

Study on Oil and Gas Well Productivity Model of Deep Sea Oil and Gas Reservoir

Yuxian Guo¹, Siyuan Hao², Chuqi Zhou³, Mingze Li⁴

¹Northeast Petroleum University, Daqing Heilongjiang

²The 3rd Drilling Company at Daqing, Daqing Heilongjiang

³China National Offshore Oil Corporation Ltd. Tianjin Branch, Tianjin

⁴The 8th Oil Production Factory at Changqing, Xi'an Shaanxi

Email: 550112368@qq.com

Received: May 3rd, 2017; accepted: May 17th, 2017; published: May 23rd, 2017

Abstract

The data of oil and gas well deliverability test are important to determine the reasonable production of gas wells, the scale of oil and gas reservoir development, the number of development wells, the size of the oil and gas gathering and transportation network, the size of the compressor station and the analysis of the pollution level of the bottom hole. At the same time, it also provides the necessary parameters for production, prediction and gas reservoir numerical simulation. In this paper, we study the productivity model of oil and gas wells in deep oil and gas reservoirs, and develop reasonable oil and gas production based on numerical simulation.

Keywords

Deep Sea Oil and Gas Reservoir, Productivity Model, Numerical Simulation, Reasonable Oil and Gas Production

深海油气藏油气井产能模型研究

郭雨仙¹, 郝思源², 周楚棋³, 李明泽⁴

¹东北石油大学, 黑龙江 大庆

²大庆钻井三公司, 黑龙江 大庆

³中海油(中国)有限公司天津分公司, 天津

⁴长庆油田第八采油厂, 陕西 西安

Email: 550112368@qq.com

收稿日期: 2017年5月3日; 录用日期: 2017年5月17日; 发布日期: 2017年5月23日

摘要

油气井产能试井提供的数据, 对确定气井的合理产量、油气藏开发的规模、开发井数、油管和集输管网

尺寸、压气机站的规模和分析井底污染程度等方面，都是不可缺少的基础数据。同时，也为生产预测和气藏数值模拟提供了必要参数。本文对深海油气藏油气井产能模型进行研究，并结合数值模拟制定合理油气井产量。

关键词

深海油气藏，产能模型，数值模拟，合理油气产量

Copyright © 2017 by authors and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

1. 引言

对储层产能进行正确的评价，不仅可以检验油气勘探的成果，而且可以为油气田开发提供最基本的依据。1895年 Henry Darcy 建立了古典渗流力学的基本规律[1]。物理学家 Hurst (1934)和 Muskat (1934)首先开始了多孔介质中地层流体的不定常渗流研究[2]，1984年中科院院士翁文波提出了翁氏预测模型，这是国内重要的预测模型，为我国油气田产量的预测奠定了基础。上世纪90年代陈元千和胡建国提出了有名的陈一胡模型，在解决油气田非递减时期以及非注水油田的产能预测方面做出了突出贡献[3]。苏玉亮在1998年提出了不稳定渗流点源小扰动一阶近似解。王晓冬在1998年给出了不稳态渗流柱源 Laplace 空间的近似解[4]。国内积极从事于产能分析研究的还有王晓冬、李陪等等[5] [6]，得出了很多有实践指导意义的理论模型和公式。产能预测结果是采取正确工程措施的重要依据，本文在理论公式的基础上，利用数值模拟软件进行预测，对提高油气勘探开发经济效益具有重要意义。

2. 气井产能评论理论与公式

气井产能试井的目的是确定气井的无阻流量，即井底回压为零时的产气量；气井的无阻流量依据一定的分析理论，利用现场测试的产量和流压数据计算得到；测试资料分析方法主要有拟压力形式和压力水平形式的二项式法、指数式法和经验一点法。

1) 二项式法

二项式产能分析方法是一种相对成熟、准确和经典的计算方法。考虑有界圆形地层的稳态流动，由气井产能试井理论可知：

拟压力关系式为：

$$m(p_e) - m(p_{wf}) = Aq_{sc} + B^2 \quad (1)$$

$$A = \frac{2.3026 p_{sc} T}{\pi k h T_{sc}} \left(\lg \frac{0.472 r_e}{r_w} + \frac{S}{2.0326} \right), B = \frac{p_{sc} T D}{\pi k h T_{sc}}$$

压力平方关系式为：

$$p_e^2 - p_{wf}^2 = Aq_{sc} + Bq_{sc}^2 \quad (2)$$

$$A = \frac{2.3026 p_{sc} T \bar{\mu Z}}{\pi k h T_{sc}} \left(\lg \frac{0.472 r_e}{r_w} + \frac{S}{2.3026} \right), B = \frac{p_{sc} T D \bar{\mu Z}}{\pi k h T_{sc}}$$

