

引入圈闭加合法的多统计法联合计算 油气资源量探讨

赵迎冬¹,张永超¹,臧梅²,王建伟¹,白琨琳³

(1. 中国石油冀东油田分公司 勘探开发研究院,河北 唐山 063004; 2. 中国石油大庆油田分公司 钻探工程公司,黑龙江 大庆 163357; 3. 中国石油冀东油田分公司 南堡作业区,河北 唐山 063399)

摘要: 区带油气资源量计算常用到统计法,主要包括规模序列法、发现过程模型法、广义帕莱托法等,但这3种方法在油气资源评价过程中均存在油气藏数量难以确定的问题。为了更精确、合理地计算区带油气资源量,首先通过圈闭加合法分析和预测区带中未发现的大—中型油气藏,然后根据已发现与未发现大—中型油气藏的储量规模序列计算区带油气藏数量,最后根据已确定的油气藏数量采用多统计法联合计算区带油气资源量。通过使用圈闭加合法分析大—中型油气藏储量规模,并计算出区带油气藏数量,解决了油气藏数量确定这一关键问题,而多统计法的联合使用更进一步提高了油气资源量计算结果的准确性。

关键词: 多统计法 圈闭加合法 关键问题 油气藏数量 大—中型油气藏 油气资源量

中图分类号:TE16

文献标识码:A

文章编号:1009-9603(2017)04-0016-06

Discussion of calculating oil-gas resources based on multi-statistics method by introducing trap additivity

Zhao Yingdong¹, Zhang Yongchao¹, Zang Mei², Wang Jianwei¹, Bai Kunlin³

(1. Research Institute of Exploration and Development, PetroChina Jidong Oilfield Company, Tangshan City, Hebei Province, 063004, China; 2. Drilling Engineering Company, PetroChina Daqing Oilfield Company, Daqing City, Heilongjiang Province, 163357, China; 3. Nanpu Oil Production Operation Area, PetroChina Jidong Oilfield Company, Tangshan City, Hebei Province, 063399, China)

Abstract: Statistics methods are often used in the oil-gas resource evaluation, mainly include scale sequence method, discovery process model method and generalized Pareto method. But reservoir number is hard to be determined during the process of oil-gas resource evaluation. In order to calculate the oil-gas resources more accurately and reasonably, the undiscovered large and medium-sized reservoirs were predicted by the trap additivity first. Then the overall number of pools was calculated by using the reserve scale sequence of large-medium-sized reservoirs both including discovered and undiscovered. At last, according to the number of pools, the oil-gas resources were calculated in this area by the multi-statistics method. This method can solve the problem that the number of pools is difficult to confirm, and it can enhance the accuracy of the results of oil-gas resource calculation.

Key words: multi-statistics method; trap additivity; key problem; number of pools; large-medium-sized reservoirs; oil-gas resources

油气资源评价结果是石油工业发展、规划和决策的重要依据。目前油气资源评价已发展为一个相对完整的科学体系,其理论已较为成熟,评价方

法多达百余种^[1-4],总体可分为成因法、统计法和类比法3大类,这3大类评价方法的应用范围和侧重点也存在差异。

收稿日期:2017-03-27。

作者简介:赵迎冬(1985—),男,湖北荆州人,工程师,博士,从事盆地模拟及相关石油勘探工作。联系电话:(0315)8766248, E-mail:9li_0123@163.com。

基金项目:国家科技重大专项“南堡凹陷油气富集规律与增储领域”(2016ZX05006-006)。

在区带级的油气资源量计算过程中通常会用到统计法^[5-6],并且为了提高计算结果的准确性,会使用多种不同的统计法进行联合计算,如准确性较高的规模序列法、发现过程模型法、广义帕莱托法等。虽然这几种统计法应用程度较高,基础理论相对成熟,但仍然存在一些问题,特别是在这些方法同时使用的情况下;例如对同一区块进行油气资源量计算时,使用不同的统计法所得到的计算结果会存在较大的差异,甚至出现部分油气资源量评价参数不符合实际地质情况。为此,笔者通过分析统计法应用过程中存在的关键问题,提出相关优化方案,提高了多统计法联合计算油气资源量的准确性,研究成果可以为今后的油气资源评价工作提供借鉴。

