

低渗气藏主要损害机理及保护方法的研究

张 琰, 崔迎春

(石油大学, 北京昌平 102249)

[摘 要] 针对低渗透砂岩的特点, 就气藏损害的特殊性、影响气藏损害的因素以及评价方法特殊性的研究结果进行了概括性的论述, 并给出了相应的预防气藏损害的方法。

[关键词] 低渗气藏 应力敏感 水锁效应

[中图分类号] TE122.3⁺4 [文献标识码] A [文章编号] 0495-5331(2000)05-0076-03

1 气藏损害的特殊性

与油藏相比, 天然气藏的储层物理特性更为复杂, 气体有不同于液体的特殊的可压缩性。在我国, 大多数气藏属于低渗气藏。低渗气藏普遍具有低孔、低渗的特点, 气、水及少量的油赖以流动的通道很窄, 渗流阻力很大, 液、固界面及液、气界面的相互作用力很大, 使水锁效应和应力敏感性明显增强, 并导致油、气、水渗流规律发生变化, 使得低渗气藏损害具有不同于油藏的特殊性。

对于中、高渗油藏, 由于孔喉孔、道尺寸较大, 通常外来固相颗粒侵入储层以及储层孔隙空间的微粒运移引起渗流通道堵塞是造成油藏损害的主要原因。对于气藏, 由于孔喉、孔道狭小, 因此, 外来工作液中的固相颗粒难于侵入储层, 但液相可侵入储层, 而且一旦工作液中的水相侵入储层, 就会在井壁周围孔道中形成水相堵塞。另一与中、高渗油藏显著的不同点是, 气藏岩石非刚性特征较强, 渗透率对周围应力变化很敏感, 应力的变化可以引起的渗流通道的收缩, 造成气藏渗透率下降。由于低渗气藏岩石致密, 渗流空间狭小、微粒不为气体润湿等原因, 因此在低渗气藏一般不存在微粒运移的损害, 即也不存在流速敏感性损害。

2 影响气藏损害的因素

2.1 应力敏感性

气藏的应力敏感性定义为气藏对所受净压力的敏感程度。许多研究者对此进行了初步研究, 得到的结论是: 低渗气藏具有很强的应力敏感性, 应力敏感是由空隙和毛细管被压缩和关闭引起的。

低渗气藏的高应力敏感性是气体在低渗气藏中

的非线性渗流特性引起的。对孔隙性储层的研究结果表明, 低渗储层同中、高渗储层不同, 低渗储层中气体的渗流受滑脱效应的影响, 存在多种渗流形态, 这与低渗岩心的渗透率、含水饱和度以及围压、驱替压力的大小有关。

研究结果表明: 低渗气藏渗透率与所受净压力(净压力 = 围压 - $1/2$ 驱替压差)有关, 净压力存在一个应力敏感点。当岩样所受净压力低于此点时, 净压力越大, 储层渗透率降低越严重; 高于它时, 净压力对储层渗透率的影响变小; 当净压力继续增大到可以将岩石压破时, 渗透率将大幅度增高。

应力敏感性还与储层含水饱和度有关, 含水饱和度和愈高, 应力敏感性愈强。这可能是滞留在孔道里的水, 占据了孔隙空间, 从而增加了岩样的应力敏感性。当含水饱和度较低时(小于 30%), 仅在一定的驱替压力范围内存在达西渗流。当含水饱和度较高时(大于 30% 至束缚水饱和度以下), 气体的渗流存在非达西渗流现象: 在较低的驱替压力下为非线性渗流, 高的驱替压力下为线性渗流。但此时气体的流动规律同达西线性渗流不同, 气体的渗流存在附加压力损失, 并出现“启动压差”现象。

气藏岩石还具有一定的压力滞后效应, 因此由于应力敏感引起损害不会因应力消失而完全恢复。

储层渗透率不但是储层岩石自身储渗特征的函数, 而且也是围压、驱替压力的函数, 因此, 通常地表测得的渗透率不能真实反映气藏流动特征, 还要用储层条件下测得的应力敏感性和有关数据加以校正。

低渗气藏呈现以上应力敏感性规律的原因, 可能是由于: (1) 岩石存在微裂缝。这些微裂缝在一定的净压力下易于闭合, 闭合后的裂纹在卸压过程不

[收稿日期] 2000-01-11; [修定日期] 2000-02-03; [责任编辑] 王 梅

[基金项目] 中国石油天然气集团公司“九五”重点科技攻关项目“探井保护油气层技术”的部分研究成果。

易恢复张开,宏观表现为岩样压力滞后效应。(2)低渗气藏复杂的孔隙结构增加了岩样受压行为的复杂性。气藏孔隙空间很小,压力变化引起的孔隙空间变化的程度相对却较大,所以在岩样受压小于应力敏感点时,岩样具有很强的应力敏感性。(3)岩样中孔喉、孔道受压收缩。当净压力较小时,特别是小于应力敏感点时,孔喉、孔道受压后收缩导致岩样渗流能力下降,表现为渗透率下降;而当孔喉、孔道受力达一定值,即达到应力敏感点后,孔喉、孔道进一步收缩变得比较困难,表现为渗透率下降幅度减小。

