

油气资源评价方法的选择

宋芝祥

(成都地质学院)

内容提要: 本文对现存目前世界上油气资源评价的多种方法进行了详细的优缺点分析、对比。认为不同的方法适用于不同的油气勘探阶段。由定性评价向定量评价发展,这是必然趋势。

主题词: 油气资源评价方法 适用阶段和适用评价区 定性评价与定量评价

第一作者简介: 宋芝祥 男59岁 石油地质

目前世界上油气资源评价的方法很多,每种方法都有一定的局限性和适用范围,尚无一种方法在一切条件下都能普遍应用。因此,必须根据评价区的具体条件,灵活的选用评价方法。

在油气资源评价的方法中,有定性评价与定量评价之分,定性评价是定量评价的基础,而定量评价又是定性评价发展的必然趋势。所谓定性或定量,是指它对地质资料的分析方法而言。定性方法是对各种地质条件进行定性的分析与对比,而定量的方法则是采用概率论与数理统计的方法对各种地质条件进行定量的分析。这两种方法之间,并没有严格的界线。事实上,现在大多数石油资源评价方法都程度不同地采用了某种定量的方法技术。

本文在综合了当前有关文献的基础上,简述目前常用的几种油气资源评价方法,并对它们的适用条件加以讨论。

一、常用的油气资源评价方法

1. 地质类比法

一个盆地的油气资源量与控制该盆地的各种地质因素有着一定的内在联系。如果一个处于初期勘探阶段的A区的各种地质条件与另一个已成熟的勘探区B的相应地质条件很相似,那么A区就应当有与B区相似的油气资源量。这就是地质类比法的基本原理。

早在本世纪三十年代末期,苏联著名的石油地质学家古勃金院士就首先应用了这一方法,把俄罗斯陆台与北美陆台进行了类比,结果发现了第二巴库油田。自那时以来,地质类比法经历了,并且正在经历着一种从定性到定量的发展过程。到目前为止,几乎所有的方法都包含着类比的成分。

应用地质类比法进行油气资源评价的一般步骤是:

(1) 通过区域地质调查与地球物理调查对勘探区的一系列控制油气聚集的地质因

素进行评价和测定

(2) 广泛而全面地收集世界各地勘探程度较高的油气盆地、产油区或油田的各种地质资料、油藏资料和油气生产历史资料以及油气资源评价资料;

(3) 依据若干个(十几个至数百个)与油气产出关系密切的地质因素或油藏因素,将勘探区与已探明的含油气区进行分析类比,从中选择与勘探区最为相似的一个或几个参考区;

(4) 计算出参考区的单位体积的油气资源量 q (t/km^3);

(5) 用类比体积公式 $Q = s \cdot h \cdot q$ (1)

估算勘探区的石油远景资源量 Q 。其中 s 和 h 分别是勘探区沉积岩体(或含油远景区)的面积和厚度。

地质类比法的优点是把石油勘探者的经验与前人的勘探实践经验应用于油气资源评价,充分考虑到与油气产出关系密切的各种地质因素与油气资源量的内在联系。此法多用于早期勘探阶段。

由于受一些条件的限制,使得地质类比法的评价结果往往是很粗略的,过多的掺杂着评价者的主观见解。地质类比法是一种定性的方法,尽管某些参数的取得采取了定量测定,但它对地质资料、数据的分析、加工对比手段则完全是定性的。尽管如此,地质类比法仍不失为一种最重要、最基本的评价方法。

2. 体积法

主要根据沉积岩单位体积中油气储量的密度参数(t/km^3)来估算沉积盆地油气资源量的方法。

体积法计算公式为: $Q = a \cdot V$ (2)

Q : 沉积盆地中油气总资源量(t)

V : 沉积盆地的沉积岩总体积(km^3)

a : 储量密度参数,即每平方公里沉积岩中含油气数量(t/km^3)。

根据不同的资源评价目的或不同的勘探开发阶段,体积法又可细分为“生油岩体积法”和“储油岩体积法”。

(1) 生油岩体积法 生油岩体积法也叫做“体积成因法”。该方法从石油生成—排出一运移—聚集的过程来估计油气资源量的大小。其计算公式是:

$Q = K_1 \cdot K_2 \cdot S \cdot d \cdot H \cdot A$ (3)

其中 S 、 H 分别为生油岩有效面积(km^2)和有效厚度(km); d 是生油岩密度($10^3 t/km^3$); A 是生油岩残余烃类(氯仿沥青“ A ”或总烃或有机碳)含量百分数。 K_1 是生油岩排油/残油比例系数,即 $K_1 = \text{排油量}/\text{残余油量}$ 。 K_1 与排烃系数 K 的关系是 $K_1 = K/(1 - K)$ 。 K_1 一般根据类比法确定,一般取 $0.1-0.7$ 。 K_2 是烃类聚集系数,也由类比法确定,一般为 $0.1-0.5$ 。

(2) 储油岩体积法 该方法计算储集在油藏圈闭中的石油储量 Q 。其计算公式是:

$Q = S \cdot H \cdot \varphi \cdot (1 - S_w) \cdot \beta \cdot k_0$ (4)

其中 S 和 H 分别代表储集岩分布面积(m)和有效厚度(m); φ 是储油岩有效孔隙度

(%)； S_w 是含水饱和度； β 是原油体积系数； K_0 是地面原油比重(t/m^3)。

从公式中可见 $S \cdot H \cdot \varphi = V$ 是油藏中全部孔隙空间的体积，而 $(1 - S_w) \cdot \beta \cdot K_0 = q$ 则是单位体积中所储集原油的重量。

体积法的优点是简单客观，适应性强。但其估计的结果准确性不高，并且容易随数据的多寡和质量而波动。如果可利用的勘探区有关数据较少，误差可以达到100%，但对于具有大量数据的大油藏误差可以限制在 $\pm 20\%$ 。由于体积法仅涉及简单的算术计算，因此，它是一种定性的方法。

3. 沉积平均体积速度法

苏联伊·伊·涅斯乔洛夫等根据世界上22个勘探程度较高的含油气盆地的统计结果得出，沉积盆地油气总资源量同该盆地的平均体积速度成对数的线性函数增长(图1)。

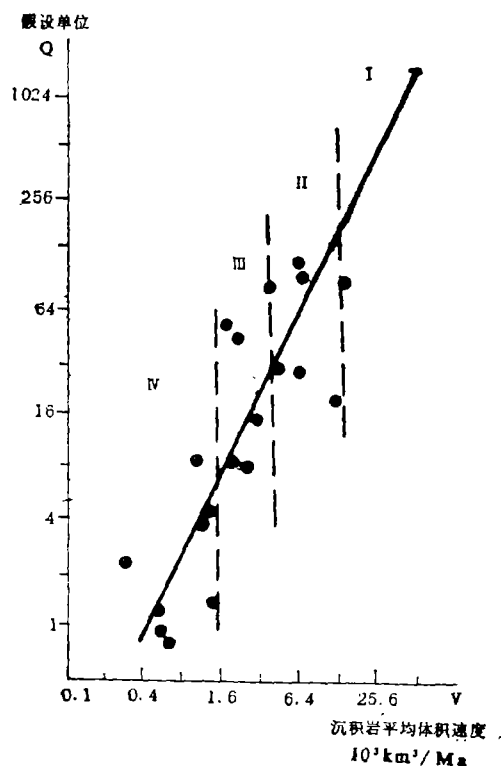


图1 盆地油气资源量的增长与平均体积速度间关系统计图

Fig.1 Statistic relationship between the increase of total oil-gas resources and average volume-velocity in a sedimentary basin

体积速度是综合反映沉积盆地的沉积作用，生油作用与油气保存条件的一个地质参数，体积速度越大，表示所堆积的沉积岩体积及有机物含量越大。沉积物堆积的速度越快，越易于形成稳定的还原环境，因而有利于有机物向石油的转化与保存。因此，油气地质储量也越多。体积速度的计算公式为：

$$\lg Q = 2.813 + 1.613 \lg V \quad (5)$$

其中， V 是沉积岩体积速度($10^5 km^3/Ma$) Q 是油气地质储量($10^6 t$)。

该方法的优点是简单易行，只要了解盆地的沉积速度，便可以在勘探前粗略地估计出该盆地的油气勘探、开发的远景。

4. 圈闭体积法

这种方法是评价局部圈闭、二级构造带与圈闭群的重要方法，它可以对单个圈闭进行评价；也可以把一个凹陷或一个评价区的所有圈闭合起来进行评价。但两者在选择系数的方法上略有不同。

