

# 中国天然气勘探开发现状及物探技术需求

刘振武<sup>1</sup> 撒利明<sup>1</sup> 张研<sup>2</sup> 董世泰<sup>2</sup> 王玲<sup>2</sup>

1. 中国石油天然气集团公司 2. 中国石油勘探开发研究院

刘振武等. 中国天然气勘探开发现状及物探技术需求. 天然气工业, 2009, 29(1): 1-7.

**摘要** 2000年以来, 中国石油天然气集团在鄂尔多斯盆地、四川盆地、塔里木盆地、松辽盆地、柴达木盆地、渤海湾盆地等的天然气勘探中不断获得新的发现, 初步形成了东部、中部、西部协调发展的合理布局。现阶段面临的问题是如何尽快将资源优势转化为经济优势。目前, 我国天然气主要储集层为碎屑岩、碳酸盐岩和火山岩三大岩石类型。碎屑岩储层特征表现为我国中部丘陵地区的低孔、低渗的致密砂岩以及西部复杂高陡构造的孔隙砂岩; 碳酸盐岩和火山岩储层普遍埋藏较深, 非均质性强, 缝洞单元难以刻画。因此, 必须采用有针对性的地球物理勘探技术, 优先发展碎屑岩气藏检测勘探技术, 强化地震岩石物理等基础研究, 加快碳酸盐岩、火山岩气藏检测技术攻关。同时开展高密度、多波地震勘探等前沿技术研究, 为定量评价和产能建设提供技术保障。

**关键词** 天然气 勘探 开发 地球物理勘探 技术 需求

DOI: 10.3787/j.issn.1000-0976.2009.01.001

近年来, 天然气工业已经成为我国石油工业最具成长性的业务。截至目前, 全国天然气探明储量在  $500 \times 10^8 \text{ m}^3$  以上的气田有 14 个, 其中中国石油天然气集团公司(以下简称中国石油)占 12 个。这充分表明中国石油的天然气业务在国内处于主导地位<sup>[1]</sup>。

现阶段面临的问题是如何尽快将资源优势转化成经济优势。为此, 中国石油提出在“十一五”后 3 年及“十二五”期间实施天然气大发展工程, 地球物理技术要在天然气新区产能建设与老区稳产方面发挥重要的作用, 地球物理技术面临着严峻的技术挑战。天然气藏勘探开发主要针对碎屑岩、碳酸盐岩和火山岩三大岩石类型。碎屑岩领域主要为复杂高陡构造的孔隙砂岩、丘陵地区的致密砂岩两大类。而碳酸盐岩与火山岩面临的共性问题则是埋藏普遍较深(一般大于 4 000 m), 深层地震资料信噪比较低, 储层的非均质性很强, 地震预测难度很大。产能建设面临的核心问题是如何按照成藏单元描述有效储层, 准确预测流体分布。

## 1 天然气勘探开发现状及面临的问题

### 1.1 天然气勘探开发概况

中国天然气工业已经进入发现大气田、构建大

气区阶段, 迎来了天然气储量增长高峰期。天然气探明储量高位增长有 5 方面的原因: ①油气勘探投入增加; ②勘探技术手段进步; ③海、陆相油气勘探理论取得重要进展; ④我国油气整体探明程度偏低(石油探明程度约 35%, 天然气探明程度约 15%); ⑤油气田开发进一步促进了天然气勘探的大发现。目前, 中国石油在鄂尔多斯、四川、塔里木、松辽、柴达木、准噶尔等 8 个盆地的三大岩石类型(即碎屑岩、碳酸盐岩、火山岩)的天然气勘探中不断获得新的发现(图 1), 8 个盆地探明储量占整个探明储量的 95%。我国天然气工业初步形成了东部、中部、西部以及海域协调发展的良好局面<sup>[2]</sup>。

从国内三大油公司天然气的远景资源量、探明储量和产量来看, 中国石油均占有主导地位。中国石油的天然气勘探与开发直接关系到国家的经济利益。因此需要大力发展天然气地球物理技术, 以保证中国石油天然气勘探与开发的高速增长。针对目前的现状, 中国石油提出实施“储量高峰期工程”以及“天然气大发展工程”, 部署天然气年新增三级储量超  $1 \times 10^{12} \text{ m}^3$ , 天然气产量年增  $100 \times 10^8 \text{ m}^3$  的发展目标。这就要求物探技术在三大岩类精细勘探、评价与开发井位优选等方面发挥更大作用。

