

苏里格致密砂岩储层小井眼压裂技术

刘智恪¹, 李世恒¹, 吕双¹, 姜庆超¹, 王磊², 张欣欣³

- 1. 中国石油集团渤海钻探工程有限公司油气合作开发分公司 天津 300280
- 2. 中国石油集团天然气管道局天津设计院 天津 300280
- 3. 中国石油集团渤海钻探工程有限公司第一录井分公司 天津 300280

通讯作者: Email: 286646476@qq.com

引用: 刘智恪, 李世恒, 吕双, 等. 苏里格致密砂岩储层小井眼压裂技术[J]. 油气井测试, 2023, 32(4): 56-61.

Cite: LIU Zhike, LI Shiheng, LYU Shuang, et al. Slim-hole fracturing technology for tight sandstone reservoirs in Sulige[J]. Well Testing, 2023, 32(4): 56-61.

摘要 苏里格致密砂岩储层低孔、低渗、低压、低产、多层比例高、非均质性强, 常规小井眼压裂工艺成本高, 工序繁琐, 压裂效果不及预期。对比四种小井眼压裂改造工艺特点, 优选小尺寸封隔器分层压裂和可溶桥塞+射孔联作套管压裂两种适合苏里格气田小井眼压裂改造工艺技术。通过改进封隔器尺寸和胶筒的长度, 更换水力锚的密封胶圈, 研制可溶桥塞等, 完善了小井眼压裂工艺技术。经现场施工 30 口井, 其中采用小尺寸封隔器分层压裂 17 口, 采用可溶桥塞+射孔联作套管压裂 13 口, 施工成功率 100%, 与邻井相比平均无阻流量分别提升 52.31% 和 92.14%。该技术为下步致密砂岩储层有效开发奠定了基础, 具有推广价值。

关键词 苏里格气田; 致密砂岩; 小井眼压裂; 分层压裂; 小尺寸封隔器; 可溶桥塞; 无阻流量; 采收率

中图分类号: TE357 **文献标识码:** B **DOI:** 10.19680/j.cnki.1004-4388.2023.04.010

Slim-hole fracturing technology for tight sandstone reservoirs in Sulige

LIU Zhike¹, LI Shiheng¹, LYU Shuang¹, JIANG Qingchao¹, WANG Lei², ZHANG Xinxin³

- 1. Oil and Gas Cooperative Development Company, Bohai Drilling Engineering Co., Ltd., CNPC, Tianjin 300280, China
- 2. Tianjin Design Institute, Natural Gas Pipeline Bureau, CNPC, Tianjin 300280, China
- 3. First Well Logging Company, Bohai Drilling Engineering Co., Ltd., CNPC, Tianjin 300280, China

Abstract: The tight sandstone reservoir in Sulige is characterized by low porosity, low permeability, low pressure, low production, high multi-layer proportion, and strong heterogeneity. Conventional slim-hole fracturing processes are costly, cumbersome, and often fail to achieve expected results. After comparing four different slim-hole fracturing processes, two suitable processes suitable for the Sulige gas field were selected: staged fracturing with small-size packer and soluble bridge plug + perforated casing fracturing. The slim-hole fracturing process was improved by improving the size of the packer and the length of the rubber tube, replacing the sealing rubber ring of the hydraulic anchor, and developing a soluble bridge plug. The processes were applied to 30 wells on site, with 17 wells using staged fracturing with small-size packer and 13 wells using soluble bridge plug + perforated casing fracturing. The construction success rate is 100%, and the average open flow rate is increased by 52.31% and 92.14% respectively compared with adjacent wells. This technology has laid the foundation for the effective development of tight sandstone reservoirs and holds significant value for promotion in the future.

Keywords: Sulige gas field; tight sandstone; slim-hole fracturing; layered fracturing; small-size packer; soluble bridge plug; open flow; recovery rate

苏里格气田具有“低孔、低渗、低压、低产、多层比例高、非均质性强”的特点^[1], 直井分层压裂技术是苏里格致密砂岩储层提高单井产量和开发效益的关键技术^[2]。伴随着小井眼井的迅速发展, 小井眼井压裂技术也就随之应运而生, 小井眼压裂技术的研究与应用对提高气井采收率具有重要的意

