量数据在赋值时

通常需要进行校正。

4 评价参数赋值及结果汇总

在页岩气资源量评价之前,首先必须明确评价对象,一般评价对象为有可能获取商业开采价值地区的泥页岩层系,由于页岩气勘探开发难度较大,因此对评价对象的地质条件要求相对较苛刻。根据财政部和能源部公布的页岩气界定标准(赋存于TOC>1.0%烃源岩内,吸附气含量大于20%;页岩层系连续厚度大于30 m,夹层厚度不超过1 m;夹层总厚度不超过页岩层系20%),并结合有机质成熟度、埋深、含气量、保存、地表条件等因素,确定中扬子地区五峰组—龙马溪组页岩气有利区为恩施—彭水地区(图1)。

4.1 评价参数赋值方法

页岩气评价参数的赋值方法包括确定性赋值和条件概率赋值两种。确定性赋值是指在赋值过程中得到相当数量的样品数据,且得到地质学家们认可的数据,主要包括含气页岩面积、有效页岩厚

度和泥页岩密度。条件概率赋值是指由于地质条件复杂性而使得某事件发生存在不确定性,因此按照某事件发生的可能性进行概率赋值。该赋值方法主要应用于游离气量和吸附气量赋值上,由于游离气量和吸附气量数据属于获取难度较大、数据量较少的离散型数据,可根据其分布特点,首先经过正态化变换,然后按正态变化规律对不同的特征概率予以赋值。以有机碳含量(TOC)为例对其赋值过程进行说明。

① 整理所有的有机碳含量(TOC)数据,充分分析测试数据的合理性、代表性及数据点分布的均匀程度,删除假数据、赘余数据。

② 根据对筛选后有机碳含量数据进行数学统计,得到其正态分布概率密度分布函数。

假设评价对象内有效有机碳含量(TOC)分别为 $x_1, x_2, x_3, \dots, x_n$, 则平均数、方差及正态分布的概率密度函数分别为:

$$\mu = (x_1 + x_2 + x_3 + \dots + x_n) / n \quad (5)$$

$$\sigma^2 = \frac{1}{n} [(x_1 - \mu)^2 + (x_2 - \mu)^2 + \dots + (x_n - \mu)^2] \quad (6)$$

