

# 前兆性地声的衰减特性及生物效应的研究

蒋锦昌 孙巍 徐慕玲 聂世芳 刘向群 刘莉君 王强\*

(中国科学院生物物理研究所)

## 摘 要

本文对八个前兆性地声信号在沙层中的衰减特性,及其对鼠脑中5-羟色胺(5-HT)代谢的影响,进行了测量分析。主要结果如下:

1. 八个地声信号在沙层中的衰减特性的图象基本相似,其基本特征相同的具有明显的一致性。50—100Hz 和 250—630Hz 内的衰减与频率明显有关,100—250Hz 的优势频段内的衰减比较平缓,该频段内 20—30cm 沙层的吸收系数为  $4 \times 10^{-2} - 6 \times 10^{-2} \text{dB/cm}$ 。

2. 地声信号透入 30cm 沙层内的洞穴中,洞内声压级的相对衰减率与同深度沙层内相比较,呈现一定的下降现象,并与地声信号的基本特性有关。在优势频段内,单次性轰隆声、连续性“炒豆”声等和刮风声分别下降  $4.4 \pm 0.8\%$ 、 $3.5 \pm 0.3\%$  和  $3.0 \pm 0.2\%$ ,连续性小鼓声的下降不明显。

3. 静适应 48 小时的小白鼠,同时分别在 105—85dB 和 76—66dB 的地声信号的随机组合声中暴露 30 分钟,其脑内 5-HT 的代谢产物 5-羟吲哚乙酸(5-HIAA)的含量分别比对照组增高 24.7% 和 26.2%。

这些结果表明,前兆性地声波透入地表的频谱特征与介质的吸收特性有关。此时透入洞穴内的地声波,其优势频段虽然明显低于鼠的听觉敏感区,但对鼠是一种极不适应的低频噪声刺激,可直接影响到脑内 5-HT 的代谢过程。同时,洞穴可增强动物对噪声背景上的声信号识别。可见,前兆性地声波有可能是引起鼠等穴居动物震前行为异常的重要因素之一。

## 前 言

某些野外观测结果表明,某些地震前所记录到的有可能是一种临震前兆<sup>[1,2]</sup>。Armstrong (1969) 的理论估计表明,强烈地震前释放的地声波传至地表,仍可能为某些动物觉察到<sup>[3]</sup>。蒋锦昌等(1982)在基岩面上观测到的某些余震前的地声波,透射到水中可引起某些常见鱼类的听觉效应,并认为地表洞穴可能有助于提高声强,进而增加穴居动物对地声信号觉察的可能性<sup>[4]</sup>。同时,进一步观察到,在岩石样品破裂过程中,随着声发射频度增高,家鼠出现嗅探、惊慌、惊跳等行为反应<sup>[5]</sup>。Tributsch (1978) 认为,震前动物行为异常可能主要与血液中 5-HT 含量增高有关<sup>[6]</sup>。因此,进一步探讨前兆性地声波对震前动物异常现象中较为常见的鼠等穴居动物的生物效应,是揭示震前动物异常原因的一个重要方

本文 1984 年 3 月 7 日收到。

\* 张家口市宣化区环境保护研究所进修生。

面。

本文由某些野外观测所记录到的八个前兆性地声信号,即三个单次性轰隆声(中国科学院生物物理研究所地声组提供)和连续性“炒豆”声、滚石声、嗡嗡声、刮风声、小鼓声(中国科学院声学研究所地声组提供),在隔声室内回放,测量在沙层和沙层洞穴中的衰减特性。同时,分析了由这八个地声信号的随机组合声,对静适应 48 小时的小白鼠脑内 5-HT 代谢的影响,并与声压级相近的宽带白噪声和 10.5kHz、19.2kHz 的连续脉冲声的生物效应相比较。

一、衰减测量的方法

地声波在沙层内的衰减测量系统,见图 1。

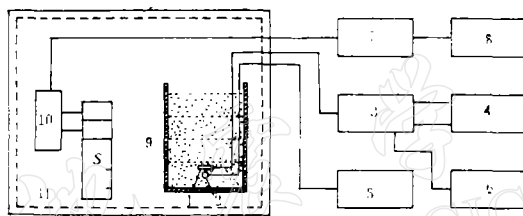


图 1 地声波在沙层中的衰减测量装置

S. 声源 (YHG-800-1, YD400-2); 1, 2. 传声话筒 (CH13);  
3. 测量放大器 (NF6); 4. 带通滤波器 (NL4); 5. 精密声  
级计 (ND6); 6. 电平仪 (B&K 2304); 7. 功率放大器  
(KAIFA); 8. 信号源(录音机, SHARP-GF-515); 9. 测量  
箱; 10. 分频器; 11. 隔声室

