

Research Progress of Horizontal Well Fracturing Technology in Sichuan and Chongqing, China

Kezhong Gu Qi Wang Jian Zhang

Sinopec Huadong Petroleum Engineering Co., Ltd., Huamei Futai Company, Yangzhou, Jiangsu, 225000, China

Abstract

At present, the construction of shale gas production capacity in Sichuan and Chongqing has been carried out in an all-round way, and horizontal well staged fracturing technology is a very important part of shale gas development. This paper briefly introduces the widely used well factory fracturing technology, soluble bridge plug staged fracturing technology, as well as the emerging toe end sliding sleeve technology, infinite sliding sleeve technology, process principle and structural characteristics in Sichuan and Chongqing, and puts forward some suggestions on the future development direction.

Keywords

horizontal well fracturing technology; well factory fracturing technology; soluble bridge plug staged fracturing technology; toe end sliding sleeve technology; infinite sliding sleeve technology

中国川渝地区水平井压裂技术研究进展

顾克忠 王琪 张健

中石化华东石油工程有限公司华美孚泰公司, 中国·江苏扬州 225000

摘要

当前川渝地区页岩气产能建已经全面展开, 而水平井分段压裂技术是页岩气开发的十分重要的一环。简要地介绍了川渝地区应用较为广泛的井工厂压裂技术、可溶性桥塞分段压裂技术以及新兴的趾端滑套工艺技术、无限级滑套工艺技术工艺原理及结构特点, 并对未来的发展方向提出了建议。

关键词

水平井压裂技术; 井工厂压裂技术; 可溶性桥塞分段压裂技术; 趾端滑套工艺技术; 无限级滑套工艺技术

1 引言

川渝地区作为中国页岩气开发前景远大的地区之一, 资源充足、产层多, 技术条件越来越趋向成熟^[1]。当前川渝地区页岩气产能建已经全面展开, 而水平井分段压裂技术是页岩气开发的十分重要的一环。而压裂技术也在不断的进步与发展, 井工厂压裂技术、可溶性桥塞分段压裂技术已经发展成为川渝地区压裂的常规压裂技术, 几乎已经应用于川渝地区大部分压裂井; 而趾端滑套工艺技术、无限级滑套工艺技术正在逐步代替泵送桥塞分段压裂技术, 逐渐成为该地区增产增效的一种压裂技术发展趋势。

2 井工厂压裂技术

由于川渝地区页岩气分布区域的地质地理特征复杂, 而且压裂施工又要受到井场环境、周边道路等各方面因素的影响, 效仿其他国家的大型或超大型“工厂化”的施工模式

不太现实, 所以该地区选择了另外一种从式水平井组的“井工厂”压裂模式。顾名思义, 从式布井集中在同一井场, 井各间进行同步交替压裂施工^[2]。

2.1 “井工厂”压裂模式

井工厂交替压裂是指在一个平台一井压裂施工时, 另一井进行射孔、下桥塞等作业, 两井交替进行施工, 缩短压裂周期, 提高生产效率; 井工厂同步压裂是指同时使用两套压裂机组对两口或两口以上井进行的压裂施工^[3]。

2.2 “井工厂”压裂配套系统

“井工厂”压裂地面配套系统: 连续泵注系统、连续供砂系统、连续配液系统、连续供水系统、工具下入系统等, 如图1所示。

连续泵注系统是“井工厂”压裂的核心, 主要包括高压泵注系统与低压集流供液系统。“井工厂”压裂施工要求地面高压流程连接简便, 流程控制安全、可靠, 流程连接可实现在两口井甚至多井间进行切换, 同时要求多井间桥塞泵送或其它配套作业与压裂施工可同步进行。通过使用高压分配管汇对地面流程优化后, 可满足上述要求, 实现高效的“井

