

# 地震前兆地声信号的低频特征<sup>\*</sup>

庄其仁<sup>①</sup> 张渭滨<sup>①</sup> 龚冬梅<sup>①</sup> 王建新<sup>②</sup>

(<sup>①</sup> 华侨大学电气技术系, 泉州 362011; <sup>②</sup> 泉州市基准地震台, 泉州 362000)

**摘要** 阐述大地震前低频地声的波形和频谱的特征, 论述了震前低频地声的形成及声波传播规律, 指出震前低频地声具有近场穿透能力、信息可靠及易于提取和接收等优点, 是探索近场地震短期前兆信息的重要手段。频谱分析结果表明, 震前低频地声异常的频谱大多集中在 0 ~ 200 Hz 的低频段, 观察表明, 近场地震发生前低频地声异常信息强烈。

**关键词** 低频地声, 频谱, 短期前兆信息

**分类号** P 315.3

地声是存在于地球内部的基本现象, 是除地震波以外直接获取地下信息的重要途径之一。它可反映出地震孕育过程中的某些地球物理化学信息, 也是地震预报研究的重要领域之一。有关地震前兆地声的观测研究在国内始于 70 年代<sup>[1~2]</sup>。大量资料表明, 地震在其孕育和发生的过程中, 伴随着明显的地声异常现象。考虑到地震前兆信息的复杂性和多变性, 以及大量的人类文明活动及自然界干扰现象的存在, 使得识别、提取和验证具有规律性的震前地声异常信息十分困难。同时, 由于地声(尤其高频成分)在地下的穿透能力差, 而地声探测系统往往远离震区, 很难取得震前地声异常信息。因此, 地声研究最适合于近场和临震研究。几年来的观察表明, 近场震前地声信息在低频段出现强烈的异常现象。

## 1 震前低频地声异常的理论依据

众所周知, 地震是地球介质的破裂行为。通过在一般的固体材料(其中包括岩石)的微破裂形成过程的研究中, 可探索这种破裂的孕育及其发生过程。现今关于地震孕育过程的基本假想, 都把地球介质由变形、微破裂走向破裂的演化, 看成是寻找地震前兆和解决地震预报的关键。岩石应变破裂辐射的声脉冲是由于破碎裂缝时出现的衰减式正弦波脉冲, 或滑动裂缝时出现的单脉冲形成的。震前的地声主要是由前者演变出来。声脉冲的幅度和地层结构的强度、形变率、均匀性和地层温度等因数有关; 声脉冲的频度和地层的结构、地裂缝的不同发展阶段有关, 其主频率则和地层的破裂速度成正比, 和裂缝的线度成反比。曹惠馨等<sup>[6]</sup>研究了实验室条件下, 岩石破裂过程中声发射的主能谱在 3 kHz 以下。声波在地层中的传播过程是非常复杂的。考虑一维的均匀无限介质情况下, 并假定声脉冲是按指数衰减的角频率为  $\omega$  的正弦

波脉冲. 当观测距离  $X \gg 2CQ/\omega$  时, 则接收到的声脉冲的角频率约为  $2CQ/X$ , 其中  $C$  是地层中的声速, 一般取  $C=5 \times 10^3 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ ,  $Q$  是岩石的品质因数, 一般在  $10 \sim 1\,000$  之间. 因此, 在远距离情况下, 地声信号的主频率几乎与原始脉冲的频率无关, 而且集中在低频端. 例如在  $5 \text{ km}$  处, 若取  $Q=100$ , 则接收频率约为  $32 \text{ Hz}$ . 声波在地下介质中的衰耗可用介质吸收系数  $\alpha$  来表示, 即

$$\alpha = \frac{2\eta\omega^2}{3\rho V^3},$$

其中  $\eta$  为介质粘滞系数,  $\rho$  为介质密度,  $V$  是介质中的声速. 表 1 为声波频率为  $2 \text{ kHz}$  时几种介质的吸收系数. 可见声波(尤其是高频成分)在岩石和土壤内传播过程中产生强烈的衰耗<sup>[8]</sup>.

综上所述, 到达地表探测器的地声只能是低频成分, 而且声源必须有足够的强度(大地震前兆)才能被探测.

