

开采工艺

# 爆炸技术与低渗透油气藏增产

林英松<sup>1</sup>, 蒋金宝<sup>1</sup>, 孙丰成<sup>1</sup>, 王 莉<sup>1</sup>, 刘兆年<sup>1</sup>, 张宝康<sup>1</sup>, 丁雁生<sup>2</sup>

(1 中国石油大学石油工程学院 · 华东 2 中国科学院力学研究所)

林英松等. 爆炸技术与低渗透油气藏增产. 钻采工艺, 2007, 30(5): 48 - 52

**摘 要:** 爆炸技术引入石油行业已有一百多年的历史, 大规模的工业应用也有二三十年的历史, 在低渗透油藏的增产方面, 涉及到了射孔、高能气体压裂等多个领域。总结了井内爆炸技术、核爆炸技术、高能气体压裂、爆炸松动、复合射孔、复合压裂以及水力裂缝“层内爆炸”采油技术对低渗透油藏进行改造的研究进展, 同时对利用爆炸技术, 尤其是水力裂缝层内爆炸采油技术对低渗透油藏进行改造的研究做了展望, 并提出了利用射孔、高能气体压裂、“层内”爆炸技术的联合作业是低渗透油藏改造技术的最优方案之一。

**关键词:** 低渗透油藏; 油藏增产; 爆炸技术; 联合作业; 层内爆炸

中图分类号: TE 348 TE357 文献标识码: A 文章编号: 1006 - 768X(2007)05 - 0048 - 05

## 一、低渗透油气藏的分布及改造现状

### 1. 低渗透油气藏的分布

世界上低渗透油气田资源十分丰富, 分布范围非常广泛, 各产油国基本上都有这种类型的油气田, 在美国、俄罗斯和加拿大等都有广泛的分布。在我国, 低渗透油气田也广泛的分布在全国的各个油区, 如中石油的大庆、吉林、辽河、大港、新疆、长庆、吐哈和中石化的胜利、中原等。

### 2. 低渗透油藏的改造现状

低渗透油田最基本的特点就是地层渗透能力差、产能低, 通常需要进行油藏改造才能维持正常生产。目前, 已发展的改造低渗透油田技术很多, 如: 井内爆炸技术、核爆炸技术、高能气体压裂、爆炸松动技术、水力压裂和酸化技术等。常用的是水力压裂、高能气体压裂和酸化等。

## 二、利用爆炸技术对油藏进行改造的研究进展

### 1. 利用单种爆炸技术对低渗透油藏改造的研究现状

#### 1.1 井内爆炸技术

井内爆炸包括固态、液态和气态炸药在井筒内的爆轰和爆燃, 目的是在井筒周围产生多条裂缝, 可以降低甚至消除在钻井过程中对地层所造成的表

皮损害, 又可使天然裂缝体系与井筒连通。1860年, 美国 Dennis H 首先使用黑火药爆炸方法激励了油井; 1864年, 美国 Roberts E A L 申请了以枪用火药使油井增产的专利, 1867年, 杜邦公司研制了低感度的硝化甘油炸药、固态硝化甘油炸药、凝胶炸药和油井特种炸药等。在 19 世纪 60 年代到 20 世纪 50 年代, 井内爆炸法被广泛应用, 曾经带来增产效益。

20 世纪 40 ~ 50 年代, 水力压裂兴起, 逐渐取代了古老的爆炸压裂。其主要原因是压缩应力波使井周岩石发生不可恢复的塑性变形, 形成的残余应力场使得爆炸初期形成的大量裂缝重新闭合, 另外, 井内爆炸易损毁井筒, 硝化甘油类药剂过于敏感, 也是古老的爆炸压裂失败的原因。

我国在 20 世纪 60 ~ 70 年代多次试验井内爆炸法, 未获成功, 由于人身及井身安全等原因停止实验。

#### 1.2 核爆采油

井筒核爆炸会造成裂缝并沟通各种空洞, 从而增加井筒周围岩石的渗透率。美国和前苏联在 20 世纪 60 ~ 70 年代进行了用核装置激励油气层的地下试验, 未获工业应用; 我国在 20 世纪 80 ~ 90 年代也曾进行核爆炸采油的规划和现场试验设计, 由于人文、地理等多方面原因, 未付诸实施。

