



油气藏开发实验技术

■ 2011 年



中国石油天然气集团公司 科技管理部

我们愿把油气藏开发实验先进技术和
成功经验与世界共享！



目 录

简介	3
特色技术	4
应用案例	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 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。

油气藏开发实验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

中国石油致力于油气藏开发实验技术的发展，拥有一批优秀的专业技术人才，建设成了一流的实验室，可提供各项技术服务。

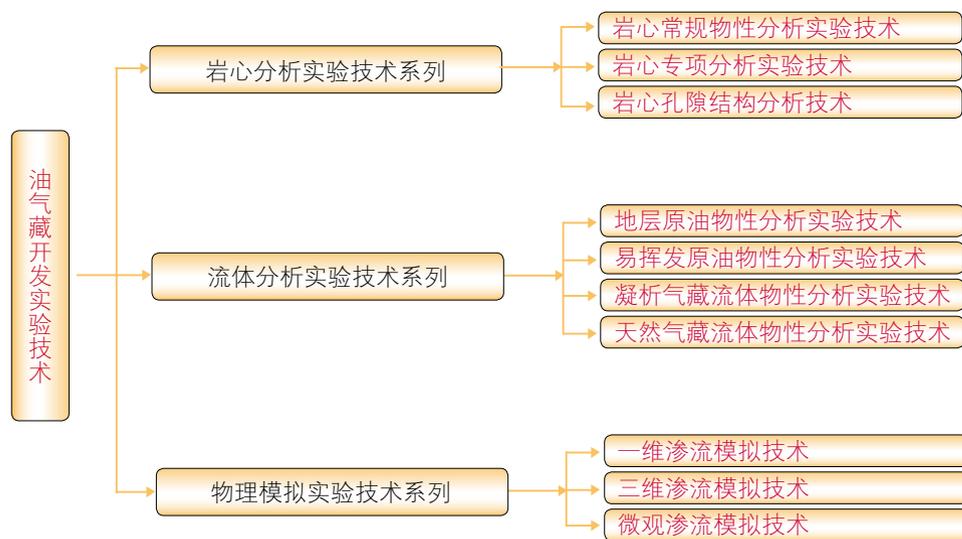
我们的油气藏开发实验技术已广泛应用于国内外市场，曾为十几个油田和单位服务，并先后为英国 Cluff 石油公司、日本莱州湾石油株式会社、委内瑞拉马拉文石油公司、前苏联乌克兰天然气研究所、秘鲁石油公司、苏丹、阿塞拜疆、巴基斯坦、尼日尔等外国石油公司或研究单位服务。

由岩心分析、流体分析、油藏物理模拟等油层物理研究构成的油气藏开发实验是油气田开发的基础，无论是油藏开发初期还是进入高含水阶段的开发后期，直至提高采收率方法的广泛应用均有赖于开发实验方法提供最可靠的



数据。在我国油气田开发的各个历史阶段，油气藏开发实验技术发挥了非常重要的作用，为支撑中国石油工业的稳定健康发展打下了坚实的基础。

简介



1. 英国 Cluff 石油公司
2. 阿塞拜疆石油公司
3. 前苏联乌克兰天然气研究所
4. 尼日尔石油公司
5. 苏丹石油公司
6. 沙特石油公司
7. 伊朗石油公司

8. 印尼 Medco 石油公司
9. 日本莱州湾石油株式会社
10. 秘鲁石油公司
11. 委内瑞拉马拉文石油公司

2 特色技术

1. 岩心分析实验技术

确定储油气层岩石的物性参数是油气田勘探与开发中的一个重要问题。岩心分析实验数据是油藏储量计算、开发方案、油藏工程和采油工艺研究的重要基础数据,在油气田开发方案设计和提高采收率中都需要有翔实的岩心分析实验数据。

