

Uncertainty and Sensitivity Analysis of OIIP Estimation Based on Geological Model

Zeng Xing*, Song Heng, He Congge, Bo Bing, Zhao Liangdong, Liu Yunyang, Cai Rui

Research Institute of Petroleum Exploration & Development, Beijing, China

Email address:

zengxing678@petrochina.com.cn (Zeng Xing), songheng@petrochina.com.cn (Song Heng), hecongge@petrochina.com.cn (He Congge), boobing@petrochina.com.cn (Bo Bing), zhaoliangdong@petrochina.com.cn (Zhao Liangdong), liuyunyang@petrochina.com.cn (Liu Yunyang), cairui@petrochina.com.cn (Cai Rui)

*Corresponding author

To cite this article:

Zeng Xing, Song Heng, He Congge, Bo Bing, Zhao Liangdong, Liu Yunyang, Cai Rui. Uncertainty and Sensitivity Analysis of OIIP Estimation Based on Geological Model. *Science Discovery*. Vol. 9, No. 6, 2021, pp. 371-374. doi: 10.11648/j.sd.20210906.26

Received: November 3, 2021; **Accepted:** November 23, 2021; **Published:** November 24, 2021

Abstract: Due to the limitations of understanding of geological parameters of oil and gas reservoirs, there is an uncertainty in the results of OOIP calculation. Study the oilfield OOIP distribution probability distribution and the sensitivity of relevant key parameters are quite meaningful to make development plan. In this paper, in the process of volumetric calculation based on the oilfield geological model, according to the actual geological conditions of the oilfield, the geological parameters with uncertainty are selected as variables for the uncertainty analysis, the variable types and distribution parameters are reasonably defined. The Monte Carlo sampling method with implantation of Latin Hypercube principle obtains the probability distribution of the geological reserves of the oil field, and evaluates the sensitivity of the various variables to the OOIP. The results provide the recommended P50 geological reserves. This paper shows that analyzing the key influencing parameters of OOIP calculation and setting the variables reasonably, the Monte Carlo-Latin Hypercube sampling method can provide a representative probability distribution with limited sampling count, and can effectively evaluate OOIP uncertainty. Thus, give the recommended OOIP and relevant geological models for numerical simulation research.

Keywords: Geological Model, OOIP Calculation, Uncertainty Analysis, Sensitivity Analysis, Monte-Carlo Sampling

基于地质模型的储量不确定性和敏感性分析

曾行*, 宋珩, 何聪鸽, 薄兵, 赵亮东, 刘云阳, 蔡蕊

中国石油勘探开发研究院, 北京, 中国

邮箱

zengxing678@petrochina.com.cn (曾行), songheng@petrochina.com.cn (宋珩), hecongge@petrochina.com.cn (何聪鸽), boobing@petrochina.com.cn (薄兵), zhaoliangdong@petrochina.com.cn (赵亮东), liuyunyang@petrochina.com.cn (刘云阳), cairui@petrochina.com.cn (蔡蕊)

摘要: 由于对油气藏地质参数认识的局限性, 储量评估结果存在一定程度的不确定性, 明确油田储量分布概率, 以及各类重点参数影响储量计算的敏感性, 是客观评判油田价值, 制定合理的开发方案的重点工作。本文在基于油田地质模型使用容积法计算油田储量过程中, 根据油田实际地质情况, 优选具有不确定性的地质参数作为储量不确定性分析的变量, 合理定义变量类型和分布参数, 优选植入拉丁超立方方法则的蒙特卡罗取样方法, 得到了油田地质储量的概率分布, 并且评价了各变量影响地质储量的敏感程度。结果提供了可推荐的P50地质储量的, 并明确了影响油田储量计算的敏感的参数及其影响程度。本次研究表明分析储量计算重点影响参数且合理设定变量, 通过超立方方法则的蒙特卡

罗取样方法可以在较少的采样次数情况下获得有代表意义的概率分布，可以科学地认识、评价油田地质储量的不确定性和参数敏感性，并推荐合适的地质模型用以数值模拟研究，对开发方案编制有重要意义。

