

doi: 10.11720/wtyht.2017.5.20

彭真, 李建伟, 白彬艳. 大牛地低产气井产气剖面测井资料解释方法探讨[J]. 物探与化探, 2017, 41(5): 928-932. <http://doi.org/10.11720/wtyht.2017.5.20>

Peng Z, Li J W, Bai B Y. A discussion on the interpretation method of gas production profile logging data in the Daniudi low yield gas well[J]. Geophysical and Geochemical Exploration, 2017, 41(5): 928-932. <http://doi.org/10.11720/wtyht.2017.5.20>

大牛地低产气井产气剖面测井资料解释方法探讨

彭真¹, 李建伟², 白彬艳²

(1. 中国地质大学(武汉)地球物理与空间信息学院, 湖北 武汉 730000; 2. 中石化华北石油工程有限公司, 河南 郑州 450006)

摘要: 当气井产量较低时, 由于气相速度不足以将地层产水带出井筒, 随着开发的时间推移, 井筒内积液将不断增多, 最终造成气井水淹, 影响气井产能。文中建立了气携水状态下的力学模型, 用于计算气携水流动状态下的气相流量, 并根据井筒中上、中、下三段流型特征, 提出了三段式气相流量计算方法。将该解释方法用于大牛地低产气井产气剖面测井资料的解释, 结果表明新方法的解释结果和实际生产状况更吻合, 提高了解释精度。

关键词: 大牛地; 气相流量; 低产气井; 产出剖面; 解释方法

中图分类号: P631

文献标识码: A

文章编号: 1000-8918(2017)05-0928-05

0 引言

大牛地气田大多为低孔低渗砂岩储层, 绝大部分油气井产量低、生产情况相差很大, 生产井中日产气 1~2 万 m^3/d 的井占总开井数 16.2%, 高于 2 万 m^3/d 的井占总开井数 1.8%, 绝大部分井产气量小于 1 万 m^3/d , 且地面不产水或产水量极少。这些低压、低产气井产能普遍较差, 不能满足携液要求, 部分气井井底或井筒存在积液, 不断上升的静水柱会降低储层与井筒间的压差, 气井出现频繁水淹, 严重影响了气井连续稳定生产^[1-2]。

当气井出现积液时, 井筒中会出现气携水等特殊情况。通过一些低产气井的产出剖面测井资料发现, 与常规气井相比, 产出剖面测井曲线明显异常。大牛地气田大部分气井自下而上流体密度值逐渐减小, 气携水流动现象明显。喇叭口附近及上部流体密度约为 $0.2 \text{ g}/\text{cm}^3$, 为单相气或气中带少量水, 下部流体密度值为 $1.0 \text{ g}/\text{cm}^3$, 为单相水或水中带少量气, 中部密度介于 $0.2 \sim 1.0 \text{ g}/\text{cm}^3$ 之间。从测井曲线看, 井筒内表现为上部为单相气流动、下部为气水两相流动。此类低产气井井筒内普遍存在气携水流

动, 流体类型及流型复杂, 测井曲线特征不同于单相气井, 无法用常规气井解释模型进行处理。为此, 结合大牛地区块的实际情况, 开展了低产气井多相流产出剖面力学模型与解释方法研究, 提高了测井解释精度, 确保了低产气井平稳生产, 延长低产气井生产期。

1 气携水力学模型

当气井产量较低时, 由于气相速度不足以将地层产水带出井筒, 气流中的液滴直径不断增大, 气流携带液滴困难, 液滴下滑回落到井底形成积液。当井底积液时, 气井表现为井口只产纯气, 不产水或少量水, 井口压力快速下降, 井底液面缓慢上升, 液体以液膜、液滴形式滞留井筒中, 气井产气量迅速下降^[3-5]。

基于管流理论及实验分析, 笔者认为低产气井井下流体介质有单相气、气水两相两种情况。单相气流动多出现在喇叭口附近及上部, 气水两相又分为两部分, 下部水不流动, 气呈泡状上升, 上部气塞呈不规则状携带着水翻滚向上流动, 井筒周围出现水回落现象, 整体上气向上流, 水呈循环流动状态。