圈闭体积法适用于勘探的各个阶段，对于勘探早期地区，要求具有较详细的地球物理（主要是地表）资料，并结合少量钻井及邻区地质资料，开展构造、地震地层学及区域地质研究，在掌握评价区沉积史、构造发展史以及圈闭、储层与生油条件的基础上，对各圈闭的含油部位、含油规模、风险大小及经济条件等作出评价，并为钻探提供位置。对于勘探中、晚期地区，可按含油层组为单元研究不同层组内不同油藏类型及其聚集规律，为进一步寻找隐蔽油藏提供依据。

目前国外石油公司在已作地震普查或详查的地区，由于对圈闭的几何形态已经掌握，均用圈闭法进行储量计算。

由上述情况看来，圈闭体积法用于勘探中期更为适合。圈闭体积法计算储量又分单圈闭和多圈闭两种：

(1) 单圈闭体积法 单圈闭体积法是指用一个圈闭（一个油田）作为储量计算单位的计算方法。计算储量时所取参数，包括圈闭面积、油层厚度、充满系数及单储系数。把各项参数相乘，其积就是储量。其公式如下：

$$\text{地质储量} = \text{圈闭面积} \times \text{油层厚度} \times \text{充满系数} \times \text{单储系数} \quad (6)$$

圈闭面积：是比较容易得到的参数，通常可在构造图上用求积仪量得。

油层厚度：当附近有钻井而取得油层资料时，可用该油层厚度作为参数。缺乏上述资料的地区，可用类比法与已知盆地类比求得。如果缺乏确切的类比资料，也可用统计得来的资料。这个参数是，只有一层构造图上有圈闭时，油层用30米，两层构造图上有圈闭时，用60米，三层时，用90米。

充满系数：这是含油的面积与圈闭面积的比值，通常油气不会把整个圈闭充满，而只充满圈闭的一部分，充填部分的多少与圈闭类型及其完整程度、圈闭形成时间、油源大小及油气保存条件有关。这项参数，一般是用类比法求得。但有时也可根据统计数字确定，从统计资料来看背斜构造的充满系数一般是 $1/2 \sim 1/3$ 。

单储系数：是单位面积中单位油层厚度的储量，其单位为万吨/公里·米，当附近有油田时，可用附近油田资料作参数，否则，用类比法求得。根据统计，单储系数对砂岩储层来说，一般在8—21之间。

(2) 多圈闭体积法 这种方法是把一个地区的一组圈闭作为一个计算对象，合并在一起把储量计算出来。

计算一个地区的可采储量，需要下列三个参数，即产油面积、油层厚度和采油指数，三个参数的乘积就是可采储量。计算公式如下：

$$\text{可采储量} = \text{产油面积} \times \text{油层厚度} \times \text{采油指数} \quad (7)$$

产油面积：是指有产油能力的圈闭面积。产油面积是圈闭面积与成功率的乘积，即：

$$\text{产油面积} = \text{圈闭面积} \times \text{成功率}$$

圈闭面积是从构造图上量取的，如在无构造图的地区，可假设一个圈闭面积占计算

区面积的百分数，然后算出圈闭面积。例如，计算区面积为1000km²，圈闭面积占计算区面积的15%，则圈闭面积为150km²。

成功率是勘探成功率与充满系数的乘积。

勘探成功率最好用本区或附近地区的构造勘探成功率，其次用探井的成功率。充满系数是类比或统计出来的，是圈闭面积与含油面积之比。例如勘探成功率为40%，充满系数为30%，则成功率 = 30% × 40% = 12%。

油层厚度：是指有生产能力的油层厚度。

在附近有钻井证实的油层厚度资料，则取该厚度作为参考，无钻井资料时，用类比法选。由于油层厚度变化很大，故一般选一个系列来代表，通常选用五个参数，每种厚度对应一个频率数值，说明这种厚度的油层出现的可能性（如图2）。

