

地震剖面的多分辨照度变换

曹 聿 明*

(北京地球软件技术开发公司)

摘 要

曹聿明. 地震剖面的多分辨照度变换. 石油地球物理勘探, 1996, 31(6): 771~777

光线投射到图象上, 图象上的凹凸变化产生的光影可以刻画出图象的细节。图象上的凹凸变化可视为图象函数 $f(x, y)$ 的非光滑性, 即奇性。地震剖面作为一种图象, 其上面的奇性集包含了丰富的地质信息, 如薄层、断裂及各种复杂地质体的轮廓等。所以, 照度变换可以作为这种奇性的检测手段。

本文应用小波理论的多分辨逼近方法^{[2], [3]}, 并参照文献 4、5 的作法设计出多分辨的照度变换。文中给出的应用实例表明, 该变换既可用于奇性检测, 又可用于地震剖面的层序分析以及地震剖面的高分辨率处理。

主题词 分辨率 照度变换 奇性 检测 层序地层学 小波

ABSTRACT

Cao Yuming. Multi-resolution illuminance transform of seismic section. *OGP*, 1996, 31(6): 771~777

When light illuminates an image, the light shadows resulting from the concavities and convexities of the image can describe details of the image. The concavities and convexities of the image can be considered as the unsmoothed property (i. e. oddness) of the image function $f(x, y)$. Seismic section is a kind of image, and its oddness assemblage has rich geological informations relating to thin bed, fault, figures of various geological bodies, and so on. As a result, we can say that illuminance transform can be taken as a means for detecting such oddness.

We design a multi-resolution illuminance transform by combining multi-resolution approximation of wavelet theory with the method described in reference 4, 5. The application example shows that the transform method can be applied to oddness detection, seismic stratigraphic sequence analysis and high-resolution seismic data processing.

Subject heading: resolution, illuminance transform, oddness, detection, sequence stratigraphy, wavelet

* Cao Yuming, Beijing Global Softwares Corporation, P. O. Box 11-3, Zhuozhou City, Hebei Province, Postcode: 072750

本文于 1995 年 12 月 25 日收到。

本项目为国家自然科学基金会、中国科学院、中国石油天然气总公司、大庆石油管理局联合资助。

引言

当光线投射到图象上时,图象上的凹凸变化产生光影,这些光影可以刻画出图象的细节。图象上的凹凸变化可视为图象函数 $f(x, y)$ 的非光滑性,即奇性。图象上的奇性集包含有丰富的图象信息,例如地震剖面上的薄层、断裂以及各种复杂地质体的轮廓等。所以利用照度变换可以作为检测这种奇性的手段。另一方面,在进行地震层序分析时,由于地震剖面上所反映的沉积旋回的时空分布范围大小迥异,因而在作层序分析时,就要考虑不同的时空尺度^[1]。

基于以上两个方面的考虑,本文应用小波理论的多分辨逼近方法^{[2],[3]},并参照 Rijks^[4] (1991) 和 Hoetz^[5] (1992) 的作法,设计了多分辨的照度变换,并应用于对地震剖面的层序分析及对地层层面的多分辨描述。文中的实例表明,照度变换既可作为奇性检测的一种手段,又可用于地震剖面的层序分析及地震剖面的高分辨处理。

多分辨逼近

我们定义二维平滑函数 $\theta(x, y)$ ^[3], 它对 x, y 变量的二重积分等于 1。对于不同的尺度 2^j ($j=1, 2, \dots$), 有 $\theta_{2^j}(x, y) = 2^{-2j}\theta(2^{-j}x, 2^{-j}y)$ 。由 $\theta_{2^j}(x, y)$ 与图象 $f(x, y)$ 褶积, 即

