

蒙特卡洛法在花庄油田页岩油储量估算上的应用

肖震

中国石化江苏油田分公司勘探开发研究院, 江苏 扬州

收稿日期: 2023年5月11日; 录用日期: 2023年6月12日; 发布日期: 2023年6月19日

摘要

蒙特卡洛法是一种概率统计法, 又称概率法。在工程计算中有很多应用, 它以概率论为理论基础, 通过计算得到储量概率分布曲线。可以提供不同可靠程度的储量数值。勘探初始阶段可使用概率较低的数值作为勘探的风险值; 而在开发初始阶段, 可使用概率较高的数值。本文论述了概率法的储量估算原理, 以花庄油田三个井区为例, 建立了储量计算参数的数学模型, 计算出了各储量参数的概率分布曲线以及各个计算单元的储量概率分布曲线, 最终累加得到花庄油田的储量概率分布曲线。在用常规的储量计算方法无法得到确定的值时, 使用蒙特卡洛法计算出来的值相对更加合理, 更能反映人们对地下的认识程度, 对勘探开发工作更具有指导意义。目前, 概率法已经被国内外石油公司广泛使用, 成为储量估算的常规方法之一。

关键词

蒙特卡洛法, 储量概率分布, 储量估算

Application of Monte Carlo Method to Estimation of Shale Oil Reserves in Huazhuang Oilfield

Zhen Xiao

Research Institute of Exploration and Development, SINOPEC Jiangsu Oilfield Company, Yangzhou Jiangsu

Received: May 11th, 2023; accepted: Jun. 12th, 2023; published: Jun. 19th, 2023

Abstract

Monte Carlo method is also known as probability statistics method. This method takes random va-

riables as the object and probability theory as the theoretical basis. The calculated result is a probability distribution curve of reserves. Reserve values with different reliability can be selected according to different needs. At the initial stage of exploration, large reserves with low probability can be selected as the exploration risk value. In the early stage of development, small reserves with high probability can be selected. This paper discusses the reserve estimation principle of probabilistic method, takes three well areas of Huazhuang Oilfield as an example, establishes the mathematical model of the reserve calculation parameters, calculates the probability distribution curve of each reserve parameter and the probability distribution curve of each calculation unit, and finally gets the reserve probability distribution curve of Huazhuang oilfield. When the general reserve calculation method cannot be determined, using probability method to select a range value can reflect people's understanding of underground better than using a certain value, and has more guiding significance for exploration and development work. Probability method is widely used by foreign oil companies, and has become one of the conventional methods to calculate resources and reserves.

Keywords

Monte Carlo Method, Reserve Probability Distribution, Reserve Estimation

Copyright © 2023 by author(s) and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY 4.0).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

1. 引言

油气储量评估一直是十分重要的工作，是油公司的核心资产及关键指标，是指导油气勘探开发、确定投资规模的重要依据[1]。目前常规的储量评估方法包括类比法、容积法、物质平衡法和预测模型法等[2]。随着全球油田地质情况的复杂程度加深，含油面积、有效厚度等油藏参数变化范围越来越大，在参数选取时更容易出现取值误差，因此储量估算出现误差难以避免。利用常规的容积法计算出的确定的储量值是不可靠的。我国现行发布的石油天然气储量计算规范中，概率法已被确定为储量计算方法之一。对于复杂岩性油气藏，即使勘探程度较高，有时储量参数也很难准确求取，因此本文根据花庄地区的实际情况，通过概率法估算地质储量，使估算结果更合理。

2. 蒙特卡洛法储量估算原理

蒙特卡洛法以随机变量为对象，以概率统计为基础，计算得到储量期望曲线，可以提供不同的储量计算结果。油公司可以根据需要取可靠程度不同的值，按照多种滚动开发方案进行部署，大大减少了勘探开发过程中的盲目性[3]。蒙特卡罗方法可以直观地体现出各项油藏参数的分布范围及特点，是一种不确定性分析方法，估算结果更合理、更符合客观实际[4]。

蒙特卡洛法计算储量采用经典容积法公式：

$$N = 100Ah\Phi S_{oi}\rho_o / B_{oi}$$

式中 N ——石油地质储量(10^4 m^3)； A_o ——含油面积(km^2)； h ——平均有效厚度； Φ ——平均有效孔隙度； S_{oi} ——平均原始含油饱和度； B_{oi} ——原始原油体积系数。

蒙特卡洛法的主要理论基础是概率统计理论，主要手段是随机抽样、统计试验。蒙特卡罗方法为

了解问题，将待计算变量建立数学模型或随机过程，使它的参数或特征等于问题的解[5]；对影响其结果的随机变量进行分布类型选择，通过随机变量进行多次抽样后，将抽样值代入预先建立好的数学模型中，求得一组目标变量的值，并计算出目标变量的概率分布、累计概率分布、期望、标准差等统计特征[6]。

