

一些地区的地声特征及其作为 地震前兆的可能性

田时秀 孔繁永 李金锡 高景来

(中国科学院声学研究所)

摘 要

本文收集了河北卢龙、昌黎, 辽宁营口, 四川成都, 山东莒县和山西介休等地的地声观测资料¹⁾。对这些资料进行分析处理, 得到了它们的频谱特性和其他特性。最后对声源的机制及其作为地震前兆的可能性作了扼要的讨论。

一、引 言

近年来, 震前地声的观测研究在国内外蓬勃兴起并积累了宝贵的资料^{[1][2]}。现在的问题是消除观测设备和环境带来的影响, 从而找出地声的某些普遍特征; 其次是利用这些特征探讨它作为地震前兆的可能性。本文试图对一些地区的地声资料进行必要处理, 特别是讨论接收环境对信号的影响, 然后对地声机制和地声作为前兆手段的可能性作了扼要的分析 and 讨论。

二、观测环境对信号的影响

各地区的观测环境可分为以下四种情况(图1): 其中第1第2种情况是接收换能器与地面(或基岩)直接耦合(也要考虑闭合腔的影响), 第3、4种情况是通过空气或水介质间接与基岩耦合。其中除开要考虑间接耦合所造成的能量损失外, 要估计由于空气和水的混响对信号的影响。为了直观地看出它的影响, 试比较图2所绘的两种波形, 其中a是用放置在井中的水听器接收的, b是用放置在基岩上的地听器接收的。

在闭合空间中, 任意点的声能(受激发后)随时间的变化为^[3]:

$$E_{(t)} = E_0 \exp[-mc + n \ln(1 - \alpha)]t \quad (1)$$

其中 m 为媒质声强吸收系数(包括媒质与管壁间的磨擦损失), α 为“墙壁”的声强吸收系数(实际是界面的透射损失), n 为每秒钟界面反射的次数。在深井情况下(水深远大

*1) 其中营口录音是王乐群提供的, 成都录音是龙泉中学提供, 莒县录音由曲存让提供, 介休录音由 胡祖昆提供。

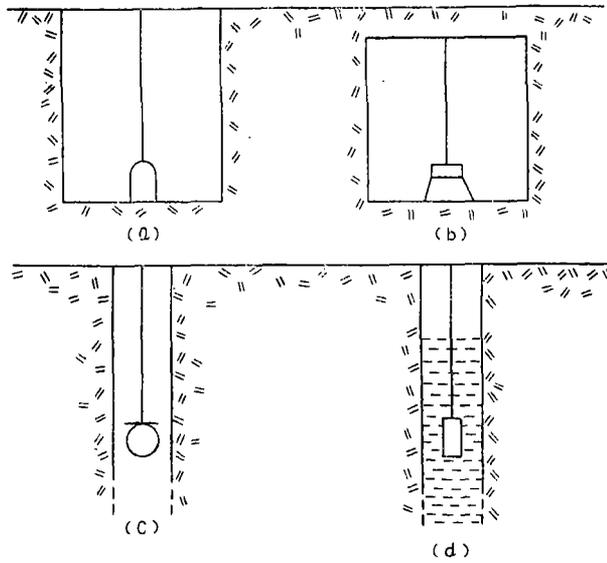


图 1 地声观测环境

a. 卢龙白庄地声站用地听器接收 b. 成都地声站用扬声器接收 c. 营口地声站用传声器接收
d. 卢龙崔庄、介休和莒县地声站用水听器接收

Fig. 1 Observation means in every station.

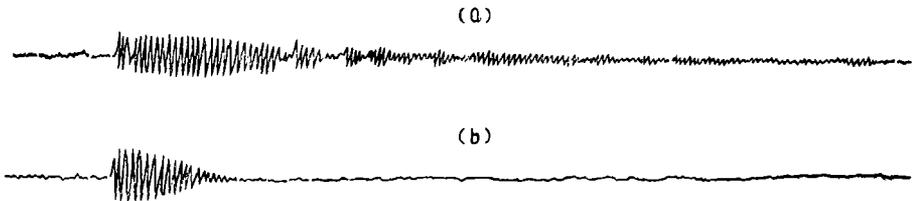


图 2 1979年12月14日卢龙地声

a. 水听器接收 b. 地听器接收

Fig. 2 The Lulong geosound on Dec.14, 1979.

