

复杂地形条件下地震速度提取方法及分析

刘江平 杨永清 李修忠

摘 要 通过对典型地形起伏的6个水平均匀层状介质理论地质模型的速度谱计算和分析,阐明了在复杂地形条件下用常规水平基准面方法提取叠加速度,不仅达不到地震勘探对速度精度的要求,而且产生假的纵、横向变速规律。证明了采用滑动基准面〔1〕方法提取叠加速度,既可消除地形起伏的影响,又可满足地震勘探对速度精度的要求和如实反映地层速度。

关键词 滑动基准面;理论地质模型;速度谱

THE METHOD FOR EXTRACTING VELOCITY UNDER THE COMPLEX TOPOGRAPHIC CONDITION AND ITS ANALYSIS

Liu Jiangping, Yang Yongqing Li Xiuzhong

(China University of Geosciences, Wuhan 430074)(The Petrol Office North China,Xinxiang 453700)

Abstract Based on the calculation and analysis of the velocity spectra of the theoretical geological model for six horizontal homogeneous bedded media under the condition of typical topographic relief, this paper points out that the utilization of the conventional horizontal base level technique for extracting stacking velocity under the complex topographic condition fails to attain the precision of velocity and will produce false longitudinal and latitudinal velocity variation regularity. It is also demonstrated that the use of the slipping base level method to extract stacking velocity can not only eliminate the effect of topographic relief but also satisfy the velocity precision of seismic exploration. In addition, the method can reflect the real interval velocity.

Key words slipping base level; theoretical geological model; velocity spectrum

不管是在浅层地震勘探还是中、深层地震勘探中,地震波在地层中的传播速度是一个十分重要的参数。许多处理方法只有在事先提供准确速度参数的条件下才能获得好的处理效果。例如动校正、叠加和偏移等,较小的速度变化,能够引起或消除地震记录剖面上较大的异常,将地震记录的时间域转换成地质剖面的空间域,关键在速度参数,同时,速度参数也是判别地层岩性的重要依据。如果取用的速度不当,会有损地震资料,歪曲地质效果。当取用的速度合适时,则可增强构造显示的真实形态。可见,速度的精度将直接影响地震勘探的精度和地质效果。

当地形起伏较小时,目前普遍采用的基于水平基准面之上的速度提取方法所获得的速度已具有较高的精度,基本上能满足地震勘探对速度精度的需要。但当地形起伏较大时,其浅层往往难以满足勘探精度对速度的要求。本文就是针对这一问题,通过理论地

质模型计算，对常规水平基准面下的速度分析方法获得的速度所存在的误差进行了分析和讨论。提出了滑动基准面速度分析方法，理论计算结果表明，该方法为行之有效的方法，其速度精度完全满足地震勘探对速度精度的要求。

1 基本原理与理论模型

当地层为水平均匀层状介质时，共中心点道集时距曲线方程可表示为〔2〕

$$t_i = t_0 + \frac{h_{oi} + h_{si}}{v} + \frac{x_i^2}{2t_0 v^2} \left(1 - \frac{1}{t_0 v} (h_{oi} + h_{si})\right) \quad (1)$$

式中， t_0 为共中心点的法线双程旅行时， h_{oi} ， h_{si} 分别为相对于过共中心点的水平基准面的炮点和检波点的高差。 v 为地震波波速。

1.1 常规水平基准面数学模型

当基准面为一固定的水平面（即常规水平基准面）时，通常将(1)式近似为

$$t_i = t_0 + \frac{x_i^2}{2t_0 v^2} + \Delta t_{\text{静}} \quad (2)$$

其中，

$$\Delta t_{\text{静}} = \frac{h_{oi} + h_{si}}{v_0}$$

式中， $\Delta t_{\text{静}}$ 称为地形静校正值， h_{oi} ， h_{si} 分别为相对于常规水平基准面的炮点和检波点的高差，

v_0 为表层地震波波速。那么，速度分析时计算反射波正常时差 Δt_i 的数学表达式为

$$\Delta t_i = \frac{x_i^2}{2t_0 v^2} \quad (3)$$

显然，由上式计算出的正常时差存在误差

$$\delta t_i = - \frac{x_i^2}{2t_0^2 v^3} (h_{oi} + h_{si})$$

δt_i 是炮检距 x_i 、回声时间 t_0 、均方根速度 v 、 h_{oi} 和 h_{si} 的函数，这就是在地形起伏较大的地区从事地震勘探难以获得准确速度和高质量水平叠加时间剖面的主要原因。

