

柳南地区石油地质储量计算的概率分析

关涛, 唐伟, 李淑珣

(中国石化冀东油田, 河北唐山 063004)

摘要: 目前国内进行石油地质储量计算的方法主要是容积法, 该方法计算结果受 6 个储量参数控制。Warren 概率分析认为, 容积法储量参数的乘积服从正态分布, 因此可以通过求取一些特征参数, 得到储量的概率分布, 从而进一步得到油藏储量较可靠的期望值。利用上述方法, 选取、确定储量参数的最大、最可能、最小值, 计算了柳南地区 9 号、12 号小层概率为 84.1% 的石油地质储量, 计算结果与容积法储量计算结果基本一致, 从概率角度肯定了容积法储量计算结果的可靠性。

关键词: 储量计算; 容积法; 概率法; 实例; 柳南地区

第一作者简介: 关涛, 男, 31 岁, 工程师, 测井

中图分类号: TE155 文献标识码: A

柳南地区位于南堡凹陷东北部, 柏各庄断层与高柳断层交汇的下降盘一侧, 是受高柳断层控制的被断层复杂的逆牵引背斜构造。目的层为明化镇组和馆陶组。自 1993 年全面投入开发以来, 年产油约 8×10^4 t, 并持续稳产达 6 年, 这充分说明了柳南地区是一个油气相对富集的区块。因此, 进一步提高对柳南地区的地质认识, 全面进行储量复算研究十分必要。

1 容积法

采用容积法计算石油地质储量^[1]的公式为

$$N = 100 A h \Phi S_o \rho_o / B_{oi}$$

式中, N 为石油地质储量, 10^4 t; A 为含油面积, km^2 ; h 为平均有效厚度, m; Φ 为平均有效孔隙度; S_o 为平均含油饱和度; ρ_o 为平均地面脱气原油密度, g/cm^3 ; B_{oi} 为平均原油体积系数。

1.1 含油面积

通过精细地层对比, 在油组和小层划分的基础上, 根据地震解释及钻井资料, 从编制的各含油小层顶面构造图上, 按断块油藏特点圈定含油面积。

1.2 有效厚度

根据岩芯分析资料和试油试采资料, 建立了油层有效厚度物性及电性判断标准。柳南地区明化镇组的 $\Phi \geq 23\%$, $K \geq 30 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$ 的层段及馆陶

组的 $\Phi \geq 19\%$, $K \geq 50 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$ 的层段为有效厚度段。 $S_o \geq 60\%$, $R_t \geq 15 \Omega \cdot \text{m}$ 的层段为油层段, $40\% \leq S_o < 60\%$ 的层段为油水同层段, $S_o < 40\%$ 的层段为水层段。

按照以上标准, 结合录井、井壁取芯、构造解释、试油试采等资料, 综合划分油层有效厚度。储量计算单元平均有效厚度随含油面积内的井所处构造位置的不同而不同, 可采用算术平均或面积权衡法确定。

1.3 有效孔隙度

明化镇组孔隙度平均为 30.2%、馆陶组孔隙度平均为 30.3%。利用明化镇组、馆陶组取芯并岩芯分析资料建立了经验公式, 通过对 5 口取芯并试算孔隙度, 并与分析结果对比, 平均绝对误差只有 0.75%, 完全满足储量规范要求。因此, 油层有效孔隙度可采用经验公式计算。计算结果为: 明化镇组平均 31.2%、馆陶组平均 29.7%。储量计算时明化镇组、馆陶组孔隙度分别取值 31% 和 29%。

1.4 含油饱和度

根据相渗、压汞、经验公式计算和测井解释, 综合确定柳南明化镇组、馆陶组含油饱和度分别为 62% 和 60%。

1.5 地面原油密度和体积系数

根据柳南实际分析资料确定, 明化镇组地面原油密度为 0.913 g/cm^3 、体积系数为 1.107; 馆陶组地面原油密度为 0.883 g/cm^3 、体积系数为 1.107。

2 概率法

为了检验上述容积法计算的石油地质储量是否正确,笔者利用 Warren 概率法^[2]进行了储量计算。经过实践检验分析认为容积法储量参数的乘积服从正态分布,为此形成了一套相应的估算储量的完备方法。该方法只需通过实际资料,确定每个参数的最小值、最可能值、最大值,即可按下述公式计算几个特征参数,从而得到储量的概率分布。

