



## 径向钻孔体积压裂技术

青岛大地新能源技术研究院

2019年

# 目录

1. 技术简介

2. 技术介绍

3. 工艺流程

4. 技术应用

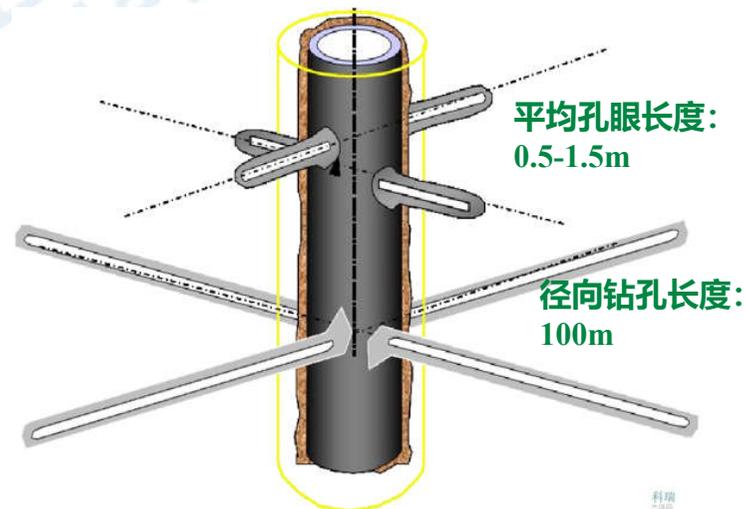
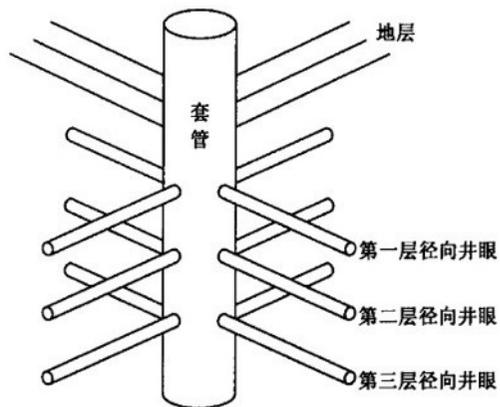
5. 技术总结

## 1.1 径向钻孔技术

径向钻孔技术是利用**高压水射流**破岩，在一口油气井内的**不同深度和方向**上钻出多个**径向小井眼**的新型增产措施。该技术能有效**增大原井眼的泄油半径**，达到**提高油藏动用程度**的目的。

