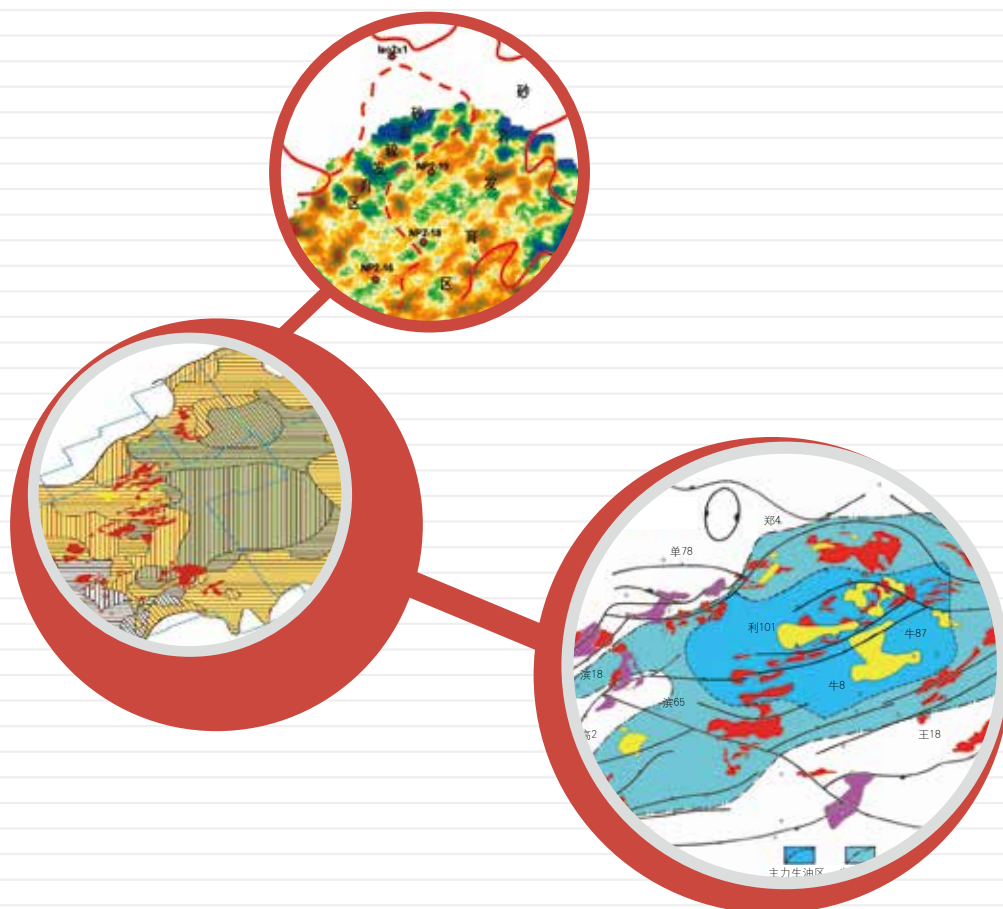


富油气凹陷精细勘探 理论和技术

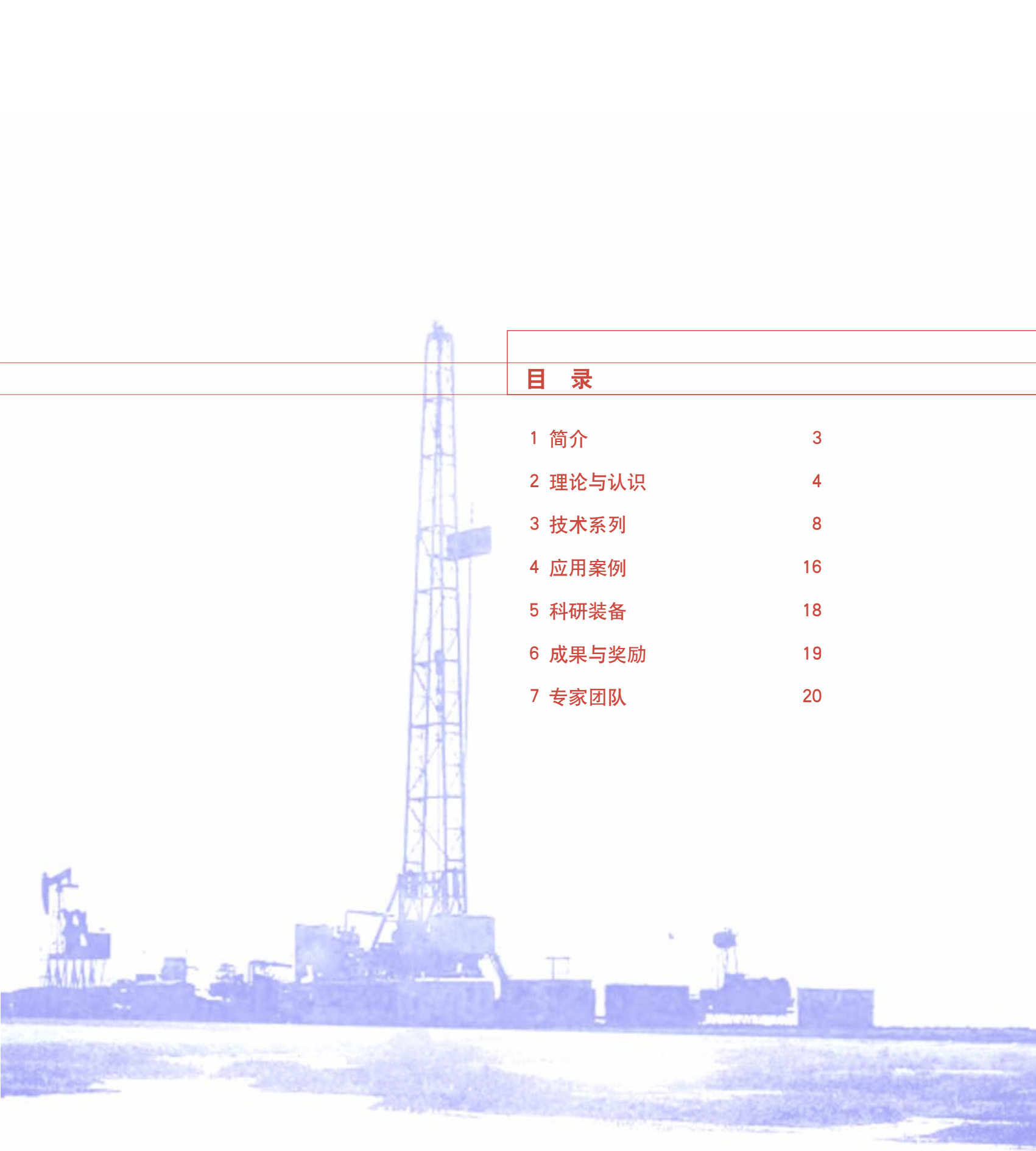
2015 年



中国石油天然气集团公司 科技管理部

A photograph of an oil pumpjack and wellhead in a field. The pumpjack is on the left, and the wellhead is on the right. The background shows a line of trees under a clear blue sky.