设储量 N 为 n 个独立随机变量的乘积

$$N=\prod_{i=1}^nXi(i=1,2,\dots,n)$$

对数正态分布特征参数为

$$m_1=\frac{1}{2.95}(x_{\min}+0.95x_{\text{prob}}+x_{\max})$$
$$m_2=m_1^2(x)+[\frac{x_{\max}-x_{\min}}{3.25}]^2$$
$$M_1(OIP)=m_1(x_1)m_1(x_2)\cdots m_1(x_n)$$
$$M_2(OIP)=m_2(x_1)m_2(x_2)\cdots m_2(x_n)$$
$$R_{50}=M_1(OIP)e^{\frac{\sigma^2}{2}}$$
$$R_{84.1}=R_{50}e^{\sigma}$$
$$\sigma^2=\ln\frac{M_2(OIP)}{M_1^2(OIP)}$$

式中, $x_{\min}$ 为参数的最小值,从概率角度讲,实际值小于该值的概率为 5%; x_{prob} 为参数的最可能值,这里取常规容积法确定值; $x_{\max}$ 为参数的最大值,实际值小于该值的概率为 95%; m_1 为与参数均值有关的估计值; m_2 为与参数偏差有关的估计值; $M_1(OIP)$ 为与储量均值有关的估计值,当只有一个值来说明概率法储量大小,该值最具有代表性; $M_2(OIP)$ 为与储量偏差有关的估计值; R_{50} 为储量累计概率曲线上对应于概率 50% 处的储量值; $R_{84.1}$ 为储量累计曲线上对应于概率 84.1% 处的储量值。当计算的储量仅为地质储量时,6 项参数(即含油面积、有效厚度、孔隙度、含油饱和度、原油密度、体积系数)中的后两项一般有实际分析资料,可作常数处理,因此计算过程中只需确定前 4 项参数的最小值、最可能值和最大值,即可求出地质储量。其中最可能值采用容积法取值,而最小、最大值则根据实际和地质资料确定。

3 实例

柳南地区储量复算是按小层单元计算的,对具

有代表性的 9 号小层和 12 号小层进行 Warren 法概率法储量估算,并对两种方法的计算结果进行了对比。

3.1 参数选取

(1) 9 号小层边部井柳南 1-9 井试油证实没有油层,地层产水,因而最大含油范围按靠近该井的地层等高线圈定,确定面积为 0.63 km²;最小含油面积按实际生产获得了工业油流的边部井柳南 2-5 井所在的构造等高线圈定为 0.31 km²(图 1)。按相同的方法确定 12 号小层含油面积(图 2,表 1)。

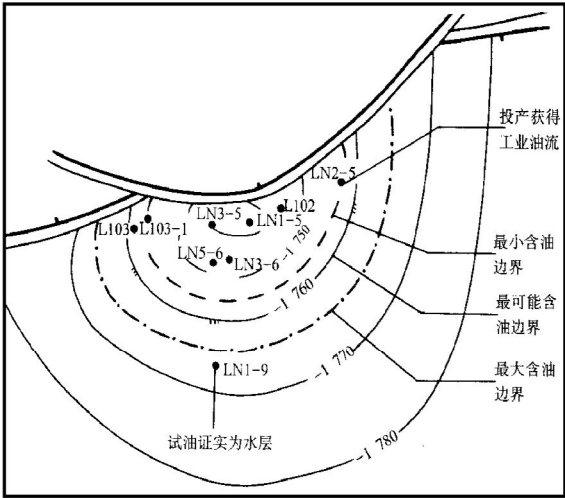


图 1 9 号小层含油面积图

Fig. 1 Oil-bearing area of No. 9 mini-bed

表 1 柳南地区含油气面积参数值

Table 1 Parameters of oil and gas bearing area in Liunan region

km ²					
小层号	$x_{\min}$	x_{prob}	$x_{\max}$	$M_1(x_i)$	$M_2(x_i)$
9	0.28	0.40	0.50	0.393 2	0.159 2
12	0.38	0.68	0.74	0.598 6	0.370 6

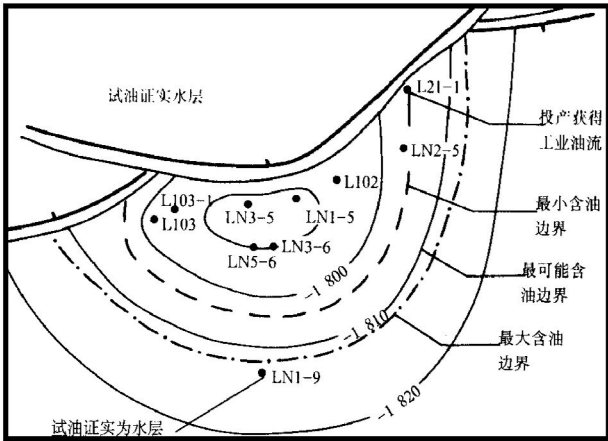


图 2 12 号小层含油面积图

Fig. 2 Oil-bearing area of No. 12 mini-bed

(2) 油层有效厚度最小值按实际试油投产获得

了工业油流的层确定, 而最大值则按油水界面以上的砂层厚度统计(表2)。

表2 柳南地区油层有效厚度值

Table 2 Effective thickness of oil layer in Liunan region

小层号	$x_{\min}$	x_{prob}	$x_{\max}$	$M_1(x_i)$	$M_2(x_i)$
9	5.0	7.7	8.4	7.022 0	50.402 9
12	7.8	9.9	12.1	9.933 9	100.432 9

