

地震层速度的地质统计学处理

许晓宏 黄海平
(中国地质大学, 北京 100083)

马玉柱
(石油物探局塔里木研究中心, 新疆库尔勒 841000)

在地震资料处理过程中, 由于静校正、表层速度、时差、倾角、曲射线等因素的影响, 在计算层速度时会产生误差, 其中的系统误差可用 VSP 等测井资料进行标定校正, 而对其中的随机误差则采用地质统计学进行处理。地质统计学是研究空间变量分布的有效方法, 主要包括区域化变量、变差函数、克里金估值。采用此方法可进行地震层速度的误差校正, 有效地提取出层速度的内在空间变化规律, 抑制各种随机误差的干扰, 使层速度值的信噪比显著提高。

关键词 层速度 地质统计学 系统误差 随机误差 校正

第一作者简介 许晓宏 男 32岁 讲师 石油数学地质

1 误差因素分析

地震波速度资料是地震资料处理和解释中非常重要的一类参数, 它能提供关于构造和岩性的有价值的信息, 因此正确提取各种速度值是地震资料处理的极其重要的一环。目前采用 VSP 测井资料或声波测井资料计算出来的层速度值的精确度虽然较高, 但它只能反映点的情况, 无法进行区域性变化的分析。常用的层速度求取方法仍然是采用叠加速度谱的方式进行, 但由于下述影响因素, 导致计算中存在着较大的误差^[1,2]。

1.1 静校正的随机误差

在用正常时差推算速度时, 常常假设已作过静校正。一方面, 计算静校正量的方法是假设速度校正值为已知; 另一方面, 计算速度校正值的常用方法亦假设静校正值是已知的。很显然, 这样的假设会造成一定的误差, 尽管采用一定的公式可同时计算这两种校正值, 但计算时有严格的条件限制, 不易实现。

1.2 表层速度分布异常

由于表层速度分布不均, 使本来具有某一反射时间的层位因表层速度的变化而造成反射时间的异常, 从而造成推算速度的误差。

1.3 正常时差的随机误差

求准叠加速度须有一定的正常时差, 即排列不能太短, 否则时距曲线因反映不出曲线的形态而求不准速度; 反之, 由于不同炮检距的速度不同, 求出的叠加速度对各种炮检距而言

都是同一速度,从而使速度精度降低。一般情况下,要求排列的最大炮检距等于或稍大于反射界面的深度,这样不可能同时兼顾深层和浅层,只有采取折衷的办法,从而给叠加速度的求取带来一定的误差。另外,随着反射界面深度的增加,反射波的信噪比变低,高频成分被吸收,频带变低、变窄,子波波形变宽,均使估计正常时差的误差加大。

1.4 倾角和复杂构造

在曲界面和复杂构造的情况下,由于非双曲线型正常时差的影响,可产生大的速度误差。

1.5 曲射线的影响

当炮检距大于反射界面深度时,不考虑双曲线的性质而仍按近似的双曲线型正常时差处理,将造成速度的系统误差。

2 方法原理

由于叠加速度的计算中存在着上述影响,所以据此计算出来的层速度就存在一定的系统误差和随机误差。对其系统误差可用 VSP 测井资料或声波测井资料求得的层速度值来进行标定校正,可极大地抑制甚或消除系统误差的影响。对随机误差的处理,目前常用的方法是三点等加权系数平滑滤波或曲线拟合平滑滤波,由于这些方法,仅仅只考虑了数值大小的本身变化规律,而没有考虑信息样品点的空间位置关系,也即没有考虑层速度的内在空间变化规律,故处理效果的或然性很大。作者采用的地质统计学方法,则是处理具空间结构性质的层速度数据的一种强有力的方法模型,它能非常有效地提出层速度的内在变化趋势,抑制其各种随机误差的干扰,从而能求出正确的层速度值,为正确合理的地震资料解译打下基础。

地质统计学是近30年来发展起来的一门新兴边缘学科,是各种地质参数空间估值分布处理的极好手段。它一般包括4个方面的内容:区域化变量、变差函数、克里金估值和条件模拟^[3,4]。根据本文的需要,我们只讨论前3个方面的内容。

