

胜利油气地球物理技术论文集

(2003-2004)

韩文功 主编

石油工业出版社

胜利油气地球物理技术论文集

(2003—2004)

韩文功 主编

石油工业出版社

内 容 提 要

本文集共收录了 61 篇论文,分资料处理、资料解释、综合研究、信息技术 4 部分。文集反映了胜利油田物探研究院 2003—2004 年的主要研究成果。

文集对从事油气地球物理工作的科研与生产人员,以及相关院校师生有一定的参考价值。

图书在版编目 (CIP) 数据

胜利油气地球物理技术论文集 (2003—2004) / 韩文功主编.
北京:石油工业出版社,2004.11
ISBN 7-5021-4845-0

I. 胜…

II. 韩…

III. 油气勘探:地球物理勘探-文集

IV. P618.130.8-53

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2004) 第 116580 号

胜利油气地球物理技术论文集

韩文功 主编

出版发行:石油工业出版社

(北京安定门外安华里 2 区 1 号 100011)

网 址:www.petropub.com.cn

总 机:(010) 64262233 发行部:(010) 64210392

经 销:全国新华书店

印 刷:北京华正印刷厂印刷

2004 年 11 月第 1 版 2004 年 11 月第 1 次印刷

787×1092 毫米 开本:1/16 印张:25.25

字数:645 千字 印数:1—1000 册

定价:98.00 元

(如出现印装质量问题,我社发行部负责调换)

版权所有,翻印必究

《胜利油气地球物理技术论文集 (2003—2004)》

编 委 会

主 编：韩文功

副主编：徐观学 王延光 于建国 贺业林

委 员：(以下以姓氏笔画为序)

于建国	王延光	王兴谋	王志刚	王金铎	丛龙水
付瑾平	刘希林	张有芳	孟宪军	单联瑜	杨泽蓉
周 霞	贺业林	徐观学	夏吉庄	郭树祥	阎昭岷
韩文功	隋志强	谭明友			

前 言

在石油工业飞速发展的今天，我国各大油区的勘探领域和勘探对象均发生了很大变化，老区地下目标更隐蔽，新区地表条件更复杂，勘探难度不断加大。要使老区有新发现、新区有大突破，保持石油工业持续稳定发展，就必须注重勘探理论的发展与勘探技术的创新。不断提升地球物理科技人员的专业素质，努力探索更高精度的地球物理资料处理与解释方法，正是这种发展与创新的前提。

胜利物探研究院是胜利油田集地球物理资料处理、解释和计算机技术于一体的科研生产单位，是中国石化最大的地震资料处理解释中心。为适应油田发展的新形势，物探研究院注重理论与实践相结合、地球物理与地质理论相结合，积极探索资料处理与解释新方法，大力发展油田计算机应用新技术，并在这些方面取得了令人瞩目的成绩。本文集收录了物探研究院 2003—2004 年的重点研究成果，内容涉及地震资料处理与解释方法、探区分区块的综合研究成果、勘探数据库建设、油田各领域应用软件开发、网络与电子技术等方面。这些成果是胜利物探研究院当今研究水平的缩影，对从事油气地球物理研究的科研人员与石油院校相关专业师生有一定的参考价值。

在本文集出版之际，谨向全院科研人员和为本文集出版付出辛勤劳动的编辑人员致以敬意和谢意。

编者

目 录

资 料 处 理

复杂地质体高精度成像方法研究与应用

..... 徐兆涛 陈建平 胡中标 季玉新 杨淑卿 匡 斌 陈秀梅 王华忠 (3)
面炮技术与地表控制照明叠前深度偏移

..... 陈秀梅 王华忠 程玖兵 陈生昌 马在田 胡中标 (16)
叠前深度偏移剩余速度分析技术..... 杨淑卿 王华忠 程玖兵 马在田 (29)
多分量地震资料处理解释技术研究..... 石建新 王延光 毕丽飞 贾志新 (34)
井间地震成像初探..... 左建军 孔庆丰 何惺华 (40)
CGG 地震资料处理系统叠前时间偏移技术研究 刘立彬 (43)
串联偏移方法研究及其应用实例..... 刘继勇 (47)
胜利滩浅海三维地震资料处理技术与实践..... 孙志锋 徐 辉 (53)
准噶尔盆地中部区块的地震资料特殊处理..... 李海涛 孟宪军 (59)
准噶尔盆地中部区块高精度地震处理关键技术..... 李继光 尚新民 石林光 芮拥军 (64)
孤岛—富林地区三维地震资料连片处理技术..... 董 伟 (69)
郭局子三维资料处理及效果分析..... 孙志锋 孔青华 刘瑞合 (74)
渤深 6 地区深层高精度三维地震资料处理技术..... 张印堂 于海铖 赵志萍 (80)
车 20 三维地震资料处理方法及效果 高 丽 闫书东 (86)
四扣地区高精度三维叠前时间偏移处理技术..... 李守济 王 棟 王立歆 湛艳春 (90)
东营城区高精度三维地震资料处理中的子波匹配技术
..... 储 静 步长城 刘 云 王慧茹 (95)
CGG 系统的多次波去除技术研究 陈会芬 (98)
CGG 系统去除中强线性规则干扰技术研究 王 艳 (102)
GRISYS 在胜利探区中的应用 周 纳 (105)
叠前 AVA 同步反演技术研究 王玉梅 孟宪军 慎国强 陈松莉 (109)
宁海—王庄地区多井约束反演处理
..... 钮学民 王玉梅 李东波 陈松莉 周荣华 张 春 董月昌 (117)
静校正评述 杨淑卿 季玉新 沈财余 摘译 (122)

