

# 消除叠后地震记录相干噪声的时-空变倾角 KL 变换

付燕, 赵荣椿

(西北工业大学 陕西 西安 710072)

摘要:对常规 KL 变换和倾角扫描叠加 KL 变换用于去除地震剖面中相干噪声的情况进行了探讨,指出了它们的适用情况及局限性,并在此基础上提出了去除叠后地震记录中相干噪声的新方法——时-空变倾角 KL 变换。使用该方法既能有效去除强相干噪声,又能较好保持有效信号同相轴的连续性。最后用合成剖面 and 实际剖面证明了该方法的有效性。

关键词 地震勘探 数据处理 常规 KL 变换 倾角扫描叠加 KL 变换 时-空变倾角 KL 变换 相干噪声

中图分类号: P631.4 文献标识码: A 文章编号: 1000-8918(2002)02-0143-05

在地震勘探中去除地震记录的随机噪声和相干噪声以提高地震记录的信噪比是十分重要的问题。KL 变换常被用于从多道地震记录中提取相干信号,消除随机噪声和相干噪声。我们一般认为地震记录剖面上连续相邻地震道共深度点的有效信号具有较强的相关性,而随机噪声不具有相关性,因此可用 KL 变换提取地震记录中相关的有效信号,去除随机噪声。在使用 KL 变换提取地震记录中相关的有效信号的同时,和相关信号有区别的相干噪声也会得到抑制。参考文献 [1] 和 [2] 中论述了使用 KL 变换去除地震剖面中的相干噪声的有关问题。但在使用 KL 变换去除地震剖面中相干噪声时有一定局限性:使用常规 KL 变换处理剖面时,要求剖面中同相轴接近水平,相干噪声具有陡倾角,否则不仅去除相干噪声效果较差,同相轴也会遭到破坏;使用倾角扫描叠加 KL 变换处理剖面时,要求相干噪声能量较弱且和同相轴方向差别较大,否则去除效果不佳。

在研究过程中,使用笔者提出的时-空变倾角 KL 变换去除地震记录中的相干噪声效果较好,并对多种情况均有良好的适应性。该方法主要依据地震记录剖面中相干噪声方向分区,在各区中根据相干噪声方向确定一组倾角,然后进行 KL 变换,这时相干噪声能量主要集中在变换后第一个主分量上,然后使用除第一个主分量外的其余主分量重建剖面,即可较好地去除相干噪声。各分区之间通过斜坡处理平滑地过渡。使用该方法对能量较强的相干噪声也能较彻底去除,且同相轴保持良好。

下面首先讨论采用常规 KL 变换去除相干噪声的适用情况,及采用倾角扫描叠加的 KL 变换去除相干噪声的适用情况,然后讨论本文提出的时-空变倾角 KL 变换去除相干噪声的情况。

## 1 常规 KL 变换去除法

设有  $N$  道地震记录,每道地震记录采样点为  $M$ ,地震数据可用  $M \times N$  矩阵表示

$$X = \begin{bmatrix} x_{11} & x_{12} & \cdots & x_{21} \\ x_{22} & x_{11} & \cdots & x_{2M} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ x_{N1} & x_{N2} & \cdots & x_{NM} \end{bmatrix} \quad (1)$$

它的协方差矩阵定义为

$$C = E\{[X - E(X)][X - E(X)]^T\}, \quad (2)$$

$E(\cdot)$  表示求统计平均的计算。 $C$  是  $N \times N$  阶的实对称正定矩阵,因此  $C$  一定存在  $N$  个互为正交的特征向量,对应的特征值为实数。即

$$C = UAU^T \quad (3)$$

$$U = \begin{bmatrix} u_{11} & u_{12} & \cdots & u_{N1} \\ u_{22} & x_{11} & \cdots & x_{2M} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ x_{N1} & x_{N2} & \cdots & x_{NM} \end{bmatrix} \quad A = \begin{bmatrix} \lambda_1 & 0 & \cdots & 0 \\ 0 & \lambda_2 & \cdots & 0 \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ 0 & 0 & \cdots & \lambda_N \end{bmatrix} \quad (4)$$

