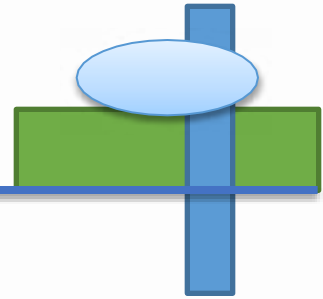




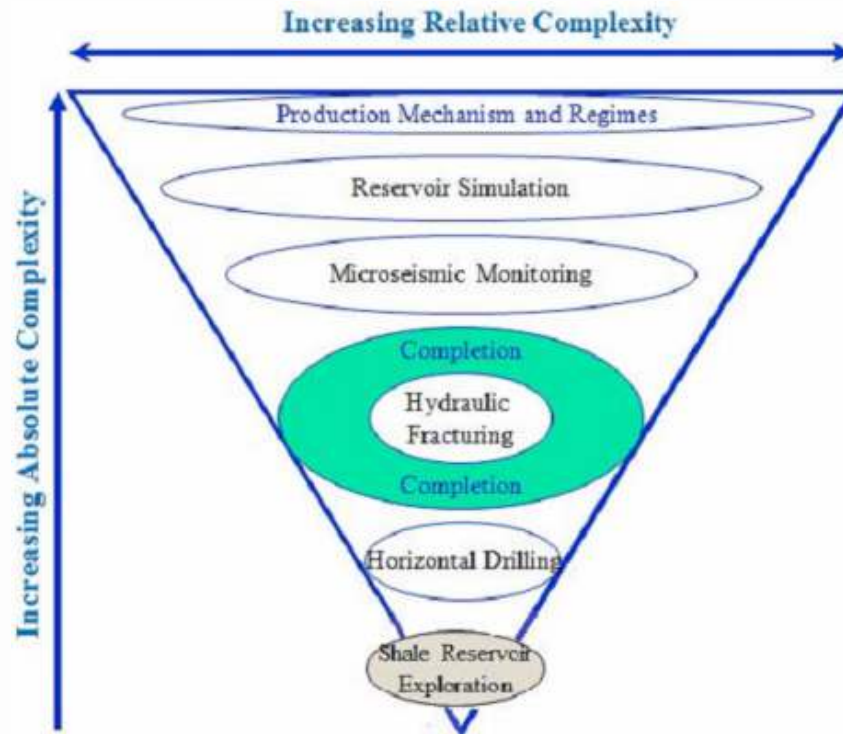
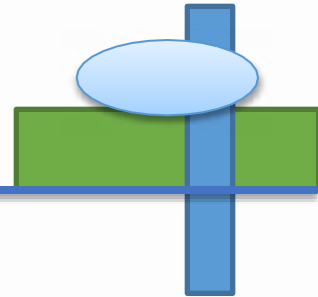
第八章 页岩气井压裂工艺技术



第五章 支撑剂

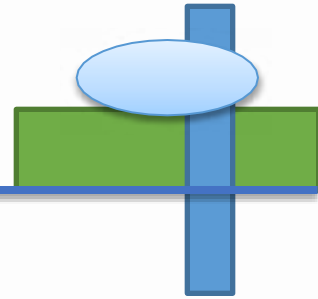


1. 水平井分段压裂技术
2. 缝网（体积）压裂技术
3. 同步压裂技术
4. 重复压裂技术
5. 新型压裂技术





一、水平井分段压裂技术



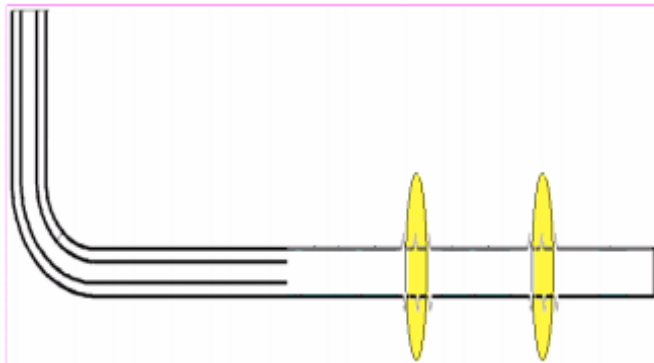
1. 传统水平井压裂
2. 水平井多级可钻式桥塞封隔分段压裂技术
3. 水平井多级滑套封隔器分段压裂技术
4. 水平井膨胀式封隔器分段压裂技术
5. 水平井水力喷射分段压裂技术



