

气田开发

滚动开发复杂砂岩油田产量递减规律研究
——以大宛齐油田为例

祁大晟¹, 苏 坤¹, 高彦才²

(1. 中国石油大学, 北京 102249; 2. 中海油田服务股份有限公司, 天津 300452)

摘要:大宛齐油田是一个滚动开发的高非均质性复杂砂岩油藏,原油产量逐年上升,因此无法直接用常规方法分析其产量递减规律。采用了 2 种不同的研究方法,实例证明油井投产时间平移法可较好地满足研究条件,得出较为可靠的产量递减曲线。该方法为研究同类型油田提供了有价值的借鉴。

关键词:复杂砂岩油藏;滚动开发;油井投产时间平移法

中图分类号:TE3 **文献标识码:**A **文章编号:**1672-1926(2009)05-0808-04

0 引言

大宛齐油田断层发育,断块众多,是一个极特殊的浅层复杂砂岩油田,油藏埋深一般在 90~700 m 之间。油藏特征主要是,砂体分布不稳定,储层物性变化大,砂体的连片、连通差,多呈条带状、透镜状,加之不整合面、断层切割,其油水关系十分复杂,产量影响因素较多^[1]。1995 年投产至今,油田采用局部加密、滚动开发的方式进行生产,原油产量逐年递增,因此常规的产量递减规律研究方法不适用于本油田。本文针对油田的特殊性提出了 2 种不同的研究方法,通过比较,认为所有油井投产时间平移法能够较好的反映该油藏的产量递减规律。

1 利用 2006 年所有开发井分析递减规律

1.1 统计计算

2006 年所有开发井的 $\lg Q-t$ 关系曲线和 $\lg Q-Np$ 关系曲线各自与直线相比较的相关系数如图 1、图 2 所示。从图中可以看出,其递减趋势基本符合双曲线递减规律^[2]。

考虑到时间与井数这 2 个因素,我们取 2006 年 3 月到 2007 年 10 月所有生产井计算,除去在这一时间段所有新打的扩边井与加密井,研究分析油田的自然递减规律。在此时间段内统计共有 65 口井

的产量数据,其 $\lg Q-t$ 关系曲线和 $\lg Q-Np$ 关系曲线各自与直线相比较的相关系数分别为 0.914 6 和 0.927 9(图 1,图 2)。

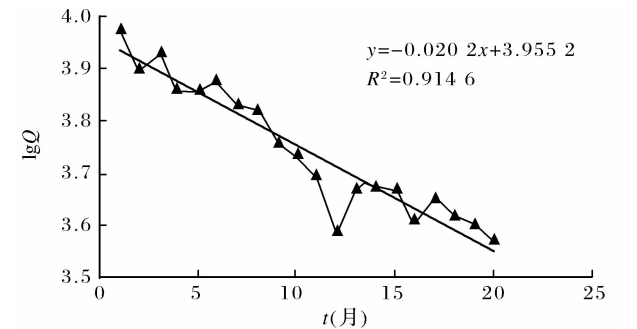


图 1 大宛齐油田 2006 年 3 月至 2007 年 10 月 $\lg Q-t$ 关系曲线

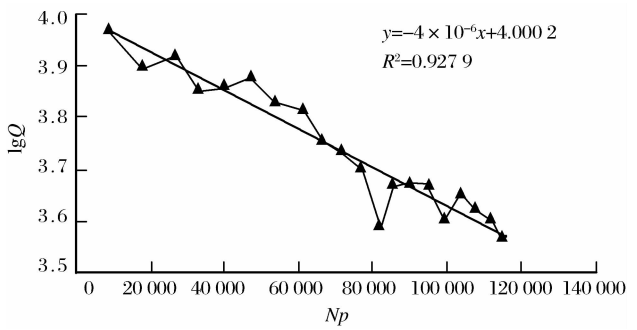


图 2 大宛齐油田 2006 年 3 月至 2007 年 10 月 $\lg Q-Np$ 关系曲线

将月产量 $\lg Q$ 与 $\lg(t+C)$ 在数据坐标上做曲线,经过试算得出当 $C=29$ 时, $\lg Q$ 和 $\lg(t+29)$ 在常数坐标上最倾向于成一直线^[3],相关系数为 0.927 6(图 3)。