$U$  是特征向量矩阵, $A$  为特征值矩阵,其中  $\lambda_1 \geq \lambda_2 \geq \cdots \geq \lambda_N$ 。所以可得到 KL 变换公式为  $Y = U^T X$ , 重构地震记录的公式为  $X = UY$ 。若只取最大的前

$k$  个特征值所对应的特征向量对地震记录重构,可达到提取信号相关特征,去除较不相关特征的目的。

常规 KL 变换主要利用相邻道间信号在同一时刻的相关性提取相关信息,当同相轴为水平且剖面中存在陡倾角相干噪声时,使用常规 KL 变换可以很好地抑制剖面中随机噪声和相干噪声,并且保持水平同相轴。当剖面中存在倾斜或弯曲同相轴时,使用常规 KL 变换去除相干噪声效果较差,并会破

坏倾斜或弯曲同相轴。

图 1 为有水平同相轴和陡倾角相干噪声的合成剖面,图 2 为使用常规 KL 变换去除陡倾角相干噪声后的剖面。由图 2 可以看出,因为在 KL 变换中只选取了最大的特征值所对应的特征向量对剖面进行重建(重构时只取最大特征值对应的特征向量),图 1 中陡倾角相干噪声和随机噪声被去除得比较干净,且图中水平同相轴保持良好。

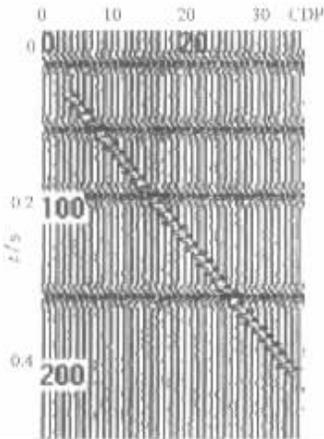


图 1 具有相干噪声的原始合成剖面

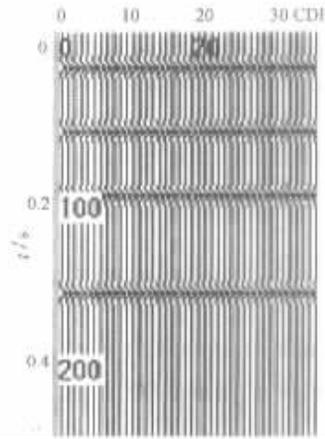


图 2 经常规 KL 变换处理后剖面

## 2 倾角扫描叠加 KL 变换法

倾角扫描叠加 KL 变换是根据地震剖面同相轴方向选择一组倾角,用每个倾角对每道地震数据进行时移以将倾斜同相轴拉平,然后进行 KL 变换后取若干特征向量重建剖面,重建后对剖面进行反时

移,当所有倾角经过上述处理后,将所有得到剖面进行叠加作为处理后输出地震剖面。当剖面中相干噪声能量较弱且其方向和同相轴方向相差较大时,使用倾角扫描叠加 KL 变换去除相干噪声效果较好;当剖面中相干噪声能量较强时,使用倾角扫描叠加 KL 变换不能很好去除相干噪声。

