

# 用 Weibull 模型预测油气田(藏) 早期开发指标

龚久和<sup>1,2</sup>, 冯文光<sup>1</sup>

(1. 成都理工大学 石油系, 四川 成都 610059; 2. 中国石化 新星石油公司 西南石油局, 四川 成都 610081)

**摘要:** 油气田(藏)开发早期很难进行开发方案的设计。作者根据探明储量、最大产量、假定采收率、生产年限,提出了采用 Weibull 开发模型进行油气田(藏)早期开发指标预测的方法,制作了  $Q_{\max} t_R / N_o - E_R$  图版,并根据该图版求取增长指数  $b$ ,制定了 Weibull 开发模型的开发方案。

**关键词:** 早期开发; 油气田; 预测; Weibull 模型

**中图分类号:** TE323 **文献标识码:** A

1998 年,俞启泰<sup>[1]</sup>用 Weibull 计算油藏开发指标,陈元千等用 Weibull 进行开发预测<sup>[2]</sup>,俞启泰<sup>[3]</sup>还获得了 Weibull 模型的 0.631 2 临界数,并预测中后期开发指标。冯文光提出了 Arps<sup>[4]</sup>、.....<sup>[5]</sup>、Logistic<sup>[6]</sup>、FWG1<sup>[7]</sup>、FWG2<sup>[8]</sup>、FWG3<sup>[9]</sup>递减开发模型。冯文光制作了 Weibull 模型的各种图版<sup>[10]</sup>。龚久和、冯文光还制作了 Weibull 模型的  $Q_{ctm} / N_o - E_R$  图版和  $Q_{ctR} / N_o - E_R$  图版求取增长指数  $b$ <sup>[11]</sup>,用 Weibull 开发模型进行了开发方案设计。

本文制作了 Weibull 模型的  $Q_{\max} t_R / N_o - E_R$  图版,并由图版求取增长指数  $b$ <sup>[11]</sup>,制定 Weibull 开发模型的开发方案。

## 1 Weibull 模型的早期图版

Weibull 模型<sup>[10]</sup>产量模型为:

$$Q = at^b e^{-ct^2} \quad (1)$$

$$t_m = \sqrt{0.5b/c}, Q_{\max} = a(0.5b/c)^{0.5b} e^{-0.5b} \quad (2)$$

Weibull 模型<sup>[10]</sup>的累计产量模型为:

$$N_p = 0.5ac^{-0.5(b+1)} \gamma[0.5(b+1), ct^2] \quad (3)$$

$$N_o = 0.5ac^{-0.5(b+1)} \Gamma[0.5(b+1)] \quad (4)$$

采出程度为:

$$R_p = \Gamma^{-1}[0.5(b+1)] \gamma[0.5(b+1), ct^2] \quad (5)$$

式中

$$\gamma(v, z) = \int_0^z t^{v-1} e^{-t} dt \quad (6)$$

$|z| < \infty, rev > 0$

$\gamma(v, z)$  是不完全的伽马函数。 $\Gamma(x)$  是伽马函数。

由(2)、(4)得:

$$\frac{Q_{\max} t_R}{N_o} = 2\sqrt{c} t_R \frac{1}{\Gamma[0.5(b+1)]} (0.5b)^{0.5b} e^{-0.5b} \quad (7)$$

由(5)得:

$$E_R = \Gamma^{-1}[0.5(b+1)] \gamma[0.5(b+1), ct_R^2] \quad (8)$$

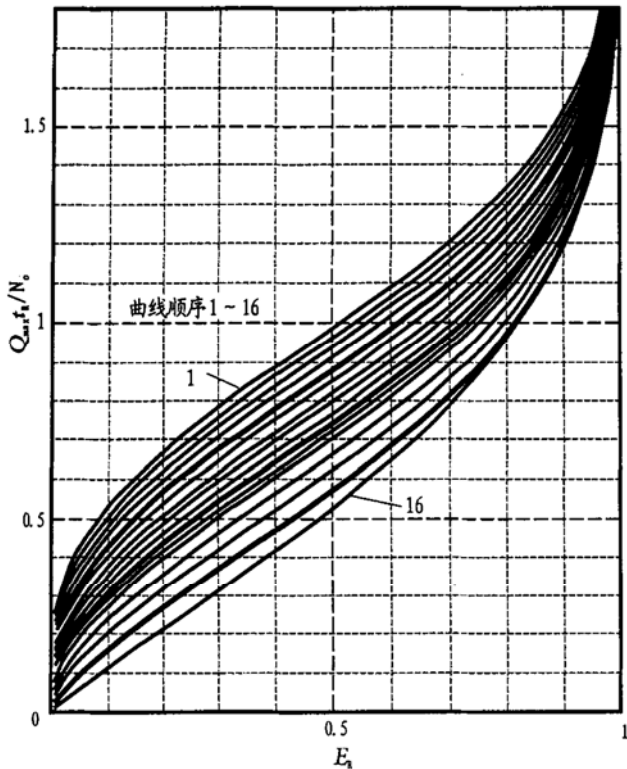


图 1 Weibull 模型的  $Q_{\max} t_R / N_o - E_R$  图

1.  $b = 2.5$ ; 2.  $b = 2.35$ ; 3.  $b = 2.2$ ; 4.  $b = 2.05$ ; 5.  $b = 1.86$ ; 6.  $b = 1.7$ ; 7.  $b = 1.53$ ; 8.  $b = 1.42$ ; 9.  $b = 1.27$ ; 10.  $b = 1.15$ ; 11.  $b = 1.04$ ; 12.  $b = 0.95$ ; 13.  $b = 0.76$ ; 14.  $b = 0.58$ ; 15.  $b = 0.35$ ; 16.  $b = 0.1$

Fig. 1 Typical curves of  $Q_{\max} t_R / N_o$  vs.  $E_R$  by the Weibull model

式(1)至式(8)中:  $a$  为放大系数;  $b$  为增长指数;  $c$  为延迟因子,  $a^{-2}$ ;  $N_o$  为探明储量,  $10^8 m^3$ ;  $N_p$  为累计产量,  $10^8 m^3$ ;  $t$  为生产时间, a;  $t_m$  为达到最大产量的生产时间, a;  $Q$  为年产量,  $10^8 m^3/a$ ;  $Q_c$  为年经济极限产量,  $10^8 m^3/a$ ;  $Q_{\max}$  为峰值产量,  $10^8 m^3/a$ ;  $R_p$  为采出程度, 小数;  $R_{dm}$  为峰值产量时采出程度, 小数。

由(7)、(8)制作  $Q_{\max} t_R / N_o - E_R$  图版, 如图 1。

由图 1 可知, 增长指数  $b$  越小, 最终采收率越高,  $Q_c t_m / N_o$  越大, 相同的最终采收率, 增长指数  $b$  越大,  $Q_c t_R / N_o$  越大。

由(8)式可知, 相同的  $\sqrt{c} t_R$ , 增长指数  $b$  越小, 采出程度越高。

## 2 用 Weibull 模型确定早期的开发模型

早期确定油气田(藏) 开发方案的简易方法, 可根据探明储量  $N_o$ 、假定峰值产量  $Q_{\max}$  ( $10^8 m^3/a$ )、生产年限  $t_R$ 、最终采收率  $E_R$ , 用 Weibull 模型确定早期的开发模型。

第一步, 由  $Q_{\max} t_R / N_o - E_R$  图中已知的  $Q_{\max} t_R / N_o$  和  $E_R$ , 获取增长指数  $b$ 。

第二步, 由  $E_R - \sqrt{c} t_R$  图, 根据最终采收率  $E_R$ 、增长指数  $b$ , 获取  $\sqrt{c} t_R$ 。

