油层压裂工艺技术



井下作业分公司工程地质研究所

二00二年九月

目　　录

第一节　前言

第二节　大庆油田的水力压裂技术发展历史及现状

第三节　油层水力压裂的概念

第四节　压裂机理

第五节　优化压裂设计

第六节　压裂施工工艺

第一节　前　　言

1947年美国首次进行了采油井水力压裂增产作业，由于增产效果十分显著，因此该工艺技术受到普遍重视，研究不断深入、应用范围不断扩大。五、六十年代，压裂主要作为单井的增产、增注措施；七十年代，进入低渗透油田的勘探开发领域，使许多没有工业开采价值的低渗透油气田，成为具有相当可采储量和开发规模的大油气田；



第一节　前　　言

其后，随着工艺技术发展和对油藏地质研究的不断深入，压裂工艺技术的应用领域也在不断拓宽，特别是用于调整层间矛盾、改善驱油效率及低渗油田的整体优化压裂开发，使压裂工艺技术成为提高采油速度和采收率及改善油田开发效益的重要手段。



第一节　前　　言

据不完全统计，至九十年代年中期，世界上每年压裂作业井次已超过125万井次，大约完钻井数的35-40%进行了水力压裂。美国是目前世界上油层压裂应用较多、工艺技术最先进、设备最优良的国家。美国石油储量的25-30%是通过压裂改造才达到经济开采条件的。我国已探明的低渗透地质储量约40亿吨，占全部探明储量的24.5%，这部分储量只有通过压裂改造才能具备工业开采价值。



第二节 大庆油田的水力压裂技术发展历史及现状

大庆油田自1973年应用水力压裂以来，工艺技术不断创新，设备工具不断完善，下井原材料性能不断改进，应用效果不断提高，目前已达到了国内油层压裂行业的先进水平，为油田实现各阶段的开发目标，作出了巨大贡献。

第二节 大庆油田的水力压裂技术发展历史及现状

1、工艺技术方面，压裂方式经历了笼统压裂、分层压裂，压裂工艺由最初的滑套式分层压裂，发展到目前适应各种井况和地层条件的选择性压裂、多裂缝压裂、限流法完井压裂、平衡限流法压裂、定位平衡压裂工艺、水平缝端部脱砂压裂、热化学压裂工艺、水平井压裂、斜直井压裂、小井眼压裂工艺、高能气体复合压裂、CO_2泡沫压裂等13套工艺技术。

第二节 大庆油田的水力压裂技术发展历史及现状

2、设备方面，由初期的水泥车，人工加砂，发展到目前机械混砂、自动控制的K2000型及K1800型压裂车组。工具方面，先后研制了水力压差式封隔器、水力压缩式封隔器、导压喷砂器、分层滑套装置及井口投球装置、地面投蜡球管汇、不压井不放喷井口控制装置等。管柱方面，由初期的光油管喇叭口，发展到分层滑套、可返洗、55MPa、外围、气井、小井眼等压裂管柱。

第二节 大庆油田的水力压裂技术发展历史及现状

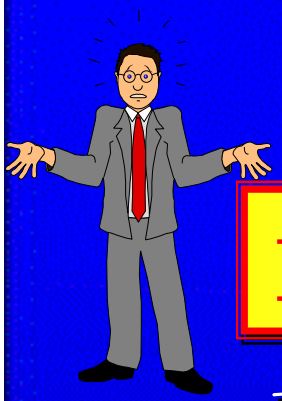
3、下井原材料方面，压裂液由初期的清水、原油，发展到海藻、田菁、胍胶、香豆、魔芋、泡沫、高聚物等，支撑剂由石英砂发展到陶粒、以及树脂砂、核桃壳等。

另外，在压裂机理研究、设计软件开发方面也都取得了长足进步。

第二节 大庆油田的水力压裂技术发展历史及现状

总之，经过多年的努力，我们的油层压裂工艺技术水平得到较大提高，同时也取得了较好的应用效果。据统计，自73年压裂工艺在大庆油田工业化生产以来，共压裂油、水、气井3万多口，占油田总完钻井数的70%以上，压后当年累积增油5千多万吨 ，增注2500多万立方米，为油田高产稳产做出了突出贡献。

第三节　油层水力压裂概念

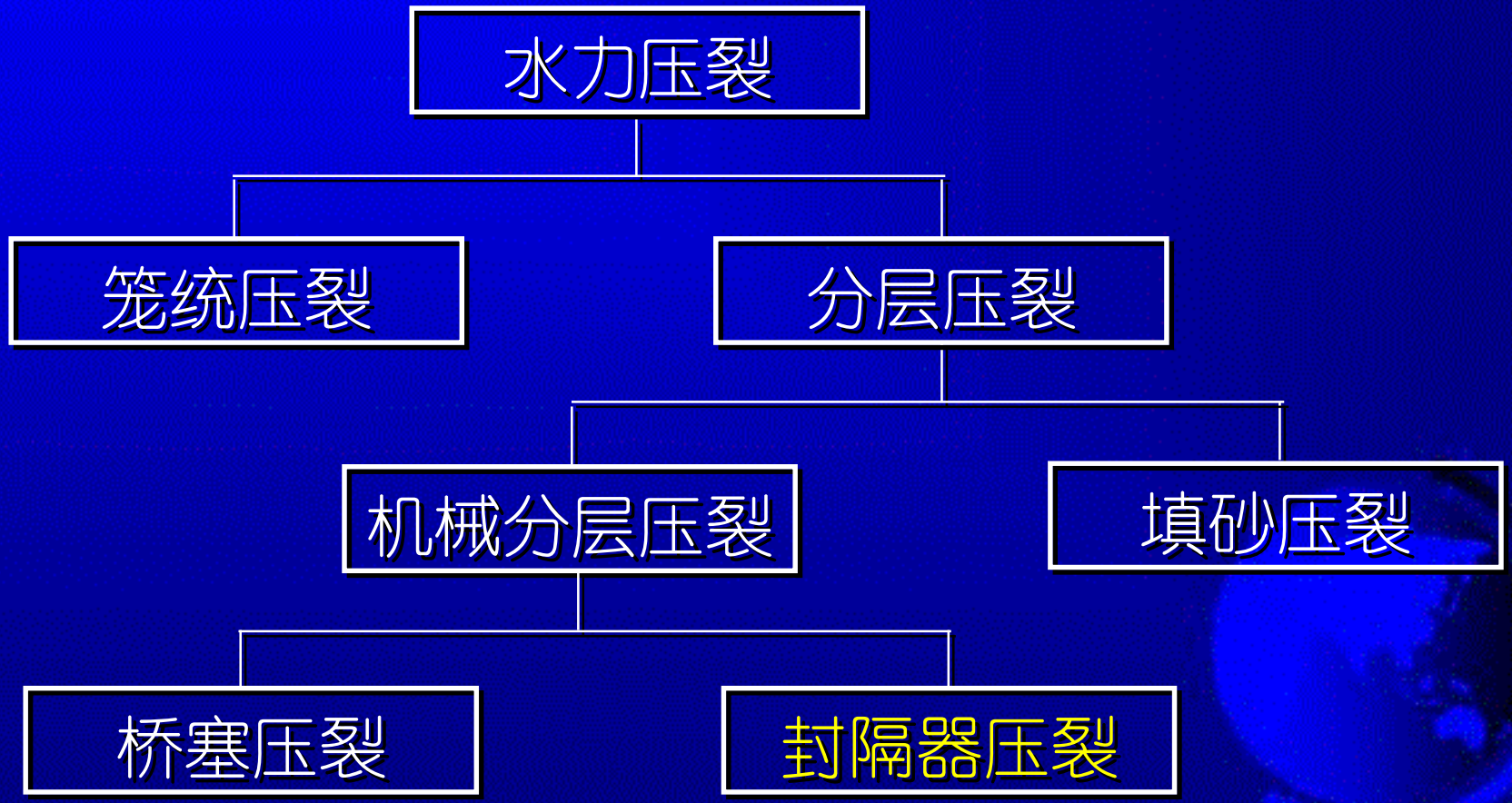


1、什么是油层水力压裂？

利用地面高压泵组，将高粘液体以大大超过地层吸收能力的排量注入井中，随即在井底附近憋起高压。当压力超过井壁附近地应力及岩石抗张强度后，在地层中形成裂缝。继续将带有支撑剂（一般为石英砂）的压裂液注入裂缝，使裂缝向前延伸，并在裂缝中填充支撑剂。这样，在停泵后即可在地层中形成足够长度、一定宽度及高度的填砂裂缝。由于这个裂缝扩大了油气流动通道，改善了地层渗透性，可起到增产增注作用。这一施工过程就叫油层水力压裂。

第三节　油层水力压裂概念

2、水力压裂分类



第三节　油层水力压裂概念

3、水力压裂工艺流程

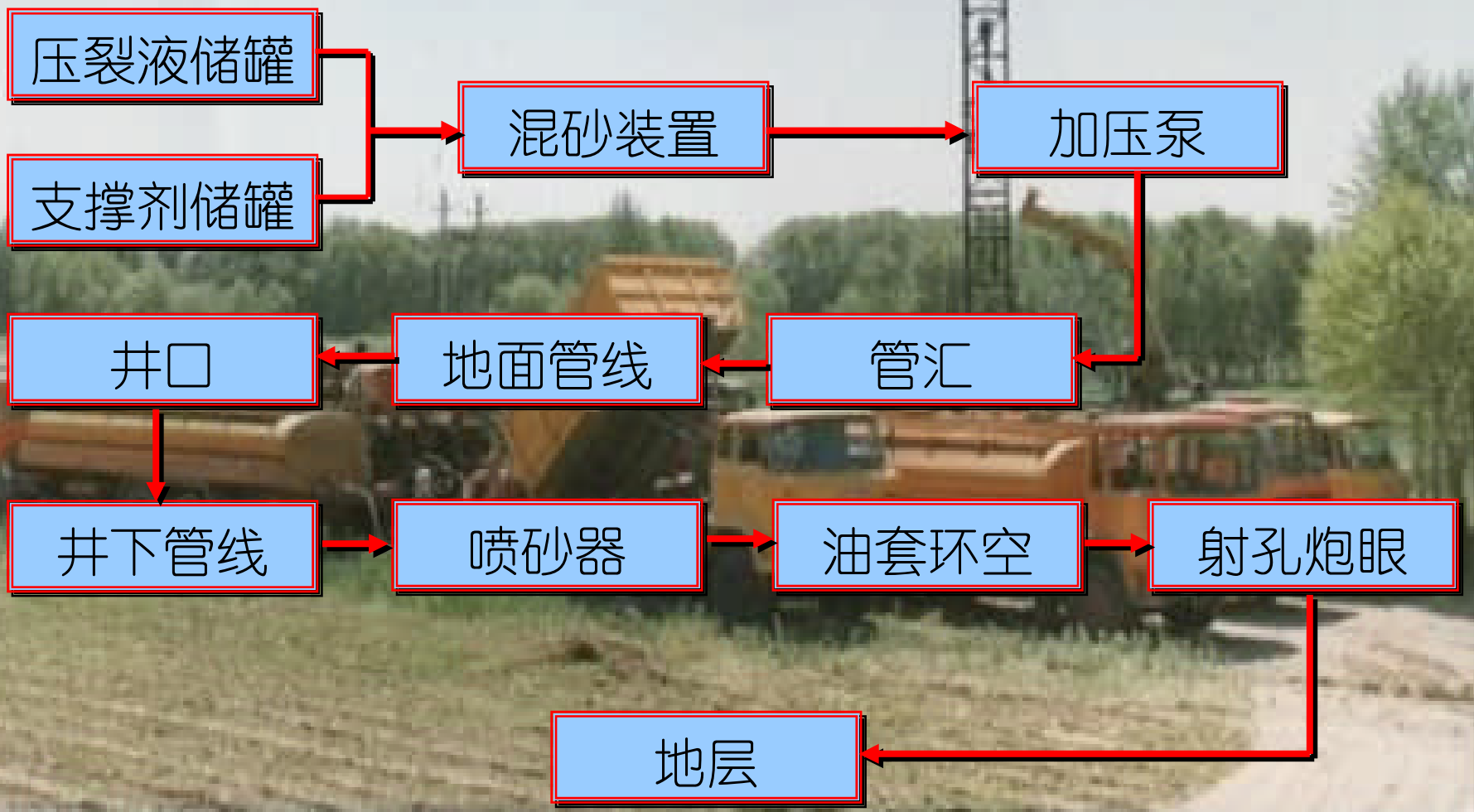
循环 → 试挤 → 压裂 → 加砂

→ 替挤 → 扩散压力 → 施工结束



第三节　油层水力压裂概念

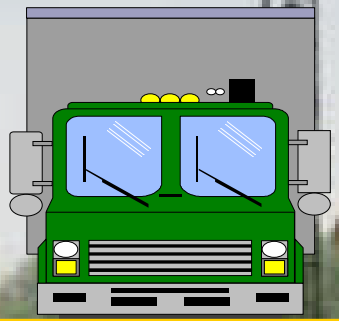
压裂施工时液体的流动过程

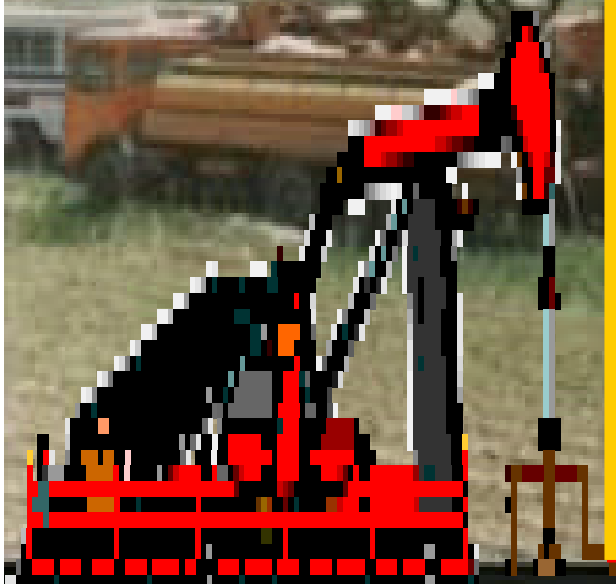


第三节　油层水力压裂概念

4、完成一口压裂施工井的几个要素

1）施工设备





施工设备由地面设备和压裂车组两部分组成。地面设备包括压裂管汇、蜡球管汇、压裂井口装置；压裂车组包括泵车、混砂车、罐车（液罐车、砂罐车、添加剂罐车）、仪表车、水泥车。

第三节　油层水力压裂概念

混砂车的作用

一是把支撑剂与压裂液充分混合，

二是为泵车提供充足的液体。



最大排量15.9 m^3/min，最大输送砂量8165 Kg /min，8个泵车接口。

第三节　油层水力压裂概念



泵车的作用

一是泵送液体
二是使液体升压

目前使用的2000型压裂车最高施工压力105MPa，最大单车排量2.33m^3/min。在1900r/min转速、45.9 MPa条件下，单车排量可达1.87m^3/min。完成一般油层压裂需要3台泵车，进行外围探井压裂时，根据需要确定泵车数量。