**作者简介** 刘振武, 1949 年生, 英国 Heriot-Watt 大学石油工程专业博士, 教授, 享受国务院政府专家特殊津贴, 中国石油天然气集团公司副总工程师, 担任本刊第六届编委会主任; 编著有《21 世纪初中国油气关键技术》、《油气应用基础研究展望》、《中国石油“十五”科技进展丛书》等专著。地址: (100724)北京市西城区六铺炕街。E-mail: lzww@cnpc.com.cn

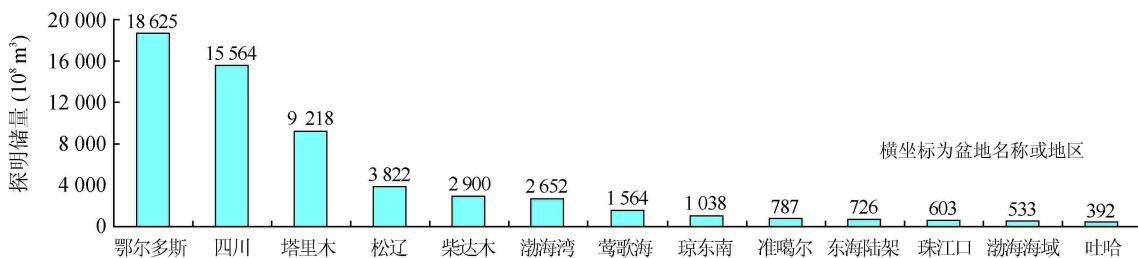


图1 中国天然气探明储量分布图 (据邹才能, 2008年)

### 1.2 面临的技术问题

目前,中国石油发现的天然气储层主要集中在碎屑岩、碳酸盐岩、火山岩三大岩石领域,这三种类型的储集体面临诸多的地质难点,制约了天然气的勘探与开发。表1分析了天然气勘探在三大岩石领域所遭遇的地质难点以及所带来的地震技术难点。

碎屑岩领域主要包括高陡构造中的砂岩、深层致密砂岩、浅层疏松砂岩。高陡构造通常面临地表巨厚砾石层的激发接收、低信噪比资料的静校正、叠前去噪等技术难题。致密砂岩面临的主要问题是气藏受构造和岩性双重控制,具有典型的低孔、低渗及含水饱和度较高的特征;储集层一般为三角洲河湖相沉积,砂体分布广泛,横向上极不连续,纵向上相互叠置;孔隙度一般为3%~15%,渗透率多数小于 $0.1 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$ ,有效储层厚度一般为2~10 m,单井有效储层与非有效储层难以区分。这些地质问题的存在,给低渗透气藏的勘探与开发带来了困难。疏松砂岩以柴达木盆地三湖地区为主,通常储层成岩性差,呈弥散状分布,“气烟囱”成像问题普遍存在,给储层预测与流体检测带来了困难。

碳酸盐岩储集层主要包括生物礁、鲕(鲕)粒滩、岩溶风化壳以及白云岩储层。通常埋藏深、时代老、储层非均质性极强,储层发育主控因素以及成藏控

制因素复杂,不同类型储层相带划分难,有效储层预测及流体识别难,给地球物理技术的应用带来了困难。

火山岩气藏通常埋藏深,不同相带相互叠置,相带划分难;火山岩岩性复杂,岩石类型多种多样,岩性识别难;储层演化受多种作用控制,有效储层预测难,储层非均质性极强导致流体识别难。

## 2 物探技术现状及需求分析

针对以上的勘探开发现状与面临的问题,中国石油积极采取相应的对策,物探投入持续稳定增长,物探技术发展迅速,初步形成了致密砂岩、碳酸盐岩、火山岩3项配套技术,流体检测技术也得到了快速发展。其中,碎屑岩流体检测技术,特别是低渗透砂岩气藏检测技术由方法研究、技术研发阶段发展到目前的工业化应用;碳酸盐岩储层预测从单一的储层单元评价发展到缝洞单元评价;火山岩储层评价由叠后储层预测技术向叠前流体检测技术延伸。这些技术的形成在天然气产能建设方面发挥了重要作用,为库车、川中、苏里格、塔中、准东、徐深等地区天然气探明储量的提交奠定了扎实的资料基础。另外,在苏里格、大庆、四川等地区开展了多波、高密度等新技术试验和生产,取得了一定的效果<sup>[3-4]</sup>。