2.1 区域化变量

令 X 是空间 R 的一个点,则 $Z(X)$ 是在 X 点上要研究的函数值,称这个函数为区域化变量。区域化变量是地质统计学中的重要概念,它能最大限度地利用各种已知参数样品的信息,不仅考虑参数样品的数值大小,而且充分考虑了参数样品的空间分布构形,这种既具随机性又具结构性的“区域化变量”理论,是非常适合于处理地学领域中的众多研究对象的。就地震层速度这一参数而言,一则因其存在随机误差,故速度值具有随机性的一面;二则,由于层速度反映地下岩性、岩相的变化情况,其值肯定存在某种程度的连续性和相关性,故又体现有结构性的一面,这正是地质统计学所处理的有效对象。

2.2 变差函数

变差函数是地质统计学特有的基本工具,它既能描述区域化变量的空间结构性,又能描述其随机性,是进行地质统计学计算的基础。实际计算时是以实验变差函数为其计算模型,如(1)式所示:

$$\gamma(h) = \frac{1}{2N(h)} \sum_{i=1}^{N(h)} [Z(X_i) - Z(X_{i+h})]^2 \quad (1)$$

其中 X_i, X_{i+h} 是区域化变量的坐标位置, $Z(X_i), Z(X_{i+h})$ 是相隔为 h 距离的两个区域化变量 $Z(X)$ 的值, $N(h)$ 是相隔为 h 距离的区域化变量的总对数。

根据实验变差函数 $\gamma(h)$ 的值再拟合成一个理论变差函数模型 $\gamma(h)$, 以用于克里金的

后的平面分布图(图4), 同样不能显示出层速度的变化趋势, 说明该法仍然没有消除随机误差的影响。为此, 我们采用前述的地质统计学方法对原始的层速度数据进行处理^[5, 6]。

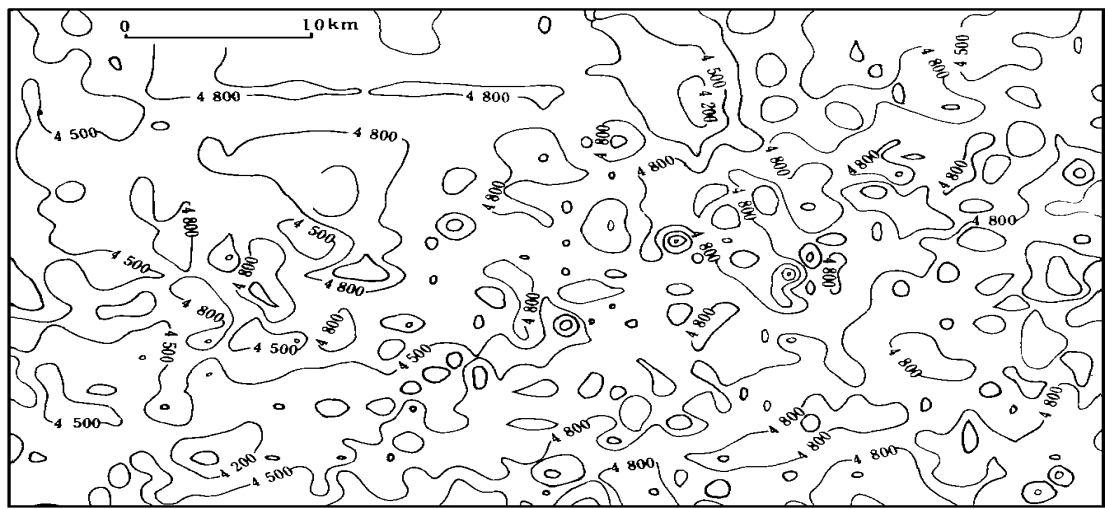


图4 三点等加权系数法处理的层速度平面分布图(单位 m/s)