1 统计法应用过程中存在的关键问题

统计法是一种利用已知油气资源分布来预测整体油气资源分布的方法,可通过不同的函数模型得到不同的预测结果。例如规模序列法、发现过程模型法、广义帕莱托法即为根据已发现油气地质储量,通过函数模型计算整体油气资源分布的方法。

统计法实质上是一种数据法,通过分析例如储量规模、探井进尺、探井成功率、单井发现率等统计数据来计算油气资源量,因此其计算过程一般不具有地质意义,即无法以地质经验去验证其计算结果的准确性。不同的统计法所采用的函数模型不同,因此所得到的结果也会有一定的差别。即使利用同一组统计数据,如果使用不同的统计法,也会导致计算结果存在差异。例如同一组储量规模数据,使用规模序列法和发现过程模型法得到的最终结果肯定不同,其原因为真实的储量规模序列是1个非常复杂的函数,仅依据目前的认识与计算方法并不能建立准确的函数模型,只能通过现有的函数模型进行多次模拟,得到1个储量分布范围,且若使用的统计法越多,计算结果的准确性越高。因此,可以说区带的油气资源分布是不可模拟的,应用统计法的计算过程只是一个不断逼近油气资源量真实值的过程,且应用的统计法越多,得到的油气资源量分布区间越集中,表明计算结果越接近真实值。

笔者采用规模序列法、发现过程模型法和广义帕莱托法3种方法联合计算区带油气资源量;但这3种统计法都具有1个相同的关键参数,即区带的油

气藏数量,对油气藏数量的确定也是统计法计算油气资源量的关键问题。因此,多统计法联合计算油气资源量的前提条件为区带的油气藏数量必须一致,且必须符合实际油气藏的分布特征。

1.1 规模序列法

规模序列法是目前最常用的统计法,使用的前提条件为已发现区带内最大型的油气藏。该方法的原理是基于统计结果,即在1个独立的石油地质单元内,对已存在的油气藏的储量规模进行排序,在双对数坐标中以油气藏储量规模序列号为横坐标、油气藏储量规模为纵坐标,其关系大致为一条直线。规模序列法的理论基础为Pareto定律^[7],其表达式为

$$\frac{Q_m}{Q_n} = \left(\frac{n}{m}\right)^k \quad m \neq n \quad (1)$$

如果分别以油气藏的储量规模和序列号作为纵坐标和横坐标在双对数坐标上绘制各储量规模数据点,则其数据点的连线为1条斜率为 $-k$ 的直线。

在利用规模序列法计算实际油气资源量的过程中,同一组储量规模数据可能会预测得到多条连线,即符合预测条件的储量规模数据点连线的斜率变化范围很大。如图1所示,同一组已发现油气藏储量规模序列可以拟合出3条油气藏储量规模数据点连线,即可以预测出3种油气资源量分布情况。因此,即使是在区带内最大型油气藏已确定的情况下,油气藏数量与总油气资源量仍存在很大的不确定性。因此,对于油气藏数量的确定仍是该方法应用的重点与难点。

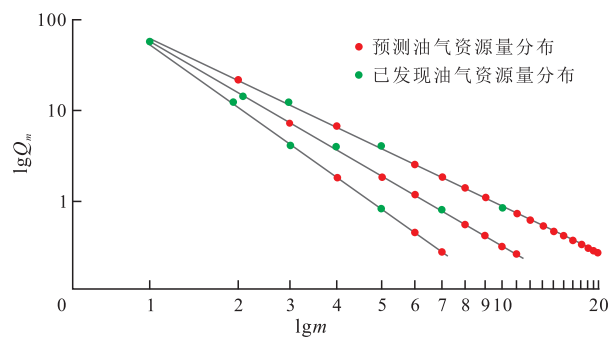


图1 利用规模序列法预测油气资源量

Fig.1 Oil-gas resources forecast by scale sequence method

1.2 发现过程模型法

该方法的基本原理为利用在总体中进行抽样得到的样本信息对总体特征进行估计,因此,可以将1个区带中可发现的油气藏作为1个有限的总体,再把已发现的油气藏作为从总体中抽取的样本信息,这样就可以利用这组样本信息推断出总体的特征,即达到油气资源评价的目的^[8]。Kaufman等提

