

储气库

# 砂岩油藏改建地下储气库注气能力预测方法

王皆明, 姜风光

(中国石油勘探开发研究院廊坊分院, 河北 廊坊 065007)

**摘要:**目前国内对于水驱后期砂岩油藏改建地下储气库的建库筛选以及地质评价研究工作才刚刚起步,需要进一步深化与加强。在借鉴国外含水层建库技术经验基础上,提出了描述水驱后期砂岩油藏恒速宏观注气能力数学表达式,并利用该表达式进一步建立了宏观注气能力与油藏埋深、渗透率、注气增压系数等的关系图版。实例计算表明:在其他地质和工艺参数基本相同的条件下,选择埋藏适中的油藏建库,既可以保证较高的注气能力又可以节省建库投资;同时由于气液流度比的显著差异,利用高渗透且非均质程度小的油藏建库将更为有利。

**关键词:**砂岩油藏;地下;储气库;注气能力;预测;方法

**中图分类号:**TE972+.2

**文献标识码:**A

**文章编号:**1672-1926(2008)05-0727-03

## 0 引言

我国东部含油气区具备相当数量的含油构造,且多数为第三系河流相砂岩沉积体系,其中大部分砂岩油藏经过多年的水驱开发,目前已经进入水驱后期特高含水开发阶段,产油量很低,且水驱挖潜的余地已经很小,具备改建地下储气库的前提条件。前期国内已经对华北油田任11潜山油藏改建地下储气库的可行性开展了大量的地质评价研究工作,对潜山油藏建库注气驱动机理、库容及损失量、建库过程控制、注采动态优化等多项核心关键技术问题进行了初步的评价研究<sup>[1-2]</sup>,但对于水驱后期砂岩油藏建库筛选以及地质评价研究工作目前才刚刚起步<sup>[3-4]</sup>,需要进一步深化与加强。

## 1 数学模型的建立

### 1.1 基本假设

为了建立描述水驱后期砂岩油藏恒速宏观注气能力的数学表达式,需要对预测条件进行一定的简化,即:

- (1)不考虑地层非均质影响,假设地层为均质等厚无限大;
- (2)注气呈“活塞式”推进,气液界面是垂直的;
- (3)气体的粘度小到可以忽略不计,也就是注气

井数及井位分布对注气的影响可以不加考虑。

### 1.2 数学模型推导

假设需建造的油藏埋深为 $H_0$ ,气水界面到注气系统中心的距离为 $r_w$ ,由于注气,水沿径向方向被驱替,注气后到 $t$ 时刻累积驱替的水量 $Q_w$ 为:

$$Q_w = q_w \cdot t = \pi \cdot r_w^2 \cdot h \cdot \varphi \cdot S_g \quad (1)$$

式中: $q_w$ 为水的流量; $h$ 为地层厚度; $\varphi$ 为有效孔隙度; $S_g$ 为注气后油藏含气区内的平均气体饱和度。

引入无量纲 $\xi = r_w^2 / (4\eta t)$ ,这里 $\eta$ 为油藏的导压系数, $\eta = k / (\varphi \mu_w C_t)$ ; $\mu_w$ 为地层水粘度; $C_t$ 为油藏综合压缩系数。

将 $\xi$ 和 $\eta$ 代入式(1),则可得到:

$$q_w = 4\pi\xi\eta\varphi S_g h \quad (2)$$

在 $0 < \xi < 20 \times 10^{-4}$ 范围内, $\xi$ 可用以下函数关系表示<sup>[5]</sup>:

$$\xi = 0.135 \frac{C_t(P_\Phi - P_0)}{S_g} \left[ 1 + 27.5 \frac{C_t(P_\Phi - P_0)}{S_g} \right] \quad (3)$$

式中: $P_\Phi$ 为气水前缘地层压力, $P_\Phi = rP_0$ ; $P_0$ 为油藏原始地层压力; $r$ 为注气增压系数。

假设地层温度与标准温度差别不大,因而水流量和注气量可作如下换算:

$$q_w = q \cdot P_a / P_\Phi \quad (4)$$

式中: $q$ 为注气流量; $P_a$ 为标准条件下的压力值。

将式(2)、式(3)代入式(4),并考虑定义的 $\eta$ 、 $P_\Phi$

与  $P_0$  的关系等,最后推导出日注气量( $q$ )为:

$$q=0.135\times4\pi\frac{kh}{\mu_w}P_0^2r(r-1)\left[1+27.5\frac{P_0(r-1)C_i}{S_g}\right]$$

(5)

再将  $P_0$  与  $H_0$  的关系:

$$P_0=\rho_w\cdot g\cdot H_0$$

(6)

代入式(5),可得:

$$q=1.7\times\frac{kh}{\mu_w}H_0^2r(r-1)\left[1+27.5\frac{H_0\cdot\rho_w\cdot g(r-1)C_i}{S_g}\right](\rho_w\cdot g)^2$$

