



“PAI” 技术 ——物探采集处理解释一体化解决方案

■ 2011 年



中国石油天然气集团公司 科技管理部

持续创新 PAI生无限





目 录

简介

一体化解决方案

应用实例

研发能力

资质与标准

专家介绍



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。

物探采集、处理、解释一体化技术（“PAI”技术）就是其中具有代表性的重大创新成果之一。

中国石油的“PAI”技术涵盖了采集（Acquisition）、处理（Processing）、解释（Interpretation）一体化的物探技术服务领域。

PAI 技术包括七大技术系列：

PAI – Mountain 复杂山地地震勘探一体化解决方案；

PAI – Desert 沙漠地震勘探一体化解决方案；

PAI – TZ 过渡带地震勘探一体化解决方案；

PAI – Loess 黄土塬地震勘探一体化解决方案；

PAI – IRS 陆上油气富集区地震勘探一体化解决方案；

PAI – LRC 陆上地震储层描述一体化解决方案；

PAI – GEM3D 三维重磁电一体化解决方案。

“PAI”技术能够针对油气勘探开发所面临的各种复杂问题，提供采集、处理、解释一体化的地球物理解决方案。

奉献能源 创造和谐

1 简介

中国石油的“PAI”技术品牌由地球物理勘探三大环节采集 (Acquisition)、处理 (Processing)、解释 (Interpretation) 的英文首字母组合而成。

PAI 技术包括 7 项技术：PAI-Mountain 复杂山地地震勘探一体化解决方案；PAI-Desert 沙漠地震勘探一体化解决方案；PAI-TZ 过渡带地震勘探一体化解决方案；PAI-Loess 黄土塬地震

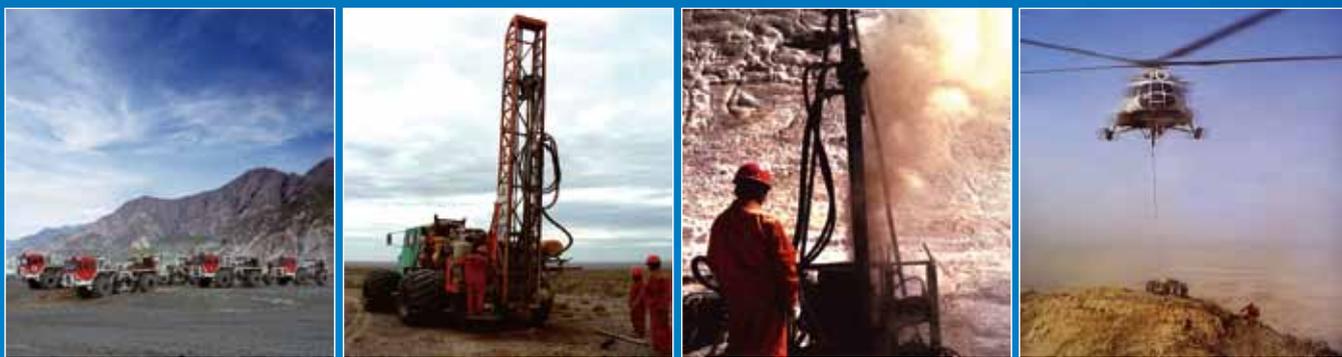
勘探一体化解决方案；PAI-IRS 陆上油气富集区地震勘探一体化解决方案；PAI-LRC 陆上地震储层描述一体化解决方案；PAI-GEM3D 三维重磁电一体化解决方案。

“PAI”技术体现了中国石油围绕不同勘探领域，针对油气勘探开发所面临的各种复杂问题，提供采集、处理、解释一体化技术解决方案的特点和优势。

PAI Mountain 复杂山地地震勘探一体化解决方案

针对复杂山地山前带所特有的地表及地下条件,研制了多种型号的大吨位可控震源、车载钻机、轻便山地钻机等先进装备,发展并形成了复杂山地地震勘探一体化解决方案(PAI-Mountain),具备在相对高差2000m以下各种复杂山地地形条件下进行地震勘探的能力,CNPC使用这套技术先后在中国西部及世界各地为众多石油公司提供了优质服务。





技术方案：

- 山地地震勘探配套装备的研发制造与应用
- 以Seis®和SSOffice®为载体的放样测量和质量监控技术
- 不同地表条件下的多种震源联合激发实施技术
- 混合式观测系统设计与动态分析技术
- 基于模型约束初至反演综合静校正技术
- 子波整形、信噪分离、基于起伏地表的叠前深度偏移技术
- 速度建模、构造建模与深度域解释技术

PAI Desert 沙漠地震勘探一体化解决方案

针对沙漠地表及地下特点，为解决地震信号的吸收衰减，静校正、低信噪比和低分辨率问题为目标，CNPC致力于地震资料采集、处理、解释技术及配套勘探装备的研究与应用，形成了能够解决各种沙漠地表条件下大深度、低幅度构造等复杂圈闭油气勘探问题的一体化解决方案(PAI-Desert)。先后在塔克拉玛干、古尔班通古特、库姆塔格、撒哈拉、中东等沙漠，为国内外众多油公司提供油气勘探服务。



