

超重油经济高效开发技术

2013 年



中国石油天然气集团公司 科技管理部

中国石油——超重油开发领域的技术强手！





目 录

1 简介	3
2 特色技术	4
3 典型案例	11
4 科研装备	12
5 资质与标准	13
6 专家团队	14



中国石油

中国石油天然气集团公司（简称“中国石油集团”，英文缩写：CNPC）是根据国务院机构改革方案，于1998年7月在原中国石油天然气总公司的基础上组建的特大型石油石化企业集团，系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，主要业务包括油气业务、石油工程技术服务、石油工程建设、石油装备制造、金融服务、新能源开发等。中国石油天然气集团公司2012年国内生产原油1.1亿吨，生产天然气798.6亿立方米，加工原油1.91亿吨，全年实现营业收入2.69亿元，实现利润1391亿元。

2012年，中国石油在美国《石油情报周刊》

世界50家大石油公司综合排名中位居第4位，在《财富》杂志全球500家大公司排名中位居第6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“主营业务战略驱动，发展目标导向，顶层设计”科技发展理念和“自主创新、重点跨越、支撑发展、引领未来”的指导方针，以国家科技重大专项为龙头、公司重大科技专项为核心、重大现场试验为抓手、重大装备、软件、产品、标准为载体，持续推进科技进步，提升科技创新能力，取得一大批具有自主知识产权的先进实用技术。

超重油经济高效开发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



随着常规油气资源的日益枯竭，非常规石油资源的开采越来越受到重视。委内瑞拉重油带超重油资源丰富，开发潜力巨大，是目前各国国际石油大公司竞相追逐的热点地区。超重油具有高密度、高黏度、高含沥青质、高含硫、高含重金属钒和镍等特征。

超重油常规热采开发经济风险大。中国石油以实现超重油的经济有效开发为出发点，立足于关键技术的攻关和创新，形成了适合该类

油藏的特色冷采开发配套技术，包括超重油油藏描述技术、超重油油藏冷采经济高效开发技术和超重油油藏钻采、集输配套技术三个技术系列和 10 项单项技术。中国石油超重油开发技术成功应用于重油带合作开发区块的生产实践，取得了显著的技术经济和社会效益，充分展示了中国石油的技术水平和技术服务能力，赢得了良好的声誉。



2

特色技术

2.1 超重油油藏描述技术系列

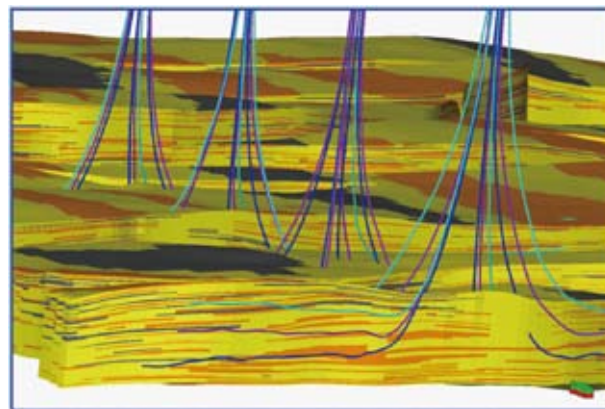
超重油油藏描述技术针对储层巨厚和疏松的特点，结合长水平段水平井开发模式，利用开发过程中所取得的油藏静、动态资料，对油藏构造、储层、流体等开发地质特征做出定量的认识和表征，建立精细的三维地质模型。

技术系列包括巨厚疏松砂岩层序划分对比、直井与水平井联合地震反演、单砂体与隔夹层定量描述和多属性约束三维地质建模技术。

中国石油超重油油藏描述技术能够实现充分利用大量水平井信息和密井网资料，与地震信息相结合，建立储层定量地质知识库，刻画不同成因砂体和隔夹层的空间分布，为用户提供一体化的超重油油藏描述技术解决方案。



