

# 大港千米桥潜山凝析油气藏酸压技术探索与实践

赵晓<sup>1</sup> 周俊杰<sup>2</sup> 李瑞卿<sup>2</sup> 潘艳云<sup>3</sup> 张栋<sup>3</sup>

(1. 中国石油大学·北京 2. 中国石油大港油田分公司研究中心工艺所 3. 中国石油大港油田分公司第八采油作业区)

赵晓等. 大港千米桥潜山凝析油气藏酸压技术探索与实践. 天然气工业, 2005; 25(9): 70~72

**摘要** 文章针对大港千米桥潜山凝析油气藏储层埋藏深、井底温度高、气藏压力低、储层物性及孔洞缝发育状况变化大、主体区块层多井段长等地质特点。在综合考虑酸液缓速、高温缓蚀、降阻、降滤、溶蚀刻蚀能力、利于返排保护产层及措施成本等因素的基础上,开展了酸液体系选择、酸液配方、酸压作用机理等室内研究。给出了适用于千米桥潜山凝析气藏各类储层的酸压工艺方法、酸液配方、施工参数及酸压配套技术,通过现场实施,在板深7井奥陶系潜山取得了高产油气流。在千米桥潜山勘探中取得了战略性突破,初步形成了适合于千米桥古潜山特点的酸压工艺技术,完善了潜山类油气藏开采工艺配套技术,为整个气藏的高效开发做出了有益探索。

**关键词** 千米桥潜山 凝析气藏 酸压 酸化压裂

千米桥潜山凝析气藏的勘探和开发试采评价表明<sup>[1]</sup>,酸压改造是发挥产层生产能力的重要手段。但由于潜山具有井深、温度高、易漏失、物性及孔洞缝发育状况变化大、主体区块层多井段长等特点,酸压面临了众多的技术难点问题。如:高温缓蚀、降阻、为实现深度酸蚀处理须配套的缓速降滤、为获得高导流须配套的非均匀刻蚀技术和深井长井段分层酸压等。围绕上述技术难点问题,开展了酸压作用机理、酸型及酸液配方、工艺及其配套技术等专题技术研究,在取得技术突破的基础上进行了近30井次的现场试验。

## 一、千米桥潜山气藏的主要地质特点<sup>[2]</sup>

千米桥潜山凝析气藏顶界面为古生界奥陶系峰峰组风化剥蚀面,总体形态为一被大张坨断层和港8井断层夹持的垒式断鼻,由板深4、板深7井断鼻及板深8井背斜组成古潜山构造。潜山主体高点埋深4000~4100 m,闭合高度约700 m,总圈闭面积38.8 km<sup>2</sup>。前期钻探和试油及试采评价反映该气藏具有如下特点:

(1) 储层属于易被污染的碳酸盐岩中、高凝析油含量高饱和凝析气藏。

(2) 储层埋藏深(4200~5000 m)、温度高(168℃左右)。

(3) 板深7、板深8等主体区块层多、井段长(长

达200 m)。

(4) 储层物性、孔洞缝发育状况变化大。纵向上从峰峰组到亮甲山组储层类型由复合型、孔隙孔洞型至孔洞型过渡;在平面上储集空间类型由南向北分为以板深4井为特征北区、以板深7井为特征中区、以板深8井为特征南区;其中北区发育较弱,而中区、南区孔洞缝都发育,中区裂缝最发育。其微观孔隙结构特征见表1。

表1 微观孔隙结构特征统计

| 储层类型 | 储层性质 | 储集空间        | 孔隙度 (%) | 渗透率 (10 <sup>-3</sup> μm <sup>2</sup> ) | 描述                                    |
|------|------|-------------|---------|---|---------------------------------------|
| 孔隙型  | I    | 晶间孔<br>晶间溶孔 | 8.95    | 0.47                                    | 分布在角砾状云岩中,面孔率达10%                     |
|      | II   | 晶间孔<br>粒内溶孔 | 3.6     | 0.009                                   | 分布在角砾状云岩中,面孔率达10%                     |
|      | III  | 晶间孔         | 3.32    | 0.005                                   | 分布在晶间云岩中                              |
| 裂缝型  | A    | 构造缝<br>溶缝   | 1.35    | 0.005                                   | 以构造缝为主,缝宽达5 mm,发育在灰岩或晶间云岩中,随云质增加,伴有溶缝 |
|      | B    | 溶缝          | 2.11    | 0.21                                    | 多为溶缝,缝短小,多被充填,见缝合线或缝合状溶缝              |

(5) 气藏压力较低。原始地层压力较高,井区压力系数为1.02~1.01(43.62~43.57 MPa),而较低井区仅为0.8~0.9。

**作者简介:** 赵晓, 1970年生, 高级工程师; 1992年毕业于西南石油学院油气田应用化学专业; 现为在读博士研究生。地址: (102249)北京市昌平区石油大学251信箱。电话: (010)89734960。E-mail: zhaox1970@sina.com

