

油气预测储量区块升级评价方法

秦伟军, 付兆辉

(中国石化石油勘探开发研究院, 北京 100083)

摘要:以油气预测储量区块为研究对象,以优选区块升级为目的,提出了升级性评价方法、升级率评价方法、经济评价方法及综合评价方法。研究提出:升级难易程度指数值用于升级性定量评价;升级概率值用于升级率评价;贴现现金流法计算的储量价值用于经济评价。综合评价则利用升级难易程度指数值、升级概率值、经济价值“一维排队,三维优选”。利用综合评价值,将预测储量区块分为可升级并获得大、中、小规模储量区块,可升级并获得中小规模储量区块,需要评价研究升级的储量区块,暂不升级的储量区块 4 类,便于勘探决策。

关键词:升级评价;油气预测储量区块;油气储量计算

中图分类号:TE15

文献标识码:A

Improving evaluation of predicted hydrocarbon reserve zones

Qin Weijun, Fu Zhaohui

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

Abstract: Predicted hydrocarbon reserves were studied, and four evaluation methods for improving reserve estimates were proposed, including possibility evaluation, upgrading rate evaluation, economic evaluation and comprehensive evaluation. A difficulty index was used to evaluate the possibility of reserve upgrading. Reserve upgrading probability calculation and test were used to evaluate the upgrading rate. A discounted cash flow method was applied in the economic evaluation. The difficulty index, probability calculation and economic methods were jointly used in the comprehensive evaluation. The predicted hydrocarbon reserve blocks were classified into four types according to the comprehensive evaluation, including the blocks with large or medium potential for upgrading, the blocks with medium or small potential for upgrading, the blocks remaining for evaluation, and the blocks not to upgrade at present.

Key words: upgrading evaluation; predicted hydrocarbon upgrading block; hydrocarbon reserve calculation

预测储量是油公司资产的重要组成部分,但从资源系列结构上看,它又只是由资源转化为探明储量和产量的中间产物。预测储量发现后,能否升级、能升多少、价值如何,如何进行升级决策,一直是勘探决策者关心的问题。开展该领域研究,现实意义重大。

1 预测储量及相关要素

预测储量是指预探井钻探获得油气流或综合分析有油气层存在,根据区域地质条件分析和类比,对可能存在的油气藏估算的储量^[1]。

与预测储量相关的要素包括 3 方面:一是储量本身的内在要素,即储量规模与品位;二是储量所处的外部环境要素,即油气藏地质条件;三是储量的经济要素。

1.1 储量规模与品位

1.1.1 储量规模与评价标准

所谓储量规模就是指单个独立的油气藏发现储量的大小。储量规模的大小决定了开发方案的设计和开采的经济效益^[2-5]。储量规范中依据规模大小^[6],将油(气)田分为 5 类:特大型、大型、中型、小型和特小型(表 1)。

表 1 储量规模分类

Table 1 Classification of reserve scale

分类	原油可采储量/ 10^4 m^3	天然气可采储量/ 10^8 m^3
特大型	$\geq 25\ 000$	$\geq 2\ 500$
大型	$2\ 500 \sim < 25\ 000$	$250 \sim < 2\ 500$
中型	$250 \sim < 2\ 500$	$25 \sim < 250$
小型	$25 \sim < 250$	$2.5 \sim < 25$
特小型	< 25	< 2.5

1.1.2 储量品位与评价标准

(1) 储量丰度与评价标准: 储量丰度也是储量评价的重要指标之一。储量规模仅仅反映油气藏(田)储量大小, 而储量丰度更能反映储量的品质。储量规范中将储量丰度由高到低分为 4 等: 高丰度、中丰度、低丰度、特低丰度(表 2)。

(2) 储量产能与评价标准: 储量产能是储量评价的重要指标之一, 指油(气)藏(田)千米井深日稳定产量, 综合反映了储量的品质。储量规范中将产能分为 4 类: 高产、中产、低产和特低产(表 3)。

(3) 埋藏深度分类与评价标准: 按照储量的埋藏深度由浅到深分为 5 类: 浅层(<500 m)、中浅层(500~<2 000 m)、中深层(2 000~<3 500 m)、深层(3 500~<4 500 m)、超深层($\geq 4 500$ m)。