3. 概率法参数取值

使用概率法计算油气地质储量时，含油面积、有效厚度、有效孔隙度和原始含油饱和度的取值范围相对较大，需要构建符合它们规律的概率分布函数。而原油密度和原油体积系数一般情况下变化很小，因此视为定量；本文以花庄油田 HF1 区块为例，共划分为 E_1f_2 页岩IV亚段、 E_1f_2 页岩V亚段 2 个计算单元进行参数的选取。

3.1. 含油面积选取

① HF1 井区 E_1f_2 IV亚段含油面积

结合油藏特征和含油面积圈定原则，在 E_1f_2 IV亚段油层顶面构造图上，东、西两侧以出油井外推 1.5~6 倍开发井距划储量计算线，南北以大断层为界，共同圈定的含油面积为 $9.3 \text{ km}^2 \sim 32.87 \text{ km}^2$ 作为 P90、P10 含油面积，P90 含油面积取值 9.3 km^2 、P10 含油面积取值 32.87 km^2 (表 1)。

② HF1 井区 E_1f_2 V亚段含油面积

结合油藏特征和含油面积圈定原则，在 E_1f_2 V亚段油层顶面构造图上，东、西两侧以出油井、资料井外推 1.5~6 倍开发井距划储量计算线，南北以大断层为界，共同圈定的含油面积为 $14.58 \text{ km}^2 \sim 28.37 \text{ km}^2$ 作为 P90、P10 含油面积，P90 含油面积取值 14.58 km^2 、P10 含油面积取值 28.37 km^2 (表 1)。

Table 1. Value basis of E_1f_2 shale oil area in HF block

表 1. HF 区块 E_1f_2 页岩油含油面积取值依据表

单元	取值依据	含油面积取值(km^2)
HF1 区块 E_1f_2 IV亚段	P90: 1.5 倍井距	9.3
	P10: 6 倍井距	32.87
HF1 区块 E_1f_2 V亚段	P90: 1.5 倍井距	14.58
	P10: 6 倍井距	28.37

将选取的面积参数输入概率法计算公式中，生成含油面积频率分布函数曲线，可以看出 E_1f_2 IV 亚段和 E_1f_2 V 亚段含油面积呈现正态分布的规律(图 1、图 2)。

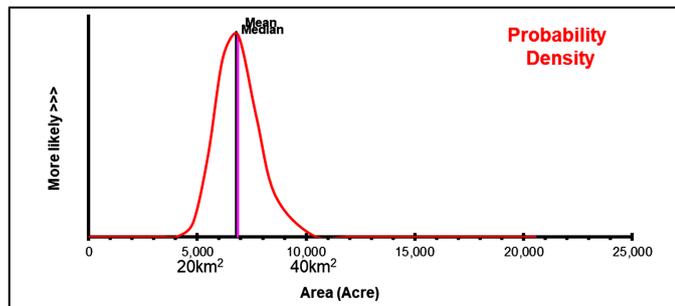


Figure 1. Distribution frequency of oil bearing area of E_1f_2 IV sub-member in well HF1 area

图 1. HF1 井区 E_1f_2 IV亚段含油面积分布频率

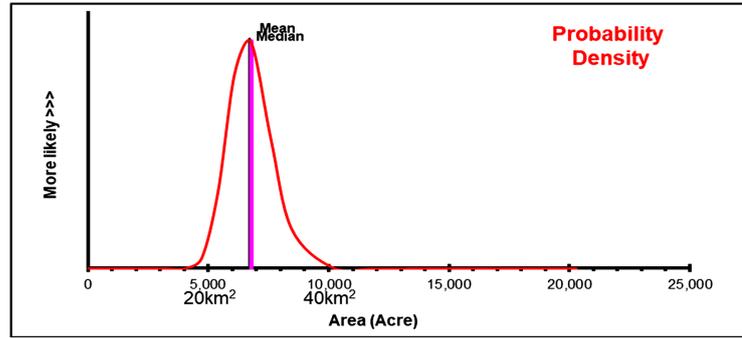


Figure 2. Distribution frequency of oil-bearing area of E₁f₂ V submember in well HF1 area

