

Research on Reservoir Characterization of Thin-layer Reservoir Based on Compression Perception—Taking the Fei-3 Member in Northeastern Sichuan Basin, China as an Example

Yarong Wei

Zhongyuan Oilfield Exploration and Development Research Institute, Puyang, Henan, 457000, China

Abstract

With the large-scale natural gas reservoirs in China approaching the end of exploitation, complex carbonate thin-bed beach gas reservoirs have become an important target for oil and gas exploration. This type of reservoir is thin and difficult to predict by earthquakes, which is a current research hotspot and difficult problem. In the seismic data acquisition process, the energy is weakened due to the absorption and attenuation of the surface, and the seismic data frequency band is narrowed. The paper uses the principle of compressed sensing method to broaden the effective frequency of seismic data, improve the quality and resolution of seismic data, carry out thin layer recognition, and achieve good geological application results.

Keywords

Fei-3 member; thin-layer reservoir; earthquake prediction

基于压缩感知的薄层滩体储层刻画技术研究——以中国川东北地区飞三段为例

魏亚荣

中原油田勘探开发研究院, 中国·河南 濮阳 457000

摘要

随着中国大型天然气藏即将进入开采末期, 复杂的碳酸盐岩薄层滩体天然气藏成为油气勘探的重要对象。这类储层厚度薄, 地震预测难度大, 是目前的研究热点和难题。在地震资料采集过程中, 由于地表吸收衰减导致能量减弱, 地震资料频带变窄。论文通过采用压缩感知方法原理, 拓宽地震资料的有效频率, 提高地震资料品质及分辨率, 开展薄层识别, 取得良好地质应用效果。

关键词

飞三段; 薄储层; 地震预测

1 引言

薄层预测一直是地震勘探技术的难点, 不断提高地震分辨率是技术的发展方向。中国四川盆地川东北地区的地震资料通常频谱分析的主频范围为 30~40Hz, 主频为 15~30Hz。通常认为地震资料分辨地下介质的能力为地震分辨率, 陆基孟在地震勘探原理中将时间分辨率的极限定义为 1/4 地震波长。以四川盆地川东北地区飞仙关组地层为例, 地震资料由于上覆膏盐岩影响, 主频偏低, 在 25Hz 左右, 地震传播速度约为 5000~6000m/s, 在这种情况下仅能分辨 50m

以上的地层。飞三段在地震上体现为单轴, 储层单层厚度往往只有不到 10m, 总厚度只有三四十米, 远小于 1/4 地震波长, 因此地震识别难度大, 用常规的地球物理方法刻画礁滩相难以识别薄储层^[1]。在地震资料采集过程中由于地表吸收衰减导致高频信息与低频信息的缺失降低地震资料分辨率, 由于频宽不足限制了薄层的识别, 通过数学算法恢复地震资料中缺失的高低频信息是提高地震分辨率的关键。

目前, 提高地震资料分辨率的方法, 如常规处理方法(普均衡、谱白化、q 补偿), 存在信噪比低、保真度低、保幅性差, 与并不匹配的情况; 而常规地震反演方法对薄储层难以进行精确预测, 只能粗略反映厚层或薄层组合的综合响应, 还不能有效识别飞三段这样的薄层。

【作者简介】魏亚荣(1985-), 女, 中国山西吕梁人, 工程师, 从事地球物理方面的研究。

2 压缩感知技术原理

压缩采样在英文中称为 Compressive Sampling。这一获取信号的方法是由 D.Donoho、E.Candes 及陶哲轩等人提出的。传统方法中低于 Nyquist 采样率的条件下是无法恢复有效信号的。压缩感知的先进性在于通过低于 Nyquist 采样率, 仅使用少量的采样数据也可以精确恢复出原始信号。Compressive Sampling 使用一个投影操作解决恢复问题。通过将高维信号投影到一个低维空间减少了大量的非重要数据。降维操作使得原始信号的精确恢复成为可能。

