

浅部结构背景噪声自相关成像方法数值实验研究

赵策^{1 2*} 赵亮^{1 2}

1 中国科学院地质与地球物理研究所岩石圈演化国家重点实验室 北京 100029; 2 中国科学院大学 北京 100049

地震干涉法是一种利用相干原理从背景或混沌无序的环境噪声中提取有效信息,并用于地下成像的方法。地震干涉方法起源于主动源地震勘探(Claerbout, 1968),目前广泛应用于垂直地震剖面(VSP)成像,海洋沉积层多次波成像,随钻地震成像,被动源背景噪声面波反演等,探测深度可在浅地表,深部可达上地幔。地震干涉技术发展至今,对于主动源地震干涉法研究已经较为成熟,被动源背景噪声面波提取也较为成熟,而针对被动源体波提取及浅部结构研究较少,原因之一是从被动源背景噪声中提取体波难度较大,对台阵分布和数据质量要求也较高,近年来才开始有所发展(Wang et al, 2015; Taylor et al, 2016; Pham and Tkalcic, 2017; Brenguier et al, 2019)。本文从弹性介质中的声波方程出发,利用被动源背景噪声提取体波进行浅部结构成像展开数值模拟研究。

两台站背景噪声做互相关的结果,相当于一台做虚拟震源另一台接收到的记录,即两台站间的经验格林函数。故可以通过两个被动源台站的互相关重构出一台站作为虚震源到另一台接收的记录,其本质为利用干涉法将被动源台阵探测转化为拟主动源勘探,该方法具有环保,降低成本等优势。当两台站间距无限小时,互相关便成了单台自相关,自相关结果相当于零偏移距的格林函数,这便回到Claerbout (1968)的干涉原理(Romero and Schimmel, 2018)。单台自相关相较于互相关重构拟主动源道集再成像的方法,具有台站间互不影响,数据采集更为灵活,进一步降低数据处理成本等优势。

本文在前人研究基础上,对于 4 km 深度以浅的结构,采用背景噪声干涉理论进行了数值模拟实验。设计了含高速高密度矿脉($V_p=5.0$ km/s, $\rho=4.8$ kg/m³)的理论模型,利用有限差分法模拟了 30 Hz 体波频率的噪声数据,首先对 120 s 长度模拟噪声记录分别进行了互相关叠加成像(Thorbecke and Draganov, 2011; Cao, 2016)与自相关成像,分析对比了两种方法的成像效果;然后分别对 30 s, 60 s, 120 s 模拟记录进行了自相关成像;最后对比了 50 m, 250 m, 500 m 三种台站间距的成像效果。结果表明:(1)与互相关叠加成像比,在同等成像质量下,背景噪声自相关方法可利用单台记录直接对地下结构进行成像;(2)自相关方法具有进一步降低数据处理成本,且不需要速度模型等优势,具有很好的应用前景;(3)背景噪声记录时间越长,自相关成像效果越好;(4)台站间距越小,成像效果越好,当采用密集台阵常用的 500 m 台间距时,数值模拟表明选用 30 Hz 体波仍然具有较好的成像效果,可在实际应用中加以尝试。研究结果为后续背景噪声自相关成像方法的实际应用及弹性波干涉理论的发展奠定了基础。

