

多因素油气聚集系数的研究方法及其应用

宋国奇

(中国石化 胜利油田有限公司 地质科学研究院, 山东 东营 257015)

摘要: 聚集系数是油气资源评价中最为关键的一个参数。国内外大量调研资料表明, 研究油气聚集系数的方法虽然有多种, 但是没有形成令人满意的技术系列。该文从东营凹陷的实际情况出发, 系统地论述了以地质综合研究为主、福克- 沃德法和探井网格统计法为辅, 采用多因素综合选取石油聚集系数的方法, 并应用于济阳拗陷东营凹陷第三次油气资源的评价。

关键词: 研究方法; 应用; 聚集系数; 多因素

中图分类号: TE19

文献标识码: A

对“聚集系数”的含义, 目前存在着不同的理解, 归纳起来大致有以下 3 种: 聚集量与生油量之比、聚油量与生油层残留烃量之比和聚集量与排烃量之比, 笔者赞同后者。目前常用的聚集系数的求取方法有地质类比法、油藏规模序列法、专家打分模糊综合评价法和网格统计法等。这些方法或多或少地都存在着这样那样的缺陷, 如考虑的因素比较单一, 人为因素较多, 自然界中根本不存在两个地质情况完全相同的区带或洼陷等, 因此上述方法在应用上都存在着一定的局限性^[1]。本文提出的油气聚集系数多因素综合求取法, 较好地解决了这一问题。

1 地质综合研究法

1.1 影响油气运聚的地质条件分析

影响油气运聚的地质条件包括运、聚条件和保存条件。从运、聚条件来讲, 流体运移直接受流体势场(剩余流体压力场)的控制。而流体势场的影响因素可归结为内因和外因两大类。内因包括储集层条件、输导条件、盖层条件和圈闭条件。外因是引起流体压力的三大动力场, 即压实应力场、构造应力场和地温场, 而流体压力场与三大动力场又是相互作用的。可见, 油气运、聚条件涉及空间范围较大, 要素动态性强, 要素相互关系复杂。

保存条件是指成藏以来的构造活动是否稳定。

成藏后的断裂、抬升和剥蚀作用是影响油气藏保存的关键问题, 一般情况下, 只有在断裂“通天”而断穿油气藏时, 才会对油气藏有较大的破坏作用。而抬升、剥蚀则会改变整个油气系统的温压条件, 如果盖层较薄, 会使整个储层接受地表水淋滤, 因而抬升剥蚀活动对油气藏的破坏性最大。

1.2 油气运、聚定量评价方法

从前面分析的运聚机理可知, 流体运移历史是流体压力(地层压力)场演变的历史, 而流体压力场是三大动力场及含油气子系统自身的渗流条件(储集层条件、盖层条件和输导条件)共同作用的结果。通过流体连续性方程可以将流体压力场与三大动力场统一起来, 即建立四场耦合模型(由耦合模型求得的流体压力场考虑了各种内因和外因作用)。再由流体压力场计算流速场和聚集量。四场耦合模型虽然考虑的机理比较全面, 但方程十分复杂, 对实际地质模型很难实现求解。

1.3 简化的线性计算方法

这种方法是将四场相互作用的非线性系统作线性处理。先后计算四场, 即首先计算埋藏史, 在此基础上计算热史, 然后由埋藏史、热史计算超压史, 有条件情况下计算构造应力史, 在三史基础上计算流体压力史, 进而计算运聚量。

研究认为, 从烃源岩排出的油气分别通过地层和断裂进行运移, 因此在进行运、聚量计算时, 可按

运、聚通道将运聚系统划分为两个相对独立的子系统, 一是地层运移子系统, 另一是断裂运移子系统。地层(或断裂)运移子系统的有效运、聚量定义为通过地层(或断裂)子系统运移并聚集于某些圈闭中的油气量, 它在数值上等于进入子系统的排烃量减去该子系统的吸附量、残留量和散失量。