(1) 封隔器、桥塞分段压裂

1、工艺原理

该工艺是以封隔器、桥塞等机械工具为载体，通过机械工具的下入，实现对水平井段的隔离和选择性压裂改造，压裂改造后，将隔离工具起出，实现各层段之间的连通。



封隔器、桥塞分段压裂工艺原理示意图

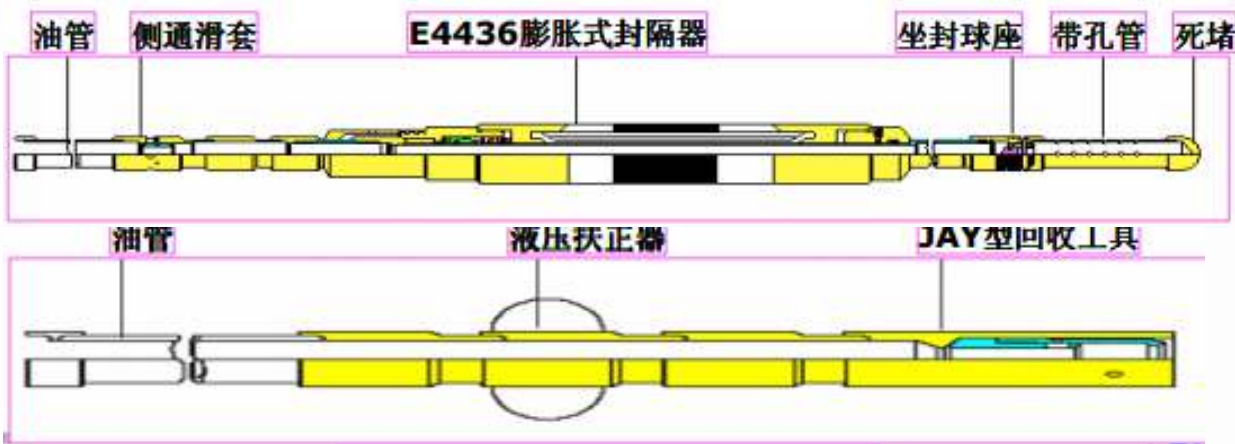
- 1、压裂第1段
- 2、起出管柱
- 3、下入桥塞
- 4、座封桥塞
- 5、起出管柱
- 6、下入压裂管柱
- 7、压裂第2段
- 8、打捞桥塞
- 9、生产



(1) 封隔器、桥塞分段压裂

2、技术特点

- (1) 分段压裂更加准确、可靠；
- (2) 要求工具稳定性好；
- (3) 需进行多次冲砂、起下管柱作业，施工周期较长。

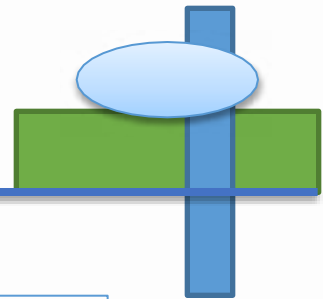


压裂管柱结构示意图

桥塞打捞管柱结构示意图

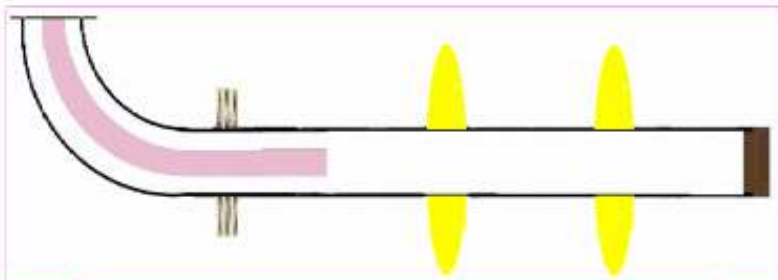


(2) 连续上提封隔器卡封压裂



1、工艺原理

该工艺是以封隔器工具为载体，通过封隔器在各射孔段间产生压力遮挡，对某一射孔段进行压裂改造；施工结束后，将管柱上提至下一射孔段，重新坐封封隔器，进行下一段的压裂改造，完成改造后，起出压裂管柱，实现各层段之间的连通。