资 料 解 释

储层地震属性优化及属性体联合解释技术研究 于建国 季玉新 姜秀清 (143)
井间地震技术研究与应用 孔庆丰 左建军 魏国华 魏洪泉 孙卫国 姚忠瑞 (159)
井间地震资料分析及综合解释技术研究
..... 王秀玲 季玉新 谢雄举 刘玉珍 蔡海莉 陈 娟 李 静 (166)

构造正反演裂缝预测方法及应用实例

- 王秀玲 季玉新 刘玉珍 李 静 陈 娟 蔡海莉 (174)
- 利用综合地球物理资料进行油藏建模的新技术研究 杨宏伟 夏 建 (181)
- 准噶尔盆地隐蔽圈闭变速成图与描述方法研究 ... 王树华 马国华 李秀云 张 敏 (185)
- 微构造识别技术研究 王千军 路慎强 高 平 朱应科 张建芝 (190)
- 测井资料归一化方法 武玉宏 高红艳 刘青莲 于水文 刘志国 (194)
- 从地震资料中提取应力信息的动态流体法 张荣忠 郭良川 编译 (199)
- 地震各向异性理论对油气勘探的影响 张廷香 张荣忠 编译 (208)

综合研究成果

- 东营凹陷三维地震采集评述 沈财余 (219)
- 济阳坳陷古潜山勘探地震评价方法
- 王 军 韩文功 于建国 阎昭岷 苏朝光 巴素玉 田建华 季玉新 (227)
- 济阳坳陷中生代盆地演化及构造变形样式 邹东波 冯德永 张明振 魏红梅 (232)
- 四扣复式油气聚集区立体勘探技术研究
- 张营革 田建华 武凤霞 张 文 杨 梅 (237)
- 花沟地区 CO₂ 气藏勘探综合研究 杨玉龙 郭 栋 李红梅 (245)
- 东营凹陷南坡东段孔店组及潜山油藏综合研究
- 王 瑾 李丽君 王俊兰 夏 雷 高 平 (251)
- 东辛地区勘探成果及潜力分析 王千军 张建芝 邢 静 朱林红 孙兴刚 (256)
- 现河地区勘探成果及勘探方向 李丽君 王俊兰 王 瑾 高 平 (262)
- 滨南地区勘探成果及认识 徐 伟 (268)
- 孤东—垦东地区勘探成果及目标评价 吴笑荷 潘中华 张海英 刘秉建 (275)
- 埕岛地区勘探新成果及新认识 蔡 攀 徐 梅 刘 刚 石晓光 (280)
- 河口地区勘探成果及有利目标评价 汪彩云 高秋菊 (285)
- 车西地区勘探潜力分析及目标评价 罗 霞 牟 敏 孙淑英 王 楠 师 涛 (294)
- 夏口断裂带勘探现状及勘探潜力 林中凯 李国栋 曹美荣 姜 蕾 (299)
- 准噶尔盆地胜利探区勘探新成果及新认识 马国华 宋传春 李秀云 张 敏 (304)
- 油资源二次运移定量模拟与并行计算技术研究
- 左东华 韩玉笈 冯国祥 杨成顺 袁益让 (311)

信息技术应用

- 胜利地震数据库概述 彭 波 郑永波 李丽燕 邵 彬 (323)
- 地震剖面扫描与数字化软件集成 颜世磊 何兴曙 王修银 (329)
- KTGIS 2000 的应用推广 余学锋 隋国华 申龙斌 刘长治 曾维利 金伏东 (333)
- 胜利油田勘探数据中心及勘探辅助决策系统研究
- 郭 亚 梁党卫 周 霞 申龙斌 陈 浩 (339)
- 勘探成果计算机演示技术 付巧娟 郭卫红 (346)
- 微机双屏仿真终端在解释系统中的应用研究 杨澎湃 范永合 (352)
- 管理信息系统通用平台及中间件技术研究 陈 晖 于吉友 (356)

并行计算机进程管理及系统监控	孙世为 董 涛 (364)
COM+ 应用服务器的研究和应用	曾维利 (370)
GPRS/CDMA 公用无线数据通信在油田数据集中的应用	俎晓利 (375)
胜利油田天然气计量信息管理系统	张少石 (382)
Geomodel 软件的应用开发	江 洁 代 猛 郑建军 (388)
用 Java 2D 和 SVG 技术实现基于 Web 的井下管柱图设计	史纪强 (391)