关键词：地质模型，储量计算，不确定性分析，敏感性分析，蒙特卡罗取样

1. 引言

由于受储层的非均质性资料的有限性和地质认识的局限性等因素的限制，油气地质储量的计算存在一定的不确定性[1]。储量是衡量油气藏价值的重点因素，是编制开发方案的基础。近年来，储量计算不确定性分析逐渐得到高度重视，研究油气藏地质储量的分布概率，成为油气田开发决策的重要依据。基于地质模型的容积法计算油气藏地质储量是目前常用的储量计算方法，建立三维地质模型的整个工作流程中包含许多不确定性[2-3]，这种不确定性一是来自于对油气藏地质油藏特征认识的不确定性，二是来自于地质模型随机建模方法造成的不确定性。但是国内较为普遍的现象是，在某一确定的地质概念模型基础上次产生等概率的多次实现，并对这些实现中的不确定性给予定性评价及模型优选或采用算术平均进行简单的概率计算[4-5]，因而忽略了油藏特征、地质参数本的不确定性对地质储量造成影响的本质的本质，明确各类参数对地质储量的影响程度的评价更是无从谈起，亦无法从地质模型等概率实现中优选最可靠的版本来支持油藏数值模拟。

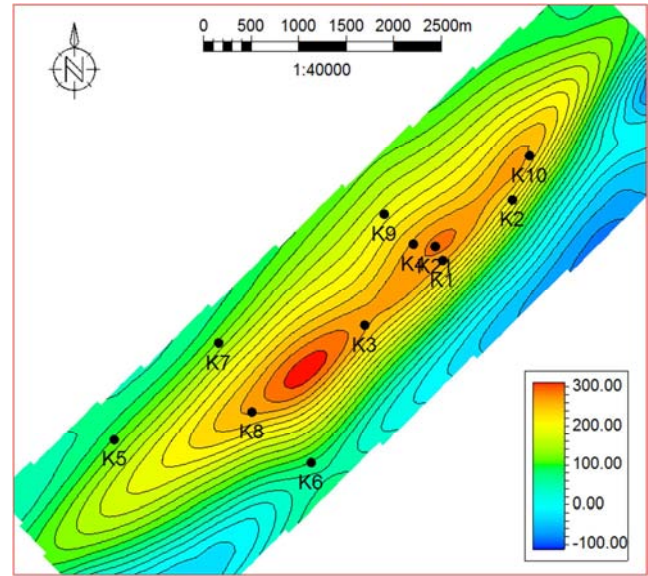


图1 K油田井位及油藏顶面构造图。

2. 油田概况

研究区K油田位于阿姆河盆地东南缘，为阿姆河盆地东缘山前含油带。其主要的沉积地层序列为三叠系，侏罗系，白垩系，第三系，和第四系，受到北西南东方向的构造应力，形成狭长的北东向长轴背斜构造，4套油层（自上而下为1-4单元）均为砂岩，油层平均厚度分别为1.2米，9.3米，5.2米，15.6米，油藏埋深950-1600米，孔隙度主要

分布在10%-30%的范围，目前共有11口钻井，明确地质储量及影响因素成为该油田开发需要解决的首要问题。容积法是计算油气藏储量常用的方法，由于对各项基本参数的认识具有不同程度的局限性，其储量预测结果更存在较大的不确定性，评估油藏地质储量的分布概率。地下油气储量虽然客观存在，但是只能通过不同理论方法，从动态或者静态的角度去评估预测，评估油气藏地质储量是评价油气藏价值、制定油气藏开发方案的重点基础工作。

