

稠油井火驱开发固井水泥浆性能评价与应用

尹 虎¹, 钟守明², 刘 辉^{1,3}, 吴继伟², 李 源⁴

(1.西南石油大学 石油工程学院, 四川 成都 610500; 2.中国石油新疆油田分公司 勘探开发研究院, 新疆 克拉玛依 834000; 3.中国石油西南油气田分公司 采气工程研究院, 四川 广汉 618300; 4.西南石油大学 应用技术学院, 四川 成都 610500)

摘要:在运用火烧油层技术开发稠油油藏的过程中,高温及二氧化碳腐蚀易导致油井水泥石强度下降,渗透率增大,地层流体穿透水泥石腐蚀油层套管,严重影响油井的正常生产。根据新疆油区稠油井火驱开发固井水泥石面临的难题,优选了一套耐高温抗二氧化碳腐蚀的水泥浆体系。室内评价结果表明:水泥石试样经高温养护后,最小抗压强度为13.8 MPa,达到应力状态分析的安全标准,渗透率和孔隙度均变化不大;经二氧化碳腐蚀后水泥石形态致密,结构比较均匀,仍具有较高的强度,其性能能够满足火驱开发高温作业的要求。优选的水泥浆体系在新疆油区红浅1井区9口井进行了现场试验,测试合格率为100%,优质率达77.8%,取得了较好的应用效果,保证了火烧油层井的固井质量及生产安全。

关键词:稠油 火烧油层 高温 二氧化碳腐蚀 水泥浆体系

中图分类号:TE256.6

文献标识码:A

文章编号:1009-9603(2013)04-099-03

新疆油区拥有丰富的稠油资源,近年来,随着稠油开发的不断深入,部分区块已进入开发后期,能耗居高不下,开发效益差,开发方式亟待转变。火烧油层技术具有热效率高且驱替效果好的特点^[1-2],有利于提高稠油采收率。在运用火烧油层技术开发稠油油藏的过程中,500℃的超高温条件易导致水泥石开裂,抗压强度下降,渗透率增大^[3];同时,在适宜的湿度、压力及二氧化碳环境下,地层流体会腐蚀水泥石,使其碱性减弱、抗压强度下降而渗透率增大,严重时会使水泥环穿孔,导致套管点蚀、穿孔甚至发生断裂^[4-6]。为此,对火烧油层开发过程中的高温及腐蚀环境进行分析,优选了一套耐高温抗二氧化碳腐蚀的水泥浆体系,以期在新疆油区实施火烧油层技术,确保稠油开发后期进一步提高采收率,实现老区稳产。

1 技术难点

与其他稠油开发技术相比,火烧油层技术具有独特的高温作业特性^[7]。在油层的燃烧过程中,温度可达500℃左右,原油被加热,主要发生高温氧化反应,油井水泥浆组分中的硅酸盐矿物发生水化,

单体强度降低,在硬化过程中发生晶形转化,破坏了水泥石结构,严重影响了火烧油层井的固井效果^[8-9]。

火驱开发燃烧过程同时也伴随着一系列的化学反应,一般分为热裂解、低温氧化及高温氧化,主要产物为具有腐蚀性的二氧化碳气体^[10]。

油层中二氧化碳气体溶于水形成具有腐蚀性的碳酸,碳酸氢根与水泥石水化产物在高温条件下发生连锁反应,破坏了原有水泥石的微观结构,导致体系体积降低,固体体积缩小,油井水泥石孔隙度变大,渗透率增大,抗压强度低于碳化反应之前。

2 性能评价

为了解决火烧油层井固井工程面临的难题,通过研究,优选了一种新型的耐高温抗二氧化碳腐蚀的水泥浆体系,其主要由阿克苏G级油井水泥灰、硅粉、水、JKW-1型高温稳定剂、JKS-1型高温增塑剂、KTC-2油井水泥促凝剂及KT-1油井水泥降失水剂等添加剂按照一定比例配制而成。

2.1 水泥浆流变性能

在30℃及常压条件下,测定新型水泥浆密度为

收稿日期:2013-05-24。

作者简介:尹虎,男,讲师,博士,从事油气井工程及稠油热采方面的研究。联系电话:(028)83037032,E-mail:aayinhu@sina.com。

基金项目:国家科技重大专项“深井钻录、测试技术和配套装备(二期)”(2011ZX05021-006)。

1.90 g/m³,流动度为23 cm,稠化时间为200 min,24和48 h 抗压强度分别为9.6 和11.8 MPa,API失水量为84 mL,其流变性能能够满足固井工程的要求。

2.2 水泥石高温抗压强度

将配制好的常规水泥浆与耐高温抗二氧化碳腐蚀水泥浆分别倒入方形和柱形试样模具中,待水泥浆硬化后,将水泥石分别在500 ℃下高温养护30 d。结果显示:常规水泥石试样经高温养护后出现了不同程度的开裂;而耐高温水泥石试样未见异常,养护结束后,其最小抗压强度为13.8 MPa,与应力状态分析结果进行对比可知,水泥石抗压强度在安全范围内(表1)。柱形抗高温水泥石的孔隙度及渗透率测定结果(表2)表明,与常温条件下相比,水泥石的孔隙度和渗透率变化均较小。