资料处理

复杂地质体高精度成像方法研究与应用

徐兆涛 陈建平 胡中标 季玉新 杨淑卿
匡 斌 陈秀梅 王华忠

摘 要 本文论述了6项实用性技术的研究成果：三维共方位角波动方程深度偏移外推算子的优化；三维炮道集波动方程深度偏移外推算子优化及吸收边界处理；地震资料数据规则化处理方法；基于角道集的波动方程剩余速度分析方法；三维动态规划旅行时计算及合成炮技术与地表控制照明叠前深度偏移。在国内首次成功地将 STseis “神通” 深度成像软件系统移植到国产高性能计算机 “神威一号”，获得了理想的并行效率，为在 PC 机集群上推广应用打下了基础。并在国内首次用波动方程深度偏移技术完成了 130km² 的三维地震资料处理，取得了明显的效果，使波动方程深度偏移技术从理论走向了实践。

三维波动方程叠前深度偏移成像是目前石油勘探界竞争激烈，逐步由理论走向实用化的前沿性课题。地震波成像方法的发展过程中有几个里程碑事件：一是 Claerbout (1970, 1976) 所引入的、建立在单向波方程基础上的有限差分方法；二是 Fourier 偏移方法的提出与应用；三是 Kirchhoff 积分法。基于单向波方程的有限差分偏移方法最突出的优点在于它能适应速度场的任意变化，但它存在偏移角度限制，受差分频散影响，而且计算效率偏低。相反，Fourier 偏移法（如相移法）的计算效率较高，非常稳定，且能正确处理广角传播的地震能量，但它只能处理水平层状介质，不能适应速度场的横向变化。Kirchhoff 偏移实际上是一种绕射叠加偏移方法，计算效率高，不受采集条件限制，容易实现目标的成像，但它处理复杂构造或强变速情况的能力及保幅性较差。Kirchhoff 偏移凭借其简单、快速以及灵活的特点，十多年来被石油工业界广泛应用于地震波叠前偏移之中，在地质构造比较简单的地区取得了较大成功。但当前石油工业界勘探目标越来越复杂，而且对偏移方法的保幅性要求也越来越高，人们越来越重视对高精度的波动方程偏移方法的研究与应用。

有限差分法偏移是一种典型的波动方程偏移方法。自 20 世纪 70 年代初引入这一方法以来，已有很多人对它进行了各种改进。最重要的改进包括工业界广为应用的马在田院士的高阶分裂偏移方法和 Fourier 偏移方法（如 Gazdag 在 1978 年提出的相移偏移及后来改进的 Stolt 偏移）。通过利用快速 Fourier 变换 (FFT)，在 $f-k$ 域实现波场延拓与成像。这类方法在常速或水平层状介质中不存在偏移倾角限制，计算效率也非常高，但它不能处理速度场的横向变化。这就限制了该类偏移方法在复杂构造条件下的应用。针对以上偏移方法存在的问题，20 世纪 90 年代以来，出现了一类多域偏移方法。这些方法都是基于地震波散射理论和波动方程扰动解法发展形成的。把速度场或密度场分解为背景与扰动两部分，相应地，波场也分解为背景波场（入射波）和扰动波场（散射波）。在频率域中，利用 FFT 在空间域和波数域之间往返转换，在双域实现波场延拓过程。

以复杂地质体波动方程深度成像理论为基础进行了 6 项新技术研究：(1) 动态规划三维旅行时计算模块研究与开发（从严格意义上讲，是将国外的二维动态规划旅行时计算方法推

广到三维); (2) SSF 炮道集波动方程叠前深度偏移方法及应用研究; (3) SSF 共方位角道集波动方程叠前深度偏移方法及应用研究, 提出优化 SSF 偏移算子; (4) 基于 P 道集的波动方程剩余速度分析与速度—深度模型修改技术研究; (5) 地震数据规则化处理 (正向 DMO 采用 Kirchhoff 方法, 反向 DMO 使用 $f-k$ 方法, 并增加了去假频功能); (6) 合成炮技术与地表控制照明叠前深度偏移方法研究及应用。

1 地震数据规则化处理技术

常规的地震资料数字处理方法都是对沿直测线观测所得到的资料而言的, 但是, 对于陆上勘探, 在某些地表条件复杂的地区, 例如山区、喀斯特地区、黄土高原、森林和河网地区等, 不能沿直线进行观测, 这时就不得不沿用弯曲的测线。对于这样的观测数据, 必须做规则化, 然后再进行后续处理。

在 DMO 实现三维数据规则化和 Biondi 等提出的三维叠前地震数据方位角校正方法的基础上, 从方位角校正的角度入手, 通过 $-DMO$ 与 $+DMO$ 相结合的处理流程, 对不规则的地震采集数据进行规则化, 以消除由于测线弯曲而产生的方位角变化的影响, 并将叠前地震数据归位到其对应的反射点上。校正后可得到规则的新观测系统。