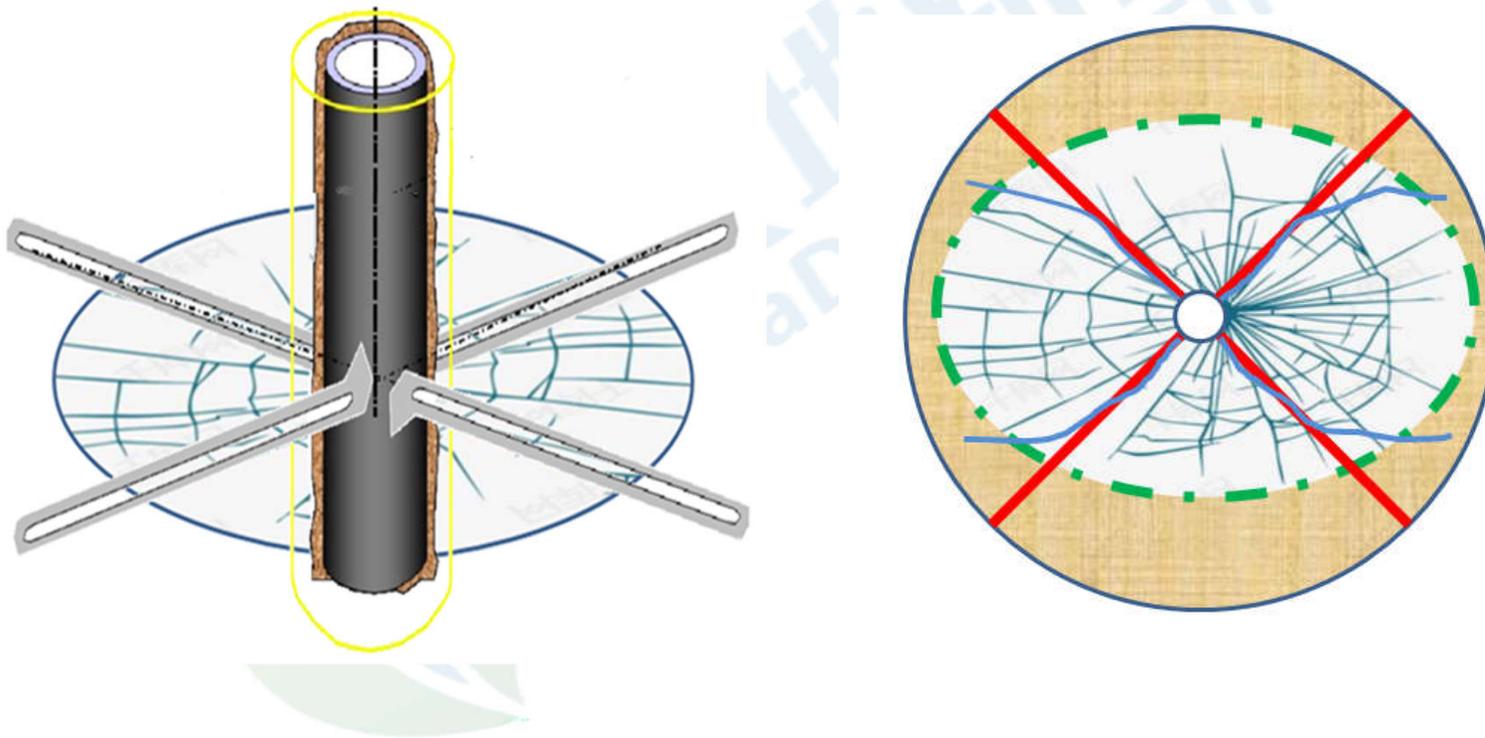
### 技术指标

- 适用井斜 $0^{\circ}$ - $65^{\circ}$ ;
- 地层喷射进尺最深达100m, 套管孔直径27mm, 喷射直径50-100mm的井眼;
- 适用环境温度小于 $125^{\circ}\text{C}$ ;
- 适用地层: 中硬以下地层。



## 1.2 径向钻孔体积压裂技术

**径向钻孔体积压裂技术**是在高压水射流钻出**径向水平井**的基础上，进行**水力压裂**，在径向钻孔井筒附近形成**高导流能力的裂缝**，以增加产油量的技术。



## 1.3 径向钻孔压裂适用地层



## 1.4 径向钻孔压裂适用井况



## 1.5 径向钻孔压裂井筒条件

- 套管没有明显套变，保证导向器通过
- 作业管柱要求洁净、下井前要用通井机通井
- 作业前要求洗井，确保井眼洁净
- 喷射作业时要求留足口袋空间（15-20米）

## 1.6 径向钻孔体积压裂技术优势

- (1) 裂缝方位及裂缝长度**便于控制**;
- (2) 径向钻孔井眼小，可针对**薄层**进行施工;
- (3) 施工周期短、工艺快捷、起下钻速度快，常规油水井作业**用2到3天**就可以完成**4个孔眼**的径向钻孔工作。
- (4) 喷射钻进用**液量少**，施工简便，施工成本低;
- (5) 直接在油层部位钻孔压裂，**增大油层泄油面积**。
- (6) 解除近井地带污染和伤害，达到**油层解堵**目的，实现油井正常生产。

