中国石油天然气集团公司
CHINA NATIONAL PETROLEUM CORPORATION

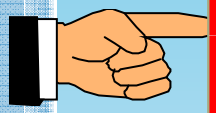
分簇射孔工艺设计参数优化

任国辉

中国石油川庆测井公司

2014. 10　　三亚

汇报提纲



1 引　言

2 分簇射孔工艺简介

3 分簇射孔工艺设计参数优化

4 优化设计参数现场应用

5 结论与建议

引　言

非常规油气资源开发

非常规油气藏

为了实现该类油气资源的经济开采，水平井开发是目前各大油气区块普遍采用的开发模式。

水平井多段分层压裂

分簇射孔工艺作为为水平井多段分层压裂服务配套技术。

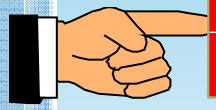
■为多段分层压裂提供理想的压裂流通通道 。

■现场应用的安全和高效 。

设计参数优化

采用理论分析结合现场应用情况对设计参数进行优化的方法，可有效提高分簇射孔作业成功率和安全性，并且为获取最佳的压裂效果提供最大限度的技术支持。

汇报提纲



1 引　　言

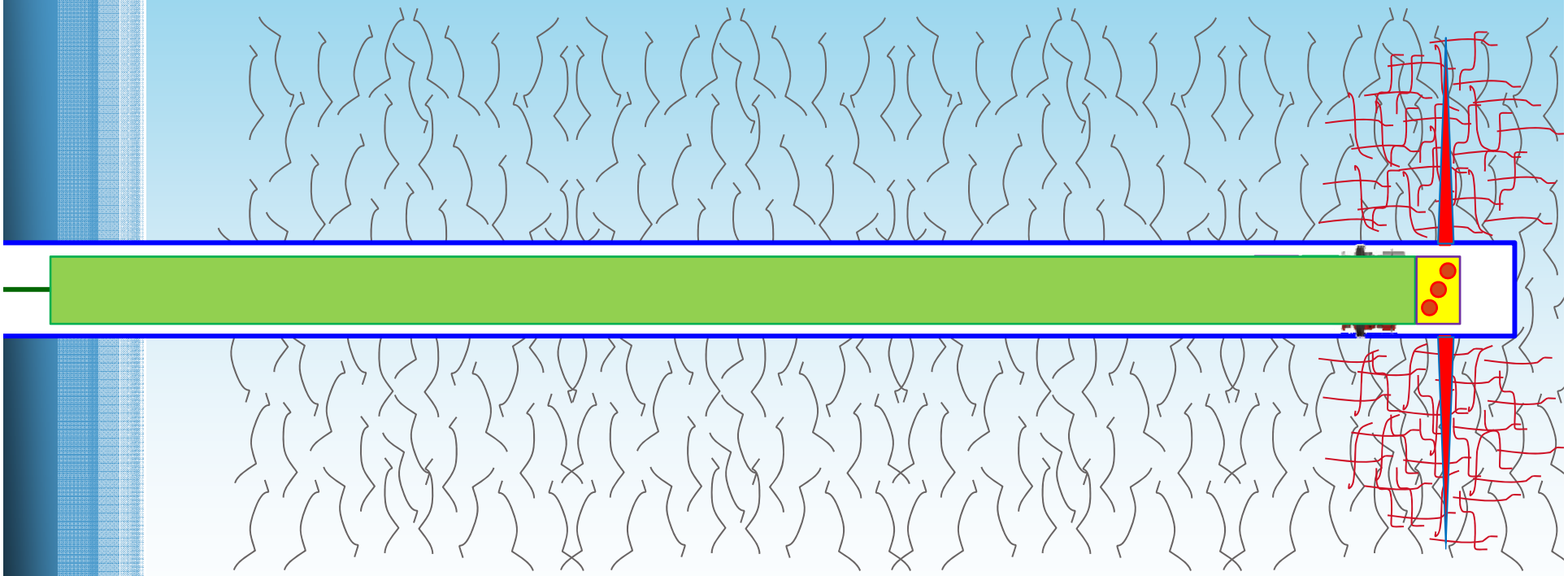
2 分簇射孔工艺简介

3 分簇射孔工艺设计参数优化

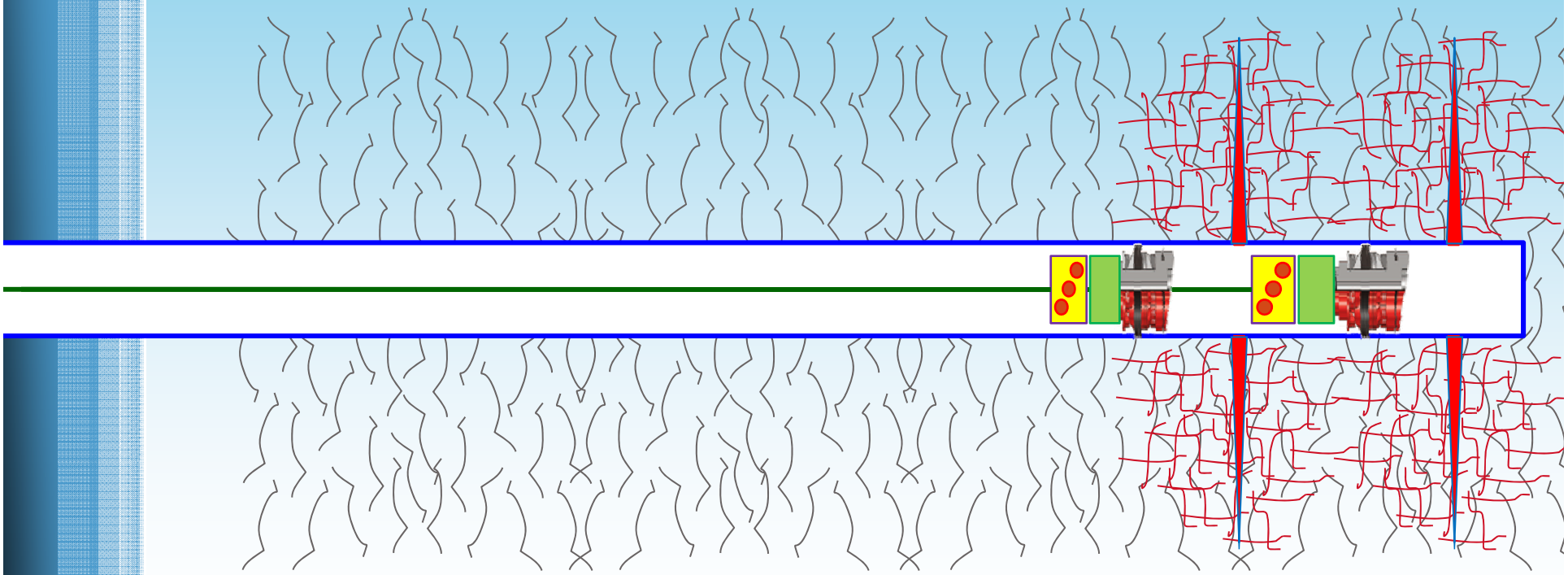
4 优化设计参数现场应用

5 结论与建议

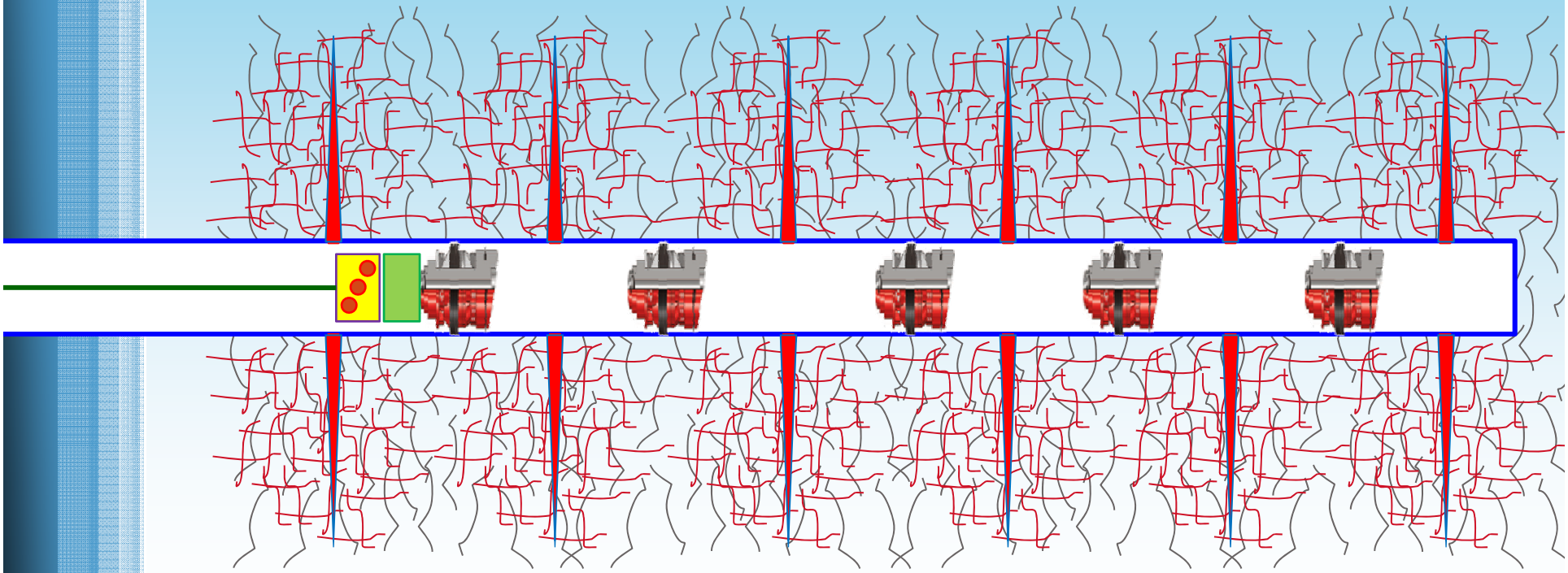
分 簇 射 孔 工 艺 简 介



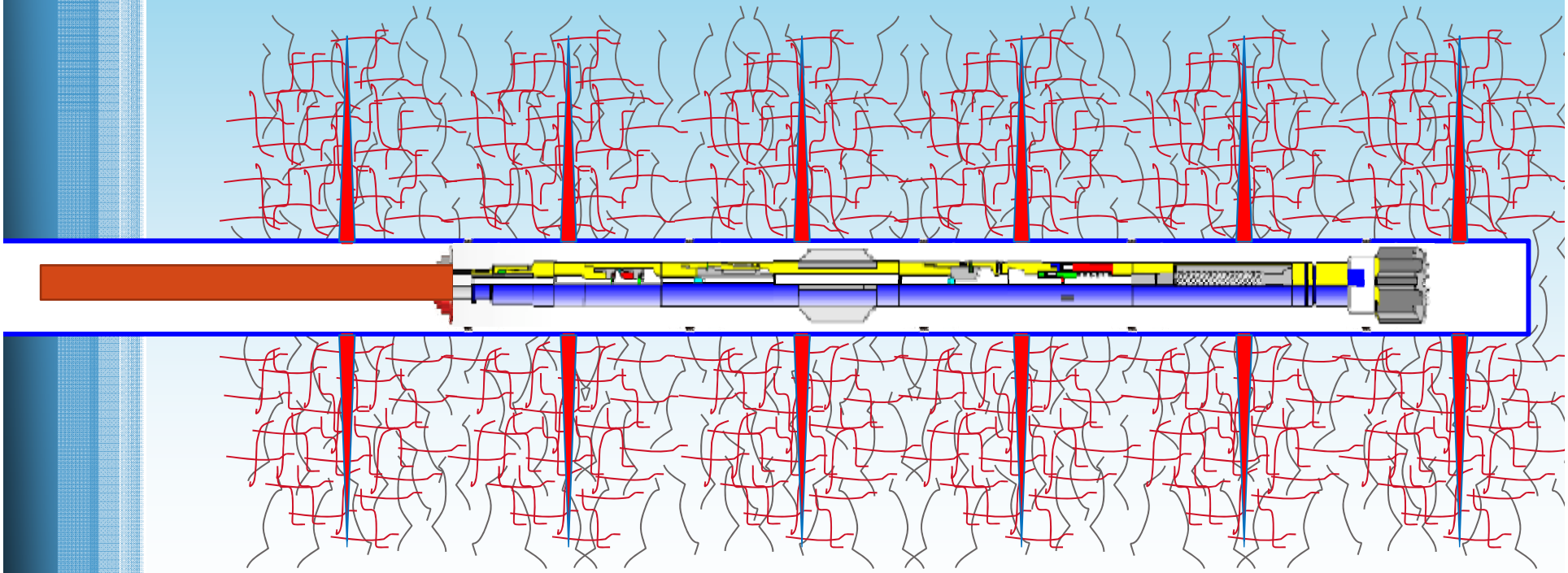
分 簇 射 孔 工 艺 简 介



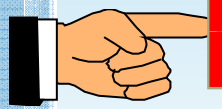
分 簇 射 孔 工 艺 简 介



分 簇 射 孔 工 艺 简 介



汇报提纲



1 引　　言

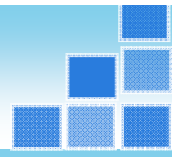
