

概率法油气储量评估及其与确定法的差异比较

谢寅符¹, 陈和平¹, 马中振¹, 周玉冰¹, 刘亚明¹, 王仁冲², 刘素艳³

(1. 中国石油勘探开发研究院, 北京 100083; 2. 中国石油 海外勘探开发公司, 北京 100034;

3. 中国石油 辽河油田 欢喜岭采油厂, 辽宁 盘锦 124114)

摘要:自 1997 年石油工程师协会(SPE)和美国证券交易委员会(SEC)承认概率法储量估算以来,概率法被国际上的很多大油公司和机构所采用,但是在国内还是应用的确定法。对概率法做了简单介绍,并通过比较不同确定性条件下概率法和确定法储量评估中的差异,讨论了每种方法的适用性。同时,讨论了概率法储量估算中函数形态对估算结果的影响。研究认为,概率法储量估算充分考虑了保守、最可能和乐观等各种情形,对储量的认识更全面;综合来看,概率法适用于不确定性较大的情况,而确定法适用于不确定性较小的情况;概率法储量评估中参数的函数分布形态对估算结果有较大影响,并且主观性较强,需要严格按照相关标准选取合适的函数形态以消除或减弱影响。

关键词:储量评估;概率法;确定法;不确定性;函数形态

中图分类号:TE155

文献标识码:A

Probabilistic estimation of reserves and difference between probabilistic and determine methods

Xie Yinfu¹, Chen Heping¹, Ma Zhongzhen¹, Zhou Yubing¹, Liu Yaming¹, Wang Renchong², Liu Suyan³

(1. Research Institute of Petroleum Exploration & Development, PetroChina, Beijing 100083, China;

2. China National Oil and Gas Exploration and Development Company, Beijing 100034, China;

3. Huanxiling Oil Production Company, Liaohe Oilfield, PetroChina, Panjin, Liaoning 124114, China)

Abstract: In 1997, the Society of Petroleum Engineers (SPE) and the U.S. Securities and Exchange Commission (SEC) recognized the probabilistic estimation of reserves. This method has been accepted by many international oil companies and institutions; however, the determine estimation of reserves is still dominant in China. The probabilistic estimation method was briefly introduced in this article. The difference between the two methods under different uncertainty conditions was compared. The applicability of each method was discussed. Meanwhile, the impact of function form on probabilistic estimation was analyzed. It has been concluded that the probabilistic estimation of reserves takes full account of the conservative, the most likely and the optimistic variety of situations, hence provides a more comprehensive understanding of reserves. The probabilistic estimation is applicable to bigger uncertainties while the determine estimation is applicable to smaller uncertainties. Since the function form of probabilistic estimation parameter may obviously influence estimation result and is subjective, the appropriate function form in strict accordance with relevant standards is demanded to eliminate or weaken the influence.

Key words: reserves estimation; probabilistic method; determine method; uncertainty; function form

油气勘探开发过程中,地质储量(OOIP)的评估是一项十分重要的工作,是油气藏勘探和开发各个阶段的核心指标,是指导油气勘探开发工作、确定开发投资规模的重要依据。目前常用的储量评估方法大致包括 3 类:容积法、类比法和动态法^[1-4]。

容积法估算储量可分为确定法及概率法 2 种,其主要区别在于:前者只取每个参数的最佳估算值,对不确定性的评估更为主观;后者则对独立变量的

不确定性进行量化估计,给出储量的概率分布,是一种风险分析方法。在 1997 年石油工程师协会(SPE)和美国证券交易委员会(SEC)承认概率法储量估算以前^[5-6],国际上通用的是确定法评估储量。目前,概率法被国际上的很多大油公司和机构所采用,如美孚(Mobil)、美国地质勘探局(USGS)等,但是在国内还是应用的确定法。本文对概率法做了简单介绍,并通过比较概率法和确定法储量评估中

的差异,讨论了每种方法的适用性。同时,对影响概率法储量评估结果的一些关键参数如何取值进行了讨论。

1 概率法储量估算

1.1 概率法的概念

概率法储量估算以概率论为基础,视储量参数为在一定范围内变化的随机变量,并要求参数之间相互独立。估算结果为一条储量概率分布曲线(或累计概率曲线),按规定概率值估算各类地质储量。