2.2 水锁效应

钻井中一打开储层,就会有工作液与储层接触,若外来的水相侵入储层孔道后,就会在井壁周围孔道中形成水相堵塞,其水—气或水—油弯曲界面上存在一个毛细管压力。要想让油气流向井筒,就必须克服这一附加的毛管压力。若储层能量不足以克服这一压力,就不能把水的堵塞消除,最终会影响储层的采收率,这种损害称为水锁损害。

一般把毛细管中弯液面两侧润湿相和非润湿相之间的压力差定义为毛细管压力,其大小可由任意界面的拉普拉斯方程表示^[1]:

$$P_C = \sigma \left(\frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} \right) \quad (1)$$

式中, P_C —毛细管力, mN; σ —界面张力, mN/m; R_1 、 R_2 —分别指两相间形成液膜的曲率半径, m。

从式(1)可看出,毛细管力的大小与多孔介质的直径成反比,由于低渗气藏的孔隙尺寸比中、高渗储层要小得多,所以低渗气藏的水锁效应更严重。

在钻井施工中,液体滞留效应是造成致密气藏损害的最主要的因素。水基或烃化合物基流体被捕集,或者在产气过程中,储层中的反凝析烃化合物流体被捕集,均造成永久性的滞留。最常见的是水的捕集,因此称之为水锁。液相在气藏中的聚集和对储层损害的程度还取决于原始含水饱和度和作业后外来液体入侵形成的束缚(残余)水饱和度之差,这个差值愈大,渗透率下降愈大,气藏损害愈严重。

文献[2]给出了一个可用于预测水锁程度的方程:

$$APT_i = 0.25 \lg K_a + 2.2 S_w - 0.5 \quad (2)$$

式中, APT_i —水锁指数,无量纲; K_a —地层气体渗透率, μm^2 ; S_w —地层原始水饱和度。

由式(2)可以看出,储层的渗透率和原始水饱和度是决定水锁效应的主要因素。 APT_i 大于 1.0 表示储层水锁效应不明显; APT_i 值在 0.8 ~ 1.0 之间,表

示储层有潜在的水锁效应; APT_i 值小于 0.8, 表示如果水基流体被驱替或自吸入储层,会出现明显的水锁效应。

另外,水锁效应还与液相侵入深度、侵入液相表、界面张力有关。

2.3 反向吸入现象

欠平衡钻井是发现储层、降低储层损害的一种手段。但钻进低渗气藏时,可能会加大近井壁带储层的损害程度。这是因为“原始”和“束缚”水饱和度两者之间存在很大毛细管压力差。在常规设计的过平衡钻井中,由于应用了合适的桥堵和降滤失剂,可以在近井壁带形成渗透率近于零的滤饼,以阻止自吸入发生。而在欠平衡钻井过程中,由于井内液柱压力低于地层孔隙压力,没有形成致密滤饼的动力,这样就会发生连续地反向吸入储层的效应。只有当欠平衡压力消失时,这种效应才会减弱或停止。

另外,在欠平衡作业中,因失去作为防止流体和固体颗粒侵入储层深度的屏障,而使储层丧失了保护能力。因此,如果欠平衡状态经常遭到破坏,即使是短时间遭到破坏,流体和其中的固相颗粒就会迅速侵入储层,由此造成的储层伤害可能会更严重。

3 气藏损害评价方法特殊性的研究

我国已经先后在 1988 年和 1994 年颁布了《常规岩样分析推荐作法》和《砂岩储层敏感性评价实验方法》两个标准,两个标准对常规岩样分析方法和储层一般敏感性评价程序进行了规定。但两个标准在使用中存在下列局限性:(1)均是针对渗透率较高的油层制定的,不完全适用于以低渗、特低渗为主要特征的气藏;(2)两个标准均没有明确规定储层损害室内评价和选择钻井液的试验程序;(3)标准中对一些必要的测定条件缺乏定量规定。

美国石油学会 1995 年 5 月提出的《储层损害试验推荐实验程序》,为国外最新推荐标准^[3]。

国内外现尚没有针对气藏损害评价的标准化模拟装置和评价程序,这样用相同来源的储层岩样和相同的钻井液进行污染试验,在不同的时间和不同的实验室所作的结果常常不同,同一试验的重复性和再现性也不好。为了解决这些问题,近年来,国内一些研究者进行了较系统的研究。