利用此规则化方法, 对埕北 30 区块海上地震观测数据的羽状现象进行了校正。实际资料的处理结果验证了该方法的可行性, 如图 1 所示。频谱显示规则化后的道集的频率分布主要为 $5\sim 70\text{Hz}$, 而且低频分量增强。

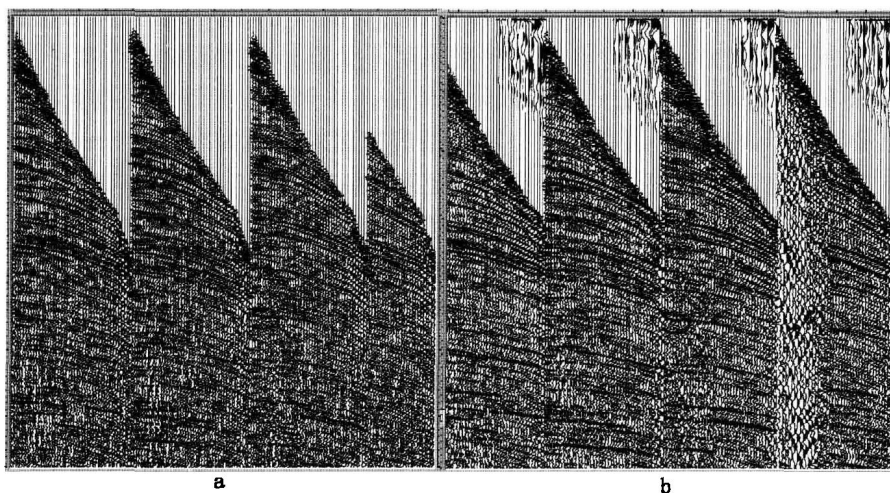


图 1 埕北 30 地区 673 线原始道集 (a) 和线规格化后道集 (b)

2 动态规划三维旅行时计算

Kirchhoff 积分法三维叠前深度偏移及层析成像的核心是复杂介质中的走时计算。走时算法的效率及精度决定了成像方法的应用范围及效果。当成像用的速度场十分复杂时, 需要有稳定的走时计算方法, 同时, 还需要走时计算方法有相当高的计算效率。目前, 大部分积分法三维叠前深度偏移仅利用初至波, 在速度场复杂时是不合适的。因为有时波前可数次通过

速度空间中的某一点, 初至波的走时与携带最大能量的波前到达时不一致。然而, 由于利用初至波走时积分法成像的计算效率高, 且大部分情况下成像效果尚可, 积分法三维叠前深度偏移在石油工业界得到了广泛的应用。

Jervis 等人曾把 Schneider 等人的方法推广到三维介质情况, 但他们的做法是把三维走时的计算化成局部二维的。即在计算每一当前计算点的走时时用二维情况下构造出的公式, 然后用二次曲面拟合逼近三维情况下的波传播情况, 这样做显然会引入误差, 尤其在速度变化剧烈的情况下更是如此。

从严格的意义上把 Schneider 等人的二维动态规划法地震波走时计算方法推广到三维, 完全保持了该方法稳定、精确的优点。我们没有显式地构造出源点到当前计算点及其附近点的平均慢度表达式, 而是直接写出源点到当前计算点的走时计算表达式。数值试验表明该方法可用于任意复杂三维介质中的地震波走时计算。埕北 30 探区的三维叠前深度偏移成像的成功进一步验证了该方法的正确性和有效性。

2.1 任意介质中有限差分法三维旅行时计算方法原理

假设已知 (x_1, y_1, z_c) 、 (x_2, y_1, z_c) 、 (x_1, y_2, z_c) 和 (x_2, y_2, z_c) 4 点的旅行时分别为 t_1 、 t_2 、 t_3 和 t_4 , 并认为波可能穿过由此 4 点构成的矩形小面元而到达 (x, y, z) 点。明显地, 应该在此小面元中找到一点 (x_0, y_0, z_0) , 穿过该点到达 (x, y, z) 的旅行时最小。由于上述 4 点相距很近, 因此, 可近似地写成最终牛顿法迭代公式

$$\begin{bmatrix} f(x_0, y_0) \\ g(x_0, y_0) \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \frac{\partial f}{\partial x_0} & \frac{\partial f}{\partial y_0} \\ \frac{\partial g}{\partial x_0} & \frac{\partial g}{\partial y_0} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \Delta x_0 \\ \Delta y_0 \end{bmatrix} \quad (1)$$

$$\begin{cases} x_0^{i+1} = x_0^i + \Delta x_0 \\ y_0^{i+1} = y_0^i + \Delta y_0 \end{cases} \quad (2)$$