连续上提封隔器卡封压裂工艺原理示意图

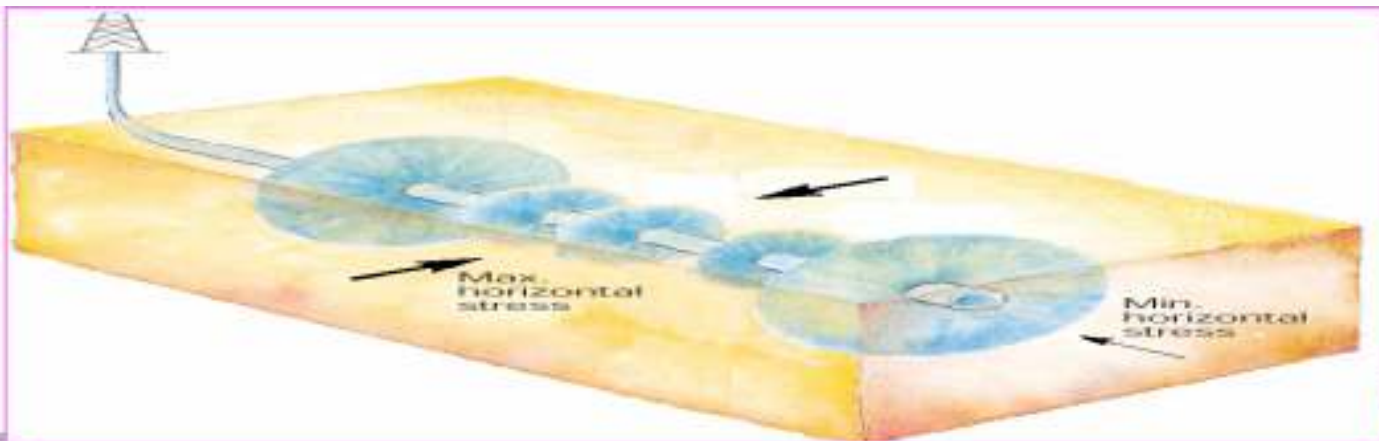
1、射孔
2、下入封隔器
3、坐封封隔器
4、压裂第1段
5、解封封隔器
6、上提压裂管柱
7、坐封封隔器
8、压裂第2段
9、换生产管柱，投产



(2) 连续上提封隔器卡封压裂

2、技术特点

- (1) 分段压裂更加准确、可靠；
- (2) 要求工具稳定性好，尤其是封隔器的重复坐封能力；
- (3) 需进行多次冲砂、起下管柱作业，施工周期较长，但相比封隔器、桥塞压裂工作效率提高。





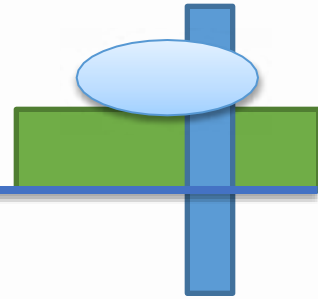
2. 水平井多级可钻式桥塞封隔分段压裂技术

水平井多级可钻式桥塞封隔分段压裂技术的主要特点是：

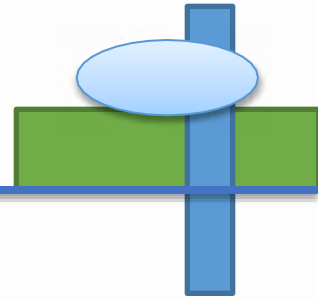
套管压裂、多段分簇射孔、可钻式桥塞（钻时小于15 min）

封隔。该技术的施工步骤大致为：

- （1）第一段采用油管或者连续油管传输射孔,提出射孔枪；
- （2）从套管内进行第一段压裂；
- （3）用液体泵送“电缆+射孔枪+可钻桥塞工具”入井；
- （4）坐封桥塞,射孔枪与桥塞分离,试压；
- （5）拖动电缆带射孔枪至射孔段，射孔，提出射孔枪；
- （6）压裂第二段；
- （7）重复（3） - （6）实现多级压裂。



- **一般目的层水平井段被分成8 - 15段，每段水平段长度为100 - 150 m，每段射孔4 - 6簇，每射孔簇跨度为0.46 - 0.77 m，簇间距20 - 30 m，压裂施工结束后快速钻掉桥塞进行测试、生产。**
- **可钻桥塞分段多级压裂技术的关键工具是可钻桥塞。目前，国外复合材料可钻桥塞比较成熟，BakerHughes公司的Quick Drill桥塞、Halliburton公司的FasFas Drill桥塞等都是非常成熟的复合材料桥塞。**