表1 耐高温抗二氧化碳腐蚀水泥浆体系高温养护后抗压强度测试与分析结果

试样 编号	长度/ mm	宽度/ mm	高度/ mm	载荷/ kN	抗压强 度/MPa	应力状态分 析值/MPa
F1	49.67	50.14	50.06	36.2	14.5	
F2	49.85	49.68	49.97	34.0	13.8	12.3
F3	50.00	49.85	50.06	35.5	14.2	

表2 耐高温抗二氧化碳腐蚀水泥浆体系高温养护后渗透率和孔隙度测试结果

试样 编号	直径/ mm	长度/ mm	孔隙度,%		渗透率/10 ⁻³ μm ²	
			养护前	养护后	养护前	养护后
1	25.76	16.82	48.11	50.32	0.017 5	0.020 3
2	25.74	21.38	35.63	37.88	0.014 3	0.016 2
3	25.74	20.82	35.21	37.53	0.015 2	0.017 8
4	25.72	17.72	34.47	35.86	0.017 9	0.021 0
5	25.72	16.38	30.05	31.70	0.015 1	0.017 0

2.3 水泥石抗二氧化碳腐蚀性能

利用现场地面气质分析监测装置,对返出井口的二氧化碳的质量分数进行分析,得到燃烧过程中的二氧化碳的质量分数分布(图1)。由气质分析结

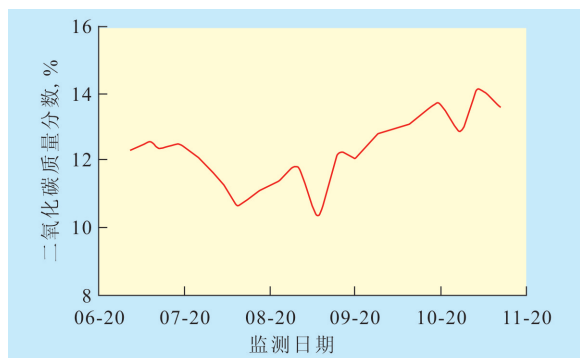


图1 新疆油区某生产井2010年二氧化碳质量分数监测数据

果可知,二氧化碳的质量分数约为10%~14.5%,因此,将水泥石室内腐蚀实验的二氧化碳的质量分数定为16%。

水泥石在养护釜中腐蚀30 d后,采用强度实验仪对水泥石试样进行加载。结果表明,腐蚀后水泥石的平均抗压强度为17.8 MPa,比未腐蚀时水泥石抗压强度18.7 MPa有所降低,但幅度不大,不会影响水泥环的使用寿命。

由腐蚀前、后水泥石的孔隙度和渗透率变化(图2)可知,水泥石孔隙度变化不大,渗透率略有上升但数值仍较小,对水泥石性能的影响可以忽略。

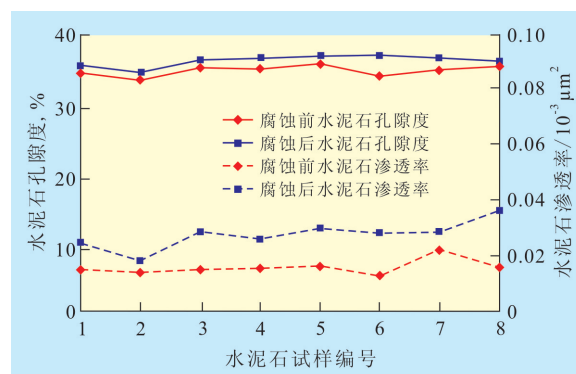
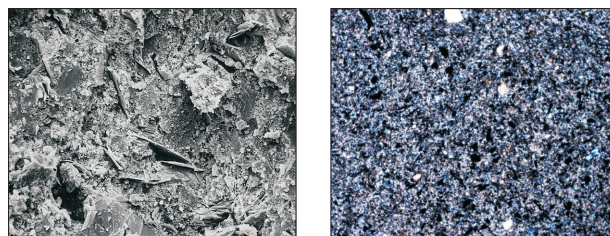


图2 腐蚀前、后水泥石的孔隙度和渗透率变化

由水泥石经二氧化碳腐蚀后的微观图像(图3)可见,腐蚀后的水泥石形态致密,结构比较均匀,具有较高的强度,腐蚀后水泥石的性能仍能够满足火驱开发高温作业的要求。



a—扫描电镜 b—铸体薄片

图3 水泥石经二氧化碳腐蚀后的微观图像

3 现场应用

2010年,在新疆油区红浅1井区9口稠油火烧油层井中,利用耐高温抗二氧化碳腐蚀水泥浆体系进行了现场试验。采用常规固井工艺,水泥浆全部返至井口,水泥浆密度为1.91 g/cm³,中途测试结果显示,9口试验井测试结果全部合格,其中7口井测试效果为优,合格率为100%,优质率达77.8%。现场应用结果证实,该水泥浆体系提高了水泥环对套管和裸眼层段的封固能力,保证了火烧油层井的固