1997年,SPE和SEC颁布规定允许应用概率法进行储量估算。将概率法定义为“当采用已知的地质、工程和经济数据时产生的一系列估算范畴及与它们相关的可能性”。同时定义证实储量(Proved):当采用概率法时,实际采出量将大于或等于估算值的概率至少应为90%(P90);概算储量(Probable):当采用概率法时,预计实际可采量将大于或等于证实+概算储量之和(2P)的概率至少应为50%(P50);可能储量(Possible):当采用概率法时,预计实际可采量将大于或等于证实+概算+可能储量之和(3P)的概率至少应为10%(P10)^[5-6]。

1.2 概率法储量估算公式

概率法估算储量的基本公式仍然是容积法的公式:

$$OOIP = 100 \times A \times H \times \phi \times (1 - S_{wi}) \times \rho_o / B_{oi}$$

式中:OOIP为原始地质储量,10⁴ t;A为含气面积,km²;H为平均有效厚度,m; ϕ 为平均孔隙度,%; ρ_o 为地面原油密度,g/cm³;B_{oi}为平均地层原油体积系数;S_{wi}为平均原始含水饱和度,%。

运用概率法估算地质储量时,A、H、 ϕ 、S_{wi}、B_{oi}均是有一定取值范围的随机变量,采用概率分布函数量化参数的不确定性,运用蒙特卡罗模拟抽取模型内的每个输入的概率分布,得到多次迭代的迭代值,进而模型输出值的分布反映了某个储量值的概率,从而对地质储量的不确定性进行评估^[7-15]。

SPE和SEC给出了应用概率法进行储量估算时一些主要参数的取值范围^[5-6]。以孔隙度参数为例,如果是通过测井解释确定的孔隙度,则孔隙度的取值范围可以在测量结果的基础上变化±15%。也就是说,如果测井解释的孔隙度是20%,那么实际估算时P90的孔隙度可以取17%,P10的孔隙度可以取23%。如果通过岩心分析确定的孔隙度是20%,取值

范围可以在测量结果的基础上变化±10%。即P90的孔隙度可以取18%,P10的孔隙度可以取22%。

1.3 储量估算为什么要引入概率法

储量估算是在不确定的条件下进行的,储量估算结果的不确定性的范围取决于影响事件的各个因素的不确定范围和各因素间的相互制约程度。储量估算不确定的条件主要包括两个方面:一是资料的不确定性,如地震、钻井、测井、取心资料的不确定;二是模型的不确定性,如地质规律、油藏参数变化规律和经济规律的不确定。

确定法储量估算是根据已知的地质、工程和经济资料,取每个参数的最佳估算值,得出一个最佳的储量估算值。那么何为“最佳的估算值”?对于已开发成熟地区,资料相对较丰富,模型的建立比较落实,用确定法估算的单一储量是可以接受的。在确定性很高时,甚至是最佳的储量估算值。但是,对于勘探新区、新领域、复杂地质条件等情况,则很难得到最佳的储量估算值。

概率法储量估算是用已知的地质、工程和经济资料产生一个估算范围值及其相应的概率。充分考虑了保守、最佳和乐观等各种情形,对储量的认识相对全面。因此,在储量估算中应该引入概率法。

2 储量评估的差别比较

前面已经提到,资料的不确定性和模型的不确定性是引起储量估算结果变化的主要因素。那么,在同样的确定性条件下,应用确定法和概率法估算的储量结果是否一致?二者又有什么差别?下面我们通过几个例子来讨论。

2.1 无法确定油水界面情况下

不论是应用确定法还是概率法,都有很多影响储量估算的变量存在^[8,16-21]。主要包括油藏面积、有效厚度、孔隙度、油气饱和度、地层体积系数和采收率等。为了简化,在此假设其他参数为恒量,只讨论由于油藏面积一个参数的不确定性引起的确定法和概率法储量估算结果的差异。

假设:A油藏是一个层状断块油藏。1和2两口井揭示的砂岩厚度为50 m,自顶到底为油所充满,已知最低油顶面是1 450 m,已知最低油底面是2 050 m。3井是水井,自顶到底为水所充满,已知最高油藏水顶面为2 450 m。3井与2井之间存在未知的油水界面。砂岩厚度保持不变,均为50 m。油藏的其他参数同样保持不变(图1)。下面将分3种情况,通过不断增加油藏的确定性条件,来比较两种方法估算结果的差别。