Fig. 1 Attenuation measuring equipment of geosound wave in sand layer  
S. sound source(YHG-800-1, YD400-2), 1, 2. microphone  
(CH13), 3. measuring amplifier (NF6), 4. band filter  
(NL4), 5. accurate sound level meter (ND6), 6. level-  
meter (B&K2304), 7. power amplifier (KAIFA), 8. sig-  
nal source (recoder, SHARPGF-515), 9. measuring box,  
10. frequency divider, 11. soundproof room

图 1 中,测量箱(9)的容积为长×宽×高 = 79 × 64.5 × 83cm, 周壁木板厚 10mm, 内贴塑料薄膜,底层垫约 30cm 厚的黄粘土,上面为沙层(手感潮湿,烘干法测定含水量约 5%, 容积密度约为 1.5 克/厘米<sup>3</sup>)。传声话筒均用 NX6 型活塞发声器校准后,外套塑料薄膜防潮,并装在  $\phi 3\text{cm} \times 16\text{cm}$  的细铁丝圆筒内,外包纱布防压、防沙粒渗入。NF6 和 NL4 测量 1/3 倍频中心频率点的声压级 (SPL, dB), ND6 作比较测量, B&K2304 记录包络波。

测量方法: 依次测量每个地声信号在沙层面上 (0cm) 和 10, 20, 30cm 沙层中的 1/3 倍频中心频率点的 SPL。每个频率点的 SPL 重复测定一次,取均值。SPL 的读数偏差不超过  $\pm 0.5\text{dB}$ 。每一层的八个声信号测完后,再加第二层,减少各个信号同层的测量误差。同样的方法测量各个声信号在 30cm 沙层内洞穴中的 SPL。洞穴用细铁丝网成形,外包纱布。腔体长约 20cm, 中央截面近似椭圆,长轴×短轴 = 7.5 × 5.5cm。洞道为  $\phi 3\text{cm}$

×30cm, 呈弯曲状.

二、衰减测量的结果

各个地声信号在 0cm 沙层面上的包络波和 1/3 倍频谱, 见图 2.