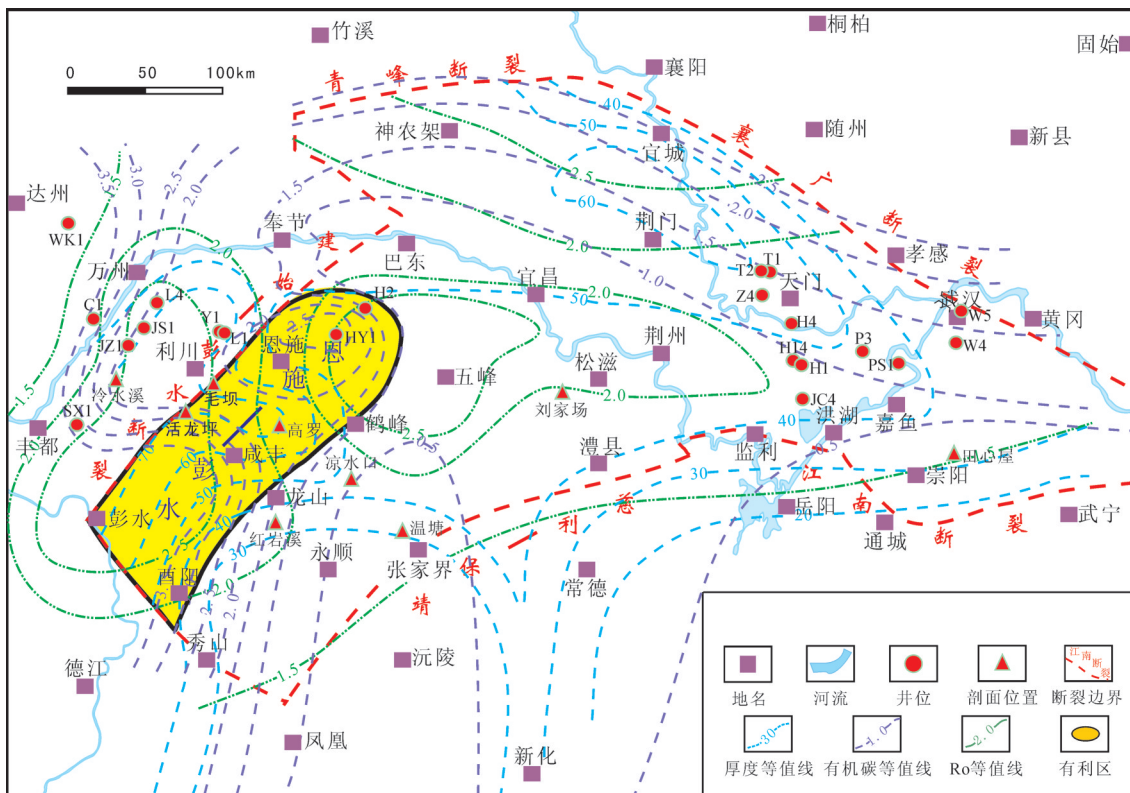


图1 中扬子地区五峰组—龙马溪组页岩气有利区分布图

Fig.1 Distribution of favorable shale gas areas in Wufeng-Longmaxi Formation in the middle Yangtze region

$$\varphi(x) = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{1}{2\sigma^2}(x-\mu)^2} \quad (0 \leq x < \infty) \quad (7)$$

③ 当 $a=\min(x_1, x_2, x_3, \dots, x_n)$, $b=\max(x_1, x_2, x_3, \dots, x_n)$ 且参数从 a 到 b 概率密度积分为 1 时, 根据概率密度函数积分分别等于 5%、25%、50%、75%、95%, 分别求出对应的 x 值即为该概率下所对应的有机碳含量(TOC)数值(图 2)。其中 5%、25%、50%、75%、95% 为条件概率, 条件概率越小, 对应的参数赋值也就越宽松, 可能发现工业性页岩气藏的可能性越小; 条件概率越大, 对应的参数赋值也就越苛刻, 形成大规模页岩气藏的可能性更大。

4.2 评价参数赋值

由体积法计算页岩气资源量原理可知, 页岩气资源评价的参数包括含气页岩面积、有效泥页岩厚度、泥页岩密度及单位质量泥页岩总含气量 4 个参数, 其中单位质量泥页岩总含气量可进一步分解为单位质量泥页岩吸附气量和单位质量泥页岩游离气量。

(1) 含气页岩面积

含气页岩面积主要采用有机碳含量关联法进行赋值。首先根据各剖面、钻井样品的有机碳含量数据, 结合区域沉积背景编制研究区有机碳含量等值线图; 然后选取有机碳含量大于 1.0% 区域并计算其面积; 最后扣除保存条件较差地区面积得出含气泥页岩面积(图 1, 表 1)。

(2) 有效泥页岩厚度

通过露头剖面实测、钻井资料、地球物理等方法获得被评价区域内有效页岩厚度, 并编制出有效泥页岩厚度等值线图。在含气泥页岩面积范围内, 求出页岩的平均有效厚度。中扬子地区五峰组—龙马溪组为海相泥页岩沉积, 页岩的厚度变化较慢, 在计算过程中近似认为是均匀变化。平均有效页岩厚度采用相对面积占有法进行赋值, 即 50~100 m 的平均厚度为 75 m, 其面积占含气页岩面积的比

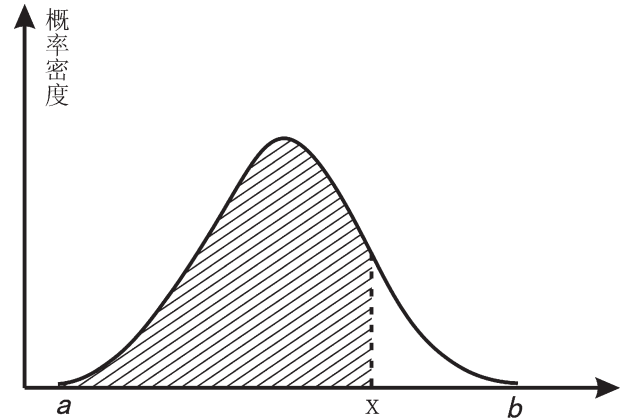


图 2 评价参数的正态概率分布

Fig.2 Normal probability distribution of the parameters

例为权系数, 最终每一个平均厚度与权系数的乘积之和为平均有效页岩厚度(图 3, 表 1)。

(3) 泥页岩密度

中扬子地区五峰组—龙马溪组为海相泥页岩沉积, 泥页岩矿物组分和结构特征均很相似, 各地区岩石密度也大致相近, 因此泥页岩密度主要通过测试结果求取其平均值(表 1)。

