

文章编号: 0253-9985(2011)02-0280-07

高成熟探区圈闭经济评价系统及其应用

刘金连¹, 张建宁²

(1. 中国石化 油田勘探开发事业部, 北京 100828; 2. 中国石化 石油物探技术研究院, 江苏 南京 210014)

摘要: 为了提高高成熟探区圈闭经济评价的水平, 服务于油田的勘探决策, 建立了高成熟探区圈闭经济评价系统。系统主要功能有: ①根据建立典型油气圈闭参数数据库, 应用人工神经网络方法进行非线性“类比”, 确定圈闭的油藏类型、勘探开发和生产模式, 模拟油气藏勘探开发全过程, 开展圈闭定量经济评价, 克服了传统评价方法的缺陷; ②采用蒙特卡罗仿真估算, 开展圈闭经济评价敏感因素和不确定性分析, 实现圈闭勘探风险的量化研究; ③应用最优化线性理论, 完成圈闭勘探投资效益与勘探风险的优化分析, 解决了过去圈闭经济评价中缺少风险分析和投资组合一体化评价的问题。该系统已经在胜利油田应用, 胜利油田年钻预探井 30 余口, 成功率在 40% 以上, 效果良好。

关键词: 不确定性; 组合优化; 风险分析; 高成熟探区; 圈闭经济评价

中图分类号: TE155

文献标识码: A

Economic evaluation system for traps in a highly-explored area and its application

Liu Jinlian¹ and Zhang Jianning²

(1. SINOPEC Oilfield Exploration and Development Department, Beijing 100828, China;

2. SINOPEC Geophysical Research Institute, Nanjing, Jiangsu 210014, China)

Abstract: To improve economic evaluation of traps in a highly-explored area and serve for exploration decision of oilfield, an economic evaluation system for traps in a highly-explored area was developed. The main functions of the system include the followings. ① The artificial neural network method can be used to carry out non-linear “analogy” on the available typical trap parameters database, so as to confirm trap types and the mode of exploration, development and production, to simulate the full process of oil/gas exploration and development, and to conduct quantitative economic evaluation of traps, which overcomes the disadvantages of traditional evaluation method; ② Monte Carlo simulation method can be used to carry out sensitive factor and uncertainty analysis of trap economic evaluation, and realize quantification of trap risks; ③ The optimal linearity theory can be used to perform optimization analysis of investment income and exploration risks, realizing integral evaluation of risk and portfolio. The system has been applied in Shengli oilfield, which drills over 30 exploration wells every year with a success rate of over 40%.

Key words: uncertainty, portfolio optimization, risk analysis, highly-explored area, trap economic evaluation

圈闭勘探决策是否可行不仅仅取决于地质、技术评价, 而且与经济分析有密切的关系。目前, 圈闭经济评价国内进行了比较深入的研究, 采用的方法很多^[1-8], 也形成了一些商业性的分析软

件。但是, 中石化高成熟探区圈闭勘探经济评价存在以下问题^[9-14]: ①评价需要的数据和参数不全面; ②勘探开发一体化环节相对比较薄弱, 难以实现开发和生产等过程的客观模拟, 导致评价结

收稿日期: 2010-08-16。

第一作者简介: 刘金连(1965—), 男, 高级工程师, 地震综合解释、油气勘探。

果不客观;③缺少风险评价、投资效益与风险的优化分析。

针对圈闭经济评价中存在的问题,本文以胜利油田多年勘探开发实际资料及经验为依据研发了圈闭经济评价系统。

1 设计指导思想

根据国际流行的经济学效用价值理论,勘探作为油田勘探开发全过程的一个环节,勘探的经济效益和勘探成果的价值并不来源于勘探本身,而来源于未来的开发与生产的经济效益。因此,勘探活动着眼于未来开发,圈闭的经济评价是勘探开发一体化评价系统。系统从圈闭的基本特征出发,以勘探开发成熟区的油气圈闭为样本,模拟圈闭勘探、开发和生产全过程:应用人工神经网络方法进行“类比”,定量地对圈闭进行地质储量、勘探投入、开发投资和基本建设等过程模拟计算,克服传统评价方法的缺陷,完善了经济评价的方法;通过采用蒙特卡罗仿真模拟,研究圈闭经济评价的不确定性,完成圈闭勘探决策的风险分析;应用最优化线性理论,开展圈闭勘探投资效益与勘探