义^[3]。小井眼顾名思义井眼尺寸要比常规钻井井眼尺寸小, 由此给后续的井下压裂工作也带来了一系列的难题, 同时也给压后改造工艺带来了难题。小井眼压裂施工不同于常规井压裂施工, 需根据自身结构特点及储层的改造要求, 选择小井眼压裂施工工艺。在缺少配套工艺情况下, 2019 年以前苏里

格气田小井眼压裂施工采用固井滑套压裂工艺和连续油管带底封工具拖动压裂工艺,前者施工价格昂贵,后者者施工工序繁琐,压裂效果也没有达到预期。后期通过对常规封隔器改进和可溶桥塞的研制成功,小井眼压裂工艺得到了升级、革新,现场应用效果良好。

1 小井眼压裂工艺技术优选

针对小井眼多层系开发需求,优选出小尺寸机械封隔器分层压裂和可溶桥塞分层压裂工艺技术。两种小井眼压裂工艺技术已在苏里格得到成功应

用,施工成功率 100%。

1.1 小井眼压裂技术特点

常规压裂工艺中的压裂方式已比较完备,小井眼压裂工艺也可以从中找到适合自己的压裂方式,对这些压裂方式加以改进、优化使得其能达到小井眼压裂的要求。对于套管尺寸等于 114.3 mm 的小井眼^[4],依次进行了固井滑套压裂、连续油管带底封工具拖动压裂、小尺寸封隔器分层压裂、可溶桥塞+射孔联作套管压裂。通过四种工艺的实施,对比出不同压裂工艺的技术特点,具体特点见表 1。

表 1 四种小井眼压裂工艺优缺点对比表

Table 1 Comparison of advantages and disadvantages of four slim-hole fracturing processes		
工艺类型	优点	缺点
固井滑套压裂	施工周期短	施工成本高,施工风险高
连续油管带底封工具拖动压裂	目的性较强	施工周期长,成本较高,施工风险高
小尺寸封隔器分层压裂	成本低,施工周期短,施工风险低	施工参数受限制
可溶桥塞+射孔联作套管压裂	大排量施工,压裂段数无限制,压后全通径,施工风险低	施工成本高

通过不同压裂工艺实施的 30 口小井眼井,压后测试平均无阻流量,结果对比数据见图 1。

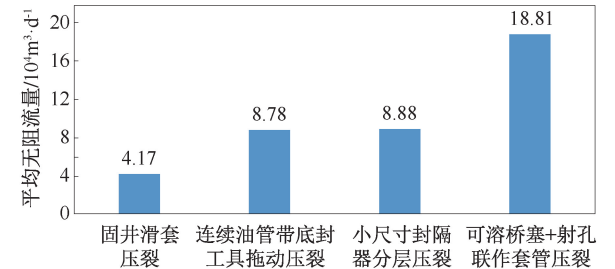


图 1 不同压裂工艺压后效果对比图
Fig.1 Comparison of post-fracturing effects of different fracturing processes

采用可溶桥塞+射孔联作套管压裂工艺平均试气无阻流量较高,采用小尺寸封隔器压裂工艺平均

试气无阻流量次之,优选出这两种适合苏里格气田小井眼压裂工艺技术。

1.2 小尺寸封隔器分层压裂技术

1.2.1 封隔器、水力锚改进

苏里格气田常规井压裂采用 139.7 mm 套管完井,施工管柱由 K344 封隔器和 73 mm 油管组合^[5],施工时 K344 封隔器坐封以后,由小到大依次投球打开滑套的方式进行压裂。然而小井眼完井采用 114.3 mm 套管完井,要想按照常规井方式改造储层并且能顺利实施,需要井下工具在尺寸和结构方面做些改进,具体改进数据见表 2。

小尺寸分层压裂工具属于改进产品^[6],具体改进参数见表 3。

表 2 常规封隔器与小尺寸封隔器参数对比表

Table 2 Comparison of parameters between conventional packer and small-size packer						
名称	规格型号	公称尺寸				
		长度/mm	外径/mm	内径/mm	耐压/MPa	耐温/℃
小尺寸封隔器	K344-92	900	92	48	70	120
常规封隔器	K344	840	114	55	70	120

