

节点分析在油藏早期评价中的应用

郭康良 夏位荣 周丽娟

(江汉石油学院, 湖北荆沙 434102)

利用早期勘探的几口探井的中途及完井地层测试数据作节点分析, 可为探井提供合理的产能预测和配产方案。本文利用节点分析法原理, 针对探井早期预测的测试数据, 提出了合理绘制流入、流出曲线的基本方程与适合新探区的摩阻系数, 并针对实际井提供了配产方案。经国内西部某油田近五年的开采证实, 具有很好的现场指导作用。

关键词 节点分析 地层测试 产能配制

第一作者简介 郭康良 男 32岁 讲师(硕士) 试井分析

1 分析原理及步骤

1.1 分析原理

对一口油井, 从地层到分离器的油井生产系统是一个统一的体系, 该体系遵循能量守恒。若按流动性质划分, 整个系统又可分为若干个流动段(图1), 各段的压力关系为: (1) 地层渗流压力损耗: $P_1 = P_i - P_{wis}$, P_i 为地层原始压力, P_{wis} 为井底砂面压力; (2) 岩面(表皮)压力损耗: $P_2 = P_{wf} - P_{wis}$, P_{wf} 为井底流动压力; (3) 安全阀压力损耗: $P_3 = P_{UR} - P_{DR}$, P_{UR} 为安全阀下的压力, P_{DR} 为安全阀上的压力; (4) 节流阀压力损耗: $P_4 = P_{usv} - P_{DSV}$, P_{usv} 为节流阀下的压力, P_{DSV} 为节流阀上的压力; (5) 地面油嘴压力损耗: $P_5 = P_{wh} - P_{DSC}$, 其中 P_{wh} 为井口压力, P_{DSC} 为油嘴后的压力; (6) 水平管压力损耗: $P_6 = P_{DSC} - P_{sep}$, P_{sep} 为分离器压力; (7) 竖直管压力总损耗:

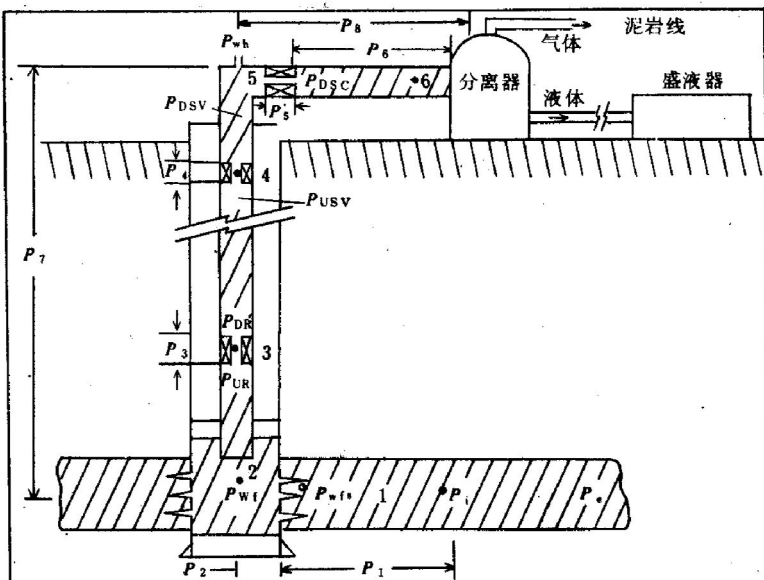


图1 油井系统的节点划分示意图

$P_7 = P_{wf} - P_{wh}$; (8) 水平管压力总损耗: $P_8 = P_{wh} - P_{sep}$ 。

节点就是以上各流动段之间的交点。以某一节点为出发点, 通过不同的产能配制与适当的数学模型来预测每两节点之间的压力降, 把这个压力降加到出发点或从出发点减去后, 得到选定节点的解。利用能量守恒定律, 通过这个解就可以得到油井的合理配产方案。