风险的最优化分析,实现圈闭勘探过程中辅助决策手段的创新。本系统是建立在圈闭地质评价、经济评价、风险分析和勘探组合优化基础上,实现对同级的圈闭进行综合评价(图 1)。

系统考虑到在圈闭经济评价中,方法仅仅是基础,参数才是关键,经济评价结果的准确度取决于参数取定的合理性。建立了已深度开发的典型油气圈闭比较完整的参数数据库,为圈闭评价提供了可靠的样本,可很好地应用人工神经网络方法进行“类比”,保证评价结果客观合理。

在评价过程中,系统针对由于勘探成果存在不确定性带来对开发方案的变化,导致开发指标、经济参数不同,计算结果存在较大风险的问题,分析不同约束条件的变化(地质储量、勘探投资、预测利润、净现值等因素)对某个目标因素的影响和进行优化计算,并完成敏感性分析;也考虑某个因素要求差异变化对评价结果不同,使用蒙特卡罗仿真模拟,研究评价过程中的不确定性,突出风险评价,较好地满足实际油气勘探决策的需要。

圈闭勘探效益和风险的双目标评价带来投资决策的双目标优化。系统通过采用国际通用的现金流量法计算经济评价指标,以目标收益率判断

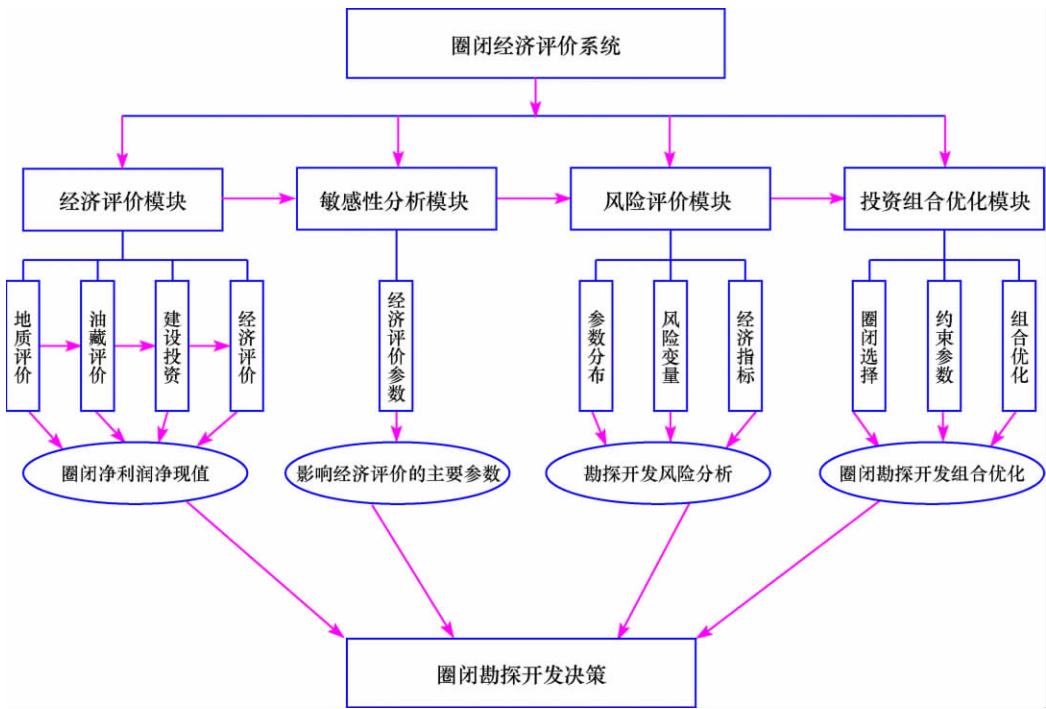


图 1 圈闭一体化经济评价系统流程

Fig. 1 Flow chart for the integrative economic evaluation system of traps

勘探投资是否有经济效益,并根据石油圈闭投资阶段性决策的特征,以勘探阶段的储量成果体现储量价值,实现经济价值评估。采用线性规划最优化方法,根据勘探决策的不同要求和约束条件,对圈闭勘探组合进行效益评估和勘探风险分析,使勘探组合在满足特定约束条件下达到效用最高,实现整个圈闭勘探在风险与收益之间达到平衡。

