吉林探区压裂技术应用

张应安[1]　张宗林[2]　王鸿伟[1]

（1 吉林油田分公司采油工艺研究院，吉林省松原市 138000；2 吉林油田分公司勘探部，吉林省松原市 138001）

摘　要　“十五”期间，依照油田分公司的勘探部署，围绕着吉林探区的油藏地质特点，大力发展适用于各个探区的配套压裂工艺技术，规范压裂管理方法和科学理念。本着最大限度地提高单井产能和最低限度地减少储层伤害的原则，1999年以来，通过压裂技术在勘探领域的成功应用，相继探明大情字井和英台—四方坨子两个亿吨级储量的油田，并建成了吉林油田第一个百万吨采油厂——英台采油厂。

关键词　吉林油田　低渗透油藏　压裂改造技术

吉林油田是典型的“三低”油藏，压裂技术是发现、动用“三低”储量的重要手段。

“十五”期间是吉林油田原油增储上产的重要阶段，计划到“十五”后期原油产量上升到（550～600）$\times 10^4$t，每年需动用地质储量（3000～4000）$\times 10^4$t。随着吉林油田勘探工作的不断发展，油气藏勘探难度越来越大，地质条件越来越复杂，勘探目标越来越隐蔽，储层物性条件越来越差。勘探目标的变化对压裂设计、压裂工艺、压裂材料、压裂设备提出了挑战，压裂技术作为勘探领域改造储层、认识储层的瓶颈技术，适应精细勘探发展需求，为吉林勘探工作提供技术支持和技术保障。

1　压裂技术在吉林探区的应用

压裂技术在吉林油田不断发展的同时，形成了一整套适用于不同探区、不同储层特点的综合性压裂工艺技术：

一是储层评价分析技术，主要有裂缝识别监测技术、井温测试、井下温度压力计、压前裂缝诊断技术以及试井方法评价与分析。

二是降低施工压力技术，主要有振动压裂工艺技术、前置酸化压裂工艺技术、延迟交联压裂液、大孔径高孔密射孔技术以及加热预前置压裂液技术。

三是油层保护措施技术，主要有快速返排技术、强制闭合技术、变组分压裂液技术、低温低伤害压裂液以及压后不动管柱直抽技术。

四是优化支撑剖面技术，主要有低砂比冲扩技术、阶梯加砂技术、端部脱砂压裂技术、变排量控高压裂技术以及控制支撑剂回流技术。

五是其他压裂工艺技术，主要有限流压裂工艺技术、谐振压裂工艺技术、二氧化碳泡沫压裂工艺技术、分层压裂工艺技术、前置砂塞压裂工艺技术以及水平井压裂工艺技术等。

随着压裂技术的不断发展，吉林油田针对不同区块地应力状况、裂缝扩展规律及压裂规模需求，形成了适用于不同探区、不同储层特点的配套压裂工艺技术。针对裂缝性油藏——大情字井探区，形成大孔径高孔密射孔、粉砂降滤、前置砂塞降滤为代表的配套压裂工艺技术；针对低幅度小断块油藏——红岗阶地探区，形成以小规模压裂、CO_2助排、射孔与压裂匹配为代表的配套压裂工艺技术；针对多断块复杂油藏——扶新隆起探区，形成以变排量控高压裂、大规模深穿透为代表的配套压裂工艺技术；针对砂砾岩致密油气藏——伊通地堑及东南隆起探区，形成以加热预前置液、阶梯加砂技术为代表的配套压裂工艺技术。

1.1　大情字井探区

大情字井探区加强理论研究，发展先进实用压裂

技术，取得新成果。

随着大情字井地区勘探工作的发展，勘探对象逐渐向着“隐蔽性”、“复杂岩性”及“特殊类型”油气藏发展；薄互层占试油比例逐年增加，施工压力高且波动大，砂比低易脱砂，这些问题具体体现为射孔工艺与压裂改造的不匹配：①孔密小，射孔完善程度低；②孔径小，不能满足压裂施工时对液体泄流面积的需求；③射孔穿透率低，不能有效穿透钻井液污染带；④射孔方位过大，不能满足与最大水平主应力方向相匹配的需求。

