

刘福春,程日辉,解启来,等.松辽盆地梨树断陷页岩气资源潜力评价.吉林大学学报:地球科学版,2014,44(3):762-773. doi:10.13278/j.cnki.jjuese.201403105.

Liu Fuchun, Cheng Rihui, Xie Qilai, et al. The Potential Evaluation of Shale Gas Resources of Lishu Fault Depression in Songliao Basin. Journal of Jilin University: Earth Science Edition, 2014, 44(3): 762-773. doi: 10. 13278/j. cnki. jjuese. 201403105.

## 松辽盆地梨树断陷页岩气资源潜力评价

刘福春<sup>1,2</sup>,程日辉<sup>1</sup>,解启来<sup>3</sup>,胡望水<sup>4</sup>,  
汤济广<sup>4</sup>,李忠博<sup>2</sup>,杨秀辉<sup>2</sup>,徐浩<sup>5</sup>,周隶华<sup>6</sup>

1. 吉林大学地球科学学院, 长春 130061
2. 中国石化东北油气分公司勘探开发研究院, 长春 130062
3. 华南农业大学资源环境学院, 广州 510642
4. 长江大学地球科学学院, 武汉 430100
5. 中国科学院广州地球化学研究所, 广州 510640
6. 新疆油田采油一厂, 新疆 克拉玛依 834000

**摘要:**松辽盆地梨树断陷纵向上发育白垩系沙河子组和营城组两套主力泥页岩烃源岩层系,其沉积环境有利、厚度大、分布广。沙河子组以Ⅱ段页岩气地质条件最好,其 $w(\text{TOC})$ 分布范围为0.11%~8.20%(平均值1.45%);营城组发育两段优质泥页岩,Ⅰ段 $w(\text{TOC})$ 为0.26%~12.01%(平均值1.96%),Ⅱ段 $w(\text{TOC})$ 为0.06%~5.03%(平均值1.06%)。有机质类型以Ⅱ<sub>1</sub>-Ⅲ型为主,含少量Ⅰ型。沙河子组 $R_o$ 普遍较高,断陷西部基本进入过成熟阶段,缓坡带处于成熟—高成熟阶段。营城组 $R_o$ 变化范围较大,小城子、孤家子和十屋地区 $R_o$ 达到2.00%以上。两套泥页岩脆性矿物体积分数为32.10%~62.90%,具有较好的储集性能。断陷内有多口探井在沙河子组和营城组的厚层泥页岩段钻遇高气测显示。营城组Ⅰ段泥页岩含气量为0.62~3.09 m<sup>3</sup>/t。采用概率法初步预测出沙河子组和营城组页岩气资源量为6 645.34×10<sup>8</sup> m<sup>3</sup>。秦家屯地区和苏家屯次洼为页岩气勘探的有利目标区,桑树台深洼带为较有利目标区。

**关键词:**页岩气;资源潜力评价;白垩系泥页岩;梨树断陷;松辽盆地

doi:10.13278/j.cnki.jjuese.201403105

中图分类号:P618.13

文献标志码:A

## The Potential Evaluation of Shale Gas Resources of Lishu Fault Depression in Songliao Basin

Liu Fuchun<sup>1,2</sup>, Cheng Rihui<sup>1</sup>, Xie Qilai<sup>3</sup>, Hu Wangshui<sup>4</sup>,  
Tang Jiguang<sup>4</sup>, Li Zhongbo<sup>2</sup>, Yang Xiuhui<sup>2</sup>, Xu Hao<sup>5</sup>, Zhou Lihua<sup>6</sup>

收稿日期:2013-11-18

基金项目:国土资源部油气资源战略研究中心页岩气资源调查项目(2009QYXQ15-07-09);中国地质调查局油气调查项目(1212011220752)

作者简介:刘福春(1969—),男,博士研究生,高级工程师,主要从事石油地质及油气勘探规划研究,E-mail:liufc.dbsj@sinopec.com

通信作者:解启来(1964—),男,教授,博士,主要从事油气地球化学及环境地球化学研究,E-mail:xieql@scau.edu.cn.

1. College of Earth Sciences, Jilin University, Changchun 130061, China
2. Exploration and Development Institutes, Northeast Petroleum Company of SINOPEC, Changchun 130062, China
3. College of Natural Resources and Environment, South China Agricultural University, Guangzhou 510642, China
4. The College of Earth Sciences, Yangtze University, Wuhan 430100, China
5. Guangzhou Institute of Geochemistry, Chinese Academy of Sciences, Guangzhou 510640, China
6. The First Oil Factory, Xinjiang Oil Field, Karamay 834000, Xinjiang, China

**Abstract:** Two sets of main hydrocarbon source rocks, Shahezi Formation and Yingcheng Formation, developed in the Lishu fault depression of Songliao basin, which had a favorable sedimentary environment, large thickness and wide distribution. The member II of Shahezi Formation possessed the best conditions of forming shale gas, its TOC distribution range was 0.11%-8.20% (average value was 1.45%); Yingcheng Formation developed two members of high quality mud shale: TOC distribution range of the member I was 0.26%-12.01% (average value was 1.96%), and that of the member II was 0.06%-5.03% (average value was 1.06%). The main organic matter types were II<sub>1</sub>-III, with few was type I. The vitrinite reflectance ( $R_o$ ) in Shahezi Formation was generally higher, whereas, in western fault depression it basically entered into over-mature phase, and it came into mature to high mature phase in gentle slope belt. In Yingcheng Formation, the range of variation of vitrinite reflectance ( $R_o$ ) was large, and it reached over 2.00% in Xiaochengzi, Gujiazi and Shiwu. Mass fractions of brittle minerals of two sets of mud shale were 32.10%-62.90% which represents good reservoir properties. In the fault depression, there were several exploratory wells drilled with high gas logging show in the thick layers of mud shale in Shahezi Formation and Yingcheng Formation. The gas content was 0.62-3.09 m<sup>3</sup>/t in the member I of Yingcheng Formation. With assessment by using the probability method, we preliminarily forecast that Yingcheng Formation and Shahezi Formation possess shale gas resources amounting to 6 645.34 × 10<sup>8</sup> m<sup>3</sup>. It is believed that Qinjiatun region and Sujiatun subsag are favorable target areas of shale gas exploration, and Sangshutai deep subsag belt is a relatively fine target area.

