

低渗特低渗气藏剩余气分布的描述*

王昔彬, 刘传喜, 郑祥克, 刘常红, 张渝丽, 张 华

(中国石化石油勘探开发研究院, 北京 100083)

摘要: 低渗特低渗、无明显边、底水的异常高压干气气藏开采一段时间后, 储层中不同区域的地层压力下降不均衡, 但含气饱和度(S_g)却相差不大, 用含气饱和度无法准确地描述气藏剩余气的分布状况。因此, 人们通常用开采过程中压力的分布来定性描述这类气藏的剩余气分布。根据真实气体的状态方程和可采储量的定义, 建立了可采储量采出程度(K)与地层压力(P)之间的函数关系, 将开采过程中的地层压力分布转化为可采储量采出程度的分布, 实现了剩余气分布的定量描述。

关键词: 剩余气; 储层; 低渗气藏; 干气气藏; 采出程度

第一作者简介: 王昔彬, 男, 32岁, 工程师, 油气田开发

中图分类号: TE112

文献标识码: A

低渗特低渗、无明显边、底水的浅层干气气藏在开采过程中往往地层压力下降不均衡, 尽管如此, 气藏不同区域的含气饱和度 S_g 却相差不大, 几乎等于原始含气饱和度 S_{gi} 。例如, 新场蓬莱镇 Jp_2^2 气藏开采到目前为止, 已经开采了近8年, 但是含气饱和度仍然保持在61%左右, 几乎等于气藏的原始含气饱和度, 此时, 如果用含气饱和度来描述这类气藏的剩余气分布没有任何实际意义^[1]。

由于地层压力分布可以定性描述剩余气分布, 即: 地层压力较高的区域, 剩余气分布相对富集, 而地层压力较低的区域, 剩余气分布相对较少。因此, 油藏工程师通常采用地层压力来定性描述剩余气的分布状况。

首先根据天然气状态方程和可采储量的定义推导出天然气体积系数和地层压力之间, 以及地层压力和可采储量采出程度之间的函数关系, 然后将地层压力分布转化为可采储量采出程度的分布, 这样就可以定量描述气藏剩余气的分布。

1 体积系数与地层压力

在地下条件下, 真实气体的状态方程^[2]为

$$PV_R = nZ_gRT_R \quad (1)$$

式中 P 为地层压力, MPa; V_R 为地层压力下天然气体积, m^3 ; n 为天然气摩尔数, 无因次; Z_g 为地层条件下天然气偏差系数, 无因次; R 为气体常数

($8.314 \text{ MPa} \cdot m^3 / (\text{mol} \cdot ^\circ K)$); T_R 为气藏温度, $^\circ K$ 。

在地面标准条件下, 真实气体的状态方程为

$$P_{sc}V_{sc} = nZ_{gc}RT_{sc} \quad (2)$$

式中 P_{sc} 为标准条件下的压力, MPa; V_{sc} 为地面标准条件下天然气体积, m^3 ; Z_{gc} 为标准条件下天然气偏差系数, 无因次; T_{sc} 为地面标准条件下温度, $^\circ K$ 。

根据体积系数的定义得

$$B_g = \frac{V_R}{V_{sc}} = \frac{P_{sc}Z_gT_R}{PZ_{gc}T_{sc}} \quad (3)$$

在标准条件下, $Z_{gc} = 1.0$, $P_{sc} = 0.101 \text{ MPa}$, $T_{sc} = 20^\circ C$, 温度 t 用 $^\circ C$ 作单位, 则(3)式可以简化为

$$B_g = \frac{0.101Z_g(273+t)}{293P_R} \quad (4)$$

式中 B_g 为地层条件下天然气体积系数, 无因次。

在气藏实际开采过程中, 虽然地层压力不断下降, 但是地层温度却几乎保持不变。因此, B_g 只与地层压力 P 和气体偏差系数 Z_g 相关, 可以简化为如下函数关系

$$B_g = C \frac{Z_g}{P} \quad (5)$$

2 采出程度与地层压力

由于气藏中地层压力的分布可以通过全气藏测压或者数值模拟等方式进行定量描述, 因此, 如果采用可采储量采出程度这一参数来定量描述剩余气的分布, 需要建立地层压力 P 与可采储量采出程度 K 之间的函数关系。

在原始地层压力 P_i 时, 气藏可采储量可以表

* 中国石化股份有限公司提高采收率先导试验项目“新场蓬莱镇气藏开发调整技术研究”(编号: YTB-2001-02)

