

文章编号:1000-582X(2011)04-036-04

StimGun 复合射孔技术的应用

李 林¹, 陈 锋¹, 姜德义¹, 刘 春²

(1. 重庆大学 西南资源开发及环境灾害控制工程教育部重点实验室, 重庆 400044;

2. 重庆科技学院 安全工程学院, 重庆 400042)

摘 要: 随着油气井勘探开发的深入, 低孔、低渗、致密岩性的非常规油气层在油气储量中占较大的比例, 由于其储层性质差, 勘探开发难度大, 采用常规射孔很难取得理想的效果。StimGun 复合射孔技术是在射孔枪起爆后, 推进剂燃烧产生高能气体, 高能气体进入射孔孔道并在射孔孔眼周围形成多径向裂缝, 从而沟通了天然裂缝, 改善了油气流动通道, 提高渗流能力。介绍了该技术的工作原理和技术优势, 并通过现场试验、总结和完善, 形成了一套满足于不同地质条件的、集安全施工设计和作业效果评价为一体的 stimgun 复合射孔技术。该技术成功应用于四川 LG 区块的射孔作业中, 能有效的控制裂缝高度, 达到清楚地层污染而又不出水的效果, 对地透气性地层具有较好的改造作用, 取得较好的作业效果。

关键词: StimGun; 复合射孔; 裂缝

中图分类号: TE357

文献标志码: A

Performance analysis of StimGun technology

LI Lin¹, CHEN Feng¹, JIANG De-yi¹, LIU Chun²

(1. Key Laboratory for the Exploitation of Southwestern Resources & the Environmental Disaster Control Engineering, Ministry of Education, Chongqing 400044, P. R. China; 2. Safety Engineering College, Chongqing University of Science and Technology, Chongqing 400042, P. R. China)

Abstract: With further exploration and development of oil and gas wells, it is found that the unconventional oil-gas bed occupies a major proportion in gas reserves. However, it is difficult to obtain satisfactory control by using conventional perforation technology because of its characteristics of low pore, low permeability and compact lithology in the unconventional oil-gas bed. The StimGun tech (synergize compound perforation) is described as following: after the perforating gun is fired, propellant burns with high-energy gas produced. Then the high-energy gas enters the perforating hole and forms multi-path cracks around perforated hole, which connects with the natural cracks and improves the permeability of oil and gas bed. The application and advantage of StimGun are introduced. The Stimgun is successfully applied in Sichuan LG oilfield. It can control the fracture heights effectively and remove contamination formation with no water producing, and it is also a great help to increase productivity of the oil-gas bed with low permeability.

Key words: Stim Gun; perfor frac; crack

收稿日期: 2010-12-21

基金项目: 国家重点基础研究发展计划(973 计划)资助项目(2009CB724606); 国家创新研究群体基金资助项目(50621403); 重庆市科委自然科学基金资助项目(CSTC, 2009BB6229)

作者简介: 李 林(1979-), 男, 重庆大学博士, 主要从事煤矿煤自燃方面的研究, (E-mail) daney0803@163.com。

近年来,随着石油、天然气开发技术的深入发展,勘探油气层类型更加复杂,低孔、低渗、致密岩性的非常规油气层在油气储量中占较大的比例,由于其储层性质差,勘探开发难度大,因而对射孔工艺提出越来越高的要求。对于这类储层,采用常规射孔后很难压开地层,重复射孔2至3次才能见到效果,既浪费了作业时间、又增加了施工成本,对储层也造成伤害;即使压开地层也很难控制压裂缝的缝高,导致油气井过早地出水,为油气开发带来较多难题。针对这类储层的勘探、开发井,常规的射孔工艺技术很难获得理想的效果,采用 Stimgun 复合射孔技术能有效解决上述问题,并在现场应用中取得了较好的效果。

1 StimGun 复合射孔原理

StimGun 复合射孔技术是利用电缆或油管作为传输工具将套装有推进剂的射孔器输入到目的层,先后完成射孔和高能气体压裂两道工序。该技术利用聚能射孔弹起爆与推进剂燃烧之间的时间差来完成,射孔枪起爆后,产生的高能射流点燃推进剂,推进剂无氧环境中燃烧产生高能气体,高压状态下的高能气体注入射孔孔道,对地层近井区域产生机械、物理和化学作业^[1-2]。在射孔孔眼周围形成多径向裂缝,并使裂缝得到延伸,从而沟通井筒近井地带的天然裂缝,达到提高油气产能的目的。该技术实现了射孔与气体压裂相结合,在近井地带形成孔缝结合型超穿深裂缝体系,孔缝结合实现超穿深 2.5 m 以上,气体压裂消除射孔对地层的压实伤害,从而改善油气流通通道,提高近井地带的渗流能力^[3-4]。