**Key words:** shale gas; resources potential evaluation; Cretaceous mud shale; Lishu fault depression; Songliao basin

## 0 引言

页岩气是连续的生物成因气、热成因气或二者的混合气,是继致密砂岩层和煤层甲烷之后的又一种重要的非常规油气资源,主要表现为以游离态储存在页岩孔隙和天然裂缝中,以吸附态存在于干酪根和黏土颗粒表面,甚至以溶解状态存在于干酪根和沥青质中。而且,其含气分布广、圈闭隐蔽、盖层岩性多样、烃类运移距离相对较短,是一种典型的自生自储、近原地富集的天然气的<sup>[1-12]</sup>。张金川等<sup>[13]</sup>认为页岩气主体应位于暗色泥页岩或高炭泥页岩中,以吸附或游离状态为主要存在方式的天然气聚集,也可存在于泥页岩中的粉砂岩、粉砂质泥岩、泥质粉砂岩甚至砂岩等夹层中,是一种烃源岩层的近距离聚集的气藏。

页岩气由于具有特殊的赋存机理,以及资源量

大、开采周期长等优点,在我国已经引起了广泛关注。研究发现<sup>[14-15]</sup>,梨树断陷位于松辽盆地东南隆起区东南缘,是松辽盆地断陷层系中规模较大的断陷,断陷面积 2 300 km<sup>2</sup>,最大埋深逾万米,断陷层最大厚度达 8 000 m。其中,沙河子组和营城组是主力烃源岩层,具有优质的生烃基础。根据第 3 次资源评价结果<sup>①</sup>,梨树断陷总生烃量为 215 × 10<sup>8</sup> t,排烃量为 154 × 10<sup>8</sup> t,潜在的非常规资源量为 61 × 10<sup>8</sup> t。

## 1 构造区带划分

在 NNE 向断裂控制下,梨树断陷总体上呈 NNE 向构造格局,由“两坡一隆一洼”4 个构造单元

<sup>①</sup> 唐黎明,张玉明,何兴华,等. 松辽盆地南部探区油气资源评价. 长春:中石化东北油气分公司,2002.

构成,分别为中央构造带、东南斜坡带、北部斜坡带和桑树台深洼带<sup>[16]</sup>(图 1)。

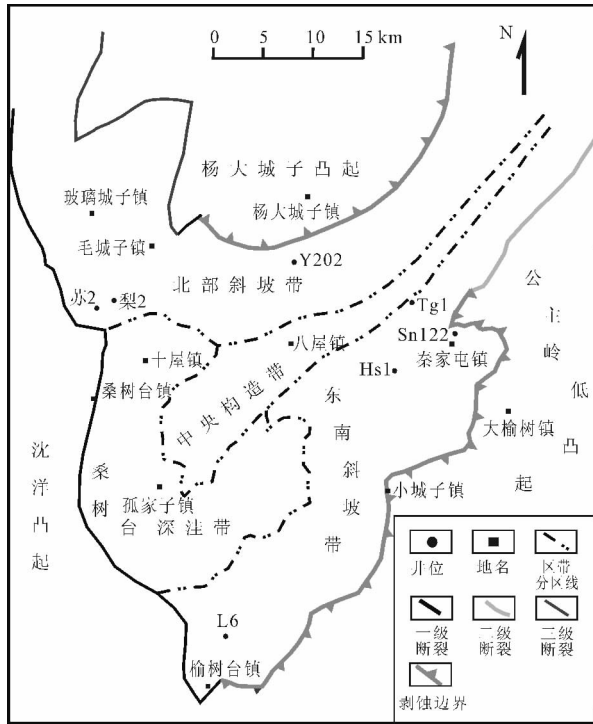


图 1 梨树断陷构造区划图

Fig. 1 Tectonic division of Lishu fault depression

### 1.1 中央构造带

位于梨树断陷腹地,呈 NE 向展布,沿小宽—八屋—太平庄一带纵贯梨树断陷,面积约 240 km<sup>2</sup>,是受营城期末、登娄库期末及嫩江期末叠加改造而成的大型走滑褶皱构造带。该构造带西南紧邻沙河子—营城组沉降中心,聚集了梨树断陷主要的油气资源<sup>[17-19]</sup>。

### 1.2 东南斜坡带

东南斜坡带位于梨树断陷东部,与中央构造带以小宽断裂为界限,该区带沿金山—小城子—秦家屯一带展布,呈 NE—SW 走向,面积 538 km<sup>2</sup>,最大埋深 5 000 m。通过构造演化分析,该带在沙河子—营城期,受 NE 向断裂影响,与双龙次洼具有一定的成因联系,沙河子组及营城组厚度沿该带呈一定程度增加,具有坳陷特征。同时,由于登娄库期末两侧断层对冲,形成了向斜特征,导致其现今构造面貌为 NE 走向的低凹带。又由于其处于向斜部位,断裂构造变形相对简单。

### 1.3 北部斜坡带

北部斜坡带紧邻断陷生烃次凹,向杨大城子呈

弧形 EW 方向展布,面积约 375 km<sup>2</sup>。在该带西北角和东北角,分别发育 2 个相对独立的桑树台次洼和双龙次洼。生烃次凹源岩埋藏较浅,演化程度适中,以生成大量液态烃为主。勘探结果表明,该区带主要发育大型岩性—地层油气藏,已发现十屋油田和皮家气田。

### 1.4 桑树台深洼带

受桑树台控陷大断裂的控制,桑树台深洼带在桑树台断裂东侧呈 SN 向展布,面积约 430 km<sup>2</sup>,被皮家断裂分为北部的苏家屯次洼和南部的桑树台次洼主体部分。由于目的层埋藏较深,热演化程度高,烃源岩大部分处于高成熟—过成熟阶段,以生成天然气为主。目前尚无钻井钻至营城组和沙河子组<sup>[1]</sup>。

## 2 沉积构造特征

梨树断陷发育两套沉积体系,分别为下部断陷层沉积体系(火石岭组(K<sub>1h</sub>)、沙河子组(K<sub>1sh</sub>)、营城组(K<sub>1yc</sub>)、登娄库组(K<sub>1d</sub>)和上部坳陷层沉积体系(泉头组(K<sub>1q</sub>)、青山口组(K<sub>2qn</sub>)、姚家组(K<sub>2y</sub>)、嫩江组(K<sub>2n</sub>)),以及第四系(Q)覆盖,缺失上白垩统四方台组、明水组和第三系。

断陷主要经历了断陷期、坳陷期和反转期等阶段。其中,断陷期分为初始裂陷期、强烈断陷期和断坳转换期 3 个阶段。相应的主要构造运动有火石岭末期、营城末期、登娄库末期及明水末期构造运动<sup>[13]</sup>(表 1)。

