

# 鄂尔多斯盆地靖边气田下古生界非均质性气藏的 产量递减规律

晏宁平 王旭 吕华 黄文科 黄刚

中国石油长庆油田公司第一采气厂

晏宁平等. 鄂尔多斯盆地靖边气田下古生界非均质性气藏的产量递减规律. 天然气工业, 2013, 33(2): 43-47.

**摘 要** 鄂尔多斯盆地靖边气田下古生界气藏具有非均质性强的特点, 随着开发程度的提高, 气藏地层压力逐渐降低, 不同区块的生产动态特征表现出明显的差异性。为了给气田的滚动开发和产能弥补提供参考依据, 在气田的不同开发阶段选择了有代表性的 2 个高渗透区块和 1 个低渗透区块开展了气井定压生产试验。通过 Arps 产量递减分析方法, 对于井口压力为 13 MPa、6 MPa 和 3 MPa 的生产条件下的试验数据进行了分析, 揭示了该气田下古生界非均质性气藏的产量递减规律: 高渗透区块在高压和低压条件下的产量递减均符合指数递减类型, 且随着井口压力的降低, 产量递减率趋缓; 低渗透区块的产量递减符合双曲递减类型; 同时, 高、低渗透区块的产量递减率又表现出一定的共性, 在采气速度一定的条件下, 产量递减率与井口压力呈正比, 与动用地质储量、泄流半径和储层能量补给速度呈反比。

**关键词** 鄂尔多斯盆地 靖边气田 早古生代 非均质性 产量 递减规律 分析

DOI:10.3787/j.issn.1000-0976.2013.02.009

## Deliverability decline law of heterogeneous Lower Paleozoic gas reservoirs in the Jingbian Gas Field, Ordos Basin

Yan Ningping, Wang Xu, Lü Hua, Huang Wenke, Huang Gang

(No.1 Gas Production Plant of PetroChina Changqing Oilfield Company, Yinchuan 750006, China)

NATUR. GAS IND. VOLUME 33, ISSUE 2, pp.43-47, 2/25/2013. (ISSN 1000-0976; In Chinese)

**Abstract:** The Paleozoic gas reservoirs in the Jingbian Gas Field, Ordos Basin, are characterized by strong heterogeneity. With the rapid development of this gas field, the gas reservoir formation pressure is gradually reduced and the production dynamic characteristics of different blocks are significantly distinct from each other. To provide a reference for the progressive development and production capacity compensation, typical blocks include two high-permeability blocks and one low-permeability block are selected to undergo a pilot test of gas well constant pressure production at different development stages of this field. The test data, collected from different wells with wellhead pressure of 13, 6 and 3 MPa respectively, is analyzed through the Arps equation, and the results reveal the production decline law of the lower Paleozoic gas reservoirs in the Jingbian Gas Field. (1) The production of high-permeability blocks under high and low pressure is in exponential decline, while the production decline rate tends to be flat-lined with the decreasing wellhead pressure. (2) The production of low-permeability blocks is in hyperbolic decline. (3) The production decline law of high- and low-permeability blocks have some common features, that is, under a certain gas production rate, the production decline rate is proportional to wellhead pressure, but is inversely proportional to dynamic producing reserve, drainage radius, and reservoir energy recharge speed.

**Key words:** Ordos Basin, Jingbian Gas Field, Early Paleozoic, heterogeneity, production, decline law, analysis

**作者简介:** 晏宁平, 1975 年生, 高级工程师, 硕士; 现从事天然气生产及科研工作。地址: (750006) 宁夏回族自治区银川市兴庆区石油城长庆油田生产指挥中心。电话: (0951) 6800898。E-mail: ynp\_cq@petrochina.com.cn

# 1 气田概况

靖边鄂尔多斯盆地气田为一个区域性西倾大单斜,地层倾角 $0.5^\circ$ 左右,每 1 000 m 坡降 7~10 m。气田发育上、下古生界两套含气层系,其中下古生界气藏是一个以溶蚀孔洞白云岩为储层,低渗透、低丰度、岩性—地层复合圈闭气藏<sup>[1-2]</sup>,目前的地质研究和开发动态表现出非均质性强、开发动态差异大的特征。