通常压缩感知理论的线性观测过程可以用一个 $M \times N$ 的矩阵 Φ 表示, 对信号 X 观测得到的 M 个观测值为 $y_j = \langle X, \phi_j \rangle, j=1, 2, \dots, M$, 其中 y_j 是向量 Y 中的第 j 个元素, ϕ_j 是观测矩阵 Φ 的第 j 行向量, 写成矩阵形式为:

$$Y = \Phi X \quad (1)$$

在公式 (1.1) 中, $X \in R^N$ 是原始信号向量, 测量矩阵 $\Phi \in R^{M \times N}$, 线性测量值 $Y \in R^M$ 。式 (1) 通过采用内积的方式表述线性测量模型, 这一模型在地震勘探中同样适用, 也即用式 (1) 来表述地震采样及地震数据压缩等问题。

假设在地震采集中获取的信号 X 长度为 N , 这一信号即可表述成正交基线性组合的形式, 即可写成:

$$X = \sum_{\theta}^N \theta \phi \text{ 或 } X = \Psi \theta \quad (2)$$

其中, X, θ 为 $N \times 1$ 的列向量, Ψ 为 $N \times N$ 矩阵且 $\theta = \langle X, \phi \rangle = \phi^T X, \psi = [\phi_1, \phi_2, \dots, \phi_N]$, 那么利用正交基特性, 其变换系数可写成如下所示矩阵形式:

$$\theta = \Psi^{-1} X \quad (3)$$

地震资料采集相当于对连续的地震信号进行稀疏采样, 由于采样密度的原因, 我们获取的地震数据相当于一个与正交基不相干的观测矩阵对原始地震信号的欠采样, 欠采样后仍然保留着原始地震信号的恢复信息。那么假设存在一个不相关的 $M \times N$ 维观测矩阵, 结合式 (1) 和 (1) 可获得压缩感知理论中信息采样的基本表达式:

$$Y = \Phi X = \Phi \Psi \theta = A \theta \quad (4)$$

其中, $A = \Phi \Psi$, 是 $M \times N$ 的矩阵。

在地震数据处理中若已知地震信号具有稀疏特性对这种信号的优化进行近似转化, 通常采用求解 L_1 范数的极小值作为零范数的凸近似来获得稀疏解数列。

$$\min \|\theta\|_1 \text{ 且 } A\theta = Y \quad (5)$$

由此, 一个通过压缩感知完成的信号处理过程就完成了。

3 基于压缩感知反演提频处理

压缩感知反演提频利用地震资料的部分谱信息在 L_1 范数

稀疏约束下原始地震数据频带宽度得到了提高, 更高的频宽为薄层的识别提供了条件^[2]。

以工区内 a 井为例, a 井飞三段单井钻遇储层 42m/10 层, 单层厚度位于 2~6m 之间。而在地震剖面上对应中强振幅且相对低频的波峰, 不能有效反映薄储层。通过压缩感知提频反演提高分辨率处理后, 飞三段对应的一个波峰变成了三峰三谷, 其中的两套波谷到波峰相位与单井钻遇的两套薄层对应, 能有效区分薄储层 (见图 1)。

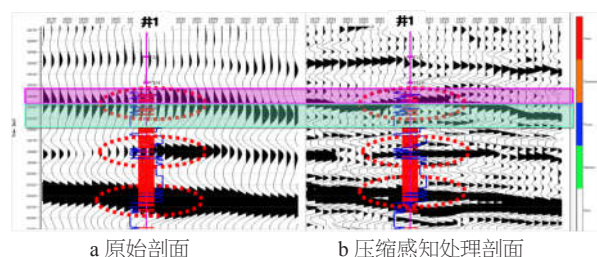


图 1 压缩感知前后地震剖面与单井储层钻遇对比

同时, 对比压缩感知反褶积前后频带宽度, 有效扩大了频带范围, 高频从 75Hz 提升到了 115Hz, 提高了地震资料分辨率, 同时低频的信息几乎没有被影响。

4 压缩感知数据解释薄储层

压缩感反演通过对地震信号进行稀疏变换, 之后采用非线性的重建优化方法对连续地震信号进行有效恢复这一过程中剔除噪声影响, 可以提高地震数据的分辨率, 在此基础上地震数据薄层识别能力得到了提高^[3]。

在基于压缩感知反褶积的地震资料基础上, 通过开展地质统计学反演刻画滩体储层, 预测精度得到进一步提升, 预测结果与钻井情况更匹配。飞三的单层往往只有不到 10m, 总厚度只有三四十米, 叠后压缩感知反褶积提高分辨率处理后, 通过开展地质统计学反演进行预测, 结果和井上更匹配 (见图 2)。

