

裂缝性储层油气资源评价新方法

梁定珊 刘敏

(地矿部石油地质中心实验室, 无锡)

本文根据裂缝性储层油气成藏的特殊性, 提出一种新的裂缝型油气资源评价模拟系统。它是从裂缝系统控制油气藏出发, 基于压降法储量分布和油气藏数分布, 通过有序统计和匹配法, 预测勘探层的油气藏数及各油气藏的油气量, 由此估算勘探层资源总量, 并根据未发现油气藏的油气量求得勘探层潜量。

引言

随着电子计算机的广泛使用, 油气资源评价工作已由定性向定量发展, 提出了多种多样的评价方法。然而, 评价的结果一般都只能得到评价区的资源总量, 不能为勘探决策提供足够的依据。近几年, 加拿大地调所建立了一种“石油资源数据管理及评价系统”(PRIMES), 并已应用于东南亚地区的油气资源评价工作中。可是, 这个评价系统只适用于孔隙性储集层。我们针对四川盆地裂缝性储层油气成藏与分布的特点, 在保留了PRIMES系统中的有序统计法和匹配过程等主要优点的基础上, 进一步扩展成应用压降法油气藏储量的对数正态分布, 预测裂缝性油气资源的新评价模拟系统。本文结合对四川盆地裂缝性碳酸盐岩油气资源评价的研究, 阐明了本评价系统的特点及应用步骤和地质效果。

裂缝性储层油气成藏地质模式

油气地质条件分析是资源定量评价的基础。四川盆地海相碳酸盐岩是超低孔、渗的致密储集层(孔隙度1—3%, 渗透率 $10^{-3}\mu\text{m}^2$), 单靠岩石孔隙的渗滤能力是难以形成工业性产油气层。它主要因受成岩后生、溶蚀及构造运动等后期改造作用的影响, 发育了大量的溶孔、溶洞及裂缝等多种类型的次生孔隙。其中尤其是那些多组系相互交织成网络的裂缝, 把原生孔隙与次生孔、洞连通起来, 形成纵横向有一定连通范围的裂缝系统, 构成致密碳酸盐岩的重要储渗空间, 油气的聚集主要受裂缝系统控制。

因裂缝是构造褶皱作用的产物, 所以局部构造仍是裂缝性油气藏形成的地质基础, 而裂缝系统是油气在局部构造上聚集的具体场所。由于不同构造类型所受力的作用方式及强弱程度不一致, 使裂缝的发育情况亦不尽相同。有的仅形成单一的裂缝系统, 有的构造上则出现多裂缝系统。

图1是四川盆地某区已发现的40多个气田构造上统计的含气裂缝系统数分布, 多数

构造上由少于5个裂缝系统组成，最多的可有10几个裂缝系统。每个裂缝系统是独立的圈闭体，形成彼此分隔的气藏。如某气田某层15口气井分布在13个互不连通的裂缝系统中（图2），其中有的产气，有的气水同出，地层压力各异，气水界面也不一致。

