



储层改造技术

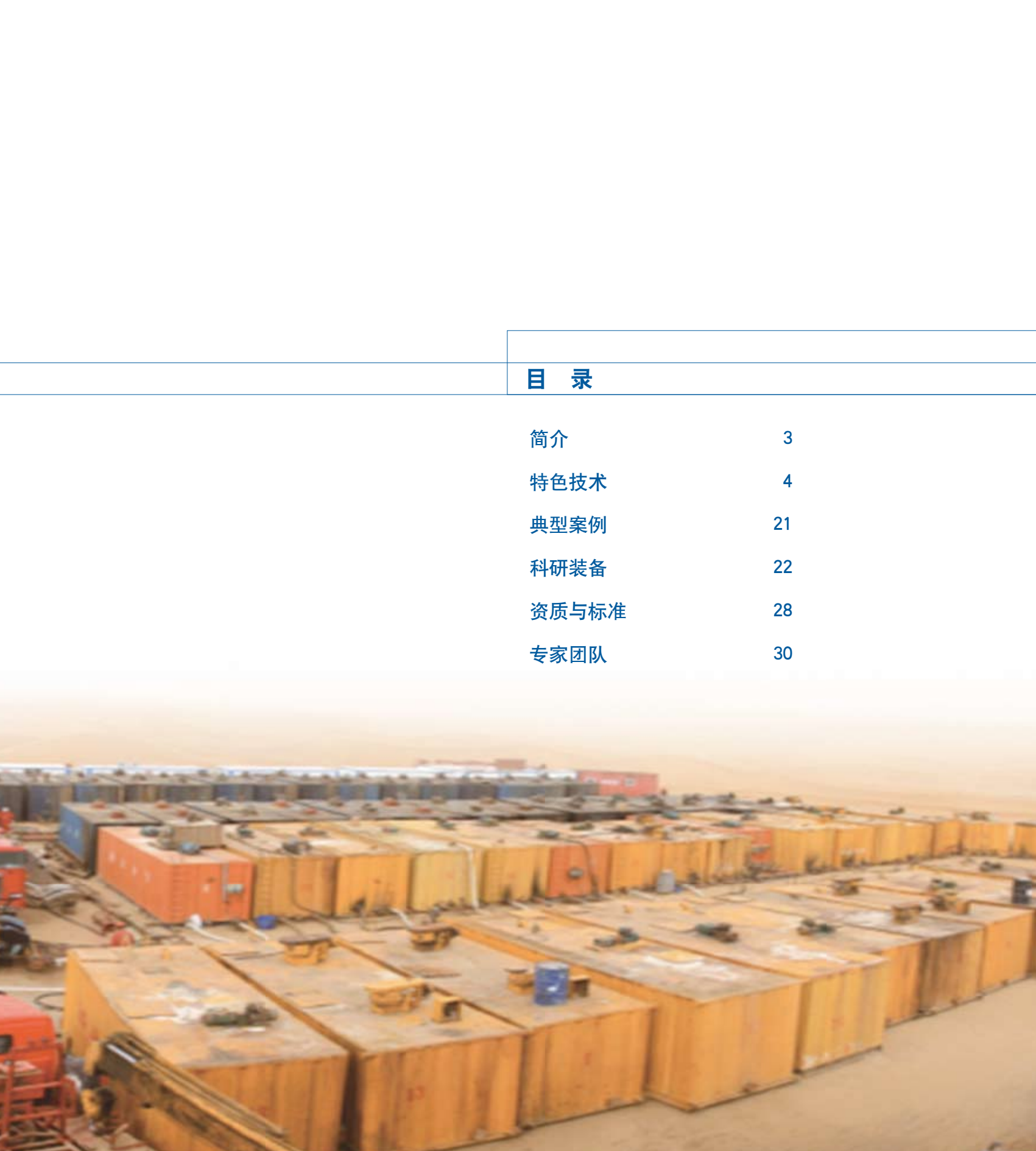
■ 2011 年



中国石油天然气集团公司 科技管理部

中国石油拥有先进的自主知识产权的储层改造技术，
油田开发更加经济高效！





目 录

简介	3
特色技术	4
典型案例	21
科研装备	22
资质与标准	28
专家团队	30



中国石油

中国石油天然气集团公司是国家授权投资的机构和国家控股公司，是实行上下游、内外贸、产销一体化，按照现代企业制度运作，跨地区、跨行业、跨国经营的综合性石油公司，下设上游 17 家、下游 33 家、销售 36 家大型企业。作为中国境内最大的原油天然气生产、供应商和最大的炼油化工产品生产、供应商之一，中国石油天然气集团 2009 年国内生产原油 10313 万吨，生产天然气 683 亿立方米，加工原油 1.25 亿吨，全年实现营业收入 1.22 万亿元，实现利润 1252 亿元，实现利润在国内企业中位居榜首。