技术方案：

- 沙漠环境配套作业装备
- 沙漠区地震观测技术
 - 小面元高覆盖宽方位观测系统设计
 - 炮、检点优选
- 沙漠区激发技术
 - 可控震源交替扫描、滑动扫描
 - 基于表层数据库的高速层激发
- 沙漠区静校正技术
 - 基于多信息的沙漠表层建库
 - 表层数据库约束下的初至波静校正方法
- 沙漠区数据处理技术
 - 振幅补偿
 - 多域联合去噪
 - 优势频段剩余静校正迭代
 - 叠前偏移处理
- 沙漠区构造成图技术
 - 井、层控制下的速度建场
 - 消除低降速层影响的速度建场
 - 基于数据库的空变速度构造成图

PAI TZ 过渡带地震勘探一体化解决方案

针对浅海过渡带地区地震勘探复杂多变的地表特点，CNPC积累了丰富的浅海过渡带地区地震勘探经验，形成了以配套装备、采集和处理特色技术等为核心的“浅海过渡带地区地震勘探一体化解决方案”（PAI—TZ），实现了浅海过渡带地区不同地表类型地震数据的无缝衔接，能够很好地解决浅海过渡带地区的地震勘探问题。

CNPC以领先的浅海过渡带地区地震勘探技术，先后为自有的多个油田的勘探开发以及Unocal、Saudi Aramco、Shell等国内外石油公司提供技术服务。

技术方案

■ 浅海过渡带地区地震数据采集配套装备

- 浅海气枪震源系统
- 地震钻井装备
- 电缆收/放装备及配套运载装备

■ 浅海过渡带地区地震数据采集技术

- 采集设计
- 激发、接收点定位
- 多系统联合激发接收
- 综合质量控制

■ 浅海过渡带地区地震数据处理技术

- 地表一致性处理
- 子波整形处理
- OBC 处理
- 高频噪声和外源干扰噪声衰减





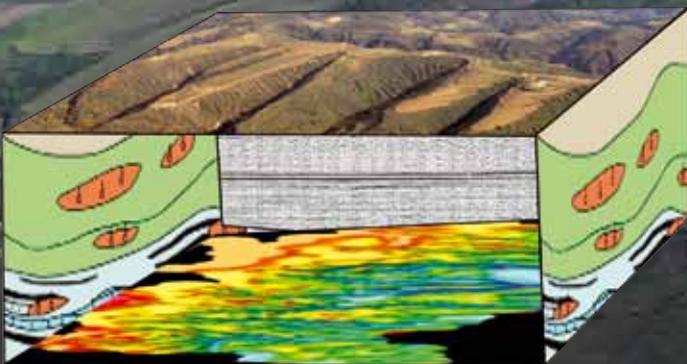
PAI Loess 黄土塬地震勘探一体化解决方案

黄土塬具有塬、梁、沟、峁、坡并存的独特地貌，表层土壤干燥疏松、黄土厚度变化剧烈，从而导致速度低，地震波吸收衰减严重，介质非均质性强，以及激发、接收条件差等诸多问题，CNPC 针对性的发展了弯线与沟塬连线勘探、不规则三维勘探、侵蚀面刻画、薄互层岩性识别等特色技术，形成了黄土塬地震勘探一体化解决方案（PAI-Loess），具备在巨厚黄土背景下，解决低孔、低渗、低丰度、薄互层、岩性油气藏勘探开发问题的能力。



技术方案：

- 弯线、沟壑连线勘探技术
- 不规则三维勘探技术
- 四域迭代初至折射静校正技术
- 噪声衰减及高精度相干叠加处理技术
- 侵蚀面精细刻画技术
- 储层物性及含油气性预测技术
- 叠合并位优选技术



黄土塬岩性油气藏

PAI IRS 陆上油气富集区地震勘探一体化解决方案

针对油气富集区的多层系地层岩性圈闭、复杂断块、低幅度构造、薄储层、深潜山以及大型障碍物区造成的资料空白区（复杂城区、矿区、大面积水域等）开展立体勘探。

常规三维地震勘探技术难以满足深化勘探的需求，迫切需提高三维地震资料的精度。CNPC经过研究探索，发展并形成了以高精度三维地震为核心的陆上油气富集区地震勘探一体化解决方案(PAI-IRS)。

技术特点：

- 以小面元、高覆盖、宽方位为特点的高精度三维地震采集技术，提高对地质体的分辨能力。
- 以“高信噪比、高分辨率、高保真度”为目标、以连片叠前时间或深度偏移成像为主导的处理技术，形成全区统一的高精度三维地震数据体。
- 以高精度层序地层学、叠前和叠后反演、全三维可视化等为手段，开展地震资料精细解释，实现全区整体评价、圈闭描述，提高储层及油气藏的预测精度。