(4) 储层物性分类与评价标准: 储层孔隙度分为 5 类: 特高孔、高孔、中孔、低孔、特低孔; 渗透率也分 5 类: 特高渗、高渗、中渗、低渗、特低渗(表 4)。

除此之外还有含硫量和原油性质。

1.2 储量地质条件

油气藏地质条件反映了油气储量所处的地质环境。主要有油气藏的外部形态、内部结构以及所

处的资源丰度背景^[7]。

外部形态就是含油气地质体的构造形态, 可以用圈闭类型特征来描述。内部结构就是储集体的结构特征, 可用沉积与储层类型来描述。资源背景则是指油气藏所处区带的资源富集程度, 可用资源丰度来描述。

1.3 储量价值

储量价值有多种表现形式, 经济价值是储量价值一种直观常用的表达方法^[8-12]。

对以“经济效益为中心”的油气资源企业, 储量本身就是核心资产, 作为资产就必然有价值。油气储量资产价值是储量商品化中的基本市场价格, 它不能以勘探开发中的投入来确定储量的价值, 而是以在未来的开发生产中, 某块油气储量将带来的收益决定油气储量的价值。可以用现金流评价方法, 对预测储量预期升级为可采储量, 根据开发初步设计方案进行投资估算、成本测算与财务评价分析, 确定储量价值。

根据经济评价结果的绝对值大小, 可分为净现值大于等于零的有效益储量和净现值小于零的无效益储量。

2 预测储量升级评价

预测储量升级评价涉及到 3 方面问题: 储量区块能否升级(可升级性评价); 能升多少(升级率评价); 价值如何(经济评价)。

2.1 可升级性评价方法

2.1.1 影响升级性因素分析

预测储量升级性即预测储量升级的难易程度。一般品位高的储量, 已有较多的钻井、地震及研究资料支持, 就能实现储量升级, 反之则要投入较多的工作才能升级甚至仍不能升级。影响储量升级的难易程度因素有以下几类: ①储量品位指标。对储量升级难易程度影响较大的有丰度、产能、埋深、物性指标等, 如产能高的储量易升级。②储量地质条件。主要有油气藏圈闭类型、储层类型和储量区块所外区带的资源丰度背景等, 如背斜构造砂岩油

表 2 储量丰度分类

Table 2 Classification of reserve abundance

分类	原油可采储量丰度/ ($10^4 \text{ m}^3 \cdot \text{km}^{-2}$)	天然气可采储量丰度/ ($10^8 \text{ m}^3 \cdot \text{km}^{-2}$)
高丰度	≥ 80	≥ 8
中丰度	25~<80	2.5~<8
低丰度	8~<25	0.8~<2.5
特低丰度	<8	<0.8

表 3 储量产能分类

Table 3 Classification of productivity

分类	油藏千米井深稳定产量/ [$\text{m}^3 \cdot (\text{km} \cdot \text{d})^{-1}$]	气藏千米井深稳定产量/ [$10^4 \text{ m}^3 \cdot (\text{km} \cdot \text{d})^{-1}$]
高产	≥ 15	≥ 10
中产	5~<15	3~<10
低产	1~<5	0.3~<3
特低产	<1	<0.3

表 4 储层孔隙度和渗透率分类

Table 4 Classification of reservoir porosity and permeability

分类	孔隙度/%		空气渗透率/ $10^{-3} \mu\text{m}^2$	
	碎屑岩	非碎屑岩基质	油藏	气藏
特高	≥ 30		$\geq 1 000$	≥ 500
高	25~<30	≥ 10	500~<1 000	100~<500
中	15~<25	5~<10	50~<500	10~<100
低	10~<15	2~<5	5~<50	1.0~<10
特低	<10	<2	<5	<1.0

藏储量升级性就好。③储量参数的确定方法。储量参数的确定有单井评价参数法、圈闭精细描述法和类比法等 3 种,如单井评价参数法确定的储量参数最可靠,储量升级难易程度最小。④储量规模与工程技术适度性。储量规模大,对决策者吸引力越强;工程技术适度性强,储量越易升级。