收稿日期: 2006 - 12 - 29; 修回日期: 2007 - 07 - 31

基金项目: 中国石油化工股份有限公司资助项目 (P03051) 和中国石油大学研究生创新基金 (S2005 - 53)。

作者简介: 林英松 (1964 - ), 女, 副教授, 1987 至今在中国石油大学 (华东) 石油工程学院从事教学与科研工作, 现在中国科学院力学研究所攻读博士学位。地址: (257061) 山东省东营市中国石油大学 (华东) 石油工程学院林英松转蒋金宝, 电话: 0546 - 8399080, E - mail: sdlinys@263.net

### 1.3 高能气体压裂技术

高能气体压裂是 70 年代兴起、80 年代迅速发展的一种增产、增注技术。它利用火药或火箭推进剂快速燃烧,产生的大量高温、高压气体,在机械、热、化学和振动脉冲等综合作用下,在井壁附近产生不受地应力约束的多条径向垂直裂缝裂纹,改善导流能力、增加沟通天然裂缝的机会,从而达到增产、增注的目的。它具有工艺简单、不依赖水源、成本低廉、增产效果显著等特点。目前高能气体压裂在长庆油田应用较多,效果也比较明显,但是由于该技术所产生的裂缝较短、对油井状况的要求较高,应用不是很好。

最近,西安石油大学实现了使用液体炸药对低渗油藏进行压裂改造,该技术具有成本低、原料广、药量大和燃时长等优点,且该炸药在冲击摩擦感度、静电和压力感度均比固体炸药安全。缝长可达到 25~30 m,增产比为 2.55,该技术是唯一可以和水力压裂相媲美的高能压裂增产技术<sup>[1],[5]</sup>。2000 年以来,研究人员又对高能气体压裂进行了全面的改进,开发了双级高能气体压裂技术,该技术使得高能气体压裂既可以在浅井中应用也可以在深井中应用,既可以用油管方式作业也可以用电缆作业,对于重堵塞井的解堵也具有较好的效果。

### 1.4 爆炸松动技术<sup>[1],[2]</sup>

近几十年来的岩石力学研究,特别是岩石的动载特性的研究证明,如果对爆炸脉冲进行控制,则不但可完全避免压实的负效应,而且还可以使孔隙度和渗透率增加,这种井中控制爆炸的技术,就是所谓的“地层爆炸松动增产技术”。该技术的基本原理依据岩石的“压涨”现象,研究中发现,当岩石的最小压应力与最大压应力之比在低于 0.15~0.30 范围时,就会发生“压涨现象”。由于地层的最小主应力与最大压应力之比不在上述范围,所以自然条件下不会发生压涨现象。

该技术是通过炸药的爆炸波在地层中的迭加,在油层内造成产生压涨的条件,因炸药的能量比较大,从而可以使得地层的渗透率得以显著提高,乌克兰科学院物理研究所对其研究较多,并在俄罗斯和乌克兰的油田进行了现场的试验。一般增产 1~2 倍,有效期在 1 年以上,有效率几乎 100%。岩石处理范围的半径对砂岩可达 10 m,对灰岩可达 6~8 m,渗透率可提高 10 倍以上。1998 年 5 月和 1998 年 11 月,西安石油大学在陕北油矿对两口油井进行了现场实验,其中 4027 井的增产幅度超过 3 倍,4242 井的增产幅度超过了 10 倍。

在油田开采中,“压涨”可以使油气层中岩石的孔隙度、渗透率增加,对提高油气产量具有极为重要的工程价值。因而,“压涨现象”的研究无论对于常规的压裂增产措施和开发新的压裂增产工艺都具有重要的意义。田和金指出考虑压涨现象的裂缝几何形状与不考虑压涨的裂缝形状相比,缝宽增大,长度变小,然而“压涨现象”尚未引起国内石油工程界的广泛注意。

### 2. 利用复合爆炸技术对油藏进行改造的研究进展

最近几年,利用复合技术成为低渗透油气藏改造的一个新方向。研究的低渗透油藏改造技术主要有以下几种:高能气体压裂与射孔的复合技术;高能气体与水力联合作业技术;爆炸松动技术;水力裂缝“层内”爆炸改造油藏技术等,从增产机理上来讲,水力裂缝“层内”爆炸改造油藏技术潜力最大。

