

# 用 EXCEL 实现油气可采储量估算 的蒙特卡洛模拟分析

刘清志, 马二领

(中国石油大学(华东) 经济管理学院, 山东 东营 257061)

**摘要:**本文介绍了蒙特卡洛(模拟)方法的原理以及 Excel 软件强大的函数计算功能和图表功能,并应用 Excel 建立油气可采储量估算的数学模型,然后进行蒙特卡洛模拟试验,最终估算出一个具有一定可信度的、比较合理的油气可采储量数值。

**关键词:** Excel; 石油天然气可采储量; 蒙特卡洛模拟

**中图分类号:** F232; F275 **文献标识码:** A **文章编号:** 1002 - 980X(2009)09 - 0063 - 03

油气勘探开发是一项高风险、高技术、高投入和高回报的商业经营活动。无论是在新区发现新油气,还是在成熟区老油田增加新储量,对油气可采储量的估算贯穿于石油勘探开发活动的始终。油气可采储量受很多参数的影响,如孔隙度、油区面积、油层厚度、水饱和度、原油体积系数和采收率等。以上参数往往来自估计或者预测,带有某种不确定性,这种不确定性则可能出现预期结果与实际结果完全相反的现象,导致项目投资的失败和项目决策的失误。因此,采用科学的油气可采储量估算方法至关重要,其中蒙特卡洛模拟方法对于解决这类问题是一种比较理想的方法。

## 1 蒙特卡洛(模拟)法原理

蒙特卡洛(模拟)法是一种概率统计法或统计模拟法,在工程计算和随机信号处理中有许多应用<sup>[1]</sup>。国际上普遍采用蒙特卡洛法对油气可采储量进行估算,在国内油气可采储量的估算一直沿用原苏联的分类方案和估算方法。因为石油天然气勘探开发工作中的可采储量估算在很大程度上属于概率统计问题,采用蒙特卡洛法估算油气可采储量将更合理和符合客观实际,所以国内开始使用蒙特卡洛法估算油气可采储量。

石油天然气勘探开发的投资决策中,使用任何一个可采储量数值时都需要了解该数值的可靠程度,即得到该可采储量可能出现的概率。而用传统的容积法估算可采储量只能得到一个确定的可采储量数值,不能定量说明该数值的可靠程度,因而给决策工作带来一定的困难。蒙特卡洛法以随机变量为

对象,以概率论为基础,计算的结果是一条可采储量期望曲线。可采储量期望曲线可以提供不同可靠程度的可采储量数值,人们可以按照不同的需要取值。在使用可采储量数值时,一般选用一个可采储量范围值,这样更能反映人们对地下资源的认识程度,因而对勘探开发工作更富有指导意义。

## 2 用 EXCEL 建模的几个问题

蒙特卡洛模拟方法的应用与计算机技术的发展密不可分,只有借助计算机高效、便捷的计算功能,蒙特卡洛模拟在实践中的应用才成为可能。经过最近十几年计算机软硬件技术的飞速发展,Excel 软件已成为大众首选的决策分析工具软件<sup>[2]</sup>。

Excel 软件内置了丰富的函数,并且结合单元格的引用可实时反映某单元格变量的变化而引起公式计算结果的改变,是建立数学模型、进行蒙特卡洛模拟试验的理想工具。这里只对 Excel 建模过程中的几个关键问题作简要阐述。

1) 随机数的产生<sup>[3]</sup>。

蒙特卡洛模拟分析需要在计算机上产生一次模拟过程所需的足够数量的随机数。通常先产生均匀分布的随机数,然后生成服从某一分布的随机数,方可进行随机模拟试验。

RAND() 函数返回 [0, 1] 间的均匀分布随机数。

若要生成  $a$  与  $b$  间的随机实数,可用式(1):

$$\text{RAND}() \times (b - a) + a \quad (1)$$

若要生成  $a$  与  $b$  ( $a, b$  为整数) 之间的随机整数,可使用式(2):

收稿日期: 2009 - 06 - 26

作者简介: 刘清志(1954 →), 男, 山东东营人, 中国石油大学(华东) 经济管理学院教授, 研究方向: 工业建设项目经济评价、管理科学与工程、决策优化; 马二领(1984 →), 男, 河北保定人, 中国石油大学(华东) 经济管理学院硕士研究生, 研究方向: 管理科学与工程。

