



稠油热采技术

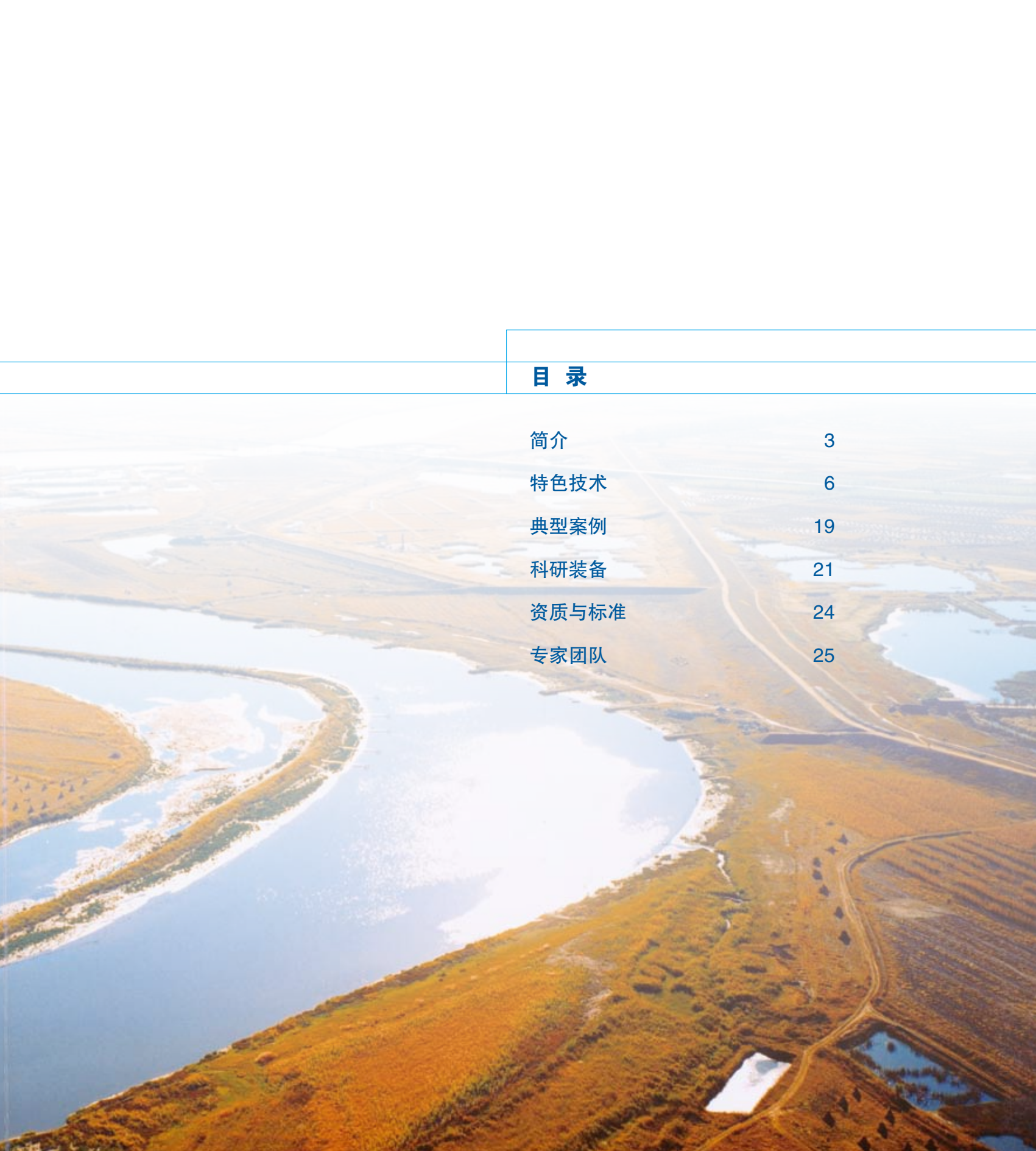
■ 2011 年



中国石油天然气集团公司 科技管理部

愿与业界同行携手，
共同促进世界稠油技术的发展！





目 录

简介	3
特色技术	6
典型案例	19
科研装备	21
资质与标准	24
专家团队	25



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,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。

