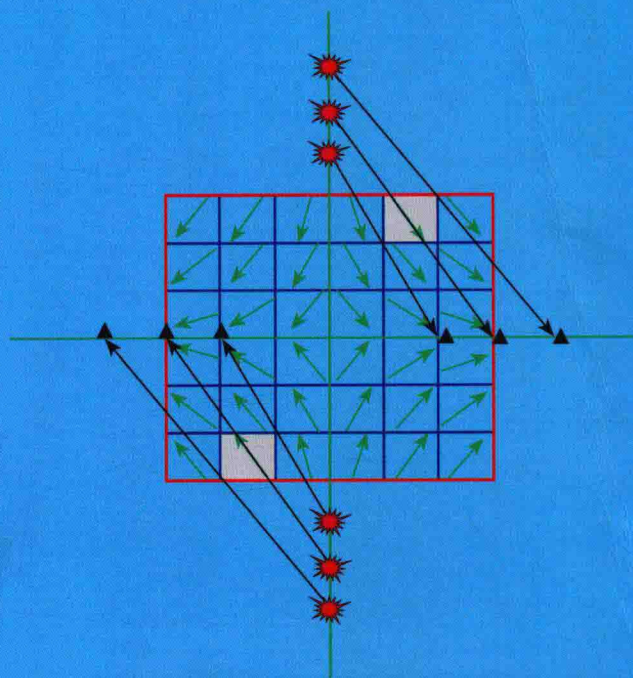


宽方位地震资料 OVT处理技术

段文胜 张 智 李 飞◎著



人民东方出版传媒
东方出版社

宽方位地震资料 OVT处理技术

段文胜 张 智 李 飞◎著



人民东方出版传媒

 东方出版社

图书在版编目 (CIP) 数据

宽方位地震资料 OVT 处理技术/段文胜, 张智, 李飞著.

—北京: 东方出版社, 2016

ISBN 978 - 7 - 5060 - 9012 - 4

I. ①宽… II. ①段… ②张… ③李… III. ①地震资料处理

IV. ①P315.63

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2016) 第 087500 号

宽方位地震资料 OVT 处理技术

(KUANFANGWEI DIZHEN ZILIAO OVT CHULI JISHU)

段文胜 张 智 李 飞 著

责任编辑: 梁 欣

出 版: 东方出版社

发 行: 人民东方出版传媒有限公司

地 址: 北京市东城区东四十条 113 号

邮政编码: 100007

印 刷: 虎彩印艺股份有限公司

版 次: 2016 年 12 月第 1 版

印 次: 2016 年 12 月北京第 1 次印刷

开 本: 710 毫米 × 1000 毫米 1/16

印 张: 12

字 数: 201 千字

书 号: ISBN 978 - 7 - 5060 - 9012 - 4

定 价: 56.00 元

发行电话: (010) 85924663 85924644 85924641

版权所有, 违者必究 本书观点并不代表本社立场

如有印装质量问题, 请拨打电话: (010) 85924736

序言

近些年来，由于勘探开发地质目标的复杂性以及地震勘探技术不断进步，宽方位（全方位）高密度三维地震勘探已经成为目前石油工业界研究的热点和发展方向。国内外许多高校、科研机构和油田生产单位都开展了宽方位地震资料的采集、处理技术的研究和应用工作。

随着宽方位地震资料处理技术迅猛发展，国外宽方位地震资料的处理技术研发趋于成熟并进入实质性应用阶段，主要包含炮检距向量片（Offset Vector Tile，简称 OVT）或共炮检距向量技术（Common Offset Vector，简称 COV）和全方位地下角度域成像技术两个技术体系。前者以斯伦贝谢公司、GeoTrace 公司和 CGG 公司为代表；后者是帕拉戴姆公司推出的 Earth-Study 360（简称 ES360）软件技术。国内相关科研院所学者相继在这方面也作了研究，并取得一些初步效果。但无论国内国外，目前见诸工业界的主要是宽方位处理技术应用方面的论文，缺少一部系统阐述宽方位处理技术的著作。