1.2 滑动基准面数学模型

当基准面为一过共中心点的水平基准面时，此基准面随共中心点位置的改变而改变，用校正公式

$$\Delta t_{\text{静}} = \frac{h_{oi} + h_{si}}{v_0}$$

做地形静校正后，(1)式可表示为

$$t_i = t_0 + \frac{x_i^2}{2t_0 v^2} \left(1 - \frac{1}{t_0 v} (h_{oi} + h_{si}) \right) \quad (4)$$

若速度分析时，采用公式

$$\Delta t_i = \frac{x_i^2}{2t_0 v^2} \left(1 - \frac{1}{t_0 v} (h_{oi} + h_{si}) \right) \quad (5)$$

计算反射波时差值，可以消除常规水平基准面法所存在的误差。从而达到提高复杂地形地区地震勘探中速度的精度和勘探效果。

1.3 理论地质模型

为进一步阐明以上问题，设计了一个具有代表性、尽可能接近实际以及计算简便的6层均匀层状介质理论地质模型（图1），其主要参数见表1。地面是由2个凸起、1个凹陷和2段平面构成，最大相对高差为160m。地层为速度递增模型，最小地层厚度为50m，最大为480m。

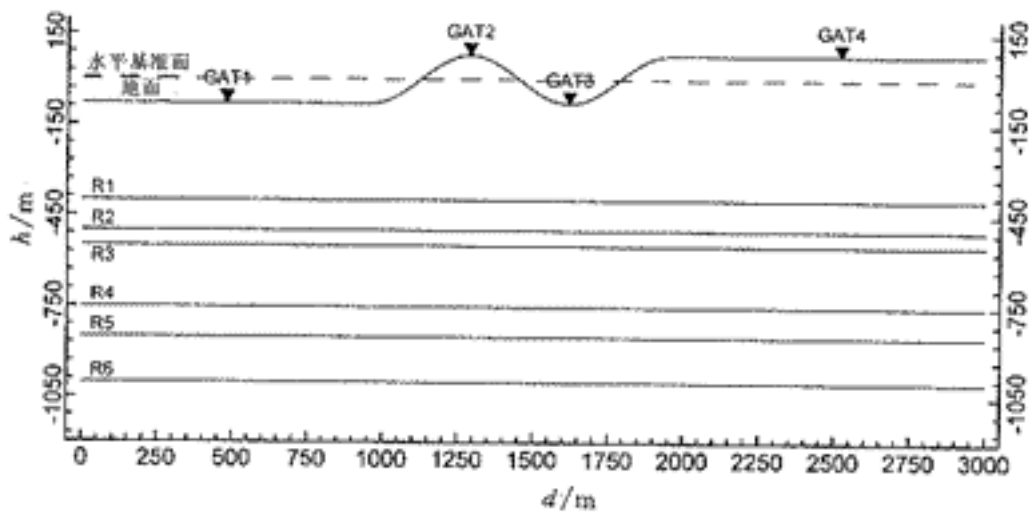


图1 6层均匀层状介质理论地质模型

表1 理论地质模型参数

分界面	R1	R2	R3	R4	R5	R6
最小埋深/m	320	420	470	670	770	920
最大埋深/m	480	580	630	830	930	1080
层速度/(m · s ⁻¹)	2000	2500	2800	3100	3200	3500

2 模型速度谱计算与分析

我们对所设计的理论地质模型进行了4个不同特征位置（见图1中GAT1，GAT2，GAT3和GAT4）的理论计算。常规水平基准面均为h = 0m的水平面；滑动基准面分别为h=-80，80，-80，80m的水平面，为了便于同常规水平基准面结果对比解释和分析，其结果最后均已转换到相对于h=0m的水平基准面上。理论计算所采用的主要参数为：道集道数N = 12；道间距dx = 80m；采样间隔dt = 2ms；记录长度t = 1050ms；最小炮检距x₀ = 100m。理论子波采用频率f₀ = 50Hz的雷克子波。速度谱计算采用平均振幅能量准则，即

