

GeoX 软件在十屋断陷太平庄构造勘探中的应用*

朱又红

(中国石化石油勘探开发研究院, 北京 100083)

摘要: 将 GeoX 软件应用于十屋断陷太平庄构造勘探目标, 主要进行了地质风险分析、油气资源量计算和经济评价, 具体包括: (1) 对营城-登娄库组和泉头组勘探层的边缘概率、有效储层概率(P_1)、有效圈闭概率(P_2)、有效源岩及油气聚集概率(P_3)、有效保存概率(P_4)分别赋值, 可分别得到两套储层的油气发现概率 0.192 和 0.201, 由此判定太平庄构造的勘探属中等地质风险范畴; (2) 选取圈闭面积、储层厚度、几何形态、有效孔隙度、圈闭充填率、含油气饱和度等 12 项参数, 通过计算获得目标构造的地质资源量为 291×10^4 t, 可采资源量为 66×10^4 t, 属小型油气田, 资源丰度偏低; (3) 最后对勘探目标进行经济评价。现已探明太平庄构造的石油地质储量为 76×10^4 t, 与 GeoX 软件计算结果近似。

关键词: GeoX 软件; 地质风险分析; 资源量估算; 经济效益评价; 太平庄构造; 十屋断陷

作者简介: 朱又红, 男, 43 岁, 高级工程师, 石油地质

中图分类号: TE12.13 **文献标识码:** A

GeoX 软件是由挪威 Geoknowledge 公司开发的, 是当前国际上较为常用的资源-经济分析系统软件之一。GeoX 软件 4.0 版本由数据库、勘探层地质风险-资源分析模块、勘探层资源分析叠加模块、勘探目标地质风险-资源分析模块、全循环经济分析模块 5 部分组成, 主要用于钻前油气勘探远景评价或区域综合评价, 其分析思路与计算方法较为成熟, 是石油公司进行勘探决策和钻前油气勘探远景评价的重要工具。勘探层由一组勘探目标或油气藏组成。它们具有相同或相似的地质特征(烃源岩、储集岩、圈闭、构造发育史等)。勘探目标是指勘探层内可能存在商业性油气聚集的地下闭合几何体(即圈闭)^[1]。

1 工作步骤

1.1 地质风险分析

地质风险分析是对勘探层和勘探目标中油气聚集起关键作用的地质因素进行评价。具体步骤为: 定义勘探层 → 确定控制油气聚集的关键地质因素 → 制定地质风险赋值原则。GeoX 软件设置了两个级别的地质风险分析, 即勘探层级地质风险分析和勘探目标级地质风险分析。

勘探层级地质风险分析包括: 烃源岩、区域储层和区域盖层 3 个独立的地质因素(风险因子)。

勘探层边缘概率为上述 3 种因素存在概率值的乘积, 表示这 3 种因素在勘探层的某一地方同时存在的概率。

勘探目标级地质风险分析包括有效源岩、有效储层、有效圈闭和油气聚集后的有效保存等 4 种独立的地质因素(风险因子)。

油气藏条件概率为这 4 种地质因素存在概率值的乘积, 表示勘探层地质因素为有利条件下勘探目标是油气藏的概率。

通过对以上各项地质因素进行赋值, 计算出勘探层边缘概率和油气藏条件概率后, 便可得出勘探目标油气发现概率。

勘探目标油气发现概率 =

勘探层边缘概率 × 油气藏条件概率

地质风险因子 = 1 - 油气发现概率

因各地区的地质条件差异很大, 在建立地质风险分析模式时, 用户可以根据评价区的实际地质情况、具体地质条件和油气富集规律对地质风险分析模式进行修建, 如重新定义地质风险因素、增加或减少风险因素等。

1.2 油气资源量估算

在 GeoX 软件系统中, 油气资源量是各体积参数的乘积, 其计算公式与油气储量计算公式类似**。

* 中国新星石油公司科研项目: “GeoX 软件的开发及其在勘探决策中的应用”(XYK-98-72)