表1 三大岩石领域地质问题与地震技术难点分析表

岩石类型	勘探对象	地质问题	地震技术难点
碎屑岩	高陡构造	圈闭落实程度低	地表条件及地下构造复杂,成像精度低等
	致密砂岩	储层薄、低孔低渗	分辨率不能充分满足有效储层及流体检测等评价需求
	疏松砂岩	气藏薄、弥散分布	近地表影响,资料信噪比低,“气烟囱”成像等
火山岩	火山碎屑岩	储层类别多样,非均质性强	埋藏深度偏大,有效储层预测、流体检测等
	火山熔岩		
碳酸盐岩	礁滩储层	储层发育控制因素成藏控制因素复杂	地表条件复杂,埋藏深度偏大导致资料信噪比较低,分辨率较低;有效储层预测、流体检测等
	岩溶储层		
	白云岩储层		

## 2.1 碎屑岩物探技术现状与需求

碎屑岩领域主要包括高陡构造中的砂岩、深层致密砂岩、浅层疏松砂岩。目前,高陡构造成像技术初见成效,低渗透砂岩气藏检测技术配套技术也得到了工业化应用,疏松砂岩气藏预测技术正在完善之中。

### 2.1.1 高陡构造地震技术系列

地表巨厚砾石层的激发接收、低信噪比资料的静校正、叠前去噪等专项技术难题制约着叠前深度偏移技术应用,导致构造圈闭落实程度低。需要发展复杂山地激发接收技术、复杂地表静校正技术、复杂波场多域去噪技术、复杂构造叠前深度偏移成像技术等。

#### 2.1.1.1 地震采集技术

通过高精度遥感信息选线、选点、优选速度层激发以及宽线+大组合采集,有效压制各种干扰,提高地震资料信噪比。

#### 2.1.1.2 形成了一套针对性的山地处理关键技术

CRS 叠加作为模型道求取剩余静校正,改善成像质量;CRS 加权应用,减少相干干扰,改善成像效果;分层剩余静校正技术,改善浅层和深层的成像质量;采用分段拾取、分段计算的初至波剩余静校正技术,实现精细的静校正;通过多域多系统叠前去噪,提高信噪比,通过模型正演,对速度模型和复杂波场进行分析研究,为叠前深度偏移准确成像奠定了基础。如图2所示,前期处理与正确的速度分析,对叠前深度偏移最后的成像起到了关键作用。

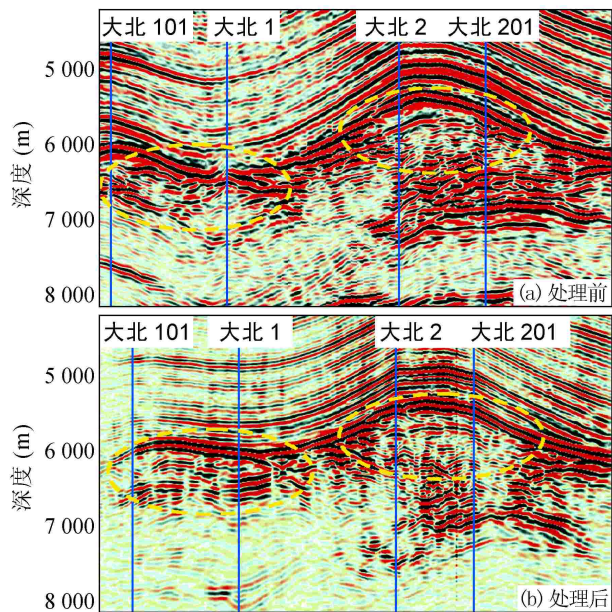


图2 采取关键技术叠前深度偏移效果处理前后对比图

### 2.1.1.3 精细的构造解释与变速成图技术

速度模型的正确建立,对盆地基底结构、断裂体系和构造区带进行宏观分析,明确区带展布特征和构造发育的基本规律,来指导构造建模;通过钻井和地震资料相结合,对构造进行精细研究,落实圈闭形态。

通过上述关键技术系列的应用,库车克拉苏构造取得了较好的效果。落实的克深2井钻探获得重大突破,实现了克拉一大北区带第二排构造的突破,进一步证实了克拉一大北区带四排“阶梯状”构造大面积含气,具有  $1 \times 10^{12} \text{ m}^3$  天然气资源规模,证实了克拉苏一大北区带的盐构造分析及其构造样式的合理性。

### 2.1.2 致密砂岩气藏检测配套技术

测井地球物理特征分析与钻井相结合,确定地震储层预测的敏感参数,为地震叠前储层预测奠定了坚实的岩石物理基础。利用 AVO 技术即弹性阻抗、独立反演和同时反演进行叠前反演,通过不同的弹性参数交会,优选参数,识别岩性,可降低反演的多解性,最终可以实现利用叠前振幅信息进行流体的检测。同时,开展多波多分量联合反演、纵横波压缩计算速度比和泊松比、多分量分频对比、多分量联合 AVO 分析、多波多分量各向异性分析等技术研究,在气藏预测方面见到良好效果。通过对川中上三叠统须家河组气藏和鄂尔多斯苏里格气田 3 a 的技术攻关,形成了一套针对低渗透气藏的物探关键技术系列。