中国石油——富油气凹陷精细勘探的先锋！



目 录

1 简介	3
2 理论与认识	4
3 技术系列	8
4 应用案例	16
5 科研装备	18
6 成果与奖励	19
7 专家团队	20



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2014年国内生产原油1.1367亿吨，生产天然气954.6亿立方米，加工原油1.502亿吨，全年实现营业收入2.73万亿元，实现利润1734亿元。

2014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3位，在《财富》杂志全球500家大公司排名中位居第4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。

富油气凹陷精细勘探理论和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

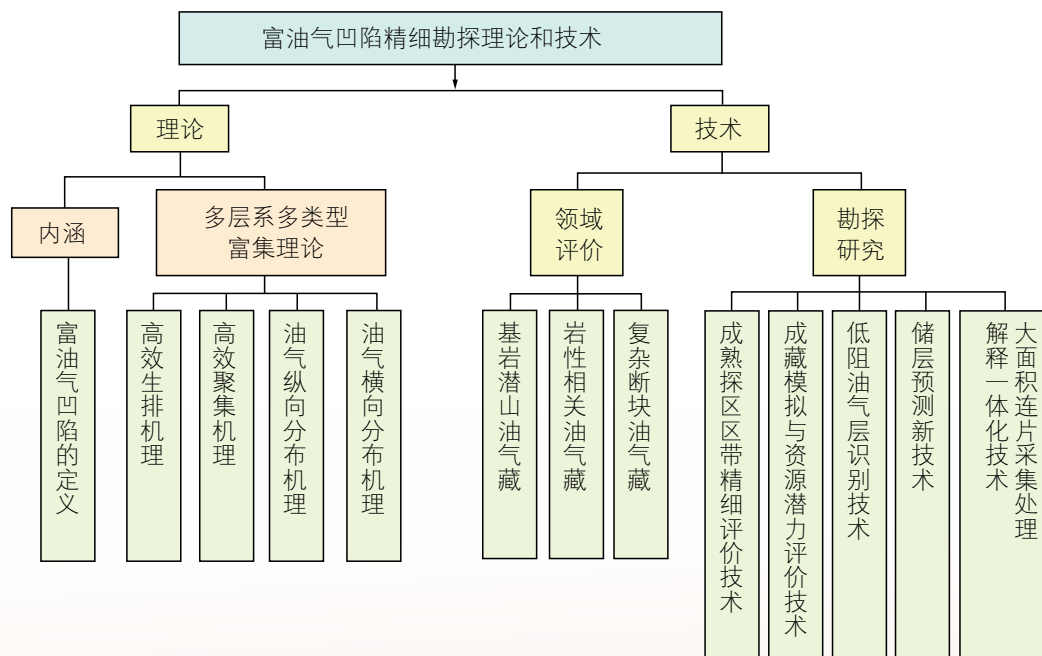
1

简介

已走过了 50 多年勘探开发历程的渤海湾盆地，随着精细勘探理论和技术的不断发展和完善，近年来勘探实践不断获得大突破和大发现。

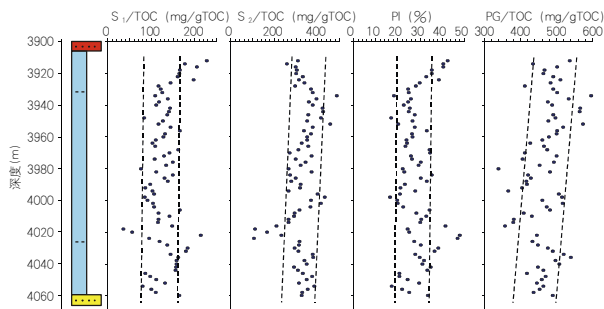
富油气凹陷是指已发现亿吨级以上规模油气探明储量、资源丰度超过 $10 \times 10^4 \text{t}/\text{km}^2$ 且勘探潜力大的凹陷。该类凹陷面积虽然仅占全盆地的 30%，截至 2010 年底已发现探明储量却占全盆地总数的 90%，剩余资源量依然还占全盆地的 80% 以上。多层系富油、连片含油已成为富油气凹陷油气富集的典型特征。

自 20 世纪 90 年代初起，中国石油一直致力于富油气凹陷地质特征与油气富集规律的认识，着力于开展富油气凹陷精细勘探研究与实践，已经形成了理论与技术两大领域 5 项地质理论与认识和 8 项油气藏评价技术，技术优势显著，服务领域广泛，部分技术达到国际先进水平。近些年来，冀东、大港、辽河、华北等油田根据凹陷自身地质特征，运用富油气凹陷精细勘探理论与技术，相继获得了大的发现与突破。

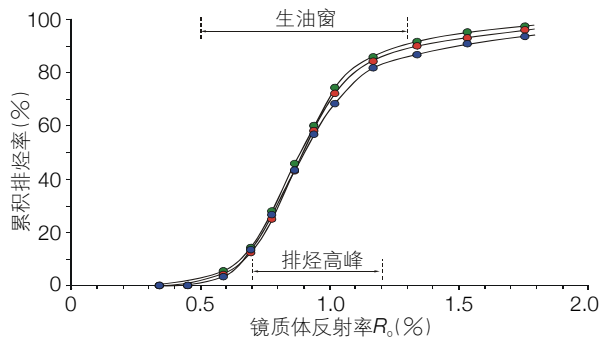


2.2.1 高效生排机理

- 背景：排烃系数 30%；高过成熟阶段也仅 40%；排聚系数通常 8%以下，有效排烃厚度通常小于 30m。
- 排烃厚度：排烃作用与其厚度没有直接关系，也即湖相烃源岩有效排烃厚度没有上限，厚层烃源岩也可以充分排烃。
- 排烃效率：有机质的演化达生油窗结束时，各类烃源岩的累积排烃效率达到了 85% ~ 90%，也即是说生油窗阶段烃源岩排出了其中生烃潜量的 85% ~ 90%的烃类。
- 意义：据新认识重新评价渤海湾盆地油气资源潜力比第三次资源评价结果增加 50% 左右。