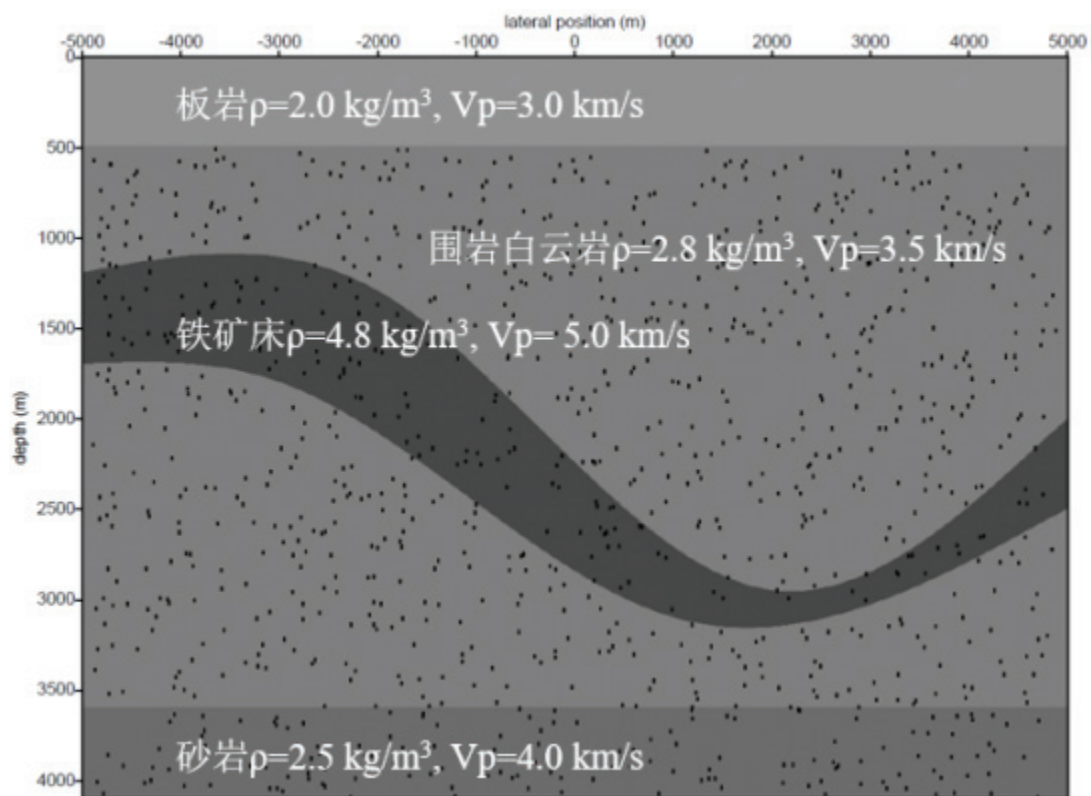


图 1 矿脉模型

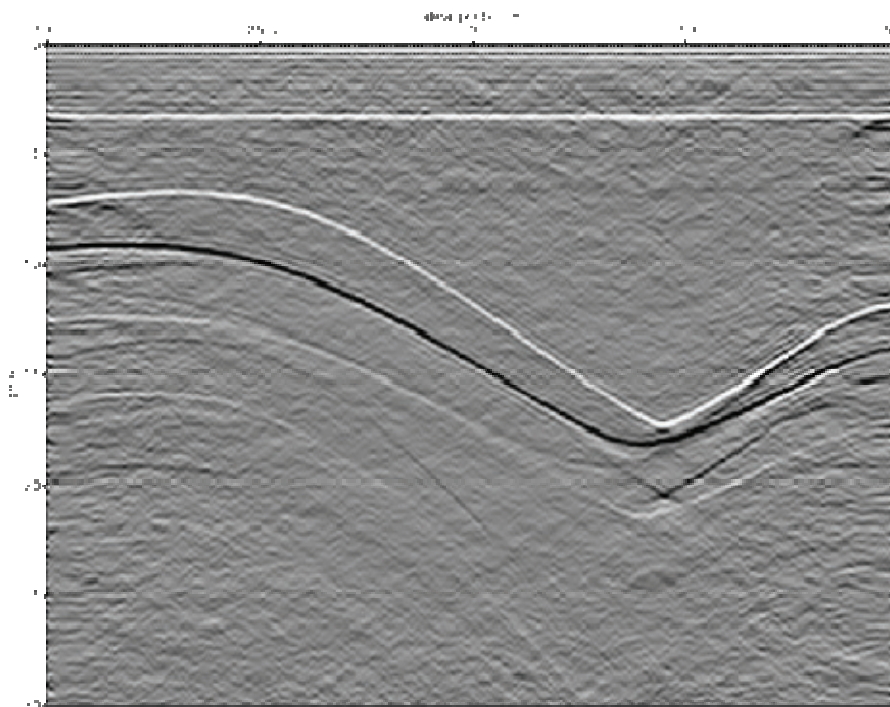


图 2 120 s 噪声记录 50 m 台间距互相关叠加成像 (满覆盖 100 次叠加)