收稿日期: 2017-03-29

作者简介: 彭真(1984-), 男, 高级工程师, 河南信阳人, 从事测井技术管理工作。Email: hbcjpz@163.com

对于油田直井气井,由于产量低,井筒中心点流体速度最大,四周逐渐减小且对称分布。直井井筒中流型分布如图1。

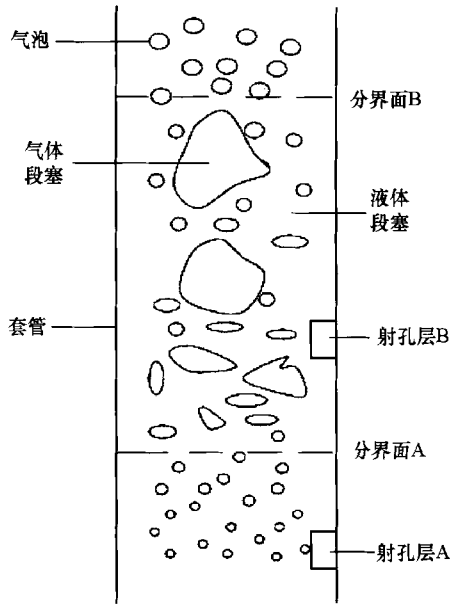


图1 井筒流型分布

对于气水两相流动的研究,首先要从单个液滴的动力学研究入手。因为气水两相流动是由大量气泡在液体中相对运动形成的,所以整个气水两相流动的运动特性是单个液滴运动特性的“整体”表现。单个液滴受浮力、重力、其他力(图2),当合力方向向上时,液滴将在井筒中向上运动。

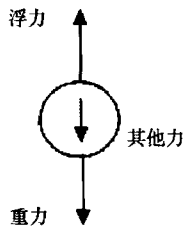


图2 液滴受力分析

液滴在运动过程中开始变形,变成大扁椭球形液滴。对于大扁椭球形液滴,液滴的形状可按扁柱体处理^[6-7]。假设液滴在气流中以速度 v 运动,它受到的前、后压力不同,存在一个压差 Δp 。由伯努利方程得出

$$\Delta p = 10^{-6} \rho_c v^2 / 2, \tag{1}$$

式中: ρ_c 为气体密度, v 为液滴速度。

受这一压差的作用,液滴呈椭球形。在表面张力和压力差的作用下,椭球形液滴维持现状,其平衡条件为:

$$\Delta p S h / 10^{-6} + \sigma S = 0, \tag{2}$$

式中 S 为水滴的迎流面积, h 为液体厚度, σ 为表面张力系数。

由于液滴是由球形变为椭球形的,其体积 V 保持不变,则

$$V = S h = \frac{\pi d^2}{6}, \tag{3}$$

式中 d 为球形液滴直径。

由式(2)可得:

$$\Delta p S / (10^{-6} \sigma) = - S / h, \tag{4}$$

由式(3)可得: $S = V / h$, 两边对 h 微分得

$$\delta S / \delta h = - V / h^2 = - S / h, \tag{5}$$

由式(4)式和式(5)可得

$$h = 10^{-6} \sigma / \Delta p, \tag{6}$$

将式(1)代入式(6)得

$$h = 2 \sigma / (\rho_c v^2), \tag{7}$$

将式(7)代入式(3)得

$$S = \rho_c v^2 V / (2 \sigma). \tag{8}$$

对于椭球形液滴受气体的拽曳力 F_1 为

$$F_1 = \rho_c v^2 S C_d / 2 = \frac{C_d \rho_c^2 v^4 \pi d^3}{24 \sigma}, \tag{9}$$

式中: C_d 为曳力系数,反映了颗粒在不同物性的流体中的阻力大小程度,这些物性包括:流体的粘度、气水的表面张力等。

水滴垂直方向的浮力 F_2 和重力 F_3 分别为

$$F_2 = \rho_c g \frac{\pi d^3}{6}, \tag{10}$$

$$F_3 = \rho_L g \frac{\pi d^3}{6}. \tag{11}$$

式中: g 为重力加速度; ρ_L 为液体密度,当液滴在气流中的受力达到平衡时,它下落的速度为 v 。当气流速度 v_g 稍微大于 v 时,液滴将被带出地面。因此,当 $v_g = v$ 时即为所求气体携液的最小速度。处于平衡状态下的液滴,根据受力平衡得

$$(\rho_L - \rho_c) g \frac{\pi d^3}{6} = \frac{C_d \rho_c^2 v^4 \pi d^3}{24 \sigma}, \tag{12}$$