本书作者以对新技术特有的敏感和激情，潜心于 OVT 宽方位地震资料处理技术的研究，积三年之功，取得了很好的应用效果和成果，也发表了多篇 OVT 技术研究的论文，已在业界产生一定影响。其成果的最大特点是贴近生产、贴近现场、贴近应用，具有较高的实用价值。

这本专著较为系统地反映了宽方位地震资料处理 OVT 技术“产、学、研、用”的进展，凝聚了作者多年来的诸多智慧和心血，也是对作者近年来发表的 OVT 技术论文进行的系统总结。专著首先对国内外宽方位地震处理技术作了简短的综述；紧接着概述了 OVT 的基本原理和技术特点，并介

绍了陆上常用正交观测系统和斜交观测系统下 OVT 划分和抽取方法；然后从去噪、插值、多次波压制等常规地震处理过程中 OVT 技术的应用，延伸到 OVT 高精度地震成像和叠前裂缝预测的环节，构建了一套完整有序的宽方位地震资料处理 OVT 技术体系。相信这本专著的出版，对于利用 OVT 技术进行宽方位地震资料的处理，能够发挥有力的推动作用，为处理技术人员提供有益的参考和借鉴。

中国科学院地质与地球物理研究所研究员



2016.10.10

前言

数据规则化是克希霍夫叠前偏移的关键步骤，它试图将每个共炮检距分组改造成最小数据集，即单次覆盖的延展至全工区的数据体，以此获得假象最少的偏移结果。这一过程有时是很让人苦恼的，处理员常常面临艰难抉择：要么做所谓的全规则化，即每个共炮检距空间中的每个面元中仅有一道，且该道来自现有数据的插值；要么保留现有数据，只对空面元进行插值。全规则化抛弃掉所有现有数据的做法常常会引起对其保真性的质疑，谨慎的处理员宁愿选用后一方案，由此带来的后果是近远炮检距空间大量的空面元和中炮检距过多的重复道，以及由此导致的 CRP 道集的能量不均衡。这种不均衡尽管可用一些手段弥补，但远不能消除。

显然，用共炮检距分组来获得最小数据集并不是一个好的方案，对窄方位地震资料如此，对宽方位地震资料尤是。对宽方位地震资料而言，共炮检距分组更加不可能接近最小数据集，同一面元中存在比窄方位更多的重复道。

在寻找三维采集最小数据集表示过程中，前辈学者 Vermeer 和 Cary 做了非常出色的开创性工作。早在 1998 年，他们就几乎同时又各自独立地提出 OVT (Offset Vector Tile) 技术，只不过 Cary 将其命名为 COV (Common Offset Vector)。因为 OVT 道集具有相近的炮检距和方位角，有些学者也把 OVT 道集称为共炮检距共方位角道集 (Common Offset Common Azimuth Gathers)。然而工业界采用 OVT 技术的进程却很缓慢，可能的原因：一是缺少合适的地震数据，二是当时对于方位角信息的忽视。

随着高密度宽方位地震资料采集的兴起，OVT 技术的价值日益显现出

来,并获得了迅猛发展。时至今日,它已取代传统的分方位处理,成为宽方位地震资料处理的主流技术。

本书基于塔里木盆地多个实际工区地震数据,探讨了 OVT 技术在地震资料处理各个环节的应用,重点对 HQ 全方位三维区用 OVT 技术进行了比较全面深入的分析、解剖和应用,特别是 OVT 域的高精度成像和裂缝预测。作者认为,OVT 技术不仅能用于常规地震资料处理中的几乎所有步骤,更能在宽方位高密度地震资料中充分发挥优势,由此带来的处理思路和流程设计上的变化至少是革新性的。下面简要介绍每一章的主要内容。

第一章对国内外宽方位地震资料处理技术作了简短的综述。国内传统的宽方位地震资料处理技术集中在划分扇区的分方位处理,在成像精度和裂缝预测精度方面存在不足。总体而言,国际一流油气技术服务公司,如 Schlumberger 和 CGG 的 OVT 技术已经很成熟,而国内还处于初步应用阶段。

