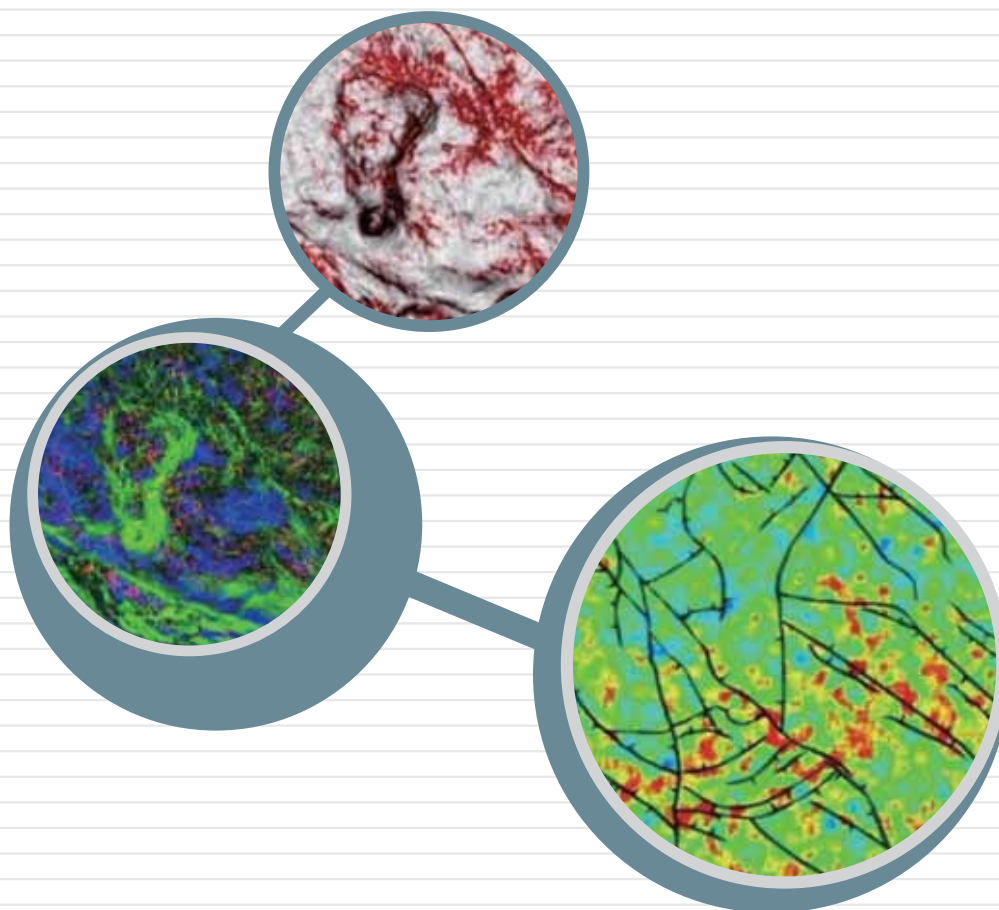


# GeoFrac 地震综合裂缝预测系统

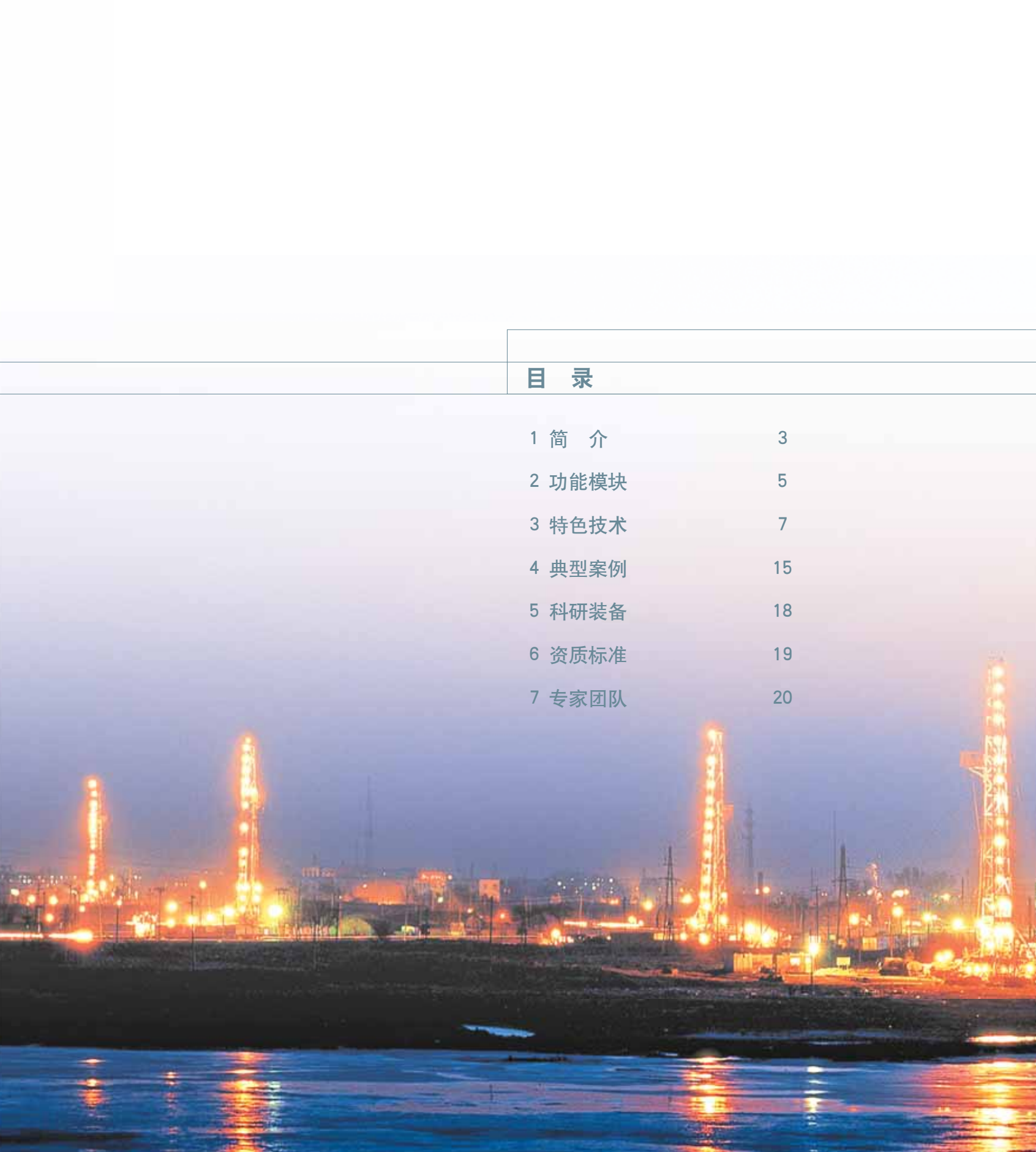
2014 年



中国石油天然气集团公司 科技管理部

提升地震资料质量，  
从地震野外采集质量监控系统开始！





目 录

|        |    |
|--------|----|
| 1 简 介  | 3  |
| 2 功能模块 | 5  |
| 3 特色技术 | 7  |
| 4 典型案例 | 15 |
| 5 科研装备 | 18 |
| 6 资质标准 | 19 |
| 7 专家团队 | 20 |



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2013年国内生产原油1.13亿吨，生产天然气888.4亿立方米，加工原油1.46亿吨，全年实现营业收入2.76万亿元，实现利润1880亿元。

2013年，中国石油在世界50家大石油公司综合排名中位居第4位，在全球500家大公司排名中位居第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“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。

