

概率法在油气储量计算中的应用 *

贾成业¹ 贾爱林¹ 邓怀群² 何东博¹ 孟德伟¹ 陈涛涛¹

1. 中国石油勘探开发研究院 2. 中国石油对外合作经理部

贾成业等. 概率法在油气储量计算中的应用. 天然气工业, 2009, 29(11): 83-85.

摘 要 油气储量计算是规划部署开发策略、制订开发方案的基础。目前常用的计算方法有容积法、类比法和物质平衡法等, 其中容积法适用性较好, 包括确定法和概率法两种数值计算方法。首先对比分析了确定法和概率法两种方法的计算原理, 然后采用容积法的计算公式, 分别运用确定法和概率法计算地质储量并对两种方法进行应用实例分析。对比分析和计算结果表明: 确定法在计算过程中对各物性参数采用算术平均值, 而概率法首先确定各计算参数的概率分布规律与变量变化的整体范围, 然后采用蒙特卡罗方法多次迭代得到不同概率下的储量值; 与确定法相比较, 概率法可提供一组基于不同风险值的储量值, 从而能更好地评估储量风险, 为投资决策者提供更可靠的参考依据。

关键词 油气勘探 油气开发 地质储量 参数 概率法 确定法 容积法 应用

DOI: 10.3787/j.issn.1000-0976.2009.11.026

0 引言

油气藏地质储量(OOIP)是油气藏勘探和开发各个阶段的核心指标, 是制订科学、合理的开发方案, 指导油气田勘探、开发工作, 确定开发投资规模的重要依据^[1]。目前常用的油气储量计算方法有容积法、类比法和物质平衡法等^[2]。其中类比法只用于钻探前的远景储量估算, 不能作为上报国家储量委员会的储量值; 物质平衡法是在油气藏开采一段时间之后由采油工程师根据压降、采油曲线等作出评价; 而容积法是计算油气地质储量的主要方法, 适用于不同勘探开发阶段、不同的圈闭类型、不同的储集类型和驱动方式^[3]。对于油藏评价阶段, 由于缺少长时间的生产数据, 因此物质平衡方法等对生产数据要求较高的方法并不适用, 而容积法则不同, 它采用油气藏静态资料对储量进行评估, 因此适用性较好。

从数值计算中参数取值的角度来看, 容积法储量计算包括确定法和概率法。确定法中各计算参数取值为各参数的算术平均值; 概率法是一种风险分析方法。石油工程师协会和美国证券交易委员会(SPE/WPC)储量定义认为, “当采用已知的地质、工程和经济数据时产生的一系列估算范畴及与它们相

关的可能性, 这种方法叫做概率法”^[4]。自从 1997 年 SPE/WPC 的储量定义承认概率法以来, 概率法被 Mobiln、USGS 等国际机构和公司广泛采用^[5]。

1 容积法储量计算

容积法计算油气地质储量首先通过对油气藏储层有效厚度、孔隙度、含水饱和度以及储层在平面上展布确定含油气面积, 并结合油气藏压力、温度条件下和地面条件下的孔隙流体性质, 计算油气地质储量。其数学公式如下:

$$OOIP = 100 \times AH\varphi(1 - S_{wi})\rho / B_{oi} \quad (1)$$

式中: OOIP 为原始地质储量, 10⁷ kg; A 为含油气面积, 10³ m²; h 为平均有效厚度, m; φ 为平均孔隙度, %; ρ 为地面原油密度, 10³ kg/m³; B_{oi} 为平均地层原油体积系数, 无因次; S_{wi} 为平均原始含水饱和度, %。

含油气面积是油气藏已知含油气边界范围确定的面积; 含油气边界是由已知流体界面(油水界面、气油界面)圈定, 通常利用储层顶面构造图及所编制的有效储层等厚图相结合共同确定。