美国《财富》杂志 2009 年度全球 500 强公

司排名中，中国石油天然气集团公司居第 13 位，在全球 50 家大石油公司中位居第 5 位。中国石油天然气集团公司履行资源、市场和国际化战略，坚持推进科技进步，实施技术创新，以全面提升技术创新能力为主线，以解决制约主营业务发展的重大瓶颈技术为重点，不断完善技术创新体系，优化科技资源配置，强化科技人才队伍建设，技术创新能力大幅度提升，技术实力显著增强，取得了一大批高水平，具有自主知识产权的创新成果。

储层改造技术就是具有代表性的重大创新成果之一。

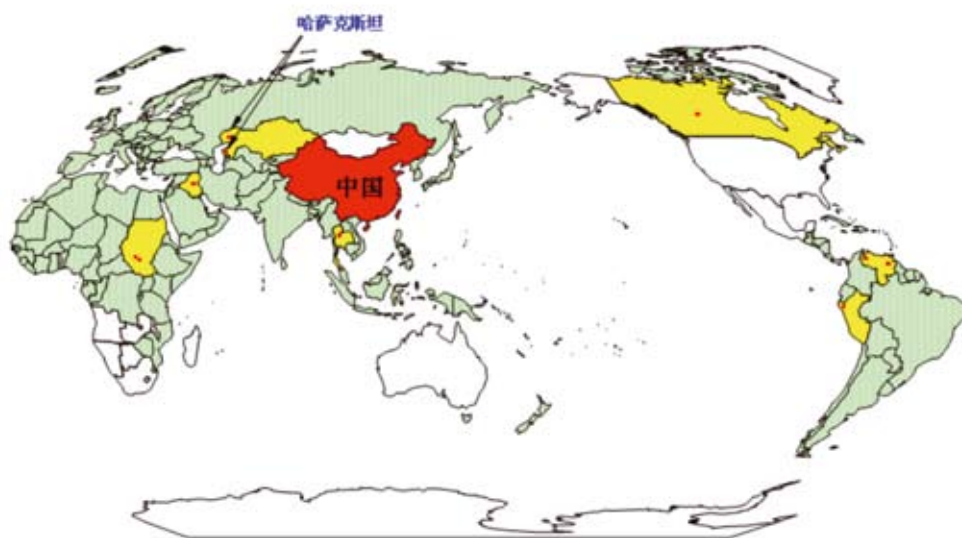
奉献能源 创造和谐

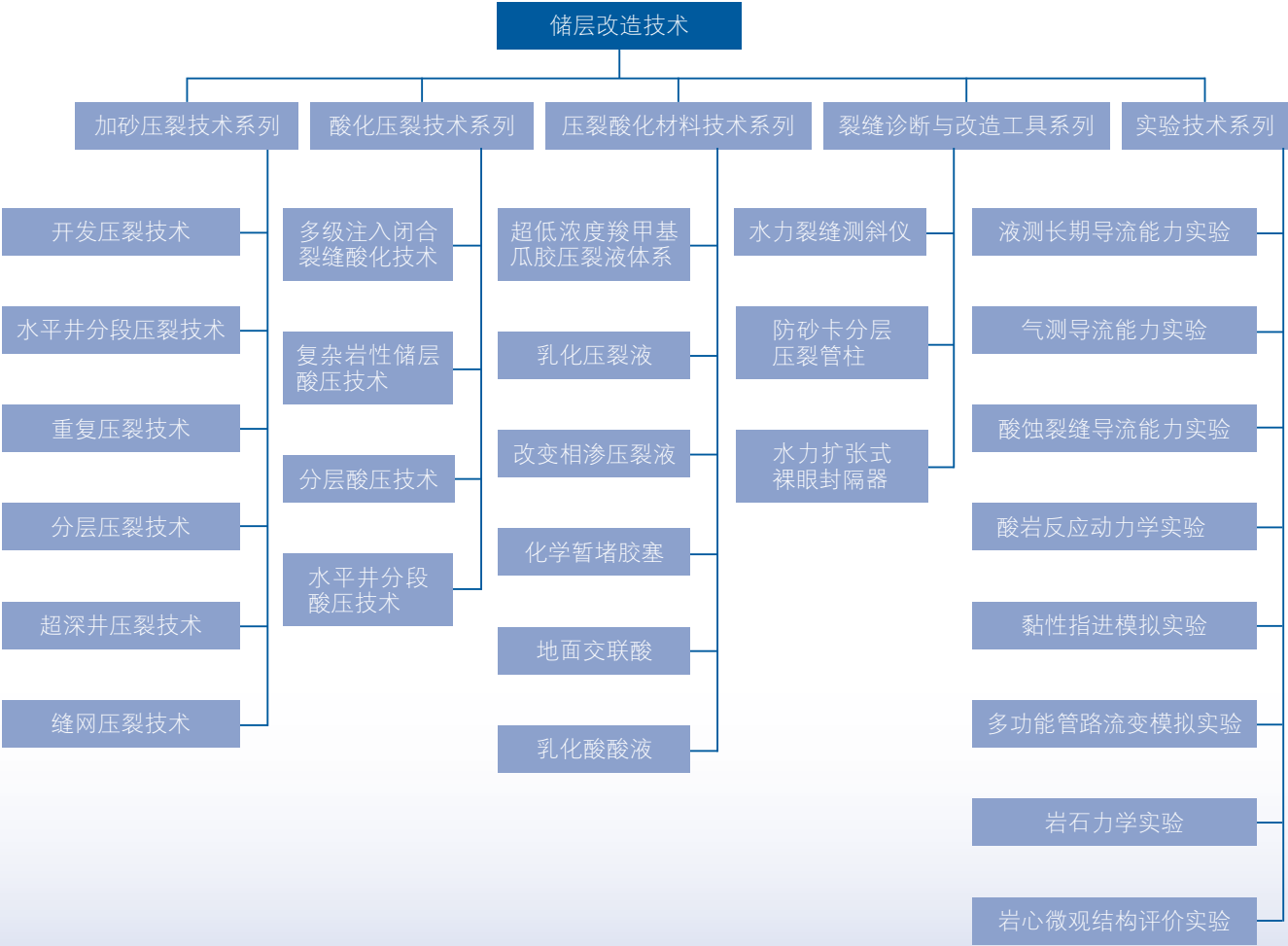
1

简介

