

Research and Application of Hydraulic Jet Fracturing Technology in Liaohe Oil Field

Hui Gao

Fracking Acidification Technology Research Institute of Great Wall Drilling Fracking Company, Panjin, Liaoning, 124000, China

Abstract

Compared with conventional fracturing technology, hydraulic jetting fracturing has obvious advantages, such as the use of high-speed jet to achieve dynamic isolation without the use of any mechanical or chemical isolation; Layering, perforating and fracturing in a single string that escapes perforating and it is safer and more efficient; Achieve accurate fracture initiation and effectively control the initial direction; The effect of compaction caused by traditional perforating process is avoided, and the friction near wellbore and sand plugging caused are effectively improved. The X Gu H-X well in Liaohe oil field is a screen completion well, which cannot be fractured in stages with conventional packer tools. The well uses hydraulic jet fracturing technology to complete the designed sand scale and achieve good fracturing effect.

Keywords

hydraulic jetting; screen well completion; horizontal well fracturing

辽河油区水力喷射压裂工艺研究与应用

高惠

长城钻探压裂公司压裂酸化技术研究所, 中国·辽宁 盘锦 124000

摘要

与常规压裂工艺相比, 水力喷射压裂工艺在施工时具有明显的优势, 如利用高速射流实现动态封隔不需要使用任何机械封隔或化学封隔; 一趟管柱可完成分层、射孔和压裂, 可节省射孔工序, 更加安全和高效; 实现裂缝精准起裂, 有效控制裂缝形成的初始方向; 避免了传统射孔工艺产生的压实影响, 有效改善了近井筒摩阻和由此产生的砂堵问题等。辽河油区X古H-X井为筛管完井, 无法使用常规封隔工具进行分段压裂, 该井采用水力喷射压裂技术, 完成了设计的加砂规模, 取得了较好的改造效果。

关键词

水力喷射; 筛管完井; 水平井压裂

1 引言

水力喷射压裂是由美国哈里伯顿公司发明的一项压裂工艺技术, 是一种高度精准、可自行选择裂缝起裂位置并产生多个裂缝的储层改造方式。2005年冬, 在长庆油田JP-1井运用水力喷射压裂技术在该井水平段进行了两次压裂作业, 这也是水力喷射压裂技术首次在中国使用并获得成功。随后又在长庆油田同一区块的ZP-3等井的水平段成功地进行了水力喷射压裂的施工。2008年, 在鄂尔多斯盆地大牛地气田DP-1井运用水力喷射压裂技术在该井水平段进行了5次压裂作业, 并取得了成功。该工艺成功应用于直井、水平井分段压裂中, 并相继在裸眼完井、套管完井和筛管完井

的储层改造中获得广泛应用。与常规压裂工艺相比, 水力喷射压裂工艺在施工时具有明显的优势: 水力喷射压裂技术采用高速射流来产生井筒内局部低压区的方法实现不同井段间的动态封隔不需要使用任何机械封隔或化学封隔, 避免了机械封隔和化学封隔操作上的隐患; 实现了一趟管柱内完成分层、多段射孔和压裂; 由于水力喷射工具位置就是裂缝的初始起裂位置, 实现了裂缝位置可根据设计在不同井段上的精确定位, 有效控制裂缝形成的初始方向; 对于制造横向裂缝, 可有效避免多条裂缝的同时产生^[1]。大大降低了由于多条裂缝竞争裂缝宽度、主裂缝难以形成而造成的施工压力过高、发生砂堵概率增大的现象; 该工艺可实现水力射孔、压裂连作, 相比常规压裂工艺, 可节省单独射孔的作业工序, 更加安全和高效; 采用喷砂射孔, 无论套管、水泥环, 还是地层中的射孔孔道都会比传统射孔工艺产生的孔道大许多, 有效改善了近井筒摩阻和由此产生的砂堵问题, 而且避免了