储集层的有效厚度是以大量的单井分析资料为基础, 首先确定油气藏中每一口井的有效储层厚度, 然后利用每口井的有效储层厚度勾画出整个油气藏

* 本文受到中国石油重大科技项目“特殊天然气藏开发配套技术研究”(2008B-1100)的资助。

作者简介: 贾成业, 1980 年生, 博士研究生; 从事天然气开发决策支持技术的研究工作。地址: (100083) 北京市海淀区学院路 20 号 910 信箱鄂尔多斯分院。电话: (010) 62093217。E-mail: chengye.jia@gmail.com

的有效储层等厚图,计算整个油气藏的有效储层平均厚度。

平均孔隙度和平均原始含水饱和度是地层孔隙结构和地层流体的属性。平均孔隙度是岩石的总孔隙体积与岩石总体积比值的平均值;平均原始含水饱和度是储层岩石孔隙中水的体积与孔隙体积比值的平均值,二者均可以从测井解释和岩心实验获得。平均地层原油体积系数是原油在地下体积与其在地面脱气后体积之比;地面原油密度是脱气原油在地面条件下的密度值,二者均可以通过实验测定。

2 概率法储量计算

确定法被认为是最基本的储量评估方法,也是目前国内广泛采用的一种计算方法。确定法计算过程中,各计算参数如储集层的有效厚度、孔隙度和原始含水饱和度等均采用算术平均值,然而用于储量计算的参数往往具有很大不确定性,确定法不能对地质储量的不确定性进行评估^[4]。

概率法是基于对储量参数值范围的认识和评估,从而计算出对应的油气地质储量。该方法的基本步骤是,首先根据现有资料,计算出各个变量的概率分布函数,这些概率分布函数可以反映出参数的整个范围,包括最小值、最大值、期望值或概率分布类型;然后通过蒙特卡罗模拟迭代出储量的累积概率分布曲线,并求出低值(P_{90})、中值(P_{50})、高值(P_{10})和期望值(EV),不同级别的储量与不同的概率值相对应^[4],即

$$EV = \sum_{i=1}^n (V_i P_i) \quad (2)$$

式中: P 为概率分布值; V 为参数值; i 为某一参数序号; n 为样品总数。

运用概率法计算地质储量时,采用概率分布函数量化参数的不确定性,运用蒙特卡罗模拟抽取模型内的每个输入的概率分布,得到多次迭代的迭代值,从而模型输出值的分布反映了某个储量值的概率,从而对地质储量的不确定性进行评估^[4]。

累积概率为 90% (P_{90})对应的储量值为证实储量(proved reserves);累积概率为 50% (P_{50})对应的储量值为概算储量或基准储量(probable reserves);累积概率为 10% (P_{10})对应的储量值为可能储量(possible reserves)^[5-6]。

3 应用实例

该实例为我国西部某气田实际数据。由地球物

理测井解释和岩心、流体取样实验得到已钻评价井的静态数据,包括储层厚度、净毛比(NTG)、储层孔隙度、含水饱和度、气体体积系数等,采用容积法储量计算公式和 Crystall ball^[5]蒙特卡罗模拟方法计算气藏地质储量。

如图 1 所示,首先分析各计算参数的已有数据概率分布特征;然后运行蒙特卡罗模拟器,运用容积法计算公式,采用多次迭代方法(5 000 次)对地质储量的不确定性进行评价,可得到可能地质储量的概率和累积概率分布图(图 2),一般取累积概率为 50% (P_{50})对应的地质储量作为基准地质储量(base value),在本例中基准地质储量为 $337.43 \times 10^8 \text{ m}^3$,与确定法计算结果($347.29 \times 10^8 \text{ m}^3$)相比,二者误差较小,但概率法可以提供对应于不同累积概率的地质储量值(表 1)。