(3) 孔隙度的最小、最大值按 Warren 公式计算的实际最小、最大值确定(表3)。

表3 柳南地区储层孔隙度值

Table 3 Values of Reservoir porosity in Liunan region

小层号	$x_{\min}$	x_{prob}	$x_{\max}$	$M_1(x_i)$	$M_2(x_i)$
9	28.3	31	34.2	31.17	9.75
12	22.7	31	36.2	29.95	9.14

(4) 含油饱和度的最小、最大值根据测井解释确定(表4)。

表4 柳南地区含油饱和度值

Table 4 Values of Oil saturatoin in Liunan region

小层号	$x_{\min}$	x_{prob}	$x_{\max}$	$M_1(x_i)$	$M_2(x_i)$
9	17.9	62	83.4	54.31	33.55
12	17.2	62	88.4	55.76	35.89

3.2 计算结果

3.2.1 9号小层

常数 $C = 100 \times \text{地面原油密度} \div \text{体积系数} = 100 \times 0.913 \div 1.107 = 82.475 2$

$$M_1(OIP) = 0.467 4 \quad M_2(OIP) = 0.262 5$$

$$\partial^2 = \ln \frac{M_2(OIP)}{M_1^2(OIP)} = 0.183 6$$

$$R_{50} = M_1(OIP) e^{-\frac{\partial^2}{2}} = 0.426 4$$

$$R_{84.1} = R_{50} e^{\partial} = 0.654 5$$

3.2.2 12号小层

常数 $C = 100 \times \text{地面原油密度} \div \text{体积系数} = 100 \times 0.913 \div 1.107 = 82.475 2$

$$M_1(OIP) = 0.993 1 \quad M_2(OIP) = 1.221 0$$

$$\partial^2 = \ln \frac{M_2(OIP)}{M_1^2(OIP)} = 0.213 5$$

$$R_{50} = M_1(OIP) e^{-\frac{\partial^2}{2}} = 0.892 5$$

$$R_{84.1} = R_{50} e^{\partial} = 1.416 8$$

3.2.3 结果比较

如果将 $R_{84.1}$ 分别乘以常数 C 即得到了9号、12号小层对应于概率为84.1%的地质储量, 结果为 $54.0 \times 10^4 \text{ t}$ 和 $116.9 \times 10^4 \text{ t}$ 。该值与容积法计算结果(9号小层为 $49 \times 10^4 \text{ t}$, 12号小层为 $107 \times 10^4 \text{ t}$) 基本一致, 这从概率的角度进一步说明了柳南地区储量复算所确定的各项参数是可靠的。

4 结论

(1) 利用概率法进行地质储量计算从参数取值可能存在的范围进行考虑, 计算结果也相应给出了变化区间, 因而更符合实际, 更实用。

(2) 通过对比柳南地区两个有代表性的小层储量计算结果, 进一步证实了柳南地区储量复算结果是落实的。

参 考 文 献

- 杨通佑, 范尚炯, 陈元千, 等. 石油及天然气储量计算方法[M]. 北京: 石油工业出版社, 1998
- 加拿大石油学会著. 石油与天然气地质储量评价方法[M]. 蔡世启, 李琇富, 编译. 北京: 石油工业出版社, 1998

PROBABILISTIC ANALYSIS OF GEOLOGICAL RESERVES CALCULATION IN PETROLEUM FROM LIUNAN REGION

Guan Tao Tang Wei Li Shuxun

(Jidong Oilfield Company of China Petroleum, Tangshan, Hebei)

Abstract: The basic method used in the calculation of China's petroleum geological reserves is volumetric method. The calculatoin results of the method is controlled by six reserve parameters. Warren probability analysis indicates that the products of reserve parameters of volumetric method show normal distribution, hence the probability distribution of the reserve could be obtained by the calculation of characteristic parameters, and reliable expectation value of petroluem reserve could also be obtained. The maximum, the minimum and most possible values of reserve parameters were selected to calculate the probability of the No. 9 and No. 12 mini-beds in Liunan region, the results is 84.1%, which basically coincides with that calculated by volumetric method.

Key Words: reserves calculation; volumetric method; probability method; example; Liunan region