### 2.1 断陷期

**初始裂陷期** 初始裂陷期为火石岭组沉积时期,受 NW—SE 向拉张应力作用,形成一系列 NNE、NE 向断层,发育了多米诺式的 NE 走向早期小型断陷盆地群。各小型断陷群湖盆边缘发育夹火山碎屑岩的扇三角洲体系,此时期湖域范围小而浅,断陷内大部分为滨浅湖相沉积,仅在西部桑树台控盆断裂之下的水体较深,形成冲积扇或水下扇沉积体系。

**强烈断陷期** 在沙河子—营城期盆地进入了强烈断陷发育期。沙河子时期断裂受近 EW 向张应力作用不断扩展,以构造沉降为主,是断陷层生长最快的时期。断陷内半深湖—深湖相沉积范围广,代表了断陷层最大水进期,沿东、南、北 3 个方向扩展为滨浅湖相沉积。在西部桑树台断裂主要为冲积扇—扇三角洲—近岸水下扇等沉积体系,而北部、东南

表 1 梨树断陷构造演化分析表

Table 1 Analysis of tectonic evolution of Lishu fault depression

世 期	构造演化阶段	构造作用	产物	接触关系	
晚白垩世	嫩江期	第二期拗陷	区域升降	平层	角度不整合
	青山口期—泉头期	第一期强拗陷	沉降	区域大型宽缓背斜	角度、平行不整合
早白垩世	登娄库期	断拗转换	左旋挤压走滑	3 个 NE 向走滑带	角度、平行不整合
	营城期—沙河子期	深断陷	EW 拉张	SN 向断陷	角度、平行不整合
	火石岭期	初断陷	NW—SE 拉张	NE 向断陷群	角度不整合
基底	多期拼接基底		复杂基底		

部斜坡带形成了强劲的扇三角洲沉积体系。泥岩以黑色为主,且分布范围广,沉积厚度大。

营城期继承沙河子期沉积特征,沉积范围扩大,为箕状断陷的定型期,形成以单一主控断层控制的西断东超的断陷结构。由于当时处于温暖潮湿的气候环境,物源供给相对不足,处于欠补偿沉积状态,加之沉降速率较大,因此以深湖、半深湖相为主,发育扇三角洲、水下扇和三角洲等沉积体系,但水体相对较浅,泥岩以灰色为主。

断拗转换期 登娄库沉积时期是断拗转换期,地层沉降开始摆脱断裂控制,形成统一的沉降中心,结束了梨树断陷的断槽沉积,进入广盆式的拗陷期沉积。

2.2 拗陷期

泉头—嫩江期是梨树断陷的拗陷期,从泉头期开始梨树断陷进入广盆式沉积。

2.3 反转期

明水期末是断陷的构造反转期。由于明水期末构造运动受区域挤压应力场的作用,拗陷期的厚层沉积体挤压抬升,形成以大型宽缓背斜为主的挤压构造,但断层并不十分发育。

3 烃源岩发育特征

梨树断陷主要发育沙河子组和营城组 2 套主力烃源岩层系,其岩性以泥岩、泥页岩、炭质泥岩/页岩或煤层为主。断陷内沙二段和营一段泥页岩纵向厚度大、平面分布广,具有良好的生烃基础。

沙河子时期暗色泥岩沉积较厚。钻井揭示,沙河子组厚度为 24.00~917.40 m,平均为 319.30 m,暗色泥岩厚度达 16.00~594.50 m,平均为 180.60 m,占地层厚度的 17.50%~95.50%,平均为 57.08%。在桑树台断裂附近,地层厚度达 1 800 m 以上,推测该区暗色泥岩厚度最大可达 600 m。

自西向东,由桑树台断裂附近至后五家子、四五家子,暗色泥岩厚度逐渐减小。双龙地区出现另一高值区,最大暗色泥岩厚度可达 300 m 以上,东部秦家屯地区暗色泥岩最大厚度也在 200 m 左右(图 2)。

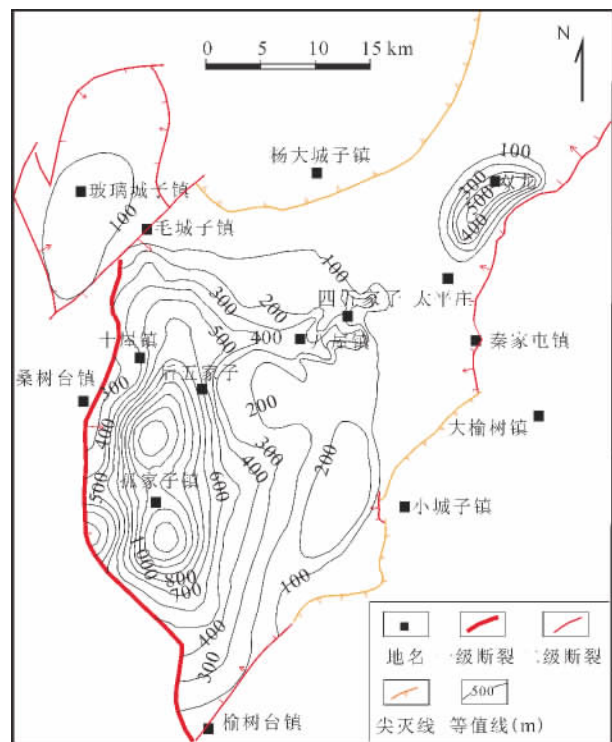


图 2 沙河子组暗色泥岩等厚图

Fig. 2 Isopach map of dark mudstone of Shahezi Formation

沙河子组二段被证实为最有潜力的有效含油气泥页岩层段,其 TOC 实测分布范围为 0.11%~8.20%,平均值 1.45%;断陷西南部的孤家子、十屋和后五家子区域发育优质烃源岩,其 TOC 质量分数较高,可达 3.00% 以上;双龙和秦家屯地区也局