- **这种复合材料桥塞可钻性强，耐压耐温都比较高：QUICK Drill桥塞耐压可达86MPa，耐温达到232℃；Fas Drill桥塞耐压可达70MPa，耐温达到177℃。**
- **由于该技术射孔坐封桥塞联作，压裂结束后能在很短时间内钻掉所有桥塞，大大节省了时间和成本，同时减小了液体在地层中的滞留时间，降低了外来液体对储层的伤害。**
- **通过该种射孔方式每段可以形成4 - 6条裂缝，裂缝间的应力干扰更加明显，压裂后形成的缝网更加复杂。水平井水平段被分成多段压裂，改造完成后可形成8 - 15段的裂缝簇，改造体积更大，压裂后的效果也更好。**

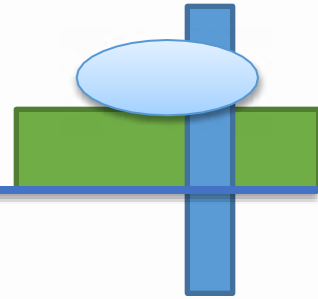


2. 水平井多级可钻式桥塞封隔分段压裂技术

- 该技术通过井口落球系统操控滑套，其原理与直井应用的投球压差式封隔器相同，具有施工时间短和成本低的优点。
- 关键在于每一级滑套的打开以及所控制的级差，级数越多，滑套控制要求越精确，施工风险也越高。
- 该技术采用机械式封隔器，适用于套管和裸眼完井。该类封隔器需要压力坐封或者工具坐封，因此工艺过程复杂，下入工具串次数较多，对于水平井施工风险较大，任何一个环节处理不当就会导致施工失败，造成大修。

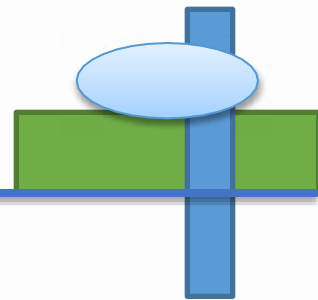


(1) 裸眼封隔器分段压裂



工艺原理

该工艺是以封隔器工具为载体，通过封隔器在各射孔段间产生压力遮挡，对某一射孔段进行压裂改造；施工结束后，投球封堵已压裂段同时打开封堵上一射孔段的滑套，对上部层段进行压裂改造；依次上返，实现多段分压；改造结束后，球体随压裂液返排出井筒，合层生产。



技术特点

- (1) 卡层准确；
- (2) 一趟管柱，多段分压，（ $5^{1/2}$ '井眼）最多可分压8段；
- (3) 主要用于裸眼井的分段压裂作业；
- (4) 压后管柱无法起出，无法并行修井等后续作业。



4. 水平井膨胀式封隔器分段压裂技术

- 又叫遇油(遇水)膨胀封隔器，用于水平井裸眼完井。遇油膨胀式封隔器用一种特殊的可膨胀橡胶材料直接硫化在套管外壁上；
- 其工作原理为封隔器下入井底预定位置后，遇到油气或水后可膨胀橡胶即可快速膨胀，橡胶膨胀至井壁位置后继续膨胀而产生接触应力，从而实现密封；
- 膨胀胶筒在井下遇油或遇水自动膨胀坐封，胶筒膨胀后能适应不规则井眼的形状，紧贴井壁，实现分层分段；

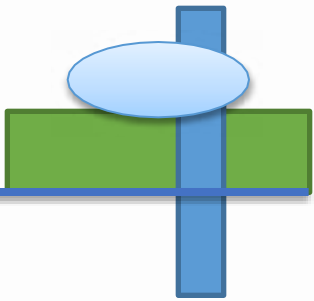


4.水平井膨胀式封隔器分段压裂技术

- 胶筒膨胀完毕后不收缩，始终紧贴井壁，保证坐封质量合格。因为该技术具有可靠性高、成本和作业风险低、压裂后能很快转入试油投产等优点，所以目前在国外已经得到大规模的应用；
- 近年来，国内不少科研院所和石油工具研发公司开展了自膨胀封隔器的自主开发研究，并初步应用于现场，取得了良好的效果。但是与国外产品相比，目前还存在着密封压力低、使用温度低等问题。



