

实现最佳零炮检距地震照明成像

——CRS 叠加之几何阐述

杨 锴, 王华忠, 马在田

(同济大学教育部海洋地质重点实验室, 上海 200092)

摘要: 零炮检距剖面是地震反射成像过程中重要的中间成果, 常规处理中的共中心点(CMP)叠加的目的正在于此。当地层倾斜时, CMP 道集发生反射点弥散, CMP 叠加无法得到正确的零炮检距(ZO)剖面。在这种情形下, 只有实施 NMO/DMO 叠加或沿着共反射点(CRP)轨迹进行叠加才能达到偏移至零炮检距(MZO)的目的。根据共反射面元(CRS)叠加理论, CRS 叠加面是反射点附近一个邻域内 CRP 轨迹的集合, 所以沿 CRS 叠加面能得到最好的零炮检距剖面。以几何描述的方式, 在常速介质假设下通过图示定性描述 CRP 与 CRS 叠加之间, NMO/DMO 叠加、叠前深度偏移(PreSDM)与 CRS 叠加之间的区别与联系。

关键词: 偏移至零偏移距; CRP 轨迹; CRP 叠加; 共反射面元; CRS 叠加面; 空间-半偏移距-时间域

中图分类号: P631.4⁺25

文献标识码: A

To attain zero-offset imaging by the best seismic illumination:

A geometrical view of CRS stacking

Yang Kai, Wang Huazhong, Ma Zaitian

(Laboratory of Marine Geology under Ministry of Education, Tongji University, Shanghai 200092, China)

Abstract: Zero-offset(ZO) section, which is just the goal of CMP stacking in conventional processing, is an important intermediate result in seismic reflection imaging. We cannot get correct ZO sections if oblique layers are imaged. In this case, only by NMO/DMO stacking or stacking along common reflection point(CRP) trajectory can one attain correction ZO sections. According to theory of common-reflection-surface(CRS), CRS stacking surface is a set of CRP trajectories in the vicinity of a reflection point, stacking along CRS will therefore yield best ZO sections. In this paper we discuss the difference and relationship between CRP and CRS stacking, NMO/DMO stacking, as well as pre-stack depth migration(PreSDM) and CRS stacking in a geometrical viewpoint and on the hypothesis of constant velocity media.

Key words: migration to zero offset(MZO); CRP trajectory; CRP stacking; Common-reflection-surface(CRS); CRS stacking surface; Space-semi-offset-time domain($x-h-t$)

1 MZO 的含义

长期以来,“偏移”这个术语用于描述这样一个过程:即时间域反射信息被转换为对应地下反射层的过程。近来,偏移被推广到了从叠前数据得到零炮检距剖面,即所谓的“偏移至零炮检距”(MZO)的过程^[1~3]。与其他的偏移过程一样,它需要宏观速度模型。比如一组 MZO 校正后的带有噪音的共炮检距剖面经过相应叠加后,能得到噪音水平较低的 CRP 叠加剖面。其中,所有对零炮检距剖面上某一点有贡献的数据,都从叠前共炮检距道集沿着 CRP 轨迹进行了叠加,对于零炮检距剖面上的

所有点进行如此处理后,即能得到正确的零炮检距剖面。这就是 MZO 的物理含义。

2 CRP 轨迹与 CRP 叠加

借助图 1,让我们先来了解一下什么是 CRP

收稿日期: 2002-01-30; **改回日期:** 2002-04-05。

第一作者简介: 杨锴(1972-),男,1992年毕业于西南石油学院勘探地球物理专业,1999年获同济大学海洋地质固体地球物理硕士,现在同济大学海洋地质系攻读固体地球物理博士学位,研究方向为地震波的传播与成像。

基金项目: 国家自然科学基金项目(49894190);上海市重点学科资助项目。

轨迹。图的下半部分是一个盐丘模型,盐丘以上为常速,如果在该模型上方进行多次覆盖数据采集,就可以得到如该图上半部分所示的共炮检距(CO)时距曲线,每一条曲线对应一个炮检距的时距曲线,从外向里的顺序是从零炮检距到最大炮检距。所有的共炮检距时距曲线组成了这一段盐丘模型的共炮检距时距曲面。现在考察盐丘模型上某一个反射点 R , x_0 是从该点零炮检距出射到地表的位置, S 和 G 表示关于反射点 R 的某一个炮检距对, P_0 对应 R 点的零炮检距双程时间, P_h 对应 R 点的最大炮检距双程时间。连接 P_0 和 P_h 的这根粗黑曲线就是关于 R 点的共反射点(CRP)轨迹^[4,5]。