岩心分析实验是获得储层岩石资料的一种基本手段。

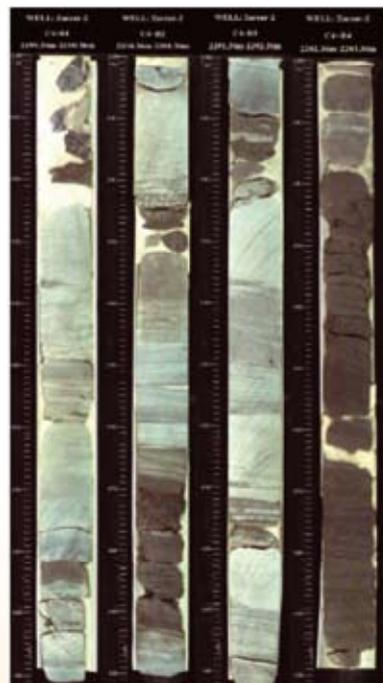
岩心分析实验技术包括岩心常规物性分析实验技术、岩心专项分析实验技术以及岩心孔隙结构分析技术。

中国石油拥有先进的岩心分析实验技术,配有完善的岩心分析实验室和优秀的科研队伍,可以为海内外油公司提供全面的岩心分析测试服务。

(1) 岩心常规物性分析实验技术

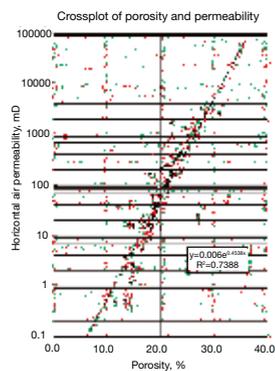
● 岩心前处理

可进行岩心的保存和保护,创切、钻切、烘干及饱和,以获得高质量的岩心分析实验样品,特别是能进行高黏土含量样品的烘干及松散岩心的处理;可对岩心进行照相及 γ 测试。



● 岩心孔渗饱测试

可选用不同的方法进行常规以及覆压条件下岩心（包括全直径岩心）的孔隙度和渗透率（气体、液体以及克氏渗透率）测试，特别是对低渗和特低渗样品的精确测定，同时也是国家技术监督局授权的孔渗标准块制造和标定单位；针对不同的岩石类型，可选用不同的测试方法对流体的饱和度进行测试。



● 孔隙体积压缩系数

岩石的孔隙体积压缩系数反映了油藏岩石孔隙的变形与压力之间的关系。可对孔隙体积压缩系数进行测定，可将三轴向测定结果进行单轴向校正。



● 国产露头岩心的标准化和系列化

具备5个系列国产标准露头岩心，推广应用于油层物理模拟实验，特别是三次采油驱油实验评价的标准样本岩心，提高油层物理研究的标准化、规范化水平。



(2) 岩心专项分析实验技术

● 润湿性

油藏岩石的润湿性控制着油藏中油水分布，确定岩石的润湿性有助于强化采油设计。可选用接触角测定或 Amott 润湿性指数评价油藏岩石的润湿性。

● 相对渗透率

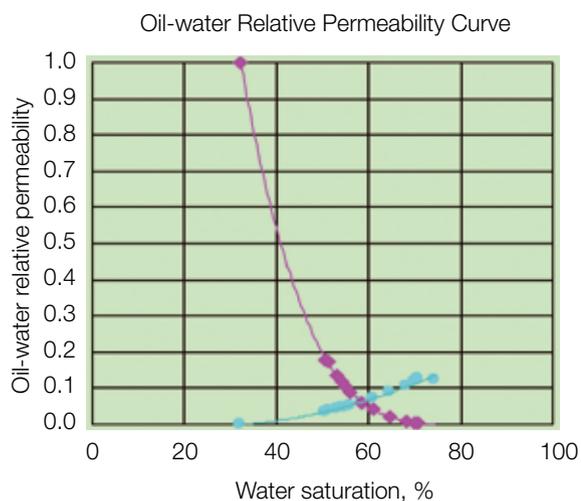
相对渗透率是在多相流体共存时，每一相的有效渗透率与基本渗透率的比值。可选用稳态和非稳态的方法对油水相对渗透率进行测试；可采用非稳态气驱法对气油相对渗透率进行测试，特别是可以进行 CO_2 驱油的相对渗透率测试；可选用稳态吸入法和驱替法对气水相对渗透率进行测试；可进行油气水三相相对渗透率的测试。