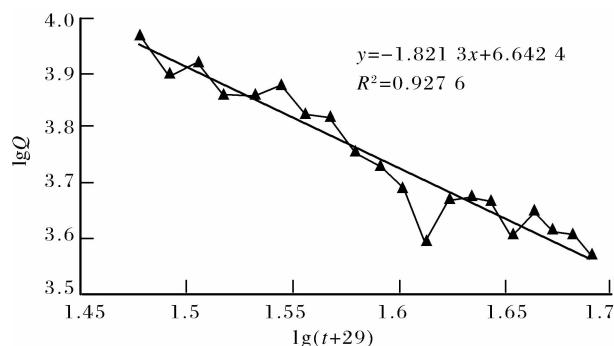


图 3 大宛齐油田 2006 年 3 月至 2007 年 10 月产量递减曲线

由图 3 可知, $\lg Q = -1.8213 \lg(t+29) + 6.6424$ ($C=29$, 相关系数为 0.927 6)

$$\begin{cases} D_0 C = 1.8213 \\ n = 1/D_0 C \\ \lg Q_0 + D_0 \lg C = 6.6424 \end{cases}$$

式中: Q_0 为油井初始产量, t /月; t 为生产时间, 月。

求解得到: 初始递减率 $D_0 = 0.062493$, 初始产量 $Q_0 = 9819.652$, 递减指数 $n = 0.551785$ 。

由此得到以 2006 年 3 月作为递减起始点并在此期间生产的所有 65 口井后续生产的产量递减公式为:

$$Q = \frac{Q_0}{(1+nD_0t)^{1/n}} = \frac{9819.652}{(1+0.551785 \times 0.062493t)^{1/0.551785}} \quad (1)$$

递减期内开发时间:

$$t = \frac{1}{nD_0} \left[\left(\frac{Q_0}{Q} \right) - 1 \right] \quad (2)$$

在此开发时间内最大累积产量:

$$N_{p\max}(t) = \frac{Q_0}{D_0(1-n)} \left[1 - \frac{1}{(1+D_0nt)^{\left(\frac{1-n}{n}\right)}} \right] \quad (3)$$

同样, 我们取每口油井的工业油流下限为 0.3 t/d ^[4], 则油田的月产量下限为 $65 \times 0.3 \times 30 = 585 \text{ t}$, 因此由式(2)得出开发时间 $t = 108.5$ 月, 即 9 年, 由式(3)得出在此开发时间内的最大累积产量为 25.155 万 t。截止到 2007 年 10 月份油田总累积产量为 75.658 6 万 t, 油田地质储量为 673.86 万 t, 计算得出本油田的最终采收率 $E_R = (75.6586 +$

$25.155)/673.86 = 14.9\%$ 。

1.2 结果评价

取 $Q_0 = 9819 \text{ t}$, 并非所有井的初始产量, 只是 2006 年 3 月投产井的初始产量加上以前所有井的当时产量, 因此 Q_0 大大偏小, 采收率显著偏低。

由于井数足够多, 相关系数为 0.927 6, 用这种方法统计出的双曲线递减规律是可信的。

2 用油田所有井投产开发时间整体平移法分析递减规律

2.1 统计计算

由于本油田地质情况复杂, 油砂体分布分散, 储层平面上与垂向上非均质性严重, 连通性很差, 加密井对老井的产量干扰不大^[5], 我们认为本油田所有的新井所动用的储量都是新储量^[6]。因此将本油田所有开发井的投产时间整体平移到 1996 年 8 月, 然后统计分析所有开发井的产量递减规律。

考虑到时间与井数这 2 个因素, 我们取 1996 年 8 月到 1998 年 8 月这 2 年作为研究递减规律的时间段。

由于每一口油井投产的第 1 个月都不可能恰好是足月, 所以月产量数据偏小, 而第 2 个月产量偏差较大, 所以我们将投产后的第 3 个月即 1996 年 10 月定为递减初期。根据前述判断依据, 本阶段 $\log Q-t$ 关系曲线和 $\log Q-N_p$ 关系曲线各自与直线相比较的相关系数分别为 0.950 9 和 0.961 7(图 4, 图 5)。

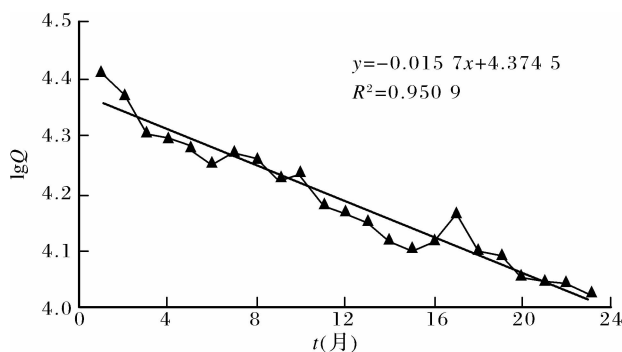


图 4 大宛齐油田 1996 年 10 月至 1998 年 8 月 $\lg Q-t$ 关系曲线

将月产量 $\lg Q$ 与 $\lg(t+C)$ 在数据坐标上做曲线, 经过试算得出当 $C=38$ 时, $\lg Q$ 和 $\lg(t+38)$ 在常数坐标中最倾向于成一直线, 相关系数为 0.960 1(图 6)。