# 目录

1. 技术简介

2. 技术介绍

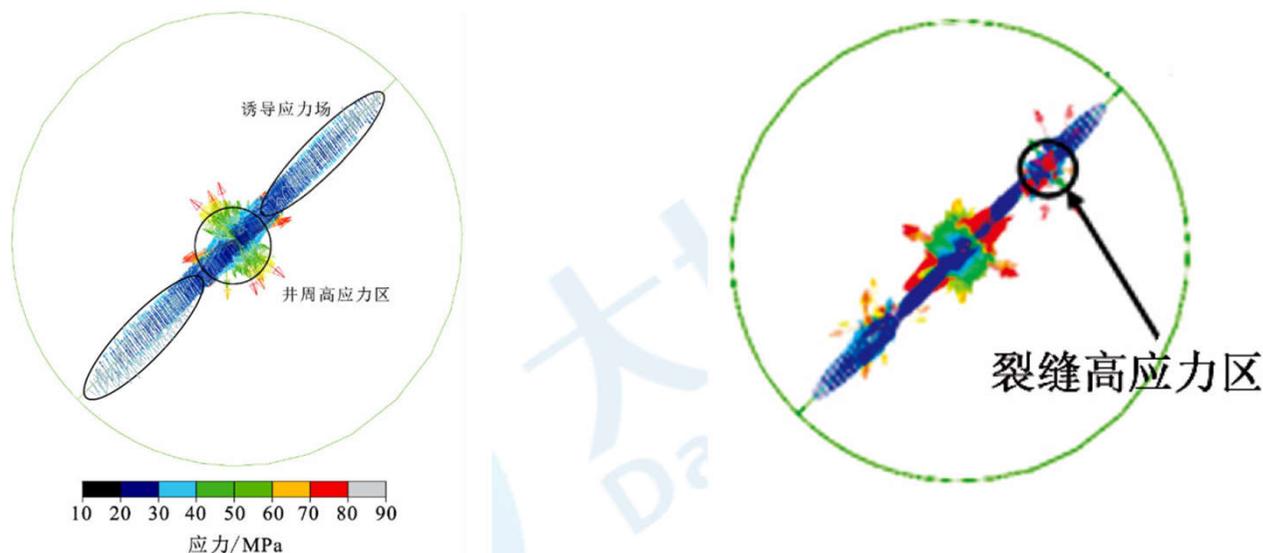
3. 工艺流程

4. 技术应用

5. 技术总结

### 2.1 缝网扩展规律数值模拟研究

#### (1) 水平多径向井压裂缝网形成机理

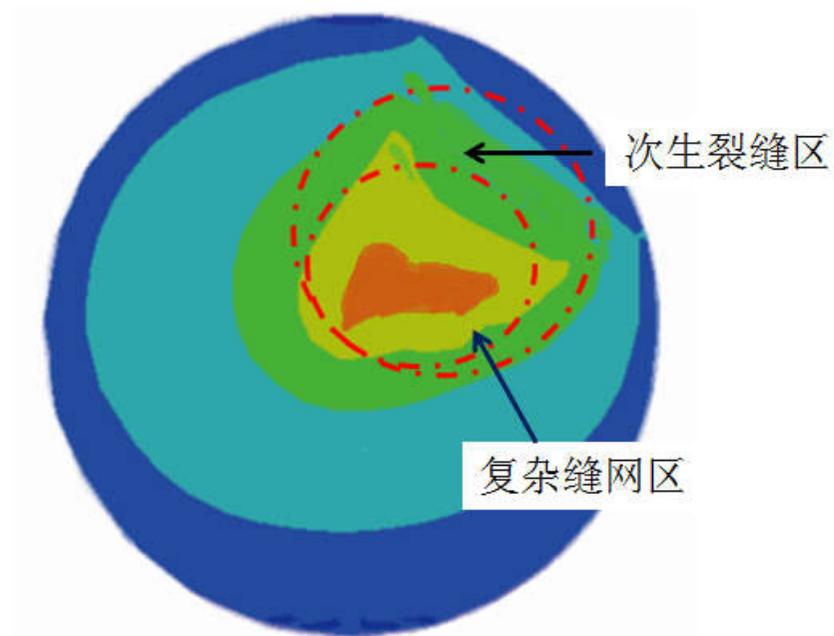
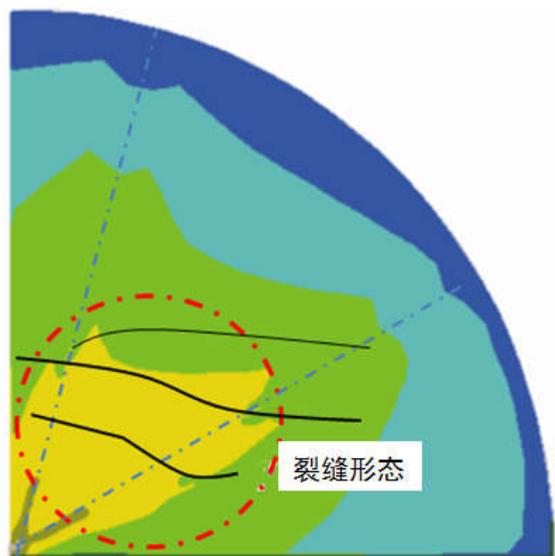


图片来源: 曲占庆, 李小龙, 李建雄等. 基于扩展有限元法的多径向井压裂缝形态分析. 中国石油大学学报: 自然科学版, 2018.

- 在**干扰应力场**引导下, 裂缝首先沿着**径向井眼**扩展, 定向扩展延伸距离在**40m**以上;
- 在地应力作用下, 在径向井**中部**区域裂缝发生转向, 形成**高应力区**;
- **中部区域**以内在干扰应力场、地应力共同作用下易形成**复杂缝网**, 中部区域以外, 在径向井的引导下, 裂缝继续延伸, 形成**次生裂缝**。