式中: $m(p)$ ——拟压力, $\text{MPa}^2/\text{mPa}\cdot\text{s}$;

p_e, p_{sc}, p_{wf} ——平均地层压力, 标态压力和井底流压, MPa ;

q_{sc} ——气井日产量, $10^4\text{m}^3/\text{d}$;

A, B ——回归系数;

则在确定系数 A 和 B 的情况下, 气井的产能方程为:

拟压力:

$$q_{sc} = \frac{\sqrt{A^2 + 4B[m(p_e) - m(p_{wf})]} - A}{2B} \quad (3)$$

压力平方:

$$q_{sc} = \frac{\sqrt{A^2 + 4B(p_e^2 - p_{wf}^2)} - A}{2B} \quad (4)$$

2) 指数式法

指数式是气井产能的经验表达形式, 形式简单, 虽然计算结果的精度不是很高, 但是在工程上可以用来作初步估算, 气井指数式拟压力产能的方程通式如下:

拟压力:

$$q_{sc} = C[m(p_e) - m(p_{wf})]^n \quad (5)$$

压力平方:

$$q_{sc} = C(p_e^2 - p_{wf}^2)^n \quad (6)$$

式中: C ——系数;

n ——指数。

两端同时取对数整理可得:

拟压力:

$$\lg q_{sc} = \lg C + n \lg [m(p_e) - m(p_{wf})] \quad (7)$$

压力平方:

$$\lg q_{sc} = \lg C + n \lg (p_e^2 - p_{wf}^2) \quad (8)$$

利用现场测试的产量和流压数据, 可经过线性回归得到系数 C 和 n 。

3) 一点法

一点法试井是气井产能试井的方法之一, 其主要目的是为了快速获取气井的无阻流量。在已知地层压力的条件下, 通过测得的一个稳定产量及相应的稳定井底流压, 可采用经验公式计算该井的无阻流量。

陈元千教授提出了三种形式的一点法无阻流量公式:

$$q_{AOF} = \frac{q_{sc}}{1.8p_D - 0.8p_D^2} \quad (9)$$

$$q_{AOF} = \frac{6q_{sc}}{\sqrt{1 + 48p_D} - 1} \quad (10)$$

$$q_{AOF} = \frac{q_{sc}}{1.0434p_D^{0.6594}} \quad (11)$$

式中: p_D ——无因次压力, $p_D = \frac{m(p_e) - m(p_{wf})}{m(p_e)}$ 或 $p_D = \frac{p_e^2 - p_{wf}^2}{p_e^2}$;

q_{AOF} ——无阻流量, $10^4 \text{m}^3 / \text{d}$ 。

通常“拟压力”的表达式设定为:

$$m(p) = 2 \int_0^p \frac{p}{\mu Z} dp \quad (12)$$

低压范围内, μZ 可看作常数, 推导出: $m(p_e) - m(p_{wf}) = \frac{p_e^2 - p_{wf}^2}{\mu Z}$

较高压力下, $\frac{p}{\mu Z}$ 可看作常数, 推导出: $m(p_e) - m(p_{wf}) = \frac{2\bar{p}}{\mu Z} (p_e - p_{wf})$

3. 气井合理产能计算

利用 Eclipse 数模软件改变气井生产制度, 共完成 4 个制度, 井口压力 9.57~23.3 MPa, 瞬时产量 13.76~36.74 $\times 10^4 \text{m}^3/\text{d}$ 。分别利用二项式法, 指数式法, 一点法求得该点的最大无阻流量(图 1、图 2)。

压力平均处理方法, 二项式法求得无阻流量 151.79, 指数式法求得无阻流量为 156.9, 一点法求得无阻流量为 139.43, 气井无阻流量为 149.37, 见表 1。

借鉴国内外凝析气藏开发方式, 该气井初期产能为无阻流量 1/5~1/3。所以该井的产能为 29.87~49.79 $\times 10^4 \text{m}^3/\text{d}$ 。