2 系统功能模块

2.1 经济评价模块

经济评价过程如图2所示,经济评价以地质储量为核心,以获得油气产量、经济收入为目的。从预测储量开始,计算控制储量、探明储量、可采储量,最后得到油气产量,计算其经济收入,实现经济评价。它包括预探、详探、开发建设和生产运行过程。在经济运行过程中包括勘探投资、开发投资和操作成本等几个方面。因此,本系统经济评价模块是对圈闭在客观、全面的地质评价的基础上,结合已经开发油气藏实际,根据具体地质规律,确定圈闭的油藏类型、开发模式。选择适宜的计算模型,对圈闭的勘探、开发建设和生产运行等过程实现模拟。

通过经济评价可得到圈闭的可能的控制储量、探明储量、可采储量和油气产量;预测其勘探、开发中可能需要的勘探投资、开发投资、操作成本等费用。并在明确已知原油价格的条件下,计算出可能的销售收入、期间费用和现金流量。最后计算出圈闭的内部收益率、净现值和净现值率。

2.2 敏感性分析模块

在圈闭经济评价中所使用的数据,大部分是

在一定的假设前提下通过预测和估计确定的,由于假设条件的主观随意性和各种预测方法的局限性,经济评价结果存在不确定性。敏感性分析是一种对圈闭不确定因素进行系统分析的方法,通过分析可能的不确定性因素对经济评价指标的影响,以估计影响圈闭经济评价结果最主要的因素,确认圈闭在经济评价中主要的因素。系统敏感性分析模块是通过分别对价格、产量、投资和成本变化,计算圈闭的净现值(NPV)变化特点,确定其中主要的敏感因素,进一步分析经济评价结果。

2.3 风险分析模块

由于计算储量所需的含油面积、油层有效厚度、油层孔隙度、含油饱和度、原油比重、原油体积系数等参数都存在很大的不确定性,计算出的储量成果必然存在很大风险。因此,圈闭评价必须突出风险评价。

系统采用蒙特卡罗法进行圈闭经济评价风险分析,蒙特卡罗法的实质是通过生成伪随机数的方法,使经济评价数学模型中的各参数变量进行随机的相乘或相加,以取得净现值估算的概率值的解。在具体计算时,首先确定含油面积、油层有效厚度、油层孔隙度、含油饱和度等参数的分布规律,给出其分布范围,然后用蒙特卡罗法进行圈闭风险分析,得到圈闭经济评价指标概率分布(图3),计算出圈闭的净现值的数学期望、标准差等。

本系统在充分考虑油气圈闭技术、商业等风险的基础上,建立圈闭决策树,对圈闭的净现值进行分析,有效地量化它的可靠性和稳定性,判断圈闭勘探的经济价值,为油气圈闭决策提供坚实的基础。

