

油气预探区带评价优选方法及其应用

刘超英, 闫相宾, 高山林, 闵 斌

(中国石化 石油勘探开发研究院, 北京 100083)

摘要:随着勘探的不断深入, 勘探目标评价已由盆地评价逐渐转移到以区带和圈闭为主的目标评价上。作为油气发现的主要勘探目标, 预探区带是实现效益勘探的重点目标。油气预探区带评价存在勘探程度低、评价参数多并难以量化等问题。基于勘探风险分析技术建立了“油气发现概率-资源战略价值”的预探区带评价模板, 提出了对应的评价参数、赋值标准、计算公式及结果分类标准, 实现了统一平台下的预探区带评价优选。利用该方法对四川盆地通南巴、鄂西-渝东、南江和川东南下组合及知新场-龙宝梁陆相等油气预探区带进行了评价优选, 指出了重点勘探方向。

关键词:评价模型; 资源战略价值; 油气发现概率; 区带评价; 预探区带

中图分类号: TE155

文献标识码: A

Play evaluation methods and their application in preliminary exploration

Liu Chaoying, Yan Xiangbin, Gao Shanlin, Min Bin

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

Abstract: With the increasing of exploration maturity, the focus of exploration target evaluation has gradually shifted from basins to plays and traps. As the major targets to hydrocarbon discovery, preliminary exploratory plays are the main targets to achieve exploration benefit. However, evaluation of preliminary exploration target is very challenging due to the low exploration maturity and multiple evaluation parameters which are difficult to quantify. Based on the principles of exploration risk analysis, this paper established the model of probability of hydrocarbon discovery-strategic value of resources for evaluation of preliminary exploratory plays, and provided relevant assessment parameters, assignment criteria, computational formula and results classification methods, making it possible to evaluate preliminary exploration target on an unified platform. Five preliminary exploration plays in the Sichuan Basin, such as Tongnanba, Exi-Yudong, Nanjiang, lower combination of southeast Sichuan and Zhixinchang-Longbaoliang, are selected and evaluated with this model.

Key words: evaluation model, strategic value of resources, probability of discovery, play evaluation, preliminary exploratory play

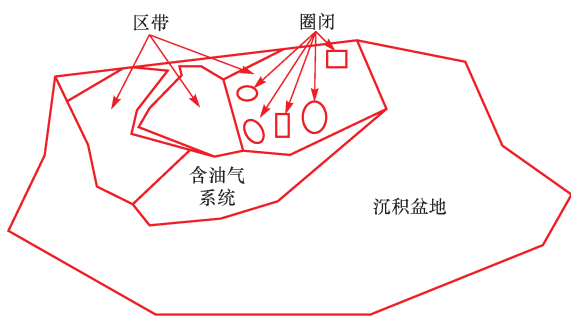
勘探目标优选可为油气勘探年度计划和中长期规划的制定提供科学依据。近年来, 随着勘探不断深入, 勘探程度逐渐加大, 勘探目标评价已由盆地评价逐渐转移至以含油气区带及圈闭为主的目标评价^[1]。国内的油气勘探也由过去的“侧重发现、轻视效益”逐步向“以区带勘探为主、以效益为目标”的项目管理过渡。油公司关注的重点不再是优选勘探评价哪些圈闭, 而是选择对哪些区带进行勘探。预探区带作为油气发现的主要勘探目标, 是实现效益勘探的重点评价目标, 对它的评价引起了越来越多地质学家的关注, 但其评价方法相对盆地和圈闭还较为薄弱^[2-4]。

预探区带勘探程度较低, 作为区带评价中的重要对象, 其勘探目的不同于评价及区域勘探区带^[5], 重点在于油气发现。因此, 该区带的评价参数及优选标准

也有别于其它类型区带。本文基于油气勘探风险分析技术结合预探区带勘探特点, 探讨了该类区带评价参数、评价方法与模型, 并以四川盆地5个预探区带为例进行了实例分析。

1 预探区带定义及划分

区带的定义和划分是区带评价及优选的基础, 国内外对其开展了不同层面的研究^[1,6-7], 本文将含油气区带定义为含油气盆地内由相似地质特征或成因联系的目标群组成的二、三级构造单元或沉积相带(图1), 其具有独特地质属性, 可以作为一个整体进行勘探部署并可能发现规模储量。区带的划分在平面上按照地质构造单元, 而在纵向上结合沉积相带进行划分。随着勘探程度的增加区带划分不断细化: 在勘探初期,