$$A_{2^j}(x, y) = (f * \theta)(x, y) \quad (1)$$

就可以得到 $f(x, y)$ 在分辨率 2^j 水平上的一个逼近。

由 $\theta(x, y)$ 出发, 可以定义两个小波函数

$$\Psi^1(x, y) = \frac{\partial \theta(x, y)}{\partial x} \quad (2)$$

$$\Psi^2(x, y) = \frac{\partial \theta(x, y)}{\partial y} \quad (3)$$

显然, Ψ^1, Ψ^2 都满足平均值为零。于是定义

$$\Psi_{2^j}^1(x, y) = 2^{-2j}\Psi^1(2^{-j}x, 2^{-j}y) \quad (4)$$

$$\Psi_{2^j}^2(x, y) = 2^{-2j}\Psi^2(2^{-j}x, 2^{-j}y) \quad (5)$$

则图象 $f(x, y)$ 在尺度 2^j 的小波变换的两个分量分别是

$$W_{2^j}^1(x, y) = (f * \Psi_{2^j}^1)(x, y) \quad (6)$$

$$W_{2^j}^2(x, y) = (f * \Psi_{2^j}^2)(x, y) \quad (7)$$

由式(2)、(3)、(6)、(7)可以推出

$$\begin{aligned} \begin{bmatrix} W_{2^j}^1(x, y) \\ W_{2^j}^2(x, y) \end{bmatrix} &= 2^j \begin{bmatrix} \frac{\partial}{\partial x} (f * \theta_{2^j})(x, y) \\ \frac{\partial}{\partial y} (f * \theta_{2^j})(x, y) \end{bmatrix} \\ &= 2^j \nabla (f * \theta_{2^j})(x, y) \end{aligned} \quad (8)$$

由上式可见,定义的二维小波变换分量与图象梯度矢量的两个分量成比例。于是,二维小波变换梯度矢量的模为

$$M_{2'}(x, y) = \sqrt{|W_{2'}^1(x, y)|^2 + |W_{2'}^2(x, y)|^2} \quad (9)$$

它与图象曲面上一点的梯度矢量模 b 及该点处曲面倾角 μ 的正切成正比,即

$$M_{2'}(x, y) = b \operatorname{tg} [\mu(x, y)] \quad (10)$$

且二维小波变换梯度矢量与图象所在平面 x 坐标轴的夹角为

$$G_{2'}(x, y) = \operatorname{tg}^{-1}(W_{2'}^2(x, y)/W_{2'}^1(x, y)) \quad (11)$$

照 度 变 换

利用光线投射到图象上产生的光影来刻画图象细节的做法可参见文献4、5。

按照光度学的有关理论^[6]可知,投向曲面一点的光的照度 E 与光强 K 和入射角 α (即光线与曲面在入射点的法线的夹角)有一个简单的关系,即

$$E(x, y) = K(x, y) \cos(\alpha(x, y)) \quad (12)$$

光线的入射角 α 与曲面上入射点处曲面的倾角和倾向、以及光线投射的方位和倾角相关。其几何关系如图1所示。

图1中: $\angle POQ = \alpha$, $\angle HOQ = \lambda$, $\angle ORO' = \angle HOP = \mu$, $\angle SO'R = \angle QHP = \varphi$, \overline{QO} 为光线的入射方向, \overline{HO} 是垂线, \overline{PO} 是曲面法线, \overline{OR} 方向是曲面在 O 点的倾向, \overline{OS} 是光线的入射方位。在四面体 $OHPQ$ 上用余弦定理可证得如下关系

$$\cos \alpha = \cos \lambda \cos \mu + \sin \lambda \sin \mu \cos \varphi \quad (13)$$

若用固定方位和入射角的平行光照射曲面,则曲面上各点的照度与各点处曲面的倾角和倾向有关。

综上所述,可得如下结果:

(1)若令光强 $K(x, y) = A_{2'}(x, y)$, 则称式(12)的变换为照度变换 A , 简称 A 照度。

(2)若令光强 $K(x, y) = M_{2'}(x, y)$, 则称式(12)的变换为照度变换 M , 简称 M 照度。

(3)若令光强 $K(x, y) = \text{const}$, 则称式(12)的变换为照度变换 α , 简称 α 照度。

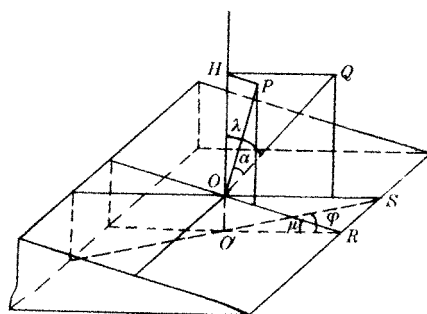


图1 光线投射模型

应 用 实 例

层序地层学的研究内容之一是为具有旋回性以及成因上相关的地层建立一个地层年代框架。沉积旋回的时空分布,既有与全球气候变化有关的全球盆地海水体积周期变化造成的沉积

旋回,又有区域性的受构造因素控制的沉积旋回,还有局部的由短期小范围环境变化(风暴、洪水、断层等)造成的沉积旋回。所以,在地震剖面上作层序地层学分析,需要在不同的时空尺度上进行。本文方法为此提供了一种方便的工具。