【作者简介】高惠(1984-), 女, 中国河北张家口人, 硕士, 工程师, 从事储层改造研究。

由于射流射孔会改变孔道内地层岩石表面应力，使其变得更加致密而由此产生的裂缝弯曲。

常规射孔形成压实效应，水力喷射压裂可降低破裂压力，有利于裂缝起裂和延伸，见图1。

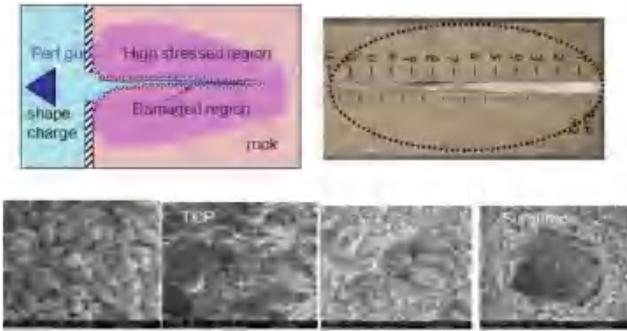


图1 常规射孔

2 水力喷射压裂技术机理

水力喷射压裂技术是一种联作技术，它包含水力喷射射孔和水力喷射压裂两个过程。水力喷射射孔式压裂泵车组通过高压，将压裂液通过油管或连续油管泵入地层。由伯努利方程(1)可知，当压裂液通过喷射工具时，携砂液通过喷射工具和耐磨喷嘴，油管/连续油管中的高压能量转为动能，进而产生高速射流，利用高速流体携带的支撑剂颗粒的高频冲蚀作用来切割套管、水泥环和岩石进而形成通道。同时，高速流体的冲击作用还可在通道附近产生微裂缝，能降低地层破裂压力，降低起裂难度^[2]。喷射射孔完成后，关闭套管闸门，由油管和套管同时注入压裂液，油管内的压裂液经过水力喷射工具，射流持续作用在喷射形成的通道中继续增加压力，而从油套环空中泵入的压裂液可增加环空压力，实现喷射流体的增压和环空压力的叠加。当流体增压与环空压力之和大于等于破裂压力时，可将水利喷射点处的地层压开。压开地层后，持续不断地通过油管和套管泵入压裂液，在保持环空压力基本不变的情况下裂缝不断向前延伸。继续泵入携砂液，其沿水力喷射形成的通道流入裂缝，进而利用支撑剂来充填和支撑水力裂缝^[3]。

水力压裂原理见图2。

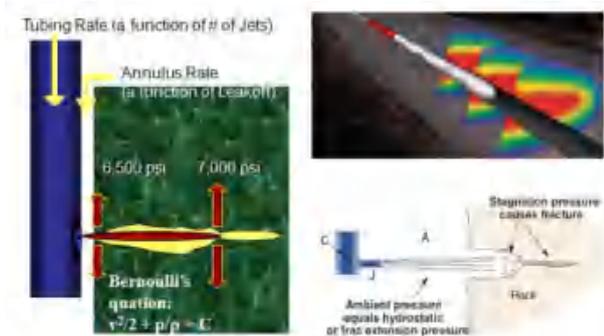


图2 水力压裂原理示意图

伯努利方程为：

$$\frac{v^2}{2} + \frac{P}{\rho} = C \quad (1)$$

式中： v ——流体流速，m/s；

P ——流体中某点的压强，MPa；

ρ ——流体密度，g/cm³；

C ——常数，无量纲。

3 水力喷射压裂设计工艺

3.1 施工井概况

X古H-X井储集层主要为混合花岗岩、黑云母斜长片麻岩及混合岩，夹少量侵入岩脉。岩心观察和薄片分析，储集空间类型主要为构造裂缝、破碎粒间孔以及溶蚀成因的孔、缝；岩心分析孔隙度最大13.3%，最小0.6%，主要分布在2%~8%范围内，平均4.6%；渗透率最大 $161 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$ ，最小 $0.06 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$ ，主要分布在 $0.06 \sim 4 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$ 范围内，平均 $4.1 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$ ；岩心统计平均裂缝密度为40.1条/m，构造裂缝以NE~NNE向最发育，多为中高角度裂缝。该区太古界发育有煌斑岩岩脉，但未形成稳定分布。该井采用筛管完井，无法采用桥塞、封隔器等机械封隔方进行有效分段，因此采用水力喷射压裂工艺进行改造。采用带压作业拖动油管水力喷射压裂方式进行改造。充分结合地应力方向、井眼轨迹（含邻井）、天然裂缝走向等特征开展优化设计，以实现各项参数优化。该井分为2层压裂，改造目的层最深为3500m，埋藏较深。

3.2 裂缝参数优化

X古H-X井所属区块属于裂缝性油藏，通过水力压裂产生水力裂缝沟通天然裂缝后可能获得较高产量，根据以往施工经验，施工规模越大沟通天然裂缝的可能性更大；且压裂段录井、试油解释都为油层，储层条件较好，最终优化为裂缝半长在100m左右。借鉴邻井施工经验，同时为了保证高导流能力，并考虑施工难度，设计最高砂比30%左右，平均砂比20%左右。