1)建立了一套针对地质目标,以实现相对振幅保持为主的“三高”处理流程和参数,形成了以开展叠前有效储层预测和含气性预测为目标的处理技术。

2)针对低孔、低渗储层的特点,形成了适用的地震岩石物理技术和岩石物理图版,成功地进行横波速度估算;同时,优选对岩性、物性和含气性敏感的弹性参数,包括三参数纵波速度、横波速度、密度,以及弹性参数拉梅常数、体积模量、杨氏模量、泊松比等,指导叠前储层预测和含气性检测。

3)形成了叠前全三维弹性参数反演技术。利用不同角度道集,对不同的角度道集提取不同的子波进行同时反演,获得纵波阻抗、横波阻抗以及密度体,在反演过程中,建立各弹性参数之间、弹性参数与岩石物性、流体之间的关系,通过分析获得弹性参数体,进行岩性和流体检测。

4)形成了单参数与多参数有效储层识别技术。

5)形成了利用岩石物理建模、地震正演、含气性敏感参数分析、波动方程弹性参数反演、岩性因子反演以及地震衰减等技术,联合进行含气检测。图3为利用弹性阻抗与衰减属性在川中须家河组储层发育区识别出须4段含气层。图4是利用角度域吸收衰减属性进行气藏检测,可以看出,苏118井在小角度吸收最强,中角度吸收较弱,大角度吸收最弱,可以对苏118井区的含气情况进行预测。由此看出,我国碎屑岩天然气藏地震有效识别技术达到了国际领先水平。

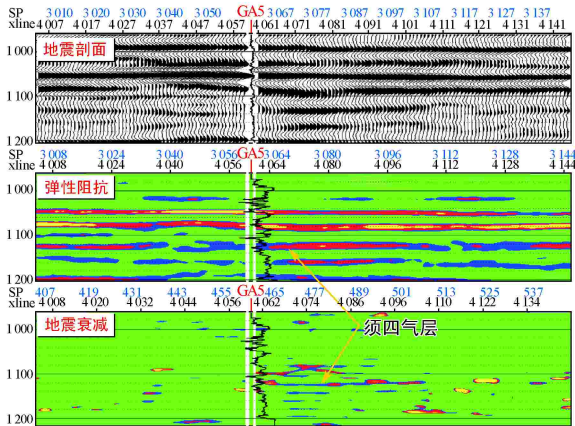


图3 弹性阻抗反演与地震衰减属性图

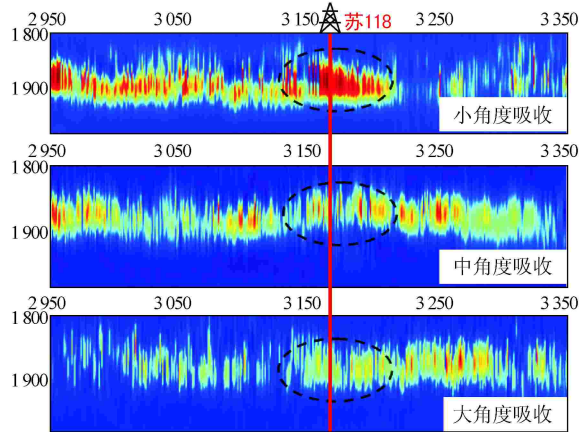


图4 角度域吸收衰减剖面图

## 2.2 碳酸盐岩物探技术现状与需求

近年来,海相碳酸盐岩天然气勘探获得重要突破,逐渐成为储量增长的重点领域之一。我国碳酸盐岩大气区主要集中在塔里木盆地、四川盆地、鄂尔多斯盆地,但由于这些地区碳酸盐岩储层埋藏深度大、非均质性强、分布区地表复杂、地震资料信噪比低等特点,严重制约了碳酸盐岩气藏的勘探开发进程。通过近些年来地震技术攻关,突破了一些技术“瓶颈”,初步形成了碳酸盐岩地震勘探配套技术。