(4) 游离气量

游离气主要赋存于泥页岩层系的微孔隙和微裂缝中。根据游离气计算原理可知, 游离气量大小主要取决于总孔隙度, 含气饱和度、压缩因子等因素的影响。通过 FX-90F 液体饱和装置对中扬子地区五峰组—龙马溪组泥页岩样品进行总孔隙度测试, 将测试结果数据进行筛选, 并采用离散型数据条件概率赋值法对不同条件概率下总孔隙度进行赋值(表 1); 而对 HY1 井进行现场解析所得游离气含气量, 分析其含气饱和度范围在 14%~45%^①, 并采用离散型数据条件概率赋值法对不同条件概率下含气饱和度进行赋值(表 1); 天然气压缩因子主要采用图版法进行估算, 根据 Standing 等^[24]修改后的天

表 1 评价区页岩气资源评价参数

Table 1 Data of shale gas resource evaluation in the favorable area

条件概率	评价参数									评价结果 地质资源量 (10 ⁸ m ³)	
	面积 /km ²	厚度 /m	页岩密度 /(t/m ³)	总含气量 /(m ³ /t)	总含气量计算参数						
					吸附含气量 /(m ³ /t)	游离含气量 /(m ³ /t)	游离含气量计算参数				地质资源量
总孔隙度/%	含气饱和度/%	压缩因子									
P5	5174	57	2.71	1.01	0.84	0.17	2.3	41	0.93	8072.2	
P25	5174	57	2.71	0.85	0.74	0.15	1.9	37	0.92	6793.4	
P50	5174	57	2.71	0.68	0.55	0.13	1.6	26	0.85	5434.7	
P75	5174	57	2.71	0.49	0.38	0.11	1.1	18	0.81	3916.2	
P95	5174	57	2.71	0.29	0.20	0.09	0.7	15	0.77	2317.8	

① 江汉油田勘探开发研究院. 中扬子地区页岩气资源评价与选区成果报告(内部报告). 2011.