3.3 喷射点选择

喷射点选取依据：综合考虑测井、录井显示，按照低伽马、深浅电阻率差异、含油性评估等进行喷射点选择，同时避开套管接箍。

3.4 井下工具串优选

采用油管拖动力利喷射压裂管柱，由导向头+筛管+反循环阀+ $\phi 114.0\text{mm}$ 下扶正器+水力喷射工具（喷嘴组合 $6 \times \phi 6.0\text{mm}$ ）+上扶正器（ $\phi 114.0\text{mm}$ ）+ $\Phi 73.0\text{mm}$ N-80接箍双倒角外加厚油管+ $\Phi 73.0\text{mm}$ N-80外加厚油管组成。

水力喷射工具示意图见图3。

水力喷射工具参数表见表1。

3.5 压裂液优选

该井改造目的层埋藏较深，目的层温度较高，对压裂液性能提出较高的耐温要求，因此采用高温压裂液体系。此

外，在配方优化中重点考虑复合防膨技术，防膨率 86.2%，破胶液黏度 2.67mm²/s。在 120℃，170s⁻¹ 条件下，测定压裂液耐温耐剪切能力，压裂液体系初始黏度为 850mPa·s，压裂液保留黏度为 150mPa·s，可满足该井施工需要。

3.6 支撑剂优选

根据压裂产能模拟，优化裂缝导流能力 300~400mD.m。该井压裂层段垂深平较深，为了保证良好的长期导流能力，同时减小施工时加砂难度，增加有效沟通范围，支撑剂选择组合粒径：40/70 目石英砂 +20/40 目陶粒。

4 实施情况

4.1 现场压裂情况

X 古 H-X 井于 2023 年实施了带压作业拖动油管水力喷

射压裂，一共分为 2 层压裂，采用高温羟丙基胍胶压裂液。第一层：设计油管排量 3.0m³/min，设计砂量 48m³，设计液量 400m³；实际施工有关排量 3.0m³/min，实际砂量 48m³，实际液量 690m³，施工压力 66MPa。第二层：设计油管排量 3.0m³/min，设计砂量 48m³，设计液量 400m³；实际施工有关排量 3.0m³/min，实际砂量 48m³，实际液量 689m³，施工压力 69MPa。

下入前水力喷射工具串见图 4。

起出后水力喷射工具串见图 5。

4.2 措施效果

X 古 H-X 井改造后，油井最高日产油 7.4t，平均日增油为 3.8t，取得了较好的改造效果。



图 3 水力喷射工具示意图

表 1 水力喷射工具参数表

参数	外径 mm	内径 mm	长度 mm	耐压 MPa	关键参数或备注
液压丢手	100	48	530	105	钢球直径 54，开启压力自定，16~25MPa
扶正器	114	50	180	105	6 个槽
喷枪	105	45	400	105	喷头 2+2+2 布置
2.875 油管短节	73	60	500	105	N80 钢级以上或加厚加工
带反洗阀扶正器	114	35	250	105	
筛管、引鞋	73	62	570	0	含一端扣长



图 4 下入前水力喷射工具串



图 5 起出后水力喷射工具串

5 结语

①水力喷射分段压裂工艺，水力喷射压裂技术可实现水力自动封隔和定点起裂而不需要封隔器或桥塞等井下封隔工具，可降低施工风险。尤其适合对于常规封隔器压裂工艺不适用的井，如筛管井等。

②水力喷射射孔与水力喷射压裂连作技术是一种十分安全和高效率的水平井压裂技术。该工艺可简化射孔施工工序，降低施工成本；同时减少地层污染，还可以降低地层破裂压力进而降低施工难度。

③此次水力喷射压裂技术达到了设计的加砂规模，取

得了较好的改造效果。但由于水力喷射工具过砂量受限等问题，目前不适合进一步提高加砂规模。因此，如何提高水力喷射工具单级过砂量是今后研究的重点。

参考文献

[1] 李富贞,王明杰,王卫华,等.液压力式过油管开关工具研究[J].中国石油和化工标准与质量,2024,44(14):139-141.
 [2] 李朝阳,陶立波,张跃,等.装有延长抗磨损时间和减缓压力衰减的硬质合金喷嘴清洗管井工具[J/OL].石油钻采工艺,1-13[2024-08-27].
 [3] 刘鹏,左凯,罗建伟,等.无限级拖动分段压裂工艺及配套工具研究[J].海洋石油,2024,44(2):35-39.