稠油热采技术 (HOTHER) 就是具有代表性的重大创新成果之一。

奉献能源 创造和谐

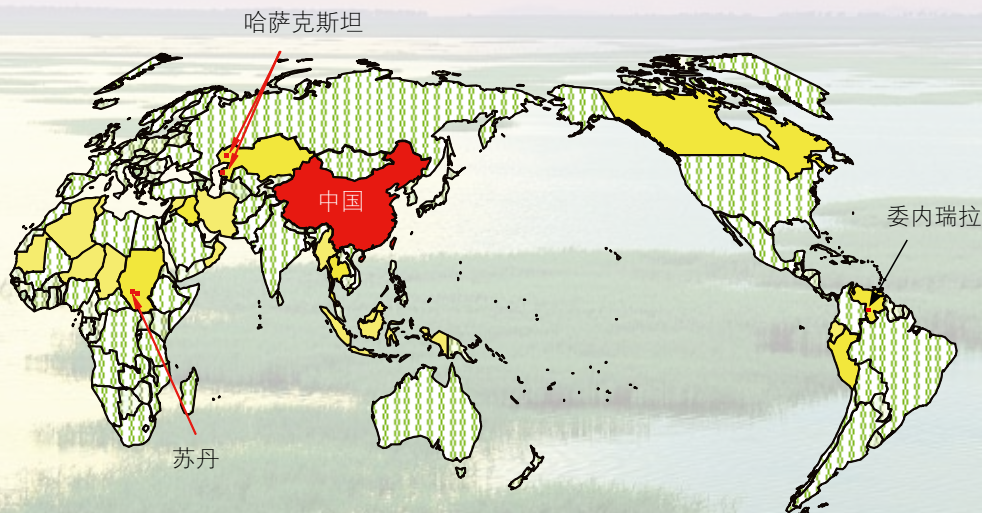
1

简介

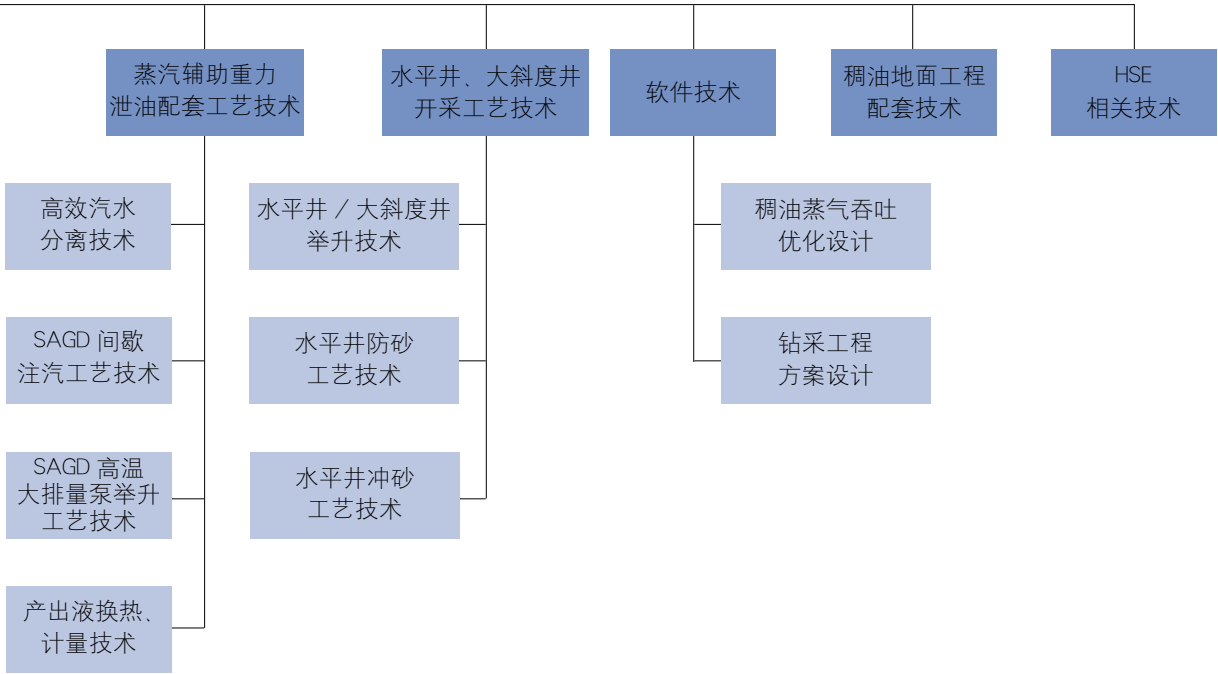
自 1970 年以来,中国石油一直致力于稠油、超稠油的开采技术研究与实践,成功开采出黏度高达数十万厘泊的世界级稠油。拥有一大批优秀的稠油热力开采专业技术人才,配套的稠油热采工具与设备,专业化服务队伍,可提供与稠油热采相关的各项技术服务。

中国石油在稠油热采方面自主研发了 10 大系列 45 项特色实用技术。这十大系列分别是稠油开发方案综合设计技术、蒸汽吞吐开采工艺技术、防排砂工艺技术、高温测试及示踪监测技术、蒸汽驱配套工艺技术、蒸汽辅助重力泄油 (SAGD) 配套工艺技术、水平井 / 大斜度井开采工艺技术、软件技术、稠油地面工程配套技术、HSE 相关技术。

稠油热采技术成功应用于中国的辽河、胜利、河南、新疆、大港和吉林等稠油区,以及苏丹、哈萨克斯坦、委内瑞拉等国家的稠油区。







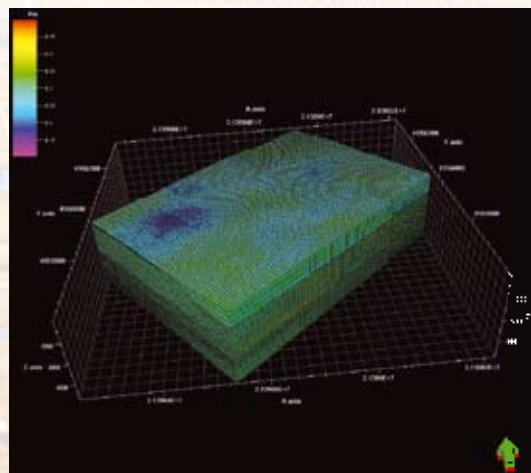
2 特色技术

1. 稠油开发方案综合设计技术

稠油热采开发实践中,针对不同类型油藏、不同开发阶段的特点,以油藏描述和室内实验为基础,应用物理模拟、数值模拟和经济评价等技术手段,进行开发方式、开发层系、井网井距及注采参数优化等决策技术的多方案对比,努力做到既保证高效开发,又为将来调整留有余地。针对油藏条件和油品性质,以工艺技术为保障,以经济效益和采收率为目标,综合确定稠油油藏的开发方式。