利用孔眼摩阻计算公式和井下温度压力计监测数据计算黑90井30—31层射孔完善率40.8%，黑87井34—36号层射孔完善率47.6%，可见在大情字井地区射孔完善程度是不理想的。

大情字井探区主要改造目的层为薄层、薄互层，射孔厚度小，孔眼数少；在射孔完善程度较低的情况下，常规射孔不能有效解决大情字井探区施工压力高、造缝窄的难题。

当携砂液在通过孔眼时，孔眼的剪切作用使压裂液的粘度降低，从而降低了压裂液的悬砂能力。孔眼直径大、有效孔数多时，单孔供液能力下降，孔眼对压裂液的剪切速率小，压裂液的粘度大，携砂能力强。

大情子井地区钻井过程中钻井液对储层污染严重，污染带深度达到50～60cm，加强了储层致密性，影响了缝口处裂缝高度、宽度在水平和纵向上的延伸，也影响压后单井产能的提高。同时大情子井地区固井过程中钻井液漏失严重，平均单井漏失量达200 m^3以上。常规射孔的穿深不能穿过污染带，压裂时必须首先压穿污染带，使破裂压力值升高，增大了施工难度。

射孔方向与地层最大水平主应力方向不一致，会造成压裂过程中压裂液穿过套管与井眼之间环空的周边环绕，造成井底附近裂缝曲折和多条裂缝竞相开裂，然后逐渐延伸，并与最大水平主应力方向一致，形成曲折缝。加砂过程中，砂子易于堆积在裂缝拐弯处和狭窄裂缝中引起堵塞，出现早期脱砂现象。

针对上述问题，依据理论和现有射孔工艺技术水平，合理确定射孔参数：孔径（20mm），孔密（20孔/m），相位（60°），孔深（在优先孔径、孔密的条件下达到最深）。

2002年，射孔与压裂匹配技术在大情字井地区现场实施5口井7层，压裂工艺成功率100%，设计符合率100%，压后4层获高产油流，3层获少量油流，均达到了改造储层、认识储层的目的。

应用射孔优化技术的7层平均破裂压力45.2MPa，比常规射孔破裂压力（47.8MPa）低2.6MPa；平均施工压力39MPa，比常规射孔低4.1MPa；平均加砂强度2.80m^3/m，比常规射孔高0.88m^3/m；平均砂比18%，比常规射孔高5.4%；通过施工参数计算得出：射孔优化后孔眼摩阻降低3～5MPa，孔眼对压裂液剪切速率由1142s^{-1}下降到160s^{-1}，压裂液粘度提高40～50mPa·s以上，提高了压裂液的携砂性能，同时提高了压裂规模。

通过大孔径、高孔密射孔技术的研究与应用，针对性地解决了大情字井地区存在的压裂难题，初步实现了大情字井地区薄（互）层压裂成功率、压裂规模、压后产能的突破，展示了该项技术的应用前景。

1.2 扶新隆起探区

扶新隆起探区综合应用地质、试油成果，以技术创新为手段，控高技术取得新突破。

扶新隆起滚动探区主要目的层为泉四段，储层进行压裂施工时人工裂缝纵向上容易下窜，超出生产层而进入隔层，导致裂缝的缝高增大、缝长减少。这样不仅造成经济损失，浪费压裂液和支撑剂，而且若压窜水层，则有使油气含水急剧上升的危险，对压裂效果产生十分不利的影响。因此，如何将水力压裂技术与工艺和地质密切结合起来，将裂缝高度控制在油气层内是水力压裂成功的关键因素之一。

重点研究和应用的控制裂缝向下延伸技术是：在充分掌握裂缝延伸理论的基础上，选择出一种材料，作为控制裂缝向下延伸的重质沉降式转向剂，使沉降剂在裂缝底部形成压实的低渗透高应力人工遮挡层，在裂缝延伸初期控制裂缝内净压力的上升速度，结合其他控高技术，阻止裂缝向下延伸，最终达到既获得合理的压裂规模又能获得合理的支撑剖面，同时达到提高裂缝导流能力的目的。