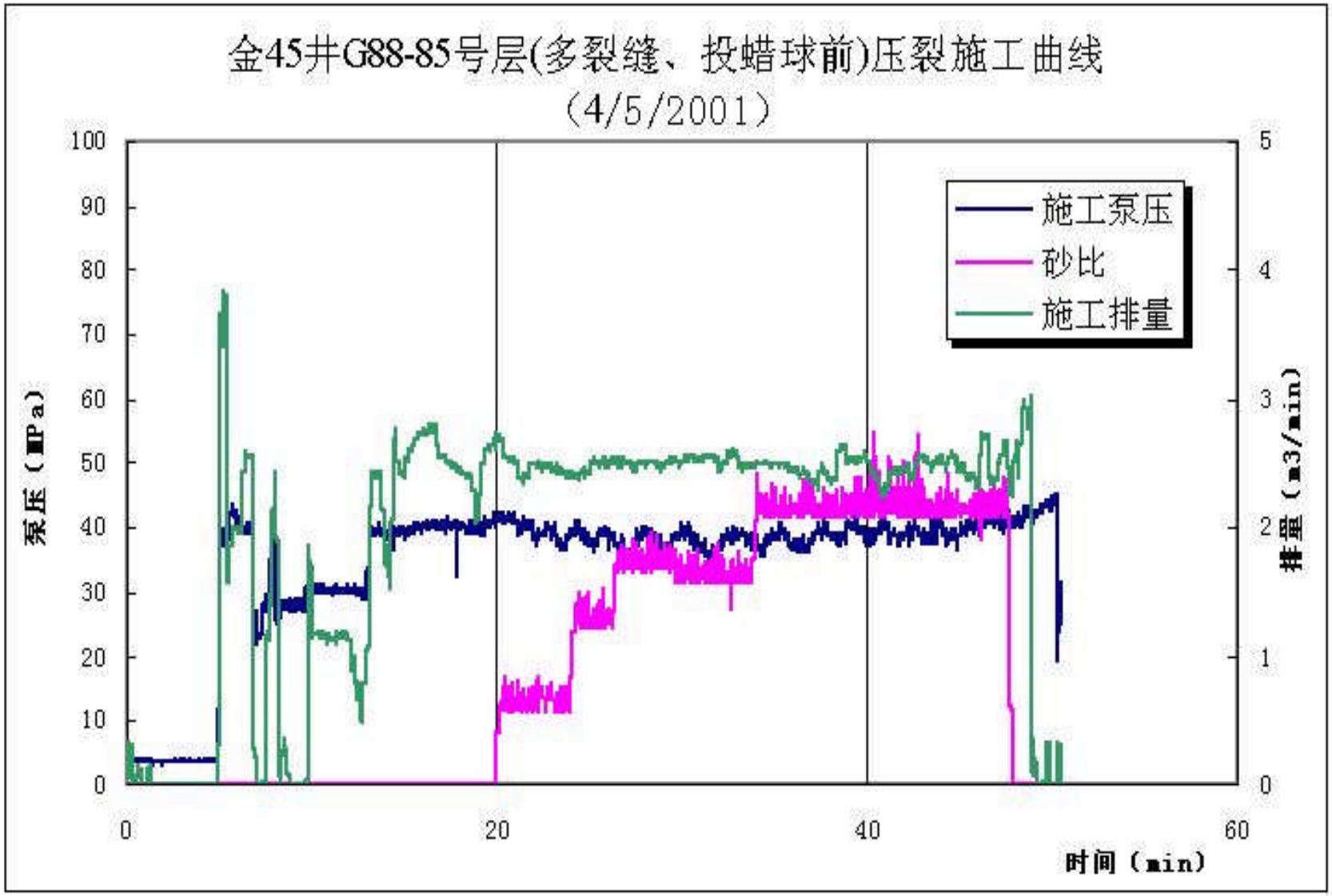
第三节　油层水力压裂概念

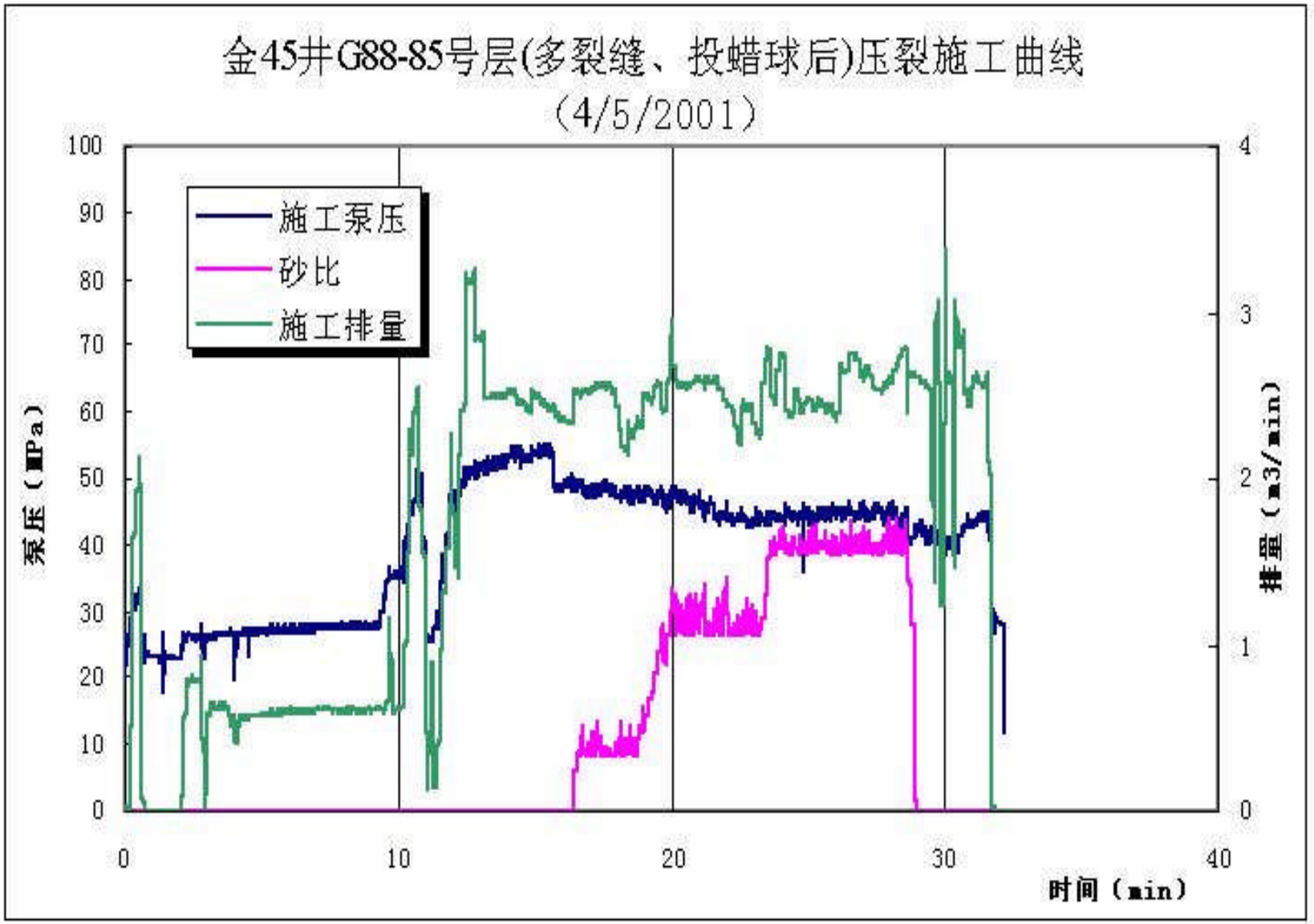
仪表车的作用

一是控制泵车和混砂车的运行参数，二是适时记录及监测分析施工参数。





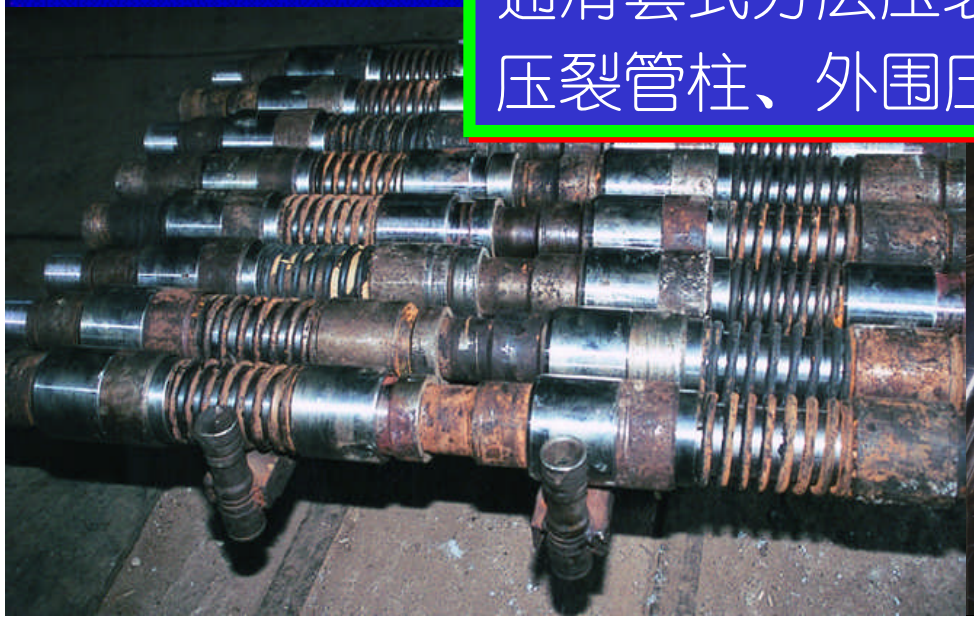

金45井G88-85号层(多裂缝、投蜡球前)压裂施工曲线
(4/5/2001)
施工泵压
砂比
施工排量
泵压（MPa）
排量（m3/min）
时间（min）
0
10
20
30
40
50
60
70
80
90
100
0
1
2
3
4
5
0
20
40
60


金45井G88-85号层(多裂缝、投蜡球后)压裂施工曲线
(4/5/2001)
施工泵压
砂比
施工排量
泵压（MPa）
排量（m3/min）
时间（min）
0
10
20
30
40
0
10
20
30
40
50
60
70
80
90
100
0
1
2
3
4

第三节　油层水力压裂概念

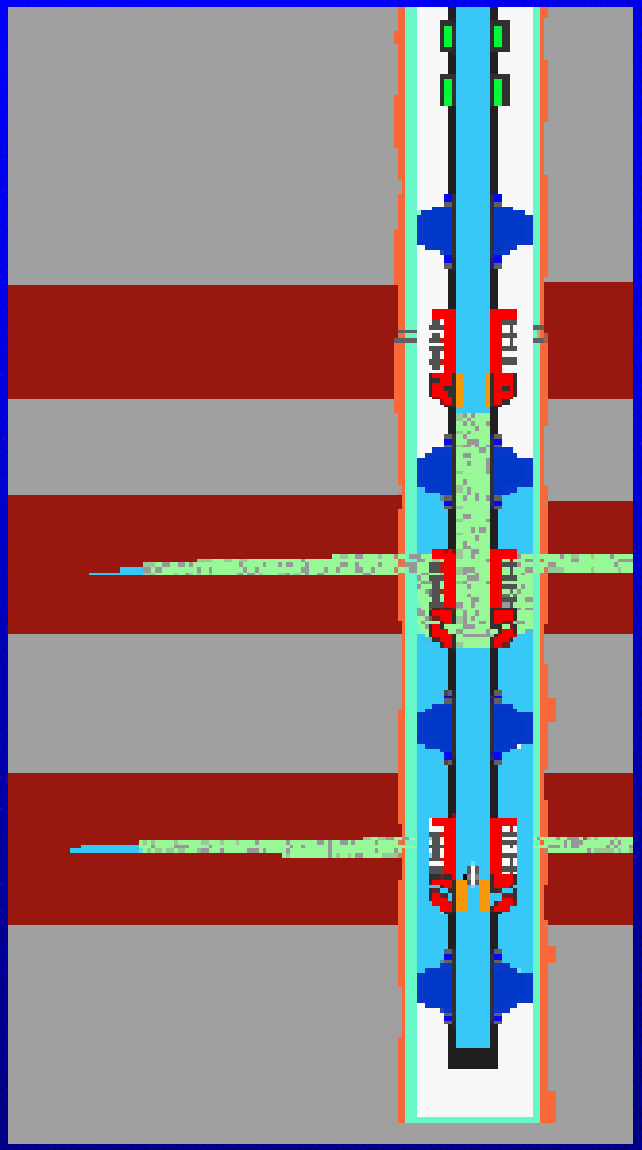
2）施工管柱

施工管柱由油管和下井工具(封隔器、喷砂器)组成，其作用：一是为传送施工压力提供通道；二是实现分层。目前应用的施工管柱有普通滑套式分层压裂管柱、高砂比管柱、55MPa压裂管柱、外围压裂管柱。





普通滑套式管柱



工具参数

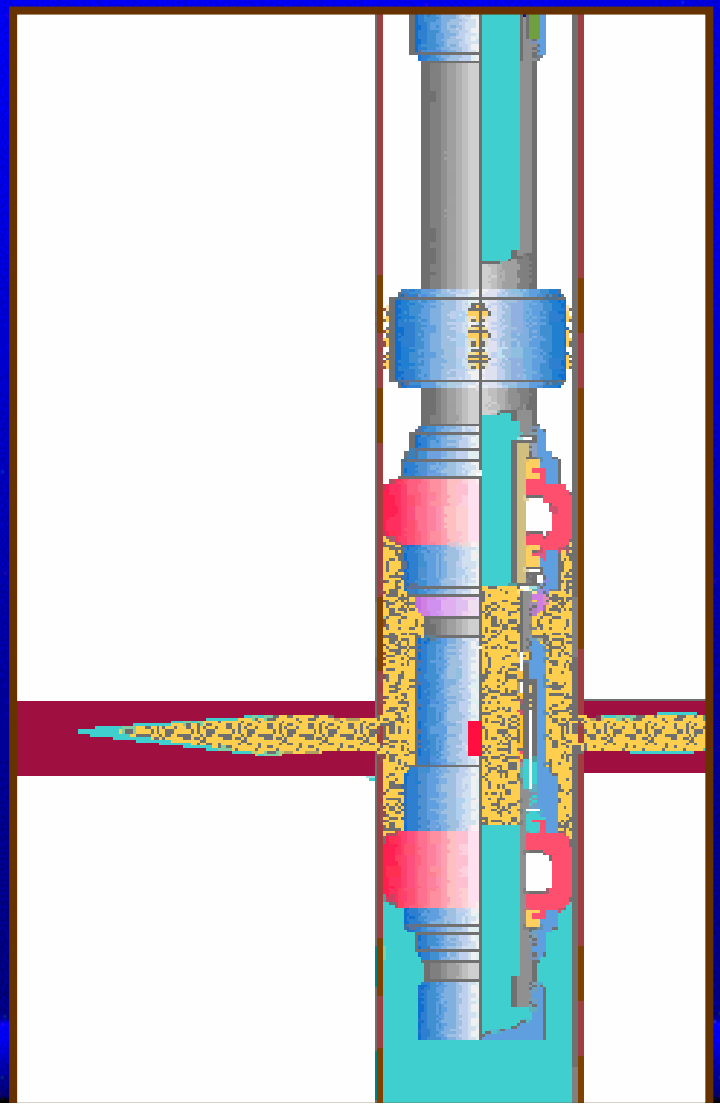
名称	封隔器 K344-114	喷甲	喷乙	喷丙
长度	905	640	640	640
最大外径	114	114	114	114
通径	58	41	37	53

使用条件

管柱工作压力MPa	管柱工作温度	喷砂器过砂量 m^3	最高砂比 %	适用套管内径 mm
40	50	14	45	124

第三节　油层水力压裂概念

外围深井压裂管柱：



工具参数：

名称	Y344-114 封隔器	导压 喷砂器	喷咀
长度(mm)	1161	660	300
最大外径(Φmm)	114	112	95
最小通径(Φmm)	54	25	25

使用条件：

工作压力 MPa	工作温度 ℃	喷砂器过砂量 m^3	最高砂比 %	适用套管内径 mm
55	90	60	65	124

第三节　油层水力压裂概念

3）下井原材料

包括压裂液和支撑剂两部分。

压裂液的主要作用一是造缝，二是携砂。

支撑剂的作用是支撑裂缝，增加裂缝的导流能力。

第三节　油层水力压裂概念

目前常用的压裂液有田菁胶和胍胶：

压裂液	配比 %	粘度 mpa.s	交联剪切粘度 mpa.s	残渣 mg/L	适用温度 ℃	破胶性能 (24h) mpa.s
田箐	0.5	≥33	≥100	≤1450	30～60	＜3
胍胶	0.38	≥33	≥100	≤400	30～90	＜3

田菁胶主要用于老区基础井网压裂井。

胍胶和改性胍胶主要应用于老区二三次加密井和外围低渗透压裂井。

第三节　油层水力压裂概念

目前常用的支撑剂有石英砂和陶粒：

井深及闭合压力	地区（层位）	支撑剂类型
1600m以上，小于28MPa	采油一～七厂、八厂（葡萄花层）、九厂（萨、葡层）、十厂	石英砂
1600-1900m，28-33MPa	采油七厂台105区块、八厂（扶余层）、九厂（高台子层）、头台、榆树林油田（扶余层）	石英砂 尾追部分陶粒
1900-2400m，33-40Mpa	采油八厂（扶、杨层），布木格油田（杨大城子层）、榆树林（杨大城子层）	中强度陶粒
大于2400m，40-50MPa	目前主要是深层气井勘探压裂	高强度陶粒