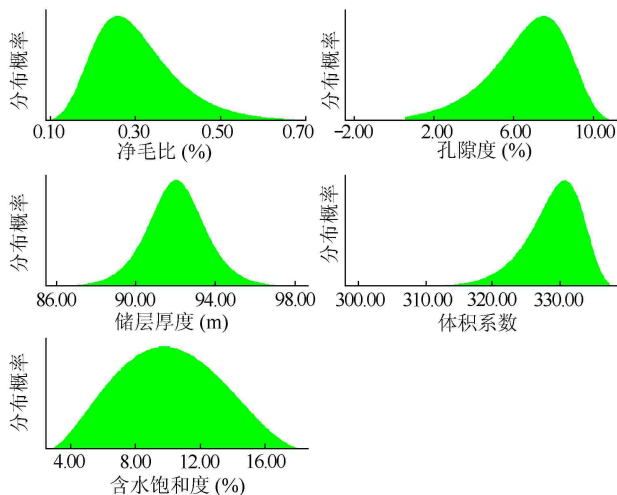


图 1 净毛比、孔隙度、储层厚度、气体体积系数和含水饱和度概率分布图

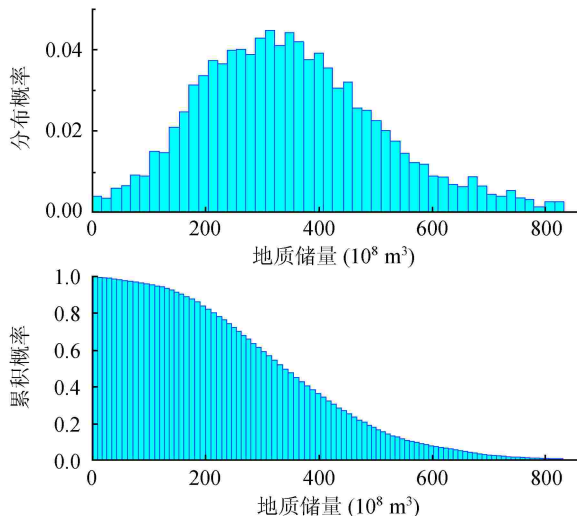


图 2 天然气地质储量概率和累积概率分布图

表 1 不同累积概率值对应的地质储量表

累积概率值 (%)	地质储量 (10 ⁸ m ³)	累积概率值 (%)	地质储量 (10 ⁸ m ³)
100	1.66	40	372.94
90	164.17	30	420.30
80	215.76	20	478.49
70	263.11	10	577.04
60	299.47	0	1627.82
50	337.43		

4 结论

概率法计算地质储量原理是根据各参数已有数据的概率分布规律量化参数的不确定性,采用多次迭代的方法,求取不同地质储量的分布概率,得到对应于不同累积概率的地质储量值,累积概率为 90% (P_{90})对应的储量值为证实储量;累积概率为 50% (P_{50})对应的储量值为概算储量或基准储量;累积概率为 10% (P_{10})对应的储量值为可能储量。应用实例表明,相对于确定法,概率法可对不同储量值的风险进行量化,提供对应于不同累积概率的地质储量值,为开发投资提供充分的决策参考依据^[4,7-8]。

参 考 文 献

[1] 田军.对油藏评价管理工作的认识和探讨[J].中国石油勘探,2007,12(2):58-62.

[2] 杨通佑.石油及天然气储量计算方法[M].北京:石油工业出版社,1990.

[3] 金强,王伟锋,信荃麟.测井多井储层评价与石油储量计算[J].石油实验地质,1994,16(2):152-156.

[4] 贾承造.美国 SEC 油气储量评估方法[M].北京:石油工业出版社,2004.

[5] CAPEN E C,VADCON.Probabilistic reserves ! Here at last? [J].SPE Reservoir Evaluation & Engineering,2001,4(5):387-394.

[6] 赵文智,毕海滨.浅析中国与西方在储量计算中确定有效厚度之差异[J].石油勘探与开发,2005,32(3):125-129.

[7] 吴国干,胡允栋,王永祥,等.油气储量评估与油气藏圈闭成因的主控因素[J].石油学报,2008,29(6):804-808.

[8] 陈元千.预测油气资源 Pareto 模型的建立、修正与应用[J].勘探技术,2008(4):43-49.

(修改回稿日期 2009-08-28 编辑 韩晓渝)