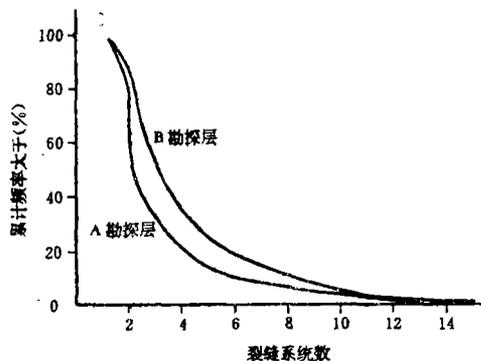


图1 某勘探层裂缝系统数分布

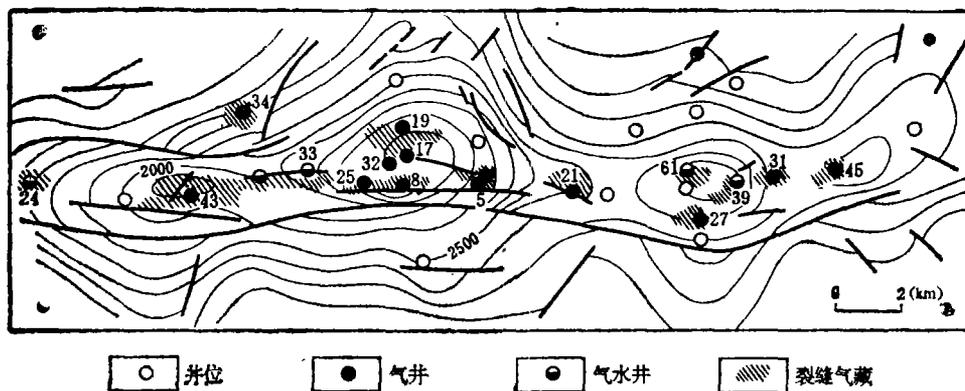


图2 某气田裂缝气藏分布

庙高寺、阳高寺等气田也有7—9个裂缝系统。而在一些裂缝发育很好的构造上，如宋家场气田则形成具有三个高点的单一裂缝系统气藏，井间连通性好，有统一的气水界面。

四川盆地发现了众多裂缝性气田，且都已投入开采，对裂缝系统成藏规律有较深的认识，为本评价系统的研制提供了良好的地质基础。

裂缝型油气资源评价系统模式

根据裂缝性油气成藏地质模式，本评价系统以局部构造为基础，裂缝系统为储油气基本单元。它是建立在超母体概念和服从对数正态分布假设的基础上，主要通过对已发现的裂缝性油气田资料的研究与处理来预测勘探层的油气资源量。评价系统的内容及评

价过程如图3所示。

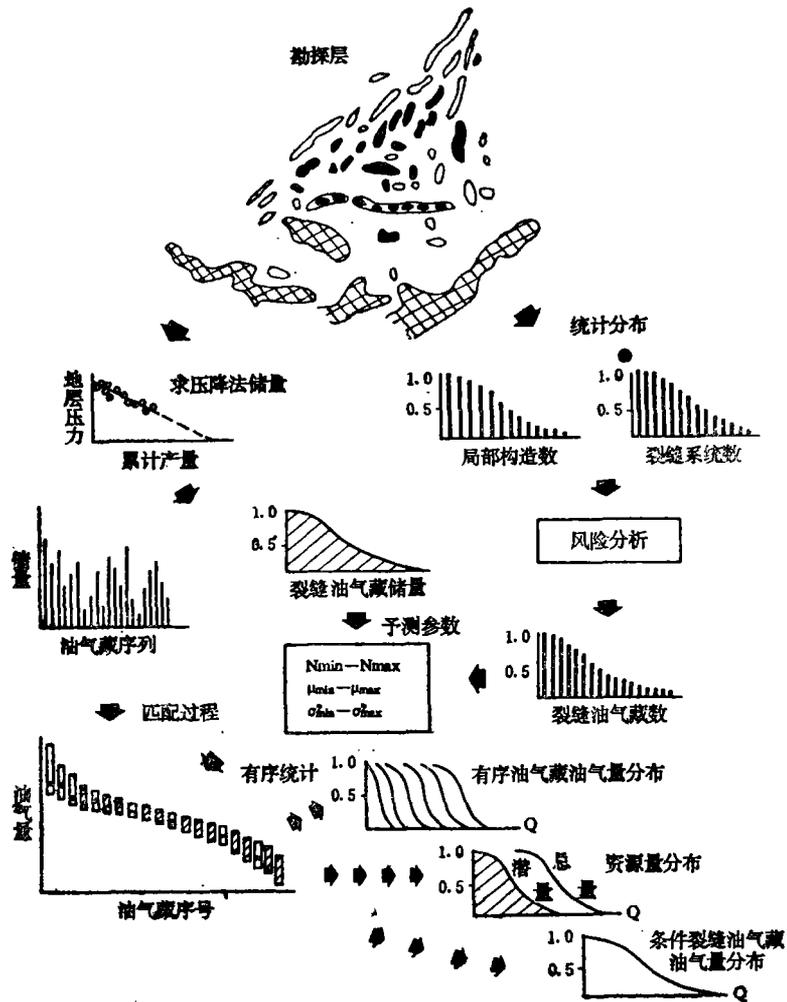


图 3 裂缝型资源评价模式

该系统的基本部分是求勘探层已发现裂缝系统油气藏的油气量分布和油气藏数的分布，由此进行勘探层裂缝系统油气藏油气量的有序统计法计算，并用已知油气藏的压降储量，通过匹配法来检验所作的预测结果。由于把地质解释、统计分析和验证过程结合起来，致使资源预测逐步逼近实际，提高了评价结果的可信程度。