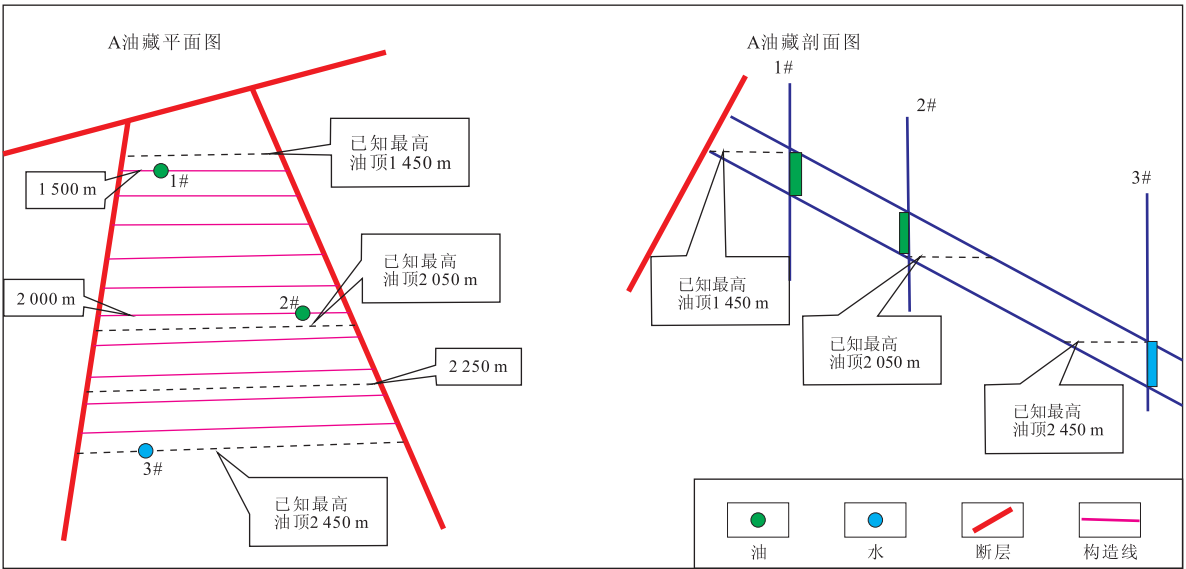


图 1 A 油藏示意图
Fig.1 Diagram of reservoir A

应用确定法估算储量时,证实(P1)储量的面积等于 2 井已知最低油底面(2 050 m)以上的面积;概算(P2)储量的面积等于已知最低油底面下推 1 个砂层(2 100 m)以上至最低油底面之间的面积;可能(P3)储量的面积等于已知最高水顶面至最低油底面下 1 个砂层之间的面积(表 1)。

应用概率法估算储量时,按照 SPE 和 SEC 等的相关规定,2 井已知最低油底面(2 050 m)以上的面积(确定法的证实储量面积)等于 P99 面积。而 P90 的面积约等于 2 095 m 以上的面积(注,该面积是简单地应用算数方法估算得到, $2\,050+50\times 90\%=2\,095$ 。实际估算用蒙特卡洛法差值得到)。按照 SPE 和 SEC 的定义,用概率法估算储量时,证实储量(P1)等于 P90 储量。显然在此种条件下,由于用概率法估算证实储量时的面积比用确定法估算证实储量的面积略大,所以在其他条件都不变的情况下,概率法估算的证实储量要略大于确定法的估算结果。同样,已知最高水顶面以上的面

积(确定法证实+概算+可能储量)等于 P1 面积,而 P10 面积约等于 2 445 m 以上的面积($2\,450-50\times 10\%=2\,445$)。此时,由于用概率法估算的证实+概算+可能储量(3P)的面积比用确定法估算的面积略小,所以在其他条件都不变的情况下,概率法估算 3P 储量要略大于确定法的估算结果。但是,对于证实+概算储量部分(2P),概率法的估算结果要远大于确定法的估算结果(>33%)。这主要是因为确定法只是把面积外推了 1 个砂层(50 m),而概率法是通过蒙特卡洛算法对 P90 和 P10 之间进行差值,得到了更大的面积,所以其估算结果要远大于确定法的估算结果(表 1)。

2.2 油水界面不能准确确定情况下

在第一种条件的基础上,新增加了一个条件:邻区多个油田的油水界面 2 250 m。此时,由于有邻区的条件可以参考,所以可以估计 A 油藏的油水界面的大概位置,但是由于没有钻井证实,所以不能准确确定。