如此给出 (x_0, y_0) 的初始值

$$\begin{cases} x_0 = \frac{x_1 + x_2}{2} \\ y_0 = \frac{y_1 + y_2}{2} \end{cases} \quad (3)$$

给出初始的 (x_0, y_0) 后, 迭代求解非线性方程组 (1), (x_0, y_0) 的修正用 (2) 式。用 (x_0, y_0) 的改变量、 $f(x_0, y_0)$ 和 $g(x_0, y_0)$ 的值及迭代次数 3 方面控制实际迭代次数和计算精度, 可得到令 (x, y, z) 处的旅行时最小的 (x_0, y_0) 。用 (2) 式最终求出 (x, y, z) 点的最小旅行时 t 。具体实现时, 须考虑全方位可能来的波。矩形网格剖分时, 应进行 24 次计算, 保留其中最小的一个作为当前计算点的旅行时。

2.2 数值结果

设计了几个三维理论模型, 对速度场没作任何限定, 因此, 速度模型的设计可以是任意的, 模型如图 2 所示。在低速场中包含一个高速块, 它位于低速场中心, 规模为 $40 \times 40 \times 40$ 。低速为 2000m/s, 高速为 3000m/s, 速度差异相当大。试验表明, 如果我们先用二维情况下的算法把源点所在层的旅行时算出, 则设计出的程序可适应任意复杂介质、任意震源位置情况下时的旅行时计算。

图 2 是该方法算出的旅行时场和射线追踪得到的旅行时场进行三维 Kirchhoff 积分偏移结果。显然, 该方法得到的旅行时场的成像断层更清晰, 同相轴连续性更好。对埕北 30 地

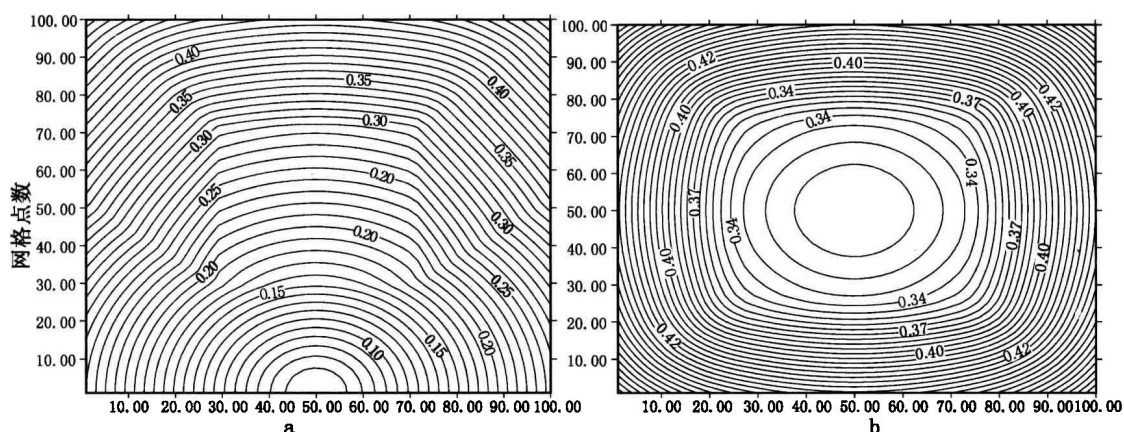


图2 第40条线的旅行时切片 (a) 和800m 深时的旅行时切片 (b)

区海上地震资料在神威高性能并行机上使用并行软件进行了试算。本并行软件设计了恢复点, 随时可启动和终止试算。把 Schneider 等人 (1992) 提出的用动态规划法计算二维任意复杂介质中旅行时的方法推广到三维。它的明显优势在于适应任意复杂三维介质旅行时场计算, 不需对速度场进行光滑处理, 可直接得到成像网格点上的旅行时 (复杂介质情况下三维叠前深度偏移正要求此特点的旅行时算法)。本方法的缺点是由于需考虑各种可能的波传播路径以保证计算满足因果律, 使得总体计算效率下降。不过, 它的计算量与有限差分法波场外推相比小得多, 因此, 用于复杂介质的叠前深度偏移或层析成像还是很有吸引力的。

3 单平方根方程叠前深度偏移理论

波动方程叠前深度偏移可用单平方根方程在单炮道集中进行, 也可用双平方根方程在多炮—多偏移距域中进行, 如共偏移距道集、共方位角道集、全方位角道集等。单炮道集是野外观测道集, 具有明确的物理意义。单炮道集波动方程叠前深度偏移具有最好的成像精度, 但是它计算效率较低, 而且其成像道集不适合于偏移速度分析。波动方程叠前深度偏移是一个典型的多道处理过程, 而且无论是有限差分法还是 Fourier 域法都要求空间及时间采样是均匀的。目前常用的波场外推算子有分步 Fourier 法、Fourier 有限差分法、广义屏法及空间频率域的有限差分法。本文主要论述分布 Fourier 偏移方法。

