

SEC 油气证实储量评估结果合理性检验方法

黄学斌

(中国石化石油勘探开发研究院, 北京 100083)

摘要: 储量评估结果的合理确定性是 SEC 油气储量评估必须遵循的重要准则。基于油气证实储量的不确定性程度认识, 通过建立评估递减与实际自然(综合)递减的转换关系, 提出了一种利用实际产量、递减率与储量评估结果进行对比, 从“点、线、面”多角度出发, 检验 SEC 油气证实储量评估结果合理性的方法。实际应用表明, 该方法可操作性强, 应用效果好, 有利于储量评估师通过结果对比分析不断优化储量评估参数取值。

关键词: SEC; 油气证实储量; 储量评估; 储量计算

中图分类号: TE01

文献标识码: A

Reasonableness assessment of SEC (Securities and Exchange Commission) reserves

Huang Xuebin

(SINOPEC Petroleum Exploration & Production Research Institute, Beijing 100083, China)

Abstract: Result certainty is very important for SEC reserve estimation. A useful method to check the reasonableness of SEC petroleum proven reserve estimation was proposed, based on the uncertainty degree of reserve estimation, through establishing the relationship between estimated decline rate and natural or composite decline rate. The method utilized the comparison of real production data and decline rate with reserve estimation from multi-angles. The evaluation method is effective in practical examination, and is useful for reserve appraisers to improve reserve estimation results.

Key words: SEC; petroleum reserve; reserve estimation; reserve calculation

尽管不同国家、不同学术团体对于储量的分类与定义的理解存在差异^[1-15], 但是对储量评估结果的认识是一致的。受油气藏的复杂程度、勘探开发程度、经营环境和评估人员的能力、素质等多种因素的影响, 存在不确定性^[10], 也就是说, 储量评估结果的合理性是相对的。因此, 通过检验 SEC (Securities and Exchange Commission, 美国证券委员会) 油气储量评估结果的合理性, 发现问题, 不断优化评估参数, 成为了提高储量评估结果合理性的一项重要途径。

1 SEC 油气储量评估合理性检验方法

按照证实储量确定性的要求, 实际采出量等于或超过评估的证实储量的概率至少为 90%^[9-11]。国内外对储量评估合理性的把握主要着眼于评估阶段^[16-34]; 国内也有文献^[35-38]提及对储量评估结果进行分析, 但就如何实现, 具体的标准如何把

握, 则很少论述。

具体来讲, 对证实储量可以理解为, 对同一时间的多个评估单元, 至少有 90% 的评估单元其实际产量应大于或等于评估储量; 或者同一评估单元经过多年的评估后, 至少在 90% 的时间范围内, 实际产量大于或等于评估储量。而对于某个时间点的某一评估单元, 可以粗略地认为, 评估结果应达到实际结果的 90%~100%。如果评估结果超过实际结果, 则高估的可能性较大; 反之, 如果评估结果达不到实际结果的 90%, 则低估的可能性较大。

结合上述理解, 从储量、产量构成的对应关系出发, 采用评估储量(评估日之后经济开采年限内年产量之和)与实际年产量的对比、评估时采用的递减率与实际自然或综合递减率的对比, 以及多个评估单元或同一评估单元多年评估结果的综合对比, 从点(预测第一年时间节点年产量)、线(递减率曲线)、面(多点/线对比结果形成平面图)多角

度,通过储量评估结果与实际结果的吻合程度,检验评估结果的合理性,为来年油气储量评估结果的优化提供依据。

1.1 评估储量与实际产量对比

按照 SEC 准则,储量是经济开采期内的年产量之和。检测储量评估结果的合理性,一般只能用预测第一年的产量与实际年产量进行对比,主要是由于评估单元很少采用单井,后续的年产量将因评估单元内开发井数或开发条件的变化而不具可比性。

参照对证实储量确定性要求的具体理解建立起来的检验标准,结合储产量结构的对应关系,既可以将证实储量与总产量进行对比,也可以将已开发正生产储量与老井产量、未生产与未开发储量之和与新井产量进行对比。