GeoFrac地震综合裂缝预测系统就是具有代表性的重大创新成果之一。

# 奉献能源 创造和谐

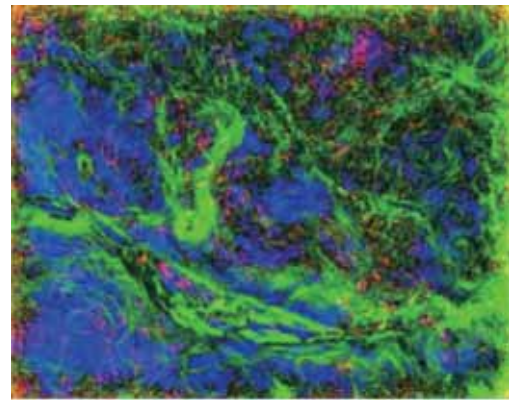


# 1 简介

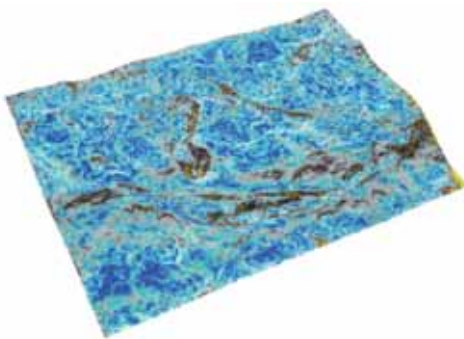
“GeoFrac 地震综合裂缝预测系统”以各向异性理论为基础，采用当前先进的面向服务软件架构设计、迭代式软件开发模型、软件重构等技术研发，集成了井震联合交互裂缝分析、各向异性叠前裂缝预测、叠前 / 叠后综合裂缝预测、三维可视化多尺度裂缝雕刻等特色技术，包括数据管理、叠前属性分析、综合裂缝预测、三维可视化等八个子系统，目的是解决储层裂缝预测的难题，为油气勘探开发增储上产提供有效技术手段。

## 特色技术

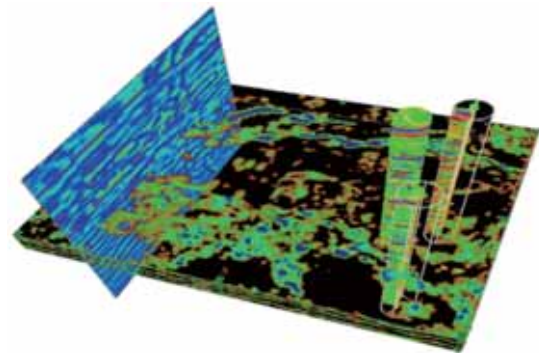
- 井震联合交互裂缝分析
- 各向异性叠前裂缝预测
- 叠前 / 叠后综合裂缝分析
- 多属性融合技术
- 三维可视化多尺度裂缝雕刻
- 叠前大数据高效管理
- 多模块实时通信
- 便捷的算法集成框架



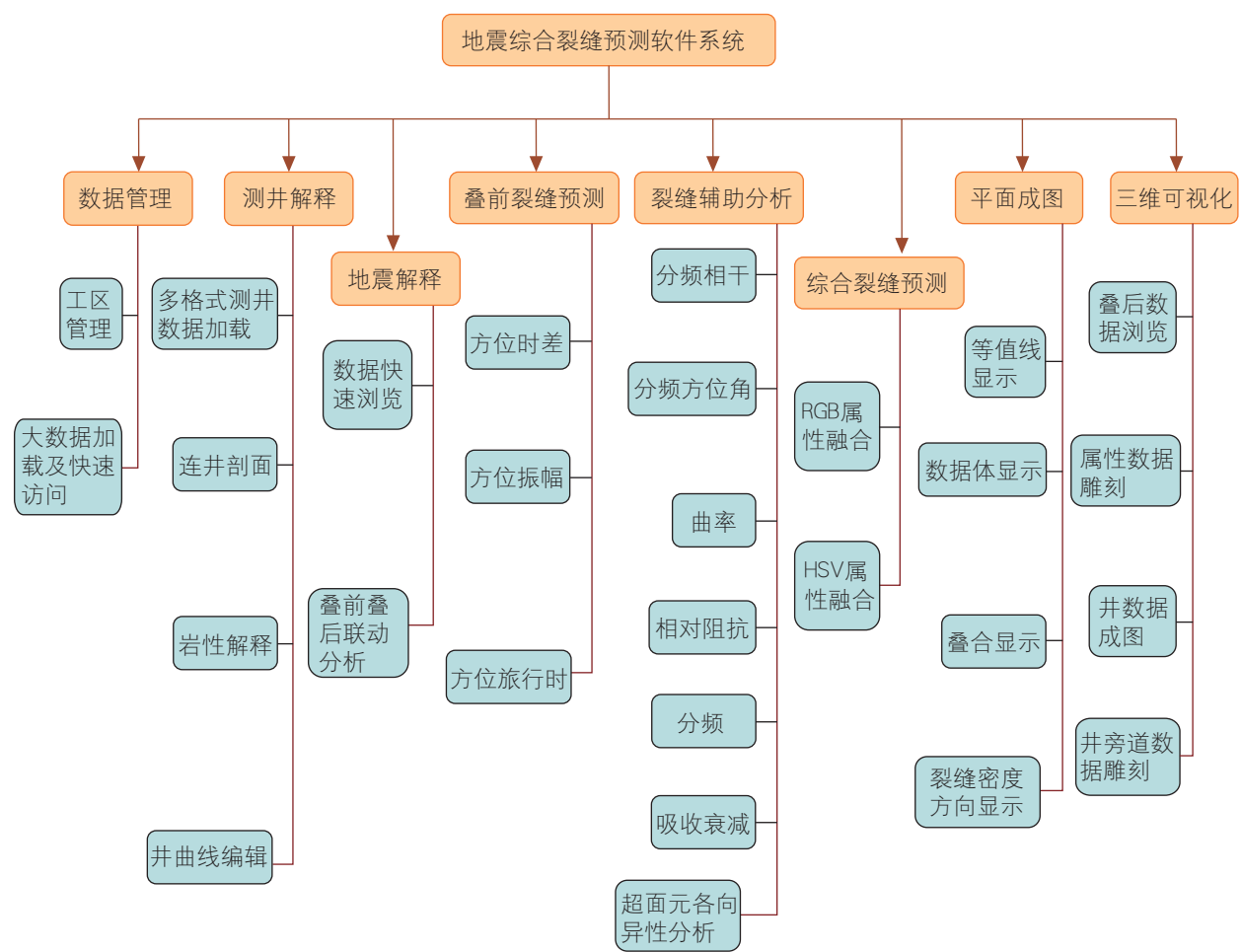
曲率、相干、裂缝密度多尺度裂缝综合预测



多属性融合预测裂缝展布



三维体透视及井筒叠合预测油藏分布



“GeoFrac 地震综合裂缝预测系统”实现了地质、测井、地震信息综合分析，叠前、叠后地震资料裂缝走向与密度预测；充分体现叠前约束叠后、测井约束地震、地质约束地球物理的技术特色，具有数据管理效率高、性能稳定、叠前叠后相互结合、预测精度高等特点；实现了叠前数据单点方位特征分析、地震数据三维叠前方位属性提取、叠前叠后数据交互动联分析、多尺度裂缝综合预测等特色功能，为复杂裂缝储层预测提供了综合一体化解决方案。

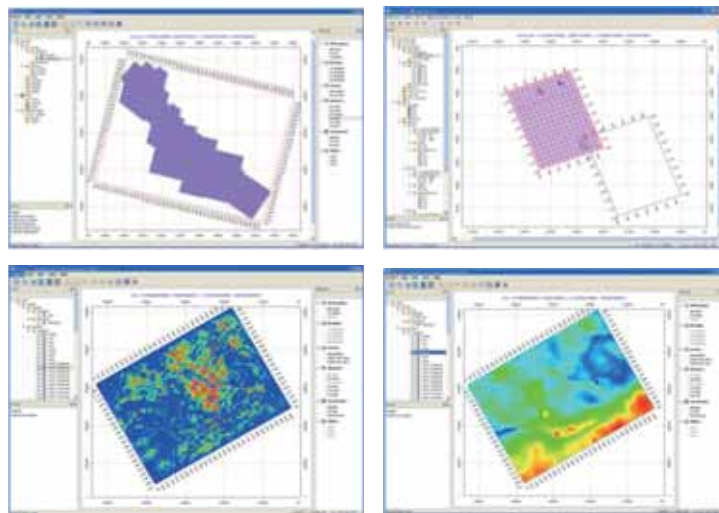
# 2

## 功能模块

### 2.1 数据管理

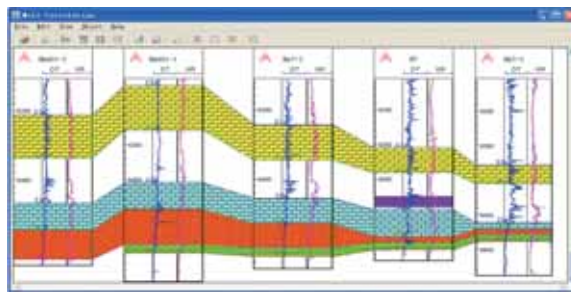
多工区管理：利用栅格化技术，采用工区与测区进行管理，数据类型包括叠前、叠后地震数据，层位、断层、速度、测井数据及地质数据。

