

凝析气井合理产能的研究及应用

康志江 邱立伟 李彤

陈元千

(中国新星石油公司规划研究院, 北京 100083)

(北京石油勘探开发研究院, 100083)

本文从凝析气井的绝对无阻流量入手,系统地介绍了凝析气井合理产能确定,给出了公式推导过程;在确定合理产能方面提出了两种方法。以上方法在塔北某凝析气藏得以应用,实践分析表明整个过程正确、实用。

关键词 凝析气井 绝对无阻流量 产能

第一作者简介 康志江 男 28岁 硕士 石油地质

在凝析气藏开发中,单井的绝对无阻流量与合理产能是比较重要的参数,它直接影响到气藏开发的可行性及整个气田的开发规模,经过塔北某凝析气藏的开发方案研究,总结出一套研究方法,现介绍如下。

1 利用系统测试资料求取凝析气井绝对无阻流量

1.1 产量的折算

由于凝析气井在测试中,地面计量时测得气井日产干气量、日产凝析油量、凝析油与干气地面比重等资料。而凝析油和干气在地下以气态单相流动,因此在测试解释时,必须将地面凝析油、干气两相流体折算成为视日产量(Q_{gt})。具体算法如下(陈元千, 1990)

$$Q_{gt} = Q_g + 24056r_o Q_o / M_o \quad (1-1)$$

$$\text{其中: } M_o = 44.29r_o / (1.03 - r_o) \quad (1-2)$$

式中: Q_{gt} —视日产量 $10^4 m^3/d$;

Q_g —气产量 $10^4 m^3/d$;

r_o —凝析油相对密度;

Q_o —凝析油产量, t/d ;

M_o —凝析油分子量。

1.2 二项式产能方程

1.2.1 压力平方法

$$P_R^2 - P_{wf}^2 = A Q_{gt} + B Q_{gt}^2 \quad (1-3)$$

式中: P_R —平均地层压力, MPa;

P_{wf} —井底流动压力, MPa;

A —层流系数;

B —紊流系数。

(1-3)方程右边第一项表示消耗于粘滞性引起的压力损失,第二项表示惯性引起的压力损失,这两项之和,构成气流入井的总压降,主要通过产能测试资料解释出 A 和 B 值(秦同洛等, 1989)。

(1-3)式可作如下表示:

$$\frac{\Delta P^2}{Q_{gt}} = A + B Q_{gt} \quad (1-4)$$

式中 $\Delta P^2 = P_R^2 - P_{wf}^2$, 通过系统测试实测的几组 Q_{gt} 和 ΔP^2 数据,利用(1-4)式在直角坐标 $\frac{\Delta P^2}{Q_{gt}}$ 与 Q_{gt} 关系就为一直线,则 A 为截距, B 为斜率,从而确定 A 和 B 值。

当取井底流压为 0.101MPa 时,气井的最大潜在产能即为气井绝对无阻流量(Q_{AOF}),以公式表示:

$$Q_{AOF} = \frac{\sqrt{A^2 + 4B(P_R^2 - 0.101^2)} - A}{2B} \quad (1-5)$$

1.2.2 拟压力法

拟压力定义为:

$$\Psi(P) = 2 \int_{p_b}^p \frac{p}{H_g Z} dp \quad (1-6)$$

式中： $\Psi(P)$ —拟压力， $\text{MPa}^2/\text{mPa} \cdot \text{s}$ ；
 H_g —地层天然气的粘度， $\text{mPa} \cdot \text{s}$ ；
 z —气体，偏差系数；
 P_b —饱和压力， MPa ；
 拟压力法方程：

$$\Psi(P_R) - \Psi(P_{wf}) = A_{\Psi} Q_{gt} + B_{\Psi} Q_{gt}^2 \quad (1-7)$$

式中： $\Psi(P_R)$ —拟平均地层压力， $\text{MPa}^2/\text{mPa} \cdot \text{s}$ ；
 $\Psi(P_{wf})$ —拟井底流动压力， $\text{MPa}^2/\text{mPa} \cdot \text{s}$ ；
 A_{Ψ} —层流系数；
 B_{Ψ} —紊流系数；
 Q_{AOF} —绝对无阻流量， $10^4 \text{m}^3/\text{d}$ ；
 A_{Ψ} 、 B_{Ψ} 层流系数和紊流系数，可通过测试数据同图解法求得，亦可代入方程：