求解方程得到临界速度:

$$v = \sqrt[4]{\frac{\rho_L - \rho_c}{C_d \rho_c^2} 4 g \sigma}. \tag{13}$$

当气体速度小于临界速度时,液体在井筒中不流动,表现为井筒下段的水中有气泡向上流动和井筒上段单相气的流动;当气体速度等于临界速度时,液体悬浮在井筒中,也就是井筒中段气携水状态;当气体速度大于临界速度时,气体携带水流出地面。

2 低产气井产出剖面测井资料解释方法

对于有积液的气井,上下部流体性质差异明显,表现为上部为单相气,下部为气水两相,井筒中流体可能由下段的单相水转为中段的泡状流动的气水两相或转为气携水扰动再转为上段的单相气。由于气携水影响,传统的单相气或气水两相流动解释不完全适应^[8-9]。如果看作单相气处理,则下部的气水两相处理错误;如果看作气水两相处理,则上部的气相处理错误。尤其是低产气井的中部多出现扰动现象,目前没有对应的解释方法模型。如果应用传统的单相气或气水两相流动解释模型解释低产气井,则必然出现不同程度的错误。气携水扰动程度若很轻,可能错误不明显或基本正确,但中重度气携水扰动气井的解释会出现较明显的偏差。如果处理解释人员经验不足,未加人工干预,其错误在所难免。笔者认为,针对井筒中上、中、下三段典型的流型特征,可以采取不同的解释模型来处理^[10-11]。

2.1 上段

井筒中的上段为单相气,根据单相流动规律,可得解释层段井筒内气的流量为^[12]

$$q = C_v \cdot V_a \cdot A, \tag{14}$$

其中: $C_v = \frac{V_m}{V_a}$ 中, V_a 为视流体速度,可根据涡轮流量计测井曲线求得; C_v 为速度剖面校正系数,由经验公式确定,一般分布在0.5~0.8,对于层流为0.5,对于紊流为0.82~0.83^[13];A为套管截面积。

2.2 中段

该段轻质气向上流动,而被携带重质水在此上下循环流动。上段没有向上流动的水,则可认为上下流动的水对涡轮流量计的影响基本相抵,水流量为0,气体速度由临界公式计算:

$$v = \sqrt[4]{\frac{\rho_L - \rho_G}{C_d \rho_G^2} 4g\sigma}, \tag{15}$$

气相流量为

$$q = v \cdot A。 \tag{16}$$

2.3 下段

该段一般为气水两相流动,可按两相流动漂流模型进行资料解释。若为气水两相流动,其漂流模型^[14]为

$$q_g = AY_g \left[1.2C_v V_a + 1.53 \left(\frac{gD(\rho_L - \rho_G)}{\rho_L} \right)^{0.5} \right], \tag{17}$$

式中: Y_g 为持气率,D为管子直径。

3 应用实例

图3是A井2012年产出剖面测井成果。从图中可以看出,A井2635.5 m以下流体密度约为1.12 g/cm³,持水计数率约为11 000 cps;2611.5 m以上流体密度约为0.17 g/cm³,持水计数率约为29 000 cps。该井共有4个射孔层。图中流体密度曲线上部与下部差异明显,井筒2635.5 m处有明显的分界面,积液面位于最上一个射孔层的上部,表明该井井底重度积液,所有射孔层均受积液影响。该井为特殊的气携水气井。

根据三段式解释模型,对A气井产出剖面测井资料进行了解释。取 $\rho_G = 0.17 \text{ g/cm}^3$, $\rho_L = 1.12 \text{ g/cm}^3$,套管内径 $D = 12.46 \text{ cm}$,天然气体积系数 $B_g = 1/190$,按不考虑和考虑气携水现象两种情况,分别采用正常气井解释方法和上述气携水解释方法处理该井资料,结果如表1所示。与地面计量的产气量相比,考虑气携水现象采用新方法解释求得的产气量误差较小。