表 3 小尺寸封隔器室内试验数据表

Table 3 Indoor test data of small-size packer							
样品名称	试验前参数		试验后参数				胶筒最大变形率/%
	最大钢体外径/	胶筒直径/	最大钢体外径/	胶筒上肩直径/	胶筒中间直径/	胶筒下肩直径/	
	mm	mm	mm	mm	mm	mm	
第一种封隔器	89.0	86.0	89.0	92.6	90.0	91.7	胶皮脱落
第二种封隔器	92.0	89.0	92.0	91.4	89.2	90.5	2.7
第三种封隔器	90.5	89.3	90.5	93.1	89.8	92.2	4.3
第四种封隔器	90.0	87.9	90.0	93.5	89.0	90.6	6.4

现场应用初期,封隔器密封性不好,通过多次室内试验,对封隔器胶筒、水力锚胶圈等参数的不断优化和调整,最终改进产品逐渐成熟稳定。通过改进封隔器尺寸和胶筒的长度,结合室内试验测试的四种小尺寸封隔器耐高温、高压的性能均满足要求,试压过程中封隔器胶筒密封效果良好无渗漏。试验后取出的四种小尺寸封隔器中,除

第一种胶筒上下两端胶皮脱落,无法保证现场多次重复坐封和解封外;其余三种胶筒均表现不同程度轻微变形,胶筒最大残余变形率分别为2.7%、4.3%和6.4%。这三种封隔器均能满足现场施工要求,其中第二种封隔器胶筒残余变形最小,选择第二种封隔器进行小井眼现场施工,改进后封隔器结构见图2。

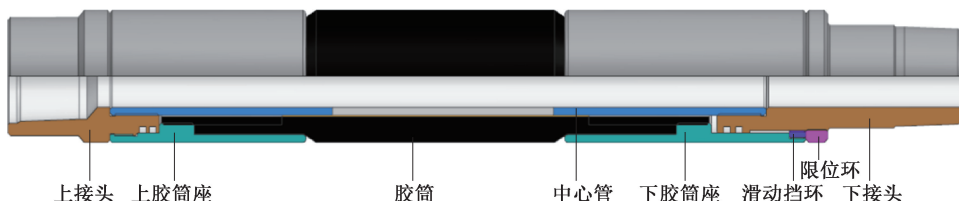


图2 改进后小尺寸 K344 封隔器 (第二种) 结构示意图

Fig. 2 Schematic diagram of the structure of the improved small-size K344 packer (the second one)

通过更换水力锚的密封胶圈长度,并且把密封胶圈改为耐高温、高压胶圈后,水力锚耐高温、高

压、锚定和密封性能良好,泄压后锚爪全部正常回收,改进后水力锚结构见图3。

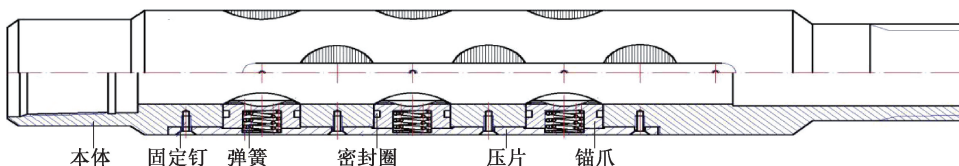


图3 改进后水力锚结构示意图

Fig. 3 Schematic diagram of the structure of improved hydraulic anchor

1.2.2 小尺寸封隔器压裂工艺

井内下入由 AQJT-90 安全接头、SLM-93 水力锚、PSQ-93 喷砂滑套、K344-92 封隔器组成的压裂施工管柱^[7](见图4)。压裂时利用节流压差使封隔器坐封并密封油套环形空间,达到对目的层有效封隔;投入可溶球打开喷砂滑套方式进行压裂施工,泄压后封隔器自动解封,水力锚自动收回,该工艺最多实现4层以上分层压裂。

1.3 可溶桥塞+射孔联作套管压裂技术

1.3.1 可溶桥塞研制

可溶桥塞通过适配器与 Baker20#坐封工具坐封^[8],桥塞泵送下到预定坐封位置后,对坐封工具进行点火,坐封工具上的坐封推筒推动桥塞上部隔环,隔环下移,卡瓦张开,锚定套管,同时胶筒压缩膨胀,随着压力的增大丢手环被剪断,坐封工具及坐封接头成功丢手。

可溶桥塞结构特点:(1)可溶桥塞主体由可溶金属零部件和可降解胶筒组成;(2)独有的胶筒结构设计可以在下入过程中更好的保护胶筒;(3)卡瓦装有灰色高强度陶瓷颗粒,可以更好的咬合套管;(4)导鞋装有白色耐磨陶瓷颗粒,更好的适用于大位移水平井;(5)采用快速溶解的压裂球,防止堵塞返排通道,提高返排效率;(6)桥塞溶解后井筒全通畅,方便后期作业;(7)节省常规桥塞磨铣的时间和费用,减少对产层的影响。

