

火山岩气藏压裂难点诊断及处理控制^{*}

张永平^{1,2} 刘合²

1. 中国石油大学(北京) 2. 中国石油大庆油田有限责任公司

张永平等. 火山岩气藏压裂难点诊断及处理控制. 天然气工业, 2009, 29(12): 53-55.

摘 要 火山岩天然气藏多数须压裂增产才具工业开采价值, 但火山岩中的孔隙、溶孔及天然裂缝个性差异大, 国内外均没有成熟的压裂工艺, 增产投资高、风险大、效果差。如何准确诊断压裂难点和研究实施有针对性的处理措施, 已成为火山岩气藏勘探开发取得突破的关键。在研究火山岩复杂结构对压裂 G 函数影响的基础上, 归纳出常规滤失型、低滤失型、微裂缝发育型、微裂缝极发育型和高裂缝型 5 种典型 G 函数特征, 形成了保证人造主裂缝形成工艺、处理近井复杂摩阻高工艺、压裂施工参数优化工艺、选择合适的加砂泵注程序等针对性的控制处理措施。经过在松辽盆地北部徐家围子气田超过 100 口井的应用, 压裂成功率、施工规模及单井增产效果均取得突破, 有效地提高了火山岩气藏压裂成功率和效果。

关键词 火山岩 储集层 测试 压裂 数学模型 特征 措施 松辽盆地

DOI: 10.3787/j.issn.1000-0976.2009.12.017

0 引言

油气资源勘探领域的发展已涉及富含油气资源的深部火山岩储层, 仅松辽盆地北部就拥有天然气资源上万亿立方米, 但火山岩气藏自然产能低^[1], 绝大部分必须通过压裂才可能获得工业气流。由于火山岩类型多、储集空间复杂、天然裂缝发育, 以往压裂最突出的难点是早期砂堵、改造规模小、增产效果差。2002 年以前松辽盆地火山岩探井压裂 3 口井、4 层, 砂堵 4 层, 最大改造规模 30 m³, 成功率 37.5%, 效果不理想。而同期国外报道的火山岩压裂最大支撑剂加入量也只有 15 t^[2]。为提高火山岩储气层压裂施工的成功率和效果, 首先必须准确诊断出影响压裂施工成败的不同难点, 研究针对性的控制工艺与措施。

虽然针对火山岩储层压裂中每一个单独难点已经拥有了部分控制方法^[3-4], 但火山岩压裂中常是多难点共存。如何在现场快速准确诊断出影响压裂成败的关键难点, 成为制约火山岩压裂技术发展的“瓶颈”。

测试压裂对于认识储层和压裂液特性、完善压

裂设计、现场施工控制有着重要的作用。利用测试压裂求取裂缝和压裂液参数的方法最早由 Nolte^[5]提出, 但其理论模型存在明显缺陷。例如: 假设裂缝高度固定; 忽略初滤失和停泵之后的裂缝延伸; 滤失系数与压力无关等, 它们与多重介质火山岩压裂显著不符。Meyer^[6]的研究虽然在理论假设上更加符合实际, 但测试解释必须的近井压降等资料现场很难准确获得, 致使应用受限。在现场实测和理论研究准确获得近井摩阻压降^[7-8]的基础上, 保证了测试压裂解释的 G 函数能准确反映多重介质储层和压裂液特性。如能针对各种火山岩压裂难点, 总结出对应的 G 函数类型, 指导研究应用控制措施将具有重要意义。

1 G 函数理论

Meyer 在 1989 年归纳得出一个综合的 G 函数方程。在该函数中, 考虑了滤失面积和滤失系数随时间的变化, 并分别用参数 α_1 、 α_2 表示, 其方程为:

$$G(\alpha_1, \alpha_2, \theta) = \int_1^\theta \zeta^{\alpha_1 + \alpha_2 - 1/2} \int_0^{\zeta^{-\alpha_1}} \frac{1}{(1 - \lambda^{1/\alpha_1})^{1/2}} d\lambda d\zeta \quad (1)$$

^{*} 本文受到国家重点基础研究发展计划(973 计划)(编号: 2009CB219308)的资助。

作者简介: 张永平, 1964 年生, 高级工程师, 博士研究生; 主要从事油气藏压裂理论与工艺的研究工作。地址: (163453) 黑龙江省大庆油田有限责任公司采油工程研究院。电话: (0459) 5960602。E-mail: zhangyongping@petrochina.com.cn

$$C_{e2} = C(t_p)(t/t_p)^{\alpha_2} \beta_2 \quad (2)$$

式中： α 为滤失面积指数，无因次； α_2 为关井期间的滤失参数，无量纲； θ 为无因次时间； t 为以开始压裂时刻为起点的时间，min； t_p 为泵注时间，min； C_e 为等效滤失系数； $C(t)$ 为与时间有关总滤失系数，m/min^{-1/2}； β_2 为滤失模型因子，若 $\alpha=0$ ，则 $\beta_2=1$ 。