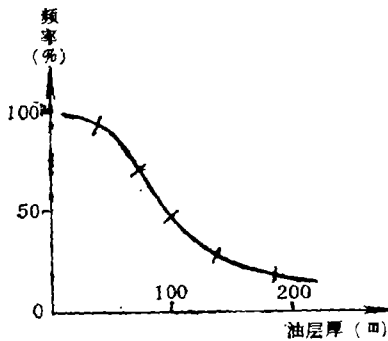


图2 油层厚度曲线

Fig.2 Thickness curve of reservoir

采油指数是指单位含油体积内可采石油的指数，其计算公式如下：

$$\text{采油指数} = \frac{K \times \text{孔隙度} \times (1 - \text{含水饱和度}) \times \text{采收率}}{\text{原油体积系数}} \quad (8)$$

式中K为常数

上述三个参数求出之后就可以计算储量，其中生产面积与油层厚度的乘积为含油岩石体积，含油岩石体积与采油指数的乘积就是可采储量。

5. 物质平衡法

物质平衡法可用于计算已投产油气田的地质储量。这种方法的理论依据是：当一定量的油气从一个油气藏中采出后，油气藏中之油气水的体积要发生膨胀，外界的流体会侵入，充填空出的孔隙空间。也就是，油藏中油气水体积的变化量的代数和等于零。

物质平衡方程式就是根据以上原理列出来的。依据油气藏的驱动机制和饱和程度，油气藏的物质平衡方程式有几十种不同的形式，通用而常见的形式如下：

$$N = \frac{N_p B_o + N_p B_g (R_p - R_{si}) + W_p - W_e}{(B_o - B_{oi}) + (R_{si} - R_s) B_g + m B_{si} (B_g / B_{gi} - 1)} \quad (9)$$

- 其中，N—地质储量；
- N_p —累积产量；
- W_p —产水量；
- W_e —水侵量；
- m—气顶与油藏的体积比（原始条件下）；
- B_o 、 B_{oi} —当前及原始原油地层体积系数；
- B_g 、 B_{gi} —当前及原始天然气地层体积系数；

R_s 、 R_{si} 、 R_p —溶解、原始溶解、生产油气比。

物质平衡方程式是一种计算油气藏地质储量的有效方法，它所需的数据都是油气藏开发的动态资料，由于它不涉及含油气面积、地层厚度等地质参数，所以能够避免复杂的地质参数的影响。

在物质平衡方程式的应用中，要求油气藏具有一定的采出程度和明显的地层压力降，否则将会影响到计算结果的可靠性。它的具体要求是，一般要在油气田投产并采出地质储量的10%以后再使用物质平衡法。

物质平衡法的最大优点是准确性和可靠性比较好，如果有关流体、岩性、压力和生产数据测算准确的话，误差可以限于10%。其最大缺点是对数据的要求高，在油气勘探阶段不能使用。

6. 蒙特卡洛模拟法

蒙特卡洛模拟又称统计实验模拟，是研究随机现象的一个强有力的工具。其基本点就是用数学的方法产生随机变量的样本，或者说对任一已知分布进行数字抽样，产生服从于这种已知分布的随机变量的伪随机数。

设随机变量Y是被研究的对象，它是m个相互独立的随机变量 $X_1 X_2 X_3 \dots X_m$ 的函数即

$$Y = f(X_1 X_2, \dots X_m)$$

如已知随机变量 $X_1 X_2 \dots X_m$ 的各自分布，就可根据 $Y = f(X_1, X_2, \dots X_m)$ 求出随机变量Y的分布。

上述 $X_1, X_2, \dots X_m$ 是相互独立的，它们的概率分别为 $q(X_1), q(X_2), \dots q(X_m)$ ，蒙特卡洛法就是对每个 $q(X_i)$ 中的X进行抽样，得到一组样本。

自变量X		$Y = f(X)$
抽样	$X_1^1, X_2^1, \dots X_m^1$	Y^1
	$X_1^2, X_2^2, \dots X_m^2$	Y^2
	\vdots	\vdots
	$X_1^n, X_2^n, \dots X_m^n$	Y^n