2 StimGun 复合射孔特点

2.1 优化施工设计

该技术针对不同区块、地层特点建立了与之相匹配的数学模型,从射孔参数、作业器材、完井管柱、施工工艺、过程控制及效果数值模拟等方面进行施工优化设计,分析井筒内峰值压力、压力上升时间、压力持续时间、作业管柱的安全性、压裂效果等方面,确保施工安全可靠,气体压裂有效^[5-8]。

2.2 全过程数字化

该技术实现了全过程数字化,施工前根据施工井的地质参数(如渗透率、孔隙度、泊松比、杨氏模量等)、工程参数(套管、油管的钢级、壁厚等)及井下管串结构等参数,设计出合理的药量及安装位置、模拟计算出井筒内最高峰值压力和裂缝的长度、宽度(见图 1),并进行效果预测。在施工中采用井下高速电

子压力计,通过低速、中速、高速等多种方式记录井下 P-T 曲线(见图 2)。施工后分析 P-T 曲线,评价施工效果,并对设计数学模型进行修正和完善。

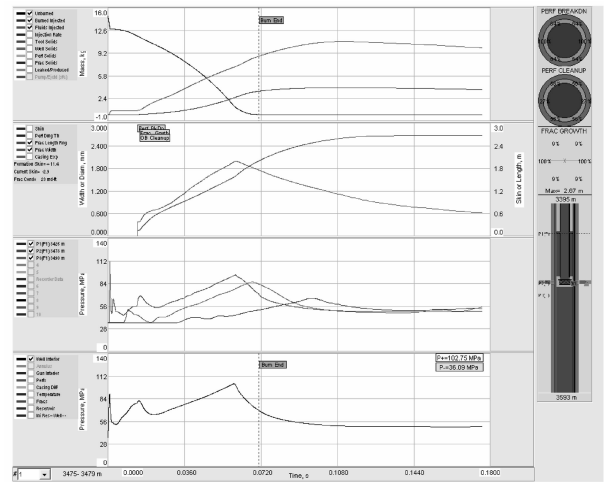


图 1 模拟结果图

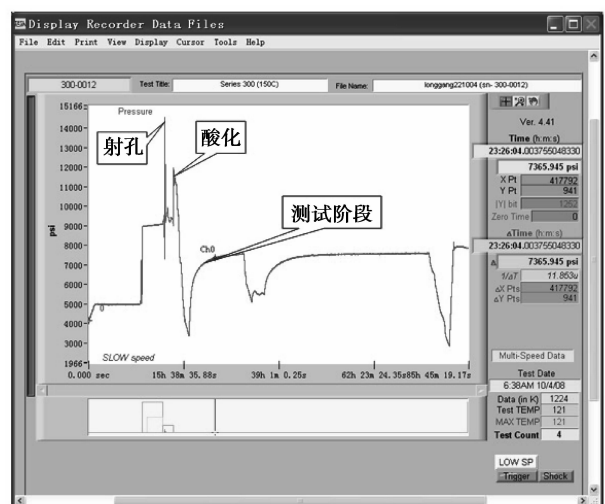


图 2 P-T 曲线图

2.3 适用范围广

该技术能够实现电缆射孔、射孔测试联控、与封隔器联控、射孔酸化测试联控、射孔加砂测试联控以及一次性射孔完井作业,能够保证高能气体产生的能量大部分进入射孔孔道,对射孔孔眼进行压裂,得到最佳的压裂效果,并且提高了施工时效,节约了试油成本^[6-15]。

3 StimGun 复合射孔技术研究

3.1 配套射孔设备及工艺

针对不同的井况条件,从推进剂、射孔器、锁紧件、扶正环、起爆器等配套射孔器材进行了研制,形

成了满足 5"、5 1/2"以及 7"套管的系列配套射孔器材^[7,8],主要参数见表 1。复合射孔工艺技术研究已从单一的普通传输发展到 StimGun 射孔酸化测试