第三节　油层水力压裂概念

4）施工设计

施工设计是指导压裂施工的纲领性文件。其核心内容是根据井层参数、下井原材料参数来优化压裂施工参数（压力、排量、砂比、砂量、液量），最终给出合理的施工工序表。

第三节　油层水力压裂概念

某井施工工序表

步骤	施工时间		工序	排量 m^3/min	支撑剂				混砂液	
	阶段min	累计min			种类	砂比%	用量m^3	累计m^3	用量m^3	累计m^3
1	4.4	4.4	前置液	2.4					10.5	10.5
2	2.9	7.3	携砂液	2.4	石英砂	14.0	0.9	0.9	7.0	17.5
3	1.9	9.2	携砂液	2.4	石英砂	28.0	1.1	2.0	4.6	22.1
4	2.9	12.1	携砂液	2.4	石英砂	35.0	2.0	4.0	7.0	29.1
5	3.4	15.5	携砂液	2.4	石英砂	49.0	3.0	7.0	8.0	37.2
6	2.0	17.5	携砂液	2.4	陶粒	56.0	2.0	9.0	4.9	42.0
7	1.8	19.3	替挤液	2.4					4.4	46.4

第三节　油层水力压裂概念

5）施工工艺

施工工艺是针对井层条件，为达到改造目的而采取的合理施工方法。根据不同施工井的改造要求，先后研究开发了普压、多裂缝、选压、限流法等十三项压裂工艺，其适用的井层条件见下图：


目前油田应用的压裂工艺技术
预计压裂井地质井况特点
非均质多油层、隔层厚度2米以上
滑套式分层压裂工艺
薄互层、渗透率低、夹层小、含水分布较复杂的未射孔新井
限流法完井压裂工艺
油层多、厚度小、夹层薄、并已按常规孔密射孔的油井
多裂缝压裂工艺
局部水淹，厚层内低含水或不含水的剩余厚度一般在3m以上，层内要有一定的岩性夹层
选择性压裂工艺
挖潜目的层与高含水层的隔层大于0.4米的新井
平衡限流压裂工艺
常规射孔的井中，与水淹层相邻的夹层薄、物性差的多个薄差油层，水淹厚油层中存在稳定物性夹层的低含水部位
定位平衡压裂工艺
套管直径为101.6和114.3mm井
小井眼压裂工艺
需要较小裂缝半径和高导流能力改造的井
水平缝脱砂压裂工艺
常规射孔、多油层
高能气体复合压裂工艺
地层温度较低、稠油粘度较高
热化学压裂工艺
井眼轴线偏离垂线井
斜直井压裂工艺
目的层井段井眼轴线接近水平的井
水平井多段压裂工艺
低渗透、水敏油（气）层
CO_2压裂工艺

第三节　油层水力压裂概念

6）施工评价

施工评价

一是工艺评价

工艺评价是为了评估压裂施工成功与否、检验实际施工与设计的符合程度和工艺的适应性，积累经验，指导下步施工。

二是经济评价

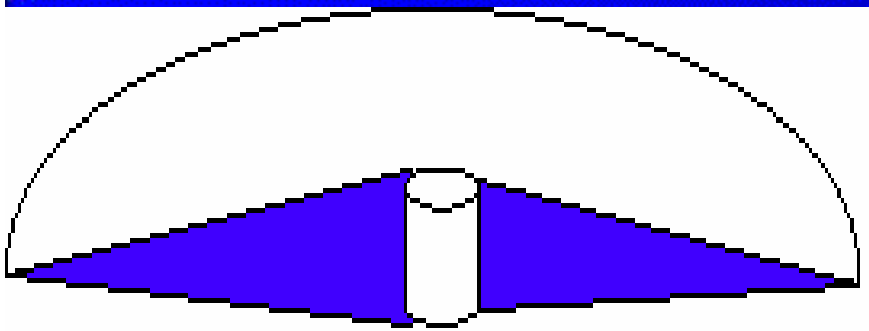
经济评价是为了评价压裂效益，既投入与产出的关系，判断经济合理性。

第四节　压裂机理

1、地应力对裂缝形态和裂缝方位的影响

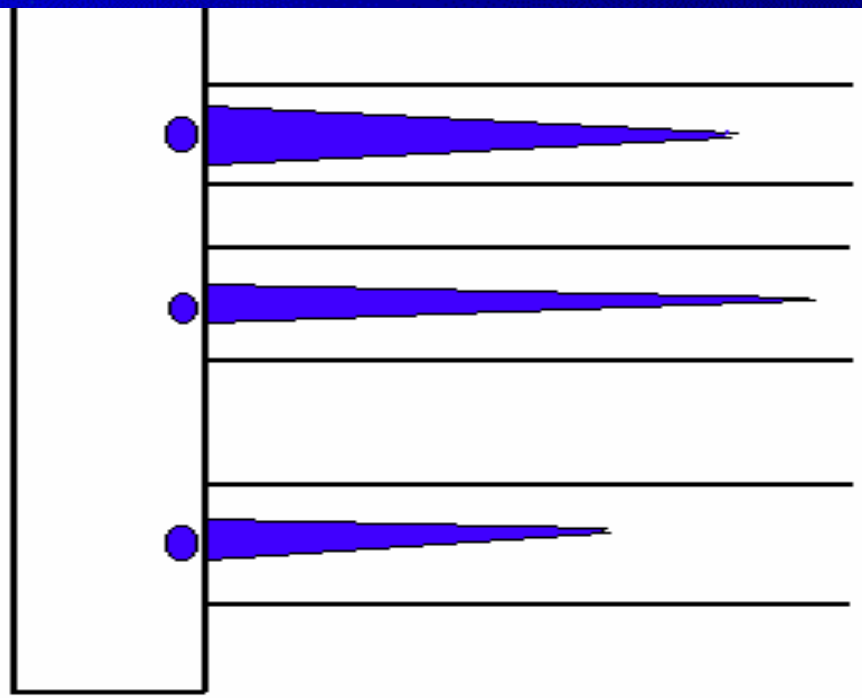
人工裂缝的形态取决于油藏地应力的大小和方向。裂缝类型与地层中的垂向应力和水平应力的相对大小有关。一般认为，人工裂缝垂直于地层最小主应力，平行于地层最大主应力，大庆油田外围油层属垂直缝油藏，长垣内部属多油层水平缝油藏。

第四节　压裂机理



理想形态水平裂缝示意图

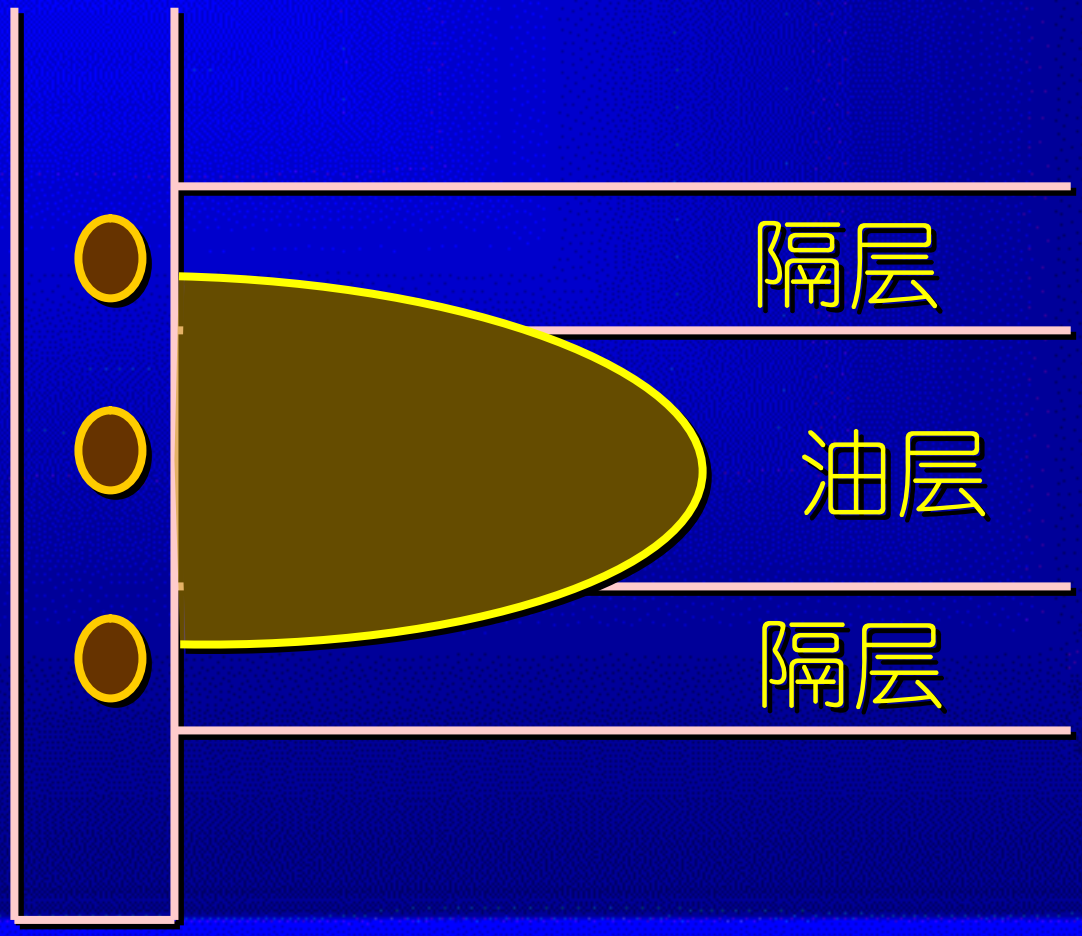
多油层条件下，压裂形成多条水平缝。



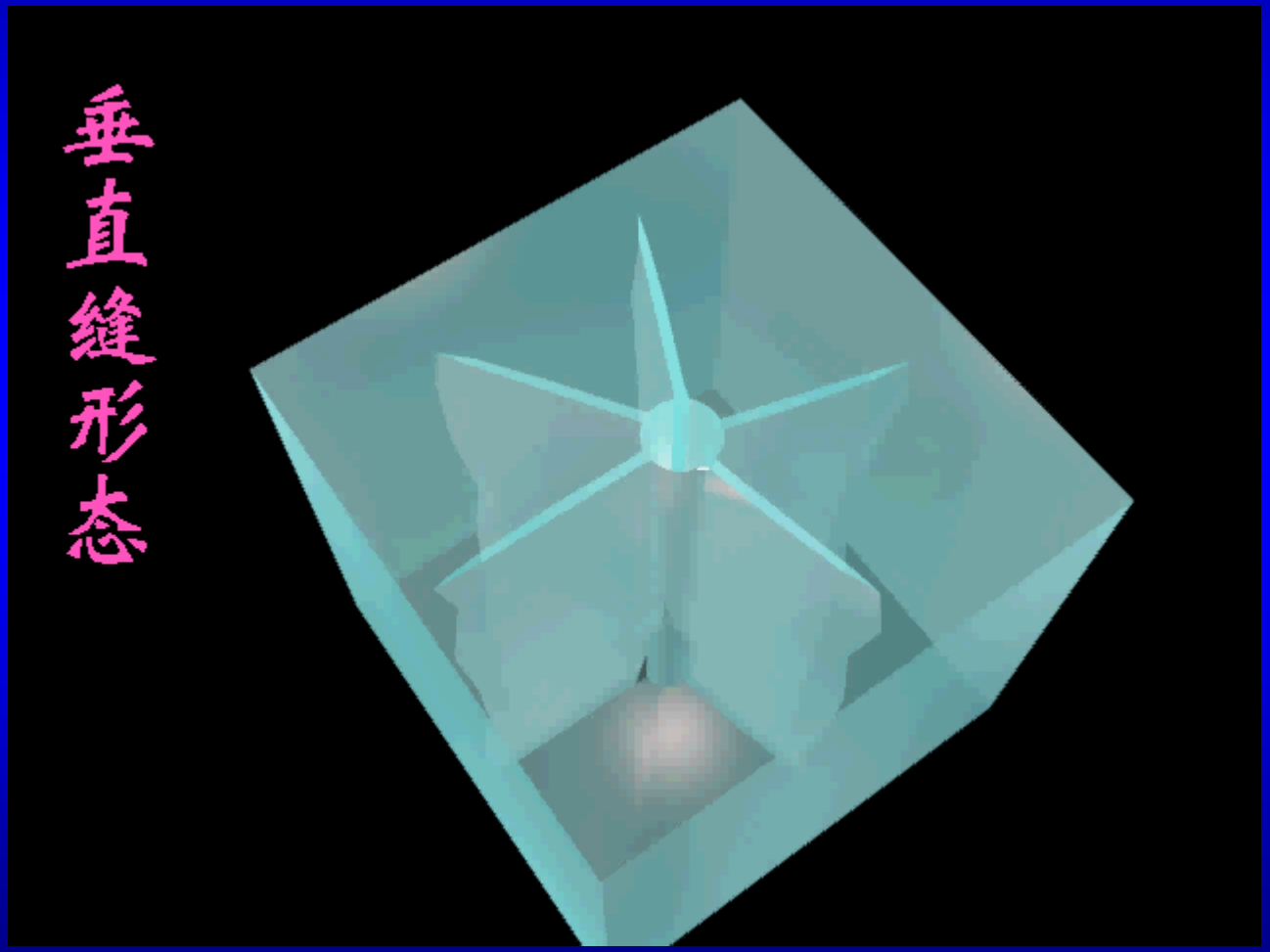
水平缝形态

第四节　压裂机理

理想形态垂直缝示意图



第四节　压裂机理



第四节　压裂机理

2、水力压裂增产机理

降低渗流阻力，增加渗流面积

是水力压裂增产的基本原理。

第五节 优化压裂设计

1、压裂设计软件

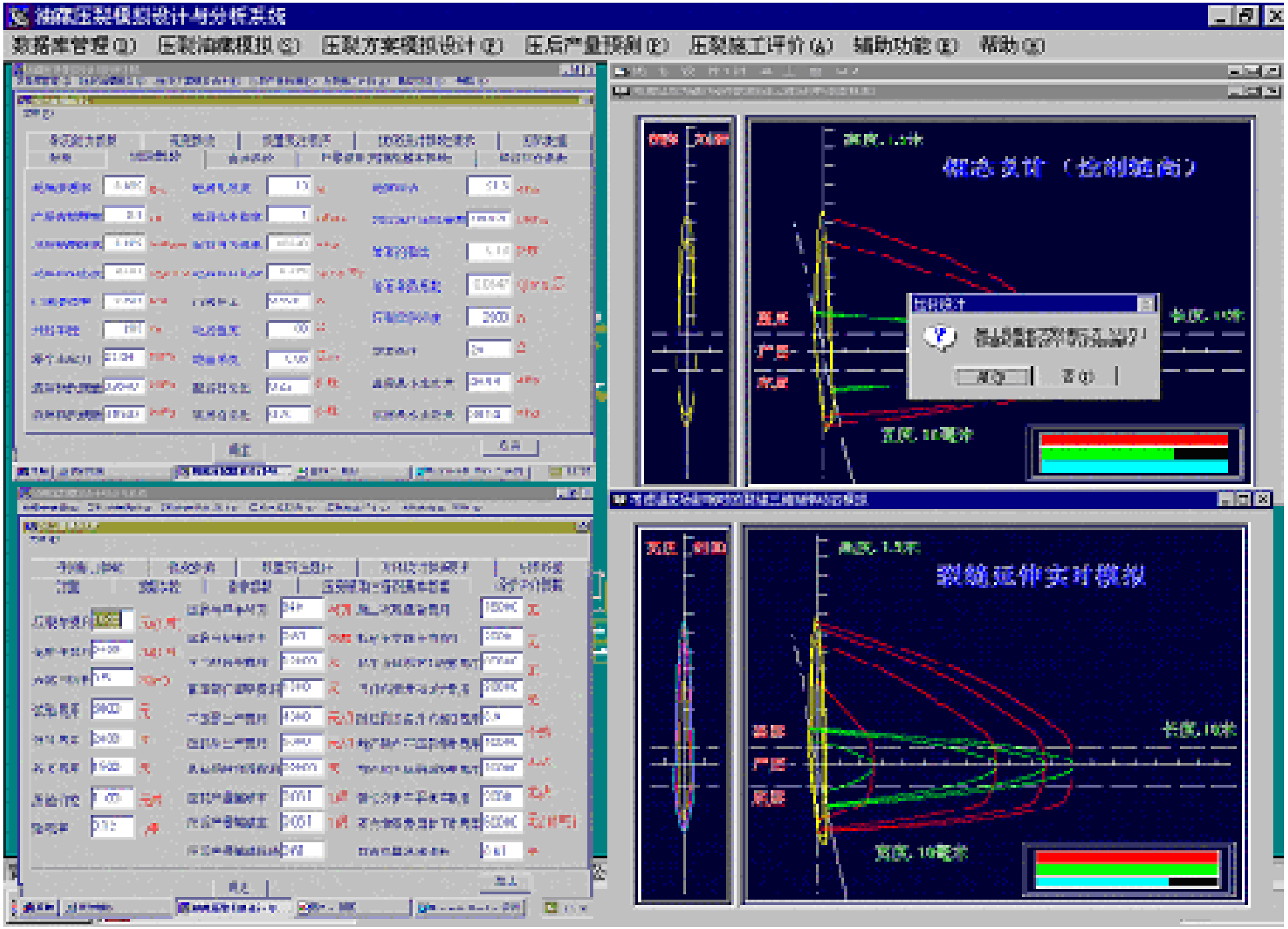


应用计算机进行压裂施工设计， 是从“七五”期间从BJ程序开始的。91年研究编制了“DQJX”压裂设计程序，并在朝阳沟油田压裂中进行了推广应用。92年为适应老区油水井压裂的需要，研制开发了水平缝压裂设计程序，并在以后的压裂设计中得到广泛的应用。

