

基于四元数的多分量地震数据去噪方法研究

李远芳* 汪超

中国科学院地球化学研究所 贵阳 550018

1. 研究背景

随着现代信息技术和传感器技术的发展进步,地震观测由低维急剧向高维发展。传统的单一纵波勘探逐渐转移到多波联合勘探,采集到的数据也逐渐向三分量、六分量甚至九分量发展。多波多分量地震勘探技术联合了纵横波特性,检波器记录到的多分量地震数据保存了质点在垂直和水平方向的线性运动情况,完整记录了地震波矢量场的信息。矢量场信息有助于更加详细、精确地刻画地下介质的构造、岩性、流体饱和度、孔隙压力、裂缝等特征。但是多波多分量地震勘探的面临的阻碍是多分量地震数据的处理还处于研究阶段,相关的配套技术欠缺,后续的解释无法进行。由于横波的频率低,衰减多,多分量地震资料信噪比很低,为了对后续的处理和解释流程提供支撑,必须对多分量地震数据进行去噪处理。目前对于多分量地震数据的处理,通常是把矢量场的多分量数据分解成几个标量场数据,对各分量单独处理。标量处理容易破坏矢量数据的相对振幅关系,未能充分挖掘多分量数据携带的矢量信息。因此保矢量特征的矢量场处理,尤其是多分量地震矢量数据的去噪处理是当前发展多波多分量地震技术的一个重要方向。

2. 方法与模拟实验

本研究利用四元数在形式和性质上利于处理矢量数据的特点,对多分量矢量地震数据进行去噪处理。四元数(Hamilton, 1844)由一个实部和三个虚部组成,形式上很适合表达多分量的数据,其在描述和分析处理三位空间的矢量运动上也有独特的优势。因此根据四元数的性质,建立多分量地震数据的四元数形式,再对四元地震数据进行滤波处理,可以达到矢量场的多分量地震去噪目的。以四元数 Cadzow 滤波为例,具体的方法步骤如下:

- 1) 建立多分量地震数据的四元数形式: $Q=p+ix+jy+kz$;
- 2) 四元数傅里叶变换将 Q 变换到频率域;
- 3) 抽取四元频率切片构建 Hanke1 矩阵;
- 4) 对四元矩阵进行 SVD 降秩去噪。

实际的研究中,我们对一个 501 个采样点,32 道的三分量合成地震记录进行了四元数 cadzow 滤波处理。合成地震记录的参数为主频 40Hz,采样率为 2ms,每条同相轴的振幅不同。由于有五条倾斜的同相轴,因此奇异值分解保留前 5 个秩进行降秩重构。由于篇幅限制,只展示三分量结果中的 X 分量结果。滤波的结果如图 1 所示:

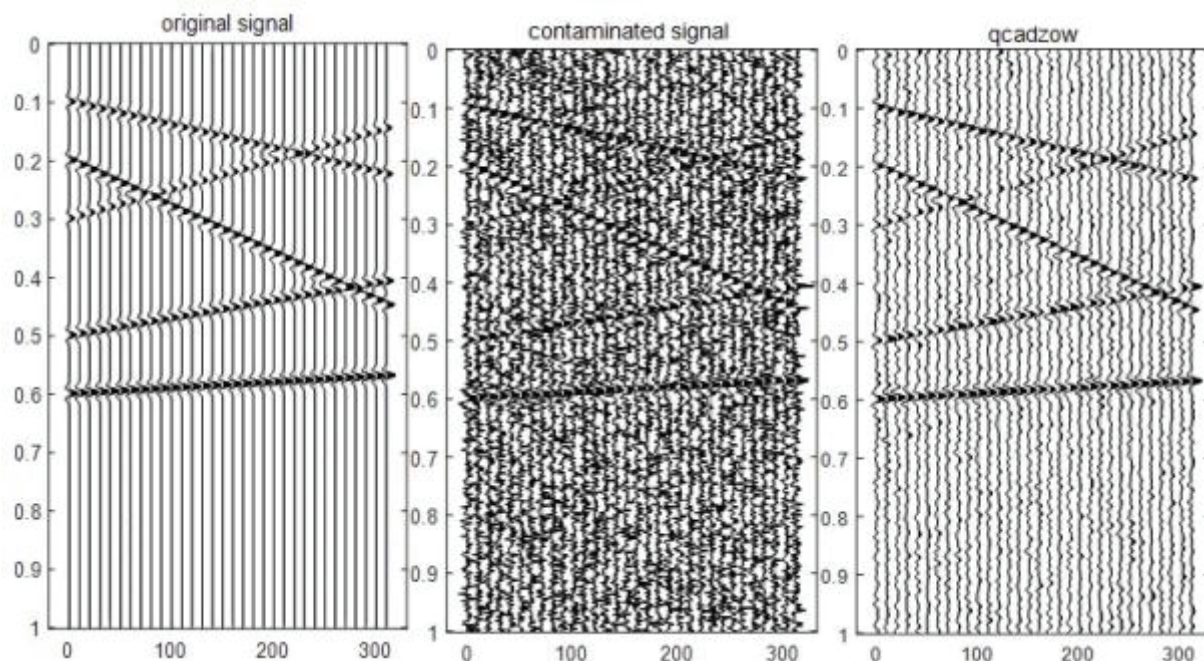


图1 四元数 cadzow 滤波. (a) 原始信号 (b) 带噪信号 (c) 去噪结果

结果表明四元数可以用于多分量地震数据处理中, 可以显著提升地震资料的信噪比。然后, 我们加入了更大的随机噪声, 测试了对于较低信噪比的信号, 普通的单分量 cadzow 滤波和四元数 cadzow 滤波的效果差异。对于 x 分量, 从图 2 中可以看出有效信号几乎被噪声淹没了, 同相轴几乎不可见。而从图 3 恢复的效果来看, 对于极低信噪比的信号, 四元数 cadzow 滤波的效果要好于单分量的 cadzow 滤波。当然, 由于引入的噪声过大, 降秩恢复重建后的数据也携带了一些噪声。