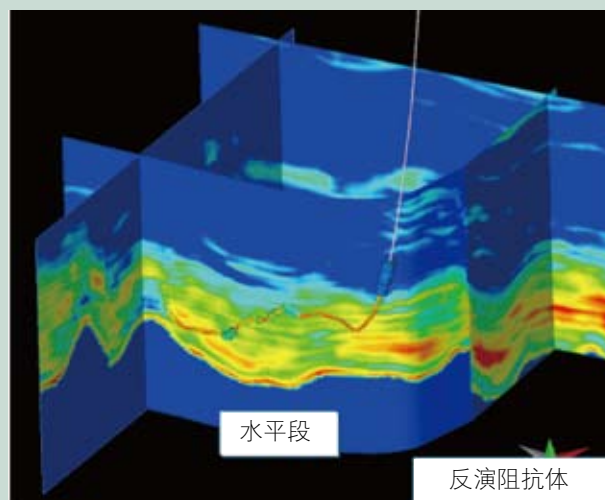
多点地质统计
图像训练



水平井砂体定量表征

2.1.1 直井与水平井联合地震反演技术

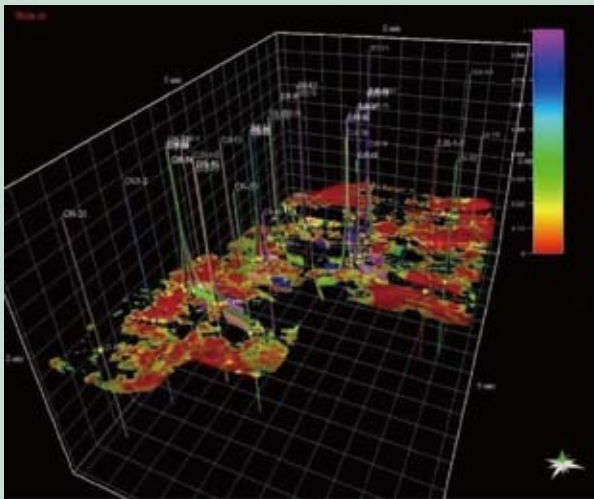
在岩石物理研究基础上，以孔隙度为桥梁，利用 GR 和 RT 资料重构声波曲线，重构声波合成记录与井旁道吻合较好，为反演提供了可靠的速度信息；将井轨迹投到过井地震测线上，井轨迹按倾角分段提取井旁地震道，对井旁道进行叠加合成新的地震道，利用水平井合成记录与倾角叠加地震道对比，实现水平井井震标定。



联合反演

水平段参与地震反演极大提高了参与反演的储层样点数量，明显提高地震反演精度和可靠性，有效解决了井间、井外和储层内部的储层预测不确定性问题。

适用于水平井开发砂岩储层。



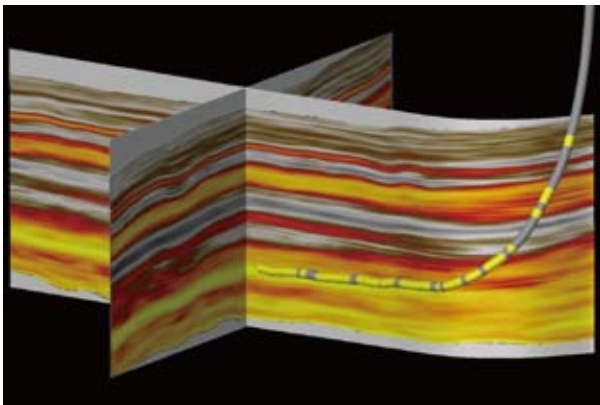
隔夹层空间分布反演成果

2.1.2 单砂体与隔夹层定量描述技术

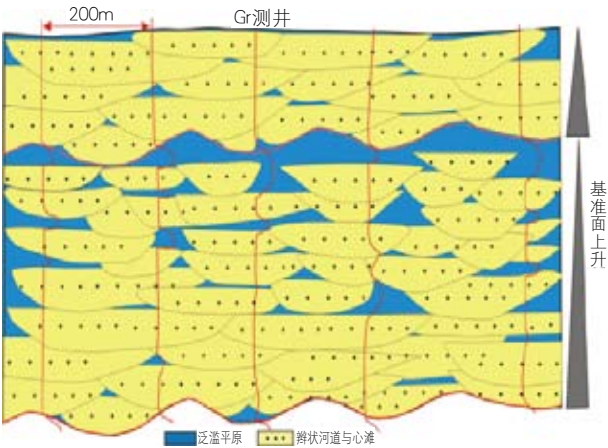
利用水平井的水平段信息，采用测井与地震相结合的办法，定量描述单砂体和隔夹层几何特征，建立储层定量知识库：根据岩心分析、地球物理响应特征，在河流相砂体中划分隔层与夹层，得出隔夹层与不同级别层次界面对应