先后编制和实施了 15 个储量大于 $2500 \times 10^4 \text{t}$ 的区块开发方案,实施结果与设计指标符合率达到了 95% 以上。所编制的方案具有较高的科学性、前瞻性和较强的可操作性,较好地发挥了开发方案的指导作用。

同时,中国石油的稠油热采技术刷新了国内外稠油开发方式筛选标准。



三维地质建模技术

稠油开发方式筛选标准（中国石油）

开发方式	蒸汽吞吐	蒸汽驱	SAGD
油藏埋深, m	<1800	<1400	<1000
油层厚度, m	≥ 10	7 ~ 60	≥ 10
净总厚度比	≥ 0.35	≥ 0.4	≥ 0.5
有效孔隙度, %	≥ 20	≥ 20	≥ 20
渗透率, mD	≥ 200	≥ 200	$K_v/K_h \geq 0.35$
原油黏度, $\text{mPa} \cdot \text{s}$	≤ 400000	≤ 10000	≤ 400000
原始含油饱和度, %	≥ 55	≥ 45	≥ 50
渗透率变异系数 (小数)		≤ 0.65	≤ 0.65

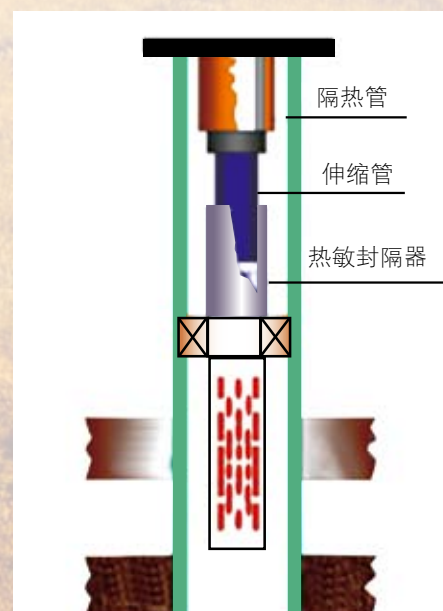


注汽工艺技术

注汽工艺技术的核心是井筒注汽隔热管柱技术。隔热管柱的作用是减少在注汽过程中热量在井筒内的损失。中国石油自主研发了由真空隔热管、伸缩管和热敏封隔器组成的注汽隔热管柱。其中真空隔热管的视导热系数可达到 $0.007\text{W}/(\text{m} \cdot ^\circ\text{C})$ ，热敏封隔器有效率达 98.4%，解封成功率为 100%。中国石油的井筒注汽隔热管柱是最有效的隔热管柱之一。

2. 蒸汽吞吐开采工艺技术

蒸汽吞吐方法又叫周期性注汽或循环注蒸汽方法。这是稠油开发中最普遍采用的方法，该方法工艺技术简单，增产快，经济效益好。中国石油是中国应用蒸汽吞吐方法开采稠油油藏最杰出的代表。经过多年的研究和开发，已形成一整套具有自主知识产权的实用蒸汽吞吐开采工艺技术，包括注汽配套工艺技术、举升配套工艺技术、提高稠油蒸汽吞吐开采效果技术等三大系列十项稠油热力注采工艺，为油田增储上产、提高原油采收率提供了有力的支持与保障。



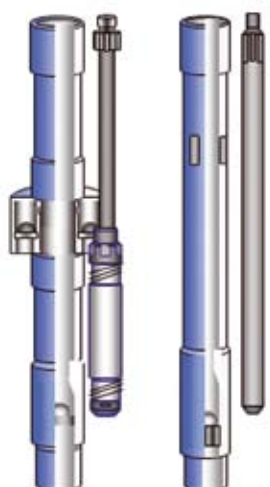
K331 热敏封隔器及注汽隔热管柱示意图



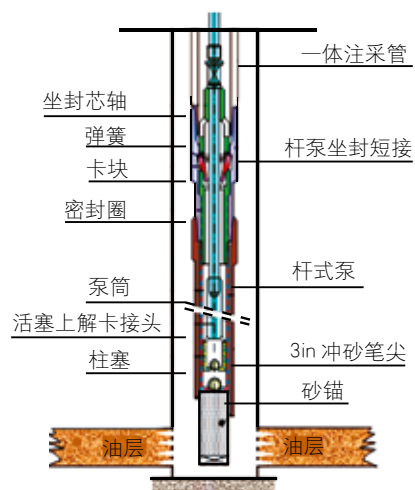
举升工艺技术

举升工艺由稠油举升、特稠、超稠油举升组成。目前已形成 3 个系列 16 种规格稠油泵；14、16、20、22t 载荷 5 ~ 8m 冲程抽油机系列；

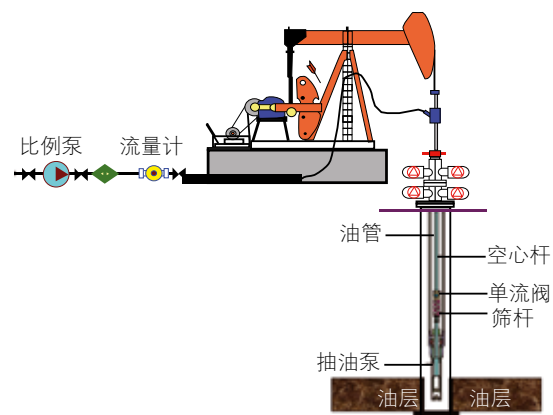
H 级抽油杆的应用；防砂泵的应用；中频集肤效应空心杆越泵电加热技术和掺新配方活性水技术。



