

成熟探区勘探目标群油气期望价值评估方法

李军, 闫相宾

中国石化石油勘探开发研究院, 北京 102206

摘要:我国的矿业权出让制度改革正在全面推进,合理评价区块期望价值对于油公司的区块进退决策至关重要。对于含有多个勘探目标的成熟探区,简单地将各目标价值相加通常会高估区块期望价值,应综合考虑两方面的因素:一是各勘探目标的地质情况,包括相对空间位置关系、地质成功率、资源规模和地质相关性等;二是油公司的勘探策略,包括干井承受能力、承诺钻井数量、对各目标的钻探次序等。为此,从油公司区块进退决策实际出发,提出一套基于概率论的勘探目标群期望价值估算方法,并通过实例讨论了上述因素对区块期望价值的影响。

关键词:期望价值;勘探目标;概率法;区块评价

中图分类号:TE155

文献标识码:A

An estimation method for hydrocarbon expected value of exploration target group in mature exploration area

LI Jun, YAN Xiangbin

Petroleum Exploration and Production Research Institute, SINOPEC, Beijing 102206, China

Abstract: The transfer system reform of mining rights in China is promoted in a comprehensive way. The rational evaluation of the expected value of blocks is crucial to the decision-making of bidding and exiting blocks for oil companies. As to the mature exploration area containing multiple exploration targets, adding up each expected value of each target simply usually over-estimates the expected value of blocks. Two factors should be comprehensively considered. The first one is geological conditions, including relative spatial relation, drilling success rate, resource scale and geological relation, etc. The second one is exploration strategy of oil company, including the bearing capacity of dry well, the number of commitment well and the drilling sorting of each exploration target, etc. Therefore, a set of estimation methods for exploration target group based on probabilistic theory was proposed from the oil company's practical decision-making of bidding and exiting blocks. The effect of the above factors on the expected value of blocks was also discussed using a specific block as an example.

Key words: expected value; exploration target; probabilistic method; block evaluation

随着2020年自然资源部《关于推进矿产资源管理改革若干事项的意见(试行)》等政策的实施,我国的油气矿业权出让逐渐由国家行政审批向竞争性出让转变,并执行严格的区块减退机制。在此背景下,国内各大油公司都在积极探索适合本公司特点的区块进退决策方法。在影响决策的各项因素中,合理评价区块的期望价值(EV)无疑是所有油公司都必须解决的核心环节^[1-3]。

由于不同勘探阶段区块获取的地质信息、评价的对象、面临的地质风险不同,采用的期望价值评价方法也有差异^[4-6]。对于中—高勘探程度区块,其评价对象已经聚焦到勘探目标。但有别于单个

目标的评价,区块价值评估通常涉及区块内多个成藏条件、圈闭类型方面相似目标(以下称勘探目标群)的综合评价,其考虑的因素更多,评价面临的复杂性和不确定性更强^[7-20]。

传统方法评价成熟探区多目标的期望价值存在两方面的问题:一是简单地将所有目标的期望价值算术相加,其含义是所有目标均上钻情形下期望价值,没有考虑各目标的相对空间位置关系,特别是先上钻目标成败对后续目标成功率的影响,容易导致乐观估值^[7-8,21-22];二是忽略了油公司勘探策略的影响,包括各目标钻探次序、干井承受数量等,偏离了勘探工作实际^[23-26]。

收稿日期:2021-12-21;修订日期:2022-04-21。

作者简介:李军(1979—),男,博士,高级工程师,从事资源储量评估、矿权评价研究。E-mail:lijun2009.syky@sinopec.com。

基金项目:中国石化科技攻关项目“油气战略选区评价与决策支持技术”(P21086-1)资助。

为此,建立一套基于概率论的针对多个勘探目标油气期望价值评价方法,有助于为油公司合理评价出让区块价值、制定竞标方案、优化勘探部署提供借鉴。重点需要考虑两点因素:一是各目标的相对空间位置关系、地质相关性等地质因素;二是上钻次序、干井承受数量等勘探策略对期望价值的影响。

1 不同相对空间位置多目标期望价值估算

1.1 单个勘探目标

评价单个勘探目标的期望价值主要分为三个步骤。

一是地质成功率的计算。勘探目标若要取得钻探成功,必须同时具备圈闭形成、储层沉积、油气充注和后期保存四个成藏条件。上述四项条件互相独立、缺一不可,根据概率论的独立事件乘法原理,其成功率计算公式如下:

$$P_g = P_{\text{圈闭}} \times P_{\text{储层}} \times P_{\text{充注}} \times P_{\text{保存}}$$