表 1 三种条件下概率法和确定法估算结果比较

Table 1 Comparison of estimation results between probabilistic and determine methods under 3 different conditions

条件	估算方法	证实(P1)≥P90		证实+概算(2P)≥P50		证实+概算+可能(3P)≥P10	
		储量/m ³	增加百分数/%	储量/m ³	增加百分数/%	储量/m ³	增加百分数/%
无法确定油水界面	确定法	4 000		4 431		8 136	
	概率法	4 360	9	5 893	33	7 648	-6
油水界面不能准确确定	确定法	4 000		6 000		8 136	
	概率法	5 600	40	5 820	-3	7 566	-7
油水界面能够准确确定	确定法	6 000		6 000		6 000	
	概率法	5 460	-9	5 940	-1	6 360	6

此时,应用确定法估算储量,证实(P1)储量面积不变;概算(P2)储量面积可以参考邻区的油水界面高度(2 250 m),等于已知最低油底面至邻区的油水界面高度(2 250 m)之间的面积;可能(P3)储量面积等于已知最高水顶面至邻区油水界面高度(2 250 m)之间的面积。与第一种条件下的估算结果比较,P1 和 3P 均没有变化,2P 有所增加。这是因为 P1 和 3P 的面积没有变化,而 2P 的面积增大(表 1)。

应用概率法估算储量,由于本区没有钻井证实的油水界面,所以 P99、P90、P10、P1 面积均不变。但是,由于有邻区的油水界面信息,因此 P50 面积等于 2 250 m 以上的面积。与第一种条件下的估算结果比较,2P 和 3P 基本没有变化,P1 却增加了 40%。这是因为随着资料确定性的增加,累计概率曲线的形态会发生变化(函数的偏度和峰度系数发生变化,详见下文 3.2 节),向高概率的方向偏移,相应的概率对应的值变大(图 2)。相当于随着资料确定性的增加,概率法将概算储量的一部分升级到证实储量。

2.3 油水界面能够准确确定情况下

在第二种条件的基础上,新增加了一个条件: A 油藏钻井揭示油水界面 2 250 m。此时,应用确定法估算储量,证实(P1)储量面积等于油水界面(2 250 m)以上的面积;概算(P2)储量面积等于零;可能(P3)储量面积等于零。

应用概率法估算储量,P90 面积等于 $2\,205\text{ m}$ ($2\,250-50\times 90\%=2\,205$) 以上的面积;P10 面积不变。

此时,确定法估算的 3 个储量值是一个,而概率法仍然是给出不同的概率的对应值,只不过区间越来越小。

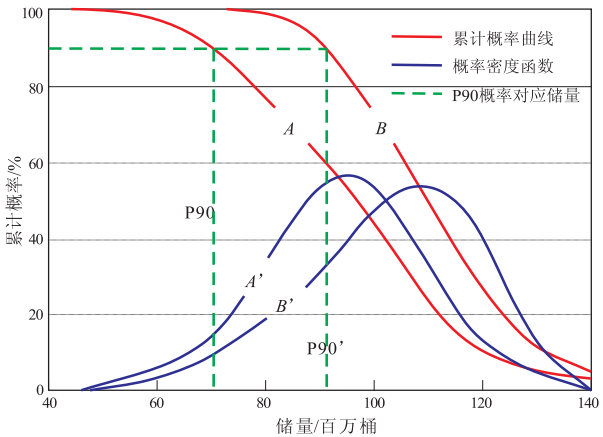


图 2 不同的概率密度函数及其对应的累计概率曲线
Fig.2 Different probability density functions and corresponding cumulative probability curves

通过上述比较可以看出,概率法和确定法储量估算的结果可能相差较大。不确定性越高,应用概率法和确定法估算储量的值差别就越大,但是前者估算结果更接近最终值。随着确定性的增加,概率法将概算储量的一部分升级到证实储量;而确定法在此时没有做出改变,估算的储量值相对保守。当资料确定性很高时,确定法估算的 3 个储量值是一个;而概率法仍然是给出不同的概率的对应值,只不过区间越来越小。此时,确定法比概率法更加准确。综合来看,概率法适用于不确定性较大的情况下,而确定法适用于确定性较大的情况下。

3 函数形态对估算结果的影响

在概率法储量估算中,储量概率分布曲线(或累计概率曲线)是通过对各参数的概率密度函数累加得到,所以,概率密度函数自身的形态对储量估算结果可能会造成较大的影响(图 2)。