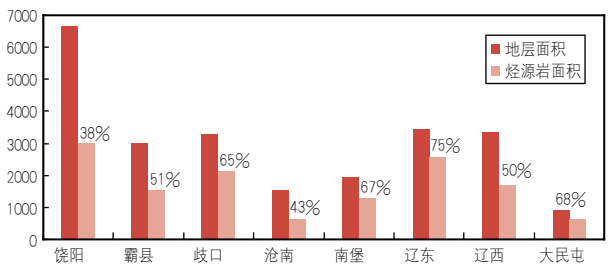
厚层泥岩有机碳及热解生烃潜力剖面



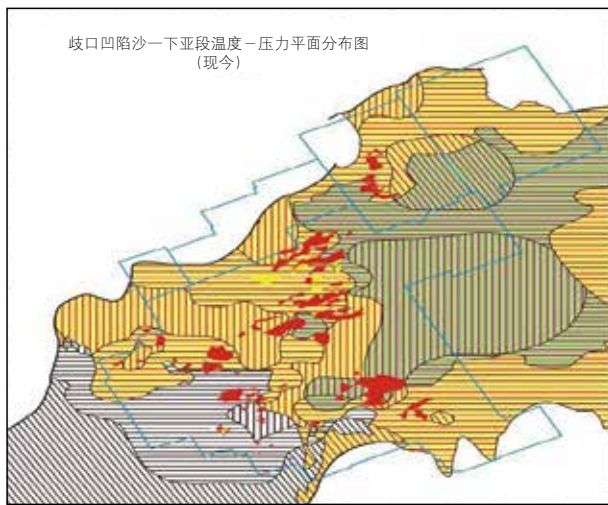
渤海湾盆地古近—新近系湖相烃源岩累积排烃率模式图

2.2.2 高效聚集机理

- 大规模烃源灶及其高生排烃潜力：从有效烃源岩 / 凹陷面积 (%) 值来看，除饶阳与沧南较小 (37.6% 与 43.4%) 以外，其余富油气凹陷的比值均大于 50%，辽东凹陷达 74.7%。
- 油气成藏与盆地演化的匹配性：渤海湾盆地新生代构造演化可以划分为古近纪裂陷期和新近纪裂后期两个构造演化期；富油气凹陷烃源岩热演化与油气运移充注主要受两幕构造活动的控制并形成凹陷主要成藏期。



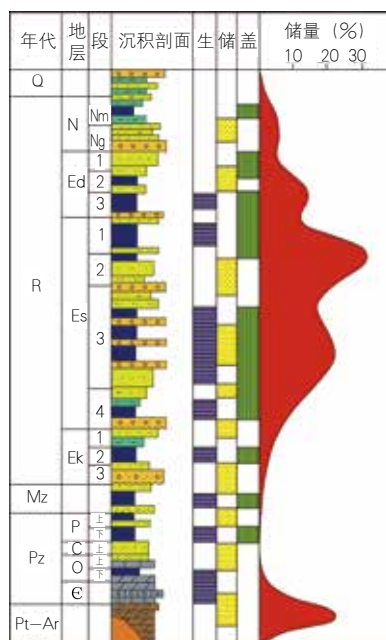
八大富油气凹陷烃源岩发育对比图



- 运聚要素的优质组合与配置：油气运聚优势效应明显，主要与优势通道断层有关；砂体与斜坡组成有利的相带—圈闭配置；继承性发育的构造带与生烃灶的合理配置；中深层常温—高温高压高能系统发育有利于油气聚集。

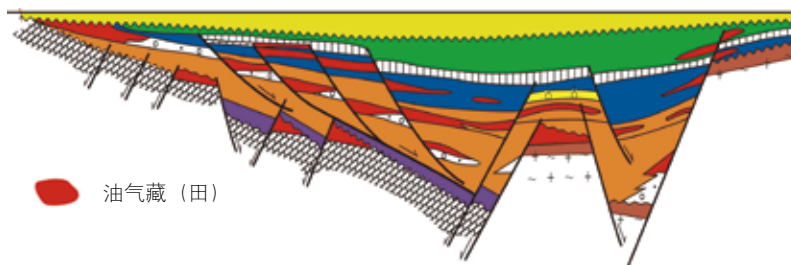
2.2.3 油气纵向分布机理

- 纵向成藏特征具差异性：上部组合晚期成藏，



生储盖组合柱状图

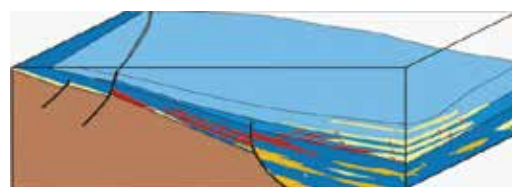
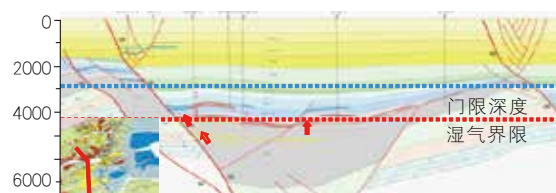
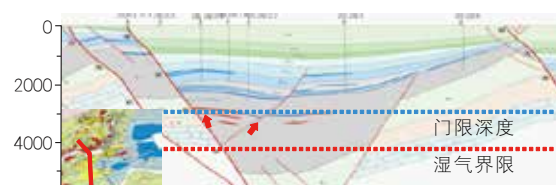
- 上油下气：“多期充注、先油后气、差异聚集”是构成“上油下气”或“高油低气”的根本机制。



富油气凹陷油藏剖面模式图

下生上储；中部组合早中期油气充注，自生自储；下部组合油源主要来自古近系，新生古储。

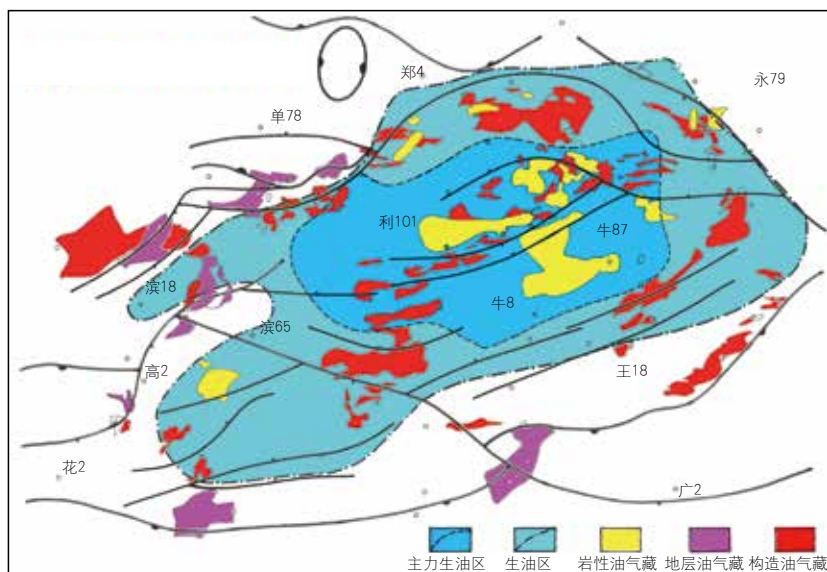
- 油气藏类型分布特征：下部组合：潜山、断阶（低潜山）、地层不整合油气藏；中部组合：滚动背斜、断块、岩性、地层超覆或复式油气藏；上部组合：披覆背斜油气藏或构造—岩性油气藏。