对于每一个时间 t 都有一个与之对应的地面压力，在求出相应的 G 函数同时，可采用一阶差分数值计算方法，求出对应的 d_p/dG 。为便于分析，从数学意义上将 G 函数和一阶差分计算结果 d_p/dG 相乘，构造了叠加导函数 Gd_p/dG 。以 $d_p/dG, Gd_p/dG$ 为纵轴，以 G 为横轴，得出 G 函数导数分析曲线。

当导数为常数并且该叠加导数曲线位于一条通过原点的直线上时，为标准滤失；如果在闭合点前叠加导数曲线显示“上凸”，则表明储层天然裂缝发育。叠加导数曲线与直线会合时被认定为是裂缝的张开压力。当该叠加导数曲线从直线向下偏离时为裂缝闭合(图1)。

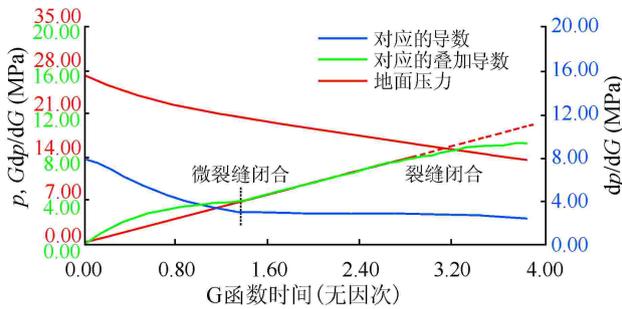


图1 徐深9井61层G函数导数分析曲线图

2 火山岩的G函数分类

2.1 火山岩G函数类型

通过对所有施工井 G 函数分类总结，描述了火山岩在压裂过程中的不同表现，形成了火山岩压裂的 G 函数快速解释图版。

2.1.1 常规滤失型

其特征主要表现为主裂缝闭合前 G 函数曲线为斜直线(图2)，裂缝滤失恒定，主要表现为基质滤失。

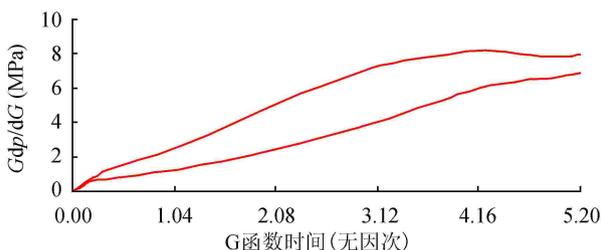


图2 常规滤失型标准G函数图版

2.1.2 低滤失型

其特征主要表现为主裂缝闭合前 G 函数曲线为接近水平直线(图3)，裂缝滤失恒定，但由于该类储层基质致密，物性条件较差，滤失量较小， G 函数数值一般小于2。

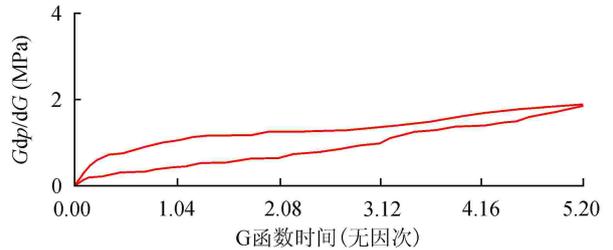


图3 低滤失型标准G函数图版

2.1.3 微裂缝发育型

其特征主要表现为主裂缝闭合前 G 函数曲线有一定凸起，一般数值在4以下(图4)。该类储层闭合前由于受微裂缝滤失影响，造成裂缝滤失不恒定且滤失较大。

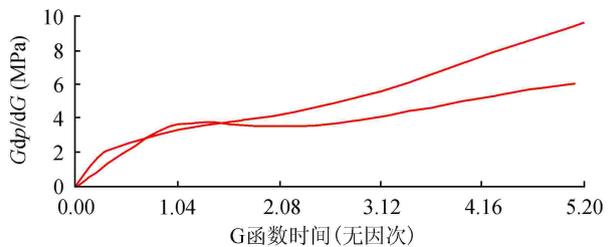


图4 微裂缝发育型标准G函数图版

2.1.4 微裂缝极发育型

其特征主要表现为主裂缝闭合前 G 函数曲线凸起很高，一般数值在4以上(图5)。该类储层闭合前由于受多条微裂缝滤失影响，造成裂缝滤失不恒定且滤失大。

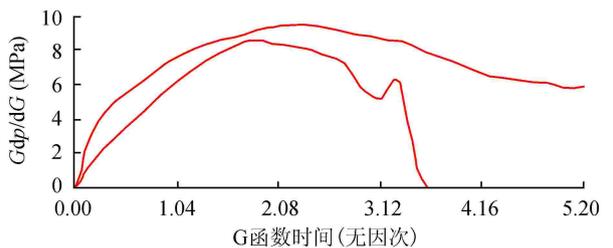


图5 微裂缝极发育型标准G函数图版

2.1.5 高裂缝型

其特征主要表现为主裂缝闭合前 G 函数曲线有一定下凹(图6)显示，是由于裂缝在高度上快速回退造成的。

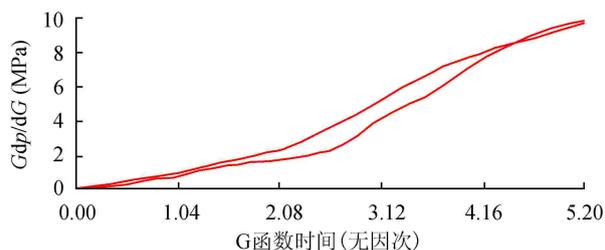


图6 高裂缝型标准G函数图版

2.2 火山岩G函数类型图版的应用

通过将火山岩测试压裂G函数按各类型总结出标准图版,形成了火山岩小型压裂解释的标准流程和拟合参数选取规范。在现场解释时,首先快速判断难点类型,并提供出拟合解释值的合理范围,大幅度减少解释时间,更重要的是解决了以往测试压裂不同人员解释结果均不同,解释人员越多其结果越无法应用的难题,做到了解释结果的唯一性,保证了火山岩压裂难点诊断的准确性,并建立了小型压裂分析诊断定量特征参数^[6],促进了火山岩压裂技术走向成熟。

3 火山岩压裂控制措施

在火山岩施工难点诊断的基础上,针对火山岩异常主要发生于近井的实际,形成了一系列近井人造裂缝处理工艺及施工控制方法。

1)保证人造主裂缝形成工艺,主要解决火山岩近井天然裂缝发育、应力复杂,主裂缝不明显、储层较上下隔层应力低等问题,处理工艺为采用不同流度的液体段塞。

2)处理近井复杂摩阻高工艺,主要作用消除近井裂缝转向、裂缝壁面不整合附加摩阻高、微裂缝张开导致压裂液效率低等问题,处理工艺为多段低砂比粉砂段。