中国石油一直致力于储层改造技术的研究与实践，自主研发了 5 大系列 27 项特色实用技术，技术优势显著，服务领域广泛，技术总体水平达到国际先进水平。可提供加砂压裂、酸化压裂、压裂酸化材料、裂缝诊断与改造工具、储层改造实验等技术服务。

储层改造技术成功应用于中国的长庆、大庆、塔里木、四川、吉林、青海、冀东和新疆等低渗透油气区，以及哈萨克斯坦、阿塞拜疆、委内瑞拉等多个国家的低渗透油气区。





2

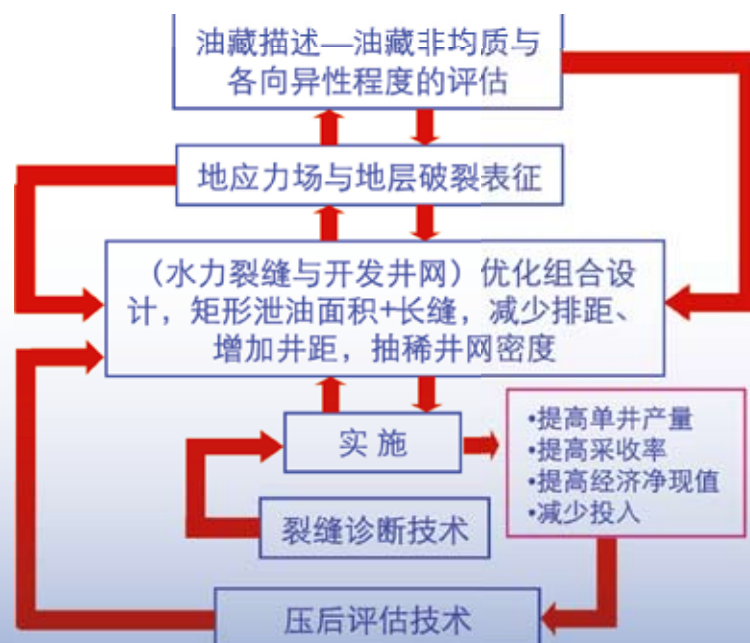
特色技术

（一）加砂压裂技术系列

通过压裂设备向目的层高压注入压裂液使地层破裂，加入支撑剂，从而在井底附近形成具有一定几何尺寸和导流能力的填砂裂缝，使油气井达到增产增注目的的工艺措施，主要包括开发压裂技术、水平井分段压裂技术、重复压裂技术、超深井压裂技术、缝网压裂技术。