图1 区带关系示意图^[6]Fig. 1 Schematic diagram showing the relationship between basins, plays and traps^[6]

勘探目的层较为单一时,可以按照地质单元进行划分(如塔中地区北坡);随着勘探的逐步深入,划分不断细化(如东营凹陷南部缓坡带-沙河街组四段下亚段)。

国内外按照地质成因、风险评价和含油气情况等将含油气区带划分为不同的种类^[3,8]。研究中结合勘探程度和勘探目的,将含油气区带划分为评价、预探和区探三种类型^[5]。其中预探区带是指勘探程度中等或偏低,油气资源落实,已有油气发现但未形成产能或邻区已发现大中型油气田的区带。

2 预探区带评价方法及赋值标准

2.1 评价模板

预探区带勘探风险高,但具备潜在的资源及战略意义。评价预探区带需要重点考虑的因素是地质成藏因素、工程技术的适应性、资源潜力及战略意义等,如何将这关键要素进行定量表征并在统一平台上进行优选是技术难点所在。本文利用油气勘探风险分析技术^[9]原理,建立了针对油气预探区带评价优选的“油气发现概率-资源战略价值”方法:将预探区带的油气发现概率和资源战略价值作为评价指标,对预探区带进行评价、优选排队。其中区带的油气发现概率评价参数包括地质成藏关键因素(烃源岩、圈闭、储层、保存和油气配套史)及工程技术适用性,资源战略价值评价参数包括资源潜力、资源规模、勘探战略意义和探井成功率(图2)。

2.2 油气发现概率

由于受地质认识程度和资料限制,油气勘探中充满了风险和不确定性^[8]。风险意味着预期勘探与实际勘探的差异所产生的损失;而不确定性则更多地体现在地质因素的认知程度^[9]。对于油气勘探来说,成藏地质因素和工程技术措施都具有不确定性,研究中引入“油气发现概率”表征地质风险及工程技术的确定性,来反映油气勘探中可能发现油气的概率。

勘探的地质风险是勘探风险中最关键的问题,需要从区带的圈闭、储层、保存和油气充注等方面逐一

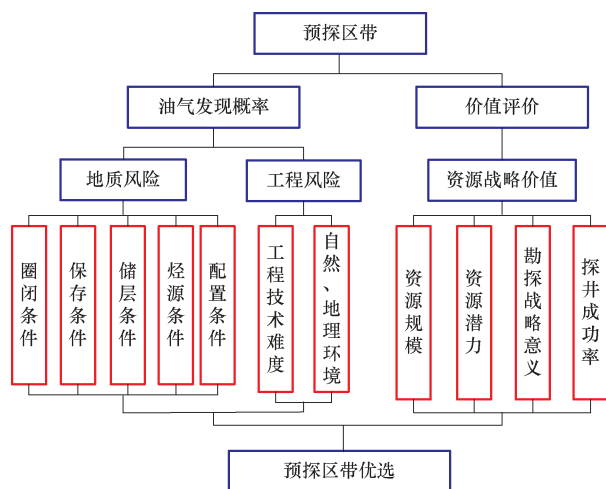


图2 预探区带评价模板

Fig. 2 Template for the evaluation of preliminary exploratory plays

析各个地质条件存在的可能性和有效性,并用概率值表示。根据概率论中“相互独立事件同时发生的概率等于他们各自发生概率的乘积”的原则,可用圈闭、储层、保存和油气充注四种因素各自发生概率的乘积表示地质风险^[8-10][公式(1)],含油气概率越大,地质风险越低。

$$P = \prod_{i=1}^4 P_i \quad (1)$$

式中: P 为区带含油气概率($0 \leq P \leq 1$); P_i 为单项成藏地质条件存在的概率($0 \leq P_i \leq 1$); P_1 为圈闭条件发生的概率; P_2 为保存条件发生的概率; P_3 为储层条件发生的概率; P_4 为油气充注条件发生的概率。