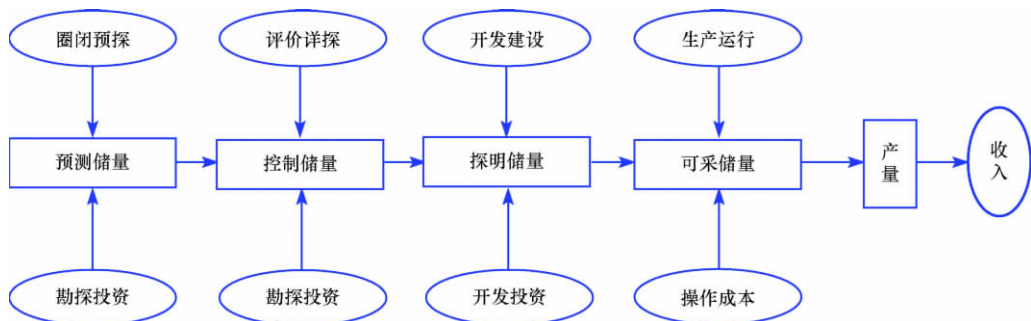


图2 圈闭经济评价流程

Fig. 2 Flow chart for the economic evaluation of traps

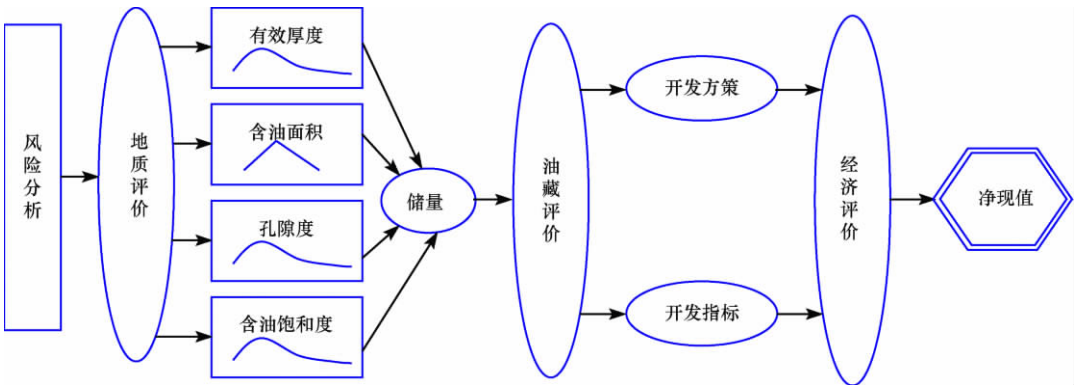


图 3 圈闭勘探蒙特卡罗风险分析流程

Fig. 3 Flow chart for the Monte Carlo risk analysis of trap exploration

2.4 组合优化模块

圈闭组合优化是应用最优化理论对各个圈闭进行最优化计算,得到最优化圈闭组合^[4]。本模块主要是在地质储量、勘探投资等因素的约束下,对圈闭组合进行最优化计算,它包含 0~1 最优化计算、0~1 整数最优化计算,共有 3 个部份:基础数据准备、0~1 最优化、0~1 整数最优化。

圈闭经过经济评价、风险分析,得到各圈闭蒙特卡罗模拟出的财务内部收益率的所有模拟值,各圈闭的投资、工作量、收益率、净现值的数学期望、标准差等。在此基础上,根据勘探决策要求,勘探投资在一定范围内,必须完成一定地质储量等约束条件下,采用线性规划理论,求出圈闭组合最优化结果(图 4),实现勘探的效益和风险双目标优化。通过组合优化,使其在满足特定约束条件时达到效用最高,使整个圈闭勘探在风险与收

益间达到平衡。即在一定风险范围内,获得圈闭组合的地质储量最大。在地质储量一定时,圈闭组合的风险最小。

3 应用实例

3.1 经济评价实例^[1]

垦 16 砂体位于东营凹陷陈家庄凸起东部,分别在馆陶组和沙河街组形成岩性地层圈闭,面积为 3.7 km²,储层总厚度为 40 m,埋深为 1 800 m (图 5)。陈家庄油田自 1973 年钻探陈 7 井获日产 4.7 t 的工业油流以来,1986 年上报了陈 25 井区探明石油地质储量 655 × 10⁴ t;1987 年度整体上报陈 25 井区探明含油面积 8.6 km²,石油地质储量 1 399 × 10⁴ t;1994 年度陈 40 块计算新增探明含油面积 0.6 km²,石油地质储量 108 × 10⁴ t;1995 年度陈 21—陈 33 块控制储量升级为探明石油地质储量 291 × 10⁴ t;2000 年在陈 376 井区上报探明石油地质储量 1 234 × 10⁴ t。1992 年 2 月开始对老井陈 36、陈 38 两口井进行常规稠油试采,日产油分别为 27.0 和 37.0 t,利用天然能量开采,采用正方形反九点井网,井距 250 m × 353 m 方案投入开发,开发井 110 口,建成产能 23 × 10⁴ t。

