

# 水相滞留对低渗气层渗透率的损害分析

任晓娟<sup>1</sup> 张宁生<sup>1</sup> 张喜凤<sup>1</sup> 李天太<sup>1</sup>

朱金智<sup>2</sup> 尹达<sup>2</sup> 邹盛礼<sup>2</sup>

(1. 西安石油大学 2. 中国石油塔里木油田分公司)

任晓娟等. 水相滞留对低渗气层渗透率的损害分析. 天然气工业, 2004; 24(11): 106~108

**摘要** 水相滞留是低渗气层最主要的损害因素之一。文章以克拉区块低渗气层为例, 分析了自由水、束缚水、吸附水等不同方式滞留的水对低渗气层的渗透率损害。结果表明: 束缚水对克拉区块低渗气层渗透率损害最严重, 渗透率越低, 其损害越严重; 束缚水和吸附水对气层渗透率的损害难以恢复。降低低渗气层水相滞留损害的最好方法是减少水相的侵入, 或使用经济匹配的非水基流体, 如甲醇、CO<sub>2</sub>、N<sub>2</sub>等。一旦水相侵入后, 对低渗气层而言, 再解除水相损害问题还没有非常有效的方法。

**主题词** 低渗透油气藏 渗透率 水锁效应 束缚水 吸附 地层损害

## 一、滞留水的存在方式

水相滞留对气层渗透率的损害是低渗气层损害因素中最严重的损害因素之一。研究表明<sup>[1,2]</sup>, 气层中滞留的水相来源主要有原始地层水、外界侵入水和气体在井底附近产生的凝析水。

### 1. 自由水

这是由于地层压力或驱替压力过低暂时没有驱出, 滞留在气层中的水, 在压差的作用下能够自由流动。气水相渗曲线<sup>[2]</sup>可比较准确的反映自由水对气层渗透率的降低程度。

### 2. 束缚水

这是由于毛管力作用而滞留在地层中的水, 很难被气体驱动, 因此, 一般称为束缚水<sup>[2,3]</sup>。

由于气体的运移成藏经历了漫长的地质年代, 气藏中原始含水饱和度一般都较大地低于气藏的束缚水饱和度<sup>[2]</sup>, 所以这部分水的滞留将较大地降低气层中气体的有效渗透率而且难以恢复<sup>[2~4]</sup>。

### 3. 吸附水

由于岩石表面的亲水性, 岩石的表面吸附有水膜, 水膜厚度远远大于气分子半径, 该水膜具有很强的剪切能力, 它呈一层薄膜紧密地吸附在孔、喉壁上, 在一般气层条件下成为固体颗粒的一部分, 因而也称为晶态水。气层孔喉半径细小, 因此吸附水对低渗气层渗透率的影响不容忽视, 气层岩石比表面积越大, 储层岩石的亲水性越强, 孔喉越小, 渗透率

越低, 吸附水对储层的影响越严重。气层中的吸附水主要为气层经过漫长的地质年代的作用后残留的地层水<sup>[2,5]</sup>。

可以看出, 气层中水相滞留方式与气层的岩性、物性、孔隙结构性质、表面性质等因素有密切的关系。

## 二、克拉区块低渗气层基本特征

塔里木克拉区块低渗气层属高压气层, 气层原始含水饱和度平均为 28%。气层以细砂岩为主, 石英平均含量 47.05%, 长石平均含量 10.88%, 岩屑平均含量 39.9%, 泥质平均含量 12.0%, 粘土矿物中, 伊蒙混层矿物平均占 32.37%, 伊蒙混层矿物混层比为 19.39%, 伊利石平均占 42.95%, 高岭石平均占 10.76%, 绿泥石平均占 13.01%。储层泥质含量高, 水敏矿物相对较多。储层砂岩颗粒分选为好中, 颗粒以次棱一次圆和次圆形态为主, 胶结类型以孔隙型为主, 颗粒接触关系以点一线为主, 孔隙类型以粒间孔为主, 孔隙平均大小为 110 μm, 平均孔喉半径 0.17~0.517 μm, 孔隙结构具有大孔细喉的特点。可以看出克拉区块低渗储层孔喉空间细小, 为水相的滞留创造了先天条件。

## 三、自由水对气层渗透率的损害

图 1 为克拉区块低渗气层气水典型相渗曲线。可以看出, 随着含水饱和度增加, 气相的相对渗透率

**作者简介:**任晓娟, 女, 1962年生, 高级工程师; 毕业于西南石油学院开发系, 长期从事储层保护和提高采收率方面的科研和教学工作。地址: (710065) 陕西省西安市电子二路 18 号西安石油大学石油工程学院。电话: (029) 87722144。