(7)

其中:油藏综合压缩系数  $C_i$  可以先根据油藏水驱后期采油量求得残余油饱和度  $S_{or}$  后<sup>[6]</sup>,再做进一步求取。

$$S_{or}=(N-N_p)S_{oi}/N$$

(8)

$$C_i=\left[C_o+\frac{C_wS_w+C_f}{1-S_w}\right]$$

(9)

式中: $N$  为油藏原始储量; $N_p$  为油藏采油量; $S_{oi}$  为原始含油饱和度; $C_o$ 、 $C_w$ 、 $C_f$  分别为原油、地层水和岩石压缩系数; $S_w$  为含水饱和度。

式(7)即为描述水驱后期砂岩油藏恒速宏观注气能力的数学表达式,其与油藏埋深、油藏渗透率、注气增压系数密切相关。

根据式(7),在恒速注气条件下,油藏建库周期  $t$  为:

$$t=Q/q$$

(10)

式中: $Q$  为油藏建库的目标库容量。

## 2 宏观注气能力与油藏埋深关系分析

设某一油藏水驱后期原油采收率为 30%,拟建成一总容积  $Q=5\times10^8\text{ m}^3$  的地下储气库,已知参数见表 1 所示。

表 1 预测基础参数		
序号	参数	数值
1	储层渗透率( $K$ )	$200\times10^{-3}\mu\text{m}^2$
2	储层有效厚度( $h$ )	20m
3	储层孔隙度( $\varphi$ )	0.25
4	原油压缩系数( $C_o$ )	$10\times10^{-4}\text{ MPa}^{-1}$
5	地层水压缩系数( $C_w$ )	$4\times10^{-4}\text{ MPa}^{-1}$
6	岩石孔隙体积压缩系数( $C_f$ )	$5\times10^{-4}\text{ MPa}^{-1}$
7	油藏原始含油饱和度( $S_{oi}$ )	0.7
8	次生气顶平均含气饱和度( $S_g$ )	0.3

根据式(7),在注气增压系数  $r=1.3$ 、 $1.4$ 、 $1.5$  的条件下,可以计算出油藏埋深与注气能力和建库

周期关系见图 1。

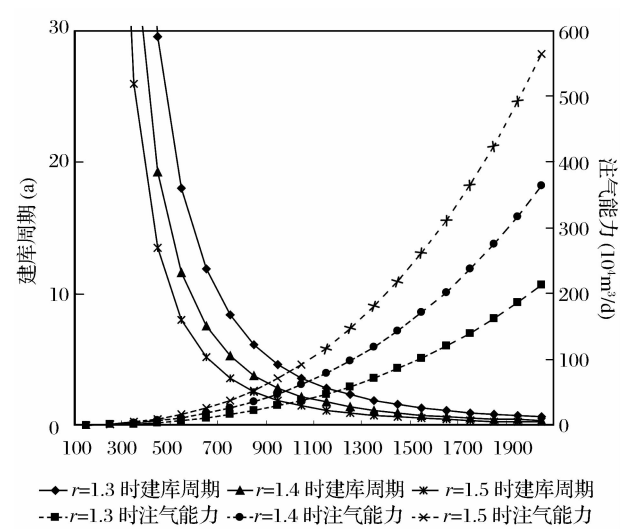


图 1 储气库埋深与注气能力和建库周期关系  
实线为储气库埋深与注气时间线;  
虚线为储气库埋深与气体流量曲线

由图 1 可以清楚地看出,对于中等渗透储层油藏建库,埋深在 1 000 m 左右时比较理想,建库注气能力和建库周期曲线明显出现拐点,低于此深度较多时,注气能力则明显降低,建库周期显著延长,而高于该深度较多时,虽然注气能力显著提高,但单井钻井费用和地面建设费用也将迅速增加。

同时也可以看出,注气增压系数对注气能力的影响较大,当注气增压系数从 1.3 提高到 1.5 时,建库注气能力可以增加 1 倍以上,从而使储气库建库周期大大缩短。

## 3 宏观注气能力与油藏渗透率关系分析

设某一油藏埋深为 1 000 m,其他预测基础参数与表 1 相同。

根据式(7),在注气增压系数  $r=1.3$ 、 $1.4$ 、 $1.5$  的条件下,油藏渗透率与建库注气能力关系见表 2 和图 2。

表 2 不同油藏渗透率条件下建库注气能力预测			
油藏渗透率 ( $\times10^{-3}\mu\text{m}^2$ )	注气能力( $\times10^4\text{ m}^3/\text{d}$ )		
	$r=1.3$	$r=1.4$	$r=1.5$
10	1.9	3.1	4.6
20	3.8	6.2	9.2
50	9.5	15.5	23
100	19	31	46
200	38	62	92
300	57	93	138
500	95	155	230