由于陈家庄凸起东部与西部具有相似的地质特征和成藏条件,勘探开发目标都是第三系的超覆与岩性油藏。因此,用陈家庄油田的历史数据和基本模式,模拟垦 16 砂体勘探开发和生产过程,即采用一样的开发、地面建设等方案,使用相同的探明率、采收率、单位成本(地震、钻井、采油、地面建设)和原油价格等参数分别计算垦 16 砂体

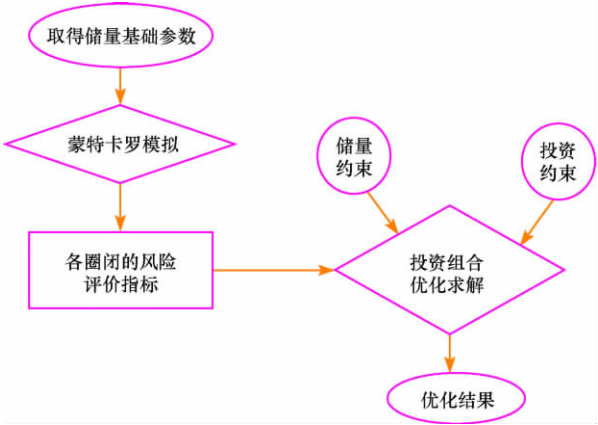


图 4 圈闭勘探组合优化计算流程

Fig. 4 Flow chart for the portfolio optimization of trap exploration

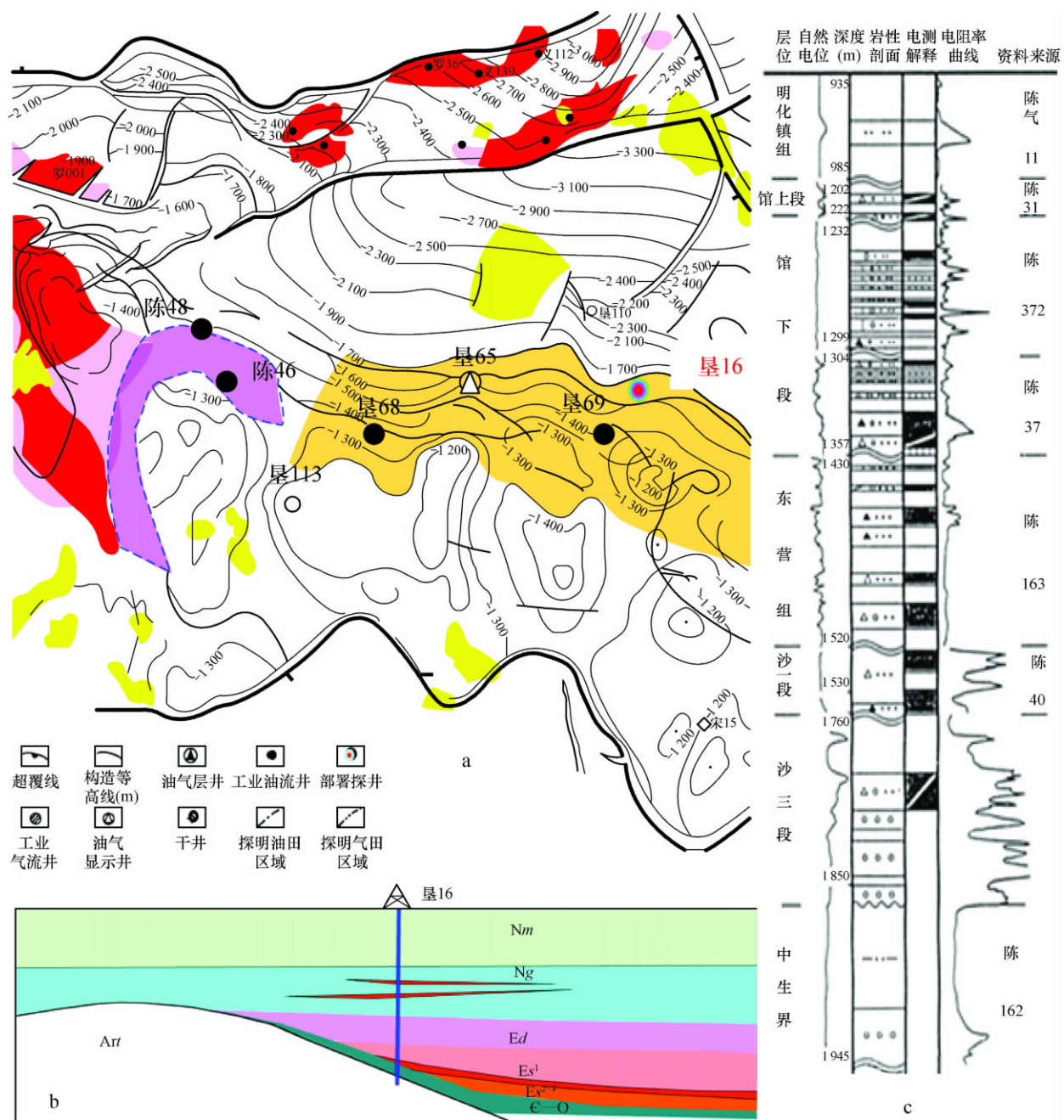


图 5 垦东油田综合评价

Fig. 5 Comprehensive evaluation of Kendong oilfield

a. 陈家庄油田勘探形势示意图 (T_g 构造图); b. 垦 16 圈闭油藏示意剖面; c. 垦 16 砂体综合柱状图

在风险概率为 95%, 50%, 5% 时, 石油地质储量的勘探投资、开发投资和内部收益率和净现值等经济参数(表 1), 完成经济评价。

评价结果表明, 虽然模拟过程和计算参数相同, 但地质储量不同, 内部收益率和净现值也不一样。实际上由于勘探、开发和建设等投资的差异, 内部收益率和净现值并不一定随着地质储量的增

大而提高。因此, 在对圈闭进行勘探投资决策时, 仅考虑圈闭地质储量的大小是不全面的, 只有开展经济评价, 对勘探目标进行组合优化, 圈闭勘探决策才会更加科学。同时, 由于地质储量计算、圈闭勘探开发和生产模拟过程都存在一定不确定性, 在进行经济评价时, 必须进行风险分析, 避免错误决策。