● 敏感性

敏感性的研究能认识水驱或化学驱过程的储层伤害机理。可对岩石的敏感性（酸敏、碱敏、速敏、水敏、压力敏）以及入井流体伤害评价进行评价，对阳离子交换容量进行测试。

● 电性和声波特性

模拟地层条件对岩石的电性和声波特性进行测试，测试的参数包括岩石的电阻率，胶结指数，饱和度指数，地层因数，以及声波速度（或时差）、杨氏模量、剪切模量、波松比、弹性模量和衰减系数等。



● 低渗透油气储层分级评价

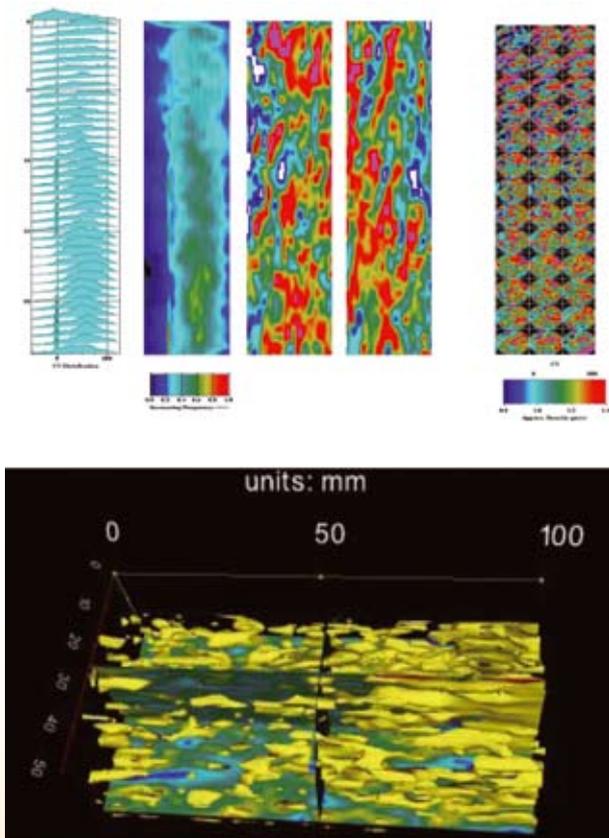
集成储层孔隙结构研究（恒速压汞仪）、可动流体饱和度（核磁共振仪）和非线性渗流等三项特色技术，形成了低渗透储层评价方法。建立了特低渗透储层（油藏）评价方法；特低渗透油藏非线性渗流模型，形成非线性模拟技术，更客观的描述特低渗透储层渗流规律；提出特低渗透储层（气藏）评价参数。

- ◆ 渗透率
- ◆ 主流喉道半径
- ◆ 可动流体饱和度
- ◆ 启动压力梯度
- ◆ 原油黏度
- ◆ 黏土类型及含量

(3) 岩心孔隙结构分析技术

● CT 扫描成像

通过 CT 对岩心进行扫描成像，精细描述岩石的孔隙特征，可视化的再现岩石的内部结构。



● 毛细管压力曲线

采用压汞法、隔板法或离心法测定岩石的毛细管压力曲线，得到岩石的孔隙类型、分选系数、歪度、孔隙分布峰位和峰值、均质系数、最大孔隙半径、平均孔隙半径、孔隙半径中值、半径均值、相对分选系数以及特征结构参数等结构参数。

2. 流体分析实验技术

确定油气藏条件下的流体物性，对于设计油气藏开发工艺的总体规划至关重要。油气藏流体分析实验是获得储层流体物性资料的一种基本手段。

油气藏流体的物性主要与地层压力、温度、油气组成和油中溶解气量有关。油气藏的饱和压力和压力、体积系数、黏度和溶解气油比等基本物性参数是确定油藏类型，拟定开发方案和进行各种油藏工程计算中不可缺少的重要参数和资料。