### 2.1 缝网扩展规律数值模拟研究

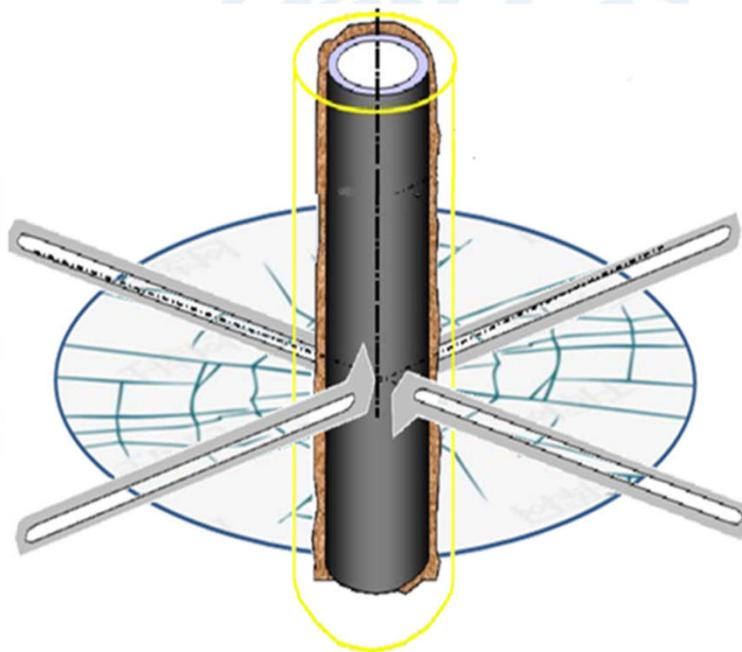
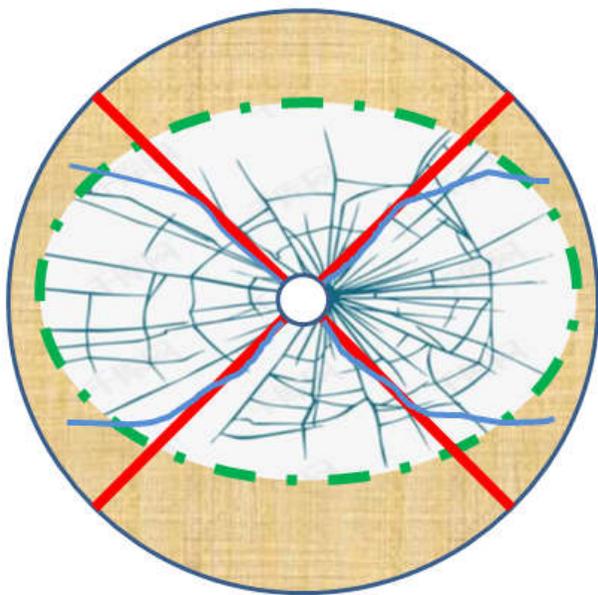
#### (2) 径向井眼裂缝扩展