### 2.2.1 复杂地表区碳酸盐岩高精度三维地震采集技术

包括潜水面以下优选岩性激发技术、基于波动方程模拟的观测系统设计技术、高密度三维采集技术、宽方位三维采集技术、复杂地表静校正技术。在塔中整体部署实施三维地震4 533 km<sup>2</sup>。在四川LG地区针对礁滩部署地震2 600 km<sup>2</sup>,面元25 m×25 m,覆盖次数为70次,开创了我国丘陵山地一次部署三维面积最大的先例,为两个地区天然气储量的进一步落实以及产能建设提供了资料基础。

### 2.2.2 碳酸盐岩储层地震处理关键技术

主要有相对振幅保持处理技术、叠前四维去噪技术、层间多次波压制技术、各向异性介质叠前时间偏移技术、方位各向异性处理技术以及叠前深度偏移成像技术。通过这些针对性的处理技术,在塔中取得了明显的效果。如图5所示,经对塔中地区某剖面叠后时间偏移与叠前时间偏移效果进行对比,可明显看出叠前时间剖面上信息更加丰富,波阻特征清晰,碳酸盐岩溶洞在地震剖面上表现的串珠状反射更加清晰。

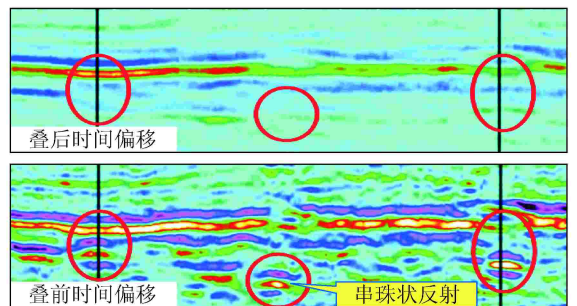


图5 叠前时间偏移与叠后时间偏移剖面对比图

### 2.2.3 形成了非均质碳酸盐岩地震解释及储层预测配套技术

碳酸盐岩储集层包括生物礁、颗粒滩、岩溶风化壳以及白云岩储层。地震技术的进步为岩溶风化壳以及礁滩相储层天然气勘探提供了技术支持。

通过采取针对性的地震采集处理技术以及精细的构造解释技术,可以在剖面上识别出落水洞、侵蚀沟、地下暗河等(图6)。通过三维可视化以及子体检测等技术,形象直观地展示了地下构造与特殊地质

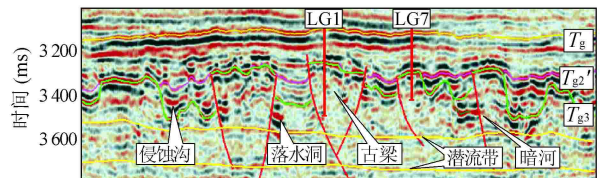


图6 精细的三维地震资料解释图

体的宏观展布特征(图 7)。对四川乐山—龙女寺地区进行子体追踪结合可视化技术,可以清晰刻画地下暗河的存在;以古地貌恢复技术与构造趋势面法相结合可以清晰刻画低幅度台缘礁的空间展布形态;地震相识别技术、地震相—沉积相转换技术为主要内容的区带评价、地震相和沉积相的综合描述技术系列,在碳酸盐岩礁滩储层预测中得到充分应用;以相控反演、逆断层反演技术为主要内容的定量预测技术客观地反映了储层的定量分布, LG 地区优质滩储层发育区与钻探结果吻合。

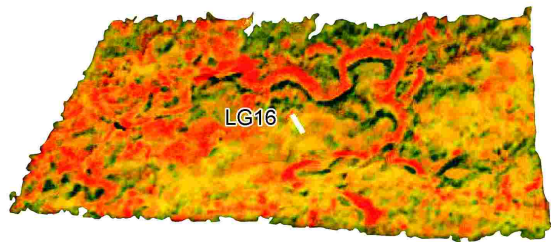


图 7 地下暗河的空间展布形态图

### 2.3 火山岩气藏物探技术现状与需求

以松辽盆地深层、准噶尔盆地石炭系为代表的火山岩天然气勘探正在蓬勃展开。松辽盆地深层已建成大气区。准噶尔盆地在陆东—五彩湾地区石炭系形成  $1\,000 \times 10^8 \text{ m}^3$  场面。另外,在中拐—五八区金龙 4 井区石炭系、车 91 井区石炭系、西泉 1 井区石炭系火山岩勘探也有突破,火山岩储层综合配套评价技术已经形成。