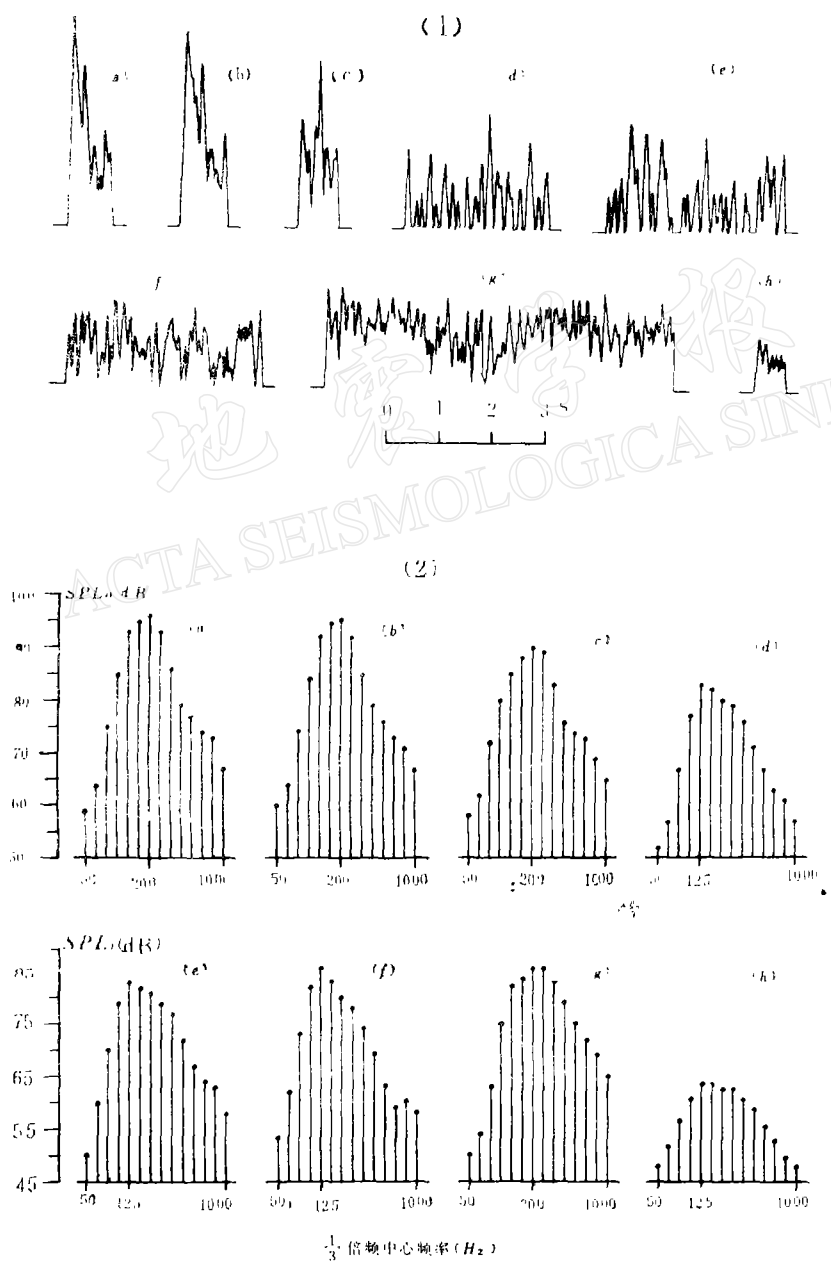


图 2 地声信号的包络波(1)和 1/3 倍频谱(2)

Fig. 2 Envelope (1) and 1/3 octave frequency spectra (2) of geosound signals

由图 2 得到各个前兆性地声信号的基本参数 (表 1):

表 1 前兆性地声信号的基本参数  
Table 1 Basic parameters of premonitory geosound signals of earthquakes

序 号	音 色	持续时间(秒)	主频率 <sup>1)</sup> (Hz)	优势频段 <sup>2)</sup> (Hz)
A	轰隆 声	0.85	200	125—250
B	轰隆 声	0.90	200	125—250
C	轰隆 声	0.80	200	125—250
D	“炒豆”声	2.75	125	100—200
E	滚 石 声	3.40	125	100—200
F	嗡嗡 声	3.70	125	100—200
G	刮 风 声	6.60	200—250	125—315
H	小 鼓 声	0.60	125—160	100—400

1) 主频率为  $SPL$  最高的中心频率点; 2) 主频率点两侧下降 6dB 的频率范围.

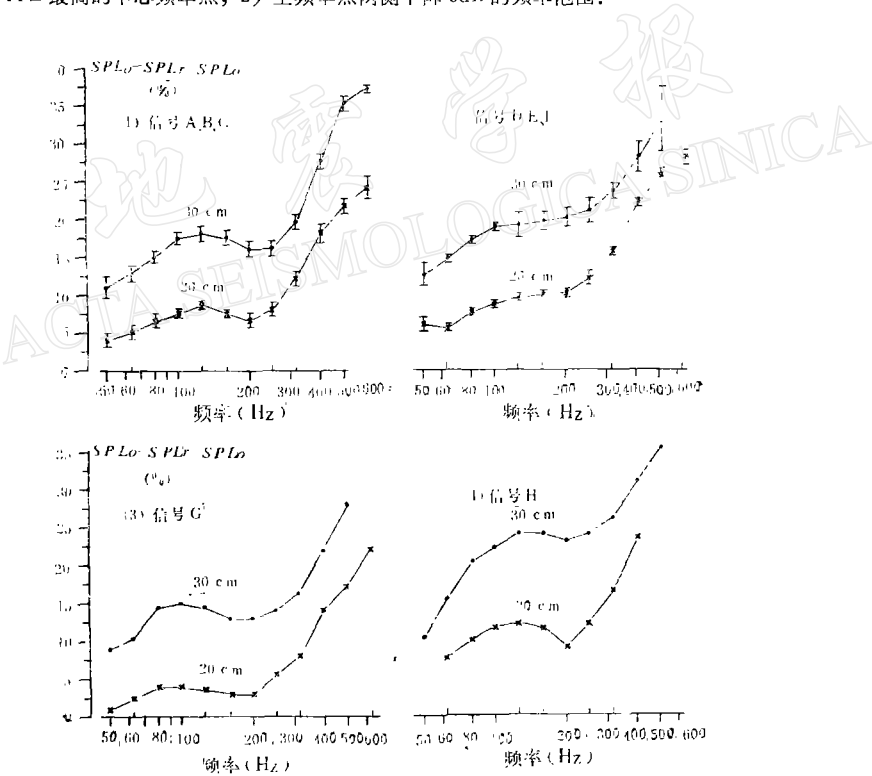


图 3 地声信号在沙层中的相对衰减率(±为标准偏差范围,下同)  
Fig. 3 Relative attenuation rate of geosound signals in sand layer

地声信号 A—H 透过 20cm 和 30cm 沙层  $SPL$  的相对衰减率 ( $RAR = (SPL_0 - SPL_r) / SPL_0 \times 100\%$ ,  $SPL_0$  和  $SPL_r$  分别为 0cm 和透过 20, 30cm 沙层的声压级), 见图 3.