径向井指端裂缝沿各自对应的径向井独立扩展，靠近水平最大主应力方向的径向井最先起裂，且裂缝扩展距离较远，形成次生裂缝。

### 2.1 缝网扩展规律数值模拟研究

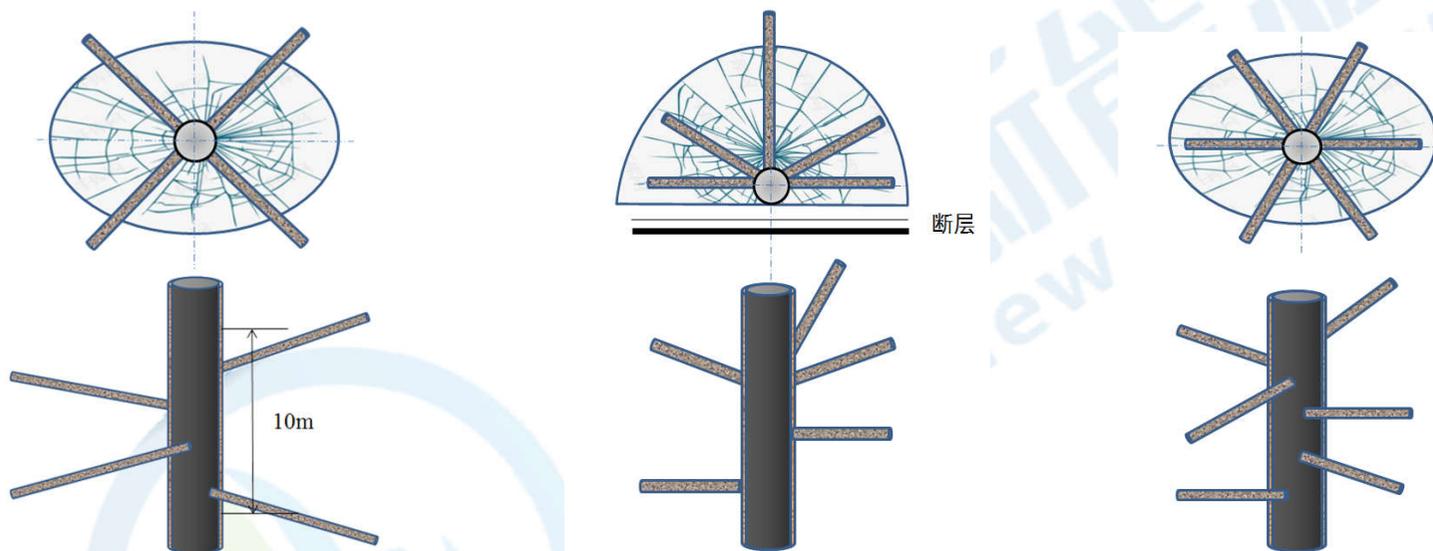
#### (3) 对称钻孔压裂方式缝网形态



水平**对称**分布钻孔方式导致多径向井**同时起裂**，整体形成**复杂裂缝网络**，起到**体积压裂**的作用，极大地提高了地层的泄油面积。

### 2.1 缝网扩展规律数值模拟研究

#### (4) 不同垂向对称钻孔方式压裂缝网形态



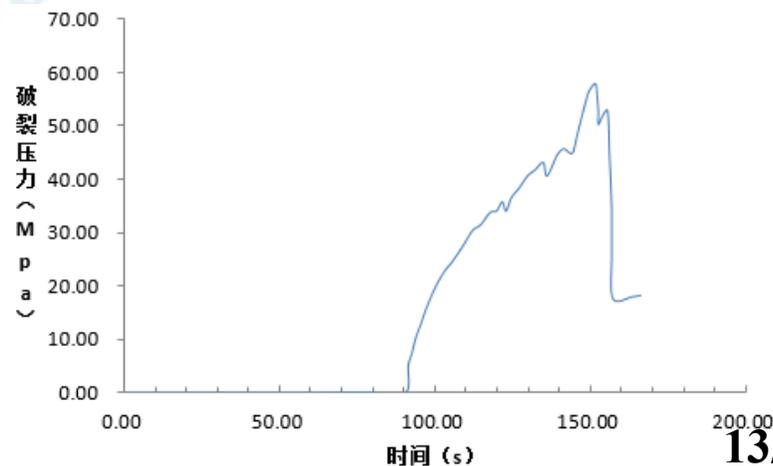
纵向不同层位进行钻孔压裂，满足以下**原则**：

- ① 垂直方向上钻孔**间距小于5m**，对称多径向井眼在20m内完成钻孔；
- ② 必要时要在**最大水平主应力方向补孔**，**最小主应力方向增加钻孔长度**；
- ③ 有断层存在时，**避开断层方向钻孔**。

### 2.2 缝网扩展规律物理模拟研究

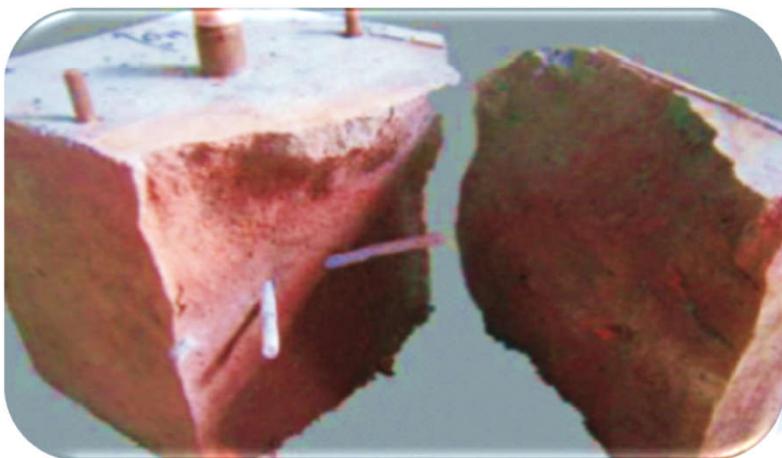
#### (1) 伺服控制岩石力学三轴实验系统

实验系统主要由3轴高压缸、液压动力泵组、伺服控制系统、主控计算机、量测系统五部分组成。通过施加三轴应力，**模拟地层岩石受力状态**，使压裂试验数据更准确。此外该实验设备控制系统采用全数字控制器，控制精度高，可靠性强。



