

大宁-吉县区块致密砂岩气储层压裂试气一体化技术

李宝军^{1,2}, 高永海¹, 周承富², 顾兴军², 杜传亮², 高立彬³

1. 中国石油大学(华东)石油工程学院 山东青岛 266555

2. 中国石油集团渤海钻探工程公司井下技术服务分公司 天津 300283

3. 中国石油集团渤海钻探工程有限公司工程技术处 天津 300457

通讯作者: Email: 55007855@qq.com

项目支持: 中国石油集团渤海钻探工程公司重大科技攻关项目“大宁-吉县区块致密砂岩气储层压裂试气一体化技术研究与应用”(2017JX18K)

引用: 李宝军, 高永海, 周承富, 等. 大宁-吉县区块致密砂岩气储层压裂试气一体化技术[J]. 油气井测试, 2018, 27(5): 56-60.

Cite: LI Baojun, GAO Yonghai, ZHOU Chengfu, et al. Integration technology of fracturing and gas test for tight sandstone gas reservoirs in Daning-Jixian Block[J]. Well Testing, 2018, 27(5): 56-60.

摘要 大宁-吉县含气区块压裂改造具有含气层序多, 层间干扰大, 储层埋深较浅, 对压裂液性能要求高, 储层物性差, 储层物性复杂, 缝高难以有效控制的难点。采用封隔器分层压裂、压后快速返排整体试气的压裂管柱, 针对山西组和石河子组储层物性, 采用不同胍胶浓度和配方, 分别做了特定情况下的黏温曲线和流变实验, 优化出压裂液体系, 同时优选支撑剂并对试气制度进行优化, 实现了压裂液低温交联好、携砂能力强、破胶好和快速返排试气的目的。现场实验表明, 压裂前6口井均没有产量, 压裂后采用8 mm油嘴求产, 均达到了工业气流, 最大产量 $2.7 \times 10^4 \text{ m}^3$, 压裂效果明显, 成功率100%, 为后续储层评价、选井选层和施工工艺选择提供了可靠依据。

关键词 大宁-吉县; 致密砂岩气; 压裂液体系; 一体化; 管柱配套; 工作制度

中图分类号: TE353

文献标识码: B

DOI: 10.19680/j.cnki.1004-4388.2018.05.010

Integration technology of fracturing and gas test for tight sandstone gas reservoirs in Daning-Jixian Block

LI Baojun^{1,2}, GAO Yonghai¹, ZHOU Chengfu², GU Xingjun², DU Chuanliang², CAO Libin³

1. College of Petroleum Engineering, China University of Petroleum (Huadong), Qindao, Shandong 266555, China

2. Down Hole Technology Services Company, CNPC Bohai Drilling Engineering Company, Tianjin 300283, China

3. Engineering Services of CNPC Bohai Drilling Engineering Company, Tianjin 300457, China

Abstract: The gas-bearing block in Daning-Jixian has many characteristics of gas-bearing sequence, large inter-layer interference and shallow reservoir depth, which lead to the requirement of fracturing fluid with high performance. In addition, due to the poor physical properties and complex lithology of the reservoir, the fracture height is difficult to control effectively. In this paper, the stratified fracturing technology with packer is adopted, and the selecting the fracturing column that can be used for quickly flow back and overall test gas. According to the physical properties of the reservoirs in Shanxi and Shihezi, guar gum with different concentrations and formulations were used, and the viscosity-temperature curves and rheological experiments were carried out under specific conditions to optimize the fracturing fluid system. In addition, by optimizing the proppant and the gas test system, the fracturing fluid has the characteristics of good cross-linking, strong sand-carrying ability and fast gel breaking was developed under low temperature conditions, so as to achieve the purpose of rapid flow back and testing gas. Field application show that there is no production in the six wells before fracturing, but the 8mm nozzle is used for production after fracturing, which has reached the industrial gas flow. The maximum production is 27 000 square meters, the fracturing effect is obvious, and the success rate is 100%, which provides a reliable basis for subsequent reservoir evaluation, well selection and construction process selection.