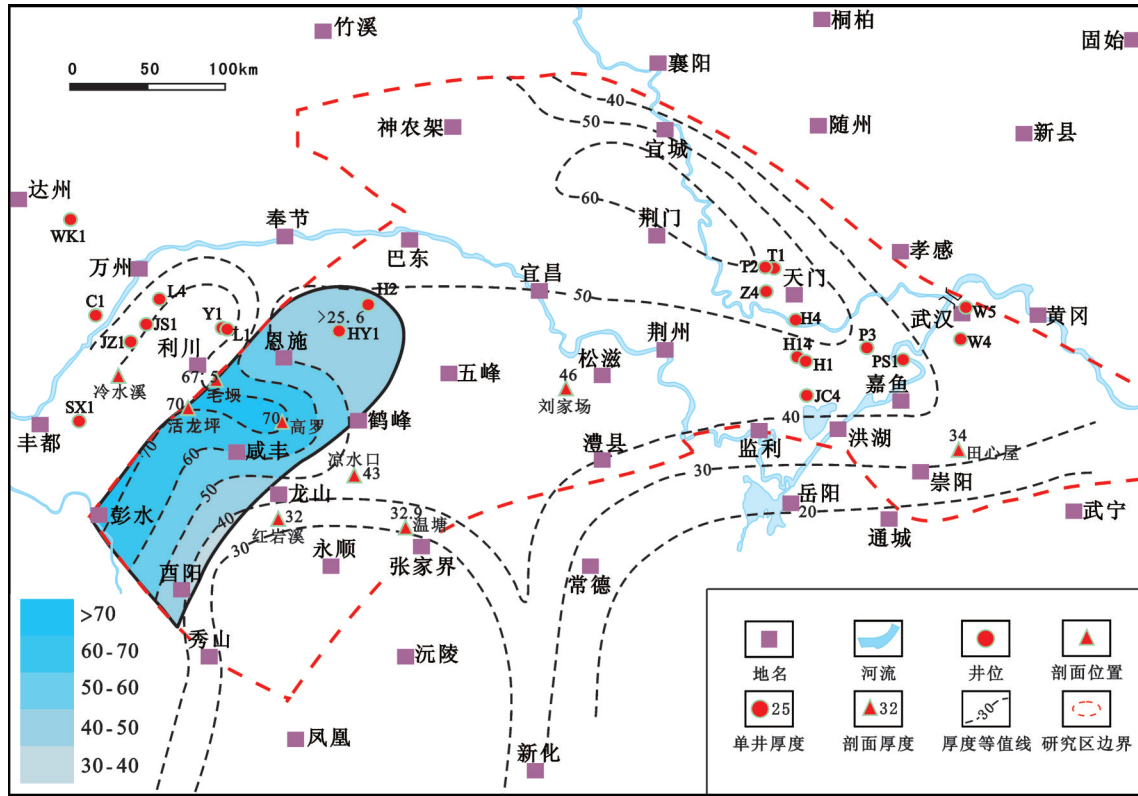


图3 中扬子地区五峰—龙马溪组泥页岩有效厚度等值线图

Fig.3 Shale thickness contour diagram of Wufeng-Longmaxi Formation in the middle Yangtze region

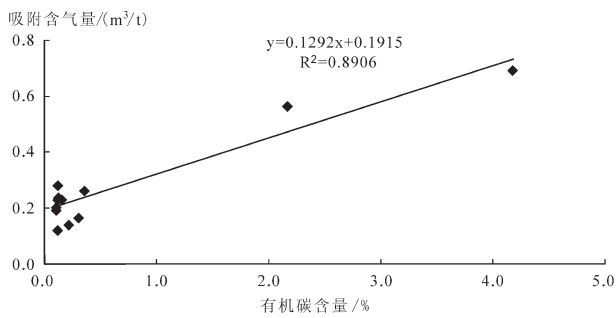


图4 HY1井有机碳含量与吸附气量相关性图

Fig.4 Correlation diagram of TOC and adsorption gas in HY1

然气压缩因子变化图版进行条件概率赋值(表1)。

(5) 吸附气量

研究区内吸附气主要采用现场解析法获取页岩吸附气量,即残余气量,国内外学者^[25-31]普遍认为有机碳含量与吸附气量有正相关关系,可建立关系式为:

$$q_a = a \cdot w_{TOC} + b \tag{8}$$

式中: q_a 为吸附气量(m^3/t); w_{TOC} 为有机碳含量

(%); a, b 为常数。

通过对 HY1 井五峰组—龙马溪组泥页岩样品有机碳含量测试和现场解析吸附气量相关性研究表明,研究区五峰组—龙马溪组泥页岩吸附气量与有机碳含量关系式为: $q_a = 0.1292 w_{TOC} + 0.1915$, 其相关系数为 0.8906(图 4), 表明有机碳含量与吸附气量具有较好的线性关系, 通过有机碳含量的测试来预测吸附气量具有较高的可靠性。

首先, 运用离散型数据条件概率赋值方法对有机碳含量(TOC)进行条件概率赋值, 在此基础之上用吸附气量与有机碳含量关系式计算出不同条件概率下吸附气量赋值(表1)。

4.3 结果汇总

开展中扬子地区五峰组—龙马溪组页岩气资源评价具有一定的探索性, 研究区内钻遇五峰组—龙马溪组富有机质泥页岩钻井较少, 且富有机质泥页岩自沉积—成岩以后经历了多期次构造运动的改造, 存在较大的不确定性。基于页岩气自生自储、聚集机理复杂、影响因素多等特点及评价区页岩气

地质、地表条件复杂等因素综合考虑,选择体积法进行资源评价;评价参数借鉴北美页岩气资源评价的经验,结合评价区野外地质调查、钻井剖面解剖及分析测试结果分别对评价参数进行条件概率赋值;评价结果表明中扬子地区五峰组—龙马溪组页岩气资源条件较好地区位于恩施—彭水地区,其页岩气地质资源量最乐观值为 $8072.2 \times 10^8 \text{ m}^3$,最保守值为 $2317.8 \times 10^8 \text{ m}^3$,综合考虑取中值比较合理,其地质资源量为 $5434.7 \times 10^8 \text{ m}^3$ (表1)。