2.1.2 升级性评价方法

储量升级性是定性指标,引用升级难易程度指数(用 K 表示)对其定量评价。

由于影响储量升级性的因素很多,各因素影响强度差异较大,不完全独立,多表现出相互关联性。因此选用主评因素、辅评(背景)因素、关联因素进行升级难易程度指数评价。

主评因素是指对储量升级性有决定性影响的因素,如储量品位。主评因素基本决定了储量的升级难易程度,设置的权重值要大;辅评(背景)因素主要是指对储量升级性有一定程度影响的因素,主要是储量所处的地质条件(背景条件),如油气藏的圈闭类型、储层类型^[13-17];关联因素是指对储量升级性有关联作用的影响因素,如储量所属区带的油气富集程度、储量参数的确定方法、工程技术适应性等。辅评(背景)因素和关联因素只是对储量

升级难易程度有一定影响,因此设置的权重值要小(表 5)。

对每个评价因子建立赋值标准进行赋值,标准如表 6。评价因素评价价值计算公式(式 1)及升级难易程度指数计算公式(式 2)如下:

$$k = \sum_{i=1}^m a_i f_i \quad (1)$$

式中: k 表示评价因素评价价值; f 表示因子评价价值; a 表示因子权重值。

表 5 预测储量升级性评价因素及权重值设置
Table 5 Evaluation factors of reserve upgrading prediction and weight value set

影响因素分类	评价因素(权重值)	评价因子	权重值
主评因素	储量品位(0.6)	产能	0.4
		丰度	0.3
		物性	0.3
背景(辅评)因素	地质条件(0.2)	油气藏(圈闭)类型	0.5
		储层类型	0.5
关联因素	关联因素(0.2)	储量规模	0.2
		区带油气富集程度	0.2
		储量参数确定方法	0.2
		深度	0.2
		工程技术适应性	0.2

表 6 预测储量升级性评价因子赋值标准

Table 6 Assignment standards for evaluation factors of reserve upgrading prediction

评价因素	评价因子	标准及赋值	一级	二级	三级	四级	权系数(b)
储量品位	产能	评价标准输入值	高产 1	中产 0.75	低产 0.5	特低产 0.25	0.4
	丰度	评价标准输入值	高 1	中 0.75	低 0.5	特低 0.25	0.3
	物性	评价标准输入值	储层孔隙度、 渗透率特高 1	储层孔隙度、 渗透率高 0.75	储层孔隙度中、 渗透率中—低 0.5	储层孔隙度低、 渗透率特低 0.25	0.3
地质条件	油气藏(圈闭)类型	评价标准输入值	构造 1	构造—地层, 构造—岩性 0.75	地层、岩性及其他 0.5		0.5
	储层类型	评价标准输入值	砂岩 1	砾岩、碳酸盐岩 0.75	其他 0.5		0.5
关联因素	储量规模	评价标准输入值	特大—大 1	中 0.75	小 0.5	特小 0.25	0.2
	区带油气富集程度(油气资源丰度/ $10^4 \text{ t} \cdot \text{km}^{-2}$)	评价标准输入值	>20 1	20~10 0.75	10~5 0.5	<5 0.25	0.2
	储量参数确定方法	评价标准输入值	单井评价 1	圈闭描述 0.75	类比 0.5		0.2
	深度	评价标准输入值	浅层—中浅层 1	中深层 0.75	深层 0.5	超深层 0.25	0.2
	工程技术适应性	评价标准输入值	常规技术 1	常规技术需改进 0.75	非常规技术 0.5		0.2

$$K = \sum_{j=1}^n b_j k_j \quad (2)$$

式中: K 表示升级难易程度指数; b 表示评价因素权重值。

计算出的 K 值在 0~1 之间, K 值越大, 表示升级性越好, 反之越差。根据 K 值大小将预测储量分为 4 级: $K \geq 0.75$, 储量易升级; K 在 0.75~0.5 之间, 储量较易升级; K 在 0.5~0.25 之间, 储量较难升级; $K < 0.25$, 储量极难升级。据此可以用 K 值进行预测储量升级分类、排队。