实际工作中,地质学家往往对评价对象的成藏地质条件的存在概率进行过高的估计,这就造成含油气概率普遍偏高。为降低地质评价中的人为因素影响,本研究中将勘探对象所处的勘探程度作为评价赋值约束条件之一。强调在评价单项成藏地质条件的存在概率赋值时,要根据评价资料质量、数量、来源(直接或间接)以及解释的把握性(确定没有、不确定、确定有),对应所属的高、中、低等3个勘探程度在0~1的区间内进行赋值(图3)。例如,预探区带其勘探程度为低勘探程度时,单项成藏地质条件的存在概率根据其勘探程度^[11]的划分结果,在[0.3,0.5],[0.5,0.6],[0.6,0.7]3个区间内赋值。

最终区带油气发现概率($P_{\text{油气发现}}$)是排除了勘探地质风险,满足工程适应性的概率,可表示为:

$$P_{\text{油气发现}} = 1 - \frac{\sqrt{(1-P)^2 + (1-E)^2}}{\sqrt{2}} \quad (2)$$

式中: $P_{\text{油气发现}}$ 为最终区带的油气发现概率,小数; P 为含油气概率,小数; E 为工程技术指数, $E = \frac{E_{\text{地面条件}} + E_{\text{技术适应性}}}{2}$ 。

从技术层面上看,工程技术的适应性可以根据工程技术难度以及自然地理环境来表征,其赋值标准见表1。

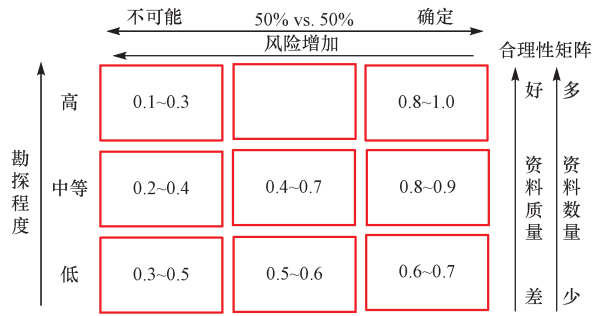


图3 不同勘探程度下成藏地质条件概率赋值区间

Fig. 3 Assignment intervals of probability for various geologic conditions of hydrocarbon accumulation at different exploration maturities

表1 工程技术适应性赋值

Table 1 Assignment of adaptability of engineering technology

赋值区间	$E_{\text{地面条件}}$	$E_{\text{技术适应性}}$
(0.75,1.00]	具备良好的地表条件,地形高差小,有利开采(如平原、丘陵等),满足环保要求、交通良好	目前工程、工艺技术适应目标勘探开发,配套技术系列已形成
(0.50,0.75]	地形高差小,地表条件较差(山区、沙漠、高原),需要改进交通条件	目前工程工艺技术较适应勘探开发,部分关键技术有待完善
(0.25,0.50]	地形高差小,地表条件差(山区、沙漠、高原),交通条件较差	目前工程工艺技术系列正形成,部分技术尚需攻关
[0,0.25]	现有条件不能适应地面和环保要求、交通困难,无水源	目前工程、工艺技术不能满足勘探开发,配套技术需要大规模改进与完善

2.3 资源价值评价

区带的资源价值评价决定了勘探的效益^[12]。评价时考虑可发现的资源规模、潜力、探井成功率以及勘探的战略意义等因素的影响,利用资源量指数、潜在资源量指数、探井成功率指数和勘探战略价值4个参数综合反映预探区带的资源价值的相对大小,定量化表示资源潜力和价值:

$$I_{\text{ep}} = \frac{\sqrt{Q_r^2 + Q_s^2 + Q_{\text{ws}}^2 + Q_{\text{es}}^2}}{2} \quad (3)$$