5 结 论

页岩气资源评价方法不同于常规油气资源评价方法,且评价方法多种多样,不同评价阶段采用的评价方法不同。中国页岩气勘探开发处在探索阶段,体积法是适合我国现阶段页岩气资源评价的最优方法。结合财政部对页岩气的界定标准及中扬子地区五峰组—龙马溪组泥页岩有机质成熟度、埋深、含气量、保存、地表条件等因素认为研究区目的层页岩气勘探开发有利区位于出恩施—彭水地区,根据页岩气资源量体积法计算原理对有利区进行了页岩气资源量计算,在计算过程中涉及的主要参数包括含气页岩面积、厚度、密度及总含气量,其中面积、厚度、密度采用确定性赋值方法赋值,其分别为 5174 km^2 、 57 m 、 2.71 t/m^3 ;总含气量难以取得确定值故采用条件概率赋值。根据页岩气的赋存方式总含气量可进一步分解为吸附气量和游离气量,其相关参数分别为有机碳含量、总孔隙度、含气饱和度和压缩因子均采取条件概率赋值。最终估算出有利区五峰组—龙马溪组页岩气资源相当可观,地质资源量为 $5434.7 \times 10^8 \text{ m}^3$ 。

致谢:审稿专家及责任编辑杨艳老师对论文提出了宝贵修改意见,在此一并致以诚挚的谢意!

参考文献(References):

- [1] 张金川,金之均,袁明生.页岩气成藏机理和分布[J].天然气工业,2004,24(7):15-18.
Zhang Jinchuan, Jin Zhijun, Yuan Mingsheng. Reservoiring mechanism of shale gas and its distribution[J]. Natural Gas Industry, 2004, 24(7): 15-18(in Chinese with English abstract).
- [2] Hartwig A, Konitzer S, Boucsein B, et al. Applying classical shale gas evaluation concepts to Germany—Part II: Carboniferous in northeast Germany[J]. Chemie der Erde 70, 2010, S3: 93-106.
- [3] Pollastro R M. Total petroleum system assessment of undiscovered

- resources in the giant Barnett Shale continuous(unconventional) gas accumulation, Fort Worth Basin, Texas[J]. AAPG Bulletin, 2007, 91(4): 551-578.
- [4] Schmoker J W. Resource- assessment perspectives for unconventional as systems[J]. AAPG Bulletin, 2002, 86(12): 1993-1999.
- [5] 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.
Zhang Jinchuan, Lin Lamei, Li Yuxi, et al. The method of shale gas assessment: Probability volume method[J]. Earth Science Frontier, 2012, 19(2): 184-191(in Chinese with English abstract).
- [6] 滕吉文,刘有山.中国页岩气成藏和潜在产能与对环境的污染分析[J].中国地质,2013,40(1):1-30.
Teng Jiwen, Liu Youshan. An analysis of reservoir formation, potential productivity and environmental pollution effect of shale gas in China[J]. Geology in China, 2013, 40(1): 1-30(in Chinese with English abstract).
- [7] 步少峰,马若龙,袁海锋,等.湘中地区海相页岩气资源潜力评价方法及参数选取[J].成都理工大学学报(自然科学版),2012,39(2):223-230.
Bu Shaofeng, Ma Ruolong, Yuan Haifeng, et al. Evaluation methods of shale gas resource potential and selection of parameters in Central Hunan, China[J]. Journal of Chengdu University of Technology: Science & Technology Edition, 2012, 39(2): 223-230 (in Chinese with English abstract).
- [8] 黄玲,徐政语,王鹏万,等.桂中坳陷上古生界页岩气资源潜力分析[J].中国地质,2012,39(2):497-506.
Huang Ling, Xu Zhengyu, Wang Pengwan, et al. An analysis of resource potential of Upper Paleozoic shale gas in Guizhong depression[J]. Geology in China, 2012, 39(2): 497-506(in Chinese with English abstract).
- [9] 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).
- [10] 董大忠,程克明,王世谦,等.页岩气资源评价方法及其在四川盆地的应用[J].天然气工业,2009,29(5):33-39.
Dong Dazhong, Cheng Keming, Wang Shiqian, et al. An evaluation method of shale gas resource and its application in the Sichuan basin[J]. Natural Gas Industry, 2009, 29(5): 33-39(in Chinese with English abstract).
- [11] 张金川,徐波,聂海宽,等.中国页岩气资源勘探潜力[J].天然气工业,2008,28(16):136-140.
Zhang Jinchuan, Xu Bo, Nie Haikuan, et al. Explortion potential of shale gas resources in China[J]. Natural Gas Industry, 2008, 28(16): 136-140(in Chinese with English abstract).