$$A_j = \sum_{k=0}^K (\frac{1}{N} \sum_{i=0}^N g_i(t_{i,j} + k\Delta)) \tag{6}$$

式中，g_i(t)为第i道t时刻样值，K为时窗大小，速度谱所采用的起始时间和速度、终止时间和速度、时间和速度间隔分别为350ms和1700m/s，850ms和2900m/s,10ms和20m/s。据(1)式所获取的4个特征位置的共中心点道集记录如图2所示，可见，由于地形起伏的影响，反射同相轴已不是双曲线，而是高次曲线，并且存在时间倒转现象（即随炮检距增大反射波到时减少）。经地形静校正后相应的共中心点道集记录如图3所示。由图可知，道集记录中各反射波同相轴已可近似为双曲线，但仍存在地形起伏对反射波到时的

影响，同一层面不同的共中心点道集记录中反射波同相轴的斜率存在明显的差异。

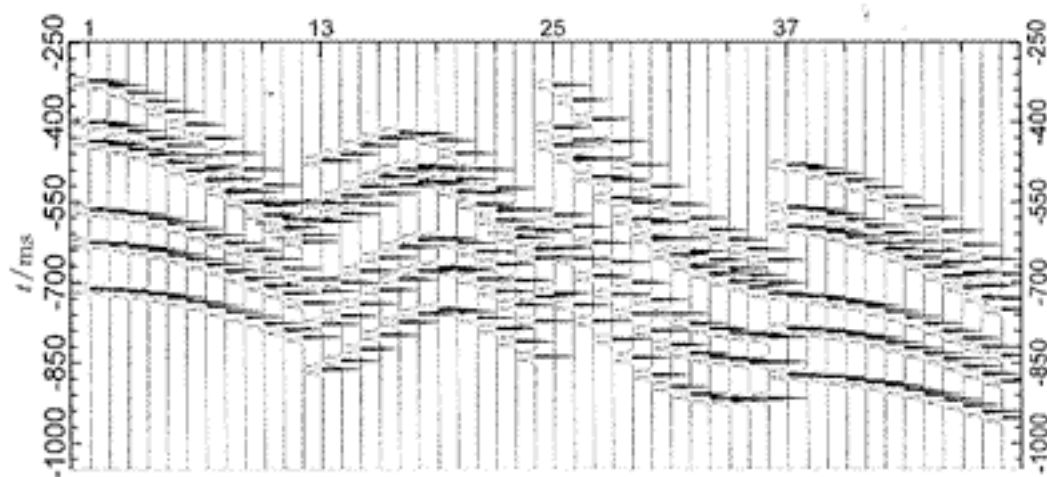


图2 4个特征位置的共中心点道集记录

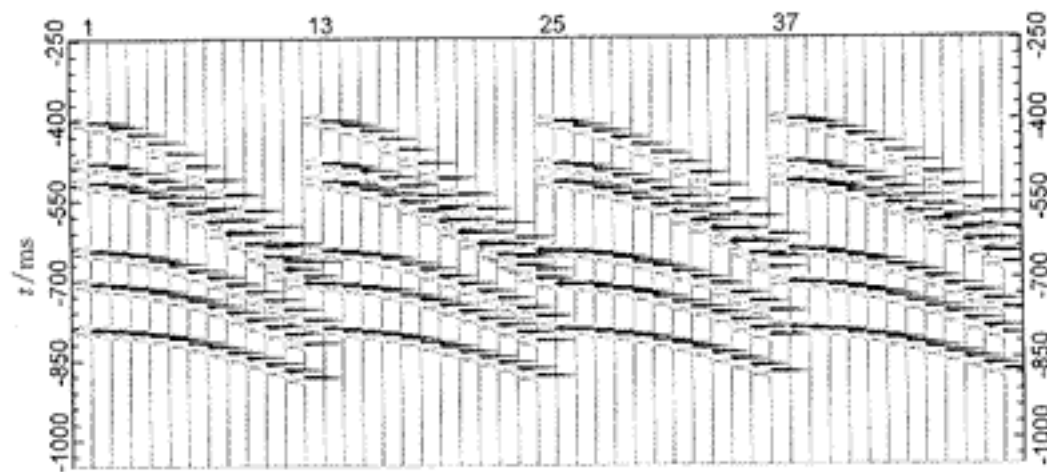


图3 经地形静校正后的共中心点道集记录

2.1 常规水平基准面速度谱

根据(3)和(6)式对图3共中心点道集记录进行速度分析，其4个特征位置相应的速度谱结果如图4，5，6和7所示(图中●为理论计算值，○为反演值)。解释结果见表2。可见，当地面为水平面时，速度谱能量团集中、简单，若基准面选择高于地面，其反演速度值低于理论值(见图4)，出现负误差，最大和最小误差分别为8.50%和3.42%；若基准面选择低于地面，其反演速度值高于理论值(见图7)，出现正误差，最大和最小误差分别为8.50%和2.01%，说明反演速度的精度与基准面的选择位置有关，基准面越接近地面速度精度越高。当地面为凸或凹的曲面时，浅层速度谱出现多个能量团，并不较集中，深层能量团相对集中(见图5，6)，若道集点处于凸部，反演速度出现负误差，最大、最小分别为7.50%和1.47%；若道集点处于凹部，反演速度出现正误差，最大、最小分别为8.50%和2.01%，显然，反演获得的速度存在不真实的纵、横向变速现象。这说明了在复杂地形条件下为什么反演获得的浅层速度精度较低和水平叠加时间