1.3.2 可溶桥塞+射孔联作套管压裂工艺

首段采用连续油管射孔、光套管压裂^[9-11],首段施工结束后,采用电缆向井内下入可溶桥塞和射孔枪工具串,水力推送将可溶桥塞推送到指定位置坐

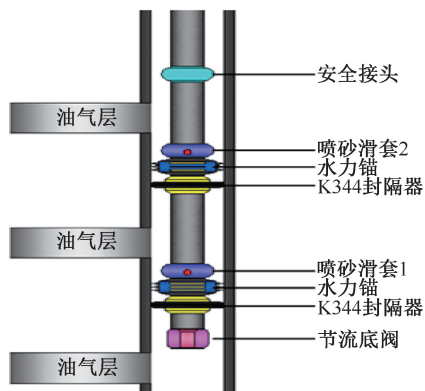


图4 小尺寸封隔器压裂示意图

Fig. 4 Schematic diagram of fracturing with small-size packer

封进行暂堵^[12-14],然后上提电缆,在指定位置射孔,射孔结束后工具串提出井口,投入可溶球封堵可溶桥塞实施压裂,以此类推完成后续作业,最终完成纵向多层压裂改造。压裂结束后采用不压井作业下入生产管柱,实现投产^[15-17]。

2 现场应用

苏里格气田气藏温度 95~111℃,气藏压力 27.5~32.3 MPa,埋深 2 650~3 800 m,开发目的层主要是盒 8 段、山 1 段、山 2 段。储集空间为溶孔、晶间孔和微孔,储层岩性石英砂岩、岩屑质石英砂

岩,苏 20、25、76 区块气藏物性见表 4。

2.1 小尺寸封隔器分层压裂技术应用

小尺寸封隔器压裂技术目前在苏里格气田已应用 17 口井,施工成功率 100%,封隔器解封成功率 100%^[18-19]。施工最大排量 3.5 m³/min,最高加砂量 45.7 m³,最高砂比 39%,平均砂比 17.4%,平均加砂强度 3.21 m³/m。

压后静态分类Ⅲ类变Ⅱ类 2 口,占比 11.7%;Ⅱ类变Ⅰ类 3 口,占比 17.6;静态分类总提升 5 口,占比 29.4%;与邻井相比平均无阻流量提升 52.31%,改造效果显著(见表 5)。

表 4 苏里格苏 20、25、76 区块气藏物性分析表
Table 4 Physical property analysis of gas reservoirs in blocks Su 20, 25 and 76 in Sulige

区块	地层压力/ MPa	压力 系数	盒 8 段		山 1 段		山 2 段	
			孔隙度/%	渗透率/mD	孔隙度/%	渗透率/mD	孔隙度/%	渗透率/mD
苏 20	30.40	0.91	8.17	0.63	7.65	0.47	7.62	0.42
苏 25	27.91	0.91	8.25	0.22	2.60	1.07	5.34	0.33
苏 76	27.20	0.87	8.80	0.50	7.90	0.41	7.11	0.48

表 5 小尺寸封隔器压裂与邻井压裂效果对比表
Table 5 Comparison of fracturing effects between wells using small size-packer and adjacent wells with conventional packer