联作,StimGun 射孔加砂联作、StimGun 一次性射孔完井以及 StimGun 全通径射孔等多种工艺技术,常用射孔作业管柱见图 3。

表 1 射孔器材主要参数

推进剂		锁紧环		扶正器		套管		枪型
型号	外径	型号	外径	型号	外径	尺寸	内径	
73 型	86	73 型	86	73 型	93	5"	108	73 型
86 型	102	86 型	108	86 型	112	5 1/2"	121	86 型
114 型	130	114 型	139	114 型	146	7"	157	114 型

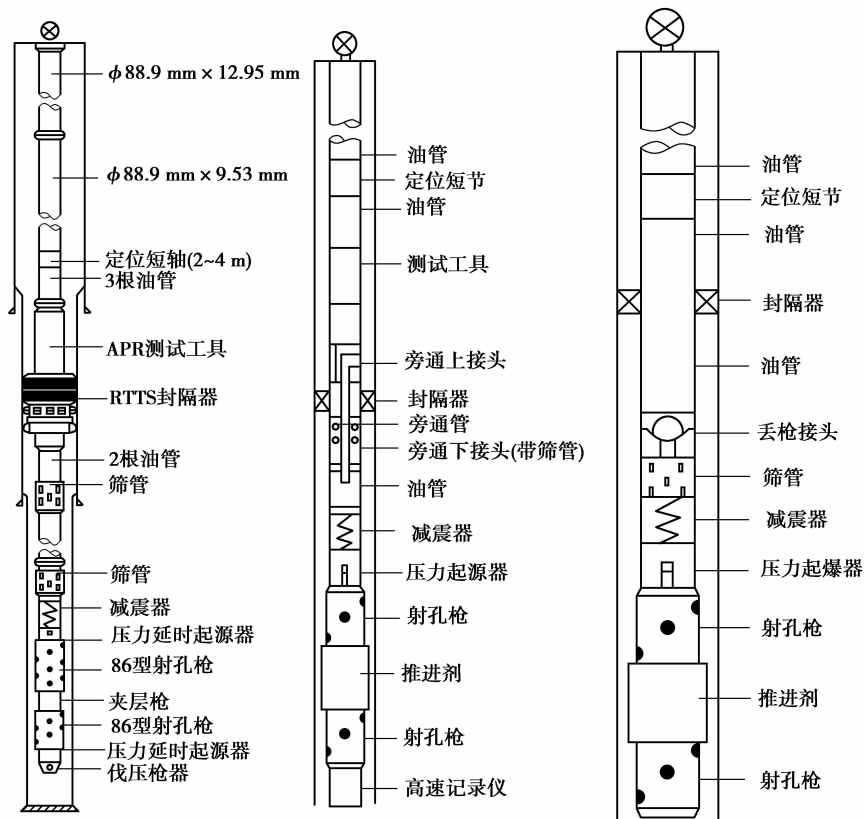


图 3 StimGun 复合射孔常用作业示意图

3.2 井筒安全分析

StimGun 复合射孔过程中,井筒内瞬间产生高压气体,作用于射孔孔道,同时一部分高压气体会推动管柱向上强烈冲击振动,使管柱产生沿油管轴线的纵向振动和与油管柱轴向垂直的横向振动,将在管柱中产生某一时刻的峰值载荷,使管柱受力处于恶劣状态,特别是在与封隔器联作时,射孔产生的冲击力可能使封隔器及油管失效^[4]。另外,井筒内产生的高压气体直接作用在套管上,如果产生高压气体峰值压力过大,可能导致套管屈曲失稳,因此超深

井、长井段复合射孔作业的井筒安全极为重要。通过模拟计算 StimGun 复合射孔瞬间井筒内的压力变化和推进剂燃烧时封隔器以下射孔管柱的受力情况,保证射孔作业管柱和套管安全可靠。

4 现场应用

StimGun 复合射孔技术分别在四川油气田、塔里木油田、冀东油田、塔河油田等地区现场推广应用了八十余口井次,施工成功率为 100%,施工效果显著。

四川 LG27 井在飞仙关组采用 73 型 StimGun 复合射孔酸化测试联作后,挤入地层总液量 145.60 m³,产气 72.8×10⁴ m³/d。该井长兴组采用普通射