### 2.2 缝网扩展规律物理模拟研究

#### (2) 四径向井眼压裂情况分析



水平对称四井眼



垂向分层对称四井眼

多径向孔眼应力场的相互干扰，沟通多径向孔眼的裂缝最先产生并扩展，形成复杂**裂缝网络**。

# 目录

1. 技术简介

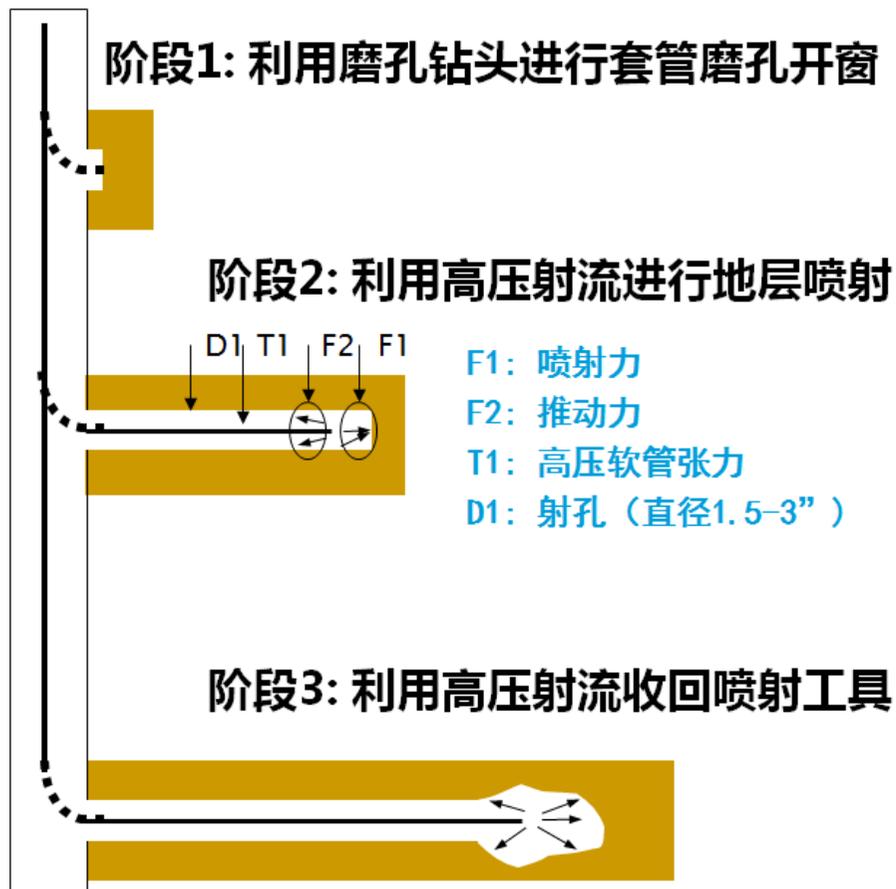
2. 技术介绍

3. 工艺流程

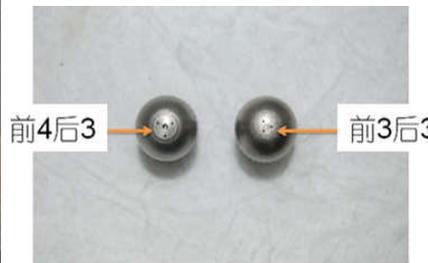
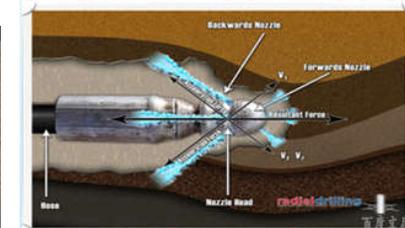
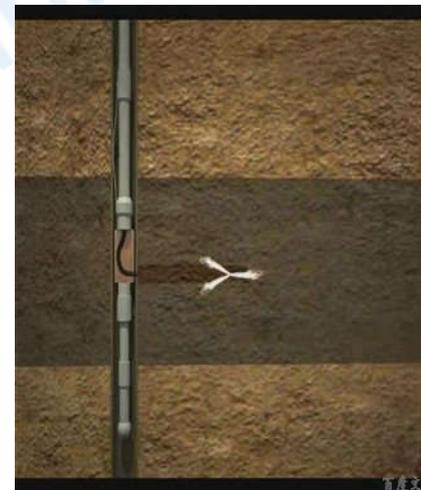
4. 技术应用