第二章简要回顾了 OVT 技术的发展史,概述了 OVT 的基本原理和技术特点。OVT 是衍生于十字排列的全新的数据处理域,具有延伸全工区的单次覆盖、偏移后保留方位角信息、良好的一致性等优点。指出了 OVT 的尺度取决于炮线距和检波线距。宽方位高密度地震采集观测使得 OVT 域处理技术更有应用价值,更能充分发挥优势。

第三章讨论了陆上常用正交观测系统和斜交观测系统下 OVT 划分和抽取方法,叙述了中心 OVT 的优化划分方法。理想的 OVT 应用需要有致密的线距和道距。针对野外采集线距过大的情况,本章提出了两种再细分方案以及内插炮检线的方案,解决 OVT 道集炮检距范围过大以及由此产生的潜在的采集脚印问题。

第四章主要分析了 OVT 道集与共炮检距道集的差别、OVT 域的叠前偏移与常规的共炮检距偏移的差别,提出了从改造算法入手提高 OVT 域叠前偏移效率的途径。结合实际数据说明,OVT 偏移可以有效改善由于覆盖次数不均匀与方位角不单一所造成的偏移噪音,有利于压制采集脚印。OVT 道集全工区单次覆盖的特性,为叠前体去噪等技术的应用,如 3D RNA 等,打下了一个天然的好底子。OVT 技术具有良好的多次波衰减能力。OVT 域

的插值是同一方位内的高精度插值，避免了传统方法对高频信号的可能伤害。

第五章首先讨论了多角度观察 OMG (OVT Migrated Gather) 道集问题，表明 OMG 道集在不同的方位有明显的差异，依据分选方式不同可产生“蜗牛”道集。OVT 域的高精度成像基于如何消除各个方位的差异，得到高精度成像的三种方法：RMO 校正法、剩余速度分析法、OVT 域多方位层析反演法。OVT 域多方位层析反演法表明：“蝴蝶”道集上明显的方位剩余时差并非方位各向异性的反映，而主要是上覆地层速度模型精度不足所致。

第六章介绍 OVT 域的叠前裂缝预测。OVT 域的叠前裂缝预测利用 OMG 道集在各个方位的差异，从中提取出有用信息并直接展示为反映储层裂缝方向分布和裂缝密度分布的成果图件。本章简要回顾了叠前裂缝预测技术基础，并讨论了三种 OVT 域叠前裂缝预测方法：沿层时差法、剩余速度分析法、基于振幅的裂缝预测法，证实 OVT 技术可以提供足够的信息来确定各向异性和断裂性能，而不必花昂贵的费用采集和处理横波地震资料。

第七章结合塔里木盆地 MS 工区实际地震资料，介绍 OVT 技术在复杂碳酸盐岩地震处理中压制采集脚印的效果。

第八章对全书内容进行了总结，并提出技术发展建议。

本书第一、五、七、八章由段文胜博士撰写；第二、六章由张智教授撰写；第三、四章由李飞博士撰写。本书在成稿过程中得到了桂林理工大学和中石油塔里木油田公司的大力支持和帮助，同时，还得到了国家自然科学基金项目 (40804017、41274070、41574078)、科技部 973 项目“地幔柱活动区壳幔精细及深部制约”、广西自然科学基金项目 (2013GXNSFAA019271、2015GXNSFAA139238)、“广西壮族自治区地质资源与地质工程八桂学者 (2013)”、“桂林市漓江学者 (2013)”、“地质资源与地质工程广西优势特色重点学科、广西隐伏金属矿产勘查重点实验室、广西有色金属隐伏矿床勘查及材料开发协同创新中心”等学科平台和项目的联合资助，作者才有机会将 OVT 技术的研究成果总结出版，在此一并表示感谢；特别感谢中国科学院地质与地球物理研究所刘洪研究员的热

情关心和指导，并提出的宝贵修改意见；感谢康宁女士、王海燕女士对本书的图件编辑工作的辛勤付出；感谢作者的领导、同事及同学在本书撰写中给予的大力支持和帮助；感谢本书中所引文献和资料的相关业界公司和同行研究者，他们的前期成果使得本书内容更丰富、资料更翔实。