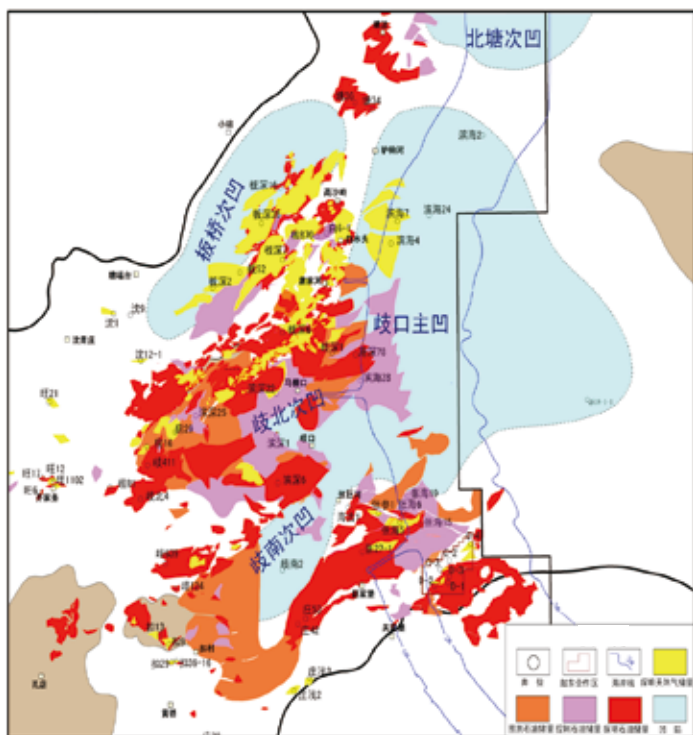
滨深 22—滨深 1—滨深 6 井成藏演化剖面

2.2.4 油气平面分布机理

- 富油气凹陷油气分布往往以“中心部位聚集气为主、洼陷周围聚集油为主”的格局为特征。



东营凹陷油气藏类型及平面分布图



歧口凹陷油气藏类型及平面分布图

- 烃源岩母质类型的差别也能造成油气分布格局的规律性，比如在歧口富油气凹陷油气分布除了呈现这种环状特征以外，还呈现“南油北气”的特征。

3

技术系列

3.1 领域评价技术

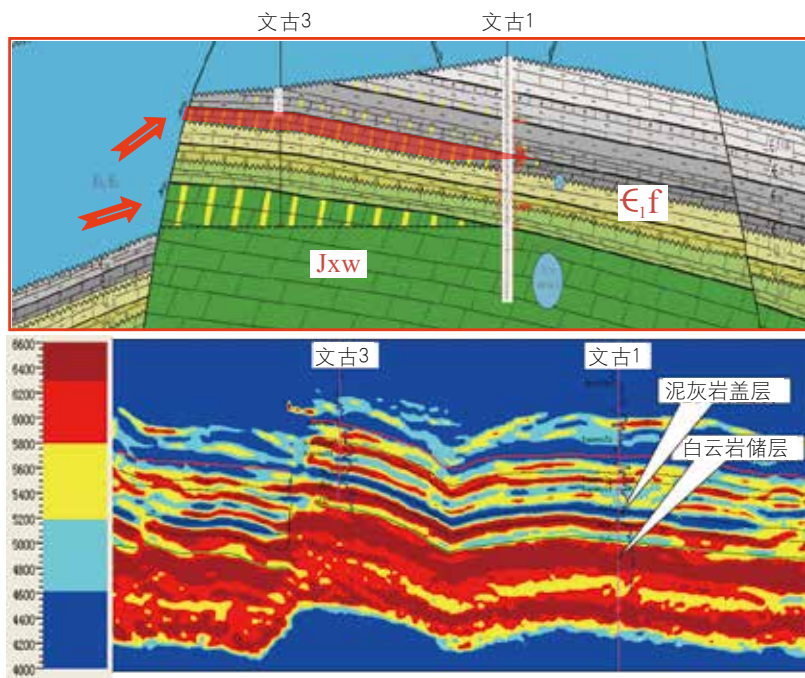
3.1.1 基岩潜山油气藏评价技术

- 定义：利用相关的技术和流程，开展一系列关键地质要素研究与评价，最终预测基岩潜山有利目标。

针对性应用地震采集处理技术，明确断裂组合和地层分布，分析储盖组合与供油方

式，开展有利储层预测、精细油源条件再分析和精细油藏地质建模，最终进行精细目标评价。

- 流程：精细三维地震采集处理、精细构造研究、精细盖层及封堵层有效性分析、精细储层评价及预测、精细油源条件再分析、精细目标评价和精细油藏地质建模等环节。



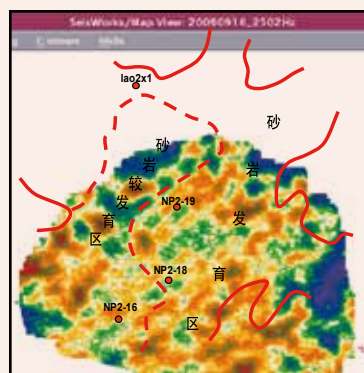
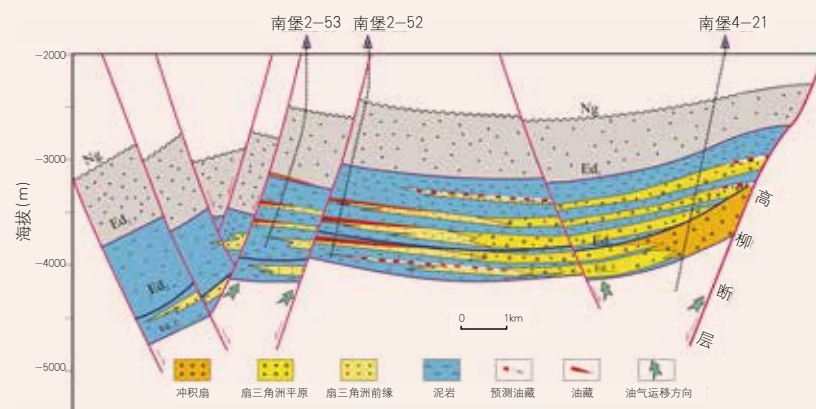
文古 3—文古 1 油气聚集及速度反演剖面图

3.1.2 岩性相关油气藏评价技术

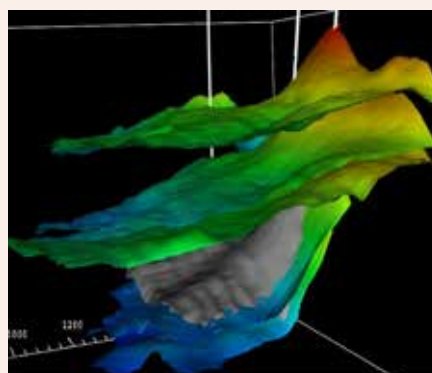
- 定义：在精细层序地层格架建立的基础上，开展岩性相关圈闭的识别与描述，落实有利目标，精细刻画油气藏特征。