第五节 优化压裂设计

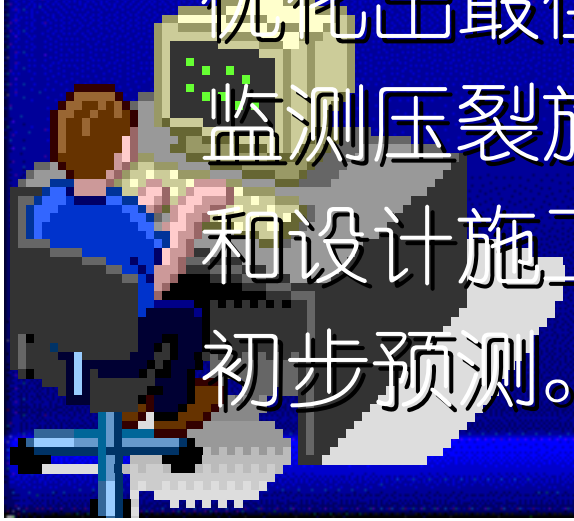
93年又引进了西南石油学院的“HDFG”设计程序。近年来，引进和自行开发了许多压裂设计和压裂监测软件，设计软件主要有：全三维压裂设计软件、拟三维压裂设计软件、水平缝脱砂设计软件、西方压裂设计程序等。

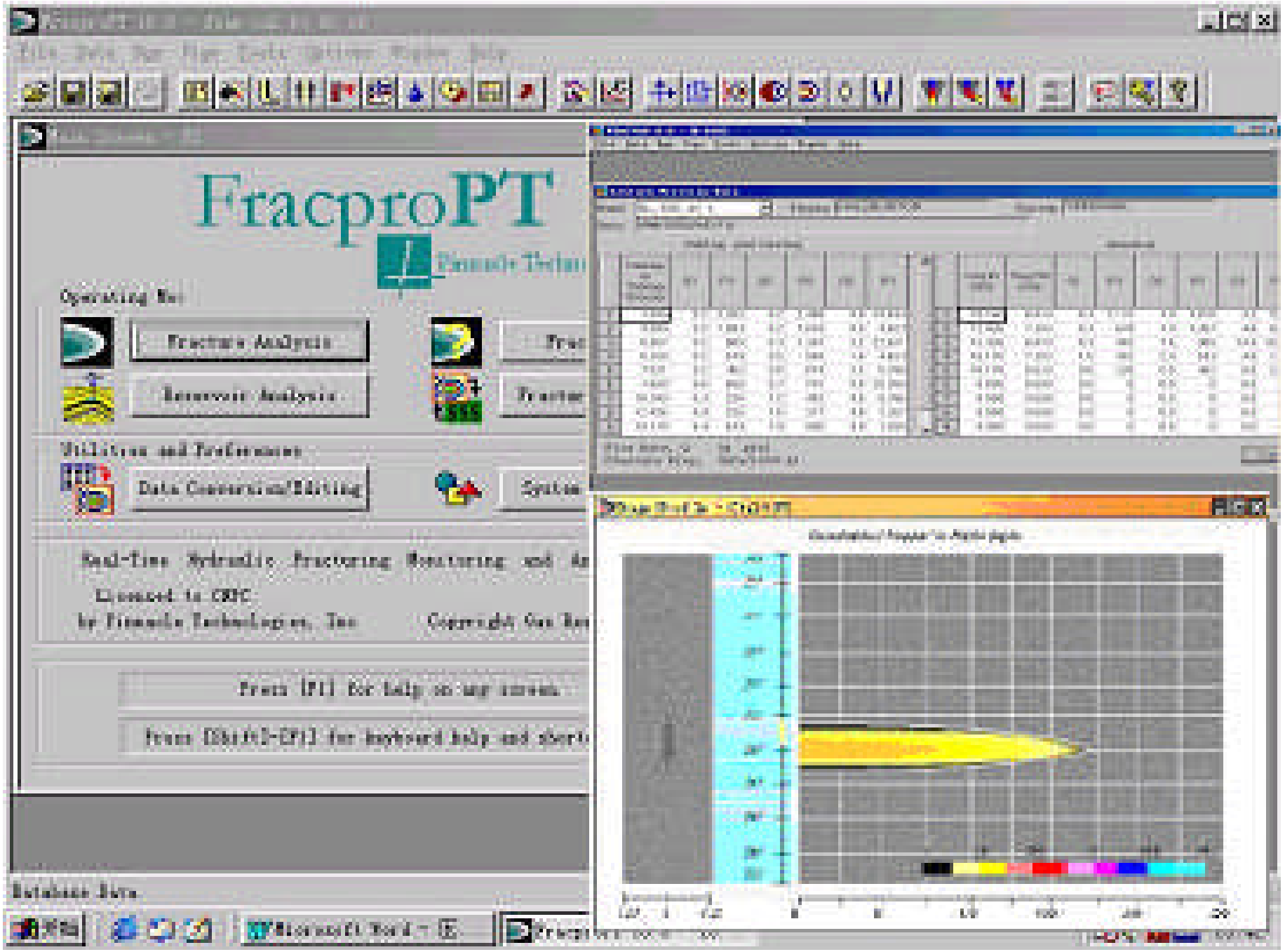



油藏压裂模拟设计与分析系统
数据库管理(D)
压裂油藏模拟(S)
压裂方案模拟设计(C)
压后产量预测(P)
压裂施工评价(A)
辅助功能(F)
帮助(H)
概念支节（控制延伸）
裂缝延伸实时模拟

第五节 优化压裂设计

监测软件主要有：Fracpro.PT、西方压裂设计程序、Noscow公司的Smarts程序，这些软件和以前的软件相比，功能和性能均比以前提高，在设计中，软件本身考虑的因素较多，同时能够在不同的压裂设计方案中，优化出最佳的设计方案，监测软件除可以监测压裂施工时的参数之外，还可以评价和设计施工方案及对压后的生产动态进行初步预测。




FracproPT
Fracture Analysis
Reservoir Analysis
Data Conversion/Editing

第五节　优化压裂设计



从适用的裂缝形态上看，

目前运用的软件有两类：



- 一类是水平裂缝设计软件；
- 一类是垂直裂缝设计软件。

第六节　压裂施工工艺

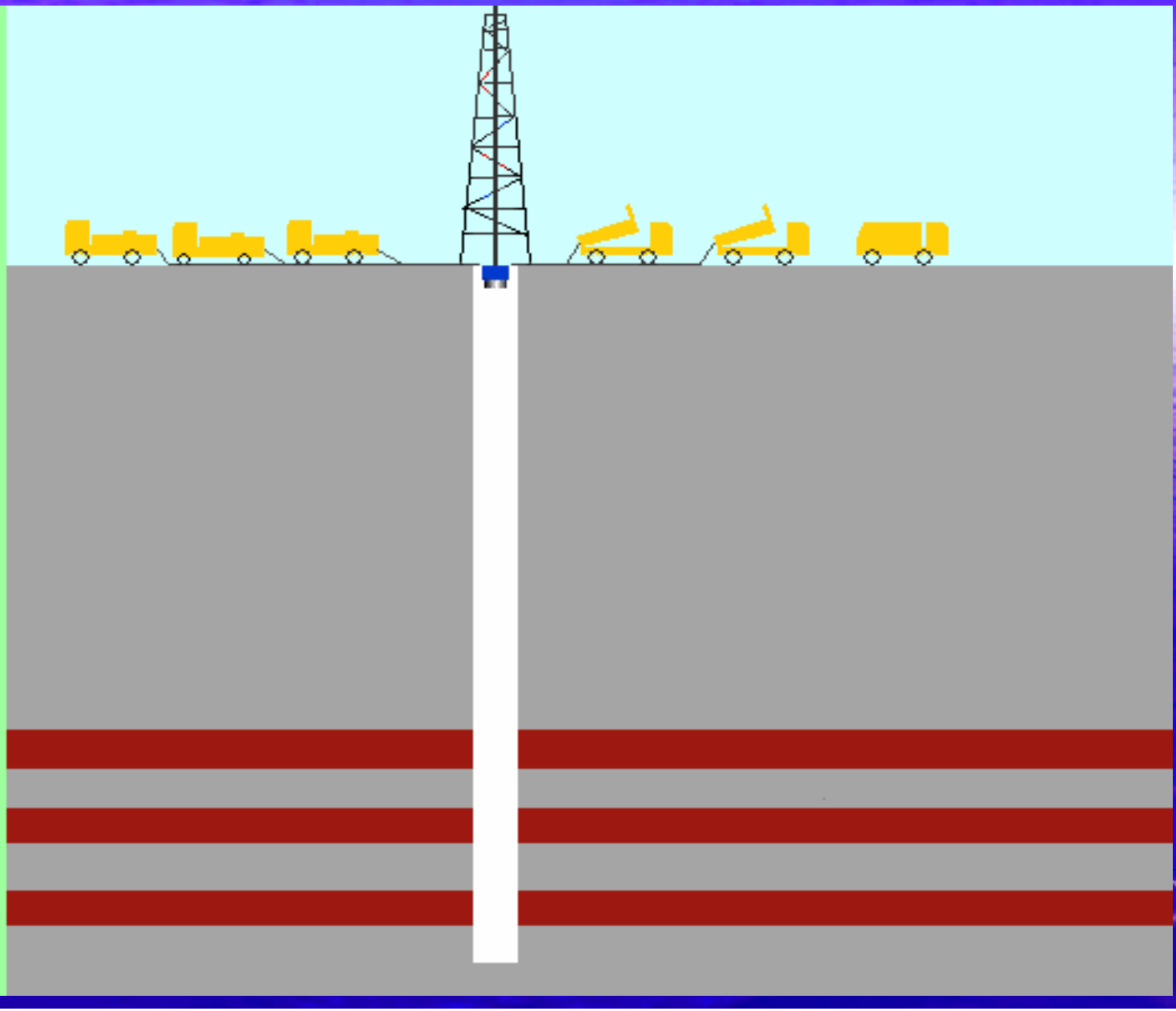
1、常规分层压裂工艺

(1) 原理

利用不压井、不放喷井口装置，将压裂管柱及其配套工具下入井内预定位置，实现不压井、不放喷作业。当压完第一层（最下一层）后，通过投球器和井口球阀分别投入不同直径的钢球，逐次将滑套憋到喷砂器内堵死水眼，然后依次再进行压裂。当最后一层替挤完后，立即活动管柱，并投入堵塞器，从而实现不压井、不放喷起出油管。