2.2 升级率评价方法

储量升级性反映的是升级难易程度, 而升级率反映的是升级量的大小。预测储量升级率指的是预测储量升级为控制储量的比例。储量升级前, 需要对升级率进行预测。故引进概率学概念, 用升级概率 (P) 来表达。储量升级后, 可用实际发生的升级率对升级概率进行检测。

预测储量升级概率, 一是与资料达到升控制储量的资料程度, 特别是与井控程度有关^[18-21]。如果已达到提交控制储量的井控程度, 预测储量升级概率理论上为 100% (预测储量就是控制储量, 可形象称为“高质低报”); 二是与储量计算的 3 个关键参数 (含油 (气) 面积、有效厚度、有效孔隙度) 的

精确度有关。计算储量的关键参数越接近地下的真实情况, 概率越高, 储量的升级概率越大。4 种因素逻辑上是独立关系, 用 4 种因素同时发生的各自概率的乘积表示预测储量升级概率。升级概率越大, 预测储量升控制越多。

$$P = \prod P_i$$

式中: P 表示预测储量升级概率; P_i 表示单项因素存在的概率, P_1 、 P_2 、 P_3 、 P_4 分别代表井控程度条件、油 (气) 面积条件、有效厚度条件和有效孔隙度条件。

对每个因素建立赋值标准进行赋值 (表 7)。

升级概率的有效性校验方法: 利用盆地、区带、油 (气) 藏的预测储量升级率对预测储量升级概率进行真实性检验。理论上没有升级率为 0 的储量区块, 因为即使所有评价井落空, 含油 (气) 面积将大大缩小, 但发现井井区仍有极少量升级的储量。由于现实中多对含油 (气) 面积、油 (气) 层有效厚度有较乐观的预测, 加之油 (气) 层有效厚度的变化对圈定计算储量的面积参数影响较大, 一般预测储量升级概率大于预测储量升级率^[22-24]。二者对照值如表 8。

表 7 预测储量升级概率评价因素赋值标准

Table 7 Assignment standards for evaluation factors of reserve upgrading probability prediction

因素	标准及赋值	一级	二级	三级	四级
井控程度 (井距) 条件	标准	背斜油气藏 ≤ 3 km, 大面积碎屑岩岩性油气藏 ≤ 3 km; 大面积碳酸盐岩岩性、岩溶油气藏 ≤ 4 km; 其他油气藏 ≤ 2 km	背斜油气藏 ≤ 4 km, 大面积碎屑岩岩性油气藏 ≤ 4 km; 大面积碳酸盐岩岩性、岩溶油气藏 ≤ 5 km; 其他油气藏 ≤ 3 km	背斜油气藏 > 4 km, 大面积碎屑岩岩性油气藏 > 4 km; 大面积碳酸盐岩岩性、岩溶油气藏 > 5 km; 其他油气藏 > 3 km	新区: 储量块内仅 1 口或极少量井; 老区: 储量块内无井或仅 1 口井
	输入值	1	0.75	0.5	0.25
油 (气) 面积条件	标准	依据钻遇油 (气) 水界面、或测井解释油 (气) 水界面、或同一油气藏的探明储量区向外推测的油 (气) 水界面圈定的面积	依据井距外推, 在井区外超过半个井距 (约 2 km) 圈定的面积	依据井距外推, 在井区外超过 1 个井距 (约 4 km) 圈定的面积	依据推测的油 (气) 水界面、圈闭溢出点、油气遮挡边界圈定的面积
	输入值	1	0.75	0.5	0.25
有效厚度条件	标准	采用取心、测试井的资料确定的有效厚度。用取心、测试井资料建立的有效厚度标准图版符合率大于 80%	采用测试井的资料确定的有效厚度。用测试井资料建立的有效厚度标准图版符合率大于 60%	采用取心井的资料确定的有效厚度。用取心井资料建立的有效厚度标准图版符合率大于 40%	新区采用测井和录井资料确定的有效厚度; 老区采用邻区类似的油 (气) 藏资料确定的有效厚度
	输入值	1	0.75	0.5	0.25
有效孔隙度条件	标准	采用岩心实测或测井解释确定的有效孔隙度。测井解释孔隙度与岩心实测孔隙度误差小于 8%	采用岩心实测或测井解释确定的有效孔隙度。测井解释孔隙度与岩心实测孔隙度误差小于 30%	采用测井解释确定的有效孔隙度	新区采用测井解释确定的有效孔隙度; 老区采用邻区类似的油 (气) 藏资料确定的有效孔隙度
	输入值	1	0.75	0.5	0.25