建立起古近系高精度层序地层格架，明确不同层序界面的沉积相和有利储层展布，开展复合岩性目标的识别、追踪和刻画，指出富油气凹陷岩性油气藏的有利区带和目标。

- 流程：层序地层格架的建立、沉积体系分析、储层特征分析、岩性圈闭的识别与刻画等环节。其中岩性圈闭的识别与刻画又包括地震属性分析等多项技术。



岩性体谱分解能量图

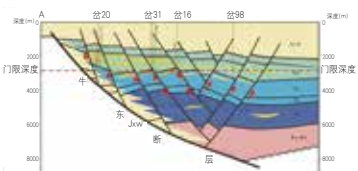
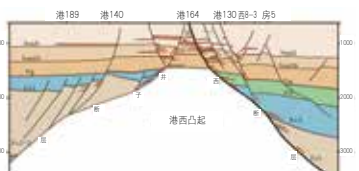
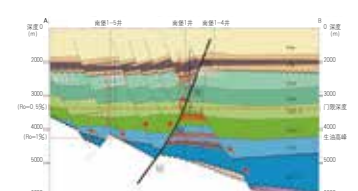
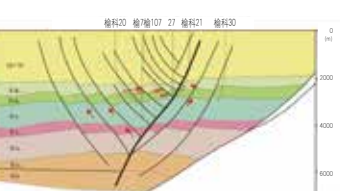


岩性圈闭可视化显示图

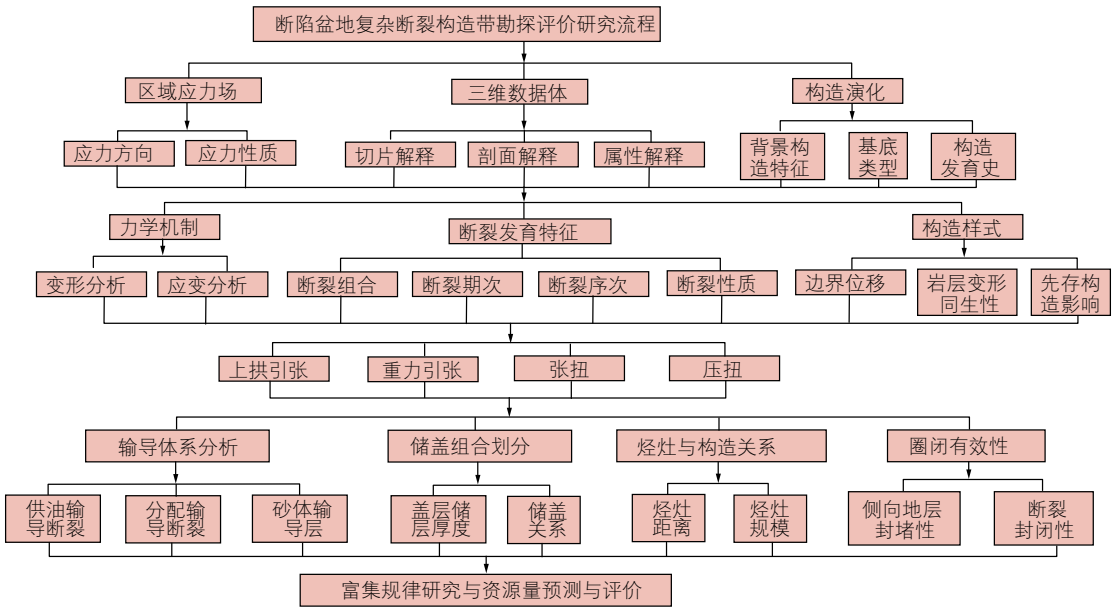
3.1.3 复杂断块油气藏评价技术

- 定义：以复杂断块油气藏研究为目的，开展断裂带分类、应力机制及样式等分析，研究油气分布规律，落实有利目标。

搞清不同时期、不同地区、不同层系复杂断块油藏形成机理、富集规律和主控因素，预测复杂断块油藏的油气分布，对复杂断裂构造带进行整体评价。

不同类型复杂构造带石油地质特征及模式					
重力引张型	应力机制	同生断层在区域引张力的作用	上供引张型	应力机制	依赖于基岩翘倾断块和前古近系基岩隆起发育
	分布位置	凹陷陡侧上陡下缓的铲式正断层下降盘		分布位置	生油凹陷边缘或之间的低凸起上，有基岩隆起的构造部位
	地质特点	断裂活动在先，构造形成在后，重力引起的滑动为主要作用		地质特点	以上供作用为主，分布局限，构造相对简单，断块面积大，埋藏浅
	油气分布	翼部发育断裂易形成油源断层，油气主要沿其分布，平面呈带状分布		油气分布	背斜核部发育主干油源断层，构造核部最富集，主要在浅层古近—新近系
	油藏剖面			油藏剖面	
张扭型	应力机制	张引力与扭应力共同作用下产生	压扭型	应力机制	走滑断裂才产生的局部挤压环境产生
	分布位置	比较开阔的凹陷中央		分布位置	沿凸起和斜坡的过滤部位分布
	地质特点	主干断裂供油，次级断裂控油，油气富集在次级断裂控制的断块中		地质特点	盖层碓列褶皱呈紧闭状态，呈反S型展布，典型有正花状构造
	油气分布			油气分布	油气主要分布在靠近主干断裂的构造高部位断块，沿背斜顶部富集程度高
	油藏剖面			油藏剖面	

- 流程：构造带基础和宏观背景研究、断裂、构造特征研究、构造带分类研究、按复杂断裂构造带类型进行成藏研究。



3.2 精细勘探技术

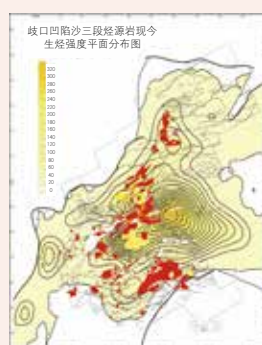
3.2.1 成熟探区区带精细评价技术

- 定义：在地质评价的基础上开展精细地层划分对比储盖组合，并以此为评价单元进行区带划分与评价及目标优选。
明确储盖组合划分与展布特征，继而划分评价层系。开展成藏地质特征分析，结合分析化验、物理与数学模拟等手段，总结油气分布规律与油气总资源潜量。划分与评价有利区带，最终进行目标优选。

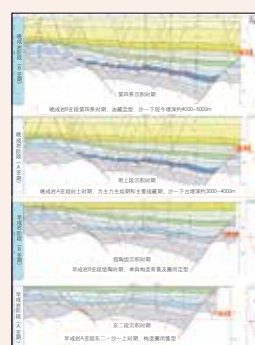
- 流程：依次由地质评价、资源量估算与综合评价优选等三大评价环节构成。
- 特点：储盖组合以砂组或油组为对比单元；结合数学物理模拟、虚拟现实、储层预测等先进技术手段；提出评价标准与方案。
- 技术指标：地质评价指标——储盖组合划分方案、不同级别储盖组合平面分布、不同层系源岩生烃中心分布、输导体系类型及分布特征、