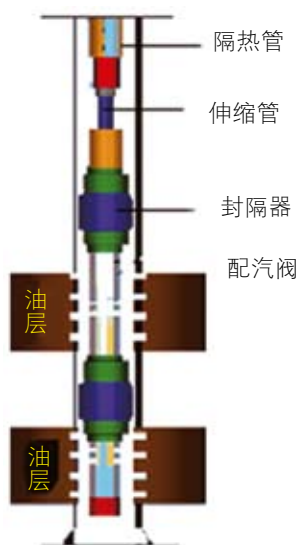
双级流道抽稠泵（左）
动态密封一次管柱泵（右）



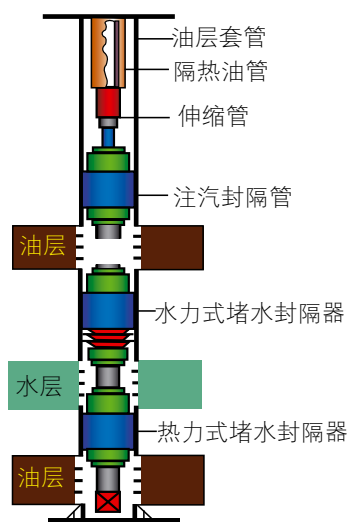
注、采、冲、防一体管柱示意图



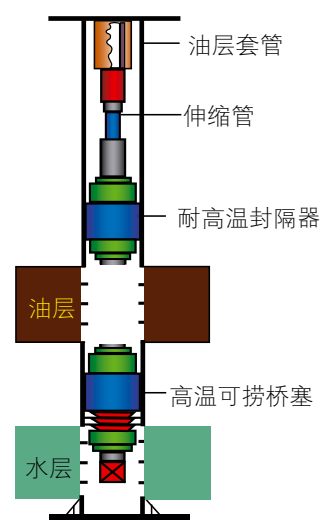
越泵电加热工艺示意图



分层注汽管柱



堵夹层水注蒸汽一次管柱



堵底水注蒸汽一次管柱

提高稠油蒸汽吞吐开采效果技术

提高稠油蒸汽吞吐开采效果技术是中国石油最具特色蒸汽吞吐开采工艺技术之一，它由7个独立的单项技术组成：

- 分注分采工艺技术
- 稠油调剖堵水、封窜工艺技术
- 化学添加剂提高蒸汽吞吐效果技术
- 提高热采系统热效率技术
- 氮气综合利用技术
- 二氧化碳吞吐采油技术
- 热采套损井修复技术

上述7项技术的综合运用可以有效地提高稠油蒸汽吞吐开采效果。



3. 防砂工艺技术

稠油防砂是稠油开发中的主要内容，中国石油经过 20 年的自主攻关，在稠油防砂技术中形成机械防砂、化学防砂、复合防砂三大系列防砂技术。稠油防砂技术属国内领先、世界一流。