第三步, 由(9)式求最大产量时的采出程度  $R_{pm}$ ,

$$R_{pm} = \Gamma^{-1}(0.5(b+1) \sqrt{0.5(b+1)}, 0.5b) \quad (9)$$

第四步, 由(10)式求经济极限产量  $Q_c$ 。

$$\alpha = \left| \sqrt{c} t_R \right|^b e^{-\left| \sqrt{c} t_R \right|^2}$$

$$Q_c = Q_{\max} (0.5b)^{-0.5b} e^{0.5b} \alpha \quad (10)$$

第五步,  $\beta = (0.5b)^{0.5b+0.5} e^{-0.5b}$

$$t_m = N_o Q_{\max}^{-1} \Gamma^{-1}(0.5(b+1)) \beta \quad (11)$$

第六步,

$$c = \left| \left| \sqrt{c} t_R \right| / t_R \right|^2 \quad (12)$$

表 1 Weibull 开发模型确定的 P 气藏 12 个早期开发方案

Table 1 Twelve production models of P gas reservoir by the Weibull model

方案	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
$E_R$	0.9	0.9	0.9	0.9	0.8	0.8	0.8	0.8	0.7	0.7	0.7	0.7
$Q_c$	0.214 18	0.238 68	0.284 15	0.312 75	0.385 12	0.463 44	0.490 55	0.561 26	0.402 88	0.464 8	0.537 96	0.598 22
$t_R$	35	35	34	34	31	30	30	30	29.6	29.5	29	29
$c^{0.5} t_R$	1.73	1.7	1.66	1.63	1.45	1.4	1.39	1.35	1.32	1.28	1.24	1.2
$a$	0.036 35	0.055 77	0.093 21	0.122 68	0.050 37	0.083 14	0.112 95	0.163 55	0.027 08	0.041 13	0.066 64	0.085 91
$b$	1.86	1.7	1.53	1.42	1.7	1.53	1.42	1.27	1.86	1.7	1.53	1.42
$c$	0.002 44	0.002 36	0.002 38	0.002 3	0.002 19	0.002 18	0.002 15	0.002 03	0.001 99	0.001 88	0.001 83	0.001 71
$Q_{\max}$	3.650 83	3.550 81	3.603 76	3.552 28	3.416 1	3.442 45	3.384 11	3.354 93	3.252 43	3.204 12	3.153 74	3.108 47
$R_{pm}$	0.424 6	0.420 71	0.415 89	0.412 31	0.420 71	0.415 89	0.412 31	0.406 68	0.424 6	0.420 71	0.415 89	0.412 31
$t_m$	9.622 78	9.492 78	8.913 53	8.741 35	9.867 11	9.331 21	9.175 76	8.800 75	10.801 51	10.519 91	10.185 46	9.989 41

第七步,

$$\alpha = 2N_o c^{0.5(b+1)} \Gamma^{-1}(0.5(b+1)) \quad (13)$$

这种方法应由式(10)  $Q_c$  重新确认生产年限  $t_R$ 。

下面以 P 气藏为例。该气藏探明储量  $87.52 \times 10^8 \text{m}^3$ , 由开发方案的简易方法可获得以下 12 个早期开发方案, 如表 1。由表 1 可知, 方案 1、2、3、4, 采出程度高, 开发效果好。

### 3 结论

a) 本文首次提出了  $Q_{\max} t_R / N_o - E_R$  图版求取增长指数  $b$ 。

b) 根据探明储量  $N_o$ , 假定峰值产量  $Q_{\max}$ 、预计生产年限  $t_R$ 、预计最终采收率  $E_R$ , 根据 Weibull 开发模型, 可以很方便地制定早期油气田(藏)开发方案。

参考文献:

- [1] Yu Qitai. Three increase curves for description and prediction of oilfield development indexes [J]. China Offshore Oil and Gas (Geology), 1995, 19(2): 141-148.
- [2] Chen Yuanqian, Hu Jianguo. Weibull model for predicting output and reserve in oil and gas field[J]. Xinji Petroleum Geology (China), 1995, 16(3): 250-255.
- [3] Yu Qitai. 0.632, 12 Criterion of Weibull Increase Curve to Predict Oilfield Development Indexes[M].
- [4] 冯文光, 胡常忠, 杨风波. Arps 递减开发模型[J]. 矿物岩石, 1999, 19(3): 75.
- [5] 冯文光. . . . . 递减开发模型[J]. 矿物岩石, 1999, 19(4): 62.
- [6] 冯文光. FWG1 幂指数递减开发模型[J]. 矿物岩石, 1999, 19(4): 66.
- [7] 冯文光. Logistic 递减开发模型[J]. 矿物岩石, 2000, 20(2): 70.
- [8] 冯文光. FWG2 递减开发模型[J]. 矿物岩石, 2000, 20(4): 51.
- [9] 冯文光. FWG3 递减开发模型[J]. 矿物岩石, 2001, 21(1): 52.
- [10] Feng Wenguang, Gong Jiuhe. Weibull peak shape development model (待发表).
- [11] 龚久和, 冯文光. 油气田(藏)开发早期 Weibull 模型开发设计 (待发表).

## DESIGNING THE EARLY-STAGE DEVELOPMENT PROGRAM OF OIL/GAS RESERVOIRS WITH THE WEIBULL MODEL

GONG Jiu-he<sup>1,2</sup>, FENG Wenguang<sup>2</sup>

(1. Petroleum Dept., Chengdu University of Technology, Chengdu, Sichuan 610059, China;

2. Southwest Bureau of Petroleum Geology, SINOPEC, Chengdu, Sichuan 610081, China)

**Abstract:** It is very difficult to design an early-stage development program of an oil/gas field due to insufficient available data. By the Weibull model, an early-stage development program was designed for predicting various parameters related to the developing process. The typical curves of  $Q_{\max} t_R / N_o$  vs.  $E_R$  were proposed, which was convenient and practical.

**Key words:** early-stage development; oil/gas field; prediction; the Weibull model

(continued from page 183)

**Abstract:** As an exclusive available approach of measuring molecular components in single fluid inclusion, laser Raman spectra is widely attended. The requirements of samples, the experimental conditions for Raman spectra and the arithmetic of Raman spectra were discussed. The connotation of laser Raman spectra and the significance of organic fluid inclusions in hydrocarbon exploration were briefly introduced.

**Key words:** organic fluid inclusion; Raman spectrum