高分辨率采集技术
大型障碍物区高精度采集技术
基于高密度空间采样的数字检波器应用技术

1. 采集处理一体化技术
基于叠前描述的观测系统设计
基于拓宽频带、保持子波相对稳定的激发
高精度静校正
特殊干扰波压制
子波整形
能量归一化处理
地表一致性处理

3. 基于目标的采集技术
基于地质目标的观测系统设计
多种方法联合表层调查综合建模
基于AVO属性分析的采集

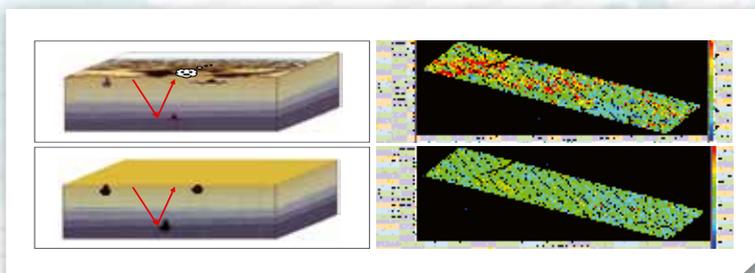
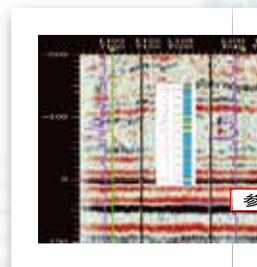
叠前压制干扰技术
高分辨率处理技术
连片叠前偏移技术
时间偏移
深度偏移

2. 处理解释一体化技术
速度分析建模
基于目标的成像处理
井数据约束的信号处理

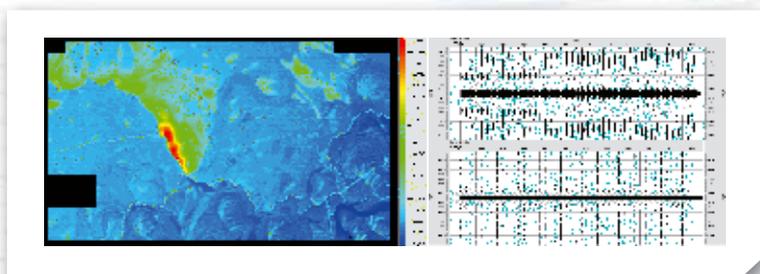
构造断块圈闭解释技术
岩性地层圈闭解释技术
非均质体解释技术

PAI LRC 陆上地震储层描述一体化解决方案

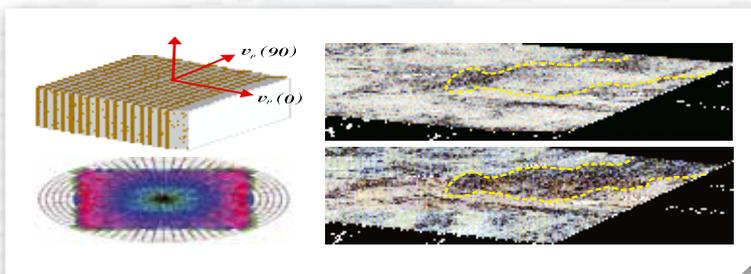
针对陆相薄储层地震勘探，CNPC研发形成了陆上地震储层描述一体化解决方案（PAI-LRC），包括地面3D、3.5D、4D地震技术系列，和VSP、井间地震技术系列，能够有效解决陆相沉积（小于1/4波长）薄互储层油田开发问题。