机械防砂技术系列

机械防砂技术系列中代表性技术为 TBS 筛管和膨胀筛管防砂。前者应用上千口稠油井，适用于防砂粒径大于 0.07mm 热采井、套变井；后者主要用于稠油防砂。



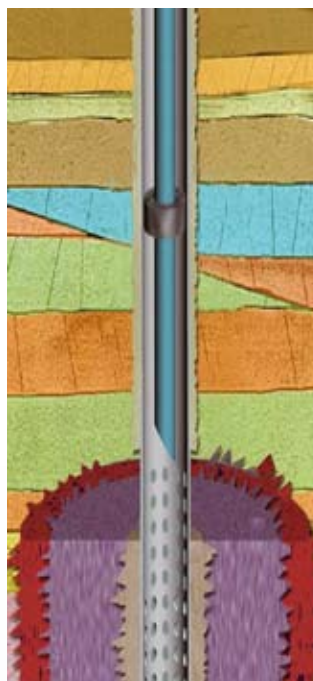
膨胀筛管防砂



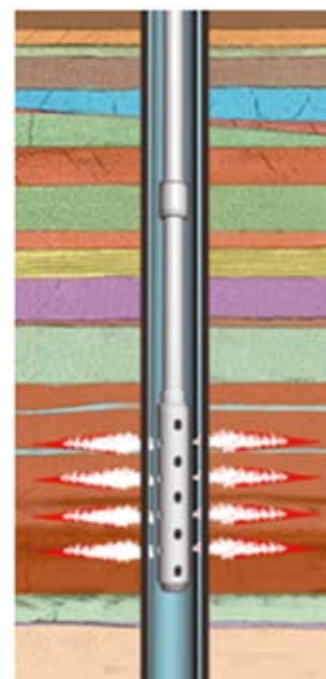
TBS 筛管防砂技术



机械压裂防砂



化学压裂防砂



复合射孔防砂

化学防砂技术系列

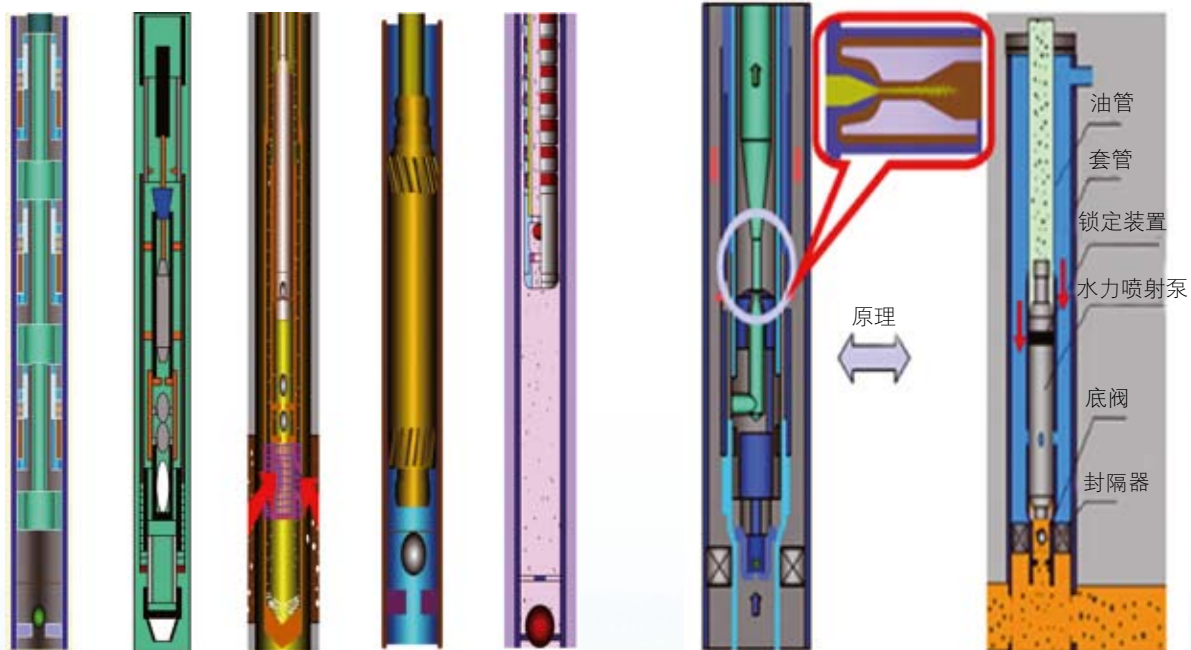
化学防砂技术中代表性技术为高温固砂技术，高温固砂剂在高温条件下，将地层砂紧密地连接在一起，形成滤砂层，阻止地层砂流入井筒，从而达到防砂的目的。以高温固砂剂为代表的化学防砂方式有 10 种以上，其中高温固砂剂应用 316 井次，施工成功率 100%，防砂有效率 93%。

复合防砂技术系列

复合防砂技术系列包括复合射孔防砂技术和压裂防砂技术。

复合射孔防砂是在射孔中将防砂材料带入油层防砂，是中国石油最具代表性技术之一，应用 300 井次以上的新井和新层、出砂粒径 $\geq 0.1\text{mm}$ 、井深 $\leq 2000\text{m}$ 稠油井成功率 100%。

压裂防砂用于细粉砂井、套变井、小井眼井稠油防砂，特别对低产、低渗井有明显效果。



有杆泵系列排砂

反循环水力喷射泵强制排砂

井筒系列排砂技术

井筒系列排砂技术可分为有杆泵系列排砂技术和反循环水力喷射泵强制排砂技术。

有杆泵系列排砂技术适用于以下五种情况：

- 高排量、高含砂、蒸汽驱高温、泵深不大于 1700m 的斜井、水平井
- 中低产，液体携砂能力差、经常发生砂卡、砂埋柱塞的油井
- 蒸汽驱高温经常发生卡泵的油井
- 低含砂油井
- 中低含砂井、修复泵筒、泵深小于 1500m 的油井

反循环水力喷射泵强制排砂技术适用于以下三种条件：

- 油井含砂小于 3% (体积比)
- 井下泵排量 30 ~ 100m³/d
- 泵挂小于 1500m

4. 高温测试及示踪监测技术

中国石油具备成熟的高温、常温油井监测技术，并针对稠油井的注汽生产特点完成了高温测试技术的系列化，实现了稠油井从注汽、焖井、放喷到采油阶段的全过程资料监测，形成了蒸汽吞吐、蒸汽驱和 SAGD 多方面的高温测试技术，各类监测技术为油田开发录取了丰富的一手资料，有效地指导了稠油开发，对降本增效、提高采收率、增加储采比有非常重要的作用，取得良好的经济效益。

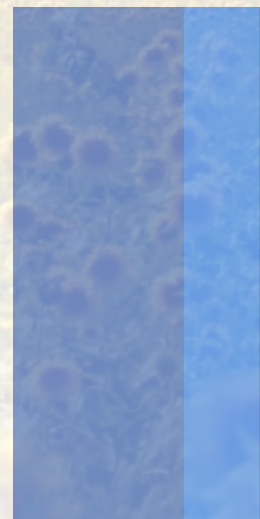
此外，还开发和引进了多套国内外先进的试井解释软件，在油井资料解释上达到了较高的技术水平。



高温测试及示踪监测技术集成于 12 项单项技术：

- 地面等干度分配及注汽参数监测技术
- 高温注汽井吸汽剖面测试技术
- 井下任意点蒸汽干度取样测试技术
- 毛细管焖井压降测试技术
- 高温双点式微差井温测试技术
- 高温注汽井放喷过程产液剖面测试技术
- 高温长效测试技术
- 油井过泵直读监测技术
- 毛细管动态分层压力温度监测技术
- SAGD 多点温度压力动态监测技术
- 油井光纤温度压力监测技术
- 井间示踪监测技术

