

应用振动噪声的频率谐振效应对地球进行成像

薛爱民¹⁾, 李达²⁾, 宋红星¹⁾, 张安家¹⁾

1) 北京派特森科技股份有限公司, 北京, 100085; 2) 武汉科技大学, 武汉, 430081

关键词: 地震勘探; 频率谐振; 成像

常规的反射地震勘探方法技术已经经过百年时间的发展, 但仍然存在许多勘探技术问题难以很好地解决, 造成对诸多勘探目标难以精确成像。这些技术性问题包括: 浅层勘探盲区、无明显界面地质体、高角度地层以及火成岩与变质岩地区地质体成像等。最近, 我们发明了一项新的地震勘探技术——地震频率谐振勘探方法技术 (薛爱民, 2019), 使得这些问题有望得到较好解决。该方法技术利用地球噪声对固体介质的谐振响应原理进行勘探, 收到了良好的效果。它具有如下特点: ①不需要地震震源; ②在地面接收地球表面噪声; ③单点数据采集时间短; ④可对地下介质的密度、波阻抗进行成像。应用表明 (Guo Lin et al., 2020; Xue Aimin, 2020; 李华等, 2020), 该技术对地下介质波阻抗和密度差异反映灵敏, 可以在诸如火成岩、变质岩等复杂地质结构区进行地质结构和属性成像, 从而, 可直接应用于城市地质勘察、资源勘察、灾害地质勘察以及地球深部地质研究。

1 地震频率谐振勘探的基本原理

1.1 地球表面振动噪声的频率谐振

地球表面噪声具有不同的来源, 其频率范围从低于千分之一赫兹一直到超过了数千赫兹。由于地球从表面到深部具有从低速度向高速度变化的特征, 所以, 地震波从深部向地面的传播过程中将遵循最短路径规则, 亦即, 地震波到达地表时均近似地垂直。我们假设地球介质是近似层状的结构, 近似垂直地到达地面的地震波场均穿越了层状地层。这些地层本身都有其固有的振动频率, 当地震波在穿越该地层时, 部分与地层固有频率接近的波场振幅将发生共振被显著放大。地球表面测量得到的振动噪声统计学意义上均为各频率对地层的谐振产

物, 高频谐振发生在浅部地层内, 低频谐振发生在深部地层内, 在深部地层即使存在高频谐振由于传播过程中经过地层的衰减也难于到达地表, 没有经历过谐振的地震波能量级别将会很小。

1.2 振动噪声的频率谐振效应可以用于勘探

根据地震波传播理论, 波场从地下传播到地面可以写出明确的传递函数公式

$$M_{(\text{理论})} \propto \text{FUNC} \left\{ 1 / \left[\cos^2(\theta) + \frac{\Omega_1}{\Omega_2} \sin^2(\theta) \right] \right\}$$

其中 Ω_1 和 Ω_2 分别是介质上下层的波阻抗。

在地震波为平面波假设和统计学意义前提下, 我们可以从地面测量获取的地震噪声振幅谱中提取到仅仅与地质参数有关而与噪声源振幅水平无关的波场传递函数。基于地面测量的噪声振幅谱均为谐振产物的统计学之认识, 传递函数仅仅是地层波阻抗的函数, 如果简化成均匀大地上方单层地层状况, 则传递函数就是两层大地波阻抗的比率。

由此, 在已知地质参数位置 (如钻井、已知勘探剖面), 人们可以获得计算的理论传递函数 $M_{(\text{理论})}$, 又在地表面测量获得了测量的地震波的传递函数 $M_{(\text{测量})}$, 由此就实现了两者拟合进行地质参数反演的目标。这些地质参数包括波阻抗, 地层厚度, 密度等。

参数反演是地球物理惯常作业过程。这个过程可能相当复杂, 也可能非常简单。我们提出的一种简单技术方案 (薛爱民, 2019), 亦即, 将地层深度作为地层厚度简化处理, 使快速近似反演成为可能。

2 地震频率谐振方法技术操作规程

对应常规的时间域反射地震勘探方法, 地震频

率谐振勘探方法属于频率域地震勘探方法,它是依靠不同频率的地震噪声振幅谱评估地下不同深度地质体的几何与属性特征。通常的勘探布局可以是二维剖面性勘探,或是三维阵列式勘探,也有特殊情况——一维点状勘探。数据采集应用数字采集站,可以采集单一垂直分量振动信号,也可以采集多分量振动信号。采集的信号经过傅里叶变换到频率域,并进行同频率信号叠加以消除非地质属性的随机噪声。采集时间最大长度由所勘探的深度决定,对于 1500 m 深度的勘探目的层而言,一般要求采集时间大于 60 min; 对于 100 m 勘探目的层而言,一般采集时间大于 5 min, 其它类推。信号处理过程有些步骤类似于反射地震勘探中的方法,需要对数据进行预处理和常规叠加以及频率域向深度域的转换,最终形成波阻抗比率或波阻抗剖面,以及密度剖面等。预处理也包括常规的滤波,振幅校正等。数据的地质解释内容相对复杂些,解释员既可以从成像剖面中解释出岩石构造特征还能解释出属性特征,因为该方法技术的成像剖面地质信息远超常规的反射地震勘探剖面。