#### 2.1 高能气体压裂与射孔的复合射孔技术<sup>[3]-[7]</sup>

复合射孔是针对改善射孔孔眼及附近地层的流动效率而发展起来的一项新技术。复合射孔技术是射孔与高能气体压裂合二为一,实现射孔和高能气体压裂同时完成,可大幅度提高射孔效率、压裂效率和油气井产能。

复合射孔技术最早是 1983 年由美国人 Frankin C Ford 通过专利的形式提出的一项油气井增产措施的设想。最近几年,该技术得到了迅速的发展。西安 204 所公开的数据表明,延缝深度为 1 930 mm,大庆射孔弹厂 1998 年在中国石油天然气总公司射孔器材检测中心检测的射孔结果表明:延缝深度平均达到 1 953 mm。

复合射孔的作用机理:利用火药和炸药两者具有数量级之差的反应速度,引爆以后,聚能射孔弹首先以微秒量级的时间在井筒与地层之间形成射孔通道,火药随后以毫秒级的时间产生燃气脉冲,以冲击加载的形式沿射孔通道挤压地层,在机械、物理、化学和热力学作用下使射孔通道以裂缝的形式延伸扩展,从而实现了对低渗透油气藏的改造。

复合射孔技术中火药燃烧所产生的气体绝大部分通过射孔孔眼进入地层,大大提高了火药燃烧气体的能量利用率。目前,正在研制开发的和已经在油田推广使用的复合射孔器有一体式复合射孔器、分体式复合射孔器、二次增效复合射孔器等。

复合射孔的发展趋势就是多元增效复合射孔。根据井况一次对多层同时施工,对同一油藏可采用多级组合,对压裂层段形成多脉冲压裂,使地层产生较长的多方位裂缝,大大提高地层的渗透率,改造地层的结构,使其流阻减小,起到有效的增产作

用。以特制的分隔器实现不同压力环境的隔离,以可燃可裂解弹架、弹壳实现射孔器内腔无阻碍。

## 2.2 高能气体压裂与水力压裂复合技术<sup>[3],[4],[7]~[10]</sup>

复合压裂技术是 20 世纪 80 年代末产生的一种新型的油气井增产、水井增注技术。它是在对油水井进行压裂时,将高能气体压裂和水力压裂相结合,在一个施工周期内,先对目的层进行高能气体压裂,在近井地带形成不受地应力控制的多条径向裂缝;然后通过水力压裂将裂缝延伸,得到多条足够长的有支撑剂支撑的裂缝,它可有效的改善远离井筒地带的渗透率。该技术中高能气体压裂和水力压裂两种技术优势互补,能更加有效地增产增注。

复合压裂技术的特点: 处理油藏的半径大,它具有水力压裂处理油藏的半径; 大大增加了诱导裂缝与天然裂缝的机会,可大大降低裂缝的表皮系数; 既具有裂缝高导流能力的增产机理,又具有高能气体压裂的热化学作用、机械作用和物理作用的增产机理。充分利用了两种压裂技术造缝机理的差异互补性,既降低了水力压裂的破裂压力,又延伸并汇聚、支撑了高能气体压裂的多条径向裂缝,形成了一个较大半径的破碎带。这大大减小了流体在井筒周围的附加阻力,使地层的油气渗流状况大为改观,增加产量; 大幅度降低水力压裂的破裂压力。

## 2.3 “层内 爆炸改造油藏技术<sup>[11],[12]</sup>

液体药在地层裂缝中燃烧爆炸技术最早始于 1946 年,是美国用硝化甘油进行的,药量 9 t,但由于提前引爆,未获增产。之后,在洛克斯芳林格斯页岩油田找到了可注入液态炸药的地层,在其中注入了 5 t 硝化甘油,爆炸后油井产量增加了 8 倍。在 20 世纪 70 年代,有人用硝基甲烷作为主要成分(60%~80%),加入 TNT、RDX、硝化纤维素等辅料做液体药,挤入地层,在层内燃烧爆炸。在 1 口油层深约 731.5 m 的停产井,注入 1 814 kg 上述液体药,在层中爆炸后产量约提高 10 倍。另 1 口井,深 1 219 m,该井注入上述配方炸药 272 kg,计算表明约 80% 的炸药被挤入地层,爆炸后产量由 0.2 t/d 升至 6.40 t/d。其它应用情况见表 1。由表 1 可看出,层内爆炸使油井产量增加 1.5~7.0 倍,气井产量增加 1.5~14 倍。在开采砂岩储层的浅井中获得了较好的结果,证明层内爆炸在提高油井产量中具有较高效率。