第六节　压裂施工工艺

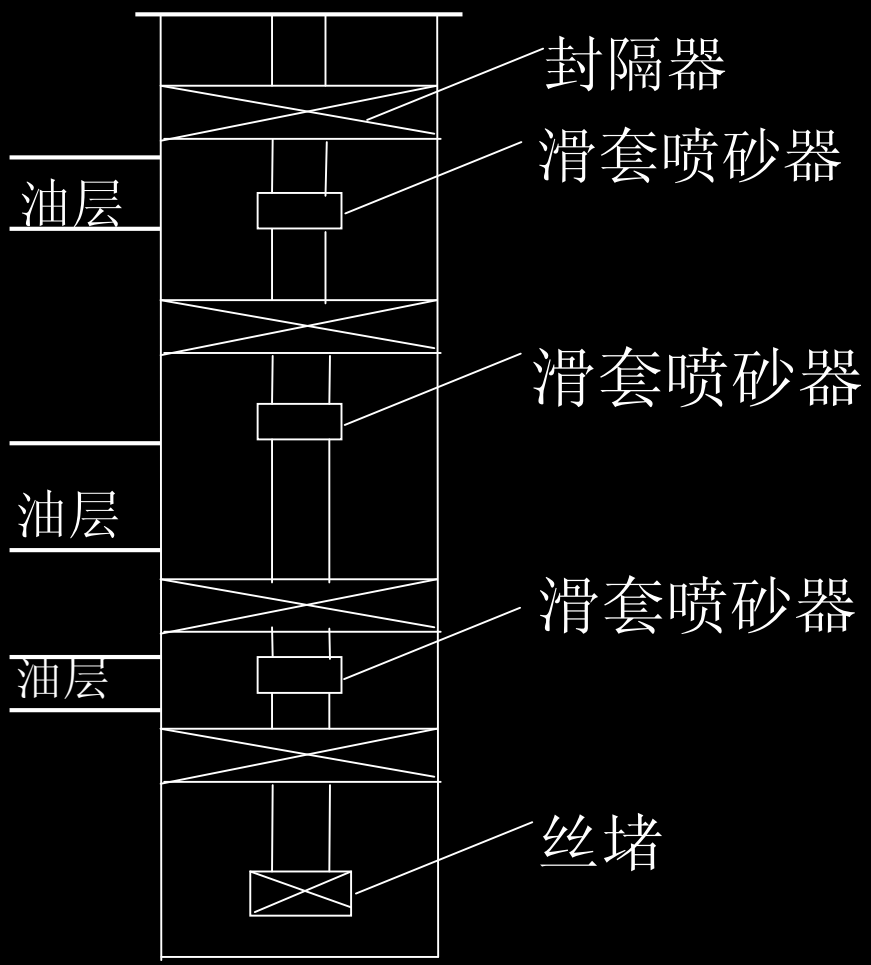
普通压裂工艺



第六节　压裂施工工艺

(2) 管柱结构

由投球器、井口球阀、工作筒和堵塞器、水力压差式压裂封隔器、滑套喷砂器组成。



第六节　压裂施工工艺

(3)　适用地质条件

地质剖面具有一定厚度的泥岩隔层，封隔器可以卡得开，高压下不发生层间窜通。井下技术状况良好，套管无变形、破裂和穿孔，固井质量好。

第六节　压裂施工工艺

（4）施工程序

压前：测分层产液量、含水率；投堵；全井酸化（视井况而定）；下入压裂管柱。

压裂：地面循环，冲管线；地面高压管线试压；试挤；压裂；加砂；替挤；根据情况决定是否返洗井，或活动管柱，或上提管柱，或投球压二层、三层。

压后：压裂完后投堵，探砂面，起出压裂管柱；下完井管柱。

第六节　压裂施工工艺

（5）工艺优点

①可实现不压井、不放喷作业，防止油层污染所造成的堵塞有利于提高压裂增产效果；

②可不动管柱一次连续压多层，从而大幅度减少作业量，提高施工效率，降低压裂施工成本；

③可与其它压裂工艺配套，能适应不同含水期改造挖潜需要；

④工艺简单，成功率高，经济效益显著。

（6）应用效果：73年投入工业化生产以来，共施工21840口井，平均单井日增油13.0t，当年累计增油3056.51×10^4t。

第六节　压裂施工工艺

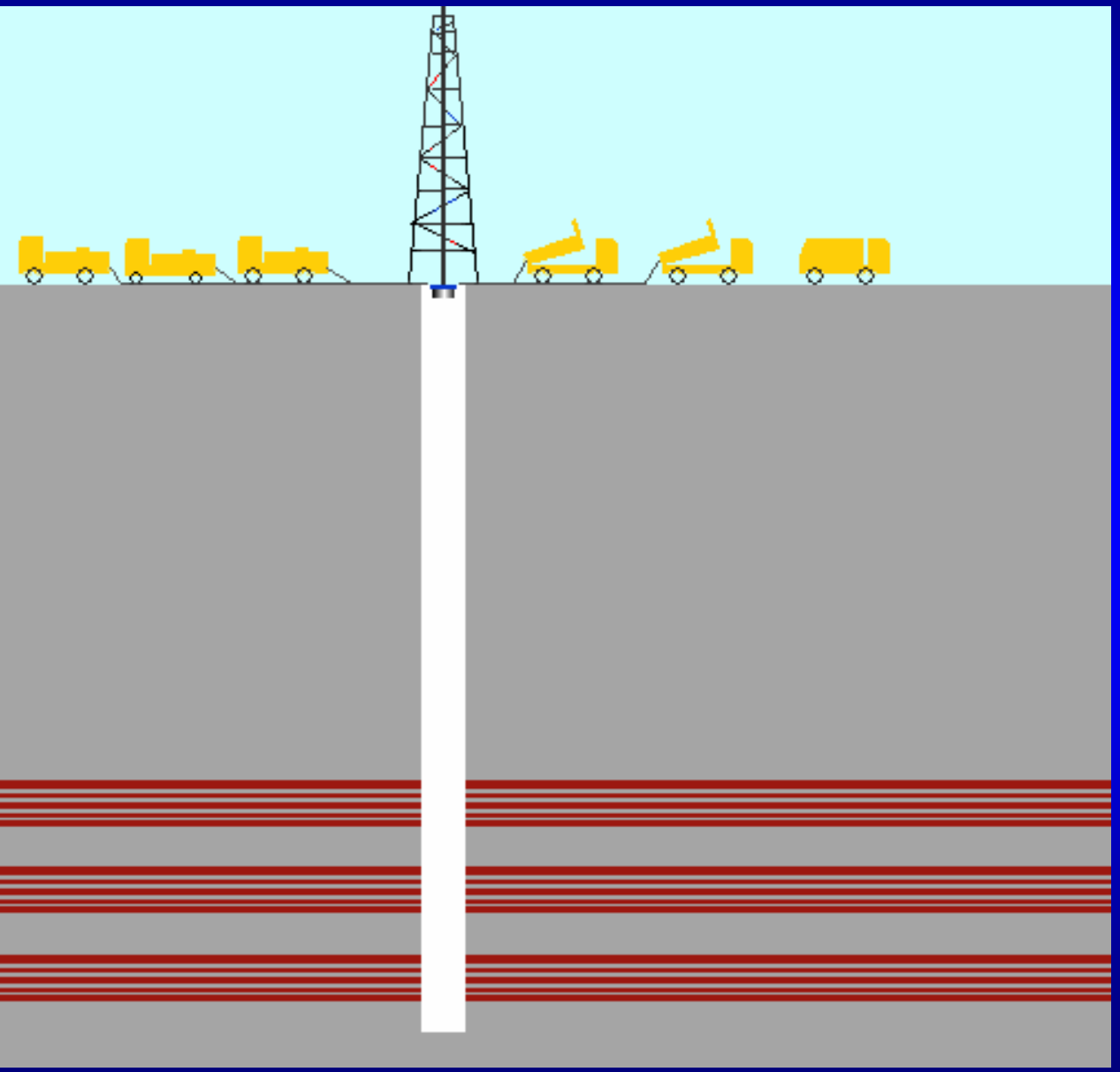
2、限流压裂工艺

（1）原理

通过严格限制炮眼的数量和直径，并以尽可能大的注入排量进行施工，利用压裂液流经孔眼时产生的炮眼摩阻，大幅度提高井底压力，并迫使压裂液分流，使破裂压力接近的地层相继被压开，达到一次加砂能够同时处理几个层的目的。如果地面能够提供足够大的注入排量，就能一次加砂同时处理更多目的层。

第六节　压裂施工工艺

限流法压裂工艺



第六节　压裂施工工艺

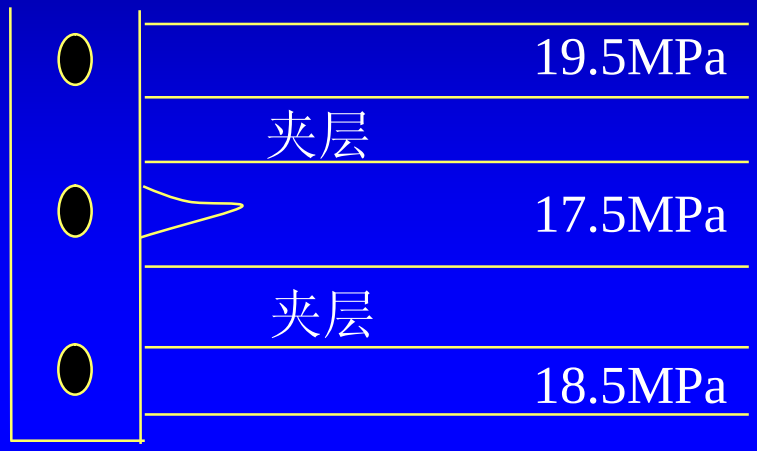
（2）适用地质条件

主要适用于纵向及平面上含水分布情况都较复杂，且渗透率比较低的多层薄油层的完井改造。

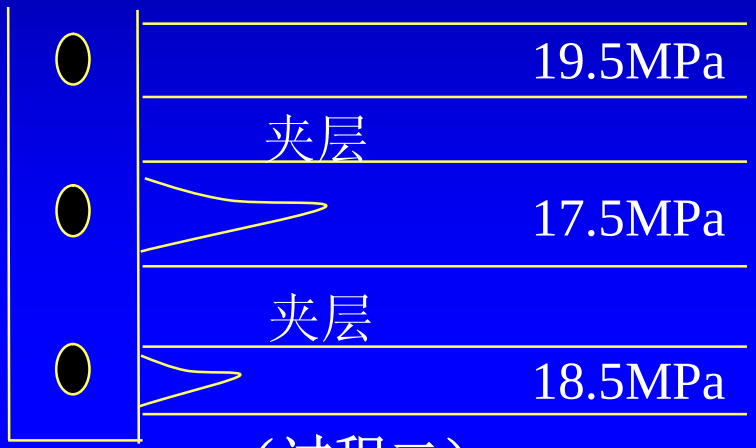
（3）布孔方案编制的原则

在限流法完井压裂设计中，制定合理的射孔方案是决定工艺效果的核心，根据限流法工艺特点，结合油层和井网的实际情况确定射孔方案。

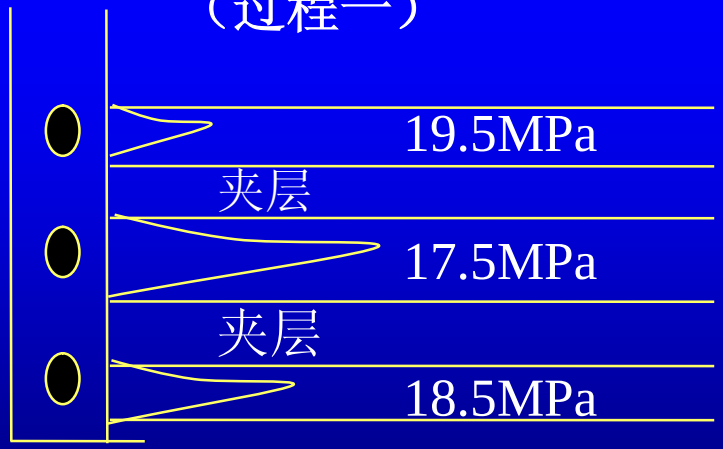
第六节　压裂施工工艺



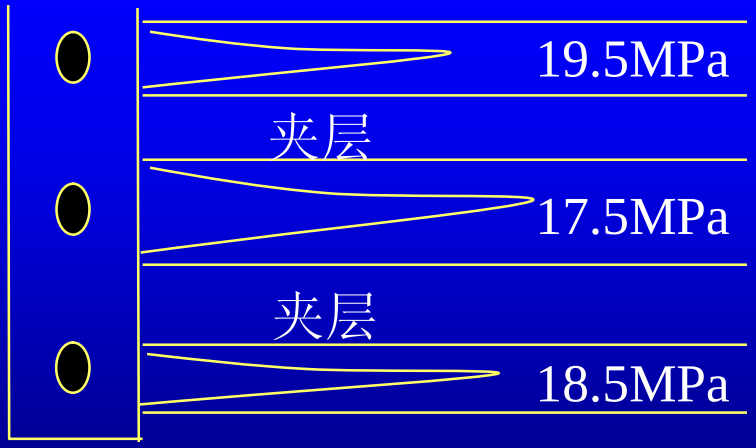
（过程一）



（过程二）



（过程三）



（过程四）

第六节　压裂施工工艺

① 保证足够的炮眼摩阻值，在此条件下充分利用设备能力提高排量，　以套管能承受的最高压力为限，尽可能压开破裂压力高的目的层。

② 对已见水或平面上容易水窜的层，处理强度应严格控制。厚层与薄层划为一个层段处理时，强度应有所区别。

③当目的层在压裂过程中有可能与其上下部非目的层窜通时，应注意将射孔点与隔层的距离放大些。当隔层厚度小于规定的界限时，要特别注意应减少孔数，防止窜槽现象的发生。

第六节　压裂施工工艺

④一般选择层内渗透率最好、有出油把握的部位射开，当层内存在薄的夹层时，可考虑在夹层上下分别布孔。

⑤考虑裂缝破碎带的影响，当处理层段内层数多，其炮眼总数因受限制而少于待处理层数的情况下，可在紧相邻的几个小层的中间位置布孔。

⑥由于目前射孔技术水平有限，个别炮眼的堵塞难以避免，因而允许实际的布孔数量比理论计算的稍多一些，以利于顺利完成施工。

第六节　压裂施工工艺

⑦ 一般常用10 mm或小于10mm的炮眼直径进行限流，因小直径孔眼有利于增加炮眼摩阻，可减少施工设备。

⑧为提高限流法压裂施工成功率，各小层的破裂压力必须相近，即对破裂压力低的层段要减少布孔数和孔径，对于破裂压力高的层段要做相反的处理。

（4）应用效果：84年现场试验应用以来，共施工3131口井，平均单井日产油14.6t，累计产油409×10^4t

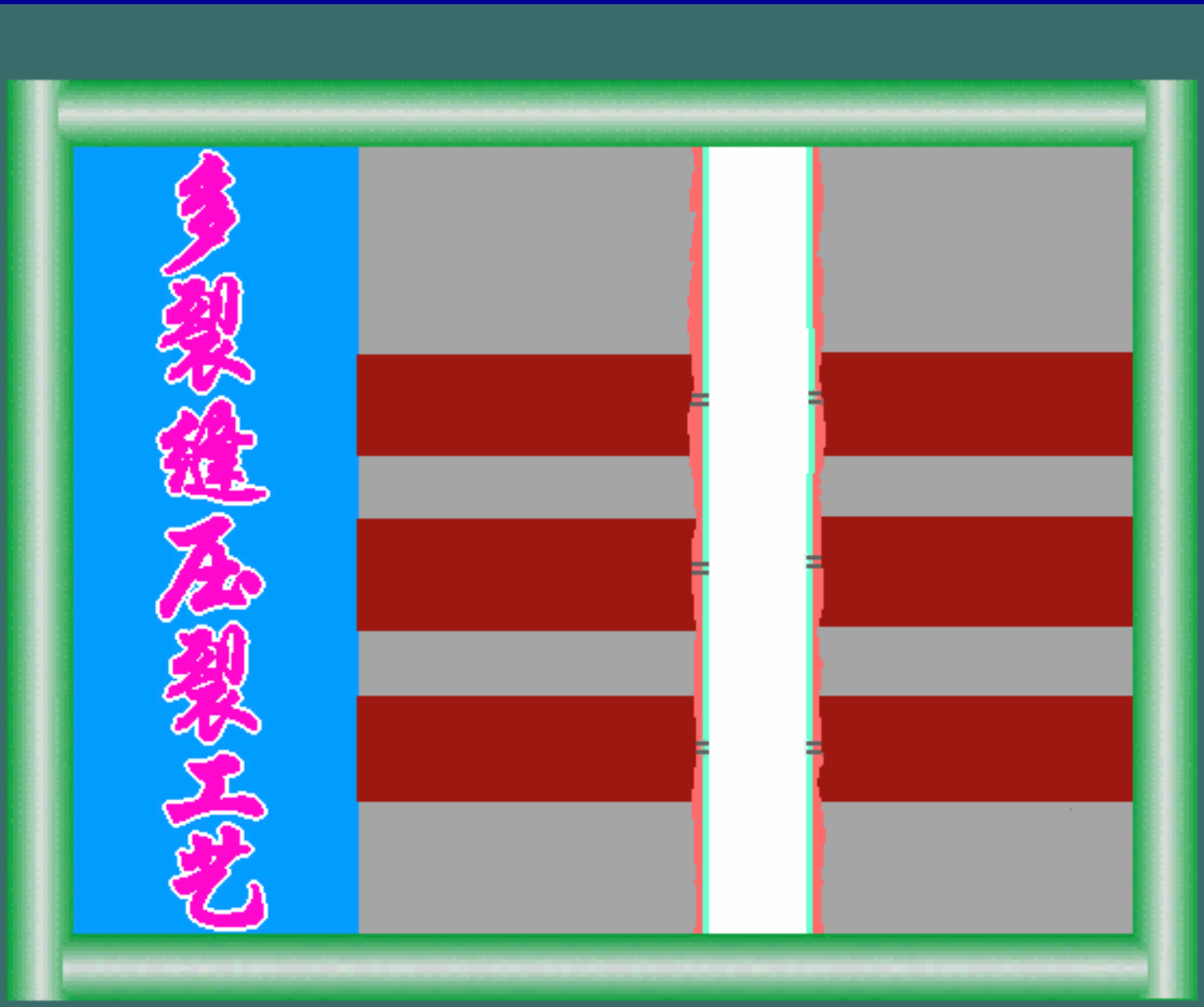
第六节　压裂施工工艺

3、多裂缝压裂工艺

(1) 原理

在一个压裂层段内，先压开吸液能力大的层后，在低压下挤入高强度暂堵剂将先压开层的炮眼堵住，待泵压明显上升后，再起动泵车压开第二个层，然后再堵第二个层，再压第三个层，这样可以在一个层段内形成多个裂缝，以提高层段的导流能力。

第六节　压裂施工工艺



第六节　压裂施工工艺

（2）适用地质条件：

①夹层厚度小于两米，层段内有较发育的多层不含水或低含水薄油层；

② 压裂层必须与注水井连通，且见到注水效果；

③ 必须经测试找水资料证实，高含水井中具有低含水或不含水层段。高含水层段内或重复压裂层段内具有不含水或低含水油层。

（3）应用效果：采用多裂缝压裂3284口井，平均单井日增油13.3t，累计增油582.68×10^4t。

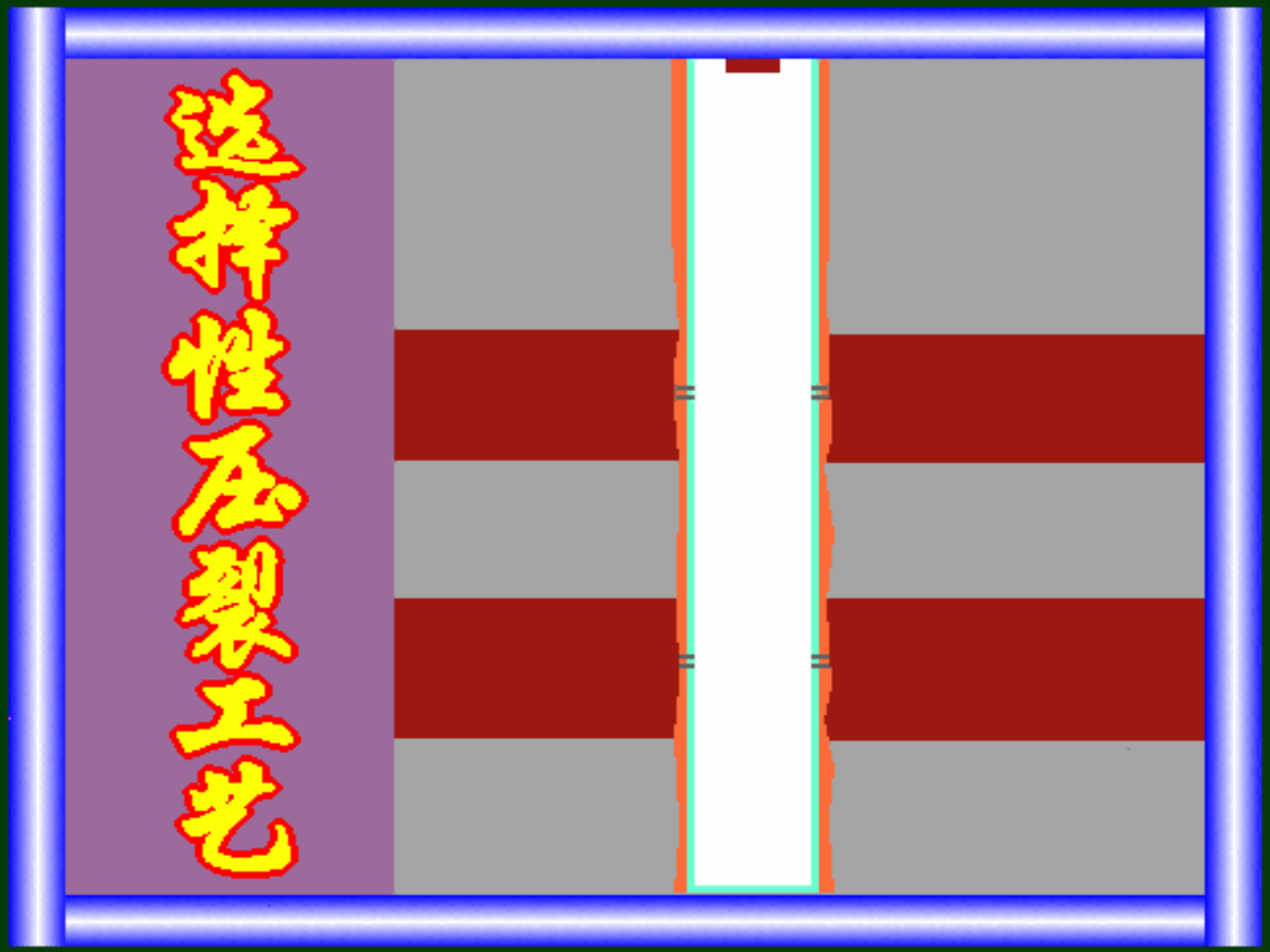
第六节　压裂施工工艺

4、选择性压裂工艺

(1) 原理

利用油层内不同部位或各油层间吸液能力不同的特点，通过投入暂堵剂将渗透率高、吸液能力强、启动压力低的高含水部位、层或人工裂缝暂时封堵，迫便压裂液分流，从而在其它部位或层内压开新裂缝，达到选择性压裂的目的，暂堵剂是油溶性的，在一定温度条件下，可变软溶于原油中，压后开井即可解堵。常用的暂堵剂有石蜡、高压聚乙稀、松香和重晶石粉。