油气藏流体分析实验技术包括地层原油物性分析实验技术、易挥发原油物性分析实验技术、凝析气藏流体物性分析实验技术以及天然气藏流体物性分析实验技术。

中国石油拥有先进的油气藏流体物性分析实验技术，配有完善的流体物性分析实验室和优秀的科研队伍，可以为海内外油公司提供全面的油气藏流体物性分析测试服务。

(1) 地层原油物性分析实验技术

● 单次脱气试验

测试地层油组分组成、气油比、体积系数、地层油密度等参数。

地层油组成分析： H_2 , He , O_2 , N_2 , CO , CO_2 , H_2S , $C1 - C36+$ 。

● 恒质膨胀试验

又称P-V关系，地层温度下测试地层流体的饱和压力、压缩系数、相对体积和Y函数等参数。



● 差异脱气试验

地层温度下测定出各级压力的溶解气油比、饱和油的体积系数和密度、脱出气的偏差系数、相对密度和体积系数，以及油气双相体积系数等参数。

● 地层原油黏度测试

地层温度下测试各级压力下的地层原油黏度。

● 地层原油分离试验

测试不同分离条件下的气油比、油罐油密度和地层体积系数等参数，确定不同分离条件对原油回收率的影响，以选择最佳分离条件。

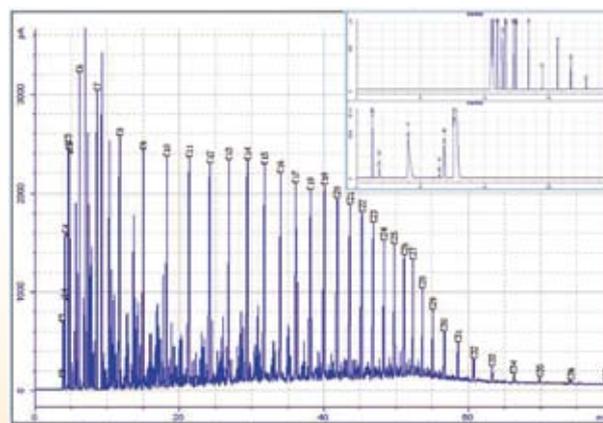
(2) 易挥发原油物性分析实验技术

● 地层流体的物理配样

由分离器中获得油、气样品，根据气油比复配合格的地层条件下的易挥发性原油样品。

● 井流物组成分析

分析测试易挥发原油流体的组分组成。



● 恒质膨胀试验

地层温度下测试地层流体的饱和压力、压缩系数、相对体积和 γ 函数等参数。

● 等容衰竭试验

地层温度下测试易挥发原油流体在不同衰竭压力时的偏差系数、累积采收率、油罐油和闪蒸气累积产量、重质组分累积产量等参数。

● 地层原油黏度测试

地层温度下测试各级压力下的易挥发原油黏度。

(3) 凝析气藏流体物性分析实验技术

● 凝析气地层流体的配制

由分离器中获得油、气样品，根据气油比复配合格的地层条件下的凝析气藏流体样品。

● 井流物组成分析

分析测试凝析气流体的组分组成。



● 恒质膨胀试验

地层温度下测定凝析气藏流体的露点压力、气体偏差系数和不同压力下流体的相对体积等参数。

● 等容衰竭试验

模拟凝析气藏衰竭式开采过程，研究衰竭开采时凝析气藏中烃类物质的反凝析量、井流物的组成和性质变化情况以及不同衰竭压力时的采收率，为开发方案的制订提供理论依据和基础数据。

(4) 天然气藏流体物性分析实验技术

● 井流物组成分析

分析测试气藏流体的组分组成。

● 恒质膨胀试验

地层温度下测定气藏流体的 $P-V$ 关系曲线；测试不同压力下的气体体积系数、密度、偏差系数、压缩系数等参数。



3. 物理模拟实验技术

确定油气层流体的渗流参数是油气田开发中的一个重要问题，物理模拟实验是获得流体在多孔介质中渗流资料的一种重要手段。

物理模拟实验获得的数据和对渗流规律的认识是油气藏开发方案、油藏工程和采油工艺研究的重要基础数据，为油气田开发方案设计和提高采收率技术提供参考及指导。

中国石油拥有先进的、完善的物理模拟实验室和优秀的科研队伍，可以为海内外油公司提供物理模拟实验服务。物理模拟实验技术包括一维渗流模拟技术、三维渗流模拟技术以及微观渗流模拟技术。