序号	井号	静态分类	动态分类	试气无阻流量/(10 ⁴ m ³ ·d ⁻¹)	邻井井号	试气无阻流量/(10 ⁴ m ³ ·d ⁻¹)
1	苏 20-28-19X	Ⅱ类	Ⅱ类	7.314 5	苏 20-28-16	7.764 7
2	苏 20-28-18X	Ⅲ类	Ⅲ类	6.712 2	苏 20-26-19	5.841 3
3	苏 20-16-6X	Ⅱ类	Ⅱ类	9.232 0	苏 20-14-7	7.332 0
4	苏 25-16-17	Ⅲ类	Ⅲ类	0.006 6	苏 25-14-19	3.388 8
5	苏 20-11-1x	Ⅲ类	Ⅱ类	5.592 1	苏 20-10-2X	3.168 8
6	苏 20-16-22X	Ⅲ类	Ⅱ类	6.786 7	苏 20-16-22	5.073 7
7	苏 20-18-10X	Ⅲ类	Ⅲ类	1.131 1	苏 20-18-12	5.055 4
8	苏 20-10-1	Ⅰ类	Ⅰ类	19.497 6	苏 20-9-2X	11.734 9
9	苏 20-16-20X	Ⅱ类	Ⅱ类	8.333 0	苏 20-16-22	5.073 7
10	苏 20-18-11X	Ⅱ类	Ⅰ类	10.221 0	苏 20-18-11	2.002 9
11	苏 20-16-21X	Ⅱ类	Ⅰ类	12.818 4	苏 20-16-22	5.073 7
12	苏 20-22-16X	Ⅰ类	Ⅰ类	10.205 8	苏 20-21-16X	6.589 9
13	苏 20-9-2SX	Ⅰ类	Ⅰ类	8.618 0	苏 20-9-3X	7.357 2
14	苏 20-22-17X	Ⅰ类	Ⅰ类	13.282 7	苏 20-23-16X	10.194 2
15	苏 20-19-11X	Ⅱ类	Ⅱ类	9.348 0	苏 20-18-12	5.055 4
16	苏 20-20-10X	Ⅰ类	Ⅰ类	10.662 0	苏 20-19-12X	3.257 9
17	苏 20-19-10X	Ⅱ类	Ⅰ类	11.347 7	苏 20-19-11	5.225 0
平均				8.888 7		5.834 6

2.2 可溶桥塞+射孔联作套管压裂技术应用

可溶桥塞+射孔联作套管压裂技术在苏里格气田已应用 13 口井,施工成功率 100%,桥塞溶解成功率 100%。施工最大排量 7.1 m³/min,最高加砂量 105.4 m³,最高砂比 36%,平均砂比 19.2%,平均加砂强度 4.06 m³/min。

压后静态分类Ⅱ类变Ⅰ类 3 口,占比 23.1;与邻井相比平均无阻流量提升 91.14%,改造效果显著(见表 6)。

3 成本分析

从不同压裂施工工艺的施工工序中可以看出,小尺寸封隔器压裂施工与常规井压裂施工工序基本相当,可溶桥塞+射孔联作压裂比常规井压裂施工工序复杂,主要体现在首段射孔和后期不压井下生产管柱方面,导致可溶桥塞+射孔联作压裂工艺费用增高,具体不同压裂工艺施工工序对比见表 7。

表 6 可溶桥塞+射孔联作压裂与邻井压裂效果对比表

Table 6 Comparison of fracturing effects between wells using soluble bridge plug + perforated casing fracturing and adjacent wells using conventional fracturing

序号	井号	静态分类	动态分类	试气无阻流量/(10 ⁴ m ³ ·d ⁻¹)	邻井井号	试气无阻流量/(10 ⁴ m ³ ·d ⁻¹)
1	苏 76-5-22X	Ⅱ类	Ⅱ类	29.273 8	苏 76-5-22	1.386 2
2	苏 76-5-23X	Ⅱ类	Ⅰ类	20.107 6	苏 76-6-19X	7.232 5
3	苏 76-6-21X	Ⅱ类	Ⅱ类	19.284 7	苏 76-6-22X	17.440 0
4	苏 76-7-21X	Ⅰ类	Ⅰ类	37.738 6	苏 76-7-24X	16.140 0
5	苏 76-7-23X	Ⅱ类	Ⅰ类	45.799 9	苏 76-8-23	1.485 4
6	苏 20-19-8X	Ⅰ类	Ⅰ类	14.919 1	苏 20-20-10	12.056 5
7	苏 20-19-9X	Ⅱ类	Ⅱ类	7.622 8	苏 20-20-8	6.991 4
8	苏 20-27-19X	Ⅲ类	Ⅲ类	21.071 5	苏 20-28-16	7.764 7
9	苏 20-19-9SX	Ⅱ类	Ⅱ类	8.576 0	苏 20-20-10	12.056 5
10	苏 20-27-18X	Ⅰ类	Ⅰ类	15.205 6	苏 20-28-16	7.764 7
11	苏 20-15-6X	Ⅱ类	Ⅰ类	10.664 0	苏 20-15-7X	11.182 8
12	苏 25-6-18X	Ⅱ类	Ⅱ类	6.332 0	苏 25-7-20X	13.230 0
13	苏 25-6-20	Ⅱ类	Ⅱ类	7.991 0	苏 25-7-20X	13.230 0
平均				18.814 3		9.843 1