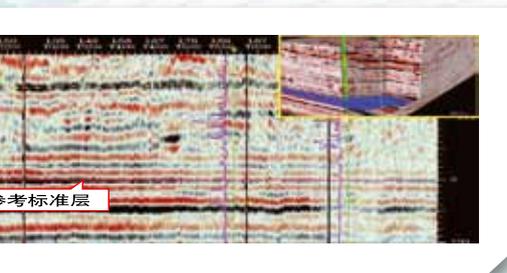
相对保持振幅、频率、相位和波形的高精度处理技术



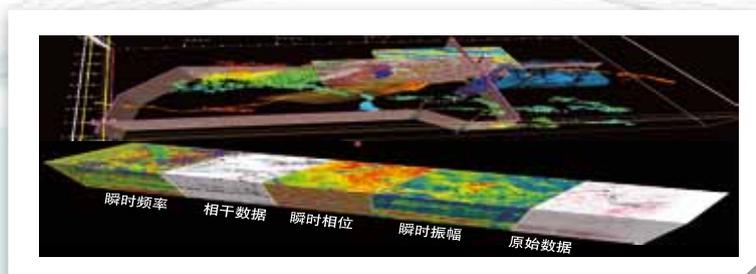
地震采集、处理质量监控技术



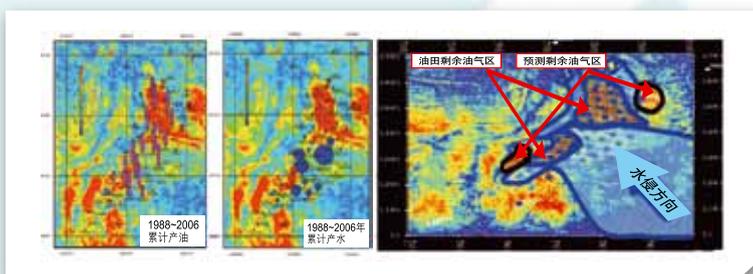
全(宽)方位角地震采集技术



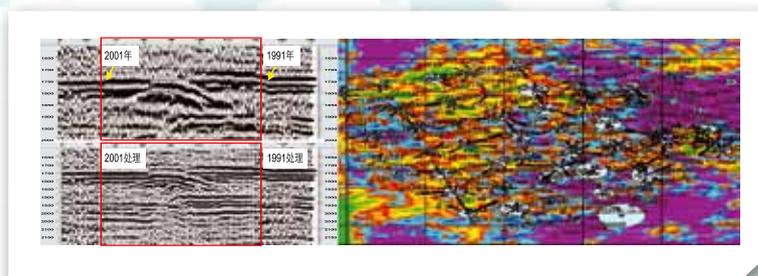
相对标定和构造演化解释技术



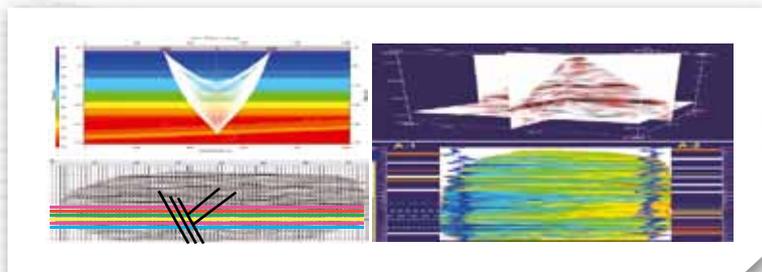
薄储层沉积演化解释技术



3.5D综合地震勘探技术



非重复性4D地震勘探技术

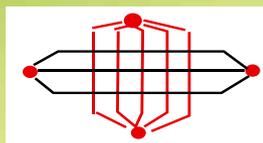


井中地震勘探技术

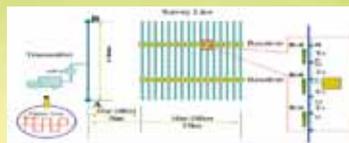
PAI GEM3D 三维重磁电一体化解决方案

利用岩石密度、磁化率、电阻率、极化率、速度等多种特性，选择不同的方法组合以及合适的测网，开展3D重力、磁力、连续电磁法以及大功率3D时频电磁法、井地电磁法勘探，在GeoEast平台上进行可视化处理和解释，实现多种信息融合，提供针对复杂地表复杂地下构造带、火成岩等特殊地质目标、油气检测与目标监测的三维重磁电一体化解决方案（PAI-GEM3D），更好地解决复杂油气勘探问题。

三维采集



高密基点纵横观测的
三维重磁采集技术



大功率时频电磁三维采集技术



井中激发地面三维测网的
时频电磁采集技术

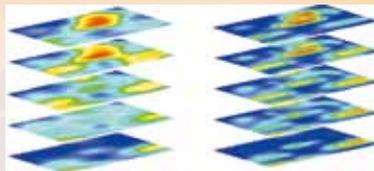


小面元三维CEMP采集技术

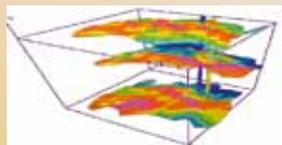
三维处理



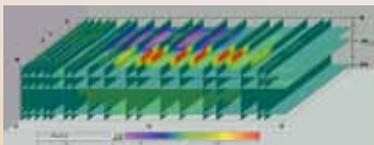
地震和井约束下的三维重力剥离技术



针对复杂地表的三维电磁处理与静态位移校正技术

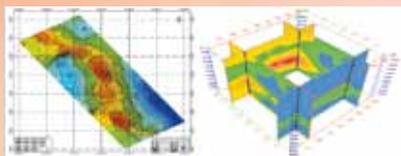


三维视密度、视磁化率反演技术

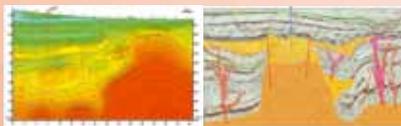
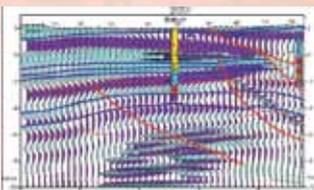