3 地震频率谐振勘探方法技术实例

图 1 为应用地震频率谐振勘探方法技术对古生界地层下伏花岗岩区进行勘探的实例。根据勘探结果对剖面进行了岩层划分和采空区推断。令人惊奇的是对花岗岩风化壳的划分精度超出了人们通常对地球物理勘探精度的认识。根据该区的一口勘探井证实了本勘探方法技术对沉积岩地层、侵入岩体结构和断裂带发育特征等复杂地质结构的勘探能力和精确性。

图 2 是应用地震频率谐振勘探方法技术在规划煤层气水平井地质设计中实施的一条地震频率谐

振勘探剖面。该剖面为波阻抗比率剖面,它精细刻画了 1100~1250 m 深度范围内煤层位置与走向、断层与褶皱位置和性质,从而引导水平井钻探工程顺利完工。该地区原有二维地震勘探剖面,但剖面难以明确显示出煤层的细小构造变化情况,造成煤层气水平井地质设计出现困难。

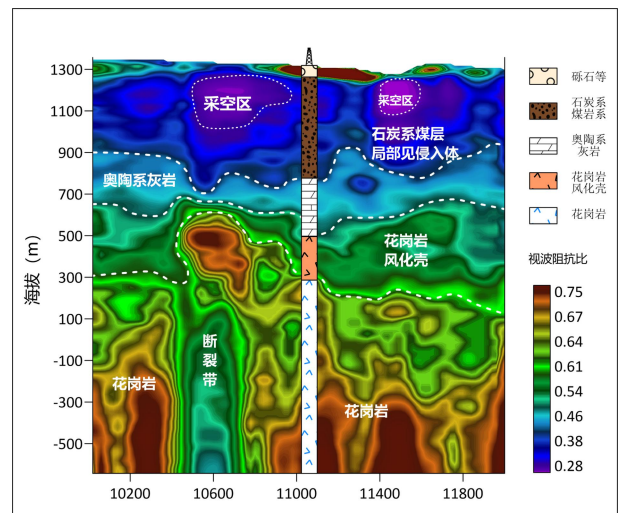


图 1 地震频率谐振勘探方法技术对古生界和其下花岗岩勘探的波阻抗比率剖面

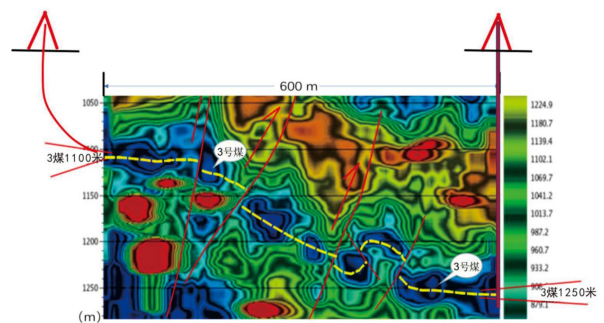


图 2 地震频率谐振勘探方法技术在煤层气水平井地质设计中的应用的波阻抗剖面

参 考 文 献 / References

- 薛爱民. 2019. 被动源地震频率谐振勘探方法. 中国国家专利局, 申请号 CN110954943A.
- 李华, 杨剑, 王桥, 王东辉, 舒律, 张伟, 韩浩东, 王亮. 2020. 结合混合源面波与三分量频率谐振的浅震勘探在城市地质结构精细划分中的应用. 地球物理学进展, 35(3): 1149~1155.
- Guo Lin, Gong Huili, Li Jiwei, Zhu Lin, Xue Aimin, Liao Lin, Sun Ying, Li Yongsheng, Zhang Zhenxin, Hu Leyin, Gao Mingliang, Zhou Chaofan, Cheng Rui, Zhou Jiahui. 2020. Understanding Uneven Land Subsidence in Beijing, China, Using a Novel Combination of

Geophysical Prospecting and InSAR. Geophysical Research Letters, 47, Aug.

- Xue Aimin. 2020. Seismic frequency resonance prospecting —a new geophysical exploration technique. Session: T033. International deformation: From the surface to the upper mantle III posters. Poster number: T033—0013.

XUE Aimin, LI Da, SONG Hongxing, ZHANG Anjia: Image the earth with the frequency resonance effect of vibration noise

Keywords: seismic prospecting; frequency resonance; imaging