1.2 评估递减率与实际自然和综合递减率对比

根据 SEC 准则评估证实储量时,由于井数多,评估单元往往是一个油气藏或一个油气田。国外储量评估师选取评估递减率,一般为该评估单元在近期井数和开发方式不变情况下的递减率;当井数发生变化时,也参考平均单井递减率、归一化单井递减率、新、老井的递减率以及结合新井增加单井可采储量的预期效果综合确定;即使井数不变,也有可能是关井和新投产井达到动态平衡的一种巧合。实际上,评估单元的自然、综合递减就是在保持上年老井井数水平下获得的,因此,采用评估递减率与实际自然及综合递减率的对比,不失为一种较为有效的判别方法^[39-42]。

实际上,由于评估递减率与实际自然、综合递减率采用的递减率,两者不可直接进行对比,必须进行转换。一般情况下,多采用指数递减,下面以指数递减为例介绍具体的转换方法。

对于指数递减,采用评估递减率 D_e 定义为,对某一时期:

$$D_e = \frac{q_i - q}{q_i} \quad (1)$$

$$d_e = \frac{q}{q_i} \quad (2)$$

式中: q 为 t 时间产量,体积或重量/单位时间; q_i 为计时起点产量,体积或重量/单位时间; D_e 为评估递减率; d_e 为评估递减余率。

用年实际递减率与月实际递减率的转换公式即得到月递减率,如下:

$$1 - D_{ey} = (1 - D_{em})^{12} \quad (3)$$

式中: D_{ey} 为年评估递减率,1/年; D_{em} 为月评估递减率,1/月。

自然及综合递减采用的是另一种递减率,其年递减率为:

$$D_{cy} = \frac{q_0 \sum t - Q_i}{q_0 \sum t} \quad (4)$$

$$d_{cy} = \frac{Q_i}{q_0 \sum t} \quad (5)$$

式中: $\sum t$ 为一年内的天数; q_0 为上年年底标定日产量,体积或重量/日; Q_i 为老井自然或老井自然加措施年产量,体积或重量; D_{cy} 为年自然或综合递减率(Q_i 为老井自然产量则为自然递减,为自然加措施产量则为综合递减); d_{cy} 为年自然或综合递减余率。

对于自然、综合递减率而言,在指数递减情况下,其月递减余率与年递减余率的换算关系^[42]是:

$$12d_{cy} = \frac{d_{cm} - d_{cm}^{13}}{1 - d_{cm}} \quad (6)$$

$$D_{cm} = 1 - d_{cm} \quad (7)$$

式中: D_{cm} 为月自然或综合递减率; d_{cm} 为月自然或综合递减余率。

将评估的年递减转换成月递减与自然、综合月实际递减率进行对比,即 $D_{cm} = D_{em} = D_m$ 时,由此得出评估年递减率与实际自然或综合年递减率的换算关系为:

$$\frac{D_{cy}}{D_{ey}} = \frac{1}{1 - (1 - D_m)^{12}} - \frac{1}{12D_m} + \frac{1}{12} \quad (8)$$

式中: D_m 为月递减率。

按照公式(8)可以将评估年递减率转换成自然或综合年递减率概念下的实际年递减率,并与自然和综合年递减率进行对比。

一般而言,转换得到的年递减率与实际的自然和综合递减率进行对比,如果大于自然递减,则很可能低估;如果小于综合递减,则很可能高估;如果介于二者之间,这基本上可以判断是合理的。考虑到实际自然和综合递减率有一定的波动性,对比时可允许 10% 的误差,即匹配区间低限值取老井综合递减率的 90%,高限值取老井自然递减率的 110%。同时,此处引入预测递减率系数概念,以表征预测递减率与两个实际递减率的关系,由此,我们设定一个判别系数如下:

$$R = \frac{D - 0.9X}{1.1Y - 0.9X} \quad (9)$$

式中: R 为递减率判别系数; D 为由评估递减率转换的年递减率; X 为实际综合递减率; Y 为实际自然递减率。

判别系数处于0和1之间,即确定转换年递减率介于自然递减率和综合递减率之间,则评估递减率基本合理;如果判别系数小于0,即转换的年递减率较实际综合递减率还要小,则预测结果很可能高估;如果判别系数大于1,即转换的年递减率比实际自然递减还要大,则预测结果很可能低估。

1.3 从多“点、线”结合到“面”的综合判断

一个油气田分公司包括若干个评估单元,部分单元评估不合理,不代表整体不合理,在这里,还是要依据证实储量的定义来综合分析评价。具体包括以下几个方面:

一是证实已开发正生产储量评估结果合理性的判别。其一是油田级别预测老井产量与实际产量的对比;其二是油田级别预测年递减率与实际自然和综合递减率的对比;其三是将多个评估单元预测的老井产量与实际产量放在图上进行对比,同时将多个评估单元预测的年递减率与实际自然和综合递减率进行对比,通过这种“点、线、面”结合的综合对比判别评估结果的合理性。

二是证实已开发未生产及未开发储量评估结果合理性的判别。其一是油田级别预测的未生产加未开发产量之和与新井产量的对比;其二是多个评估单元预测的新井产量(未生产与未开发的产量之和)与实际新井产量放在图上进行对比。

三是证实储量评估结果合理性的总体判别。其一是油田级别预测年产量与实际产量的对比;其

二是将多个评估单元预测的总产量与实际总产量放在图上进行对比;其三是将多个评估单元的递减率判别系数和产量判别系数(预测年产量与实际年产量之比)放在图上进行对比,“点、线、面”结合对比判别。

2 应用实例

A油田12个单元2012年预测油气产量数据(预测2013年产量的数据)和2013年实际油气产量数据进行对比(表1)。

从表1可知,从“点”的角度看,A油田预测油气产量等于实际油气产量的93.2%,油田预测油气产量的数值合理,即A油田预测油气产量处于油气预设产量匹配区间范围内。油田预测油气产量中的已开发正生产产量等于老井产量的97.4%,预测油气产量中的已开发正生产产量基本合理,但预测油气产量中的未生产+未开发产量仅为新井产量的10.1%,预测油气产量中的未生产+未开发产量相对低估。具体而言,A8和A9两个评估单元的正生产储量低估,而除A5和A10外,其他10个评估单元的未生产+未开发储量均低估。

据表1数据,作出A油田中12个油气单元的预测油气产量与实际油气产量的分布图(图1)。从“面”的角度看,A油田12个评估单元中,9个单元预测油气产量的数值位于实际油气产量的90%~100%之间(占有所有单元的75%),2个单元预测油气产量低于实际油气产量的90%,1个单元预测油气产量稍高于实际油气产量,则认为油田整体的预测油气产量基本合理,仍存在可以优化的空间。

表1 A油田预测油气产量和实际产量对比

Table 1 Comparison of forecast and real petroleum production of oil field A

油田/ 单元	预测2013年产量/ 10^4 t			2013年实际产量/ 10^4 t			预测油气产量占 总产量比例/%	正生产预测产量占 老井产量比例/%	未生产+未开发 预测产量占 新井产量比例/%
	预测油气 产量	正生产	未生产+ 未开发	总产量	老井 产量	新井 产量			
A油田	150.7	149.9	0.8	161.7	154.0	7.7	93.2	97.4	10.1
A1	7.3	7.3		7.9	7.5	0.4	92.8	97.8	0
A2	3.6	3.6		3.6	3.5	0.1	100.5	101.9	0
A3	23.1	23.1		24.8	23.6	1.2	93.0	97.9	0
A4	5.8	5.8		6.1	6.0	0.1	96.3	97.2	0
A5	1.1	1.1		1.1	1.1		94.5	97.0	无计算结果
A6	23.0	23.0		24.7	24.5	0.2	93.1	93.8	0
A7	9.7	9.7		10.4	9.7	0.7	93.8	100.4	0
A8	13.9	13.9		16.4	15.2	1.3	84.4	91.3	0
A9	5.0	5.0		6.0	5.2	0.8	83.0	95.4	0
A10	1.3	1.3		1.4	1.4		96.4	96.4	无计算结果
A11	34.1	33.4	0.8	35.9	34.4	1.5	95.2	97.0	52.0
A12	22.8	22.8		23.5	21.9	1.6	97.0	103.9	0

