

帕雷托截断分布模拟法——天然气田数和规模分布预测的新方法^{*}

张寄良

(中国石化无锡实验地质研究所,江苏无锡 214151)

摘要:天然气资源评价方法大约可分为两类,成因法与统计模拟法。这两类方法相互独立,各有特点,但对同一地质单元资源量的估算结果不一致,通常前者大于后者。把“成因法”与“统计模拟法”结合起来,以帕雷托截断分布为数学模型,用迭代算法可求得统一的结果及气田规模与数量分布的细节。“成因法”与“统计模拟法”的结合过程中,还可求出一个对选区评价及经济分析有重要意义的新参数——资源集中程度。

关键词:资源评价;帕雷托截断分布;资源集中程度;资源量;气田规模;气田数

作者简介:张寄良,男,55岁,高级工程师,石油地质与资源评价

中图分类号:TE155

文献标识码:A

多年来,天然气资源评价中,资源量估算的方法发展得很快,建立了众多的方法和软件。从方法来说,大约可分两类,一类是成因法,以天然气的生成、演化为基础,计算生成(或排出)的天然气量,然后根据地质类比或统计分析选取最终所能形成气田(藏)的资源量的比例系数(生聚系数、排聚系数)估算天然气的资源量。如有机碳法^{*,}盆地模拟法^[1]等。另一类是气田规模统计模拟法,根据天然气田(藏)的勘探发现统计规律用统计模拟的方法估算资源量。如勘探层法、FASPUM系统^{***,}对数正态模拟法^[2]。

1 出发点

统计模拟法中很重要的一项是假定一种比较符合实际的分布模型。当前除对数正态分布以外,还有一种帕雷托截断分布也是使用得较多的。在建立帕雷托截断分布模拟法时,有以下3个出发点。

(1)成因法和统计模拟法是互相独立的。通常前者的估算结果大大高于后者。我们认为,同一事物用两种方法估算,结果应该接近,否则必有一对一错(或两个皆错)。要么是成因法生聚系数过高,

要么是统计模拟法对气藏数(包括勘探目标数)和气藏规模条件概率分布估算过低。目前两类方法都在用,两种结果也都接受,而采用解释的办法说明二者的差异。这在理论上不能不说是一个缺陷。

(2)成因法的优点在于生成演化有坚实的基础,生气量比较可信。但其评价结果只有总资源量,缺乏气藏数及其规模等方面的细节信息。统计模拟法虽能得出这些细节的信息,但在早期勘探阶段由于勘探程度的影响,容易造成对勘探目标和气藏数目及其规模估计不足。

(3)一个地质单元的资源勘探经济性评价中,非常关心而又重要的参数是“资源集中程度”。总资源量虽少,但主要集中在少数几个大气田上,则其勘探效益比较好。这样一个参数在上述两种方法中均欠考虑。

基于上述3个方面,在建立帕雷托截断分布模拟方法时,把成因法和统计模拟法结合起来,并增加了“资源集中程度”参数,进行了初步尝试,并取得了较好的效果。

2 思路与步骤

一般统计模拟法是从天然气气藏的评价获得总资源量,而帕雷托截断分布模拟是用成因法获得评价单元的天然气资源量,并把此资源量用帕雷托截断分布方式根据实际统计样本来模拟气田的数目和规模。也就是说,将成因法与统计模拟法相结合,使两种方法有统一的结果。具体步骤如下:

^{*} 国家“八五”攻关项目“天然气资源评价专家系统及勘探决策系统研究(编号:85-102-01-05)

^{**} 汪复林,林秋霞,徐修国,等.古生界油气资源预测方法与油气资源量计算(七五国家攻关项目).1990

^{***} 杨登维.东亚沉积盆地分析计算机软件开发和利用(科研报告).1993

收稿日期:2000-01-16

(1)用成因法计算天然气资源量 Q ;

(2)用已知的评价单元中的储量资料按小、中、大气田概念建立气田规模分组,确立分组的界限值(确定经济性最小的气田储量和最大可能的气田规模),建立已知气田规模分布的结构表;

(3)按资源集中程度参数,确定最大一组气田资源量占总资源量的比例,模拟出帕雷托分布的参数值;