关系，并根据井点上所识别出的隔夹层及其所对应的层次界面的空间展布和沉积单元数，最终确定隔夹层及沉积单元的空间分布。

适用于水平井开发方式砂岩油藏。



水平井隔夹层表征



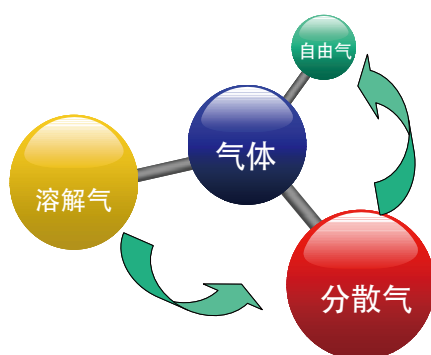
砂体分布模式

2.2 超重油油藏冷采经济高效开发技术系列

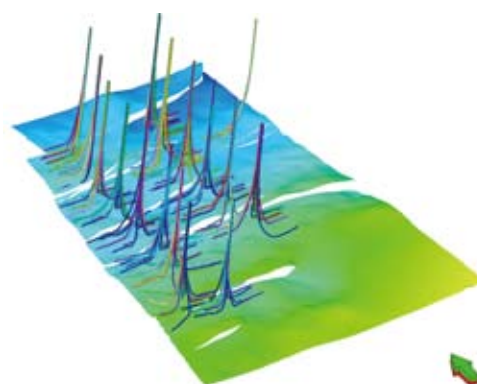
针对超重油独特的油藏流体特征，以其冷采机理和数值模拟技术研究为重点，形成了针对性、有特色的超重油油藏冷采经济高效开发技术系列，包括超重油油藏泡沫油物理模拟、

超重油油藏泡沫油数值模拟、超重油油藏整体丛式水平井冷采开发和经济评价技术。

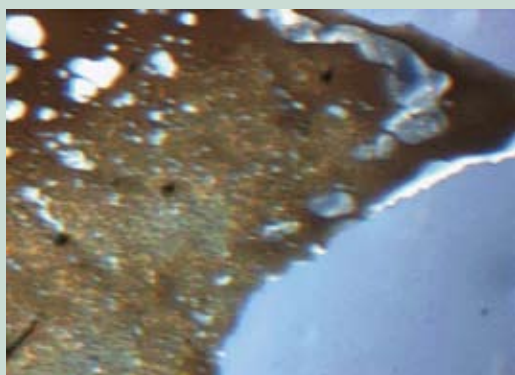
中国石油具有提供大型超重油油藏冷采开发油藏工程优化设计的能力。



泡沫油多组分模拟方法



整体丛式水平井开发井网



泡沫油微观渗流机理

2.2.1 超重油油藏泡沫油物理模拟技术

拥有一套系统的泡沫油驱油物理模拟实验方法和实验装置。能够揭示泡沫油的形成、聚并和破碎的微观机制、非常规 PVT 特性、驱替特征、流变特征和渗流特征等，能够系统分析影响泡沫油形成与驱油效果的各种因素，能够测定泡沫油的拟泡点压力、临界含气饱和度等重要参数。