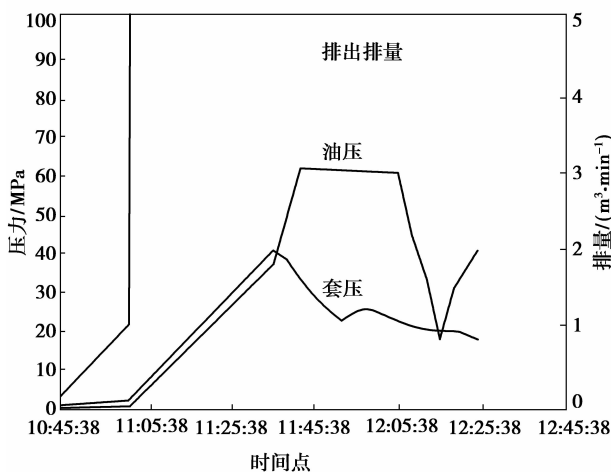
孔酸化测试联作施工,高挤浓度 21.02% 盐酸 145.97 m³,测试日产气 50.4×10⁴ m³/d。储层参数对比见表 2。

表 2 储层参数对比表

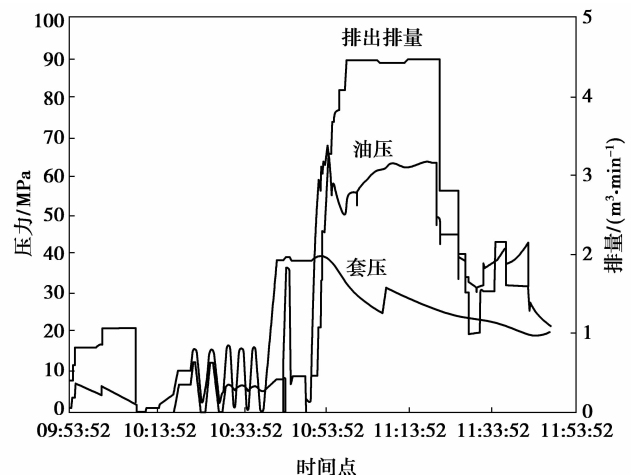
层位	井段	层厚	空隙度/%	渗透率/md	解释结果
飞仙关	4772.5-4792.4	19.9	4.261	0.1685	气层
	4809.7-4814	4.3	3.801	0.2	气层
长兴组	4904-4908.7	4.4	2.237	0.005	含气层
	4910.4-4922	11.6	5.419	0.931	气层
	4924-4946.8	22.8	9.125	12.781	气层

从压裂酸化(见图 4)过程可以得知:飞仙关组酸化时,最高泵压在 57 MPa 左右,长兴组酸化时,最高泵压为 67 MPa;从解释结果分析可知:该井在长兴组的孔隙度和渗透率都明显好于飞仙关组,射

孔后,从产气量比较,飞仙关组比长兴组好,这说明 StimGun 复合射孔技术可以改善油气流通通道,提高近井地带的渗流能力,实现增产目的。



(a) LG27# 飞仙关射孔酸化压力曲线



(b) LG27 井长兴乡射孔酸化压力曲线

图 4 LG27 井飞仙关和长兴组压裂酸化曲线图

5 结论

现场应用表明,StimGun 复合射孔技术作为压裂酸化前的预处理措施,可降低破压,提高注入能力,改善压裂效果,实现了油气增产的目的,同时能和多种工艺联合施工,缩短试油周期,节约成本,为开发低孔、低渗、致密油气藏提供了有效的射孔完井方法。

1) StimGun 复合射孔技术实现了油气增产的目的,作为压裂酸化前的预处理措施,可降低破压,提高注入能力,改善压裂效果;

2) 该技术适用于致密、低孔、低渗、高压储层;

3) 该技术能和多种工艺联合施工,缩短了试油周期,节约成本。

参考文献:

- [1] 赵旭,柳贡慧. 复合射孔上部压井液运动理论模型研究[J]. 钻井液与完井液, 2008, 25(3): 7-9.
ZHAO XU, LIU GONG-HUI. Theoretical modeling of the movement of the top killing fluids in complex perforation[J]. DFCF, 2008, 25(3): 7-9.