表8 预测储量升级概率与预测储量升级率对照值

Table 8 Predicted reserve upgrading probability vs. predicted reserve upgrading rate

预测储量升级概率	预测储量升级率
0.2~0.4	0.25
0.4~0.6	0.45
0.6~0.8	0.65
0.8~1	0.85

2.3 经济评价方法

对于已有预测储量的油气藏勘探目标,应用常规经济评价方法,即贴现现金流法(收入预测法)进行经济评价。贴现现金流法通常也称为收入预测法,这类方法基于对未来的收入进行预测的基础上。使用这类方法可以使投资者用一个统一的投资标准来比较在石油工业中的投资和在其他领域的投资。

该方法是利用在目标内部收益率下未来从待评价的储量中获得的现金流的净现值确定储量市场价值。即:油气储量价值=NPV

$$NPV = \sum_{t=1}^n (CI - CO)_t \times (1 + TIRR)^{-t}$$

式中:CI为第t年的现金流入;CO为第t年的现金流出;TIRR为目标内部收益率;n为计算年限。

该方法的优点是它考虑了所有预测的生产因素,以及包括通货膨胀在内的所有预测的经济因素。影响储量价格计算结果的因素比较复杂,比如储量本身的质量、油价以及所处的地理环境等都会对其产生重大影响。但总的来说可以归纳为技术因素、经济因素和政治因素三类,其中技术因素在储量升级性评价中已有体现。

2.4 综合评价优选决策

预测储量区块综合评价采用三因素法“一维排队,三维优选”的模型进行优先决策。“一维排队”指的是用单指标:预测储量能否升级的“质”指标——升级难易程度指数(K)、预测储量升多少的“量”指标——升级概率(P)、储量价值指标——经济价值(V)分别进行排队,为决策提供建议。“三维优选”指的是同时考虑K、P和V,开展分类评价优选,为决策提供建议。“三维优选”采用Ra排队原理(图1)进行。

坐标图上的x、y、z均在0~1之间变化。坐标图上的评价目标P距A点的距离越近,对评价目标P的评价就越高。用P点距A点远近的关系式Ra值作为排队系数。Ra计算式如下:

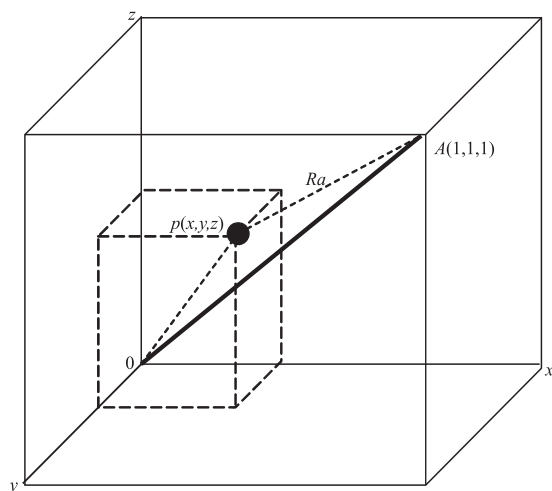


图1 Ra排队原理

Fig.1 Ra queuing principle

$$Ra = \sqrt{(1-x)^2 + (1-y)^2 + (1-z)^2}$$

Ra在0~1.73之间变化。就预测储量升级性综合评价而言,x为升级难易程度指数(K),y为升级概率(P),z为储量价值(V)。其中V需要作归一化处理。计算公式为:

$$V_i = \frac{V_i - V_{\min}}{V_{\max} - V_{\min}}$$

根据上式可求得Ra。求得Ra后,可以由地质专家给予人工干预,确定几个Ra界限值,按照给定的界限值,对预测储量区块进行分类统计,进一步综合排队。

预测储量区块分类统计一般分4类:Ⅰ类预测储量区块(Ra≤0.5),升级难易程度指数大,升级概率值大,经济价值大,升级吸引力大,是可升级并获得大中规模储量区块;Ⅱ类预测储量区块(0.5<Ra<1),升级难易程度指数较大,升级概率值较大,经济价值较大,升级吸引力较大,是可升级并获得中小规模储量区块;Ⅲ类预测储量区块(1<Ra<1.5),升级难易程度指数较大,升级概率值较大,但经济价值小;或是经济有规模价值,但升级难易程度系数小,升级概率值小,升级吸引力一般,是需要评价研究升级的储量区块;Ⅳ类预测储量区块(1.5<Ra<1.73),升级难度指数小,升级概率值小,经济价值小,升级无吸引力,是暂不升级的储量区块。

3 应用事例

3.1 单块预测储量评价价值计算事例

预测储量区块A:位于渤海湾盆地××凹陷。

该区块于 2012 年在古近系沙河街组四段一砂组提交含油面积 65.34 km^2 , 石油预测储量 $1\ 352 \times 10^4 \text{ t}$, 储量丰度 $20.7 \times 10^4 \text{ t/km}^2$, 技术可采储量 $256.88 \times 10^4 \text{ t}$, 储量规模属于中型油藏。储量参数是由单井评价参数确定的。油气藏(圈闭)类型为构造—岩性复合圈闭, 储层岩性为粉细砂岩; 储层孔隙度为 12%, 渗透率 $5.59 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$; 埋深 2 900 m。区带油气富集程度(油气资源丰度)达到 $13 \times 10^4 \text{ t/km}^2$, 储量区块资源背景好。该区块莱 87-斜 10 井初产日产 25.7 t, 其他井平均日产油 17.2 t。目前的工程技术已适应储量升级。根据储量地质条件与品位参数, 遵循上述赋值标准, 计算的升级难易程度指数 K 值为 0.68, 属于易升级储量。

同样, 参照升级难易程度指数 K 值计算方法, 利用升级概率计算、经济价值计算必须的参数, 计算的升级概率值和经济价值分别为 41% 和 57 317 万元。

总体上, 预测储量区块 A 属于易升级、升级概率值高、储量经济价值较大的区块。

3.2 多块预测储量评价优选事例

预测储量区块 A: 位于渤海湾盆地 $\times \times$ 凹陷。升级难易程度指数为 0.68, 升级概率值 46%, 经济价值 57 317 万元。

预测储量区块 B: 位于苏北盆地 $\times \times$ 凹陷。预测储量 $362 \times 10^4 \text{ t}$, 为低渗岩性油藏, 埋深 3 974 m。采用预测储量区块 A 同样的方法, 计算的升级难易程度指数为 0.58, 升级概率值为 25%, 经济价值为 23 306 万元。

预测储量区块 C: 鄂尔多斯盆地 $\times \times$ 勘探区块中。预测储量 $12\ 094.9 \times 10^4 \text{ t}$, 为特低渗岩性油藏, 埋深 2 678 m, 但需要技术攻关提高产能实现储量升级。采用预测储量区块 A 方法, 计算的升级难易程度指数为 0.29, 升级概率值为 18%, 经济价值为 40 310 万元。

储量价值归一化后, 预测储量区块 A 的 V_A 为 1; 预测储量区块 B 的 V_B 为 0, 预测储量区块 C 的 V_C 为 0.5。利用储量块的升级难易程度系数值、升级概率值、经济价值归一化值综合计算, 预测储量区块 A 的 R_A 为 0.63, B 的 R_B 为 1.32, C 的 R_C 为 1.19。三区块储量升级排队顺序为 A、C、B。其中区块 A 为可升级并获得中小规模预测储量区块, C 和 B 为需要评价研究升级的区块。

4 结论

(1) 影响预测储量升级性的主要因素是储量

品位, 重要因子是产能、丰度、物性指标。其他因素对储量升级性有影响, 影响程度相对小。储量升级性评价采用对主评因素、辅评(背景)因素、关联因素的因子赋值方法, 计算升级难易程度指数进行定量评价。