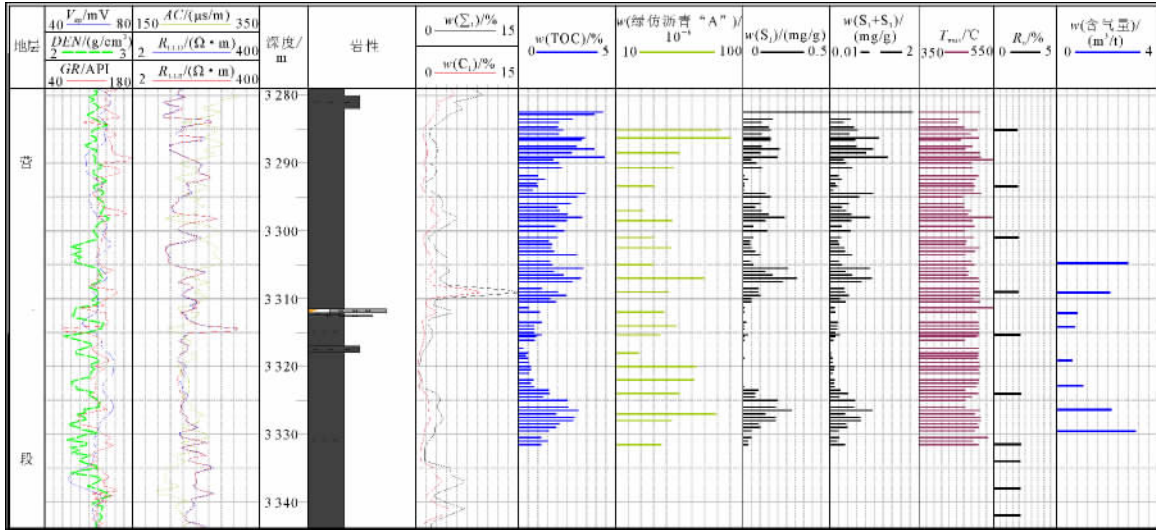


图 4 苏 2 井营一段(3 282~3 332 m)岩心实测综合柱状图

Fig. 4 Core measured synthesis columnar section of Yingyi member in Su 2 well (3 282~3 332 m)

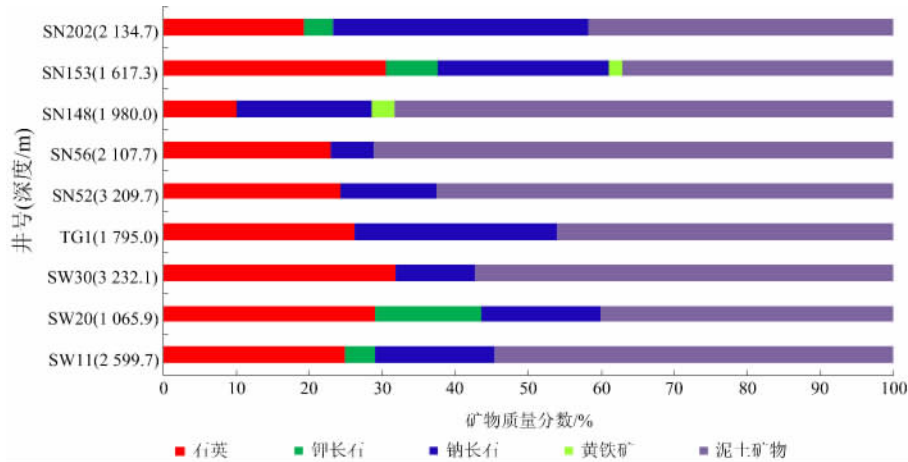


图 5 沙河子组泥页岩矿物组成柱状图

Fig. 5 Histogram of mineral compositions of mud shale from Shahezi Formation

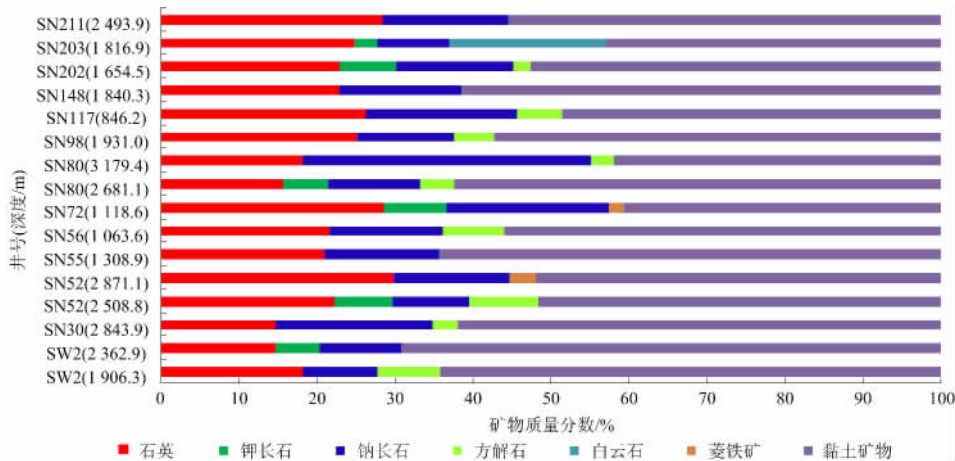


图 6 营城组泥页岩矿物组成柱状图

Fig. 6 Histogram of mineral compositions of mud shale from Yingcheng Formation

子组泥页岩孔隙度为 1.09%~6.22%，平均为 2.97%，渗透率为  $(0.20\sim 1.40)\times 10^{-6}\mu\text{m}^2$ ，平均  $0.80\times 10^{-6}\mu\text{m}^2$  (图 7)；营城组泥页岩孔隙度为 1.79%~6.86%，平均为 3.89%，渗透率为  $(0.20\sim 1.30)\times 10^{-6}\mu\text{m}^2$ ，平均  $0.50\times 10^{-6}\mu\text{m}^2$  (图 8)，具有较好的储集性能。

探井的岩心观察显示，梨树断陷沙河子组和营城组泥页岩的页理和裂缝较发育，可以作为页岩气储集空间(图 9)。从苏家屯次洼的苏 2 井营一段泥页岩扫描电镜分析结果来看，营一段泥页岩层间裂

缝发育，且多被高等植物残体充填，黏土矿物顺层发育，高等植物残片内有机微孔隙发育良好，且多被炭化，炭化孢子囊中内部微孔隙和气孔发育良好，具备较好的油气储集空间(图 10)。

## 6 具有较高的气测显示和含气量

通过对老井复查以及新探井的统计表明，在多口井的沙河子组和营城组的泥页岩中获得了良好的油气显示，特别是在河山 1 井沙河子组中钻遇了 3 套高气测显示的泥页岩(表 2)。