【作者简介】顾克忠(1974-), 男, 中国江苏盐城人, 本科, 工程师, 从事非常规压裂运行保障研究。

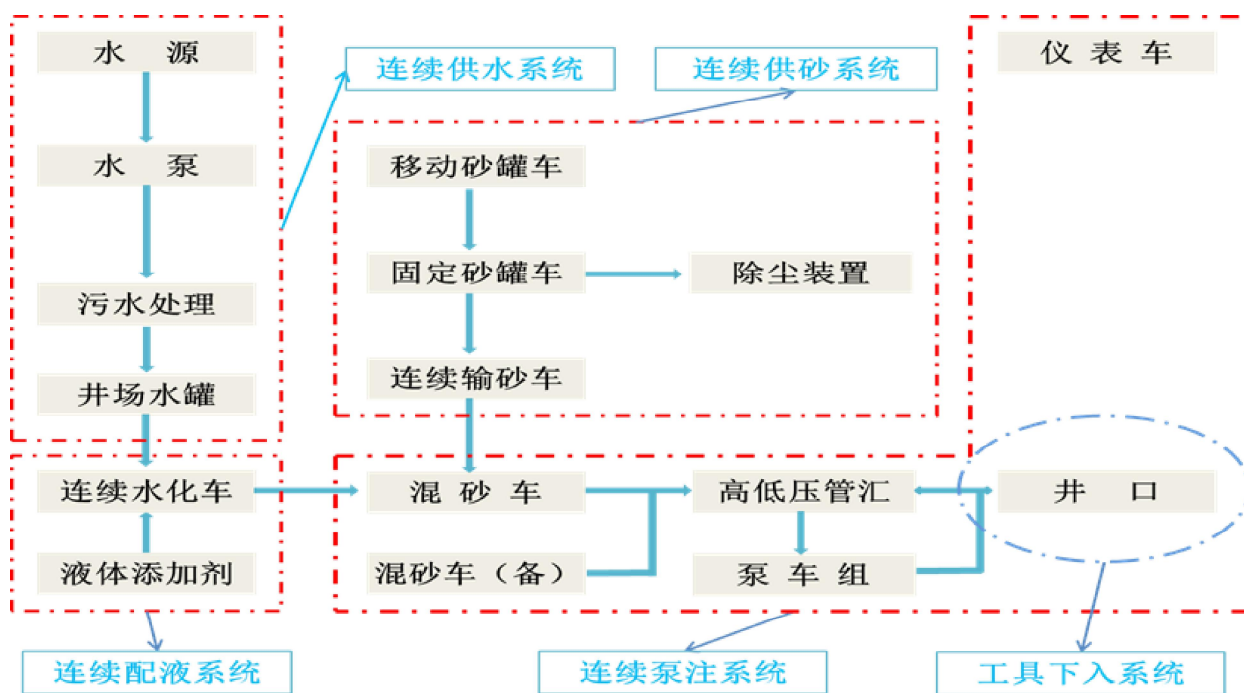


图1 “井工厂”压裂地面配套系统示意图

工厂”压裂施工。

压裂高压分配管汇由多个通径为130mm、承压105MPa的平板阀和多个6通压裂注入头及其它辅助配件组成。它是“井工厂”压裂模式下地面高压流程控制技术的关键装置。根据井工厂压裂工艺不同要求，地面高压流程可使用不同的压裂分配管汇对高压流体进行分流与控制。

通过压裂分配管汇实现高压流程在多井间切换，同时泵送桥塞区通过六通压裂井口独立与井口连接，具有单独的泵送桥塞流程，这是“井工厂”压裂的核心之一。压裂与泵送分开的控制流程使二井间压裂施工和泵送桥塞作业可以同步进行，独立控制，互不干扰，减少施工的停等时间，施工衔接紧凑，实现高效的井工厂压裂运行模式。

2.3 现场实施情况

南川区块A平台位于重庆市南川区楠竹山镇谢坝村8组，川东高陡褶皱带万县复向斜南部的金佛断坡平桥背斜构造带，目的层为上奥陶统五峰组一下志留统龙马溪组。A平台4口井采用24小时井工厂模式施工，压裂管汇撬分流头组接分流管汇，主压流程联入液控旋塞控制的投球装置，施工不停泵可以正常投球，通径130mm，平板阀级别105MPa，分流管汇三端分别组连A-1HF井、A-2HF井、A-3HF井（同时进行1井、2井的压裂施工），单井压裂流程串接套平衡压流程。同时确保安全高效的完成平台井拉链式压裂施工，准实施一口井压裂期间另外一口井进行泵送桥塞射孔。A平台70段用时18天，平均每天3.8段，最高一天压裂5段，效率同比增加30%，圆满完成了该平台压裂施工任务目标。

3 可溶性桥塞分段压裂技术

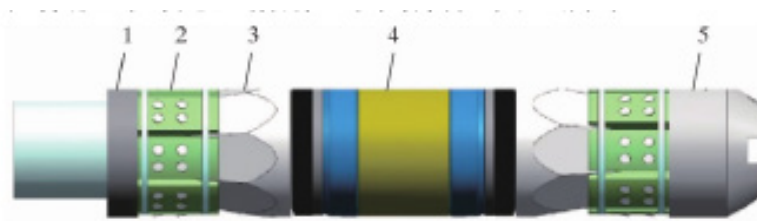
可溶性分段桥塞压裂技术^[4]作为川渝地区页岩气藏的一项重要新技术，已经逐渐成长成为该地区一种常规压裂技术。该技术在压裂时能够将层间稳定的进行封隔，并且不与周围环境发生物理化学反应。同时，该技术还可以自行进行溶解，不需要进行钻磨桥塞，可以随返排液自行排出井筒，保证了井筒的全通径效果，为以后的产能测试提供了有利保障。