3.1 分步 Fourier 偏移方法

利用下面的波动方程来考察压缩波的传播

$$\nabla^2 P - u^2 \frac{\partial^2}{\partial t^2} P = 0 \quad (4)$$

式中, $P = P(x, y, z, t)$ 代表压力值; $u = u(x, y, z)$ 是介质慢度。将 (4) 式变换到频率域, 有相应的相移和时移方程

$$\tilde{P}_1(k_r, z_n, \Delta z, \omega) = \tilde{P}_-(k_r, z_n, \omega) e^{-i k_{z0} \Delta z} \quad (5)$$

$$\tilde{P}_-(r, z_{n+1}, \omega) = \tilde{P}(r, z_n, \Delta z, \omega) e^{-i \omega \Delta t(r, z) \Delta z} \quad (6)$$

据此可进行波动方程叠前深度偏移。

3.2 吸收边界条件问题

在单炮道集偏移过程中, 边界反射波的吸收很关键。否则, 边界反射波会污染成像结

果。边界条件的选择原则是在边界上或界区域仅让波向外传播,不发生反弹。在偏移成像中仅在边界线上设置边界条件就可以了。因此,我们仅讨论二维吸收边界条件及其差分方程。

右边界

$$i \frac{\omega}{v} \frac{\partial u}{\partial z} - c \frac{\partial^2 u}{\partial x \partial z} + a \left(\frac{\omega}{v} \right)^2 u + ib \frac{\omega}{v} \frac{\partial u}{\partial x} = 0 \quad (7a)$$

左边界

$$i \frac{\omega}{v} \frac{\partial u}{\partial z} + c \frac{\partial^2 u}{\partial x \partial z} + a \left(\frac{\omega}{v} \right)^2 u - ib \frac{\omega}{v} \frac{\partial u}{\partial x} = 0 \quad (7b)$$

类似地,可以导出上式对应的差分方程

右边界

$$u_{NX}^{n+1} = -\frac{[1+\alpha+i(\beta-\gamma)]}{[1-\alpha+i(\beta+\gamma)]} u_{NX-1}^{n+1} - \frac{[1-\alpha-i(\beta+\gamma)]}{[1-\alpha+i(\beta+\gamma)]} u_{NX-1}^n - \frac{[1-\alpha-i(\beta-\gamma)]}{[1-\alpha+i(\beta+\gamma)]} u_{NX}^n \quad (8a)$$

左边界

$$u_1^{n+1} = -\frac{[1+\alpha+i(\beta-\gamma)]}{[1-\alpha+i(\beta+\gamma)]} u_2^{n+1} - \frac{[1-\alpha-i(\beta+\gamma)]}{[1-\alpha+i(\beta+\gamma)]} u_2^n - \frac{[1-\alpha-i(\beta-\gamma)]}{[1-\alpha+i(\beta+\gamma)]} u_1^n \quad (8b)$$

应该指出,上式中的符号与所用的 Fourier 变换程序有关。另外, in-line 和 cross-line 方向的吸收边界条件是相同的。当然可以考虑更复杂的吸收边界条件。上述 4 种波长外推方法均可加上上面提出的吸收边界条件。

图 3a 是不加吸收边界条件脉冲响应试验,图 3b 是加二阶吸收边界条件的脉冲响应试验。可明显地看出加吸收边界条件的边界反射波被吸收的效果。而且二阶吸收边界要好于一阶吸收边界的吸收效果。

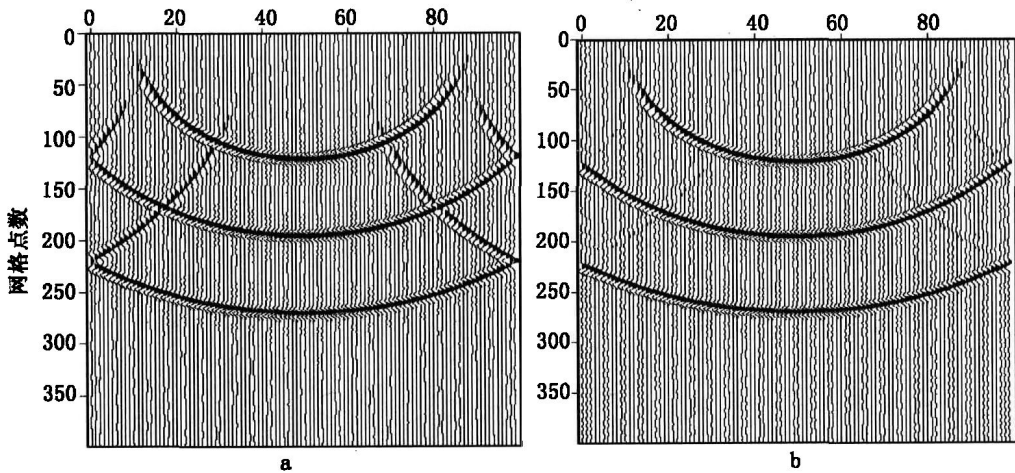


图 3 不加吸收边界条件 (a) 和加二阶吸收边界条件的脉冲响应试验 (b)