$INT(RAND() \times (b - a + 1) + a)$ 。(2)

若要生成三角分布随机数,可使用式(3):

$RANDTRIANGULAR(\text{minimum}, \text{most likely}, \text{maximum})$ 。(3)

类似地,还可根据需要生成服从相应参数的对数分布、正态分布、伽玛分布等概率分布的随机数。

2) 统计函数。

Excel 建模过程中还会使用大量统计函数。如: AVERAGE 函数, 返回样本的平均值; STDEV 函数, 返回样本的标准方差; COUNT 函数, 返回样本的数量; FREQUENCY 函数, 返回某个区域中数据的频率分布。

以上函数均有相应的参数和使用条件, 在此不再一一赘述。

3 应用实例分析<sup>[4]</sup>

某地区发现一块新油田, 经过测井、试井等油田测试方法进行测定后, 得到影响油气可采储量参数的一些数据, 并且根据测算结果给出了这些参数的分布函数(如表 1 所示)。以表 1 中的数据为依据, 试估算该含油区域潜在的油气可采储量。

表 1 影响油气可采储量参数的分布函数

变量	变量分布函数	最小值	最有 可能值	最大值
孔隙度 (%)	三角分布	13	20	26
含油面积 (acres)	均匀分布	1500		3000
油层厚度 (feet)	三角分布	50	100	130
水饱和度 (%)	均匀分布	15		25
原油体积系数 (bbl/STB)	均匀分布	1.1		1.3
采收率	三角分布	0.3	0.4	0.45

估算油气可采储量的一般方法是容积法, 其基本思想是通过储层参数估算出储层中的油气体积, 然后将该体积乘以采收率油气的可采储量。容积法估算可采储量的公式如下:

$$N_p = \frac{7758Ah(1 - S_{wi})}{B_{oi}} R_F$$

其中: A 为含油面积 (acres); h 为油层厚度 (feet);  $\phi$  为孔隙度 (%);  $S_{wi}$  为水饱和度 (%);  $R_F$  为采收率 (%);  $B_{oi}$  为原油体积系数 (bbl/STB);  $N_p$  为油气可采储量 (STB)。