(4)用帕雷托分布密度函数求出各气田数目的结构表,用蒙特卡洛模拟方法检验其结果。

3 算法

3.1 帕雷托截断分布密度

采用下述的截断帕雷托分布来描述评价地质单元内气田数出现的频率

$$\varphi(q, \lambda) = c[q^{-\lambda} - (\gamma Q)^{-\lambda}]$$

$$0 < q_0 \leq q \leq \gamma Q; 0 < \gamma < 1; \lambda > 0$$

式中 q 为气田的地质储量; λ 为分布参数; c 为标定因子; Q 为由成因法计算的总资源量; q_0 为经济性的最小气田地质储量; $[q_0, \gamma Q]$ 为分布密度的截断区间。

为了确定上述分布中的参数 λ 和 c ,除了要知道 q_0 , Q 和 γ 以外,还要知道资源集中程度 α ,即集中于 $q \geq q_0$ 的气田资源量。计算在于解一个超越方程,通过对 $[c, \lambda]$ 的搜索进行迭代。

q_0 是一般目前具有经济性的最小气田的地质储

量,通常是给定的(例如气田可以是 $1 \times 10^8 \text{ m}^3$ 等)。

Q 通常是用成因法计算得出的总资源量值,这样就可以把它和统计模拟法计算的气田数及其规模分布相联系。但是由于生聚系数较难取准,因此 Q 也要在迭代中逐渐逼近。

γ 和 α 通常要求有较高的勘探程度才能较好地给出。为了能得出分布中的分组数及各组的界限值与实际状况相符,采用迭代方法进行求解,其准则是对得出的分布进行不放回的随机抽样结果应与已有的发现结果非常接近。

当分组数和分组界限确定后可能出现模拟勘探与实际发现不一样的情况。这是因为资源集中系数 α 取值不对,如果较大型的气田数目小或是“额外”地“发现”了大量的气田,这是因为 α 取值偏小。通过改变 α 以使模拟的发现与实际的发现非常接近。

如果在上述条件下仍然得不出可以接受的分布形式,则原因就在于生聚系数的取值不对导致总资源量 Q 的差别所致(通常是偏高)。通过改变 Q 重复模拟直至模拟的结果与实际相符为止。

这样就实现了我们前面所说的把成因法与统计模拟法相结合,使两种方法有统一的结果,而且也评价了我们非常关心的参数——资源集中程度。

模拟的结果是资源分布的结构表(表1)。用它减去实际的发现即可得到尚未发现的资源结构(表2)。

表1 某盆地天然气资源结构模拟数据表

Table 1 Simulated data of gas resource composition in a certain basin

项 目	总量	规 模 分 组 / 10^8 m^3				
		1 ~ < 10	10 ~ < 50	50 ~ < 100	100 ~ 250	> 250
气田平均规模 / 10^8 m^3	17.16	3.09	22.02	71.13	154.43	314.17
气田数 / 个	681.24	514.20	110.84	25.89	23.16	7.15
地质资源量 / 10^8 m^3	11 693	1 587.16	2 440.39	1 841.39	3 576.81	2 247.25
模拟参数: $Q = 11 693$; $q_0 = 1$; $q_{max} = 400$; $\alpha = 19.2\%$; $T_a = 0.05$; $C = 0.5426$; $\lambda = 1.5426$						

表2 某盆地现今的潜在天然气资源结构数据表

Table 2 Composition data of present potential gas resources in a certain basin

项 目	总量	规 模 分 组 / 10^8 m^3				
		1 ~ < 10	10 ~ < 50	50 ~ < 100	100 ~ 250	> 250
气田数 / 个	616	484	86	20	21	5
地质资源量 / 10^8 m^3	9 457.25	1 441.08	1 837.68	1 434.85	3 181.81	1 561.83

3.2 参数求取

假设气田数的规模频率分布遵从帕雷托截断分布,密度函数为

$$\varphi(q; c, \lambda) = \begin{cases} c(q^{-\lambda} - \lambda Q^{-\lambda}) & \text{当 } q_0 \leq q \leq \gamma Q, \\ 0 & \text{其它} \end{cases} \quad (1)$$

$$\gamma \in (0, 1); c > 0; \lambda > 1$$

为了估算参数 c 和 γ ,应解如下的超越方程

$$\int_{q_0}^{\gamma Q} \varphi(q; c, \lambda) dq = 1 \quad (2)$$

为求解方便,可作如下简化

$$\varphi(q; c, \lambda) = \begin{cases} cq^{-\lambda} & \text{当 } q \geq q_0 \\ 0 & \text{其它} \end{cases} \quad (3)$$