Keywords: Daning-Jixian block; tight sandstone gas; fracturing fluid system; integration; string matching; working system

大宁-吉县区块位于鄂尔多斯盆地东南部的晋西挠褶带南端, 北与长庆子洲清涧相接, 南临宜川-

黄龙区块, 东靠吕梁山, 黄河从区块西部穿过, 行政上河东地区隶属于山西省大宁、吉县等管辖; 河西

部分隶属于陕西省延川等县管辖,区块总面积 5 784. 175 km²,主要分布在上古生界石盒子组盒 8 段、山西组和本溪组。该区域最早勘探开发煤层气,砂体一般发育在河道砂富集带,储层岩石类型以岩屑砂岩、岩屑石英砂岩为主,其次为石英砂岩,形成岩性-地层复合型气藏^[1-2]。成藏条件复杂,层序压力系数差异大,层内非均质性强,单独分层压裂试气层间干扰大。

在公开文献中^[3-6],关于鄂尔多斯东部压裂、储层改造的文章较少。殷世巍等^[7]对该区块北部永和气田勘探开发做了简单研究。李小刚等^[8]对大宁-吉县区块致密砂岩含气性做了评价。李积凤等^[9]对大宁-吉县区块致密砂岩气井排水采气工艺进行了介绍,但没有报道到该区块压裂、试气一体化技术;同时由于对储层认识不够深入,前期改造过程中存在压裂设计参数与储层条件不匹配、压裂液储层伤害大、现场施工成功率低,压裂后试气措施不当导致有效产能得不到释放等问题^[10-19]。

经过 2009 年到 2014 年先导性压裂试气实验,证明了该区块地质条件复杂,渗透率低,断层发育,断块小,层间差异大;射孔无自然产能,只能通过压裂才能提高产量,达到经济开采的目的。该地区压裂改造存在较大的难度,主要表现为:(1)含气层序多,层间干扰大。从下到上,从本溪组、太原组、石盒子组、石千峰组、煤层等都有气发现,含气丰度在小区域也不平衡。全烃峰值 10%~60%,波动幅度大。(2)储层埋深较浅,对压裂液性能要求严格。储层埋藏垂直深度在 2 100~1 600 m,储层温度 50.0~63.5℃,温度低,对压裂施工液体的低温交联、低温破胶、快速返排提出了高要求。需优化压裂液稠化剂浓度,提高低温破胶性能,降低残胶、残渣伤害。(3)储层物性差。储层致密,岩石密度高,2.5~2.7 g/cm³;声波时差 190.00~229.50 μs/m,孔隙度 2.00%~9.98%;储层厚度薄:山西组、太原组储层厚度都在 5 m 以内,石盒子组最厚也在 8 m 以内,储层厚度较薄;渗透率低:渗透率都在 1×10⁻³ μm² 以下,射孔后无自然产能。(4)储层岩性复杂,各个层系间物性与微观孔隙结构差异较大,可比性差,该区块储层岩性为含砾(粗)砂岩、砾状砂岩、细砂岩、粉砂岩、泥岩。(5)缝高难于有效控制。不像与沉积岩呈层状分布不同,大宁-吉县区块致密气储层有着各种纵横交错,同时加上隔层与储层的有效应力差小,储层厚度较薄,缝高的有效控制难度极大。

