

新型压裂酸化实时监测系统及应用

任勇 管彬 刘刚 钱斌

(四川石油管理局井下作业公司新疆分公司)

任勇等. 新型压裂酸化实时监测系统及应用. 天然气工业, 2007, 27(8): 94-96.

摘 要 压裂酸化的实时施工曲线已经成为增产作业施工期间及施工后进行实时监测、分析并获得施工参数、后期工程评估以及增产工艺评价的基础资料,但目前对它的认识和掌握还不够全面。为此,基于在新疆塔里木盆地近千井次的现场施工作业情况,分析了常规压裂酸化实时施工曲线的构成、特点和作用,并参考了从美国引进压裂设备配套的施工实时监测软件,研究出适用于低渗油气藏压裂酸化的实时监测软件。现场应用表明,该软件实用性强、可靠性高,解决了许多施工监控、紧急情况处理和施工效果预测等技术难题,还对研究人员了解、掌握施工曲线提供一定的帮助。

主题词 低渗透油气藏 压裂 酸化 施工 曲线 应用

一、引 言

压裂和酸化施工过程中的实时监测曲线是由油压、套压、排量、砂浓度、交联剂(活化剂)等主要参数的瞬时值与时间的变化所组成,施工现场的指挥人员可以根据施工曲线的实时变化判断压裂车组的运行情况、裂缝的走向和形态、井筒以及井下工具的工作情况等,从而及时调整压裂施工车组、修改施工参数,提高现场一次性作业的成功率,达到优化施工、增产、增注的目的。但是,由于现场施工的曲线因地层特点、施工工艺类型而异,既对施工后的分析、处理带来了较大的困难,又对研究人员的现场操作经验也提出了较高的要求。为此,基于在新疆塔里木盆地近千井次压裂酸化施工情况,通过分析压裂酸化实时施工曲线构成,对施工曲线的应用及特点作一简要分析,以期对研究人员了解、掌握施工曲线提供一定的帮助。

二、施工步骤及曲线构成

一般在施工现场进行压裂酸化作业时,都有如下一些施工步骤:①低压管汇区排空、试压;②高压管汇区试压;③低替(有时直接进行挤注);④高挤前置液;⑤高挤携砂液或主体酸液;⑥顶替;⑦停泵测压降。

目前四川石油管理局井下作业公司拥有

FC2251 型、HQ2000 型、BL1600 型等大型压裂车组,所有压裂车组的施工实时监测系统能对每口施工作业井的施工压力、排量、砂浓度等都实现了自动跟踪、监测,大大提高了施工综合质量和工艺技术水平,同时也为增产作业等相关研究提供了丰富的现场资料。软件监测输出结果如图 1 所示。

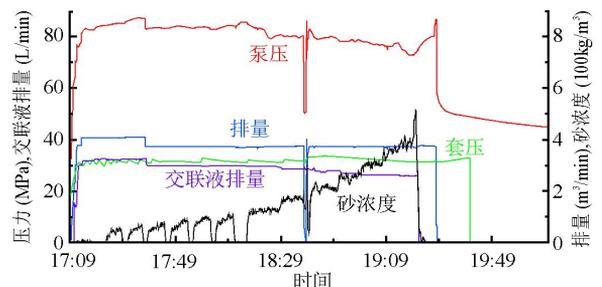


图 1 新疆 A 井加砂压裂施工曲线图

压力曲线是几条施工参数曲线中最为关键的,它是施工过程中井下情况的真实、直接的反映。施工人员结合排量、砂浓度曲线,可对施工情况、地层情况、井下工具情况和裂缝延伸情况等做出实时判断,并采取相应的措施。

三、施工曲线的应用

自从引入计算机进行数据采集和现场控制以来,压裂酸化实时监控已逐渐成为压裂酸化施工期间及施工后进行工程决策和评价的基础。在施工监

作者简介:任勇,1980 年生,助理工程师;现从事油气田增产技术的现场服务和室内研究工作。地址:(841000)新疆库尔勒市塔指一区 47 栋 202 室。电话:(0996)2174113,13579003293。E-mail:swpiry@163.com

测方面,通过实时采集到的数据,结合计算机现场模拟,进行压前测试、压裂酸化期间和压后压力递减分析,判定施工过程中裂缝的延伸情况、分析施工过程中可能出现的各种问题、确定主要的地层参数、分析计算裂缝的几何尺寸,并把信息反馈给现场技术人员以及后期的研究人员,作为施工决策和效果评价的依据。