三维CEMP反演技术

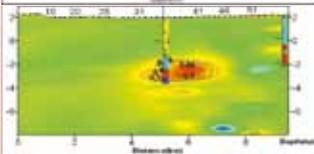
综合解释



GeoEast重磁电震3D可视化综合解释技术



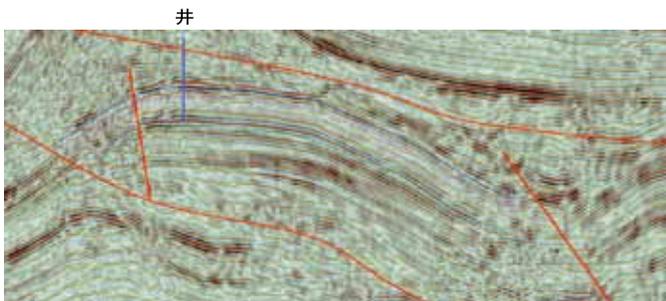
火成岩重磁电震模糊聚类模式识别解释技术



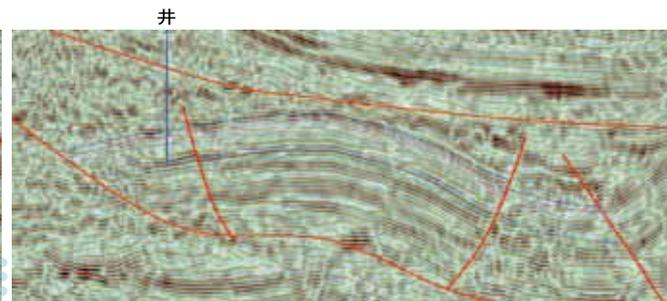
三维油气藏电性异常模式下的IPR解释技术

实例 1

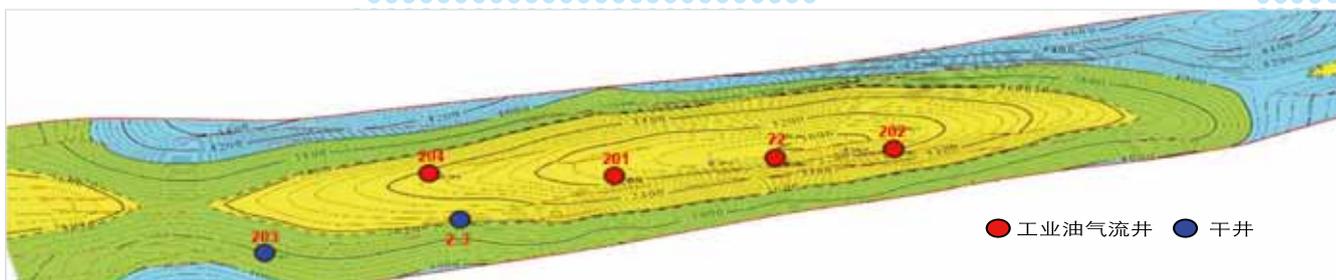
应用PAI—Mountain技术先后为国内外油公司提供了优质的山地地震勘探服务，发现了一批油气田。



叠后时间偏移剖面



叠前深度偏移剖面

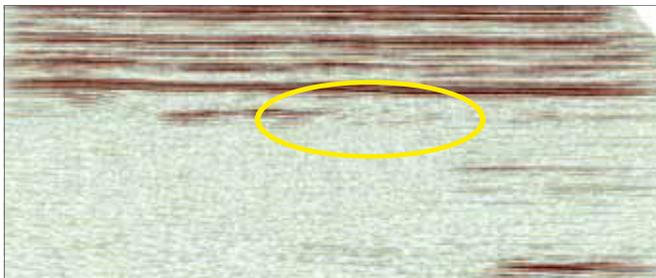


古近系顶面构造图(叠前深度偏移)

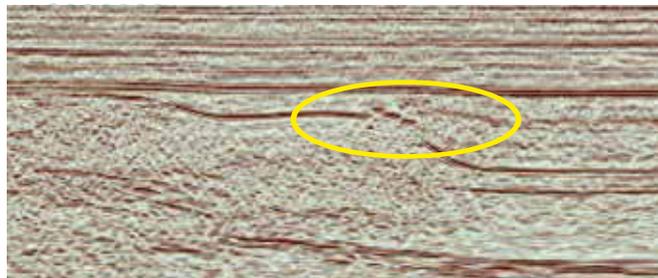
在某区勘探中，以构造建模为指导，直接对叠前深度偏移资料做深度域地质解释，经多口钻井证实，构造图精度误差均在10m以内。

实例 2

PAI—Desert 技术在塔克拉玛干沙漠的应用效果（左：应用前，右：应用后）。技术应用后，资料品质取得了质的改善，带来了新的地质认识，发现了奥陶系生物礁型超亿吨级大油气田。