如果在 x_0 处用一个垂直平面切割共炮检距时距曲面,那么这个切面就是通常我们所分选出的关于 R 点的 CMP 道集。可以看出,在非水平层状介质情形下, CMP 道集与 CRP 道集并不重合,只有在水平层状介质情况下, CRP 道集才将退回到 CMP 道集。所以一般来说,仅从常规的叠加速度

分析并不能得到真正的零炮检距剖面,只有沿着 CRP 轨迹进行叠加,才能得到真正的零炮检距剖面。

以上讨论了在盐丘模型上某一点 R 对应的 CRP 轨迹在共炮检距时距曲面上的分布情形。现在我们就可以给 CRP 叠加下一个简单定义:所谓 CRP 叠加,就是沿着分布在叠前共炮检距时距曲面内的 CRP 轨迹叠加到零炮检距剖面上的 P_0 点,完成关于该点 R 的 MZO 成像。显然,完成 CRP 叠加的关键在于如何确定 CRP 轨迹,常速模型的情况相对比较容易确定,应用常规的 NMO/DMO 叠加就可以完成正确的 CRP 叠加。

3 NMO/DMO 叠加

NMO/DMO 叠加早已被认为是实现 MZO 的最常规方式。当表层速度为常速 v_0 时, CRP 叠加的确可以通过 NMO/DMO 叠加实现,如图 2 所示。在克希霍夫型 MZO 叠加中,对应于零炮检距剖面上的 P_0 处的反射被认为可能是来自地下潜在的一个半圆构造,这个半圆构造被称为是 P_0 点的“零炮检距等时面”,它是通过以 x_0 为圆心,以 $v_0 * t_0 / 2$ 为半径进行构造的, t_0 即 P_0 处读出时间值。将这个半圆构造反偏移回到空间-时间-半偏移距 ($x-h-t$) 域内,就得到了一个关于 P_0 的扇形 MZO 叠加面。从 CRP 轨迹的角度分析, MZO 叠加面实质上可认为是由许多条 CRP 轨迹组成,每条 CRP 轨迹对应这个半圆构造上的一点。在 $x-h-t$ 域内, MZO 叠加面与共炮检距时距曲面相切,相切处正对应于 R 点的 CRP 轨迹。