** 杨登维, 周瑾, 李维林, 等. GeoX 软件的开发及其在勘探决策中的应用[R]. 1999

收稿日期: 2003-11-24

$$I_o = NRV_o \cdot N_{et} / G_{ross} \cdot \Phi \cdot H \cdot F \cdot 1 / B_o$$

$$I_{ag} = I_o \cdot GOR$$

$$I_g = NRV_g \cdot N_{et} / G_{ross} \cdot \Phi \cdot H \cdot F \cdot 1 / B_g$$

$$I_c = I_g \cdot CGR$$

式中 I_o = 石油地质资源量; I_{ag} = 非伴生气地质资源量; I_g = 伴生气地质资源量; I_c = 凝析油地质资源量; $NRV_o = GRV(1 - \%HCPV_g)$; $NRV_g = GRV \cdot \%HCPV_g$; GRV = 圈闭面积·储层厚度·几何形态因子; N_{et} / G_{ross} = 砂地比; $\%HCPV_g$ = 非伴生气占含油气孔隙体积的百分比 = 烃类型系数; Φ = 孔隙度; H = 含油气饱和度; F = 圈闭充填率; B_o = 石油地层体积系数; B_g = 天然气地层体积系数; GOR = 气油比; CGR = 凝析油/天然气 = 凝析油产率。

1.3 经济评价

根据油气资源估算得出的油气可采资源量、石油公司勘探开发生产活动水平及投资预测,结合相应的财税条款,对勘探目标的经济效益进行模拟分析。具体分析步骤为:生产剖面模拟分析→估计税前现金流量→估计税后现金流量→项目经济效益分析。

1.3.1 生产剖面(开采曲线)模拟分析

通过对油气生产3个阶段(上升期、稳产期、递减期)所需的钻井数和生产期限等的计算,为估计税前现金流量、估计税后现金流量和项目经济效益分析奠定基础。

1.3.2 估计税前现金流量

根据生产剖面模拟分析的结果,利用生产成本参数和经济参数进行税前现金流分析。

1.3.3 估计税后现金流量

在进行税后现金流估算时,首先应确定财税方式(标准特许方式、产量分成合同方式)、税种、税率和税基,然后进行税后现金流估算。

1.3.4 项目经济效益分析

采用蒙特卡洛法和确定性估计法两种方法,通过对NPV(净现值)、IRR(内部收益率)、EMV(勘探项目期望货币值)、MER(最大经济储量)等参数的评价和敏感性分析,对勘探项目经济可行性及经济效益进行评估。

2 应用实例

本文以松辽盆地十屋断陷太平庄构造为例,

对太平庄勘探目标进行了钻前地质风险分析、油气地质资源量计算和潜在经济效益的评价。所使用的地质、地震、钻井、测井和实验分析等数据资料主要来源于太平庄构造以及邻区四五家子油气田和双龙构造。

2.1 勘探层的划分

太平庄勘探目标位于十屋断陷中央隆起带东北端(图1)。根据十屋断陷的油气勘探成果和综合研究成果,将十屋断陷划分为两个勘探层,即营城-登娄库组勘探层和泉头组勘探层。营城组为一套滨浅湖、沼泽相沉积,登娄库组为河流相沉积,泉头组则为冲积平原沉积^[2]。



图1 太平庄勘探目标地理位置图

Fig. 1 Map showing geologic location of Taipingzhuang exploration target

2.2 地质风险分析

2.2.1 勘探层级地质风险

十屋断陷已先后在营城-登娄库组和泉头组勘探层发现了孤家子、后五家户、八屋、四五家子等油气田。因此,营城-登娄库组勘探层和泉头组勘探层被认为是确定型勘探层,其勘探层的边缘概率赋值均为1。

2.2.2 勘探目标级地质风险

(1) 有效储层概率(P_1)

P_1 = 有效储层存在概率(P_{1a}) × 有效孔隙度概率(P_{1b})

根据二维地震剖面、钻井数据(砂泥比 × 储层总厚度)和实验分析数据(孔隙度和渗透率曲线)求得:营城-登娄库组勘探层 $P_1 = 0.7$, 泉头组勘探层 $P_1 = 0.8$ 。