式中: I_{ep} 为勘探价值指数; Q_r 为资源量相对值,小数; Q_s 为潜在资源量相对值,小数; Q_{ws} 为探井成功率相对值,小数(它反映了勘探目标的落实程度,可用该区带的探井成功率与对比评价的最大探井成功率的比值表示,如该地区无探井可用邻区值进行类比); Q_{es} 为勘探战略意义相对值,小数,其赋值标准见表2。

与以往计算不同的是,这里将不确定性引入区带的资源量,所指的资源量为概率分布或资源量均值^[13-14]。

区带油气资源量计算方法有统计法、类比法和成因法等三大类资源评价方法。不同的方法具有不同的适用范围,应根据具体评价区的特点进行选择。针对

表2 勘探战略意义赋值

Table 2 Assignment of strategic significance for exploration

Q_{es} 赋值区间	勘探战略意义
(0.75,1.00]	实施后将取得重大地质认识和资源量发现,并带动全区地质勘探,具有全局性的战略意义
(0.50,0.75]	实施后将取得新的地质认识和资源发现,并带动同一区带的多个目标地质勘探,具有全区性的战略意义
(0.25,0.50]	实施后将带动同一区带上的多个目标突破和圈闭发现,或发现新的生油层系、生油次凹陷,具有油田区带展开的战略意义
[0,0.25]	实施后将带来单目标增加新的地质储量,具有储量发现的战略意义

预探区带一般采用资源丰度类比法、圈闭数类比法及油藏规模序列法(表3)。

区带的资源量一般呈对数正态分布,对于低勘探程度预探区带,可以分别统计区带面积及资源丰度,利用蒙特卡罗法或图版法计算评价区的资源量概率(P_{mean})。

在图版法计算过程中可以分别取面积的 $P_{10\text{面积}}$ 和 $P_{90\text{面积}}$,类比丰度的 $P_{10\text{丰度}}$ 和 $P_{90\text{丰度}}$,分别相乘计算出概率为3.7%和96.3%的资源量($P_{3.7\text{资源量}}$ 及 $P_{96.3\text{资源量}}$):

$$P_{3.7\text{资源量}} = P_{10\text{面积}} \times P_{10\text{丰度}} \quad (4)$$

$$P_{96.3\text{资源量}} = P_{90\text{面积}} \times P_{90\text{丰度}} \quad (5)$$

最终利用Skewness公式可得到 P_{mean} 的结果:

$$P_{\text{mean}} = 0.3P_{90\text{资源量}} + 0.4P_{50\text{资源量}} + 0.3P_{10\text{资源量}} \quad (6)$$

2.4 优选结果分类

区带评价的目的是为勘探部署提供依据,不同类型的区带勘探目的不同,所承担的风险及价值评价的标准也不同,可以针对不同区带的勘探目的制定不同的分类标准。在大量的数据统计分析的基础上,根据油气发现概率及资源战略价值的大小对预探区带评价优选结果进行了分类。

预探区带勘探目的在于寻求新突破、新发现,以便培育新的资源阵地,在可承受一定风险的情况下,追求资源价值的最大化。据此将评价结果分为三类(图4)。

表3 区带资源量计算方法类比

Table 3 Analogy of calculation methods of play resources

勘探阶段	区带资源评价方法	适用条件	缺点
低勘探程度	资源丰度类比法	类比刻度区的选择是关键	隐蔽油气的资源量预测较难
	远景圈闭数类比法		
中等勘探程度	运聚单元资源分配法	正确划分运聚单元,类比参数必须是独立的	选取参数为关键
	油藏规模序列法	有一定油气藏发现(3个以上),同一含油气系统内	参数样本重要
高勘探程度	油藏发现序列法	适用于完整、独立的含油气系统	计算的资源量为单值
	趋势预测法	已开发的老油田,足够的统计样本	计算的资源量为单值