通过分析，可以知道支撑剂的粒径、密度及压裂

液的粘度、储层的温度均影响支撑剂的沉降，如果其他参数已经确定，应根据砂子沉降及裂缝的有效长度，对压裂液在裂缝中的粘度进行分析，为此，优选了河南腾飞粉陶（0.09～0.224mm）做沉降剂。

应用正交试验法，分别改变支撑剂的粒径和压裂液的浓度，由于裂缝中液体温度场是变化的，裂缝前缘温度最高，缝口处温度最低，室内针对是否施工过程尾追破胶剂作了对比实验。测定不同支撑剂在不同压裂液浓度中的沉降时间，确定施工过程的停泵时间。实验数据见表1、表2。

表1 不追加破胶剂

Table 1 Adding no gel breakers

压裂液浓度，%	0.3	0.35	0.4
剪切 $170s^{-1}$ 沉降时间，min	3	5	9
静止完全沉降时间，min	17	28	40

表2 追加破胶剂

Table 2 Adding gel breakers

压裂液浓度，%	0.3	0.35	0.4
剪切 $170s^{-1}$ 沉降时间，min	1.5	2.6	5
静止完全沉降时间，min	5	9	15

从实验数据可以得出：在低粘压裂液与追加破胶剂的条件下，支撑剂沉降的比较快。

沉降剂控高技术在扶新隆起带让42井8号层得到了成功应用。让42井是扶新隆起带新立南构造高部位的一口预探井，由于8号层下部遮挡能力差，隔层厚度仅有2.4m，距离本层13.8m的12号层为水层。为防止底水上窜水淹油层，依据区块认识及储层特点，本次压裂改造在工艺参数优选方面，考虑下部隔层遮挡能力较差，采取下部避射1.4m的技术，射孔井段为1493.8～1500.0m。为了减少压裂液摩阻，上提封隔器至1350m，以便有充足的水马力造缝。采用小排量进行施工，在低粘前置液阶段加入$2m^3$重质沉降式转向剂（0.09～0.224mm）粉陶作为沉降剂，在裂缝下部形成压实的高应力人工遮挡层，阻止裂缝向下延伸，达到控制裂缝高度的目的；并结合变排量压裂工艺，控制裂缝纵向延伸。

井温解释结果缝高为17m，裂缝上界延伸至1488m，上隔层遮挡能力较强，下界延伸至1505m，8号层与9号层之间的1m泥岩夹层被沟开，裂缝向下延伸至10号层，没有将12号水层沟开，裂缝向下延伸得到有效控制。

从井温曲线可以看出，油层下部异常区明显，说明加入的沉降剂和采用变排量工艺，在油层下部形成了有效的遮挡层，致使裂缝任意下窜受阻，裂缝纵向上得到控制，施工曲线基本平稳。

让42井8号层的成功改造，说明沉降剂结合变排量控缝高的压裂工艺技术的应用是成功的。

1.3 伊通—东南探区

伊通—东南探区强化压前储层评价，应用压裂新技术，取得新认识。

（1）典型油藏特点及对压裂工作提出的要求。

①莫里青断陷：原油为高凝油，要求降凝降粘；储层强水敏，要求防止粘土膨胀；闭合压力高，要求支撑剂在高压下具有较高的导流能力；胶结疏松，要求考虑支撑剂的嵌入对产能的影响。

②岔路河断陷：储层埋藏深，温度高，细砂岩油气藏岩性致密，施工压力高；岔路河断陷轻质油或气藏，要求深穿透，造长缝；粘土矿物复杂，储层敏感性强，孔隙极不均匀，喉道细小，结构复杂，压裂液返排率低、，须考虑防污染技术；岩性复杂，砂砾岩油气藏胶结疏松，要考虑支撑剂的嵌入对产能的影响。

③鹿乡断陷：储层水敏性强，乳化现象严重；储层厚度大，施工难度较大。

（2）压裂技术的应用。

①高凝油藏压裂工艺技术。采用加热的预前置液，要求压裂液加热到70～80℃，加入保护储层的降凝降粘剂、化学升热剂、复合粘土稳定剂、高效助排剂等。该体系可以消除入井流体对原油及地层岩石带来的危害，解决压裂液降低储层温度引起的析蜡问题；同时具有保护地层、稳定原油的作用。