$$A_{\Psi} = \frac{\varphi(P_R)}{Q_{AOF}} + \frac{\varphi(P_R)(Q_{AOF} - Q_{gt}) - \varphi(P_{wf})Q_{AOF}}{Q_{gt}(Q_{AOF} - Q_{gt})} \quad (1-8)$$

$$B_{\Psi} = \frac{\Psi(P_R)Q_{gt} - [\varphi(P_R) - \varphi(P_{wf})]Q_{AOF}}{Q_{gt}Q_{AOF}(Q_{AOF} - Q_{gt})} \quad (1-9)$$

2 利用钻杆测试(DST)资料求取绝对无阻流量

系统试井需要的时间较长，要求严格，既要保证测得稳定的产量、稳定的流压，而且不同工作制度之间要有足够压差梯度；同时测试时间对于探井来说，由于缺乏必要的集输装置，需要放空大量的天然气，造成能源浪费和环境污染。为此，可用 DST 测试资料求取绝对无阻流量(Lee, 1982)。方法推导如下：

(1-3)式在 $P_{wf} = 0.101 \text{ MPa}$ 时，可为

$$P_R^2 - (0.101)^2 = A Q_{AOF} + B Q_{AOF}^2 \quad (1-10)$$

将(1-3)式除以(1-10)式，取 $P_R^2 - (0.101)^2 \approx P_R^2$ ，并简化整理得：

$$\frac{P_R^2 - P_{wf}^2}{P_R^2} = \alpha \frac{Q_{gt}}{Q_{AOF}} + (1-\alpha) \left(\frac{Q_{gt}}{Q_{AOF}}\right)^2 \quad (1-11)$$

式中 $\alpha = A/(A + BQ_{AOF})$ (1-12)

若令 $P_D = (P_R^2 - P_{wf}^2)/P_R^2$

$$Q_D = Q_{gt}/Q_{AOF}$$

式中： Q_D —无因次产量；

P_D —无因次压力；

$$\text{则得 } P_D = \alpha Q_D + (1-\alpha)Q_D^2 \quad (1-13)$$

$$\text{化简，得： } Q_D = \frac{2[\sqrt{1+4(\frac{1-\alpha}{\alpha^2})P_D} - 1]}{\alpha(1-\alpha)} \quad (1-14)$$

如果在凝析气田中有其它井的系统试井资料，可用解释后的 A 、 B 、 Q_{AOF} 值(阎敦实等, 1994)，代入(1-13)式，求 α 值，再代入(1-14)式中导出新的一点法公式，作为本凝析气田的一点法公式。

统计我国 16 个气田的 16 口气井的系统稳定流测试所取得的数据，平均 α 值为 0.2541，陈元千教授取值 $\alpha = 0.25$ ，并推导出一点法公式：

$$Q_{AOF} = \frac{6Q_{gt}}{\sqrt{1+48\left(\frac{P_R^2 - P_{wf}^2}{P_R^2}\right)} - 1} \quad (1-15)$$

3 合理产能确定

3.1 气井类型曲线法

确定气井合理产能时，一般是根据经验统计取气井绝对无阻流量的 $1/4 \sim 1/5$ ，这种方法考虑的因素较少，因此有一定的偏差性，据产能方程(1-3)，可得：

$$P_{gt} = \sqrt{P_R^2 - Q_{gt}(A + BQ_{gt})} \quad (1-16)$$

将上式除以 P_R 并作变换得：

$$\frac{P_{wf}}{P_R} = \frac{\sqrt{P_R^2 - Q_{AOF}\left(\frac{Q_{gt}}{Q_{AOF}}\right)[A + BQ_{AOF}\left(\frac{Q_{gt}}{Q_{AOF}}\right)]}}{P_R} \quad (1-17)$$