表 1 垦 16 砂体圈闭经济评价

Table 1 Economic evaluation of traps in Ken 16 sandbody

石油地质储量/(10^4 t)	勘探投资/(10^4 元)	开发投资/(10^4 元)	内部收益率, %	净现值/(10^4 元)
2 280(5% 概率)	4 248	20 933	64	77 774
790(50% 概率)	1 762	6 870	69	29 348
220(95% 概率)	323	1 809	71	7 625

3.2 组合优化分析实例^[12]

东营凹陷 2003 年度有 21 个石油储备圈闭, 圈闭面积 106.5 km^2 , 石油地质储量 $12\,260\times 10^4\text{ t}$ 。由于计划投资总额的限制, 不可能对这 21 个圈闭全部都进行钻探, 必须对它们进行优化。在计划投资总额要求小于 5×10^8 元, 控制地质储量大于 $3\,000\times 10^4\text{ t}$ 条件限制下, 传统的方法选择了 9 号、10 号和 13 号等 8 个圈闭进行勘探, 他们的地质储量是 $3\,028\times 10^4\text{ t}$, 圈闭组合风险的累计方差(风险) 为 $1\,720\times 10^4\text{ t}$ (表 2)。

为了研究这个组合是否达到最优, 应用本系统对 21 个石油储备圈闭进行最优化分析, 结果表明传统组合既没有达到效益最优, 也没有实现风险最小。系统效益最优组合选择的是 1, 6, 7 和 18 号等 4 个圈闭, 与传统组合结果比较, 在风险差不多的条件下, 石油地质储量增加了 $1\,899\times 10^4\text{ t}$, 达