3.3 三维波动方程叠前深度偏移盐丘模型数据试算

波动方程三维叠前深度偏移程序的测试是在 SEG/EAGE 盐丘模型上进行的。该模型是另一个国际通用的测试复杂构造成像和速度模型建立方法的理论地质模型。该模型数据有 3

套，通常称为数据 A、数据 B 和数据 C。数据 C 共有两套：一套宽方位角的，共 25 束线；一套是窄方位角的，共 50 束线。

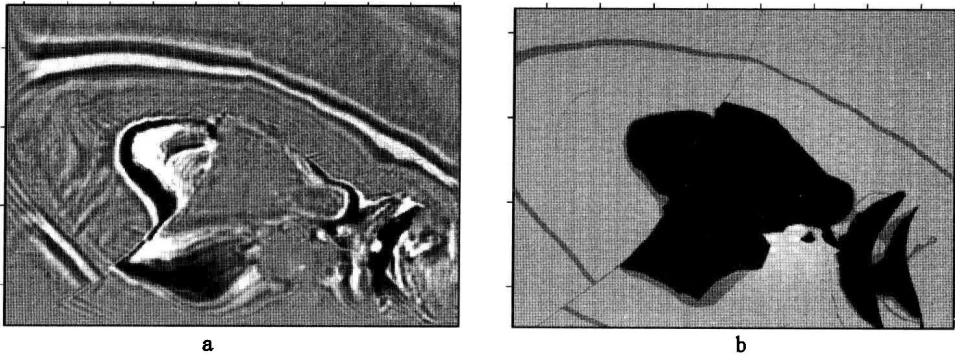


图 4 分步 Fourier 三维单炮道集 (a) 和 SEG 盐丘模型速度场叠前深度偏移结果 (1400m 水平切片) (b)

图 4 显示了 SEG/EAGE 盐丘模型数据和三维单炮道集叠前深度成像结果。图中可见，盐丘的轮廓和盐丘构造相当清楚，盐下断层及小平层不清楚。事实上，盐下构造不清楚并非完全是成像方法的问题，主要原因还是在观测方式上。这一点可由二维剖面的成像结果证实。说明由于盐体速度很高，观测到盐下构造反射的能量应该用较宽的孔径。前面说的数据 C 的观测方式显然不合适。由水平切片与盐丘模型速度场水平切片的比较可见，无论断层还是盐体边界都相当清楚。

3.4 实际地震数据处理

埕北 30 地区是陆地和浅海连片处理资料，地质构造整体为南西高、北东低的断山，断裂系统发育。测试目标改善埕北 30 区块古潜山内幕的成像精度和分辨率。归位准确，波组特征清楚，具有较高的信噪比，便于识别各套地层的反射形态；潜山内幕及断点反射清楚，逆掩断层清晰；程序计算效率高，应用灵活方便（图 5）。