收稿日期: 2003-07-10

示为

$$G_{Ri} = \frac{Sh \Phi S_{gi}}{B_{gi}} \times E_R \quad (6)$$

式中 B_{gi} 为原始压力下天然气体积系数, 无因次; G_{Ri} 为气藏可采储量, m^3 ; S 为气藏含气面积, m^2 ; h 为气藏厚度, m ; Φ 为气藏孔隙度, 无因次; E_R 为气藏采收率, 无因次; S_{gi} 为气藏原始含气饱和度, 无因次。

根据物质平衡原理, 当地层压力下降为 P 时, 累计采出天然气的量为

$$G_p = \frac{Sh \Phi S_{gi}}{B_{gi}} - \frac{Sh \Phi S_g}{B_g} \quad (7)$$

式中 G_p 为天然气累计产量, m^3 ; S_g 为气藏含气饱和度, 无因次; Φ 为气藏原始孔隙度, 无因次。

根据可采储量采出程度 K 的定义, 可得

$$K = \frac{G_p}{G_{Ri}} = \frac{\frac{Sh \Phi S_{gi}}{B_{gi}} - \frac{Sh \Phi S_g}{B_g}}{\frac{Sh \Phi S_{gi}}{B_{gi}} \times E_R} \quad (8)$$

对于低渗特低渗、无明显边底水的浅层干气气藏而言, 可以忽略储层孔隙度 Φ 和含气饱和度 S_g 随地层压力 P 的变化, 即 $S_{gi} = S_g$, $\Phi_i = \Phi$ (8) 式可以简化为

$$K = \frac{1}{E_R} \left| 1 - \frac{B_{gi}}{B_g} \right| \quad (9)$$

将 (5) 式代入 (9) 式可得

$$K = \frac{1}{E_R} \left| 1 - \frac{C \frac{Z_{gi}}{P_i}}{C \frac{Z_g}{P}} \right| = \frac{1}{E_R} \left| 1 - \frac{P Z_{gi}}{P_i Z_g} \right| \quad (10)$$

整理得

$$\frac{P}{P_i} = \frac{Z_g}{Z_{gi}} (1 - K E_R) \quad (11)$$

3 剩余气分布

利用全气藏测压或者数值模拟^[3]的方法可以得到低渗特低渗、无明显边底水的干气气藏的压力分布, 然后根据公式 (11) 并利用插值方法就可以将气藏的压力分布转化为可采储量采出程度的分布。

由于 (11) 式为隐式方程, 求解该方程必须首先建立气体偏差系数 Z_g 和压力 P 之间的函数关系。以新场蓬莱镇 Jp_2^2 气藏为例, 根据天然气 PVT 实验结果, Jp_2^2 气藏的天然气偏差系数 Z_g 和压力 P

之间的变化关系如图 1。

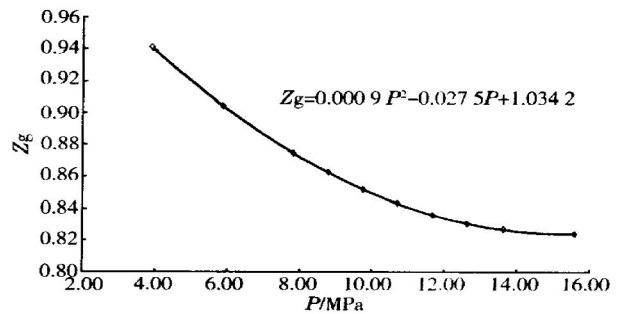


图 1 新场蓬莱镇气藏 $Z_g - P$ 关系曲线

Fig. 1 Relation between Z_g and P in Jp_2^2 gas reservoir

取 Jp_2^2 气藏的原始地层压力 $P_i = 14.25$ MPa, 标定采收率 $E_R = 57\%$ 。则当可采储量采出程度 $K = 50\%$ 时, 利用交汇曲线的方法可以计算出 Jp_2^2 气藏的地层压力 $P = 10.44$ MPa (图 2), 这就是说, Jp_2^2 气藏中地层压力等于 10.44 MPa 的区域中的天然气可采储量采出程度为 50%。按照同样的方法, 可以分别计算出 Jp_2^2 气藏中不同的天然气可采储量采出程度下所对应的地层压力值 (表 1)。