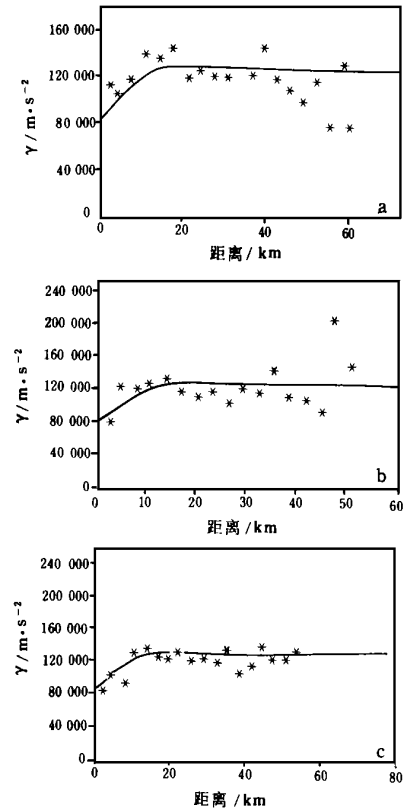


图5 实验变差函数及其理论模型
a—0 方向; b—45 方向; c—90 方向

相关的统计参数表明研究区的层速度分布模型是正态的, 符合普通克里金模型的处理要求(否则须作正态得分变换)。我们分别作了0°、45°、90°三个方向的实验变差函数, 结果近似, 所以可采用统一的理论模型进行拟合。图5是计算获得的实验变差函数, 实线是拟合的理论变差函数模型——球状模型, 模型参数为: 变程16 km, 块金值80 000, 拱高48 000。

依据该理论模型生成一个60×35的克里金估值网络, 获得层速度平面分布图(图6)。从图所示, 层速度的平面

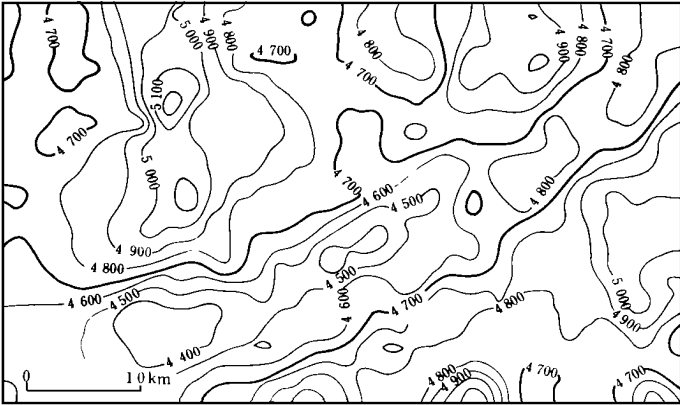


图6 处理后的层速度平面分布图(单位 m/s)

分布规律极其显著,比未经处理的图3其效果已大为改观。层速度中的随机干扰误差已近乎消除,故其内在的分布趋势变得非常明显,西南角到东北角有一层速度值在4 700~4 600 m/s的条状分布带,地质上应对应有一套含砂在70%左右的岩层,从而有助于羊塔克区地下岩性的分析。

4 结束语

利用地质统计学来进行地震层速度的优化处理是成功的,效果非常明显,它能最大程度地限制层速度计算中各种随机干扰误差的影响,使其内在的变化趋势规律变得清晰直观,极大地提高了相应地震资料解译处理的正确性。限于篇幅,本文只讨论了地震层速度的地质统计学处理,实际上地震资料处理过程中的许多问题都可采用地质统计学理论来进行分析研究。作者希望本文能起抛砖引玉的作用,使地质统计学在地震资料处理中能得到进一步的应用。

致谢:在作者的研究过程中,承蒙物探局塔里木库勒研究中心的郭忠灿主任、王泽良高级工程师的大力协助,特此致谢!

参 考 文 献

- 1 陆基孟.地震勘探原理.北京:石油工业出版社,1993.641
- 2 何樵登.地震勘探原理和方法.北京:石油工业出版社,1989.397
- 3 王仁铎,胡光道.线性地质统计学.北京:石油工业出版社,1989.260
- 4 Journel A G, Huijbregts C J. Mining geostatistics. London: Academic Press, 1978. 600
- 5 Deutsch C V, Journel A G. Geostatistical software library and user's guide. New York: Oxford University Press, 1992. 340
- 6 Isaaks E H, Srivastava R M. An introduction to applied geostatistics. New York: Oxford University Press, 1989. 561

GEOSTATISTIC TREATMENT OF SEISMIC INTERVAL VELOCITY

Xu Xiaohong Huang Haiping

(China University of Geosciences, Beijing)

Ma Yuzhu

(Tarim Research Center, Bureau of Petroleum Geophysical Exploration, Korkla, Xinjiang)

Abstract

Geostatistic method is an effective approach in studying the distribution of spatial variation including regional variation, variation function, kriged estimate. In seismic data processing, static correction, superficial velocity, time difference, dip angle and curved ray may result in errors in interval velocity calculation. The geostatistic method could find the internal space variation regularity of interval velocity, restrain random error and improve signal noise ratio, thus correcting the error of seismic interval velocity.