图 2 中,累计概率曲线 A 和 B 分别与概率密度函数 A' 和 B' 相对应。A' 是正态分布,B' 是偏态分布。从图中两条累计概率曲线上读出的 P90 的值分别是 40 百万桶和 62 百万桶,二者差别较大。

3.1 函数形态

函数形态是指随机变量概率密度函数 $f(x)$ 的形态,可以通过方差、偏度系数和峰度系数来表征。方差表征随机变量概率密度函数 $f(x)$ 在期望值周围的离散程度,即随机变量的取值在期望值附近的起伏大小。偏度系数表征 $f(x)$ 对平均值的不对称程度。峰度系数表征 $f(x)$ 曲线的尖锐程度(图 3)。

3.2 函数形态对储量估算结果的影响

以前面第二种条件“油水界面不能准确确定情况下”为例,应用概率法估算储量。估算过程中油藏参数不变,但是分别应用三角形态、 β 形态以及不同的权因子来估算(表 2)。可以看出,采用三角形态和采用 β 形态的估算结果有较大差别。即使采用相同的函数形态(β 形态),但是由于采用的权因子不同,估算结果也有较大差别。在实际工作

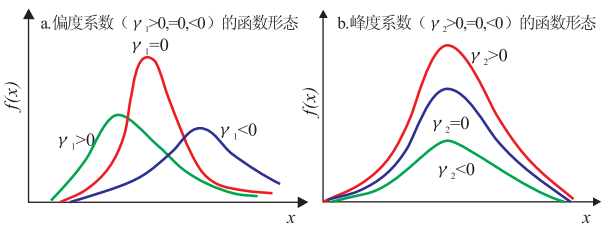


图 3 不同偏度系数和峰度系数的函数形态
Fig.3 Function forms of different coefficients of skewness and kurtosis

表 2 相同资料条件下,不同的函数形态对储量估算结果的影响

Table 2 Influence of different function forms on reserve estimation results under same condition

估算方法	函数形态	证实(P1) ≥ P90		证实+概算(2P) ≥ P50		证实+概算+可能(3P) ≥ P10	
		储量/m ³	增加百分数/%	储量/m ³	增加百分数/%	储量/m ³	增加百分数/%
确定法		4 000		6 000		8 136	
概率法	三角形态	5 105	28	5 580	-7	7 404	-9
概率法	β-1 形态	4 904	23	5 522	-8	7 729	-5
概率法	β-4 形态	5 600	40	5 820	-3	7 648	-6

注:三角形态分布和β形态分布表示两种不同的分布类型;β-1 和β-4 表示同一种分布类型,权因子不同。

中,可以通过选择合理的分布类型和权因子来提高储量估算的合理性。

笔者在评价外国石油公司的储量资产时就曾经遇到过类似的情况。如果只看油藏储量的估算参数,它们都是合理的,或者说是可以接受的。但是,在估算过程中,却通过采用很大的权因子(如β-10,表示β形态,权因子=10),来提高储量的估算结果,达到混淆视听的目的。所以,应用概率法进行储量评估时,一定要注明使用的是哪种函数形态,权因子是多少。

3.3 函数形态的确定

函数自身的概率属性是可以通过频率统计认识的。实际工作中可以通过统计样品参数的分布频率,得到参数的概率密度函数。通常情况下,参数的函数形态反映了储层的性质。以孔隙度参数为例,如果岩心样品的孔隙均匀、分选好,则它的概率密度函数表现为正态;如果样品的孔隙不均匀、分选不好,则它的概率密度函数表现为偏态,或者表现出双峰、平顶等形态。

大量实际工作表明,适用于正态分布的参数包括孔隙度、油层有效厚度、含油饱和度等;适用于对数正态分布的参数包括油层体积、油层有效厚度、渗透率等(图 4)。

SPE 和 SEC 等给出了在不同的资料条件下,用概率法进行储量估算时参数的取值范围(详见 1.2 节),还规定权因子需要根据资料的确定性程度来选择。资料的可信度越高,选择的权因子越大。当通过邻区资料确定油水界面时,权因子可以取β-1 至β-4;当通过本油藏钻井确定油水界面时,权因子可以取β-10 至β-20。

4 结论

(1) 概率法储量估算的基本公式仍然是现有的储量估算公式(体积法公式),但是,概率法和确定法储量估算的结果可能相差较大。并且,概率法储量估算充分考虑了保守、最可能和乐观等各种情形,