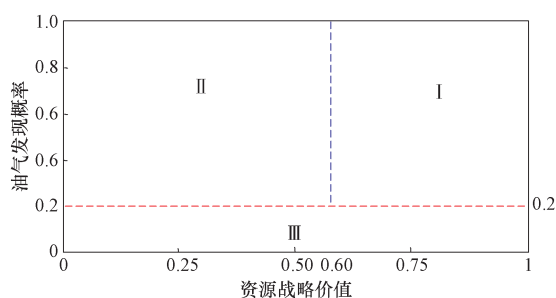


图4 预探区带优选结果分类示意图

Fig. 4 Schematic diagram showing the result classification of exploratory play evaluation

1) I类预探区带

是指油气资源规模大,关键成藏因素较为清楚或虽然存在部分地质或工程问题,但极具勘探战略价值,是力求突破的重点资源接替区带,应加大工作量的投入,力求突破。

2) II类预探区带

是指油气资源规模较大或关键成藏因素较为清楚,需进一步加强研究及攻关,寻求突破。

3) III类预探区带

是指关键成藏因素不清,地质问题有待深入研究,配套的工艺技术存在明显瓶颈需进一步完善的区带,需加强地质研究及工程技术攻关。

3 应用实例

本研究以四川盆地预探区带为例进行综合评价。根据四川盆地构造不整合面、构造滑脱面(志留系页岩和中-下三叠统膏盐层)的分布,以构造变形特征为主要依据,纵向上从上往下可以将四川盆地划分为上组合、中组合和下组合三大含油气层系,其中下组合是指震旦系-志留系的成藏组合。评价中根据平面分块、纵向分层的特点,按照“层块结合”进行评价研究。评价中选择通南巴下组合、鄂西-渝东下组合、南江下组合、川东南下组合和川西坳陷知新场-龙宝梁陆相作为评价对象进行评价。

所选的5个预探区带勘探程度较低,因此在地质风险评价过程中主要考虑成藏的主控因素,工程风险中主要考虑工程技术的适应性及自然地理环境。以通南巴下组合为例,该构造带位于米仓-大巴山前缘,为一大型背斜构造带^[15],由南阳场、涪阳坝和黑池梁三个构造组成。其下组合发育震旦系灯影组、寒武系洗象池组、寒武系龙王庙组和志留系韩家店组4套储层,曾经有成藏过程,地震资料品质较好,下组合发育可靠大型圈闭,泥质盖层厚,断裂破坏弱,保存条件较好。下组合天然气总资源量为 $6\,788 \times 10^8 \text{ m}^3$,已落实两个大型圈闭,圈闭资源量为 $1\,439.2 \times 10^8 \text{ m}^3$ 。根据地质

表4 四川盆地5个预探区带风险对比

Table 4 Risk comparison among the five exploratory plays in the Sichuan Basin

区带	含油气概率	工程技术适应性	油气发现概率	风险概率
通南巴下组合	0.27	0.42	0.34	0.66
鄂西-渝东下组合	0.28	0.35	0.32	0.68
川东南下组合	0.33	0.55	0.43	0.57
南江下组合	0.17	0.60	0.35	0.65
知新场-龙宝梁陆相	0.36	0.80	0.53	0.47

风险评价概率赋值图(图3)及工程技术适应性评价赋值表(表1),通南巴下组合含油气概率为0.27,工程技术适应性为0.42。根据公式(2),其勘探风险概率为0.66,油气发现概率为0.34。其余区带勘探风险如表4。

3.1 突破区带资源价值计算

根据预探区带的模板及参数对四川盆地的5个预探区带的资源战略价值进行评价。为了便于比较和对比,我们根据四川盆地预探区带的勘探现状进行了评价指数的归一化:

1) 资源量规模指数

在四川盆地中假设最大的区带资源量为 $1 \times 10^{12} \text{ m}^3$,取各个区带的资源量均值与它的比值:

$$Q_r = \frac{\text{区带剩余资源量} / (10^8 \text{ m}^3)}{10\,000}$$

2) 潜在资源(圈闭资源量)规模指数

根据全国第三次资源评价结果及相关资源量计算结果,在四川盆地中假设最大的区带潜在资源量为 $3\,000 \times 10^8 \text{ m}^3$,取各个区带的资源量均值与它的比值:

$$Q_s = \frac{\text{区带潜在资源量} / (10^8 \text{ m}^3)}{3\,000}$$

3) 资源战略价值评价结果

统计分析资源量、潜在资源规模、探井成功率和勘探战略意义,并将其归一化约束到0~1,组合成资源价值指数 I_{ep} ,对四川盆地5个预探(突破)区带进行资源战略价值评价(图5)。

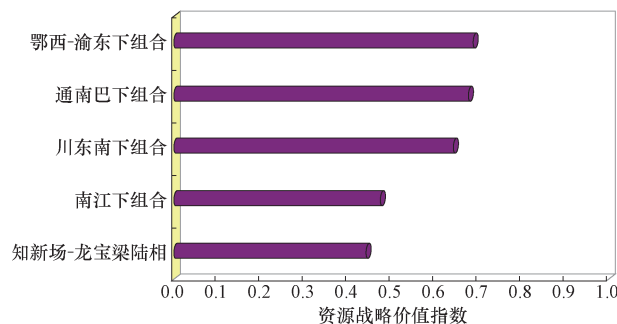


图5 四川盆地5个预探区带资源价值对比

Fig. 5 Comparison of resource values among the five exploratory plays in the Sichuan Basin

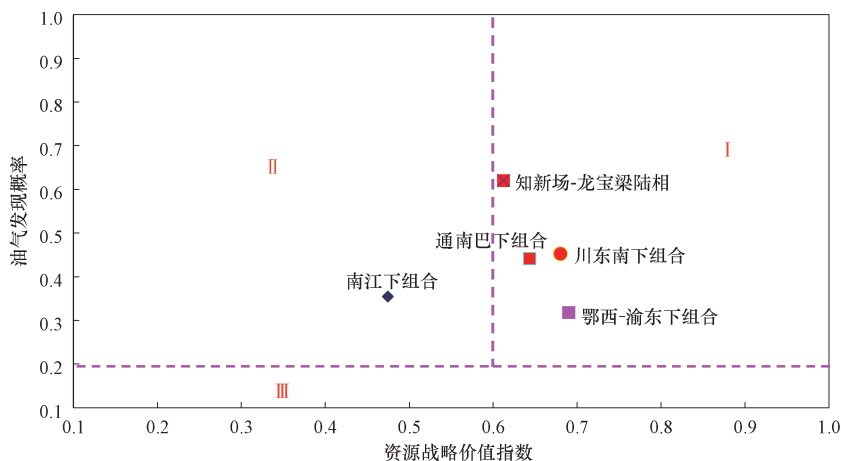


图6 四川盆地5个预探区带油气发现-资源战略价值

Fig. 6 Probability of hydrocarbon discovery vs. strategic value of resources for the five exploratory plays in the Sichuan Basin

3.2 预探区带综合评价结果

区带的综合评价是建立在风险评价和资源价值评价的基础上,并按照统一评价方法、统一参数与取值标准进行评价。利用双因素法对四川盆地5个预探区带进行了排队(图6)。

从图中可以清晰地看出,鄂西-渝东下组合、川东南下组合、通南巴下组合和知新场-龙宝梁陆相较南江下组合战略资源价值较大。其中:知新场-龙宝梁陆相勘探风险相对较小,但其资源战略价值中等;川东南下组合、通南巴下组合和鄂西-渝东下组合资源规模较大,极具勘探战略价值,是下组合勘探中优先考虑的预探区带,但存在较大的勘探风险。

通过研究分析,针对四川盆地地下组合的勘探主要面临以下问题与风险:①复杂构造带地震方法技术,非均质碳酸盐岩储层预测、复杂构造成像、岩性油气藏识别;②构造复杂,经受应力条件大,天然气保存条件不清;③裂缝性储层预测技术不成熟;④缺少地层压力预测、检测的有效手段,钻井、固井、井筒工艺等工程技术(普遍性的问题)存在问题。