大幅度下降,而水相的相对渗透率增加缓慢,等渗点时,相渗透率小于 0.08;束缚水时,气相的相对渗透率为 0.1。这些结果表明:克拉区块低渗气层气水相对渗透率均很低,气水同时流体时各相的流动能力均很差,一旦水侵入气层,尤其是侵入较深地层,由于水相的相对渗透率低,易造成返排困难,严重损害气层渗透率,但这部分水造成的损害是暂时的<sup>[4]</sup>。

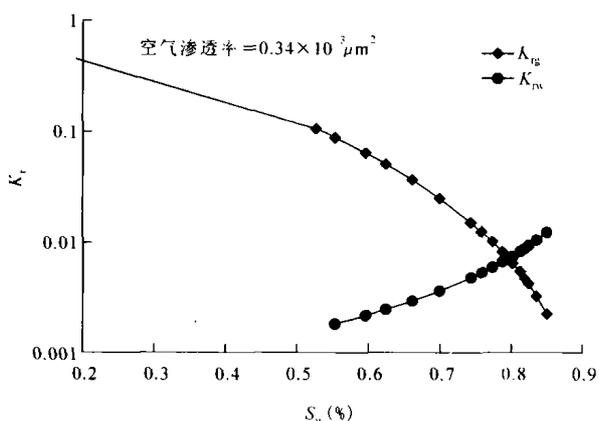


图 1 克拉区块典型气水低渗相渗曲线

#### 四、束缚水对储层渗透率的损害

束缚水对克拉区块低渗气层渗透率的损害如表 1。可以看出,束缚水对克拉区块低渗气层渗透率损害一般在 60%左右,气层渗透率越低,束缚水饱和度越高,束缚水对气层的损害越大,当渗透率为  $(1\sim 3) \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$  之间时,束缚水对气层渗透率的损害率在 90%左右。

表 1 克拉区块低渗气层束缚水对渗透率的损害

样号	孔隙度 (%)	空气渗透率 ( $10^{-3} \mu\text{m}^2$ )	束缚水饱和度 (%)	渗透率损害率 (%)
K1	13.59	10.76	47.8	63.0
K2	14.87	18.46	50.3	63.0
K3	14.80	11.45	52.5	65.6
K4	10.44	1.52	58.2	94.2
K5	13.96	2.28	57.6	95.7

#### 五、含水饱和度对储层渗透率的损害

文献[6]认为:当气层岩石含水饱和度小于 30%时,气体的渗流规律符合达西定律,表明此时的水相应处于膜吸附水状态。由于克拉区块气层原始含水饱和度平均 28%,可以初步推断,克拉区块低渗气层原始含水饱和度下的水相处于吸附水状态。表 2 为

克拉区块原始含水饱和度状态下水相对气层渗透率的损害程度。可以看出原始含水饱和度对克拉区块低渗气层渗透率损害率一般在 30%左右,渗透率越低,损害率越大,当空气渗透率小于  $1 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$  时,损害率在 40%~63%,表明当气层渗透率低时,原始含水饱和度下的吸附水也可对气层渗透率产生较为严重的损害。

表 2 原始含水饱和度对气层渗透率的损害

样号	孔隙度 (%)	空气渗透率 ( $10^{-3} \mu\text{m}^2$ )	原始含水饱和度 (%)	渗透率损害率 (%)
K6	9.28	6.84	24.0	29.4
K7	14.9	6.15	25.4	46.4
K8	8.84	2.01	21.8	20.5
K9	11.1	0.721	27.2	49.9
K10	14.7	0.766	22.2	40.3
K11	5.31	0.430	31.4	63.8

#### 六、降低水相损害的方法

通过以上对不同方式的滞留水对克拉区块低渗气层渗透率损害分析表明,自由水和束缚水对低渗气层渗透率的损害最为严重,但自由水可以在一定的压差下返排出来,而束缚水很难。同时还可以看出,渗透率越低,束缚水和吸附水对气层渗透率的损害越大。因此,在开发低渗气层的过程中,应尽可能地减少水相的侵入及在近井地带的凝聚。目前降低水相损害的主要方法有:①提高返排压差,使自由水尽可能快地返排出来<sup>[7]</sup>;②加入表面活性剂,降低气水之间的表面张力,降低毛细管力<sup>[8]</sup>;③改变岩石表面的润湿性,降低水相的吸附能力,降低水膜厚度<sup>[9]</sup>;④使用互溶剂如甲醇等,注入干的气体( $\text{N}_2$ ,  $\text{CO}_2$ 等)<sup>[1,2]</sup>;⑤利用加热的方法降低井底附近气层的束缚水饱和度<sup>[1,2]</sup>。