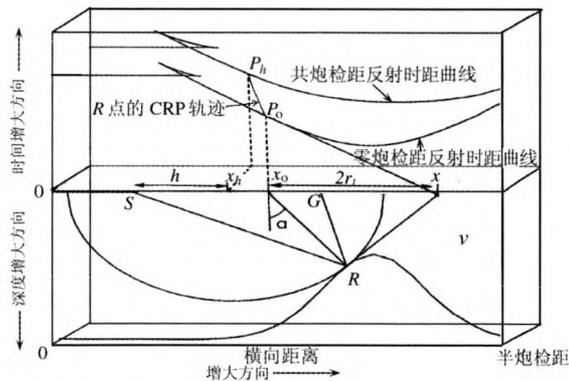


图1 盐丘模型上某一点 R 的共反射点轨迹示意图

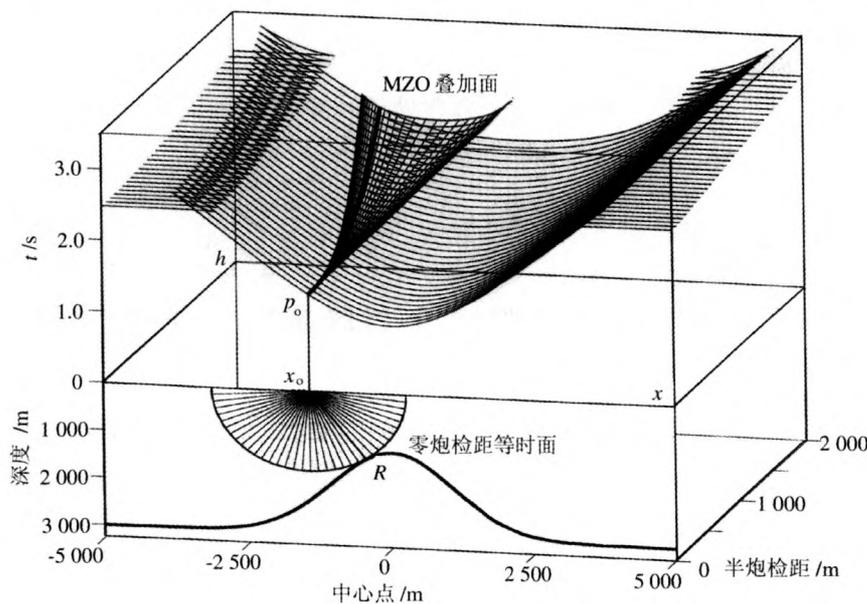


图2 常规 MZO 叠加原理示意图

下半空间:丘状模型,与 P_0 点对应的 ZO 等时线相交于 R 点;上半空间:CO 反射时间曲面(位置靠下的双曲面)与 P_0 点的 NMO/DMO 叠加曲面(扇形面)相切于点 R 的 CRP 轨迹(粗黑线)。

如果对 $x-t$ 平面内的每一点, 都沿着它的 MZO 叠加面进行叠加, 那么我们将合成一张所谓的 NMO/DMO 叠加剖面。从上述分析可知, 在常速介质下, 沿着 MZO 叠加面进行叠加能够得到正确的 CRP 叠加结果, 可以达到 MZO 的目的。图 3 即为该模型的 NMO/DMO 叠加剖面, 图 4 是基于图 3 的叠后深度偏移结果。

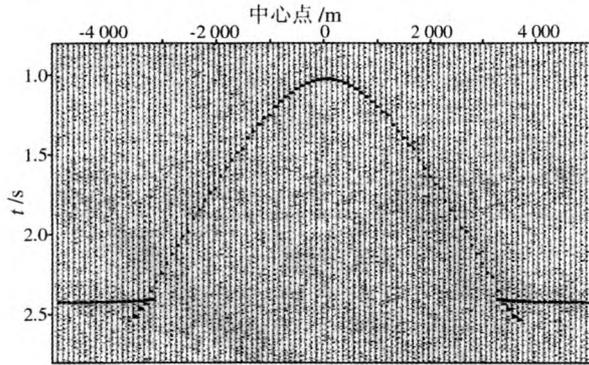


图 3 沿 NMO/DMO 叠加面叠加产生的零偏移距剖面

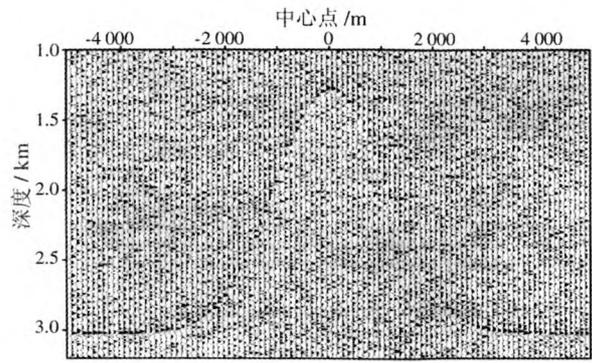


图 4 图 3 所示叠加剖面的叠后深度偏移结果

4 Kirchoff 积分法叠前深度偏移

Kirchoff 积分叠前深度偏移是实现绕射波的同相叠加, 即把来自点 R 的绕射波能量全部收集起来放到 R 点上。这一点与 NMO/DMO 叠加有很大的不同。如图 5 所示, 就是把 $x-h-t$ 空间中

