

水驱砂岩气藏型地下储气库气水二相渗流机理

石磊¹ 廖广志² 熊伟³ 高树生³ 耿彤⁴

1. 中国石油勘探开发研究院廊坊分院 2. 中国石油勘探与生产分公司

3. 中国科学院渗流流体力学研究所 4. 中国石油华北油田公司采油工艺研究院

石磊等. 水驱砂岩气藏型地下储气库气水二相渗流机理. 天然气工业, 2012, 32(9): 85-87.

摘要 水驱砂岩气藏型地下储气库的渗流机理具有特殊性及复杂性, 并客观上决定了地下储气库多周期运行的注采效果。为此, 针对其储层特征, 开展了多轮次气、水互驱物理模拟实验, 研究了储气库储层气、水二相渗流特征, 分析了储气库储层孔隙空间可利用率的变化规律, 并揭示了该类储气库建设及运行的主要影响因素。研究表明: ①该类储气库经长期注采运行, 水相渗流能力相应增强, 导致边水运移越发活跃, 储层孔隙空间出现大量残余气、束缚水, 气相渗流阻力相应增加, 气库扩容及注采效果受到影响; ②储气库运行中边水往复运移造成储层空间形成大量死气区, 导致储层孔隙空间利用效果变差, 库容可利用率降低, 储层孔隙空间可利用率介于 40%~70%; ③该类储气库建设及运行过程中应重视储层含水量的变化, 并采取相应措施以降低水侵对储气库运行效果的影响。

关键词 水驱砂岩气藏 地下储气库 渗流机理 注采循环 储层孔隙空间可利用率 气、水互驱物理模拟

DOI: 10.3787/j.issn.1000-0976.2012.09.020

水驱砂岩气藏内部及周边存在一定规模的边、底水, 因此, 在水驱砂岩气藏型地下储气库的设计中, 充分认识气库建设及运行中的气、水二相渗流机理是很重要的^[1]。气库运行中边水侵入储层可造成储层伤害, 导致注气损失、库容动用效果变差等, 致使气库运行指标难以预测^[2-6]。由于水驱砂岩气藏型储层岩石的亲水性, 多周期运行过后孔隙喉道壁面易形成水膜, 造成气相渗流阻力, 影响气库扩容及注采能力^[7-17]。

根据水驱砂岩气藏型地下储气库储层及运行特征, 设计了气、水互驱模拟实验系统, 开展多轮次气、水互驱实验, 针对水驱砂岩气藏型储气库运行过程中气、水二相渗流机理及库容可动空间变化特征, 分析了气库储层孔隙空间可利用程度变化规律, 并揭示了该类储气库建设及运行的主要影响因素。

1 气、水互驱物理模拟实验

根据水驱砂岩气藏型储气库建设及运行特征, 设计了室内气、水互驱物理模拟实验系统(图1)。

1.1 实验样品

实验样品选取某水驱砂岩气藏型储气库储层岩

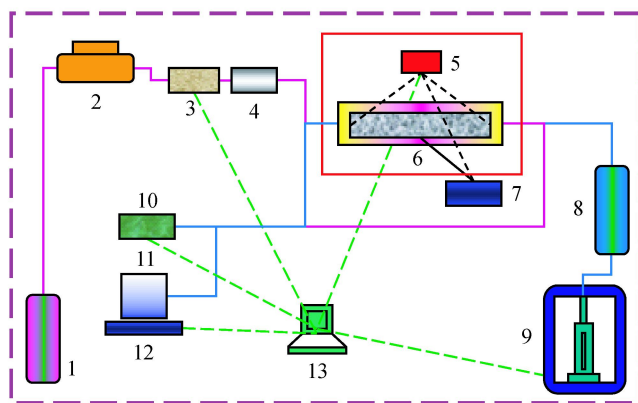


图1 气、水互驱模拟实验系统流程图

注: 1. 气瓶; 2. 气体压缩机; 3. 气体控制流量计; 4. 加湿器; 5. 压力传感器; 6. 岩心夹持器; 7. 围压泵; 8. 液体活塞中间容器; 9. QUIZIX 驱替泵; 10. 气体流量计; 11. 接液管; 12. 电子天平; 13. 电脑

心, 代表地下储气库高、中、低各类渗透率级别的储层, 样品基础参数见表1。

1.2 气、水互驱实验流程

高、中、低渗透率的小岩心样品分别连续完成3组气、水互驱实验。实验环境为标准状态, 实验过程中记

表 1 岩心样品基本参数表

岩心 编号	长度/ cm	直径/ cm	孔隙度	气测渗透率/ mD	水测渗透率/ mD
K4	7.766	2.516	24.564%	50.439	16.530
K12	7.344	2.518	5.275%	0.018	0.005
K23	7.900	2.451	25.307%	120.215	54.522

录时间、流量、压力,并绘制气、水相对渗透率与含水饱和度的关系曲线。具体实验流程如下:

1)用模拟地层水饱和岩心样品。

2)气驱水,记录各时间点气、水流量及压力等实验数据,绘制气、水相对渗透率曲线,气驱结束计算束缚水饱和度及束缚水下气相相对渗透率。

3)水驱气,记录各流量及压力等实验数据,水驱结束后记录残余气饱和度及残余气下水相相对渗透率。

4)如此往复 3 次,实验结束后称取岩心质量以验证实验精度。

2 实验结果及分析

针对各类储层岩心的 3 轮气、水互驱结果(表 2),分析水驱砂岩气藏型储层气、水二相的渗流特征及两相流动区间的变化规律。

表 2 气、水互驱实验结果统计表

样品号	储层类型	周期	束缚水饱和度	束缚水下气相相对渗透率	残余气饱和度	残余气下水相相对渗透率
K12	低渗透储层	1	52.3%	21.8%	10.2%	56.3%
		2	53.4%	19.6%	10.4%	54.8%
		3	54.6%	18.7%	11.8%	54.0%
K4	中渗透储层	1	34.1%	75.9%	26.9%	68.9%
		2	37.0%	73.3%	27.2%	64.8%
		3	37.5%	71.2%	27.5%	61.5%
K23	高渗透储层	1	31.4%	87.5%	35.4%	80.0%
		2	31.8%	76.0%	36.0%	70.0%
		3	32.1%	68.3%	36.4%	62.2%

2.1 气、水二相渗流特征

图 2 为 3 轮气、水互驱相对渗透率曲线的对比效果图。

随着气、水互驱轮次的增加,气、水两相区间收窄,气相渗流等渗点下移。表明气库经长期运行,储层受边水运移影响孔隙空间可利用程度逐步降低,气相渗流阻力逐步增加,影响气库扩容及注采效果。

对比各轮气、水互驱结束的束缚水、残余气饱和度。随着气、水互驱轮次的增加,储层束缚水饱和度及残余气饱和度相应增加。其中,由于低渗透率层孔喉

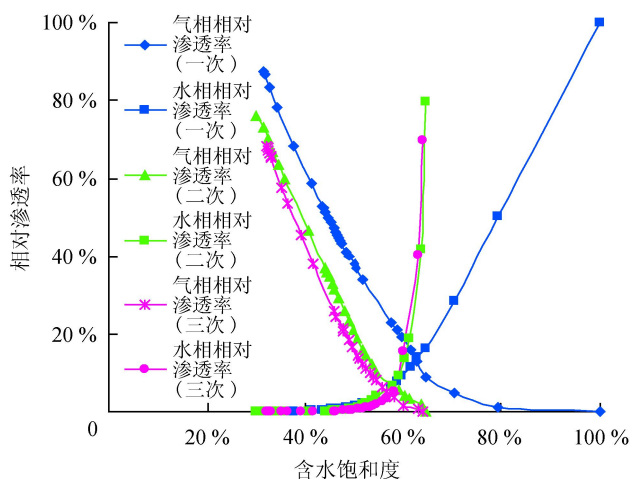


图 2 气、水相对渗透率曲线对比示意图

发育差,气驱水效果较差,孔隙水动用效果不佳,导致束缚水饱和度较高;而高渗透率层孔喉发育均质性较差,水驱气过程中容易产生绕流封闭气,储层空间出现大量死气区致使残余气饱和度较高。

2.2 储层孔隙空间可利用率

为描述水驱砂岩气藏型储气库储层孔隙空间的动用效果,提出孔隙空间利用率的概念,用来表示气库运行中储层孔隙空间的可动用程度,下面给出具体算法:

$$\text{可利用孔隙空间饱和度} = 1 - S_{wc} - S_{gc} \quad (1)$$

$$\text{孔隙空间可利用率} = \frac{1 - S_{wc} - S_{gc}}{1 - S_{wc}} \times 100\% \quad (2)$$

式中 S_{wc} 为束缚水饱和度; S_{gc} 为残余气饱和度。

利用各轮气、水互驱的束缚水、残余气饱和度,计算各类储层岩心孔隙空间可利用率,结果见图 3。经 3 轮气、水互驱,各类储层孔隙空间可利用率差距较为明显,高、中、低渗透率层孔隙空间可利用率分别为 46.5%、56.0%、74.0%,并且随着气、水互驱轮次的增加,储层孔隙空间可利用率表现为下降趋势。其中低

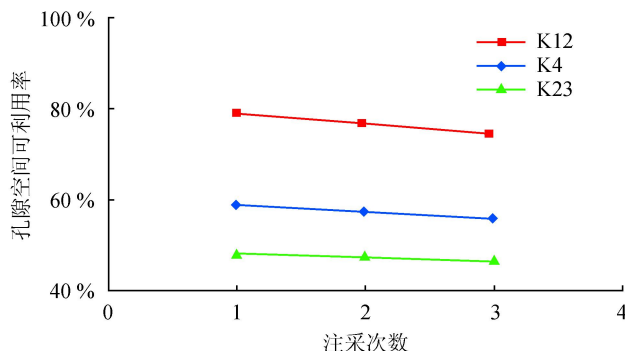


图 3 孔隙空间可利用率变化趋势图

渗透率层孔隙空间可利用率下降幅度较大,表明由于孔喉发育较差,低渗透率储层孔隙空间动用能力受水驱效果影响更加明显。

3 水驱砂岩气藏型储气库运行影响因素

水驱砂岩气藏型储气库运行过程中,随着采气循环,库内压力迅速下降,为缓冲库内压力变化,边水侵入储层孔隙空间,由于高渗透率储层孔喉发育非均质性较强,边水选择优势通道流动,而临近较细孔喉空间无法有效动用,形成大量封闭气死空间,导致残余气饱和度较高,储层孔隙空间可利用率较低,影响库容可动用率。