2002年莫里青断陷应用预热前置液技术现场实施两口井：伊47井62号层和伊51井61号层。压裂过程中采用硝胺化学生热法，使地层增温100℃左右，伊47井62号层压后获工业油流，日产油3.7t，

取得了较好的改造效果。

②多级阶梯注入支撑剂技术。伊通地堑双阳组、奢岭组储层为粗砂—砂砾岩，胶结疏松，同时岩石闭合压力较高，支撑剂嵌入问题较为严重。支撑剂嵌入地层可使有效支撑缝宽减小，降低裂缝导流能力，进而影响压裂效果。选用高强度支撑剂和多级阶梯注入支撑剂技术解决支撑剂嵌入问题。

为了降低支撑剂嵌入对产能的影响，在压裂设计中提高了支撑剂的砂液比，并采用多级阶梯注入支撑剂技术，加砂程序为5%—10%—15%—20%—25%—30%—35%—40%—45%—50%—55%，砂液比浓度由5%逐渐增加到55%，加砂梯度为5%，共分为11级阶梯，基本实现了线性加砂。多级阶梯加砂技术，缩小了每级砂液比的上升幅度，减少了压力的波动，使施工压力更加平稳，同时使支撑剂充填更加饱满，支撑剂铺置浓度更加合理，使裂缝导流能力提高20%以上。

③深层气藏压裂改造技术思路及方法。技术思路：中砂比、深穿透，低伤害；降低施工压力方法：只进行套管压裂、或者油套混压；延迟交联压裂液；加大压裂管柱管径及地面管线管径；复合射孔技术；压前喷砂射孔技术；压前酸化预处理；低砂比冲扩技术；减小污染技术：优选压裂液，与储层流体、基质配伍性；优化压裂规模和施工参数，减少入井液用量；（CO_2助排、N_2助排、起泡剂）提高返排率；变组分压裂液技术（依据温度场剖面优化）；追加微胶囊破胶剂和水化剂；高效防膨剂；科学压后管理。

2 吉林油田应用压裂技术的做法

一是结合油藏，体现油藏，优化压裂设计，强化压裂设计管理方法。在具体操作中主要体现在以下五个方面：①压前试油讨论参加单位制度化，做到油藏与工程相结合；②压裂设计审批管理制度化，做到设计优化、全面、可操作；③压裂方案—压裂监督一体化，做到监督清楚设计，明确压裂特点；④现场质量控制责任化，做到监督分工明确、责任落实；⑤压后评价系统化，压后及时提交总结报告，为储层再认识提供第一手资料。

二是加强现场质量监督管理。压裂监督人员做到四个清楚，即：①压裂设计清楚；②压裂工艺清楚；③储层特点清楚；④压裂难点清楚。在明确监督内容的前提下，加强了四个方面工作，即：①加强了整章建制工作，现场监督按规定实施规范化操作；②加强了组织协调工作，指定专人负责通知，接收施工井号、时间、地点，责任落实到人；③加强了开工验收，监督总结管理，提高监督的效率；④加强了监督人员素质的提高，做到按设计监督，使设计更优化。

3 结论与认识

针对吉林油田“三低”油藏的储层特征，压裂是永恒的主题。只有继续坚持油藏与工程相结合、压裂改造与油层保护相结合、先进工艺技术与低成本相结合的原则，围绕勘探开发一体化的工作思路，深化压裂机理研究，明确压裂攻关方向，规范压裂管理方法和科学理念，大力发展压裂水平和技术力量，对于吉林油田可持续发展具有深远的意义。

参 考 文 献

[1] 刘玉芝．油气井射孔井壁取心技术手册．北京：石油工业出版社，2000
[2] 王鸿勋，张琪．采油工艺原理．北京：石油工业出版社，1989
[3] 万仁傅．现代完井工程．北京：石油工业出版社，1998
[4] [美] J.L. 吉德利．水利压裂技术新发展．北京：石油工业出版社，1995
[5] 罗亚平．保护储集层技术．北京：石油工业出版社，1993
[6] [美] M.J. 埃克诺米得斯等．油藏增产措施．北京：石油工业出版社，1991
[7] 赵福麟．采油化学．北京：石油工业出版社，1989
[8] 惠晓霞．石油化学基础．北京：石油工业出版社，1989

five years, there has been made an early reservoir description of Puxi area, and established a spatial model of oil and gas distribution in this area to guide well deployment and reserves up-grading with the establishment of geology theory of lithologic reservoir and the progress and application of the technology of commercial mapping on large scale, identification of oil and water layer in low permeability and high contained muddy layer, identification of lithologic trap and fracturing engineering.