1. 现场指挥进行施工监控、处理紧急情况的依据

在施工过程中,最关键的问题就是压力的波动,每一个小的压力波动可能就是施工事故的先兆。因此为了保证施工的成功,必须正确的找出压力变化的原因,并采取适当的措施,防止事故发生。由于裂缝在地层内延伸情况一般会引起较大压力变化,这些变化有的是裂缝延伸的正常波动,有的则是砂堵的前期表现。对于近井地带产生的砂堵,泵压上升很突然,能采取的处理措施比较少,这时应该及时停泵,反洗井,冲砂。新疆某油田 B 井则是近井地带产生的砂堵(见图 2-a),在砂浓度提到 430 kg/m^3 左右后,泵压就呈直线上升态势,从 60 MPa 急剧涨到 75 MPa ,为保证施工安全,停止加砂;而对于远井地带形成的砂堵,在泵压上的表现则是在排量几乎没有变化、甚至降低的情况下压力逐渐上升,随着缝内砂量的增加,泵压上升的幅度和速度都可能加快,有时还可能出现一个或多个压力尖峰,接下来就是压力急剧上升,出现砂堵。因此,判断出现远井地带砂堵的先兆后,应及时停止加砂,替挤或是反洗。图 2-b 是 C 井加砂压裂施工曲线,从 14:24 开始,泵压就出现了波动,随着砂浓度提高,排量逐渐降低,但泵压仍然波动上升,多次出现尖峰,直至超过 92 MPa ,接近压裂车限压,停止加砂。

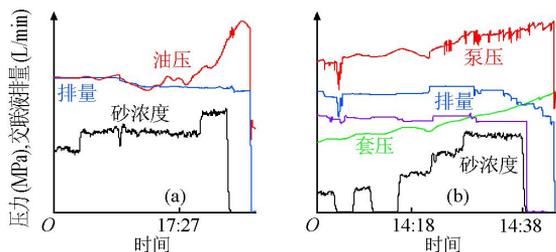


图 2 近、远井地带形成的砂堵图

2. 分析小型压裂测试曲线,为主压裂提供施工参数

通过对小型加砂测试施工曲线进行分析,得出储层与压裂相关参数,裂缝与砂浓度的敏感度,以及裂缝近井摩阻,从而对施工的具体泵注程序进行调

整,目前已经是塔里木盆地碳酸盐岩加砂压裂前的必备工作。

笔者根据 G 函数和近井弯曲摩阻的分析结果,得出 D 井闭合压力梯度为 0.0162 MPa/m ,液体效率为 31.665% ,近井弯曲摩阻为 2.27 MPa (见图 3)。据此调整了施工排量,减小了施工规模,在前置液阶段加入了组合式的支撑剂段塞。该并于 2005 年 6 月 9 日进行了正式加砂,最大排量 $4.0 \text{ m}^3/\text{min}$,共计注入地层陶粒 46.1 m^3 ,施工取得了成功。

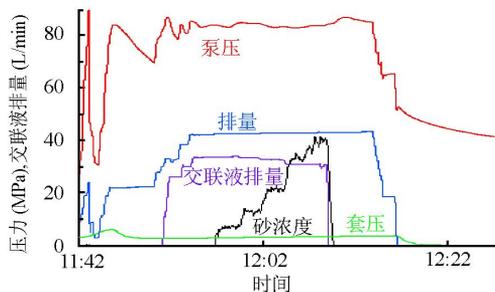


图 3 D 井的碳酸盐岩小型压裂测试曲线图

3. 预测压裂酸化效果

(1) 施工实时曲线预测

根据在塔里木盆地裂缝—溶洞性碳酸盐岩储层施工井的统计数据表明,80% 以上井在施工排量不变的情况下,如果压力降落在 10 MPa 以上,则可以认为人工裂缝沟通了井筒附近或是远井地带的储集空间、溶蚀孔洞。由于施工中直接沟通了缝、洞发育地带,人工裂缝与储集体贯通,其停泵压力也比较低,多在 15 MPa 以下。

E 井经过酸压以后,在 6 mm 油嘴的工作制度下,获得了油 $51 \text{ m}^3/\text{d}$ 、气 $205402 \text{ m}^3/\text{d}$ 的工业油气流;F 井通过求产,油嘴 8 mm ,产油 $54.28 \text{ m}^3/\text{d}$,不含水。这 2 口井的试油均证实了通过酸压造成的人工裂缝沟通了远井筒地带的缝洞发育区域,获得良好的施工效果。