地下储气库运行过程属于高速注采过程,在细孔喉的减切作用下,孔隙空间出现气、水互锁现象。水驱砂岩气藏型储气库经长期运行,储层孔隙空间气、水二相分布趋于复杂,出现大量残余气及束缚水,气库扩容及注采能力受到影响。因此,针对水驱砂岩气藏储气库的建设及运行,要特别重视储层含水状况,将边水运移控制在一定范围之内,以降低气库运行中的水侵伤害。

4 结论

1)自主设计研发了水驱砂岩气藏型地下储气库运行物理模拟实验系统,并通过气、水互驱实验进一步揭示了气库运行气、水二相渗流规律。

2)水驱砂岩气藏型地下储气库经长期注采运行,水相渗流能力相应增强,导致边水运移越发活跃,储层孔隙空间出现大量残余气、束缚水,气相渗流阻力相应增加,气库扩容及注采效果受到影响。

3)由于气库运行中边水往复运移造成了储层伤害,导致库容可动用率降低,储层孔隙空间可利用率介于40%~70%。储气库实际运行中应重视储层含水的变化,采取措施以降低水侵对气库运行效果的影响。

参 考 文 献

[1] 王皆明,郭平,姜风光.含水层储气库气驱多相渗流机理物理模拟研究[J].天然气地球科学,2006,17(4):597-600.

[2] WOOD D J, LAKE L W, JOHNS R T, et al. A screening model for CO₂ flooding and storage in gulf coast reservoirs based on dimensionless groups[J].SPE Reservoir Evaluation & Engineering, 2008, 11(3):513-520.

[3] COSTA A. Permeability-porosity relationship: a reexamination of the Kozeny-Carman equation based on a fractal pore-space geometry assumption[J].Geophysical Research Let-

ters, 2006, 33: L02318, 5PP.

- [4] WITHERSPOON P A, NEUMAN S P. Evaluating a slightly permeable caprock in aquifer gas storage: 1. Caprock of infinite thickness[J].Journal of Petroleum Technology, 1967, 19(7):949-955.
- [5] ARNS C H, BAUGET F, LIMAYE A, et al. Pore-scale characterization of carbonates using X-Ray microtomography[J].SPE Journal, 2005, 10(4):475-484.
- [6] 王皆明,姜风光.地下储气库注采动态预测模型[J].天然气工业, 2009, 29(2):108-110.
- [7] XU Peng, YU Boming. Developing a new form of permeability and Kozeny-Carman constant for homogeneous porous media by means of fractal geometry[J].Advances in Water Resources, 2008, 31(1):74-81.
- [8] RIOS R B, BASTOS-NETO M, AMORA JR M R, et al. Experimental analysis of the efficiency on charge/discharge cycles in natural gas storage by adsorption[J].Fuel, 2011, 90(1):113-119.
- [9] 李明诚,李伟,蔡峰,等.油气成藏保存条件的综合研究[J].石油学报, 1997, 18(2):41-48.
- [10] BEN Teng, PEI Cuiying, ZHANG Daliang, et al. Gas storage in porous aromatic frameworks[J].Energy and Environmental Science, 2011, 4(10):3991-3999.
- [11] 陈祖安,伍向阳,孙德明,等.砂岩渗透率随静压力变化的关系研究[J].岩石力学与工程学报, 1995, 14(2):155-159.
- [12] SHIN C H, LEE J H. A numerical study on the compositional variation and the validity of conversion of a gas condensate reservoir into underground storage[J].Energy Sources, Part A: Recovery, Utilization, and Environmental Effects, 2011, 33(20):1921-1932.
- [13] 罗群,孙宏智.断裂活动与油气藏保存关系研究[J].石油实验地质, 2000, 22(3):225-231.
- [14] 张守良,沈琛,邓金根.岩石变形及破坏中渗透率变化规律的试验研究[J].岩石力学与工程学报, 2000, 19(增刊):885-888.
- [15] YU B M. Analysis of flow in fractal porous media[J].Applied Mechanics Review, 2008, 61(4):50-80.
- [16] 贺玉龙,杨立中.围压升降过程中岩体渗透率变化特性的试验研究[J].岩石力学与工程学报, 2004, 23(3):415-419.
- [17] WANG Z, HOLDITCH S A. A comprehensive parametric simulation study of the mechanisms of a gas storage aquifer[J].Society of Petroleum Engineers, 2005(6):1-8.