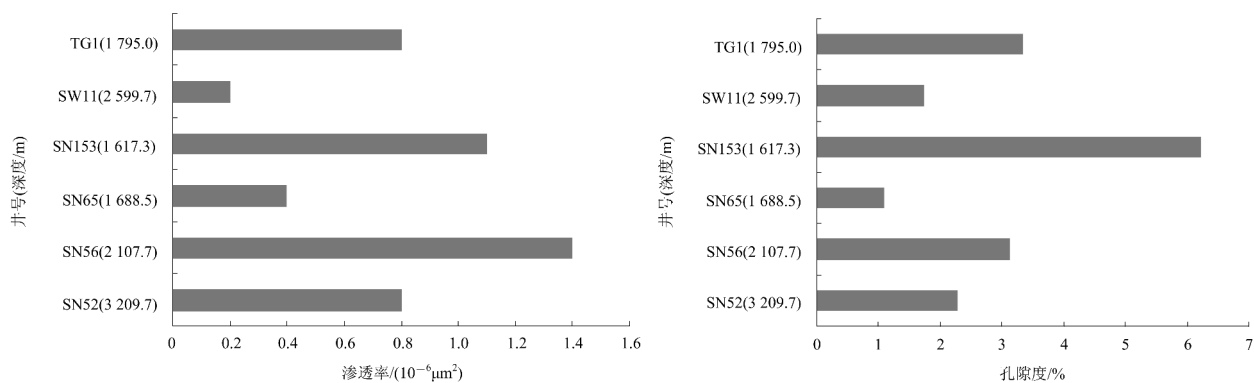


图 7 沙河子组泥页岩孔隙度和渗透率分布直方图

Fig. 7 Bar charts of porosity and permeability of mud shale from Shahezi Formation

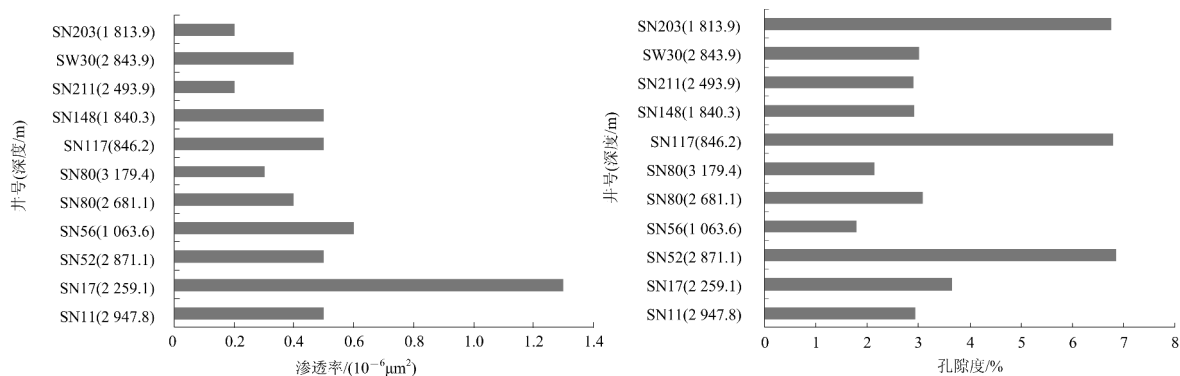


图 8 营城组泥页岩孔隙度和渗透率分布直方图

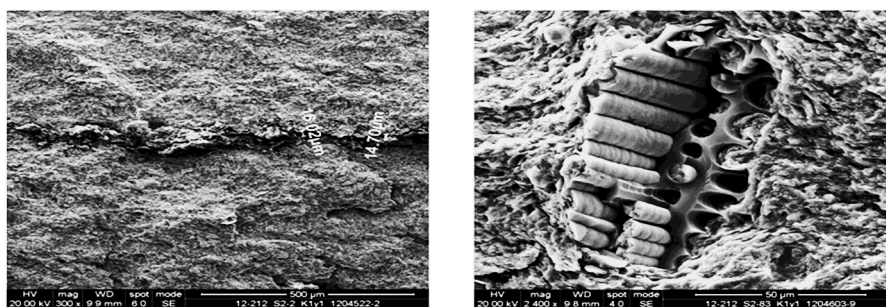
Fig. 8 Bar charts of porosity and permeability of mud shale from Yingcheng Formation



左图, SN56,  $K_1sh$ ;右图, SN138,  $K_1yc$ 。

图 9 黑色炭质页岩页理与黑色泥页岩高角度微裂缝

Fig. 9 Lamellation of black carbonaceous shale and High angle micro-fracture of black mud shale



左图为层间裂缝,3 282.8 m;右图为气孔,3 325.5 m。

图 10 苏 2 井营一段泥页岩扫描电镜图片

Fig. 10 Mud shale of Yingyi member under scanning electron microscope in Su 2 well

表 2 泥页岩中烃类气体显示情况

Table 2 Hydrocarbon gas show of mud shale from some drilled wells in Lishu fault depression

井号	层位	井段/m	钻/录井显示	岩性
SN65	$K_1sh$	1 693.13~1 696.32	岩心完整,呈柱状,表面局部见气泡逸出,	灰黑色炭质泥岩夹砂质条带
		1 696.32~1 696.50	持续时间约 25 min	灰黄色黏土岩
		1 696.50~1 697.40		灰黑色炭质泥岩
		1 698.07~1 699.61		灰黑色炭质泥岩夹黏土岩薄层
		1 700.20~1 701.61		灰黑色炭质泥岩
SN163	$K_1sh$	2 955.00~2 959.00	气测全烃值 $\Sigma C$ : 0.08%~25.08%, $C_1$ :15.13%,相对 93.90%,含气层	深灰色泥岩
SN165	$K_1sh$	2 310.00~2 315.20	$\Sigma C$ : 0.03%~8.45%, $C_1$ : 3.19%裂隙含气层	深灰色泥岩
SN26	$K_1yc$	1 636.00~1 700.00	气测全烃值 $\Sigma C$ :0.03%, $C_1$ :0.01%;气样分析 $C_1$ : 0.03%	黑色泥岩
	$K_1sh$	2 037.00~2 071.00	气测全烃值 $\Sigma C$ : 0.01%, $C_1$ : 0.002%	黑色泥岩
河山 1	$K_1sh$	2 715.00~2 717.00	气测全烃值 $\Sigma C$ :18.89%~74.96%, $C_1$ : 13.13%~54.57%,裂缝含气	黑灰色泥岩
		2 769.00~2 770.00	气测全烃值 $\Sigma C$ : 80.58%, $C_1$ : 50.72%,裂缝含气	黑色泥岩
		2 770.00~2 771.00	气测全烃值 $\Sigma C$ : 82.72%, $C_1$ : 51.63%,裂缝含气	黑色泥岩
		2 771.00~2 772.00	气测全烃值 $\Sigma C$ : 5.46%, $C_1$ : 3.48%	黑色泥岩