5. 蒸汽驱配套工艺技术



高温长效隔热注汽技术

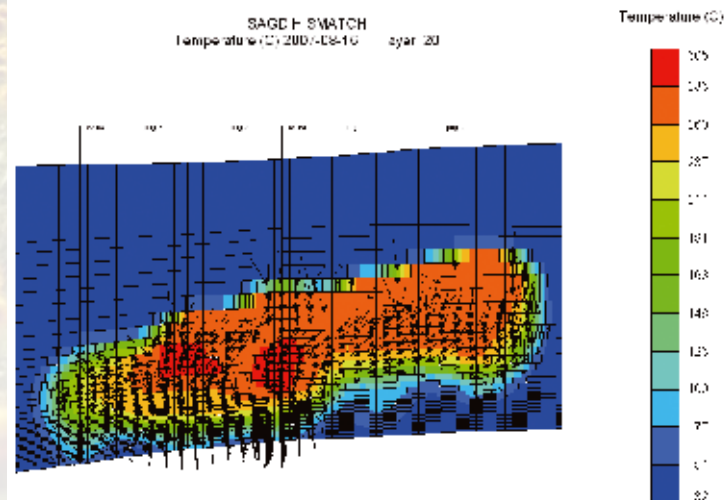
蒸汽驱开采阶段是稠油油藏经过蒸汽吞吐开采以后，为进一步提高原油采收率的热采阶段。采用蒸汽驱开采技术时，由注入井连续注入高干度蒸汽，注入油层中的大量热能加热油层，从而大大降低了原油黏度而且注入的热流体将原油驱至周围的生产井中采出，使原油采收率增加 20% ~ 30%。虽然蒸汽驱开采阶段的耗汽量远远大于蒸汽吞吐，但它是主要的热采阶段。经过多年的研究与实践，突破了蒸汽驱开采稠油的深度界限，实现了在中深层稠油油藏蒸汽驱开发，形成了包括高温长效隔热注汽、分层汽

驱、高温举升及高温不压井作业等配套工艺技术，保证了蒸汽驱开发的规模上产，取得了良好的经济效益和社会效益。

蒸汽驱配套工艺技术内含四个单项技术：

- 高温长效隔热注汽技术
- 分层汽驱工艺技术
- 蒸汽驱高温举升泵
- 高温不压井作业工艺技术

6. 蒸汽辅助重力泄油（SAGD）配套工艺技术



SAGD 数值模拟技术

蒸汽辅助重力泄油（Steam Assisted Gravity Drainage，简称 SAGD）是一种将蒸汽从位于油藏底部附近的水平生产井上方的一口直井或一口水平井注入油藏，被加热的原油和蒸汽冷凝液从油藏底部的水平井产出的采油方法，具有高的采油能力、高油汽比、较高的最终采收率及降低井间干扰，避免过早井间窜通的优点。

多年来，中国石油不断探索超稠油蒸汽吞吐后的开采方式转换，2005 年初在馆陶油层（油层中深 600m）成功开展了直井与水平井组合的 SAGD 开采，形成了包括高效汽水分离、间歇注汽、高温大排量举升及产出液换热计量等配套工艺技术。同时，通过动态跟踪优化调整，SAGD 生产获得了较好的开发效果，扭转了产量的递减，产量随着蒸汽腔的进一步扩大继续上升。

蒸汽辅助重力泄油（SAGD）配套工艺技术主要由 4 个单项技术组成：

- 高效汽水分离技术
- SAGD 间歇注汽工艺技术
- SAGD 高温大排量泵举升工艺技术
- 产出液换热、计量技术

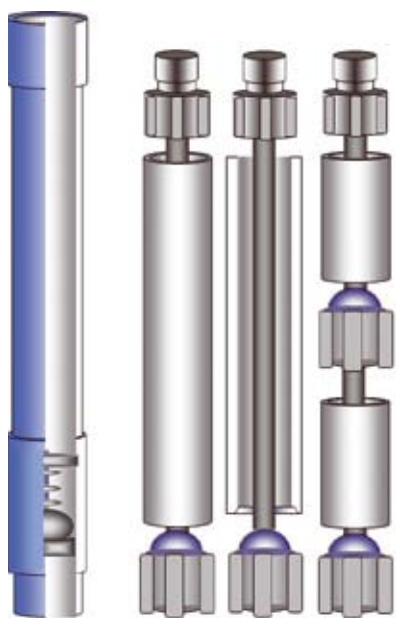


7. 水平井 / 大斜度井开采工艺技术

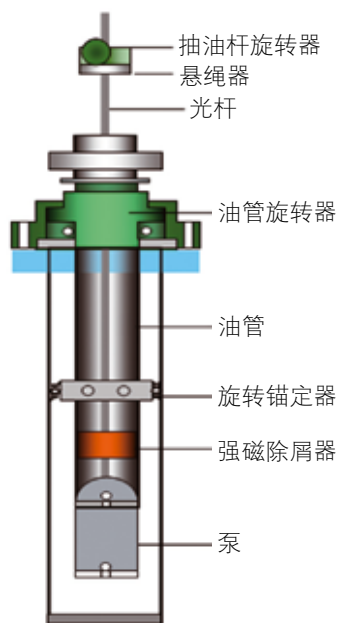
水平井 / 大斜度井开采工艺技术是中国石油最成熟的技术之一。多年来，通过积极的探索，针对水平井井斜角大、下泵难及防排砂难等问题开展攻关研究，形成了水平井举升、水平井防砂及水平井冲砂等配套工艺技术，为水平井的工业化推广应用提供了强有力的技术支持。

水平井 / 大斜度井开采工艺技术由三部分组成：

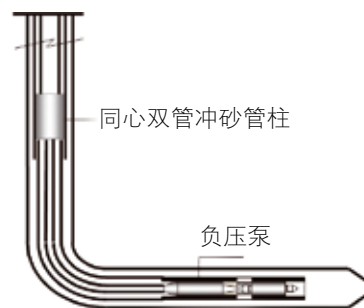
- 水平井 / 大斜度井举升技术
- 水平井防砂工艺技术
- 水平井冲砂工艺技术