1.3.1 地层子系统运、聚量的计算

某一时期进入地层子系统的排烃量为:

$$Q_1 = Q \times \lambda_1$$

式中, Q 为源岩在该阶段的总排烃量; λ_1 为总排烃量进入地层子系统的百分数。

研究认为, 油气二次运移通道体积占储集体孔隙总体积的 10%, 所以地层子系统的吸附量等于储集体孔隙总体积的 10%。

一般而言, 当石油饱和度达到 20% 以上时, 原油有效渗透率才大于 0, 即含油饱和度 20% 为残余油饱和度, 所以原油残留量为 10% 储集体的孔隙总体积乘以残余油饱和度 20%。

采用达西渗流公式求取地层子系统散失量:

$$Q_2 = \lambda_2 \cdot \frac{k}{\mu} \cdot \frac{d_1}{d_2} \cdot s \cdot \Delta$$

式中, k 为盖层渗透率, 取该时期储集体之上的所有上覆层最小渗透率; μ 为原油在当时温度下的粘度; d_1/d_2 为储层与盖层间的压力梯度; s 为盖层横截面积; Δ 为阶段时间; λ_2 为此阶段储层中油总量占流体总量百分比。

在网格化求取某单元地层子系统油气的运、聚量时, 对含油层段内储集体孔隙总体积的求取, 应结合油田勘探、开发的实际情况, 针对不同砂岩百分含量的地层、不同类型的砂体区别对待。在已知含油层段中, 砂岩百分含量在 30% ~ 50% 之间的地层为油气运移的优势通道, 否则, 则相对不利于油气的运移聚集。按照上述观点, 对不同的储层类型及砂岩百分比含量分别赋予不同的权重, 如有利储层(砂岩含量 30% ~ 50%) 和不利储层分别赋予 0.75 和 0.50 的权系数; 油流沉积型和非油流沉积型储层分别赋予 0.40 和 0.60 的权系数(表 1)。这样求得的储集体孔隙总体积更接近于石油运聚的实际情况。

1.3.2 断层子系统运、聚量的计算

断层运移子系统有效聚集量的计算与地层子系统的计算方法一致, 只是对某些参数进行了近似处理。a) 断层子系统的吸附空间和残留空间的体积等

表 1 地质综合分析法权系数表

Table 1 Weight coefficient of synthetic geological analysis

要素	类型	权系数
输导层砂岩含量	有利储层(30% ~ 50%)	0.75
	不利储层(其它)	0.50
储层类型	油流沉积型	0.40
	非油流沉积型	0.60
断层性质	油源断层(断至 T_6)	0.75
	非油源断层(其它)	0.50
油藏类型	构造油藏	0.60
	岩性油藏	0.40

于断裂带体积(断裂长度 × 宽度 × 断穿地层厚度); b) 在用达西渗流公式计算断层子系统的散失量时, 由于断层参数难以确定, 因此, 将断层渗透率取作现今断裂带附近的裂缝泥岩的渗透率, 压力梯度取源岩与地表间压力梯度; c) 渗流面积等于断裂长度乘以断裂带的宽度; d) 渗流时间严格上应取断裂开启时间, 一般为断裂活动时间的 1% ~ 0.1%。

断裂子系统的有效聚集量等于进入子系统的排烃量减去该系统的吸附量、残留量和散失量。

需要指出的, 在网格化求取断裂带体积时, 要认真分析断层与烃源岩层的相对位置关系、断层断穿的层段等因素。如在求取东营凹陷几个聚油单元的断裂带体积时分油源断层和非油源断层分别赋予 0.75 和 0.50 的权系数, 这样能更真实地反映不同性质、不同级别的断层在油气运聚过程中的作用(表 1)。

1.3.3 聚集系数的计算

整个油气运、聚系统的有效聚集量等于地层运移子系统与断层运移子系统有效聚集量之和。据此即可求取某一区带或凹陷的油气聚集系数。如济阳坳陷东营凹陷东营中央背斜带的排烃量是 $12.2 \times 10^8 t$, 石油的聚集系数为 57.2%, 则有效聚集量 $7.0 \times 10^8 t$, 进而即可以求得整个东营凹陷的石油聚集系数以及有效聚集量。