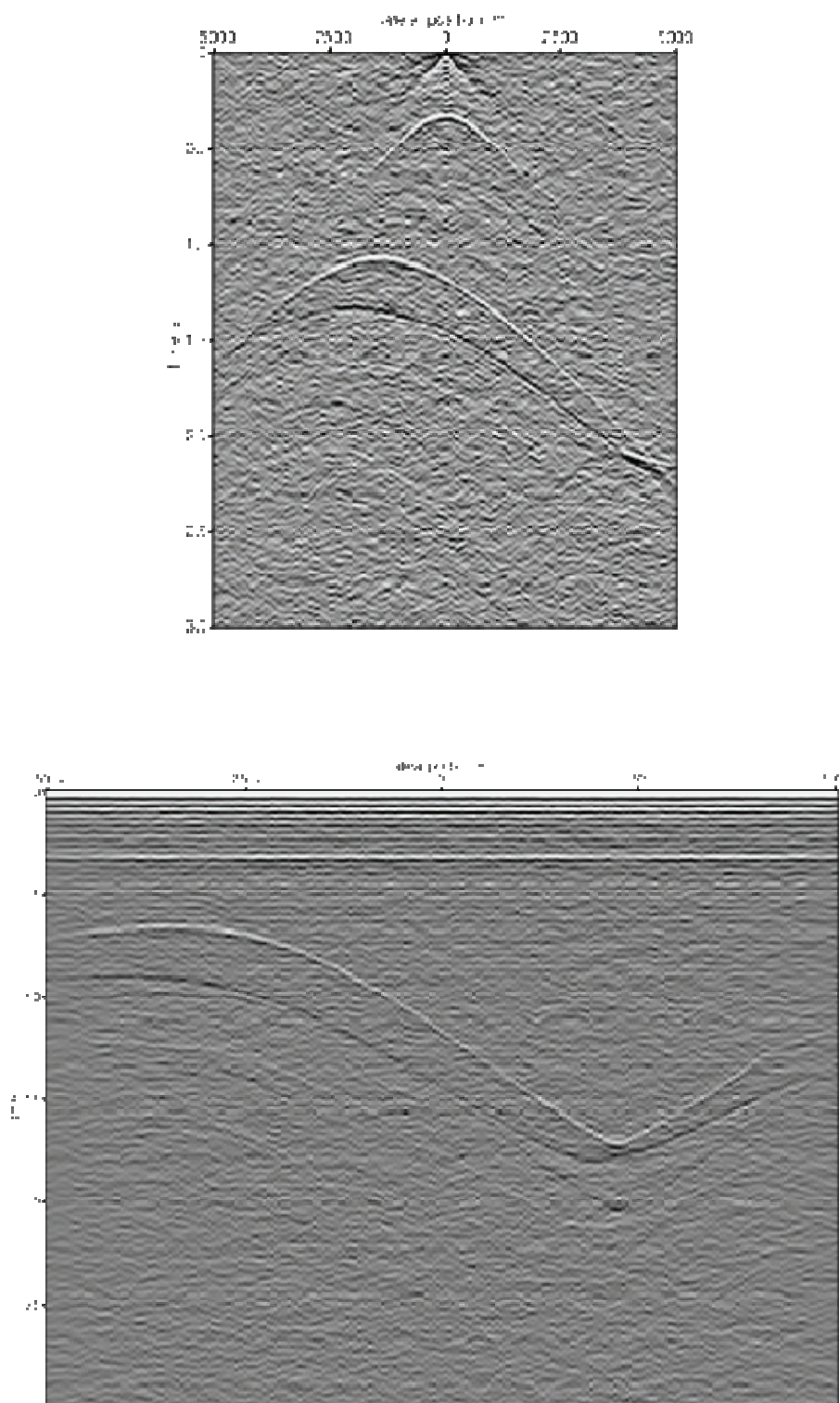


图 3 120 s 模拟时长 50 m 台间距互相关重构单炮记录（上）与自相关直接成像对比（下）

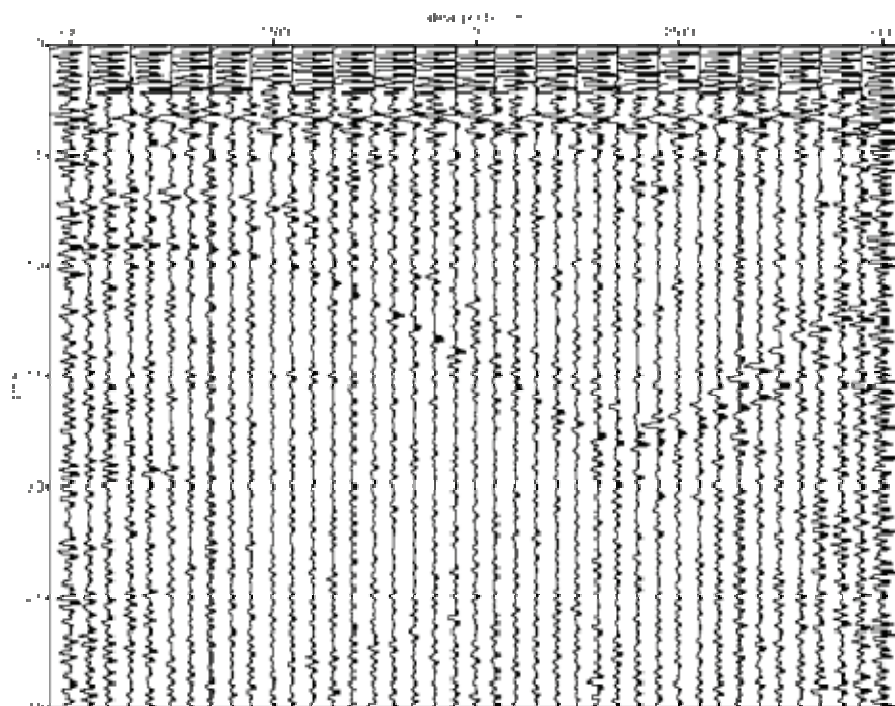


图 4 120 s 模拟时长 500 m 台间距互相关叠加成像