大斜度井、水平井抽油泵



大斜度井防偏磨生产管柱



水平井负压冲砂示意图

8. 软件技术

经过 20 多年攻关已形成两个系列设计软件系统：稠油蒸汽吞吐软件主要包含参数优化设计、分注选注设计专家系统；蒸汽驱优化设计软件，水平井、分支井等钻完井设计软件和采油工程优化设计软件等。



9. 稠油地面工程配套技术

可提供稠油、特稠油、超稠油注水、注汽、火烧油层工艺条件下的集输方案、集输系统、注入系统、热能利用系统的优化设计和设备选

型。设计了大型稠油站 48 座、集输系统 28 套、长输管网 $4 \times 10^3 \text{m}$ 。

建成了 3 条距离超过 10km 的超稠油（黏度 $>50000 \text{mPa} \cdot \text{s}$ ）输送管线。



欢三联稠油污水深度处理站



冷一原油集中处理站

专利技术

拥有 174 项发明专利、887 项实用新型专利。经济有效的稠油开采技术回馈世界稠油油田的世界稠油开发技术发展的浪潮造就了稠油热采开发。技术今天的成就与辉煌，我们将以最精湛适用、

CN200510046164.9	稠油、高凝油捞油技术
CN200610047361.7	稠油开采燃煤注汽锅炉
CN2005101308190	稠油水平井 SAGD 工艺开采井口装置
CN200510046518x	稠油污水除硅工艺与方法
CN200610047824.x	稠油蒸汽驱重力泄油开采工艺地质观测井井口装置
CN97110664.9	低碳混合有机酸的合成方法
CN200410050456.5	高温三相泡沫调剖剂调剖方法
CN97115718.9	隔热油管环缝超声波探伤方法
CN200610047561.2	利用煤粉柴油油浆为原料的工业锅炉液体燃料及其制备方法
CN200610047783.4	利用热煤气作为稠油热采注汽锅炉燃料的工艺方法
CN200610047635.2	利用水焦浆作为稠油热采注汽锅炉燃料的工艺方法
CN200410050457.x	热采井调剖固砂一体化技术
CN200510046330.5	一种超稠油热化学脱水工艺方法
CN03134161.6	一种稠油井堵水、调剖、防砂一体化施工方法
CN2005100459719	一种稠油油泥的处理方法
CN99113250.5	一种高温暂堵剂及其制备方法
CN981137415	一种聚合物型原油破乳剂
CN2005100465194	一种脱水超稠油管道输送方法及配套装置
CN981137407	一种用于超稠油乳化燃烧的乳化降粘剂
CN981137423	一种原油破乳剂及其制备方法
CN981142729	一种无荧光防塌降失水剂及其制备方法
CN97115719.7	真空隔热油管及其制造工艺技术
CN200610047636.7	回收式斜向器装置
CN200610045686.1	利用镍基合金对稠油热采井口阀板阀座密封面喷焊方法
CN2006100464478	热敏水溶性凝胶堵水调剖封窜技术
CN200610047780.0	一种分支井选择性导入工具
CN200610047915.3	一种分支井选择性重入方法及装置
CN2005100460398	一种用生物标志化合物进行油藏动态监测方法
CN2005100479676	油井电缆控制分层采油测试技术
CN021324484	真空式管捞砂工艺及其井下工具

3

典型案例



一．中深层特稠油油藏的开发

冷 41 块是辽河油田第一个采用蒸汽吞吐成功开发的深层特稠油油藏，油藏平均孔隙度为 17%，平均渗透率为 1381mD，50℃脱气原油黏度高达 30000 ~ 60000mPa · s。

通过蒸汽吞吐试验，使井筒隔热技术有了大幅度的提高，注入油层中的蒸汽干度达到了 45% 以上；蒸汽吞吐第一周期产油 4500t，为深层、特稠油的开发摸索出了新路子。

该块吞吐开发近 10 年，阶段的最高采油速度达到 2.6%，平均采油速度 1.26%，2005 年的采油速度仍达到 1.46%，采出程度 15%。

二．高温不压井作业工艺技术

该技术于 2006 年 5 月 22 ~ 31 日，在兴采马古 5 井进行了带压冲砂现场试验。试验达到了预期的目的，不但保证了这口井的自喷生产能力，而且同时验证了高温不压井设备的可靠性与实用性。

三．开发了世界上最稠的超稠油油藏之一

1996 年对超稠油油藏进行了蒸汽吞吐试验，通过优化开发层系、井网井距、注汽参数，采用井筒注汽隔热和井筒采油举升工艺技术，采用合理的注汽参数和注采一体管柱等技术，解决了超稠油注汽困难、热利用率低、进泵难、举升难等问题，有效地提高了超稠油的开发水平，2006 年超稠油年产量达到 277×10^4 t，占热采稠油产量的近 43.1%。

四、中深层普通稠油油藏蒸汽吞吐到蒸汽驱方式的成功转换

齐 40 块莲花油层埋深 1050m，油层平均有效厚度 37.7m，岩心分析孔隙度平均 31.5%，渗透率平均 2.062D。20℃ 原油密度为 0.9686g/cm³，50℃ 地面脱气原油黏度为 2639.0mPa·s。