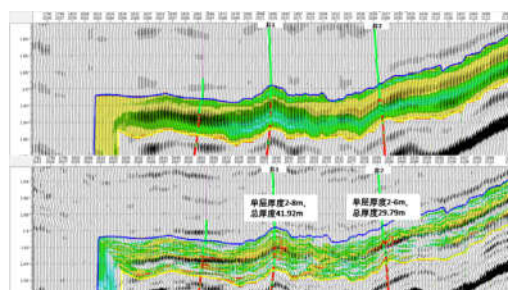


图 2 常规叠后反演与基于压缩感知的地质统计学反演剖面对比

5 结论

通过对部分地震资料采用 L_1 范数约束方法进行稀疏脉冲

(下转第 84 页)

文预报精度和系统可靠性等方面予以控制,详细记录相关信息并上报给主管部门。对其他单位的水文自动测报系统进行分析,了解使用情况及存在的问题,在水文自动测报系统设计和方案编制中更具针对性。特别是在规划论证中应该确保第三方机构具有良好的资质,以实现方案的全面优化和系统功能的合理设计。系统建设及运行中应该制定严格的技术标准体系,通过试运行的方式了解系统运行特点,以确保系统在汛期能够获得可靠的水文信息。预报流量和过程实测流量对比如图2所示,其准确率相对较高,因此可以投入运行。

月/日	预报日均流量 $/(\text{m} \cdot \text{s}^{-1})$	实测日均流量 $/(\text{m} \cdot \text{s}^{-1})$	相对误差 $/\%$	准确率 $/\%$
07/15	290	264	9.85	90.15
07/16	348	389	-10.54	89.46
07/17	435	444	-2.03	97.97
07/18	391	367	6.54	93.46
07/19	352	351	0.28	99.72
07/20	334	302	10.60	89.4
07/21	321	304	5.59	94.41

图2 预报流量和过程实测流量对比

4 结语

中心站、遥测站和中继站等,是水文自动测报系统的主

要组成部分,只有确保各个子系统的良好运转,才能在水库防汛调度中发挥关键作用,防止受到洪涝灾害的威胁,以加快社会稳定发展。在应用水文自动测报系统时,应该从站点布设、通信方式选择、设备配置、预报方案编制和可行性研究等方面入手,掌握系统应用的要点,从而保障防汛调度工作的顺利开展,在保障水文信息精确性、真实性和全面性的基础上,提高防汛调度整体成效,以创造良好的社会效益。

参考文献

- [1] 姜洪友.结合水情自动测报系统实现上游水库泄洪监测的意义分析[J].科技经济导刊,2021,29(11):132-133.
- [2] 张群.辽宁省水文自动测报系统智慧化运行维护方案研究与设计[J].水利技术监督,2020(3):70-73.
- [3] 张丹阳.水文自动测报系统RTU编码方式及部署原则浅析[J].科技经济导刊,2019,27(21):7.
- [4] 邵明万.探析息烽县龙漩涡水库工程的水文自动测报系统[J].黑龙江水利科技,2019,47(5):79-80.
- [5] 高运法,徐洁,钟鸣.水库自动测报系统对流域水文站洪水还原的作用分析[J].陕西水利,2019(4):74-76.
- [6] 董磊.水库水文自动测报系统集成设计及应用分析[J].黑龙江水利科技,2018,46(5):177-179.

(上接第75页)

反射系数反演,以井1和井2为例,通过处理后获得的地震资料比原始资料频带更宽,高频成分得到了明显提升,与单井钻遇的两套薄储层完全匹配,可以有效区分薄储层。在此基础上开展地质统计学反演,在纵向上实现5m左右薄层的描述,在纵向上实现了储层的精细刻画。

参考文献

- [1] 俞寿朋.高分辨率地震勘探[M].北京:石油工业出版社,1993.
- [2] 李庆忠.走向精确勘探的道路——高分辨率地震勘探系统工程剖析[M].北京:石油工业出版社,1994.
- [3] 邵文泽,韦志辉,肖亮,等.压缩感知基本理论:回顾与展望[J].中国图象图形学报,2012,17(1):1-12.