

文章编号: 1001-6112(2011)02-0212-03

异常高压气藏应力敏感性实验研究

潘伟义, 伦增珉, 王卫红, 刘 华

(中国石油化工股份有限公司 石油勘探开发研究院, 北京 100083)

摘要:异常高压气藏压力系数高, 渗流机理不同于常规气藏, 开发过程中存在岩石形变, 对气藏开动态及开发效果影响很大, 因此开展应力敏感性研究对异常高压气藏的开发具有重要意义。利用超高压岩心驱替流程分别对基质型、充填裂缝型和裂缝型岩心进行了应力敏感性实验, 研究结果表明: 异常高压气藏具有很强的应力敏感性, 随着净围压的增加, 渗透率初始下降比较快, 逐渐趋于平稳, 渗透率的变化规律符合幂指数形式; 基质型岩心的应力敏感性最大, 充填裂缝型岩心次之, 裂缝型岩心的应力敏感性最小; 异常高压气藏岩石在应力作用下弹性变形很小, 主要发生塑性变形, 岩心的应力敏感性是不可逆的。

关键词:净围压; 渗透率; 应力敏感性; 异常高压气藏

中图分类号: TE37

文献标识码: A

Experimental study of stress sensitivity in abnormal overpressure gas reservoir

Pan Weiyi, Lun Zengmin, Wang Weihong, Liu Hua

(SINOPEC Petroleum Exploration & Production Research Institute, Beijing 100083, China)

Abstract: In abnormal overpressure reservoir, pressure coefficient is high and percolation flow mechanism is different from those of conventional reservoir. During development, rock may deform, influencing production greatly. So, it is very important to carry out stress sensitivity research in abnormal overpressure reservoir. With superhigh pressure core displacement method, stress sensitivity experiments were done in matrix, fracture filled and fractured core samples. It is concluded that abnormal overpressure reservoir is very sensitive to stress. As net confined pressure increases, permeability decreases quickly at first, and then becomes stable, corresponding to power exponent form. Matrix core has the strongest stress sensitivity, fracture filled core the second, and fractured core the worst. Rock in deforms weakly when stressed, mainly plastic. The stress sensitivity of core is irreversible.

Key words: net confined pressure; permeability; stress sensitivity; abnormal overpressure gas reservoir

随着油气田勘探开发技术的进步, 异常高压气藏在我国天然气资源中所占的比例越来越大。目前我国探明的高压和超高压气藏已占气藏总数的 1/3 以上。这是一类特殊的气藏, 其渗流特征不同于一般的常规气藏。该类气藏由于地压系数高、原始地层压力高, 在衰竭式开采过程中, 随着气藏压力的下降, 岩石骨架承受的有效应力会大幅度增加, 从而使岩石发生显著的弹塑性形变, 岩石渗透率、孔隙度和压缩系数等物性参数减小, 明显影响气藏的最终开发效果^[1-6]。

河坝地区控制储量 $743.4 \times 10^8 \text{ m}^3$, 约占普光外围气田的 21%, 是普光外围气田重要产气区。河坝地区地层压力 95 MPa 以上, 压力系数高达 2.0 以上, 是典型的异常高压气藏。储层段岩样的

孔隙度主要在 10% 以下, 渗透率一般小于 $10 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$, 属于低孔低渗储层; 储层储集类型是孔隙—裂缝双重介质型, 裂缝起到了连通的作用, 易发生应力敏感性。

由于实验条件和设备的限制, 目前研究应力敏感性的测试压力大都在 70 MPa 以下^[7-10], 与异常高压气藏的地层条件相差较大, 无法真实地模拟气藏开发过程。笔者采用自主建立的超高压岩心驱替流程针对河坝地区储层开展了应力敏感性实验, 对基质型、充填裂缝型和裂缝型岩心的应力敏感性进行了对比分析, 得出了该类储层的应力敏感性规律。

1 实验方法

地层应力敏感性是指岩石所受净应力改变时,

收稿日期: 2010-05-18; 修订日期: 2011-03-11。

作者简介: 潘伟义 (1980—), 男, 工程师, 从事开发试验和提高采收率技术研究。E-mail: weiyi_pan@163.com。

基金项目: 中国石化股份公司科技开发部项目 (P08070)。

孔喉通道变形、裂缝闭合或张开,导致岩石渗流能力变化的现象^[11]。通常应力敏感性实验采用以下2种方法^[12]:围压升高法和定围压变内压。定围压变内压包括3种方法:①降低出口孔隙压力,入口端保持地层压力,生产压差不断的增大;②入口端达到地层压力后关闭,打开出口端直至压力降低到废弃压力;③初始入口端压力等于地层压力,出口和入口保持一定的压差,实验过程中出口和入口压力同步下降,直至废弃压力。一般气藏开发过程中,上覆压力不变,生产压差基本保持不变,因此仅有定围压变内压中②③两种方法更符合气藏开发实际,其中方法②与气藏开发过程最相似,但由于岩石孔隙体积小,一般小于1 mL,气体衰竭过程短,实验没有可行性。综上所述,选择定围压变内压中的方法③为本研究的实验方法。