1. 开发压裂技术

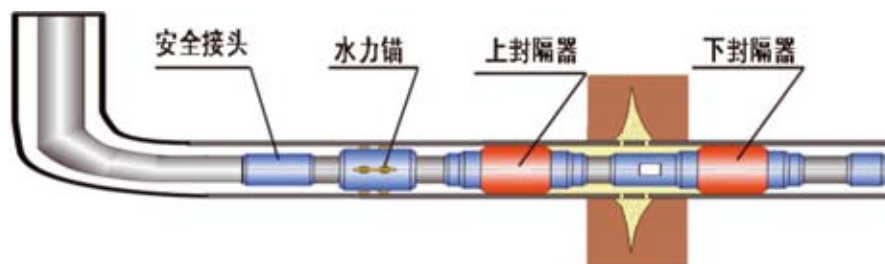
开发压裂技术是压裂工艺与油藏工程的进一步紧密结合，在考虑地应力方位的条件下，进行开发井网与人工裂缝匹配优化，相比整体压裂而言，更能最大限度地发挥水力裂缝的作用，提高低渗透油藏的产量及采出程度。



低渗透油藏开发压裂原理图

2. 水平井分段压裂技术

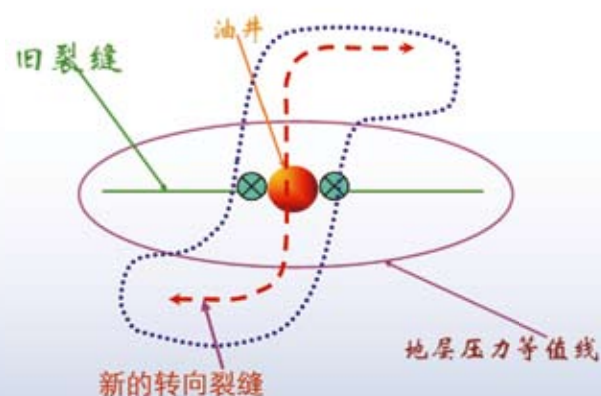
实施井下改造工具和压裂工艺组合对水平井水平段实施分段压裂改造的工艺措施，主要包括水力喷砂分段压裂、滑套封隔器分段压裂、双封单卡分段压裂、滑套 + 桥塞分段压裂、化学暂堵胶塞分段压裂等工艺技术，适用于套管、裸眼、筛管等各类完井方式的水平井分段压裂改造。



双封单卡分段压裂工具示意图

3. 重复压裂技术

对已经压裂过的储层再次压裂，恢复原有裂缝导流能力或者通过裂缝转向造新缝，实现改造井的增产稳产，关键技术包括重复压裂前选井选层技术、地应力场及裂缝转向预测技术、重复压裂转向工艺设计实施及后评估技术。适用于前次压裂失败或者失效井，以及产量已处于经济生产线以下的压裂井。



重复压裂示意图

4. 超深井压裂技术

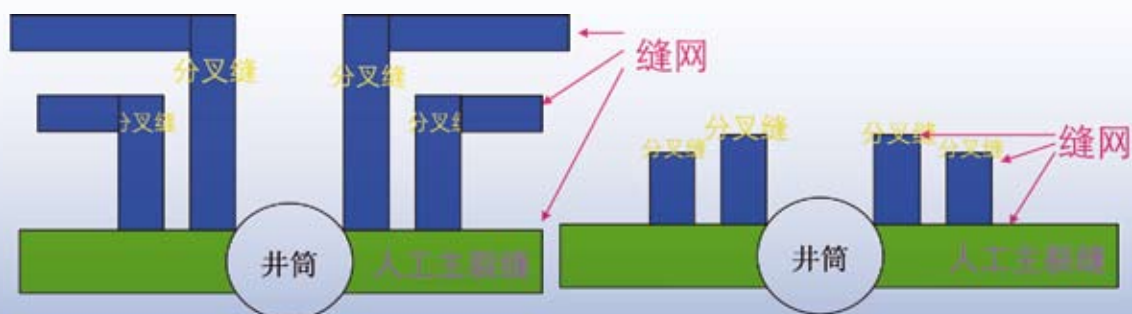
主要解决超深井（如井深大于 4500m 井）及异常高应力储层在压裂酸化施工中存在的高施工压力和高施工摩阻等难题，一般通过使用延迟交联的低摩阻压裂液和高密度加重压裂液，降低压裂液的延程摩阻、增加液柱压力，实现超深井压裂。



