



# 低渗透油气田开发技术

2011 年



中国石油天然气集团公司 科技管理部

我们愿把在低渗透油气田开发领域取得的先进技术和成功经验与世界分享！





## 目 录

简介	3
特色技术	4
典型案例	14
科研装备	17
资质与标准	19
专家团队	20



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，中国石油天然气集团 2010 年国内生产原油 10500 万吨，生产天然气 725 亿立方米，加工原油 1.35 亿吨，全年实现营业收入 1.72 万亿元，实现利润 1727 亿元，实现利润在国内企业中位居榜首。

美国《财富》杂志 2010 年度全球 500 强公司排名中，中国石油天然气集团公司居第 10 位，

在全球 50 家大石油公司中位居第 5 位。

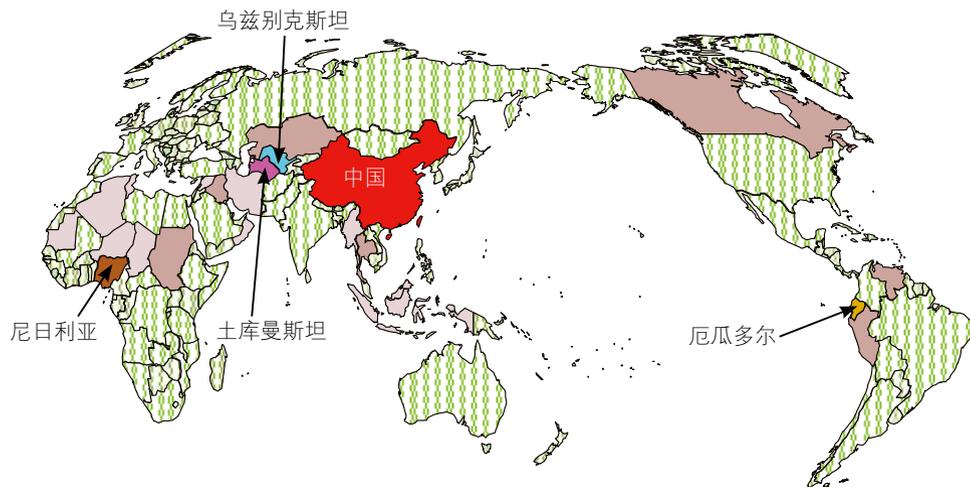
中国石油天然气集团公司履行资源、市场和国际化战略，坚持推进科技进步，实施技术创新，以全面提升技术创新能力为主线，以解决制约主营业务发展的重大瓶颈技术为重点，不断完善技术创新体系，优化科技资源配置，强化科技人才队伍建设，技术创新能力大幅度提升，技术实力显著增强，取得了一大批高水平，具有自主知识产权的创新成果。

低渗透油气田开发技术 (LPRD) 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



自 1970 年起，中国石油开始致力于低渗透油气田工程技术的探索与研究，如今已成为石油界出色的低渗透、低压、低丰度油气田开发的实践者，在油气田钻完井、储层增产改造、地面建设工程设计与施工等领域，自主研发了具有业界领先水平的低渗透特色工程技术系列，取得了丰富的应用经验和成果。

“挑战低渗透储层极限”是中国石油不懈努力的方向，经过近 40 年的探索与实践，成功解决了复杂地貌、致密储层和低品位油气藏三大

世界级难题，培育出三大系列 10 项工程技术体系，逐步实现了从平均渗透率低于 20mD 到低于 1mD 油气田的经济有效开发。如今又开始了挑战 0.3mD 特低渗透油气田的新征程。