经过多年的发展,国外的研究人员研发了多种炸药配方:

(1)硝化甘油。外观为无色或淡黄色液体,本身是一种猛炸药。感度极大,冲击感度 2 kg,落锤在

10 次试验中至少有 1 次爆炸的最低高度为 15 cm,摩擦感度 100%。因为感度大,运输困难,难于形成商品,之后发现能用硝化棉吸收,才广泛地用于发射药推进剂胶质炸药。硝化甘油用于油井爆炸压裂,由于运输危险,几乎不可能推广。

表 1 美国和加拿大利用层内爆炸技术的结果表

工作地区	油层岩性	深度(m)	增产系数	矿产类型
路易斯安那州阿连得(美国)	白垩	300	2.2	油
阿尔伯达省浪路布斯特克(加拿大)	海绿石	1800	3.5	气
斯品塞尔福巴	砂岩	640	7.0	油
阿尔伯达省加加里(加拿大)	砂岩	300	6.0	气
俄岩俄州龙干(美国)	致密砂岩	600	9.4	气
勘沙斯州拉依司克(美国)	石灰岩	1200	1.5	油
俄岩俄州龙干(美国)	砂岩	800	1.5~5.0	气
新墨西哥州龙考布斯(美国)	石灰岩 白云岩	1200	3.0~14.0	气

(2)硝化甘油基液体炸药 是一种用硝化甘油、二硝基甲苯、TNT 和降低冲击感度添加剂组成的混合炸药 EL - 389 - B。

(3)水基的稠化液化炸药。大不列颠专利(1286646)中提出了水基悬浮粒状硝基化合物稠化的液态爆炸混合物,如环三甲基四硝酸酯,环甲基四硝酸酯。炸药颗粒小于 0.8 mm,以便进入地层裂缝,悬浮炸药占液体重量的 25%~75%。

(4)硝基烷烃基液体炸药。即在硝基烷烃化合物中溶解一定量高性能炸药,推荐加入足量的 TNT 或当量的有机硝基化合物,以确信炸药是雷管不敏感的,能可靠地引爆;可加入研细的金属,以增加炸药的猛度。最好能加入稠化剂以保持未溶的固体处于稳定、均匀的悬浮状态。

20 世纪 70 年代以后,液体药在缝中爆炸燃烧未能得到很快的发展,其原因可能是所用硝化甘油感度过大;以后,所使用的以硝基甲烷为基的液体炸药,虽然有增产的井例,但一是价格昂贵,二是加入固体添加剂、稠化剂后,粘度加大,往井内泵送比较困难,所以没有得到更广泛的推广。

关于爆炸条件下,岩石物性有何变化,目前中科

院力学所和中国石油大学等研究单位已做了一些初步的研究工作。低渗储层的岩石也存在层理、节理、劈理等构造裂纹,只是低渗储层的这些构造裂纹贯通的极少,因此,可以认为低渗储层的岩石是一种含多个随机短裂纹的岩石介质。“层内爆炸”时,在压裂缝的面上存在多个随机短裂纹,它们受到压裂液或爆轰波以及爆燃气体的作用而扩展。加载速率低时,只有一两条初始裂纹能扩展,如水力压裂;加载速率足够高时如炸药爆轰压碎甚至压实岩石;加载速率适度时,部分初始裂纹能扩展。由于爆炸激波和爆生气体对岩石破坏的机理不同,中科院力学所和中国石油大学等单位研究了激波和爆生气体对岩石的损伤开裂作用。

### 3. 水中爆炸激波对水泥试样的损伤破坏实验

由于岩石类材料本身具有非均匀性和各向异性,做实验时测量数据散布较大,不易做基础性研究。在自然界中跟岩石性质最为接近的就是水泥混凝土材料,并且可以有效地控制水泥试样的力学性质,使试样具有可重复性。

