

小型压裂与主压裂对比分析及对裂缝垂向延伸规律研究

王晓泉¹ 王振铎¹ 雷群² 柴瑞林² 闵琪²

(1. 中国石油勘探开发研究院廊坊分院 2. 中国石油长庆油田分公司)

王晓泉等. 小型压裂与主压裂对比分析及对裂缝垂向延伸规律研究. 天然气工业, 2004; 24(4): 36~37

摘要 小型压裂是认识储层特征、为主压裂设计和修改提供依据的一种重要手段。但是对于气藏特别是低渗气藏, 考虑到储层伤害及排液影响, 进行小型压裂测试的机会不多。文章介绍了小型压裂和主压裂技术在我国某低渗气藏的应用情况, 并通过小型压裂的井温曲线分析、小型压裂净压力拟合分析、主压裂净压力拟合分析, 提出必须将小型压裂与主压裂资料综合分析, 才能做到既认识储层, 又达到了优化压裂设计的目的。同时还研究了两种压裂方式对裂缝垂向延伸的影响。

关键词 小型压裂 主压裂 低渗气藏 净压力 拟合 垂向延伸 水力裂缝

小型压裂技术可以分析压裂施工的地层滤失系数、地层渗透率、闭合应力等地层参数。特别大型压裂施工前, 小型压裂可以进一步了解地层特征, 计算压裂液及近井筒区域的摩阻压力损失, 为主压裂提供必要的基础数据。

目的井储层特征

目的井储层数据见表1, 从物性上看, 属于低孔特低渗储层, 根据优化压裂设计的结果, 该井压裂改造方案是进行加砂 80 m³ 的大型压裂。

表1 目的井储层数据表

井段 (m)	厚度 (m)	电阻率 ($\Omega \cdot m$)	时差 ($\mu s/m$)	孔隙度 (%)	含气饱和度 (%)	渗透率 ($10^{-3} \mu m^2$)
3275.2~3278.0	2.8	22.0	245.0	12.1	52.8	0.793
3289.0~3294.7	5.7	80.0	223.0	7.9	61.5	0.325

为了保证该井大型压裂施工的顺利进行, 在大型压裂施工之前进行了小型压裂, 并测出停泵后的压力递减数据和曲线, 然后根据递减数据进行净压力的拟合, 求出小型压裂的裂缝几何尺寸、闭合时间、闭合压力、滤失系数、压裂液摩阻等参数, 为大型压裂实施提供决策依据。

小型压裂实施及分析

1. 小型压裂实施情况

该井小型压裂施工的技术参数为: 排量 5.2 m³/min, 压裂液 76 m³, 施工时间 15 min。施工最高压力 72 MPa, 一般压力 45~48 MPa, 停泵压力 25 MPa。

2. 小型压裂压力拟合分析

压力拟合的根据是为了估算压裂裂缝尺寸, 需要拟合测定净压力的变化趋势。为了准确地模拟水力压裂的施工过程, 必须知道具有相当精确度的井底压力。根据井底压力, 通过使用下列公式, 可以计算净压力(高于闭合应力的压裂裂缝内部的液体压力):

$$p_{net} = p_{surface} + p_{head} - p_{friction} - p_{closure} - p_{perf/Wellbore}$$

净压力是由模拟软件计算得到, 它是测定的排量、压裂液流变参数、支撑剂浓度和储藏参数的函数。该井小型压裂解释结果如下: 闭合压力 50.4 MPa, 闭合时间 20.6 min, 滤失系数 $9.6 \times 10^{-4} m/min^{1/2}$, 压裂液摩阻 23 MPa。

大型压裂实施及分析

1. 大型压裂设计的调整

根据小型压裂实施及拟合分析, 压裂层滤失系数 $9.6 \times 10^{-4} m/min^{1/2}$, 表明压裂液滤失并不严重, 大型压裂(主压裂)时可以适当降低前置液百分比,

作者简介: 王晓泉, 工程师, 1968年生, 1995年毕业于西南石油学院石油工程系, 中国石油勘探开发研究院研究生院在读硕士; 现在中国石油勘探开发研究院廊坊分院压裂酸化技术服务中心从事压裂酸化技术研究工作。地址: (065007) 河北省廊坊市 44 号信箱压裂中心。电话: (010) 69213489。

减少前置液量,从减少低渗、低压气藏的人井液量,可以适当降低压裂液对气层的伤害。另外,压裂液摩阻 23 MPa,表明 5.0 m³/min 排量可以满足压裂施工对井口设备的要求。因此,实际主压裂施工将前置液由原设计的 210 m³ 降低到 200 m³,施工排量由原设计的 4.8 m³/min 提高到 5.0 m³/min,液氮排量由原设计的 0.4 m³/min 提高到 0.42 m³/min。