1.2 分析步骤

1.2.1 绘制流入曲线

流入曲线是井底砂面流压与相应产量的关系曲线, 它描写储层内部流体渗流的特征。有不同的绘制方法。这里针对探井地层测试资料, 根据不稳定试井理论介绍适用于早期评价生产时间短的流入曲线绘制方法。即井底流动压力 (P_{wf}) 与产量 (Q) 的关系为^[1]:

$$Q = \frac{Kh (\bar{P} - P_{wfs})}{2.12 \times 10^{-3} \mu B [\lg (\frac{Kt}{\Phi \mu C_i r_w^2}) - 0.907 + 0.875]} \quad (1)$$

式中 K 为地层有效渗透率, h 为地层有效厚度, μ 为流体粘度, P_{wfs} 为井底砂面流动压力, B 为体积系数, $\bar{P}$ 为平均地层压力, t 为生产时间, Φ 为孔隙度, C_i 为综合压缩系数, r_w 为井底半径, s 为表皮系数, 无因次; Q 为油井日产量。

利用上式, 代入实测试井矿藏数据, 可得到流入曲线。即 IPR 曲线 (图 2)。

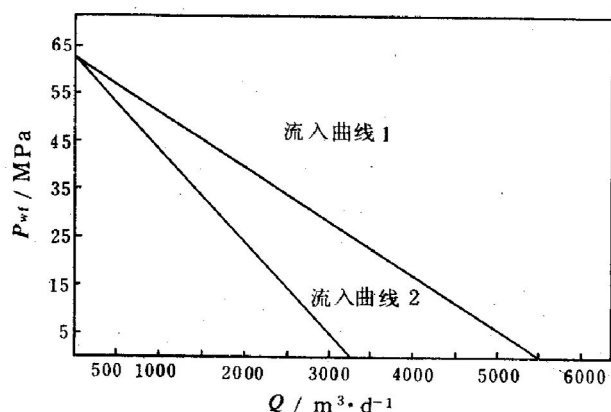


图 2 流入曲线图

1.2.2 压力关系

根据结点分析的原理和图 1 的关系可得到井底流动压力 P_{wf} 为:

$$P_{wf} = P_7 + P_8 \quad (2)$$

$$\text{其中 } P_7 = \frac{H\gamma}{10} + f \frac{H}{D} \frac{V^2}{2g} \frac{\gamma}{10} \quad (3)$$

式中 g 为自由落体加速度, f 为摩阻系数, D 为油管直径, H 为竖直管高度, γ 为原油密度, V 为井底流速。

根据井所在探区实际地层情况求取摩阻系数 f 后, 式 (3) 可简化为:

$$P_7 = A + C_1 \frac{Q^2}{D^5} \quad (C_1 = 7.26 \times 10^4) \quad (4)$$

$$P_8 = P_5 + P_6 \quad (\text{油嘴后压力}) \quad (5)$$

$$\text{其中 } P_5 = C_2 \frac{(\gamma Q^2)}{D_1^4} \quad (C_2 = 0.1787); \quad P_6 = C_3 \frac{(\gamma Q)^2}{D_1^4} \quad (C_3 = 0.224)$$

式中 A 为静液压力, Q 为油井日产量, D 为油管直径, C_1 、 C_2 、 C_3 为经验系数, γ 为原油密度, D_1 为油嘴直径。

1.2.3 绘制节点分析图

将 (4)、(5) 式代入 (2) 式, 就可得到不同油管、油嘴组合时, 原油由井底流至井口, 井底流压 (P_{wf}) 与产量 (Q) 的关系式:

$$P_{wf} = A + C_1 \frac{Q^2}{D^5} + C_2 \frac{(\gamma Q^2)}{D_1^4} + C_3 \frac{(\gamma Q)^2}{D_1^4} \quad (6)$$