Key words: Puxi area, lithologic reservoir, exploration deployment, assessment, exploration experience

Application of Fracture Technology in Jilin Exporatory Area/Zhang Ying'an[1], Zhang Zonglin[2], Wang Hongwei[1] //*1. Research Institute of Production Technology, Jilin Oilfield Branch Company, PetroChina, Songyuan, Jilin Prov. 138001; 2. Exploratory Department of Jilin Oilfield Branch Company, PetroChina, Songyuan, Jilin Prov. 138001*

Abstract: The reservoir in Jilin Oilfield is of low permeability, low porosity, and low abundance. Fracture is an important technology for reforming reservoir and understanding reservoir. During "the Tenth Five-year plan", according to the exploration deployment of Jilin oilfield branch company and considering the reservoir geologic characteristics of Jilin exploration area, we have made great efforts to develop matching fracture technology that applies to various exploration areas and to standardize fracture procedure. To improving single well production and reducing reservoir damage to the lowest limit, we have proven two oilfields with a hundred million ton reserves--Daqingzijing and Yingtai-sifangtuozi, and built the first production factory with the oil productivity of a millions of tons--Yingtai production factory, by successful using of fracturing technology since 1999.

Key words: Jilin oilfield, low permeability reservoir, fracture technology

The Series of Mud Logging Technique Applied in Jilin Exploring Area/Dou Hui, Li Chengjun, Wang Yan, Tian Xiumei//*Geological Logging Company, Jilin Petroleum Group Co. Ltd., Songyuan, Jilin Prov. 138000*

Abstract: Through comparing the advantage and shortcoming of all kinds of mud logging techniques and of their application effect in different kinds of exploring areas, we found out the applicable logging technique series to be suitable for different oil reservoirs in Jilin oilfield, including light oil reservoir, condensate reservoir, subtle reservoir and the reservoir with complicated crude oil physical property. This technological series has solved the problem of logging identification and evaluation for light oil, died pore oil, residual oil and oxidized oil, and it has effectively directed the oil and gas exploration in the last several years. This paper points out that a series of problem from modern high-speed drilling well technique to the great difficult of oil and gas exploration must depend on the combination of various mud logging techniques (synthetic technique series), particularly it must be more reasonable and applicable for the choice and application of special mud logging techniques.

Key words: Jilin oilfield area, geochemical logging, quantitative fluorescence logging, pyrogenation chromatogram logging, PK logging

Fracture Prediction of Carbonate Buried-hill in Qianmiqiao Area/Chen Gongyang//*Jianghan Petroleum Institute, Jingzhou, Hubei Prov., 434102*/He Xian, Liu Shuming, Tao Ziqiang//*The Research Center of Exploration and Development of Dagan Oilfield, Dagan district, Tianjing, 300280*

Abstract: Fracture is formed when the intensity of ground stress exceeds the compression strength, extension strength and shearing strength of the rock. On the other hand, the fracture is associated with the structure styles. Based on the above, we can predict quantitatively the fracture distribution by the strain magnitude and the curvature of the formation. Adopting the program of combined structure forward and inversion and used the software of Midland Valley Corporation, the fracture prediction has been made for carbonate buried hill in Qianmiqiao Area. Exploration results show the forecast is effective and this can provide an important base for the next exploration.

Key words: fracture prediction, Qianmiqiao buried hill, carbonate rock

Construction and Application of Exploration Database in Oilfield/Zhou Xia//*Geophysical Institute of Shenli Oilfield Company Ltd., Dongying, Shandong Prov., 257022*