式中: P_g 为地质成功率,无因次; $P_{\text{圈闭}}$ 、 $P_{\text{储层}}$ 、 $P_{\text{充注}}$ 、 $P_{\text{保存}}$ 分别为圈闭、储层、充注和保存四个因子的成功率,无因次。

二是经济成功率的计算。勘探目标若要取得经济成功,其发现规模至少要大于最小经济油田规模(MEFS),即回收项目全部勘探投资的资源量下限。通常,回收的投资包括地质和地球物理项目的花费、探井的钻完井费用和各类管理费用等,再加上所需的利息。经济成功率计算公式如下:

$$P_e = P_g \times P_{\text{MEFS}}$$

式中: P_e 为经济成功率,无因次; P_{MEFS} 为勘探目标资源规模大于最小经济油田规模的概率,无因次。 P_{MEFS} 通常可在计算出勘探目标资源量概率分布和最小经济油田规模门限值后,利用概率图版法求解(图1)。

三是期望价值的计算。勘探目标的期望价值既要计算勘探成功条件下的收益,也要考虑失利情况下损失的勘探投资,计算公式如下:

$$EV = P_e \times Q \times R - (1 - P_e) \times M_{\text{cost}}$$

式中: EV 为期望价值,万元; Q 为资源量, 10^4 t; R 为单位资源量价值,万元/ 10^4 t; M_{cost} 为勘探投资,万元。

1.2 纵向叠置的多目标

当勘探目标群为纵向叠置的多层目标时,部署一口探井可同时钻探多目标,任何一个目标成功都

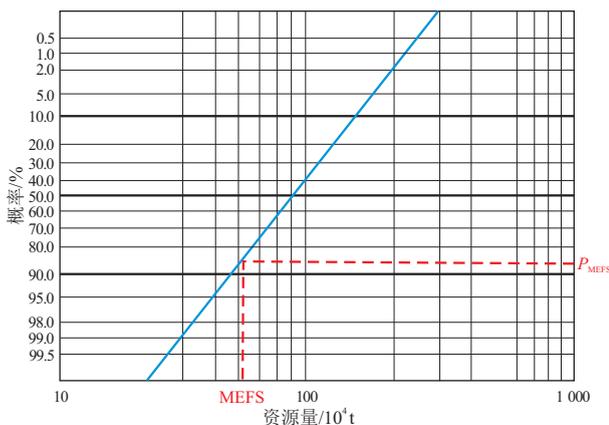


图1 概率图版求解 P_{MEFS}

Fig.1 Probability chart for solution of P_{MEFS}

意味着钻探获得成功。与单个目标或横向展布的多目标相比,其期望价值的计算有两点不同:

一是在钻探成功率上,应使用多目的层中至少一层发现油气的概率来表征^[27],计算公式如下:

$$P_{\text{至少一层成功}} = 1 - \prod_{i=0}^n (1 - P_i)$$

式中: $P_{\text{至少一层成功}}$ 为至少一层获得油气发现的概率,无因次; P_i 为第*i*层的地质成功率,无因次。

二是在期望发现的资源规模上,不能将各层资源量简单相加,而是应计算至少一层获得发现条件下的资源量,计算公式如下:

$$Q_{\text{至少一层成功}} = \sum_{i=1}^n (P_i \times Q_i) / P_{\text{至少一层成功}}$$

式中: $Q_{\text{至少一层成功}}$ 为至少一层成功条件下的资源量, 10^4 t; Q_i 为第*i*层的资源量, 10^4 t。

1.3 横向展布的多目标

对于横向展布的多目标,理论上需逐一完成全部钻探,才能完全证实勘探目标群的含油气性和资源规模。但在实际勘探中,油公司为避免不必要的勘探投资损失,通常是优选其中一个风险较小、资源价值较大的目标率先钻探评价,然后依据其钻探结果决定是否钻探其余目标,而非同时钻探所有目标。

因此,估算横向展布的多目标期望价值遵循以下三项原则:

一是在钻探成功率上,避免使用至少一个目标发现油气的概率,而应使用优先上钻目标的地质成功率,因为前者是以所有目标均上钻为前提,不符合勘探实际。

二是在期望发现的资源规模上,避免乐观地将所有目标算术加和,也不要使用至少一个目标发现

油气条件下的资源量,而应以优先上钻目标获得油气发现为前提条件,将各目标的资源量进行概率加和,原因同上。

三是在估算失利情况的勘探投资上,避免悲观地将所有目标的投资全部累加,而应使用优先计划上钻目标失败情况下的各项勘探投资。因为油公司不会在目标接连失利的情况下,仍坚持钻探所有目标。