表 1 几种介质的吸收系数

介质	$\rho/\text{g} \cdot \text{cm}^{-3}$	$V/\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$	$\eta/\text{Pa} \cdot \text{s}$	$\alpha/\text{cm}^{-1}$
水	1.00	1 500	$1.5 \times 10^{-2}$	$4.7 \times 10^{-10}$
空气	$1.29 \times 10^{-3}$	330	$1.7 \times 10^{-4}$	$3.9 \times 10^{-7}$
土壤	1.40	400	$7.0 \times 10^{11}$	$8.2 \times 10^6$
岩石	2.80	5 000	$1.5 \times 10^{14}$	$4.5 \times 10^4$

## 2 震前低频地声异常及其频谱特征

大地震前的地声异常具有持续时间长、幅度大等明显特点, 可以区别于人类活动产生的短暂地声干扰. 另外, 通过对频率域的分析和研究可以区分干扰信号, 并找出异常的特征曲线. 因此, 资料分析是基于频率域基础上进行的. 能够对观测资料进行较准确的频率估计, 对于确定低频地声异常的特征曲线显然是重要的. 本研究中将低频地声探测器埋于地下  $3 \text{ m}$  深处, 并使用快速傅立叶变换(FFT)的频谱分析程序, 具有快速和实时处理等特点. 如图 1 所示, 干

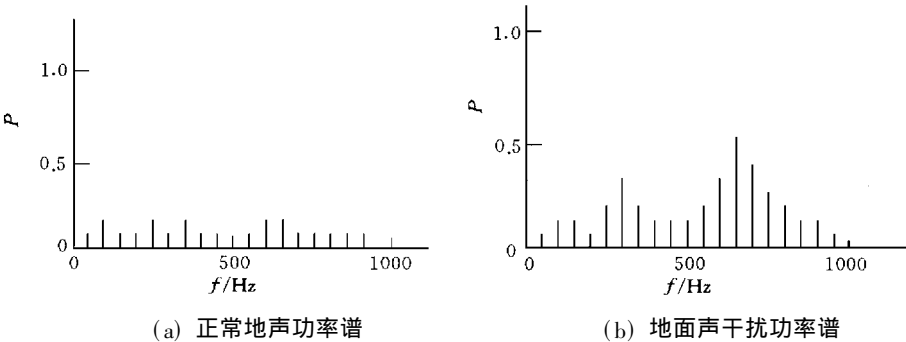
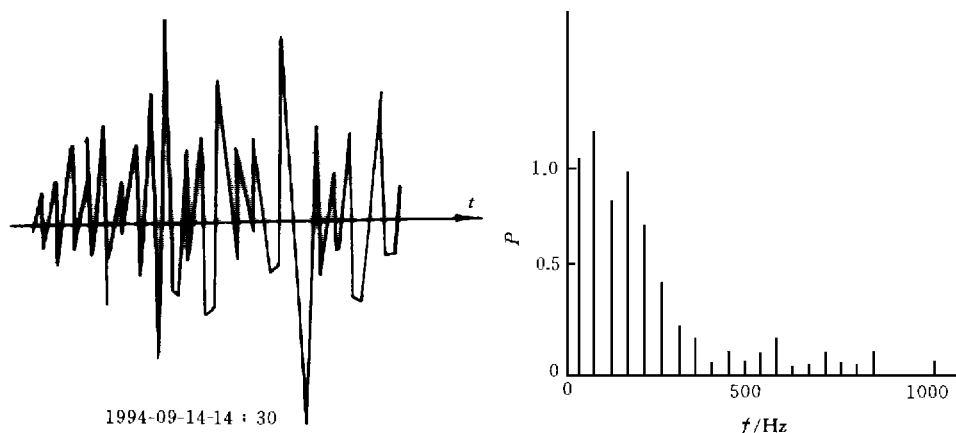