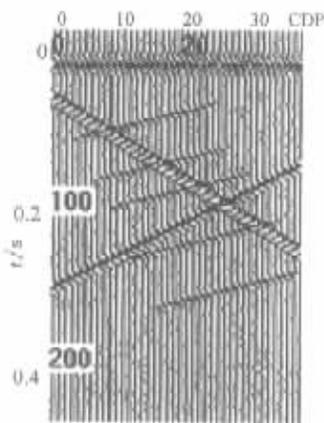


图 3 含相干噪声的原始合成剖面

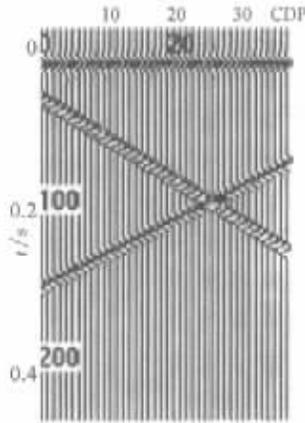


图 4 倾角扫描叠加 KL 变换的剖面

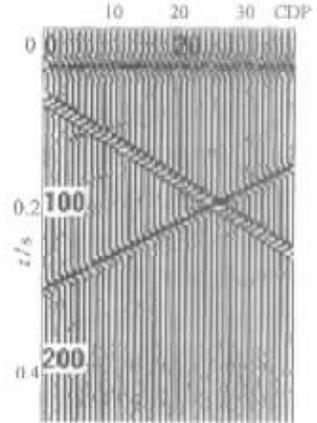


图 5 时-空变倾角 KL 变换的剖面

图 3 为包含一个水平同相轴,2 个具有不同倾角的倾斜同相轴的合成剖面,在剖面中还包含 5 组能量较弱的相干噪声,图 4 为经倾角扫描叠加 KL 变换处理后剖面。由图 4 可以看出,因为在倾角扫描叠加 KL 变换中选取 3 个倾角进行叠加处理,图中水

平、倾斜同相轴保持良好,又因为在使用每个倾角进行扫描处理时只选取了最大特征值所对应的特征向量对剖面进行重建,因此图 3 中相干噪声和随机噪声被去除得比较干净。

但如果相干噪声能量较强时,使用倾角扫描叠

加 KL 变换处理效果不佳。图 6 和图 3 相比所包含同相轴相同,只是所包含相干噪声能量较强;图 7 为其经倾角扫描叠加 KL 变换处理后剖面。由图 7 可

以看出,因为相干噪声能量较强,使用倾角扫描叠加 KL 变换不能很好地去除相干噪声,且同相轴因受相干噪声能量影响连续性遭到破坏。

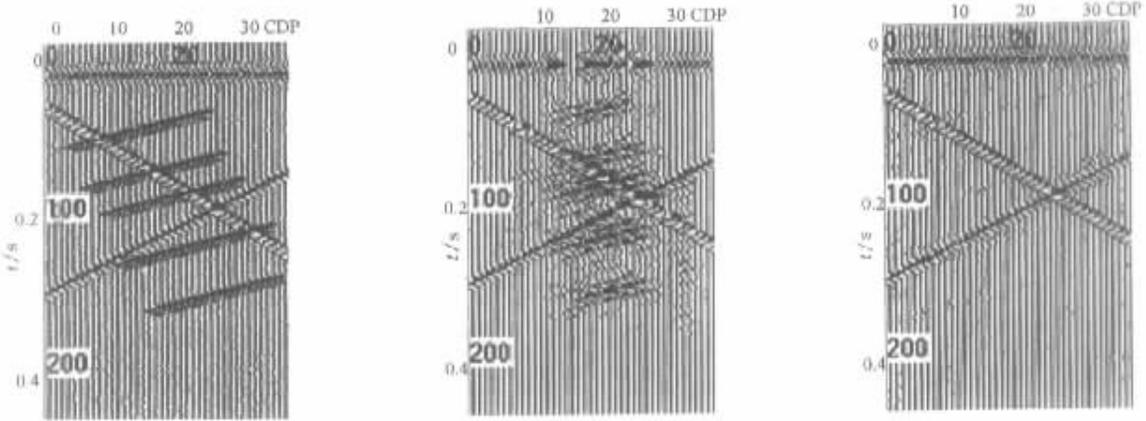


图 6 含相干噪声的原始合成剖面

图 7 倾角扫描叠加 KL 变换的剖面

图 8 时-空变倾角 KL 变换的剖面

### 3 时-空变倾角 KL 变换法

作者在研究使用倾角扫描叠加 KL 变换去除随机噪声和相干噪声的过程中考虑到在有些情况下相干噪声是线性相干噪声,或至少在一定范围内是线性相干噪声,它们具有固定倾角,能量较强,类似于同相轴,因此可使用带有倾角的 KL 变换将其拉平,并提取其相关信号,但在剖面重建时不是保留其相干信号,而是去除相干信号,保留其不相干信号,以达到去除此类相干噪声的目的。