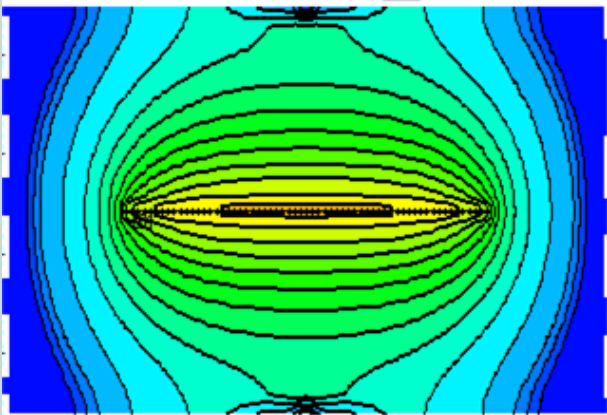
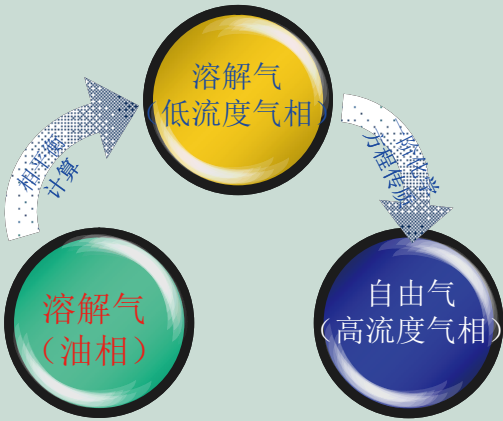
- 泡沫油一维驱替物理模拟系统；
- 泡沫油二维微观物理模拟系统；
- 泡沫油流变性测定装置；
- 泡沫油强度及稳定性测定装置；
- 泡沫油非常规 PVT 测定装置；

2.2.2 超重油油藏泡沫油数值模拟技术

多组分动力学模拟方法数字化再现泡沫油在多孔介质中的驱替过程，可真实地揭示气泡在地下多孔介质渗流条件下动态的生成、聚并和相间传质的过程，以及这一过程中的多相流体渗流特征。

可为泡沫油衰竭开采特征、开发策略优化研究等提供有效途径。

适用于超重油油藏泡沫油冷采开发优化设计、冷采接替开发方式（注气和注热介质等）的数值模拟。



泡沫组分浓度分布模拟

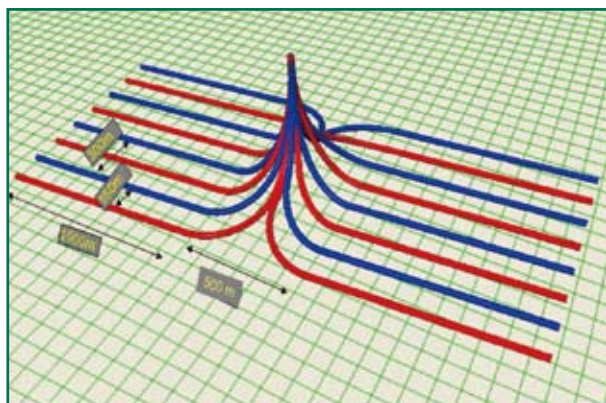
2.2.3 超重油油藏整体丛式水平井冷采技术

依据超重油油藏具有泡沫油流的开采特征，通过优化水平井及多分支井开发设计与部署，可获得较高的采油速度和一次采收率。

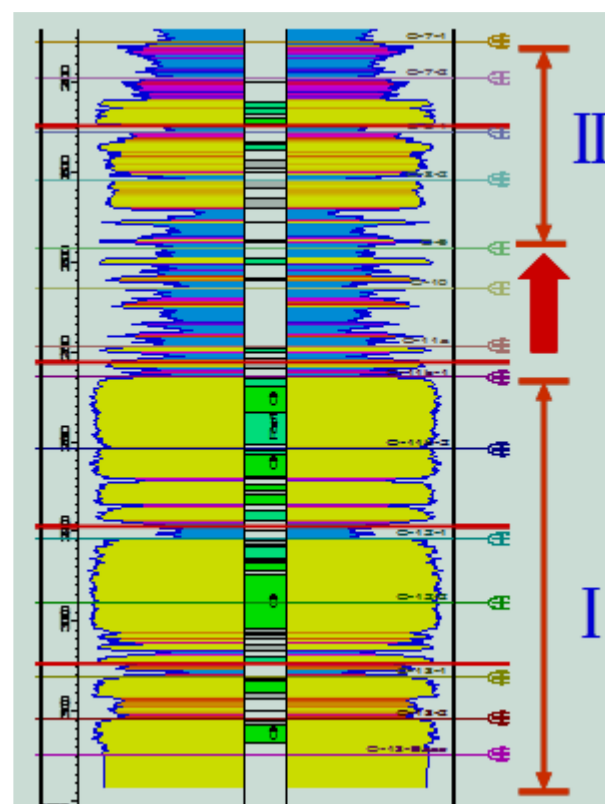
水平井油藏接触面积大，单井累产高，开采成本低，经济效益好。同时，地面采用丛式水平井平台部署，有利于地面建设、油气集输管理以及环境保护。