- [12] 陈会军, 刘招君, 朱建伟, 等. 相似类比面积丰度法估算页岩气资源潜力——以茂名盆地为例[J]. 中国地质, 2012, 39(5): 1427–1435.
Chen Huijun, Liu Zhaojun, Zhu Jianwei, et al. The application of the acreage bearing likelihood ratio method to assessing oil shale resources: A case study of Maoming basin[J]. *Geology in China*, 2012, 39(5): 1427–1435(in Chinese with English abstract).
- [13] 周总瑛, 白森舒, 何宏, 等. 成因法与统计法油气资源评价对比分析[J]. 石油实验地质, 2005, 27(1): 67–73.
Zhou Zongying, Bai Senshu, He Hong, et al. Comparison of genetic and statistical methods for petroleum resource assessment[J]. *Petroleum Geology & Experiment*, 2005, 27(1): 67–73(in Chinese with English abstract).
- [14] 周总瑛, 唐跃刚. 我国油气资源评价现状与存在问题[J]. 新疆石油地质, 2004, 25(5): 554–556.
Zhou Zongying, Tang Yuegang. Current situation and problems in China oil and gas resources assessment[J]. *Xinjiang Petroleum Geology*, 2004, 25(5): 554–556(in Chinese with English abstract).
- [15] 金之钧, 张金川. 油气资源评价方法的基本原则[J]. 石油学报, 2002, 23(1): 19–23.
Jin Zhijun, Zhang Jinchuan. Fundamental principles for petroleum resources assessment[J]. *Acta Petrolei Sinica*, 2002, 23(1): 19–23(in Chinese with English abstract).
- [16] 张金川, 金之钧, 郑浚茂. 深盆地气资源量—储量评价方法[J]. 天然气工业, 2001, 21(4): 32–35.
Zhang Jinchuan, Jin Zhijun, Zheng Junmao. Deep basin gas resource – reserve evaluation method[J]. *Natural Gas Industry*, 2001, 21(4): 32–35(in Chinese with English abstract).
- [17] 许红, 马惠福, 蒲庆南, 等. 油气资源评价基本概念与定量评价方法[J]. 海洋地质动态, 2001, 17(10): 4–7.
Xu Hong, Ma HuiFu, Pu Qingnan, et al. Basic concepts and quantitative evaluation method of oil and gas resource evaluation[J]. *Marine Geology Letters*, 2001, 17(10): 4–7(in Chinese with English abstract).
- [18] 金之钧, 张金川. 油气资源评价技术[M]. 北京: 石油工业出版社, 1999: 8–10.
Jin Zhijun, Zhang Jinchuan. *Technology of Oil and Gas Resources Evaluation*[M]. Beijing: Petroleum Industry Press, 1999: 8–10(in Chinese with English abstract).
- [19] Bowker K A. Barnett Shale gas production, Fort Worth Basin: Issues and discussion[J]. *AAPG Bulletin*, 2007, 91(4): 523–533.
- [20] 朱华, 姜文利, 边瑞康, 等. 页岩气资源评价方法体系及其应用——以川西坳陷为例[J]. 天然气工业, 2009, 29(12): 130–134.
Zhu Hua, Jiang Wenli, Bian Ruikang, et al. Shale gas assessment methodology and its application: A case study of the western Sichuan depression[J]. *Natural Gas Industry*, 2009, 29(12): 130–134(in Chinese with English abstract).
- [21] 李艳霞, 林娟华, 龙幼康, 等. 中扬子地区下古生界海相泥—页岩含气勘探远景[J]. 地质通报, 2011, 30(2/3): 349–356.
Li Yanxia, Lin Juanhua, Long Youkang, et al. Exploration prospect of gas-bearing marine mudstone–shale in Lower Palaeozoic in Mid–Yangtze region[J]. *Geological Bulletin of China*, 2011, 30(2/3): 349–356(in Chinese with English abstract).
- [22] 李艳霞, 李净红. 中扬子区上震旦统一志留系页岩气勘探远景[J]. 新疆石油地质, 2010, 31(6): 659–663.
Li Yanxia, Li Jinghong. Exploration prospects of shale gas of upper Sinian–Silurian in Mid–Yangtze region[J]. *Xinjiang Petroleum Geology*, 2010, 31(6): 659–663(in Chinese with English abstract).
- [23] 李忠雄, 陆永潮, 王剑, 等. 中扬子地区晚震旦世—早寒武世沉积特征及岩相古地理[J]. 古地理学报, 2004, 6(2): 151–161.
Li Zhongxiong, Lu Yongchao, Wang Jian, et al. Sedimentary characteristics and lithofacies palaeogeography of the Late Sinian and Early Cambrian in middle Yangtze region[J]. *Journal of Palaeogeography*, 2004, 6(2): 151–161(in Chinese with English abstract).
- [24] Standing M B, Katz. Density of Natral Gasses[J]. *Trans.AIME.*, 1942, 146: 140–149.
- [25] 张金川, 李玉喜, 聂海宽, 等. 渝页1井地质背景及钻探效果[J]. 天然气工业, 2010, 30(12): 114–118.
Zhang Jinchuan, Li Yuxi, Nie Haikuan, et al. Geologic setting and drilling effect of the shale cored well Yuye–1, Panshui County of Chongqing[J]. *Natural Gas Industry*, 2010, 30(12): 114–118(in Chinese with English abstract).
- [26] 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(in Chinese with English abstract).
- [27] Strapoc D, Mastalerz M, Schimmelmann A, et al. Geochemical constraints on the origin and volume of gas in the New Albany Shale (Devonian–Mississippian), eastern Illinois Basin[J]. *AAPG Bulletin*, 2010, 94(11): 713–1740.
- [28] Chalmers G R L, Bustin R M. The gas shale of the Lower Cretaceous in the northeast of British Columbia[J]. *Bulletin of Canadian Petroleum Geology*, 2008, 56(1): 1–21.
- [29] Daniel J K, Ross R, Marc B. Shale gas potential of the Lower Jurassic Gordondale Member, northeastern British Columbia, Canada[J]. *Bulletion of Canadian Petroleum Geology*, 2007, 55(1): 51–75.
- [30] Carter K M, Harper J A, Schmid K W, et al. Unconventional natural gas resources in Pennsylvania: The backstory of the modern Marcellus Shale play[J]. *Environmental Geosciences*, 2011, 18(4): 217–257.
- [31] Curtis M E, Sondergeld C H, Ambrose R J, et al. Microstructural investigation of gas shales in two and three dimensions using nanometer–scale resolution imaging[J]. *AAPG Bulletin*, 2012, 96