因此,研究形成一整套适合大宁-吉县区块致密砂岩气储层增储上产的措施具有重要的意义。

1 针对性工艺措施

针对大宁-吉县区块致密气地质构造及储层改造特点和难点,优选压裂液体系及支撑剂,优化试气制度,形成有针对性的压裂-试气一体化配套技术。

1.1 压裂-试气一体化管柱配套技术

针对含气层序多,层间干扰大,单独分层压裂试气周期长的难点采用封隔器分层压裂、压后快速返排整体试气的压裂管柱。

其压裂试气一体化管柱为:安全接头+水力锚+N 个(滑套式喷砂器+K344 封隔器+球座)等部分组成(图 1)。

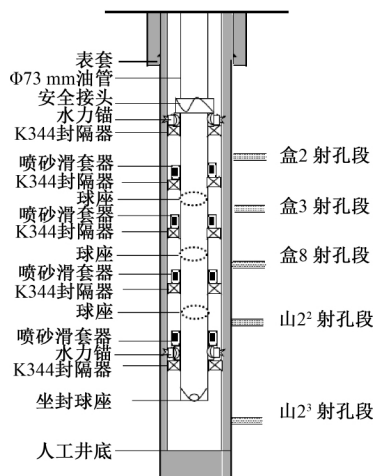


图 1 压裂试气一体化管柱示意图

Fig.1 Schematic diagram of pipe string for fracturing-gas test integration

首先依靠直通式喷砂器节流,使封隔器坐封,对底部储层进行压裂;然后投球打开第 1 级滑套式喷砂器,对储层进行压裂,依次再投球打开第 2 级滑套式喷砂器,使上部储层连通,并封隔底部改造层,对上部储层进行压裂。如果出现砂堵,反循环洗井解除砂堵,继续油管注入进行压裂,该管柱通过封隔器的封隔及井下喷砂器滑套的开启来实现由下往上逐层改造,最终实现不动管柱一井多层分层改造完成后一次合层排液试气。

该压裂管柱能实现压裂后合层快速返排,返排不出后,可以使用液氮或者制氮车接油套环空进行气举排液。

1.2 压裂液体系优选

压裂液是整个压裂施工的核心,针对储层埋藏

浅、温度低、储层物性差、低温携砂和低温破胶难的特点,对压裂液体系进行研究与优选,优选了压裂液体系:针对山西组和石盒子组储层物性,采用不同胍胶浓度和配方,山西组相对于石盒子组埋藏深度更深,黏土含量相对更高,同时又是产气主力区,适当加大了改良胍胶和 KCl 的含量(表 1)。

表 1 压裂液体系配方明细表

Table 1 Fracturing fluid system formula table		
描述	配方浓度/%	等效百分比/%
KCl	84(石盒子组)	1.00
	168(山西组)	2.00
改良胍胶	25(山西组)	0.30
	20(石盒子组)	0.26
消泡剂	0.10	0.01
杀菌剂	0.30	0.03
短效防膨剂	2.00	0.20
长效防膨剂	0.50	0.05
表面活性剂	2.00	0.20
交联剂	1.50	0.02
交联 pH 剂	3.50	0.04
交联延迟剂	2.30	0.03
活性破胶剂	0.10~0.20	0.01~0.02
胶囊破胶剂	0.10~0.30	0.01~0.03

为了优选评估压裂液性能,采用德国 HAAKE MARs 流变仪设备,分别做了特定情况下的黏温曲线和流变实验,如图 2、图 3、图 4 所示。

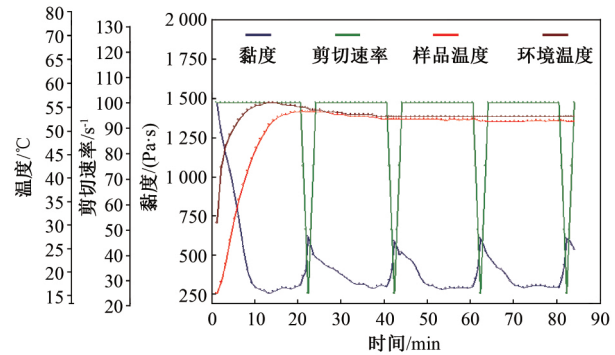


图 2 0.26%低浓度胍胶压裂液黏温曲线
Fig.2 Viscosity and temperature curve of guar gum fracturing fluid with a concentration of 0.26%

由图 3 可知,60 °C、170 s⁻¹剪切 80 min 后,0.26%低浓度胍胶压裂液体系的黏度仍然保持在 200 mPa·s 以上,说明该体系在 60 °C 下有好的耐温、抗剪切性能,可满足压裂携砂和造缝的要求。

由图 4 实验结果表明,该压裂液体系在 60 °C 下,0.4%胶囊破胶剂的添加不改变施工过程中液体的流变性能,能够保证液体的携砂性能。活性破胶剂即使在 45 °C 的低温下仍能够保证在较短时间内液体的破胶,利于返排。