5. 技术总结

## 3.1 径向钻孔施工步骤



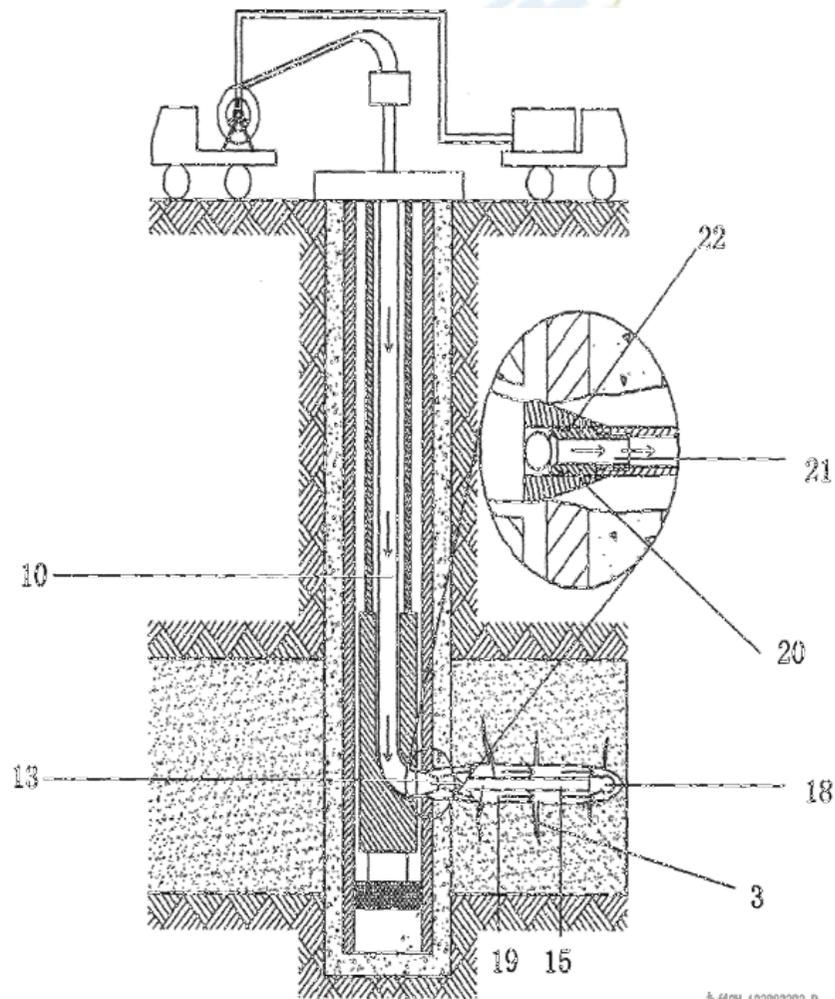
连续油管携带工具在套管上磨铣开孔



喷射钻进和收回

## 3.2 径向钻孔体积压裂步骤

- (1) 实现**径向孔眼密封**;
- (2) 地面停泵, 投球, **憋压**, 当压力足够大时, 高压软管与连续油管分离;
- (3) **注入前置液**, 压开形成水力裂缝;
- (4) **注入携砂液**, 起到支撑裂缝的作用;
- (5) **注入顶替液**, 压裂施工结束。



### 3.3 径向井压裂工艺参数选取

- (1) **压裂液**建议选择活性水压裂液体系。
- (2) **排量**优选，排量设计根据布孔个数设计，一孔排量在 $0.8\sim 1.2\text{m}^3/\text{min}$ 之间为宜。
- (3) **泵压**根据地层破裂压力、地层压力设计，地层地层压力 $45\text{MPa}$ 的情况下，破裂压力 $55\text{MPa}$ 左右，设计泵压在 $75\text{MPa}$ 左右。
- (4) **支撑剂**优选，地层较深的致密储层支撑剂选择强度较大的陶粒支撑，对于深度较浅的煤层深度 $2000$ 米左右的储层，可以选用价格较便宜的石英砂具体可以按照泵续表先注入 $1/3$ 的 $100$ 目小粒径支撑剂以支撑小裂缝及次生裂缝，再 $1/3$ 用 $50$ 目中颗粒进一步支撑复杂裂缝网络，最后用 $20\sim 40$ 目大颗粒支撑主压裂裂缝。
- (5) **砂比**设计在 $20\sim 28\%$ 之间。
- (6) **前置液**比例在 $30\%\sim 40\%$ 之间，携砂液比例在 $50\%$ 左右，泵注压裂液用量每孔 $80\sim 100$ 方左右。
- (7) **压裂液粘度**设计在地层条件下在 $150\sim 200\text{mPa}\cdot\text{s}$ 。

# 目录

1. 技术简介

2. 技术介绍

3. 工艺流程

4. 技术应用

5. 技术总结

## 4.1 现场运用实例

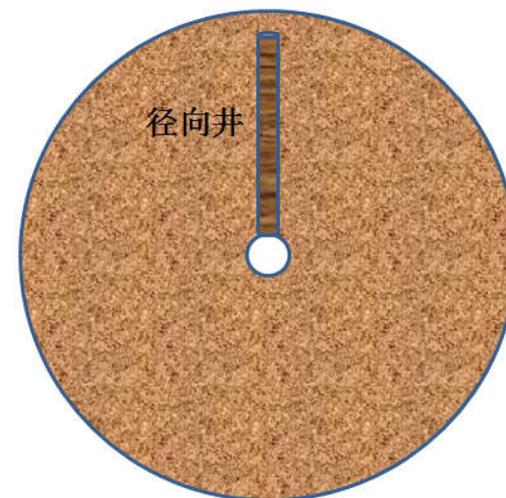
### (1) 区块概况

**G断块**是受北东转东向反向正断层切割形成的断鼻构造，现探明含油面积2.6km<sup>2</sup>，地质储量533×10<sup>4</sup>t，属于受构造控制的**层状边水油藏**，储层综合评价为中粘、**中低渗或低渗**、中孔、低饱和油藏，平均**孔隙度**为16%，平均**渗透率**为5.03mD。**G682井**是2010年G6块E<sub>1</sub>f<sub>1</sub><sup>2</sup>进一步细分层系调整时在E<sub>1</sub>f<sub>1</sub><sup>2-3</sup>砂体高部位部署的一口开发调整井。该井于2010年1月完钻，2010年2月投产。

2016年12月20日对射开的E<sub>1</sub>f<sub>1</sub><sup>2</sup>的**12号层**实施**径向井**，此径向井是**沿着最小主应力**方向进行钻井，径向分支长100m，未见工业油流。