出通过发现过程模型来处理油气藏储量规模数据,即可以利用有偏样本来估算油气藏储量规模^[9]。应用发现过程模型从有偏样本(偏向于大型油气藏)中估算油气藏储量规模与分布,须首先估算油气藏储量规模的对数正态分布平均数和方差,并得到这2个参数分布的百分比,从而得到油气藏储量规模的整体概率密度函数。当区带油气藏数量为已知,且已确定油气藏储量规模分布时,即可以通过分级方式来估算油气藏的储量规模^[10-11]。

同样在应用发现过程模型法过程中,同一组已发现油气藏储量规模序列可以拟合出多种油气藏的油气资源量分布情况,即当区带油气藏数量不确定时,预测结果也存在较大变化。因此,在使用该方法计算油气资源量时,须首先确定油气藏数量。

1.3 广义帕莱托法

对于勘探程度较高的地区,可以将其已发现油气藏按照储量规模划分为具有一定函数分布关系的储量级别或区间。统计已发现油气藏在不同储量区间的分布个数,结果表明,随着油气藏储量规模的增大,其发育数量逐渐减少,这种具有函数关系的分布特征即为帕莱托分布。1999年,金之钧在帕莱托分布函数中加入代表实际地质意义的控制参数^[4],即油气藏储量规模不可能无穷大,且储量规模太小的油气藏不具有实际开发价值,据此建立广义的帕莱托分布模型,其表达式为

$$f(q) = 1 - \left(\frac{q_0 + \gamma}{q + \gamma} \right)^\lambda + \left(\frac{q_0 + \gamma}{q_{\max} + \gamma} \right)^\lambda \quad (2)$$

根据已发现油气藏储量规模样本进行统计回归预测,可确定油气藏储量规模样本中位数,并求得油气藏储量规模分布系数,进而对预测区带油气藏数量进行较准确地估算或预测,即可进行油气资源量预测及油气资源结构评价。

广义帕莱托法涉及到的最小油气藏储量规模、最大油气藏储量规模以及油气藏储量规模样本中位数等关键参数可以根据已发现油气藏储量规模样本数据获得,且这些参数的取值较易于确定。但油气藏储量规模分布系数经常为不确定值,其取值变化与油气藏数量有关。对于同一组已发现油气藏储量规模序列,由于不同的油气藏数量,可以得到不同的油气藏储量规模分布系数,且最终预测油气藏的油气资源量分布情况也会出现多种结果,因此确定油气藏数量也是广义帕莱托法的重点。

综上所述,多统计法联合计算油气资源量的关键问题为区带油气藏数量的确定。

2 油气藏数量确定与油气资源量计算

针对如何确定油气藏数量的问题提出以下解决思路:虽然在使用统计法时不易确定油气藏数量,但是对于部分已发现的大—中型油气藏(储量规模超过 100×10^4 t)的数量及储量规模是可以确定的。因此,可以通过分析已发现的大—中型油气藏来推导区带油气藏储量规模序列中未发现的大—中型油气藏,并据此推测油气藏数量。

2.1 油气藏数量确定

利用圈闭加合法可以计算区带已发现与未发现大—中型油气藏的油气资源量。圈闭加合法的实质就是将研究区所有圈闭中的油气资源量进行加积计算,即首先计算不同级别圈闭的油气资源量,然后通过加合所有圈闭油气资源量得到区带的总油气资源量。其计算过程是首先通过分析已发现的圈闭油气资源量得到单储系数、油气资源丰度等参数,然后分析潜在圈闭(已进行圈闭评价)与推测圈闭(未进行圈闭评价)得到未发现圈闭的数量、含油气面积和有效储层厚度等参数,最终计算得到未发现圈闭的油气资源量^[12-13]。