以勘探目标群 S 简单情况为例(图 2),阐述地质成功率和期望发现的资源规模估算过程。

S 共含 A、B 两个勘探目标,各目标的含油气概率和资源量如表 1 所示。假定油公司计划优先上钻 A 目标,B 目标是否上钻视 A 钻探结果而定。

由于勘探目标群中的各目标通常具有一定地质相关性,S 期望发现的资源规模是以 A 钻探成功为前提条件,根据 A、B 的地质相关性,分为两种情况:

一是部分地质相关性,指各目标的油气成藏条件存在部分依赖。以目标群 S 为例,假定 A、B 在充注和储层上具有相关性,而在圈闭和保存上相互

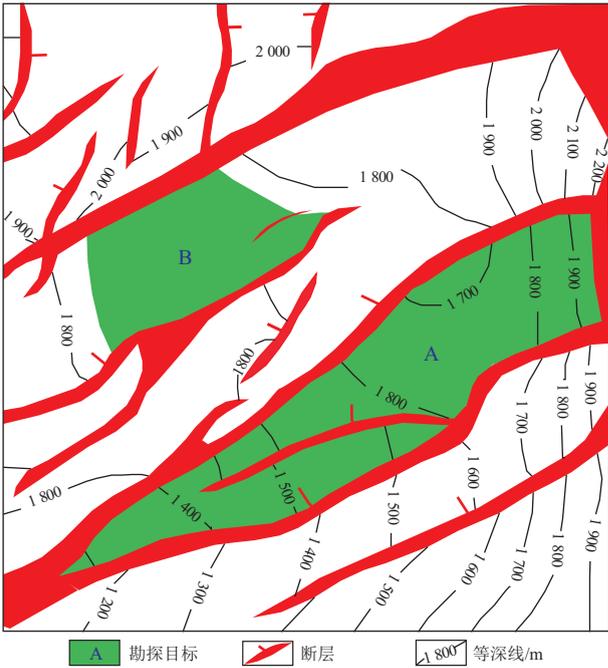


图 2 勘探目标群 S 顶部构造

Fig.2 Structures of top of exploration target group S

表 1 勘探目标群 S 资源量

Table 1 Resources of exploration target group S

目标	圈闭概率	充注概率	储层概率	保存概率	地质成功率	资源量均值/ 10 ⁴ t
A	0.70	0.70	0.80	0.75	0.294	540
B	0.75	0.70	0.80	0.80	0.336	160

独立。以 A 获得发现为前提条件,则 A、B 的共享因子(充注和储层)一定成功(概率为 1)。此时,B 的钻探成功率提升至 0.6(0.75×0.8=0.6),相当于有 1 个 A 目标和 0.6 个 B 目标期望获得发现,资源量合计 636×10⁴ t。推广至一般情况,其资源量计算公式为:

$$Q = Q_{\text{drill}} + \sum_{i \neq \text{drill}} (P_{(\text{indep})_i} \times Q_i)$$

式中:Q 为勘探目标群发现资源量,10⁴ t;Q_{drill} 为优先上钻目标的资源量,10⁴ t;Q_i 为第 i 个目标的资源量,10⁴ t;P_{(indep)_i} 为第 i 个目标的独立成藏因子乘积,无因次。

为验证上述公式,列出勘探目标群 S 在 A 目标获得发现下的全部情景,与公式计算结果一致(表 2)。

二是完全地质相关,指各勘探目标的油气成藏条件完全依赖,即各勘探目标具有相同的圈闭、储层、充注和保存等成藏要素。由此可以推出,若先上钻目标获得成功,则其余目标均会成功。在此条件下,勘探目标群的钻探成功率等于任意一个目标的地质成功率,发现资源规模等于各目标资源量算数加和,即:

$$Q = \sum_{i=1}^n Q_i$$

式中:Q 为勘探目标群发现资源量,10⁴ t;Q_i 为第 i 个目标的资源量,10⁴ t。

对于勘探目标群 S,计算各目标完全地质相关条件下期望发现的资源规模为 700×10⁴ t。

通过对比可以发现,在优先上钻一个目标的前提下,勘探目标群各目标地质相关性越高,概率上发现资源量的期望值越大。因此,在部署探井时,应优先选择地质相关性高的目标上钻,以提高期望价值。

1.4 相对空间位置关系对期望价值的影响

以勘探目标群 S 存在部分地质相关为例,假设 A、B 有纵向叠置、横向展布两种情况,分别采用“ A、B 至少一个成功”和“优先钻探 A 并成功”两种方法计算 S 期望价值(表 3),其中,资源量按

表 2 勘探目标 A 获得发现条件下的全部情景

Table 2 All scenarios under the discovery of exploration target A

情况	发生概率	资源量/ 10 ⁴ t	含油气概率× 资源量/10 ⁴ t
A 成功,B 失败	0.117 6	540	63.504
A、B 均成功	0.176 4	700	123.480
合计	0.294 0		186.984
A 成功下的资源量:186.984/0.294 = 636(10 ⁴ t)			