上述 $Y = f(X)$ ，如果是所有X的相乘函数，也就是所谓“概率相乘”，如果是所有X相加函数，就是“概率相加”，当抽样次数相当多，n相当大时(50000)，样品的统计分布特征，就应当近似地反映母体的特征，按统计的方法，就能得到随机变量Y的频率分布。

总之，蒙特卡洛法的实质就是产生服从某一已知分布的随机变量的随机数，最容易得到的随机数是(0, 1)区间上的均匀分布的随机数。然后，通过适当的变换，即可得到任意分布的随机数。

假定Y是地质储量，则

$$Y = f(X) = X_1, X_2, X_3, X_4,$$

- X_1 —含油面积
- X_2 —含油层厚度
- X_3 —砂岩型孔隙度
- X_4 —含油饱和度

当计算某一单元（开发层或勘探目标）的地质储量时，它们是相乘的；式中的孔隙度和含油饱和度以普通正态分布来描绘其分布，若计算一个构造或一个盆地的地质储量，它们是若干个勘探目标的储量之和，即

$$Y = Y_1 + Y_2 + \dots + Y_n \quad (9)$$

已知 Y_1 的分布，则该地区的总地质储量由各 Y_i 的相加而得到 Y 的分布。

为保证蒙特卡洛计算结果没有过大的系统误差，对所产生的随机数序列进行了周期性的检验、分布的均匀性检验、参数的显著性检验以及随机数连贯性、异常性检验等。计算时按框图进行（图3）

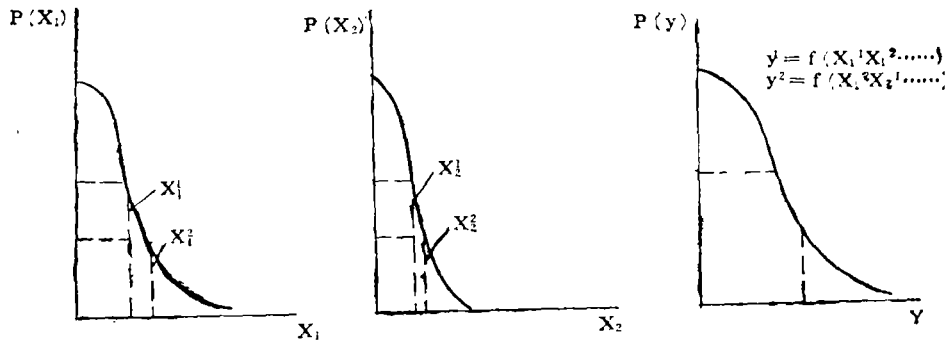


图3 蒙特卡洛法框图（随机抽样， $Y = f(X)$ 的计算步骤）

Fig.3 Montecarlo[Frame-Work(random sampling, calculation step of $y = f(x)$)

频率分布是指将某一参数的原始数据划分为若干相互连接的小区间，然后，按这区间将一切数据分组，可得到随机变量落在各区间的频率。为工作方便，笔者取了15个区间值，每个区间的频率除以原始数据总个数，就得该区间相应的频率。按上述二值就可得到直方图或频率分布曲线，根据频率分布作累积频率分布曲线。

从频率分布曲线或直方图上，可以看出每个参数的分布状况（分布范围、最大分布值、对称状况）。根据累积频率分布，看其陡缓趋势和“尾巴”的延伸状况来判断掌握资料的精度和可靠性。

运用上述曲线来估算资源，为人们提供了很多参考数值。现列举以下两种情况简要说明之。

（1）储量数域分布及其形态反映在估算储量时对勘探目标了解的深浅程度，而某一个参数分布，反映了一定的地质特征，如孔隙度的分布应该受岩相等诸地质因素的影响。在特定环境和岩相带上积累越来越多的资料，为今后在未知地区工作和类比提供了基础。