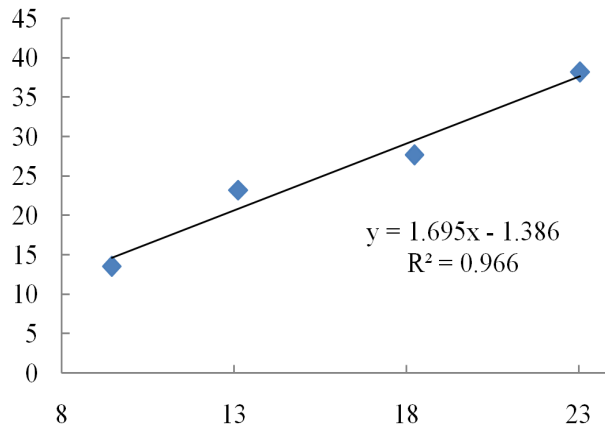


Figure 1. Binomial method graph

图 1. 二项式法曲线

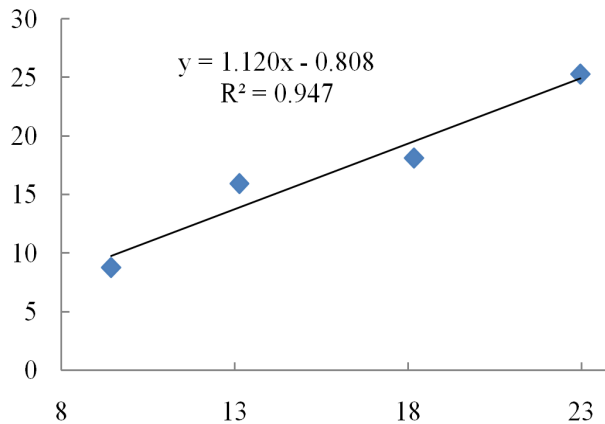


Figure 2. Exponential method graph

图 2. 指数式法曲线

Table 1. Comparison of three methods
表 1. 三种方法对比

压力处理方法	产能方程	无阻流量
压力平均法	二项式法	151.79
	指数式法	156.9
	一点法	139.43
	平均值	149.37

4. 油井产能评价理论与公式

油气井流入动态是指在一定的油气层压力下，流体产量与相应的井底流动压力的关系，它反映了油藏向该井供油的能力。表示产量与流压的曲线成为流入动态曲线，简称 IPR 曲线，又称指示曲线。沃格尔建立的 IPR 曲线未考虑含水情况，而就大多数注水开发油田而言，随着采出程度，油井早晚要见水，如果流压低于饱和压力时就将出现油气水三相渗流。佩特布拉斯根据油流的沃尔方程和水油定义指数，从几何学角度导出来了油气水三相渗流时的 IPR 曲线及计算公式：

$$q_b = J(\bar{p}_R - p_b) \quad (13)$$

$$q_{o\max} = q_b + \frac{Jp_b}{1.8} \quad (14)$$

$$q_{l\max} = q_{o\max} + \frac{f_w}{9-8f_w} \left(\bar{p}_R - \frac{q_{o\max}}{J} \right) \quad (15)$$

$$p_{wf} = \begin{cases} \bar{p}_R - \frac{q}{J}, & 0 < q < q_b \\ f_w \left(\bar{p}_R - \frac{q}{J} \right) + 0.125(1-f_w) p_b \left[\sqrt{81 - 80 \frac{q - q_b}{q_{o\max} - q_b}} - 1 \right], & q_b < q < q_{o\max} \\ f_w \left(\bar{p}_R - \frac{q_{o\max}}{J} \right) - (9-8f_w) \frac{q - q_{o\max}}{J}, & q_{o\max} < q < q_{l\max} \end{cases} \quad (16)$$

其中， $p_{wf\text{test}} > p_b$

$$J = q_{l\text{test}} / (\bar{p}_R - p_{wf\text{test}}) \quad (17)$$

其中， $p_{wf\text{test}} < p_b$

$$J = \frac{q_{l\text{test}}}{(1-f_w) \left(\bar{p}_R - p_b + \frac{p_b A}{1.8} \right) + f_w (\bar{p}_R - p_{wf\text{test}})} \quad (18)$$

$$\text{其中， } A = 1 - 0.2 \left(\frac{p_{wf\text{test}}}{p_b} \right) - 0.8 \left(\frac{p_{wf\text{test}}}{p_b} \right)^2$$

5. 油井合理产能计算

利用 Eclipse 数模软件测定其在规定井底流压的产量，并利用 Petrel 的 IPR 模块应用根据佩特布拉斯改进的沃格尔方程，生成该井的 IPR 曲线(图 3)并得到该井的 $Q_{l\max}$ 。

该井的 $Q_{l\max}$ 为 677.56 m^3 ，对于边底水油藏，采油速度越高，水锥进速度越快，依照经验，合理产量一般取最大无阻流量的 1/2~1/3 较为合理，该油井的初期合理产能为 $213.74\sim 320.61 \text{ m}^3$ 。

6. 单井阶梯降产分析

如何合理配产是油田开发的首要任务,大油嘴产量高,但稳产差,累计采出程度低,见水快,小油嘴生产,产量稳定累计产出程度高但成本高于大油嘴。在不影响最终采收的条件下,保证油气田的稳产、高产、低成本对油田开发占据极其重要的地位。本文主要以衰竭式开发为主,底层的平均压力随着开发不断变化,故油气井的最大无阻流量及合理产量均随着底层压力的变化而变化,本文通过数值模拟软件实时监测地层平均压力变化,以 2 MPa 为梯度,计算不同平均压力的合理产能(表 2、表 3),以助于投产之后的后期调整。