图 2. HF1 井区 E₁f₂ V 亚段含油面积分布频率

3.2. 有效厚度选取

HF1 区块页岩IV油藏和V油藏厚度分布较为稳定，4 口资料井(HF101、HF1、HF2 侧、HF28 井)，IV 亚段油藏有效厚度单井最小值为 70.9 m，最大值为 73.6 m，因此取区间值 70.9 m~73.6 m 作为 P90、P10 有效厚度，P90 有效厚度取值 70.9 m、P10 有效厚度取值 79.3 m；V亚段油藏有效厚度单井最小值为 59.8 m，最大值为 68.9 m，取区间值 59.8 m~68.9 m 作为 P90、P10 有效厚度，P90 有效厚度取值 59.8 m、P10 有效厚度取值 68.9 m (表 2)。

Table 2. Data table of effective thickness of E₁f₂ shale oil in HF1 block

表 2. HF1 区块 E₁f₂ 页岩油有效厚度取值数据表

井区	井号	有效厚度(m)	
		IV亚段	V亚段
HF1	HF1 井	73.3	66.2
	HF2 侧井	73.6	68.9
	HF101 井	70.9	59.8
	HF28	71.7	未钻全
	P90 取值	70.9	59.8
	P10 取值	73.6	68.9

3.3. 有效孔隙度选取

HF1 井区内各单井孔隙度利用厚度权衡，IV亚段油藏和V亚段油藏有效孔隙度分布较为稳定，4 口资料井(HF101、HF1、HF2 侧、HF28 井)IV亚段油藏有效孔隙度最小值为 4.7%，最大值为 5.2%，取区间值 4.7%~5.2%作为 P90、P10 有效孔隙度，P90 有效孔隙度取值 4.7%、P10 有效孔隙度取值 5.2%；V亚段油藏有效孔隙度最小值为 5.1%，最大值为 5.3%，取区间值 5.1%~5.3%作为 P90、P10 有效孔隙度，P90 有效孔隙度取值 5.1%、P10 有效孔隙度取值 5.3% (表 3)。

3.4. 含油饱和度选取

HF1 井区各单井原始含油饱和度采用有效孔隙体积权衡。IV油藏原始含油饱和度最小值为 48.6%，最大值为 53.7%，取区间值 48.6%~53.7%作为 P90、P10 原始含油饱和度，P90 原始含油饱和度取值 48.6%、P10 原始含油饱和度取值 53.7%；V亚段油藏含油饱和度最小值为 48.9%，最大值为 54.3%，取区间值

48.9%~54.3%作为 P90、P10 原始含油饱和度, P90 原始含油饱和度取值 48.9%、P10 原始含油饱和度取值 54.3%(表 4)。

Table 3. Value data of E_{1f_2} shale oil effective porosity in HF1 block

表 3. HF1 区块 E_{1f_2} 页岩油有效孔隙度取值数据表

井区	井号	有效孔隙度(%)	
		IV亚段	V亚段
HF1	HF1 井	5.2	5.2
	HF2 侧井	4.9	5.3
	HF101 井	5	5.1
	HF28	4.7	未钻全
	P90 取值	4.7	5.1
	P10 取值	5.2	5.3

Table 4. Original oil saturation data of E_{1f_2} shale oil in HF1 block

表 4. HF1 区块 E_{1f_2} 页岩油原始含油饱和度取值数据表

井区	井号	含油饱和度(%)	
		IV亚段	V亚段
HF1	HF1 井	49.5	54.3
	HF2 侧井	53.7	51.2
	HF101 井	50.1	48.9
	HF28	48.6	未钻全
	P90 取值	48.6	48.9
	P10 取值	53.7	54.3

3.5. 地面原油密度及原油体积系数

地面原油密度和原油体积系数根据取得实际资料分析认为, 确定的数值变化不大, 因此可视为定值。

HF1 区块地面原油密度根据实际分析取值, 选取区间值为 $0.882 \text{ t/m}^3 \sim 0.861 \text{ t/m}^3$ 。原油体积系数根据原始原油体积系数与原始气油的关系式, 根据生产气油比计算, HF1 区块两个亚段原油体积系数选取为区间值 1.18~1.24。

4. 概率法估算结果

将以上确定的各项储量参数输入概率法计算软件中, 每个参数经过随机抽样取值, 得到了 HF1 区块的地质储量分布函数(图 3、图 4), 10%、50%、90% 频率对应的估算储量分别为 P10、P50、P90 (表 5)。P10 储量估算结果 $8411.9 \times 10^4 \text{ t}$ 、P50 储量估算结果 $6913.1 \times 10^4 \text{ t}$ 、P90 储量估算结果 $5681.5 \times 10^4 \text{ t}$, P10 估算储量与容积法估算储量大体一致。

Table 5. Results of estimating E_{1f_2} shale oil reserves in HF1 block by probability method