4.水平井膨胀式封隔器分段压裂技术



- 水力喷射分段压裂（HJF）是用高速和高压流体携带砂体进行射孔，打开地层与井筒之间的通道后，提高流体排量，从而在地层中打开裂缝的水力压裂技术；
- 该技术是集射孔、压裂、封隔于一体的新型增产改造技术。利用水力喷射工具实施分段压裂，不需封隔器和桥塞等封隔工具，自动封堵，封隔准确；
- 水力喷射压裂由3个过程共同完成：水力喷砂射孔、水力压裂和环空挤压。



4. 水平井膨胀式封隔器分段压裂技术

- **水力喷射分段压裂 (HJF) 有多种工艺：水力喷射辅助压裂 (HAJF)，水力喷射环控压裂 (HJP-AF)，水力喷射酸化压裂等；**
- **水力喷射分段压裂技术可以选用油管或连续油管作为作业管柱，使用范围广，套管完井、筛管完井和裸眼完井都适用。其施工工艺分为拖动管柱式和不动管柱式；**

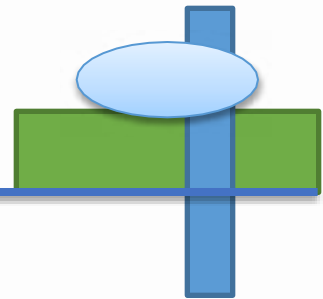


4.水平井膨胀式封隔器分段压裂技术

- **不动管柱式使用喷射器为滑套式喷射器，可实现多级压裂。托动管柱式的优点在于，连续拖动施工管柱可以节省很多时间，降低施工成本，另外由于依靠水力喷射射孔定位准确，因此压裂针对性强，对于改造层段控制性高。**