上世纪 90 年代末开始，中国石油把特色技术输送到壳牌、道达尔公司在中国的合作区块，以及中亚、南美、东南亚等地区的多家油公司。

中国石油愿将低渗透油气田开发领域内的先进技术与成功经验与世界共享。

### 低渗透油气田钻（完）井技术系列

欠平衡钻井技术  
钻完井液技术  
低压易漏低渗透长裸眼井固井技术

### 低渗透油气田地面工程技术系列

低渗透气田地面工艺技术  
低渗透油田地面工艺技术  
优良的地面集输工艺装置

### 低渗透油气田增产改造技术系列

低压、低渗透油气田开发改造技术  
低孔、低渗碳酸盐岩储层增产工艺技术  
底水油藏改造技术  
压裂液及配制技术  
老油田增产挖潜技术

# 2

## 特色技术



### 低渗透油气田钻（完）井技术系列

以提高钻井速度、降低钻完井过程对储层的伤害为主攻方向，形成了适应复杂地表和低渗透储层的欠平衡钻井、易漏长裸眼固井及配套钻完井液体系等主体技术。

### 欠平衡钻井技术

从 1986 年开始研究欠平衡钻井在低渗透油气田的应用，具有丰富的欠平衡钻井理论与实践。掌握不同循环介质（包括空气、天然气、氮气、雾化液、泡沫、可循环泡沫钻井等）的欠平衡钻井作业一体化技术。

拥有全套欠平衡设备，包括空气压缩机、增压机、旋转控制头、雾化泵、空气锤、制氮设备以及钻杆浮阀、套管阀等专利产品。拥有自主研发的欠平衡钻井软件，可利用项目工程区域内的地震、测井和钻井数据进行欠平衡钻井可行性评价，包括地层稳定性、出水分析，进行欠平衡钻井方案设计。

可实现全程实时监控与分析，现场工程师通过专有应用软件接驳 Internet 获得远程基地技术中心实时支持，保证欠平衡作业最优化。

五项国家专利技术确立中国石油欠平衡钻井服务的领先优势。

- 专利一：气体钻井装置
- 专利二：气体钻井钻杆浮阀
- 专利三：气体钻井套管阀
- 专利四：旋转控制头
- 专利五：空气锤



### 钻完井液技术

储层有效保护是低渗透油气田经济有效开发的关键之一，中国石油长期致力于储层保护技术的研究与应用，拥有一支经验丰富的油气层保护专家队伍和完备的实验室，可针对不同区域储层的地质特征开展评价研究，进行最适合目的储层的钻井（完井）液体系设计，并提供从设计到施工的一体化服务。

已得到成熟应用，并赢得良好市场信誉的钻（完）井液体系有：

- 可生物降解的无土相低伤害暂堵钻井（完井）液
- 可循环微泡钻井（完井）液
- 适合水锁及水敏储层的油溶暂堵钻井（完井）液
- 适宜于油藏保护的无固相低伤害钻井（完井）液
- 适合储层原始特性评价的低密度油基钻井（完井）液体系

### 低压易漏低渗透长裸眼井固井技术

历经 20 多年的研究探索和 2000 余口井的实践，积累了丰富的低压易漏低渗透长裸眼井固井作业经验，固井质量一次合格率超过 98%。

拥有资深的专家、先进的设计与模拟软件，可针对不同承压能力地层自主设计低密度水泥浆，进行固井作业。





### 低渗透油气田增产改造技术系列

着力改善渗流环境、增大泄流面积，中国石油形成了针对低渗透砂岩、碳酸盐岩致密储层，融合配套作业工具及专利液体体系的油气井增产和老井稳产特色工艺技术。可提供压裂地质研究和技术评估、区块整体开发、单井压裂设计与施工，并承担控底水压裂、水平井压裂、多裂缝压裂、膨胀管套损井修复等作业，进行全程压裂测试分析，及其配套工具研造及液体设计。

### 低压、低渗透油气田开发改造技术

包括四个单项技术：开发压裂改造技术、水平井机械隔离分段压裂技术、CO<sub>2</sub> 泡沫压裂工艺技术和不动管柱分层压裂工艺技术。开发压裂改造技术用于低渗透油田新开发区块的整体压裂改造。水平井机械隔离分段压裂技术用于对射孔完井的水平井实施分段压裂，对裸眼水平井实施酸化。CO<sub>2</sub> 泡沫压裂工艺技术特别适用于低压、低渗，易水敏、水锁的储层。不动管柱分层压裂工艺技术适用于低压、低渗、低产的多套储层分层压裂改造、合层开采。

