

火山岩岩板长期导流能力试验

杨振周^{1,2} 陈勉¹ 胥云² 蒙传幼² 许志赫²

1. 中国石油大学(北京) 2. 中国石油勘探开发研究院廊坊分院

杨振周等. 火山岩岩板长期导流能力试验. 天然气工业, 2010, 30(10): 42-44.

摘 要 火山岩气藏的压后效果和压裂有效期取决于压裂支撑剂的长期导流能力, 以往采用短期导流能力室内数据进行压裂优化设计, 不能反映真实的裂缝导流能力, 导致预测的气井产能差别较大。为了得到真实的长期导流能力, 采用改进的压裂支撑剂导流能力测试装置对火山岩岩板进行了长期导流能力测试, 发现支撑剂在火山岩岩板上有明显的嵌入, 造成导流能力明显下降, 并且 50 h 后导流能力还没有完全稳定, 导流能力的变化趋势也不同于钢板长期导流能力(而钢板长期导流能力 50 h 后的导流能力数值基本稳定)。同时, 对不同闭合压力下的岩板长期导流能力和钢板短期导流能力进行了对比, 得出了两者之间的关系。岩板长期导流能力提供了模拟储层条件下的真实数据, 也反映了裂缝的长期导流能力变化趋势, 对于准确认识火山岩气藏的生产能力有着重要意义。

关键词 火山岩 压裂 长期导流能力 支撑剂 压力 试验

DOI: 10.3787/j.issn.1000-0976.2010.10.010

深层火山岩埋藏深, 储层闭合压力大, 支撑剂在闭合压力的长期作用下易破碎, 导致导流能力明显下降^[1-2]。同时, 由于火山岩岩性复杂, 裂缝发育, 岩石坚硬, 杨氏模量高, 对支撑剂是否嵌入火山岩储层影响导流能力认识不清^[3]。火山岩气藏的压后效果和压裂有效期取决于压裂支撑剂的长期导流能力, 因此压裂支撑剂室内导流能力数据一直是压裂设计人员最为关心的数据之一。如何获得接近地层条件下的支撑剂长期裂缝导流能力一直困扰压裂设计的一个难题^[4]。准确的长期导流数值可以大大提高压裂设计的准确性, 但是室内测试值往往为短期导流能力值, 每个闭合压力点只测试 0.25 h, 这远远是不够的, 因为在这么短的时间内, 导流能力数值还没有稳定, 还在变化, 无法为压裂设计提供精确的长期导流能力变化曲线^[5]。长期导流能力采用 10、20、30、40、50、60、70 MPa 共 7 个导流能力测试点, 单点测试时间为 50 h。

1 火山岩岩板长期导流能力实验装置

在 20 世纪 80 年代, 压裂支撑剂导流能力测试装置已经基本统一, API RP61 中推荐的线性流支撑剂

短期导流能力测试装置被广泛采用。使用 API 线性流装置获得的短期导流能力数据不仅用来评价支撑剂的性能, 而且用于计算机程序压裂设计的输入参数。

API 支撑剂线性流短期导流能力测试装置解决了测量介质的达西流动, 模拟的流动状态比径向流装置更接近地层情况。采用先进的微压差计, 测试结果也更加准确。但是, 该装置使用不锈钢钢板模拟岩板, 测试时间也比较短, 温度也仅限于室温。随着压裂设计技术的不断进步, 压裂设计对支撑剂导流能力数据提出了更高的要求, 支撑剂长期导流能力测试装置测试结果可以满足压裂设计的需要^[6]。

支撑剂长期导流测试装置是在 API 线形导流装置的基础上改造而成, 减少了为获得平行数据所需要的时间, 组装时将 2 个以上的导流室叠加在一起。单个压力点的测试时间达到 50 h, 所获得的支撑剂导流数据更接近地层实际情况。虽然支撑剂长期导流能力实验还属于非标准实验, 但已经广泛地被国际石油工程界接受, 国际服务公司大都按支撑剂长期导流能力数据进行压裂设计或支撑剂验收的依据^[7]。