2 福克-沃德法^[2]

这种方法的基础是假设地质因素对油气聚集条件的综合影响可直接反映在钻探效果的好坏上, 同时假设, 若一个含油气区的所有圈闭以及圈闭的不同部位均已钻探, 则工业油流井数与总探井数之比可以表示一个地区油气聚集的最低程度(最小聚集

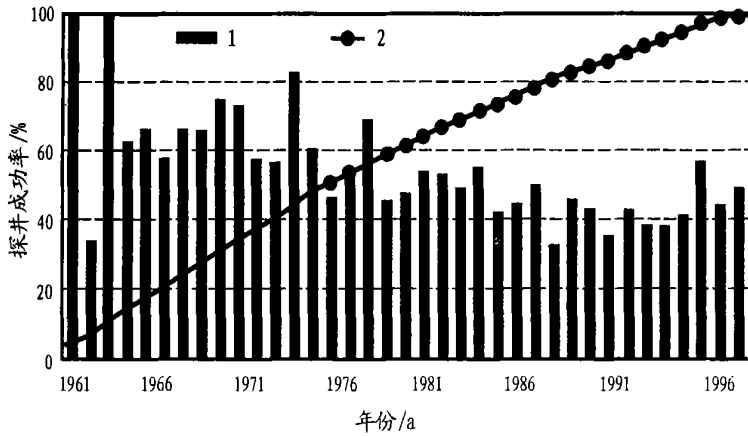


图 1 东营凹陷探井(工业油流井)成功率分布图

1. 工业油流井; 2. 累积概率

Fig. 1 Success ratio of exploration wells with commercial oil and gas flow in the Dongying Sag

系数), 而工业油流井数与少量油流井数之和与总探井数之比可以表示一个地区油气聚集的最高程度(最大聚集系数)。但是最终的工业油流井数和总探井数是无法知道的, 为解决这一问题, 可根据抽样分析原理, 将某一年所钻探井数作为最终探明阶段总探井数的抽样来求取聚集系数。根据东营凹陷 1998 年底以前历年探井成功率(工业油流井数与总探井数之比)的累计概率分布曲线(图 1), 采用福克-沃德法求取砂岩粒度中值和范围值的原理, 选取累计概率 84.0%、50.0% 和 16.0% 相对应的数值 38.0%、51.1% 和 60.9%, 求取得到的 3 个数的算术平均值(50.0%) 即为东营凹陷的最小聚集系数, 用同样的方法求取的东营凹陷的最大聚集系数为 76.9%, 2 个数的平均值(63.5%) 即为最后的聚集系数。

3 网格统计法^[2]

福克-沃德法将一个油气聚集带作为一个统计单元, 面积较大, 精度不够。若将聚油单元划分为若干个具有一定面积(经、纬度均为 5') 的方形网格, 在其内部进行钻探效果统计, 然后用与福克-沃德法相同的方法求取该网格的最大和最小聚集系数, 其结果的精度要比前者高得多。统计过程为, 若一个网格内共钻 5 口探井, 其中 2 口工业油流井, 1 口少量油流井, 1 口显示井, 1 口无显示井, 则该网格按 2/5 个工业油流井井网, 其余少量油流井井网、显示井井网和无显示井井网均按 1/5 个井网统计。最后求出工业油流井网数与总井网数之比, 即代表该网格的最小油气聚集系数, 工业油流井井网数与少量