靖边气田从 1997 年投入开发,2003 年生产能力达到  $55 \times 10^8 \text{ m}^3/\text{a}$ ,目前处于稳产阶段。通过滚动开发,新建产能弥补老区块的产能递减保持气田稳产,在气田开发的不同阶段,选择典型区块开展定压试验,分析不同压力下的产量递减规律,为气田长期稳产提供技术支撑(图 1)。

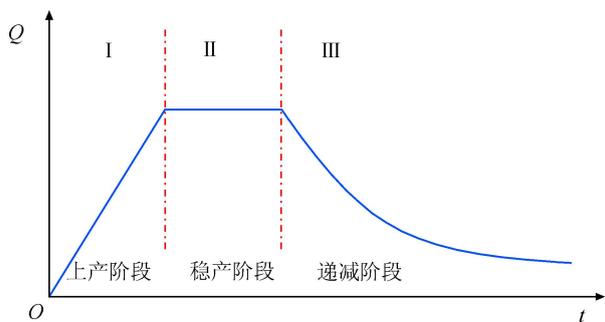


图 1 气藏开发模式简图

# 2 递减规律分析方法

笔者根据气田产量的变化规律,采用 J.J.Arps 递减的 3 种最基本规律(即指数递减、调和递减和双曲线递减规律),通过绘制产量与时间的关系曲线,然后求解方程的解来分析研究产量的递减规律和产量预测<sup>[3-8]</sup>。即

$$Q = Q_i (1 + D_i t/n)^{-n}$$

式中  $Q$  为递减阶段任意时刻的产量,  $10^4 \text{ m}^3/\text{d}$ ;  $Q_i$  为递减阶段的初始产量,  $10^4 \text{ m}^3/\text{d}$ ;  $D_i$  为初始瞬时递减率, 1/月;  $t$  为递减阶段生产时间;  $n$  为递减指数, 当  $n=1$  时为调和递减, 当  $n=\infty$  时为指数递减, 当  $1 < n < \infty$  时为双曲递减。

# 3 试验区块产量递减分析

靖边气田投入开发后选取了 3 个典型区块开展定压生产试验: A 井区 2004 年 1 月至 2005 年 10 月, 试验阶段油压 13.5 MPa<sup>[9]</sup>; B 井区 2009 年 7 月至 2011 年 12 月, 试验阶段油压为 6.4 MPa; C 井区在 2009 年 3

月增压稳产期结束后定压生产, 定压生产阶段油压为 3.0 MPa。通过计算分析上述 3 个不同压力的定压生产数据, 研究下古生界气藏典型区块的产量递减规律。

## 3.1 井口压力为 13.0 MPa

A 井区投产井 27 口, 2004 年 1 月开始定压生产试验, 累计产气  $24.1306 \times 10^8 \text{ m}^3$ , 地质储量采出程度 12.11%。试验期间平均生产油压 13.5 MPa, 2005 年 10 月检修关井结束。7 口井受到动态监测影响生产不连续, 整理符合产量递减条件的 20 口试验井生产数据, 试验初期产气量  $134.2271 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$ , 试验末期井口产气量  $98.3783 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$ (图 2)。

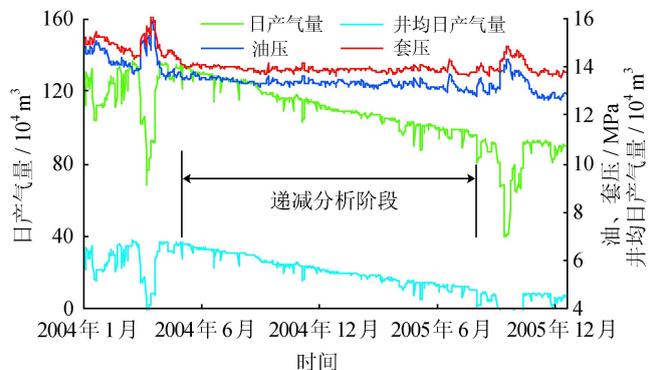


图 2 A 井区 20 口定压试验井采气曲线

初始产量( $Q_i$ )为  $4157.1912 \times 10^4 \text{ m}^3$ , 初始递减率( $D_i$ )为 0.0168, 井区整体产量下降符合指数递减规律, 年递减率为 18.16%(图 3、4), 产能递减方程为:

$$Q = 4157.1912 e^{-0.0168 t}$$

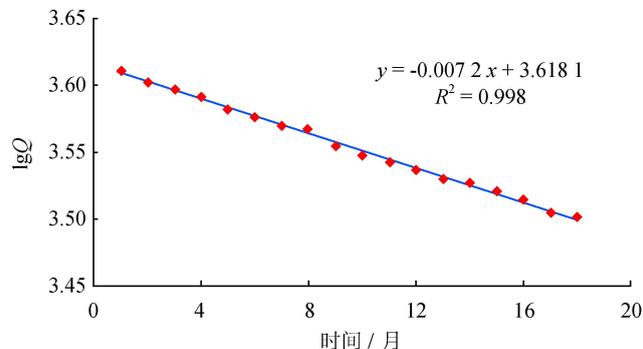


图 3 A 井区整体指数递减分析曲线

多数单井递减率接近 20%, 14 口单井产量递减类型符合指数递减, 6 口单井产量递减类型符合调和和递减。如 A12 井, 初始产量为  $249.0577 \times 10^4 \text{ m}^3$ , 初始递减率为 0.0184, 年递减率 19.83%(图 5、6), 产能递减方程为:

$$Q = 249.0577 e^{-0.0184 t}$$

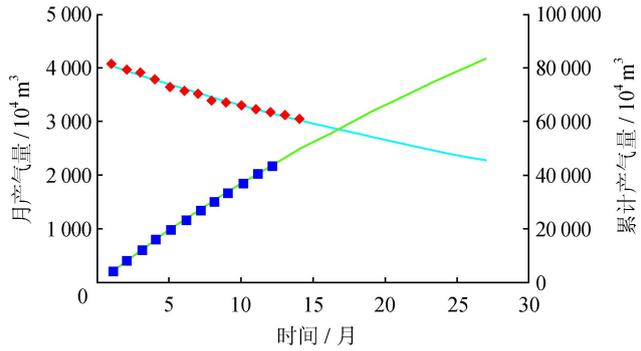


图 4 A 井区整体产气量与递减预测气量对比曲线

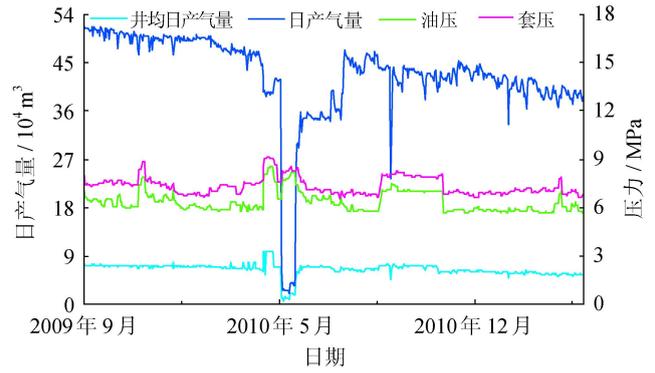


图 7 B 井区 7 口定压试验井采气曲线

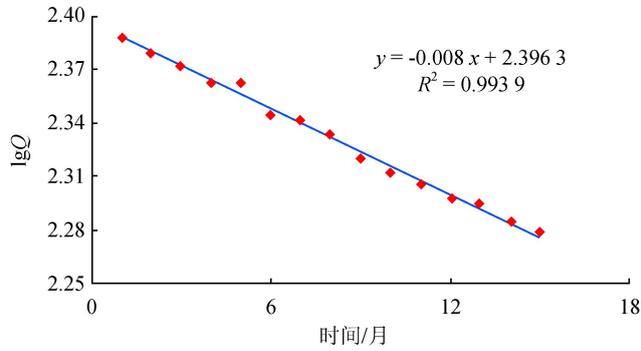


图 5 A12 井指数递减分析曲线

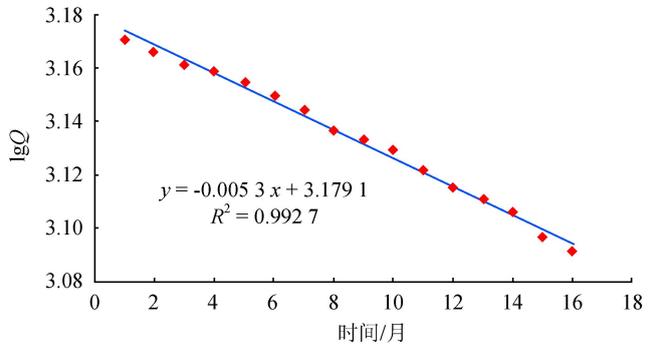


图 8 B 井区指数递减分析曲线

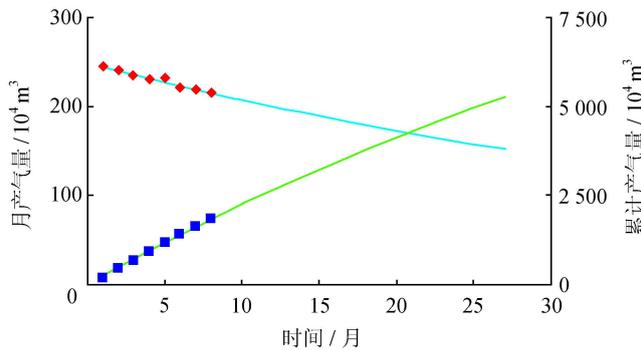


图 6 A12 井产量预测曲线

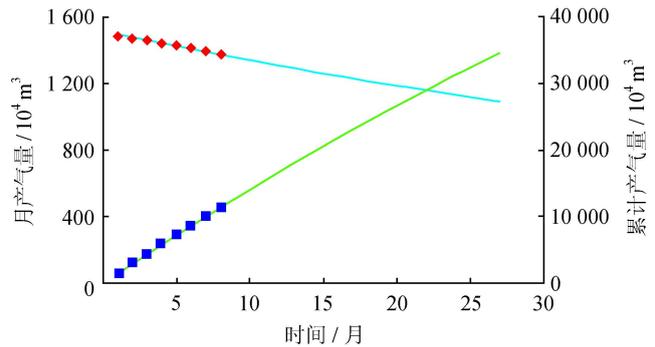


图 9 B 井区产气量与递减预测气量对比曲线