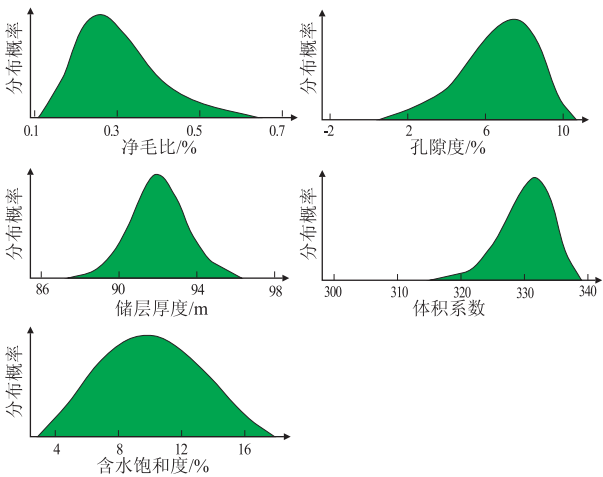


图 4 概率法储量估算中主要估算参数的常用函数形态
Fig. 4 Usual function forms of major estimation parameters in probabilistic method

对储量的认识更全面。

(2) 储量估算的不确定性是由资料的不确定性和模型的不确定性引起的。综合来看,概率法适用于不确定性较大的情况,而确定法适用于不确定性较小的情况。

(3) 概率法储量评估中参数的函数分布形态对估算结果有较大影响,并且主观性较强。在储量估算中需要严格按照相关标准,选取合适的分布形态以减小或消除此类影响。

参考文献:

[1] 贾承造.美国 SEC 油气储量评估方法[M].北京:石油工业出版社,2004.
Jia Chengzao.SEC estimation approach for oil and gas reserves[M]. Beijing:Petroleum Industry Press,2004.

[2] 杨通佑,范尚炯,陈元千.石油及天然气储量计算方法[M].北京:石油工业出版社,1998.
Yang Tongyou,Fan Shangjiong,Chen Qianyuan.Estimation approach for oil and gas[M].Beijing:Petroleum Industry Press,1998.

[3] 胡允栋.基于不确定性分析的油气储量分类与评估方法[D].北京:中国地质大学,2007.
Hu Yundong.Oil and gas reserves classification and estimation on the basis of uncertainty analysis[D].Beijing:China University of