#### 2.3.1 地震采集、处理技术的进步,促进了火山岩天然气勘探

徐家围子断陷位于松辽盆地北部,是松辽盆地深层勘探的重点。2000 年以前,利用二维资料和少量的三维资料发现了一批小型气藏。2000 年以来,针对深层开展地震采集、处理技术攻关,形成了大偏移距、高覆盖次数的高信噪比三维地震勘探技术。通过优化设计,更新装备,兴城地区采集参数从 1998 年的记录道数 480 道、最大炮检距 3 800 m、覆盖次数 40 次,到 2002 年记录道数已达 1920 次、最大炮检距达 4 769.4 m、覆盖次数达 96 次,原始地震资料品质得到了明显的提高,目的层主频从 25 Hz 提高到 40 Hz(图 8),提高了成像精度,对落实徐中隆起带火山岩构造形态起到了关键作用。

徐深 1 井的突破,拉开了徐家围子断陷深层天然气勘探的序幕。截至 2006 年,徐家围子断陷深层火山岩勘探程度较高,基本实现了不同年度三维地震的覆盖,深层三维地震总面积达到  $4\,689.7 \text{ km}^2$ 。

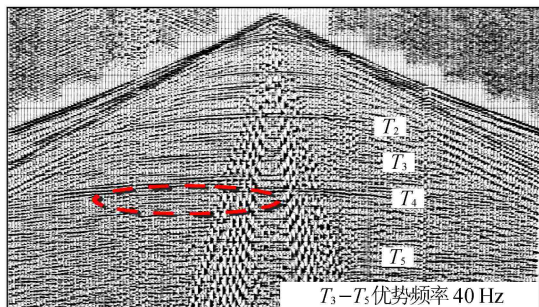
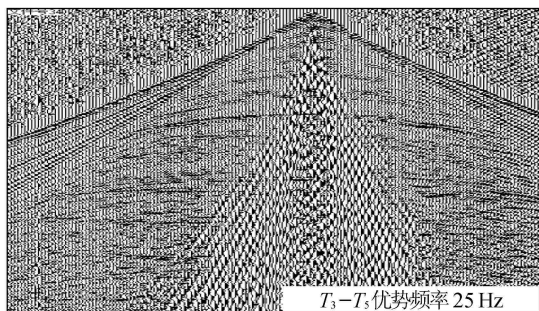
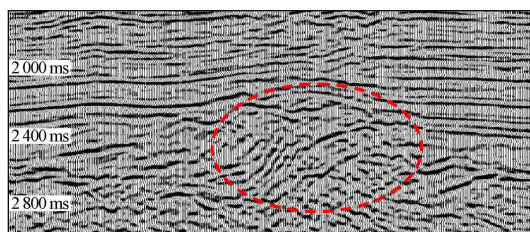
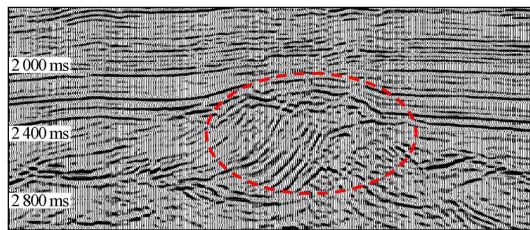


图 8 优化采集参数后原始单炮对比图

但不同年度采集、处理的地震资料品质有所差异,在拼接部位存在振幅、频率、相位、分辨率以致能量的差异。针对这种现状,2007 年对徐深气田深层 19 块三维  $5\,058 \text{ km}^2$  进行了大面积叠前时间偏移联片处理。叠前时间偏移较叠后时间偏移在深层断点、断面、火山岩体内幕刻画、陡倾角反射波的成像方面得到了明显的改善(图 9),为落实发现徐深气田第二个  $1\,000 \times 10^8 \text{ m}^3$  探明储量,扩大储量规模奠定了基础,徐深气田目前已建成我国陆上第五大气区。



(a) 叠后时间偏移剖面效果



(b) 叠前时间偏移剖面效果

图 9 叠后、叠前时间偏移剖面图

#### 2.3.2 重磁预测技术已经初步形成

重磁勘探是一种体积性勘探,重磁异常是由地

表到地球内部深处各个相应场源的综合叠加效应。各沉积盖层密度界面,内部构造,基底起伏和莫霍面起伏等都能使重力异常复杂化;浅部火山岩、侵入体,磁性不均匀体,含磁性沉积岩,磁性基底起伏和居里面等也会构成复杂磁异常的因素。因此需要针对不同的地质任务和研究目标以及解释需要对重磁数据进行变换处理,以便突出和分离不同场源的信息,重磁电区域、区带预测技术在松辽盆地以及准噶尔盆地得到了较好的应用。