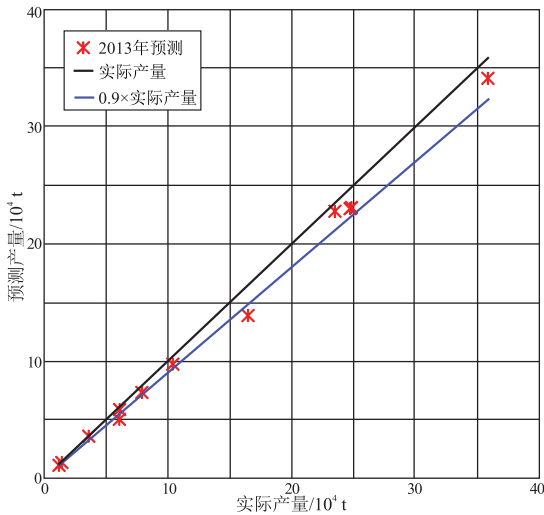


图 1 A 油田预测产量与实际产量分布

Fig.1 Comparison of forecast and real petroleum production of oil field A

表 2 是递减率判别系数和预测/实际产量比结果。图 2 是本应用实例的油田中油气单元的递减率判别系数与预测/实际产量比的分布图。以下根据表 2 和图 2 加以阐述。

表 2 A 油田递减率判别系数和预测/实际产量比结果

Table 2 Forecasting decline rate coefficient and forecasting/real production ratio of oil field A

油田/单元	评估年递减率 (转换后)/%	递减率判别系数	预测/实际产量比
A 油田	6.12	0.01	0.93
A1	8.04	-0.10	0.93
A2	8.45	-0.54	1.00
A3	5.03	-0.08	0.93
A4	5.03	0.15	0.96
A5	6.66	-0.81	0.94
A6	6.35	0.58	0.93
A7	6.32	0.13	0.94
A8	8.45	-0.01	0.84
A9	7.19	0.38	0.83
A10	5.50	0.08	0.96
A11	5.50	0.15	0.95
A12	5.55	-0.61	0.97

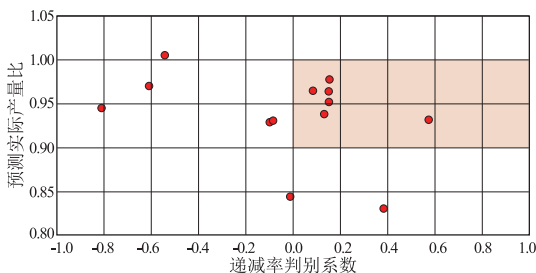


图 2 A 油田递减率判别系数与预测/实际产量比分布

Fig.2 Forecasted decline rate coefficient and forecasted/real production ratio of oil field A

从“线”的角度看,A 油田递减率判别系数的数值为 0.01,处于 0 和 1 之间,则确定油田预测油气产量的评估递减率处于递减率的匹配区间范围内。

从“面”的角度看,A 油田 12 个单元中,10 个单元预测油气产量与总产量之比在 0.9~1 之间,单元比例 83%。从递减率判别系数角度看,递减率判别系数仅有 6 个单元在 0~1 之间,占有单元的 50%。真正产量判别系数与递减率判别系数均合理的评估单元仅有 5 个,占单元比例的 42%。因此,合理评估仍有一定的提升空间,同时对欠合理的评估单元要加强跟踪分析、评价。

从总体评价看,由于 A 油田预测油气产量处于油气预设产量匹配区间范围内,且油田转换后的评估递减率处于递减率的匹配区间范围内,因此确定油田预测油气储量总体合理。在 2014 年的储量评估过程中,对误差较大的单元的评估参数进行了进一步调整优化。

在实际评估中,理想的情况是油田和所有单元预测油气产量、正生产产量和未生产产量预测均合理。这种情况较难做到,要在尽可能保证油田预测油气产量合理的情况下,合理选取分单元初始产量和评估递减率等各项参数。对于预测油气储量不合理的单元,要结合开发实际分析不合理的主要原因,在下步工作中合理调整修正,使所有单元预测油气产量和所有参数预测合理。

3 结论

(1) 证实储量评估结果受多种因素的影响,存在不确定性,通过开展储量评估结果的合理性检验,可为评估参数的优化提供依据。

(2) 评估采用的递减率与实际自然、综合递减率进行对比,可以为递减率的优化提供依据,但是由于二者的计算方法不一致,因此在对比时应进行转换。

(3) 利用储量状态与产量之间的对应关系,可从“点、线、面”3 个方面检验储量评估结果的合理性:一是从“点”的角度,即单个评估单元或评估单元集合体预测的第一年产量和实际产量进行对比;二是从“线”的角度,即单个评估单元或评估单元集合体的递减率与自然和综合递减率进行对比;三是从“面”的角度,将多个评估单元的预测年产量与实际产量、递减率与自然和综合递减率以及递减率判别系数和产量判别系数(预测年产量与实际年产量之比)放在图上进行综合对比。