若本书中的一些技术、思路和方法能引起读者的共鸣，能对读者有所裨益，那对作者将是一个很大的满足。书稿中可能存在的错误和疏漏之处，还请读者不吝指正。

目录

第一章 宽方位地震处理技术概述	1
第一节 宽方位地震资料处理的目的是意义	1
第二节 国内外研究历史和现状	3
第二章 OVT 技术的理论基础	8
第一节 OVT 技术的基本原理	8
第二节 OVT 技术的特点	12
第三章 不同观测系统 OVT 道集的抽取	20
第一节 正交观测系统	20
第二节 斜交观测系统	23
第三节 已生成 OVT 道集的再细分	25
第四章 OVT 技术在常规处理中的应用	33
第一节 OVT 域叠前偏移	33
第二节 压制多次波	39
第三节 去噪、插值和数据规则化	45
第四节 压制采集脚印	62
第五节 OVT 域连片处理	67

第五章 OVT 域的高精度成像 74

 第一节 五只眼睛看 OMG 道集 74

 第二节 RMO 校正法 77

 第三节 剩余速度分析法 80

 第四节 OVT 域多方位层析反演法 84

第六章 OVT 域的叠前裂缝预测 108

 第一节 叠前裂缝预测技术基础 108

 第二节 沿层时差法 111

 第三节 剩余速度分析法 125

 第四节 基于振幅的裂缝预测 128

第七章 应用实例 135

第八章 OVT 技术总结及发展趋势 147

附录 150

参考文献 152

第一章

宽方位地震处理技术概述

第一节 宽方位地震资料处理的目的和意义

宽方位（全方位）高密度三维地震勘探是目前工业界研究的热点和发展方向。国内许多油田和科研机构都开展了宽方位地震资料的采集、处理技术研究。塔里木油田在这方面也进行了积极的探索和攻关。2010 年塔里木油田率先在塔北地区采集了第一块全方位高密度三维地震资料——HQ 三维，纵横比达到 1，主要目的是进一步提高碳酸盐岩缝洞体成像和裂缝预测精度。围绕这一块三维地震资料的处理和裂缝预测投入了很大力量，也取得了非常好的效果，不仅碳酸盐岩缝洞体成像精度有进一步的提高，而且裂缝预测精度也较以往窄方位地震资料有根本性的改善，有力地支撑了勘探的重大突破。

受这一技术极大鼓舞，2011 年又在库车复杂山地区 DB 构造带实施了第一块山地区宽方位地震采集，纵横比达到 0.8。2011 年年底至 2012 年，先后又实施了五块宽方位采集，总面积达到 1500km^2 。未来还将在一些重点区块大面积铺开，宽方位地震资料采集处理已成为油田的重中之重。如果按照有些学者的观点：“纵横比达到 0.8 就可称为全方位”，那么这六块资料中有五块是全方位，这样就直接产生了对于宽方位地震资料处理技术的迫切需求。目前，通过对这些宽方位地震资料的采集处理攻关，初步形成宽方位地震勘探技术系列，形成宽方位三维地震采集配套技术，创新全方位处理技术，实现了叠前裂缝预测，完成了对裂缝方向和裂缝密度的预测。

图 1-1 展示了通过技术攻关形成的、目前国内主流的宽方位地震资料处理方案。这一方案基于方位角信息将地震数据划分到不同扇区，每个扇区独立作速度分析和叠前深度偏移，得到不同方位的成像结果。再根据不同方位的成像在振幅、频率等方面的差异，用椭圆拟合法得到裂缝预测的成果。这一技术方案实现了叠前裂缝预测，其结果通常有较高的可信度，在一定程度上消除了宽方位观测带来的方位各向异性问题，但从整体来看仍存在一些明显不足，主要有三个方面：其一，整体上仍是沿用针对窄方位地震资料的处理技术思路来应对宽方位地震资料，对宽方位地震资料处理应有的技术特点没有进行充分的研究和挖掘，也未形成真正意义上的宽方位地震资料处理技术流程；其二，现行技术方案实际上是一种串联解决思路。首先用 VTI 各向异性叠前偏移得到最终成果数据体，解决层状各向异性问题，然后用分方位处理进行裂缝预测，来解决方位各向异性问题。这个方案能较好地进行裂缝预测，但有一个关键问题往往被忽略，那就是最终成果数据体上只解决层状各向异性问题而没有考虑到方位各向异性效应，不同方位角处理得到的数据体如何重构最优的成果数据体又是一个技术难点；其三，现行的叠前裂缝预测技术主要是根据振幅在不同方位的变化去研究，还没有考虑到速度或走时时差在各个方位的变化，这必然对最终裂缝预测结果产生一定影响。因此，如何得到消除方位各向异性效应的高精度地震成果数据体、如何进一步提高裂缝预测的精度、如何充分挖