潜在圈闭与推测圈闭油气资源量的计算公式分别为

$$Q_{\text{潜在}} = A_{\text{潜在}} \times F_{\text{潜在}} \times H_{\text{潜在}} \times R_{\text{潜在}} \times SNF \quad (3)$$

$$Q_{\text{推测}} = A_{\text{推测}} \times H_{\text{推测}} \times q_i \quad (4)$$

通过分析已发现的圈闭,可以获得其含油气面积系数、有效储层含油气丰度、石油单储系数等参数,因此仅需确定未发现圈闭的数量和面积即可预测出区带油气资源量。由于圈闭加合法的计算参数取自实际油气藏,因此其计算结果的可信度较高。但是在人工识别未发现圈闭的数量和面积等参数时,难以识别出很多小型圈闭,因此,利用圈闭加合法计算的油气资源量通常较小,且油气藏数量也较少,但如果利用该方法分析大—中型油气藏,则不存在上述问题。

需特别指出的是,圈闭加合法是区带油气资源量预测的方法之一,笔者进行多统计法联合计算油气资源量分析的1个前提假设条件即为应用圈闭加合法时认为已发现的大—中型油气藏均为真实存在的,显然该假设条件是不可能完全实现的,因此,就涉及到另1个关键问题,即圈闭勘探成功率的确。当圈闭勘探成功率足够高时,应用圈闭加合法

预测得到的大—中型油气藏可以近似地认为是真实、可靠的;而当圈闭勘探成功率较低时,应用圈闭加合法预测得到的大—中型油气藏不是真实存在的。因此,利用圈闭加合法计算大—中型油气藏油气资源量的准确性与圈闭勘探成功率相关。然而在实际勘探工作中,圈闭勘探成功率为0或100%都是不可能的,通常中—高勘探程度地区的圈闭勘探成功率为60%~80%^[14-16](图2)。笔者将圈闭勘探成功率的取值定为70%,并将其应用于油气资源量的计算,得到未发现大—中型油气藏的储量规模。而在中等勘探程度地区,圈闭勘探成功率通常为30%~50%^[14-15],以圈闭勘探成功率为40%来计算油气资源量。因此,在应用圈闭加合法计算圈闭油气资源量过程中,需将所计算的大—中型油气藏圈闭油气资源量乘以圈闭勘探成功率以转化为储量规模,即将高勘探程度地区的潜在圈闭油气资源量计算结果乘以70%,中等勘探程度地区的推测圈闭油气资源量计算结果乘以40%。

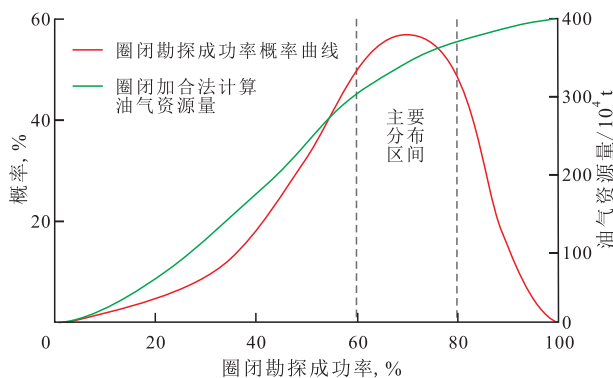


图2 应用圈闭加合法计算的油气资源量与圈闭勘探成功率的关系

Fig.2 Relationship between success ratio of exploration and oil-gas resources calculated by trap additivity

根据大—中型油气藏储量规模序列可以确定区带的油气藏数量,包括已发现的大—中型油气藏储量规模序列与圈闭加合法计算得到的未发现大—中型油气藏储量规模序列。将大—中型油气藏储量规模序列作为样本数据代入规模序列法、发现过程模型法、广义帕莱托法的计算公式中,当计算结果中有1组预测油气藏储量规模序列适用于这3种方法时,所计算得到的油气藏数量即为预测区带的油气藏数量。但有时可能会得到多组适合的结果,考虑到可信度等问题,通常选择油气藏数量最少的那组数据。