参考文献:

- [1] 全国国土资源标准化技术委员会.石油天然气资源/储量分类:GB/T 19492-2004[S].北京:中国标准出版社,2004.
National Technical Committee on Land and Resources of Standardization Administration of China. Classifications for petroleum resources/reserves:GB/T 19492-2004[S]. Beijing: Standards Press of China,2004.
- [2] 王永祥,张君峰,段晓文.中国油气资源/储量分类与管理体系统[J].石油学报,2011,32(4):645-651.
Wang Yongxiang,Zhang Junfeng,Duan Xiaowen.A classification and management system of petroleum resources/reserves in China[J]. Acta Petrolei Sinica,2011,32(4):645-651.
- [3] U S Securities and Exchange Commission (SEC).SEC final rule: Modernization of oil and gas reserves reporting[Z].Federal Register,FR,2009,74(9).
- [4] Lee W J.Modernization of the SEC oil and gas reserves reporting requirements[J].SPE Economics & Management,2009,1(1):4-10.
- [5] Society of Petroleum Engineers (SPE).Petroleum resources management system[Z].2007.
- [6] Society of Petroleum Engineers (SPE).Guidelines for application of the petroleum resources management system[Z].2011.
- [7] Society of Petroleum Evaluation Engineers (Calgary Chapter) and Canadian Institute of Mining, Metallurgy & Petroleum (Petroleum Society), Canadian oil and gas evaluation handbook [Z]. 2nd ed.2007.
- [8] 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.The principles for estimating proven reserves following SEC standards [J]. Acta Petrolei Sinica,2004,25(2):19-24.
- [9] 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 & gas reserves[M]. Beijing:Petroleum Industry Press,2004.
- [10] Cronquist C.国外油气储量评估分级理论与应用指南[M].刘合年,吴蕾,罗凯,译.北京:石油工业出版社,2004.
Cronquist C.Estimation and classification of reserves of crude oil, natrual gas, and condensate[M].Liu Henian, Wu Lei, Luo Kai, trans.Beijing:Petroleum Industry Press,2004.
- [11] Petroleum Society of the Canadian Institute of Mining, Metallurgy and Petroleum.油气储量评估方法[M].2版.王永祥,张君峰,毕海滨,等,译.北京:石油工业出版社,2012.
Petroleum Society of the Canadian Institute of Mining, Metallurgy and Petroleum.Determination of oil and gas reserves[M].2nd ed. Wang Yongxiang, Zhang Junfeng, Bi Haibin, et al, trans. Beijing:Petroleum Industry Press,2012.
- [12] 陈元千,周翠.中国《页岩气资源/储量计算与评价技术规范》计算方法存在的问题与建议[J].油气地质与采收率,2015,22(1):1-4.
Chen Yuanqian,Zhou Cui.Problems and recommendations for the regulation of shale gas resources/reserves estimation in China[J]. Petroleum Geology and Recovery Efficiency,2015,22(1):1-4.
- [13] 李陈,夏朝辉,汪萍,等.致密气藏储量评价新方法[J].特种油气藏,2015,22(5):107-109.
Li Chen,Xia Zhaohui,Wang Ping,et al.Newmethod for estimating the reserves of tight gas reservoir[J].Special Oil & Gas Reservoirs,2015,22(5):107-109.