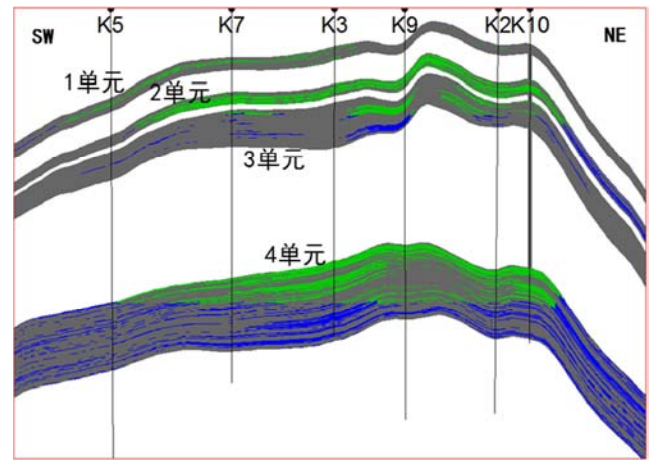


图2 K油田油藏剖面及井位图。

3. 不确定性和敏感性研究方法

地质建模的最终目的是建立反映地质认识的地质模型，并对储层的不确定性以及由此带来的储量不确定性进行定量表征。影响储集层地质模型的不确定性变量往往众多，同时对储量的影响程度又各有不同，因此需要考虑各个因素综合影响下地质储量的分布概率，并且分析各个变量对储量的敏感性。基于地质模型分析地质储量，根据油气藏实际情况，选取地质建模过程主要的储量相关多类参数作为变量，明确这些变量的分布类型及分布范围，并且根据实际需求及计算机运算能力优选合适的变量取样方法，在单一变量的原则下逐一对各变量进行抽样取得储量计算结果，从而求取地质储量分布概率，并且根据对各变量取样后得到的储量结果分散程度评判其对储量的敏感性，查明关键影响参数，并提交最可靠的地质模型版本及其对应的地质储量。

4. 储量影响参数分析

影响地质模型及其储量计算的参数众多，且其对储量的影响程度不尽相同，为了保证工作效率，考虑计算机运算能力，减少不必要的工作量和运算时间，针对油田实际情况，

分析重点影响因素对储量的敏感性。本文考虑地质建模及其容积法储量计算过程中存在的不确定性因素，其中与地质油藏特征相关的因素包括流体界面、变差函数变程值，与随机建模方法相关的因素包括孔隙度模拟随机种子数。

4.1. 流体界面

在没有钻到油水界面的层位，往往取测井解释的油底部或者油底水顶的中间位置作为油水界面，其中的不确定性直接影响地下原油体积的计算。根据测井解释和试油资料，K2井指示1单元油底深度为海拔-50m，K7井指示1单元水顶深度为海拔-54.4m。因此确定油水界面的不确定性范围为-54.4—50m。

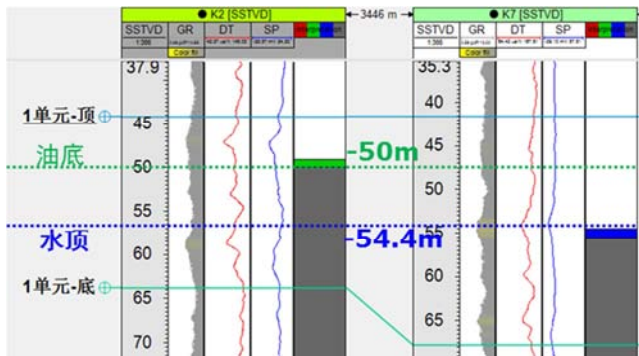


图3 1单元油藏油水界面不确定范围示意图。

4.2. 变差函数变程

变差函数反映了空间某一方面上两点变量的相关性，而变程就是反映这个相关性的最大距离，不同方向上变程不同，空间上最大变程的方向即为变差函数的主变程的方向，与此方向垂直的方向上的变程称为次变程，在资料比较充足的情况下，往往通过井点数据的实验变差函数的分析，确定变差函数的主方向以及变程的大小。本次研究地质模型的储层相属性采用截断高斯模拟算法，孔隙度模型采用的高斯随机函数算法。而研究油田面积相对小，井数少，不利于对储层横向规模的统计测算，在缺少地质统计学分析的情况下，建模过程中采用了邻区同类油田的参数，设定储层相变差函数变程值为3900m，设定孔隙度模型1单元至4单元变差函数变程分为为800m，1500m，1400m，1700m。储层相变差函数变程影响地下储层的空间体积，而孔隙度变差函数将影响储层的孔隙空间，这两个参数均是油气储量容积法的计算基础参数，因此将储层相和孔隙度水平变程选为不确定参数，将上述各设定值作为不确定性分析的基准值。

4.3. 孔隙度随机建模种子数

基于随机建模方法完成的地质模型是在确定地质概念基础上以随机理论指导完成的众多等概率版本模型中的一个。计算机完成复杂的随机算法需要一个初始值，用这个初始值制造一系列随机结果，这个数就是随机种子数。这个种子数虽然没有地质意义，但是对于地质建模模拟结果有相当程度的影响，本次研究中将孔隙度随机建模的种子数也作为不确定参数之一。