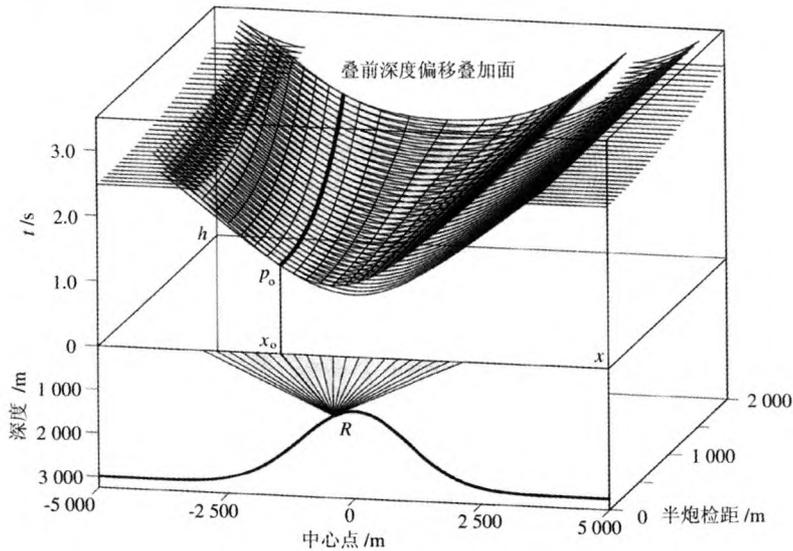


图 5 Kirchoff 积分法叠前深度偏移原理示意图

下半空间: 丘状反射界面上的反射点 R 与地震测线上的不同炮检对相连; 上半空间: CO 反射时间曲面(位置略下的双曲面)与散射点 R 的叠前深度偏移曲面(位置略靠上的铲形面)切于 CRP 轨迹(粗黑线)。

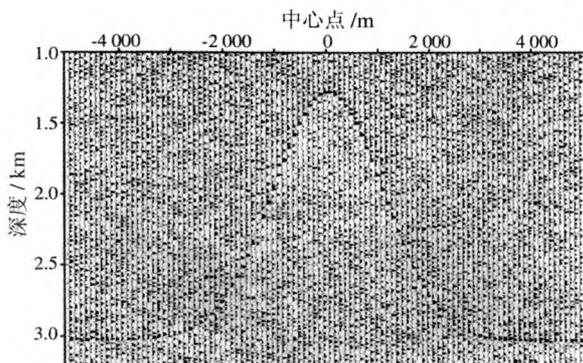


图 6 Kirchoff 积分法叠前深度偏移结果

所有的多次覆盖数据沿叠前深度偏移叠加面叠加起来。叠前深度偏移叠加面可以视为绕射点 R 的多次覆盖旅行时响应。Kirchoff 积分叠前深度偏移结果示于图 6 中。在 Kirchoff 积分叠前深度偏移中, 反射面由绕射点叠加得到。

5 CRS 叠加

引入共反射面元叠加的动机在于常规的 NMO/DMO 叠加和 Kirchoff 积分叠前深度偏移方法不能对地下反射界面产生最佳照明, 即不能充

分地利用多次覆盖的地震反射波信息。沿 NMO/DMO 叠加面的叠加产生的零偏移距剖面上的反射同相轴,就是不同地面点对应的零偏移距等时面的包络。如果我们考虑的不是一个反射点,而是一个反射弧段,又会有何情况发生呢?

在图 7 中,我们把一段圆弧形的反射界面放在点 R ,它与点 R 的反射界面相切,有着相同的曲率。因此,该圆弧形的反射界面是点 R 处一段反

射界面的二阶近似^[6]。点 R 处的该圆弧形的反射界面上的所有点对应的 CRP 轨迹在 $x-t-h$ 域中定义了一个 CRS 叠加面,它对应于零偏移距剖面上的 P_0 点。CRS 叠加面沿着点 R 处的 CRP 轨迹与共偏移距反射旅行时面相切。CRS 叠加面是点 R 处圆弧形的反射界面的多次覆盖旅行时响应。CRS 叠加结果示于图 8。同样可以想象到,地下反射面可以视为由放在反射点上的圆弧形反射面的