### 低孔、低渗碳酸盐岩储层增产工艺技术

低孔、低渗碳酸盐岩储层增产工艺技术包含二个单项技术：碳酸盐岩储层水力压裂技术和交联酸加砂压裂技术。水力压裂技术适合于  $155 \mu\text{s}/\text{m} < \Delta t < 160 \mu\text{s}/\text{m}$ 、 $2.6\% < \Phi < 4\%$ 、 $S_g < 70\%$  的致密、酸敏性碳酸盐岩储层压裂改造。交联酸加砂压裂技术适合于  $155 \mu\text{s}/\text{m} < \Delta t < 160 \mu\text{s}/\text{m}$ 、 $2.6\% < \Phi < 4\%$ 、 $S_g < 70\%$  的致密、弱—无酸敏碳酸盐岩储层压裂改造。

### 底水油藏改造技术

底水油藏改造技术由控水压裂技术和高能气体压裂技术二个单项技术组成。控水压裂技术主要用于中低渗透底水油藏压裂改造。高能气体压裂主要用于底水油藏改造、近井地带解堵和注水井增注。



### 压裂液及配制技术

压裂液及配制技术由三个部分组成：连续混配压裂施工工艺技术、低分子环保压裂液(LMF)和酸性压裂液。连续混配压裂施工工艺技术用于油气田压裂液现场批量配制和边配边注压裂施工，可大幅度提高作业效率。低分子环保压裂液(LMF)适用于温度小于 $120^{\circ}\text{C}$ 油气层的压裂，返排出的液体可循环使用。酸性压裂液适用于一般的低渗透油气层压裂改造，更适合于无-弱酸敏的砂岩油气层。

### 老油田增产挖潜技术

老油田增产挖潜技术包括：套管深井阴极保护、多裂缝压裂工艺和膨胀管套损井修复三

个单项技术。套管深井阴极保护技术适用于深度为 $5000\text{m}$ 以内油井、注水井、气井的套管的外部腐蚀防护，对于高矿化度盐水、 $\text{H}_2\text{S}$ 、 $\text{CO}_2$ 、微生物、氧浓差、杂散电流、电偶等因素引起的电化学腐蚀具有明显的减缓或消除作用。多裂缝压裂工艺适用于低渗透油田老井重复压裂挖潜及新井投产改造。膨胀管套损井修复技术适用于 $\Phi 139.7\text{mm}$ 生产套管油、水井的套损井的修复。

### 低渗透油气田地面工程技术系列

以“简化优化，经济高效”为目标，形成了一套适用于复杂地貌环境和低渗透油气田，“短(流程)、小(设施)、简(化工艺)、优(化系统)”的集输工艺，以及一批自主研发和制造、具有高技术水准的地面配套装置，可结合地貌及井筒特征，量身提供先进的油气田地面EPC总承包工程服务，并可提供地面专用集输装置的设计研发和制造。

### 低渗透气田地面工艺技术

低渗透气田地面工艺技术由高压常温集气工艺、高压低温集气工艺和中低压多井串接集气工艺组成。高压常温集气工艺适用于低渗透、低丰度、气藏压力高、压降慢、气井生产比较稳定，单井产量低的气田以及天然气中含 $\text{H}_2\text{S}$ 、 $\text{CO}_2$ ，不含或微含凝析油的气田。高压低温集气工艺适用于低渗透、低丰度、地层压力高、压

降慢、气井生产比较稳定的气田，以及天然气中的  $\text{H}_2\text{S}$  和  $\text{CO}_2$  含量少、但含有一定量的  $\text{C}_{6+}$  重组分的气田。中低压多井串接集气工艺适用于低渗透、低丰度、低产、非均质性强的气藏，以及压力衰减快，每亿方产能建井数多，气井生产不稳定的气田。

### 低渗透油田地面工艺技术

低渗透油田地面工艺技术包括：丛式井单管不加热密闭集输工艺；全过程油气密闭集输工艺；一级除油、两级过滤采出水处理工艺；树枝状单干管稳流阀组配注、活动洗井注水工艺。丛式井单管不加热密闭集输工艺是指通过对采油井口示功图数据进行自动采集、无线传输和数据处理分析，实现油井生产的动态监测和产量计量。全过程油气密闭集输工艺是指在井口采用定压阀回收井口套管气，在联合站内采用三相分离脱水工艺，实现油气水密闭采集和分离，达到油田气利用率 100%、处理率 100%、回收率 90% 以上。一级除油、两级过滤采出水处理工艺是指先除油、后除悬浮物技术，除油工艺采用重力式粗粒化斜管除油罐（专利号 ZL02232889.0），除油效率高、运行稳