在评价的成果部分，不仅估算了勘探层的油气资源总量，而且还预测出勘探层中可能存在的裂缝系统油气藏数和其中尚未被发现的油气藏数，以及各油气藏油气量的分布，并按其大小进行了排序。从而也可得出裂缝系统条件油气藏油气量分布。同时，根据待发现油气藏油气量分布又可估算出勘探层的剩余潜量等，故为勘探决策提供了更多有用的地质信息。

裂缝系统油气藏数及油气量分布预测

在进行油气资源评价中，为了要计算有序油气藏油气量，需要给出勘探层的裂缝油气藏数（ N ）及其油气量对数的均值（ μ ）和方差（ σ^2 ）。这些参数在评价系统中是通过求勘探层裂缝系统油气藏数的分布及已知裂缝油气藏储量的对数正态分布，先初步预测 N 、 μ 、 σ^2 的估算范围。

1. 裂缝系统油气藏数的预测

裂缝系统油气藏数 N 是从勘探层局部构造数分布、裂缝系统数分布和勘探风险分析来预测的，具体随机抽样过程如图4所示。

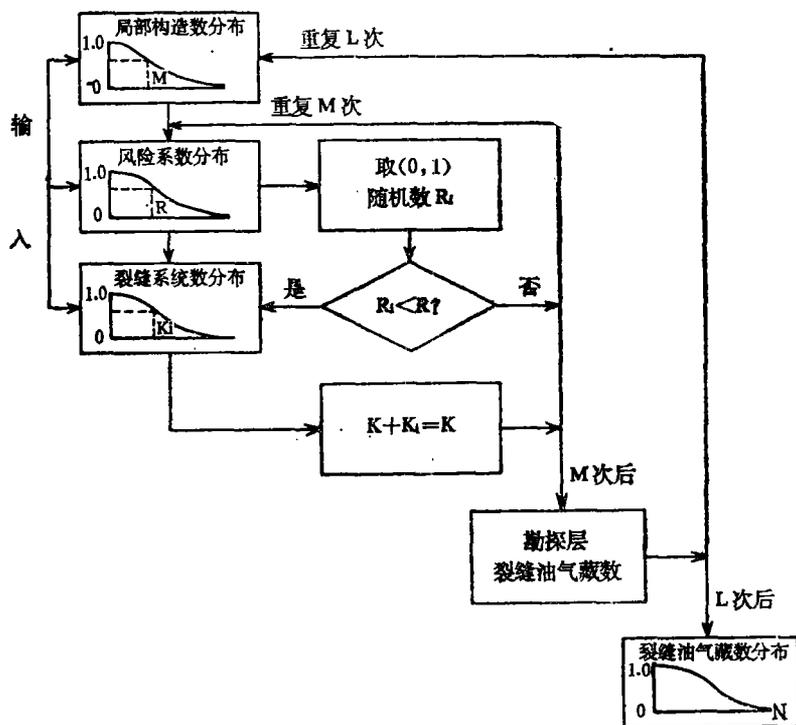


图4 裂缝油气藏数预测过程

因为局部构造是油气藏形成的基础，所以在预测勘探层裂缝系统油气藏数目时，也必须也要从局部构造入手。局部构造数的分布是根据勘探层已查明的局部构造的可靠程度给以一定的概率做出的。如某勘探层据地质调查与地震勘探，已发现了77个可靠的局部构造，以此作为勘探目标数的最小值；另考虑到在有些构造鞍部及向斜低处亦发现有裂缝系统产气井，故又推测了一些不明显的局部构造，以83个局部构造为最大值，得出局部构造数的分布如图5。

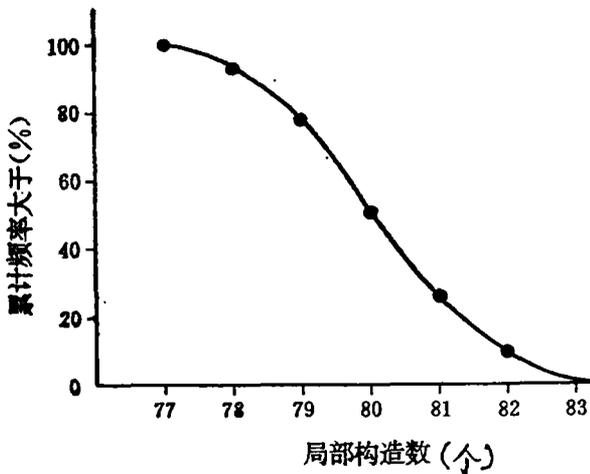


图5 某勘探层局部构造数分布

(这是目前发现的已知气田数所需的最低风险系数)；勘探成功率为0.68；此外，该勘探层有较好的生、储、盖条件和褶皱适当的各种类型构造，根据油气源、储集、圈闭、保存等控制油气成藏主要地质因素所估计的它们同时出现的综合概率为0.69，作出的风险系数(R)分布见图6。而裂缝系统数则是由已发现油气田储油气裂缝系统实际资料统计而得(图1)。