到了效益优化的目的。风险最优组合选择的是 6 号和 7 号两个圈闭, 在可控制石油地质储量 $3\,020\times 10^4\text{ t}$ 的情况下, 勘探风险较传统组合减少 $730\times 10^4\text{ t}$, 实现降低风险的目标。

因此, 在计划投资总额小于 5×10^8 元、石油地质储量要求大于 $3\,000\times 10^4\text{ t}$ 的约束条件下, 通过应用本系统分析, 实现东营凹陷储备圈闭勘探的效益和风险双目标优化, 突出圈闭勘探的效益、降低可能发生的风险, 为科学决策提供依据。

4 结论

1) 本系统通过确定圈闭勘探、开发模式, 建立完善数学模型, 计算地质储量和油气产量, 模拟勘探、开发、生产到销售的全过程, 估算内部收益率和净现值, 并进行风险分析, 实现圈闭勘探效益与风险的优化。经过测试和应用, 操作方便, 实用性强, 满足圈闭经济评价要求, 具有应用和推广价值。

2) 系统采用的是一种“类比”方法, 以已经开发多年的油藏为样本进行评价计算, 因此, 大量、丰富和全面的样本圈闭是经济评价的基础。胜利油田经过 30 多年的勘探开发, 拥有大量已经开发多年的油藏的基本模式和基础参数, 为开展圈闭经济评价奠定了基础。

3) 系统使用的数据大部分是在一定的假设前提下通过预测和估计确定的, 在计算概率条件下的地质储量、勘探投资、预测利润、净现值和数学期望、方差的过程中, 都要求圈闭评价基础数据真实可靠。因此, 本系统的计算方法仅是基础, 客观合理的参数数据才是关键。

4) 对一组圈闭勘探进行优化之前, 必须对每个圈闭进行地质评价, 选择同级地质评价结果的圈闭, 应用地质、油藏、经济和油价对照等参数数据库和“类比”分析, 客观地引入有关的勘探、开发、油藏和经济等计算参数, 才能完成圈闭勘探组合效益和风险的优化分析。

表 2 圈闭组合优化对比

Table 2 Comparison of portfolio optimization of traps

圈闭序号		地质储量/ (10^4 t)	累计方差/ (10^4 t)
传统方法组合	9	240	120
	10	251	200
	13	540	280
	14	482	300
	15	641	400
	19	301	100
	20	369	200
	21	204	120
合计		3 028	1 720
圈闭组合优化	1	1 170	500
	6	1 665	800
	7	1 355	500
	18	831	300
	合计	5 021	2 100
	6	1 665	800
最小风险组合	7	1 355	500
	合计	3 020	1 300