定，该项技术的应用可以达到含油污水处理率 100%。树枝状单干管稳流阀组配注、活动洗井注水工艺是指采用树枝状注水管网，多站联网注水，实现注水管网的最优化，提高注水系统效率，该项技术应用可以达到注水系统效率 > 55%，注水泵运行效率 > 80%，处理后污水回注率 100%。



### 优良的地面集输工艺装置

橇装三甘醇脱水装置集加热、脱水、溶剂再生、计量一体化，采用气动仪表控制基本实现了自动化，溶剂循环泵为差压式柱塞泵，不需外接电源。水露点小于 $-13^{\circ}\text{C}$ 。

**多井式加热炉**可以同时多口井同时加热，且能自动调整水浴温度。热效率大于 58%。

**小型轻烃回收装置**是利用油田伴生或放空气（大罐挥发气、原油稳定气、分离缓冲罐气或油井套管气等）生产液化石油气和稳定轻烃的工艺技术及成套装置。可有效提高对伴生气的综合利用，避免有害气体进入大气环境，降低生产安全隐患。

**真空相变加热炉**利用相变原理进行蒸汽和介质换热，热效率可达 86% ~ 90% 以上，体积小，在真空状态下运行，安全可靠，炉体无爆破之忧。加热系统为密闭自循环式，工作时无需补水，可根据负荷变化自动调节，尤其适用于负荷波动和无人值守的场合。采用全自动监控系统，结构紧凑，功能齐全，可做单系统加热用，也可集多系统加热于一体。





### 典型专利技术

作为低渗透油田开发技术不断探索和实践者，中国石油拥有 16 项发明专利、123 项实用新型专利和 3 项外观设计专利。这些专利及相应的产品奠定了长庆石油勘探局在低渗透油田开发领域的领先地位。

#### 气体欠平衡钻井装置及方法 (专利号：02114438.9)

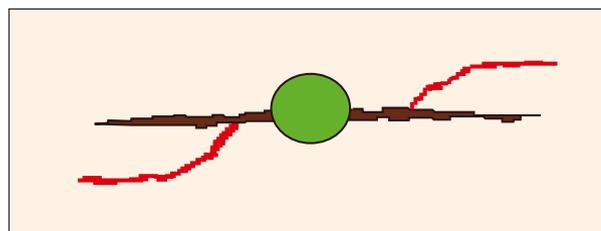
本发明特别涉及一种气体欠平衡钻井装置及方法，用于石油、天然气钻井作业。其特征是：在气源进气管道上连接有控制切换机构，控制阀开关动作；在放喷排污管线上连接有中途测试机构，用于在打开储层后，随钻评价储层；在井口进气管线上连接有短路机构，用于在出现意外情况时，预防发生地面爆炸事故；并始终预防放喷排污管线喷出口火焰的熄灭。

#### 一种实现重复压裂造新缝的方法 (专利号：200510096443.6)

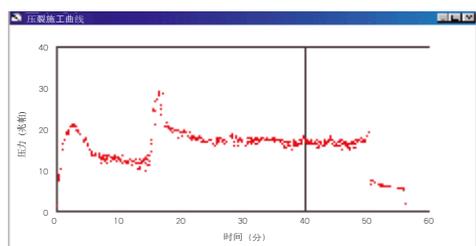
本发明是一种实现低渗透油田重复压裂造新缝的方法，通过缝内转向在主裂缝中产生新的支裂缝或沟通更多微裂缝，增大泄流面积，动用原有裂缝侧向存在的“死油区”，提高水驱效率和单井产量。

#### 低分子环保型压裂液及其回收液的应用 (专利号：200510042832)

本发明涉及一种低分子环保型压裂液及其回收液，其流变性能非常稳定，可重新回收使用，回收率达 50% 以上，节省大量的水和化学添加剂，减少废液排放的污染。



多裂缝压裂示意图



### 油气井套管补贴装置 (专利号：200520079318.X)

本实用新型专利特别涉及一种油气井套管补贴装置，专对套管腐蚀穿孔的油水井进行贴补大修，并保持最大完井尺寸，可一次补贴数十米到数百米，补贴管锚定牢靠，补贴管与被修补套管间密封效果好，修补后套管强度达到 J55 钢级，达到正常生产要求。