数据驱动交互：交互操作采用数据驱动模式，各种数据均可由工区数据树进行显示编辑及执行相应的处理操作。



### 2.2 测井解释

测井资料各种显示模式及解释。通过多井曲线和分层数据制作联井剖面。



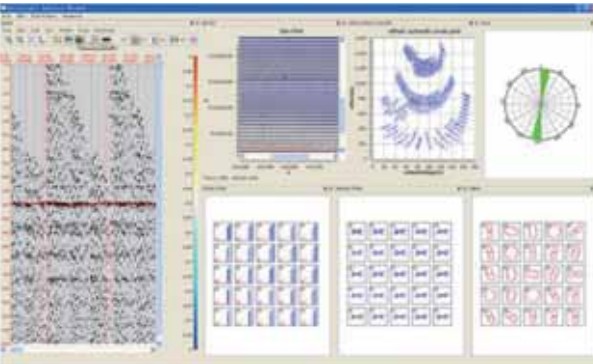
### 2.3 地震资料解释

叠后地震资料解释：地震数据的各种显示方式，包括叠后地震数据、叠前道集合显示，解释层位投影。

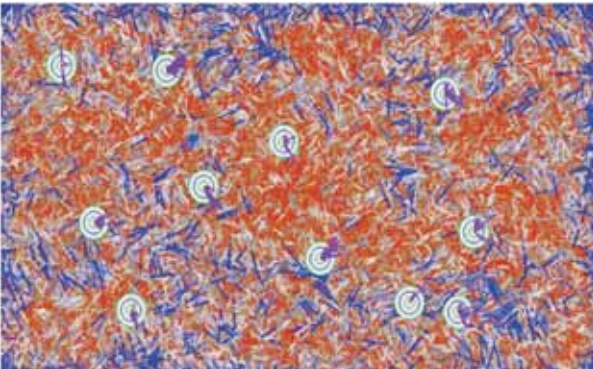
叠前叠后地震资料联合交互分析：包括叠前 / 叠后联合解释，道集实时抽取，道集实时部分叠加。在叠后剖面确定的有利区上，实时调出叠前道集，进行联合联动分析，有效提高预测的准确性，是叠前裂缝预测有效的质量监控手段。



叠后裂缝预测



叠前裂缝预测



综合裂缝预测

## 2.4 叠后裂缝预测

几何属性裂缝预测：采用倾角、方位角、曲率、相干体等叠后属性进行叠后裂缝预测。

多属性融合断裂解释：利用交会、阈值约束、融合等多种手段进行多属性断裂解释，刻画目标区域的断裂分布。

## 2.5 叠前裂缝预测

AVD 属性提取与分析：提取叠前数据随方位变化（AVD）的属性信息，分析 AVD 的特征进而分析裂缝相关信息。

各向异性参数反演：利用叠前数据通过各向异性原理反演裂缝的参数。

## 2.6 综合裂缝预测

区域裂缝统计：交互选取平面目标区域，并统计此区域的裂缝特征。

三维裂缝雕刻：通过三维可视化技术，利用阈值等手段在空间雕刻裂缝形态。

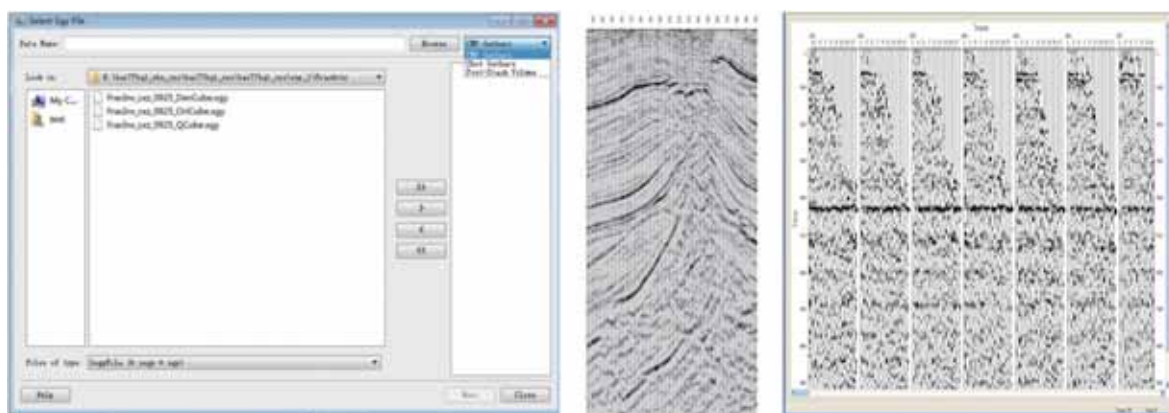
综合裂缝预测：利用多种属性融合技术，综合叠前 / 叠后裂缝预测结果进行分析，预测裂缝储层有利部位。