实验条件: 测试样品河南高密度陶粒支撑剂(中国

基金项目 国家科技重大专项“含 CO₂ 天然气藏安全开发与 CO₂ 利用技术”(编号 2008ZX05016)。

作者简介 杨振周, 1966 年生, 高级工程师, 博士, 现在在中国石油大学(北京)博士后科研流动站工作; 主要从事压裂酸化工艺技术研究工作。地址: (102249) 北京市昌平区府学路 18 号。电话: (010) 69213496。E-mail: yzz69@163.com

有代表性的陶粒支撑剂);支撑剂铺置浓度为 10 kg/m^2 ;测量方式为 API 线形流;测量介质为二次蒸馏水, 2% 的盐水;测试温度为 24°C (室温)、 80°C ;流体流量为 6 mL/min 、 2 mL/min ;使用 4Cr13 不锈钢片, 火山岩岩板;实验点为 45 MPa 、 50 h 、 10 、 20 、 30 、 40 、 50 、 60 、 70 MPa 共 7 个导流能力测试点, 单点测试时间为 50 h ;实验方法参考美国 STIM-LAB 长期导流能力测试方法。

2 常规粒径的火山岩岩板长期导流能力

选择的支撑剂铺置浓度为 10 kg/m^2 , 所获得的数据可与数据进行比较。短期导流每个闭合压力点测试 0.25 h , 长期导流每个闭合压力点测试 50 h 。

长期导流能力的实验条件均考虑了地层温度、地层盐水的影响, 为了实际考察支撑剂嵌入地层的影响, 使用了火山岩岩板。实验连续运转, 实验时间超过 300 h 。

从实验后的岩板照片(图 1、2)并结合导流曲线分析, 嵌入的印记清楚, 影响十分明显, 这种影响并非来自缝宽的减少, 而是源于被嵌入造成碎屑进入支撑剂缝, 并且随测量介质的流动产生长期的运移和沉积而造成。随着闭合压力的增加, 这种影响变得更加明显。因此, 在支撑剂导流能力实验中使用岩板模拟地层

条件十分必要。

闭合压力一定的情况下, 50 h 后导流能力还没有完全稳定, 说明导流能力还有进一步下降的趋势(图 3), 导流能力的变化趋势不同于钢板长期导流能力, 而钢板长期导流能力 50 h 后的导流能力数值基本稳定。

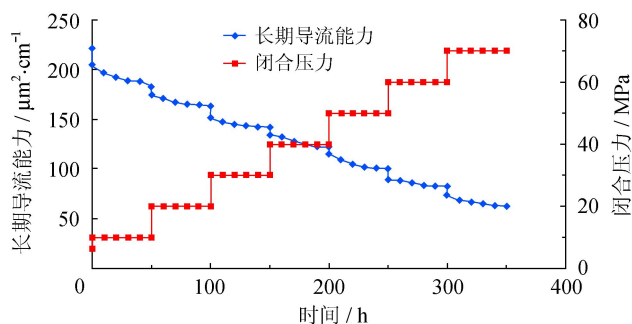


图 3 高密度陶粒 10 kg/m^2 长期导流能力曲线图

在闭合压力一定的情况下, 火山岩岩板长期导流能力比钢板短期导流能力低 $28.66 \sim 49.86 \mu\text{m}^2 \cdot \text{cm}$, 火山岩岩板长期导流能力和钢板短期导流能力之比为 $0.62 \sim 0.85$ 。不同闭合压力下的两者的比值也不一样(表 1)。因此为了得到准确的长期导流能力岩板的长期导流能力实验是必要的。以往的国内压裂设计在没有长期导流能力实验系统的情况下, 有经验的压裂设计人员经常取短期值的 $1/3$ 作为计算机程序软件的输入数据, 以此来降低因导流能力差值造成的计算结果的误差。

表 1 火山岩长期导流能力和钢板短期导流能力的比较表

闭合压力 / MPa	钢板短期 导流能力 / $\mu\text{m}^2 \cdot \text{cm}$	火山岩岩 板长期导 流能力 / $\mu\text{m}^2 \cdot \text{cm}$	差值 / $\mu\text{m}^2 \cdot \text{cm}$	比值
10	213.28	181.91	31.37	0.85
20	198.38	162.87	35.51	0.82
30	184.69	141.38	43.31	0.77
40	163.10	121.52	41.58	0.75
50	145.81	100.08	45.73	0.69
60	131.92	82.06	49.86	0.62
70	110.72	82.06	28.66	0.74