图2是一段偏移剖面。图3是对图2用式(1)处理过的4种不同分辨水平的逼近。图4是与图3相对应的多分辨 M 照度图。比较图4与图3可见,照度图具有更加鲜明的特征和清晰的轮廓,更有利于分析对比。图4中投射光线的入射方位是 45° ,入射角是 90° 。

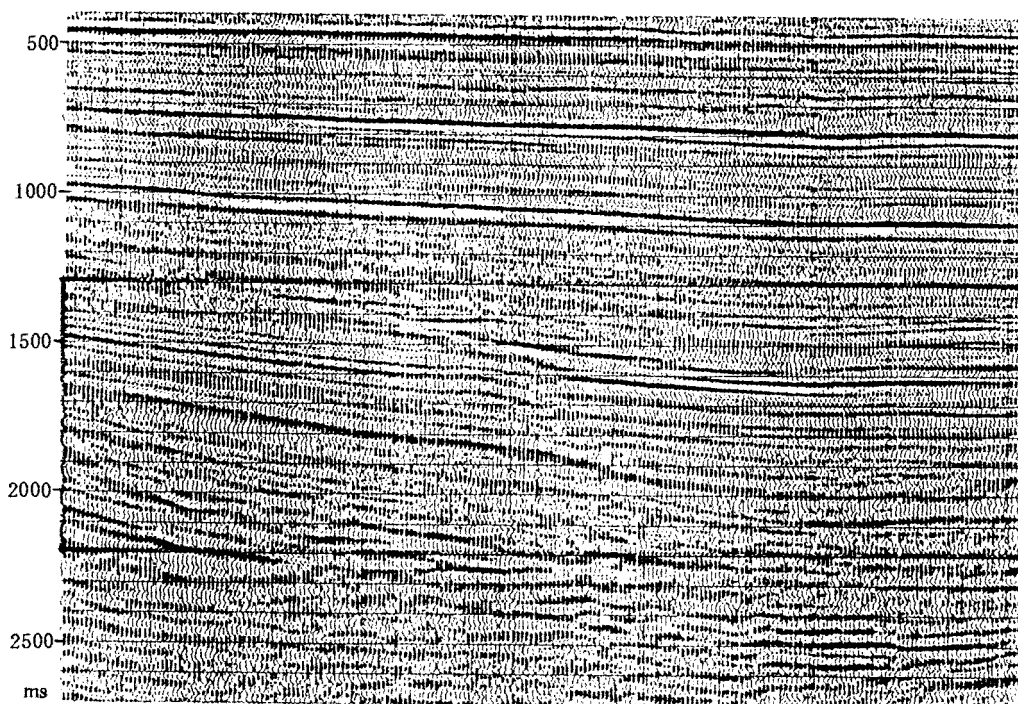


图2 偏移剖面

讨 论

图5是图2剖面方框部分与其相应的照度图的对比,分辨率水平是 2^1 。其中,图5b是图2剖面的方框部分;图5a是对应的 A 照度图;图5c是对应的 M 照度图。因 α 照度图与 M 照度图有大致相似的特征,故未列入对比。

由图5的对比结果可见,照度图的分辨率明显优于原剖面,其地震相特征比原剖面丰富,接触关系和断层位置比原剖面清晰。这些优点对于剖面的分析解释无疑是有益的。由此可见,照度变换可以作为高分辨率处理的一种手段。

比较图5的(a)图与(c)图又可看出,其 A 照度图与 M 照度图各具特色。此外,光线投射方位的不同及入射角的不同,会有不同的光影效果,这需要根据分析解释的需要加以选择。因此,应用多分辨照度变换最理想的工作环境是能做动画显示的可交互的工作环境。