# 3 特色技术

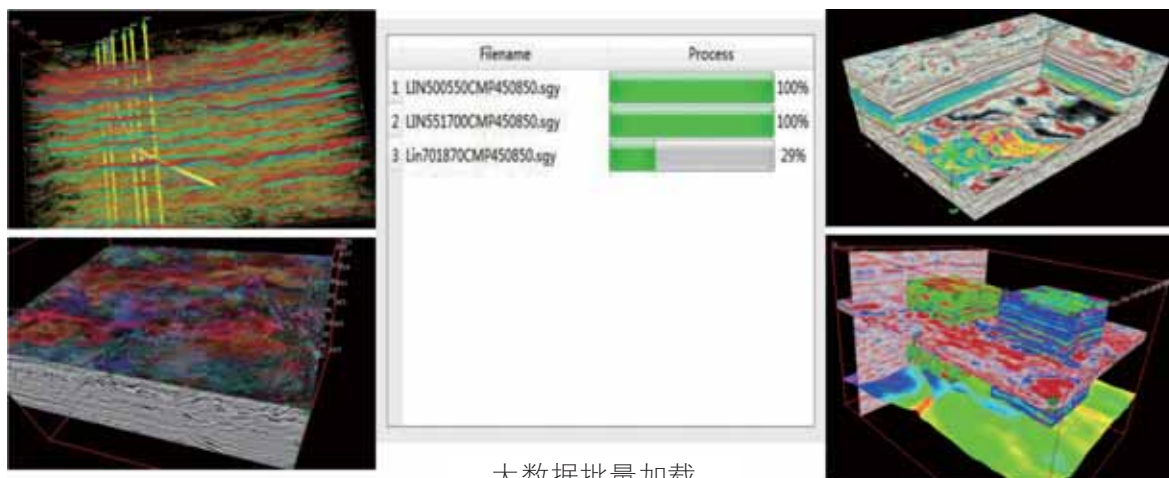
## 3.1 海量数据高效管理技术

基于全工区网格化技术、内存文件映射技术，利用多索引、多搜索引擎方式，快速检索各种数据信息，多级别进行各类数据的管理，实现大数据体、多信息数据高效管理。



叠前 / 叠后数据统一加载

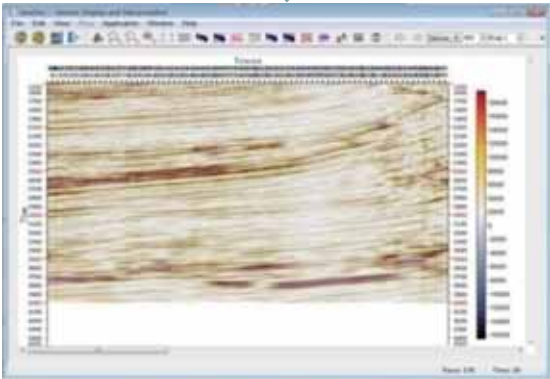
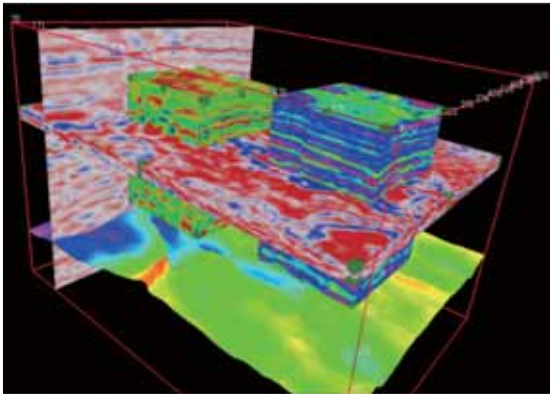
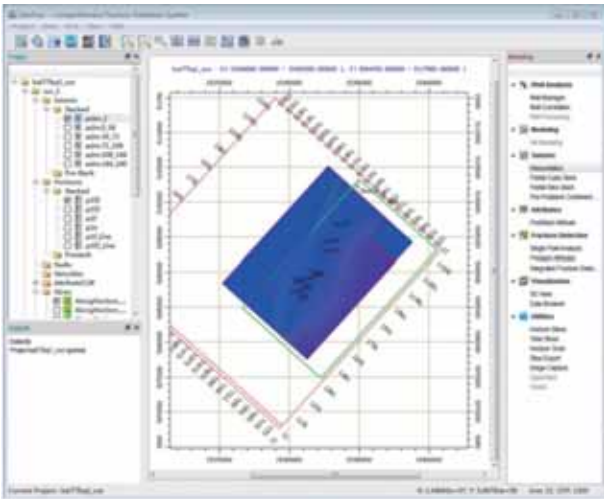
实现海量数据批量加载，大大提高了数据加载速度，优化了系统运行效率，缩短叠前裂缝预测的周期。



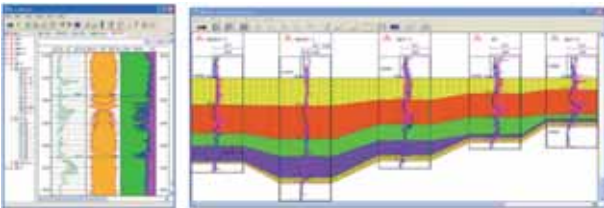
大数据批量加载

3.2 跨平台底层通信技术

多种通信技术，保证各组件之间的交互与数据传递的实时性。

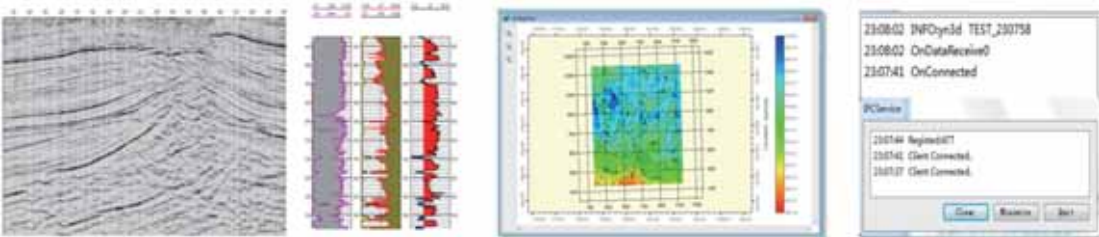


线程通信技术：可满足对象、线程之间的数据传递、消息响应等需要，作用于各个子系统内部。



子系统内部利用线程通信手段进行实时交互

网络通信技术：可满足各组件、子系统间的通信需要，作用于各个子系统之间，保证子系统之间的交互与数据共享。



各子系统间利用网络通信技术进行数据传递

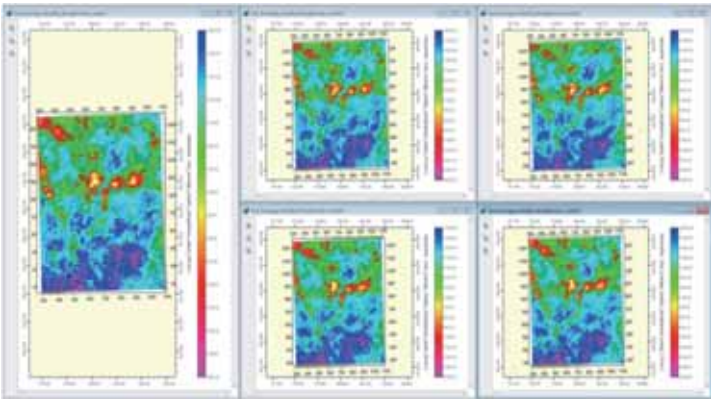
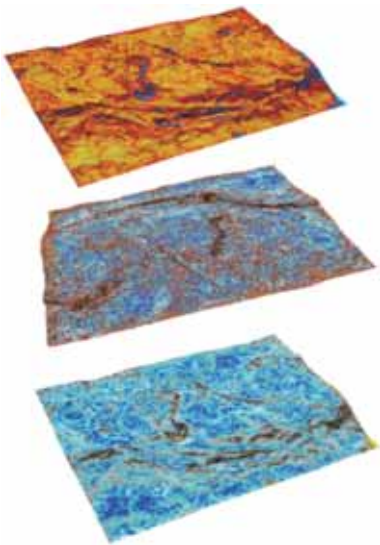
3.3 多核并行技术

多线程作业管理：系统作业进行并行管理，包括监控线程运行情况、控制线程运行过程。利用多线程管理技术对各种叠后属性计算、基于叠前道集数据的各向异性反演进行高效的管理，最大限度利用计算机性能，为每个作业分配合适的资源，使系统运行高效流畅。

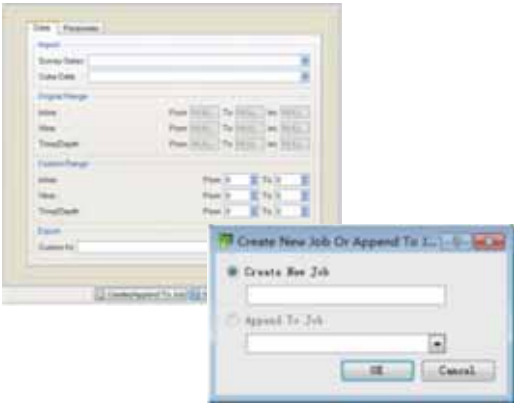
基于 MapReduce 的并行计算：用于大规模数据集的并行运算，提升针对叠前大数据体的运行效率。



系统作业管理与控制模块



叠前分方位属性分析



3.4 单点交互叠前裂缝分析技术

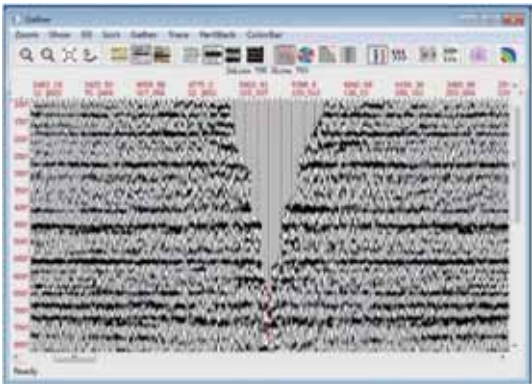
提供叠前裂缝预测参数优化方案，包括炮点检波点分析、覆盖次数分析、方位角范围分析、方位角偏移距交汇分析、叠前道集层位修正、井旁各向异性分析。利用井旁单点交互分析的结果选取最优面元、反演方法和叠前属性进行全区的叠前各向异性反演。

采用手工、半自动、全自动的方式进行叠前道集层位解释与修正，以确保叠前裂缝预测的准确性。

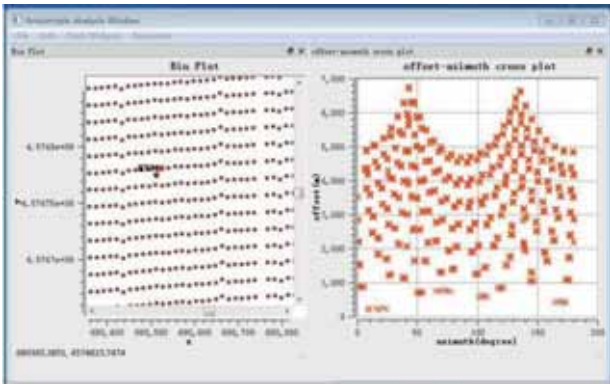
利用方位角偏移距交会单点分析选取合适的偏移，以保证方位角的均匀性，提高反演结果的稳定性。