表 7 不同压裂工艺工序对比表

Table 7 Comparison of different fracturing processes

序号	小尺寸封隔器分压	常规井压裂	可溶桥塞+射孔联作压裂
1	通井、洗井	通井、洗井	连续油管通井、洗井
2	井筒及管柱试压	井筒及管柱试压	井筒及管柱试压
3	射孔	射孔	连续油管首段射孔
4	刮削	刮削	压裂施工(电缆下桥塞+射孔工具串)
5	下压裂生产管柱	下压裂生产管柱	
6	压裂施工	压裂施工	套管放喷排液
7	放喷排液	放喷排液	不压井下生产管柱
8	投产	投产	投产

从不同压裂施工工艺的分段工具费用中可以看出(见表 8),小尺寸封隔器压裂施工分段工具费用比常规井压裂施工分段工具费用略高,可溶桥塞+射孔联作压裂分段工具费用大约是常规井压裂分段工具费用的 1.5 倍。

表 8 不同压裂工艺分段工具费用对比表

Table 8 Cost comparison of staged tools for different fracturing processes

层数	小井眼封隔器分压/万元	常规井压裂/万元	可溶桥塞+射孔联作压裂/万元
2	2.85	2.80	4.20
3	5.00	4.48	6.72
4	7.50	7.35	11.00

4 结论

(1)小尺寸封隔器分层压裂和可溶桥塞+射孔联作套管压裂两种小井眼储层改造技术可以有效提高苏里格气田小井眼井压裂施工排量,保证优质储层能够充分改造,有利于后期放喷求产作业,应用结果表明储层增产效果显著。

(2)随着苏里格气田小井眼钻井数量不断增

加,该技术将会得到更加广泛的应用,为后期研究小井眼水平井压裂技术奠定基础。

致谢:感谢渤海钻探工程有限公司油气合作开发分公司允许本文公开发表。

参考文献

[1] 高超,艾昆,高辉,等. 基于施工压力曲线的综合滤失系数测试方法及压裂参数优化[J]. 油气井测试,2018,27(1):8-13.
GAO Chao, AI Kun, GAO Hui, et al. Test method of total leak-off coefficient and optimization of fracturing parameters based on operation pressure curves [J]. Well Testing, 2018,27(1):8-13.

[2] 张毅,于丽敏,任勇强,等. 一种新型可降解压裂封隔器坐封球[J]. 油气井测试,2018,27(2):53-58.
ZHANG Yi, YU Limin, REN Yongqiang, et al. A new type of degradable setting ball for fracturing packers [J]. Well Testing, 2018,27(2):53-58.

[3] 周小林,高志华,张冲. 龙凤山气田大通径免钻桥塞分段压裂先导试验[J]. 油气井测试,2018,27(1):62-67.
ZHOU Xiaolin, GAO Zhihua, ZHANG Chong. Pilot tests of staged fracturing involving large diameter drill free bridge plugs in the Longfengshan gas field [J]. Well Testing,