(2) 预测储量升级为控制储量的数量, 用预测储量升级概率来表达。预测储量升级概率与掌握的资料程度, 特别是井控程度、储量计算的 3 个关键参数(含油(气)面积、有效厚度、有效孔隙度)精确度有关。4 个参数逻辑上是独立关系, 概率的乘积表示预测储量升级概率。

(3) 经济价值是评价预测储量的重要指标。用贴现现金流量法(收入预测法)计算预测储量价值。

(4) 根据综合升级难易程度指数、升级概率值、经济价值, 将预测储量区块分为 4 类: I 类为可升级并获得大中规模储量区块; II 类为可升级并获得中小规模储量区块; III 类为需要评价研究升级的储量区块; IV 类为暂不升级的储量区块, 便于勘探部署决策。

参考文献:

- [1] GB/T 19492-2004 石油天然气资源/储量分类[S].北京:国家质量技术监督局, 2004: 1-6.
GB/T 19492-2004 Petroleum and natural gas resources/reserves division[S]. Beijing: State Bureau of Quality and Technical Supervision, 2004: 1-6.
- [2] 中华人民共和国石油天然气行业标准 SY/T5520-1996 圈闭评价技术规范[S].北京:中国标准出版社, 1996.
Petroleum and natural gas industry standards of People's Republic of China SY/T5520-1996 Technical specification for trap evaluation[S]. Beijing: China Standardization Press, 1996.
- [3] 郭元岭. 油气勘探发展基本规律[J]. 石油实验地质, 2013, 35(1): 72-75.
Guo Yuanling. Basic regularity of petroleum exploration development[J]. Petroleum Geology & Experiment, 2013, 35(1): 72-75.
- [4] 陈元千, 郝明强, 李飞. 油气资源量评估方法的对比与评论[J]. 断块油气田, 2013, 20(4): 447-453.
Chen Yuanqian, Hao Mingqiang, Li Fei. Comparison and review of estimating methods of oil and gas resources[J]. Fault-Block Oil & Gas Field, 2013, 20(4): 447-453.
- [5] 康永尚, 刁顺, 陈安霞, 等. 中外油气资源分类体系对比和资源潜力概念探讨[J]. 地球科学与环境学报, 2013, 35(1): 66-73.
Kang Yongshang, Diao Shun, Chen Anxia, et al. Comparison of domestic and foreign petroleum resource classification systems and discussion on resource potential concepts[J]. Journal of Earth Sciences and Environment, 2013, 35(1): 66-73.
- [6] 中华人民共和国地质矿产行业标准 DZ/T0217-2005 石油天然气储量计算规范[S].北京:中国标准出版社, 2005.
Geological mineral industry standard DZ/T0217-2005 of People's