提高返排压差,使自由水尽可能地返排出来是比较容易的方法,但是当外来水侵入地层较深时,该方法难以马上见到明显的效果,并且提高返排压差难以降低低渗气层的束缚水饱和度。表面活性剂能够降低气水表面张力,降低毛细管力,从而降低束缚水饱和度,但由于气水性质差异大,目前利用表面活性剂一般只能将气水表面张力降低至 12~15 mN/m,限制了该方法的作用效果,文献[10]中,利用表面活性剂使水锁伤害率降低了 20%;改变岩石表面的润

湿性由于目前还缺乏经济而有效的处理剂,目前正处于研究中<sup>[9]</sup>。利用互溶剂、注入干的气体及加热方法降低井底附近气层的束缚水饱和度由于高矿化度地层水中盐类等矿物的析出堵塞孔喉而受到了限制。

## 七、结 论

(1)束缚水对克拉区块低渗气层渗透率损害最严重,渗透率越低,损害越严重,气层渗透率小于 $3 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$ 时,渗透率损害率达90%;当渗透率低于 $1 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$ 时,原始含水饱和度下的吸附水对储层的渗透率伤害率在40%~63%,束缚水和吸附水对渗透率的损害难以恢复。

(2)对于克拉区块低渗气层,气相、水相同时流动时,气相、水相的相对渗透率均很低(小于0.1),水相的流动能力差,但自由水对储层的损害是暂时的。

(3)降低低渗气层水相滞留损害最好的方法是减少水相的侵入或使用经济匹配的非水基流体,一旦水相侵入后再解决水相损害问题,目前对低渗气层还没有非常有效的方法。

## 参 考 文 献

1 崔迎春,张琰.低渗透气藏地层损害的特殊性.钻井液与

完井液,1998;15(2)

2 Bennion D B, Thomas F B *et al.* Low permeability gas reservoirs and formation damage-tricks and traps. SPE 59753,2000

3 樊世忠.天然气藏的损害机理、评价方法及保护措施(一).低渗透油气田,1997;4(1)

4 贺承祖,华明琪.水锁机理的定量研究.钻井液与完井液,2000;17(3)

5 唐泽尧主编.气田开发地质.北京:石油工业出版社,1997

6 任晓娟等.低渗气层气体的渗流特征实验研究.西安石油学院学报,1997;12(3)

7 Bennion D B. Remediation of water and hydrocarbon phase trapping problems in low permeability gas reservoirs. JCPT,1999;38(8)

8 Michael W, Cinway *et al.* The effect of surface active agents on the relative permeability of brine and gas in porous media. SPE 28982,1995

9 Guo-Qing Tang *et al.* Relative permeability modification in gas-liquid systems through wettability alteration to intermediate gas-wetting. SPE 62934,2000

10 林启才.影响川中八角场香四低渗气层改造的损害因素.天然气工业,1997;17(5)

(收稿日期 2004-05-26 编辑 韩晓渝)

## 河北天然气专用尼龙管前景广阔

一种广泛使用于压缩天然气输送的高压、耐温专用尼龙管日前在河北景县宏广橡塑金属制品有限公司研制开发成功。该产品填补了我国尼龙管制品行业的一项空白,并获得国家技术专利。目前,随着我国压缩天然气资源的广泛应用,在实现管道长距离输送时,由于压力等难题而给输送管材质技术指标提出了相当高的要求,国内用户一直采用进口管材。然而,进口管材在使用中由于大多采用的涤纶增强线刚性不足,易使管线弯曲而产生死折,造成输送线路中断,形成事故隐患。对此,有着十多年从事尼龙制品研制生产的河北景县宏广橡塑金属制品有限公司在国家有关科研单位的大力协助下,依靠技术创新,研制开发出新型压缩天然气专用尼龙管新产品。该产品具有使用压力大、耐温性能好、弯曲韧性强等特性,使用温度范围在 $-40 \sim 120 \text{ }^\circ\text{C}$ 内不老化、不龟裂。同时,由于在生产过程中采用涤纶增强线外粘合钢丝线编织新技术,使产品刚性大大增强,解决了弯曲、打死折现象的产生。使用寿命比同类产品提高10倍以上。新型压缩天然气专用尼龙管的开发成功,必将提高我国使用压缩天然气安全使用系数,有着较好的推广前景。

(蒋静萍 摘自中国油气管道网 2004-11-02)