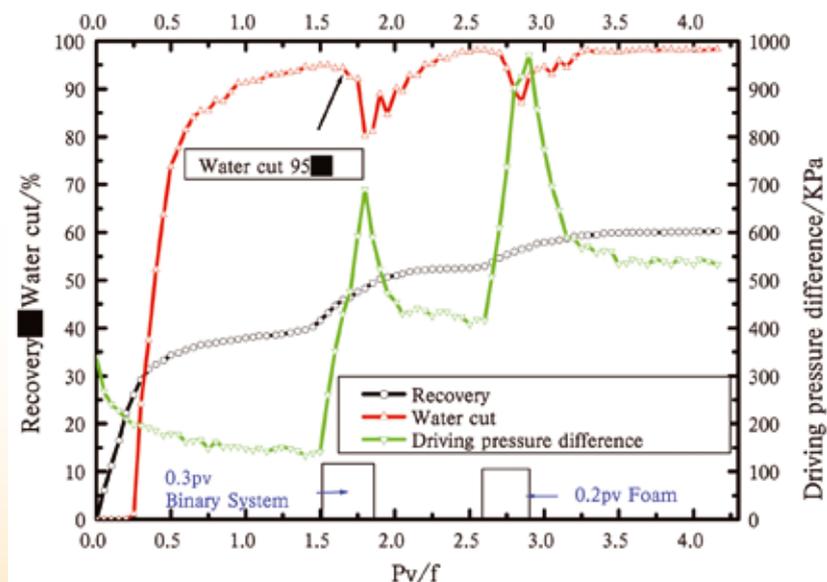
(1) 一维渗流模拟技术

● 常规一维模型

常规一维模型是指将地层取芯加工成直径25.4mm或38.0mm的短岩心（小于100mm），该种模型能真实的反应出油气藏天然的孔隙特征，研究领域广阔。

● 长岩心一维模型

长岩心一维模型由天然岩心拼接后长度大于800mm的岩心模型。长岩心一维模型具有测量误差小、能充分反映出流体作用过程的优点。





● 大直径填砂模型

大直径填砂模型是利用地层疏松砂或洁净石英砂压制后直径小于 100mm 长度大于 800mm 的岩心模型。

结合地层渗透率参数，通过合理压制程序，建立模拟油气层孔隙特征的模型。该种模型有效解决了疏松油气层的模拟问题。

● 其他类型模型

针对不同的研究目的，一维渗流模型也发展成多种形式的模型种类，例如：人工制造的非均质胶结模型、截面为方形的一维岩心和外模型为有机材料的填砂模型等等。

这些模型丰富了一维渗流模型的种类，扩展了研究领域。

(2) 三维渗流模拟技术

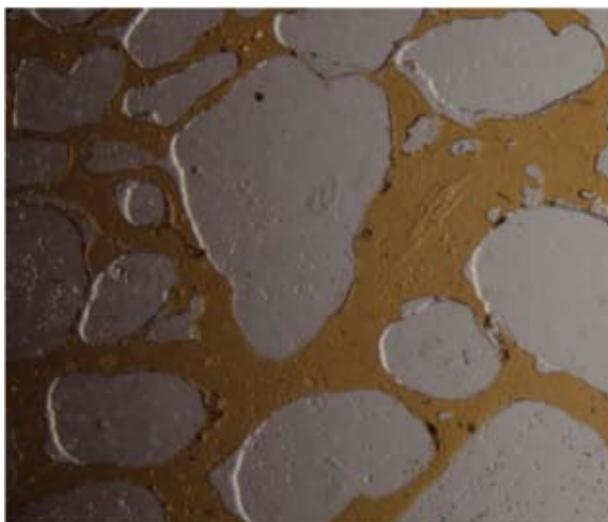
● 模型准备

- 1 天然露头岩石的选择；
- 2 露头岩石的切割加工；
- 3 岩石渗透率等基本物性参数测试；
- 4 井网设计、饱和度和压力监测点设计，监测器件安装；
- 5 模型封装等