在实际使用中要依据地震记录剖面中相干噪声方向在不同的时间和空间段上对地震记录分区,在各区中根据相干噪声方向确定一组倾角,然后分别进行 KL 变换,这时相干噪声能量主要集中在变换后第一个特征向量上,然后使用除第一个特征向量外的其余特征向量重建剖面,即可较好地去除相干噪声。各分区之间通过斜坡处理平滑地过渡。使用该方法相干噪声去除较彻底,且同相轴保持良好,在处理具有强相干噪声剖面时效果尤其显著。我们将这种根据相干噪声方向分区并分别进行倾角 KL 变换的方法称为时-空变倾角 KL 变换。

图 5 是使用时-空变倾角 KL 变换对图 3 剖面处理后输出剖面,可以看出相干噪声去除较彻底,且同相轴保持良好。图 8 是使用时-空变倾角 KL 变换对图 6 剖面处理后输出剖面,可以看出相干噪声同样去除较彻底,且同相轴保持良好。比较图 4、图 5 和图 7、图 8 可以看出时-空变倾角 KL 变换在相干噪声

能量强时使用效果明显优于倾角扫描叠加 KL 变换,而在相干噪声能量较弱时不如倾角扫描叠加 KL 变换去除噪声干净。

使用时-空变倾角 KL 变换也可处理非线性相干噪声,例如弯曲的相干噪声。首先将弯曲的相干噪声划分为几个部分,各个部分相干噪声近似于线性相干噪声,然后使用时-空变倾角 KL 变换分别对各个部分分别处理,最后通过斜坡处理在各个分区之间平滑过渡。

图 9 为包含一个水平同相轴,2 个具有不同倾角的倾斜同相轴的合成剖面,在剖面中还包含一弯曲的非线性相干噪声,图 10 为使用时-空变倾角 KL 变换对图 9 中剖面处理后结果。在对图 9 中剖面进行处理时,首先将剖面划分为 4 个部分,第一个部分为 0~10 道,第二个部分为 10~25 道,第三个部分为 25~30 道,第四个部分为 30~40 道。在每个部分中,弯曲相干噪声均可被看成是一线性相干噪声,具有固定的倾角,因此可使用时-空变倾角 KL 变换对各个部分分别进行处理,最后将各部分合成完整的剖面。由图 10 可看出,弯曲相干噪声基本被去除干净。

图 11 为具有相干噪声的实际叠加剖面,图 12 是使用倾角扫描叠加 KL 变换处理后剖面,图 13 是采用本文提出的时-空变倾角 KL 变换处理后剖面。由图 12 可看出,使用倾角扫描叠加 KL 变换处理后剖面中相干噪声仍有部分剩余,而在图 13 中相干噪声已基本去除干净,且有效波同相轴保持良好。