2.2 油气资源量计算

根据最终获得的区带油气藏数量即可以进行油气资源量计算。由图3可以看出,在9个大—中

型油气藏中有7个为已发现油气藏,2个为利用圈闭加合法预测的未发现大—中型油气藏,而32个油气藏储量规模序列为满足多统计法计算油气资源量的最佳结果。根据9个大—中型油气藏与32个油气藏即可计算区带的油气资源量,在32个油气藏储量规模序列中,后19个油气藏储量规模序列为多统计法计算所得到的。可见虽然在应用规模序列法、发现过程模型法、广义帕莱托法时所采用的油气藏数量是一致的,但计算的油气藏储量规模不一致。因此,实际区带油气资源量应位于3种统计法计算结果的区间范围内。

最终区带油气资源量计算结果可以利用特尔菲法^[17]进行计算(图3)。需指出的是,通过特尔菲法计算的区带油气资源量仍不能代表实际油气资源量,仅是更接近于真实值。当增加新的计算方法时,计算结果也会发生调整,且更加接近于真实值。

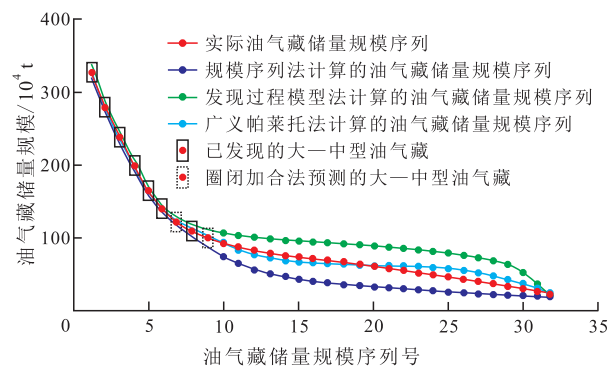


图3 多统计法联合计算区带油气资源量结果示意

Fig.3 Results of regional oil-gas resources calculated by multi-statistics method

3 实例应用

以某油田L区为例,该区目前勘探程度较高,面积为257 km²,三维地震已覆盖全区。截至2014年底,已完钻各类探井98口,总进尺为293 775 m;已发现27个油藏,探明石油地质储量为650.09×10⁴ t,三级石油地质储量总计807.74×10⁴ t,已完成未钻探圈闭的评价工作。

3.1 大—中型油藏数量确定

对L区大—中型油藏(储量规模大于30×10⁴ t)进行统计分析,并将其控制和预测石油地质储量按照0.75和0.5进行折算。采用圈闭加合法剖析研究区已发现大—中型油藏,确定其石油单储系数为12.21×10⁴ t/(km²·m),圈闭含油面积系数为38.1%,储层含油系数为8.7%,储层平均厚度为110 m;进而得出未发现油藏中储量规模大于30×10⁴ t油藏的圈

闭面积需大于2.3 km²。通过对L区有利构造进行圈闭预测,确定有2个圈闭面积大于2.3 km²,即研究区有2个未发现大一中型油藏。将圈闭加合法的计算结果乘以70%的圈闭勘探成功率,最终确定2个未发现油藏的储量规模分别为65.23×10⁴和46.89×10⁴ t。因此,L区大一中型油藏的数量为10个(表1)。

表1 L区大一中型油藏储量规模计算结果

Table1 Calculation results of reservoir scale in the large-medium-sized reservoirs in the area of L

油藏储量规模序列号	油藏类型	储量级别	石油地质储量/10 ⁴ t
1	已发现	探明	218.57
2	已发现	探明	131.30
3	已发现	探明	80.75
4	已发现	探明	77.47
5	已发现	探明	41.06
6	已发现	探明	33.94
7	已发现	控制(折后)	34.50
8	已发现	预测(折后)	49.76
9	未发现	潜在(圈闭勘探成功率取值为70%)	65.23
10	未发现	潜在(圈闭勘探成功率取值为70%)	46.89