井基础数据

完井日期	完钻井深 (m)	人工井底 (m)	水泥返高 (m)	最大井斜及深度	固井质量
2010-1-20	1965	1940	687	10.22°/ 1850m	合格
套管名称	外径 (mm)	壁厚 (mm)	钢级	下入深度 (m)	
油管套管	139.7	7.72	P110	1961.25	

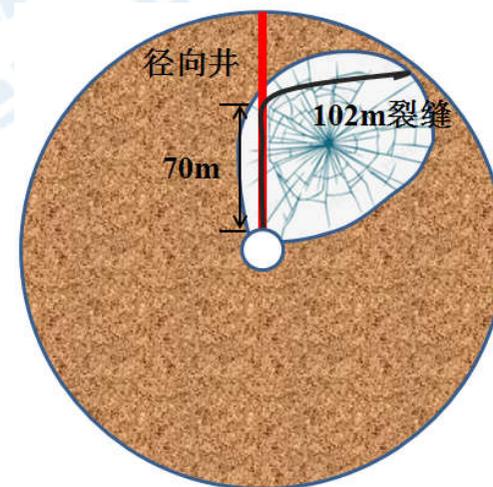


## 4.2 现场运用实例

### (2) 结果分析

G682 井压裂后进行生产，G682 井压裂后共生产263d，采出978.3t 油，平均日产油3.72t，折算成体积为4.27m<sup>3</sup>/d。

层位/层号	$E_1 f_1^2 / 12$	井眼直井 (m)	0.03
面积 (km <sup>2</sup> )	0.41	井眼直径 (m)	0.03
地层温度 (°C)	83.2	厚度 (m)	11.2
有效孔隙度 (%)	16	体积系数	1.1
原始地层压力 (MPa)	18.6	渗透率 (mD)	5.03
目前油层压力 (MPa)	13.6	井底流压	10.27
裂缝长度 (m)	103	裂缝高度 (m)	32
裂缝宽度 (m)	0.0036	裂缝渗透率 (D)	80



## 4.3 现场运用实例

### (1) 储层特征

储层参数

储层深度	2600m~3476m
储层厚度	15m~50m
储层孔隙度	9.8%
储层渗透率	0.5mD

辽河某油藏油层埋深在**2600~3476m**范围内，共发育3套油层组，每套油层组平均有效厚度为15~50m。岩性主要为砾岩、不等粒砂岩、中粗砂岩、细砂岩、粉砂岩5种岩石类型，其中砂砾岩和中粗砂岩为有效储集层。根据本区8口井315块岩心物性分析样品统计，储层**孔隙度**最小2.1%，最大21.8%，**平均为9.8%**；**渗透率**最小0.015mD，最大15.8mD，一般分布在0.04~1.8mD之间，**平均0.5mD**，为**低孔-特低渗储层**。

## 4.3 现场运用实例

### (2) 压裂施工结果

S井是一口预探井，常规射孔后日产液仅0.05t/d，采用径向钻孔技术实施10孔后，日产液0.16t/d。该井压裂改造时共加入压裂液760m<sup>3</sup>，排量9.0m<sup>3</sup>/min，加入支撑剂80m<sup>3</sup>。压后投产初期日产油12.1t/d，100d后稳产在4.2t/d，取得较好压裂效果。

径向井眼孔数	10孔
压裂液用量	760m <sup>3</sup>
施工排量	9.0m <sup>3</sup> /min
支撑剂用量	80m <sup>3</sup>
初期日产油	12.1t/d
100天后稳产	4.2t/d

# 目录

1. 技术简介

2. 技术介绍

3. 工艺流程

4. 技术应用

5. 技术总结

- (1) 径向井眼辅助压裂可以形成**复杂缝网**，起到**体积压裂**的效果，大大提高油藏动用程度，提高采收率。
- (2) 径向井眼形成垂直方向椭圆形的**干扰应力场**，裂缝首先沿径向井方向起裂，引导距离可达**40m**以上，之后主裂缝**转向**最大主应力方向。
- (3) 水平**对称多径向井眼**辅助压裂可以形成**复杂缝网**，径向井**中部区域**以内是沟通多径向井的**复杂缝网区**，**中部区域以外**是径向井引导的**次生裂缝区**。
- (4) 纵向对称布孔缝网形成条件为**垂直方向上钻孔间距小于5m**，对称多径向井眼在20m内完成钻孔，必要时在**最大水平主应力方向**及**最小水平主应力方向**补孔。
- (5) 结合油田现场施工实例及室内实验，对**压裂施工参数**进行了优化，优化结果可以为现场压裂施工提供参考。
- (6) 径向钻孔辅助压裂技术现场运用表明该技术可提高油藏动用程度，施工后日产油量上升明显，相对于常规压裂可大大**提高产油量**，达到提高采收率的目的。



# 大地为本 能源领新

A strong team needs the broad mind and the innovative spirit

**谢谢**  
期待与您合作



青岛大地新能源技术研究院

联系电话：0532-68989909