3.1 基本结构

可溶性桥塞作为水平井分段压裂工具中的一种，结构主要由两部分组成，其一是本体而另外一部分是胶筒。本体的材质主要由金属构成，一般都会采用镁基合金制作，该合金具有可溶性。而胶筒部分的主要材质由橡胶制成，该橡胶具有可降解性。其结构如图2所示。

3.2 工艺原理

可溶性桥塞一般情况下投送采用投送工具，泵送其经过电缆传输送达指定井筒层位，同时依靠火工品爆炸时产生的推动力推动滑套，通过挤压背圈和胶筒，带动锥体挤压卡瓦。当达到卡瓦的破裂压力时，卡瓦向外移动，咬合套管，锥体与卡瓦形成自锁，胶筒膨胀与套管内壁贴合，完成桥塞的丢手密封^[5]。压裂完成后可以自行进行溶解，保证了井筒的全通径效果，为以后的产能测试提供了有利保障。与其他普通工艺作比较，该技术的主要亮点在于可以自行进行溶解，不需要进行钻磨桥塞，缩短了投产周期，提高了生产效率。



1—推力环;2—锚牙;3—卡瓦锥体;4—胶筒;5—锁紧接头。

图2 可溶性桥塞结构示意图

3.3 现场实施情况

根据目前数据统计及压裂施工数据显示,南川页岩气区块可溶性桥塞分段压裂工艺技术的使用情况已经基本做到了全覆盖。据不完全统计,2020年南川工区共下入1500余支,南川区块部分可溶性桥塞使用情况如表1所示。

表1 南川区块部分井可溶性桥塞使用情况统计

井号	可溶性桥塞数量(支)	桥塞外径(mm)	桥塞内径(mm)
A-1井	5	103	45
	10	103	30
A-2井	6	103	45
	10	103	30
A-3井	10	103	45
	8	103	30
A-4井	4	103	45
	8	103	30
B-2井	19	103	27
C-1井	19	103	27
D-1井	14	14	32

4 趾端滑套工艺技术

川渝地区大部分页岩气井均采用泵送桥塞分段压裂技术,而相对应的进行第一段压裂施工前基本上都需要通过连续油管开展射孔作业,无形中增加了施工周期及成本。为了有效解决这种情况,趾端滑套工艺技术应运而生,该技术可以在一定范围内替换首段射孔,提高页岩气田开发效率。

4.1 基本结构

趾端滑套是一种压裂滑套,该滑套通过液压进行操控。主要应用于目的层打通和构建流动通道前进行的完整性压力测试,能够实现与其他各种多级滑套或者桥塞射孔共同使用,相辅相成。延时趾端滑套基本组成部分由三部分构成,其一是压裂控制装置、其二是延时控制系统以及内活塞,其结构如图3所示。

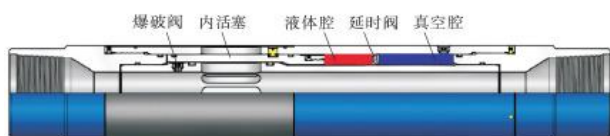


图3 趾端滑套结构示意图

4.2 工艺原理

趾端滑套工艺原理是当工作压力超过延时控制系统的剪切限定值时,爆破阀开启,压力推动内活塞移动,激活工具内的延时控制系统,内活塞将液体腔内的液压油缓慢挤入真空腔,通过延时阀控制液压油的流速。待试压时间达到30min或其他标准试压时间,内活塞移动到位,滑套完全开启,建立了井筒—地层的流通通道。

4.3 现场实施情况

B-2井是中石化部署在四川盆地川东高陡褶皱带万县复向斜东胜背斜的一口评价井,目的层位于上奥陶统五峰组一下志留统龙马溪组。该井为南川工区首次应用趾端滑套工艺技术,首先进行全井筒试压,压力打至50MPa,稳压15min后压力降到49.4MPa;然后继续打压至80.1MPa;稳压2min后压力下降至51.8MPa,说明滑套成功开启。

然后B-2井第1段压裂施工,首先根据压力提高排量到12m³/min,并注入150m³胶液造缝,破裂压力从85.2MPa降至76.6MPa,降破明显,然后根据施工压力进行段塞式加砂及逐渐提排量维持正常施工。施工曲线图如图4所示,施工压力75.4~76.9MPa,施工排量12~17m³/min,施工最高压力85.2MPa,最高砂比12%(中砂和粗砂混合加砂),总液量1863.2m³,总砂量70.5m³。

5 无限级滑套技术

无限级滑套技术是近年来发展壮大的一种多级压裂技术,采用无限级滑套分段压裂级数不受限制,压后井筒全通径,层级改造均匀,施工规模小,成本低,快速高效,可实现快速求产完井。