表 5. 概率法估算 HF1 区块 E_{1f_2} 页岩油储量结果表

井区	计算单元	储量计算结果(10^4 t)		
		P10	P50	P90
HF1	E_{1f_2} IV 亚段	4371.7	3587.5	2944
	E_{1f_2} V 亚段	4040.2	3325.6	2737.5
	合计	8411.9	6913.1	5681.5

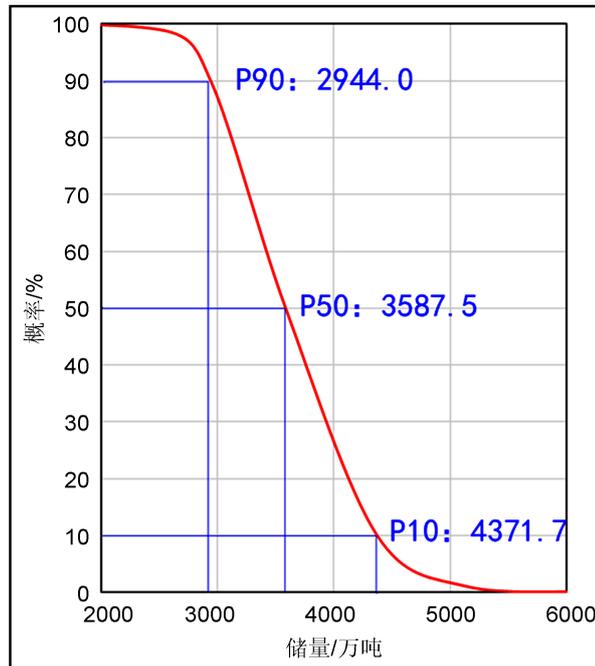


Figure 3. Distribution curve of IV oil group in Block HF1
图 3. HF1 区块 IV 油组储量分布曲线图

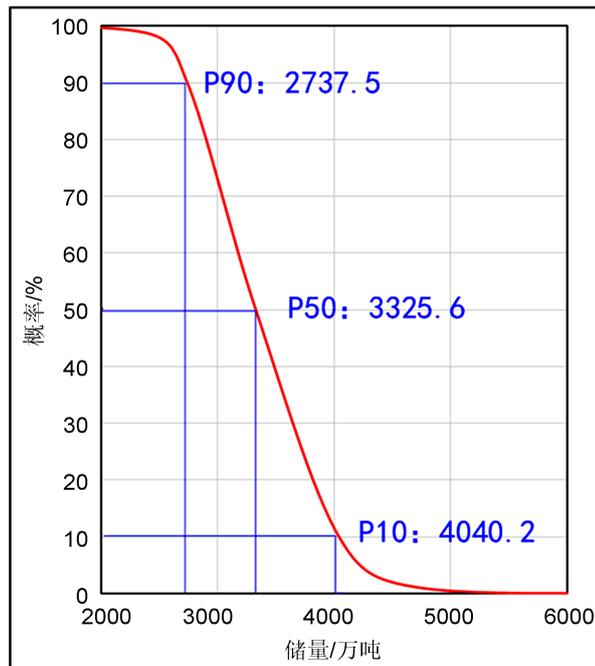


Figure 4. Distribution curve of V oil group in Block HF1
图 4. HF1 区块 V 油组储量分布曲线图

5. 结论

1) 蒙特卡洛法估算的油气储量数值对容积法估算出的储量数值，计算结果相近，证明利用蒙特卡洛法估算油气储量是比较可靠的。

2) 蒙特卡洛法估算页岩油储量是一种新的尝试,可作为常规容积法估算储量的一种补充与验证,进一步增加储量估算的可信度。

3) 开展页岩油不同阶段储量概率估算,其结果对下一步勘探开发具有一定的参考意义。

参考文献

- [1] 贾成业, 贾爱林, 邓怀群, 等. 概率法在油气储量计算中的应用[J]. 天然气工业, 2009, 29(11): 83-85.
- [2] 贾承造. 美国 SEC 油气储量评估方法[M]. 北京: 石油工业出版社, 2004: 10-150.
- [3] 杨通佑, 范尚炯, 陈元千, 等. 石油及天然气储量计算方法[M]. 北京: 石油工业出版社, 1990.
- [4] 文环明, 肖慈珣, 李薇, 等. 蒙特卡洛法在油气储量估算中的应用[J]. 成都理工学院学报, 2002, 29(5): 487-492.
- [5] 罗明高. 确定含油气面积存在的问题及正确的方法[J]. 西南石油学院学报, 1992, 14(3): 9-13.
- [6] 阮姣姣. 蒙特卡洛方法在储量计算和经济评价中的应用[D]: [硕士学位论文]. 荆州: 长江大学, 2015: 1-74.