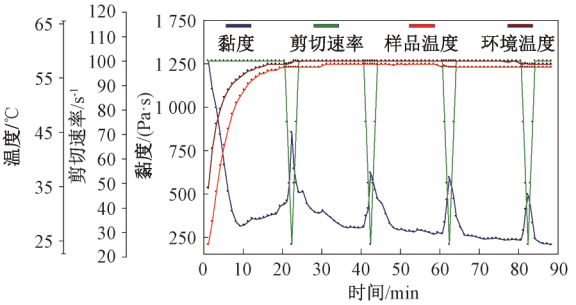


图 3 60 °C 下含 0.4%胶囊破胶剂流变曲线
Fig.3 Rheological curve of Gum breaking with a capsule concentration of 0.4% at 60 °C

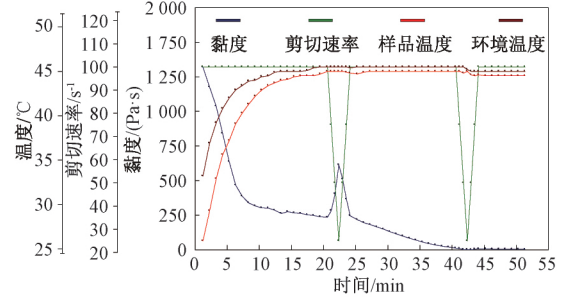


图 4 45 °C 下压裂液的破胶曲线
Fig.4 Gum breaking curve of fracturing fluid at 45 °C

该压裂体系为低温延期交联,携砂性能好,低温破胶好,快速返排低残渣的特点。

1.3 支撑剂优选

储层埋藏较浅,闭合压力低,对支撑剂强度要求不高,陶粒和石英砂都能获得良好的导流能力,太原、本溪、山西组用 20~40 目和 30~50 目的陶粒组合,同时为了节支降耗,在石盒子组用 20~40 目和 30~50 目的石英砂组合。

1.4 试气制度优化

(1)为了实现快速返排,降低储层污染,压裂施工结束后,20~40 min 开井放喷排液,放喷初期采用 Φ3~10 mm 油嘴控制放喷,排量 100~200~300 L/min,根据压力变化用针形阀控制逐渐放大大放喷。

(2)停喷后采用关井憋压憋放或者制氮气举方式继续排液。

(3)压裂液返排率 80% 以上,油压和套压基本平衡后关井 72 h 后采用“一点法”求产。

(4)根据产气量大小采用三相分离气孔板或者垫圈流量计求产。

2 现场应用

对上述的针对性措施进行了现场应用,选了 6 井 17 层进行了尝试,其压裂施工参数及试气井口产量见表 2。

表 2 压裂施工参数及试气井口产量表
Table 2 Fracturing parameters and production of gas testing

井号	层位	厚度/m	改造方式	砂量/m ³	黏度/(mPa·s)	产量/(10 ⁴ m ³ ·d ⁻¹)
大吉 4-2	山 ₂ ³	1.6	2 层分压	5.80	1.78	2.2
		0.6				
	盒 _{8下}	2.6		36.20		
		2.3				
大吉 6-5	盒 ₈	4.8	2 层分压	25.20	1.92	1.4
	盒 ₇	5.2		25.50		
大吉 6-7	山 _{2下} ³	4.9	2 层分压	29.40	1.65	1.2
	山 _{2上} ³	2.9		27.40		
大吉 6-8	山 ₂	2.0	2 层分压	9.65	1.83	1.3
	盒 ₈	4.6		45.00		
大吉 7-10 向 5	山 ₂ ³	6.5	5 层分压	36.10	1.47	2.3
	山 ₁	6.2		27.00		
	盒 ₈	3.0		10.10		
	盒 ₃	2.7		27.00		
	盒 ₂	5.0		14.90		
大吉 5-6	山 _{2下} ³	5.4	4 层分压	2.90	1.71	2.7
	山 _{2上} ³	7.0		15.40		
	山 _{1下}	2.3		7.40		
	山 _{1上}	6.3		22.10		

由表 2 可知,6 口井均采用 73 mm 油管封隔器分层压裂,压裂后快速返排的压裂、试气一体化工艺。最大分层压裂为 5 层,表明优选的压裂、试气一体化管柱能有效实现分层压裂、快速试气的目的。