于井直径)可看作是一维的, 因而 $n = c/L$, 其中 C 为声速, L 为水深。将 n 代入(1), 且当 $E(t)$ 降为 E_0 的百万分之一时, 令 $t = T$, 则

$$T = \frac{13.8L}{c[mL - \ln(1 - \alpha)]} \quad (2)$$

以水中的声速 1500m/s 代入(2), 则

$$T_w = \frac{9.2 \times 10^{-3}L}{m_1L - \ln(1 - \alpha_1)} \quad (2')$$

在介质为空气的情况下($C = 340\text{m/s}$), 则

$$T_A = \frac{4.05 \times 10^{-2}L}{m_2L - \ln(1 - \alpha_2)} \quad (2'')$$

这里 T 叫做混响时间。从另一角度说

$$T = \frac{6.91}{\delta_0} \quad (3)$$

式中 δ_0 是声压随时间的衰减因子。再由(1)式, 在观测环境为水井的情况下, α 可理

解为水与空气介质产生的透射损失,且 $\alpha = 1 - \gamma^2$, 这里

$$\gamma = \frac{\rho_2 c_2^* - \rho_1 c_1^*}{\rho_2 c_2^* + \rho_1 c_1^*} \approx \frac{\rho_2 c_2 - \rho_1 c_1}{\rho_2 c_2 + \rho_1 c_1} \quad (4)$$

γ 叫做反射系数, 其中

$$\left. \begin{aligned} C_1^* &= C_1 / (1 - jm_1 / 2K_1) \\ C_2^* &= C_2 / (1 - jm_2 / 2K_2) \end{aligned} \right\} \quad (5)$$

C_1^* 、 C_2^* 是介质的复数声速。 ρ_1 、 C_1 、 m_1 、 K_1 分别是入射声媒质的密度、声速、衰减和波数; ρ_2 、 C_2 、 m_2 、 K_2 分别是反射媒质的密度、声速、衰减和波数。由(2)、(3)和(4)式可以算出 γ , 其中 δ_0 是由实验(例如给井水一个声脉冲)确定的一阶共振方式时的衰减因子。然后由下式

$$P_w \approx P_0 (1 + |\gamma|) \quad (6)$$

算出各共振方式时的声压, 可见在这些频率时声压是加强的。由于 $\gamma \leq 1$, 因而 P_w 最大不超过原始(非共振时)声压的两倍, 通常 γ 是和频率有关的(随频率的增加而减少), 各个共振方式由下式决定

$$f_n = \frac{nc}{4L} \quad (n = 1, 2, 3 \dots n) \quad (7)$$

对于封闭的枯井, 则由(2'')、(3)、(4)式算出新的反射系数和驻波声压, 它的共振方式则由(8)式

$$f'_n = \frac{nC_2}{2L} \quad (8)$$

决定。在深井情况下, 例如100米深的水井, 第一共振方式 $f_1 \approx 4$ 赫兹, 对于50米深的枯井 $f'_1 < 4$ 赫兹, 从而在地声频段内(以下将看到), 闭合腔内的声压虽有所加强, 但对于整个频谱包络则无严重影响, 因而可认为混响声场中的频谱和自由声场中的一致。对于小的闭合腔(例如象成都龙泉中学地声观测用的)可用如下的混响公式:

$$T = \frac{0.163V}{4mv - S \ln(1 - \alpha)} \quad (9)$$

其中 V 是空腔体积, S 是空腔表面积, 然后参考(3)、(6)式可以估计驻波声压。其驻波频率可由下式(4)决定,

$$f_n = \frac{1}{2\pi} \sqrt{\omega_n^2 + \omega_r^2} = \frac{C_2}{2} \sqrt{\left(\frac{n_h}{h}\right)^2 + \frac{\alpha_{m_n}}{a}} \dots \dots \quad (10)$$

其中 ω_n 、 ω_r 分别为沿高度方向和半径方向(我们把空腔理解成圆柱体)的驻波频率; a 、 h 分别是圆柱体的半径和高度; n_h 和 α_{m_n} 分别是沿 h 方向和圆周方向的序号。在这里由于缺乏其空腔的实际吸收资料, 而且驻波频率又较高, 因而在以下的谱分析中我们仅估算出谱包络的误差范围。

三、信号干扰的消除

各地的地声信号, 其主要的干扰是交流声(例如成都龙泉中学的地声录音), 我们采用自适应方法消除(5)(图3)。图4是消除前后的波形的比较。

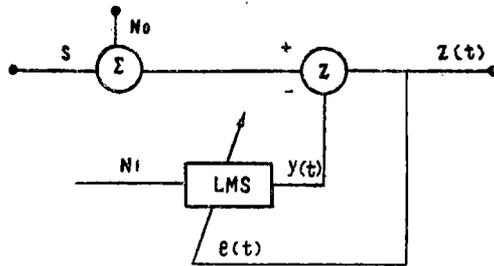


图 3 自适应消除交流声原理

Fig. 3 The principle of eliminating alternating sound by self-induction.