超面元各向异性分析提供多种反演方法和超面元选择模式，以确保反演结果与测井资料吻合。

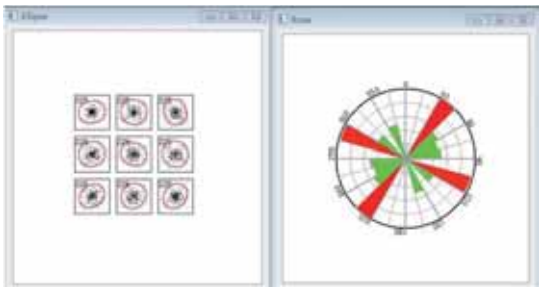
分析任意超面元的覆盖次数与方位角的分布规律，对分析的叠前资料进行有效的评价。



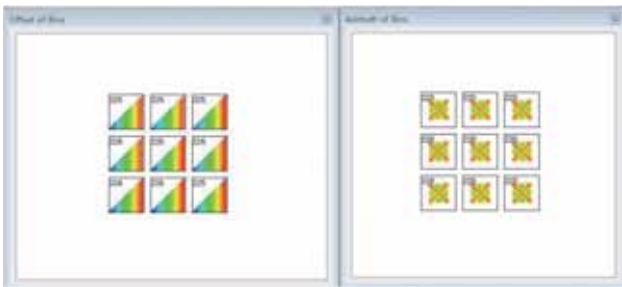
叠前道集层位解释与修正



方位角偏移距交会单点分析



超面元各向异性分析

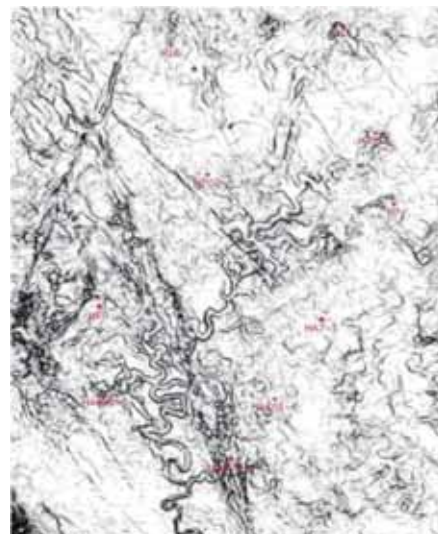


超面元的覆盖次数与方位角分析

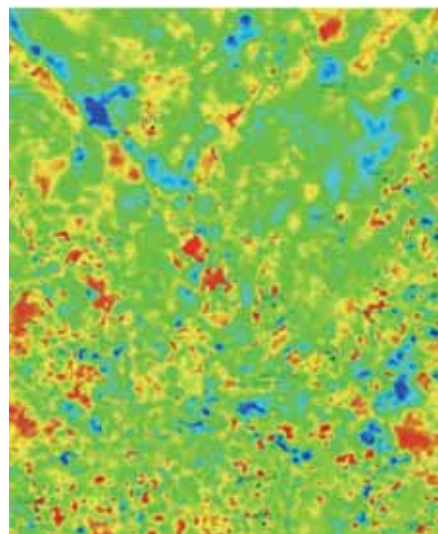
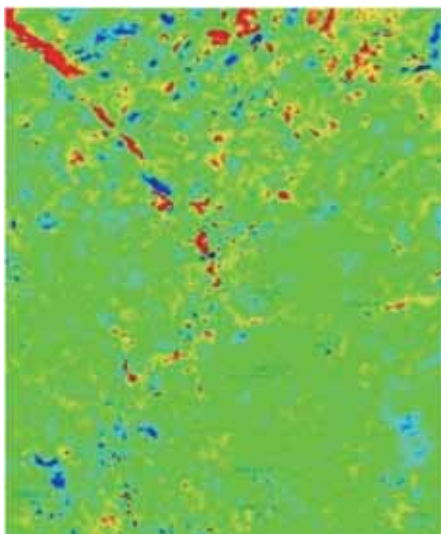