塔里木阿克 1 井压裂施工现场

5. 缝网压裂技术

以最大限度地提高水力裂缝的波及体积为目标，在主裂缝达到预期的缝长要求后，通过合理方法实现裂缝净压力的快速增加，使裂缝在不同位置处产生分支缝，形成以主裂缝为主干的纵横交错的“缝网”系统。其关键技术是“缝网”的实现方法，通过实现远井地带而不仅仅局限于近井筒区域的“缝网”效果，增加储层基质向人工裂缝供油、气能力，大幅提高压裂增产改造效果。



“缝网”系统形成示意图

(二) 酸化压裂技术系列

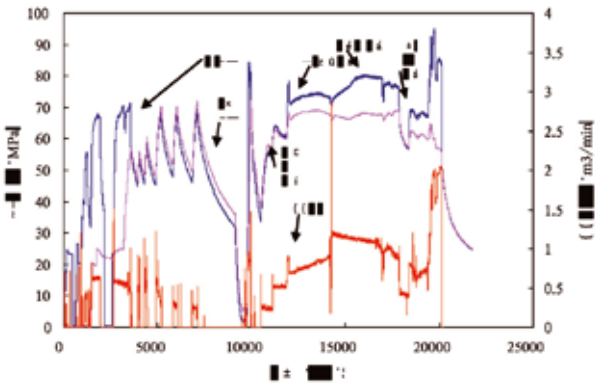
采用能够与储层岩石发生化学反应的液体对储层进行压裂施工，或者用非反应性液体和反应性液体相结合来对储层进行压裂施工，主要是在高于岩石破裂压力下将酸注入地层，通过酸液对裂缝壁面物质的不均匀溶蚀形成高导流能力的裂缝。主要特色技术包括复杂岩性储层酸压技术和分层酸压技术。

1. 复杂岩性储层酸压技术

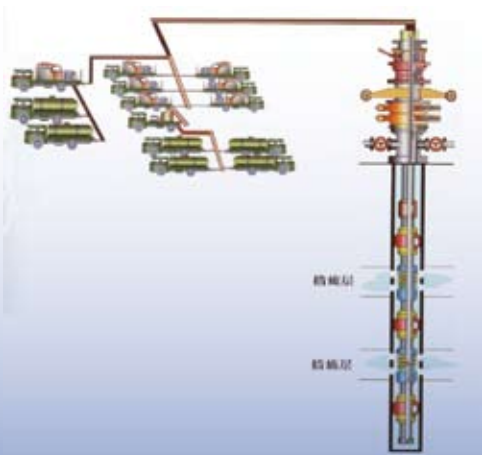
主要针对以碎屑岩、碳酸盐岩、黏土矿物各占三分之一为特征的复杂岩性储层，采用前置酸液体系压开储层并形成有效的酸蚀裂缝，采用闭合酸液体系溶蚀近井地带储层中碎屑岩及黏土矿物，提高近井地带储层的导流能力。适用于复杂岩性储层的酸压改造。

2. 分层酸压技术

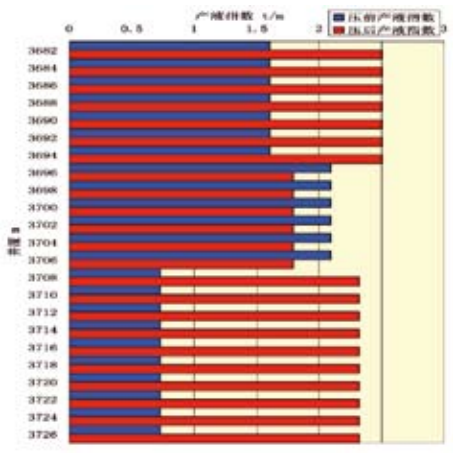
分层酸压技术通过机械封隔器分层、投球分层、工具 + 投球组合分层及变黏转向酸液体系分层等技术，最大限度的提高储层动用程度，实现纵向上各油气层的均衡改造，提高单井产量。适用于纵向小层分布多的碳酸盐岩储层改造。



隆 8 井酸压施工曲线



封隔器分层酸压管柱示意图



2015 井分层酸压前后产液剖面对比

（三）压裂酸化材料技术系列

压裂酸化材料是指应用于压裂酸化改造过程中的各种压裂液和酸液体系，主要包括超低浓度羧甲基瓜胶压裂液体系、乳化压裂液体系、改变相渗压裂液体系、化学暂堵胶塞、地面交联酸体系。