2 分簇射孔工艺简介

3 分簇射孔工艺设计参数优化

4 优化设计参数现场应用

5 结论与建议

分簇射孔工艺设计参数优化



设计参数优化

- 孔密
- 相位
- 孔径
- 段间距
- 簇间距

压裂作业效果

作业成功率

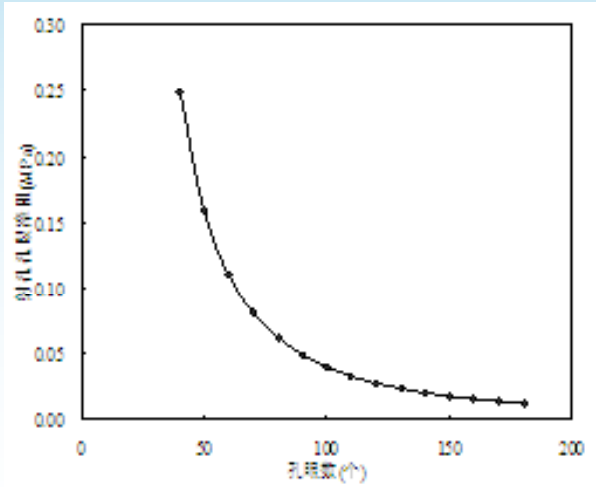
- 泵送参数
- 通过能力

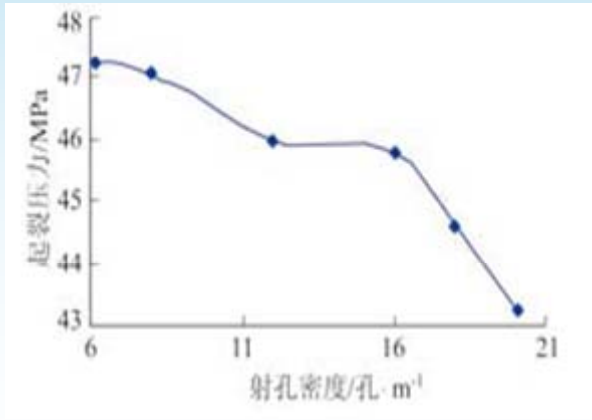
分簇射孔工艺设计参数优化

射孔孔密优化

孔眼摩阻压降 $\Delta P = 2.2326 \times 10^{-10} \dfrac{q^2 \rho}{n^2 d^4 c^2}$

从上式可以看出孔眼磨阻受孔密和孔径影响较大，即增加孔密和孔径可有效降低孔眼磨阻。同时，可提高压裂排量增大携砂能力，有利于压裂施工。





在进行孔密设计的过程中，应结合常用成熟射孔器材参数和压裂设计对射孔长度、施工排量、限流压裂设计等参数的要求，优选射孔孔密。