在实验方案的设计过程中,我们通过优化实验条件、试样的位置和探头安放位置,设法屏蔽掉爆炸产物、激波的反射对实验现象的影响,确保实验现象的真实性。

通过水中爆炸激波对饱和水泥试样的冲击实验,观察到了激波掠过水泥试样损伤破坏的现象,在剪切压实区域,可以看到明显的环形波状裂纹,通过简易的渗透率实验发现,该区域具有一定的渗透率。在远区,观察到了反射拉伸波对水泥试样的破坏现象,通过测量爆炸前后水泥试样的弹性参数,发现激波掠过水泥试样后,水泥试样的损伤度在 0.1~0.45 之间,渗透率实验表明激波掠过水泥试样后,试样的渗透率可提高 4~10 倍,这对于“层内爆炸”采油技术的后续研究以及在低渗透油田中的应用具有重要的指导意义。

### 4. 爆生气体作用下水泥试样开裂规律研究

大量的实验结果表明,爆生气体作用于胶砂试样中心孔,使试样产生若干条贯通的裂缝,裂缝条数主要取决于压力峰值和压力上升时间,另外还与试样初始损伤紧密相关。设裂缝条数为  $n$ , 则:

$$n = f\left(\frac{P_m}{\sigma_c}, \frac{t}{t_c}, D_0\right)$$

式中:  $P_m$ 、 $t$ —分别为实验测到的中心孔气体压力峰值和压力上升时间;  $\sigma_c$ 、 $t_c$ —分别为试样材料的动态拉伸强度和开裂特征时间;  $D_0$ —试样的初始损伤程度。这些研究的结果将为低渗透油田的开发提供有

力的技术支撑。

实验研究表明,激波掠过水泥试样后,水泥试样的渗透率就能提高数倍,而炸药在水力裂缝中的爆炸除了激波对岩石的损伤作用,还有爆生气体对岩石的损伤作用,爆生气体可使岩石中的微裂纹进一步扩展,文献<sup>[11]</sup>中,作者提到主裂缝周围的爆燃裂缝的长度长于 2 m。文献<sup>[13]</sup>中,作者指出增加主裂缝周围爆燃裂缝的条数,可以增加油井的增产倍数,作者计算了主裂缝周围仅有 4 条缝的时候,爆燃前后油井的增产倍数为 1.55,而实际上主裂缝周围的爆燃裂缝的条数远远多于 4 条。由此可见,水力裂缝“层内爆炸”采油技术是一项具有巨大增产潜力的油藏改造技术,这项技术的实现不仅有希望显著提高难采低渗透油气井的采收率,还有可能把一些目前还不可采的低渗透油气藏改造成可采资源。

随着科技的发展和人们认识水平的提高,国内外专家对这项技术又提出了一些的新设想,尽管用于现场试验还没有提到“议事日程上来”,但基本原理和小型模拟试验是可行的。相信在不久的将来,液体药在层内爆炸一定会得到实质性的突破。

## 三、利用爆炸技术对低渗透油藏进行改造的发展趋势

### 1. 在低渗透油藏改造的理论和增产机理方面实现多学科交叉

低渗透油藏的改造理论和增产机理涉及到很多学科,如油藏地质、地球物理、油藏工程、采油工程、钻井工程、油田化学、工程爆破、炸药技术、波动理论等,因此,在研究的过程中,必须将这些学科紧密结合起来。要以经济效益为中心,以油藏地质和油藏保护为出发点,最终实现低渗透油藏的高效开发。

### 2. 爆炸技术和多种现有技术联合作业

两项或多项技术的联合作业一方面可以实现技术上的优势互补,实现低渗透油藏的最大幅度增产,另一方面可以提高能量的利用率,大幅度降低作业成本。目前高能气体压裂与射孔的复合技术、高能气体压裂与水力压裂的复合技术等已经开始在油藏改造中应用,增产效果比较明显。

### 3. 水力裂缝“层内爆炸”

采油技术是一项具有巨大增产潜力的油藏改造技术,这项技术的实现不仅有希望显著提高难采低渗透油气井的采收率,还有可能把一些目前还不可采的低渗透油气藏改造成可采资源,鉴于目前低渗透油田在石油工业发展中的重要地位,建议对该技术开展全面的研究。