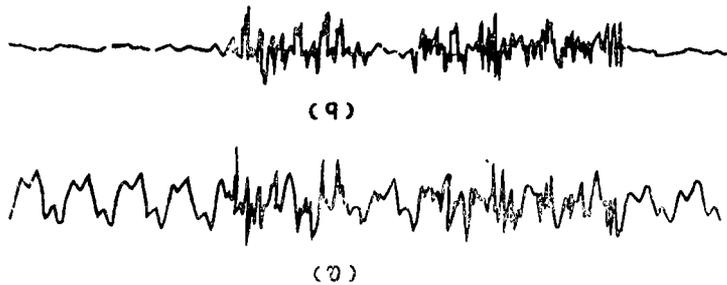


图 4 成都龙泉中学的地声录音

a. 消除交流声前 b. 消除交流声后

Fig. 4 Geosound recording in Chengdu middle school.

四、地声信号的谱特征

图 5 是各地的地声录音经过处理后所得到的频谱包络图。其中除卢龙、昌黎地声标出了声级并消除了接收环境影响（包括固体→水的透射损失）和扣除了接收系统的频率失真外，其他各地信号只绘出频谱包络的相对值（没有声级资料）并估计由频率失真和接收环境（仅成都地声）所造成的误差（图 5 中虚线）。

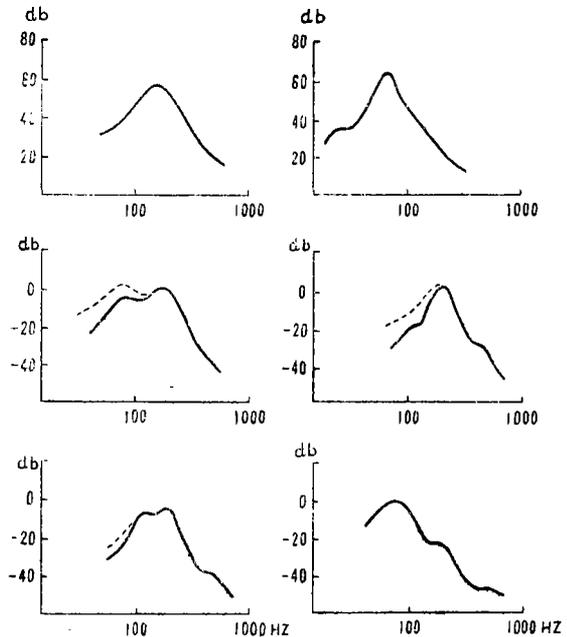


图 5 各地地声的典型谱特性

a. 卢龙 b. 昌黎 c. 营口 d. 成都 e. 莒县 f. 介休

Fig. 5 Characteristics of geosound in every station.

五、地声序列

地声序列反映了地声的活动性，特别反映了地声活动与地震活动的相关性。除了已报导过的外〔1〕，这里特别介绍了一个新的地声序列，这是由分设在卢龙、昌黎的地声站收到的同一地震前的地声记录。地震发生在滦县，震级为 5.0 级。震中

与观测点的距离分别为30公里（距卢龙）和40公里（距昌黎）。由于震级较大，地声超前的时间也较多（见图6）。当地震震级较大时，能在较大范围内发生震前的地声活动，而且随着震级的增加，地声有提前活动的趋势。另外，其他地区的地震同时也存在地声活动（图7）。如果说唐山地区的地声反映着余震区的情况，那么介休和其他地区的地声活动则反映着主震前的地声活动。

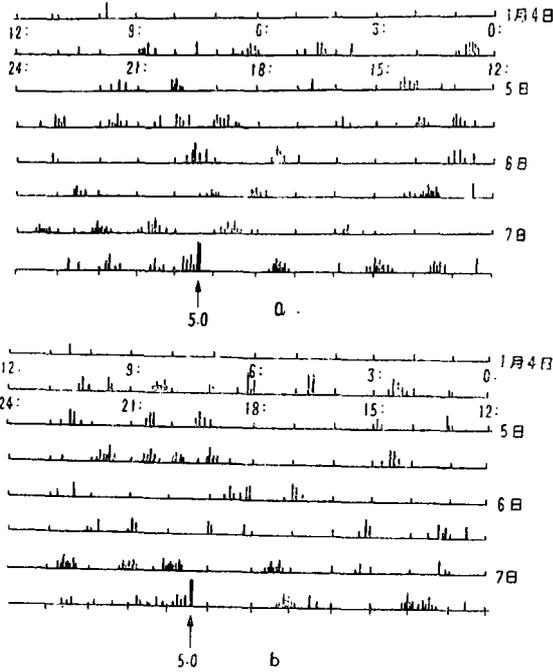


图6 滦县5级地震前的地声序列
a. 卢龙 b. 昌黎

Fig. 6 Geosound sequence before earthquake (M=5).