对苏 2 井营一段 3 300~3 330 m 井段的 8 个泥页岩样品进行了现场解析实验(表 3),测得其含气量范围为 0.62~3.09 m<sup>3</sup>/t,平均为 1.66 m<sup>3</sup>/t。其中,烃类气体成分分析显示甲烷所占比例为 93.19%(均值),乙烷为 6.27%(均值),丙烷为 0.38%(均值),丁烷为 0.13%(均值),戊烷为 0.03%(均值)。与国外典型页岩相比,营一段页岩气含气量较 San Juan 盆地 Lewis 页岩高,但均较其他页岩低;而相对于国内各盆地,除了较苏北盆地阜宁组和泰州组页岩含气量低外,均较元坝、彭水区块、泌阳凹陷和湘鄂西地区页岩高。

基于样品的 TOC 实测值,系统建立了梨树断陷泥页岩含气量与 TOC 关系(图 11)。可以看出,苏 2 井含气量与 TOC 具有良好的线性关系,在此基础上建立了 TOC 与含气量的回归方程。并根据 TOC 等值线图得到梨树断陷营一段含油气泥页岩 I、II 段及沙二段含油气泥页岩段的含气量平面分布特征。

表 3 苏 2 井营一段泥页岩样品实测含气量

Table 3 Measured gas content of mud shale samples of Yingyi member in Su 2 well

样品深度/m	实测总含气量/(m <sup>3</sup> /t)	w(TOC)/%
3 304.65~3 304.85	2.80	1.70
3 308.96~3 309.16	2.09	1.20
3 312.06~3 312.28	0.80	0.69
3 314.09~3 314.27	0.72	0.54
3 319.02~3 319.23	0.62	0.36
3 322.72~3 322.97	1.04	0.83
3 326.31~3 326.51	2.13	1.29
3 329.45~3 329.66	3.09	1.46

含气量与 TOC 拟合关系为:含气量/(m<sup>3</sup>/t)= $2.003 \times w(\text{TOC})/(\%) - 0.359$ 。

计算结果显示:营一段 II 段泥页岩含气量为 1.0~3.5 m<sup>3</sup>/t, I 段泥页岩含气量为 1.50~3.50 m<sup>3</sup>/t;沙二段含油气泥页岩段含气量为 1.00~3.00 m<sup>3</sup>/t,高值区分布于桑树台洼陷,最大超过 3.00 m<sup>3</sup>/t;苏家屯次洼最大含气量超过 2.00 m<sup>3</sup>/t。

## 7 页岩气资源量预测

目前,常用的油气资源量评估方法主要有:容积法、类比法(面积丰度类比法、体积丰度类比法和特尔菲法等)和物质平衡法等<sup>[20]</sup>。其中,类比法适用

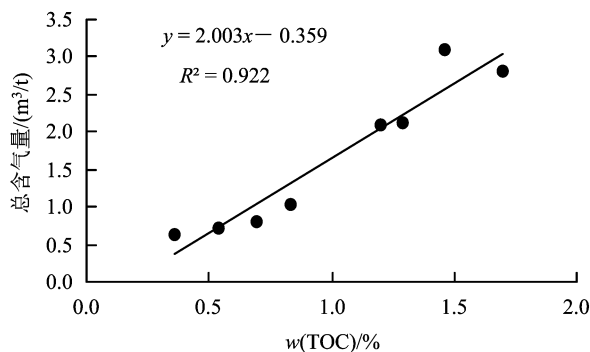


图 11 苏 2 井营一段泥页岩实测含气量与 TOC 拟合关系

Fig. 11 Fitting relationship between gas content and TOC of mud shale of Yingyi member in Su 2 well

于勘探程度低且是钻探前的远景资源量;物质平衡法是油气藏开采阶段的评价方法;容积法作为油气地质资源量评价的主要方法,包括确定法和概率法,前者计算参数是各参数的算术平均值,后者是对独立变量的不确定性进行量化估计的一种风险分析方法<sup>[5,20-24]</sup>。

由于页岩气分布的物理边界的不确定性和聚藏地质条件的复杂性,相关计算参数难以准确把握,故针对概率法本身能够对计算参数的不确定性进行概率分布的量化。考虑到梨树断陷进行的非常规油气勘探还不成熟,页岩气资源量的各项参数资料尚待完善,因此在综合研究区内泥页岩地质与地球化学特征的基础上,采用概率法<sup>[19-22]</sup>对梨树断陷沙河子组沙二段和营城组营一段的 I、II 段泥页岩 3 个评价单元进行页岩气资源量的合理估算,取概率值  $P_{50}$  作为页岩气的最终资源量。

通过对各项资源评价参数进行合理的赋值与计算,初步估算出梨树断陷页岩气总资源量为  $6\ 645.34 \times 10^8$  m<sup>3</sup>,其中营城组页岩气资源量为  $4\ 520.48 \times 10^8$  m<sup>3</sup>,沙河子组页岩气资源量为  $2\ 124.86 \times 10^8$  m<sup>3</sup>(表 4)。

## 8 有利目标区优选

根据钻井显示情况、烃源岩分布特征、沉积特征以及页岩气资源评价结果,在梨树断陷初步选出 2 个页岩气勘探的有利目标区(秦家屯地区、苏家屯次洼),以及 1 个较有利目标区(桑树台深洼带)(图 12)。

表 4 梨树断陷 3 个含油气泥页岩评价单元  $P_{50}$  页岩气资源量

Table4  $P_{50}$  shale gas resources of three mud shale evaluation units of Lishu fault depression

评价单元	十屋地区/ ( $10^8 \text{ m}^3$ )	小城市—孤家子地区/ ( $10^8 \text{ m}^3$ )	总资源量/ ( $10^8 \text{ m}^3$ )
营一段 II 段	1 697.95	485.10	2 183.05
营一段 I 段	1 963.54	373.89	2 337.43
沙二段	1 869.96	254.90	2 124.86
合计			6 645.34