剖面质量差的原因。

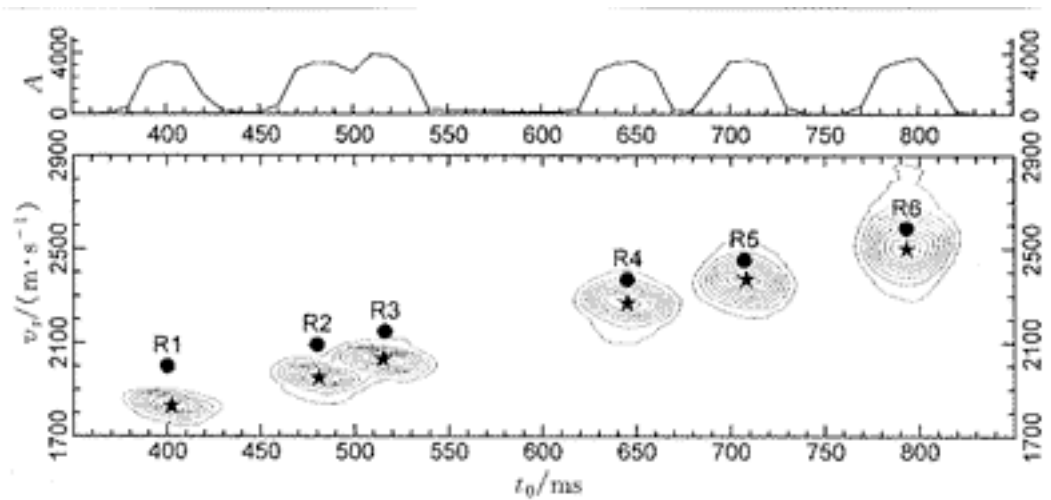


图4 共中心点GAT1常规水平基准面速度谱

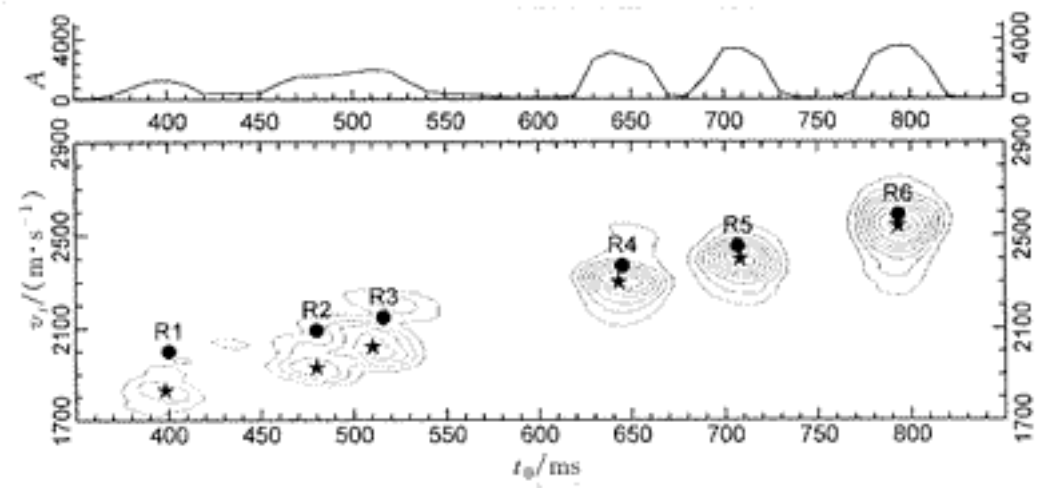


图5 共中心点GAT2常规水平基准面速度谱

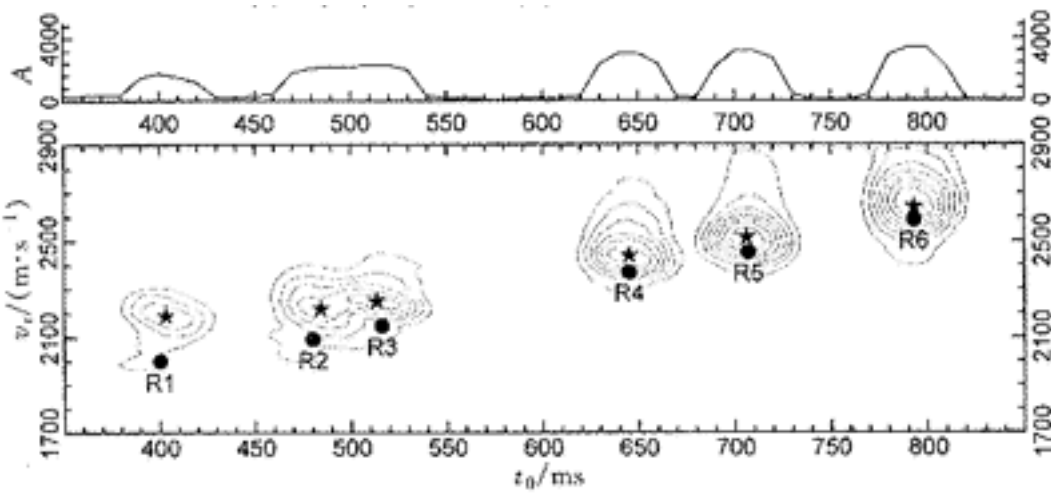


图6 共中心点GAT3常规水平基准面速度谱