笔者认为将复合射孔、水力压裂、“层内”爆炸技术联合作业是油藏改造的最优方法之一,首先进行高能气体压裂与复合射孔的复合作业,产生不受地应力的多条径向裂缝,裂缝的长度能达到 8~10 m,然后进行大规模的水力压裂,之后进行“层内”爆炸作业,在水力裂缝周围产生多条不受地应力控制的多条小裂纹,这样深部地层的渗透率就可以得到大幅度的提高,进而提高整个油藏的采收率。

#### 参考文献

- [1] 田和金,等. 压涨对裂缝参数的影响[J]. 岩石力学与工程学报, 2003, 22(9): 1417 - 1420.
- [2] 田和金,薛中天,等. “爆炸松动”增产技术现场试验研究[C]. 油气藏改造论文集,石油工业出版社.
- [3] 石崇兵,李传乐. 高能气体压裂的发展趋势[J]. 西安石油学院学报, 2000, 15(1): 17 - 20.
- [4] 田和金,等. 高能气体压裂联作技术进展[J]. 石油钻采工艺, 2002, 24(4): 67 - 69.

- [5] 王艳萍,等. 复合射孔技术的现状与趋势[J]. 爆破器材, 2002, 31(3): 30 - 33.
- [6] 王安仕,吴晋军. 射孔 - 高能气体压裂复合技术研究[J]. 西安石油学院学报, 1997, 20(6): 61 - 64.
- [7] 秦发动,等. 我院高能气体压裂技术十年发展综述[J]. 西安石油学院学报, 1997, 12(3): 14 - 17.
- [8] 马新仿. 复合压裂技术研究[J]. 河南石油, 2001, 15(3): 39 - 41.
- [9] (美)J.L. 吉得利,等著. 水力压裂技术新发展[M]. 北京:石油工业出版社.
- [10] 米卡尔 J.,等著. 油藏增产措施(第三版)[M]. 北京:石油工业出版社.
- [11] 丁雁生,等. 低渗透油气田“层内爆炸”增产技术研究[J]. 石油勘探与开发, 2001, 28(2): 90 - 96.
- [12] 李传乐,等. 国外油气井“层内爆炸”增产技术概述及分析[J]. 石油钻采工艺, 2001, 23(5): 77 - 78.
- [13] 陈德春,等. 水力裂缝层内爆燃压裂油井产能计算模型[J]. 石油大学学报, 2005, 29(6): 69 - 73.

(编辑:黄晓川)

(上接第 43页)低原油粘度,也可膨胀地层油,但改变幅度非常有限。这与氮气与地层油的互溶能力有关。

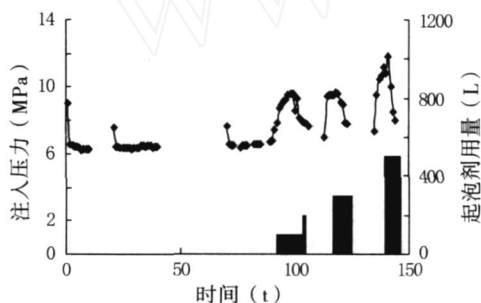


图 6 注气压力与起泡剂用量曲线图

(2)通过矿场试验,采用不同方式下注氮气对提高油藏采收率都是有帮助的,但要注意加强选井

和注气工艺参数的优化工作,特别要防止出现气窜现象。

(3)由于注气量有限,因此在矿场上注氮气更多的表现为降水增油效果,而对补充和提高地层能量的效果(如液量和动液面的变化)并不非常明显。

#### 参考文献

- [1] 郭平,等. 不同种类气体对原油物性的影响研究[J]. 西南石油学院学报, 2000, 22(3).
- [2] 李士伦,等. 发展注气提高采收率技术[J]. 西南石油学院学报, 2000(3).
- [3] 廖广志,李立众,等. 常规泡沫驱油技术[M]. 北京:石油工业出版社, 1999.