第六节　压裂施工工艺



第六节　压裂施工工艺

（2）适用地质条件

油层经过压裂后，形成水平裂缝的非均质中、低渗透砂岩油层，具体选层条件如下：

①对于层内非均质差异大，并有一定物性夹层，射开厚度大于 4 米的含水厚油层，可以暂时封堵高含水部位，压开低含水或不含水部位，达到层内挖潜的目的；

②对油、水层交错分布而封隔器又卡不开的油层，可以选择压裂低含水或不含水层，达到调整层间差异，实现层间挖潜的目的。

第六节　压裂施工工艺

③对重复压裂层可以用暂堵剂堵塞原裂缝，而在油层其它部位压开新的裂缝，达到多次挖潜增产的目的。压裂前利用测试管柱对目的层段进行细分测试，确定水淹厚度，从而计算堵剂用量，这一点非常重要，很大程度上决定了施工效果。

选择性压裂工艺简单，施工成功率在95%以上，施工成本低，与普通分层压裂比较，费用只增加1-2%左右。

(3)应用效果：自78年投入工业化生产以来，共施工2570口井，平均单井日增油12.2t，当年累计增油561.43×10^{4}t 。

第六节　压裂施工工艺

5、平衡限流压裂工艺

(1)原理

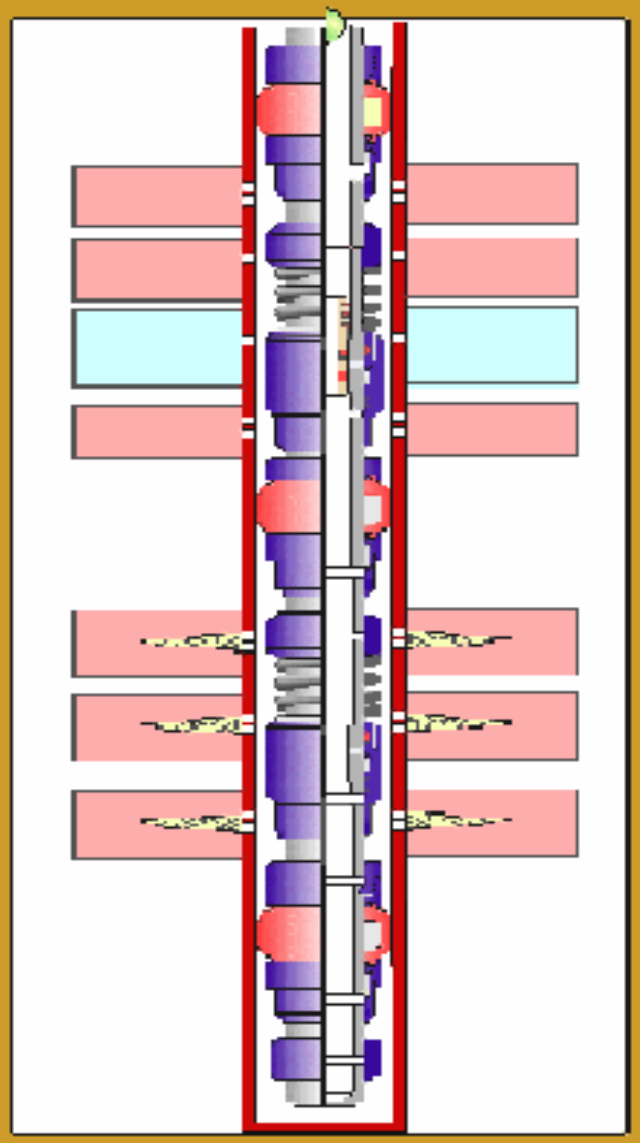
在压裂层段上部或下部具有厚度小的薄夹层时，为防止压裂层段与高含水层在高压下窜通，在压裂过程中通过对高含水层射孔进行平衡限流，达到顺利压开油层的目的。

首先要确定高含水层与目的层的布孔方案，在施工中恰当控制压裂强度防止压开高含水层，压后采用套管补贴或堵剂封堵方法一次封堵射开的多个平衡炮眼。

第六节　压裂施工工艺

平衡限流压裂

完井技术



第六节　压裂施工工艺

(2)适用地质条件

平衡限流适用于水淹层与压裂目的层的厚度在0.4m至0.3m内的低渗透油层的压裂改造，也适用于层内具有岩性或物性夹层的非均质水淹厚油层低含水部位的改造挖潜。

(3)应用效果：现场应用50余口井，施工一次成功率100%，平衡层封堵成功率95%以上。统计40口井，平均单井日产油18.1t。

第六节　压裂施工工艺

6、定位平衡压裂工艺

（1）原理

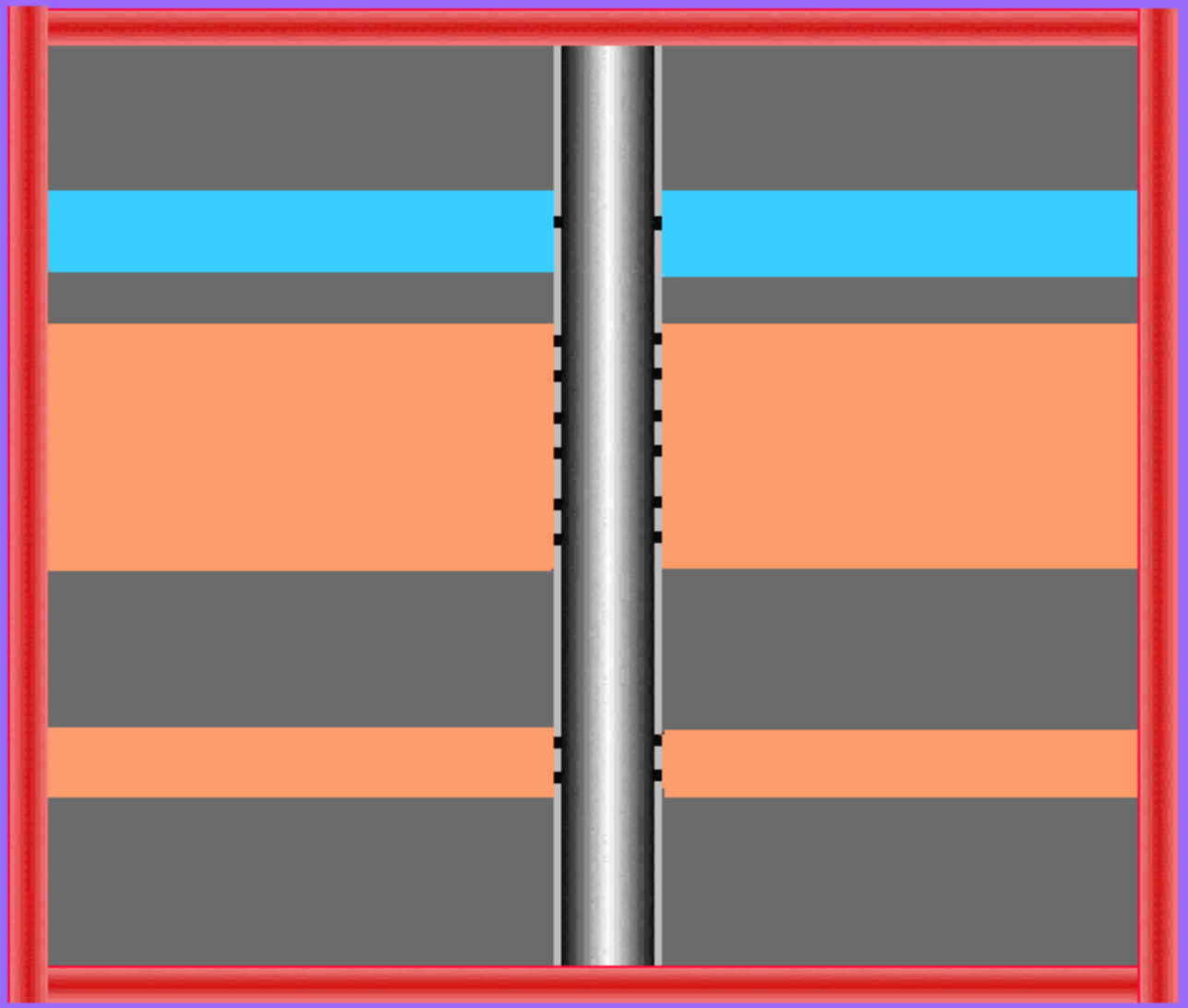
利用定位压裂封隔器上的长胶筒和喷砂体来控制压裂目的层的吸液炮眼数和位置，达到裂缝定位和控制目的层吸液量的目的。压力平衡器相当于对准高含水层的一个喷砂体，它只允许液体通过，而砂子不能通过，可以使高含水层产生一条无支撑剂的裂缝，保证高含水层与压裂目的层处于同一压力系统中，薄隔层上下压力平衡而使其得以保护。

第六节　压裂施工工艺

由于高含水层内裂缝是无支撑剂支撑的裂缝，压裂后闭合而失效，而压裂目的层内裂缝是支撑剂支撑的裂缝，压裂后导流能力很高。因此，定位平衡压裂技术既保证了压裂目的层的处理强度，又达到了压力平衡保护薄隔层的目的。压裂后一般不需要对高含水层进行封堵。

第六节　压裂施工工艺

厚层定位压裂技术



第六节　压裂施工工艺

（2）适用地质条件

可用于常规射孔中的薄互层的挖潜，也可用在与水淹层相邻的隔层较薄的多个薄油层挖潜，还可用于具有稳定物性隔层的厚油层低含水部位挖潜。

（3）应用效果：该工艺在油田应用40口井，工艺成功率97%以上，平均单井日增油10t，综合含水下降8.1个百分点。

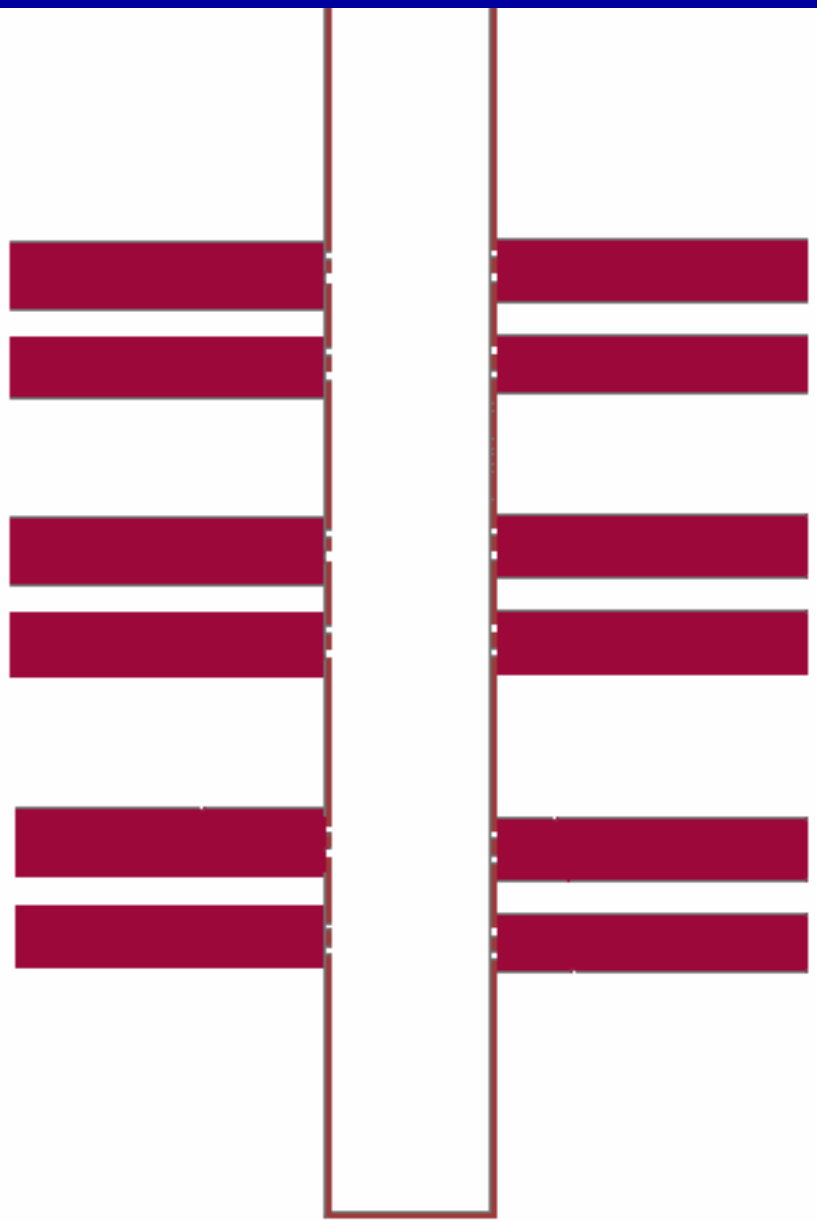
第六节　压裂施工工艺

7、小井眼压裂工艺

(1) 工艺原理

与常规压裂工艺技术原理基本相同，主要区别是小井眼的套管直径较小（101.6mm和114.3mm），易造成砂卡，下井工具需要在结构和功能上相适应。可与限流法压裂、投球法压裂、 选择性压裂及常规上提等方法相结合应用。