### 3.5 叠前方位各向异性分析技术

提供平面（沿层、沿时间）多方位的叠前属性分析与计算，通过对断裂发育带叠前属性进行差异分析，优选敏感属性进行裂缝预测。

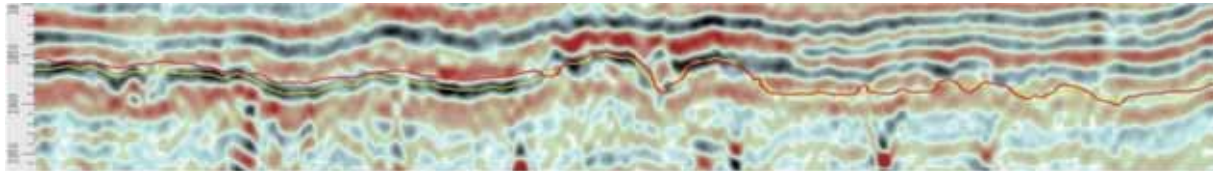


分析地震属性随方位的变化特征

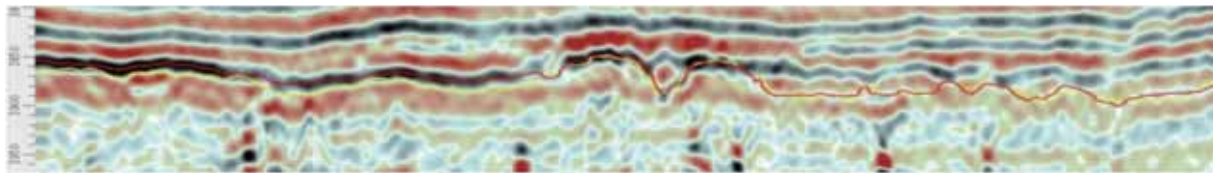


分析同方位不同属性的变化特征

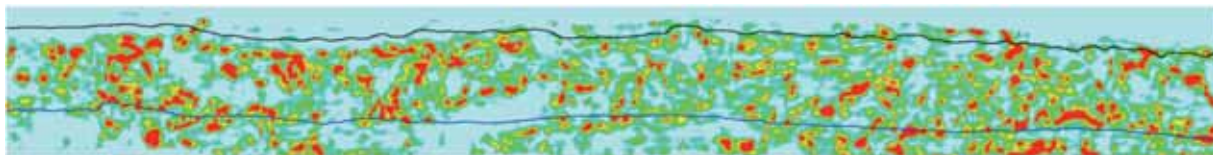
### 3.6 三维裂缝检测与分析技术



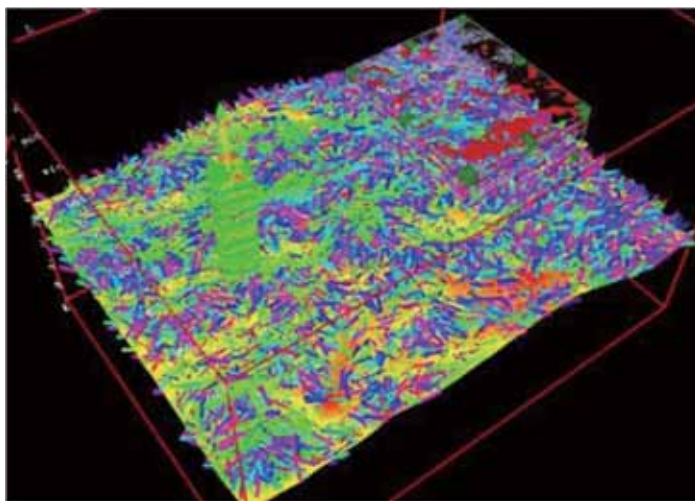
方位 45° 地震数据分析



方位 135° 地震数据分析



三维数据体方位各向异性分析裂缝体结果

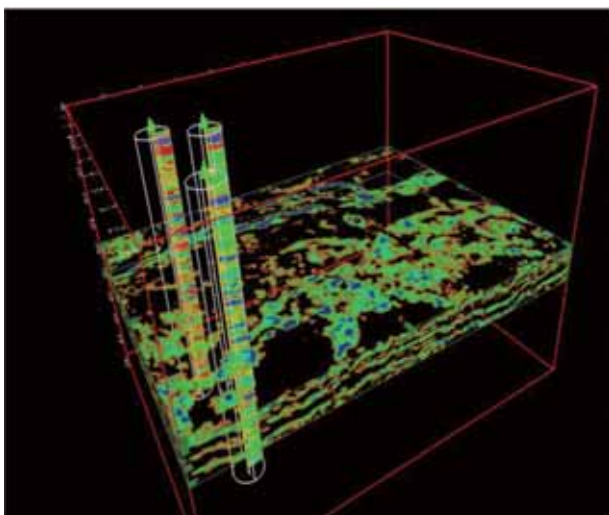


三维裂缝密度与方向检测结果

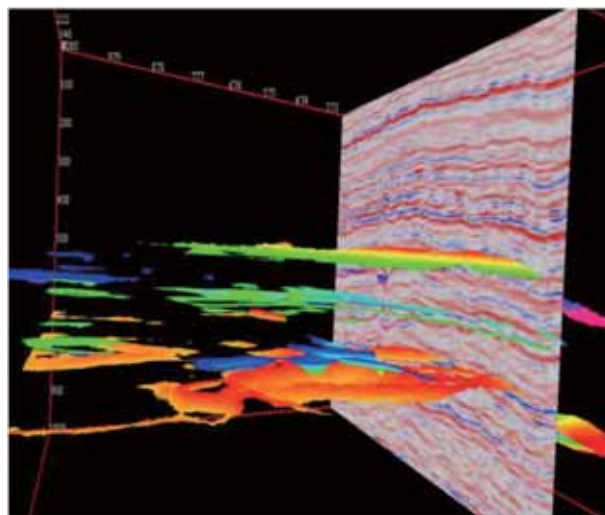
三维裂缝检测通过对三维叠前数据体进行预处理，包括道集时差校正、相位校正、消除子波影响等。利用经过预处理的叠前道集、分方位数据体进行各向异性反演获得三维空间的裂缝参数体。

### 3.7 三维综合裂缝可视化技术

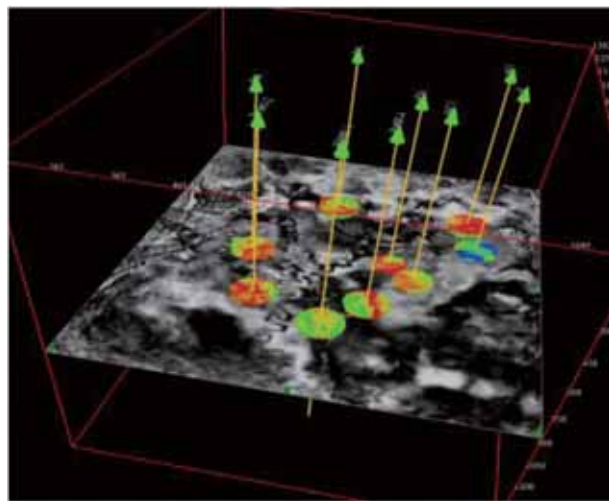
GeoFrac 系统提供了功能丰富的三维可视化技术，能够对地震数据、测井数据、层位数据、属性数据等进行三维可视化显示，根据颜色透明度曲线进行阈值约束，进行沿层、沿体透视，快速凸显裂缝分布特征，雕刻目标异常体，提供直观的地质特征。



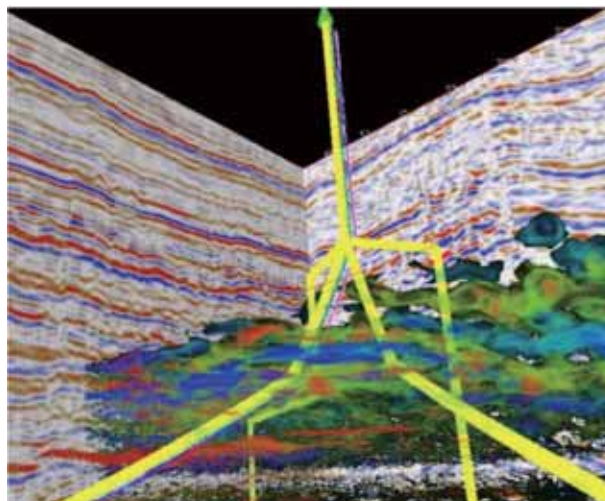
层间裂缝密度可视化



多层裂缝密度可视化



沿层裂井位处裂缝密度可视化

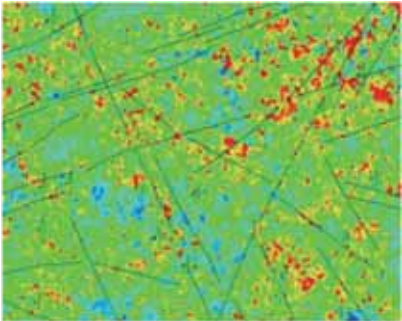


井位处目标体裂缝密度可视化

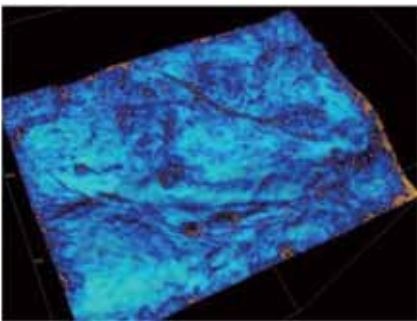


### 3.8 综合裂缝分析技术

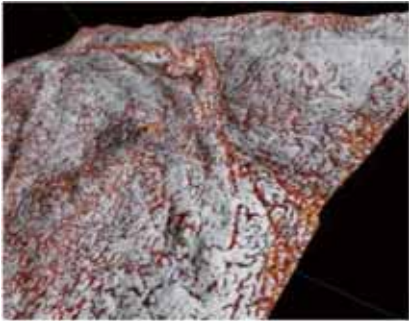
利用色标融合、色域旋转、值域互补的影像学原理进行多信息融合。保持各类预测结果不变的前提下，增强层次感，使显示内容更加丰富，展现更多的地质信息。