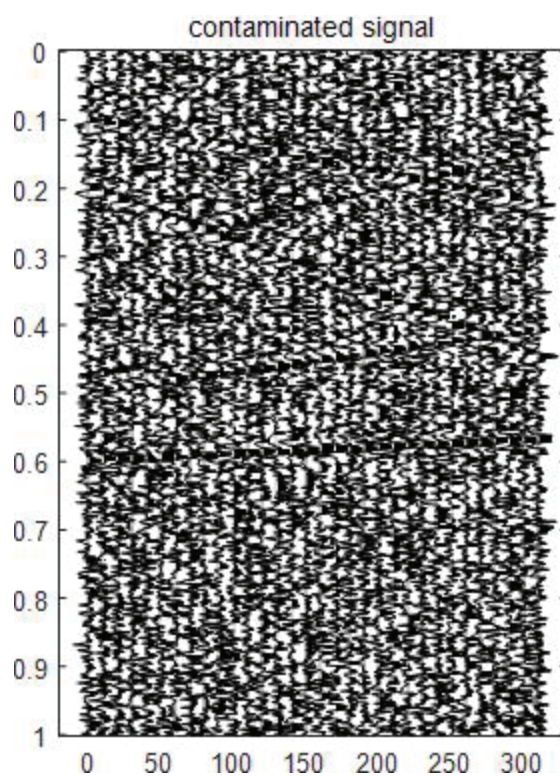


图2 信噪比较低的带噪信号

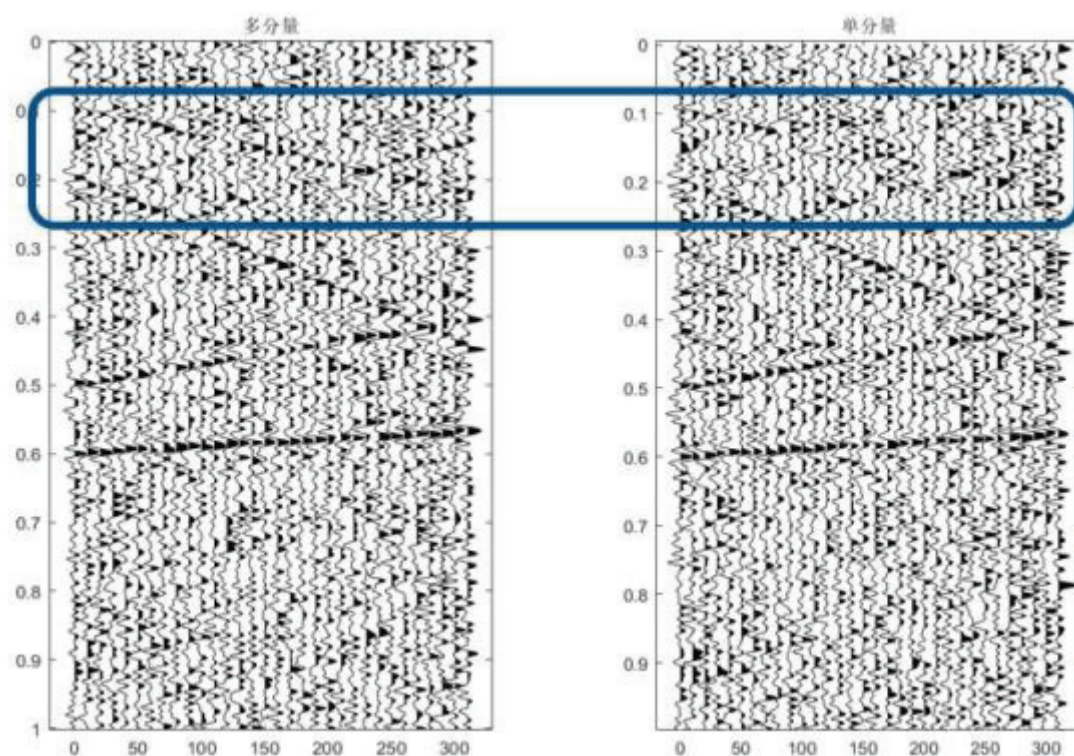


图3 四元数 cadzow 矢量与 cadzow 标量滤波. (a) 多分量滤波结果 (b) 单分量滤波结果

3. 结论与展望

研究表明四元数能较好的保持矢量波场的振幅不畸变, 保真性比传统的单一分量滤波要好。但是四元数 cadzow 滤波依然不能把噪声去除干净, 还保留一些低频噪声。如何进一步利用四元数改善滤波的效果, 以及建立起一套较完整的数据处理流程, 是下一步研究工作的重点。

参考文献

- [1] Hamilton W R. On quaternions, or on a new system of imaginaries in Algebra[J]. Philosophical Magazine, 1844, 29(191):425-439.
- [2] Tricket S. F-xy Cadzow noise suppression[J]. Expanded Abstracts of 78th Annual Internat SEG Mtg, 2008, 2586-2590.
- [3] Mazzotti A, Sajeve A, Menanno G, et al. Application of quaternion algorithms for multicomponent data analysis: a review[J]. Bollettino Di Geofisica Teorica Ed Applicata, 2012, 53(4):523-537.
- [4] Bihan N L, Mars J. Singular value decomposition of quaternion matrices: A new tool for vector-sensor signal processing[J]. Signal Processing, 2004, 84(7):1177-1199.