表1 A井产出剖面解释结果对比表(重度气携水)

解释层位	产出层段/m	不考虑气携水		考虑气携水	
		产气量/(m ³ /d)	结论	气产量/(m ³ /d)	结论
1	2635.5~2638.5	6868.4	主产层	7587.60	主产层
2	2857.0~2862.0	174.15	微产层	14.47	微产层
3	2895.0~2897.5	1287.45	次产层	1.29	微产层
4	1931.0~2933.0				
总计产气量/(m ³ /d)		8330.00		7603.36	
地面计量产气量/(m ³ /d)		7100		7100	
相对误差/%		17.32		7	

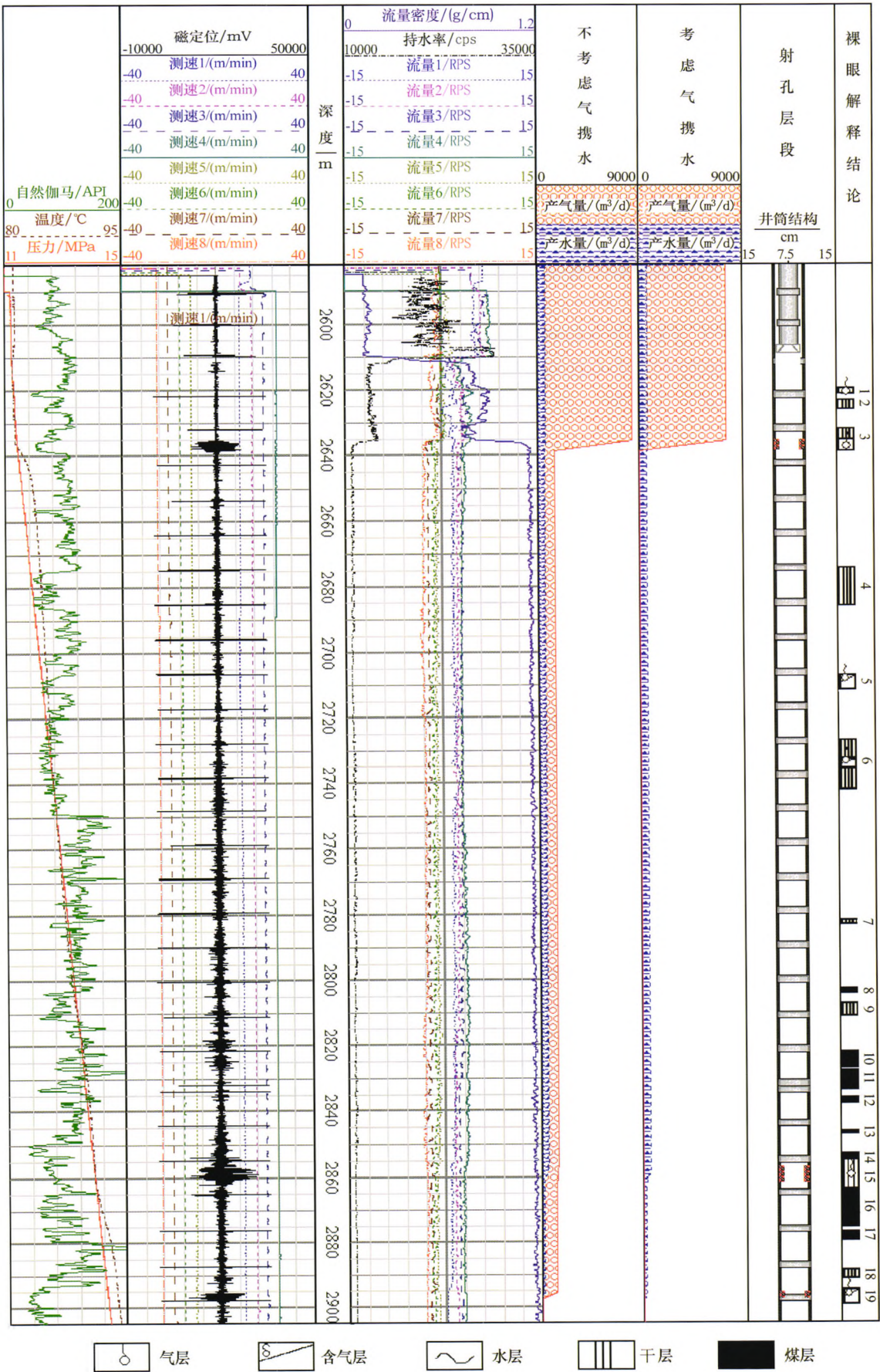


图 3 A 井产出剖面测井成果

4 结论与讨论

1) 大牛地地区为低孔低渗砂岩储层,绝大部分气井产量低,气携水现象严重,对于此类气井的产气剖面测井资料,不能采用常规的气井解释模型处理资料。

2) 基于大牛地地区气井上、中、下三段流型特征,分析了气携水状态下的力学模型,提出了三段式气相流量计算方法,与实际生产状况吻合性更高,有助于提高大牛地地区产出剖面测井资料解释精度。

3) 气携水气井中部循环流动水的流动规律及其循环量的估算有待于进一步研究。

参考文献:

[1] 于俊波,艾尚军,尉可珍,等.气井积液分析[J].大庆石油学院学报,2000,24(2):5-7.
[2] 周波,戴家才,秦明君,等.载水气井产出剖面测井解释方法[J].石油天然气学报,2013,35(9):84-87.
[3] 李晓平.采气工艺中几个问题的探讨[J].钻采工艺,1993,16(3):75-77.

[4] 李晓平.浅谈判别气井井底积液的几种方法[J].钻采工艺,1992,15(2):41-44.
[5] 穆林,王丽丽,温艳军.气井积液动态分布研究[J].石油天然气学报,2005(s2):144-146.
[6] Turner R G, et al. Analysis and prediction of minimum flow rate for the continuous removal of liquids from gas wells. JPT, 1969, 1475-1482.
[7] 李闯,郭平,谭光天.气井携液新观点[J].石油勘探与开发,2001,28(5):105-106.
[8] 戴家才,郭海敏,秦民君,等.载水油气井生产测井方法研究[J].中国测试技术,2006,32(1):5-7.
[9] 郭海敏,戴家才,陈科贵.生产测井原理与资料解释[M].石油工业出版社,2007.
[10] 郑希科,谭廷栋,李进旺,等.油水两相流动漂流模型的研究[J].测井技术,1998,22(3):178-182.
[11] 谭增驹,王成荣,宋君,等.注产气剖面高压密闭测试技术在塔里木油田的应用[J].测井技术,2003,27(5):423-426.
[12] 张荣新,张炳军,洪琪,等.浅析气井动态监测施工工艺技术[J].测井技术,2003,27(3):258-260.
[13] 李海青,乔贺堂.多相流检测技术进展[M].北京:石油工业出版社,1996.
[14] 斯仑贝谢公司.生产测井解释及其流体参数换算[M].北京:石油工业出版社,1995.

A discussion on the interpretation method of gas production profile logging data in the Daniudi low yield gas well

PENG Zhen¹, LI Jian-Wei², BAI Bin-Yan²

(1. Institute of Geophysics and Space Information, China University of Geosciences, Wuhan 730000, China; 2. China Petroleum Engineering Company of SINOPEC, Zhengzhou 450006, China)

Abstract: When the gas yield is low, the gas velocity is not enough to take formation water out of the wellbore. As development time goes on, wellbore fluid will continue to increase, resulting in watering of gas well, which influences gas well productivity. In this paper, the mechanical model of the gas carrying water is established, which is used to calculate the gas flow in the gas carrying water dynamic state. According to the flow pattern characteristics of the upper, middle and lower sections of the wellbore, the three-section calculation method of gas phase flow is presented. The interpretation method is used to explain the log data of gas production profile in the low yield gas well. The interpretation result of the new method is more consistent with the actual production condition, which improves the accuracy of interpretation.

Key words: Daniudi; gas phase flow; low yield gas well; production profile; interpretation method

(本文编辑:沈效群)