### 强制旋流—吸收吸附式气液分离器 (专利号：02205023.X)

一种石油行业油气田油气处理用气液分离器，是对有重力分离、吸附分离、离心分离，聚结分离的综合应用，消除了气体离心运动的盲区和器壁对液滴的反作用力，降低了液滴的离散作用，实现了不间断地连续分离，提高了气液分离几率和分离效果，分离效果优于传统分离器，易损件少。5  $\mu\text{m}$  以上的液滴分离效率大于 99%。

### 闪蒸分液水封可燃气体放空多功能罐

(专利号：200620078546.X)

本实用新型专利是一种石油和石化行业用的闪蒸分液水封可燃气体放空多功能罐，它具有凝液闪蒸功能、可燃气体分液功能、气体阻火的水封功能，采用一罐多功能结构，代替了分液罐、闪蒸罐、水封罐的分别设置，节省材料，结构简单、利用率高。

### 抗 $H_2S$ 与 $CO_2$ 联合作用下的缓蚀剂

(专利号：200610105097.8)

本发明是一种化学缓蚀剂，能有效抑制油气田开采、集输过程伴生的  $H_2S$  与  $CO_2$  联合作用对开采设备的腐蚀，其用量少、成本低、效率高。

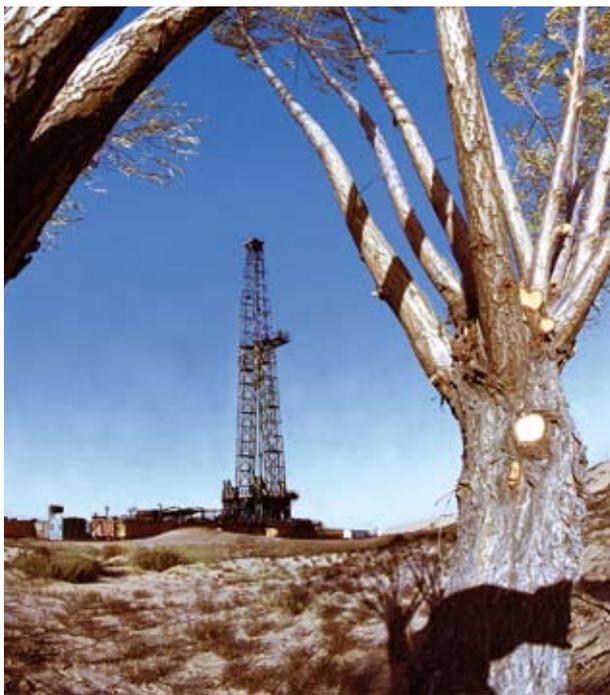


# 3

## 典型案例

### 一、欠平衡钻井的应用

从 1986 年起，先后在中国多个油气田进行泡沫、天然气、空气等介质欠平衡钻井及充气钻井液应用。2007 年在四川普光气田元坝 102 井实施空气欠平衡钻井作业，进尺 3104.39m，钻井时间 28.6 天，是该地区常规钻井液钻井的 5.2 倍。



### 二、开发压裂改造技术应用

1997 年，在长庆油田 ZJ60 井区，开展 6 平方千米区域的整体开发压裂试验。实施后注采效果明显改善。钻井井数减少，单井产量平均提高 1.7 倍，采收率提高 7%，投资回收期提前 2.6 年。此后，在长庆低渗透油田广泛推广应用，为低渗透油田实现低成本高效开发提供了重要的技术支持。

### 三、CO<sub>2</sub> 泡沫压裂工艺技术应用

2000 年 6 月，CO<sub>2</sub> 泡沫压裂技术在长庆气田陕 28 井石盒子组气层试验成功。该井气层深 3182.3m，储层存在严重水敏及水锁伤害。施工



加入支撑剂  $20.0\text{m}^3$ ， $\text{CO}_2$  泡沫质量 58.4%，压后液体返排迅速，试气获无阻流量  $56 \times 10^4\text{m}^3$ 。