Evaluation methods and parameter assignments of shale gas resources: A case study of the Wufeng-Longmaxi Formation in the Middle Yangtze region

QIU Xiao-song^{1,2}, HU Ming-yi^{1,2}, HU Zhong-gui^{1,2}, YE Ying³, CAI Quan-sheng²

(1. Key Laboratory of Exploration Technologies for Oil and Gas Resources, Ministry of Education, Wuhan 430100, Hubei, China; 2. School of Geosciences, Yangtze University, Wuhan 430100, Hubei, China; 3. 4th Production Plant, North China Oilfield, PetroChina, Langfang 065000, Hebei, China)

Abstract: The evaluation method for shale gas, which is a very important unconventional oil and gas resource, is different from that for conventional oil and gas resources. According to the accumulation mechanism and formation process, the volumetric method seems to be the best method for evaluating shale gas resources in consideration of research status in China. In this paper, based on the analysis of maturity of organic matter, depth, gas content, preservation condition, surface environment of shale of Wufeng-Longmaxi Formation in the Middle Yangtze region, in combination with the definition standard of shale gas by Ministry of Finance, the authors hold that the Enshi-Pengshui area is a favorable area for exploration and development. According to the volume method principle for computing the shale gas resources, the acreage, thickness and density of gas-bearing shale in this area are 5174 km², 57 m, and 2.71 t/m³ respectively. In accordance with the conditional probability, the authors assigned conditional probabilities to uncertain parameters, which include such factors as organic carbon content, total porosity and gas saturation. Finally, the geological resources of shale gas in favorable areas of Wufeng-Longmaxi Formation are estimated to be at 5434.7×10⁸ m³.

Key words: shale gas; evaluation methods of resources; evaluation parameter; conditional probability; Middle Yangtze region

About the first author: QIU Xiao-song, male, born in 1986, doctor candidate, engages in the study of unconventional natural gas geology; E-mail: 379482517@qq.com.

About the corresponding author: HU Ming-yi, male, born in 1965, professor, supervisor of doctor candidates, mainly engages in the study of sedimentology and sequence stratigraphy; E-mail: humingyi65@163.com.