该工区为较大油环规模,为了不影响 C2 层油环的产量,故选取 Q_{AOF} 的 1/5 为合理产能,该工区 C3 为边水油藏,为了均匀动用储层能量,减缓底水追进速度延长无水采油期,采用 Q_{lmax} 的 1/3 为合理产能。

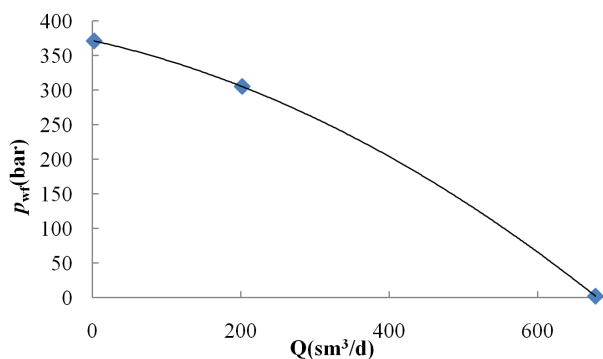


Figure 3. IPR curve of oil well graph

图 3. 油井 IPR 曲线图

Table 2. Production of single well in gas wells

表 2. 气井阶梯生产单井合理产能的确定

地层平均压力(MPa)	Q_{AOF}	合理产能
37	149.37	29.90~49.84
35	135.11	27.20~45.04
33	121.51	24.30~40.50
31	108.71	21.74~36.24
29	96.71	19.34~32.24
27	85.51	17.10~28.50
25	75.11	15.02~25.04
23	65.51	13.10~21.84
21	56.71	11.34~18.90
19	48.71	9.74~16.24
17	41.51	8.30~13.84
15	35.11	7.02~11.70
13	29.51	5.90~9.84
11	24.71	4.94~8.24
9	20.71	4.14~6.90

Table 3. Production of single well in oil wells
表 3. 油井阶梯生产单井合理产能的确定

地层平均压力(MPa)	Q_{AOF}	合理产能
37	677.56	225.85~338.78
35	609.11	203.04~304.55
33	578.51	192.84~289.25
31	492.71	164.24~246.35
29	464.71	154.90~232.35
27	387.51	129.17~193.75
25	312.11	104.04~156.05
23	247.42	82.47~123.71
21	185.65	61.88~92.82
19	135.26	45.09~67.63
17	98.02	32.67~49.01
15	65.11	21.70~32.55
13	43.51	14.50~21.75
11	33.71	11.24~16.85
9	25.71	8.57~12.85

7. 结论

1) 利用 Eclipse 数模软件改变气井生产制度, 得到井口压力和瞬时产量的关系, 分别利用二项式法、指数式法、一点法求得气井的最大无阻流量, 比较并求得平均值, 从而确定气井的无阻流量及合理配产范围。

2) 利用 Eclipse 数模软件测定油井在规定井底流压的产量, 并利用 Petrel 的 IPR 模块根据佩特布拉斯改进的沃格尔方程, 生成油井的 IPR 曲线并得到该井的 Q_{lmax} 。

3) 利用数值模拟软件实时监测地层平均压力变化, 以 2 MPa 为梯度, 计算不同平均压力的的合理产能, 以便于投产之后的后期调整。

参考文献 (References)

- [1] 夏建华. 现代油气井产能分析理论和方法研究[D]: [硕士学位论文]. 北京: 中国地质大学, 2006.
- [2] Chen, P., Wang, X.H., Jiang, S., Li, G.L. and Liu, H. (2015) Productivity Model and Production Decline Characteristics of Multi-Fracturing Horizontal Well. *Applied Mechanics and Materials*, **3830**, 261-269.
- [3] 唐洪俊, 李文华. 气井稳定渗流理论与应用[J]. 辽宁工程技术大学学报(自然科学版), 2009(S1): 111-114.
- [4] 唐洪俊, 李文华, 王建华, 刘玉娟. 气井稳定渗流方程在产能试井中的研究[J]. 钻采工艺, 2008, 31(6): 75-77.
- [5] 张文忠. 气井产能试井设计与分析方法研究[D]: [硕士学位论文]. 北京: 中国地质大学, 2005.
- [6] Cai, M., Yin, H.-J., Zhong, H.Y. and Fu, C.-Q. (2013) Productivity Prediction Model and Optimal Configuration of Herringbone Multilateral Well. *Journal of Central South University*, **20**, 770-775.
<https://doi.org/10.1007/s11771-013-1547-2>

期刊投稿者将享受如下服务：

1. 投稿前咨询服务 (QQ、微信、邮箱皆可)
2. 为您匹配最合适的期刊
3. 24 小时以内解答您的所有疑问
4. 友好的在线投稿界面
5. 专业的同行评审
6. 知网检索
7. 全网络覆盖式推广您的研究

投稿请点击：<http://www.hanspub.org/Submission.aspx>

期刊邮箱：ojs@hanspub.org