按层系按区带统计油气资源潜量；区带综合评价指标——区带评价标准及方案、不同级别区带分布、区带有利地质条件描述、有利目标个数。

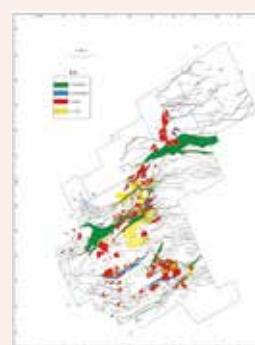
- 适用范围：主要适用于勘探程度相对较高的凹陷，钻井、测井及地震等资料能满足开展区域性储盖组合划分与对比的需求。



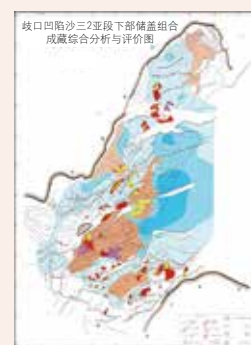
生烃强度平面图



油气成藏演化图



优势通道断层展布图

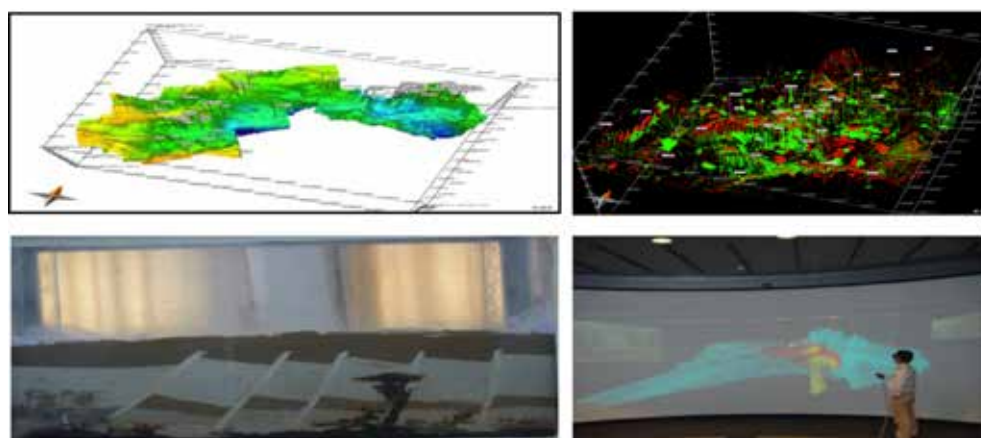


地质综合评价图

3.2.2 成藏模拟与资源潜力评价技术

- 定义：以三维可视化技术再现油气藏的形成过程，有效地发现油气藏现今的分布位置，评价含油气系统内的资源潜力。

提出相关参数，分别建立三维骨架模型、地



评价关键图件

质模型与运聚模型，利用相应的数值模拟软件开展数值模拟，同时配合开展二维数值模拟及物理模拟以获取其他参数或规律认识，根据模拟结果提取相关信息，总结成藏地质特征与油气分布规律，最终落实油气资源潜力。

- 流程：关键就是建立骨架、地质与运聚三个模型，最终预测油气资源潜力与油气分布。
- 特点：三个主要环节关联度高；需要结合分析化验、物理模拟及虚拟现实等技术手段；根据建立的油气生成—运聚—保存散失平衡整个过程来计算油气资源潜力。
- 技术指标：数学模型的地质参数三维可视化、地质参数的动态演化三维可视化、油气运聚过程三维可视化、单个或多个地质参数剖面及平面（综合）图、油气资源总量及剩余资源量分层系分区带统计的相关表与图件。
- 适用范围：主要适用于裂谷盆地或坳陷型盆地，开展成藏过程恢复与资源潜力预测。

3.2.3 储层预测技术

- 定义：地震反演时对岩性或储层信息在纵、横向上出现变化不定时，反演前要设法对所用井的曲线进行归一化或重构等处理，提出一种新的信息提取技术。

在砂、泥岩地层中当波阻抗或速度曲线数据的数值在纵向上存在的局域差异性与地下相应位置处岩性或储层与非储层的变化性相关联时，通过一定参数的调控对数据进行自适应分析，提取波阻抗或速度曲线上各合理的相对差异段（低部位或高部位）。

- 特点：井眼曲线数值在纵向上存在的局域差异性与岩性或储层与非储层的变化性相关联，且来自叠后或叠前反演得到的曲线仍保有这种关联性，且来自叠后或叠前反演得到的曲线仍保有这种关联性，且同一岩性或储层在横向上须具有统一的正差异或负差异。

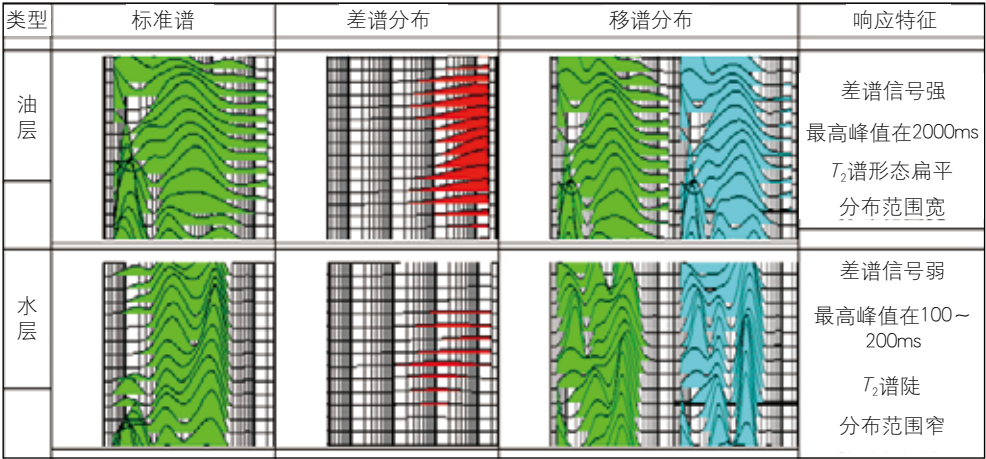
3.2.4 低阻油气层识别技术

- 定义：为了做到不漏失、不误判油气层，利用各种测井、地质、录井资料，充分认识低阻成因，根据具体的成因进行分析，采取相应的识别方法。

充分挖掘现有的常规测井资料对低阻油气层较敏感的测井信息，并结合测井新技术和综合其他信息。首先加强岩石物理研究，多取心，通过岩心分析建立更接近实际情况

的各种测井响应模型。在勘探过程中，对于重点探井要充分利用高科技、新技术，合理组合多种测井项目，取全取准资料，实现多学科一体化的精细解释（识别），确保不漏失油气层、不误判油气层级别。