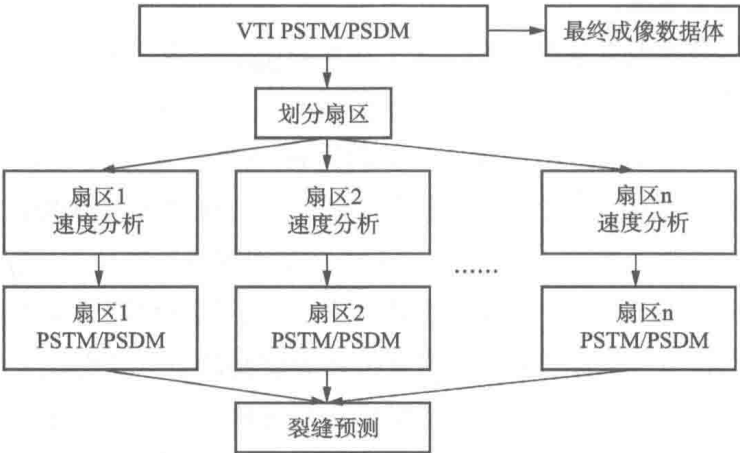


图 1-1 目前国内主流的宽方位地震资料处理方案

掘宽方位地震资料的处理潜力,实现真正的宽方位地震处理,是非常现实而且非常有必要的,也具有极高的研究价值。

第二节 国内外研究历史和现状

通常宽、窄方位角观测系统的定义是:当横(排列宽度)纵(排列长度)比大于0.5时,为宽方位角采集观测系统;当横纵比小于0.5时,为窄方位角采集观测系统。纵观技术发展史,对宽方位地震资料的认识一直在争论中前行。1994年,Lansley通过分析宽方位角与窄方位角各自的优缺点,认为:“窄方位角排列片较有利于AVO分析、DMO和速度横向变化显著的情况;而宽方位勘探则较有利于速度分析、多次波衰减及静校正求解,并且对地下采样的方向较均匀。”李庆忠院士(2001)对其中的观点进行了非常有深度有价值的讨论。凌云研究小组(2003)比较了中国西部宽、窄方位角三维地震在振幅成像、相干数据体和相位的差异后,认为宽方位角地震勘探在岩性和方向性裂缝勘探领域具有广阔的应用前景。胡自多等(2005)讨论了宽方位地震资料的倾角方位角旅行时间校正、视各向异性动校正、三维叠后时间偏移等问题。凌云(2005)连续发表文章,分析和评价了岩性圈闭、断裂带宽/窄方位角勘探实例。结论表明,在相同面元大小、相同覆盖次数和具有一定信噪比条件下,宽方位角采集的最终空间成像分辨率要明显优于窄方位角采集结果;宽方位角观测可以获得各个方向小断层的成像,可以有效地提供断裂带及其相关的裂缝性储层部位,宽方位角观测加上三维叠前深度偏移可以获得更好的断裂带成像。张军华(2007)综合国内外的研究成果,认为关于宽方位角采集基本上已形成共识:(1)宽方位角采集进行全方位观测,可增加采集照明度,获得较完整的地震波场;(2)宽方位角采集可研究振幅随炮检距和方位角的变化(AVOA)、地层速度随方位角的变化(VVA),增强了识别断层、裂隙和地层岩性变化的能力;(3)炮检对的三维叠前成像轨迹是椭球,宽方位角具有更高的陡倾角成像能力和较丰富的振幅成像信息;(4)宽方位角地震还有利于压制近地表散射干扰,提高地震资料信噪比、分辨率和保真度。