第六节　压裂施工工艺



第六节　压裂施工工艺

（2）应用效果：共完成施工38口井，工艺成功率达100%。平均单井日增油4.0吨。

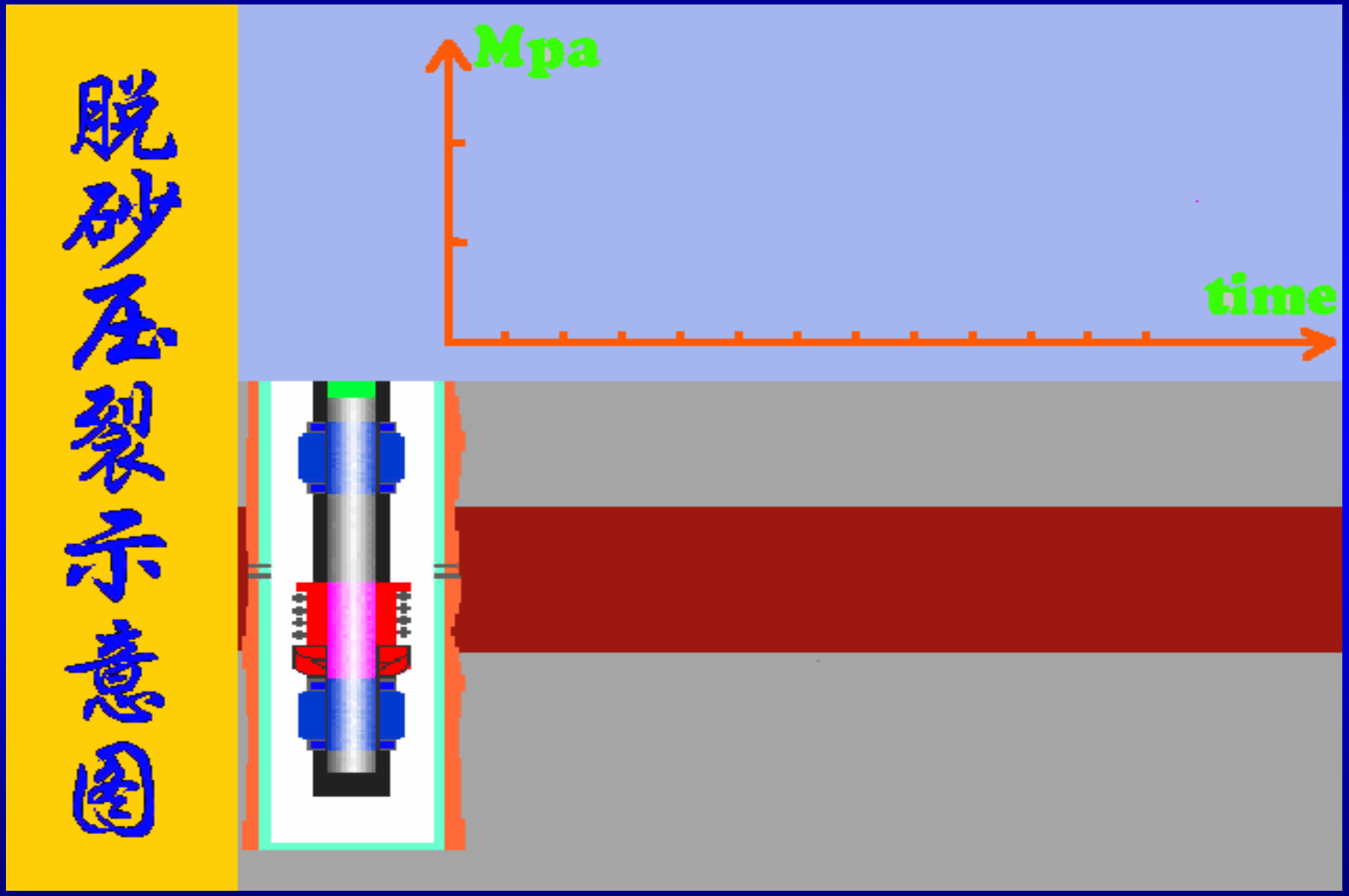
第六节　压裂施工工艺

8、脱砂压裂工艺

(1)原理

脱砂压裂是利用压裂液的滤失特性，　在压裂过程中，当裂缝扩展到预定的长度时，在裂缝端部人为地造成砂堵，从而阻止裂缝进一步扩展。裂缝端部形成砂堵以后，以大于裂缝向地层中滤失量的排量，继续按设计的加砂方案向裂缝中注入混砂液。随着注入时间的增加，注入压力和裂缝宽度会逐渐增加，裂缝中的支撑剂浓度也越来越高，当地面泵压达到预定的压力时停止施工，就可以获得较高的裂缝导流能力，这样既控制了裂缝半径，又实现了较高的裂缝导流能力。

第六节　压裂施工工艺



第六节　压裂施工工艺 ④⑤⑥⑦⑧

（2）适用地质条件

① 脱砂压裂工艺适用于需要提供较高裂缝导流能力的中、高渗透率地层和软地层；

②对于注采井距较小的加密开发油藏，可以采用脱砂压裂工艺，合理地控制裂缝长度，实现短宽缝压裂；

③在压裂液性质一定时，目的层应具有一定厚度和渗透率，以满足实现预定裂缝长度的滤失要求。

第六节　压裂施工工艺 ④⑤⑥⑦⑧

④脱砂压裂的最终施工压力较常规压裂要高，要求目的层的上下隔层要具有一定的厚度和较好的固井质量；

⑤ 脱砂压裂在控制不利的情况下，易造成砂堵，因此应有与脱砂压裂工艺相配套的压裂工具和管柱，以便能顺利施工或及时处理施工中发生的异常情况；

从脱砂压裂的工艺原理和工艺过程可以看出，要通过脱砂压裂在地层中实现预定的裂缝参数，在设计时必须在综合考虑地层和压裂液性能的条件下，

第六节　压裂施工工艺

研究解决好三个关键问题：　一是确定使裂缝半径延伸到预定长度时，能够在缝端产生脱砂的前置液用量和第一批混砂液的浓度；二是模拟计算缝端脱砂后，缝内压力随注入排量和混砂液量的上升规律；三是根据压力上升到最大允许值时可以注入的混砂液量，制定出能够实现预定裂缝导流能力的加砂方案。

第六节　压裂施工工艺

(3)应用效果：共施工25口井，实现脱砂21口井，工艺成功率为84%。实现脱砂压裂的21口井中，有13口井为水驱采油井，计产10口井，日增油12.9t；8口聚合物采出井，日增油27.8t。

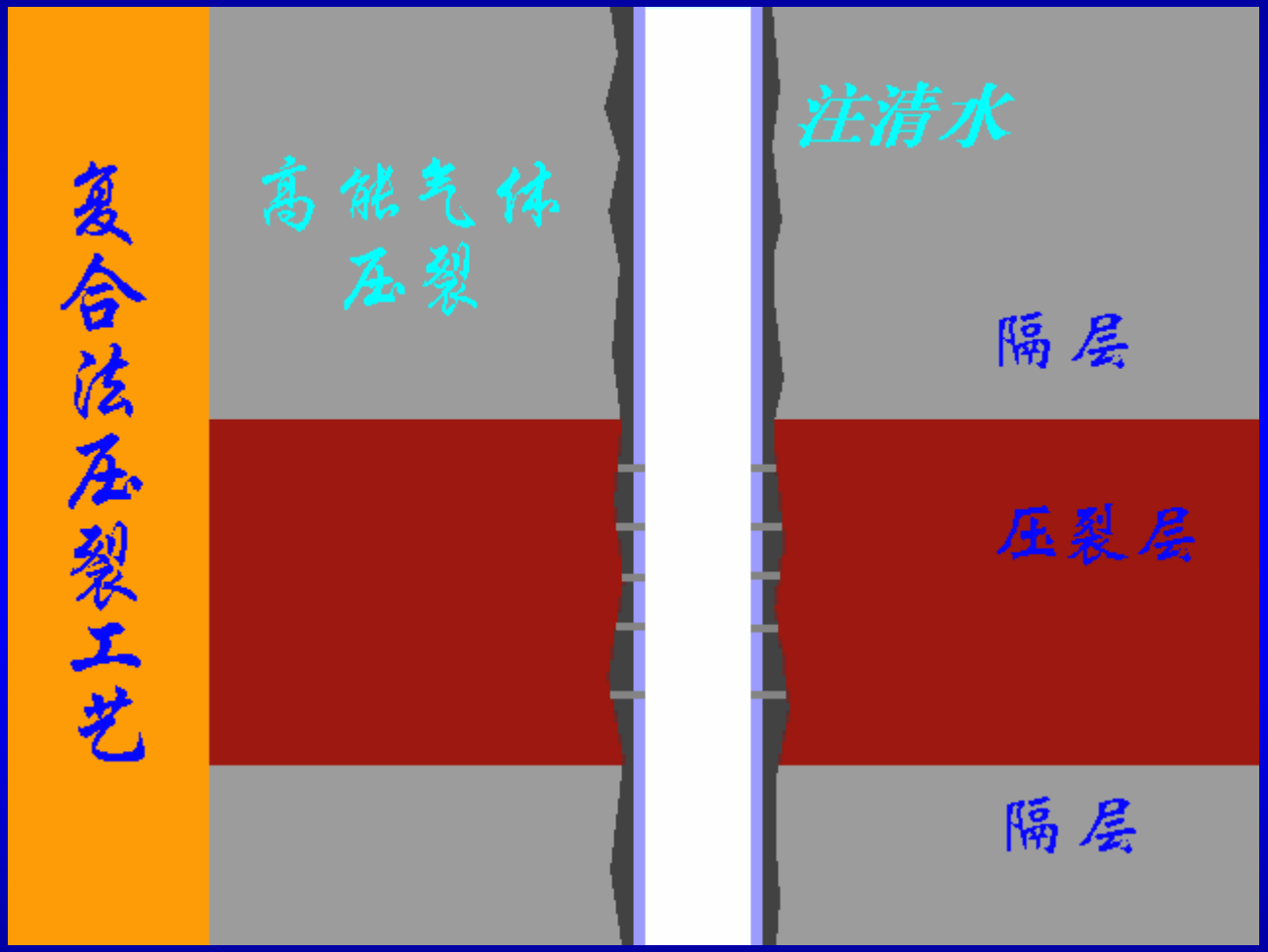
第六节　压裂施工工艺

9、高能气体复合压裂工艺

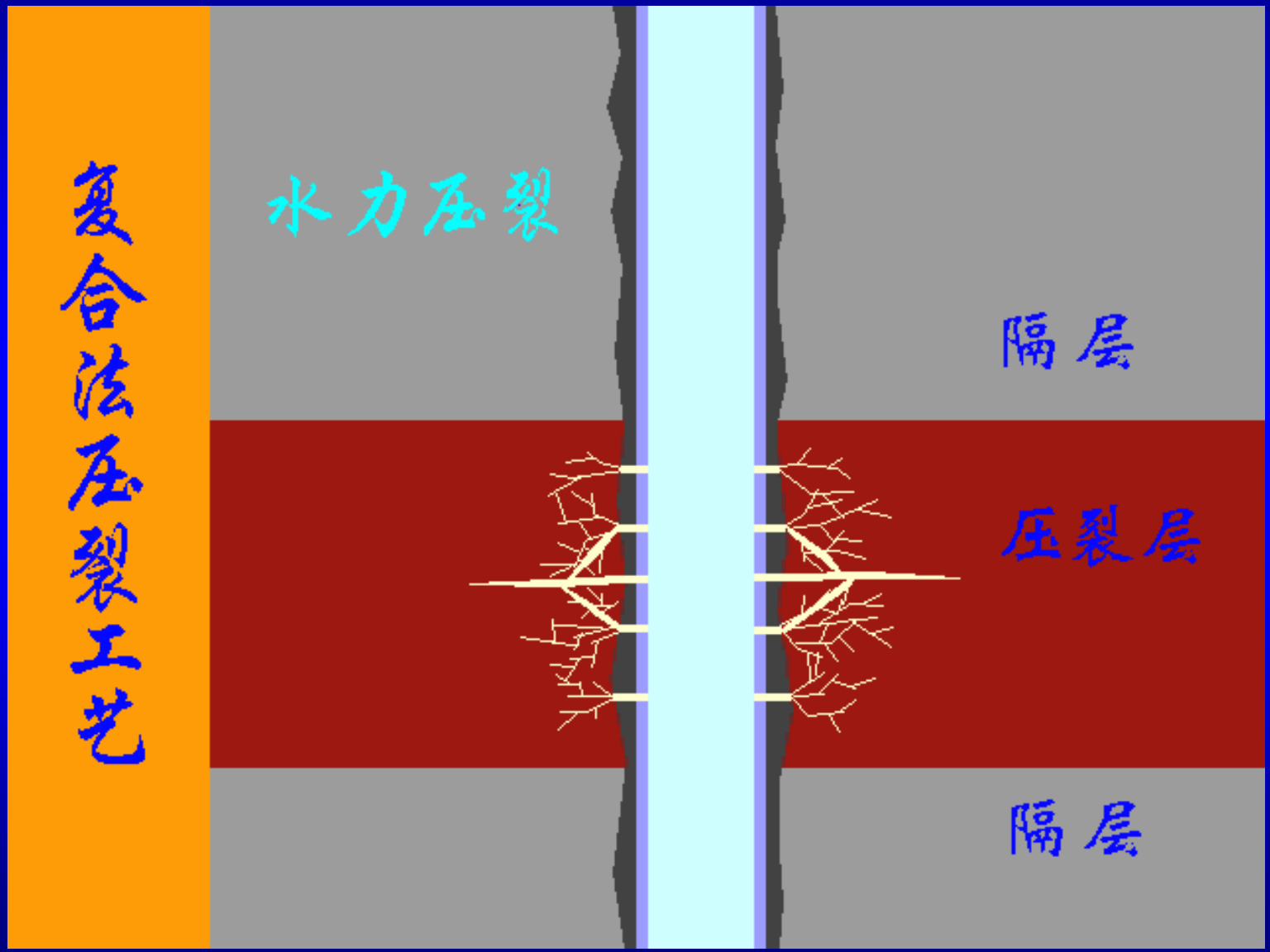
(1)原理

高能气体复合压裂是一项把高能气体压裂和水力压裂结合起来压裂技术。高能气体压裂是利用特定的火药或火箭推进剂在目的油层井段进行燃烧，产生高温高压气体，以脉冲加载方式冲击油层，使井筒周围的岩层产生多方位径向裂缝，并沟通天然裂缝。高能气体压裂后，利用水力压裂使其微小裂缝扩张，进行填砂支撑，从而使近井地带导流能力增强，增加生产层的出液强度，提高油井产量。

第六节　压裂施工工艺 ④⑤⑥⑦⑧



第六节　压裂施工工艺 ④⑤⑥⑦⑧



第六节　压裂施工工艺

(2)适用地质条件

①处理层的上下夹层厚度不小于3m，以保证不致于因爆炸对固井质量的影响造成层间窜流；

②复合改造层应有较好的有效厚度和连通厚度。

(3)应用效果：现场施工油井174口(其中老区101口，外围73口)，老区压后平均单井日增油13.7t；外围压后平均单井日增油6.6t。施工注水井17口(老区14口，外围3口)，老区压后平均单井日增注110.0m^3。

第六节　压裂施工工艺

10、热化学压裂工艺

(1)工艺原理

用化学药剂作为前置液，利用化学药剂反应产生的气体和热量使近井地带堵塞微粒和孔隙张力的重新分布，并改变压裂目的层内流体的流变性，降低原油粘度，另外，化学药剂反应产生的气体和热量还有利于压裂液返排。

第六节　压裂施工工艺

(2) 适用地质条件

可用于含蜡高、地层温度低、原油稠的油层改造。

(3)应用效果：现场应用16口井，平均单井日产油5.2t，比同区块常规压裂投产井产油强度提高1.3t/d.m，返排率提高6-15个百分点。

第六节　压裂施工工艺 ④⑤⑥⑦⑧

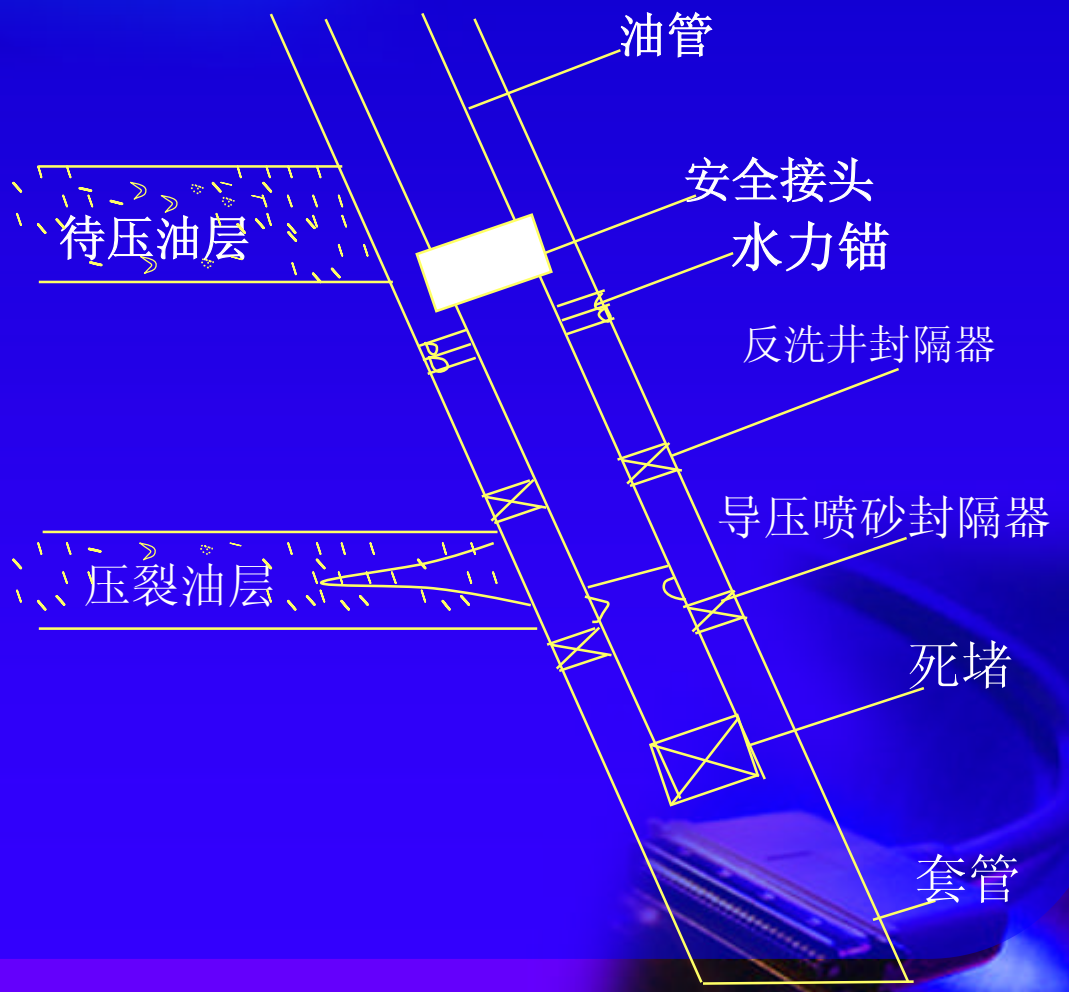
11、斜直井分层压裂工艺

(1) 原理

斜直井压裂原理与普通压裂基本相同。但由于井眼轴线偏离垂线，一是使胶筒密封性变差，二是 倾斜状态下卡段内的油套环空存砂严重，容易造成砂堵或砂卡管柱，因此，斜直井对工具性能和压裂技术有较高的要求。