(编辑:黄晓川)

## 《中外能源》杂志订阅启事

《中外能源》杂志创刊于 1996年,为中央级科技期刊,双月刊,国内外公开发行,国内刊号 CN11 - 5438/TK,国际刊号 ISSN 1673 - 579X,大 16开,每期定价 18元,全年定价 108元,被中国期刊网、中国期刊全文数据库、中文科技期刊数据库(全文版)、中国核心期刊(遴选)数据库全文收录。

《中外能源》杂志主要栏目包括:能源战略与政策研究、可再生能源与新能源、能源百家谈、油气勘探与开发、石油炼制与化学工程、环境保护与安全、节能政策与技术、国内外能源资讯等。欢迎广大读者订阅本刊。

刊社地址:北京市东城区安外大街甲 88号;邮编:100011

开户行:北京建行地坛支行;帐号:11001042900053003411;电话:010 - 64295183;传真:010 - 64295144

邮箱:zhongwney@163.com;联系人:谢守国

**XIE Xiaoyong**, born in 1982, is studying for his Master's degree in Southwest Petroleum University, and engaged in the research on reservoirs microscopic analysis and protection. Add: State Key Laboratory of Oil and Gas Reservoir Geology and Exploitation, Southwest Petroleum University, Xindu District, Chengdu City 610500, Sichuan Province, P. R. China. Tel: 86 - 28 - 83032806. E-mail: assurexie@163.com

#### RESEARCH AND APPLICATION OF NITROGEN INJECTION BY USING DIFFERENT INJECTION MEANS IN FAULT - BLOCK OILFIELD

**ZUO Qingshan<sup>1</sup>**, WEN Hongbin<sup>1</sup>, LU Weigu<sup>1</sup> and WANG Jie<sup>2</sup> (1. Xianhe Oil Production Plant, Sinopec Shengli Oilfield Co., Ltd.; 2. Shengli Oilfield Geology Research Institute), *DPT* 30(5), 2007: 42 - 43

**Abstract:** All the fault - block oilfields face the problem of high water - cut in later period of waterflooding development. So, how to lower water - cut and EOR are always the emphases of our research. This article introduces the water - cut reducing and stimulation mechanism of nitrogen injection as well as its field application in Xianhe fault - block oilfield by using different injection means such as nitrogen soak, nitrogen - water alternating flooding and foam flooding. It also analyzes the factors of affecting nitrogen injection results, which provides some experiences for nitrogen injection in fault - block oilfields in the future.

**Key words:** nitrogen injection, nitrogen soak, alternating flooding, fault - block oilfield

**ZUO Qingshan**, born in 1978, graduated from Natural Gas Development Department of Daqing Petroleum Institute in 1978, is engaged in the research on reservoir reconstruct and reservoir protection. Add: Xianhe Oil Production Plant, Sinopec Shengli Oilfield Co., Ltd., Dongying City 257067, Shandong Province, P. R. China. Tel: 86 - 546 - 8773043. E-mail: zuo\_asin@126.com

#### APPLICATION OF THREE - LAYER AND MULTILAYER FRACTURING TECHNOLOGY IN WESTERN SICHUAN GAS FIELD

**REN Shan<sup>1,2</sup>**, WANG Xingwen<sup>2</sup>, LI N Yongmao<sup>2</sup>, LIU Lin<sup>2</sup> and HUANG Xiaojun<sup>2</sup> (1. China University of Petroleum (East China); 2. Engineering Technology Research Institute of Sinopec Southwest Petroleum Branch), *DPT* 30(5), 2007: 44 - 47

**Abstract:** According to the features of multilayer system, high sand bed superposition rate, major interlamellar spacing, etc in middle - shallow gas reservoirs in west Sichuan, three and over - three layers immobility limb multiple fracturing technology with "packer and bowl", "multilayer section combined type", "multi - packer combination" were formed based on two layers fracturing technology. These craft possess the characters of low cost, simple craft, short operation time, flowback in time, good postfracture response, and can reach the purpose of improving gas well's recoverable reserves and prolonging gas well's stable production time, and have better economic benefit for high efficiency development of multilayer gas reservoir. Three or over - three layers fracturing craft was applied in middle - shallow gas reservoir in Sichuan west, good effects have been obtained, and improved gas reservoir longitudinal drilled - meet sand bed utilization ratio. Presently, these technologies have become one of high efficiency development methods in west Sichuan gas field.