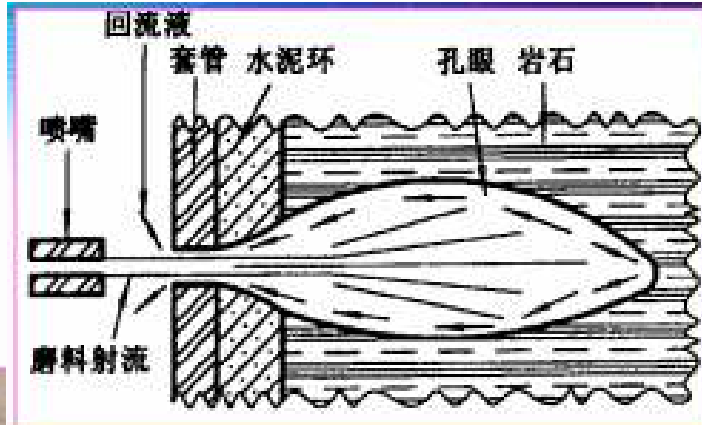


(1) 水力喷射分段压裂

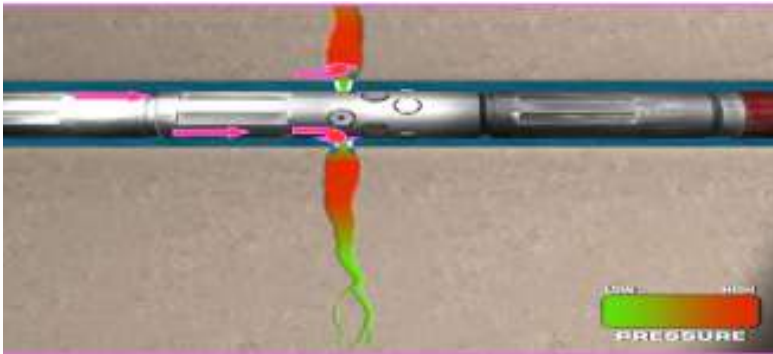


工艺原理

基于伯诺利方程，通过高速流体的注入达到（1）井筒内形成负压区，达到分段压裂目的；（2）利用动能和压能的转化，形成人工裂缝。



水力喷射分段压裂工艺原理示意图



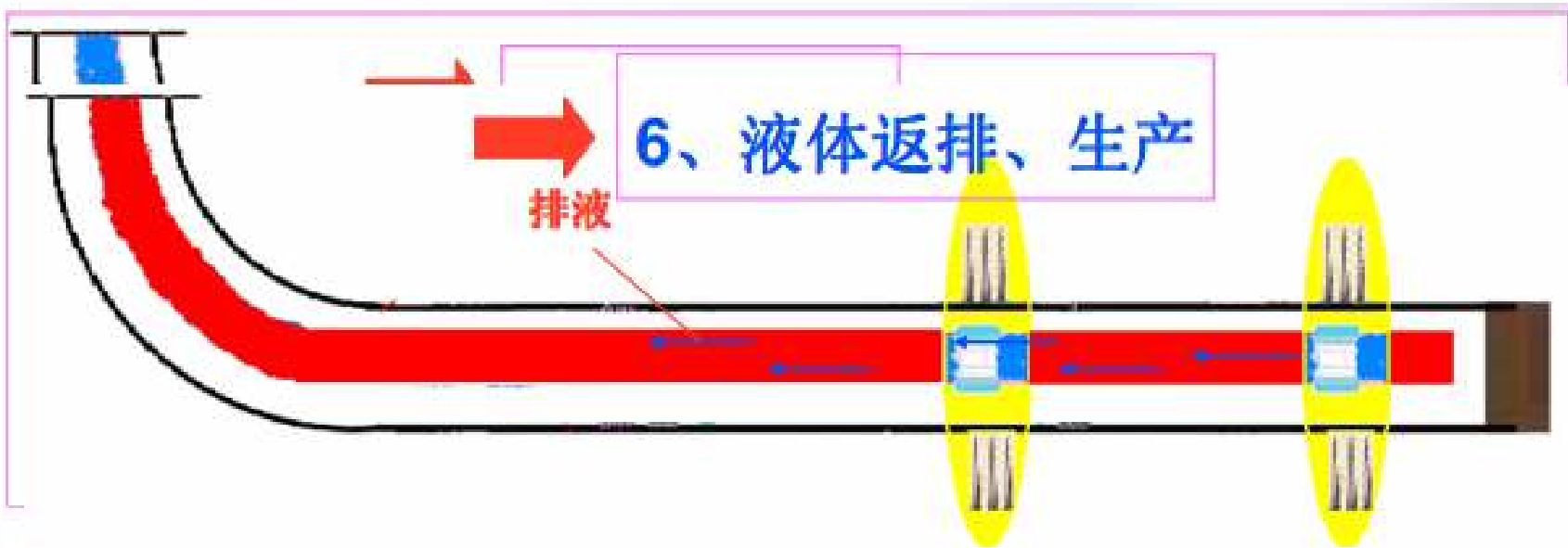
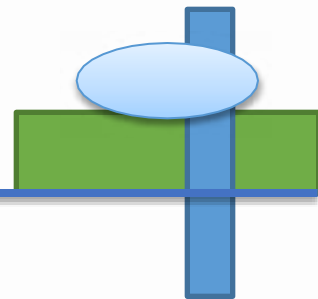
水力喷射分段压裂工艺工作机理图