在储层物性较差的情况下压裂施工最大单层加砂 45 m³,证明了优选的低浓度胍胶压裂液携砂性能良好;从压裂后 1 h 返排液黏度数据中可以看出,压裂返排液黏度均小于 2 mPa·s,表明优选的压裂液在低温环境下,具有良好的快速破胶性能。从压裂前后井口产量对比可以看出,压裂前 6 口井均没有产量,压裂后 6 口井采用 8 mm 油嘴求产,均达到了工业气流,最大产量 2.7×10⁴ m³,压裂效果明显,压裂成功率 100%,取得了良好的效果。

3 结论

(1)压裂、试气一体化技术在该区域现场应用取得了初步成功,为后续该区块选井选层和施工工艺选择提供了可靠依据,同时对类似的储层的区块的增储上产措施有一定的借鉴意义。

(2)该区快还有丰富的浅层炭质泥岩含气储层,下一步要加强该区块的的浅层页岩气储层改造方面的研究。

致谢:感谢中石油煤层气有限公司临汾分公司领导在完成项目和论文过程中给予的大力支持。

参考文献

[1] 孙斌,王宪花,陈彩虹,等. 鄂尔多斯盆地大宁-吉县地区煤层气分布特征[J]. 天然气工业, 2004, 24(5):17-20.
SUN Bin, WANG Xianhua, CHEN Caihong, et al. Distribution characteristics of the coalbed methane at Daning-Jixian region in E'erdusi basin [J]. Natural Gas Industry, 2004,24(5):17-20.

[2] 杨超,任来义,何永红,等.鄂尔多斯盆地东部地区山西组山 1 段储层地质特征[J],石油地质与工程,2012,26(4):27-33.
YANG Chao, REN Laiyi, HE Yonghong, et al. Reservoir geological feature of Shangxi formation Shan I in the east of Ordos basin [J]. Petroleum Geology and Engineering, 2012,26(4):27-33.

[3] 吴太平,李生莉,丘勇.国内外低渗油气藏压裂技术现状及发展趋势[J].河南石油, 2003,17(6):42-45.
WU Taiping, LI Shengli, QIU Yong. Status and trend of low permeability reservoir fracturing techniques [J]. Henan Petroleum, 2003,17(6):42-45.

[4] 田夏荷,屈红军,刘新社,等.鄂尔多斯盆地东部上古生界致密气储层石英溶蚀及其机理探讨[J].天然气地球科学,2016,27(11):2005-2012.
TIAN Xiahe, QU Hongjun, LIU Xinshe, et al. Discussion on quartz dissolution and its mechanisms of the Upper Paleozoic tight gas reservoirs in the eastern Ordos basin [J]. Natural Gas Geoscience, 2016,27(11):2005-2012.