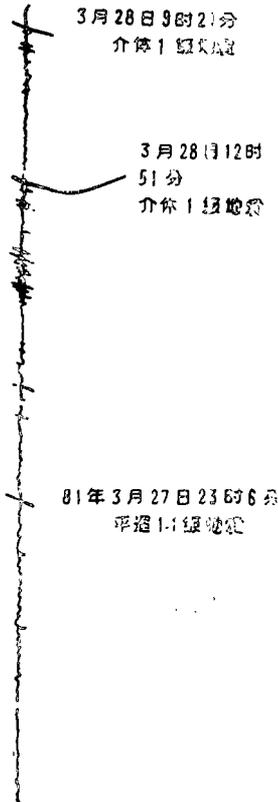


图7 介休站收到的地声序列2)
Fin. 7 Geosound sequence receiving in Jiexiu station.

六、声源的传播距离

对于地声的其他规律，我们还来不及分析和概括，这里想试图回答一个问题，即声源是从震源来的还是从观测点附近来的，这是我们经过多年观测实际遇到的问题。

假定地声是由微破裂产生的，两个破裂面同时向外挤压（或收缩）而辐射声能，在远场情况下我们把辐射声能看成是球面声源且具有如下的时间函数：

$$P(t) = P_m e^{-\gamma t} \cos \omega_0 t \dots \dots \dots (11)$$

其中 P_m 是振幅， γ 是振动随时间的衰减系数， ω_0 是微破裂的自振频率，其频谱和相位可表示为：

2) 引自山西地震, №1, 1984.

$$F(\omega) = P_m \cdot \frac{(\omega^2 + \gamma^2)^{\frac{1}{2}}}{[W^4 - 2(\omega_0^2 - \gamma^2)\omega^2 + (\omega_0^2 + \gamma^2)^2]^{\frac{1}{2}}} \quad (12)$$

$$\theta(\omega) = t_{an}^{-1} \frac{\omega(\omega_0^2 - \gamma^2 - \omega^2)}{r(\omega_0^2 + \gamma^2 + \omega^2)} \quad (13)$$

地壳产生微破裂时的地应力为 $10^6 \sim 10^7 P_a$ 〔7〕，已知单位体积的位能为 $U = \sigma^2 / 2E$ ，这里 σ 是应力， E 是弹性模量。裂缝出现时该位能将 $u = U \cdot C$ 的能量流转换为动能，即 $U \cong \sigma^2 C / 2E$ 。代入典型值 $C = 5 \times 10^5 \text{ cm/sec}$ ， $E = 5 \times 10^{10} \text{ N/m}^2$ ， $\sigma = 10^7 \text{ N/m}^2$ ，则 $u = 5 \times 10^6 \text{ J/m}^2 \cdot \text{s}$ 。Перухов 的计算表明，约有 7 ~ 8 % 的动能转化为声能〔6〕。我们取 $10^5 \text{ J/m}^2 \cdot \text{s}$ ，即令

$$\beta \int_0^\infty |F(\omega)|^2 d\omega = \beta \int_0^\infty \frac{(\omega^2 + \gamma^2) d\omega}{\omega^4 - 2(\omega_0^2 - \gamma^2)\omega^2 + (\omega_0^2 + \gamma^2)^2} = 10^5 \text{ J/m}^2 \cdot \text{s} \quad (14)$$

其中 β 为比例常数，实际上 $|F(\omega)|^2$ 在 ω_0 的两旁随频率下降很快，因而(14)式可用 Simpson 公式在频率的有限区间内积分，并求出各个频率成分的声强。

某一频率成分在远场的声强为：

$$I(\omega) = I_0(\omega) e^{-2\eta x / x} \quad (15)$$

代入衰减系数 $\eta = 2\pi f / cQ$ ，则得

$$X = \frac{CQ[\ln \frac{I_0(\omega)}{I(\omega)} - 2 \ln x]}{2\pi f} \quad (16)$$