### 3.2 井口压力为 6.0 MPa

B 井区投产气井 7 口, 2009 年 7 月至 2011 年 4 月开展定压试验, 累计产气  $20.7781 \times 10^8 \text{ m}^3$ , 地质储量采出程度 34.06%。试验期间平均生产油压为 6.0 MPa, 产气量  $52.0201 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$ ; 试验末期井口产气量为  $36.8238 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$ (图 7、8、9)。

初始产量为  $1510.4279 \times 10^4 \text{ m}^3$ , 初始递减率 0.0122, 井区整体产量下降符合指数递减规律, 年递减率 13.62%, 6 口单井符合指数递减, 年递减率接近 15%, 产能递减方程为:

$$Q = 1510.4279 e^{-0.0122t}$$

### 3.3 井口压力为 3.0 MPa

C 井区投产井 9 口, 2007 年 1 月开始增压生产, 截止到 2006 年 12 月, 历年累计产气  $3.9526 \times 10^8 \text{ m}^3$ , 地质储量采出程度 3.49%。2009 年 3 月增压稳产期结束, 进入增压产量递减阶段。

5 口井受到动态监测影响生产不连续, 对符合递减分析条件的 4 口井生产数据进行整理分析(图 10), 递减阶段初期日产气量  $7.8475 \times 10^4 \text{ m}^3$ , 增压递减阶段平均油压 3.0 MPa。整体符合双曲递减, 初始递减率 0.0217, 初始产量  $7.3352 \times 10^4 \text{ m}^3$ , 1 年后产量  $5.9448 \times 10^4 \text{ m}^3$ , 年递减率 15.82%; 15 年后产量