分簇射孔工艺设计参数优化

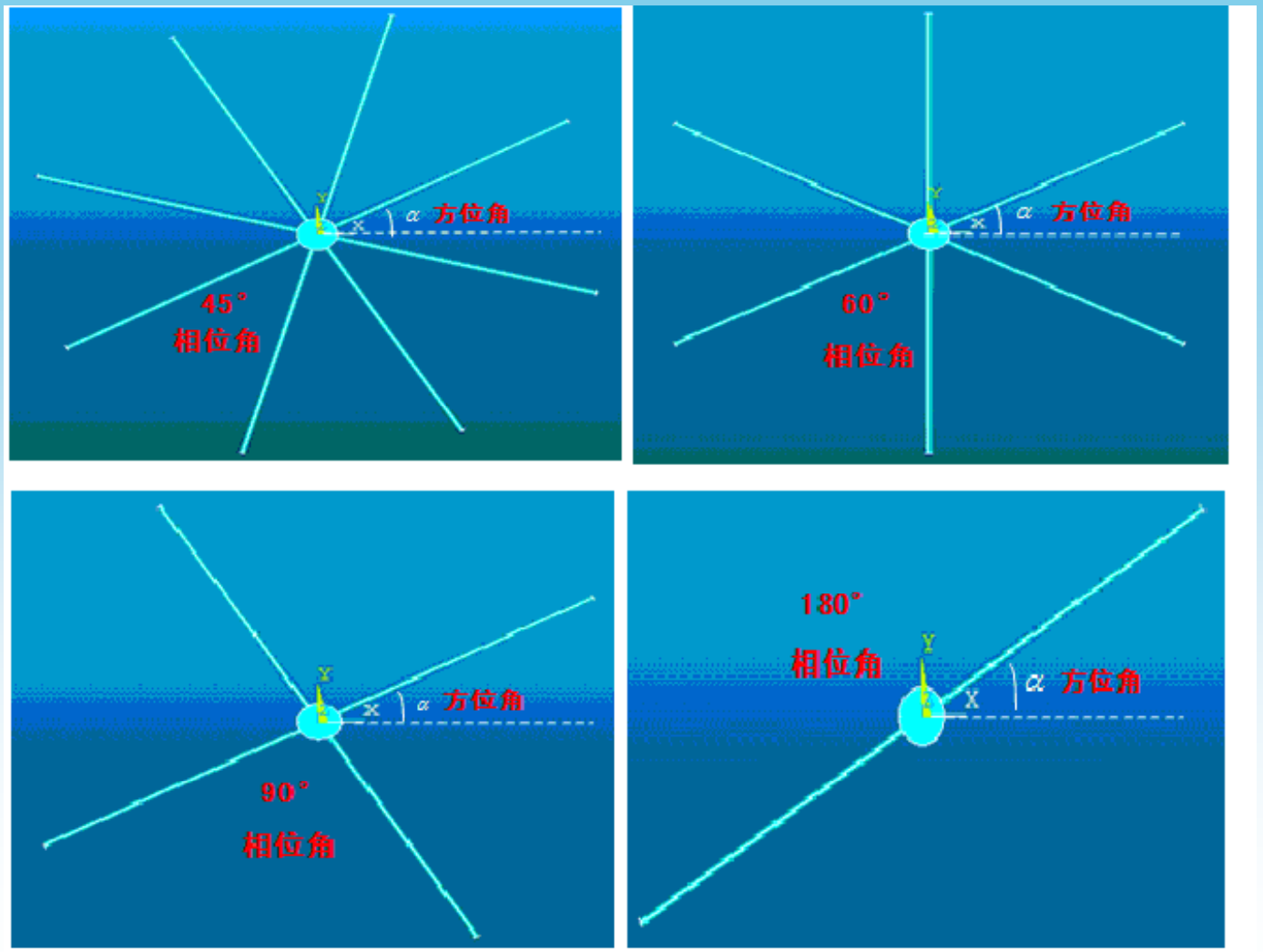
射孔孔密优化

排量、孔径、孔眼数目对应关系数据表

排量	孔径	建议孔眼数（流量系数取0.7）		
		ΔP<0.2MPa	ΔP<0.4MPa	ΔP<0.8MPa
2m³/min	10mm	30孔	22孔	16孔
	20mm	8孔	6孔	4孔
	30mm	4孔	4孔	2孔
4m³/min	10mm	60孔	42孔	32孔
	20mm	16孔	12孔	8孔
	30mm	8孔	6孔	4孔
6m³/min	10mm	90孔	64孔	46孔
	20mm	24孔	16孔	12孔
	30mm	10孔	8孔	6孔
8m³/min	10mm	120孔	86孔	62孔
	20mm	32孔	22孔	16孔
	30mm	14孔	10孔	8孔
10m³/min	10mm	150孔	106孔	76孔
	20mm	38孔	28孔	20孔
	30mm	18孔	12孔	10孔