参 考 文 献

- [1] 张建宁,谭明友. 济阳拗陷圈闭勘探经济评价初探 [J]. 油气地质与采收率,2007,14(2):105-107.
Zhang Jianning, Tan Mingyou. Preliminary discussion of economic assessment on trap exploration in Jiyang Depression [J]. Petroleum Geology and Recovery Efficiency, 2007, 14(2): 105-107.
- [2] 徐旭辉,朱建辉,金晓辉. 中国海相残留盆地油气资源潜力评价技术探索 [J]. 石油与天然气地质,2010,31(6):865-870.
Xu Xuhui, Zhu Jianhui, Jin Xiaohui. Method for appraising hydrocarbon resource potential in relict marine basins in China [J]. Oil & Gas Geology, 2010, 31(6): 865-870.
- [3] 金之钧,石兴春,韩保庆. 勘探开发一体化经济评价模型的建立及其应用 [J]. 石油学报,2002,23(2):1-5.
Jin Zhijun, Shi Xingchun, Han Baoqing. The foundation and application of the integrated model of economic evaluation in exploration and development [J]. Acta Petrolei Sinica, 2002, 23(2): 1-5.
- [4] 宋建国,张光亚,摘译. 勘探目标评价方法 [J]. 世界石油工业,1998,5(9):24-28.
- [5] 王川,彭苏萍. 对油气圈闭勘探决策理论和方法的讨论 [J]. 石油学报,2003,24(2):50-53.
Wang Chuan, Peng Shuping. Discussion about exploration decision-making theory and methods for oil and gas trap [J]. Acta Petrolei Sinica, 2003, 24(2): 50-53.
- [6] 罗凯升,贾希玉,翁宁. 圈闭评价与油气勘探决策 [J]. 新疆石油地质,1997,18(1):24-29.
Luo Kaisheng, Jia Xiyu, Weng Ning. Trap evaluation and oil and gas exploration decision [J]. Xinjiang Petroleum Geology, 1997, 18(1): 24-29.
- [7] 李树森,王川,樊民星. 对圈闭石油资源评价专家系统的认识 [J]. 石油与天然气地质,1994,15(3):187-192.
Li Shushen, Wang Chuan, Fan Minxing. Our understanding of trap's oil and gas resources assessment expert system [J]. Oil & Gas Geology, 1994, 15(3): 187-192.
- [8] 金之钧,张金川. 油气资源评价方法的基本原则 [J]. 石油学报,2002,23(1):19-23.
Jin Zhijun, Zhang Jinchuan. Fundamental principles for petroleum resources assessments [J]. Acta Petrolei Sinica, 2002, 23(1): 19-23.
- [9] 周总瑛,唐跃刚. 我国油气资源评价现状与存在的问题 [J]. 新疆石油地质,2004,25(5):554-556.
Zhou Zhongying, Tang Yuegang. Current Situation and problems in China's oil and gas resources assessment [J]. Xinjiang Petroleum Geology, 2004, 25(5): 554-556.
- [10] 王民,郭晓博,薛海涛,等. 多套源岩天然气扩散损失量评价——以松辽盆地北部浅层气源岩为例 [J]. 石油与天然气地质,2009,30(2):203-209.
Assessment of natural gas diffusion loss from multiple source rocks—an example from shallow gas source rocks in the northern Songliao Basin [J]. Oil & Gas Geology, 2009, 30(2): 203-209.
- [11] 张建宁,王延光,谭明友. 济阳拗陷圈闭勘探状况 [J]. 石油学报,2007,28(3):55-62.
Zhang Jianning, Wang Yanguang, Tan Mingyou. Drilling prospect analysis of reserve traps in Jiyang depression [J]. Acta Petrolei Sinica, 2007, 28(3): 55-62.
- [12] 李江龙,张宏方. 物质平衡方法在缝洞型碳酸盐岩油藏能量评价中的应用 [J]. 石油与天然气地质,2009,30(6):773-778.
Application of the material balance method to the energy evaluation of fractured-vuggy carbonate reservoirs [J]. Oil & Gas Geology, 2009, 30(6): 773-778.
- [13] 郭元岭,赵乐强,石红霞,等. 济阳拗陷圈闭石油地质储量特点分析 [J]. 石油勘探与开发,2001,28(3):33-36.
Guo Yuanling, Zhao Leqiang, Shi Hongxia, et al. Characteristic analyses of proven OOIP in Jiyang depression [J]. Petroleum Exploration and Development, 2001, 28(3): 33-36.
- [14] 马士忠,陈昭年,张建宁. 一种油气圈闭勘探组合优化计算方法 [J]. 油气地球物理,2004,2(2):21-23.
Ma Shizhong, Chen Zhaonian, Zhang Jianning. Computational method of exploratory optimization about hydrocarbon trapping combinations [J]. Geological Review, 2004, 2(2): 21-23.
- [15] 张建宁,韩文功. 济阳拗陷圈闭影响因素 [J]. 油气地质与采收率,2008,15(3):6-8.
Zhang Jianning, Han Wengong. Influential factors of pre-liminary prospecting traps in Jiyang depression [J]. Petroleum Geology and Recovery Efficiency, 2008, 15(3): 6-8.
- [16] 刘池洋,马艳萍,吴柏林,等. 油气耗散——油气地质研究和资源评价的弱点和难点 [J]. 石油与天然气地质,2008,29(4):517-526.
Liu Chiayang, Ma Yanping, Wu Bolin, et al. Weakness and difficulty of petroleum geology study and resource assessment: hydrocarbon dissipation [J]. Oil & Gas Geology, 2008, 29(4): 517-526.

(编辑 高岩)