[5] 郭秀庭,强华,任永宏,等.大港油田压裂增产措施排液技术优化研究与应用[J]. 油气井测试, 2016, 25

- (2):41-44.
GUO Xiuting, QIANG Hua, REN Yonghong, et al. Optimization research and application of fracturing stimulation drainage technology in Dagang oilfield [J]. Well Testing, 2016,25(2):41-44.
- [6] 赵会涛,王怀厂,刘健,等.鄂尔多斯盆地东部地区盒8段致密砂岩气低产原因分析[J].岩性油气藏,2014,26(5):75-79.
ZHAO Huitao, WANG Huaichang, LIU Jian, et al. Reasons of low yield of tight sandstone gas of He 8 member in eastern Ordos basin [J]. Lithologic Reservoirs, 2014, 26(5):75-79.
- [7] 殷世巍.永和气田勘探开发认识与建议[J].石油地质与工程,2016,30(1):72-75.
YIN Shiwei. Exploration and development recognition and advice of Yonghe gas field [J]. Petroleum Geology & Engineering, 2016,30(1):72-75.
- [8] 李小刚,康凯,田浩年,等.大宁-吉县地区二叠系致密砂岩含气性评价[J].云南化工,2017,19(6):90-92.
LI Xiaogang, KANG Kai, TIAN Haonian, et al. Evaluation of gas-bearing properties of tight Permian sandstone in Danning-Jixian Area [J]. Yunnan Chemical Technology, 2017,19(6):90-92.
- [9] 李积凤,孙龙飞,祁炜,等.大宁-吉县区块致密砂岩气井排水采气工艺技术探讨[J],石油化工应用,2016,35(9):69-73.
LI Jifeng, SUN Longfei, QI Wei, et al. Discussion on drainage gas production for tight sandstone gas well in Danning-Jixian Block [J]. Petrochemical Industry Application, 2016,35(9):69-73.
- [10] 潘保芝,石玉江,蒋必辞,等.致密砂岩气层压裂产能及等级预测方法[J].吉林大学学报(地球科学版),2015,45(2):649-654.
PAN Baozhi, SHI Yujiang, JIANG Bici, et al. Research on gas yield and level prediction for post-frac tight sandstone reservoirs [J]. Journal of Jilin University (Earth Science Edition), 2015,45(2):649-654.
- [11] 张林强,郭布民,王杏尊,等.鄂尔多斯盆地东缘致密气藏压裂技术探索与实践[J].辽宁化工,2017,46(5):451-454.
ZHANG Linqiang, GUO Bumin, WANG Xingzun, et al. Exploration and practice of fracturing technology of tight gas reservoir in the eastern margin of Ordos basin [J]. Liaoning Chemical Industry, 2017,46(5):451-454.
- [12] 周长静,郝瑞芬,肖元相,等.致密砂岩气藏多层压裂改造多层产能测试评价研究[J].油气井测试,2016,25(3):1-5.
ZHOU Changjing, HAO Ruifen, XIAO Yuanxiang, et al. Study on multilayered test capacity evaluation for multilayer fracturing in tight sandstone gas reservoir [J]. Well Testing, 2016,25(3):1-5.
- [13] 高东伟.涪陵页岩气田焦石坝区块压裂试气工艺技术综述[J].油气井测试,2017,26(2):50-53.
GAO Dongwei. Review of fracturing testing technology at coke dam blocks in Fuling shale gas field [J]. Well Testing, 2017,26(2):50-53.
- [14] 王海华,田黔宁.非常规油气田储层增产技术探究[J].油气井测试,2017,26(5):47-50.
WANG Haihua, TIAN Qianning. Research of reservoir stimulation technology in unconventional oil and gas field [J]. Well Testing, 2017,26(5):47-50.
- [15] 韩松,邓贤文.海拉尔盆地压裂液技术现状及发展趋势[J].油气井测试,2016,25(2):18-21.
HAN Song, DENG Xianwen. Current situation and developing trend of fracturing fluid technology in Hailar basin [J]. Well Testing, 2016,25(2):18-21.
- [16] 王道富,李忠兴.特低渗透油田注水开发技术(上)[A].中国石油天然气股份公司油气田开发技术座谈会文集[C].北京:石油工业出版社,2001.
- [17] 孙广君,马昕,杜孝兰.吉林油田压裂增产措施的适应性分析[J].油气井测试,2015,24(4):62-64.
SUN Guangjun, MA Xin, DU Xiaolan. Adaptability analysis of fracturing stimulation to Jilin oilfield [J]. Well Testing, 2015,24(4):62-64.
- [18] 智宏亮,赵晓英.不动管柱多层压裂技术在大庆油田的应用[J].油气井测试,2015,24(5):62-63.
ZHI Hongliang, ZHAO Xiaoying. Application of the fixed string and multilayer fracturing technology in Daqing oilfield [J]. Well Testing, 2015,24(5):62-63.
- [19] 周承富,刘德正,吕选鹏,等.冀东油田火成岩压裂技术研究[J].油气井测试,2013,22(2):69-71.
ZHOU Chengfu, LIU Dezheng, LYU Xuanpeng, et al. Research on igneous fracturing technology in Jidong oilfield [J]. Well Testing, 2013,22(2):69-71.

编辑 刘振庆

第一作者简介:李宝军,男,1976年11月出生,中国石油大学(华东)研究生在读,高级工程师,1999年毕业于大庆石油学院石油工程专业,长期从事井下作业、压裂酸化技术研究工作。电话:0912-4639106,13752761888;Email:595855880@qq.com。通信地址:天津市滨海新区港西大道渤海勘探井下技术服务分公司长庆项目部,邮政编码:300283。