

文章编号:1001-6112(2010)03-0305-04

# 蒙特卡洛模拟法在也门 马里卜—夏布瓦盆地中的应用

高济稷<sup>1,2</sup>, 白国平<sup>1,2</sup>, 秦养珍<sup>1,2</sup>, 周志龙<sup>1,2</sup>

(1. 中国石油大学 油气资源与探测国家重点实验室, 北京 102249;

2. 中国石油大学 盆地与油藏研究中心, 北京 102249)

**摘要:**美国地质调查局在 2000 年全球油气资源评价项目中,对待发现可采资源量的计算采用了概率相乘,即蒙特卡洛模拟法。文中将此方法应用于也门马里卜—夏布瓦盆地的资源评价工作,计算结果表明该盆地待发现可采资源量为  $1.02 \times 10^8$  t 油当量。认为研究区内同裂谷系成藏组合已接近成熟,而基底裂缝型成藏组合可能具有较大的勘探潜力。

**关键词:**蒙特卡洛模拟法;资源评价;勘探潜力;马里卜—夏布瓦盆地;也门

**中图分类号:**TE155

**文献标识码:**A

## MONTE CARLO SIMULATION

### —A CASE STUDY OF MARIB—SHABWA BASIN IN YEMEN

Gao Jiji<sup>1,2</sup>, Bai Guoping<sup>1,2</sup>, Qin Yangzhen<sup>1,2</sup>, Zhou Zhilong<sup>1,2</sup>

(1. State Key Laboratory of Petroleum Resources and Prospecting, China University of Petroleum, Beijing

102249, China; 2. Basin and Reservoir Research Center, China University of Petroleum, Beijing 102249, China)

**Abstract:** In the World Petroleum Assessment 2000 project, U. S. Geologic Survey (USGS) adopted the method of probabilistic multiplying, namely Monte Carlo simulation to obtain the forecast for undiscovered petroleum resources. This method is applied to the resources assessment of the Marib—Shabwa Basin in Yemen, and the results show the undiscovered resources will be 102 million tons of oil equivalents (TOE). In the study area, the syn-rift play is considered to be mature, while the fractured basement play is supposed to be highly promising.

**Key words:** Monte Carlo simulation; resources assessment; exploration potential; Marib—Shabwa Basin; Yemen

美国地质调查局(USGS)对全球常规油气资源进行过多次评价,最近一次的评价结果发表于 2000 年<sup>[1]</sup>。在该研究中,USGS 采用了一套有效的资源评价方法,其中对评价单元的待发现可采资源量的计算采用了概率相乘,即蒙特卡洛模拟法<sup>[2-4]</sup>。这一方法的引进,使得资源评价的结果体现为一个概率分布,而不是单个的估值,这就大大提高了评价结果的可信度与实用性。该方法的科学性和系统性得到了美国石油地质家协会(AAPG)等独立机构的认可<sup>[5]</sup>。本文将这一方法应用于中东地区马里卜—夏布瓦盆地的资源评价中,取得了良好的效果。

## 1 原理介绍

蒙特卡洛模拟法被广泛应用于数值仿真、最优化研究以及风险决策等诸多领域。将其应用于油气资源评价,就是通过对评价单元内待发现油气田个数与待发现油气田规模这 2 个变量分别建立概率密度分布模型,经蒙特卡洛模拟,获得对评价单元内待发现可采资源量的估值,其原理如图 1 所示。作为一种资源评价方法,蒙特卡洛模拟法属于统计法,具有相关的数学模型所涉及的参数少、资料数据来源可靠、估算结果可信度高等优点<sup>[6]</sup>。