表1 储量影响参数变量类型及范围设置。

| 随机变量 | 分布类型 | 最小值 | 最大值 | 基准值 |
|----------|------|------|-------|-------|
| 1单元油水界面 | 正态 | -54 | -50 | -52.2 |
| 储层相变程 | 正态 | 3000 | 4800 | 3900 |
| 孔隙度种子 | 均一 | 0 | 32727 | - |
| 1单元孔隙度变程 | 正态 | 560 | 1040 | 800 |
| 2单元孔隙度变程 | 正态 | 1050 | 1950 | 1500 |
| 3单元孔隙度变程 | 正态 | 980 | 1820 | 1400 |
| 4单元孔隙度变程 | 正态 | 1190 | 2210 | 1700 |

5. 不确定性评价与敏感性分析

地质储量不确定分析是指考虑多个影响参数变化的情况下，根据各参数性质及变量范围，在这些参数单一变量原则下，计算得到一系列等概率地质储量结果，形成地质储量分布，通常在累计概率分布求出三个概率储量，即P10(乐观)，P50(最可能)，P90(悲观)储量[6-7]，一般把P50储量是相对比较客观中性的估计，其表示大于和小于真实储量的可能性都是50%，是相对比较客观中性的估计，也将P50储量对应的模型版本推荐作为油藏数值模拟的基础。

5.1. 取样方法优选

对油藏储量计算进行不确定分析，在明确计算参数变量后，需要通过多次实现来得到储量结果的分布，在考虑计算机运算能力，又寻求在较少的取样次数的情况下得到准确的结果分布。蒙特卡罗法是概率统计方法或随机模拟方法中最为常用的一种该方法的发展始于20世纪40年代，20世纪80年代左右被引入国内并迅速在各领域广泛应用同时也被应用于油田资源量地质储量以及可采储量评估当中[8-11]。优点是只要提供储量参数的分布范围和分布函数便可借助于数学方法在计算机上通过随机数抽样模拟实验进而对储量结果提出不同程度的可供应用的区间分布范围[12-13]。但其在累计概率图纵轴上等随机取样的特点，对于概率分布具有集中（高概率）范围的事件，在取样次数有限的情况下，会出现取值聚集的情况，也就是取样聚集在累计概率曲线较陡的位置，而过多地丢失了累计概率曲线两端的采样结果。因此本次研究在蒙特卡罗取样法的基础上植入拉丁超立方原则，将根据采样的次数将变量分布范围分为多个等概率的区域，每次取样都从其中一个等概率区中读值而不重复等概率区，因此避免了在高概率区域取样聚集的现象。

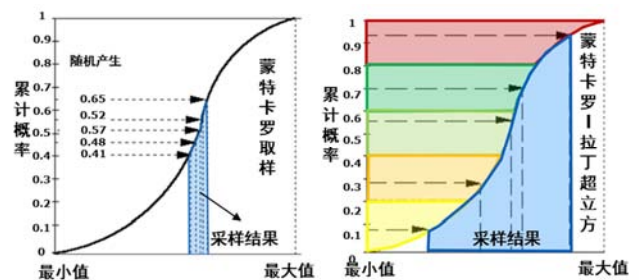


图4 蒙特卡罗取样和植入拉丁超立方方法后的取样结果（均为5次取样）对比示意图。

5.2. 不确定性分析

考虑模型大小、计算机运算能力，针对研究油田地质油藏特征，本次研究在设定上述7个变量，在各变量单一取样60次，7个变量共计420次完成不确定性建模及储量计算，求得的储量（地下原油体积）概率分布及其累计概率分布（图5）。根据体积和密度换算后，结果表明420次计算后地质储量最小值和最大值分别是1622万吨和1660万吨，储量累计概率图显示悲观储量（P10）为1635吨，最可能储量（P50）为1642吨，乐观储量（P90）为1646万吨。P50储量1642万吨为不确定分析中大于和小于真实储量的可能性都为50%的储量，也作为推荐储量，并推荐其对应的地质模型进行油藏数值模拟。