但宽方位采集毕竟成本较高,并不是每一个地方都适合,真正需要做宽方位角采集的是地质前景好、裂缝发育比较强或岩性变化比较大的地区。张保庆等(2011)精细研究了分方位处理技术:应用分方位道集技术形成合理的方位道集;应用分方位速度分析技术精确求取叠加速度;应用与倾角方位角相关的旅行时校正技术进行倾角、方位角的旅行时校正;应用分方位各向异性偏移技术消除不同方位的各向异性影响。邵锐等(2011)利用叠前地震资料分方位提取地震属性,对方位地震属性值进行椭圆拟合,利用椭圆扁率来表征各向异性的大小,并基于此来识别火山结构。王乃建等(2012)总结了塔里木油田复杂山地和台盆区宽方位采集技术,认为宽方位三维、全方位三维及拟全三维地震勘探技术攻关,打开了塔里木盆地复杂油气藏勘探的新局面。

现今陆上宽方位地震资料的基本特点是高覆盖次数、更小的面元、更好的照明、在各方位均匀充分的采集,这为处理过程中做好多次波衰减、高精度成像、多方位速度建模、叠前裂缝预测、AVO/AVAZ 反演提供了坚实的原始资料。宽方位地震资料正如一份上好的食材,唯有用不落俗套的方法才能烹饪出美味的佳肴,才能发挥出最大的效能。目前国内外针对宽方位地震资料处理的技术都在发展中。国内的宽方位地震资料处理技术更多的是以往窄方位技术的自然扩展,尚无专门针对宽方位地震资料的处理技术,因而应对宽方位资料有些力不从心,存在前文所述的一些问题。而国外针对宽方位地震资料处理技术发展迅猛,已出现一些专门针对宽方位地震资料的处理技术且进入实质性应用阶段。代表性的技术有西方奇科和 GeoTrace 公司的 OVT 炮检距向量片技术、CGG 公司的 COV 技术和 Paradigm 推出的 EarthStudy 360(简称 ES360)技术。国内一些学者和科研机构也跟踪研究了这些技术,并取得一些初步成果。

一、国内宽方位地震处理技术现状

正如图 1-1 所示,国内宽方位地震资料处理方案主要集中在对较为传统的扇区法进行分方位处理,进而研究裂缝;而对于地震成像的处理和常规方法并无不同。该流程的核心思想是在常规成像处理完成后,将偏前数

据按炮检方位角划分到不同的扇区，典型的是六个扇区。每个扇区分别进行方位成像速度分析，完成叠前时间或叠前深度偏移。其基本原理在于方位各向异性导致不同方位地震波的传播速度产生差异，速度差异致使综合成像速度不能使所有方位的数据归位，因此要进行高精度的分方位成像速度分析，用各个方位自身的最佳偏移速度去成像。具体做法是：首先进行全方位成像速度分析，经过迭代得到最佳的综合偏移速度场，以此为参考速度场进行分方位偏移速度分析，经过迭代得到各个方位的最佳偏移速度，实现各个方位的最佳成像。在每个成像点可以把分方位偏移后的数据按方位排列起来，进一步研究地震属性（主要是动力学属性，如振幅或频率）随方位角的变化，从而得到裂缝的发育特征。如前所述，这一技术方案的不足之处在于，成果数据体上隐式含有方位各向异性问题，扇区法裂缝预测相对粗略等。而且，Lynn（2007）研究表明，分扇区处理更容易导致方位速度分析的不确定性，分扇区速度分析，即使是相对小的拾取误差也可以导致比较大的方位椭圆速度参数变化。

二、国外宽方位地震处理技术现状

目前国际上专门的宽方位地震资料处理的技术主要有两大类：一是OVT处理技术。代表性的公司有西方奇科和GeoTrace公司。CGG的COV技术实际上就是OVT技术，只是叫法不同。GeoTrace公司给出了一个用OVT技术实现叠前裂缝描述的技术流程（图1-2）。