(2) 有效圈闭概率(P_2)

P_2 = 有效圈闭存在概率(P_{2a}) × 有效盖层存在概率(P_{2b})

根据二维地震剖面测网密度(2 km × 2 km~1 km × 1 km) 地震反射波组特征、主要目的层构造图和钻井数据资料求得: P_{2a} = 0.8, P_{2b} = 0.8, P_2 = 0.6。

(3) 有效源岩及油气聚集概率(P_3)
 P_3 = 成熟源岩的存在概率(P_{3a}) × 有效运移的概率(P_{3b})

综合考虑十屋断陷主要烃源岩特征(表 1) 和构造特征, 分别求得 P_{3a} = 0.8, P_{3b} = 0.6; P_3 = 0.5。

表 1 十屋断陷主要烃源岩特征参数表
Table 1 Parameters of major source rocks' characteristics in Shiwu fault depression

参数	火石岭组+ 沙河子组+ 营城组
面积/ km ²	1 330
体积/ km ³	2 137
厚度/ m	1 000~ 6 000
埋深/ m	> 3 500
平均有机质丰度/ %	0.6~ 0.8
有机质类型	Ⅲ, Ⅱ
R_o / %	1.0~ 2.6
生气量/(10 ⁸ m ³)	46 320
面积生气强度/(10 ⁸ m ³ •km ⁻²)	34.8
体积生气强度/(10 ⁸ m ³ •km ⁻³)	21.7

(4) 油气聚集后的有效保存概率(P_4)
通过对太平庄勘探目标与烃源岩关系、圈闭体积和顶面变化情况、油气聚集后的构造与断裂活动情况综合分析, 将营城- 登娄库组勘探层和泉头组勘探层的 P_4 均确定为 0.8。

将上述 4 种地质风险的概率值相乘, 分别得到太平庄勘探目标泉头组储层的油气发现概率为 0.192, 营城- 登娄库组储层的油气发现概率为 0.201。参照地质风险评价标准, 太平庄勘探目标地质风险条件属于中等风险范畴。

2.3 油气资源量估算

在对太平庄勘探目标油气资源量进行计算过程中, 主要选取了四五家子油气田储量计算的相关参数(表 2)。

通过计算, 太平庄勘探目标的油气地质资源总量为 291 × 10⁴ t, 油气可采资源总量为 66 × 10⁴ t, 属于小型油气田资源规模。油气资源丰度为 7 ×

10⁴~ 8 × 10⁴ t/km², 为低资源丰度^[3]。

2.4 经济评价

2.4.1 生产剖面模拟

应用 GeoX 软件中所编制的计算公式对太平庄勘探目标的生产剖面进行模拟计算, 其结果表明, 太平庄勘探目标若能成为油田, 生产期为 35 年, 需钻井 34 口, 其中建产期 6 口, 产量上升期 13 口, 稳产期 15 口。

表 2 太平庄勘探目标油气资源量计算参数一览表
Table 2 Parameters of oil/ gas resources calculation in Taipingzhuang exploration target

参 数	营城- 登娄库组勘探层	泉头组勘探层
圈闭面积/ km ²	4~ 7	3.5~ 6
储层厚度/ m	30~ 52	10~ 25
几何形态因素	0.64	0.64
有效孔隙度/ %	7~ 22	8~ 35
圈闭充填率/ %	20~ 40	15~ 30
含油气饱和度/ %	45	50
天然气占烃类总量百分比/ %	10~ 15	5~ 10
原油采收率/ %	15~ 25	15~ 25
天然气采收率/ %	55~ 65	50~ 60
原油体积系数	1.07	1.06
天然气体积系数	13.4	23.0
气油比/(m ³ •m ⁻³)	6.53~ 9.01	6.53~ 9.01