利用 Excel 软件建立的数学模型界面如图 1 所示。

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L
1												
2	原始资料											
3	变量	变量分布函数	最小值	最有 可能值	最大值							
4	孔隙度 (%)	三角分布	13	20	26							
5	含油面积 (acres)	均匀分布	1500		3000							
6	油层厚度 (feet)	三角分布	50	100	130							
7	水饱和度 (%)	均匀分布	15		25							
8	原油体积系数 (bbl/STB)	均匀分布	1.1		1.3							
9	采收率	三角分布	0.3	0.4	0.45							
10												
11	模拟结果的统计参数:											
12	项目	孔隙度 $\phi$	含油面积 (acres) A	油层厚度 (feet) h	水饱和度 $S_{wi}$	原油体积系数 $B_{oi}$	采收率 $R_F$	可采储量 $N_p$ (STB)				
13	最小值	0.1323	1500.7195	50.2885	0.1500	1.1000	0.3020	25636166.1045				
14	最大值	0.2679	2999.8519	128.9283	0.2500	1.3000	0.4494	198273149.5249				
15	平均值	0.1965	2237.5786	92.9967	0.2007	1.2011	0.3835	81089533.6629				
16	标准方差	0.0264	433.3773	16.5753	0.0291	0.0581	0.0312	25671023.1104				
17	标准误差	0.0004	6.1168	0.2329	0.0004	0.0008	0.0004					
18	观测数	5000	5000	5000	5000	5000	5000	5000				
19												
20	试算数据:											
21	模拟次数	孔隙度 $\phi$	含油面积 (acres) A	油层厚度 (feet) h	水饱和度 $S_{wi}$	原油体积系数 $B_{oi}$	采收率 $R_F$	可采储量 $N_p$ (STB)	累计平均可采储量 (STB)	频率分布:	频数	
22	1	0.2142	2524.9513	54.7979	0.2173	1.1817	0.3550	54059227.9409	54059227.9409	20000000	0	
23	2	0.1586	2585.9153	117.1364	0.1597	1.1087	0.4085	115393131.3474	84726179.6442	22000000	0	
24	3	0.1916	1878.3587	92.2231	0.1673	1.2854	0.3391	56552042.0813	75334800.4566	24000000	0	
25	4	0.2468	2789.4992	107.6875	0.2190	1.2361	0.3474	126258426.8004	88065707.0425	26000000	1	
26	5	0.1771	1658.3920	70.4325	0.2473	1.1872	0.3956	40252561.8477	78503078.0036	28000000	1	
27	6	0.1827	1656.0632	84.1245	0.1609	1.1371	0.3460	50412603.9836	73821332.3336	30000000	6	
28	7	0.1793	1744.2291	74.7587	0.1772	1.1614	0.4023	51707655.2589	70662235.6086	32000000	15	
29	8	0.2059	1673.3790	120.7440	0.1560	1.1592	0.3982	93566526.2505	73525271.9389	34000000	16	
30	9	0.1722	2642.5560	92.2847	0.2336	1.2687	0.4084	80388203.6787	74287819.9100	36000000	14	
31	10	0.1801	1669.6967	110.3382	0.2230	1.1916	0.4118	69113012.9126	73770339.2102	38000000	30	
32	11	0.2418	1931.0447	93.9740	0.1945	1.2646	0.3613	78345518.8882	74186264.6355	40000000	37	
33	12	0.2357	1645.7541	111.8550	0.2315	1.2913	0.4013	80385096.8308	74702833.9851	42000000	55	
34	13	0.2361	1860.6579	106.8645	0.1555	1.1574	0.3885	103264068.0167	76899851.9876	44000000	62	
35	14	0.1567	2833.3693	84.6210	0.1785	1.1248	0.3914	63632300.6386	75952169.7483	46000000	67	
36	15	0.2185	1735.6488	78.7935	0.1688	1.1727	0.4405	72391764.7530	75714809.4153	48000000	85	
37	16	0.1857	2615.8547	73.8374	0.1888	1.2186	0.3852	67636893.4790	75209939.6693	50000000	92	
38	17	0.2263	2743.7627	92.7048	0.1908	1.1661	0.3641	112834899.7644	77423172.6160	52000000	115	
39	18	0.1491	1879.6248	78.0575	0.2468	1.1368	0.3489	39222570.3815	75300916.3964	54000000	101	
40	19	0.1893	2573.7004	124.1545	0.1965	1.1286	0.3066	102439166.6782	76729245.8701	56000000	120	
41	20	0.1994	2600.9869	100.5558	0.1514	1.2966	0.3946	104509625.6600	78118264.8596	58000000	139	
42	21	0.1850	1917.3605	75.3847	0.2352	1.1980	0.3643	48253447.7764	76696130.7128	60000000	138	
43	22	0.2255	2518.2086	83.1347	0.1761	1.2548	0.3648	87738931.0223	77198076.1814	62000000	143	
44	23	0.1874	1868.4499	127.6893	0.1621	1.1068	0.4415	115930519.3822	78882095.4510	64000000	151	
45	24	0.1744	1759.7234	113.1779	0.2168	1.1423	0.4456	82328828.2261	79025709.3167	66000000	154	

图 1 蒙特卡洛模拟分析界面

其中第 3 行至第 9 行的单元格为此实例参数的数据, 后面的模拟计算要引用到这些单元格内的参数。R22(行)及以下为此实例各参数概率分布条件

的试验结果, 每次试验均是相互独立和随机的, 本模型每次计算可同时进行 5000 次模拟试验, 每次试验就是对一次油气可采储量估算过程的仿真。本例以

油气可采储量作为项目的估算指标,并以多次试验的累计平均可采储量作为估算试验次数对结果的影响指标。以 R22 第一次模拟试验为例,该次模拟估算的可采储量计算公式为:

$$N_p = 7758 \times C14 \times D14 \times B14 \times (1 - E14) \times G14 / F14。$$

R13 ~ R18 内的数据为 5000 次模拟试验数据和实验结果统计指标,用来判别模拟试验的误差,进而得出多次模拟试验的结果作为本项目油气可采储量估算的结果。

蒙特卡洛模拟分析结果如下:

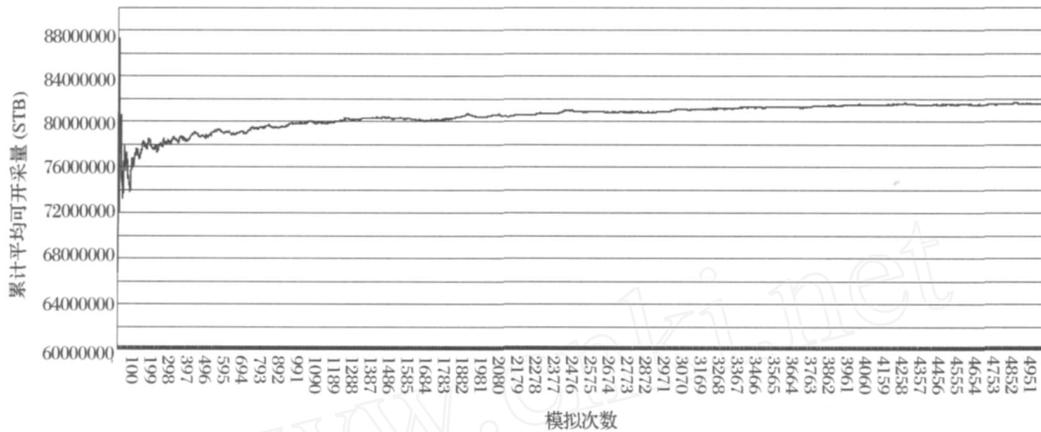


图 2 试验次数对结果的影响

### 3) 估算结果分析。

油区潜在油气可采储量是本项目的估算目标,本例 5000 次模拟试验的可采储量频数分布柱形图见图 3。

从图 3 可以看出,该地区潜在油气可采储量呈

### 1) 试验次数及误差。

本例共进行了 5000 次模拟试验,对孔隙度、油区面积、油层厚度、水饱和度、原油体积系数、采收率等项目的参数(平均值、标准方差)的统计分析,误差均在 1.2% 以内。

### 2) 试验次数对结果的影响。

以做试验的累计平均采油量作为试验次数对结果的影响指标,如图 2 所示。可以看出,经过约 1800 次的模拟试验后,随着试验次数的增加,累计平均采油量基本在 80000000 ~ 82000000 内稳定波动,因此,本例的 5000 次模拟试验是满足要求的。

对数正态分布。通过对可采储量数据的统计分析,可得到可采储量的期望值  $EV = 81895782.5135$  STB(储罐桶数)。潜在可采储量介于 60000000 STB ~ 100000000 STB 之间的概率为 58.9%。

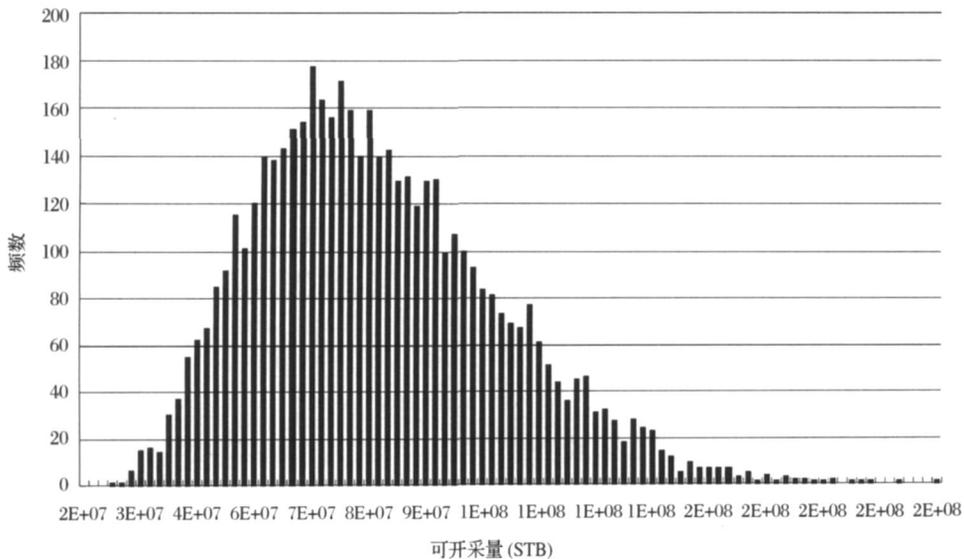


图 3 可采储量频数分布柱形图

(下转第 87 页)