（2）曲线在频率趋于零处的值，反映了勘探目标的最大可能和最大潜量，可为决策人提供参考，并决定根据需要投入力量的多少，当考虑经济效益时，它是不可缺少的。

7. 油田规模序列法

根据世界上一些重要油区的统计资料，就油田的规模而言，从大油气田到小油气田呈快速下降的趋势。油田规模序列法就是企图通过对盆地中所发现的一些大油气田来预

测全盆地油气田的规模、数目和最终储量。此法比较简单，它只需要知道一些大油气田储量的资料，作油田序列与储量的对数关系图。纵坐标表示每个油气田的储量（取对数），横坐标表示油气田从大到小的序列数（取对数），假如最大油田序号为1，第10个大油气田序号为10等等，图上的每一点表示了第N个大油田的储量。从世界上的一些统计资料来看，它们的关系大致呈一个直线系列，直线与横坐标的交点即为盆地最终应发现的油气田的数目。如果限制了最小油气田规模，则最终油气田的数目就会减少。它们的对数关系可表示为：

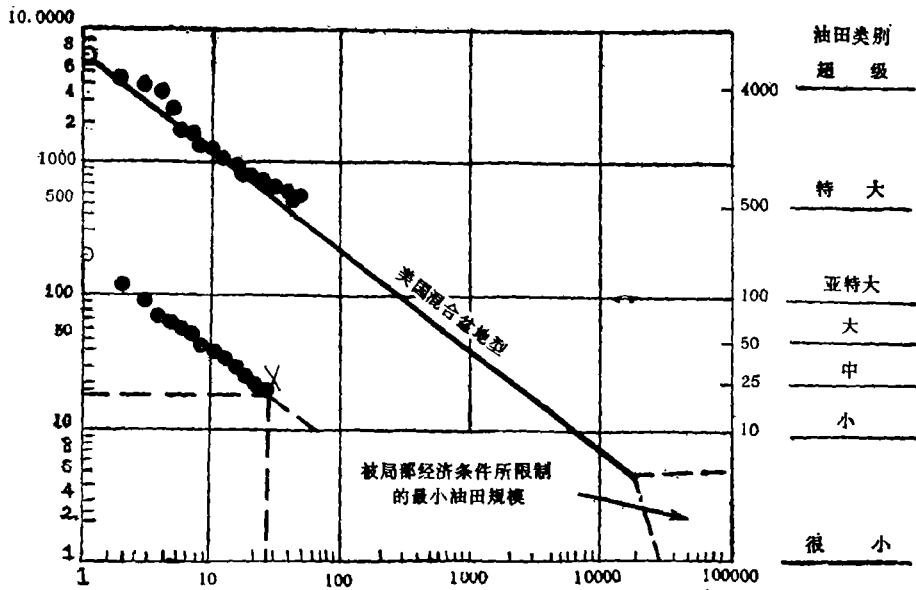
$$\log Q = \log Q_1 - a \log N \tag{10}$$

$\log Q_1$ 为直线的截距，其中 Q_1 为盆地最大油田的储量， N 为油气田大小的序号， Q 为该序号对应的储量， a 为直线斜率，对不同类型的盆地，斜率也不同，所以，也可称斜率 a 为盆地类型系数。

主要油田发现序列在图上呈大致的直线关系，而当直线出现拐弯时，往往是小油田成批出现的阶段，说明该盆地的勘探已接近中、后期了。

如结合地质类比法，把油田规模序列法推而广之，则可建立一套一套标准盆地的规模分布图，也就是确定它们的直线截距和斜率，即最大油田的规模和盆地类型系数。其它未知盆地的参数可与各标准盆地相类比或进行适当的修正来确定。类比的结果可作为对未知盆地未来的油气田数目和规模的大致估计区。

除阿拉斯加外，美国是世界上勘探程度最高，并有多类型沉积盆地的大区。有30000个已发现的油气田。根据这些油气田，依万赫作了美国混合盆地型的曲线，提供了具有



最大油田 = 2 亿桶 (假定)，最小经济油田 = 0.19 亿桶 (假定)
 经济油田 = 0.26 亿桶 (图中确定) 总可采储量 = 12 亿桶 (总和)
 注：原油因比重不同，其重量随地而异，一般定为七桶为一吨