针对以上问题,需要采取进一步的针对性措施,将勘探技术方法及工程工艺技术攻关进一步加强,开展海相储层地震识别与评价技术、碳酸盐岩储层钻录测试和酸化压力技术以及海相碳酸盐岩地层优化快钻井技术攻关,尽快地形成适应不同地质条件的勘探技术方法系列和工程工艺技术系列,才能开拓四川盆地地下组合天然气的勘探。

4 结论

1) 勘探目标的评价过程中需要强调风险和不确定性,研究中采用“油气发现概率-资源战略价值”的

风险价值评价法对预探区带进行评价,指明预探的重点和次序。

2) 预探区带勘探目标在于油气发现,需要承担较多的风险,其评价模型、参数与增储、突破区带不同,参数赋值及资源量计算需要对应评价目的层的勘探程度,采用不同的赋值范围及计算方法。

3) 针对四川盆地预探区带,川东南下组合、通南巴下组合、鄂西-渝东下组合资源规模较大,极具勘探战略价值。下组合勘探应重点考虑川东南下组合。

参 考 文 献

- [1] Robert M O, Nahum Schneidemann. A process for evaluating exploration prospects[J]. AAPG Bulletin, 1997, 81(7): 1087-1109.
- [2] 中华人民共和国石油天然气行业标准: SY/T 5520—1996. 圈闭评价技术规范[M]. 北京: 中国标准出版社, 1996.
Petroleum and natural gas industry standards of the People's Republic of China: SY/T 5520—1996. Technical specification for trap evaluation[M]. Beijing: China Standards Press, 1996.
- [3] 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: 21-22.
Guo Qiulin, Mi Shiyun. Assessment of petroleum exploration target and decisions[M]. Beijing: Petroleum Industry Press, 2004: 21-22.
- [4] 蔡利学, 闫相宾, 李娜, 等. 钻探目标评价优选决策系统[J]. 石油与天然气地质, 2014, 35(5): 720-727.
Cai Lixue, Yan Xiangbin, Li Na, et al. Evaluation, optimization and decision system for prospects to drill[J]. Oil & Gas Geology, 2014, 35(5): 720-728.
- [5] 闫相宾, 刘超英, 蔡利学. 含油气区带评价方法探讨[J]. 石油与天然气地质, 2010, 31(6): 857-864.
Yan Xiangbin, Liu Chaoying, Cai Lixue. A discussion on methods of play assessment[J]. Oil & Gas Geology, 2010, 31(6): 857-864.
- [6] Baker R A, Gehman H M, James W R, et al. Geologic field and size assessment of oil and gas plays[C] // AAPG Studies in Geology, 1986, 21: 25-31.
- [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: 35-38.
Jin Zhijun, Zhang Jinchuan. The evaluation technology of oil and gas resource[M]. Beijing: Petroleum Industry Press, 1999: 35-38.

(下转第329页)