其中 X 是传播距离， Q 是地壳介质的品质因数。

大量观测表明，普通地声的能量主要集中在 30—300 赫之间，优势频率则在 100 赫左右，且能量为微巴的数量级。为了估计地声传播距离，我们令接收的信号为 1 微巴，又简单地令信号的功率谱密度为常数，即每一频率携带的能量为 $I(\omega) \sim 2.5 \times 10^{-12} \text{ J/m}^2 \cdot \text{s}$ ，从声发射方面来估算，假定声源频率 $\omega_0 = 2\pi \times 1000$ 〔7〕，接收信号的优势频率为 125 赫。由(14)式算出 $I(\omega) = I_0(2\pi \cdot 125) \cong 5.16 \times 10^{-3} \text{ J/m}^2 \cdot \text{s}$ 。将 $I(\omega)$ ， $I_0(\omega)$ 和 C 的标准值代入(16)式，得出 X 与 Q 的关系曲线(见图8)。在实验室条件下，一般岩石的 Q 值在 100 左右，随着围压的增加而增加。Johnston 等的实验表明〔8〕，对于 Berea 砂岩，当围压上升到 1000 巴时，其 Q 值由 20 上升到 120，但受到含水量的影响。不足的是实验的岩石品种还较少。不过从图 8 可以看出，即使 Q 增大到 500，125 赫的信号声的传播距离也不超过 40 公里(如算水平距离还要小得多)。可见 1 月 7 日卢龙、昌黎接收的地声不是从震源来，因而在时间上也不同步。

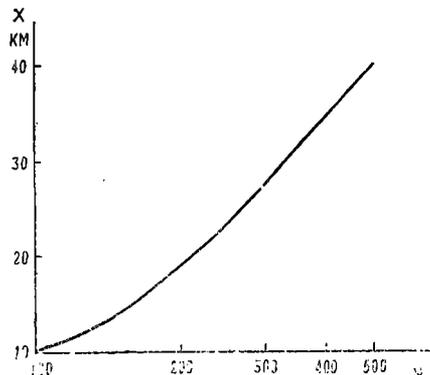


图 8 传播距离与 Q 的关系
Fig. 8 Relationship between Q and propagation distance.

七、地声作为地震前兆的可能性

从以上各地区地声的频谱特征和时间序列可以初步看出,震前地声活动具有一定的普遍性,虽然各地的地质结构和震源发震方式有这样那样的区别,但是震前特别是大震前的地声活动是存在的。我们可以从谱特征、频度特征来识别它,并进一步从地声优势频率和震中距的关系,从地声的某些方向分布〔1〕,以及地声的其他特征来判断地震发生的可能性。

目前的地声观测,只是未来大地震前的地声活动的摹拟(现在尚未有大地震前的地声观测资料),真正的大震可能还会有新的现象发生(就象唐山、松潘、龙陵及其他大震前的地声调查中所表现的那样)。因而坚持地声观测,获得大震前的地声资料,对地震预报有重要意义。

本工作是在汪德昭教授、马大猷教授和关所长的关怀和指导下进行的。国家地震局多年来给予了大力支持。作者仅向他们表示诚挚的谢意。

(本文1985年3月1日收到)

参 考 文 献

- 〔1〕Tian Shixiu and Wu Fukun, Observations and studies of geosound prior to earthquakes in the Tangshan—Ninghe region, A Collection of papers of ISCSEP, Seismological press, 1984.
- 〔2〕Ta-liang Teng, Some development on earthquake precursor monitoring in Southern California, *ibid.*, pp 471—475.
- 〔3〕Heinrich kottruff, Room acoustics, Applied science publishers Ltd, 1979.
- 〔4〕P·M·Morse, Vibration and sound McGraw-Hill Book CO., 1948.
- 〔5〕B·widrow et al., Adaptive switching Circuits, IRE Wescon conf. Rec. pe., Vol. 4, №96, 1960.
- 〔6〕N·M·Петухов, Горные удары на угольных шахтах, Москва изд., Недра, 1972.
- 〔7〕B·H·Armstrong, Acoustic emission prior to rockbursts and earthquakes, BSSA, Vol.39, №3, 1969.
- 〔8〕David.H.Johnston et al., Ultrasonic P and S wave attenuation in dry and saturated rocks, Journal of Geophysical Research, Vol.85, 1980.

GEOSOUND FEATURES IN SEVERAL REGIONS AND THEIR
POSSIBILITY FOR PRECURSOR OF EARTHQUAKE

Tian Shixiu Kong Fangyung

Li Jinxi Gao Tinglai

(*Institute of Acoustics, Academic Sinica*)

Abstract

The geosound observation data collected in this paper consist of Lulong and Changlishire, Hebei Province, City of Yingkou, Liaoning Province, City of Chengdu, Sichuan Province, Juxianshire, Shandong Province and Jiexiushire, Shanxi Province.

The spectrum and other features of geosound have been obtained by analysis and processing of the data. At last the mechanism of sound source and the possibility regarded as a precursor of earthquake have been discussed briefly.