

川西地区九龙山构造砾岩储层敏感性实验分析

朱华银^{1,2} 蒋德生³ 安来志¹ 张利文⁴

1. 中国石油天然气集团公司天然气成藏与开发重点实验室 2. 中国石油勘探开发研究院廊坊分院

3. 中国石油西南油气田公司川西北气矿 4. 中国石油华北油田公司第四采油厂

朱华银等. 川西地区九龙山构造砾岩储层敏感性实验分析. 天然气工业, 2012, 32(9): 40-43.

摘 要 四川盆地西北部九龙山构造下侏罗统珍珠冲组气藏的储层岩石矿物特征和孔隙结构十分特殊和复杂, 颗粒大、裂缝发育且非均质性强, 具有低孔隙度、低渗透率致密储层的特征, 目前对开发过程中的储层伤害机理及主要伤害因素尚未掌握。为此, 进行了系统的岩心实验分析, 结果表明: 该区储层总体表现为强速敏性和强—极强水敏性, 速敏渗透率损害率为 67.2%~94.1%, 水敏渗透率损害率为 71.3%~95.5%, 渗透率越低, 速敏性越强; 碱敏性中等偏强—强, 碱敏渗透率损害率为 48.6%~90.9%, 酸敏性弱, 注酸前后渗透率变化不大; 应力敏感性强, 裂缝受压后产生闭合难于恢复, 渗透率损失率大。总之, 该气藏储层敏感性强, 极易被伤害, 主要伤害类型为水敏、速敏和应力敏感, 建议气田生产中避免“强采强注”, 施工中采用合理矿化度的工作液, 加入适当的黏土稳定剂, 并控制酸碱度。

关键词 四川盆地 九龙山构造 早侏罗世 天然气开发 砾岩 储集层 敏感性 伤害 实验

DOI: 10.3787/j.issn.1000-0976.2012.09.009

九龙山构造下侏罗统珍珠冲组气藏位于四川盆地川北古中拗陷低缓构造区内梓潼—通江凹陷带中, 为一个复杂的裂缝性砾岩高压气藏, 岩石矿物和孔隙结构十分特殊和复杂。储层岩石颗粒大, 裂缝发育, 非均质性强, 但基质致密, 总体上储层物性具有低孔、低渗致密储层的特征^[1]。该类储层的小柱塞岩样代表性差, 开展储层敏感性评价应采用全直径岩心进行实验, 才能准确分析可能产生储层伤害的因素及其机理, 明确不同类型储层主要伤害类型及其程度, 为气藏勘探开发过程中的储层保护和储层改造提供依据^[2-9]。

1 储层特征

1.1 岩石学特征

珍珠冲组气藏储层由多个砾岩—含砾砂岩—砂岩—薄层泥岩的次级旋回构成, 厚 40~100 m, 以灰色—灰白色块状砾岩为主, 砾石成分主要为石英砾, 少量燧石砾和泥砾。砾径大小不均, 最大 230 mm, 一般为 35~60 mm, 磨圆好, 以次圆状为主, 砾间充填物以中—粗粒砂质为主, 局部层段含泥质, 砂质充填物成分主要为石英、燧石及岩屑^[1]。根据多口井的岩心观察,

裂缝和溶蚀孔洞发育, 具有良好的储渗条件。

通过全岩 X 射线衍射定量分析, 储层岩石石英含量为 92%~99%, 平均 96%; 黏土总量在 1%~5% 之间, 平均 3.4%, 其他非黏土矿物含量少, 偶见菱铁矿。由于岩样砾石颗粒大, 非均质性强, 因此实验时采用全直径大块岩样全部粉碎后, 混合均匀再获取分析样品, 实验数据代表的是较大范围的平均值(包括基质和裂缝)。从整体来看黏土的绝对含量不高, 但由于黏土矿物主要分布在孔隙中, 而储层孔隙度低, 岩心测试孔隙度在 1.12%~5.69% 之间, 平均为 2.69%, 若按孔隙度放大 5 倍来计算, 其平均值折算为 13.45%, 与一般砂岩储层相当, 同时对黏土含量也放大 5 倍, 则平均含量达到 17%, 可见其黏土含量相对来说还是较高的。

黏土矿物中以高岭石、伊利石、伊利石/蒙皂石间层为主, 其中高岭石相对含量 14%~46%, 平均为 31%; 伊利石相对含量 28%~47%, 平均为 39.6%; 伊/蒙间层相对含量 21%~34%, 平均 27.4%, 间层比最大 20, 为有序间层, 个别样品中含有绿泥石, 含量较少。伊利石、高岭石、伊/蒙间层都是潜在速敏物质, 伊/蒙间层为潜在水敏物质, 绿泥石具有潜在酸敏性,