- Geosciences, 2007.
- [4] 康志勇, 王永祥, 谢开宇, 等. 容积法储量计算方程合理性分析[J]. 特种油气藏, 2012, 19(2): 31-34.
Kang Zhiyong, Wang Yongxiang, Xie Kaining, et al. Rationality analysis of volumetric reserve estimation equations[J]. Special Oil & Gas Reservoirs, 2012, 19(2): 31-34.
- [5] Corcoran D. Petroleum resources management system (PRMS) [DB/OL]. [2007]. http://www.spe.org/industry/reserves/docs/Petroleum_Resources_Management_System 2007.pdf.
- [6] Purewal S, Ross J G, Rodriguez J M, et al. Guidelines for application of the petroleum resources management system [DB/OL]. [2007]. http://www.spe.org/industry/docs/PRMS_Guideline_Nov2011.pdf.
- [7] 胡允栋, 萧德铭, 王永祥. 按 SEC 标准进行油气证实储量评估的基本原则[J]. 石油学报, 2004, 25(2): 19-24.
Hu Yundong, Xiao Deming, Wang Yongxiang. Ten principles for estimating proven reserves following SEC standards[J]. Acta Petrolei Sinica, 2004, 25(2): 19-24.
- [8] 赵文智, 毕海滨. 浅析中国与西方在储量计算中确定有效厚度之差异[J]. 石油勘探与开发, 2005, 32(3): 125-129.
Zhao Wenzhi, Bi Haibin. Differences of net pay estimation between China and SEC[J]. Petroleum Exploration and Development, 2005, 32(3): 125-129.
- [9] 刘韵, 张贵生, 马丽梅. 中国与 SEC 储量评估差异分析: 以元坝长兴组元坝 103H 井区长二段气藏为例[J]. 石油实验地质, 2012, 34(5): 514-517.
Liu Yun, Zhang Guisheng, Ma Limei. Reasons for differences of reserve estimation results between domestic and SEC rules: A case study of gas reservoir in 2nd section of Changxing Formation, well Yuanba 103H [J]. Petroleum Geology & Experiment, 2012, 34(5): 514-517.
- [10] 刘麟, 金忠康, 潘雪峰. SEC 上市油气储量指数递减曲线评估法参数研究[J]. 石油实验地质, 2012, 34(5): 522-526.
Liu Lin, Jin Zhongkang, Pan Xuefeng. Parameters of index diminishing method in SEC standard evaluation of oil and gas reserves[J]. Petroleum Geology & Experiment, 2012, 34(5): 522-526.
- [11] 薛国勤, 余强, 赵创业, 等. SEC 准则递减曲线法在储量评估中的应用: 以王集油田为例[J]. 石油实验地质, 2012, 34(5): 531-534.
Xue Guoqin, Yu Qiang, Zhao Chuangye, et al. Application of diminishing curve method in SEC standard evaluation of oil and gas reserves: A case study in Wangji Oil Field [J]. Petroleum Geology & Experiment, 2012, 34(5): 531-534.
- [12] 文环明, 肖慈勋, 李薇. 蒙特卡洛法在油气储量估算中的应用[J]. 成都理工学院学报, 2002, 29(5): 487-492.
Wen Huanming, Xiao Cixun, Li Wei. Applications of the Monte-Carlo method to the petroleum reserves estimation [J]. Journal of Chengdu University of Technology, 2002, 29(5): 487-492.
- [13] 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): 18-21.
Shi Shi, Ran Lina. The uncertainty analysis of oil and gas reserves on the basis of probability method [J]. Natural Gas Exploration and Development, 2011, 34(1): 18-21.
- [14] Acuna H G, Harrell D R. 用概率方法进行储量评价应遵循的指导原则[J]. 国外石油动态, 2003, 135(1): 1-15.
Acuna H G, Harrell D R. The principles for estimating proven reserves applying probability method [J]. Foreign Oil & Gas Information, 2003, 135(1): 1-15.
- [15] 贾成业, 贾爱林, 邓怀群. 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, Deng Huaiqun. The application of probability method in estimation oil and gas reserves [J]. Natural Gas Industry, 2009, 29(11): 83-85.
- [16] 王忠生, 田世澄, 衣艳静, 等. 基于 SPE-PRMS 准则的动态法储量评估[J]. 特种油气藏, 2012, 19(2): 77-80.
Wang Zhongsheng, Tian Shicheng, Yi Yanjing, et al. Reserves estimation by dynamic method based on SPE - PRMS rules [J]. Special Oil & Gas Reservoirs, 2012, 19(2): 77-80.
- [17] Jordan D G, Collarini C R. 精确法与概率法估算未知下倾界限油藏体积的比较[J]. 陈文礼, 译, 吴官生, 校. 石油勘探开发情报, 2002(1): 44-50.
Jordan D G, Collarini C R. The comparison of precise method and probabilistic method to estimate the unknown down-dip limit of reservoir volume [J]. Petroleum Exploration and Development Information, 2002(1): 44-50.
- [18] Capen E C. Probabilistic reserves! Here at last? [J]. SPE Reservoir Evaluation & Engineering, 2001, 4(5): 387-394.
- [19] 景爱霞. 准噶尔盆地石油探明储量参数分析[J]. 石油实验地质, 2012, 34(5): 486-489, 494.
Jing Aixia. Analysis of proved reserve parameters of Junggar Basin [J]. Petroleum Geology & Experiment, 2012, 34(5): 486-489, 494.
- [20] 王树华, 许静华. 新增探明储量采收率预测方法评价与研究[J]. 石油实验地质, 2012, 34(5): 490-494.
Wang Shuhua, Xu Jinghua. Evaluation and study of recovery rate prediction method for newly-proved reserves [J]. Petroleum Geology & Experiment, 2012, 34(5): 490-494.
- [21] 王代国. 致密岩性气藏储量评价和计算方法问题与对策: 以鄂尔多斯盆地大牛地气田上古生界气藏为例[J]. 石油实验地质, 2012, 34(5): 495-498, 505.
Wang Daiguo. Problem and countermeasure of reserve estimation and calculation of tight lithologic gas reservoir: A case study in Upper Paleozoic gas reservoir in Daniudi Gas Field of Ordos Basin [J]. Petroleum Geology & Experiment, 2012, 34(5): 495-498, 505.

(编辑 韩 或)