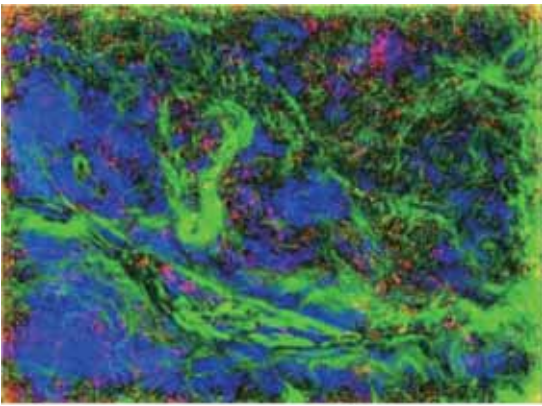
叠前裂缝预测结果



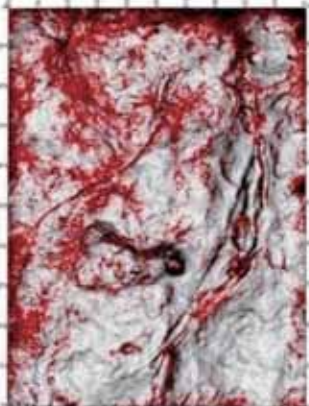
叠后相干属性结果



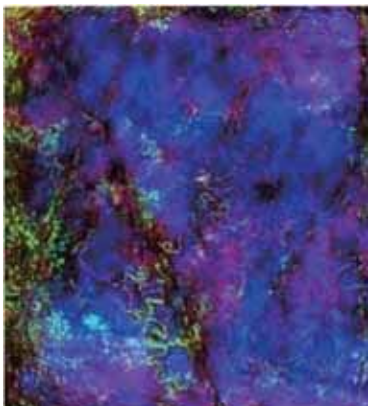
叠后曲率属性结果



综合裂缝储层预测结果



相干 + 裂缝密度  
综合裂缝储层预测结果



相干 + 频谱成像 + 裂缝密度  
综合裂缝储层预测结果



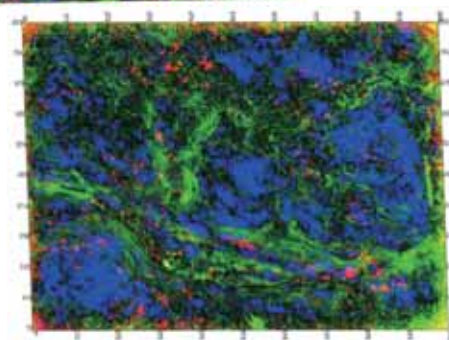
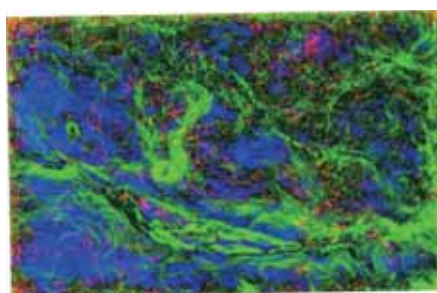
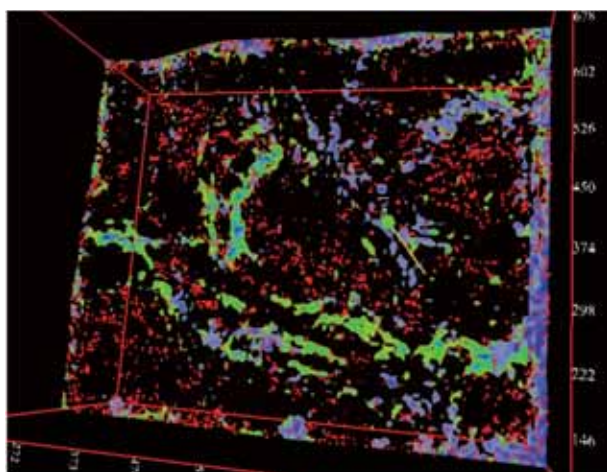
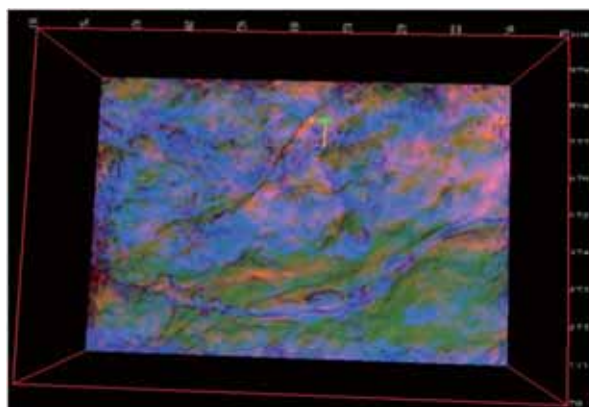
# 4

典型案例

## 4.1 四川盆地磨溪地区裂缝型油气藏储层预测

磨溪三维工区为北东—南西向的长条形区块。主要是针对磨溪构造的下古生界开展研究工作，有四套目的层，分别是：奥陶系南津关组，寒武系洗象池群组、龙王庙组，震旦系灯影组。

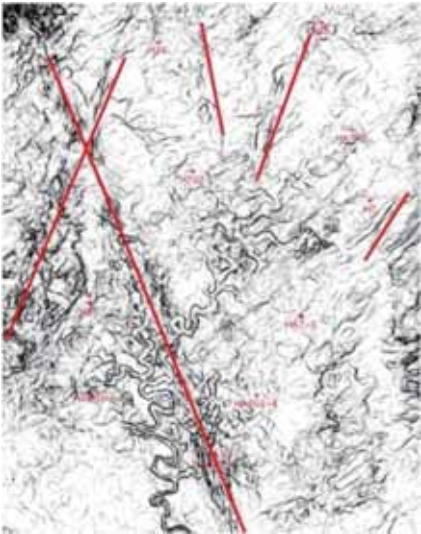
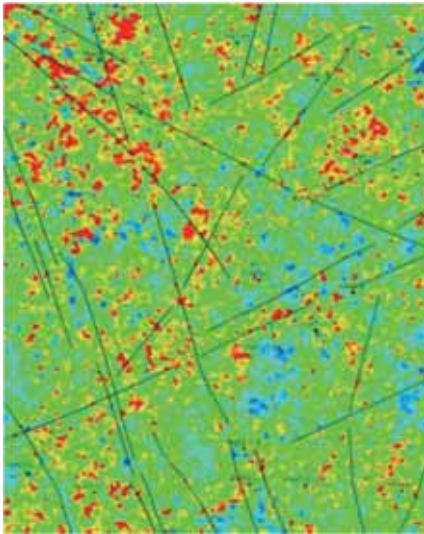
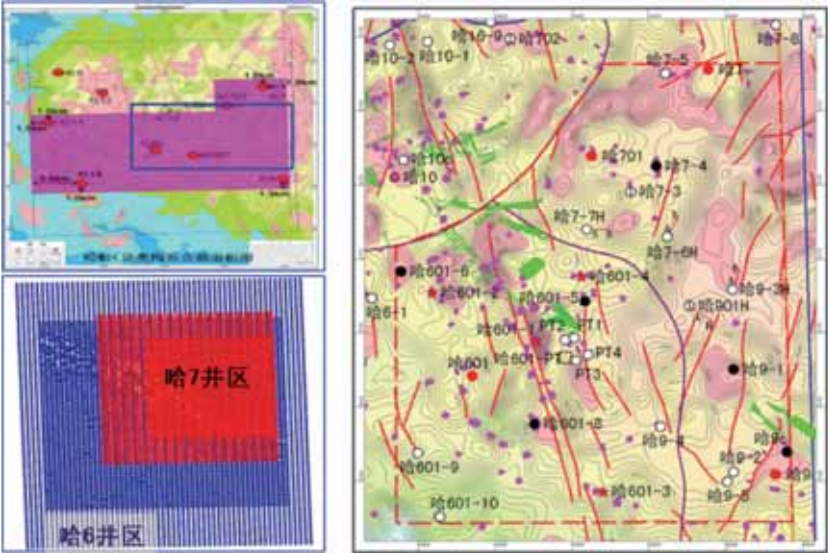
预测结果显示：绿色部分为断裂发育区，红色部分为裂缝密度较大区域。从预测结果中可以看出工区南部发育一组较大的断裂，裂缝主要发育在工区的北部及靠近断裂处。



#### 4.2 塔里木盆地哈拉哈塘地区碳酸盐岩缝洞型油气藏储层预测

哈拉哈塘地位于塔北隆起哈拉哈塘凹陷，是轮南奥陶系凸起向西南的延伸，目的层为中一下奥陶统一间房—鹰山组。

哈拉哈塘研究区目的层位于碳酸盐岩古潜山与斜坡带过度区，古地貌较高，岩溶与断裂发育。预测结果显示，研究区发育北西—南东向和北东—南西向的走滑断层，在断层周围裂缝较发育。