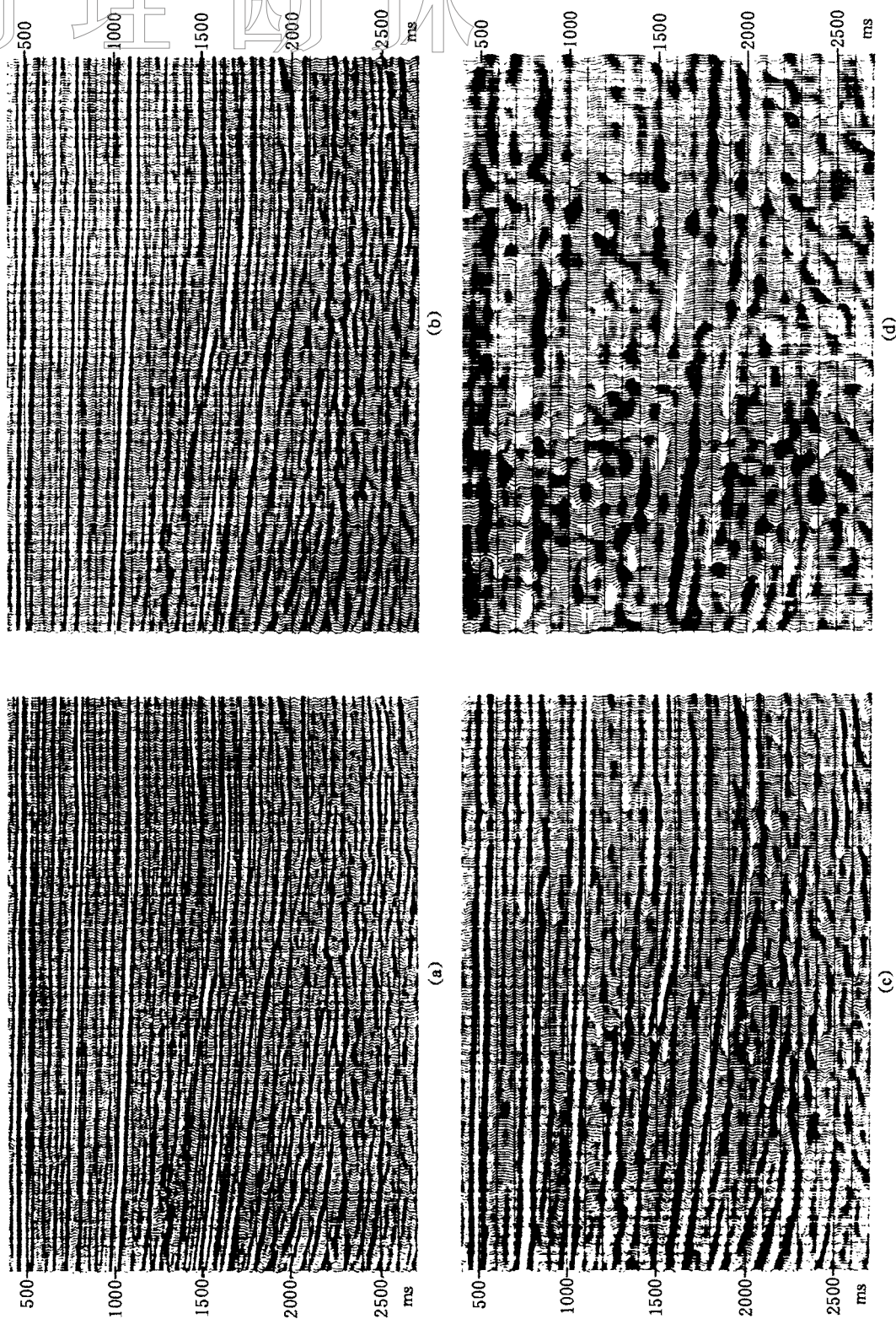


图 3 图 2 的 4 种不同分辨率水平的逼近
(a) 2^1 分辨; (b) 2^2 分辨; (c) 2^3 分辨; (d) 2^4 分辨

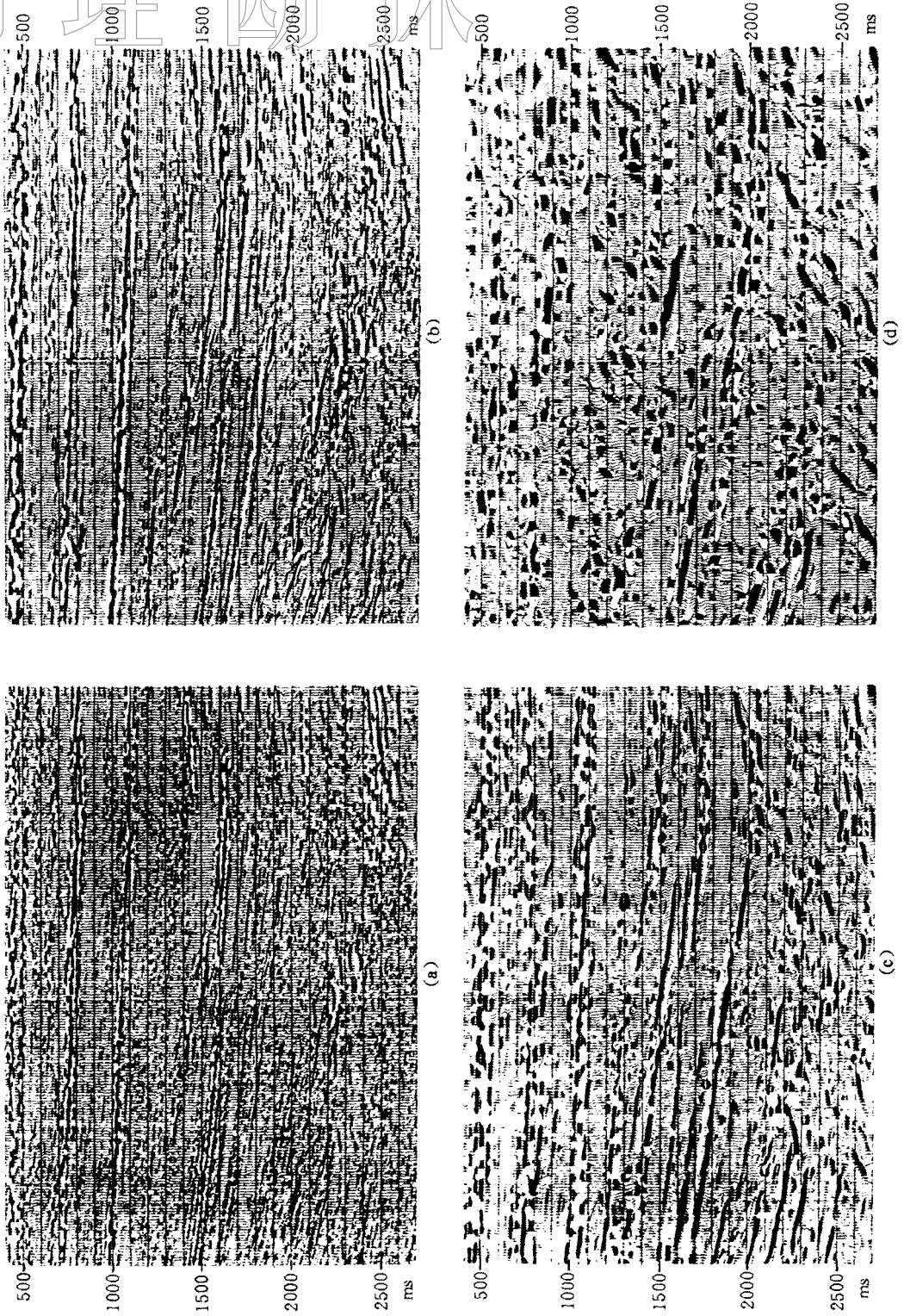


图 4 图 3 对应的多分辨 M 照度图

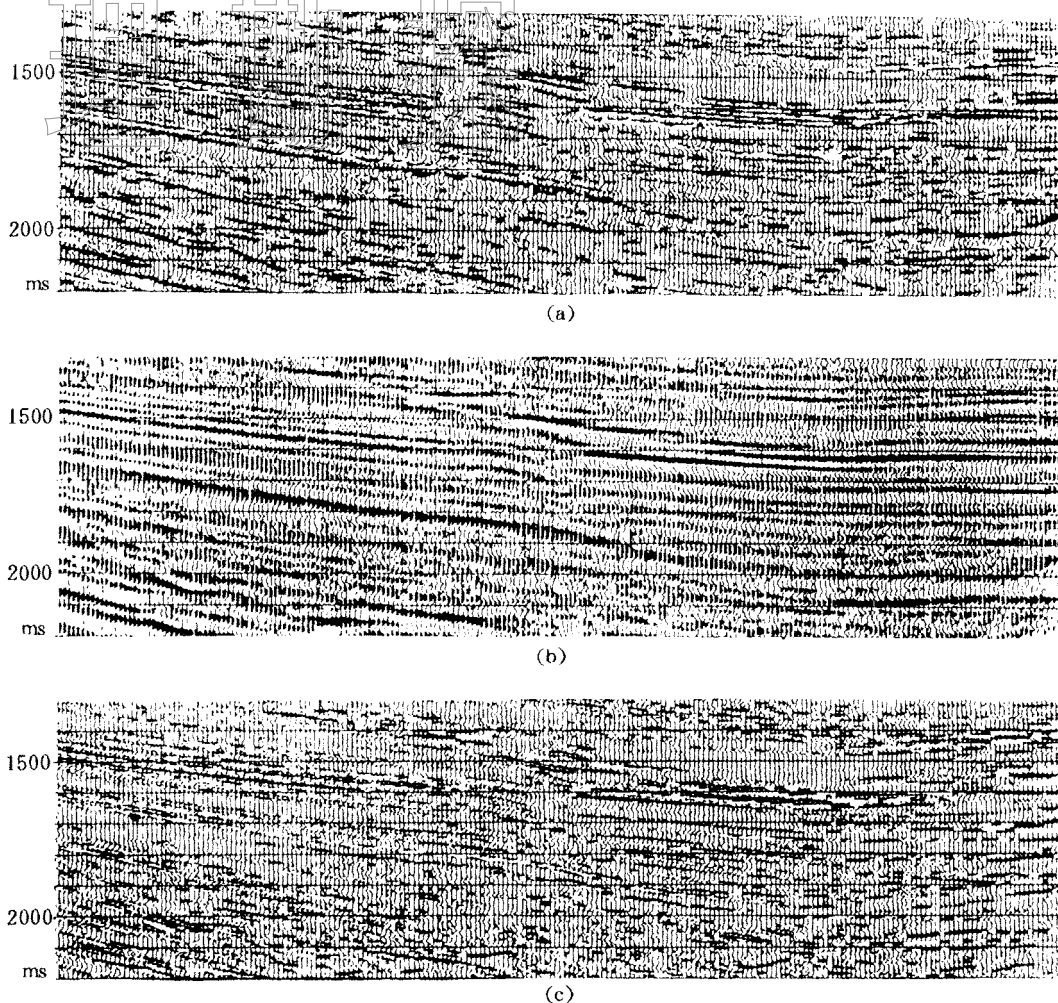


图5 图2剖面中方框部分与其照度图的对比

(a) A 照度图, 2^1 分辨; (b) 图2剖面中方框部分; (c) M 照度图, 2^1 分辨

由图3和图4可见,对于不同的尺度 2^j ,可以得到不同分辨水平的剖面 and 对应的 M 照度剖面,对于这些剖面的地质解释和应用还有待于进一步研究。

参 考 文 献

- 1 Sangree J B and Snerder R M 著,杨贝德等译. 层序地层学,石油地球物理勘探局,1990
- 2 Mallat S G. A theory for multiresolution signal decomposition: the wavelet representation. *IEEE Trans on Pattern Analysis and Machine intelligence*, 1989, 11(7)
- 3 Mallat S G and Zhong S. Characterization of signals from multiscale edges. *IEEE Trans on Pattern Analysis and Machine intelligence*, 1992, 14(7)
- 4 Rijks E J H and Jouttred J C E M. Attribute extraction: An important application in any detailed 3-D interpretation study. *EDGE*, 1991, 10(9): 11~19
- 5 Hoetz H L J G and Watters D G. Seismic horizon attribute mapping for the Annerveen gas field, the Netherlands. *First break*, 1992, 10(2): 41~51
- 6 洪铭熙译. 泡利物理学讲义2: 光学和电子论, 人民教育出版社, 1981
- 7 曹聿明. 地震道的奇性特征与分辨率. 石油地球物理勘探, 1995, 30(4): 480~486