(3) 微观渗流模拟技术

微观渗流模拟技术是指利用玻璃刻蚀的孔隙结构模型研究流体渗流特征的可视化分析技术。

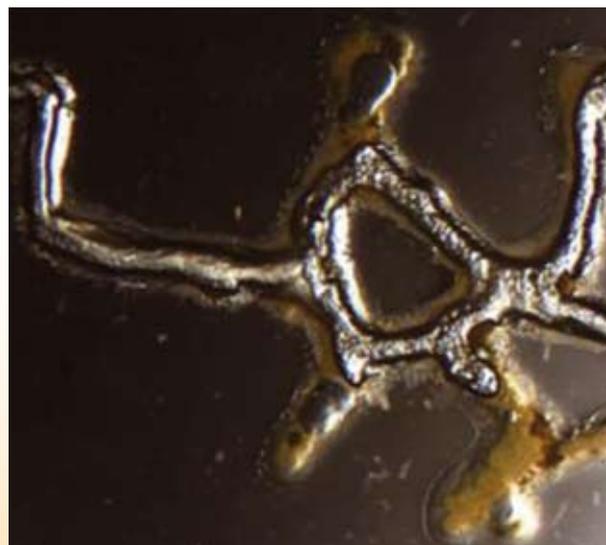
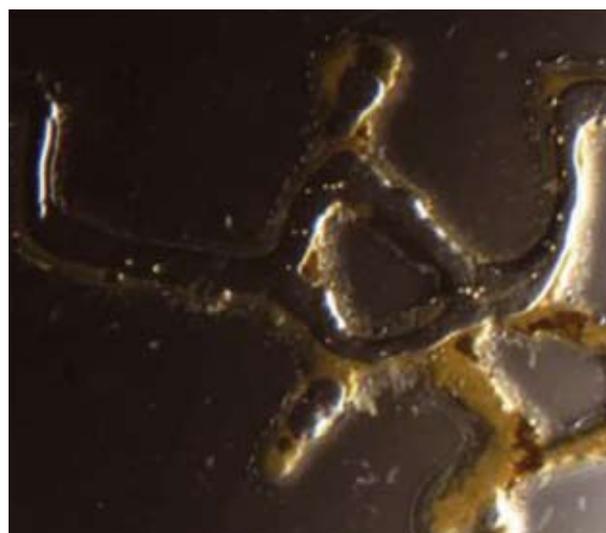
玻璃模型种类很多，主要有模拟岩石孔隙尺寸的孔道模型、正方形等规则图形模型和真实岩心孔隙的平面映像模型等。



饱和原油后的微观模型



微观渗流模拟技术突出优点是能清晰显示出流体的渗流机理，为油气田开发提供的理论支撑。



水驱油 / CO₂ 驱油后剩余油分布

3

典型案例

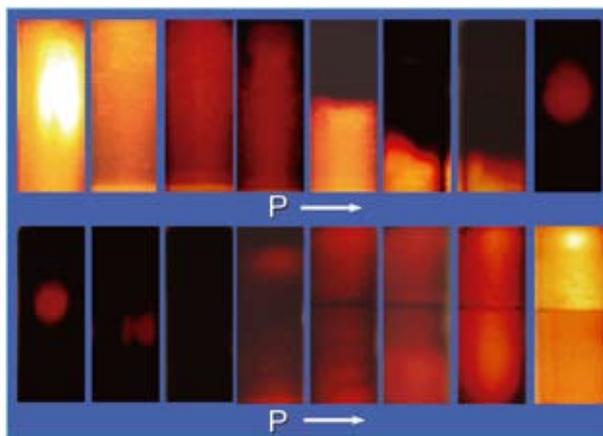
1. 岩心分析实验技术的应用

为苏丹 Petrodar 公司提供岩心分析服务。对 Gumry 油田 Zarzor-2 井位于 Yabus 层位的 21 个总长 21.74m 的垂直岩心柱，进行了岩心的常规物性分析、岩心专项分析以及岩心孔隙结构分析。为该油田的油藏储量计算、开发方案的设计提供了翔实的重要的岩心分析实验数据。