收稿日期:2010-01-25;修订日期:2010-05-07。

作者简介:高济稷(1986—),男,硕士研究生,主要从事油气资源评价研究。E-mail:entermoon@gmail.com。

基金项目:国家油气专项(2008ZX05031-001-006)和国土资源部油气资源战略研究中心全球选区项目(GT-YQ-QQ-2008-3-09)联合资助。

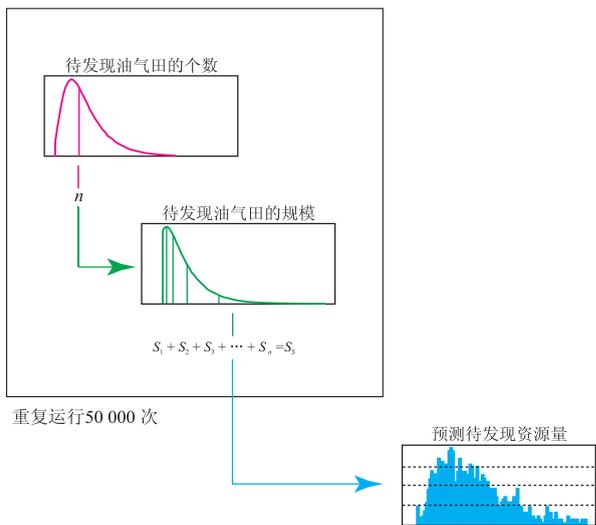


图 1 蒙特卡洛模拟法的原理示意

Fig. 1 Schematic graph of Monte Carlo simulation

## 2 应用于也门马里卜—夏布瓦盆地

### 2.1 研究区地质概况

马里卜—夏布瓦 (Marib—Shabwa) 盆地位于也门中部,其周围被断裂系统限定,以裂谷构造为主,构造走向多为北西向。该盆地可以划分出 3 个次级构造:西北部的马里卜 (Marib) 次盆、中部的夏布瓦 (Shabwa) 次盆和东南部的哈杰尔 (Hajar) 次盆 (图 2)。马里卜—夏布瓦盆地可以划分为 3 个不同的演化阶段:奥陶纪—中侏罗世裂前、晚侏罗世—白垩纪初同裂谷期和 白垩纪—上新世裂后拗陷演化阶段。

该盆地发育 2 套主要烃源岩,一套是盐下生油岩层,包括上侏罗统的 Madbi 组、Meem 组和 Lam 组,这套生油岩形成于不断变浅的浅海环境中,其成熟度较高。另一套是盐上生油岩层,包括上侏罗



图 2 也门马里卜—夏布瓦盆地位置及构造分区

Fig. 2 Location and structural framework of Marib—Shabwa Basin in Yemen

统一下白垩统的 Nayfa 组和 Saar 组,这套生油岩形成于潮间、潟湖和浅海环境,成熟度较低。

马里卜—夏布瓦盆地的主要储集层分布于上侏罗统和上侏罗统一下白垩统层系中,已发现油气的储量几乎全部处于侏罗系。盐下层系包括众多储集层,如 Shuqra, Madbi, Lam 组和 Alif 段。盐上层系内只有一套储集层,即 Nayfa 组 IV 层,而且该储集层也仅分布于夏布瓦次盆内。油气区内的盖层既有区域性的,也有局部的,主要盖层分别分布于 Shuqra 组、Madbi 组、Sab'atayn 组、Safer 组、Saar 组、Nayfa 组和 Qishn 组中。2 套主力生油岩自晚始新世开始排烃,油气以垂向运移为主,未发现明显的水平运移证据。

马里卜—夏布瓦盆地是也门油气最富集的地区,油气勘探始于 20 世纪 80 年代,截至 2007 年 7 月共钻探井 317 口,发现油气田 54 个,探明和控制石油储量  $2.5 \times 10^8$  t,天然气储量  $4\ 000 \times 10^8$  m<sup>3</sup>,合计为  $5.7 \times 10^8$  t 油当量。

区域上油气主要分布于马里卜次盆,其次是夏布瓦次盆,分布于哈杰尔次盆的油气储量仅占油气总储量的 0.6%。层系上,油气分布高度不均一,同裂谷期沉积的中提塘阶 Sab'atayn 组的 Alif 段是最重要的储集层,其油气储量占盆地油气总储量的 92.4% (图 3),其盖层为同裂谷期沉积的蒸发岩。所以,同裂谷系成藏组合拥有盆地已发现油气储量的绝大部分。

通过对盆地构造演化历史与沉积格架的分析,我们认为源盖条件是该盆地油气分布的主要控制因素。USGS (2000) 的资源评价将该盆地与邻近的

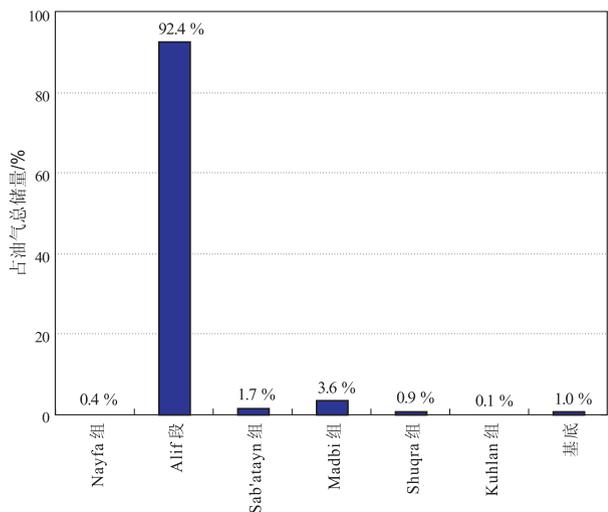


图 3 也门马里卜—夏布瓦盆地油气储量层系分布特征

Fig. 3 Stratigraphic distribution of reserves in Marib—Shabwa Basin of Yemen

锡尔—赛云盆地合在一起作为一个评价单元进行了评价, 本研究拟将马里卜—夏布瓦盆地单独作为一个评价单元进行资源评价。

### 2.2 资源评价参数的输入输出

参考 USGS(2000)报告中提供的方法, 结合对研究区勘探发现历史数据的整理分析, 取得资源评价输入参数两组、共 6 个。待发现油气田个数的最小值为 41, 众数为 46, 最大值为 56; 待发现油气田规模的最小值为 1, 中值为 10, 最大值为 200, 单位是百万吨油当量。