水力喷射工具照片



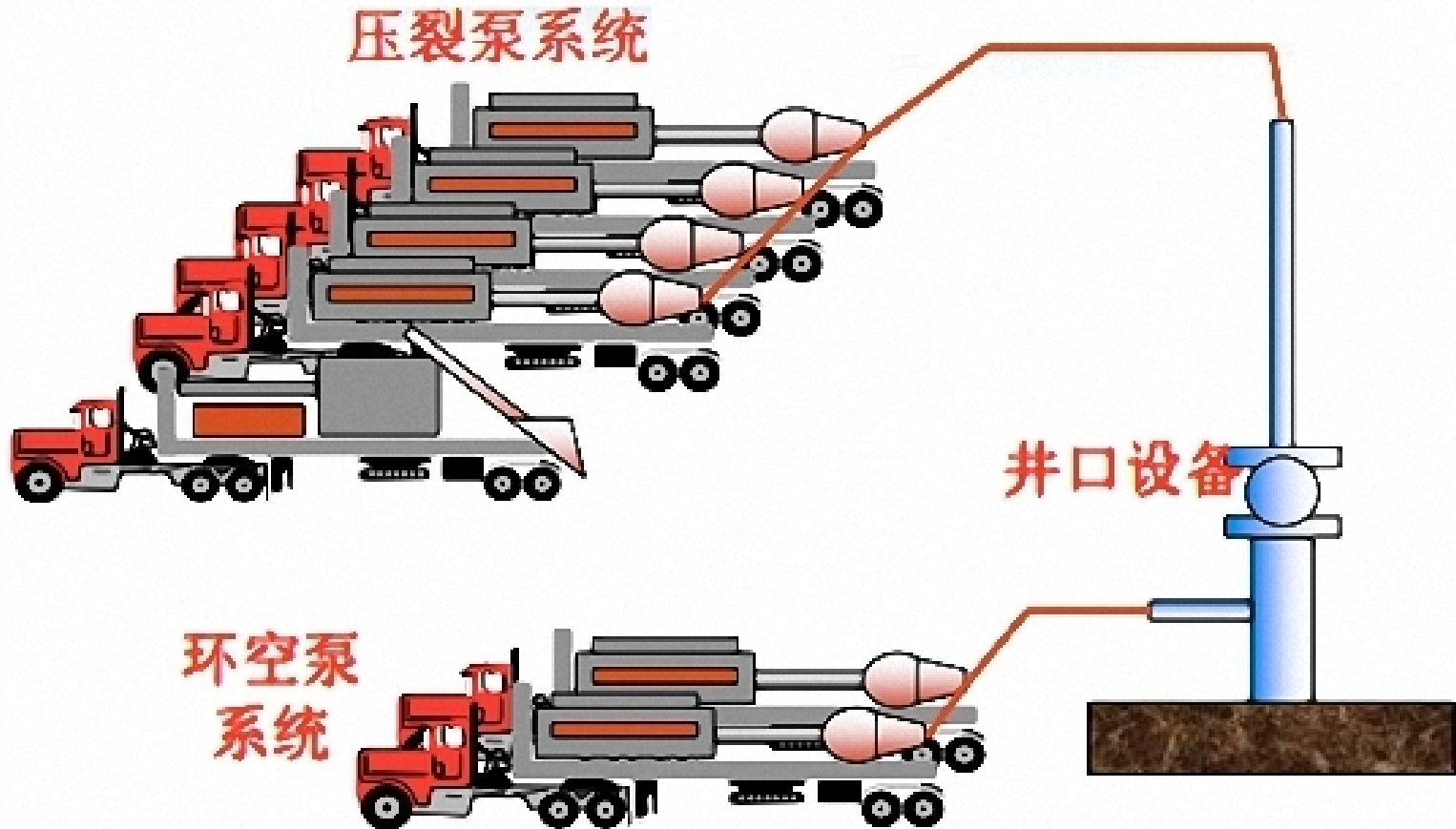
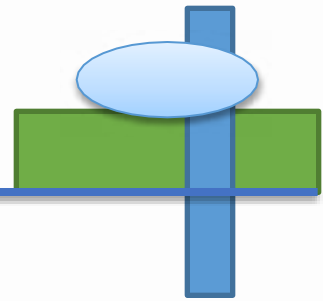


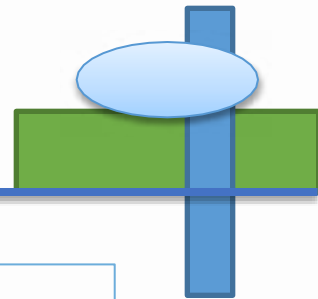
水力喷射分段压裂工艺演示





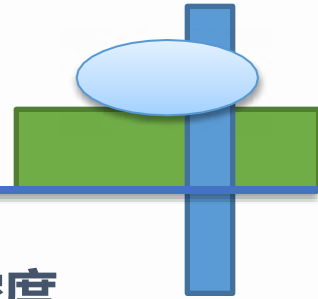
井场设备





技术特点

- (1) 环空压力低，有利于形成横向裂缝；
- (2) 节流压力损失较大，井口压力较高；
- (3) 可实现射孔与压裂作业联作，可用于筛管、套管及裸眼完井方式井的压裂作业；
- (4) 分压段数更多，可采用连续油管拖动，逐层上返压裂（目前水平可分压10段）；
- (5) 压后工具可起出，有利于进行修井等作业；
- (6) 喷砂嘴的稳定性是决定该工艺的关键性技术。