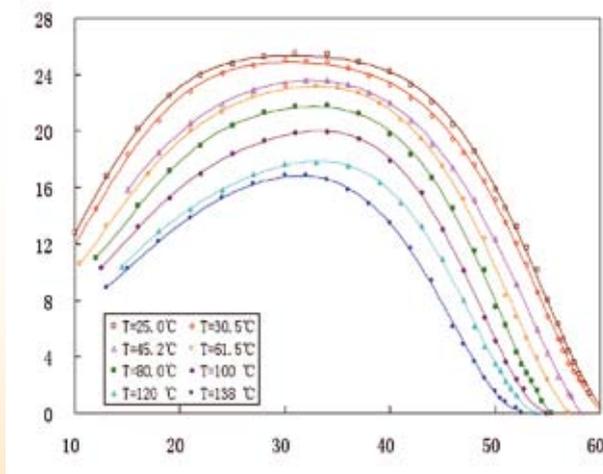
2. 流体分析实验技术的应用

利用凝析气藏流体物性分析实验技术对牙哈凝析气藏流体物性参数进行了分析测试，提供的物性参数和相态特征变化规律直接指导了该凝析气藏开发方案的制订。

牙哈凝析气藏地层压力 56MPa、地层温度 138℃、凝析油含量 600g/m³、凝析油含蜡量 12%，是典型的富含凝析油的高含蜡凝析气藏；牙哈凝析气露点压力 52.5MPa，地露压差小反凝析现象严重（最大反凝析液量 20%），若采用常规的衰竭式开采，采收率很低，应采用循环气保压开采。



亚哈凝析气藏流体近临界相态变化的光学现象

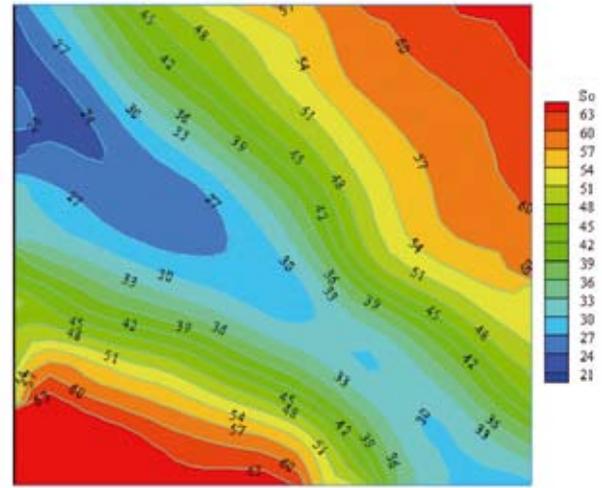


反凝析液量变化曲线

3. 物理模拟实验技术的应用

印度尼西亚 Kaji-Semoga 油田储层呈典型的生物灰岩特征，方解石平均含量 96%。露头样品分析表明，非均质性较强；样品为弱水湿；扫描电镜分析表明，岩石的大孔隙较少，以溶蚀孔为主；微孔隙多，以晶间孔和充填孔为主。

利用二维物理模拟技术开展提高采收率室内研究，水驱结束后尝试泡沫驱，注入泡沫利用贾敏效应增加水流通道阻力，提高波及程度，驱替效率大幅增加。实验证实泡沫体系起到了流度控制作用，其提高采收率的机理之一是提高波及体积。



Saturation field of PS and faom flooding

4 科研装备

中国石油建成了装备优良、技术先进的提高石油采收率国家重点实验室。在岩心常规、专项、孔隙结构分析手段与方法达到国内领先、国际一流水平；在流体分析领域包括油气藏流体相态分析和注气机理研究等方面的手段与方法与世界水平同步；在物理模拟实验方面，通过升级改造，在微、中、宏观尺度的渗流物理模拟方法与世界同步。

岩心分析实验室

拥有的先进仪器包括 PHI220 孔隙度仪 Ka-210 渗透率仪, AP-60 覆压孔渗仪, VpVs-200 声波测量系统, PorMaster-33 高压压汞仪, RCS760 电阻率-毛细管压力联测系统, QUIZIX SP-5000 系列高压计量泵等。