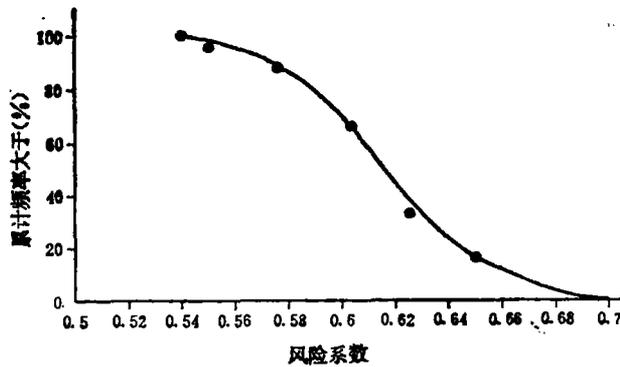


图6 某勘探层风险系数分布

图7是四川盆地某勘探层应用上述方法预测得出的裂缝系统气藏数分布的结果，说明该勘探层至少存在79个裂缝系统气藏，最多可能存在170个裂缝系统气藏。从中就可以取一个概率范围的对应值作为预测裂缝系统油气藏数的上、下限区间，用于下一步计算的估计范围。

2. 裂缝油气藏油气量均值和方差的预测

由于裂缝系统的发育与分布较复杂，裂缝油气藏的面积、有效厚度、孔隙度、含油

每一个局部构造存在油气的可能性是不同的，而且在不同构造上可能发育的储油气裂缝系统数亦不一样。因此，还要涉及风险系数和裂缝系统数分布的估计。其中风险系数(R)是由含油气构造率(产油气构造数/构造总数)、勘探成功率(产油气构造数/钻探构造数)以及用概率表示的对油气藏形成条件的认识等，综合出R的经验分布。如某勘探层已发现的构造总数76个，已钻探的构造62个，产气的构造42个。故含气构造率0.55

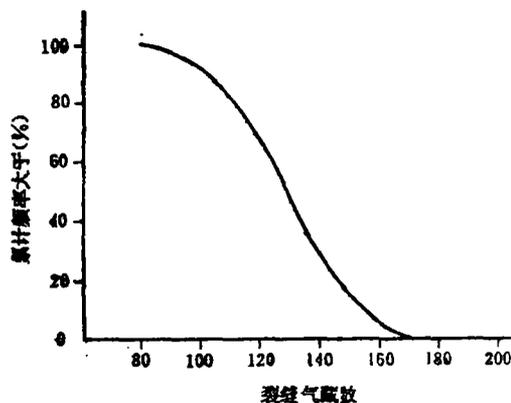


图 7 预测裂缝气藏数分布

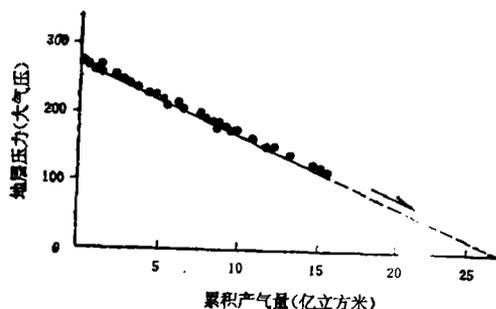


图 8 某裂缝气藏压降法求储量

气饱和度等地质参数都无法求得，故不可能用常规的容积法计算油气藏地质储量。根据四川盆地裂缝系统气藏主要属于弹性驱动类型，它是在容积不变的情况下单靠消耗地层能量产气的，气层的压力降落与累积产量之间存在着直线变化关系（图 8）。因而可用压降法通过裂缝系统油气藏开采阶段不同时间测得的油气层压力，及与之相应的累积产油气量数据，用线性回归方程推算出裂缝系统油气藏的地质储量。