- Republic of China, Specification for calculating oil and gas reserves[S]. Beijing: China Standardization Press, 2005.
- [7] 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.
- Jin Zhijun, Zhang Jinchuan. Oil and gas resource evaluation technology[M]. Beijing: Petroleum Industry Publishing House, 1999.
- [8] 魏萍, 张玲, 翟中喜, 等. SEC 石油储量替代率预测方法探讨[J]. 石油实验地质, 2013, 35(6): 702-706.
- Wei Ping, Zhang Ling, Zhai Zhongxi, et al. Forecasting methods of SEC reserves replacement rate[J]. Petroleum Geology & Experiment, 2013, 35(6): 702-706.
- [9] 张付兴. SEC 剩余经济可采储量影响因素分析[J]. 油气地质与采收率, 2013, 20(3): 95-97.
- Zhang Fuxing. Analysis on influencing factors of SEC reserves evaluation[J]. Petroleum Geology and Recovery Efficiency, 2013, 20(3): 95-97.
- [10] 卢广钦. SEC 剩余经济可采储量替代率与产量的关系及影响因素[J]. 油气地质与采收率, 2013, 20(3): 60-64.
- Lu Guangqin. Study on the relationship and influencing factors of replacement ratio and output on SEC remaining economic recoverable reserves[J]. Petroleum Geology and Recovery Efficiency, 2013, 20(3): 60-64.
- [11] 黄学斌, 魏萍, 郭鸣黎, 等. SEC 储量成本指标计算方法探讨[J]. 石油实验地质, 2014, 36(4): 506-510.
- Huang Xuebin, Wei Ping, Guo Mingli, et al. Discussion of cost index calculation method on SEC reserves[J]. Petroleum Geology & Experiment, 2014, 36(4): 506-510.
- [12] 衣艳静, 鲁兵, 原瑞娥, 等. 国际合作项目 SEC 储量评估特点及面临的问题[J]. 特种油气藏, 2014, 21(1): 7-11.
- Yi Yanjing, Lu Bing, Yuan Ruie, et al. Features of SEC reserves estimation and existing problems in international cooperation projects[J]. Special Oil & Gas Reservoirs, 2014, 21(1): 7-11.
- [13] Robert M O, Nahum S. A process for evaluating exploration prospects[J]. AAPG Bulletin, 1997, 81(7): 1087-1109.
- [14] Rose P R. Risk analysis and management of petroleum exploration ventures[M]. Tulsa: AAPG, 2001.
- [15] 郭秋麟, 米石云. 油气勘探目标评价与决策分析[M]. 北京: 石油工业出版社, 2004.
- Guo Qiulin, Mi Shiyun. Assessment of petroleum exploration target and exploration decisions[M]. Beijing: Petroleum Industry Press, 2004.
- [16] 宋建国, 张光亚. 勘探目标评价方法[J]. 世界石油工业, 1998, 5(8): 10-14.
- Song Jianguo, Zhang Guangya. Exploration target evaluation method[J]. Petroleum Industry in the World, 1998, 5(8): 10-14.
- [17] 李伟, 鲁雪松, 柳少波, 等. 随机模拟在油气资源评价中的应用[J]. 断块油气田, 2013, 20(4): 443-446.
- Li Wei, Lu Xuesong, Liu Shaobo, et al. Application of stochastic simulation in oil and gas resources assessment[J]. Fault-Block Oil & Gas Field, 2013, 20(4): 443-446.
- [18] White D A. Geologic risking guide for prospect and plays[J]. AAPG Bulletin, 1993, 77(12): 2048-2061.
- [19] 方小东, 郭元岭, 胡兴中. 油气勘探状态评价新方法[J]. 河南石油, 2005, 19(6): 6-8.
- Fang Xiaodong, Guo Yuanling, Hu Xingzhong. New evaluation method of petroleum exploration[J]. Henan Petroleum, 2005, 19(6): 6-8.
- [20] 邴绍献. 油田单井可采储量定量预测模型[J]. 油气地质与采收率, 2013, 20(1): 85-88.
- Bing Shaoxian. Quantitative forecasting model for recoverable reserves of single well[J]. Petroleum Geology and Recovery Efficiency, 2013, 20(1): 85-88.
- [21] 徐桂华, 伍松柏, 杨万芹, 等. 成熟探区探井“出油点”资源潜力分析[J]. 特种油气藏, 2014, 21(1): 56-58.
- Xu Guihua, Wu Songbo, Yang Wanqin, et al. Analysis of potential resources of the “Oil Seepage Points” in exploration wells of mature exploration area [J]. Special Oil & Gas Reservoirs, 2014, 21(1): 56-58.
- [22] 中国石油天然气总公司计划局及中国石油天然气总公司规划设计院. 石油工业建设项目经济评价方法与参数[M]. 2版. 北京: 石油工业出版社, 1994: 1-88.
- China National Petroleum Company and China National Petroleum Company Planning Bureau of Planning and Design Institute. Risk analysis on oil and gas resources evaluation method discussion [M]. 2nd ed. Beijing: Petroleum Industry Publishing House, 1994: 1-88.
- [23] 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. A discussion on method of risk analysis for oil and gas resources evaluation[J]. Yangtze University: Social Sciences, 2004, 27(1): 108-111.
- [24] 王强, 徐立恒, 陈践发. 川东北地区大中型气藏天然气特征及气源[J]. 石油与天然气地质, 2011, 32(6): 867-872.
- Wang Qiang, Xu Liheng, Chen Jianfa. Characteristics and origin of natural gas in large-and medium-sized gas reservoirs in north-east Sichuan Basin [J]. Oil & Gas Geology, 2011, 32(6): 867-872.

(编辑 徐文明)