实验中围压等于气藏上覆岩层压力,岩心入口端压力由气层压力逐渐降低直至气藏废弃压力。实验过程中岩心入口压力和出口压力保持一定的压差,各测点入口压力和出口压力同步下降,在气体可流动的情况下出入口压差不变。

2 实验流程

超高压岩心驱替流程主要包括超高压岩心夹持器、高压驱替泵、高压压力传感器和高压气样瓶(图1),该流程最高工作压力可达150 MPa。

具体实验步骤包括:①样品烘干,测量样品的孔隙度和渗透率,实验流体采用纯度为99.999%的氮气;②将样品装入岩心夹持器中,并按照实验流程图连接实验流程;③按照地层条件对岩心施加围压和驱替压力,围压和流压同步缓慢施加,为避免造成岩心的人为破坏,施加过程中岩心出入口相通;④保持围压和驱替压力24h以上,使岩心恢复

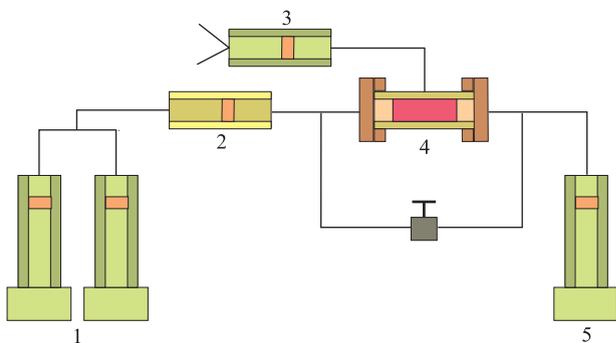


图1 超高压岩心驱替实验流程示意

1. 注入泵;2. 高压气样瓶;3. 围压泵;4. 岩心夹持器;5. 回压泵

Fig. 1 Flow chart of superhigh pressure core displacement experiment

地层条件;⑤关闭岩心出入口的连通阀,降低回压泵压力,使岩心两端建立压差,待气体流动稳定后,记录岩心出口端、入口端的压力和出口端流量;⑥保持围压不变,同步降低岩心两端的压力,逐步增大净围压,记录各点数据,直到岩心入口压力达到废弃压力为止。

3 实验结果

3.1 有效应力变化对渗透率的影响

按照实验步骤分别对基质型、充填裂缝型和裂缝型岩心进行了应力敏感性实验,岩心的气测渗透率分别为 0.0461×10^{-3} , 0.117×10^{-3} , $13.9 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$,实验中围压分别为120, 120, 123.7 MPa,入口端初始压力分别为101.2, 101.4, 111.6 MPa。实验结果如图2,图2中无因次渗透率等于各点渗透率与初始点渗透率的比值,净围压是岩心所受围压与岩心两端平均压力的差值。

由图2可以看出随着有效应力的增加,各类型岩心的渗透率初始下降得比较快,逐渐的趋于稳定,曲线的变化规律符合幂指数的形式,曲线的拐点在35~40 MPa之间;有效应力在35 MPa时,基质型岩心的渗透率损失近90%,充填裂缝型和裂缝型岩心渗透率损失近70%;在有效应力76 MPa附近,基质型岩心气体已经基本不能流动,充填裂缝型岩心有效应力达到105 MPa时渗透率保留率在2.5%,裂缝型岩心有效应力达到106 MPa时渗透率保留率在8%。可以看出,基质型岩心的应力敏感性最大,充填裂缝型岩心次之,裂缝型岩心的应力敏感性最小。

3.2 压力恢复对渗透率的影响

在气田开发过程中,常有多次开井和关井的情况,对于强应力敏感性的储层,每次开关井都会对

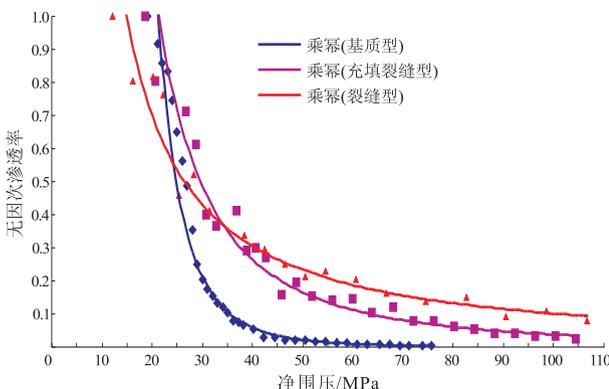


图2 岩心无因次渗透率与净围压的关系

Fig. 2 Relationship between dimensionless permeability and net confined pressure in core