表 3 不同相对空间位置关系下 S 的期望价值对比

Table 3 Comparison of expected value of S under different relative spatial relations

空间位置关系	计算方法	钻探成功率	成功条件下资源量/ 10^4 t	期望价值/万元
纵向叠置	A、B 至少一个成功	0.454	469	2 648
横向展布	优先钻探 A 并成功	0.294	636	2 099

15 万元/ 10^4 t 测算,失败情况下探井投资按 1 000 万元/口测算。

如表 3 所示,在 A、B 纵向叠置的情况下,由于任意一个目标成功即意味着钻探成功,目标群成功率相对较高,期望价值较大。而在 A、B 横向展布的情况下,优先钻探 A 并成功的条件相对更加严格,成功概率降低;虽然 A 资源量较大,使成功条件下资源量略有增加,但目标群总体期望价值明显降低。

由此可见,在勘探目标的地质成功率、资源规模同等的情况下,应优先钻探纵向叠置的多目标,通过立体勘探获得更高的期望价值。

2 不同勘探策略对多目标期望价值的影响

当区块包含多个目标时,油公司通常会根据地地质认识、相似区块勘探经验以及公司经营状况,制定一个相适应的风险勘探策略,包括可承受的连续干井数量、各目标的上钻次序等。以可承受的连续干井数量为例,该指标是指油公司放弃项目前所能承受的最大干井数,经常以油公司对区块承诺的钻井数量体现。在该井数范围内,即使钻探失败,仍会完成钻井计划。可承受的干井数量越多,意味着油公司愿意承担更大的风险,发现更多资源及价值的可能性也随之增加。

但由于涉及到勘探目标的成功概率、目标上钻次序、失败情况下的钻井投资等影响,在某些情况下,提高承诺钻井数量,并不一定能提升区块的期望价值。为避免无效投资,勘探人员需要设计不同的干井承受数量和目标上钻次序,估算多种方案下的区块期望价值,供优选决策。

2.1 多方案期望值的蒙特卡洛模拟

对于多方案情景下的区块期望价值计算,采用 1.2 节和 1.3 节的概率解析法相对繁琐,推荐采用蒙特卡洛法模拟实现。当随机抽样次数达到 3 000 次以上时,其模拟结果与解析法误差很小。近年

来,蒙特卡洛模拟方法已在勘探风险决策、资源储量计算和经济评价等领域得到了深入应用,其使用关键在于如何构建合理的模拟流程和相关参数概率分布^[28-30]。

以某区块勘探目标群 T 为例,该勘探目标群由一系列断块、断鼻勘探目标组成(图 3)。经勘探风险分析,各目标在充注因子和储层因子上存在地质相关性,其地质成功率和资源量如表 4 所示。

2.1.1 参数概率分布的建立

各目标的成藏因子概率分布均采用由 0—1 分布模型构建(0 代表失败,1 代表成功)。对于有地质相关性的成藏因子(充注、储层),建立共享的概率分布;对于无地质相关性的成藏因子(圈闭、保存),构建各自独立的概率分布。各目标资源量概率分布均采用不确定性方法,基于对数正态分布模型构建。以 5 号目标为例,其保存因子和资源量概率分布如图 4 所示。

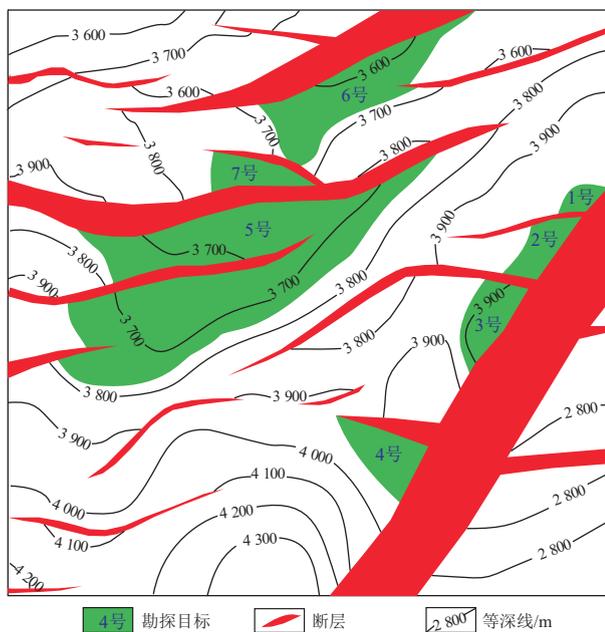


图 3 勘探目标群 T 顶部构造

Fig.3 Structures of top of exploration target group T

表 4 勘探目标群 T 各目标含油气概率及资源量
Table 4 Hydrocarbon-bearing probability and resources of each target of exploration target group T