### 2.3.3 火山岩目标预测技术已经形成

火山岩评价技术第二步主要针对火山岩目标进行预测,这一步主要是以地震资料为主。首先,对地震数据体进行大跨度的浏览找异常,扫描可能的火山岩体,锁定火山口的丘状目标和近火山口的层状目标,图 10-a 为相干时间切片,蓝色相干性较差的构造部位为火山口,由浅至深火山口逐渐增大。另外,通过对徐深 1 井区纵剖面的扫描,图 10-b 可以清晰地看出火山岩规模从南向北逐渐扩大。针对火山岩体的特点,可以锁定丘状及楔状目标以及其附近的层状或席状目标,识别可能的火山岩体,针对火山岩

目标,建立火山岩识别的地球物理标志,划分火山岩相。

### 2.3.4 叠后储层反演预测火山岩储层分布

利用地震属性分析技术对火山岩储层发育区进行定性预测;通过火山岩储层敏感参数反演技术,实现利用叠后资料进行火山岩储层的半定量评价,识别火山岩优质储层,划分储层类别。

### 2.3.5 火山岩叠前流体检测技术已经起步

火山岩气藏流体检测主要是由叠后流体检测技术和叠前流体检测技术组成。叠后流体检测技术是以叠后资料为基础的,火山岩含油气后,高频端衰减特别快,因此通过振幅、频率的衰减属性可以对火山岩流体进行预测。但由于多次覆盖的叠加造成了地震信息的损失,降低了叠后地震储层描述的准确性,因此,叠前储层预测技术是火山岩气藏流体检测技术的发展方向。

## 3 物探技术发展

为保障中国石油提出的“储量增长高峰期工程”和“天然气大发展工程”顺利实施,需要认真分析物探技术发展与应用中存在问题,确定发展方向,梳理发展思路。纵观近年来中国石油物探技术发展,业务驱动是主导,高投入、快节奏是主要特点,业务链向开发延伸,由定性向量化描述是地球物理技术发展的趋势。

### 3.1 把握物探技术的发展方向

高精度三维地震勘探技术是储量高峰期工程中的主导技术之一,在现有基础上,进一步完善地震采集装备,优化激发接收参数和观测系统是强化源头的重要措施。高密度三维地震技术也是国外物探技术发展趋势。

1)结合我国各类复杂地表及地下地震地质条件,开展旨在提高信噪比、分辨率的叠前成像处理技术攻关,发展各向异性、逆时偏移、真地表叠前波动方程偏移等技术。针对各类复杂对象,开展多信息综合预测,最大限度提高目标描述精度,降低勘探风险。