**Key words:** fracturing of separate layers, temporary plugging fracturing, combination fracture, fracturing with packers, mating technology

**REN Shan** (senior engineer, master), born in 1970, graduated from Field Development Department of Southwest Petroleum University in 1998, is engaged in the research on reservoir recon-

version. Add: Engineering Technology Research Institute, Sinopec Southwest Co., Deyang City 61800, Sichuan Province, P. R. China. Tel: 86 - 838 - 2551132. E-mail: renshan163@163.com

#### EXPLODING TECHNOLOGY AND LOW PERMEABILITY RESERVOIR IMPROVEMENT

**LI NYingsong<sup>1</sup>**, JIANG Jinbao<sup>1</sup>, SUN Fengcheng<sup>1</sup>, WANG Li<sup>1</sup>, LIU Zhaonian<sup>1</sup>, ZHANG Baokang<sup>1</sup> and DING Yansheng<sup>2</sup> (1. College of Petroleum Engineering, China University of Petroleum (East China); 2. Institute of Mechanics, Chinese Academy of Sciences), *DPT* 30(5), 2007: 48 - 52

**Abstract:** The induction of exploding technology into petroleum industry was more than 100 years, and the industrial scale application of exploding technology was more than 20 years, it involved in perforation, fracturing and so on. The new improvement technologies for low permeability reservoir using exploding in well, such as nuclear explosion technology, high energy gas fracturing, loose by exploding, combination perforation, combination fracturing and so on are summarized. At the same time, the development of low permeability reservoir improvement using exploding technology is envisaged. At last, the combination operation of perforation, high energy gas fracturing, hydraulic fracture and exploding in fracture is considered as one of the optimize schemes for the improvement of low permeability reservoir.

**Key words:** low permeability reservoir, increase production, exploding technology, combination process, in - layer explosion

**LI NYingsong** (female, associate professor), born in 1964, She has served in College of Petroleum Engineering in China University of Petroleum (East China) as a teacher, is specializing for doctorate in Institute of Mechanics in China Academy of Science. Add: China University of Petroleum (East China), Dongying City 257061, Shandong Province, P. R. China. Tel: 86 - 546 - 8393967. E-mail: sldlins@263.net

#### EXPERIMENTAL STUDY OF GAS STARTING PRESSURE GRADIENT

**WANG Daocheng<sup>1</sup>**, LIM in<sup>1</sup>, QIAO Guoan<sup>2</sup>, CHEN Hao<sup>2</sup> and SUN Lijuan<sup>2</sup> (1. State Key Laboratory of Oil and Gas Reservoir Geology and Exploitation, Southwest Petroleum University; 2. Zhongyuan Oilfield), *DPT* 30(5), 2007: 53 - 55

**Abstract:** Lots of experiments show that the low - velocity Non - Darcy phenomenon is existent when the gas passes through porous medium. Utilizing the planned "air bubble" experiment, the starting pressure gradient of the core under certain water saturation was obtained, and the flow capacity was tested at different pressure gradient, as a result, the relation of quadratic difference of pressure gradient and flow capacity was gained, at last, the correlative curve between the actual starting pressure gradient and permeability was drawn. The paper analyzed the test results of the starting pressure gradient according to a series of water saturation, and obtained two types of curve.

**Key words:** non - Darcy, starting pressure gradient, water saturation, bubble method, saturation, flow capacity

**WANG Daocheng**, born in 1981, is studying for his master's degree in Southwest Petroleum University, and engaged in the study on gas reservoir engineering. Add: Southwest Petroleum University, Xindu District, Chengdu City 610500, Sichuan Province, P. R. China. Tel: 86 - 28 - 67300858 or 83034269. E-mail: wdchhy@yahoo.com or wdcsx@163.com

#### HOMOGENEOUS ACIDIFICATION TECHNOLOGY OF HORIZONTAL WELL IN GAO QIANBEI AREA

**XU Jinhua<sup>1</sup>**, LI Yong<sup>2</sup>, YU Youyuan<sup>1</sup>, REN Xiaoqiang<sup>1</sup> and LICongrong<sup>1</sup> (1. Production Technology Research Institute,