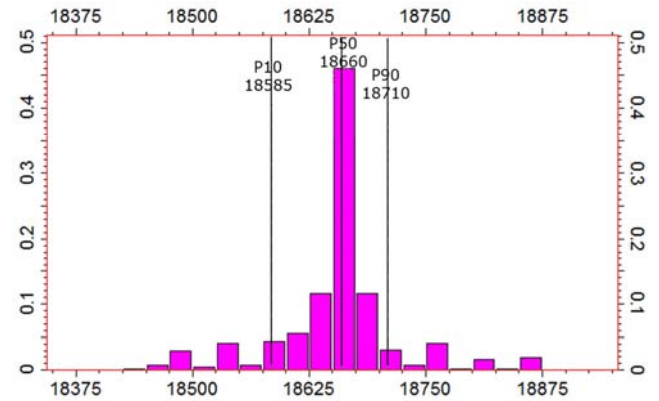


图5 地下原油体积分布（千方，7个变量420次运算计算）

5.3. 敏感性分析

展开参数储量敏感性分析的目的时明确各储量对储量的影响程度，进而可以评价油藏储量估算结果的风险。本次研究在对7个变量采用单一变量原则各进行60次蒙特卡罗-拉丁超立方随机取样后，得到指示地质储量敏感参数龙卷风图，对各项参数对储量计算的影响程度进行排序且指示影响范围。经分析，孔隙度模型种子数，地层相对较厚2单元和4单元的孔隙度变程对地质储量的影响显著，而余下4个变量，储层相的变程，厚度较薄的1单元和3单元孔隙度变程，1单元的油水界面对地质储量的影响相对较小。



图6 地下原油体积影响因素龙卷风图(7个变量420次运算计算，千方)。

6. 结论

基于地质模型用容积法计算油气藏地质储量，优选影响储量计算的各变量及变量随机抽样的方法，是进行科学、高效进行地质储量不确定性和敏感性分析的基础。变量的优选不在于多而在于精，宜根据油田实际地质研究程度及建模方法确定合适的多个变量，如考虑计算机运算能力，宜采用嵌入拉丁超立方原则的蒙特卡罗取样方法，可以在较少取样次数（提高效率）的情况下得到可代表实际概率的分布。K油田储量不确定性和敏感性分析的结果表明：孔隙度变程显著影响储量计算，对于井距大，井数少的区域，加强区域地质背景研究，基于邻区、同类油藏信息提高对孔隙度变程的认识程度；而跟随机建模方法有关的变量，如孔隙度随机种子数显也会著影响储量计算结果，这类变量造成的不确定性不可避免，宜从大量实现中挑选概率较大的结果。

参考文献

[1] 吴胜和. 储层表征与建模 [M]. 北京:石油工业出版社, 2010.

[2] 高玉飞, 胡光义, 王晖, 等. P气田基于地质模型的储量不确定性分析 [J]. 山东国土资源, 2016, 32(10):16-20.

[3] 姜汉桥, 谷建伟, 陈民锋, 等. 时变油藏地质模型下剩余油分布的数值模拟研究 [J]. 石油勘探与开发, 2005, 32(2):91-93.

[4] 李少华,张昌民,彭裕林,等.储集层不确定性评价[J].西安石油大学学报(自然科学版),2004,19(5): 16-19,24。

[5] 周丽清,熊琦华,吴胜和.随机建模中相模型的优选验证原则[J].石油勘探与开发,2001,28(1): 68-71。

[6] 张岚. 地质不确定性因素分析方法研究及应用 [J]. 吐哈油气, 2012(1):12—16。

[7] 孙立春, 高博禹, 李敬功. 储层地质建模参数不确定性研究方法探讨 [J]. 中国海上油气, 2009(1):35—38。

[8] 文环明,肖慈珣,李薇等.蒙特卡罗法在油气储量估算中的应用J.成都理工学院学报, 2002, 29 (5) :487-489。

[9] 王才经,乐友喜.Monte Carlo方法预测区带资源量 [J].石油大学学报:自然科学版2000, 24 (1) :104-105。

[10] 张明,张建云,金菊良等.蒙特卡罗法求解湖库未确知水环境容量 [J].水电能源科学2008, 26 (6) :33-34。

[11] 高济稷,白国平,秦养珍等.蒙特卡洛模拟法在也门马里卜夏布瓦盆地中的应用[J].石油实验地质, 2010, 32(3):305-306。

[12] 罗文生,孙立春,郑洪印等.蒙特卡罗法在海上某油田储量评价中的应用 [J].岩性油气藏, 2014, 2 (1) : 105-110。

[13] 孙润平, 王亚会, 闫正和等.礁滩灰岩油田基于地质模型的储量不确定性分析-以珠江口A油田为例 [J].广东石油化工学院学报,2020,30(1):15-18。