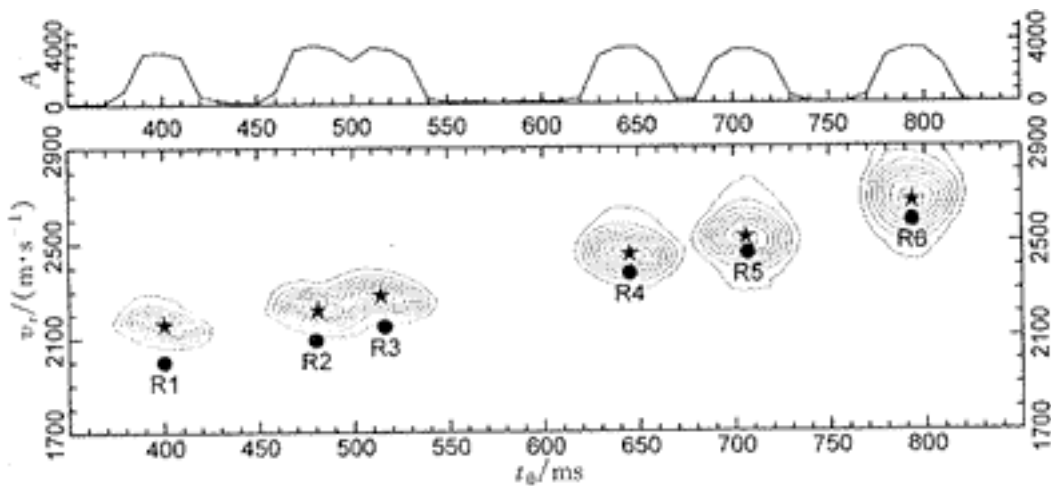


图7 共中心点GAT4常规水平基准面速度谱

2.2 滑动基准面速度谱

据(5)式和(6)式对图3共中心点道集记录作速度分析，4个特征位置相应的速度谱见图8，9，10和11（图中●为理论计算值，★为反演值），解释结果见表2。可知，所有速度谱能量团集中，清晰易辨，解释速度最大和最小误差分别为1.79%和0.00%，完全满足地震勘探对速度精度的要求，地形起伏和基准面的选择位置对反演速度基本上无影响。