设计优化水力喷砂射孔所需的流速、最佳喷射时间、喷砂液浓度、砂粒直径等参数。

(2) 水力喷砂射孔参数设计优化

1、 喷嘴选择：要具有良好的耐磨性和较高的流量系数。
从水力学知识得知流束任意一点处的速度可由下式求得：

$$V_L = CV_0 D/L$$

式中：—— 微粒喷嘴出口距离为L 处的射流轴心速度；

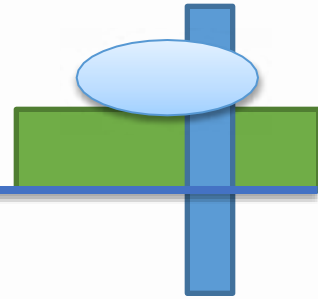
C—— 为试验常数 ≈ 6 ；

V_0 —— 为射流初速度；

D—— 为喷嘴直径；

L—— 为喷嘴出口至喷射物距离。

上式表明，当 $L=6D$ 时，其射流速度仍然保持起初速度的 V_0 不变，自该点之后，射流则按上述规律逐渐减小。



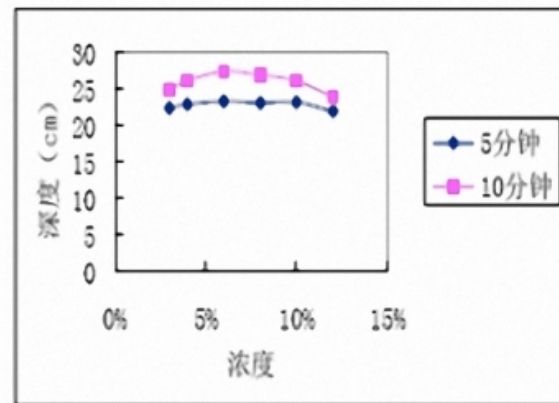
(2) 水力喷砂射孔参数设计优化

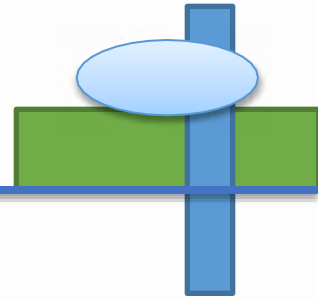
2、压力、流速

根据水力学的动量定律，当喷嘴的截面一定时，射流速度与压力成正比。试验证明，当通过喷嘴的流速保持在**120米/秒**、**工作压力12MPa**以上时，可以取得较好的切割效能。

3、喷射时间

在一定的工作压力下，当射流达到一定深度后，继续延长喷射时间是无意义的。喷射时间一般在**15-20分钟**。





(3) 水力喷砂射孔参数设计优化

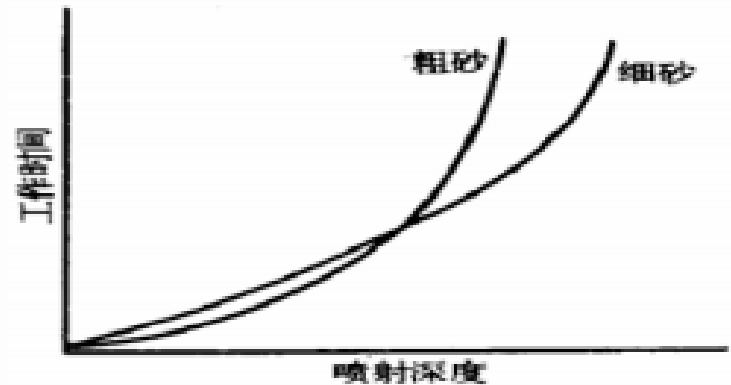
4、含砂浓度:

含砂量越高，切割效能越好。但是，过多的含砂量容易引起砂堵，并会在途中互相碰撞，降低速度，影响喷射效果。

确定砂浓度 120 kg/m^3 。

5、砂粒直径

砂粒直径越大，质量越大，冲击力就越大。一般讲，砂粒直径取喷嘴直径的 $1/6 \sim 1/6$ 为最佳，确定选用40-70目和20-40目的石英砂或陶粒均适用。



以上内容仅为本文档的试下载部分，为可阅读页数的一半内容。如要下载或阅读全文，请访问：<https://d.book118.com/988123120027006071>