在进行气藏损害评价方法研究时,有两个关键点需要解决:(1)气藏损害试验模拟装置必须具有能模拟气、水、油三相渗流的功能;(2)必须确定气藏岩样的初始状态的实现方法。由于国内现有的评价装

置不适用,为此进行了专门设计和改造,相应增加气、水、油三相渗流和计量部分,并研究了岩样初始水、油饱和度及预压力的实现方法。

在评价试验程序中,一部分程序基本上沿用现有的国家标准,如与油层类似的气藏一般敏感性评价试验:水敏/酸敏/碱敏等;另一部分为针对气藏损害机理特殊性的试验程序,主要包括:气藏应力敏感性评价、水锁效应及消除效果评价等试验程序和钻井液静污染岩心评价试验的程序。

为了验证气层损害评价标准的有效性,从我国塔指、胜利、新疆、吉林和长庆等油田采集了部分渗透率相近的低渗气层岩心,按推荐标准进行了气层损害评价试验。初步应用结果表明,使用推荐标准得到的评价结果对实际生产具有指导性。

4 气藏特殊性损害的预防措施

4.1 施工中防止气藏应力敏感损害的措施

由于气藏存在应力敏感点,所以当气藏处于低应力状态时,应注意防止激动压力的产生或减小正负激动压差值,为此要严格控制起下钻速度。在低渗气藏作业施工时,要选用抑制性能优良、滤失量小的工作液,防止由于水敏性矿物水化膨胀产生水化应力,进而造成应力敏感性损害。在欠平衡钻进中,要确定合理的负压差,避免由于负压差过大,从而导致应力敏感性损害。由于气藏的应力敏感性与气藏的含水饱和度有极大的关系,所以在钻井过程中,亦要注意防止外界水的进入,为此要重视暂堵层和滤饼的质量。另外,在采气生产过程中,应保持一定生产压差,以保持储层具有较高的孔隙压力。

4.2 预防水锁损害的方法

在实际钻井过程中,水锁造成储层的污染主要

是由钻井液中的滤液侵入引起的。侵入的滤液如果不能及时返排出来,就会造成储层损害,所以,首先,在钻井和完井过程中应避免水基钻井液侵入储层。为此,可采用空气钻井或应用烃化合物钻井液和完井液。如果必须采用水基钻井液的话,防止储层水锁应从两方面着手:(1)应设法使钻井液侵入储层的量和深度减到最小,因此,除了采用低滤失量钻井液体系外,还应采用流变性好和暂堵能力强的钻井液,以形成保护性好的滤饼。(2)由于完全避免液相侵入储层是不可能的,所以要求钻井液滤液在具有较强的抑制性和与储层有良好的配伍性基础上,具有良好的返排能力。加入表面活性剂是降低界面张力,从而降低毛细管力,增强钻井液滤液返排能力的主要手段。此外还可以在水基工作液中加入醇类等具有较低表面张力的物质,或者使用甘油以及甲基葡萄糖甙等低滤液张力的钻井液体系。

4.3 减小反向自吸效应的方法

在欠平衡钻井中,可以通过增加平衡压力的方法降低反向自吸效应。在毛细管压力较大的致密气藏中,如果采用水基钻井液的效果不明显。可采用气体或烃类化合物作为钻井流体。并且在欠平衡钻井中,也要注意入井流体与储层的相容性,避免进入储层的流体因与储层相容性不好造成对储层的伤害。

[参考文献]

- [1] 樊世忠,鄢捷年,周大晨. 钻井液完井液及保护油气层技术(第1版)[M]. 山东东营市:石油大学出版社,1996. 524.
- [2] Bennion D B, et al. Water and Hydrocarbon Phase Trapping in Porous Media[M]. CIM Paper, 1995. 5.
- [3] Marshall D S, Gray R, Byrne M. Development of a Recommended Practice for Formation Damage Testing[J]. SPE 38154 Presented at the 1997 SPE European Formation Damage Conference held in the Hague, the Netherlands, June 2~3, Hague: SPE, 1997. 103~113.

INVESTIGATION ON THE MECHANISM AND PREVENTION OF FORMATION DAMAGE OF LOW - PERMEABILITY GAS RESERVOIR

ZHANG Yan, CUI Ying - Chun

Abstract :The factors causing the gas reservoirs to be damaged and the speciality of the evaluating method for gas reservoirs damage were described. In addition, the measures preventing the damage of gas reservoirs were also presented.

Key words :low - permeability gas reservoir, stress sensitivity, water block



第一作者简介:

张 琰(1956年-),女。1985年毕业于中国地质大学,获硕士学位,1996年毕业于德国 Clausthal 工业大学获博士学位,现任石油大学石油工程系副教授,主要从事钻井液完井液和保护储层技术的研究。

通讯地址:北京昌平 石油大学石油工程系 邮政编码:102249