$2.6897 \times 10^4 \text{ m}^3$ ,年递减率 1.85% (图 11)。

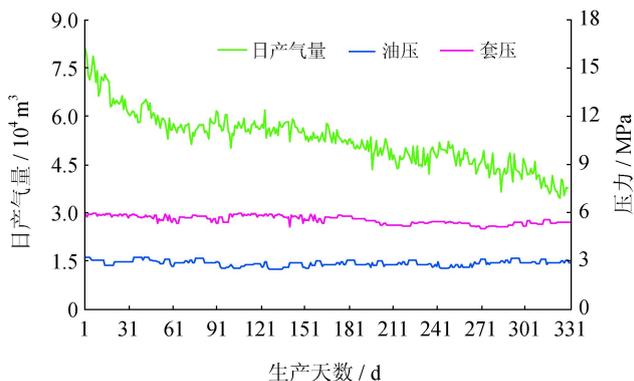


图 10 4口增压试验井递减阶段采气曲线

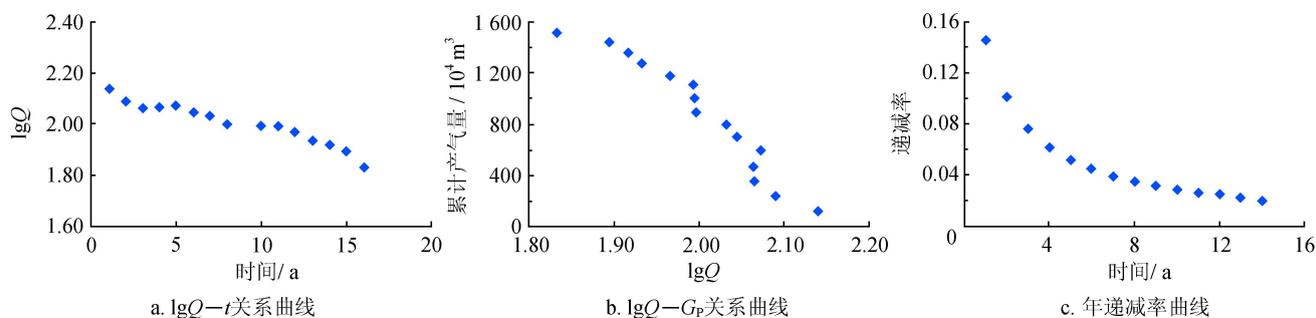


图 11 15年后产量分析曲线图

压降产气量仅为高渗区的 1/4,泄流半径小,储层补给能量较差。C 井区定压生产条件下,初始递减率高达

### 4 递减特征分析

#### 4.1 高渗透区递减特征

A 井区和 B 井区同属于高渗透区块,在定压生产条件下的产量递减规律均符合指数型;随着气藏开发的进行,气藏采出程度增大(A 井区采出程度 12.11%, B 井区采出程度 34.06%),井口压力降低(A 井区 13.5 MPa, B 井区 6.0 MPa),气井的泄流半径有所增加,在采气速度基本一致的情况下,产量递减有所减缓<sup>[10]</sup>。

#### 4.2 低渗透区递减特征

C 井区属于低渗透区块,在稳产期末采出程度仅有 3.49%,各项开发指标均低于高渗透区,井均单位

26.04%,随着生产时间延长,泄流半径进一步扩大,后期产量递减逐渐减缓(表 1)<sup>[11]</sup>。

表 1 定压试验区块数据统计表

井区	井区类型	稳产期末采出程度	稳产期末采气速度	井均单位压降产气量/ $10^8 \text{ m}^3$	井均动储量/ $10^8 \text{ m}^3$	井均泄流半径/m	定压试验压力/MPa	初始递减率	平均递减率	递减类型
A	高渗	12.11%	2.19%	0.111 5	4.814 9	1 309	13.5	20.16%	18.16%	指数
B	高渗	34.06%	1.97%	0.120 8	5.862 3	1 599	6.0	14.64%	13.62%	指数
C	低渗	3.49%	0.98%	0.035 9	0.731 9	619	3.0	26.04%	15.82%	双曲