高岭石具有潜在碱敏性,因此需要开展岩心敏感性流动实验评价^[2-3,10]。

1.2 孔隙结构与物性特征

珍珠冲组气藏储层处于晚成岩阶段中、后期,具有强压实、弱胶结、强破裂的成岩作用特征,碎屑颗粒破裂,原生孔隙大多丧失殆尽,次生孔、缝、洞较发育,裂缝具多期、网状的特点,孔、洞以沿裂缝扩容的孔洞为主,伴有砾间充填沙粒中发育的粒间溶孔、粒内溶孔。

储层物性具有低孔隙度、低渗透率致密储层特征,从大量全直径岩心分析资料来看,水平渗透率分布在0.001 2~517.98 mD之间,平均值为24.91 mD,主峰1~10 mD;垂直渗透率分布在0.000 029~25.23 mD之间,平均值为2.72 mD,主峰0.1~1 mD;氦气法测试孔隙度在1.12%~5.69%之间,平均值为2.69%,主峰2%~4%^[1]。

2 储层敏感性岩心实验评价

依据储层岩石矿物特征及其可能的潜在敏感性,采用全直径岩心,开展了系统的敏感性岩心流动实验,评价相关敏感性的程度与临界参数。

2.1 流速敏感性评价

储层的速度敏感性是指流体在储层中流动时,由于流体流动速度的变化引起地层微粒运移、堵塞孔隙喉道,造成储层渗透率发生变化的现象。实践证明,微粒运移在各作业环节中都可能发生而且在各种损害的可能性原因中是最主要的一种^[2-5]。

速敏性评价实验的目的在于了解储层渗透率的变化与储层中流体流动速度的关系,评价敏感程度及临界流速,为油气井合理产量和注入速度提供依据。对8块岩样的实验分析表明:珍珠冲组储层渗透率与流量的关系多样化,有6块岩样渗透率在低流速段随流速增大而增大,当流速增大到一定程度时,渗透率急剧下降,产生速敏性;1块岩样在最小流量下就产生了速敏效应;1块岩样随着流量的增大,渗透率持续增高(图1)。岩样渗透率损害率为67.2%~94.1%,属于强速敏的占75%;临界流量主要在0.5~2.0 mL/min之间,折算的临界流速为1.79~6.91 m/d。临界流速和渗透率损害率受岩样本身渗透率影响明显,一般渗透率越低,临界流速低,渗透率损害率越大。

由于岩样裂缝发育,主要渗流通道为微裂缝,且裂缝中以伊利石和高岭石为主的黏土矿物含量相对较高,因此容易产生速敏,低流速时,一些细微的颗粒可以通过裂缝运移,故而随着流速的增大,渗透率有所增加,但达到临界流速后,大一些的颗粒产生移动并形成

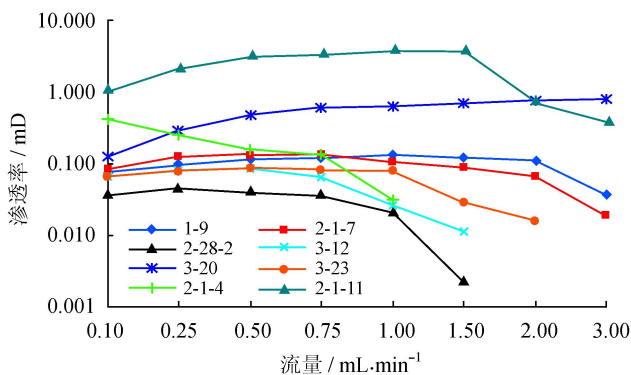


图1 渗透率随流量变化图

“桥塞”堵塞运移通道,因而渗透率下降。

2.2 水敏感性评价

水敏性是指不同矿化度的工作液进入储层后引起黏土膨胀、分散、运移,使得渗流通道变小,渗透率降低,造成储层伤害的现象。水敏实验的目的在于找出发生水敏的条件及水敏引起的储层伤害程度。该区4块岩样的实验都表现出了很强的水敏性,渗透率损害率介于71.3%~95.5%,2块为强水敏,另2块为极强水敏。

除1块岩样的临界矿化度为次地层水外,其余3块临界矿化度均为地层水,即一旦工作液的矿化度低于地层水矿化度,储层岩石就会产生水敏伤害,渗透率就会急剧下降,这是因为储层中水敏性黏土矿物伊/蒙混层和伊利石含量较高所致。因此,对于该气藏的施工作业,必须注意入井液的矿化度,防止采用低矿化度液体,以免造成储层伤害。

2.3 酸敏感性评价

酸敏性是指酸液进入储层后与储层的酸敏性矿物及储层流体发生反应,产生沉淀或释放出微粒,使储层渗透率下降的现象。酸敏性评价实验的目的在于了解酸液是否会对地层产生伤害及伤害的程度,以便优选酸液配方,寻求更为合理、有效的酸化处理方法。