OVT技术的核心是将偏前数据分选到一个全新的数据处理域——OVT域。OVT域道集是延伸至整个探区的单次覆盖的最小数据集，具有能保存方位角等诸多优点，从而带来处理思路和流程设计上的变化几乎是革命性的。在OVT域可以实现几乎所有的常规处理，而且输入的资料不限于宽方位地震数据，也可以是窄方位地震数据。关于这一技术的具体细节，后续章节会有更详细的描述，此处不再赘述。目前这一技术已较为成熟，有一些成功的实例，是国际上研究和应用最多的宽方位地震资料处理技术。但整体而言，尚未形成体系，只是一些模块的松散组合。然而正是这种相对松散的组合提供了一个开放式结构，使得普通研究者也可深入研究。事实

上，OVT 不仅是一种技术，还是一种思想。以现有的技术为基础，经过重组创新再创造，就可实现这一思想。

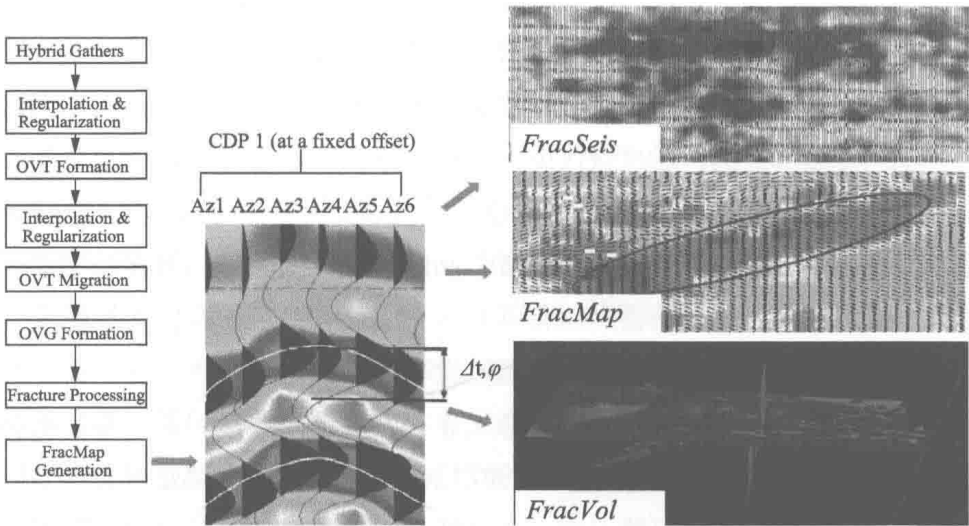


图 1-2 GeoTrace 公司 OVT 裂缝预测流程

二是 Paradigm 公司推出的 ES360 技术。它是一种真振幅共反射角叠前深度偏移技术，在角度域实现的克希霍夫全方位成像。该方法通过角度域偏移公式，对于地下每个点，建立局部角度域坐标系，把地表采集到的地震数据映射成地下的四维局部角度域空间，通过射线追踪，进行全方位下的角度域分解和最终成像，同时得到不同方位角、倾角、入射角的地震成果数据，来进一步研究地层各向异性属性。整个技术自成体系，高度集成，主要用于宽方位地震资料的高精度成像和裂缝预测。

相比而言，OVT 处理技术的应用范围更广一些。它不仅可用于改善宽方位资料成像精度和裂缝预测精度，还能在偏移前许多关键处理步骤发挥作用，如高精度插值、去噪和数据规则化等。目前国际上发表的相关文章主要集中在 OVT 技术的探讨。

本书借鉴国外 OVT 技术最新研究成果，结合塔里木盆地一些宽方位地震资料实例，从不同观测系统 OVT 道集的抽取技术入手，较为全面地研究了 OVT 技术在各个地震资料处理环节的应用，重点研究了 OVT 域的高精度成像和裂缝预测，并介绍了具体实例的应用效果。主要包括以下几个方面：