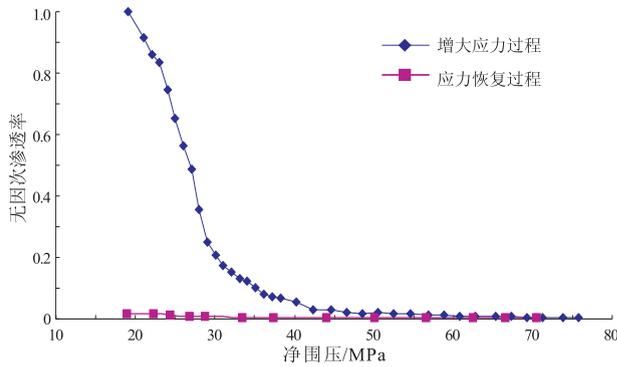


图 3 岩心压力恢复曲线

Fig. 3 Build-up curve of core pressure

渗透率产生一定的影响。为了更好地评价这种影响是否可逆,我们对应力敏感性最强的基质型岩心进行应力恢复实验,实验结果如图 3。

如图 3 所示,当有效应力恢复到 19 MPa 时,渗透率保留率仍然低于 2%。实验后将岩心取出放置 72 h,岩心气测渗透率仅为初始气测渗透率的 1/10,说明岩石弹性变形比较小,主要发生塑性变形,岩心的应力敏感性是不可逆的。

4 结论

1)异常高压气藏具有很强的应力敏感性,随着净围压的增加,渗透率初始下降比较快,逐渐趋于平稳,渗透率的变化规律符合幂指数形式。

2)异常高压气藏基质型岩心的应力敏感性最大,充填裂缝型岩心次之,裂缝型岩心的应力敏感性最小。天然气在基质型岩心中的流动通道主要是微裂缝,在应力作用下微裂缝更容易闭合。

3)异常高压气藏岩石在应力作用下弹性变形很小,主要发生塑性变形,岩心的应力敏感性是不可逆的。因此在气藏衰竭式开采的过程中,确定合理的生产制度是非常必要的。

参考文献:

[1] 谢爱华,刘社芹. 东濮凹陷桥口低渗气藏储层敏感性及对策研究[J]. 石油与天然气地质,2008,29(3):365-368.

[2] 刘启国,唐伏平,冯国庆,等. 开关井不同程度应力敏感效应对井底压力动态的影响[J]. 石油与天然气地质,2007,28(4):523-527.

[3] 吴凡,孙黎娟,管非,等. 低渗透油气藏应力敏感性评价实验新方法[J]. 油气地质与采收率,2007,14(4):95-97.

[4] 向祖平,张烈辉,李闯,等. 储层应力敏感性对异常高压低渗气藏气井产能影响研究[J]. 石油天然气学报,2009,31(2):145-148.

[5] Fatt I, Davis D H. Reduction in permeability with overburden pressure[J]. AIME, 1952,195:329.

[6] Zhang M Y, Ambastha A K. New insights in pressure-transient analysis for stress sensitive reservoirs[C]. SPE28420, 1994:617-627.

[7] 马收,杨其彬,隋文,等. 低渗透裂缝性储层应力敏感性评价[J]. 油气地质与采收率,2006,13(5):88-90.

[8] 李孟涛,姚尚林,单文文. 低渗透气藏应力敏感性实验研究[J]. 大庆石油地质与开发,2006,25(6):69-72.

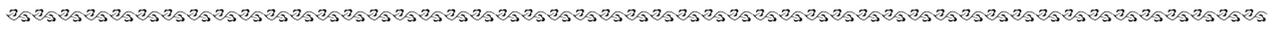
[9] 徐艳梅,郭平,黄伟岗,等. 大牛地气田储集层应力敏感性研究[J]. 特种油气藏,2007,14(3):72-74.

[10] 刘静,康毅力,陈锐. 碳酸盐岩储层损害机理及保护技术研究现状与发展趋势[J]. 油气地质与采收率,2006,13(1):85-86.

[11] SY/T5358-2002 储层敏感性流动试验评价方法[S]. 北京:石油工业出版社,2002.

[12] 郭平,张俊,杜建芬,等. 采用两种实验方法进行气藏岩芯应力敏感研究[J]. 西南石油大学学报,2007,29(2):7-9.

(编辑 徐文明)



(上接第 211 页)

[10] 窦伟坦,田景春,王峰,等. 鄂尔多斯盆地长 6 油层组储集砂岩成岩作用及其对储层性质的影响[J]. 成都理工大学学报(自然科学版),2009,36(2):153-158.

[11] 于波,崔智林,刘学刚,等. 西峰油田长 8 储层砂岩成岩作用及对孔隙影响[J]. 吉林大学学报(地球科学版),2008,38(3):405-409.

[12] 朱玉双,柳益群,赵继勇,等. 不同流动单元微观渗流特征研

究:以华池油田长 3 油藏华 152 块为例[J]. 石油实验地质,2008,30(1):103-108.

[13] 孙卫,曲志浩,李劲峰. 安塞特低渗透油田见水后的水驱油机理及开发效果分析[J]. 石油实验地质,1999,21(3):256-259.

[14] 熊伟,雷群,刘先贵,等. 低渗透油藏拟启动压力梯度[J]. 石油勘探与开发,2009,36(2):232-235.

(编辑 韩 或)