由于 $cq^{-\lambda}$ 在 q 轴上是递减的,只要限定当 $q \geq \gamma Q$ 时, $\int_{\gamma Q}^{\infty} cq^{-\lambda} dq < \epsilon$, 则它可以足够地与(1)式结果相近。这时(2)式变为

$$\int_{q_0}^{\infty} \varphi(q; c, \lambda) dq = 1 \quad (4)$$

$$\text{这个方程解出得 } \varphi(\lambda) = \frac{1}{\lambda-1} q_0^{1-\lambda} = \frac{1}{c} \quad (5)$$

$\varphi(\lambda)$ 的几何形状很清楚,当 $\lambda > 1$ 时 $\varphi(\lambda)$ 是一个单谷函数。唯一的极小点在 $\lambda_0 = 1 - \frac{1}{\ln q_0}$ 处,极小值为 $\varphi(\lambda_0) = \frac{1}{\lambda_0 - 1} q_0^{1-\lambda_0}$ 。若记 $\varphi(\lambda_0) = 1/c_0$, 则对于 $0, c_0$ 区间上的任一个 c 值恰有两个 λ 值(λ_1, λ_2)与之对应(图1)。这也表示,在坐标系(q, φ)中,经过(1, c)总共有两条曲线,它们与横轴 q 所围成的(广义)面积均为1,如图2所示。

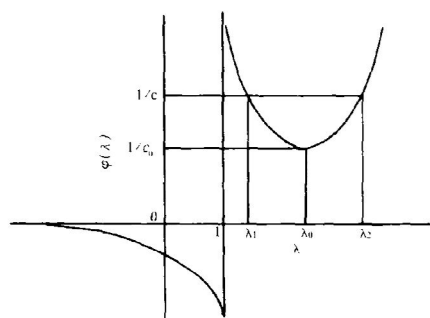


图1 $\varphi(\lambda)$ 函数图

Fig.1 Function of $\varphi(\lambda)$

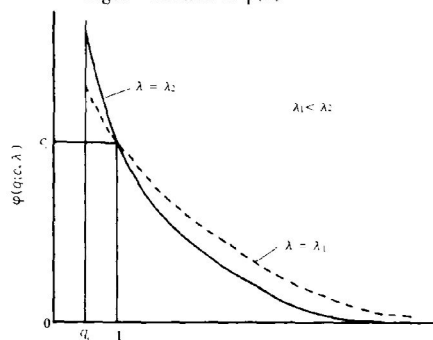


图2 $\varphi(q; c, \lambda)$ 变化图

Fig.2 Variation of $\varphi(q; c, \lambda)$

任给一个 $c > 0$, 得到 λ_1, λ_2 , 看 (c, λ_1) 或 (c, λ_2) 哪一组满足下述约束

$$\int_{Q_a}^{\infty} \varphi(q; c, \lambda) dq \approx T_a \quad (6)$$

即按资源集中程度确定的最大一组气田的数目 T_a 或地质储量 q_a 。若 (c, λ_1) 和 (c, λ_2) 都不满足(6)式,则另取一个 c 值重复上述算法。

在找出的 (c, γ) 后,将 $(q_0, \gamma Q)$ 区间分成 n 等分,分点为 $a_0 = q_0 < a_1 < a_2 < \dots < a_n = \gamma Q$, 并令

$$p_i = \int_{a_{i-1}}^{a_i} \varphi(q) dq$$

再把 $(0, 1)$ 区间分为 n 等分,记作 $c_0 = 0 < c_1 < c_2 < \dots < c_n = 1$, 而且 $c_i = c_{i-1} + p_i$ 。