图 4 美国油气田规模序列

Fig.4 Oilfield-scale sequence of the United States

代表性的油田规模平均分布模式。未知盆地就可参照它的斜率,以本盆地最大油气田储量为起始点,作混合曲线的平行线(如图4)。从这条新线上就可确定未发现油气田的平均数目和规模。此外,依万赫还根据不同沉积盆地的地质特征,分成八种具有不同石油潜力的类型,作出油田规模分布图,以供其它盆地类比。王幼梅等曾对松辽、渤海湾、准噶尔等盆地使用了油田规模序列法,发现了类似的规律性。

二、适用阶段和适用的评价区

任何一种油气资源评价方法都不是万能的和完满无缺的,各种方法都只能适用于石油勘探和开发的某个阶段或某个范围。例如,地质类比法在勘探之前或勘探初期可以给出含油气盆地油气资源量的粗略估计,但这种方法在勘探末期或油田开发阶段,这种粗略的估计就变成多余的了。又例如,在油田开采以前,无法使用物质平衡法,而在开采以后,物质平衡法比其它方法具有更高的优越性。

看来,不同的评价方法,主要适用于不同的评价阶段,但有的方法适用的阶段较长,它不但适用于勘探早期,而且也适用于勘探中期;有的评价方法则只适用于中期,有的则只适用于晚期,现列表说明几种常用方法的适用阶段与适用的评价区。仅供参考。

表1 常用油气资源评价方法适用阶段和评价区

Table 1 Appropriate modes of resource evaluation for distinct exploration stages and oil areas

方 法	适 用 阶 段					适用的评价区
	第一阶段 远景区 (勘探前)	第二阶段 勘探初期	第三阶段 勘探中期	第四阶段 勘探晚期	第五阶段 开发阶段	
地质类比法	含油气盆地、石油带
生油岩体积法	含油气盆地、石油带
储油岩体积法	石油带、油藏
体积递变法	含油气盆地、石油带
单圈闭体积法	局部圈闭
多圈闭体积法	石油带
物质平衡法	已开采的油藏
蒙特卡洛模拟法	含油气盆地、石油带、油藏
油田规模序列法	含油气盆地

注:实线表示主要使用阶段;虚线表示非主要使用阶段

收稿日期 1984年9月8日

参考文献

- 〔1〕 赵鹏大等, 1982, 矿床统计预测, 地质出版社。
- 〔2〕 戴金星, 1982, 世界聚煤气盆地梗概, 石油勘探与开发, 五期。
- 〔3〕 戴金星, 1982, 煤成气含义及其划分, 地质论评, 28卷4期。
- 〔4〕 陶起, 1983, 国外地质, 4期, 28—34页。

THE SELECTION OF EVALUATION MODES OF OIL AND GAS RESOURCES

Song Zhixiang

(Chengdu College of Geology)

Abstract

There are at least dozens of modes to evaluate oil and gas resources. The selection of the evaluation methods must be based on the geologic conditions of a certain area, since the restrictive applicability of each method has been recognized.

This paper summarized seven modes which are commonly used.

1. Geologic analogism; It is known that the resource capacity of a sedimentary basin basically relies on geologic factors of the basin. So that area A should have the similar resource capacity to that of area B when area A and B have similar geologic conditions, even though area A and area B are respectively in early stage and mature stage of exploration.

2. Volume mode; This method lies estimating oil and gas resources of a sedimentary basin on the density parameters (i. e. oil and gas reserves in per unit volume Ton Cubic kilometer).

3. Average volume-velocity method; According to statistics, it is known that there is an increase of logarithmic linear function between the resource capacity of a sedimentary basin and its average volume-velocity.

4. Trap volume method; This is an important method to evaluate the resources in single trap, local structure system and trap group.

5. Material balance mode; This mode is based on that the algebraic sum of the volume variation of oil, gas and water should be zero within an oil and gas accumulation.

6. Montcalo model; This is a kind of statistical distribution models.

7. Oilfield-scale sequence mode; The whole scale, numbers and final reserves of an oilfield can be predicted by the reserve survey of several giant oilfields and the sequence of their scale within the basin.

According to different stages of exploration and geology of the study area, different method should be selected in resource evaluation.