1. 超低浓度羧甲基瓜胶压裂液

低浓度羧甲基瓜胶压裂液，是现有瓜胶压裂液的一次技术革新，突破羧甲基瓜胶的“超低浓度交联技术”瓶颈，解决了常规压裂液残胶伤害高、超高温深井应用难度大的难题。已形成耐温 $50 \sim 190^{\circ}\text{C}$ 的羧甲基瓜胶压裂液体系，稠化剂使用浓度比常规羟丙基瓜胶低 $20\% \sim 50\%$ ，液体摩阻比常规羟丙基瓜胶压裂液降低 $30\% \sim 40\%$ ，残渣和残胶伤害比常规羟丙基瓜胶压裂液降低 $25\% \sim 55\%$ 。



羧甲基瓜胶压裂液挑挂性能



羧甲基瓜胶压裂液悬砂性能

2. 乳化压裂液

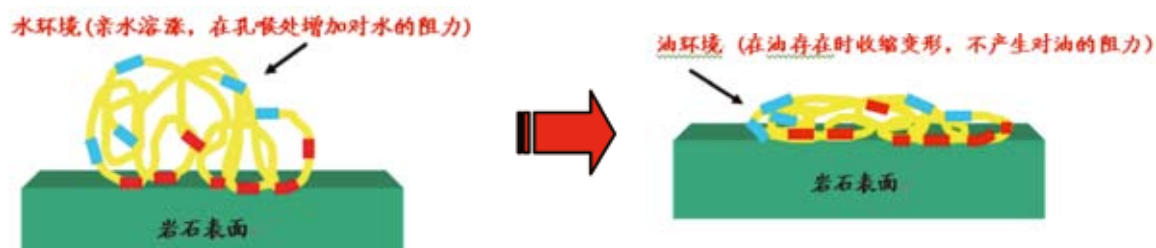
乳化压裂液是由油相、水相和两界面上吸附或富集的表面活性剂形成稳定的乳状液，分为水包油乳化压裂液和油包水乳化压裂液。乳化压裂液通过附着在油水两相界面的表面活性剂，将油水两相紧密结合起来，形成稳定的乳状液，具有滤失量低，液体效果高，对地层伤害小的特点。



乳化压裂液

3. 改变相渗压裂液

改变相渗特性压裂液在地下交联聚合形成水溶性刷式聚合物，聚合物中亲水的 $-\text{CONH}_2$ 和 $-\text{COO}-$ 等基团通过氢键、静电和范德华力等作用，吸附在岩石孔隙结构表面。而未被吸附的部分基团可在水中伸展，增加水的流动阻力，降低地层水的渗透性。但当油气通过水膜孔道时，由于聚合物分子不亲油，分子不能在油中伸展，因此对油的流动影响很小。改变相渗特性压裂液在压裂前注入地层，完成交联聚合后进行正式压裂，具有选择性改变水相渗透率的特性。



改变相渗压裂液作用机理

4. 化学暂堵胶塞

通过化学交联聚合作用，形成高强度的胶体，对油井进行暂时性封堵的化学液体体系。在压裂改造过程中可以对施工井段进行精确封堵分层，代替机械封隔器完成分层压裂施工，具有抗压强度大、成胶和破胶时间可控、破胶后无残渣、低伤害等特点。



化学暂堵胶塞

5. 地面交联酸

通过交联高分子聚合物形成冻胶，提高酸液的黏度，减缓酸岩反应速度，降低酸液的滤失，实现碳酸盐岩储层深度改造。地面交联酸酸压技术和携砂酸压技术应用，成为碳酸盐岩储层深度改造最有效的技术。

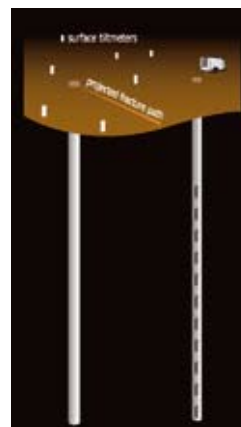


地面交联酸携砂

(四) 裂缝诊断与改造工具系列

1. 水力裂缝测斜仪

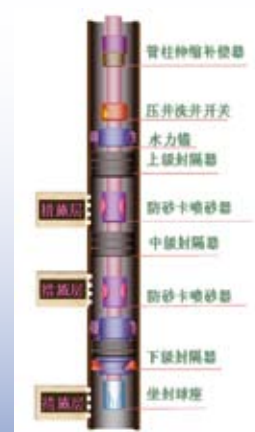
一种有效裂缝诊断工具，通过测量压裂过程中岩石变形认识水力裂缝方位、形态和几何尺寸。适用于井深小于 4000m 的井。