勘探目标	圈闭概率	充注概率	储层概率	保存概率	地质成功率	资源量均值/ 10^4 t
1 号	0.7	0.9	0.8	0.7	0.352 8	41
2 号	0.7	0.9	0.8	0.7	0.352 8	122
3 号	0.7	0.9	0.8	0.7	0.352 8	176
4 号	0.7	0.9	0.8	0.7	0.352 8	188
5 号	0.8	0.9	0.8	0.6	0.345 6	1 637
6 号	0.8	0.9	0.8	0.6	0.345 6	581
7 号	0.8	0.9	0.8	0.6	0.345 6	133

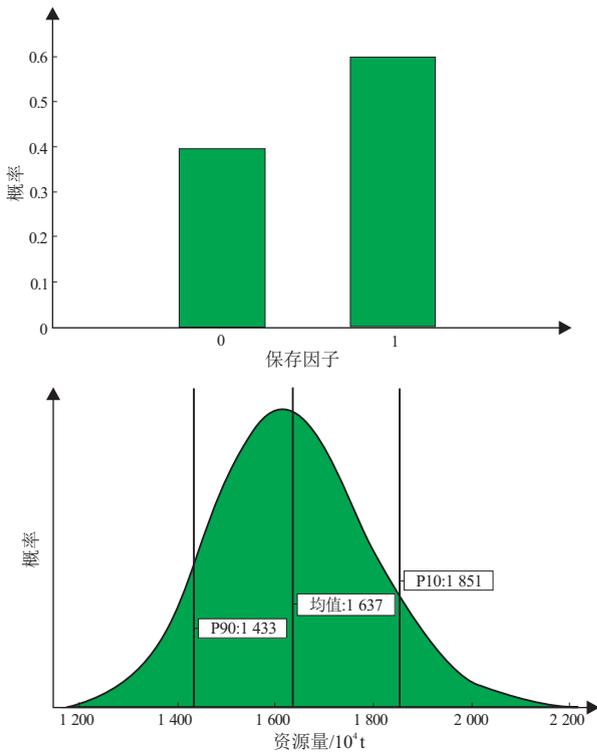


图4 5号目标保存因子(a)和资源量(b)概率分布模型
Fig.4 Probability distribution model of preservation (a) and resources (b) of target No.5

2.1.2 模拟流程的设计

按照优先钻探资源量大、低风险目标的原则,确定7个目标的钻探顺序为5—6—4—7—3—2—1号。设计模拟流程如图5所示,首先判断共享成藏因子是否成功,再依次判断各目标的独立成藏因子是否成功。对于共享、独立因子均成功目标的资源量概率分布进行抽样,累加得到目标群的资源量。

2.2 不同干井承受数量对期望值的影响

分三种方案,采用上述蒙特卡洛法模拟流程,

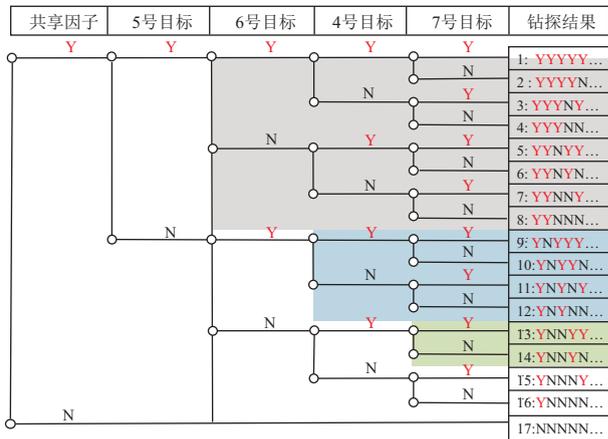


图5 勘探目标群T期望值的蒙特卡洛模拟流程
Fig.5 Monte Carlo simulation workflow of expected value of exploration target group T

计算不同干井承受数量下期望发现的资源规模和期望价值。其中,资源量按15万元/10⁴t测算,失败情况下探井投资按1000万元/口测算。

一是承诺至少钻1口井。若第一口井钻探成功,则继续后续钻探;若失败,则放弃后续钻探,对应图5中的第1~8种情形,如灰色部分所示,期望发现的资源量为791×10⁴t,价值为11215万元。

二是承诺至少钻2口井。无论第一口井是否成功,都会钻第二口井;若两口井均失败,则放弃后续钻探,对应图5中的1~12种情况,如灰色和蓝色部分所示,期望发现的资源量为946×10⁴t,价值为13861万元。