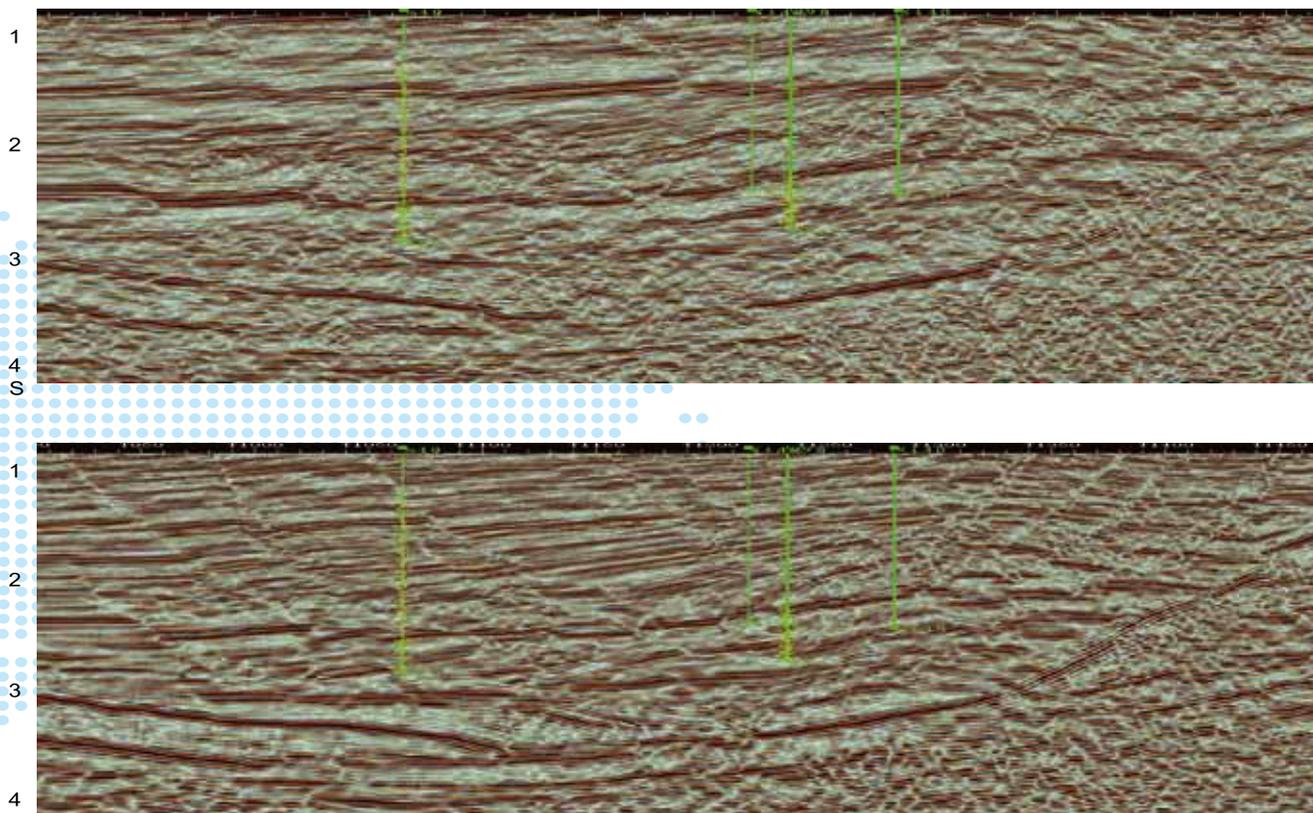
应用前，解释为断裂带



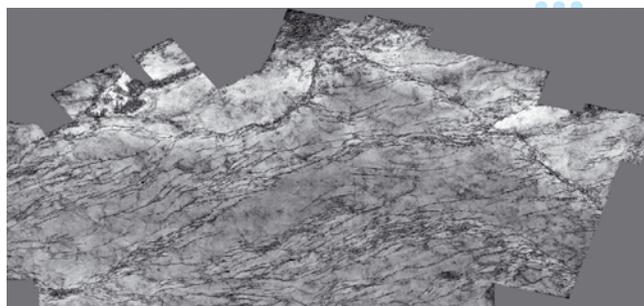
应用后，解释为台地边缘带

实例 3

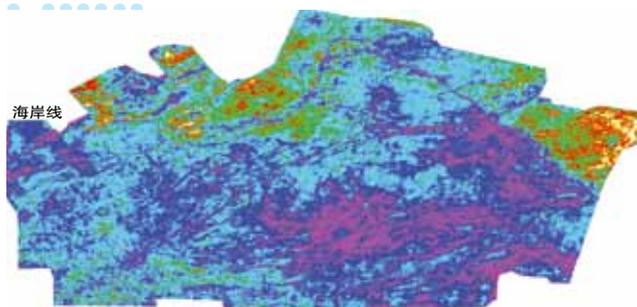
PAI-IRS 应用于中国东部油田精细勘探，有力地推动了冀东、冀中、岐口等地区的勘探发现。