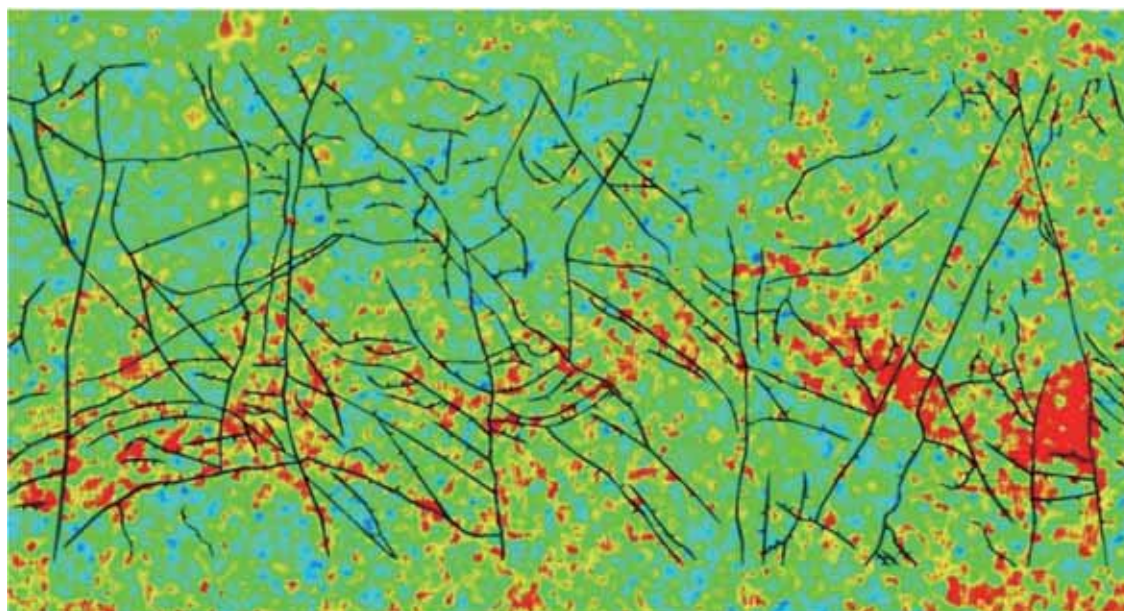
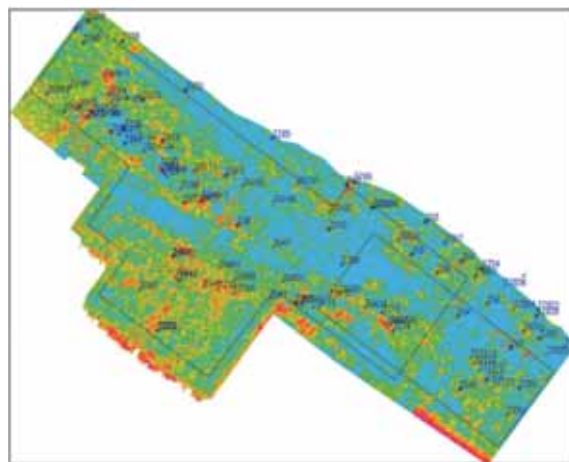
### 4.3 塔里木盆地中古 8—中古 43 井区裂缝储层预测

中古 8—中古 43 井区，位于塔中北斜坡中东部，隶属塔中 10 号构造带，针对下奥陶统鹰山组。

采用叠后属性进行断裂预测，并利用叠前分方位属性进行裂缝参数反演，预测结果发现：

工区主要发育近东西向逆冲断裂和北东南西向走滑断裂。

构造带两侧形成南北两斜坡，南抬北倾，东高西低。中央隆起区高部位及其两翼裂缝发育程度最高，为高效井位部署指明了方向。



目的层裂缝密度平面图



# 5

## 科研装备

科研装备包括：两套 SUN E20K 系统，128 个 CPU，512GB 内存，主要用于地震解释，应用软件开发，配备 Landmark、Geoframe 等地震解释系统；HP PC-Cluster 系统，256 节点，2048 核，主要用于地震资料处理，安装软件有 Omega、Epos、GeoEast 等地震处理系统；IBM PC-cluster 系统，192 个节点，3072 核，主要用于地震资料处理，安装软件有 Omega、GeoEast 地震处理解释一体化系统；S1070、S2090 两套 GPU 系统，36 个节点，6 万个 CUDA 核，主要用于叠前时间偏移、逆时偏移等数据处理及 GPU 并行应用软件开发；配备有 HDS AMS1000、EMC CX4-960、Isilon 6K、Isilon36K、Isilon X200 存储系统及 IBM TS3584 自动带库系统。

CPU 核数已达 6000 核，存储总容量已超过 2PB，配备 IBM、Sun、HP 等图形工作站 100 台套以上。



# 6

资质标准

勘探开发研究院西北分院是中国石油重要的地球物理方法研究和地学软件研发基地，多年来一直致力于物探方法研究和软件研发，在地震资料采集质量监控、模型约束地震资料处理、测井约束高精度波阻抗反演、叠前 AVA 同步反演、属性提取与多属性优选融合、复杂介质模型正演、地震综合裂缝预测以及基于多相介质油气检测等方面，形成了多项专利产品。西北分院拥有集团公司油藏描述重点实验室和股份公司地球物理重点实验室，地震资料目标精细处理解释能力国内领先。



拥有自主知识产权的软件产品：

- GeoFrac 地震综合裂缝预测软件系统
- GeoSeisQC 地震资料采集质量分析与评价系统
- CRIS V3.0 地震综合反演及油气检测系统
- CCFY 储层综合反演软件
- HARI 储层综合反演软件
- SEIMPAR 储层综合反演软件
- DHAF 油气检测软件
- MODPRO 成像处理软件包
- Paramig 叠前深度偏移软件
- MDIS 和 MTIS 静校正软件

地震综合裂缝预测系统专利

- 裂缝预测方法和装置 (201010205983.4)；
- 纵波裂缝预测及剥层技术 (201010567725.0)
- 一种非零炮检距地震信号能量校准装置及系统 (201020273840.2)
- 一种井控获取地震薄储层速度的方法及装置 (201010594743.8)
- 横向变速小尺度体反射系数公式应用方法 (201110314489.6)
- 多层裂缝预测方法和装置 (201010172047.8)
- 一基于地震信号检测天然气藏的方法及设备 (20111014370.3)

# 7

## 专家团队



**王西文**

高级技术专家，教授级高级工程师，博士，主要从事地震波传播理论与应用、小波分析、精细储层预测、岩性圈闭有效识别等方面的技术研究，获省部级科技进步一等奖 4 项、二等奖 1 项，局级科技进步一等奖 7 项、二等奖 4 项。出版专著 1 部，发表学术论文 58 篇。

电话：0931-8686083

Email: wang\_xw@petrochina.com.cn



**雍学善**

高级技术专家，教授级高级工程师，博士，主要从事储层预测及油气检测技术的研究工作，获得和申报国家发明专利各 1 项、省部级科技进步一等奖 2 项、二等奖 2 项、局级科技进步一等奖 8 项，在世界石油大会、SEG 年会及各类学术会议或杂志上发表论文 30 余篇。

电话：0931-8686136

Email: yongxs@petrochina.com.cn



**杨午阳**

技术专家，高级工程师，博士，美国 SEG 学会会员，中国石油学会会员。主要从事地震波传播理论、叠前反演、储层精细预测、油气预测等领域的方法研究和软件研制，在叠前 / 叠后地震反演、储层参数估计、地震属性分析、非常规储层油藏描述、保幅叠前深度偏移等方面取得许多创新成果。获甘肃省科技进步一等奖 2 项，发表学术论文 50 余篇。

电话：0931-8686605

Email: yangwuyang@petrochina.com.cn



**李向阳**

高级技术专家，教授，博士，博士研究生导师，国家“千人计划”首批特聘专家，中国石油大学（北京）教授，荣获 2012 年 SEG 杰出成就奖，长期从事多波地震勘探，地震各向异性及地震裂缝预测，发表论文百余篇。

电话：010-89733017

Email: xyl1962@hotmail.com

**周春雷**

技术专家，高级工程师，主要从事地球物理正、反演理论、地震资料处理软件、油气检测、储层预测、软件集成技术等方面的研发工作；获得甘肃省科技进步一等奖 1 项，部级二等奖 2 项，局级一等奖 5 项，局级二等奖 6 项，发表论文多篇。

电话：0931-8686098

Email: zhouchunlei@petrochina.com.cn

**张巧凤**

技术专家，高级工程师，主要从事地震资料特殊处理，地震储层反演，全三维可视化解释及地学软件测试等方面的研究工作，参加过大庆、长庆、青海、塔里木、准噶尔、四川、南海、委内瑞拉各大油田重点区块的地震反演工作，部级二等奖一项，发表论文多篇。

电话：0931-8686604

Email: zhang\_qf@petrochina.com.cn

**徐永泽**

技术专家，高级工程师，主要从事地震资料处理、数据库开发及应用、油气检测、储层预测、软件集成技术等方面的地学应用软件的研制工作，先后获省科技进步一等奖 1 项，部级二等奖 2 项，局级一等奖 3 项，局级二等奖 2 项，发表论文多篇。

电话：0931-8686180

Email: xuyunze@petrochina.com.cn

**刘军迎**

技术专家，高级工程师，博士，主要从事地震资料特殊处理、叠前深度偏移处理、多波多分量地震处理与解释、地震储层反演及油气检测，三维叠前裂缝预测方法研究及相关软件研制等工作，先后参加过长庆、吐哈等油田重点区块的研究工作，获 4 项发明专利，部级二等奖 1 项，多项西北分院奖项，发表学术论文 18 篇。

电话：0931-8686050

Email: liujunying@petrochina.com.cn



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

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