由上式可知：如果 A 、 B 确定， P_{wf}/P_R 与 Q_{gt}/Q_{AOF} 呈函数关系，该式表征的曲线即为气井类型曲线。随着产量增大，紊流引起的压力损耗增加，曲线开始向下弯曲，曲线开始明显向下弯曲的起始点，此时紊流引起的压力损耗很小，该点对应的产量即为合理产量。

3.2 IPR 曲线法

针对凝析气藏的特点，防止凝析油在地下反凝析，提高凝析油的采收率，可以作出气井的 IPR 曲线，即以产能方程为公式(Smith, 1983)，横坐标为 Q_{gt} ，纵坐标为 P_{wf} ，预测出露点压力相对应的产能量，此值为露点压力以上生产的极限产量，为更多地采出凝析油，此产量可作为一个重要参数。

4 方法应用

塔北某凝析气藏有两口系统测试井和多口 DST 测试井,通过上面介绍的绝对无阻流量计算 3 种方法,计算结果见表 1。

由压力平方法、拟压力法和一点法计算结果(表 1)来看十分接近,其中一点法计算公式中 α 取 0.25,按陈元千教授推导的公式计算。在不同气田的应用

中,可根据资料的多少来选定其中的方法。

利用气井的绝对无阻流量确定合理产能中,取绝对无阻流量 1/4 存在一定的误差,针对性不强,为此可作气井类型曲线求取合理产能(图 1)。

图中 A 点为曲线开始明显向下弯曲的起始点,此点紊流引起的压力损失小,定为该井的合理产量, S15 井 Q_{gt}/Q_{AOF} 为 0.26,合理产量为 $12.6 \times 10^4 m^3/d$ 。

利用雅开 1 井的资料说明 IPR 曲线法(图 2)。

表 1 计算绝对无阻流量对比表

井号	绝对无阻流量(系统测试)($10^4 m^3/d$)		绝对无阻流量(DST)($10^4 m^3/d$)	
	压力平方法	拟压力法	一点法	平均
沙 15 井	48.49	49.48	56.07	51.74
			51.99	
			54.85	
			44.05	
雅开 1 井	58.69	57.80	50.69	57.19
			58.91	
			61.97	