常规三维（上）和IRS三维（下）地震剖面对比



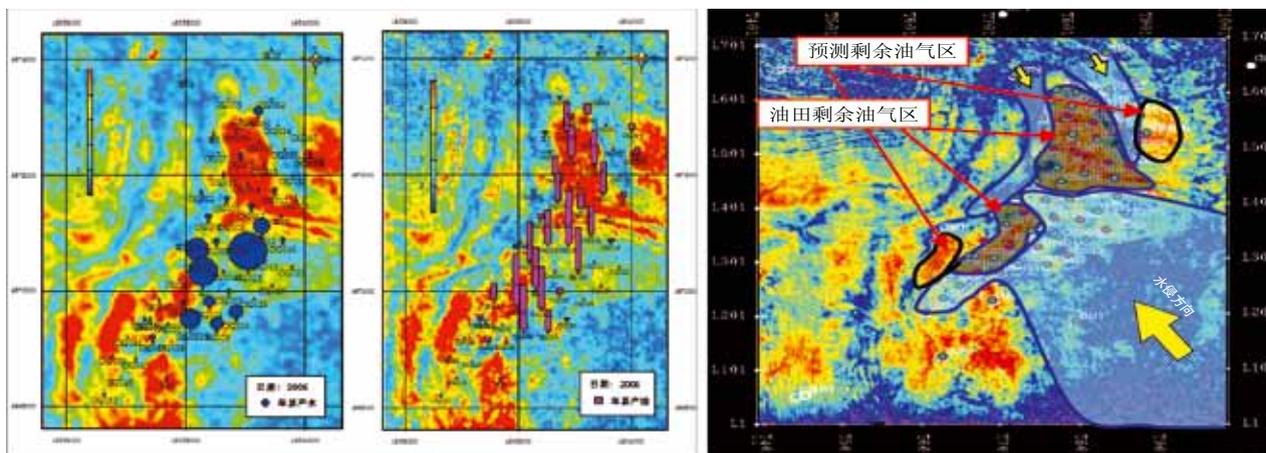
连片后相干时间切片



连片后最终偏移数据纯波振幅属性图

实例4

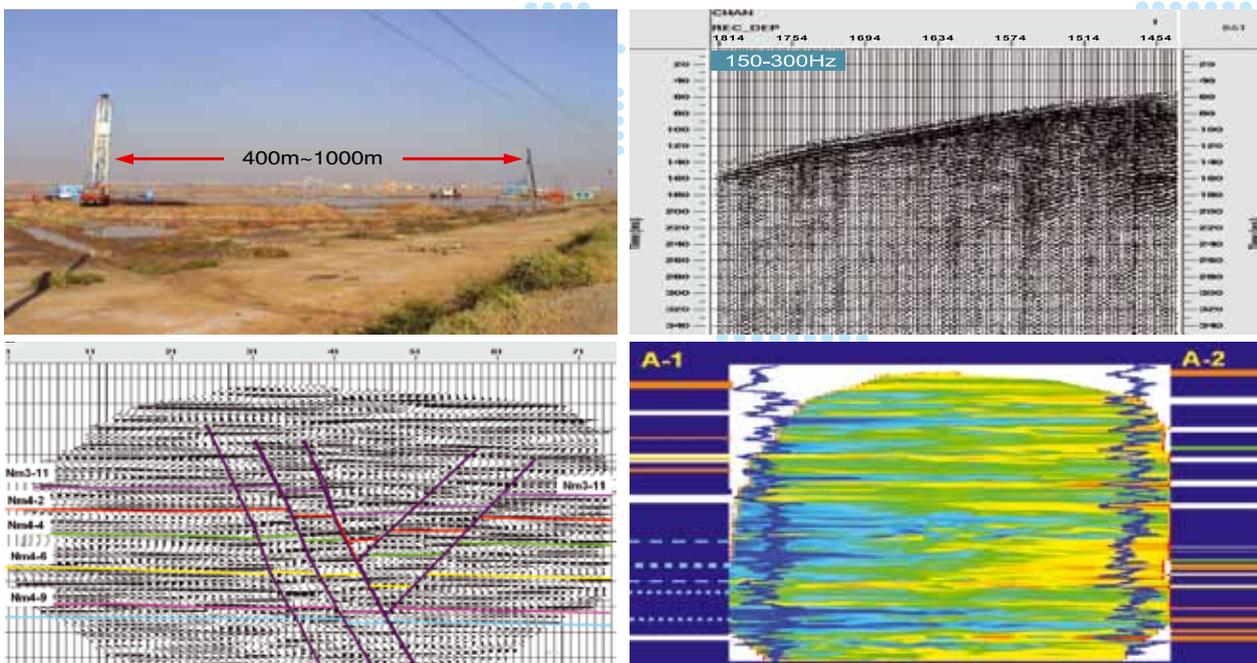
PAI-LRC 3.5D 技术应用于准噶尔盆地西北缘，为油田开发及剩余油分布预测提供了有效的信息。