表2 速度反演解释结果

(共中心点)/ (道集号)	分界面	(t ₀ t)/ (ms)	(vrt)/ (m*s ⁻¹)	(vrc)/ (m*s ⁻¹)	(vah)/ (m*s ⁻¹)	(dvc)/ (m*s ⁻¹)	(dvh)/ (m*s ⁻¹)	(bvc)/ (%)	(bvh)/ (%)
GAT1	R1	400	2000	1830	2000	-170	0	8.50	0.00
x=440m	R2	480	2092	1950	2100	-142	8	6.79	0.38
	R3	516	2147	2030	2180	-118	32	5.49	1.49
	R4	645	2370	2280	2410	-90	40	3.80	1.69
	R5	707	2454	2370	2500	-84	46	3.42	1.87
	R6	793	2588	2480	2610	-108	22	4.27	0.85
GAT2	R1	400	2000	1850	1990	-150	-10	7.50	0.50
x=1290m	R2	480	2092	1930	2090	-162	-2	7.74	0.10
	R3	516	2147	2000	2160	-148	12	6.89	0.56
	R4	645	2370	2300	2430	-70	40	2.95	1.69
	R5	707	2454	2400	2490	-54	36	2.20	1.47

	R6	793	2588	2550	2610	-38	22	1.47	0.85
GAT3	R1	400	2000	2170	2000	170	0	8.50	0.00
x=1620m	R2	480	2092	2220	2090	128	-2	6.12	0.10
	R3	516	2147	2250	2140	102	-8	4.75	0.37
	R4	645	2370	2430	2350	60	-20	2.53	0.84
	R5	707	2454	2490	2440	36	-14	1.47	0.57
	R6	793	2588	2640	2580	52	-8	2.01	0.31
GAT4	R1	400	2000	2190	2000	170	0	8.50	0.00
x=2520m	R2	480	2092	2220	2090	128	-2	6.12	0.10
	R3	516	2147	2270	2140	122	-8	5.68	0.37
	R4	645	2370	2450	2330	80	-40	3.38	1.69
	R5	707	2454	2510	2410	56	-44	2.28	1.79
	R6	793	2588	2640	2550	52	-38	2.01	1.47

注： t_0t 为理论时间、 vrt 为理论叠加速度、 vrc 为水平基准面反演叠加速度、 vah 为滑动基准面反演叠加速度、 dvc 和 bvc 为水平基准面反演叠加速度误差、 dvh 和 bvh 为滑动基准面反演叠加速度误差。