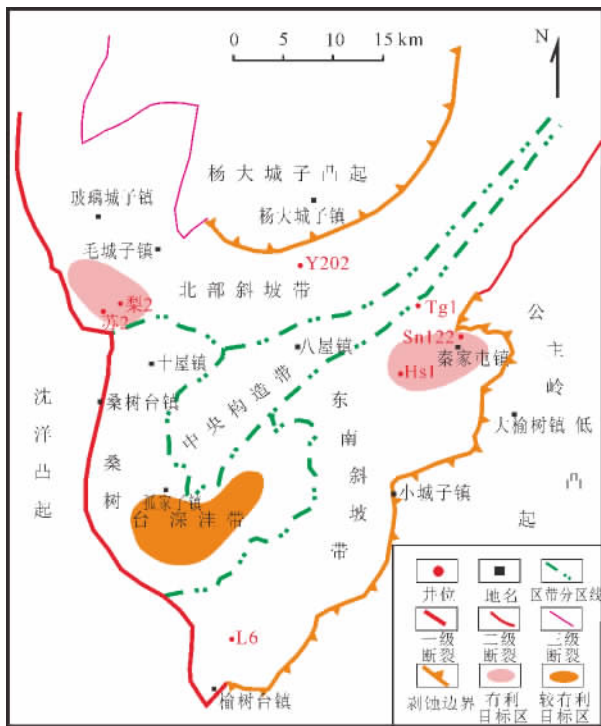


图 12 梨树断陷目标区预测图

Fig. 12 Forecast figure of target area in Lishu fault depression

8.1 秦家屯地区

秦家屯位于梨树断陷的东南斜坡带。该区是一个在基底古斜坡背景上断陷层逐层超覆尖灭的单斜构造,坡度较缓,长 35 km、宽 10~20 km,基底最大埋深处位于南部桑树台控盆断裂,中部埋深可达 7 000 m 左右,最小埋深位于北部秦家屯的东部古凸起,仅有 1 100 m。该地区断陷层南部为泛滥平原相沉积,北部营城组、沙河子组为浅湖—半深湖相沉积,营城组烃源岩  $R_o$  为 1.47%~1.75%,沙河子组烃源岩  $R_o$  为 1.66%~1.99%,均处于高成熟阶

段。

秦家屯地区沙河子组暗色泥岩发育,其中河山 1 井泥岩厚度达 267 m,单层最大厚度 42 m,在沙河子组钻遇 3 套高气测显示泥岩段,最高气测值达 84%,对 2 711.00~2 730.50 m 井段进行常规测试,日产油最高 7.67  $\text{m}^3$ 。综合沉积和烃源岩分布特征,预测秦家屯地区为页岩气勘探的有利目标区。

8.2 苏家屯次洼

苏家屯次洼位于梨树断陷北部斜坡带,皮家走滑断裂以西,面积 165  $\text{km}^2$ ,区内已钻井 3 口,分别在营城组和火石岭组获得了工业油气流。苏家屯次洼整体上表现为“南断北剥、东西超覆”的特征。洼陷南部受皮家走滑断裂控制形成桑树台次洼的断阶,洼陷北部受 SN 向曲家屯断层分割形成西部洼陷带和东部断阶带,西部洼陷带地层沉积稳定且断层不发育,东部断阶带受一系列近 SN 向的正断层分割,形成多个断块。

苏家屯次洼营城组和沙河子组发育大套暗色泥岩, $w(\text{TOC})$  主要为 0.75%~2.00%,最大值可达 4.00% 以上,有机质类型以 III 和 II<sub>2</sub> 型为主,多处于高成熟—过成熟演化阶段,为苏家屯次洼的主力烃源岩。沙河子组和营一段暗色泥岩厚度超过 350 m,泥地比为 85%。苏家屯次洼为页岩气勘探的较好领域,其泥岩夹薄层砂岩条带中钻遇高气测显示,十屋 33X 井最高气测值达 37%,砂层最薄显示段厚度为 1 m,气测值为 12%。综合沉积和烃源岩分布特征,预测苏家屯次洼为页岩气勘探的有利目标区。

8.3 桑树台深洼带

受桑树台控陷大断裂的控制,桑树台深洼带在桑树台断裂东侧呈 SN 向展布,该区发育大型斜坡扇体和深洼水下扇储集体,冲积扇体发育,以粗碎屑沉积为主。由于目的层埋藏较深,暗色泥岩发育,处于高成熟—过成熟演化阶段,为梨树断陷主力烃源岩发育区,预测该区为页岩气勘探的较有利目标区。

9 结论

1)通过对已钻遇页岩气显示井的综合评价,确定了下白垩统沙河子组和营城组为梨树断陷页岩气的发育主要层位。

2)沙河子组和营城组泥页岩厚度大,有机碳含量高,有机质类型较好,热演化程度较高,生烃潜力较大,具备形成页岩气的良好条件。而且其孔隙和裂缝发育,具有较好的孔渗条件,页岩吸附气量大,

可以为页岩气成藏提供充足的储集空间。

3)运用“概率法”初步估算出梨树断陷营城组、沙河子组页岩气资源量为  $6\ 645.34 \times 10^8\ \text{m}^3$ ,表明具有较大的勘探潜力。优选出苏家屯次洼、秦家屯地区作为梨树断陷下一步页岩气勘探的有利目标区。