待发现油气田个数的概率分布由其最小值、众数、最大值 3 个参数限定, 概率分布模型选用三角分布; 类似的, 待发现油气田规模的概率分布由其最小值、中值、最大值 3 个参数限定, 概率分布模型选用对数正态分布。

输入参数后, 运行蒙特卡洛模拟。在程序的每一次运行中, 执行以下步骤: 1) 产生一个随机数, 并据此在待发现油气田个数的取值范围(大于等于 41, 小于等于 56)内取得一个值, 经四舍五入后得到最接近的整数, 记为  $n$ ; 2) 产生  $n$  个随机数, 对应的在待发现油气田规模的取值范围(大于等于 1, 小于等于 200)内取得  $n$  个值, 记为  $S_1, S_2, S_3 \dots S_n$ ; 3) 将上面得到的  $n$  个油气田规模相加, 即得到这一次运行的结果, 记为  $S_i$ , 且  $S_i = S_1 + S_2 + S_3 + \dots + S_n$ , 也就是对待发现可采资源量的一个估值<sup>[7]</sup>。

而将这样的过程运行 50 000 次, 就可以得到预测的待发现资源量的频率直方图。概率论中的大数定理指出, 当表征随机事件的试验重复次数足够多时, 事件发生的频率依概率收敛于事件的概率。即可以用获得的频率直方图近似表示概率密度分布。于是, 通过蒙特卡洛模拟, 就获得了待发现可采资源量估值的概率密度分布<sup>[8]</sup>。蒙特卡洛模拟的结果如图 4。

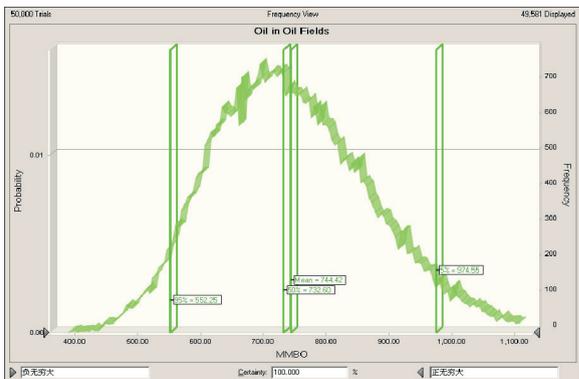


图 4 蒙特卡洛模拟结果

Fig. 4 Results of Monte Carlo simulation

表 1 本次研究评价结果及与 USGS 评价结果的比较

Table 1 Comparison of the assessment results between USGS and this study

项目	待发现资源量(油当量)/10 <sup>6</sup> t	
	本次研究	USGS
F95	75	199
F50	100	510
F5	133	935
平均值	102	532

取逆累计概率为 5%, 50%, 95% 三个分位点的值, 以及均值, 就获得了符合 USGS 统一格式的资源评价结果, 整理在表 1 中。结果表明, 马里卜—夏布瓦盆地的待发现可采资源量的平均值为  $1.02 \times 10^8$  t 油当量。

### 2.3 分析与讨论

USGS(2000)的全球油气资源评价项目也对研究区的资源潜力状况进行了评估<sup>[9]</sup>, 通过对比分析发现, 其结果与本次研究存在不小的差别。

造成这一差别的主要原因是两次研究所用资料不同。USGS 的资料截至 1995 年底, 而本研究采用的是 2009 年中更新的数据。这就意味着, 本研究更好地反映了自 1996 年以来十余年间, 马里卜—夏布瓦盆地的勘探发现状况与趋势。因而更符合现实情况, 具有更好的可信度。

根据相关数据统计, 马里卜—夏布瓦盆地 1996—2008 年间的新增储量为  $4\ 170 \times 10^4$  t 油当量, 占本研究预测待发现可采资源量(以平均值计)的 41.1%, 而仅为 USGS 预测值(以平均值计)的 7.8%。结合马里卜—夏布瓦盆地的历史勘探发现趋势(图 5), 我们认为 USGS 的评价结果很可能是过于乐观了, 而本研究的评价结果与近年来的勘探发现趋势吻合得较好。