- 15(5):1-4.
- Huang Liang, Meng Hailong, Zhou Xinyu, et al. Research on source characteristics and favorable source rock distribution areas prediction of the fifth Member of Xujiahe Formation of Sichuan Basin[J]. Journal of Chongqing University of Science and Technology(Natural Sciences Edition), 2013, 15(5):1-4.
- [8] 王倩, 王鹏, 项德贵, 等. 页岩力学参数各向异性研究[J]. 天然气工业, 2012, 32(12):62-65
- Wang Qian, Wang Peng, Xiang Degui, et al. Anisotropic property of mechanical parameters of shales[J]. Natural Gas Industry, 2012, 32(12):62-65.
- [9] Jennifer M, Leslie, Don C, et al. A refraction seismic field study to determine the anisotropic parameters of shales[J]. Geophysics, 1999, 64(4):1247-1252.
- [10] 高德利. 地层各向异性的评估方法[J]. 石油学报, 1993, 14(2):96-101.
- Gao Deli. A method for the evaluation of formation anisotropy[J]. Acta Petrolei Sinica, 1993, 14(2):96-101.
- [11] 赵平芳, 姚增. 层状岩石动静态力学参数相关性的各向异性[J]. 兰州大学学报(自然科学版), 1993, 29(4):225-229.
- Zhao Pinglao, Yao Zeng. The anisotropy of the dynamic parameters with the static parameters of bedded rock[J]. Journal of Lanzhou University, 1993, 29(4):225-229.
- [12] 刘斌, 席道瑛, 葛宁洁, 等. 不同围压下岩石中泊松比的各向异性[J]. 地球物理学报, 2002, 45(6):880-890.
- Liu Bin, Xi Daoying, Ge Ningjie, et al. Anisotropy of Poisson's ratio in rock samples under confining pressures[J]. Chinese Journal of Geophysics, 2002, 45(6):880-890.
- [13] 孔选林, 李军, 徐天吉, 等. 三维曲率体地震属性提取技术研究及应用[J]. 石油天然气学报, 2011, 33(5):71-75.
- Kong Xuanlin, Li Jun, Xu Tianji, et al. Research and application of 3D volumetric curvature seismic attribute extraction technology[J]. Journal of Oil and Gas Technology, 2011, 33(5):71-75.
- [14] 张旭峰, 张进学, 牟克勋, 等. 体属性分析在精细构造研究中的应用[J]. 新疆石油地质, 2012, 33(5):599-601.
- Zhang Xufeng, Zhang Jinxue, Mou Kexun, et al. Application of volumetric attributes analysis to fine structural interpretation[J]. Xinjiang Petroleum Geology, 2012, 33(5):599-601.

(编辑 张亚雄)

(上接第318页)

- [8] 蔡庆龙. 油气勘探风险评价方法与评价模型[J]. 石油化工技术经济, 2003, 19(2):58-62.
- Cai Qinlong. Evaluation method and model of risks in oil-gas exploration[J]. Techno-economics in petrochemicals, 2003, 19(2):58-62.
- [9] Rose P R. Risk analysis and management of petroleum exploration ventures(AAPG Method in Exploration Series, No. 12)[M]. Tulsa: PennWell Corporation, 2001:125-127.
- [10] 宋建国, 张光亚. 勘探目标评价方法[J]. 世界石油工业, 1998, 5(8):8-12.
- Song Jianguo, Zhang Guangya. Exploration target evaluation method[J]. World Petroleum Industry, 1998, 5(8):8-12.
- [11] 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, 106(6):6-8.
- Fang Xiaodong, Guo Yuanling, Hu Xingzhong. New evaluation method of petroleum exploration[J]. Henna Petroleum, 2005, 106(6):6-8.
- [12] 武娜, 郭秋麟, 梁坤, 等. 用新思路评价冀中坳陷深县凹陷油气勘探风险[J]. 石油与天然气地质, 2008, 29(3):326-333.
- Wu Na, Guo Qiulin, Liang Kun, et al. Risk assessment for oil and gas exploration with new approaches in the Shexian Sag of the Jizhong Depression[J]. Oil & Gas Geology, 2008, 29(3):326-333.
- [13] 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 Yongying, Tang Yuegang. A discussion on method of risk analysis for oil and gas resource evaluation[J]. Journal of Yangtze University(Social Science), 2004, 27(1):108-111.
- [14] 李洁梅, 谭学群, 许华明, 等. 概率法储量计算在 CLFS 项目中的应用[J]. 石油与天然气地质, 2012, 33(6):943-950.
- Li Jiemei, Tan Xuequn, Xu Huaming. Application of probabilistic method in reserve calculation for the CLFS oilfield project[J]. Oil & Gas Geology, 2012, 33(6):943-950.
- [15] 李辛子, 刘彬, 武晓玲. 通南巴地区膏盐层分布及其流变学特征[J]. 石油与天然气地质, 2013, 34(4):532-539.
- Li Xinzi, Liu Bin, Wu Xiaoling, et al. Distribution and rheological characteristics of evaporates in Tongnanba area[J]. Oil & Gas Geology, 2013, 34(4):533-539.

(编辑 张玉银)