三是承诺至少钻3口井。无论前两口井是否成功,都会钻第三口井;若三口井均失败,则放弃后续钻探,对应图5中的1~14种情况,如灰色、蓝色、绿色部分所示,期望发现的资源量为986×10⁴t,价值为14016万元。

对比表5中三种方案结果,承诺2口井比1口井的储量价值明显提高,但承诺3口井与2口井的期望价值增量不大。原因是相对先钻的5号、6号目标,第三个钻探的4号目标资源规模小、成功率不高,而一旦钻探失败,损失的1000万元钻井费用相对较大。

由此可见,通常情况下,若提高承诺井数量,目标群的期望价值也随之增加。但如果增加的上钻目标资源规模、成功率较低,而钻井费用相对较高,则对提升整个勘探目标群的期望价值贡献不大,甚至可能出现拉低的情况。

2.3 不同钻探次序对期望价值的影响

若改变钻探次序,按1—2—3—4—5—6—7号顺序钻探,同样采用蒙特卡洛方法,分别模拟承诺至少钻1口、2口、3口井的三种方案,勘探目标群T期望发现的资源量和价值如表6所示。

对比表5和表6可以发现,改变钻探次序后,三种方案期望发现的资源规模和价值均有下降,主要原因是优先钻探的1、2、3号目标资源量相对小,成功率也没有优势。

由此可见,在制定钻探次序时,应优先选取资源量相对大、成功率相对高的目标,有利于在承诺

表5 勘探目标群T在不同干井承受数量下的期望价值
Table 5 Expected value of exploration target group T under different dry well bearing amounts

不同干井承受数量	承诺1口井	承诺2口井	承诺3口井
资源量/10 ⁴ t	791	946	986
期望价值/万元	11 215	13 861	14 016

表 6 勘探目标群 T 在改变钻探次序后,
不同干井承受数量下的期望价值

Table 6 Expected value of exploration target group T
under different dry well bearing amount
after changing the drilling order

不同干井承受数量	承诺 1 口井	承诺 2 口井	承诺 3 口井
资源量/ 10^4 t	498	756	878
期望价值/万元	6 830	11 010	11 177

的钻井数量内,获得更大的期望价值。

3 结论

(1)评价成熟探区勘探目标群的期望价值不宜简单地将各目标价值算术相加。对于纵向叠置的多目的层目标,应计算至少一层成功条件下的期望价值;对于横向展布多目标,应计算先上钻目标成功条件下的期望价值。

(2)勘探目标群的期望价值不仅取决于各目标的地质成功率、资源量、相对空间位置关系和地质相关性,还与油公司制定的干井承受数量、目标上钻次序有关。油公司可以通过以下三种方式,优化勘探方案,充分挖掘价值潜力:

一是理清各目标之间的地质相关性,优先对地质相关性高的目标开展评价。特别是对于横向展布的多目标,地质相关性越高,概率上的期望价值越大。

二是优化上钻顺序,优先钻探纵向叠置的多目标,或资源量大、风险低的目标,可提升期望价值。

三是确定合理的干井承受能力或承诺钻井数量。通常增加承诺的钻井数量,有助于发现更多的期望价值。但如果增加上钻目标的资源量和成功率偏低、钻井费用较高,则可能拉低期望价值。采用蒙特卡洛模拟方法,可量化得到最优方案。

参考文献:

- [1] 毛怡.我国油气矿权出让制度改革与油气储量价值化研究[J].石油实验地质,2021,43(4):728-736.
MAO Yi.Transfer system reform for oil and gas mineral rights and value of reserves in China[J].Petroleum Geology & Experiment,2021,43(4):728-736.
- [2] 司芴,景东升,罗玲,等.油气矿业权竞争性出让改革追踪研究[J].中国矿业,2021,30(S2):37-41.
SI Xiang,JING Dongsheng,LUO Ling,et al.Tracking research on the reform of competitive transfer of oil and gas mining rights[J].China Mining Magazine,2021,30(S2):37-41.
- [3] 陈嘉茹,陈建荣.中国油气矿权管理改革对国有石油公司的影响[J].世界石油工业,2020,27(3):19-24.
CHEN Jiaru,CHEN Jianrong.China's oil and gas mineral rights management reform and its impact on state-owned oil companies[J].World Petroleum Industry,2020,27(3):19-24.
- [4] 龙隆,陈恭洋,印森林,等.基于不同开发阶段的深层油气田经济评价方法[J].长江大学学报(自然科学版),2021,18(5):38-47.
LONG Long,CHEN Gongyang,YIN Senlin,et al.Economic evaluation method of deep oil and gas fields based on different development stages[J].Journal of Yangtze University (Natural Science Edition),2021,18(5):38-47.
- [5] 武明辉,金晓辉,徐旭辉,等.油气区块勘探程度划分方法研究[J].西安石油大学学报(自然科学版),2015,30(4):18-22.
WU Minghui,JIN Xiaohui,XU Xuhui,et al.Research of division method for exploration degree of oil and gas blocks[J].Journal of Xi'an Shiyou University (Natural Science Edition),2015,30(4):18-22.
- [6] 宋明水,王永诗,李友强.成熟探区“层勘探单元”划分与高效勘探[J].石油勘探与开发,2018,45(3):520-527.
SONG Mingshui,WANG Yongshi,LI Youqiang.Division of “layer exploration unit” and high-efficiency exploration in mature exploration area [J].Petroleum Exploration and Development,2018,45(3):520-527.
- [7] 张文婧,包丽,彭建亮,等.成熟探区资源潜力评价:以松辽盆地敖南地区为例[J].世界地质,2020,39(1):98-105.
ZHANG Wenjing,BAO Li,PENG Jianliang,et al.Evaluation of resource potential in high exploration area;an example in Aonan area of Songliao Basin [J].Global Geology,2020,39(1):98-105.
- [8] 刘斌.油气储量价值评估方法探讨[J].石油科技论坛,2019,38(6):29-33.
LIU Bin.Discussion of value-appraising method for oil and gas reserves[J].Oil Forum,2019,38(6):29-33.
- [9] 孟卫工.辽河高成熟探区持续勘探发现技术及应用[J].特种油气藏,2020,27(6):1-11.
MENG Weigong.Continuous exploration and discovery technology and its application in Liaohe high mature exploration area [J].Special Oil & Gas Reservoirs,2020,27(6):1-11.
- [10] 耿甜,吕艳萍,巫波,等.缝洞型油藏储量评价方法及开发对策[J].特种油气藏,2021,28(6):129-136.
GENG Tian,LYU Yanping,WU Bo,et al.Reservoir evaluation method and development countermeasures for fracture-vuggy reservoir[J].Special Oil & Gas Reservoirs,2021,28(6):129-136.
- [11] 蔡珺君,彭先,李骞,等.四川盆地重点海相碳酸盐岩气藏产能评价现状及展望[J].断块油气田,2021,(5):655-660.
CAI Junjun,PENG Xian,LI Qian,et al.Present situation and prospect of productivity evaluation of key marine carbonate gas reservoirs in Sichuan Basin[J].Fault-Block Oil and Gas Field,2021,(5):655-660.
- [12] 黄飞.SEC 储量动态评估方法在页岩气田中的应用:以南川气田平桥南区块为例[J].油气藏评价与开发,2021,11(4):521-526.
HUANG Fei.SEC estimation by DCA on shale gas fields;a case study of Pingqiao South Block of Nanchuan Gas Field [J].