如果用压降法求出的已知裂缝油气藏储量，经检验是成对数正态分布，就可根据以下公式计算各裂缝油气藏油气量对数的均值（ μ ）和方差（ σ^2 ）。

$$\mu = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \ln Q_i;$$

$$\sigma^2 = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (\ln Q_i - \mu)^2$$

式中 Q_i 为油气藏的压降储量； n 为已知裂缝油气藏数。

由上式所算出的 μ 和 σ^2 也就确定了裂缝油气藏油气量的分布。如某勘探层根据 79 个已知裂缝气藏压降储量计算， $\mu = 9.58$ ， $\sigma^2 = 2.23$ ，气藏储量分布如图 9。

因为在实际勘探过程中，所发现的裂缝系统油气藏可视为勘探层的随机取样，而且对四川盆地某勘探层来说，已发现的裂缝气藏数又已相当多，它们储量的均值和方差，是基本能反映这个勘探层母体的参数。故可取上、下附近值作为初步估计的范围。

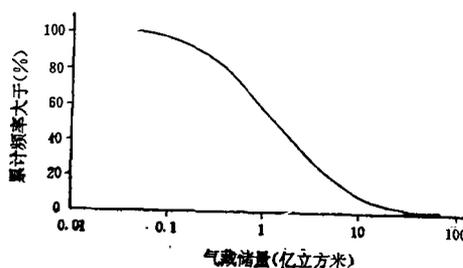


图 9 某勘探层裂缝气藏储量分布

裂缝油气藏有序统计法及匹配过程

预测勘探层中可能存在的裂缝油气藏数，并把它们按油气量的大小进行排序，这是

本评价系统很重要的一项内容。计算有序油气藏油气量的数学模拟如下：

(i) 最大的油气藏油气量大于X的概率为

$$L_{N,1}(X) = 1 - [1 - H_{\theta}(X)]^N \quad (X > 0)$$

(ii) 第r大油气藏的油气量 $\geq X$ 的概率为

$$L_{N,r}(X) = \sum_{K=r}^N \left\{ \binom{N}{K} H_{\theta}(X)^K [1 - H_{\theta}(X)]^{N-K} \right\}$$

$$(X > 0, r = 2, 3, \dots, N)$$

式中 $H_{\theta}(X)$ 是在油气藏油气量分布 $\theta(\mu, \sigma^2)$ 的条件下，一个油气藏油气量 $\geq X$ 的概率。

由上式可知，对一个勘探层来说，每给出一组 μ 、 σ^2 和N参数，就可用有序统计法计算出有N个裂缝系统油气藏的有序油气藏油气量分布。在此最关键的是如何选好三个参数的组合。我们是根据前面方法所初步预测的三个参数的估计范围值（ $100 \leq N \leq 140$ ， $9.2 \leq \mu \leq 9.8$ ， $2.3 \leq \sigma^2 \leq 2.8$ ），以一定的步长进行不同的三个参数组合，依次计算每组参数下的裂缝系统有序油气藏油气量分布。并规定用累计频率0.2—0.8的相应油气量作为所预测的各裂缝系统油气量的上、下限区间。

但是，对于某一个勘探层只能有一组N、 μ 、 σ^2 参数组合。在上述反复多次的计算中，哪一次参数组合预测的结果最能代表勘探层母体的情况呢？为此本系统在每次进行有序统计计算的同时，又通过匹配过程用已知裂缝油气藏的压降储量与所预测的有序油气藏油气量进行比较，先看有那几组参数能使所有已知的油气藏储量都落入预测的油气藏系列的范围内，然后再结合对勘探层的地质认识，选用匹配情况最好的一组参数来描述这个勘探层母体。

图10是某勘探层选用 $\mu = 9.4$ ， $\sigma^2 = 2.5$ 和 $N = 110$ 的参数组合，计算得到的裂缝系统气藏气量有序统计分布和匹配情况最好的预测结果。图中方框表示累计频率0.2—0.8的气藏气量预测区间；实点表示已发现气藏的储量；黑框为待发现气藏气量。由此图可见，已发现的79个裂缝系统气藏的压降储量，全部都落在预测气藏系列的气量估计范围内，所以就用它来代表该勘探层的资源预测结果。

资源评价结果分析

在经过匹配法检验选定了代表勘探层的参数后，就可以根据在该组参数下所估算出的裂缝系统有序油气藏的油气量分布（图11），用蒙特卡洛随机抽样相加求得勘探层的资源总量分布（图12），以及勘探层的裂缝系统条件油气藏油气量分布。