分簇射孔工艺设计参数优化

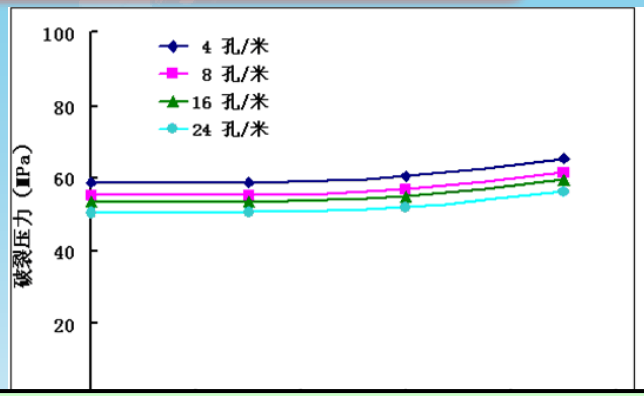
射孔相位优化

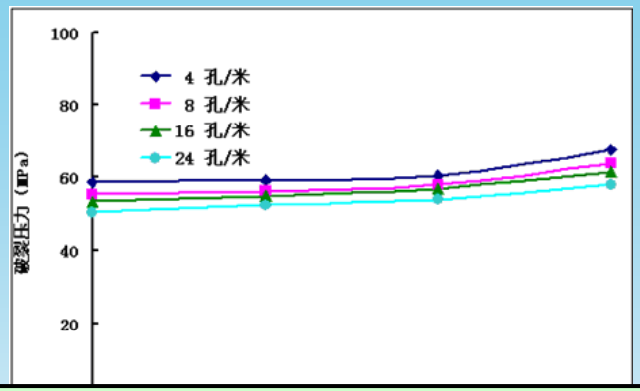


对于相位角为45°、60°、90°和180°的情况，最大射孔方位角分别为22.5°、30°、45°和90°。

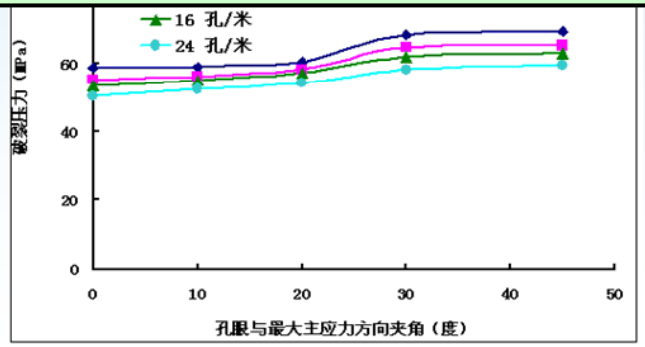
分簇射孔工艺设计参数优化

射孔相位优化

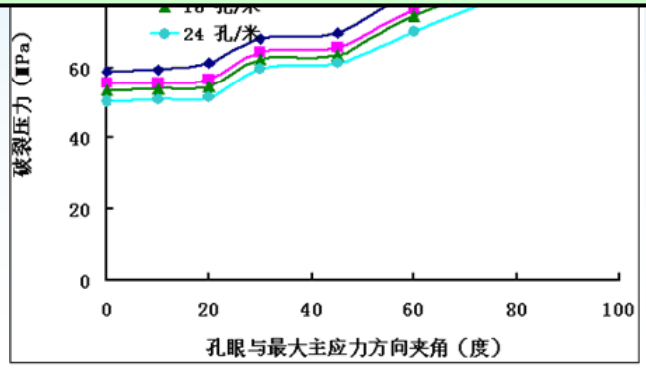




在不能精确确定地应力的情况下，应采用螺旋射孔方式施工，可以有效降低地层破裂压力。



90° 相位下射孔方位角与地层破裂压力关系



180° 相位下射孔方位角与地层破裂压力关系

分簇射孔工艺设计参数优化

段间距及射孔簇数优化

段间距

压裂效果

工程要求

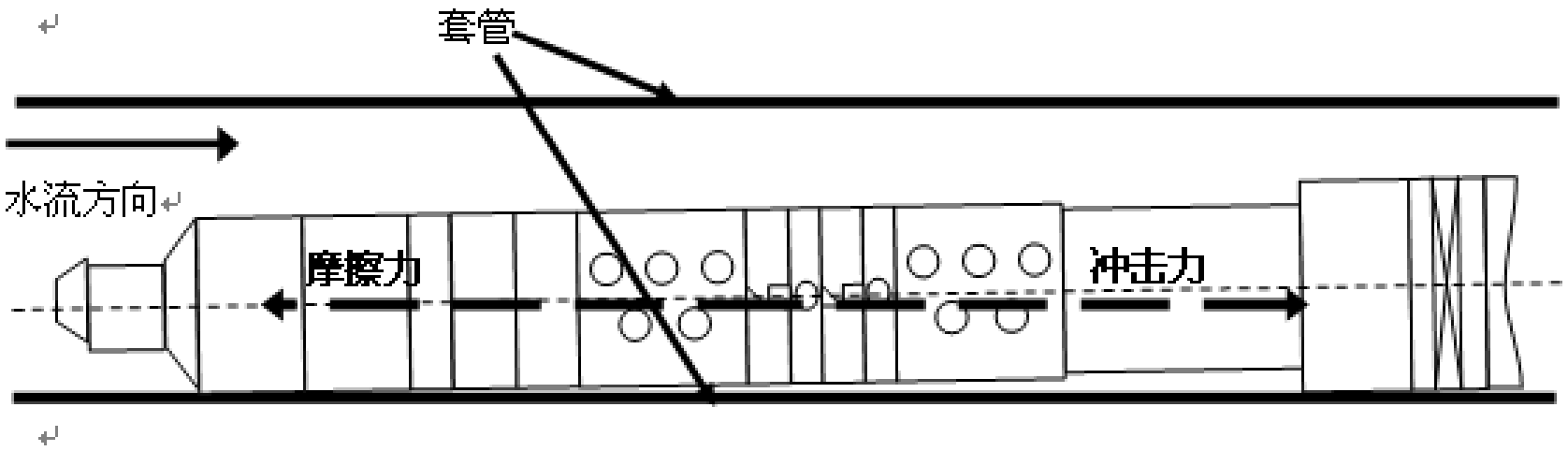
低应力区

簇间应力值差异小

射孔簇

分簇射孔工艺设计参数优化

泵送参数优化



摩擦力 $F_f = \mu N$　　冲击力 $F_c = \rho A v^2$