3.2 石油资源量计算

将利用圈闭加合法确定的研究区储量规模大于30×10⁴ t的10个大一中型油藏的储量规模序列作为规模序列法、发现过程模型法、广义帕莱托法3种统计法的计算参数。同时考虑研究区目前勘探开发成效,设定以油藏储量规模为5×10⁴ t作为勘探下限,可确定当油藏数量为47个时,利用多统计法联合计算油气资源量的效果最佳。因此,L区预测油藏数量为47个,最大油藏储量规模为218.57×10⁴ t,最小油藏储量规模为5×10⁴ t,分别采用规模序列法、发现过程模型法、广义帕莱托法计算石油资源量,结果(图4)表明,3种统计法所得的计算结果分别为1 443,1 261和1 332×10⁴ t。考虑计算结果与真实值的吻合程度,采用特尔菲法对3种统计法的计算结果进行加权计算。由于广义帕莱托法为最佳拟合方法,其预测石油资源量在3个计算结果中处于中间值,因此,将其权重系数调整为0.5,其他2种统计法计算结果的权重系数为0.25,最终确定L区的石油资源量为1 342×10⁴ t。

此外,通过理论分析及实例应用,认为圈闭加合法是区带油气资源量预测的方法之一,其计算结果为预测油气资源量,存在不确定性,通常不能作为实际油气藏的油气资源量来进行统计。而随着勘探程度的提高,特别是在高勘探程度地区,大一中型油气藏已基本勘探开发,使用圈闭加合法计算

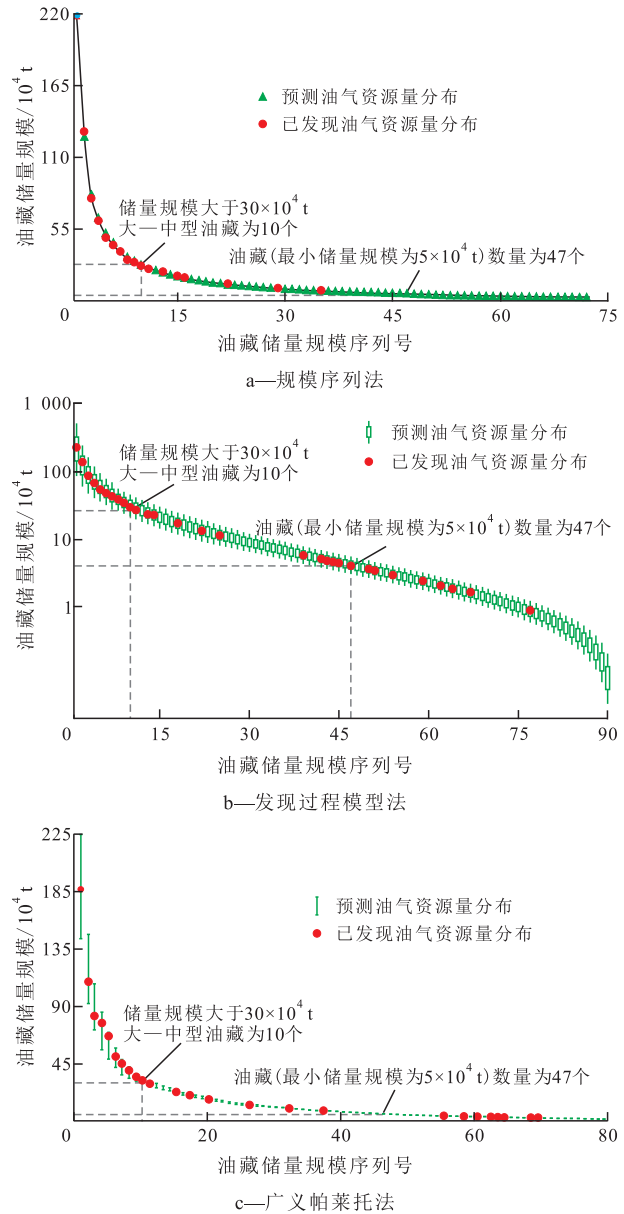


图4 多统计法联合计算L区石油资源量结果

Fig.4 Results of oil resources calculated by multi-statistics method in the area of L