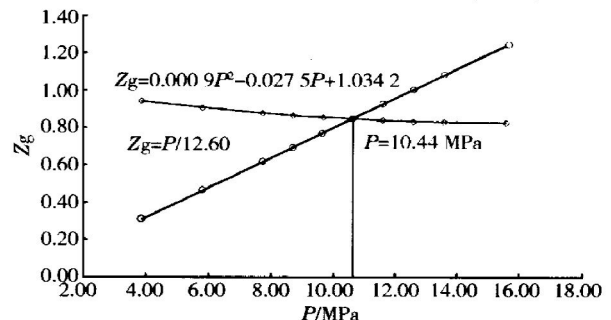


图 2 新场蓬莱镇组气藏 $Z_g - P$ 交汇曲线图

Fig. 2 Cross plot of Z_g and P in Jp_2^2 gas reservoir

表 1 新场蓬莱镇组气藏中天然气不同的可采储量采出程度与地层压力

Table 1 Produced degree of different recoverable gas reserves and formation pressure in Jp_2^2 gas reservoir

原始地层压力/MPa	原始偏差系数	可采储量采出程度/%	地层压力/MPa
14.25	0.825 1	0	14.25
		10	13.47
		20	12.70
		30	11.94
		40	11.19
		50	10.44
		60	9.68
		70	8.93
		80	8.17
		90	7.40
		100	6.62

根据表1的计算结果,可以将新场蓬莱镇 Jp_2^2 气藏压力分布(图3)转化为天然气的可采储量采出程度的分布(图4)。在转化过程中,对于表1中未列出的压力值,采用插值的方法计算它所对应的可采储量采出程度值,这样就可以实现剩余气分布的定量描述。

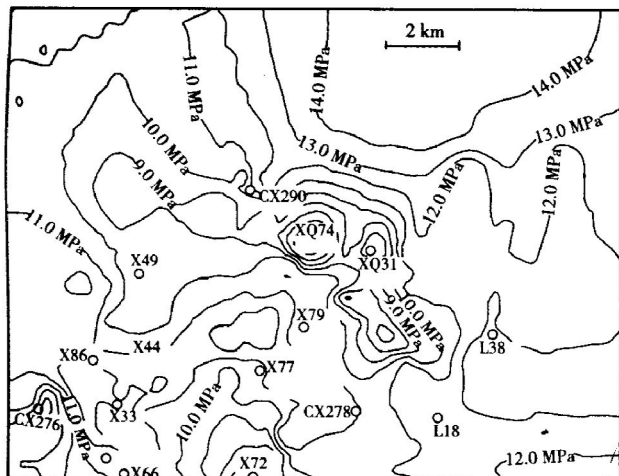


图3 新场蓬莱镇组气藏压力分布
Fig. 3 Formation pressure distribution
in Xinchang Jp_2^2 gas reservoir

在气藏开采过程中,如果随着地层压力的下降,气藏产生明显的压实作用(即孔隙度发生变化)^[4,5]和边底水侵入(即孔隙度和含气饱和度发生变化),则对(7)式进行一定的修改,然后推导出地层压力与可采储量采出程度之间的函数关系,也可以定量描述气藏的剩余气分布。

此外,如果采用其他动态方法可以计算出气藏的最终采收率,那么,利用公式(11)就可以计算出废弃地层压力值,如 Jp_2^2 气藏的最终采收率为

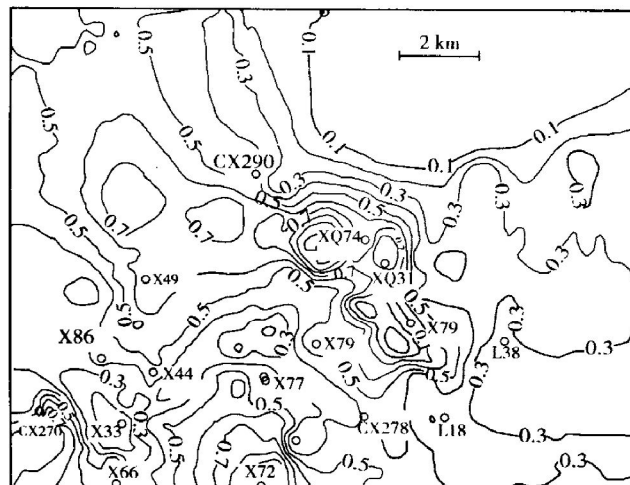


图4 新场蓬莱镇组气藏可采储量采出程度分布
Fig. 4 Produced degree distribution of recoverable gas
reserve in Xinchang Jp_2^2 gas reservoir

57%,则该气藏的废弃压力为 6.62 MPa;反之,如果已知地层的废弃压力,也可以利用公式(11)来标定气藏的最终采收率。例如对 Jp_2^2 气藏采用增压开采工艺后,可以将废弃地层压力下降到 5.50 MPa,则气藏的最终采收率为 65%,比目前标定的采收率提高 8.0%