任取 $(0, 1)$ 中均匀分布的伪随机数 η , 若 $c_{i-1} < \eta \leq c_i$, 令

$$\xi = a_{i-1} + (a_i - a_{i-1})(\eta - c_{i-1}) / (c_i - c_{i-1})$$

当 η 充分大时,可近似地认为 ξ 是 $\varphi(q)$ 的一个随机数。

一般可从 $nq = 5$ 组对 $[q_0, \gamma Q]$ 区进行划分,将其对应于当地情况的小、中小、中、大中和大型的气田概念。按上述随机抽样法取 nn 个值,根据专家的经验初步确定五组的界限,也可以修改分组数。这些都是用人机交互式方法实现的。之后计算机将自动地把随机抽样的气田数分别填放在各自的组段内,并根据总资源量 Q 按比例调整各组段的气田个数和资源量。同时还已发现的气田个数和资源量也分别填入,如果两者结果相近,则认为上述分组是合理的。否则重新分组。

迭代的顺序是:(1) 分组是否合理?(2) γQ 值是否合理?(3) c, λ 是否合理?(4) Q 值是否合理?

4 几点说明

(1) 本方法应用于盆地或坳陷、凹陷等在地生、运、聚等方面自成系统的地质单元,对某些区块则从生成演化方面入手对所形成的资源量加以分配后确定模拟中的 Q 值。

(2) 在作不放回的随机抽样时,假设气田(藏)的发现概率与各组资源量占总资源量的百分比成正比。

(3) 在求取合理的分布时是按照对该分布进行不放回的随机抽样结果与实际的勘探结果进行对比判定的。如果勘探初期,缺乏足够的实际勘探样本,那么主要是根据资源集中程度给出好、中、差 3

个值分别评价,以便给决策人员提供某种信息,有助于经济分析的勘探决策。

(4)本方法在川西、松辽、塔里木盆地进行勘探决策分析和经济评价时起到重要作用。

勘探与开发,1989,16(6):1~10

2 Lee P J, Wang P C C. A petroleum resources information management and evaluation system[J]. Oil and Gas Journal, 1984, 10(1):204~206

参 考 文 献

1 石广仁,李惠芬,王素明,等. 维盆地模拟系统 BASI[J]. 石油

SIMULATING METHOD OF PARETO TRUNCATED DISTRIBUTION: A New Approach to Predicting the Number, Size and Distribution of Gasfields

Zhang Jiliang

(Research Institute of Experimental Geology, SINOPEC, Wuxi)

Abstract: Gas resources assessment methods could be divided into two kinds: genetic method and statistical simulation method. The assessment results of these two methods obtained from the same geologic unit may differ differently, and usually the result of the genetic method is greater than that of the later. But combine these two methods together, use Pareto truncated distribution as numerical model, use iterative algorithm to obtain uniform results, the size, the number and the distribution of the gas fields and also gas resources enrichment which in a very important parameter for regional estimation analysis.

Key Words: resource assessment; Pareto truncated distribution; resource; enrichment degree; resource extene; gasfield size; gasfield number

(上接第160页)

CHARACTERISTICS OF MICRO-FRACTURES AND THEIR INFLUENCE ON WATERFLOODING IN AERSHAN RESERVOIR, HANAN OILFIELD

Zhang Li¹ Yang Yajuan¹ Yue Leping¹ Miao Kun² Song Shemin² Zhang Manku²

(1. Department of Geology, Northwest University, Xi'an, Shaanxi; 2. Erlan Company of Huabei Oilfields, Xilinhote, Nei Monggol)

Abstract: Structural fractures developed well in Aershan reservoir, Hanan Oilfield. The width of the micro-fractures is 10~30 μm , the length is 1~3 mm and surface density is 0.025 mm^2 . The micro-fracture porosity and permeability have been calculated, and the distribution is analyzed. Micro-fractures are preface of macro-fractures and the macro-fracture developed areas are also micro-fracture developed areas. A sandstone micro-model experiment has been done to investigate the process of displacement between fractures and matrix. Based on the above studies, micro-fractures play two different roles on waterflooding. On one hand, they may improve the permeability of the reservoirs; on the other hand, they together with macro-fractures and faults may form network, which have bad effect on waterflooding. According to the characteristics of micro-fractures in Aershan reservoir, some suggestions such as periodic injection are put forward to improve the effect of waterflooding in fracture-developed areas.

Key words: Hanan Oilfield; Aershan reservoir; reservoir micro-fractures; waterflooding