井质量及生产安全,为进一步提高新疆油区稠油老区的开采效率提供了保障。

4 结论

耐高温抗二氧化碳腐蚀水泥石经 500 ℃高温养护 30 d 后的最小抗压强度为 13.8 MPa,强度性能在安全范围内,完全能够满足火烧油层高温条件的要求。二氧化碳腐蚀实验结果表明,水泥石在腐蚀养护 30 d 后,孔隙度及渗透率均变化不大,水泥石形貌致密,结构稳定,其性能能够满足火烧油层井腐蚀环境的要求。新疆油区红浅 1 井区 9 口井的现场应用结果证实,新型耐高温抗二氧化碳腐蚀水泥浆体系能够满足新疆油区火驱开发配套技术的要求,有助于火烧油层技术优势的发挥。

参考文献:

- [1] 张敬华,杨双虎,王庆林.火烧油层采油[M].北京:石油工业出

版社,2000.

- [2] 柳兴邦,李伟忠,李洪毅.强水敏稠油油藏火烧驱油开发试验效果评价——以王庄油田郑 408 块沙三段油藏为例[J].油气地质与采收率,2010,17(4):59-62.
- [3] 杨远光,陈大钧.高温水热条件下水泥石强度衰退的研究[J].石油钻采工艺,1992,14(5):33-39.
- [4] 李英,李淑兰,曹秋芳.火烧驱油过程中腐蚀因素分析及对策[J].特种油气藏,2005,12(5):101-103.
- [5] 金春玉,艾池,于洪金,等.套管变形对抗挤强度的影响[J].油气地质与采收率,2011,18(5):105-107.
- [6] Suyan K M, Dasgupta D. Novel cement composition for completion of thermal recovery (ISC) well bores[C]. SPE 101848, 2006.
- [7] 程紫燕.胜利油田稠油热采数值模拟研究进展[J].油气地质与采收率,2010,17(6):71-73.
- [8] 沙林浩,高永会,燕平,等.河南油田新庄、杨楼区块稠油热采井固井水泥浆[J].钻井液与完井液,2007,24(5):41-44.
- [9] 刘秀成,袁沛,周亚军.浅层稠油井固井技术[J].钻井液与完井液,2005,22(2):44-46.
- [10] 周仕明,王立志,杨广国,等.高温环境下 CO₂ 腐蚀水泥石规律的实验研究[J].石油钻探技术,2008,36(6):9-13.

编辑 常迎梅

(上接第 98 页)

套管所受的挤压力增加,导致套管损坏。

根据射孔后套管的受力模型可知,射孔孔眼受到岩层的固体变形和油藏流体的双重影响。通过数值模拟分析,发现套管受力受地应力、射孔参数、温度、套管和水泥环参数等多种因素的影响。

在易发生套管损坏的非油层段应采用双层组合套管以加大套管强度,提高固井质量;射孔应该沿着最大水平地应力方向进行,压裂改造时要防止裂缝窜入泥岩隔层,控制压裂缝缝高;注水压力严格控制油层破裂压力以下。

参考文献:

- [1] 霍志欣.非均匀地应力下的套管损坏机理及修复工具分析[D].北京:北京化工大学,2008.
- [2] 林元华,曾德智,施太和,等.软岩层引起的套管外载计算方法研究[J].岩石力学与工程学报,2007,26(3):538-542.
- [3] 裴桂红,纪佑军.油水井套管损坏的地质因素分析[J].武汉工业学院学报,2009,28(3):102-105.
- [4] 邓金根,田红.非均匀外载作用下油井套管强度特性的实验研究[J].岩土力学,2005,26(6):855-858.

- [5] 霍志欣,王木乐,王奎升,等.非均匀地应力下的套管损坏机理[J].石油矿场机械,2008,37(3):65-69.
- [6] 陈朝伟,蔡永恩.套管-地层系统套管载荷的弹塑性理论分析[J].石油勘探与开发,2009,36(2):242-246.
- [7] 殷有泉,陈朝伟,李平恩.套管-水泥环-地层应力分布的理论解[J].力学学报,2006,38(6):835-842.
- [8] 刁顺,杨春和,刘建军,等.渗流诱发套管损坏机制与数值计算[J].岩土力学,2008,29(2):327-332.
- [9] 陈勉,金衍,张广清.石油工程岩石力学[M].北京:科学出版社,2008.
- [10] Tang X M, Cheng N, Cheng A. Identifying and estimating formation stress from borehole monopole and cross-dipole acoustic measurements[C]. 40th Annual Meeting Transaction: Society of Professional Well Log Analysts, 1999: 781-786.
- [11] 金春玉,艾池,于洪金,等.套管变形对抗挤强度的影响[J].油气地质与采收率,2011,18(5):104-107.
- [12] 肖斐,李邦超,王德军,等.套管损坏的力学分析及动力学机制探讨[J].油气地质与采收率,2008,15(5):98-101.
- [13] 张万才,马振生,郭立君,等.热采井套管损坏机理及防治技术——以单家寺油田为例[J].油气地质与采收率,2005,12(2):74-76.

编辑 常迎梅