- 特点：造成油气层低阻成因很多，需要综合分析和判别；需要应用多学科一体化的精细解释（识别），确保不漏失、不误判油气层（级别）。



高孔隙度储层核磁共振解释模式典型响应特征

3.2.5 大面积连片采集处理解释一体化技术

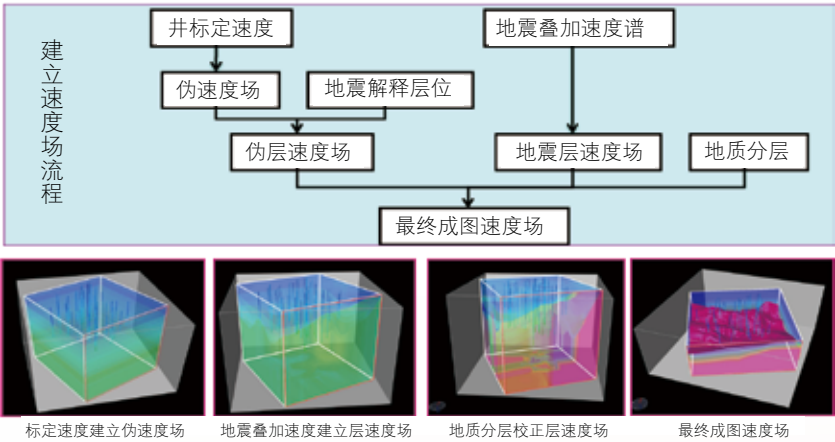
● 定义：渤海湾盆地富油气凹陷跨陆、滩、海、大型城区等地表条件及构造复杂、断裂发育、勘探目的层系多岩性变化大等地下地质条件，形成了大面积复杂地表高精度三维地震采集、连片处理与精细解释三大技术。

地震采集方面，中国石油提出了面对全凹陷的“三统一”地震采集整体部署方案。地震处理方面，中国石油形成了数据净化技术、一致性处理技术、超大面积三维地震数据精确成像技术等独具特色的处理技术系列。地震解释方面，加强区域层序地层格架研究及单井多井地震地质分析，统一全区地震层位，明确地球物理界面与地质界面的关系；

打破以往三维数据体二维剖面解释的模式，采用平面、剖面及多数据体互动，先骨干剖面解释后加密测线解释、先断层后层位解释；建立三维空间速度场，极大地提高了构造解释的效率与成图精度。

● 特点：应用“三统一”三维地震整体采集部署理念，实现了海陆滩一体化采集技术、双向非纵观测技术和多节点网络排列连接技术三项技术创新与应用；创新形成了数据净化处理、一致性处理、超大面积三维地震数据精确成像三个技术系列共计八项特色处理技术。

● 适用范围：陆、滩、海、大型城区等地表条件及构造复杂、断裂发育、勘探目的层系多岩性变化大等地下地质条件均适用。



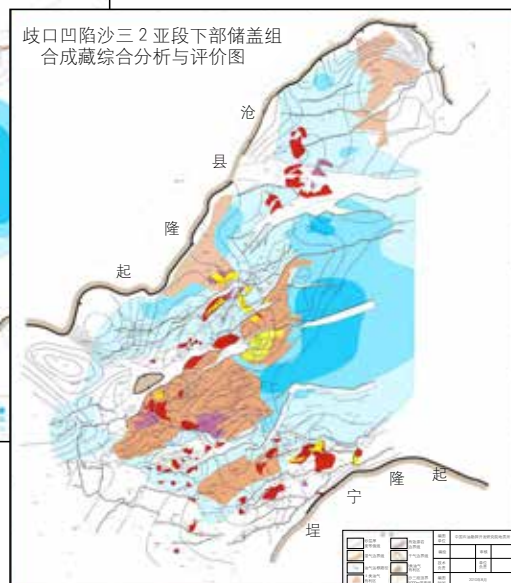
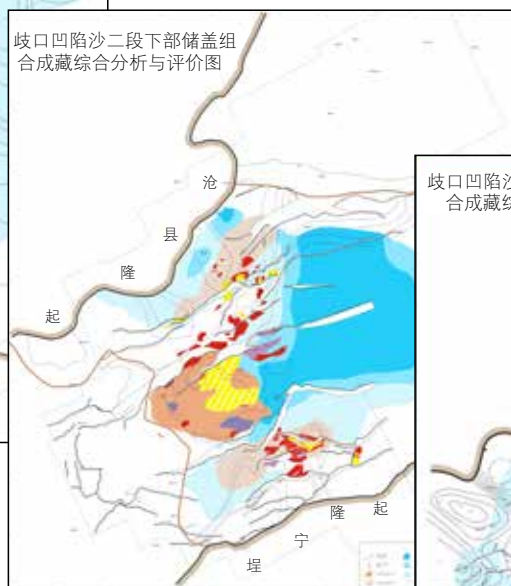
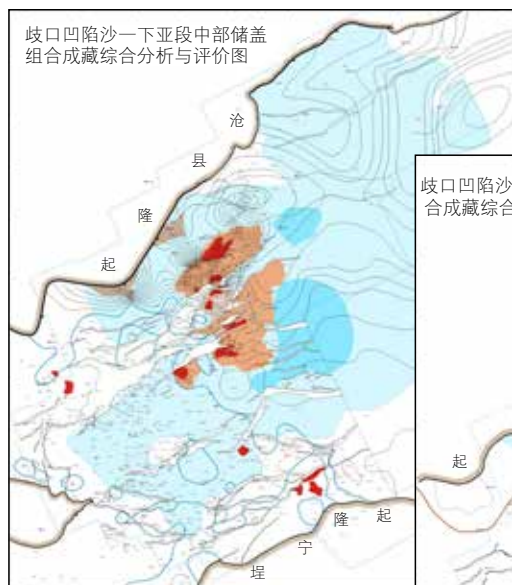
4

典型案例

4.1 歧口凹陷区带精细地质评价

开展歧口凹陷生烃特征、储层分布、盖层分布及构造特征等分析，明确储盖组合划分与展布特征，继而划分评价层系，建立评价模型。针对评价模型开展“生—储—盖—运—圈—保”成藏地质特征分析，并结合分析化验、物理与