利用 (6) 式, 代入实际测试数据, 可绘制出不同配产条件下, 产量与井底流动压力关系

曲线,该曲线称吸入曲线,它与流入曲线叠加,即可得到该井节点分析图。从此图上分析两种曲线及其交点特征值,就得出节点分析结果。为合理选择油井产量和井下管柱提供依据。

2 实例分析

2.1 绘制流入曲线

例井为我国西部某油田新探区中的一口探井,该井在钻井完井过程中共进行了6次中途和完井测试。通过测试资料解释,求取各参数的值:原始地层压力 $P_i=62.4$ MPa;地层渗透率 $K=38\times 10^{-3}\mu\text{m}^2$;表皮系数 $S=-1.1$;原油粘度 $\mu=1.5$ mPa·s;测试开井时间 $t=12$ h;井径 $r_w=0.127$ m;孔隙度 $\Phi=15\%$;地层总压缩系数 $C_t=4.8\times 10^{-4}/\text{MPa}$ 。

由于分层测试与合层测试的影响,产层厚度 h 取两个值: $h_1=59.2$ m (测试层段 5726~5800 m; $h_2=35.2$ m (测试层段 5756~5800 m)。都取测试厚度的80%,产层日产量分别为 $Q_1=5473\text{ m}^3\text{d}^{-1}$; $Q_2=3250\text{ m}^3\text{d}^{-1}$ 。

井底流动压力与产层日产量的关系为:

$$P_{wf1}=62.4-0.0114Q \quad (7)$$

$$P_{wf2}=62.4-0.0192Q \quad (8)$$

利用上述参数代入公式(1),可直接绘制流入曲线(图2)。

2.2 绘制节点分析图

将例井的各参数代入(6)式,可得到不同配产条件下,产量与井底流压关系式。再与流入曲线叠加,即可得到各种配产方案下的节点分析图(图3)。

从图3看出,在已知油管直径的条件下,每条吸入曲线代表特定井口压力和不同油管尺寸的产量与井底流动压力的关系,它与流入动态曲线交点的横坐标即为在该条件下油井的产量。

2.3 产能综合分析^[2]

节点分析的目的,是如何利用地层能量,以最少的压力消耗得到最大的油井产能。根据上述原则,由节点分析图可以得到该井的节点分析结果(表1)。

表1 节点分析结果统计表

油嘴 D/mm	油 管/ mm							
	62		75.9		88.6		100.3	
	日产量/ m^3d^{-1}							
	IPR1	IPR2	IPR1	IPR2	IPR1	IPR2	IPR1	IPR2
6	200	190	216	206	223	210	225	200
8	280	258	330	300	354	320	363	327
10	320	295	416	370	470	410	500	432
12	340	311	470	406	560	470	613	507
14	353	320	500	433	616	507	700	556
16	360	323	523	443	656	533	753	586