对于整个泵送水平段,应动态调整速度和排量，控制管串受力。

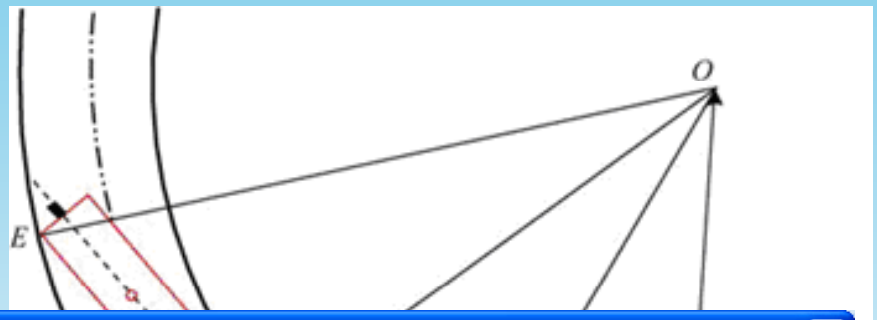
分簇射孔工艺设计参数优化

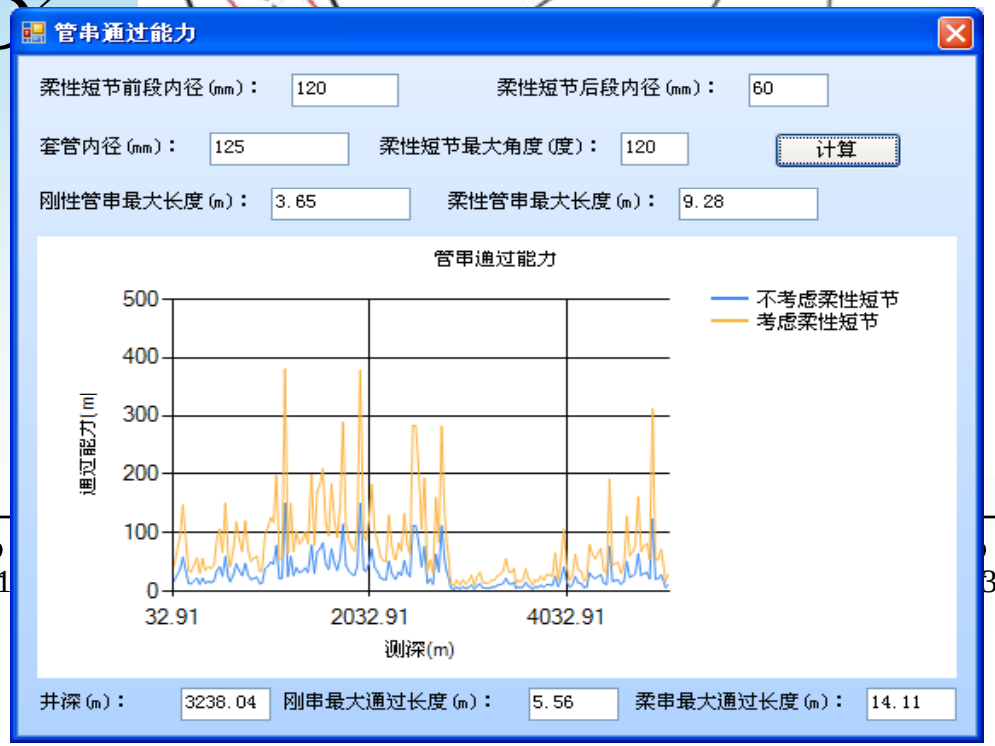
管串通过能力优化

管串遇阻时，应当满足以下几何关系：

$$OA^2 = AB^2 + OB^2$$

$$OE^2 = DE^2 + OD^2$$

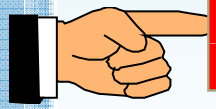




求解管串最大长度为：

$$L_{max} = AB + DE = \sqrt{(R+R_1$$

汇报提纲



1 引　　言

2 分簇射孔工艺简介

3 分簇射孔工艺设计参数优化

4 优化设计参数现场应用

5 结论与建议

优化设计参数现场应用

CNH3井组

CNH3井组是平台井，共有3口水平井，采用“工厂化”作业模式。完井套管均采用5”套管，套管内径102.72mm。分簇射孔作业采用3簇或4簇射孔+复合桥塞的管串，射孔器为73枪配装73先锋弹。下井管串长度为14.5m-16m，重量为400KG。