5.1 基本结构

无限级滑套主要特点在于又无限级、全通径、可开关、管柱一体化功能,能够有效替代泵送桥塞分段压裂技术,提高生产效率。该结构主要由三部分组成,其一是滑套主体,其二是开启工具,其三为密封球。其结构如图5所示。

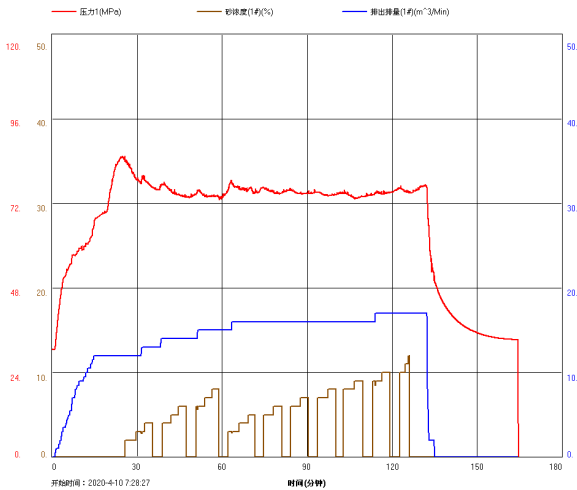


图4 B-2井第1段压裂施工

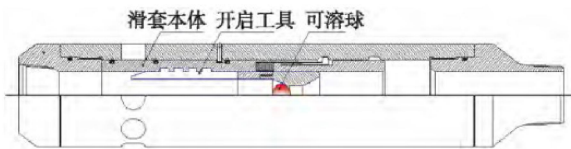


图5 无限级滑套结构示意图

5.2 工艺原理

无限级滑套分段压裂技术是一种全新的分段压裂技术，可用于裸眼完井，也可用于套管固井完井，跟传统的投球滑套+封隔器分段压裂工艺的区别在于，滑套打开方式不同，无限级滑套为全通径，不需要投球打开滑套。无限级滑套钻井施工完成后随套管串下入目的层位，压裂施工时无需进行射孔，将夹筒和可溶球投入打开滑套孔道，直接进行压裂施工。

5.3 现场实施情况

C-2井是中石化部署在渝东南利川—武隆复向斜武隆向斜团堡次凹南翼的一口评价井，目的层位于上奥陶统五峰组-下志留统龙马溪组。C-2井31段，首次进行射孔，2-29段为预置无限级滑套压裂工艺技术，30-31采用泵送桥塞射孔压裂工艺。

C-2井某段的无限级滑套分段压裂技术，首先进行泵送头夹筒压裂施工，排量3.5m³/min，注入液量46.7m³，压力由52.9MPa瞬间上涨到82.1MPa，滑套孔道打开，然后直接开始压裂施工，施工曲线图如图6所示。

C-2井29段预置无限级滑套施工十分顺利，克服该井运砂困难及压力较高用时5天，最高一天完成8段压裂施工，圆满完成了该井的压裂施工目标。

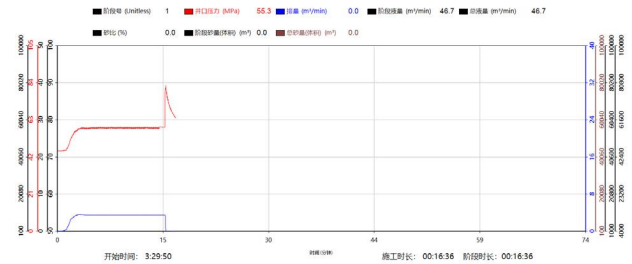


图6 C-2井某段泵送滑套施工曲线

6 结语

当前，川渝地区井工厂压裂技术、可溶性桥塞分段压裂技术已经发展成为川渝地区压裂的常规压裂技术，几乎已经应用于川渝地区大部分压裂井；而趾端滑套工艺技术、无限级滑套工艺技术正在逐步代替泵送桥塞分段压裂技术，该技术的兴起与发展是川渝地区页岩气产能建设的有利保障，在平衡经济效益、环境因素以及社会效益间起着重要的作用。

参考文献

- [1] 陆廷清,胡明,刘墨翰,等.页岩气开发对川渝地区水资源环境的影响[J].科技导报,2016,34(23):51-56.
- [2] 肖佳林.涪陵焦石坝区块水平井组拉链压裂实践与认识[J].中国石油勘探,2018,23(2):51-58.
- [3] 曹明.页岩气压裂试气工程技术进展[J].中国矿业,2017,26(2):359-363.
- [4] 刘统亮,施建国,冯定,等.水平井可溶桥塞分段压裂技术与发展趋势[J].石油机械,2020,48(10):103-110.
- [5] 夏海帮.可溶桥塞在南川页岩气田的应用研究[J].油气藏评价与开发,2019,9(4):79-84.