(6)试采反映出产出层出水,产出流体含有CO<sub>2</sub>、H<sub>2</sub>S等酸性腐蚀性气体,井筒腐蚀结垢现象较为严重。

## 二、酸压工艺及其配套技术研究

### 1. 酸液体系的选择

目前国内外碳酸盐岩地层酸压常用的酸液体系主要有:盐酸、有机酸、乳化酸、胶凝酸、泡沫酸、混合酸<sup>[3]</sup>。千米桥潜山酸液体系的选择应考虑缓速、高温缓蚀、降阻、降滤、溶蚀刻蚀能力、利于返排保护产层及措施成本等因素。乳化酸虽然缓速、缓蚀较好,但其摩阻高、静压头低、泵压大、排量受限,高温下稳定性差;而泡沫酸虽其缓速降滤较好、污染小利于产层保护但成本高、静压头低、泵压高、制备工艺复杂、施工难度大;因此千米桥潜山凝析气藏酸压酸液体系主要考虑常规盐酸、胶凝酸、混合酸、有机酸4种酸液体系,表2是不同酸型的酸岩反应情况。

表2 不同酸型的酸岩反应情况

| 实验值  | 28 <sup>1)</sup> | 40 <sup>1)</sup> | 60 <sup>1)</sup>        | 80 <sup>1)</sup> |
|------|------------------|------------------|-------------------------|------------------|
| 常规盐酸 | 2.21             | 3.26             | 4.6/91.5 <sup>2)</sup>  | 7.99             |
| 胶凝酸  | 1.88             | 2.62             | 4.23/91 <sup>2)</sup>   | 7.25             |
| 混合酸  | 1.87             | 2.81             | 4.04/90.4 <sup>2)</sup> | 6.97             |
| 有机酸  | 1.10             | 1.76             | 1.00/89.6 <sup>2)</sup> | 0.94             |

注:1)为温度℃;“实验值”为反应速度(mol/L·s)值。2)为矿物溶蚀率(%),溶蚀时间(2h),酸液/岩粉(50mL/5g)。常规盐酸:盐酸浓度15%;混合酸:13%乙酸+9%甲酸+15%盐酸;有机酸:40%甲酸。

实验可得出如下结论:①在相同条件下常规盐酸的酸岩反应速度最快、溶蚀能力也最强,胶凝酸和混合酸体系次之,有机酸较慢、较弱。②从酸岩刻蚀形态来看,在岩石表面裂缝充填的方解石常规盐酸形成较深的沟槽和蜂窝状坑蚀;有机酸与盐酸混合体系(10%乙酸+8%甲酸+20%盐酸)形成凹凸不平的刻蚀形态;胶凝酸形成一定的沟槽、有明显的坑蚀现象(13%乙酸+9%甲酸);有机酸形成一定的沟槽、无明显的坑蚀现象。③潜山储层白云质及灰质含量对酸岩反应速度及溶蚀率无明显影响。因此从缓速、降阻、降滤、非均匀刻蚀及成本考虑,酸压酸型选择胶凝酸体系;混合酸在进一步优选添加剂提高降阻、降滤性能的基础上也可以选用。但这两种酸的共同特点是与岩石接触必然发生化学反应,其有效作用距离总是有限,要进行深部酸化单从酸液体系上讲,必须从本质上改变酸岩反应过程,人为控制

酸的有效作用过程。

### 2. 酸压工艺方式及工艺参数设计

(1)酸压工艺方式选择。千米桥潜山储层物性、孔洞缝发育状况变化大,前期钻井完井资料表明:潜山储层普遍存在高滤失、高闭合压力和先期污染,酸压工艺方式选择要考虑<sup>[4~5]</sup>:①适当增大改造的规模(尤其是中、低渗井层);②在改造的技术环节上,应以低伤害为前提、缓速为基础、降滤为重点、高导流能力和长缝为目标。从目前常用酸压工艺方式(普通酸压、前置液酸压、闭合酸压、多级注入酸压、降滤酸压及多种酸压工艺组合的复合酸压)各自的技术原理特点、适用范围等方面考虑,并结合对前期酸压工艺的评价成果,潜山酸压工艺方式主要选择胶凝酸降滤酸压和复合酸压(胶凝酸降滤酸压+闭合酸压、多级注入酸压+闭合酸压)。