优化设计参数现场应用

段间距及每段射孔簇数优化

- 岩石力学特征分析
- 地层应力特征分析
- 岩石脆性特征分析
- 储层敏感性分析
- 压裂缝延伸分析

优化设计参数现场应用

段间距及每段射孔簇数优化

CNH3-1井 → A点部分储层含气性及钻井显示好，分段长度适当减小到80m左右；B点部分含气性及钻井显示略差，适当增加段长至100m左右。

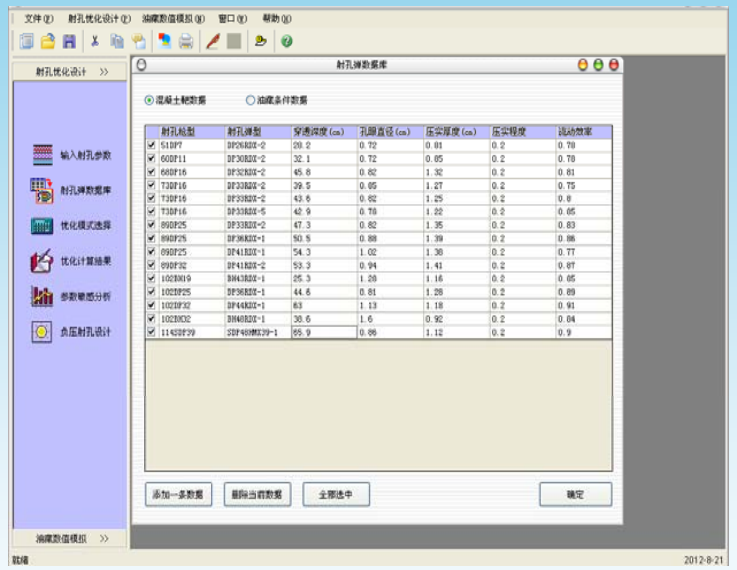
CNH3-2井 → 水平井段储层特征较均匀，显示一般，局部有一定的气测异常显示，分段主体采用以90～100m段长均分。

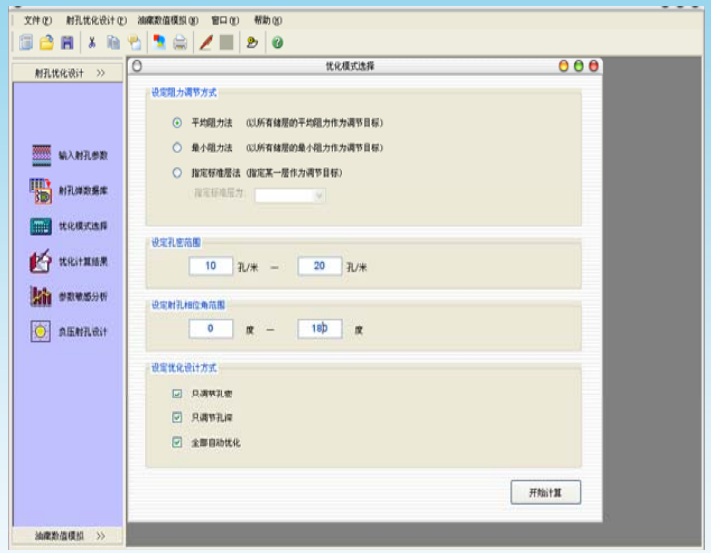
CNH3-3井 → 水平段固井质量较差，**B点附近200m长固井质量较好且此段含气性及钻井显示较好，段长设计为60～70m/段；固井质量较差井段，段长设计为150～200m/段。**

射孔簇数优选：有利于形成复杂缝网，按照区域经验，100m段长以内采用分3簇射孔，150～200m段长分4簇射孔，射孔位置段内考虑均分。

优化设计参数现场应用

射孔孔密、相位优化





根据压裂设计的总排量、单孔排量、孔眼摩阻以及孔眼效率等因素设计48孔/段。结合射孔优化设计软件优化得出孔密为16孔/m和12孔/m两种，相位采用60°相位 。

优化设计参数现场应用

泵送参数及通过能力优化

CNH3-1井井斜数据

序号	井深（m）	井斜（°）	方位（°）	垂深(m)	狗腿度（°/25m)	闭合方位（°）	闭合距（m）
125	3043.47	93.03	11.35	2490.54	1.69	64.41	830.61
133	3207.13	97.12	12.25	2475.36	1.47	56.24	934.44
147	3572.83	98.26	11.65	2432.11	0.34	43.74	1213.87

CNH3-2井井斜数据

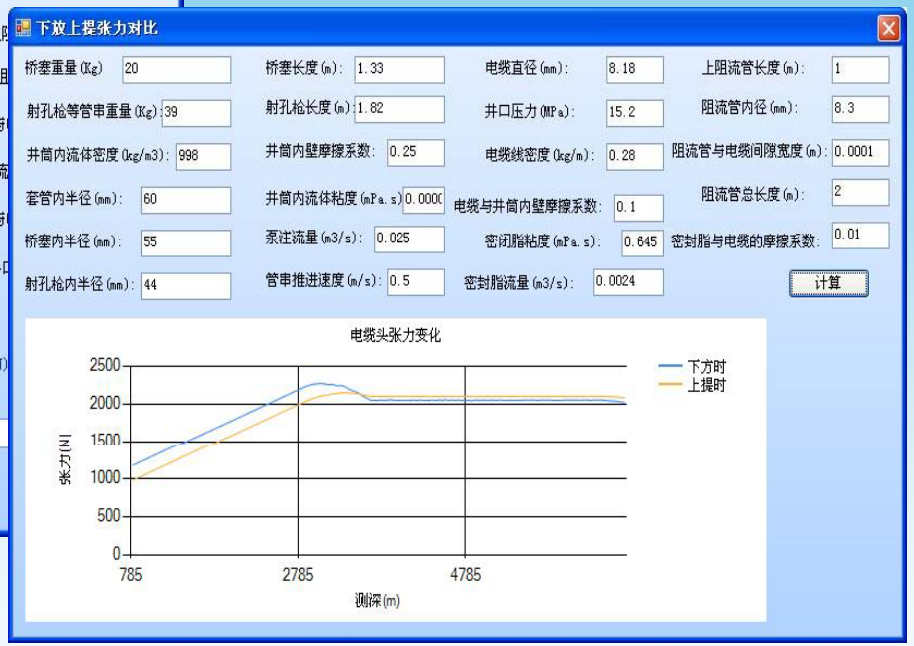
序号	井深（m）	井斜（°）	方位（°）	垂深(m)	狗腿度（°/25m)	闭合方位（°）	闭合距（m）
135	2853.11	89.82	9.45	2475.06	7.11	53.2	570.01
157	3207.25	94	11.15	2443.16	1.61	37.7	867.21
162	3321.88	98.09	12.95	2431.41	1.37	34.78	971.16