发现的大一中型油气藏数量很少,因此在高勘探程度地区这种不确定性较小。即使在中等勘探程度地区,使用圈闭加合法计算大一中型油气藏时,通过加入圈闭勘探成功率也能很好地降低这种不确定性。因此,虽然圈闭加合法存在一定的不确定性,但是随着勘探程度的提高以及研究资料的不断增加,其油气资源量计算结果可以不断得到修正,使其更加精确。

4 结论

利用规模序列法、发现过程模型法、广义帕莱托法这3种统计法计算油气资源量过程中均存在油

气藏数量这一关键参数,且该参数的确定也是采用多统计法联合计算油气资源量过程中的关键问题。首先通过圈闭加合法分析区带大—中型油气藏,然后以大—中型油气藏储量规模序列来确定适用于多统计法的油气藏数量,进而使用多统计法联合计算油气资源量。利用圈闭加合法计算区带油气藏数量,可以解决多统计法联合计算油气资源量过程中油气藏数量确定这一关键问题,进而有效地提高油气资源量计算结果的准确性。

符号解释:

Q_m ——序列号为 m 的油气藏的储量规模, 10^4 t; Q_n ——序列号为 n 的油气藏的储量规模, 10^4 t; m, n ——油气藏序列号; k ——油气藏储量规模的变化率; q ——预测区带任一油气藏的储量规模, 10^4 t; q_0, q_{\max} ——最小和最大油气藏的储量规模, 10^4 t; γ ——油气藏储量规模样本中位数; λ ——油气藏储量规模分布系数,且 $\lambda \geq 0$; $Q_{\text{潜在}}, Q_{\text{推测}}$ ——潜在圈闭和推测圈闭的油气资源量, 10^4 t; $A_{\text{潜在}}, A_{\text{推测}}$ ——潜在圈闭和推测圈闭的面积, km^2 ; $F_{\text{潜在}}$ ——潜在圈闭的含油气面积系数, %; $H_{\text{潜在}}, H_{\text{推测}}$ ——潜在圈闭和推测圈闭的有效储层厚度, m; $R_{\text{潜在}}$ ——潜在圈闭的有效储层含油气丰度, %; SNF ——石油单储系数, 10^4 t/($\text{km}^2 \cdot \text{m}$); q_1 ——油气体积资源丰度, 10^4 t/ km^3 。

参考文献:

- [1] 赵文智,胡素云,沈成喜,等.油气资源评价方法研究新进展[J].石油学报,2005,26(增刊):25-29.
Zhao Wenzhi, Hu Suyun, Shen Chengxi, et al. New advancements of oil and gas resource assessment methods [J]. Acta Petrolei Sinica, 2005, 26(Supplement): 25-29.
- [2] 赵旭东.石油资源定量评价[M].北京:地质出版社,1988.
Zhao Xudong. Oil resources quantitative evaluation [M]. Beijing: Geological Publishing House, 1988.
- [3] David A W, Harry M G. Method of estimating oil and gas resources [J]. AAPG Bulletin, 1979, 63(12): 2 183-2 192.
- [4] 金之钧,张金川.油气资源评价技术[M].北京:石油工业出版社,1999:35-48.
Jin Zhijun, Zhang Jinchuan. Oil and gas resources evaluation technology [M]. Beijing: Petroleum Industry Press, 1999: 35-48.
- [5] 刘晓冬,徐景祯,杨勉.油气资源预测统计模型及其应用[J].地质科学,2004,39(2):245-250.
Liu Xiaodong, Xu Jingzhen, Yang Mian. Statistical models to predict oil and gas resources and their applications [J]. Chinese Journal of Geology, 2004, 39(2): 245-250.
- [6] Forman D J, Alan L. Improved statistical method for assessment of undiscovered petroleum resources [J]. AAPG Bulletin, 1985, 69(1): 1 061-1 081.
- [7] 郭秋麟,胡素云,张庆春,等.双序列法及其在油气资源评价中的应用[J].石油勘探与开发,2003,30(5):50-52.