(2) 停泵后压力降落曲线预测

1979 年, Nolte 首次提出压裂停泵后压力递减速度反应了裂缝本身及周围地层情况和从压降曲线确定压裂参数的观点,但他的方法并不完全适用于酸压井。笔者根据 Nolte 的基本思想,建立了三维酸压裂停泵压力分析模型,并提出了解释方法,该方法利用酸压施工停泵曲线,解释了裂缝几何尺寸、滤失系数、闭合压力等参数,从而提出了一套全新的裂缝诊断、解释方法。某油田 G 井施工后停泵压力曲线及拟合的不同裂缝几何尺寸下的压降曲线如图 4

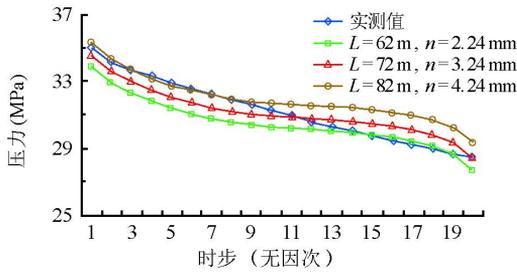


图 4 G 井施工后停泵压力拟合图

所示,根据拟合得到的裂缝几何尺寸,可进一步计算出闭合压力、滤失系数以及液体效率等参数。本计算结果与常规压裂井的 G 函数分析方法和 FracproPT 软件计算结果进行了对比,其结果如表 1 所示。

表 1 G 井分析计算结果表

参数名称	本文计算结果	G 函数分析法结果	FracproPT 计算结果
缝长(m)	72.0	69.1	70.9
井底处缝宽(mm)	3.24	4.95	5.07
井底处缝高(m)	64.4	60.0	57.4
闭合压力(MPa)	81.6	83.2	82.2
滤失系数($10^{-1} \text{ m}/\text{min}^{0.5}$)	10.36	9.76	13.30
液体效率(%)	26.3	27.6	23.8

4.判断施工过程是否正常

根据实时的施工曲线分析,可以对整个施工情况进行判断,确定有无操作事故、压窜、封隔器失效等情况的发生,为落实事故原因和分析压后效果提供了依据。从图 5 可以清楚地看出,在 15:32 左右,高挤冻胶阶段油压急剧下降,套压急剧上升,现场综合判定为封隔器失封,油套串通。通过测井对

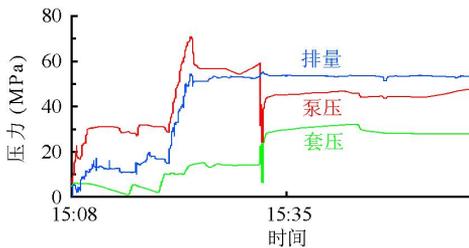


图 5 封隔器失封图

比酸压前后裸眼井段情况,发现 5508~5715 m 都受到了酸压的影响(实际为 5607~5730 m),证实了现场的判定正确性。

5.判断施工是否按设计执行

应用施工曲线可以检查施工作业队伍是否按设计进行施工。通过曲线可计算各阶段液量、砂量、交联比和砂比等,对比出设计值与实际值之间的差别。根据施工曲线得出的施工参数,现场监督可对施工队的工作量进行验收,判断施工是否按设计执行。

四、结束语

无论是施工期间还是施工后,压裂酸化施工曲线都是进行实时监测、分析并获得施工参数、后期工程评估以及增产工艺评价的基础。但目前仍需加强施工曲线的归纳、整理工作,建立特定油田、特定区块实施某种压裂酸化工艺的施工特征曲线,这无疑会对研究人员了解、掌握施工曲线提供极大的帮助。此外,目前对于应用酸压井的压后压力递减曲线的分析还欠深入,特别是在塔里木盆地针对碳酸盐岩的酸压酸化作业相当多,建议加强相关研究,使其能有效地用于现场酸压井、压后的裂缝评估以及施工评价。

参 考 文 献

- [1] 万仁溥,罗英俊.采油技术手册:压裂酸化工艺技术[M].修订版.北京:石油工业出版社,1998.
- [2] 吴锦平.同一层位多射孔段井的测试压裂设计及分析技术[J].天然气工业,2005,25(2):97-99.
- [3] 任勇,郭建春,赵金洲,等.酸化压裂井停泵压力三维分析模型和解释方法[J].石油勘探与开发,2006,33(3).
- [4] 王兴文,王世泽,郭建春,等.裂缝性油气藏压裂压降分析研究与应用[J].天然气工业,2006,26(12):127-129.
- [5] 张亚丽,赵金洲,李文兴.三维压裂压力递减分析方法[J].西南石油学院学报,2004,26(3):28-32.
- [6] 曹学军,康杰,何灿.压裂实时监测及诊断技术处理系统的研制及应用[J].天然气工业,2002,22(3):42-44.

(修改回稿日期 2007-03-28 编辑 韩晓渝)