- Reservoir Evaluation and Development, 2021, 11(4): 521-526.
- [13] 苏映宏. 滩坝砂油藏不同压裂方式下单井控制可采储量预测方法[J]. 石油实验地质, 2021, 43(4): 697-703.
SU Yinghong. Prediction of single-well-constrained recoverable reserves in beach bar sand reservoir using different fracturing methods[J]. Petroleum Geology & Experiment, 2021, 43(4): 697-703.
- [14] 李伟忠. 胜利油田稠油未动用储量评价及动用对策[J]. 特种油气藏, 2021, 28(2): 63-71.
LI Weizhong. Evaluation and development countermeasures for nonproducing reserves of heavy oil reservoirs in Shengli Oilfield[J]. Special Oil & Gas Reservoirs, 2021, 28(2): 63-71.
- [15] YU Shaoyong, 刘玉慧. 页岩及致密地层油气井的生产特征及可采储量计算方法[J]. 油气藏评价与开发, 2021, 11(2): 146-153.
YU Shaoyong, LIU Yuhui. Production performance and EUR forecast of wells producing from tight/shale reservoirs[J]. Reservoir Evaluation and Development, 2021, 11(2): 146-153.
- [16] 漆立新, 云露, 曹自成, 等. 顺北油气田地地质储量评估与油气勘探方向[J]. 新疆石油地质, 2021, 42(2): 127-135.
QI Lixin, YUN Lu, CAO Zicheng, et al. Geological reserves assessment and petroleum exploration targets in Shunbei Oil & Gas Field[J]. Xinjiang Petroleum Geology, 2021, 42(2): 127-135.
- [17] 郭鸣黎, 陈艳, 郑振恒, 等. 致密油藏可采储量概率快速评估方法: 以红河油田长8油藏为例[J]. 石油实验地质, 2021, 43(1): 154-160.
GUO Mingli, CHEN Yan, ZHENG Zhenheng, et al. Rapid evaluation of probable recoverable reserves in tight reservoirs: a case study of Chang 8 reservoir (eighth member of Yanchang Formation) in Honghe oil field[J]. Petroleum Geology & Experiment, 2021, 43(1): 154-160.
- [18] 肖玉茹, 黄学斌, 李姝, 等. 基于量化不确定性的储量升级动用潜力评价方法[J]. 石油实验地质, 2021, 43(1): 169-175.
XIAO Yuru, HUANG Xuebin, LI Shu, et al. A method for evaluating the potential of reserve upgrading based on quantitative uncertainty [J]. Petroleum Geology & Experiment, 2021, 43(1): 169-175.
- [19] 周亚彤. 延川南煤层气田动态特征和SEC动态储量评估方法研究[J]. 油气藏评价与开发, 2020, 10(4): 53-58.
ZHOU Yatong. Dynamic characteristics and SEC dynamic reserve assessment of CBM gas field in South Yanchuan [J]. Reservoir Evaluation and Development, 2020, 10(4): 53-58.
- [20] 张雷, 郝帅, 张伟, 等. 中低煤阶煤层气储量复算及认识: 以鄂尔多斯盆地东缘保德煤层气田为例[J]. 石油实验地质, 2020, 42(1): 147-155.
ZHANG Lei, HAO Shuai, ZHANG Wei, et al. Recalculation and understanding of middle and low rank coalbed methane reserves: a case study of Baode Coalbed Methane Field on the eastern edge of Ordos Basin [J]. Petroleum Geology & Experiment, 2020, 42(1): 147-155.
- [21] 徐旭辉, 蔡利学, 刘超英, 等. 油气勘探目标评价与优选系统[J]. 石油与天然气地质, 2015, 36(3): 517-524.
XU Xuhui, CAI Lixue, LIU Chaoying, et al. Evaluation and selection system for petroleum exploration targets [J]. Oil & Gas Geology, 2015, 36(3): 517-524.
- [22] 陈小梅, 欧奎, 贾霍甫. 风险概率法在油气区块评价中的运用[J]. 石油地质与工程, 2018, 32(6): 64-66.
CHEN Xiaomei, OU Kui, JIA Huopu. Application of risk probability method in oil and gas block evaluation [J]. Petroleum Geology and Engineering, 2018, 32(6): 64-66.
- [23] 向立宏. 成熟探区主力含油层系储量空白区勘探目标优选方法: 以渤南洼陷南斜坡沙三段为例[J]. 油气地质与采收率, 2020, 27(2): 53-61.
XIANG Lihong. Method for exploration target optimization in blank region of main oil-bearing beds in mature exploration area: a case study of Es³ Member in South Slope, Bonan Subsag [J]. Petroleum Geology and Recovery Efficiency, 2020, 27(2): 53-61.
- [24] DANNER G E. The art and science of bidding for offshore license blocks [C]//Hydrocarbon Economics and Evaluation Symposium. Houston, Texas, USA: Society of Petroleum Engineers, 2014.
- [25] 田军, 王霞, 段晓文, 等. 油气储量资产交易价值评估方法及案例剖析[J]. 国际石油经济, 2020, 28(11): 98-105.
TIAN Jun, WANG Xia, DUAN Xiaowen, et al. The analysis on cases and methods of price evaluation for oil and gas reserves asset transactions [J]. International Petroleum Economics, 2020, 28(11): 98-105.
- [26] RODRIGUEZ M R, SUSLICK S B. Bidding schemes and their impacts on risk assessments by oil companies [C]//The Europe/EAGE Conference and Exhibition. Rome, Italy: Society of Petroleum Engineers, 2008.
- [27] 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.
- [28] 李军. 致密油藏储量升级潜力不确定性评价方法及应用[J]. 石油与天然气地质, 2021, 42(3): 755-764.
LI Jun. Non-deterministic method for tight oil reserves upgrade potential assessment and its application [J]. Oil & Gas Geology, 2021, 42(3): 755-764.
- [29] 魏绍蕾, 黄学斌, 李军, 等. 基于概率法的页岩气单井并最终可采量评估: 以焦石坝页岩气田加密井为例[J]. 石油实验地质, 2021, 43(1): 161-168.
WEI Shaolei, HUANG Xuebin, LI Jun, et al. Shale gas EUR estimation based on a probability method: a case study of infill wells in Jiaoshiiba shale gas field [J]. Petroleum Geology & Experiment, 2021, 43(1): 161-168.
- [30] LI Dengwei, JIN Feng, YIN Yin. New method of analyzing cost estimation by integrating Monte-Carlo simulation and market investigation [C]//Abu Dhabi International Petroleum Exhibition and Conference. Abu Dhabi, UAE: Society of Petroleum Engineers, 2014.