- Guo Qiulin, Hu Suyun, Zhang Qingchun, et al. The double serial method and its application in petroleum resource evaluation [J]. Petroleum Exploration and Development, 2003, 30(5): 50-52.
- [8] Lee P J, Gill D. Comparison of discovery process methods for estimating undiscovered resources [J]. Bulletin of Canadian Petroleum Geology, 1999, 47(1): 19-30.
- [9] Kaufman G M, Balcer Y, Kruyt D. A probabilistic model of oil and gas discovery [J]. AAPG, 1975, Special Volumes: 113-142.
- [10] 刘金侠,金之钧,解国军.用发现过程模型定量预测油气资源结构[J].石油大学学报:自然科学版,2005,29(3):17-19.
Liu Jinxia, Jin Zhijun, Xie Guojun. Quantitative prediction of oil-gas resource structure by discovery process model [J]. Journal of the University of Petroleum, China: Edition of Natural Science, 2005, 29(3): 17-19.
- [11] 解国军,金之钧,肖焕钦,等.成熟探区未发现油藏规模预测[J].石油勘探与开发,2003,30(3):16-18.
Xie Guojun, Jin Zhijun, Xiao Huanqin, et al. Undiscovered pool sizes prediction of higher exploration degree area [J]. Petroleum Exploration and Development, 2003, 30(3): 16-18.
- [12] 徐旭辉,蔡利学,刘超英,等.油气勘探目标评价与优选系统[J].石油与天然气地质,2015,36(3):517-524.
Xu Xuhui, Cai Lixue, Liu Chaoying, et al. Evaluation and selection system for petroleum exploration targets [J]. Oil & Gas Geology, 2015, 36(3): 517-524.
- [13] 李娜,闫相宾,蔡利学.圈闭含油气概率赋值标准及其在塔里木盆地的应用[J].石油与天然气地质,2015,36(2):330-338.
Li Na, Yan Xiangbin, Cai Lixue. Assignment standard for hydrocarbon-bearing probability of traps and its application in Tarim Basin [J]. Oil & Gas Geology, 2015, 36(2): 330-338.
- [14] 王德英,于海波,李龙,等.渤海海域石白坨凸起新近系岩性油藏充满足特征及主控因素[J].油气地质与采收率,2015,22(5):21-27.
Wang Deying, Yu Haibo, Li Long, et al. Characteristics of fullness degree of trap and its main controlling factors of the Neogene lithologic reservoir in the Shijiutuo uplift, Bohai Sea [J]. Petroleum Geology and Recovery Efficiency, 2015, 22(5): 21-27.
- [15] 杨双,闫相宾,蔡利学,等.圈闭资源量计算参数确定方法——以断块型圈闭为例[J].石油实验地质,2015,37(4):530-534.
Yang Shuang, Yan Xiangbin, Cai Lixue, et al. Parameter definition in resource calculation of a trap: A fault block example [J]. Petroleum Geology & Experiment, 2015, 37(4): 530-534.
- [16] 盛秀杰,金之钧,肖晔,等.圈闭评价中含油气性风险依赖性的概念、方法及应用[J].石油与天然气地质,2015,36(1):154-161.
Sheng Xiujie, Jin Zhijun, Xiao Ye, et al. Concept, method and application of geological risk dependency indicating petroleum discovery [J]. Oil & Gas Geology, 2015, 36(1): 154-161.
- [17] 赵旭东,崔凤文.用于石油资源评价的特尔菲法[J].石油勘探与开发,1983,10(3):79-82.
Zhao Xudong, Cui Fengwen. The application of Delphi method in petroleum resource evaluation [J]. Petroleum Exploration and Development, 1983, 10(3): 79-82.