到 2004 年底，齐 40 块吞吐开发历时 18 年，取得了较好的效果，采出程度 29.44%，平均年采油速度 1.6%，累积油汽比 0.61。根据无量纲采油速度与可采储量采出程度变化，齐 40 块已经处于产量快速递减阶段，可采储量采出程度 90.96%，需要及时转换可行的开发方式。

通过转蒸汽驱见到明显汽驱效果。井组日产液量由热连通阶段的 325.9t 上升到目前 602.0t，日产油量由 71.2t 上升到目前 95.9t。截至 2006 年 12 月底，综合含水 69.5%，采油速度 1.52%，采出程度 31.5%。

五、超稠油蒸汽吞吐后转入 SAGD 开发已见成效

馆陶组油层试验区于 2005 年 2 月正式转入 SAGD 生产，转入 SAGD 生产两年来，通过动态跟踪优化调整，SAGD 生产获得了较好的开发效果，各项指标均达到了方案设计指标，日产油由转 SAGD 前的 150t 上升到目前的 330t。转 SAGD 以来两年的平均采油速度为 3.3%，目前折算采油速度为 4.9%，阶段油汽比 0.22，随着蒸汽腔的进一步扩大产量继续上升，预测蒸汽吞吐—SAGD 开发最终采收率可达 56%。



4

科研装备

油田开发：

硬件设备

服务器：SUN10000、SUN2000E 主要用于油藏描述及数值模拟研究。

工作站：Ultra60、Ultra2、SGI 等 10 多台套，主要用于油藏描述和数值模拟，通过企业内部局域网实现数据资源共享。

个人图形工作：HP 个人图形工作站 20 多套，主要用于油藏地质和油藏工程综合研究。



应用软件

油藏描述软件:

LandMark、GNT Jason 储层参数反演软件包。主要模块有:地震波阻抗反演、测井反演、地质随机建模。

油藏工程软件:

Workbench 一体化黑油数值模拟软件包(可进行生产数据分析、试井分析、油藏描述和三维三相稀油数值模拟研究);

CMG 数值模拟软件包:含有 STARS、IMEX 模块,可进行黑油、热采、化学驱数值模拟研究;

NUMSIP-5 热采数值模拟软件包:与清华大学共同开发研制的具有并行计算和前后处理功能的稠油热采数值模拟软件包;

THERM advanced、THERM2.7:引进的美国 SSI 公司的热采数值模拟软件;

地质研究和油藏工程研究软件以及经济评价软件等;

地震资料解释软件: LANDMARK、DV、KINGDOM ;

地震资料反演软件: JASON ;

测井资料处理与解释软件: Landmark (PetroWorks)、LGI、Forward.net ;

储层建模软件: Petrel、GMSS。





采油工程：

拥有九大实验室：储层保护研究实验室、采油化学药剂检测实验室、井下工具实验室、注入水水质分析及检测实验室、高温橡胶检测实验室、化学防砂实验室、机械防砂实验室、微生物采油实验室及高温测试仪器标定实验室。

具备入井流体质量监督检验、采油用化学剂检验、湿蒸汽安全阀校修、橡胶产品检验检测、井下工具检验检测和井下抽油泵检测等的能力。同时组织筹建包括防砂模拟试验装置、高温产出液在线中试综合试验橇、分层注汽实验装置、多功能有杆泵举升模拟试验系统、闸阀检测试验装置和热采模拟试验井基地等在内的稠油先导试验基地——钻采工艺技术试验研究中心，完善配套中国石油科技基础平台建设。

主要应用软件：稠油蒸汽吞吐优化设计软件和钻采工程方案设计软件，功能包括稠油蒸汽吞吐参数优化设计、稠油分注选注专家系统、稠油蒸汽驱优化设计、水平井、分支井钻完井优化设计以及采油工程优化设计等。

地面工程：

配备有先进的计算机网络和科技信息系统，出版、档案、图书和科学实验设施先进齐备。拥有十几套油气储运、集输、加工工程设计和工艺计算大型软件。资质水平居全国同行业前列，拥有 21 项甲级资质和 12 项乙级资质，拥有 I、II、III 类压力容器设计资格证和 GA、GB、BC 压力管道设计资格证。

5

资质与标准

中国石油具有工程总承包、工程勘探设计等 14 项国家甲级资质和建设部、交通部一级施工资质，获得国家 (AAA) 级信用等级证书，通过了 GB/T19001 质量管理体系认证。34 个单位实施 HSE 管理体系，其中 20 家单位通过了 HSE 体系认证。



6

专家团队



刘乃震 集团公司高级技术专家。率先提出用钻井技术提高油藏动用程度和采收率的科研主攻方向，组织实施水平井 300 余口，有效提高了稠油油藏动用程度，为稠油油藏提高采收率做出了突出贡献。



郭野愚 集团公司高级技术专家。辽河稠油地面工程设计及施工技术的学科带头人，主持并完成洼 38 块油田地面建设工程设计、冷一原油集中处理站、塔里木牙哈凝析气田地面建设、杜 32 块超稠油集中处理站、曙光首站 $2 \times 10^4 \text{m}^3$ 油罐岩土工程设计等 10 余项设计方案获得国家及省部级奖励。



刘俊荣 辽河石油勘探局高级技术顾问。先后组织冷家油田特超稠油、曙 1 区特稠油开发，主持 SAGD、蒸汽驱、混相驱技术引进及现场试验，推进辽河水平井规模化推广应用。



贾庆仲 稠油采油工艺技术高级专家。辽河油田首次稠油蒸汽吞吐试验的主要完成人之一，主持并完成多项稠油开采技术研究及试验工作。



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