3)压裂施工参数优化工艺,根据测试压裂诊断结果,选择适当的施工排量、压裂液黏度等施工参数,控制地层滤失大、裂缝纵向过高或地面压力增长快等不利情况,保证人造裂缝顺利延伸。

4)选择合适的加砂泵注程序,按优化设计目标值完成支撑剂加入,形成与储层物性匹配导流能力高的填砂支撑裂缝。

经过多年发展,形成了井下净压力精确计算、实时压裂液效率计算的系列控制设计方法以及固体、液体降滤、封堵,变排量施工等配套技术。

4 现场应用

应用火山岩压裂难点诊断与控制技术,2002年以来累计在大庆油田火山岩压裂施工118口井176层,压裂施工成功率由2002年以前的37.5%,提高到93.2%、最大支撑剂加入量130 m³。工艺水平及效果实现了前所未有的突破,为松辽盆地北部提交2 000×10⁸ m³火山岩天然气探明储量提供了强有力技术支撑。

5 结论

1)针对火山岩等复杂岩性以往压裂工艺适应性差的油气藏,通过加强适应其特性测试压裂诊断数学模型改进等理论研究,形成诊断技术,采用总结测试压裂G函数特征,规范解释参数选取,可保证诊断的准确性和唯一性。

2)研究复杂岩性储层测试压裂与加砂主压裂关系,形成针对性控制工艺与措施,可有效提高压裂施工成功率与效果。

参考文献

- [1]周学民,唐亚会.徐深气田火山岩气藏产能特点及影响因素分析[J].天然气工业,2007,27(1):90-92.
- [2]WEIJERS L, GRIFFIN L G, SUGIYAMA H, et al. The first successful fracture treatment campaign conducted in Japan: stimulation challenges in a deep, naturally fractured volcanic rock [C]//SPE Annual Technical Conference and Exhibition, San Antonio, Texas; SPE, 2002.
- [3]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.
- [4]胡永全,谢朝阳,赵金洲,等.海拉尔盆地人工隔层控缝高压裂技术研究[J].西南石油大学学报,2009,31(1):70-72.
- [5]NOLTE, KENNETH G. Determination of fracture parameters from fracturing pressure decline [C]//SPE Annual Technical Conference and Exhibition, Las Vegas, Nevada; SPE, 1979.
- [6]MEYER B R. Three-dimensional hydraulic fracturing simulation on personal computers: theory and comparison studies [C]//SPE Eastern Regional Meeting, Morgantown, West Virginia; SPE, 1989.
- [7]张永平,张士诚,卫秀芬.裂缝性火山岩储气层测试压裂诊断特征参数研究与应用[J].大庆石油地质与开发,2008,27(2):91-93.
- [8]胡勇,朱华银,万玉金,等.大庆火山岩孔隙结构及气水渗流特征[J].西南石油大学学报,2007,29(5):63-65, 89.

(修改回稿日期 2009-10-26 编辑 韩晓渝)