CT扫描系统



恒速压汞仪



油藏条件下岩心分析系统



地层伤害评价系统

流体分析实验室

拥有先进的超高压PVT装置，超高压流体物性分析装置，固溶物检测装置，长岩心驱替系统，高温高压界面张力仪，气相色谱仪 6890N 等。



超高压PVT装置



固溶物检测装置



长岩心驱替系统



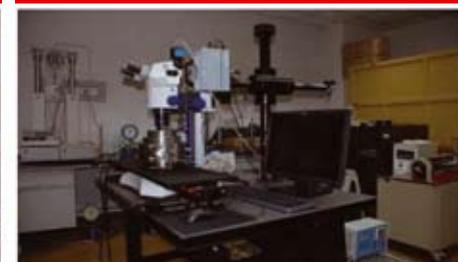
高温高压界面张力装置



一维渗流模型实验装置



三维渗流模型实验装置



微观渗流模型实验装置

物理模拟实验室

实验室包括一批先进的设备仪器，如高温高压三维物理模拟装置，高温高压三维物理胶结模型，中压设备，显微/高速摄像微观设备等。

5

资质与标准

1. 资质

中国石油 1989 年研制成孔隙型渗透率标准物质，1990 年通过国家技术监督局组织的鉴定，成为国家首家制造此类标准物质的单位。

1993 年 10 月 19 日通过国家技术监督局、石油评审组的评审，成为首批石油开发试验计量认证合格单位之一，此后多次通过了国家技术监督局组织的认证检查以及扩项评审。



6

专家团队



郭尚平 中国科学院院士，流体力学家、生物力学家、油田开发专家。主要从事油田开发、油藏工程和生物力学方面的科学研究并取得多项重要成果。是我国最早按正规设计开发的克拉玛依油田开发设计的主要设计人，大庆油田开发工作组渗流研究计算组负责人，为我国油田开发做出重要贡献。曾获国家自然科学奖三等奖。

E-Mail: guosp@petrochina.com.cn



沈平平 油气田开发工程专家。致力于各种类型油田提高石油采收率的理论、方法和技术创新，主持并参与完成一系列重大科研项目，研究成果在国内外多个油田成功应用，取得显著应用效果和效益，获全国科技大会奖 1 项、国家科技进步二等奖 3 项。获专利 2 项，出版专著 7 部，发表论文 40 余篇。

E-Mail: spp@petrochina.com.cn



王家禄 油气田开发工程专家，SPE、中国石油学会会员、中国力学学会会员。致力于油气田开发的应用基础研究，在水平井技术、三维油藏物理模拟、三次采油新技术等领域取得了显著的成就。发表论文 40 余篇，获专利 6 项，出版专著 3 本，译著 1 本。

E-Mail: wjl@petrochina.com.cn



秦积舜 油气田开发工程专家，SPE、SCA、中国石油学会会员。长期从事油层物理、渗流力学和提高采收率的教学与研究工作。发表论文 30 余篇，专著 1 部，获专利 3 项。
E-Mail: qinjs@petrochina.com.cn



郑希谭 油气藏开发实验技术专家，在流体分析方面具有 30 多年的工作经历，参与制订了多项流体分析实验标准，相关领域发表论文 20 余篇。
E-Mail: zhengxt@petrochina.com.cn



刘庆杰 油气藏开发实验技术专家，在岩心分析、渗流理论方面具有超过 10 年的工作经历，熟悉岩心分析、渗流实验等测试方法、相关标准，相关领域发表论文 20 多篇。
E-Mail: lqj@petrochina.com.cn



李 实 油气藏开发实验技术专家。在流体分析方面具有 20 多年的工作经历，参与制订了多项流体分析实验标准，相关领域发表论文 10 余篇。

E-Mail: PVT@petrochina.com.cn



张祖波 油气藏开发实验技术专家。在岩心分析方面具有 20 余年的工作经历，参与制订了多项岩心分析实验标准，相关领域发表论文 10 余篇。

E-Mail: zzbo@petrochina.com.cn



陈兴隆 油气藏开发实验技术专家。在物理模拟方面具有多年工作经历，相关领域发表论文 10 余篇。

E-Mail: chxlhdpu@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