中国石油具有系统地研究和优化中深层和浅层超重油油藏开发层系、井距、井型、布井

方式和提高冷采开发效果的技术策略研究能力，和大型超重油油藏整体丛式水平井开发方案和开发评价方案编制的能力。



平台丛式水平井布井模式

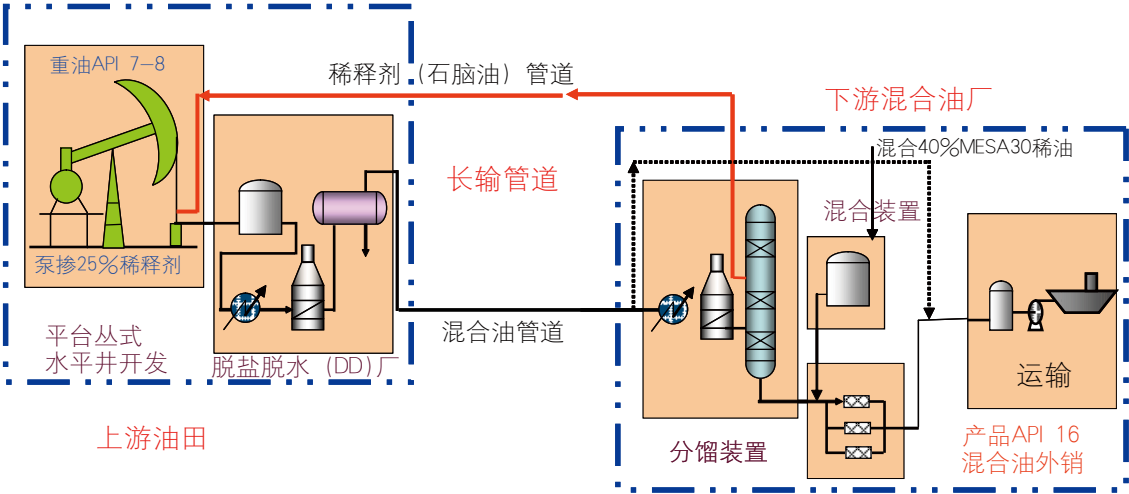


开发层系划分与层间接替

2.3 超重油油藏钻采、集输工艺技术系列

为适应超重油油藏流体特征和水平井冷采开发方式的需要，考虑海外作业背景对经济高

效开发的要求，集成了独具特色的超重油油藏钻采、集输配套技术系列，包括超重油疏松砂岩油藏丛式水平井钻完井工艺配套、超重油泡沫油冷采举升工艺配套，以及超重油掺稀降黏集输处理工艺配套技术。