油流井井网数之和与总井网数之比, 则代表该网格的最大油气聚集系数。

4 石油聚集系数的确定

由于不同方法考虑的因素不同, 因此, 通过地质综合分析法、福克-沃德法和网格统计法求取的聚集系数有较大的差异。福克-沃德法的假设条件与实际勘探行为相差较大; 网格统计法虽作了一定的修改, 但是相对“随机抽样”而言仍有一定的差异。地质综合研究法根据研究区实际的地质条件, 比较全面地考虑了包括烃源岩层在不同地质时期的排烃量及其与构造运动在时间上的匹配关系等在内的影响油气运移、聚集、成藏的多种因素, 如考虑到东营末期的东营运动幕造成该区普遍抬升剥蚀, 严重影响了沙四段和沙三段生油岩的演化^[3], 致使这两套烃源岩大规模运移成藏期发生在馆陶期到第四纪, 因而可以将东营运动幕以前所排出来的烃类的聚集量取零。基于上述原因, 用地质综合研究的方法所求取的石油聚集系数的可信度更高。为此, 给 3 种方法分别赋不同的权重, 分别得到了各聚油单元及其凹陷的油气聚集系数, 并根据盆地数值模拟所得到的排烃量, 计算得到了相应的资源量(表 2)。

表 2 东营凹陷聚集系数确定表
Table 2 Hydrocarbon accumulation coefficient in the Dongying Sag

福克-沃德法	网格统计法	地质综合分析法	本次采用			
聚集系数	权重	聚集系数	权重	聚集系数	权重	的数值
63.5	0.05	55.3	0.25	44.1	0.7	47.9

5 结束语

本文提出的油气聚集系数综合求取的方法, 既考虑了目前的勘探程度(福克-沃德法、网格统计法), 又考虑了诸如输导层的砂岩含量、储层类型、断层性质以及大地构造运动与主要排烃期的匹配关系等影响油气聚集的地质因素(地质综合分析法), 然后再对这 3 个因素进行加权平均, 最后求取的油气聚集系数可最大程度地接近地下地质情况。该方法应用于东营凹陷第 3 次油气资源评价, 得到的资源量与用其他方法(油藏规模序列法、翁氏轮回理论)

等得到的资源量吻合较好, 同时也得到了国内有关专家的充分肯定。

致谢: 参加本课题研究的还有孔凡仙, 王学军, 罗佳强等, 在此一并致谢!

参考文献:

- [1] 盛志纬. 关于油气聚集量问题[J]. 石油实验地质, 1989, 21(3): 229-232.
- [2] 江汉油田石油地质志编写组. 中国石油地质志(九卷)——江汉油田[M]. 北京: 石油工业出版社, 1991. 471-473.
- [3] 查明. 断陷盆地油气二次运移与聚集[M]. 北京: 地质出版社, 1997. 25.

STUDY AND APPLICATION OF THE COEFFICIENT OF HYDROCARBON ACCUMULATION DETERMINED BY MULTIFACTORS

SONG Guoqi

(Geological Scientific Institute of Shengli Oilfield Ltd., Dongying, Shandong 257015, China)

Abstract: The coefficient of hydrocarbon accumulation is the key parameter for hydrocarbon resource evaluation. Various references have showed that satisfied technology series have not been created although there have been a number of research methods of hydrocarbon accumulation coefficient. This paper discussed the method of hydrocarbon accumulation coefficient determined by multifactor colligating, which primarily integrated geological research with the Folk-Ward Method and the Method of Exploratory Well Statistics in Grid, and given the application to the 3rd hydrocarbon resource evaluation of the Dongying Sag in the Jiyang Depression.

Key words: multifactor; coefficient of hydrocarbon accumulation; method; application

(continued from page 167)

Abstract: To investigate the pores and fractures of rock samples from the reservoirs of Changqing gasfield, the P-wave ultrasonic data with the samples were measured. Much useful information about the inner structure of the samples can be learned from P waves penetrated them. Based on the synthetic analysis of kinematic (such as wave velocity) and dynamic (such as waveform, spectrum) characteristics, qualitative or semi-quantitative information about pores and fractures in samples can be determined. Firstly, the existence of pores and fractures makes wave velocity lower, and it is much more obvious for fractures especially those without being fully filled. Secondly, the waveform of samples with pores and fractures shows certain weak break, low amplitude and acoustic attenuation, but well-filled pores have few influence on them. Lastly, the influence of pores and fractures on spectrum can be indicated by different filtration of high, middle and low frequency spectrum. Besides, samples with pores and fractures obviously appear velocity anisotropy.

Key words: acoustic characteristics; pore; fracture; rock sample