在评价成果中，最值得重视的是所预测的裂缝系统油气藏大小排序及匹配情况（图10）。因从中可了解到勘探层还有多少个尚未被发现的油气藏，并根据它们的油气量分布又可获得勘探层的剩余潜量分布（图12）。同时，还可以知道未发现的那些油气藏大小各排在序列中的第几位？勘探层最大的几个油气藏是否都已经找到了？勘探层还有没有值得进一步勘探的意义？

如四川盆地某勘探层评价结果预测可能有110个裂缝系统气藏（图10），除已发现

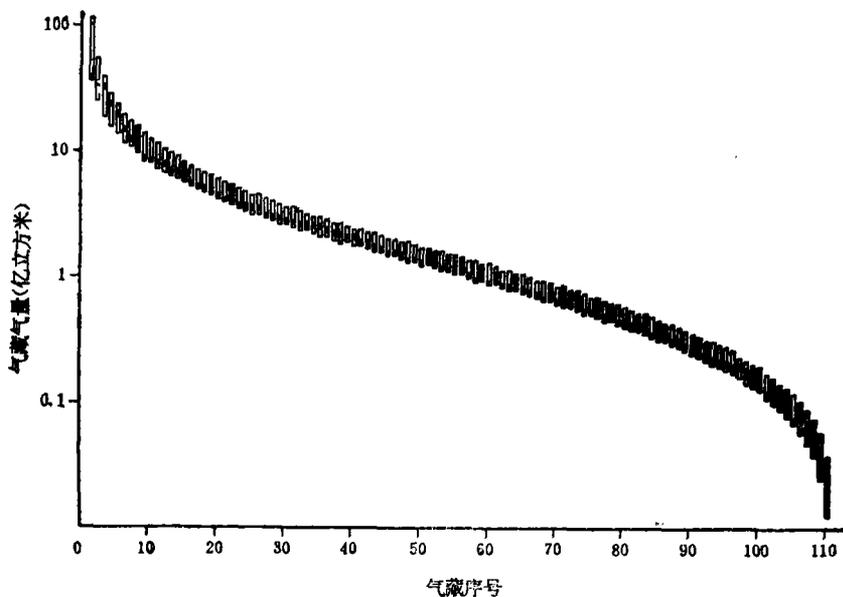


图10 某勘探层预测的有序气藏气量

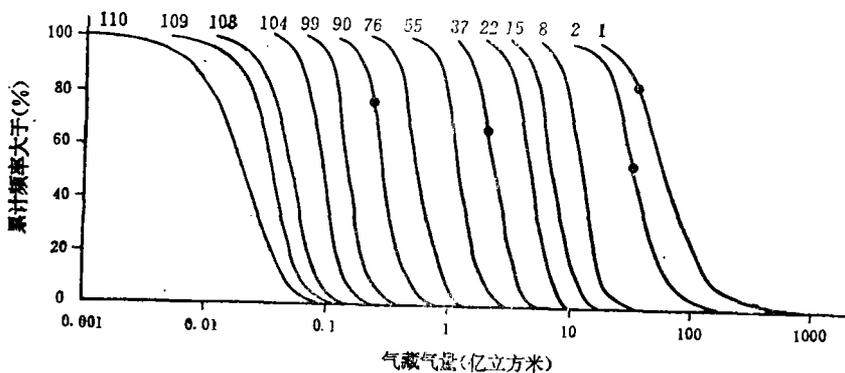


图11 某勘探层有序各气藏气量分布

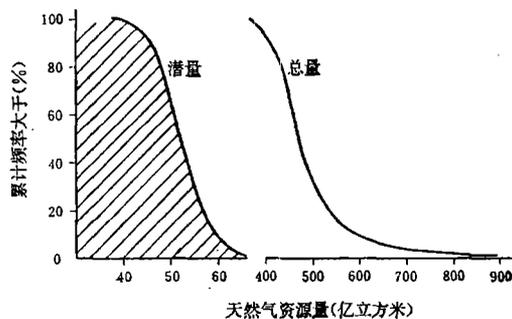


图12 某勘探层资源量分布

的79个气藏外,预测还有31个未发现的裂缝气藏。由此估算勘探层的资源量与潜量见下表:

天然气资源量 (亿立方米)	最小值	最大值	最可能范围	期望值	均方差
总 量	372	980	417—587	476	115
潜 量	38	72	44—62	52	5.5