开展的6组实验中有两块岩样注入15% HCl溶液,有4块岩样注入12% HCl+3% HF溶液。注入盐酸的2块岩样渗透率损害率为-9.03%和-10.0%;注入土酸的4块岩样,渗透率损害率由小到大依次为-13.7%、6.14%、8.01%和28.5%,酸敏程度为弱一无,总体表现为很弱的酸敏性。表明该区储层中酸敏性黏土矿物含量少,选择酸化作业进行增产改造不会造成明显的储层伤害。

2.4 碱敏感性评价

碱敏性是指具有碱性(pH值大于7)的工作液进

入储层后,与储层岩石或流体接触而发生反应生成沉淀,堵塞孔喉使储层渗透能力下降的现象。

从碱敏评价曲线可以看出,随着实验介质的 pH 值增大,岩样的渗透率降低,临界 pH 值介于 7~8,表现出较强的碱敏性(图 2),碱敏渗透率损害率 48.6%~90.9%,中等偏强—强碱敏,这与此储层段中碱敏性矿物高岭石含量较高密切相关。

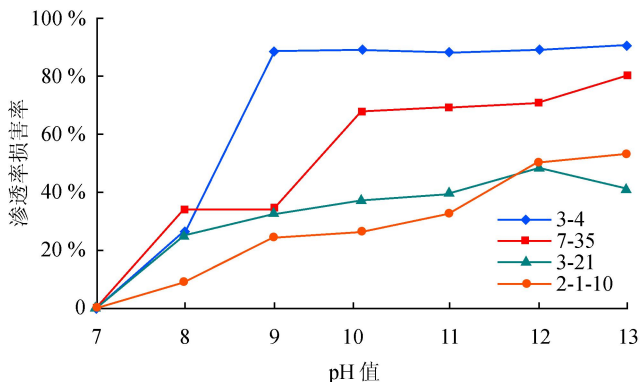


图 2 碱敏实验曲线图

2.5 应力敏感性评价

天然气开发一般是采用衰竭式开采,在开发过程中随着储层内流体的采出,储层孔隙压力降低,净上覆压力增大,地应力重新分布,使得储层发生重新压实和沉降,致使储层孔隙度和渗透率降低。该气藏属高压、超高压气藏,其产能主要受裂缝控制,随着储层内流体的采出,地应力变化明显,因此开展应力敏感性研究及评价具有重要意义^[11-13]。

实验分别进行了增压过程和降压过程的测试,增压过程净围压设置依次为 5 MPa、10 MPa、15 MPa、20 MPa、30 MPa、40 MPa、50 MPa,每一个围压保持 30 min 后,测定岩心气体渗透率;到最大压力 50 MPa 以后,开始进行降压过程测试,缓慢减小围压,使净围压依次降为 40 MPa、30 MPa、20 MPa、15 MPa、10 MPa、5 MPa,每一个围压点保持 60 min 后,测定设定净围压下的岩心渗透率。

随有效压力的增大,岩样渗透率急剧下降,下降幅度很大(图 3),尤其是在低压力区间。以第一个压力点(5 MPa)的渗透率为初始渗透率,计算不同有效压力下渗透率与初始渗透率的比值——渗透率比,对全部实验数据进行分析可以看出,当有效压力由 5 MPa 增大到 20 MPa 时,渗透率下降为初始值的 11.0%~29.4%,平均为 20.2%,即渗透率下降了约 4/5;当有效压力增大到 50 MPa 时,渗透率下降为初始值的 1.10%~7.04%,平均为 3.73%,即剩余渗透率都低于

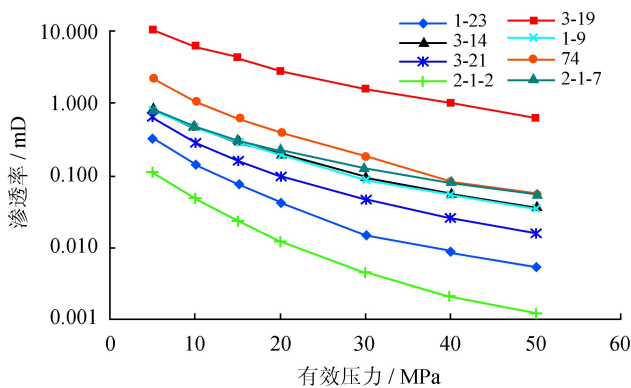


图 3 渗透率随有效压力的变化曲线图(增压过程)