#### 参考文献(References):

- [1] 刘福春,王德海.松辽盆地东南隆起区十屋断陷油气聚集规律[J].油气地质与采收率,2001,8(2):14-17.  
Liu Fuchun, Wang Dehai. Oil-Gas Accumulation Rules of Shiwu Fault Depression at Southeast Uplift Area of Songliao Basin[J]. Petroleum Geology and Recovery Efficiency, 2001, 8(2):14-17.
- [2] Curtis J B. Fractured Shale-Gas System[J]. AAPG Bull, 2002, 86(11):1921-1938.
- [3] Matt Mavor. Barnett Shale Gas-in-Place Volume Including Sorbed and Free Gas Volume [C]//AAPG Southwest Section Meeting. Texas: The AAPG,2003.
- [4] 张金川,聂海宽,徐波,等.四川盆地页岩气成藏地质条件[J].天然气工业,2008,28(2):151-156.  
Zhang Jinchuan, Nie Haikuan, Xu Bo, et al. Geological Condition of Shale Gas Accumulation in Sichuan Basin[J]. Nature Gas Industry, 2008, 28(2): 151-156.
- [5] 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,2011,33(2):28-34.  
Li Yanjun, Liu Huan, Liu Jiaxia, et al. Geological Regional Selection and Evaluation Method of Resource Potential of Shale Gas [J]. Journal of Southwest Petroleum University, 2011, 33(2):28-34.
- [6] 张金川,汪宗余,聂海宽,等.页岩气及其勘探研究意义[J].现代地质,2008,22(4):640-646.  
Zhang Jinchuan, Wang Zongyu, Nie Haikuan, et al. Shale Gas and Its Significance for Exploration [J]. Geo-science, 2008, 22(4):640-646.
- [7] 刘成林,李景明,李剑,等.中国天然气资源研究[J].西南石油学院学报,2004,26(1):9-12.  
Liu Chenglin, Li Jingming, Li Jian, et al. The Resource of Natural Gas in China [J]. Journal of Southwest Petroleum Institute, 2004, 26(1):9-12.
- [8] Hill J R, Zhang E T, Katz J B, et al. Modeling of Gas Generation from Barnett Shale, Forth Worth Basin, Texas[J]. AAPG Bulletin, 2007, 91(4):501-521.
- [9] Jarvie M D, Hill J R, Pollastro M R. Assessment of the Gas Potential and Yields from Shales: The Barnett Shale Model [C]//Unconventional Energy Resources in the Southern Mid-Continent, 2004 Sysposium. Leonard: Oklahoma Geological Survey Circular 110, 2005:37-50.
- [10] Jarvie M D. Unconventional Shale Resource Plays: Shale Gas and Shale-Oil Opportunities[M]. Texas: Christian University Worldwide Geochemistry, 2008.
- [11] Jarvie M D, Hill J R, Roble E M, et al. Unconventional Shale-Gas System: The Mississippian Barnett Shale Gas of North-Central Texas as One Model for Thermogenic Shale-Gas Assessment [J]. AAPG Bulletin, 2007, 91(4):475-499.
- [12] 邹才能,朱如凯,吴松涛,等.常规与非常规油气聚集类型、特征、机理及展望:以中国致密油和致密气为例[J].石油学报,2012,33(2):173-187.  
Zou Caineng, Zhu Rukai, Wu Songtao, et al. Types, Characteristics, Genesis and Prospects of Conventional and Unconventional Hydrocarbon Accumulations: Taking Tight Oil and Tight Gas in China as an Instance[J]. Acta Petrolei Sinica, 2012, 33(2):173-187.
- [13] 张金川,金之钧,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]. Nature Gas Industry, 2004, 24(7): 15-18.
- [14] 杨立英,李瑞磊,张江涛,等.松辽盆地南部十屋断陷构造特征研究[J].地球物理学进展,2005,20(3):775-779.  
Yang Liying, Li Ruilei, Zhang Jiangtao, et al. Study of Structure Character with Seismic Data in Shiwu Fault Depression in South of Songliao Basin [J]. Progress in Geophysics, 2005, 20(3):775-779.
- [15] 董福湘,刘立,唐黎明.十屋断陷盆地古构造坡折带特征及其对沉积体系的控制[J].吉林大学学报:地球科学版,2003,34(2):222-226.  
Dong Fuxiang, Liu Li, Tang Liming. The Characteristics of Underformed Structural Slope-Break Bone and its Influence on Deposition System on Shiwu Fault Basin [J]. Journal of Jilin University: Earth Science Edition, 2003, 34(2):222-226.
- [16] 鄢伟,樊太亮,王宏语,等.梨树断陷层关键不整合面特征及剥蚀恢复[J].石油天然气学报,2012,34(9):12-17.  
Yan Wei, Fan Tailiang, Wang Hongyu, et al.

- Characteristics and Denudation Restoration of Key Uncon-Formities in Lishu Fault Depression [J]. Journal of Oil and Gas Technology, 2012, 34(9):12-17.
- [17] 俞凯,侯洪斌,郭念发,等. 松辽盆地南部断陷层系石油天然气地质[M]. 北京:石油工业出版社,2002.
- Yu Kai, Hou Hongbin, Guo Nianfa, et al. Petroleum and Natural Gas Geology of Fault Depressions in Southern Songliao Basin[M]. Beijing: Petroleum Industry Press, 2002.
- [18] 董清水,赵占银. 半地堑式断陷盆地的油气成藏模式:以松辽盆地梨树断陷为例[J]. 吉林大学学报:地球科学版,2003,33(1):43-47.
- Dong Qingshui, Zhao Zhanyin. The Model for Formation Reservoir in Half Graben Mode of Fault Depression Basin; Taking the Lishu Fault Depression in Songliao Basin as an Example[J]. Journal of Jilin University ;Earth Science Edition, 2003,33(1): 43-47.
- [19] 周卓明,宋振响,湛小红. 梨树断陷油气藏分布特征与成藏模式[J]. 吉林大学学报:地球科学版,2012,42(增刊2):131-140.
- Zhou Zhuoming, Song Zhenxiang, Zhan Xiaohong. Distribution Characteristics and Accumulation Mode of Oil and Gas Reservoirs in Lishu Fault Depression [J]. Journal of Jilin University: Earth Science Edition, 2012, 42(Sup. 2):131-140.
- [20] 杨通佑. 石油及天然气储量计算方法[M]. 北京:石油工业出版社,1990.
- Yang Tongyou. Estimation of Oil and Gas Reserves [M]. Beijing: Petroleum Industry Press, 1990.
- [21] 石石,冉莉娜. 基于概率法的油气储量不确定性分析[J]. 天然气勘探与开发,2011,34(1):18-22.
- Shi Shi, Ran Lina. Probability Method Based Reserves Uncertainty Analysis [J]. Natural Gas Exploration and Development, 2011, 34(1):18-22.
- [22] 周总瑛,唐跃刚. 油气资源评价中风险分析方法探讨[J]. 长江大学学报:社会科学版,2004,27(1):108-111.
- Zhou Zongying, Tang Yuegang. Discussions on Method of Risk Analysis for Oil and Gas Resources Evaluation[J]. Journal of Yangtze University: Social Sciences, 2004, 27(1):108-111.
- [23] 贾成业,贾爱林,何东博,等. 概率法在油气储量计算中的应用[J]. 天然气工业,2009,29(11):83-85.
- Jia Chengye, Jia Ailin, He Dongbo, et al. Application of the Stochastic Method to Oil and Gas Reserves Estimation[J]. Nature Gas Industry, 2009, 29(11):83-85.
- [24] 张金川,林腊梅,唐玄,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, Tang Xuan, et al. The Method of Shale Gas Assessment; Probability Volume Method[J]. Earth Science Frontiers, 2012, 19(2):184-191.