- Economic Review ,1983 (73) :779-786.
- [9] SHILLING J D ,SIRMANS C F ,CORGEL J B. Price adjustment process for rental office space[J]. Journal of Urban Economics ,1987 (22) :90-100.
- [10] WINGER A R. Inter-area variations in vacancy rates[J]. Land Economics ,1967 (43) :84-90.
- [11] GABRIEL S A ,NOTHAFT F E. Rental housing market and the natural vacancy rate[J]. Journal of the American Real Estate and Urban Economics Association , 1988 (16) :419-436.
- [12] GRENADIER S R. Local and national determinants of office vacancies [J]. Journal of Urban Economics , 1995 (37) :57-71.
- [13] WHEATON W ,TORTO R. Vacancy rates and the future of office rents [J]. AREUEA Journal , 1988 (16) :430-436.
- [14] SIVITANIDES P S. The rent adjustment process and the structural vacancy rate in the commercial real estate market[J]. Journal of Real Estate Research , 1997 (13) :195-209.
- [15] WHEATON W. Vacancy ,search ,and prices in a housing market matching model [J]. Journal of Political Economy , 1990 ,98 :1270-1292.
- [16] WHEATON W. Office rent indices and their behavior over time[J]. Journal of Urban Economics , 1995 (35) :121-139.
- [17] HENDERSHOTT P H. Rental adjustment and valuation in overbuilt markets: evidence from the Sydney office market[J]. Journal of Urban Economics , 1996 (39) :51-67.
- [18] HENDERSHOTT P H ,MACGREGOR B D ,MATYSIAK G A. Explaining real commercial rents using an error correction model with panel data[J]. Journal of Real Estate Finance and Economics , 2002 (24) :59-87.

## Review on Adjustment Mechanism of Rent and Vacancy Rate in Real Estate Market

Ying Zuoping<sup>1</sup> ,Zhu Ping<sup>2</sup> ,Yang Hong<sup>3</sup>

(1. Zhejiang Construction Technology College ,Hangzhou 311231 ,China ;

2. City College ,Zhejiang University ,Hangzhou 310015 ,China ;

3. School of Management ,Zhejiang University ,Hangzhou 310058 ,China)

**Abstract :** This paper reviews the development evolution process of rent and vacancy rate adjustment theories in western real estate industry , and introduces the researches on original theories and early experiences from short-run and long-run perspectives. Then ,it concerns the evolution of empirical and theoretical models ,and categorize the evolution process into four phases—the primitive model ,the model of fixed natural vacancy rate ,the model of varying natural vacancy rate and the model of equilibrium rent.

**Key words :** property market ;housing rent ;housing vacancy rate ; adjustment mechanism

(上接第 65 页)

## 4 结论

应用蒙特卡洛模拟方法进行油气可采储量估算 ,能够较好地解决其中存在的随机性和不确定性问题 ,能够较为全面地反映资源可获得性和经济风险 ,使决策者对油气可采储量的规模、经济效益及风险有直观的认识 ,更有利于做出科学的决策。同时 ,Excel 软件强大的数据分析功能为蒙特卡洛模拟方法的应用提供了支持 ,使这种方法更加简单易用 ,更加具有实用价值。

## 参考文献

- [1] 文环明 ,李薇. 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.
- [2] 刘清志 ,许学娜. Excel 在蒙特卡罗模拟分析中的应用[J]. 中国管理信息化 ,2008 (7) :44-47.
- [3] 王中伟. 用 EXCEL 实现工程项目的蒙特卡洛模拟分析[J]. 广东交通职业技术学院学报 ,2005 ,4 (1) :101-103.
- [4] 刘清志. Petroleum Technical Economics [M]. 东营 :中国石油大学出版社 ,2005 :409-420.

## Monte Carlo Simulation on Estimation of Recoverable Reserve of Oil and Gas by Excel

Liu Qingzhi ,Ma Erling

(School of Economics and Management ,China University of Petroleum (Huadong) ,Dongying Shandong 257061 ,China)

**Abstract :** This paper introduces the principle of Monte Carlo simulation method and the powerful function of Excel software in computing and graphics. And it establishes the mathematical model to estimate the recoverable reserve of oil and gas by Excel ,and then proceeds to Monte Carlo simulation experiment. Finally ,it gets a reasonable and credible values on the recoverable reserve of oil and gas.

**Key words :** Excel ;recoverable reserve on oil and gas ;Monte Carlo simulation