(2)工艺参数设计。工艺参数设计应针对不同井层特点,在开展酸压前后凝析气藏数值模拟及经济评估的基础上,优化酸蚀裂缝导流能力和有效缝长,确定施工规模。设计模型的建立要考虑潜山高温酸岩反应特征、同离子效应、酸蚀蚓孔、指进和滤失等不稳定现象及不同液体混合等多种复杂现象的影响,特别是多级注入酸液的滤失特点及滤失滞后现象和闭合酸压酸蚀闭合缝导流能力的变化规律,模型模拟内容包括:温度场(井筒及裂缝温度场和酸压反应热)、动态液体滤失(包括多级交替注入)、缝几何尺寸、酸蚀缝浓度及导流能力分布、压后增产倍比等。表3为以板深7井为例模拟计算结论。

表3 板深7井模拟计算结果

| 项目       | 有效作用距离 | 缝宽   |      | 缝口导流能力           |
|----------|--------|------|------|------------------|
|          |        | 缝口   | 动态   |                  |
| 排量增加     | 增长     | 减小   | 缓慢增大 | 下降               |
| 酸液量增加    | 缓慢增加   | 较大增加 | 增大   | 升高               |
| 闭合段酸液量增加 | 增加幅度不大 | 增加   |      | 升高 <sup>1)</sup> |
| 闭合压力增大   |        |      |      | 下降               |
| 抗压强度增大   |        |      |      | 升高               |

注:1)闭合段酸液量不能太大,否则可能会造成裂缝壁面过量溶蚀,导流能力不但与溶蚀总量有关,还与酸岩刻蚀形态有关。

### 3. 酸压配套工艺技术

千米桥潜山高温深井储层酸压泵注规模排量大、泵压高,一般在150~400 m<sup>3</sup>、1~5 m<sup>3</sup>/min,因此要求配套与之相适应的酸压储酸、泵酸及辅助系统,满足施工要求。压后残酸返排采用液氮气举(目前

大港井下连续油管最大下深 3000 m),对于低渗、能量低的井层还采用了水力泵排液工艺。①对于地层漏失严重的井,可以使用封隔器带球座管柱,以减少对地层的污染。对于地层压力低的井,应加大排液的强度,进行连续施工,直至举穿自喷,才能够达到诱喷的目的。②对于设计有封隔器的酸压管柱,采用与连续油管配合进行液氮正气举排液。即从油管内外下连续油管,下至 1000 m 后开始注液氮,一边下油管一边注液氮,降低施工对地层的回压,将连续油管以上管柱内的液体全部举出井筒。对于产水量较高的油气层,根据地层压力情况,可将连续油管下至 2500~3500 m,连续注入液氮,直到诱喷为止<sup>[6]</sup>。

### 三、现场实施效果

在以上研究成果基础上,千米桥潜山在不同的评价阶段主要采用了普通酸压、胶凝酸降滤闭合酸压技术和有机酸多级交替注入酸压技术(表 4)。

表 4 千米桥潜山酸压总体效果

| 酸压工艺     | 施工井次 | 有效井次 | 有效率  |
|----------|------|------|------|
| 胶凝酸闭合酸压  | 20   | 18   | 84.6 |
| 稠化降阻普通酸压 | 1    | 1    | 100  |
| 多级交替注入酸压 | 4    | 1    | 25   |
| 合计       | 25   | 20   | 72.2 |

### 四、结 论

(1)酸压是千米桥潜山凝析气藏碳酸盐岩储层增产的有效措施。现场实践证明本文的研究成果取

得了较好的效果。

(2)胶凝酸降滤闭合酸压工艺适应性较好,该工艺综合了普通酸压和闭合酸压的技术优点,较好的解决了降滤、缓速及非均匀刻蚀问题。

(3)交替注入酸压工艺对于解决低孔低渗储层造长的酸蚀裂缝问题应该是先进的,前期酸压虽然采用了胍胶压裂液+有机酸+细砂、胍胶压裂液+乳化酸、胍胶压裂液+胶凝酸等体系,但该技术应用液体类型较多,在防止地层伤害、工艺实施等方面难度都较大。

(4)千米桥潜山储层变化较大,部分井层施工参数须进一步优化。

### 参 考 文 献

- 1 杨池银.千米桥潜山凝析气藏勘探开发难点与对策分析.天然气地球科学,2003;(8)
- 2 张亚光,苏俊青,朱银霞等.千米桥潜山凝析气藏地质特征.天然气地球科学,2003;(8)
- 3 袁字芳,常泽亮,周志理等.砂岩储层酸压改造技术探讨.油气井测试,2003;(10)
- 4 崔迪生,徐建平,贺子伦等.利用不稳定试井分析千米桥潜山凝析气藏酸压效果.天然气地球科学,2003;(8)
- 5 bostic J N, Agarwal R G, Carter R D. Combind analysis of post fracturing performance and pressure buildup data for evaluating an MHF gas well. SPE, 1979; 8280; 1-8
- 6 于长录,张康卫,孟显武等.千米桥潜山油气藏试油及改造技术.油气井测试,2002;(2)

(收稿日期 2005-02-03 编辑 钟水清)