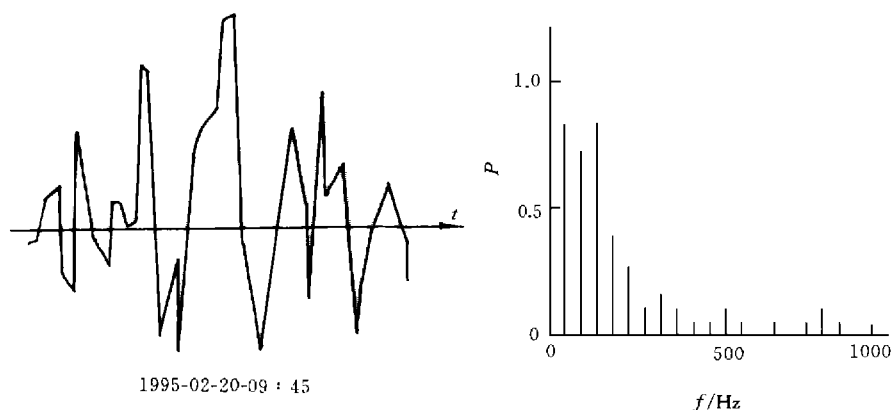
图 1 干扰声波的频谱

扰信号(地面噪声)的频谱特征明显区别于异常曲线的频谱特征, 它们一般表现为谱曲线较为平滑, 且在某些固定频率上比较集中和突出. 震前低频地声异常在时间域和频率域都有明显的特征. 图 2(a) 是 1994 年 9 月 16 日台湾海峡 7.3 级地震震前及其以后几天的序列地震期间的地声异常曲线及其频谱; 图 2(b) 表示 1995 年 2 月 25 日福建晋江 4.5 级地震震前地声异常

曲线及其频谱.



(a) 1994年9月14日的地声信号及其频谱



(b) 1995年2月20日的地声信号及其频谱

图2 震前地声异常信号及其频谱

从图2的分析可以看出:(1) 近场较强地震发生前,在 $0 \sim 200$  Hz的低频段,能记录到明显的地声异常信息,尤其是在 $100$  Hz以下的低频部分更为明显和突出;(2) 在时域空间的信号波形没有明显的规律,振幅变化幅度大;(3) 在频域空间频谱曲线有明显的规律,随频率的增高幅度急剧下降;(4) 地声异常信息一般出现在震前数日至数十日,这与岩石的微裂隙向破裂的演化过程有关.

### 3 结束语

最符合公众理解的地震预报是强震前的短临预报,低频地声异常常发生在大震前几天或几小时内,对短临预报具有十分重要的意义.但可靠前兆信息的提取是十分困难的,必须在长期的观测研究中识别、提取和反复验证才能初步确认.在震前低频地声异常的观测研究中,我们初步认识到:(1) 每次较强的近场地震发生前,能记录到较为明显的低频地声异常;(2) 当

记录不到任何明显的地声异常时, 近场近期可能也不会有较大地震发生; (3) 由于我们只限于单台记录, 对地声源方位还无法确认. 如果采用网络式布置地声探测器, 对于提取和识别地声异常信息将更加可靠.

## 参 考 文 献

- 1 田时秀. 地声和地震预报. 物理, 1978, 7(1): 58 ~ 62
- 2 王乐群, 王海鹰, 范小平. 音响计数式地声探测器的震区试验. 山西地震, 1984, 14(1): 26 ~ 33
- 3 曹惠馨, 钱书清, 吕 智. 岩石破裂过程中超长波段的电、磁信号和声发射的实验研究. 地震学报, 1994, 16(2): 235 ~ 241
- 4 穆 林, 范惠珍, 宁显宗. 黄土层内的声波传播衰减. 应用声学, 1995, 4(1): 19 ~ 22

## Low Frequency Characteristics of Precursory Seismic Acoustic Signal

Zhuang Qiren<sup>①</sup>      Zhang Weibin<sup>①</sup>  
Gong Dongmei<sup>①</sup>      Wang Jianxin<sup>②</sup>

(<sup>①</sup> Dept. of Elec. Tech., Huaqiao Univ., 362011, Quanzhou; <sup>②</sup> Reference Seismic Station, 362000, Quanzhou)

**Abstract** An exposition is given to the low frequency characteristic of earth sound as a seismic precursor, chiefly the characteristic of waveform and frequency spectrum. As indicated by observed results, prior to the occurrence of near field earthquake, low frequency earth sound becomes exceptional intensive in information. The authors discuss here the formation of precursory seismic acoustic signal and the rule of sound wave propagation; and point out such advantages of low frequency earth sound as near field penetrating power, reliable information, and easy of abstracting and receiving. Precursory low frequency earth sound is the important means for probing into short-term precursory information of near field earthquake. As indicated by results of spectral analysis, abnormal frequency spectrum of precursory low frequency earth sound mostly centers on the low frequency band of 0 ~ 200 Hz.

**Keywords** low frequency earth sound, frequency spectrum, short-term precursory information.