在闭合压力 $50 \sim 60 \text{ MPa}$ 时, 火山岩岩板长期导流能力和钢板短期导流能力的比值较小(图 4), 说明支撑剂的嵌入和破碎对支撑剂导流能力影响较大, 因此要获得接近地层实际情况的支撑剂导流能力数据进行压裂设计, 而不能再依赖经验数据。

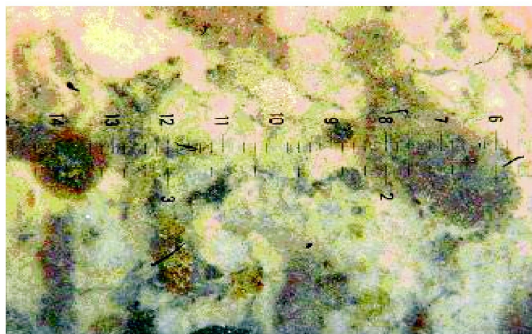


图 1 火山岩原样样板图

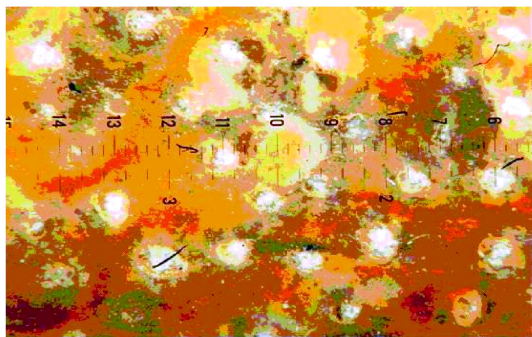


图 2 支撑剂嵌入后的火山岩样板图

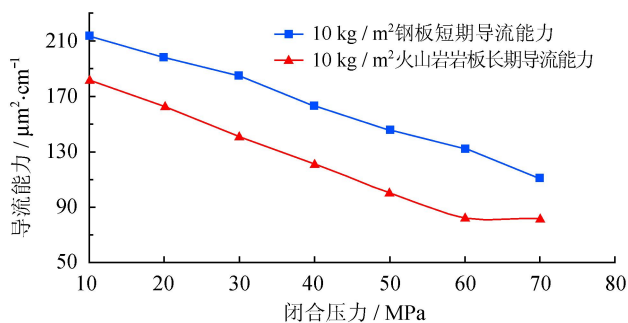


图4 高密度陶粒短期导流与长期导流能力比较图

3 结论和建议

1)短期导流能力及钢板长期导流能力可以用于比较支撑剂性能的优劣,但其实验数据用于优化设计,导致优化设计结果出现误差,建议压裂优化设计要采用火山岩的长期导流能力数据。

2)支撑剂在高闭合应力的长期作用下会产生嵌入现象和破碎,导致裂缝的长期导流能力下降,因此应根据不同储层深度优选合适的高强度支撑剂。

3)火山岩板长期导流能力提供了模拟储层条件

的真实的数据,反映了裂缝的长期导流能力变化趋势,有较高的参考价值。

参 考 文 献

- [1] 冯程滨,谢朝阳,张永平.大庆深部裂缝型火山岩储气层压裂技术试验[J].天然气工业,2006,26(6):108-110.
- [2] 郭建春,曾凡辉,余东合,等.压裂水平井支撑剂运移及产量研究[J].西南石油大学学报:自然科学版,2009,31(4):79-82.
- [3] 杨振周,张应安,石宝民,等.裂缝性火山岩储层加砂压裂改造的综合配套技术[J].天然气工业,2009,29(9):85-87.
- [4] 卢聪,郭建春,王文耀,等.支撑剂嵌入及对裂缝导流能力损害的实验[J].天然气工业,2008,28(2):99-101.
- [5] 王雷,张士诚,张文宗,等.复合压裂不同粒径支撑剂组合长期导流能力实验研究[J].天然气工业,2005,25(9):64-66.
- [6] 张毅,周志齐.压裂用陶粒支撑剂短期导流能力试验研究[J].西安石油学院学报,2000,15(5):39-41.
- [7] 温庆志,张士诚,李林地,等.低渗透油藏支撑裂缝长期导流能力实验研究[J].油气地质与采收率,2006,13(2):97-99.

(修改回稿日期 2010-08-10 编辑 韩晓渝)