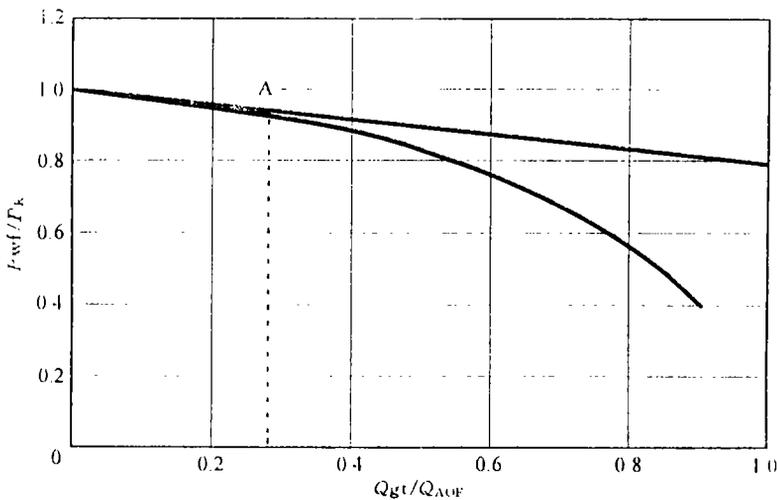


图 1 S15 井的类型曲线

本凝析气藏露点压力 54.50MPa,地层压力 58.22 MPa,由图 2 可见,3 条 IPR 曲线对应露点压力下的

产量为控制凝析油采出量的极限采气量,其 3 个值比较接近,在 $(11.4 \sim 14.0) \times 10^4 m^3$ 之间,平均

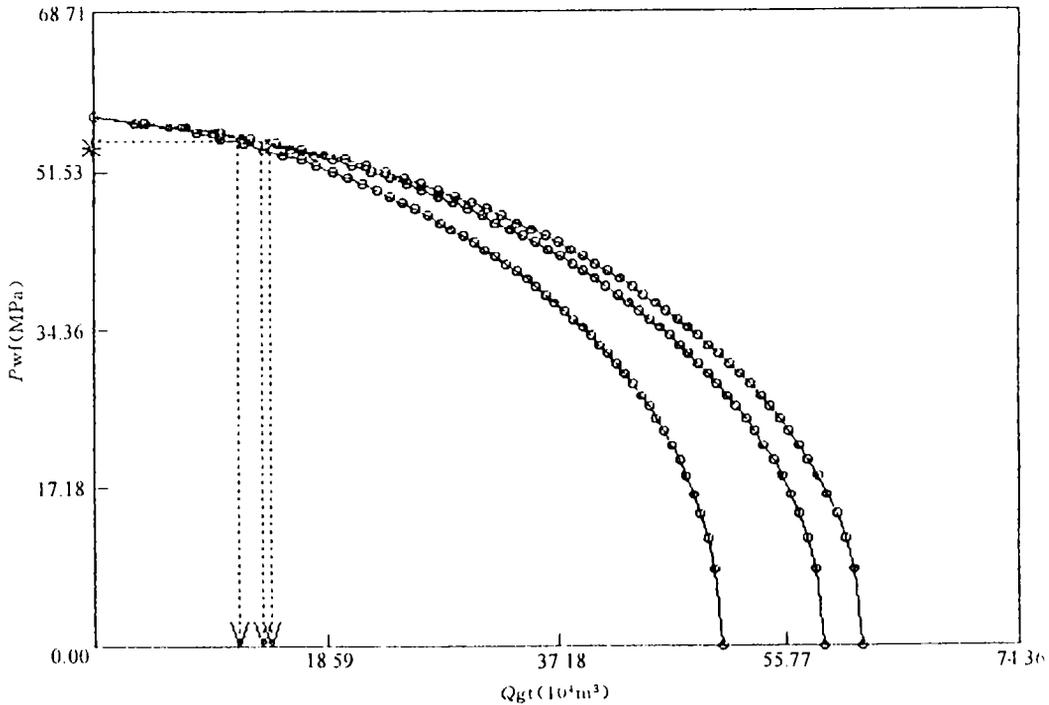


图2 雅开1井 IPR 生产预测曲线图

$13.6 \times 10^4 \text{m}^3$ 。这样,结合气井类型曲线法的结果可确定井区的合理产量为 $(12.6 \sim 13.6) \times 10^4 \text{m}^3$ 。

5 结论

由以上的计算来看,对一个凝析气田绝对无阻流量与合理产能计算,主要看测试资料的多少,测试资料多,绝对无阻流量可用压力平方法、拟压力法,一点法等多种方法综合确定,资料少则可用一点法计算。其合理产能确定则要多种方法综合确定。

参 考 文 献

- 1 陈元千. 油气藏工程计算方法. 北京:石油工业出版社,1990
- 2 秦同洛,李贇,陈元千. 实用油藏工程方法. 北京:石油工业出版社,1989
- 3 John Lee. well Testing. 1982.
- 4 阎敦实等. 中国油气井测试资料解释范例. 北京:石油工业出版社,1994
- 5 Smith R V. Practical Gas Engineering, 1983

(收稿日期:1996年12月19日)

STUDY AND APPLICATION OF METHOD FOR DETERMINING THE RATIONAL PRODUCTIVITY OF GAS—CONDENSATE WELL

Kang Zhijiang Qiu Liwei Li Tong

(Institute of Petroleum, CNSPC, Beijing 100083)

Chen Yuanqion

(Research Institute of Petroleum Exploration and Development, CNPC)

Abstract

This paper systematically introduced how to determine rational productivity of a gas—condensate well and present the procedure of formula deducing for determining the productivity, which was based on the absolute open flow(AOF) of gas — condensate well. Those methods have been applied to a gas — condensate reservoir of the north Tarim basin. The results indicated that the procedure is perfect and practical.