10%,表明渗透率的下降幅度非常大,应力敏感性强。

由于实验样品微裂缝发育,且裂缝充填程度低,随着有效压力的增大,裂缝闭合,因此渗透率急剧下降^[14-15]。而有效压力释放后,裂缝不能完全恢复,因此随着有效压力的降低,渗透率恢复程度不高,渗透率下降曲线和恢复曲线形成“剪刀状”(图 4)。从实验的最高压力 50 MPa 下降到初始点压力 5 MPa 后,渗透率恢复最高的为 40.8%,最低的仅恢复到 18.1%,平均渗透率恢复率 30%,即不可逆渗透率损害率达到 70%。

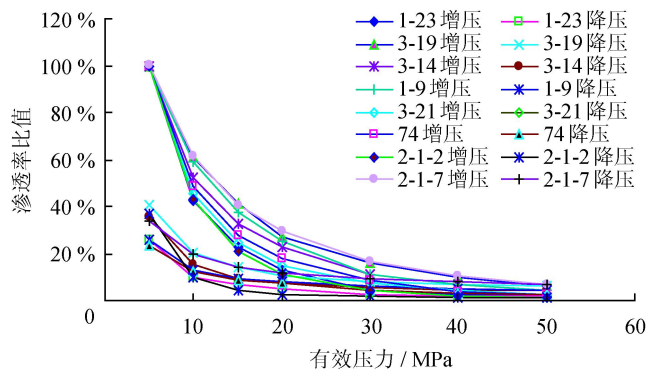


图 4 渗透率比值与有效压力的关系图

3 结论及建议

1) 九龙山构造珍珠冲组气藏储层敏感性强,极易产生伤害,主要伤害类型为水敏、速敏和应力敏感,因此在气田开发和各种施工作业中应加强储层保护研究。

2) 速敏渗透率损害率为 67.2%~94.1%,临界流速为 1.79~6.91 m/d,渗透率越低,速敏性越强。水敏渗透率损害率达到 71.3%~95.5%,为强—极强水敏性,储层一旦遇低于地层水矿化度的液体,就很容易

产生水敏伤害。

3)由于储层裂缝发育而致密,表现出强应力敏感性,裂缝受压后产生闭合难于恢复,渗透率受应力影响显著。因此气井生产时应建立合理的生产制度,避免突然放大压差生产或反复开关井,造成井筒周围地层裂缝闭合,渗透能力降低,影响气井产能。

参 考 文 献

- [1] 李跃纲,巩磊,曾联波,等.四川盆地九龙山构造致密砾岩储层裂缝特征及其贡献[J].天然气工业,2012,32(1):22-26.
- [2] 杨胜来,魏俊之.油层物理学[M].北京:石油工业出版社,2004.
- [3] 裘亦楠,薛叔浩.油气储层评价技术[M].北京:石油工业出版社,1997.
- [4] [美]法鲁克·西维.油层伤害——原理、模拟、评价和防治[M].杨凤丽,侯中昊,译.北京:石油工业出版社,2003.
- [5] 中国石油勘探开发科学研究院、中国石油西南油气田公司勘探开发研究院.SY/T 5358—2002 储层敏感性流动实验评价方法[S].北京:石油工业出版社,2002.
- [6] 张绍槐,蒲春生,李琪.储层伤害的机理研究[J].石油学报,1994,15(4):58-65.
- [7] 李皋,唐洪明,徐春春,等.川西侏罗系蓬莱镇组浅层气藏储层损害研究[J].天然气工业,2003,23(6):79-81.
- [8] 邸婷婷,李德胜,李友富.大民屯凹陷储层潜在损害因素分析及入井流体配伍性实验研究[J].特种油气藏,2003,10(增刊1):108-111.
- [9] 李闽,肖文联,赵春兰,等.不能用净应力评价低渗砂岩岩石应力敏感性[J].西南石油大学学报:自然科学版,2009,31(5):183-186.
- [10] 许书堂,杨玉娥,顾勤,等.东濮凹陷桥口气藏储层敏感性分析[J].油气地质与采收率,2010,17(3):90-92.
- [11] 朱华银,胡勇,韩永新,等.大庆深层火山岩储层应力敏感性研究[J].天然气地球科学,2007,18(2):197-199.
- [12] 朱华银,卢涛,万玉金,等.苏里格低渗气田储层应力敏感性研究[J].天然气工业,2007,27(增刊2):72-75.
- [13] 王峰,李崇喜.低渗透气藏应力敏感性及其变形机制研究[J].西南石油大学学报:自然科学版,2012,34(2):131-136.
- [14] 陈古明,胡捷.平落坝气田须二段气藏储层敏感性实验分析[J].天然气工业,2001,21(3):53-56.
- [15] 罗瑞兰,程林松,彭建春,等.油气储层渗透率应力敏感性与启动压力梯度的关系[J].西南石油学院学报,2005,27(3):20-22.

(修改回稿日期 2012-06-29 编辑 韩晓渝)