井下测斜仪测试示意图

2. 防砂卡分层压裂管柱

管柱主要由管柱伸缩补偿器、水力锚、压井洗井开关、防砂卡喷砂器和防砂卡工具、压裂封隔器、坐封球座等工具组成。适用于 5000m 以内的直井和井斜小于 45° 的斜井。

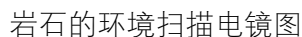
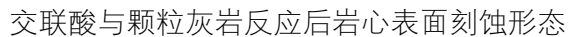
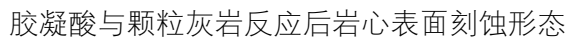
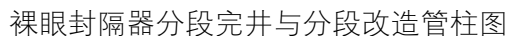


管柱示意图

采用膨胀胶筒为密封元件组成无阀系组合控制座封的 K344 型和有阀系组合控制座封的 K341 型两大系列。可用于裸眼井、套管井的分层改造施工和复杂油、气、水井完井工程中, 以实现各种目的的井下封隔与桥堵。

储层改造实验技术是指为压裂酸化储层评价、岩石力学与裂缝诊断、支撑剂导流能力、压裂酸化流体评价、微观孔隙结构评价等提供特定基础数据的分析测试。

多功能管路流变模拟实验装置



3

典型案例

(一) 加砂压裂

在长庆靖安油田 ZJ60 开发试验区压裂 34 口生产井，施工成功率 97%，有效成功率 100%，实施后注采效果明显改善，单井产量平均提高 1.7 倍，采出程度提高 7%。

水平井分段压裂技术在低渗透油气藏实施了近 400 口井，平均压后稳定产量是直井压裂的 3.3 倍以上。

重复压裂技术在吉林、胜利、二连、吐哈、吉林等油田先后推广应用 133 口井，压后含水稳定，增产倍数一般在 2 倍以上。其中在吉林油田新民、扶余油田重复压裂实施了 32 口井，平均单井增产比以往提高了 24%，平均增产有效期从 142 天提高到 300 天，取得很好的增产效果。

超深井压裂技术在塔里木、四川、玉门等油田得到广泛应用。目前加砂压裂最大井深突破 6740m。

缝网压裂技术在长庆、大庆、吉林等油田试验应用 26 口井，均取得成功，平均单井产量提高 28%。已成为低渗透致密油气藏提高改造体积的一种新方法，具有广泛应用前景。

(二) 酸化压裂案例

复杂岩性储层酸压技术在玉门青西油田 2001 ~ 2004 年的现场实践中，施工 48 井次，施工成功率达 100%，有效 36 井次，措施有效



长庆油田开发压裂施工现场



塔里木超深井压裂施工现场



超低浓度羧甲基瓜胶压裂液施工现场

率 75%，措施累计增油量 25.49×104 吨。典型井隆 8 井 2002 年 05 月 18 日施工，酸压前 60t/d，酸压后 154t/d，目前产量 35t/d，有效期超过 7 年，累计 2815 天。

分层酸压技术在哈萨克斯坦让纳若尔油田和肯基亚克油田应用 285 口井，平均单井日增油 22.6t/d，平均增产有效期 629 天，累计增产原油达到 202×104 t，其中单井最高累计增油 4.07×104 t，最长增产有效期达 1671 天。



哈萨克斯坦分层酸压施工现场

(三) 压裂液

超低浓度羧甲基瓜胶压裂液已在长庆、吉林、冀东、海塔、华北、青海、塔里木等多个油气田成功应用 39 井次，其中吉林长深 5 井温度 183°C ，井深 5224m，施工压力高达 83 ~ 88MPa，加砂 55m³，压后日产气 3.0 万方；吉林昌 37 井高温深层火山岩储层大型压裂，成功加砂 154m³；冀东南堡 5-98 井高温深层火山岩储层大型压裂，最长连续施工时间 4 小时，最大液量 1200m³。

乳化压裂液体系在青海油田、吉林油田和吐哈油田等强水敏储层中成功应用 152 口井，取得效果。其中青海乌南绿草滩、七个泉和红柳泉使用乳化压裂液，压裂施工成功率从往年的不足 50% 提高到 87% 以上，落实乌南斜坡区 5500 万吨级储量；吉林探井伊 59 井压后日产油 182.1m³，落实石油预测储量 1.2631 亿吨；吐哈三塘湖使用乳化压裂液最终返排率 70% 以上，较水基压裂液提高 40%。



水平井分段酸压施工现场（地面交联酸）

2007 年在塔中 724 井 5529 ~ 5550m 层段进行了交联酸加砂压裂，加砂 36.2m³，实现国内首次在井深超过 5000m，温度高于 143°C 地层中成功交联酸加砂施工，目前已在油田完成了近百井次的地面交联酸酸压和携砂酸压技术应用，成为碳酸盐岩储层深度改造最有效的技术。