由图 6 可知, $\lg Q = -1.7957 \lg(t+38) +$

7.229 7 ($C=38$, 相关系数为 0.960 1)

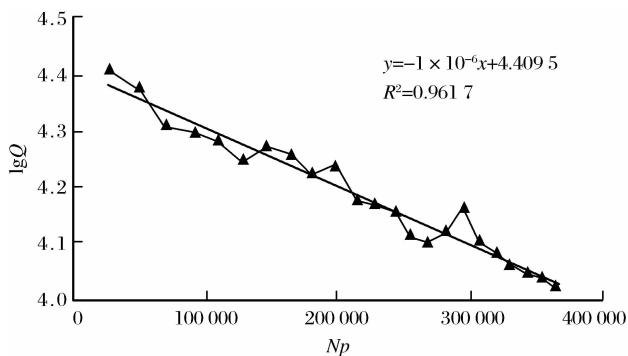


图5 大宛齐油田 1996 年 10 月至 1998 年 8 月 $\lg Q-Np$ 关系曲线

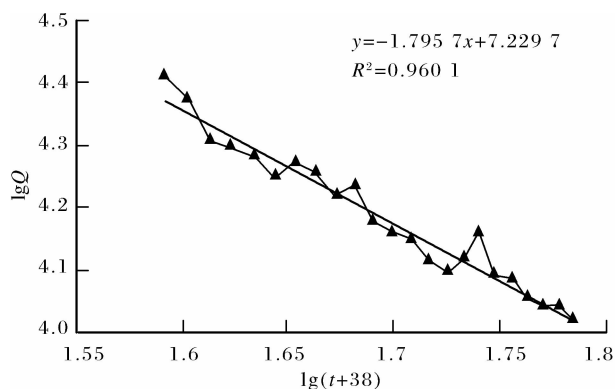


图6 大宛齐油田 1996 年 10 月至 1998 年 8 月段产量递减曲线

$$\begin{cases} D_0 C = 1.795\ 7 \\ n = 1/D_0 C \\ \lg Q_0 + D_0 \lg C = 7.229\ 7 \end{cases}$$

求解得到:初始递减率 $D_0=0.047\ 255$, 初始产量 $Q_0=24\ 710.56\ \text{t}$, 递减指数 $n=0.556\ 886$ 。经统计得到, 所有油井投产第 3 个月的总产量为 40 838 t, 共有投产井 133 口。以此作为递减初始产量的油田产量递减公式为:

$$Q = \frac{Q_0}{(1+nD_0t)^{1/n}} = \frac{40\ 838}{(1+0.556\ 886 \times 0.047\ 255\ t)^{1/0.556\ 886}} \quad (4)$$

递减期内开发时间:

$$t = \frac{1}{nD_0} \left[\left(\frac{Q_0}{Q} \right)^n - 1 \right] \quad (5)$$

在此开发时间内最大累积产量:

$$N_{p\max}(t) = \frac{Q_0}{D_0(1-n)} \left[1 - \frac{1}{(1+D_0nt)^{\frac{1-n}{n}}} \right] \quad (6)$$

我们取每口油井的工业油流量下限值为

0.3 t/d, 则油田的月产量下限值为 $133 \times 0.3 \times 30 = 1\ 197\ \text{t}$, 因此由公式(5)得出开发时间 $t=233.3$ 月, 即 19.5 a, 由式(6)得出在此开发时间内的最大累积产量为 154.214 万 t。已知 1996 年 8 月、9 月即所有油井投产后两个月的总产量为 9.102 万 t, 油田地质储量为 673.86 万 t, 计算得出本油田的最终采收率 $E_R = (154.214 + 9.102) / 673.86 = 24.2\%$ 。

2.2 结果评价

(1) 本方法认为每年新钻投产井动用的都是新的地质储量, 也就是说新老井之间干扰不大, 这与油田实际情况基本相符。

(2) 油井井数已经足够多, 个别生产异常井对总体规律的影响可以忽略不计。相关系数为 0.960 1, 说明统计出的双曲线递减规律适用于全油田。

(3) 本方法认为这 133 口井在分 10 a 完钻投产和在同一年完钻投产, 初始产量是相同的。据油田 11 a 开发数据分析, 时间坐标平移得出的 10 a 累加初始产量很可能略偏高。

(4) 本方法认为这 133 口井已动用了油田大部分地质储量, 据实际开发资料, 大宛齐油田仍有一定的加密井空间。

综上所述, 我们认为用这种方法预测出的油田双曲线递减规律是可信的, 算出的最终可采储量 163.3 万 t 与极限一采采收率 24.2% 具有重要参考价值, 但是仍为一保守数据。