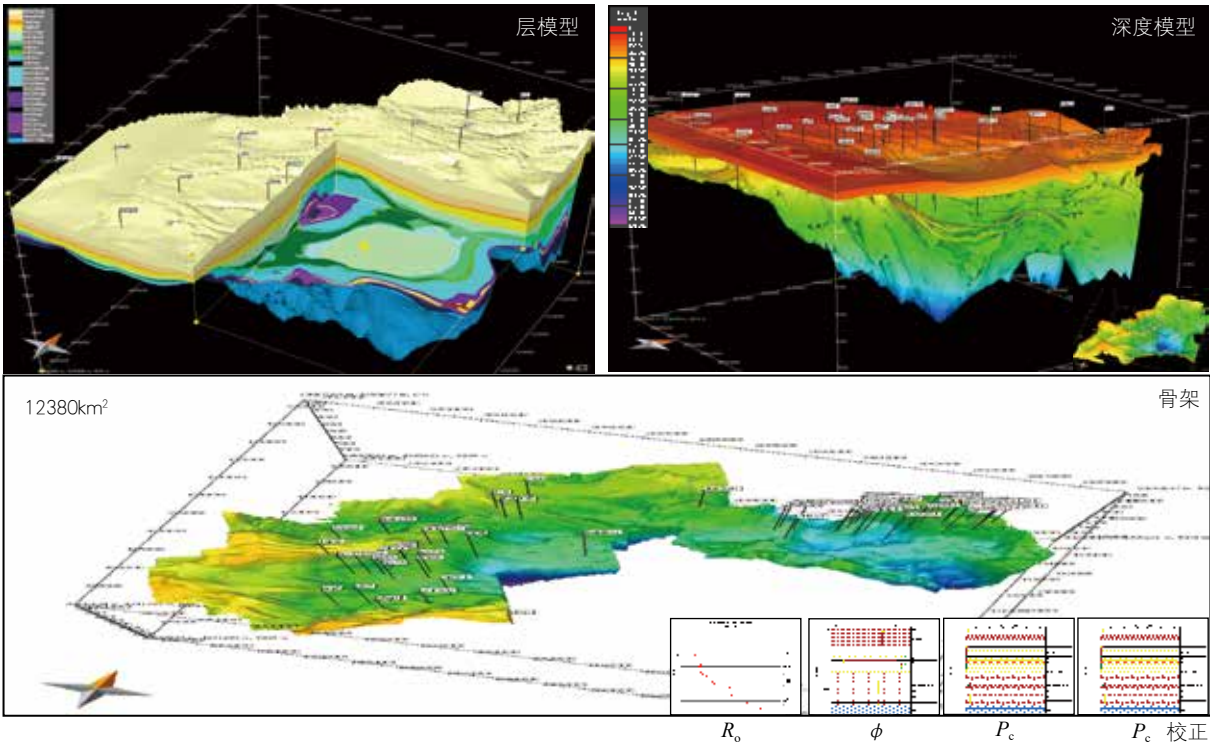
数学模拟等手段，总结成藏规律、油气分布规律与油气总资源潜量。提出评价方案，划分与评价有利区带，最终进行目标优选。研究落实和明确重点层系Ⅰ类有利区带7个，Ⅱ类有利区带6个，为增储10亿吨目标提供了强有力的技术支持。



4.2 歧口凹陷区成藏模拟与油气资源潜力评价

以含油气系统的知识体系为基础，应用特征层面、关键时刻序列和运聚模拟对歧口凹陷进行科学的空间离散化、时间离散化和资源耦

合关系解析，通过数值模拟手段重塑不同成藏关键时刻前后油气运移的流向、流量与成藏要素组合在三维空间的动态配置关系，并以三维可视化技术直观地再现了油气藏的形成过程，预测了歧口凹陷油气资源潜量与油气分布。



5

科研装备

作为核心研究机构的中国石油集团科学技术研究院，拥有提高采收率国家重点实验室、页岩气国家能源页岩气研发（实验）中心 2 个国家级实验室，以及 14 个公司级重点实验室和众多仪器设备；拥有 400 多台（套）先进配套的大型科研实验装备、IBM SP II（48CPU）大型并行计算机、虚拟现实系统等先进的计算机硬件与配套的软件资源以及强大的网络系统。

中国石油数据中心、中国石油勘探开发资料中心拥有大量的勘探开发数据资料和科技文献，配有先进的计算机软硬件资源及强大的信息网络系统。



6

成果与奖励

近几年来，中国石油针对富油气凹陷精细勘探理论与技术编写了系列专著。



7

专家团队



胡见义

中国工程院院士。建立、完善中国陆相油气藏理论与勘探；总结了我国油气藏类型系列。主持与研究完成了我国第一部《中国油气资源评价研究总报告》。代表作有《中国陆相石油地质理论基础》、《非构造油气藏》和《中国石油地质理论和勘探进展》等。1985 年获国家科技进步奖特等奖，1989 年获国家科技进步奖一等奖。



高瑞琪

教授级高级工程师。曾任大庆石油管理局副局长、中国石油天然气总公司勘探局局长及国土资源油气储量评审办公室主任。先后发表论文 50 多篇，专著 10 部；获得国家科技进步二等奖两项，省部级一等奖多项。



谯汉生

教授级高级工程师。曾任冀东油田副总地质师、中国北京石油勘探开发研究院副总地质师。享受政府特殊津贴。



邹才能

教授级高级工程师，高级技术专家。享受“国务院政府特殊津贴”。中国石油勘探开发研究院副院长、党委委员兼总地质师。先后获国家科技进步一等奖 1 项，省部级一、二等奖 9 项。发表论文 60 余篇，出版专著 7 部。



牛嘉玉 教授级高级工程师，高级技术专家。长期从事油气地质与勘探研究工作。获省部级特等奖一项、一等奖2项、二等奖和三等奖各1项。出版专著3部。



周灿灿 教授级高级工程师，高级技术专家。国家油气重大专项复杂储层油气测井解释理论与处理技术课题负责人。获国家科技进步二等奖1项，省部级科技进步奖5项，发表论文40余篇。合著专著2部。



袁选俊 教授级高级工程师，高级技术专家。沉积专家和岩性地层油气藏综合研究专家。获国家科技进步一等奖1项，集团公司科技进步一等奖2项，股份公司科技进步特等奖1项。发表论文20余篇，合著专著5部。



张 研 教授级高级工程师。长期从事地震资料综合解释工作，研究范围涉及国内东西部主要含油气盆地，研究领域涉及构造解释、储层预测、区带及目标综合评价工作，现为国家油气重大专项海相课题物探专题负责人。获国家科技进步二等奖1项，省部级科技进步一等奖3项，局级科研成果奖数十项。



中国石油科技管理部联系人：

刁 顺 先生
电 话：86-10-59986059
Email：sdiao@cnpc.com.cn
diaoshun@sohu.com

Contact of Science & Technology Management Department,CNPC：

Mr. Diao Shun
Tel: 86-10-59986059
Email: sdiao@cnpc.com.cn
diaoshun@sohu.com

中国石油经济技术研究院联系人：

张 丽 女士
电 话：86-10-62065043
Email：zhangli024@cnpc.com.cn

Contact of CNPC Economics & Technology Research Institute：

Ms. Zhang Li
Tel: 86-10-62065043
Email: zhangli024@cnpc.com.cn

技术依托单位联系人：

刘海涛 先生
电 话：010-83597583
Email：Liu_haitao@petrochina.com.cn

Contact of the Technical Support Unit：

Mr. Liu Haitao
Tel: 010-83597583
Email: Liu_haitao@petrochina.com.cn