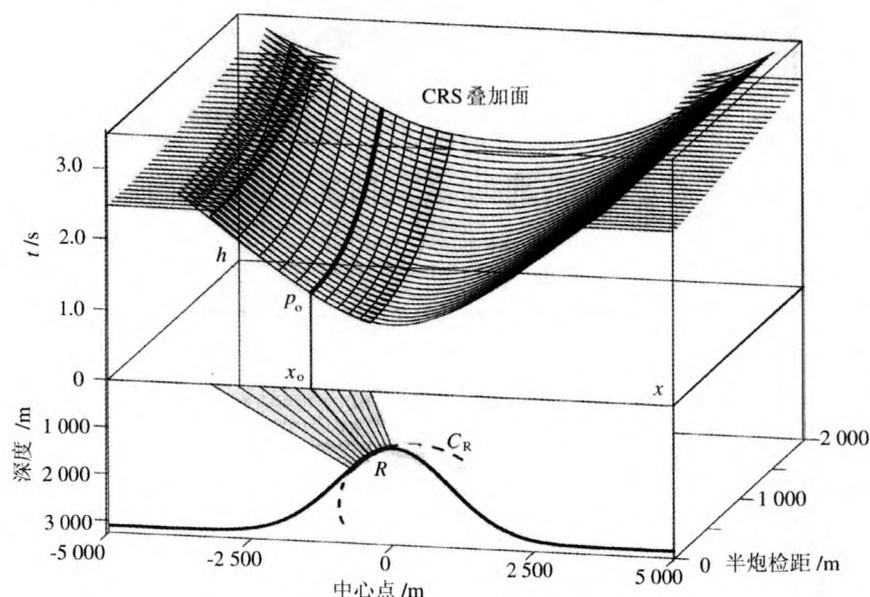


图 7 CRS 叠加原理示意图

下半空间:丘状模型,与 R 点处的 C_R 反射段上的正入射射线,反射段的方向由从 x_0 到 R 的射线方向确定;上半空间:CO 反射时间曲面(位置略靠上的双曲面)与 R 处的反射段的 CRS 叠加曲面(位置略下,可视为由许多平行于 CRP 轨迹的细线条组成)。两个曲面在反射点 R 的 CRP 轨迹(粗黑线)上重合。

包络形成,各反射点上的圆弧形反射面由其曲率半径决定。CRS 叠加形成的零偏移距剖面的 Kirchhoff 积分叠后深度偏移结果示于图 9。

在熟悉了上述提及的 CRP 轨迹与 CRS 叠加的几何意义之后,就可以应用共反射点轨迹来解释共反射面元^[7,8]。我们可以将这个弧段 C_r 视其为在 R 点处的一个“反射镜”,如图 7 所示。对应于这个关于 R 点的小弧段在 $x-t-h$ 域内所有的 CRP 轨迹的组合其实就是 CRS 叠加面,这个反射弧段的由 R 点处的倾角和反射点与反射弧段的曲率半径所定义。CRS 叠加面和前述的 MZO 叠加面一样,在 $x-t-h$ 域内也与共炮检距时距曲面相切,相切处正对应于 R 点的 CRP 轨迹。

假设对于任意局部形态的反射弧段,我们都能找到在 $x-t-h$ 域内关于该弧段的 CRS 旅行时响应,那么我们沿着这个 CRS 叠加面,就如同前面沿着 MZO 叠加面一样进行叠加,对每一个 P_0 点都照此办理,就可以得到一张通过 CRS 叠加得到的零炮检距面。实现 CRS 叠加的过程中最关键就是要得到正确的 CRS 叠加面,而 CRS 叠加面由这样三个参数确定:出射到地表 x_0 的出射角 α ,出射到

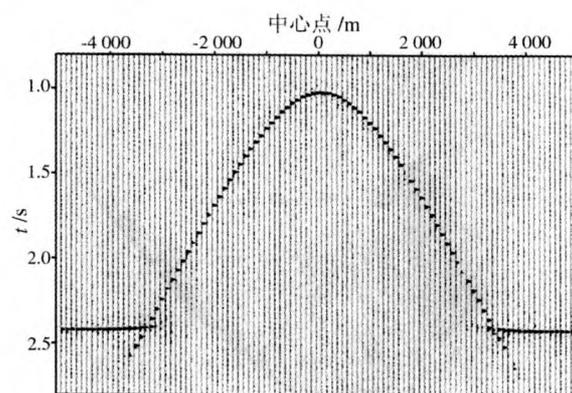


图 8 CRS 叠加的 ZO 剖面

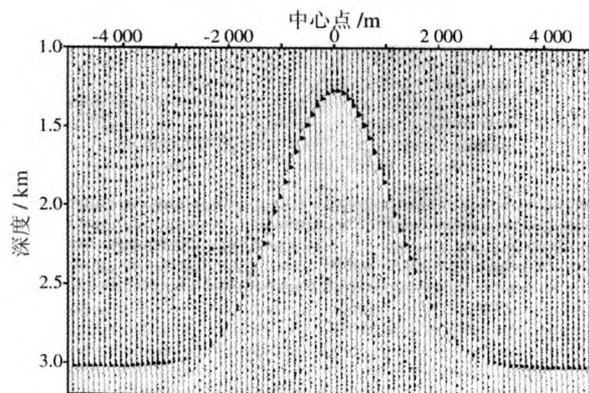


图 9 由图 8 得到的叠后深度偏移结果

x_0 的曲率半径 R_n 与 P_{nip} 。

这三个参数可以通过如下所述的方式得到:由于共反射面元叠加面依赖于这三个波场属性参数,一开始反射界面的方向及几何形态都是未定的,于是我们尝试试验不同的三参数组合,直到某一组参数可以实现对反射界面的最佳照明及最佳叠加为止,是否实现最佳照明则以叠加能量最大为标准。