4

科研装备

中国石油拥有符合 ISO/IEC17025:2005 “检测和校准实验室能力的通用要求” 的国家实验室认可和计量认证的油气藏改造重点实验室, 实验室建筑面积 6000m², 拥有各类实验设备 200 台 (套), 其中大型实验设备软件 50 台 (套)。可以进行经过国家实验室认可的包括流体、支撑剂、岩石三大类的 15 个项目和 102 个参数的评价和检测。油气藏改造重点实验室主要围绕国内外低渗透油气藏, 从提高储量品位与产能水平出发, 针对特低渗砂岩油气藏、低渗碳酸盐岩油气藏及火山岩、砂砾岩等特殊岩性储层, 在压裂酸化技术领域, 进行原始性技术创新实验研究, 开发压裂酸化新工艺、新材料和新技术, 为低渗透油气藏的经济有效开发提供强有力的技术支撑。



三轴岩石力学实验装置



支撑剂导流实验装置



大型多功能回路实验装置



旋转圆盘酸岩反应实验装置



透明平行板黏性指进研究大型物模



大型透明管路水平井液体流态模拟研究物模

5

资质与标准

企业资质

自 1997 年通过国际标准化组织 (ISO) 质量体系认证之始, 持续改进, 获得 ISO9001:2000 质量管理体系, 具有压裂液评级、压裂改造工程技术服务等国家甲级资质, 获得国家 (AAA) 级信誉等级证书。2000 年通过 ISO/IEC17025:2005 “检测和校准实验室能力的通用要求” 的国家实验室认可和计量认证。

技术标准

主持制订了 35 项有关储层改造领域的国家和行业标准, 始终在 API 国际行业标准内精益求精, 技术工艺、产品装置与业界全面接轨和融合。



6

专家团队



雷 群 教授级高级工程师，高级技术专家，获得国家成果奖 1 项、省部级成果奖 16 项、局级成果奖 26 项，合著专著 7 部，发表论文 60 篇。
联系方式：010-69213526
Email: leiqun@petrochina.com.cn



丁云宏 教授级高级工程师，高级技术专家，获得国家成果奖 1 项、省部级成果奖 6 项、局级成果奖 25 项，合著专著 3 部，发表论文 35 篇。
联系方式：010-69213347
Email: dyhong@petrochina.com.cn



胥 云 高级工程师，长期从事压裂酸化技术为主的应用基础理论、工艺技术、软件模型、酸岩反应机理、现场应用及管理工作。负责、参与各类科研项目 79 项。获得国家级成果奖 1 项、省部级成果奖 17 项、局级成果奖 28 项，合著专著 4 部，发表论文 50 篇。
联系方式：010-69213451
Email: xuyun69@petrochina.com.cn



王振铎 高级工程师，长期从事油气藏改造压裂酸化工艺技术研究，负责和参加了深井超深井压裂酸化改造、油田整体压裂改造、碳酸盐岩储层深度酸压改造、水平井压裂改造等重大攻关课题 30 余项。先后获得省部级成果奖 10 项、局级成果奖 10 项，发表论文 14 篇。
联系方式：010-69213431
Email: wangzd69@petrochina.com.cn



崔明月 高级工程师，长期从事压裂酸化材料研发、实验评价、标准化、压裂酸化工艺研究及相关应用技术等研究工作。获得省部级成果奖 3 项、局级成果奖 14 项，申请专利 3 项，起草行业标准 6 项，合著专著 1 部，发表论文 35 篇。
联系方式：010-69213447
Email: cmy69@petrochina.com.cn



王永辉 高级工程师，长期从事压裂酸化工艺、水力裂缝模拟及油气藏模拟等应用基础和应用技术研究。负责、参与研究课题 45 项。获得省部级成果奖 3 项、局级成果奖 19 项，合著专著 3 部，发表论文 39 篇。
联系方式：010-69213019, wyh196469@petrochina.com.cn



管保山 高级工程师，长期从事压裂酸化技术为主的应用基础理论、新型压裂液体系及相关添加剂的开发与现场应用等工作。负责、参与研究课题 30 余项。获得省部级成果奖 1 项、局级成果奖 32 项、专利 2 项，发表论文 40 余篇。
联系方式：010-69213477, gbs_cq@petrochina.com.cn



联系人: 刁顺 先生
电 话: 59986059
Email: sdiao@cnpc.com.cn

Contact: Mr. Diao Shun
Tel: 59986059
Email: sdiao@cnpc.com.cn