截止目前该技术在长庆上古砂岩气藏井深  $<3700\text{m}$ 、温度  $<130^\circ\text{C}$ 、渗透率  $<0.73\text{mD}$ 、压力系数  $<0.88\text{MPa}/100\text{m}$  的低渗、低压储层实施现场作业 40 多口井，作业成功率 100%，平均返排率 98%，措施有效率 90% 以上。

#### 四、碳酸盐岩储层水力压裂技术应用

2005 年以来，共应用 101 井次，其中在乌兹别克斯坦克鲁克和北乌尔塔布拉克碳酸盐岩储层油气田，单井提高产量 3 ~ 10 倍，

投产 6 个月累计增产原油  $4 \times 10^4\text{t}$ ，天然气  $4300 \times 10^4\text{m}^3$ 。

#### 五、控水压裂工艺的应用

长庆姬塬油田长 2 油层为典型的底水油藏，常规压裂工艺容易压穿底水层，造成压后油层高含水，甚至水淹，改造难度较大。2006 年 6 月，该技术在盐 57-37 井中进行了成功应用，措施前日产液  $4.99\text{m}^3$ 、日产油 4.04t、含水 4.8%，措施后平均日增油 9.67t，含水 10.5%，累计增油 4600t，目前仍持续有效，实现了对油层段的较深穿透改造和控制压后含水的目的，提高了油井产量。



## 六、酸性压裂液的应用

2005年11月起，酸性压裂液在长庆华池油田及绥靖油田得到应用。针对开发中压裂液存在残渣、裂缝中钙质堵塞等问题，通过采用无残渣的酸性压裂液实现压裂酸化联作，现场实施9口井，实现解堵增产，产量提高2.6倍。杨34-12井经过长期生产出现堵塞，表皮系数测试为1.89，产油量降为1.1t/d，于2007年4月对该井进行酸性压裂液作业后，油井产油量提高到压后的5.2t/d，增产幅度超过400%。

## 七、多裂缝压裂工艺技术

2000年在长庆油田坪33-33井，成功实施了多裂缝压裂。压裂后产量由1.34t/d提高到



2.95t/d。截至目前，累计增油超过737t，累计有效天数1231天。该项技术已在长庆油田和新疆油田进行了520多口井的应用。

## 八、低渗透油田地面工艺技术应用

长庆西峰油田地面集输工艺开创“数字化西峰油田地面建设模式”，以“丛式井单管不加热密闭集输”为主要流程，以“井口功图计量、井丛单管集油、油气密闭集输、油气水三相密闭分离、气体综合利用、稳流阀组配水、系统综合优化”为主要工艺。目前已建产能 $188.4 \times 10^4$ t/a，地面建设投资仅占整个开发建设投资的23%，成为中国石油“新世纪示范油田”。

# 4

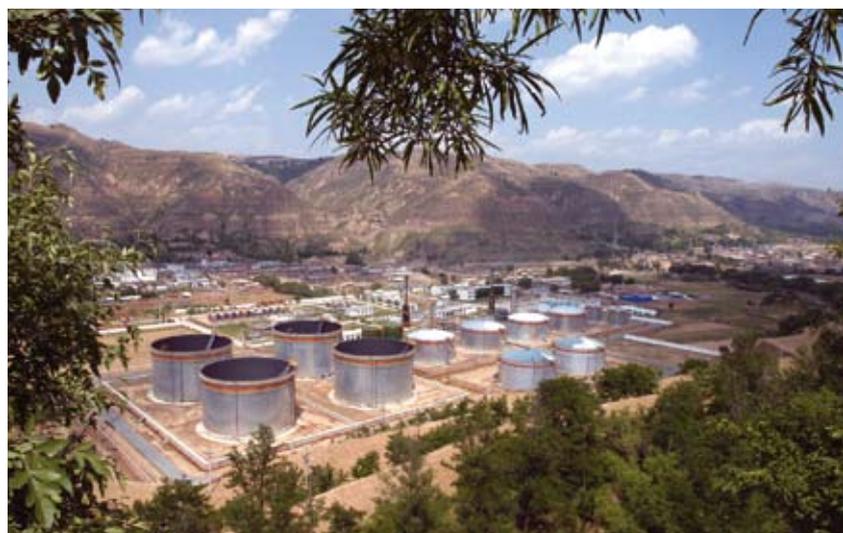
## 科研装备

中国石油在低渗透油气田工程技术领域可为客户提供从工程咨询、设计与施工、装备制造等一体化技术服务，并满足客户差异化专项服务需求。

在钻井工程领域，拥有 70D、50D 等各类钻机 140 余部，年钻井能力 500 万米以上，可承担 7000m 以内各种复杂地层下的定向井、丛式井、水平井、水平分支井、小井眼定向井、欠平衡钻井以及天然气井固井、油气井开窗侧钻等各类作业，支持全过程轨迹测量与实时控