- 刚体耦合动力学仿真[J]. 清华大学学报:工学版, 2008, 48(11):1837-1840.
- ZHOU HONG, LI JUN-FENG, WANG TIAN-SHU. Dynamics simulation of a fluid-filled coupling system using the ALE finite element method[J]. Journal of Tsinghua Univ:Sci & Tech, 2008, 48(11):1837-1840.
- [16] 田保林, 刘妍, 申卫东, 等. 可压缩多介质流动的整 ALE 方法(GALE)[J]. 北京理工大学学报, 2007, 30(5): 623-625.
- TIAN BAO-LIN, LIU YAN, SHEN WEI-DONG, et al. Global arbitrary lagrangian-eulerian method for compressible multimaterial flows [J]. Journal of Shandong University, 2007, 30(5):623-625.
- [17] HOLMQUIST T J, TEMPLETON D W, BISHNOI K D. Constitutive modeling of aluminum nitride for large strain high-strain rate and high-pressure applications [J]. Computer Methods in Applied Mechanics and Engineering, 2006, 195: 110-132.
- (编辑 侯 湘)
-
- (上接第 39 页)
- [2] 刁刚田, 刘志华, 周家驹. 复合射孔技术的应用[J]. 钻采工艺, 2003, 26(6):30-33.
- DIAO GANG-TIAN, LIU ZHI-HUA, ZHOU Jia-ju. The application of compound perforation technology[J]. DST, 2003, 26(6):30-33.
- [3] 刘练, 丛宽, 郭玲玲. Stimgun 射孔与 DST 测试联作工艺及其应用[J]. 油气井测试, 2008, 17(5):43-45.
- LIU LIAN, CONG KUAN, GUO LING-LING. Technology about combining operation of stimgun perforation and DST testing and its application [J]. Testing of Oil&Gas field, 2008, 17(5):43-45.
- [4] 郭延亮, 陈锋, 袁吉诚. Stimgun 外套式复合射孔器在塔里木 QL-X 井的应用[J]. 测井技术, 2005, 3(6): 253-255.
- GUO TING-LIANG, CHEN FENG, YUAN JI-CHENG. Application of Stimgun in Well QL-x in Tarim Oilfield[J]. Well Logging Technology, 2005, 3(6): 253-255.
- [5] 王艳萍, 黄寅生, 潘永新. 复合射孔技术的现状与趋势[J]. 爆破器材, 2002, 3(6):30-33.
- WANG YAN-PING, HUANG YIN-SHENG, PAN YONG-XIN. Situation and tendency of combined perforating-fracturing techniques [J]. Explosive Materials, 2002, 3(6):30-33.
- [6] 李四江. 复合射孔-测试联作中值得探讨的几个问题[J]. 油气井测试, 2009, 1(2):54-56.
- LI SI-JIANG. Some problems being worth notice about combining operation of compound perforation and well test[J]. Testing of Oil&Gas field, 2009, 1(2):54-56.
- [7] 黄建宁, 卢永宽. 复合射孔技术及在靖安油田的应用效果分析[J]. 油气井测试, 2006, 15(2):48-49.
- HUANG JIANG-NING, LU YONG-KUAN. Perforation and fracturing technology and its treatment effect analysis in the Jing'an Oilfield. Testing of Oil&Gas field, 2006, 15(2):48-49.
- [8] 李东传, 金成福, 余海鹰. 复合射孔器射孔后环空压力分布实验研究[J]. 爆破器材, 2009, 1(2):38-40.
- LI DONG-CHUAN, JIN CHENG-FU, YU HAI-YING. Study on annulus pressure distribution after perforation of composite perforators[J]. Explosive Materials, 2009, 1(2):38-40.
- [9] YANG Z, CROSBY D G, A KGUN F, et al. Investigation of the factors influencing hydraulic fracture in intimation in highly stressed formations[C]//SPE Asia Pacific Oil and Gas Conference and Exhibition, 14-16 April 1997, Kuala Lumpur, Malaysia; EPS38043.
- [10] ZHANG GUANG-QING, CHEN MIAN. Influence of perforation on formation fracturing pressure [J]. Petroleum Science, 2004(1):356-361.
- [11] PAPANASTASIOUS P, ZERVOS A. Three-dimensional stress analysis of a wellbore with perforation and a fracture[C] // SPE/ISRM Rock Mechanics in Petroleum Engineering, 8-10 July 1998, Frondheim, Norway; SPE47378.
- [12] CROUCH S L. Solution of plane elasticity problems by the displacement discontinuity method[J]. Int J Num Methods Eng, 1976(10):301-343.
- [13] JIM GILLIAT, PHILLIP MS, ROBERT H A review of field performance of new propellant[J]. SPE, 2003 (11):239-246.
- [14] FRIANKEL I. Weights influence of viscosity on the capillary of a stretching jet[J]. J Fluid Mech, 1987(2): 26-27.
- [15] BENZLEY, S E. Representation of singularities with isoparametric finite elements[J]. Int J Num Meth Eng, 1974(8):537-545.
- (编辑 张小强)