- 2018,27(1):62-67.
- [4] 王文胜. 不动管柱多层压裂窜槽原因分析[J]. 油气井测试, 2020,29(5):39-43.
WANG Wensheng. Cause analysis of channeling in multi-layer fracturing with fixed string [J]. Well Testing, 2020, 29(5):39-43.
- [5] 韩永亮,冯强,杨晓勇,等. 大规模压裂用 Y344 封隔器及工艺管柱关键技术[J]. 油气井测试, 2019,28(6):21-26.
HAN Yongliang, FENG Qiang, YANG Xiaoyong, et al. Key technologies of Y344 packer and string technology for large-scale fracturing[J]. Well Testing, 2019,28(6):21-26.
- [6] 韩红旭,贾建鹏,白建文,等. 苏里格气田快速排液技术[J]. 油气井测试, 2020,29(1):35-42.
HAN Hongxu, JIA Jianpeng, BAI Jianwen, et al. Rapid drainage technology in Sulige gas field [J]. Well Testing, 2020,29(1):35-42.
- [7] 褚春波,郭权,黄小云,等. 有限元分析径向水力压裂裂缝扩展影响因素[J]. 油气井测试, 2018,27(2):59-66.
CHU Chunbo, GUO Quan, HUANG Xiaoyun, et al. Finite element analysis on influencing factors for propagation of fractures induced in radial jet hydraulic fracturing[J]. Well Testing, 2018,27(2):59-66.
- [8] 张兴华,周新宇,杨子,等. APR 测试工艺在压裂测试井中的技术创新[J]. 油气井测试, 2018,27(1):13-18.
ZHANG Xinghua, ZHOU Xinyu, YANG Zi, et al. Technical innovation of APR testing technology in fracturing test wells [J]. Well Testing, 2018,27(1):13-18.
- [9] 王伟佳. 页岩气井无限级固井滑套压裂技术 [J]. 油气井测试, 2018,27(5):37-41.
WANG Weijia. Infinite stage cementing sleeve fracturing technology for shale gas wells [J]. Well Testing, 2018, 27(5):37-41.
- [10] 马梓涵. 水力喷射压裂工艺管柱性能改进[J]. 油气井测试, 2019,28(2):56-60.
MA Zihan. Performance improvement of string for hydraulic jet fracturing technology [J]. Well Testing, 2019,28(2):56-60.
- [11] 于书新,吴丹丹,程晓刚,等. 大庆油田浅层气井扩容式射孔技术[J]. 油气井测试, 2020,29(5):21-26.
YU Shuxin, WU Dandan, CHENG Xiaogang, et al. Expandable perforating technology for shallow gas wells in Daqing Oilfield [J]. Well Testing, 2020,29(5):21-26.
- [12] 刘柏超. 大庆油田电缆带压直读技术[J]. 油气井测试, 2021,30(1):36-40.
LIU Baichao. Direct reading technology of cable under pressure in Daqing Oilfield [J]. Well Testing, 2021, 30(1):36-40.
- [13] 李军贤. 地层出砂井测试工艺优化[J]. 油气井测试, 2018,27(3):47-52.
LI Junxian. Optimization of testing techniques for wells with formation sand production [J]. Well Testing, 2018, 27(3):47-52.
- [14] 田向东,康露,杨志,等. 海上油气井快速诱喷测试技术[J]. 油气井测试, 2018,27(2):41-46.
TIAN Xiangdong, KANG Lu, YANG Zhi, et al. Fast testing of induced flows in offshore oil/gas wells [J]. Well Testing, 2018,27(2):41-46.
- [15] 曹银萍,黄宇曦,于凯强,等. 基于 ANSYS Workbench 完井管柱流固耦合振动固有频率分析[J]. 油气井测试, 2018,27(1):1-7.
CAO Yiping, HUANG Yuxi, YU Kaiqiang, et al. Natural frequency analysis for fluid solid coupling vibration of completion string based on ANSYS workbench [J]. Well Testing, 2018,27(1):1-7.
- [16] 于秋来. 分簇射孔安全释放技术[J]. 油气井测试, 2020,29(6):22-26.
YU Qiulai. Safety release technology of cluster perforation [J]. Well Testing, 2020,29(6):22-26.
- [17] 郑如森,高文祥,王磊,等. 塔里木油田高压气井压井技术[J]. 油气井测试, 2021,30(3):30-33.
ZHENG Rusen, GAO Wenxiang, WANG Lei, et al. Well killing technology for high pressure gas wells in Tarim Oilfield [J]. Well Testing, 2021,30(3):30-33.
- [18] 魏聪,陈宝新,刘敏,等. 基于反褶积技术的 S 气井不稳定试井解释[J]. 油气井测试, 2018,27(1):73-78.
WEI Cong, CHEN Baoxin, LIU Min, et al. Interpretation of pressure transient well testing data of S gas well based on deconvolution technique [J]. Well Testing, 2018, 27(1):73-78.
- [19] 张中宝. 塔河油田深抽杆式泵一体化管柱工艺[J]. 油气井测试, 2018,27(2):27-33.
ZHANG Zhongbao. Deep integrated rod pumping string applied in Tahe Oilfield [J]. Well Testing, 2018,27(2):27-33.

编辑 方志慧

第一作者简介:刘智恪,男,1986 年出生,工程师,2009 年毕业于长江大学工程技术学院,现主要从事油气田储层改造工作。电话:0477-7229560,18622553105,Email:286646476@qq.com,通信地址:内蒙古鄂尔多斯市乌审旗渤海钻探工程有限公司油气合作开发分公司产能建设部,邮政编码:017300。