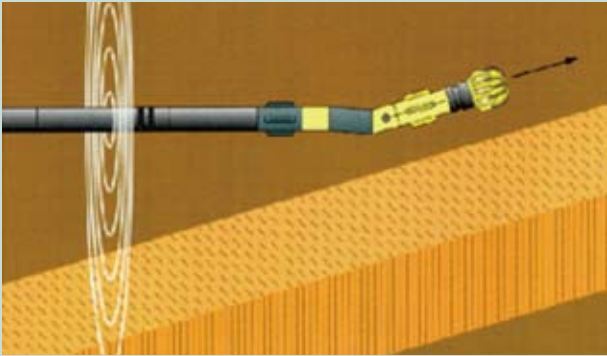


掺稀降黏不加热密闭集输工艺流程

2.3.1 超重油疏松砂岩油藏丛式三维水平井钻完井技术

适应超重油疏松砂岩油藏丛式水平井冷采开发的需要，解决水平井水平段钻进过程中井眼轨道的优化设计和地质导向问题，以及生产中的出、防砂问题等。

- 丛式井开发钻井平台规划与实施；
- 中曲率半径三维水平井钻井；
- 随钻测井和与随钻测量疏松砂岩；
- 水平段近平衡钻井；
- 割缝筛管防砂完井工艺。



随钻测井和与随钻测量工艺技术

2.3.2 超重油油藏泡沫油冷采举升工艺技术

选择电潜泵和螺杆泵作为超重油冷采举升方式，辅之防砂、冲砂、防气和掺稀降黏等相应的配套技术，解决油稠、气油比高、出砂三个难点并存的问题。

电泵井井底掺稀举升适宜 2500m 以内的举升高度，理论排量在 $80 \sim 900\text{m}^3/\text{d}$ 为宜，油藏原油黏度范围在 $60 \sim 5500\text{mPa} \cdot \text{s}$ ，适用低出砂井举升；螺杆泵井口掺稀剂举升适宜 1700m 以内的举升高度，理论排量在 $16 \sim 250\text{m}^3/\text{d}$ 为宜，油藏原油黏度范围在 $2000 \sim 5500\text{mPa} \cdot \text{s}$ ，适用较高出砂井举升。

2.3.3 超重油掺稀降黏集输处理工艺技术

- 井场集中建设、油气密闭集输、原油集中处理、采出水回注、气体综合利用等油气集输工艺；
- 掺稀降黏不加热密闭集输流程；
- 采油井场—转油站—脱盐脱水厂三级布站方式；
- 集约、高效、环保、安全。

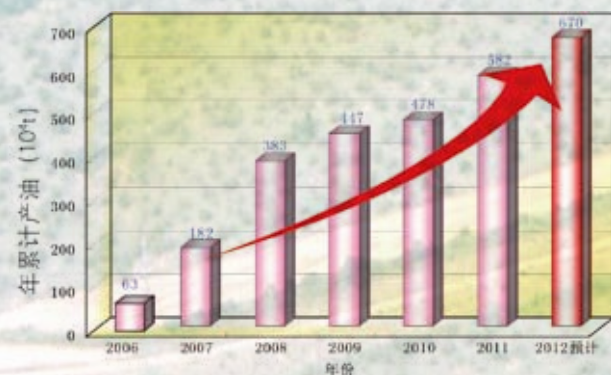


3

典型案例

3.1 MPE3 超重油油藏整体丛式水平井冷采开发

委内瑞拉奥里诺科重油带 MPE3 区块，油藏中深 2910ft，孔隙度 30% ~ 36%，渗透率 5 ~ 12D，地下原油黏度 5516mPa·s，采用水平井泡沫油冷采开发配套技术，水平井段长度 800 ~ 1000m，井距 500 ~ 600m，平均单井初产 1200bbl/d，单桶操作成本低于 5 美元，目前已建成年产近 $700 \times 10^4\text{t}$ 的中国石油海外最大的重油生产基地。



MPE3 项目历年重油产量

3.2 胡宁 4 超重油油藏整体丛式水平井开发

委内瑞拉奥里诺科重油带胡宁 4 区块，为超浅层、层状超重油油藏，原油重度 8.5° API，采用整体丛式水平井开发，水平井段长度 500 ~ 1000m，冷采阶段井距 300m，水平井水平段裸眼悬挂 7" 割缝防砂衬管完井，冷采阶段采用螺杆泵井口掺稀举升技术和掺稀密闭集输流程。目前已进入开发实施阶段，将建成年产 $2300 \times 10^4\text{t}$ 的超重油生产能力。



胡宁 4 区块位置图

4

科研装备

中国石油依托提高石油采收率国家重点实验室（仪器设备 696 台套），在泡沫油物理模拟方面拥有装备优良、技术先进的实验设备，包括泡沫油一维 / 二维物理模拟实验装置、非常

规 PVT 测试装置和流变性测定装置等。在超重油流体物性分析等方面的手段和方法与世界水平同步；在微、中、宏观尺度的渗流物理模拟方法与世界同步。



CT 扫描系统



长岩心驱替系统



超高压
PVT 装置



固溶物检测装置



高温高压界面张力装置



微观渗流模型实验装置



一维渗流模型实验装置

5

资质与标准



5.1 资质

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）级信誉等级证书，通过了 GB/T19001 质量管理体系认证。