CNH3-3井井斜数据

序号	井深（m）	井斜（°）	方位（°）	垂深(m)	狗腿度（°/25m)	闭合方位（°）	闭合距（m）
94	2685.85	90	10.5	2464.25	15.16	9.86	422.87
96	2721.08	92.94	10.15	2463.32	2.38	9.89	458.08
98	2766.25	99.89	10.85	2457.45	1.46	9.96	502.83

优化设计参数现场应用

泵送参数及通过能力优化



3口井的管串通过能力为14m-16m。 → 工况决定管串长度为15.5m左右。

足够安全余量

加装柔性短节。 → 刚性管串长度为13m。

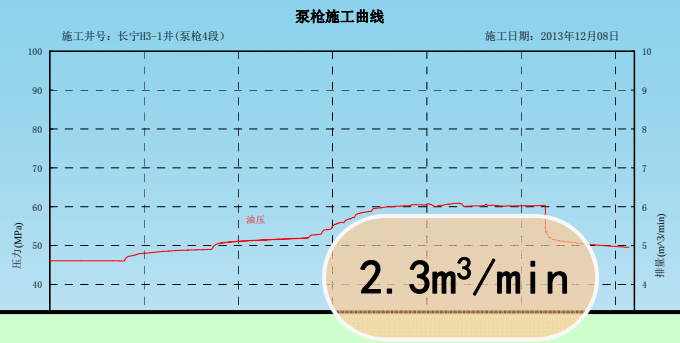
优化设计参数现场应用

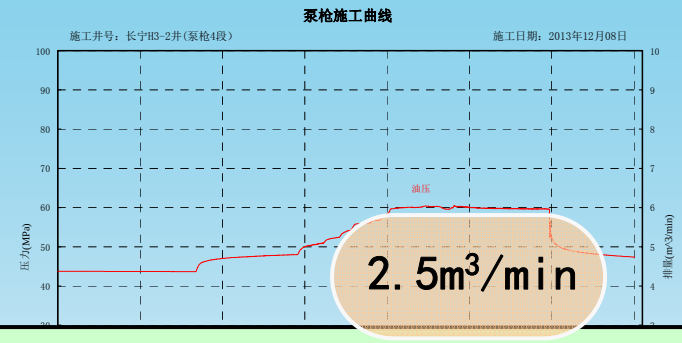
泵送参数及通过能力优化

该井组的水平段都上翘，最大井斜度分别达到了**98.26°**、**98.09°**、**99.89°**，因此进入水平段后，应根据管串运行情况适当调整泵送排量，设计最高排量不超过**2.5m³/min**，速度在**2000m/h**左右，缆头张力在**1KN**左右。

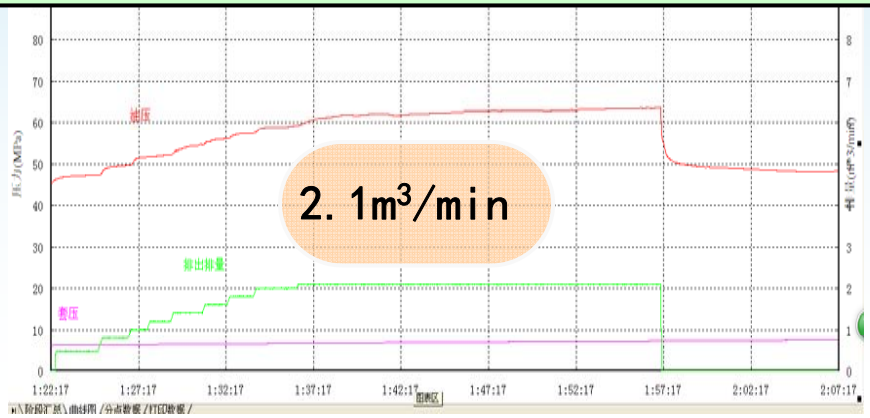
分簇射孔工艺设计参数优化

泵送参数及通过能力优化





根据优化后的排量、张力、下速等泵送参数以及现场施工情况调整泵送程序，3口井的泵送作业过程平稳，29趟泵送作业均为一次成功。



H3-3井泵送曲线

汇报提纲

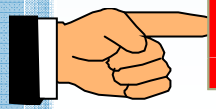
1 引　　言

2 分簇射孔工艺简介

3 分簇射孔工艺设计参数优化

4 优化设计参数现场应用

5 结论与建议



结论与建议

在每次作业前结合各项基础数据对分簇射孔工艺设计参数进行优化尤其重要，直接关系到作业成败和施工效果。

1、对可能的射孔参数方案结合实际工况和应用效果，对各个方案满足目标要求和约束条件的情况做优化评价，从中找出最优射孔参数；

2、入井管串既要达到射孔作业要求又要满足顺利通过造斜段、水平段到达预定作业深度，结合管串通过能力分析结果优化管串结构，可有效提高作业成功率和安全性；

3、泵送作业作为分簇射孔作业风险最大的一个环节，其涉及参数较多，过程复杂。泵送参数的优化应结合理论计算和实际工况，保障泵送作业的安全高效。

中国石油
奉献能源 创造和谐
www.cnpc.com.cn
Thank You!