2)随着勘探程度的提高,要发展面向开发和开采阶段的油气藏物探技术,针对评价单元更小,精度要求更高,描述内容更具体,要采取面向油气藏的物探评价技术。

3)优先发展碎屑岩气藏检测技术,将国家重点基础研究发展计划(973 计划)项目形成的气藏衰减等 7 项技术工业化。强化地震岩石物理等基础研

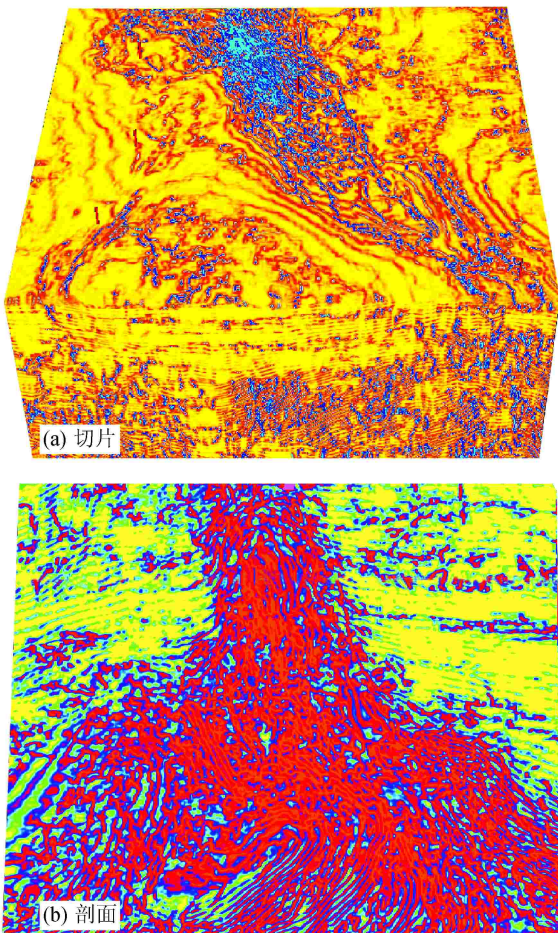


图 10 火山异常体在相干时间切片和纵剖面反映图

究,加快碳酸盐岩、火山岩气藏检测技术攻关。同时开展多波地震等前沿技术研究,为三大岩石领域天然气藏定量评价以及产能建设提供依据。

### 3.2 突出物探技术发展的针对性

对于火山岩气藏,由于构造背景、成藏条件差别大,如松辽盆地火山岩气藏以构造—岩性为主,准噶尔盆地火山岩气藏以岩性—地层为主,而冀东火山岩主要以岩性气藏为主,另外由于地下地质条件的差别,造成地震成像效果差别,最终导致火山岩识别技术发展有所不同。如松辽盆地深层火山岩勘探已经进入到叠前流体检测阶段,而准噶尔盆地火山岩勘探目前最有效的方法是加强成像效果,应用重磁电震与叠后储层预测以及地震相识别技术相结合,来识别火山岩气藏。

对于碳酸盐岩,积极发展高密度地震勘探技术、多波地震技术、复杂地区的表层结构调查技术、碳酸盐岩裸露区等重点地区的采集技术。研究基于起伏地表的三维波动方程叠前深度偏移方法,复杂构造速度场建模技术,提高成像质量。同时,加强随钻VSP、三维VSP地震采集与处理技术、多分量资料的综合解释技术、储层参数的高分辨率地震正反演技术,深化与地质的结合,实现碳酸盐岩从圈闭宏观评价到孔、洞、缝单元的微观评价。

## 4 结论

天然气作为一种洁净、高效的优质能源,得到世界各国的普遍重视,已成为世界三大支柱能源之一,在世界一次能源结构中的比例占25%左右。中国天然气工业起步较晚,天然气在一次能源消费中所占比例仅3%左右。因此,要深刻理解天然气勘探与开发对物探技术迫切的需求,充分认识现阶段物探技术发展形势,大力气、高投入、快节奏开发物探技术,是优化我国能源结构、实现经济可持续发展的重要措施和发展方向。

### 4.1 加强地球物理的应用基础研究

首先要加强天然气地球物理的应用基础研究,特别是岩石物理问题、天然气的地球物理响应和多波问题以及四维地震等问题的研究。

### 4.2 加强技术集成和重大现场试验

将现有成熟的共性技术梳理出来以及各个地区公司想要发展的特色技术总结出来,既有共性技术的研发,又有适合于各个不同地区的配套技术,形成配套技术和特色技术。同时,加强重大专项的现场实验工作,积极进行技术储备。

### 4.3 加强多学科的结合

天然气地球物理问题首先要加强与地质和测井的结合。这里所说的多学科结合,除了勘探阶段和地质以及测井的结合,天然气地球物理要向开发延伸,这就要与油藏工程师的结合,下一步要从多学科的交叉和多学科的结合进一步做工作。

### 4.4 重视对天然气未来潜在领域的技术储备研发

目前物探技术主要针对碎屑岩、碳酸盐岩和火山岩三大储集体进行天然气的勘探与开发。实际上有很多潜在的领域,如现在四川的白云岩问题等,有可能成为重要勘探领域,技术储备应该提前考虑<sup>[6]</sup>。

### 4.5 物探要向开发延伸,成为油气藏管理的重要工具

以高密度单点数字地震技术、多波多分量地震技术以及时移地震技术为代表的油气藏综合地球物理技术,能为油气田开发提供必要的技术支撑<sup>[7]</sup>。

## 参 考 文 献

- [1] 戴金星,秦胜飞,陶士振,等.中国天然气工业发展趋势和天然气地学理论重要进展[J].天然气地球科学,2005,16(2):127-142.
- [2] 宋岩,柳少波.中国天然气勘探思路的转变[J].天然气工业,2008,28(2):12-16.
- [3] 王喜双,曾忠,张研,等.中油股份公司物探技术现状及发展趋势[J].中国石油勘探,2006,8(3):35-49.
- [4] 袁士义,胡永乐,罗凯.天然气开发技术现状、挑战及对策[J].石油勘探与开发,2005,32(6):1-6.
- [5] 李庆忠,魏继东.高密度地震采集中组合效应对高频截至频率的影响[J].石油地球物理勘探,2007,42(4):363-369.
- [6] 宋岩,柳少波.中国大型气田形成的主要条件及潜在勘探领域[J].地学前缘,2008,25(2):109-119.
- [7] 王喜双,甘利灯,易维启,等.油藏地球物理技术进展[J].石油地球物理勘探,2006,41(5):606-613.

(收稿日期 2008-12-08 编辑 蒋骥 韩晓渝)