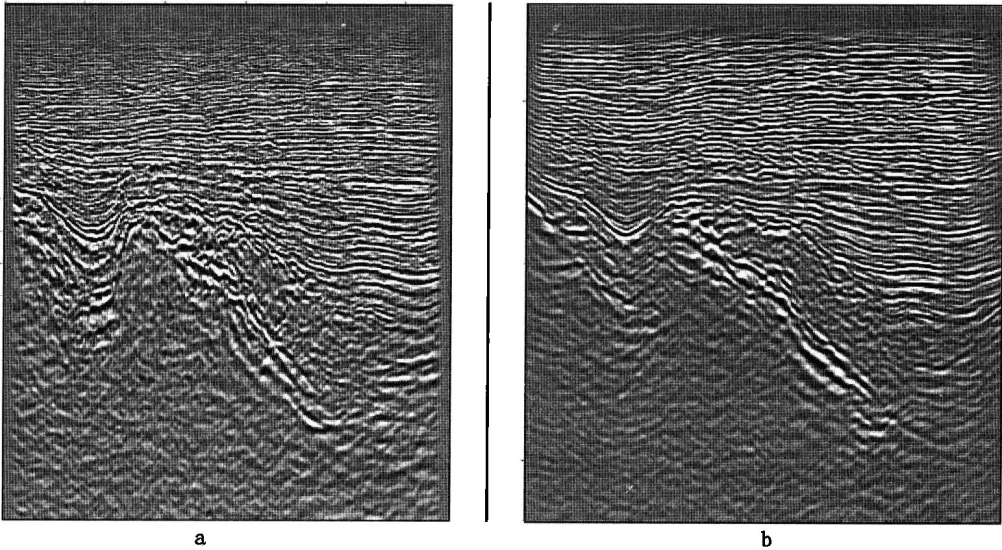


图 5 共方位角成像 (a) 与炮偏移成像 (b) 结果比较

4 双平方根方程叠前深度偏移

双平方根算子中点一炮检距域叠前深度偏移是把炮点和检波点同时向下外推, 无论对何种道集进行偏移, 每一个道集均基本覆盖整个成像范围, 因此, 不需考虑偏移孔径问题。完整意义上的双平方根算子中点一炮检距域叠前深度偏移是一个典型的五维问题, 每一个外推步骤都涉及三维测区的所有叠前数据, 计算量很大, 而且数据管理困难。另一个重要的原因是野外观测方式决定了 Cross-line 方向具有很小的偏移距, 采样也比较稀疏, 在 Cross-line 方向的偏移距计算会带来相当大的误差。为此, 利用稳相法可导出共方位角道集波动方程叠前深度偏移方法。共方位角道集叠前深度偏移适用于炮点与观测点在几乎同一条测线上的准三维观测方式, 海上的长偏移距拖缆数据经共方位角变换后也可较好地用该方法进行偏移成像。

4.1 基本原理

在横向变速情况下, 双平方根波场外推方程为

$$\frac{\partial P(t, \vec{X}_s, \vec{X}_g, z)}{\partial z} = \left\{ \left[\frac{1}{v^2(\vec{X}_s, z)} - \left(\frac{\partial t}{\partial \vec{X}_s} \right)^2 \right]^{\frac{1}{2}} + \left[\frac{1}{v^2(\vec{X}_g, z)} - \left(\frac{\partial t}{\partial \vec{X}_g} \right)^2 \right]^{\frac{1}{2}} \right\} \frac{\partial P(t, \vec{X}_s, \vec{X}_g, z)}{\partial t} \quad (9)$$

式中, $\vec{X}_s = (x_s, y_s)$, $\vec{X}_g = (x_g, y_g)$ 分别为炮点和检波点坐标。

外推及成像公式为

$$P(t=0, \vec{K}_m, \vec{H}=0, z+\Delta z) = \int d\omega \int d\vec{K}_h e^{iK_z(\omega, \vec{K}_m, \vec{K}_h)z} P(\omega, \vec{K}_m, \vec{K}_h, z) \quad (10)$$

$$P(\omega, \vec{K}_m, \vec{K}_h) = \int dt e^{i\omega t} \int d\vec{M} e^{-i\vec{K}_m \vec{M}} \int d\vec{H} e^{-i\vec{K}_h \vec{H}} P(t, \vec{M}, \vec{H}, z) \quad (11)$$

上述三维偏移是在五维空间中进行的, 它是三维全偏移, 使用所有的观测数据, 不对双平方根算子做近似处理, 但涉及的计算量巨大。为导出共偏移距道集三维偏移公式, 利用稳相法消掉了 k_{hx} 和 k_{hy} , 认为波的主要能量沿式定义的路线传播。共方位角道集三维偏移是一个四维问题。中点一偏移距域双平方根算子波场外推方程为

$$P(\omega, \vec{K}_m, \vec{K}_h; z+\Delta z) = P(\omega, \vec{K}_m, \vec{K}_h; z) e^{iK_z \Delta z} \quad (12)$$

利用稳相法消掉 k_{hy} 的影响, 为找到稳相点 $\vec{k}_{hy}$, 令 $\frac{dk_z}{dk_{hy}} = 0$, 重写上式为

$$\vec{k}_{hy} = -\vec{k}_{my} \gamma = -k_{my} \frac{\sqrt{1 - \frac{v^2}{\omega^2} \left(\frac{k_{mx} + k_{hx}}{2} \right)^2} \mp \sqrt{1 - \frac{v^2}{\omega^2} \left(\frac{k_{mx} - k_{hx}}{2} \right)^2}}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{\omega^2} \left(\frac{k_{mx} + k_{hx}}{2} \right)^2} \pm \sqrt{1 - \frac{v^2}{\omega^2} \left(\frac{k_{mx} - k_{hx}}{2} \right)^2}} \quad (13)$$

稳相点处的 $\vec{k}_z$ 为

$$\vec{k}_z = \frac{\omega}{v} \left\{ \sqrt{1 - \frac{v^2}{\omega^2} \left[\left(\frac{k_{mx} - k_{hx}}{2} \right)^2 + k_{my}^2 \left(\frac{1-\gamma}{2} \right)^2 \right]} + \sqrt{1 - \frac{v^2}{\omega^2} \left[\left(\frac{k_{mx} + k_{hx}}{2} \right)^2 + k_{my}^2 \left(\frac{1+\gamma}{2} \right)^2 \right]} \right\} \quad (14)$$

最终的共方位角道集波场外推公式为

$$P(\omega, \vec{K}_m, k_{hx}, z+\Delta z) = P(\omega, \vec{K}_m, k_{hx}, z) \frac{\sqrt{2\pi}}{\sqrt{\left| \frac{d^2 k_z \Delta z}{dk_{hy}^2} \right|}} e^{i \left(\vec{k}_z \Delta z + \frac{\pi}{4} \right)} \quad (15)$$