以上资源量计算结果表明,该勘探层虽然勘探程度已很高,发现了众多的气藏,但因裂缝系统气藏分布复杂,仍然存在有一定潜量的可能性。按资源量分布的期望值相比,资源潜量约占总资源量的10.9%。可是从图10中可以看出,在所预测的勘探层110个裂缝气藏系列中,大部分较大的气藏都已找到了。最大的4个未发现气藏仅排在第8、15、19、22位,其余的未发现气藏都较小,已排在第51位以后,其中有19个气藏甚至已在第69位以后了。这说明该勘探层已进入到勘探的晚期阶段,其剩余的潜量主要是由比较小的气藏组成,要进一步去发现这些气藏就有较大的难度,而且这个勘探层有利的局部构造都已钻探。因此,今后要进一步扩大后备储量,应在加强裂缝系统发育规律研究的基础上,重点在老气田上钻一些探井,很有可能再发现新的裂缝系统气藏,增加储量。如某老气田就是因为开发过程中不断发现了新的裂缝系统气藏,弥补了气田产量的递减。还有一些老气田直到开采后期还找到新的裂缝系统产气而获得新生。对于已知气田构造翼部向凹陷延伸倾伏的“鼻突”,往往有裂缝系统发育,也是值得重视的勘探目标。当然对已钻1—2口探井失败的构造,也应根据勘探裂缝系统气藏的新技术、新经验重新认识和评价,精心选择有利构造,合理布井,亦可望会有所发现,获得一定的资源量。

小 结

本评价系统是建立在裂缝系统控制油气的基础上,并以压降法求裂缝系统油气藏储量作为依据,所以在无法取得容积法储量计算参数的情况下,是裂缝性储层进行油气资源预测较为有效的方法。特别是由于引入了有序统计法、匹配法及蒙特卡洛技术,使得资源评价结果不仅仅估算了资源总量,更重要的是能对未发现而又有可能存在的裂缝油气藏数及其油气量作出预测,由此对评价区的资源潜力就有一个定量估计。这些可为决策部门提供不少反馈信息,从而对进一步勘探实践起到了一定的指导性作用。

应用该方法对四川盆地裂缝性碳酸盐岩进行了天然气资源评价,获得了满意的结果,证明本评价系统在方法的推理逻辑上是合理和可行的,所以是裂缝性储层油气资源评价研究中有实际意义的新方法。

参 考 文 献

- [1] 张继铭、黄鉴平, 1984, 四川盆地碳酸盐岩油气田, 天然气勘探与开发, 第四期。
- [2] 戴弹申, 1981, 四川盆地裂缝性气藏的圈闭类型及其有效的勘探方法, 四川石油管理局地质勘探开发研究院。
- [3] 四川石油管理局地质勘探开发研究院, 1980, 四川盆地二叠系阳新统裂缝特征及分布规律。
- [4] 胡桂铭, 1985, 评价油气资源的对数正态模拟法介绍, 地矿部石油地质研究所。
- [5] P.J.Lee and P.C.C.Wang, THE PRINCIPLES OF THE GSC SYSTEM FOR ESTIMATING THE VOLUME OF PETROLEUM RESOURCES, April, 1986.
- [6] Lee, Yang and Hu, REPORT ON PETROLEUM RESOURCE EVALUATION (Beaver-hill Lake Reefs Play), Oct.1984.
- [7] P.J.Lee and P.C.C.Wang, EVALUATION OF PETROLEUM RESOURCES FROM POOL SIZE DISTRIBUTIONS, 1982.

A NEW APPROACH FOR RESOURCE ASSESSMENT OF
OIL AND GAS IN FRACTURED RESERVOIR

Liang Dingshan Liu Min

(Central Laboratory of Petroleum Geology, MGMR, Wuxi)

Abstract

The authors of this paper set up a modelling system for resource assessment of oil and gas for fracture-typed reservoir, focusing on the specialities of such a type of oil-gas pool formation. In a view of fracture system controlled occurrence of oil-gas pools, the authors predicted the number of pools in an exploratory play as well as the oil and gas reserves in each pool, based on the distributions of reserves calculated by pressure falling and the number of oil/gas pools, using ordered statistic and matched methods. Additionally, with what mentioned above, the total resources are evaluated; consequently, in an exploratory play, the potentials depending upon the amount of oil and gas in undiscovered pools are predicted.