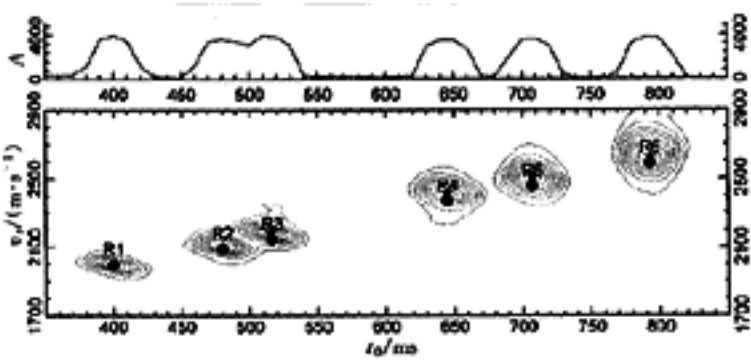


图8 共中心点GAT1滑动基准面速度谱

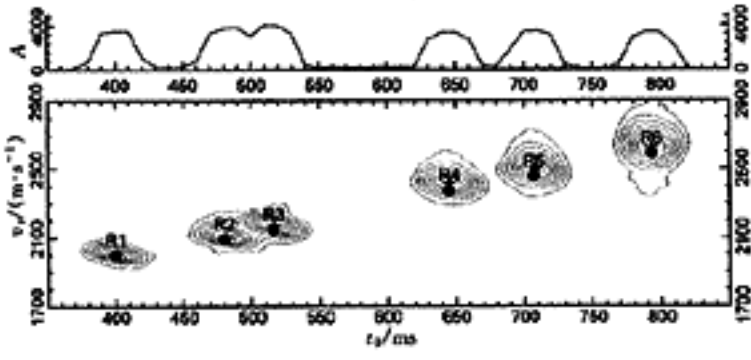


图9 共中心点GAT2滑动基准面速度谱

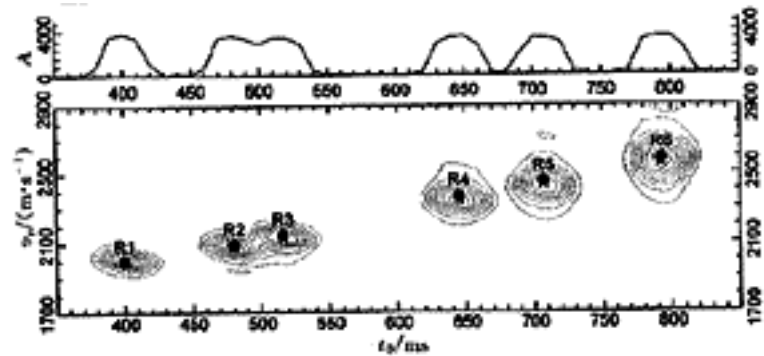


图10 共中心点GAT3滑动基准面速度谱

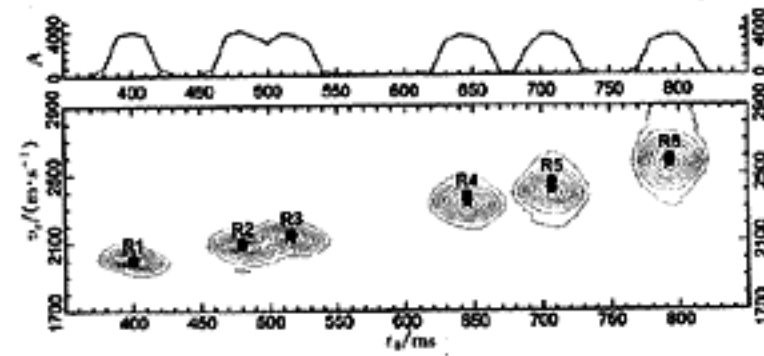


图11 共中心点GAT4滑动基准面速度谱

综上所述，在复杂地形条件地区从事地震勘探，由于地形起伏的影响，采用基于常规水平基准面之上的速度分析方法所获得的速度存在较大的误差，并产生假的纵横向速度变化现象，从而引起水平叠加时间剖面上出现假的同相轴特征，使之时间剖面质量变差，大大影响了地震勘探的精度。而采用基于滑动基准面之上的速度分析方法所获得的速度，与实际速度吻合，消除了基于常规水平基准面之上的速度分析方法获取速度所存在误差。

3 结论

在复杂地形条件下，常规水平基准面下的速度分析所获得的速度存在较大的误差，呈现出假的纵横向变速规律，浅层尤其突出，并且速度精度与水平基准面选择的位置有关。滑动基准面下的速度分析获得的速度，解决了常规方法所存在的问题，其反演速度精度完全满足地震勘探对速度精度的要求，是一种行之有效的方法。

作者简介：刘江平，男，1957年7月生，湖南省双峰县人。1989年毕业于中国地质大学（武汉）研究生院应用地球物理专业，获硕士学位。现任中国地质大学（武汉）应用地球物理系副教授，长期从事地震勘探、工程物探、计算机应用的教学和研究开发工作，已发表论文26篇。
作者单位：刘江平 杨永清 中国地质大学，武汉 430074
李修忠 华北石油局，新乡 453700

参考文献

- 1 刘江平.地震共中心点道集的瞬时基准面静校正和动校正.物探与化探, 1997, 21(1): 15 ~ 22
- 2 刘江平, 钱绍瑚, 张素新.地震共中心点道集的滑动基准面静校正和动校正叠加理论模型计算和分析.物探与化探, 1998, 22(1): 27 ~ 33
- 3 何樵登, 熊维纲.应用地球物理教程—地震勘探.北京: 地质出版社, 1991

1998年11月23日收稿。