3.5D 勘探

实例5

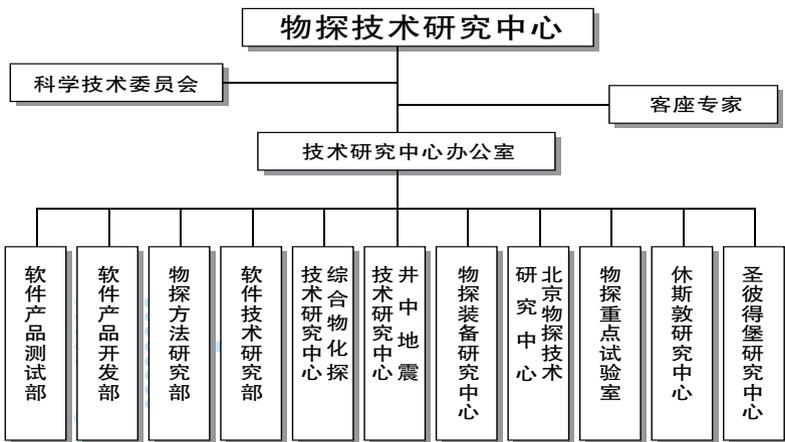
PAI-LRC 井间VSP地震技术应用于油田区。



井间VSP采集、处理和解释

中国石油集团拥有中国最大的地球物理和地质方法研究与软件开发中心，该中心是国家发改委批准的“油气勘探计算机软件国家工程研究中心”。研究范围覆盖地球物理、地质学的各个领域。

该中心拥有280多名从事地球物理与地质方法研究和软件开发的专职研究人员，其中中国工程院院士1名，高级技术专家8名，技术专家50名。具备并行计算机群超过1000个计算节点，高端服务器、集中存储设备、图像终端200余台套。方法研究和软件开发实力超强：



地质方法研究——运用地震地层学、层序地层学、岩性地震学等方法，研究和评价构造圈闭、地层圈闭、不整合圈闭以及各种隐蔽复合型圈闭的油气藏。综合地质研究水平处于国内领先，层序地层解释等方面的技术已跨入国际先进行列。针对复杂的地面和地下地质条件，创造性地形成了一系列具有国际先进水平的特色配套解释技术：新区新领域综合评价技术系列、隐蔽油气藏综合研究技术系列、小断块解释综合技术系列、三维可视解释技术系列、开发地震油藏描述技术系列、逆掩断层下伏隐伏构造变速成图技术、碳酸盐岩储层预测技术。

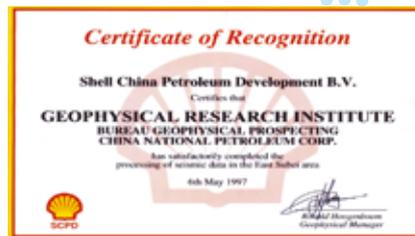
物探方法研究——在“复杂观测系统设计技术”、“低信噪比地震数据去噪技术”、“静校正技术”、“高分辨率数据处理技术”、“VSP数据处理、解释技术”、“多波多分量数据处理技术”、“叠前偏移处理技术”、“正演模拟技术”、“高密度空间采样地震数据处理技术”等方面，取得丰富成果，为勘探技术的进步及创新，不断地提供物探新方法和新技术。

物探软件系统研发——具有自主知识产权的“GeoEast地震数据处理解释一体化软件系统”、“KLSeis地震采集工程软件系统”、“GRISYS地震数据处理系统”和“KLinversion油气藏监测与综合反演系统”等，已经在国内外各油田和探区得到广泛采用。



处理解释一体化——集地震数据处理、资料解释、地质综合研究、处理解释应用技术研发于一体；拥有14000个CPU的PC-Cluster超大型并行处理机群，535台套处理解释工作站集群，以及世界上最先进的处理解释软件系统。

物探装备研究——具备可控震源、气枪、钻机、特种运载底盘等机电物探装备的独立研发能力，以及物探地震大型仪器及辅助仪器的研发能力，形成了五大类二十多个品种的产品。





李庆忠

中国工程院院士，著名的地球物理学家。率先提出物理地震学，《走向精确勘探道路》一书开启了中国高分辨率勘探的新阶段。



钱荣钧

高级技术专家。主持的国家重点攻关项目“大沙漠低信噪比区地震勘探技术”，“矢量地震、山地地震”，为在塔里木库车山地发现克拉2等大气田制定了系统的解决方案。



凌云

高级技术专家。主要研究领域为地震数据处理及解释技术、地层与岩性圈闭地震勘探与开发技术。研究成果主要包括：“宽方位角地震勘探应用研究”、“叠前相对保持振幅、频率、相位和波形处理的研究”、“时频域空间域球面发散与吸收补偿”、“自适应可控震源地表一致性反褶积”、“储层演化地震分析”、“随时间推移地震勘探处理方法”等。



王卫华

高级技术专家。针对山地山前带的复杂地表条件，研究了地震波激发与观测技术，他提出了山地勘探的地震走廊问题及解决方法。



詹世凡

高级技术专家。提出的火焰山深度偏移方法对于解决逆冲推覆成像问题、巨厚砾石区的表层调查方法对于解决低幅度构造问题起到了积极作用。此外他为解决吐哈盆地深层攻关问题提出了有效的解决方案。作为“多波地震勘探技术攻关”负责人，形成、完善了一批多波地震数据采集、处理与解释技术。



邓志文

高级技术专家。长期从事我国西部大沙漠区地震技术、山地三维地震技术、静校正及非零VSP的成像等技术研究与应用工作。近年来，他主要从事东部地区油藏地球物理技术研究工作，承担“三维三分量地震及三维三分量VSP数据采集、处理配套技术研究”等科研项目。



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