- [14] 秦伟军,付兆辉.油气预测储量区块升级评价方法[J].石油实验地质,2015,37(1):117-123.
Qin Weijun, Fu Zhaohui. Improving evaluation of predicted hydrocarbon reserve zones [J]. Petroleum Geology & Experiment,2015,37(1):117-123.
- [15] 张中华,周继涛.油气藏最小商业储量规模计算方法[J].石油与天然气地质,2015,36(1):148-153.
Zhang Zhonghua, Zhou Jitao. Calculation of the minimum commercial reserves of petroleum reservoirs[J]. Oil & Gas Geology, 2015,36(1):148-153.
- [16] 毕海滨,查全衡,王永卓.提高储量评估水平的三大地质要素[J].石油学报,2004,25(1):25-29.
Bi Haibin,Zha Quanheng,Wang Yongzhuo.Three geological factors for improving estimation quality of original oil in place[J].Acta Petrolei Sinica,2004,25(1):25-29.
- [17] Vega G, Cellamare V, Riart F. Data reinterpretation by multidisciplinary team increases gas and condensate reserves in eastern Venezuela; SPE International Petroleum Conference and Exhibition in Mexico, Villahermosa, Mexico, 1-3 February [C]. Villahermosa; Society of Petroleum Engineers, 2000.
- [18] Masoner L O. A decline-analysis technique incorporating corrections for total fluid-rate changes [J]. SPE Reservoir Evaluation & Engineering, 1999, 2(6):533-541.
- [19] Idrobo E A, Jimenez E A, Bernal M C. A new tool to make quick estimates of probabilistic reserves from production trends; SPE Hydrocarbon Economics and Evaluation Symposium, Dallas, Texas, USA, 2-3 April [C]. Dallas: Society of Petroleum Engineers, 2001.
- [20] Mishra S. Alternatives to Monte-Carlo simulation for probabilistic reserves estimation and production forecasting; SPE Annual Technical Conference and Exhibition, New Orleans, Louisiana, USA, 27-30 September [C]. New Orleans; Society of Petroleum Engineers, 1998.
- [21] Fanchi J R, Christiansen R L, Heymans M J. An improved method for estimating oil reserves in oil/water transition zones; SPE/DOE Improved Oil Recovery Symposium, Tulsa, Oklahoma, USA, 3-5 April [C]. Tulsa; Society of Petroleum Engineers, 2000.
- [22] Currie A M, Ilk D, Blasingame T A, et al. Application of the "continuous estimation of ultimate recovery methodology" to estimate reserves in unconventional reservoirs; Canadian Unconventional Resources and International Petroleum Conference, Calgary, Alberta, Canada, 19-21 October [C]. Calgary, Alberta: Society of Petroleum Engineers, 2010.
- [23] Rietz D C, Usmani A H. Case studies illustrating the use of reservoir simulation results in the reserves estimation process [J]. SPE Reservoir Evaluation & Engineering, 2009, 12(1):149-158.
- [24] Currie S M, Ilk D, Blasingame T. Continuous estimation of ultimate recovery, SPE Unconventional Gas Conference, Pittsburgh,