2. 大型压裂实施情况

该井大型压裂施工液量 483 m³ (前置液 200 m³,携砂液 283 m³),加砂 80.0 m³,砂液比 28.3%,排量 5.0 m³/min,液氮排量 0.42 m³/min。施工最高压力 64 MPa,一般施工压力 58 MPa,停泵压力 30 MPa。

3. 大型压裂压力拟合分析

压后对大型压裂施工曲线进行了拟合,由拟合的净压力的分布可以看出,总体上净压力是逐步减少的,表明裂缝延伸受到一定程度的限制,这从施工泵压上看到压力逐步上升是一致的。施工初期阶段,净压力较高,可能有两个原因,一是储层具有潜在的多缝效应,在前置液阶段滤失增加,使得净压力较高;二是由于进行过小型压裂,大型压裂时就相当于重复压裂,重复压裂的水力裂缝起裂与延伸机理复杂,导致开始时裂缝扭曲而使净压力较高,但当裂缝延伸到一定程度以后就恢复正常。

小型压裂和大型压裂对裂缝垂向延伸的影响

1. 小型压裂的裂缝垂向延伸研究

利用 Fracpro PT 三维压裂设计软件拟合小型压裂施工曲线后计算的裂缝垂向延伸图分析,可以看出,该井上下层相差 11 m,且泥岩隔层遮挡能力较好,阻挡了小型压裂的上下裂缝的垂向延伸。这与该井小型压裂施工前后的井温测井结果比较一致。

2. 大型压裂的裂缝垂向延伸研究

由大型压裂压力拟合后裂缝延伸图分析可以看出,裂缝是双缝。下缝由于射孔厚度较大(5 m),射孔数目多,进液多,裂缝延伸较快,而上缝由于射孔厚度小(2 m),在一定程度上就受到限制,但裂缝延伸 75 min 时下面裂缝逐渐突破中间遮挡层而延伸到上面一层。

再从多裂缝特征看,小型压裂和主压裂的压力拟合中多裂缝特征是不一样的,因为小型压裂的液体量少;而主压裂的液体量大得多,加砂量多。因而两次裂缝形态的完全不同是可以理解的。由于该井是低压气井,为了防止井温测井对该井造成一定的

伤害,大型压裂后没有进行井温测井。但在拟合大型压裂压力时,地层特征参数均按小型压裂拟合后的参数进行的,因此其计算结果应该还是比较可靠的。

认识与结论

(1)在大型压裂施工之前进行小型压裂,并根据压力递减数据进行净压力的拟合,可以求出小型压裂的裂缝几何尺寸、闭合时间、闭合压力、滤失系数、压裂液摩阻等参数,为大型压裂优化设计的修改与实施提供依据。

(2)小型压裂和大型压裂的裂缝垂向延伸状况是不一样的,导致裂缝形态有较大差异,对于多层(两层或两层以上)压裂的裂缝形态差异更加明显。

(3)通过小型压裂和大型压裂的压裂压力进行拟合对比分析,同时结合小型压裂的井温测试,进一步认识了此类气田的裂缝垂向延伸状况。

符号说明

$p_{\text{Bottomhole}}$ 为井底压力,MPa; p_{Surface} 为在地面处测定的施工压力,MPa; p_{Head} 为井筒中的静水柱压力或压裂液重力,MPa; p_{Friction} 为在管柱中的摩阻压力损失,MPa; p_{Net} 为净压力,MPa; p_{Closure} 为作用在压裂裂缝壁面上的闭合应力,MPa; $p_{\text{Perf. Wellbore}}$ 为跨过射孔眼的压力损失和跨过邻近井筒区域的压力损失(它是由于压裂液通道的扭曲而产生的),MPa。

参考文献

- 1 姚飞,王晓泉. 水力裂缝起裂延伸与闭合的机理研究. 钻采工艺, 2000;23(2):21~24
- 2 Hareland G, Rampersad P R. Hydraulic fracturing design optimization in low-permeability gas reservoirs. SPE 27033, 1994
- 3 Raymond L Johnson. The application of hydraulic fracturing models to characterize fracture treatments in the brushy canyon formation, delaware group, Eddy County, New Mexico. SPE 35195, 1996
- 4 Chudnovsky A, Fan J, Shulkin Y *et al.* A new hydraulic fracture tip mechanism in a statistically homogeneous medium. SPE 36442, 1996
- 5 Romero J, Mack M G, Elbel J L. Theoretical model and numerical investigation of near-wellbore effects in hydraulic fracturing. SPE 30506, 1995
- 6 Hainey B W, Weng X, Stoitsits R F. Mitigation of multiple fracture from deviated wellbores. SPE 30482, 1995
- 7 C J de pater, Jean Desroches, Jeroen Groenenboom, Leen Weijers. Physical and numerical modeling of hydraulic fracture closure. SPE 28561, 1994

(收稿日期 2003-10-29 编辑 钟水清)