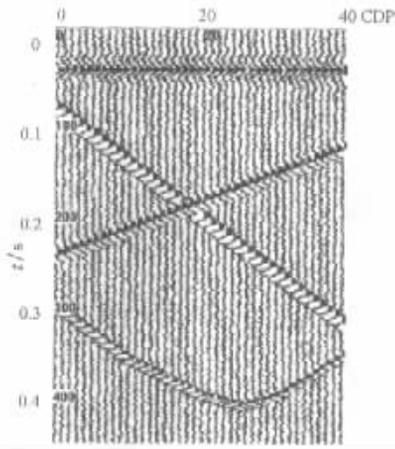


图 9 含弯曲相干噪声的原始合成剖面

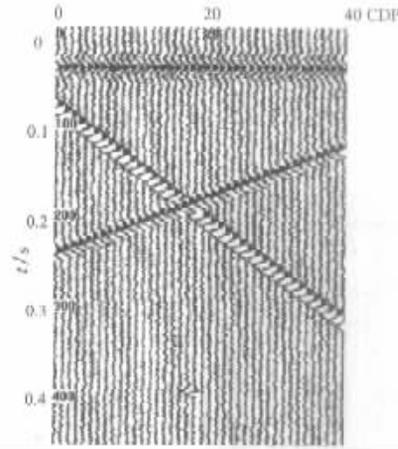


图 10 经时-空变倾角 KL 变换处理后剖面

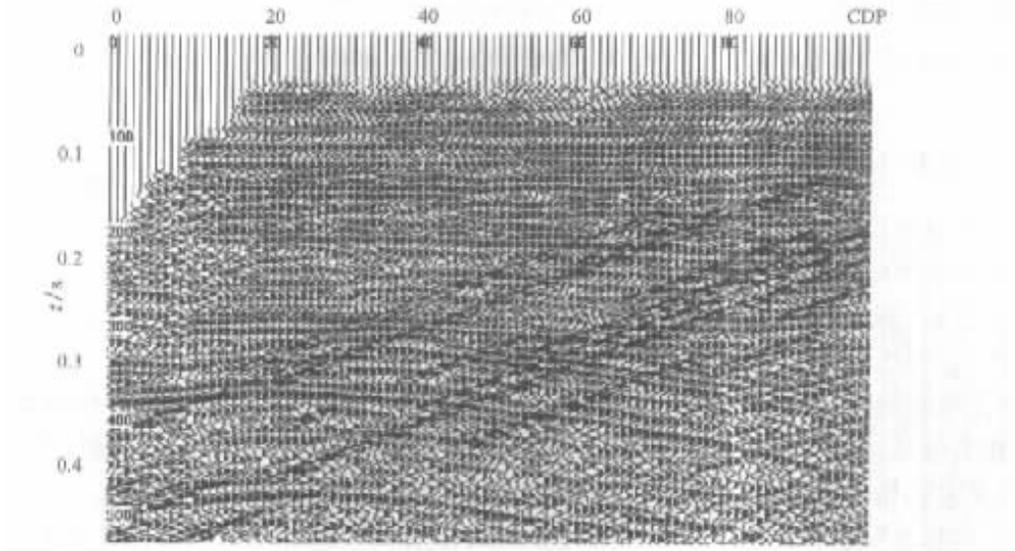


图 11 具有相干噪声的实际叠加剖面

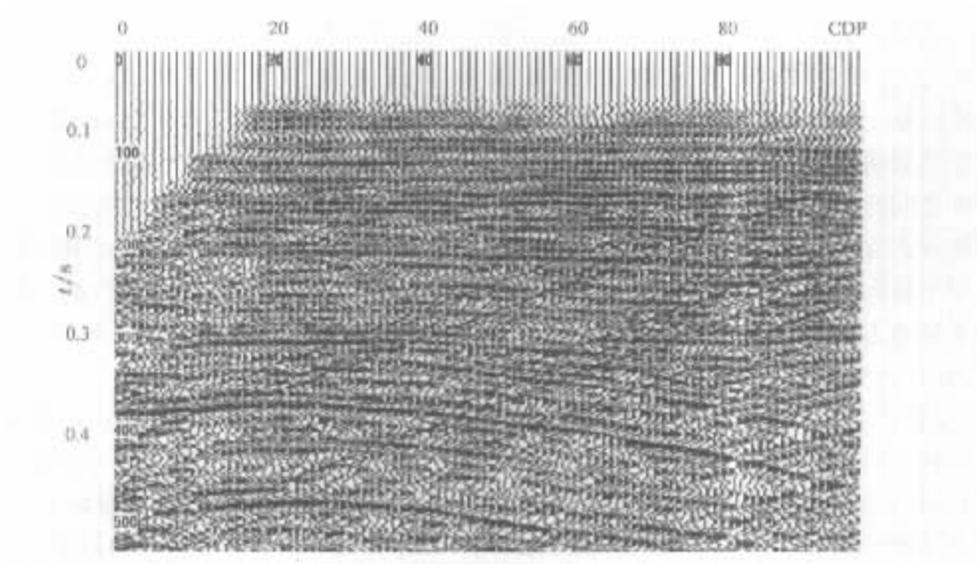


图 12 经倾角扫描叠加 KL 变换处理后剖面

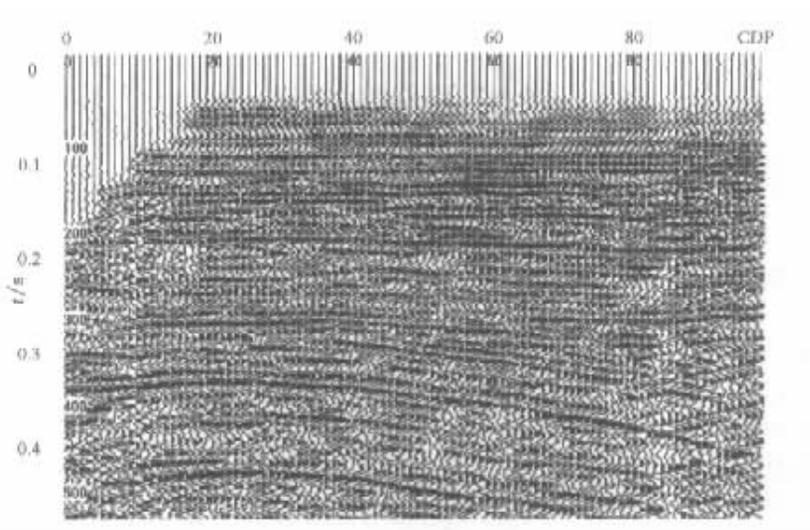


图 13 经时-空变倾角 KL 变换处理后剖面

#### 4 结论

作者提出的时-空变倾角 KL 变换去除地震剖面中相干噪声的新方法,不受使用常规 KL 变换或倾角扫描叠加 KL 变换去除地震剖面中相干噪声时要求相干噪声能量较弱且和同相轴方向差别较大的约束,它对地震剖面上能量强的相干噪声也能较好地去除,并可根据剖面情况灵活处理,在压制强能量相干噪声的同时,良好地保持剖面中有效信息。作者还曾尝试用该方法结合常规 KL 变换或倾角扫描叠加 KL 变换处理地震剖面,先使用该方法去除剖

面中强能量相干噪声,然后使用常规 KL 变换或倾角扫描叠加 KL 变换去除剖面中随机噪声,也获得了较好的效果。使用该方法的缺点是需要详细分析剖面,以便更好地分区并且准确确定相干噪声倾角。

#### 参考文献:

- [1] 岳承祺,唐权钧.用 K-L 变换提高多道地震记录的信噪比[J].石油地球物理勘探,1988,23(5):560-568.
- [2] 蔡仲华,国建凤.应用时空变 KL 滤波消除叠后地震记录相干噪声[J].石油地球物理勘探,1999,34(增刊):53-58.

## THE APPLICATION OF THE SPACE-TIME VARIETY AND DIP ANGLE KL TRANSFORM TO REMOVING COHERENT NOISES IN SEISMIC RECORD

FU Yan, ZHAO Rong-chun

(Northwestern Polytechnic University, Xi'an 710072, China)

**Abstract:** In this paper, the effects of using conventional KL transform and dip scanning stack KL transform to remove coherent noises in seismic record are discussed, with their scopes of application and limitations pointed out. Based on these two methods, the authors suggest a new technique for removing coherent noises, which is called space-time variety and dip angle KL transform. With this technique, we can not only remove the strong coherent noises effectively but also maintain the continuity of effective events. The validity of this technique has been proved by applying it to the synthetic data and the real data.

**Key words:** conventional KL transform; dip scanning stack KL transform; space-time variety and dip angle KL transform; coherent noises

作者简介:付燕(1972-),女,西安科技学院讲师,现于西北工业大学攻读博士学位,主要研究方向为信号处理和计算机信息管理。