### 5 结论

1)通过井口压力的控制,靖边气田实施了不同压力下的定压试验,产量递减分析表明:在较高的压力和采气速度条件下递减率较高,随着井口压力的降低,递减率趋于减缓。

2)高渗透区块在不同压力条件下的产量递减规律相同,高压和低压条件下均符合指数递减类型;低渗透区块产量递减符合双曲递减类型。

3)在采气速度一定的条件下,产量递减率与井口

压力成正比,与动用地质储量、泄流半径和储层能量补给速度呈反比。

#### 参 考 文 献

[1] 晏宁平,张宗林.靖边气田马五<sub>1+2</sub>气藏储层非均质性评价[J].天然气工业,2007,27(5):102-103.  
 YAN Ningping, ZHANG Zonglin. Heterogeneity appraisal of Majiagou-5<sub>1+2</sub> gas reservoir in Jingbian Gas Field[J]. Natural Gas Industry, 2007, 27(5):102-103.

[2] 李元觉,冯军祥.长庆气田靖边区气藏地质建模[J].天然气工业,2000,20(6):50-53.

- LI Yuanjue, FENG Junxiang. Geological modeling for the gas reservoir at Jingbian Region in Changqing Gas Field [J]. Natural Gas Industry, 2000, 20(6): 50-53.
- [3] 朱豫川, 刘建仪. 气井产量递减规律分析方法对比分析[J]. 天然气勘探与开发, 2009, 32(1): 28-31.
- ZHU Yuchuan, LIU Jianyi. Correlation of production decline for gas wells [J]. Natural Gas Exploration & Development, 2009, 32(1): 28-31.
- [4] 陈元千. 油藏工程计算方法[M]. 北京: 石油工业出版社, 1990.
- CHENG Yuanqian. Calculation method of reservoir engineering [M]. Beijing: Petroleum Industry Press, 1990.
- [5] 郎兆新. 油藏工程基础[M]. 东营: 石油大学出版社, 1991.
- LANG Zhaoxin. The basis of reservoir engineering [M]. Dongying: Petroleum University Press, 1991.
- [6] 俞启泰. 七种递减曲线的特征研究[J]. 新疆石油地质, 1994, 15(1): 49-56.
- YU Qitai. A study of features for seven decline curves [J]. Xinjiang Petroleum Geology, 1994, 15(1): 49-56.
- [7] 王四凤, 杨杰. 四川气田气井产量递减规律探讨[J]. 钻采工艺, 2001, 15(1): 27-29.
- WANG Sifeng, YANG Jie. Discussion on production decline law of gas well in Sichuan Gas Field [J]. Drilling & Production Technology, 2001, 15(1): 27-29.
- [8] 王金多, 刘国静. 产量自然递减类型的综合判断及构成分析[J]. 断块油气田, 2007, 14(2): 44-46.
- WANG Jinduo, LIU Guojing. Comprehensive judgment and analysis of natural production decline type [J]. Fault-Block Oil & Gas Field, 2007, 14(2): 44-46.
- [9] 张宗林, 吴正. 靖边气田气井定产试验和压力递减规律分析[J]. 天然气工业, 2007, 27(5): 100-101.
- ZHANG Zonglin, WU Zheng. Constant-rate well test and pressure decline analysis of gas wells in Jingbian Gas Field [J]. Natural Gas Industry, 2007, 27(5): 100-101.
- [10] 李斌, 袁俊香. 影响产量递减率的因素与减缓递减的途径[J]. 石油学报, 1997, 18(3): 89-97.
- LI Bing, YUAN Junxiang. The factors affecting production decline rate and approaches to relieving decline [J]. Acta Petrolei Sinica, 1997, 18(3): 89-97.
- [11] 孙来喜, 李成勇. 低渗透气藏应力敏感与气井产量分析[J]. 天然气工业, 2009, 29(4): 74-76.
- SUN Laixi, LI Chengyong. Stress sensitivity effect of low-permeability gas reservoirs and production analysis of gas wells [J]. Natural Gas Industry, 2009, 29(4): 74-76.

(修改回稿日期 2012-12-06 编辑 韩晓渝)