- Pennsylvania, USA, 23–25 February [C]. Pennsylvania; Society of Petroleum Engineers, 2010.
- [25] Pratikno H, Rushing J A, Blasingame T A. Decline curve analysis using type curves-fractured wells; SPE Annual Technical Conference and Exhibition, Denver, Colorado, USA, 5-8 October [C]. Denver; Society of Petroleum Engineers, 2003.
- [26] Christiansen R L, Heymans M J, Fanchi J R. Estimating oil reserves in oil-water transition zones; SPE Asia Pacific Conference on Integrated Modelling for Asset Management, Yokohama, Japan, 25-26 April [C]. Yokohama; Society of Petroleum Engineers, 2000.
- [27] Blasingame T A, Ilk D, Reese P D. Estimation of reserves using the reciprocal rate method; Rocky Mountain Oil & Gas Technology Symposium, Denver, Colorado, USA, 16–18 April [C]. Colorado; Society of Petroleum Engineers, 2007.
- [28] Fan Li, Martin R, Sehbi B S, et al. A unique workflow for reserve evaluation in Lower Vicksburg sands; Hydrocarbon Economics and Evaluation Symposium, Dallas, Texas, USA, 1–3 April [C]. Texas; Society of Petroleum Engineers, 2007.
- [29] Lyford P A, Cibich W H, Chipperfield S T, et al. Development and application of an improved workflow for developed reserve forecasting; SPE Asia Pacific Oil and Gas Conference and Exhibition, Brisbane, Queensland, Australia, 18–20 October [C]. Queensland; Society of Petroleum Engineers, 2010.
- [30] 赵庆飞. 储采比在勘探开发中的应用[J]. 新疆石油地质, 2003, 24(6): 569–571.
Zhao Qingfei. Application of reserve-production ratio in exploration and development [J]. Xinjiang Petroleum Geology, 2003, 24(6): 569–571.
- [31] 凡哲元. 油田储量替代率与稳产的关系[J]. 油气地质与采收率, 2008, 15(4): 78–80.
Fan Zheyuan. Relationship of reserve replacement ratio and stabilized production in oilfields [J]. Petroleum Geology and Recovery Efficiency, 2008, 15(4): 78–80.
- [32] 张玲, 李军, 卢泉杰, 等. 概率统计法在页岩气储量静态评估中的应用[J]. 石油实验地质, 2016, 38(1): 141–146.
Zhang Ling, Li Jun, Lu Quanjie, et al. Probabilistic method applied to the static evaluation of shale gas reserves [J]. Petroleum Geology & Experiment, 2016, 38(1): 141–146.
- [33] 杨双, 闫相宾, 刘志鹏, 等. 多层圈闭资源量计算方法研究: 以两层圈闭为例[J]. 石油实验地质, 2016, 38(5): 698–702.
Yang Shuang, Yan Xiangbin, Liu Zhipeng, et al. Resource calculation methods for multilayer traps: Case study of two-layer traps [J]. Petroleum Geology & Experiment, 2016, 38(5): 698–702.
- [34] 常立言, 李雅琼. 油藏可采储量计算方法及软件设计[J]. 断块油气田, 2015, 22(2): 210–213.
Chang Liyan, Li Yaqiong. Calculation method of recoverable reserves and software design [J]. Fault-Block Oil and Gas Field, 2015, 22(2): 210–213.
- [35] 罗晓敏. SEC 动态储量评估方法在致密特低渗气田中的应用: 以鄂尔多斯盆地大牛地气田为例[J]. 石油与天然气地质, 2016, 37(2): 276–279.
Luo Xiaomin. Application of SEC dynamic reserves evaluation method in extra-low permeability and tight gas reservoir: A case from Daniudi gasfield, Ordos Basin [J]. Oil & Gas Geology, 2016, 37(2): 276–279.
- [36] 张玲, 魏萍, 肖席珍. SEC 储量评估特点及影响因素[J]. 石油与天然气地质, 2011, 32(2): 293–301.
Zhang Ling, Wei Ping, Xiao Xizhen. Characteristics and their influential factors of SEC reserve evaluation [J]. Oil & Gas Geology, 2011, 32(2): 293–301.
- [37] 王树华, 魏萍. SEC 储量动态评估与分析[J]. 油气地质与采收率, 2012, 19(2): 93–94.
Wang shuhua, Wei Ping. SEC reserves dynamic evaluation and analysis [J]. Petroleum Geology and Recovery Efficiency, 2012, 19(2): 93–94.
- [38] 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.
- [39] 李陈, 夏朝辉, 汪萍, 等. 平均递减指数在致密气储量评价中的应用[J]. 特种油气藏, 2015, 22(2): 105–107.
Li Chen, Xia Chaohui, Wang Ping, et al. Application of average decline index in reserves estimation of tight gas reservoirs [J]. Special Oil & Gas Reservoirs, 2015, 22(2): 105–107.
- [40] 孙华超, 夏朝辉, 李陈, 等. 技术经济最优配置的采气速度优化[J]. 断块油气田, 2015, 22(3): 361–363.
Sun Huachao, Xia Chaohui, Li Chen, et al. Optimization of reasonable gas offtake rate considering technical and economic factors [J]. Fault-Block Oil and Gas Field, 2015, 22(3): 361–363.
- [41] 朱圣举, 张皎生, 安小平. 剩余可采储量采油速度与 Arps 递减规律关系[J]. 特种油气藏, 2016, 23(4): 105–108.
Zhu Shengju, Zhang Jiaosheng, An Xiaoping. Relation between recovery rate of residual recoverable reserves and Arps decline [J]. Special Oil & Gas Reservoirs, 2016, 23(4): 105–108.
- [42] 熊敏, 李光, 张勇. 油田配产中年递减率与月递减率相互关系的研究[J]. 石油勘探与开发, 1994, 21(2): 62–65.
Xiong Min, Li Guang, Zhang Yong. Relationship between the yearly production declining rate and the monthly declining rate of an oil field [J]. Petroleum Exploration and Development, 1994, 21(2): 62–65.

(编辑 韩 彧)