参 考 文 献

- 1 李胜利,于兴河,高兴军,等. 剩余油分布研究新方法—灰色关联法[J]. 石油与天然气地质, 2003, 24(2): 175~179
- 2 杨继盛. 采气工艺基础[M]. 北京: 石油工业出版社, 1994. 9~11
- 3 张箭,李华昌,刘成川. 新场气田低渗致密砂二气藏数值模拟研究[J]. 天然气工业, 2002, 22(3): 58~61
- 4 吴志均,杨宇,刘应楷. 新场气田上沙溪庙组的应力场特征[J]. 石油与天然气地质, 2003, 24(2): 136~139
- 5 王秀娟,赵永胜,文武,等. 低渗透储层应力敏感性与产能物性下限[J]. 石油与天然气地质, 2003, 24(2): 162~165

QUANTITATIVE DESCRIPTION OF REMAINING GAS DISTRIBUTION IN LOW AND EXTREMELY- LOW PERMEABILITY GAS RESERVOIRS

Wang Xibin

(Exploration & Production Research Institute, SINOPEC, Beijing)

Abstract: After the dry gas reservoir with low and extremely-low permeability, but without identified edged and bottom water has been produced for a period, the formation pressure of different areas decreases inhomogeneously, while the gas saturation (S_g) changes slightly, which can not be used to describe accurately the distribution of remaining

(Please Turn to Page 416)

气藏, 现已探明石油地质储量 76×10^4 t, 油气藏的资源规模与 GeoX 软件计算的结果相似。

建立适合于评价地区地质特征的地质风险分析程序和赋值原则, 尽可能考虑各类资料的不确定性, 是减少人为因素影响和提高评价结果可信度的关键。

参 考 文 献

1 Robert M. A process for Evaluating Exploration Prospects [J]. AAPG

Bull, 1997, 8117: 1 087~ 1 108.

- 2 唐黎明, 何兴华. 松辽盆地梨树凹陷泉头组沉积特征[J]. 石油与天然气地质, 2002, 23(3): 266~ 268
- 3 周荔青, 雷一心. 中国主要陆相含油气盆地油气田规模特征[J]. 石油与天然气地质, 2001, 22(2): 8~ 9
- 4 中国石油天然气总公司计划局, 中国石油天然气总公司规划设计总院. 石油工业建设项目经济评价方法与参数(第二版)[M]. 北京: 石油工业出版社, 1994. 20~ 21

APPLICATION OF GeoX SOFTWARE TO HYDROCARBON EXPLORATION IN TAIPINGZHUANG STRUCTURE IN SHIWU FAULT DEPRESSION

Zhu Youhong

(Exploration & Production Research Institute, SINOPEC, Beijing)

Abstract: During the exploration in Taipingzhuang structure, the GeoX software has mainly be applied to make geologic risk analysis, estimation of hydrocarbon resources, and economic evaluation. (1) Through setting valuation on marginal probability, and probabilities of effective reservoir (P_1), effective trap(P_2), effective source rock and hydrocarbon accumulation (P_3) and effective preservation(P_4) in both exploration targets, Yingcheng Formation and Quantou Formation, the finding probabilities in the two reservoir sets have been calculated to be 0.192 and 0.201, respectively. It can then be judged that the exploration in Taipingzhuang structure would be in the category of moderate geologic risk. (2) Giving the 12 parameters, including trap area, reservoir thickness, geometric configuration, effective porosity, trap's fillup efficiency, oil/gas saturation, etc, the resources in place and recoverable resources in the target structure can then be estimated to be 2.91million tons and 0.6 million tons, respectively. It should be of small field with rather low abundance. (3) Lastly, economic evaluation of the exploration target has been made. The geologic reserves in Taipingzhuang structure has now been proved to be 0.76million tons of oil, very similar to the estimating result made with GeoX software.

Key words: GeoX software; geologic risk analysis; resource estimation; economic benefit evaluation; Taipingzhuang structure; Shiwu fault depression

(Continued from Page 403)

gas. Therefore, the formation pressure in production process is usually used to describe qualitatively the distribution of remaining gas. According to the state equation of real gas and the definition of recoverable gas reserve, the functional relation between produced degree of recoverable gas reserve (K) and formation pressure (P) has been established, by which the formation pressure distribution during production process can be transformed to the distribution of produced degree of recoverable gas reserve, realizing the quantitative description of remaining gas distribution.

Key words: remaining gas; reservoir; low-permeability gas reservoir; dry gas reservoir; produced degree of recoverable gas reserve