2.4.2 确定性分析

通过对税前现金流和税后现金流进行计算, 其结果表明: (1) 太平庄勘探项目的勘探总投资为 3.064 亿元, 其中固定资产投资 0.846 亿元, 操作费用 2.218 亿元。平均每立方米油当量的固定资产投资和操作费用分别为 128.45 元和 336.65 元; (2) 项目的营业收入为 4.16 亿元, 应向政府交纳税金 0.96 亿元; (3) 全部投资的内部收益率(IRR) 税前为 12.64%, 税后为 9.12%, 小于 12% 的基准收益率^[4]。财务净现值(NPV) 税前为 0.20 亿元, 税后为 0.068 7 亿元, 略大于零。

2.4.3 敏感性分析

通过对项目的价格、操作费用和固定资产投资进行敏感性分析发现, 油价对内部收益率和净现值的影响最大, 其次是固定资产投资和操作费用。当油价下降 10% 时, 项目的经济效益(内部收益率和净现值) 即为零, 说明项目的抗风险能力差。

后经勘探证实, 太平庄勘探目标为一小型油

气藏, 现已探明石油地质储量 76×10^4 t, 油气藏的资源规模与 GeoX 软件计算的结果相似。

建立适合于评价地区地质特征的地质风险分析程序和赋值原则, 尽可能考虑各类资料的不确定性, 是减少人为因素影响和提高评价结果可信度的关键。

参 考 文 献

1 Robert M. A process for Evaluating Exploration Prospects [J]. AAPG

Bull, 1997, 8117: 1 087~ 1 108.

- 2 唐黎明, 何兴华. 松辽盆地梨树凹陷泉头组沉积特征[J]. 石油与天然气地质, 2002, 23(3): 266~ 268
- 3 周荔青, 雷一心. 中国主要陆相含油气盆地油气田规模特征[J]. 石油与天然气地质, 2001, 22(2): 8~ 9
- 4 中国石油天然气总公司计划局, 中国石油天然气总公司规划设计总院. 石油工业建设项目经济评价方法与参数(第二版)[M]. 北京: 石油工业出版社, 1994. 20~ 21

APPLICATION OF GeoX SOFTWARE TO HYDROCARBON EXPLORATION IN TAIPINGZHUANG STRUCTURE IN SHIWU FAULT DEPRESSION

Zhu Youhong

(Exploration & Production Research Institute, SINOPEC, Beijing)

Abstract: During the exploration in Taipingzhuang structure, the GeoX software has mainly be applied to make geologic risk analysis, estimation of hydrocarbon resources, and economic evaluation. (1) Through setting valuation on marginal probability, and probabilities of effective reservoir (P_1), effective trap(P_2), effective source rock and hydrocarbon accumulation (P_3) and effective preservation(P_4) in both exploration targets, Yingcheng Formation and Quanzhen Formation, the finding probabilities in the two reservoir sets have been calculated to be 0.192 and 0.201, respectively. It can then be judged that the exploration in Taipingzhuang structure would be in the category of moderate geologic risk. (2) Giving the 12 parameters, including trap area, reservoir thickness, geometric configuration, effective porosity, trap's fillup efficiency, oil/gas saturation, etc, the resources in place and recoverable resources in the target structure can then be estimated to be 2.91million tons and 0.6 million tons, respectively. It should be of small field with rather low abundance. (3) Lastly, economic evaluation of the exploration target has been made. The geologic reserves in Taipingzhuang structure has now been proved to be 0.76million tons of oil, very similar to the estimating result made with GeoX software.

Key words: GeoX software; geologic risk analysis; resource estimation; economic benefit evaluation; Taipingzhuang structure; Shiwu fault depression

(Continued from Page 403)

gas. Therefore, the formation pressure in production process is usually used to describe qualitatively the distribution of remaining gas. According to the state equation of real gas and the definition of recoverable gas reserve, the functional relation between produced degree of recoverable gas reserve (K) and formation pressure (P) has been established, by which the formation pressure distribution during production process can be transformed to the distribution of produced degree of recoverable gas reserve, realizing the quantitative description of remaining gas distribution.

Key words: remaining gas; reservoir; low-permeability gas reservoir; dry gas reservoir; produced degree of recoverable gas reserve