制，并可承担特定储层的评价研究和钻井液体系设计。

在压裂酸化改造技术领域，拥有全球先进的 SS-2000 型压裂泵车等装备 100 余（台）套，年压裂酸化作业能力超过 5000 层次。可针对低渗透砂岩和碳酸盐岩储层，提供压裂地质研究和技术评估、区块整体开发和单井压裂设计与施工，并承担 5000m 以内井深控底水压裂、水平井压裂、多裂缝压裂、膨胀管套损井修复等作业，进行全程压裂测试分析，及其配套工具





研造及液体设计。

地面建设工程领域，拥有各类精良设备1028台（套）。年设计施工能力：油田产建300万吨，气田产建30亿立方米；大口径长输油气管道工程1000km以上；原油加工150万吨和500万吨系统配套；建筑工程70万平方米；城网设计100万户；综合勘察进尺2万米、线路测量2500km；具有高层、网架、大跨度轻钢结构设计能力。

中国石油具有高水平的低渗透储层勘探开发技术研发实力，拥有六个装备精良的实验室和两个试验场地：

钻井液完井液实验室  
岩石力学实验室  
压裂酸化实验室  
固井实验室  
储层伤害机理研究室  
机械电气实验室  
欠平衡钻井完井试验场  
力学试验场

# 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, 已通过 ISO9001:2000 质量管理体系、ISO14000 环境管理体系认证, 并在中国石油行业率先施行 HSE 管理体系标准。

### 技术标准

中国石油提供的全系列技术服务, 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



**宋振云** 具有 25 年试油压裂和酸化工艺技术研究及现场工作经验，是老井重复压裂改造，底水油藏控水压裂、CO<sub>2</sub> 压裂、低渗透油气田开发压裂等工艺技术方面专家。在 SPE 发表论文 2 篇，获得国家专利 2 项。



**孙 虎** 具有 16 年试油压裂和酸化工艺技术研究及现场工作经验，负责了乌兹别克斯坦克鲁克油田压裂、壳牌长北气田和道达尔苏南气田综合完井等项目的技术服务，是油气田压裂酸化、测试试井技术专家。在 SPE 发表论文 1 篇，获得国家专利 3 项。



**李志航** 具有 23 年油气藏增产技术研发及现场应用经验，是 CO<sub>2</sub> 泡沫压裂、酸性压裂、高温压裂液体技术专家。



**谭 平** 具有 25 年钻井工艺技术研究及现场工作经验。负责了土库曼斯坦尤拉屯油田钻井项目技术服务，是钻井工具装备及定向井、水平井工艺专家。



**李晓明** 具有 17 年钻井工程现场经验，是丛式井、水平井、复合工艺钻井及低渗透储层复杂井故障处理技术专家。



**陈在君** 具有 20 年钻完井液体系研发及现场实践经验。负责了厄瓜多尔 AP 油田、壳牌长北气田和道达尔苏南气田等项目的钻完井液技术服务，是防漏堵漏及深井、复杂井况处理技术专家。



**刘 伟** 从事天然气田地面工程研究设计 17 年，擅长气田地面、输气管道、天然气处理等工程研究设计。曾主持承担长庆气田 100 亿立方米地面工程、176 亿立方米天然气净化设计工作，获得国家优秀设计铜奖 2 项，国家专利 9 项。



**夏 政** 具有 14 年油田地面工程研究设计工作经验。承担了靖一咸输油管道、西峰油田产能建设、西部原油成品油管道工程等国家重点项目的的设计工作，负责了厄瓜多尔 AP 油田地面工程设计组织和技术服务，获得国家优秀设计铜奖 1 项。



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