由图2可以清楚地看出,随油藏储层渗透率的提高,建库注气能力上升。在允许注气增压系数为1.3时,储层渗透率由 $10 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$ 上升到 $500 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$ ,建库注气能力则由 $1.9 \times 10^4 \text{m}^3/\text{d}$ 上升到 $95 \times 10^4 \text{m}^3/\text{d}$ ,提高了49倍。

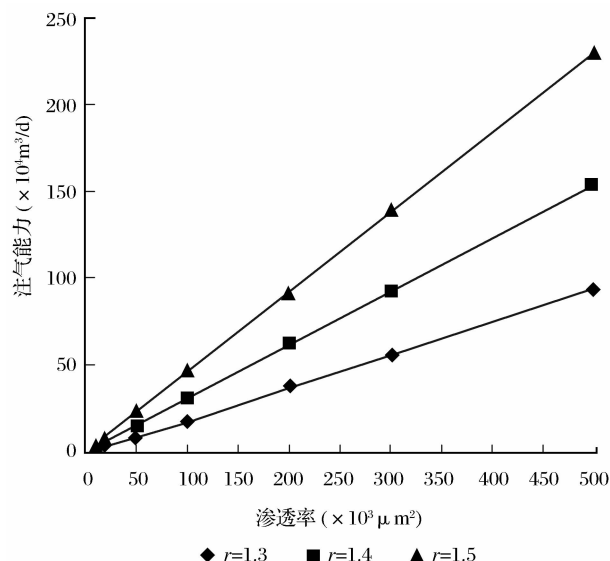


图2 不同油藏渗透率下建库注气能力预测

对于油藏埋深1 000 m,储层有效厚度20 m的适中条件下,显然当储层渗透率低于 $50 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$ 时,建库基本不具备注气能力。如需建成 $(5 \sim 10) \times 10^8 \text{m}^3$ 中等规模储气库,需满足 $50 \times 10^4 \text{m}^3/\text{d}$ 左右

的平均建库注气能力,则储层渗透率不应低于 $200 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$ ,即选择中高渗透储层油藏对建库非常有利。

## 4 结论

(1)依据文中提出的描述水驱后期砂岩油藏恒速宏观注气能力数学表达式,建立了宏观注气能力与油藏埋深、渗透率、注气增压系数等的关系图版。

(2)实例计算表明:在其他地质和工艺参数基本相同的条件下,选择埋藏适中的油藏建库,既可以保证较高的注气能力又可以节省建库投资;同时由于气液流度比的显著差异,利用高渗透且非均质程度小的油藏建库将更为有利。

### 参考文献:

- [1] 王皆明,张昱文,丁园生,等.任11井潜山油藏改建地下储气库关键技术研究[J].天然气地球科学,2004,15(4):405-411.
- [2] 杜玉洪,孟庆春,王皆明,等.任11裂缝性底水油藏注气提高采收率研究[J].石油学报,2005,26(2):80-84.
- [3] 王皆明,姜风光.砂岩气顶油藏改建储气库库容计算方法[J].天然气工业,2007,27(11):97-99.
- [4] 王皆明,姜风光.裂缝性潜山含水构造改建地下储气库库容计算方法[J].天然气地球科学,2007,18(5):771-773.
- [5] 苗承武,尹凯平.含水层地下储气库工艺设计[M].北京:石油工业出版社,2000.
- [6] Smith C R, Tracy G W, Farrar R L.实用油藏工程方法[M].岳清山,柏松章译.北京:石油工业出版社,1995.

## A Method for Predicting Gas Injection Ability of UGS Rebuilt from a Sandstone Reservoir

WANG Jie-ming, JIANG Feng-guang

(Langfang Branch of Research Institute of Petroleum Exploration and Development, PetroChina, Langfang 065007, China)

**Abstract:** The research on the selection and geologic evaluation of sandstone reservoirs to rebuild UGS in the late period of waterflooding is just beginning in China, and it needs further and deep research. On the basis of the technology of foreign aquifer UGS, this paper proposes a mathematical expression to describe the constant speed macroscopic gas injection ability of a sandstone reservoir in the late waterflooding period. Through the expression, the paper further establishes a series of relational graphs between macroscopic gas injection ability and buried depth, permeability and injection gas boosted coefficient. The examples calculation indicates that, under the same other geological and technological parameters, it can both guarantee the high gas injection ability and save the investment cost to choose the moderate buried depth reservoir to rebuild UGS; simultaneously, because of the remarkable difference of fluid mobility radios, it will be more advantageous to make use of the high permeability and the small degree anisotropic reservoir to rebuild UGS.

**Key words:** Sandstone reservoir; Underground; Gas storage; Gas injection ability; Prediction; Method.

联合征订