超重油经济高效开发技术获国家科技进步一等奖等多项奖励。



5.2 标准

中国石油严格执行相关国家或行业标准。

主持或参与制订的标准：

- 稠油油藏描述技术要求 SY/T 6191—1996；
- 地层原油物性分析方法 SY/T 5542—2000；
- 岩石中两相相对渗透率测定方法 SY/T 5345—2007；
- 油气藏流体取样方法 SY/T 5154—1999；
- 稠油油藏流体物性分析方法 原油黏度的测定 SY/T 6316—1997；
- 稠油油藏流体物性分析方法 原油渗流流变特性测试 SY/T 6282—1997；
- 丛式井平台布置 SY/T 5505—2006；
- 潜油电泵选井原则及选泵设计方法 SY/T 5904—2004；
- 水平井上部注水泥下部筛管完井法 SY/T 6846—2012；
- 原油管道运行规程 SY/T 5536—2004。

5.3 专利

- 一种测量泡沫油强度及稳定性的方法及装置；
- 一种表面活性剂及其制备和应用；
- 一种超重原油改质处理的工艺方法。

6

专家团队



穆龙新 油气田开发工程专家。致力于重油等各种类型油田开发理论、开发方法研究和技术创新，主持重油开发相关多项国家和公司重大科研项目，获国家和省部级科技奖 10 多项。发表论文 30 余篇，出版专著 7 部。
电话：010-83598612
Email: mlx@petrochina.com.cn



卞德智 油气田开发工程专家。拥有近 30 年国内外油气田开发技术研究与管理经验，在超高压特低渗透与碳酸盐岩油气田开发技术领域居国内外先进水平，主持重油相关国家科技重大专项研究，获得国家科技进步一、二等奖 2 项，省部级奖励 11 项，发表论文 16 篇，出版著作 3 部。
电话：010-60111880
Email: biandzh@cnpicint.com



李方明 油气田开发工程专家。从事油气田开发科研和管理工作 25 年，近年致力于重油等油藏开发技术攻关与生产管理，主持多项公司科研攻关课题，水平井开发技术成果突出。
电话：010-62098786
Email: lifangming@cnpc.com.cn



陈和平 油气田开发工程专家。从事油气田开发科研和管理工作的近30年，获省部级以上科技进步奖6项。承担多项重油相关国家科技重大专项和集团公司科技专项课题等，出版专著4部，发表论文10余篇。

电话：010-83593030

Email: chenheping1@petrochina.com.cn



吕斌昌 油田开发地质专家。在油气田开发地质研究、开发综合管理方面具有25年的工作经历，尤其是海外重油开发项目经营运作管理方面有多年的工作经验，相关领域发表论文10余篇。

电话：0058-0412-3668599

Email: lubinchang@cnpc.com.cn



刘尚奇 重油开发技术专家。长期从事重油开发技术的基础理论与应用研究，在重油和超重油注蒸汽热采、超重油泡沫油冷采开采机理与应用研究中取得突出的成果。

电话：010-83597857

Email: sqliu@petrochina.com.cn



李星民 油气田开发工程专家。在重油开发技术方面有多年工作经历，在泡沫油数值模拟和开发优化设计方面有较为丰富的经验，发表论文 10 余篇
电话：010-83598625
Email: lxingmin@petrochina.com.cn



黄文松 油田开发地质专家。在开发地质和油藏描述方面具有超过 10 年工作经历，在辫状河沉积储层地质建模方面研究较为深入，相关领域发表论文 10 余篇
电话：010-83593231
Email: hwshws6@petrochina.com.cn



李振军 油气田开发工程专家。在油田开发和钻井工程，尤其是浅层疏松砂岩三维水平井技术方面有多年工作经历。获局级科技进步一、二等奖 2 项。
电话：0058-0426-5800140
Email: lizhenjun@cnpc.com.cn



联系人：刁顺 先生
电 话：86-10-5998-6059
Email: sdiao@cnpcc.com.cn

Contact: Mr. Diao Shun
Tel: 86-10-5998-6059
Email: sdiao@cnpcc.com.cn