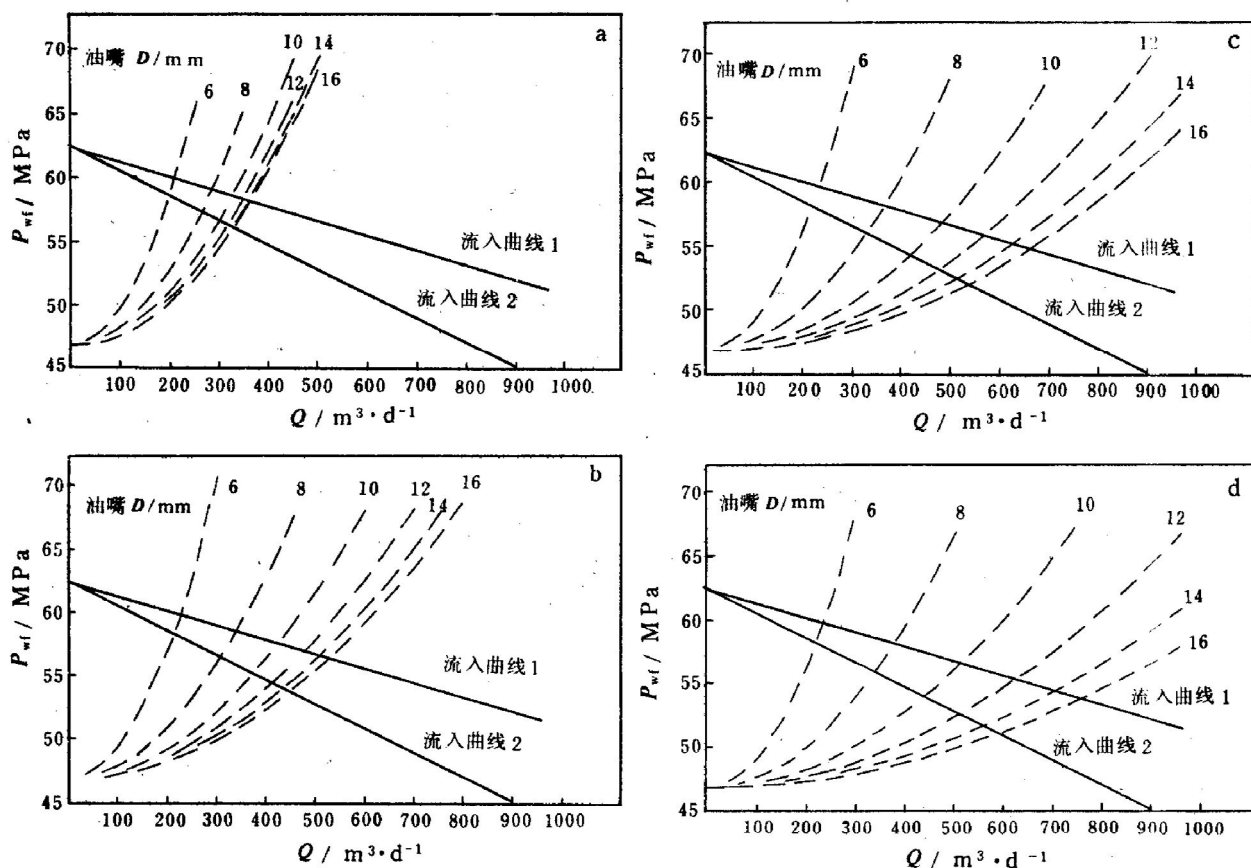


图3 不同配产条件下产量与井底流压的关系图

a—62 mm 油管不同油嘴与产量关系；b—75.9 mm 油管不同油嘴与产量关系；c—88.8 mm 油管不同油嘴与产量关系；d—100.8 mm 油管不同油嘴与产量关系

根据表1可得到该井的最优配产方案为：选用75.9 mm 油管，12 mm 油嘴，在自喷井开采时，可以获得日产470方左右的原油；其次为以88.6 mm 油管，14 mm 油嘴，在自喷开采条件下，可获日产616方左右的原油。

将IPR1与IPR2的节点分析结果（表1）进行对比，表明流入曲线2（IPR2）的分析结果与实测结果比较一致。后经投产证实，该井的主要产层为IPR2对应的井段（5756～5800 m）。近五年的实际开采证实节点分析结果与该井的实际生产史一致。

3 几点认识

节点分析法通过近几年来不同勘探区块的试井求产应用，其理论不断完善，实际效果也较明显，现已对我国西北部油藏早期评价作出了实际贡献。现将应用研究中的几点认识归纳总结如下。

1. 用节点分析对油井产能进行早期评价与预测是可行的。
2. 各探区有各自的特点，求取经验系数 C_1 ， C_2 ， C_3 时，要结合地区实际地质情况。
3. 求取竖直管压力损耗 P_f 的过程中，当原油密度 γ 不是个定值时，可以通过分段迭代方法求取压力值。

参 考 文 献

- 1 夏位荣. 钻柱测试解释方法与油层评价. 北京: 石油工业出版社, 1993. 170
- 2 布朗. G E 升举法采油工艺. 孙学龙译. 北京: 石油工业出版社, 1989. 554

APPLICATION OF NODE ANALYSIS TO EARLY EVALUATION OF OIL POOLS

Guo Kangliang Xia Weirong Zhou Lijuan

(Jiangnan Petroleum Institute, Jingsha, Hubei)

Abstract

In application of the formation test data of well drilling and well completion collected from some early exploration wells, node analysis was made so as to draw a reasonable plan for the production forecast and production regulation. On the basis of the node analysis principle and early well test data, the present article suggests the basic equations to draw input and output curves and provides friction-damping coefficient for new prospect areas. The above mentioned method has been proved to be very useful in certain oil fields' production of west China for the past five years.