6 结论与讨论

从上面的分析知道,NMO/DMO 叠加和 Kirchoff 积分叠前深度偏移隐含地固定了局部反射面的形状。Kirchoff 积分叠前深度偏移把反射面视为由绕射点组成的;NMO/DMO 叠加把反射面视为由满足零偏移距等时面关系的反射点组成;而 CRS 叠加能处理具有任意局部形状的反射面,对应的共反射面元叠加面更好地逼近多次覆盖数据,能更好地实现同相位叠加,因此,它能提供最好的反射界面照明。

如果把点 R 处圆弧形的反射界面的曲率半径减小到零,CRS 叠加就等同于 Kirchoff 积分叠前深度偏移;如果假设点 R 处圆弧形的反射界面与相对于 P_0 点的圆形的零偏移距等时面对应,CRS 叠加退化为 NMO/DMO 叠加。因此,NMO/DMO 叠加和 Kirchoff 积分叠前深度偏移可以认为是 CRS 叠加的特例^[9]。Kirchoff 积分叠前深度偏移是对地下真实绕射点的最佳多次覆盖照明,不过这里的前提是速度场要绝对准确;NMO/DMO 叠加是对满足零偏移距等时面关系的反射点的最佳多次覆盖照明;而 CRS 叠加对绕射点和反射点同时提供最佳的多次覆盖照明。

以上通过图示已经说明了 NMO/DMO 叠加和 Kirchoff 积分叠前深度偏移都没有充分挖掘多次覆盖数据的潜力。在通过以最大叠加能量为准则的相关分析之后,在实现 CRS 叠加的同时,不仅

生成了一个最佳的零偏移距叠加剖面,而且提供三个重要的波场属性参数(α, R_n, R_{nip})用以反演宏观速度场^[10]。此外值得注意的是,CRS 叠加是由旁轴射线理论为基础导出的,可以适应缓变速介质情形。很重要的一点是,它仅依赖于地表速度,与地下速度结构无关,所以将 CRS 叠加称之为“与宏观速度模型无关的零偏移距剖面成像方法”。

参 考 文 献

- 1 王华忠,杨锴,徐蔚亚,等. 共反射面元叠加的理论和初步实践. 见:文集编者不详. 同济大学海洋地质与地球物理系地震组研究报告. 上海:2001
- 2 Gardner G H F, Wang S Y, Pan N D, et al. Dip move-out and prestack imaging; Offshore Technology Conference, 1986
- 3 Gelchinsky B. The common-reflection-element (CRE) method; ASEG/SEG Internat. Geophys. Conf. Expl. Geophys., Extended Abstracts, 1998, 71~75
- 4 Hocht G, Perroud H, Hubral P. Migration around on hyperbolas and parabolas. The Leading Edge, 1997, 16(5):437~476
- 5 Perroud H, Hubral P, Hocht G, et al. Migrating around in circles - Part III. The Leading Edge, 1997, 16(8):875~883
- 6 Hubral P. Computing true amplitude reflections in a laterally inhomogeneous earth. Geophysics, 1983, 48: 1 051~1 062
- 7 Tygel M, Muller T, Hubral P, et al. Eigenwave based multiparameter traveltimes expansions. Expanded Abstracts of 67th Annual Internat SEG Mtg, 1997, 1 770~1 773
- 8 Ursin B. Quadratic wavefront and traveltimes approximations in inhomogeneous layered media with curved interfaces. Geophysics, 1982, 47:1 012~1 021
- 9 Hubral P, Hocht G, Jaeger R. Seismic illumination. The Leading Edge, 1999, 19(11):1 268~1 271
- 10 Goldin S V. Seismic traveltimes inversion. Soc. Expl. Geophys., 1986, Tulsa