第六节　压裂施工工艺

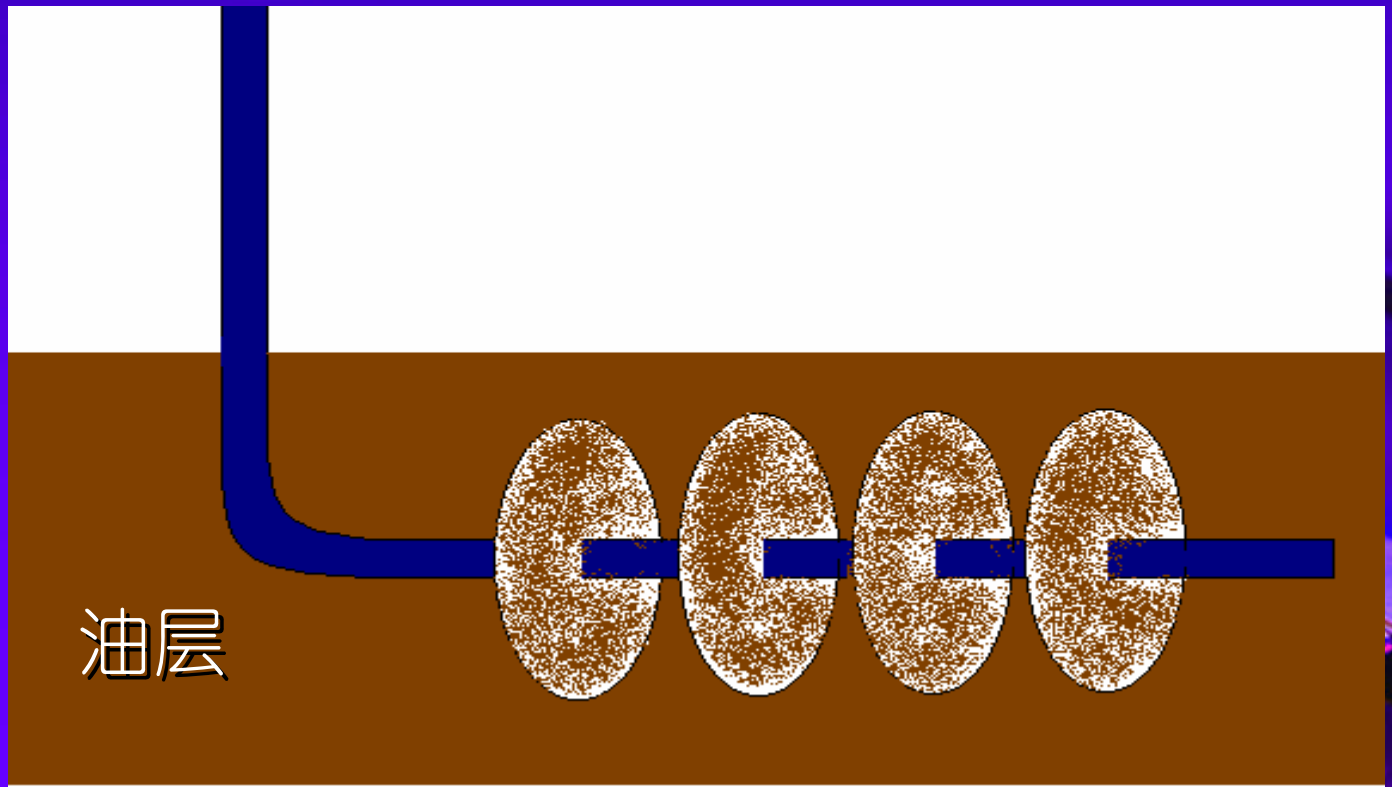
斜直井压裂管柱主要由以下部件组成：油管、安全接头、水力锚、返洗井封隔器、导压喷砂封隔器。



第六节　压裂施工工艺

12、水平井多段压裂工艺

是通过在水平井的水平段进行射孔、压裂，形成高波及效率的与井筒垂直（或平行）的水力压裂裂缝的工艺技术。

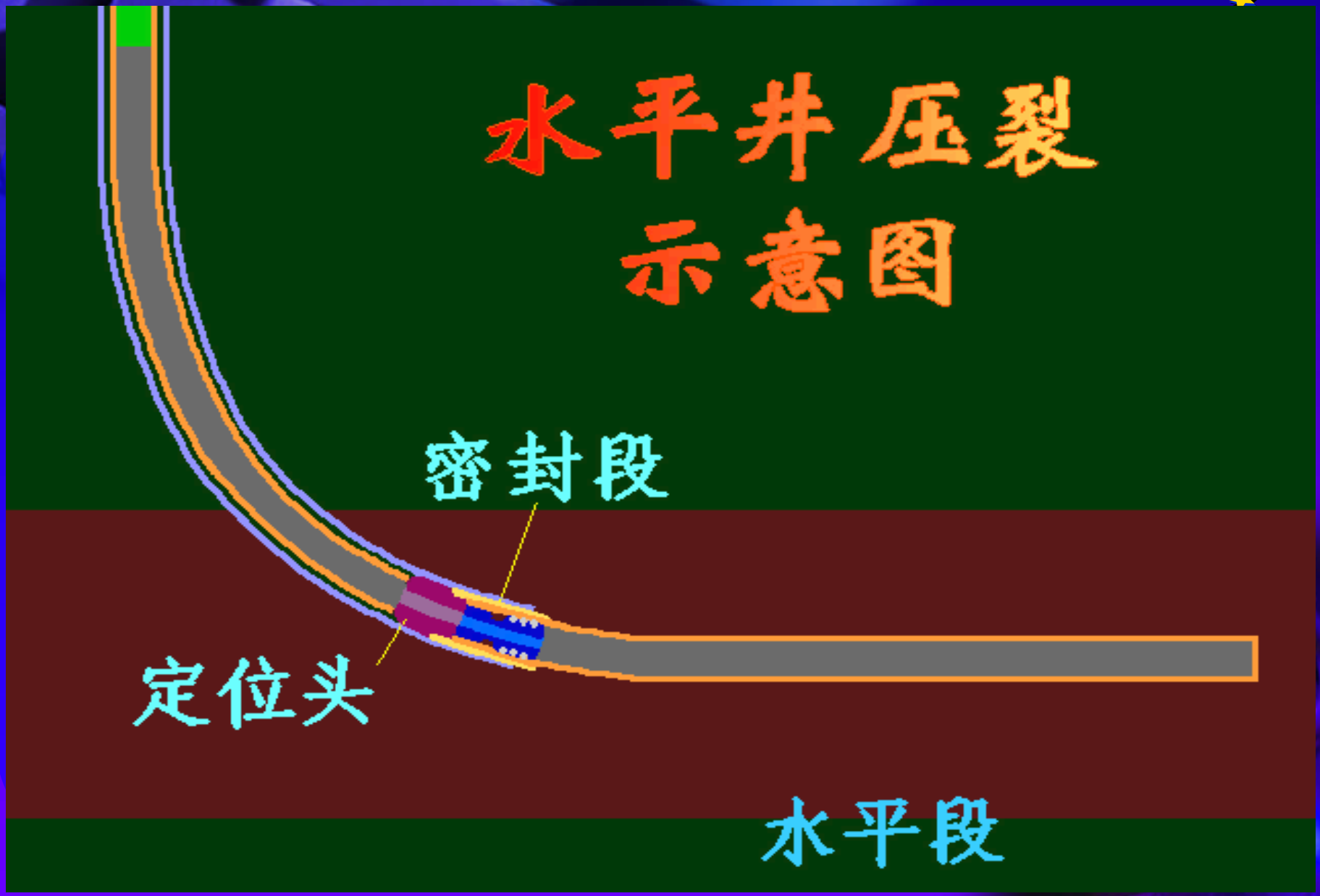


第六节　压裂施工工艺

(1)原理：

利用原井套管做压裂管柱，在水平段内低密度分段射孔，依据限流法压裂原理，以较大排量注入，由于炮眼摩阻，井底压力升高，迫使压裂液分流，达到一次施工压开多条裂缝的目的。

第六节　压裂施工工艺



第六节　压裂施工工艺

(2)应用效果：在外围油田实施水平井压裂4口井，平均单井日产油14.8t。（茂平1井压后日产油37.9t)。

第六节　压裂施工工艺

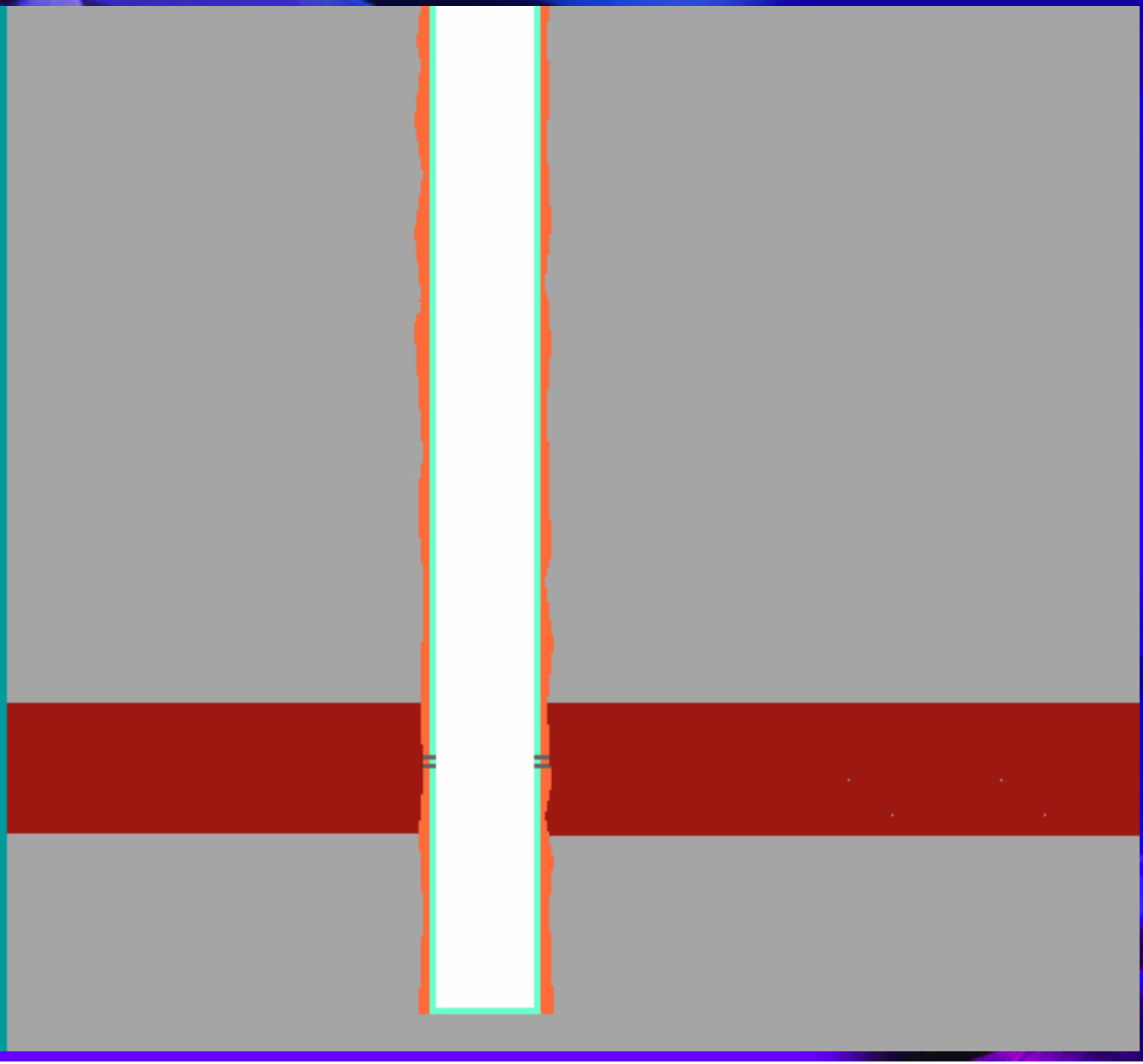
13、CO_2泡沫压裂工艺

(1)原理：它是以液态CO_2或CO_2与其它压裂液混合，加入相应添加剂，来代替压裂施工中所使用的常规水基压裂液的压裂施工工艺技术。

CO_2压裂液主要成分是液态CO_2、原胶液和若干种化学添加剂。在压裂施工注入过程中，随深度的增加，温度逐渐升高，达到一定温度后，CO_2开始汽化，形成原胶为外相，CO_2为内相的两相泡沫液。由于泡沫液具有气泡稠密的密封结构，气泡间的相互作用而影响其流动性，从而使泡沫具有“粘度”，因而具有良好的携砂性能，在压裂施工中起到与常规水基压裂液相同的作用。

第六节　压裂施工工艺

CO_2压裂工艺技术



第六节　压裂施工工艺

(2)适用地质条件

由于液态CO_2在地层中既能溶于油，也能溶于水，所以可改善原油物性，降低油水界面张力。CO_2泡沫可在裂缝壁面形成阻挡层，可大大减少滤失及对地层的伤害。另外，泡沫压裂液呈弱酸性，可有效防止粘土膨胀，还对地层起到一定的解堵作用。

第六节　压裂施工工艺

因此，泡沫压裂液比水基压裂液更适用于对深层气井、低渗低压油井、水敏性地层和稠油井的压裂改造。

(3) 应用效果：5口油井压后平均单井日增液6.5 m^3，日增油5.5t，平均动液面升高244m，与同地区压裂计产的15口井平均单井日增油3.9t相比，平均单井多增油1.6t/d。

第六节　压裂施工工艺

(4) CO_2设备

由于CO_2压裂液与普通水基压裂液在性能上有许多差异，所以施工设备也不同于一般压裂设备，2000年分公司引进了一套CO_2压裂设备，包括2台泵车，8台罐车。已投入现场应用。


KENWORTH



第六节　压裂施工工艺

在研究应用上述十三项压裂工艺技术的基础上，2000 年，针对部分区块压裂井压后出砂的实际，开展了压裂防砂技术研究。

理论研究和室内试验表明，压裂井压后出砂有以下几方面原因：1）当水力裂缝的宽度与支撑剂平均粒径比值大于 5.5 时，裂缝处于不稳定状态、容易造成出砂；

第六节　压裂施工工艺

2）沿裂缝方向上的压力梯度逐步增大时，裂缝越来越不稳定，当增大到1.67Mpa/m 时，裂缝将遭到破坏，有支撑剂返排；3）闭合压力超过裂缝强度时，由于支撑剂破碎，也会引起出砂。此外，聚驱采出井采出液粘度大，以及 ϕ 83mm 以上大泵生产和电泵生产的井，也均可造成出砂。

第六节　压裂施工工艺

针对压裂井出砂的原因，采取了在尾砂中加入大粒径（1.2-2.0mm）核桃壳的防砂方法 。一方面利用核桃壳自身颗粒的抗压强度和特有的可压缩性，摩擦系数大，在裂缝近井筒附近形成“防砂井壁”，使压裂砂不能进入井筒，达到防砂目的。另一方面由于增大了支撑剂的平均粒径，使裂缝宽度与支撑剂的平均粒径的比值降低，从而裂缝的稳定性增强，防止裂缝吐砂。

第六节　压裂施工工艺

近两年采用核桃壳防砂技术在现场中共施工83口井，没有出现因压后出砂卡泵而影响正常生产的情况，收到了非常好的防砂效果。从这些井压裂前后效果对比来看，与未进行防砂的井改造效果基本持平。



汇报结束，

谢谢大家！