3 结论

(1) 由于采用局部加密和滚动开发的生产方式, 大宛齐油田的年产量逐年递增, 常规的产量递减规律研究方法失效。

(2) 利用 2006 年 3 月所有生产井的产量数据进行计算时, 得出的规律是可信的, 但由于初始产量值 Q_0 显著偏小, 因此计算得出的全油田最终采收率也偏小。

(3) 采用所有井投产时间整体平移的方法分析递减规律时, 油井所控制的地质储量接近全油田的总地质储量, 也有效的减小了个别生产异常井的干扰, 因此所得双曲线递减规律可信度较高, 所得一采极限采收率为 24.2% 有重要参考价值。

(4) 本文提出的所有生产井投产时间整体平移法分析产量递减规律, 对类似的滚动开发的高非均质性砂岩油田研究, 有很好的借鉴意义。

参考文献:

[1] 连承波, 钟建华, 蔡福龙, 等. 油田产量影响因素的灰色关联分

析[J]. 天然气地球科学, 2006, 17(6): 851-853.

[2] 王俊魁. 油田产量递减类型的判断与预测[J]. 石油勘探与开发, 1983, 10(6): 65-72.

[3] 姜汉桥. 油藏工程原理与方法[M]. 东营: 中国石油大学出版社, 2006.

[4] 国家标准局. 石油储量规范[S]. GBn 269-88, 1988-10-01.

[5] 张家良, 熊英, 李晓良, 等. 浅析储层半径大小、井距与油层连通程度的关系[J]. 特种油气藏, 2004, 11(1): 34-36.

[6] 郭齐军. 石油和天然气剩余经济可采储量评估方法简介[J]. 天然气地球科学, 2003, 14(6): 525-528.

Production Decline Pattern for Complex Sandstone Oilfields in Progressive Development: Taking Dawanqi Oilfield as an Example

QI Da-sheng¹, SU Kun¹, GAO Yan-cai²
(1. *China University of Petroleum, Beijing 102249, China;*
2. *China Oilfield Services Limited, Tianjin 300452, China*)

Abstract: Production forecast is a crucial research during field exploitation, especially to a complex fractured field, because the conventional approach can't match the characteristic of the particular reservoir. In this paper, two methods are applied to study the production decline pattern of a complex sandstone reservoir with progressive development in Dawanqi Oilfield and its annual output is ever increasing. The method of moving the start date of all producing wells to the same month is proved to be successful. This proposed method can also be used to study the other sandstone reservoirs with similar situations.

Key words: Complex sandstone reservoir; Progressive development; Production decreasing pattern.

(上接第 706 页)

参考文献:

[1] 陈碧玉. 油矿地质学[M]. 北京: 石油工业出版社, 1987: 308-314.

[2] 哈里德 D, 瑞斯尼克 R, 沃克 J. 物理学基础[M]//郑永令等译. 吴剑华校. 北京: 人民教育出版社, 1979: 548-550.

[3] 王启军, 陈建渝. 油气地球化学[M]. 中国地质大学出版社, 1988: 145.

[4] 张厚福, 方朝亮, 张枝焕, 等. 石油地质学[M]. 石油工业出版社, 1999: 57-58.

[5] 张博, 赵力彬, 唐雁刚. 库车坳陷变质核杂岩与油气相态分布格局成因初探[J]. 天然气地球科学, 2007, 18(2): 200-203.

[6] 张明波, 余新平. TDC 综合录井仪的泥浆温度测量电路[J]. 1994, 8(4): 219-222.

Abnormal High Temperature and the Discovery of Natural Gas Reservoir in Kuqa Depression

ZHANG Bo¹, LI Jiang-hai¹, YU Ying-ying², CAO Bo², YUAN Ke-xue², SU Zhao-hong²
(1. *School of Earth and Space Sciences, Peking University, Beijing 100871, China;*
2. *Internation Department, Supervisor Center of Tarim Oilfield Company, Korla 841000, China*)

Abstract: Because of the great change in thickness of the overlying gyprock and the high density drilling fluid in Kuqa depression, it is very difficult to define the boundary stratotype. TDC are used in exploration wells and the temperature at the bottom of well can be measured continuously and the natural gas reservoirs of Eocene-Cretaceous are high pressure reservoirs. Based on this situation and according to the cause and feature of the abnormal high temperature in the natural gas reservoir, we inspected the formation temperature continuously and predicted correctly the change of the formation, defined the boundary stratotype, found the trace of gas and solved the difficulty in work.

Key words: Abnormal high temperature; Natural gas reservoir; Formation temperature; Thermal conductivity; Kuqa depression.