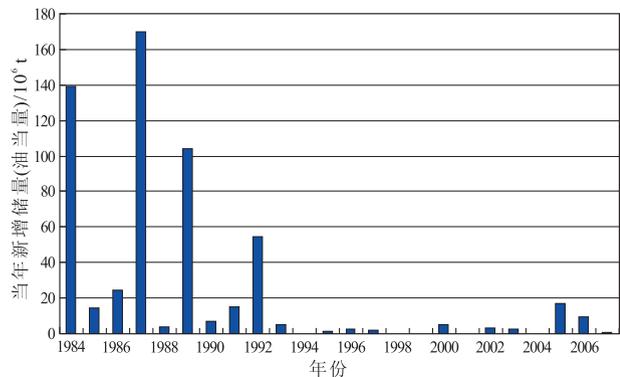


图 5 也门马里卜—夏布瓦盆地的历年新增储量

Fig. 5 Annual reserve additions of Marib-Shabwa Basin in Yemen

### 3 结论

1) 评价结果显示, 经过近 30 年的勘探, 马里卜—夏布瓦盆地的同裂谷系成藏组合已接近成熟, 今后的发现预计以中小型油气田为主, 待发现可采资源量初步估算为  $1.02 \times 10^8$  t 油当量。

2) 结合勘探发现趋势分析, 基底裂缝型成藏组合可能具有较大的勘探潜力, 有望成为未来的勘探热点, 进而成为盆地中新的增长点。

3) 马里卜—夏布瓦盆地作为也门境内油气资源最丰富的地区, 加之中国油公司近年来的努力开拓, 在未来这里仍将是中国的一个海外油气基地。

#### 参考文献:

[1] USGS. U. S. Geological Survey World Petroleum Assessment 2000; Description and results by World Energy Assessment Team [DB]. USGS Digital Data Series DDS-60, 4 CD-ROM set, 2000.

[2] SCHMOKER J W, KLETT T R. U. S. Geological Survey assessment model for undiscovered conventional oil, gas, and NGL resources: The seventh approximation [CD]// U. S. Geological Survey World Petroleum Assessment 2000; Geological Survey Digital Data Series DDS-60, 4 CD-ROMs, 2000.

[3] CHARPENTIER R R, KLETT T R. Monte Carlo simulation model [CD]// U. S. Geological Survey Assessment Methodology Team, eds. U. S. Geological Survey World Petroleum Assessment 2000; U. S. Geological Survey Digital Data Series DDS-60, 4 CD-ROMs, 2000.

[4] METROPOLIS N, ULAM S. The Monte Carlo Method [J]. Journal of the American Statistical Association, 1949, 44 (247): 335-341.

[5] JOEY MECHELLE DAWES. EC Approves Project Methodology [J]. AAPG Explorer, 1999 May Issue.

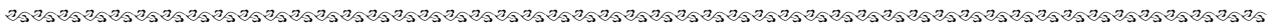
[6] 周总瑛, 白森舒, 何宏. 成因法与统计法油气资源评价对比分析 [J]. 石油实验地质, 2005, 27(1): 67-73.

[7] KLETT T R, CHARPENTIER R R, SCHMOKER J W. Assessment operational procedures [CD]// U. S. Geological Survey World Petroleum Assessment Team, eds. U. S. Geological Survey World Petroleum Assessment 2000; U. S. Geological Survey Digital Data Series DDS-60, 4 CD-ROMs, 2000.

[8] AHLBRANDT T S, CARPENTIER R R, KLETT T R. et al. Global Resources Estimates from Total Petroleum Systems, AAPG Memoir 86 [M]. Tulsa: AAPG, 2005: 1-323.

[9] AHLBRANDT THOMAS S. Chapter Introduction [CD]// U. S. Geological Survey Assessment Methodology Team, eds. U. S. Geological Survey World Petroleum Assessment 2000; U. S. Geological Survey Digital Data Series DDS-60, 4 CD-ROMs, 2000.

(编辑 徐文明)



(上接第 304 页)

[8] CHAKHMAKHCNEV A, SUZUKI M, TAKAYAMA K. Distribution of alkylated dibenzothiophenes in petroleum as a tool for maturity assessments [J]. Organic Geochemistry, 1997, 26(7-8): 483-490.

[9] CHAKHMAKHCHEV A, SUZUKI N. Saturate biomarkers and aromatic sulfur compounds in oils and condensates from different source rock lithologies of Kazakhstan, Japan and Russia [J]. Organic Geochemistry, 1995, 23(4): 89-299.

[10] HUGHES W B. Use of thiophenic organosulfur compounds in characterizing crude oils derived from carbonate versus siliclastic sources [M]// PALACAS J B, ed. Petroleum geochemistry and source rock potential of carbonate rocks, AAPG studies in geology 18. Oklahoma: AAPG Press, 1984: 181-196.

(编辑 韩 或)