图 3 表明, 八个地声信号在沙层中的衰减特性基本相似, 即 100—250Hz 的优势频段内的衰减变化比较平坦, 100Hz 以下和 250Hz 以上的衰减随频率增高而明显增大。同时, 持续时间、主频率和优势频段相同的地声信号, 其衰减特性基本相一致。其中, 信号

A、B、C 的各个频率点相对衰减率的标准偏差率(标准偏差/均值×%,标准偏差由极差法求得<sup>[7]</sup>), 20cm 层中,50,63,80,200,250Hz 点为 28—14%,其余 6 个频率点为 5—10%; 30cm 层中,除 50Hz 点为 12.6%之外,其余 11 个频率点为 0.7—6.8%[图 3-(1)]. 地声信号 D、E、F, 20cm 层中,除 50Hz 点为 16% 之外,其余 11 个频率点为 2—9%; 30cm 层中,除 50 和 500Hz 点为 11%和 13% 之外,其余 9 个频率点为 2—9%[图 3-(2)].

考虑到由声源发出的地声波基本上是以平面波的形式投射到沙层面上,其大部分能量通过孔隙传播并逐渐衰减. 因此沙层对透入地声波的声强吸收衰减为

$$I_r = I_0 e^{-2\alpha r} \tag{1}$$

在这里,  $I_0$  和  $I_r$  分别为入射面上的声强和透过  $r$ cm 沙层的出射声强,  $\alpha$  为吸收系数.

同时,由声强  $I = P^2/\rho C$  ( $P$ : 有效声压,  $\rho$ : 介质密度,  $C$ : 声速)和  $SPL(\text{dB}) = 20 \log P/P'$  ( $P'$ : 参考声压,为 0.0002 微巴),可得到

$$\alpha = 0.115(SPL_0 - SPL_r)/r \tag{2}$$

在这里,  $SPL_0$  和  $SPL_r$  分别为 0cm 沙层面上的声压级和透过  $r$ cm 沙层的出射声波的声压级.

同时,由入射声能和透过  $r$ cm 沙层的声能损耗的关系,可得到沙层  $r$  的介质常数  $Q$ , 即  $Q = 2\pi I_0/\Delta I_r$ <sup>[8]</sup>, 并由  $I = P^2/\rho C$  和  $SPL(\text{dB}) = 20 \log P/P'$ , 即可得到

$$Q = \frac{2\pi}{1 - \text{arclog} \frac{SPL_r - SPL_0}{10}} \tag{3}$$

由图 2 和图 3 所给出的每个地声信号的  $SPL_0$  和  $SPL_r$ , 分别代入式(2)和(3), 可得到沙层  $r$  的吸收系数  $\alpha$  和等厚度沙层的介质常数  $Q$  (图 4).

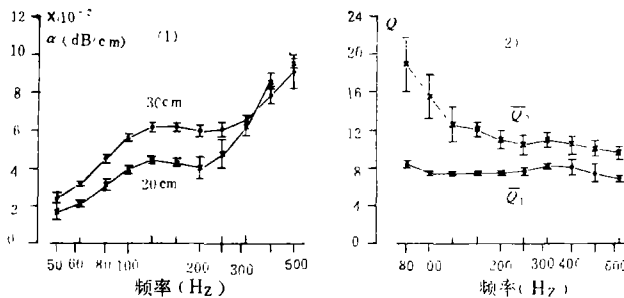


图 4 沙层的吸收系数(1)和介质常数(2).

Fig. 4 Sound absorption coefficient (1) and constant of the medium (2) of sand layer

图 4-1 表明, 20cm 和 30cm 沙层对八个地声信号的吸收特性基本相似,其各个频率点的吸收系数  $\alpha$  的标准偏差率, 20cm 沙层,50,200,250Hz 点为 27—14%,其余 8 个频率点均小于 10%; 30cm 沙层,50 和 500Hz 点为 12.7%和 10%,其余 9 个频率点为 3.2—6.5%. 同时,在 100—250Hz 的优势频段内, 20cm 和 30cm 沙层的  $\alpha$  基本不变, 分别约为  $4 \times 10^{-2}$  和  $6 \times 10^{-2}$  dB/cm; 50—100Hz 和 250—500 Hz 的二个倍频程内,  $\alpha$  都约增加 2 倍. 这与容积密度 1.84 克/厘米<sup>3</sup>, 厚 6cm 的粘土砖的吸收特性相接近, 即 125—250Hz 内的  $\alpha$  为 0.07(驻波管值), 250—500Hz 内  $\alpha$  增加 1.86 倍<sup>[9]</sup>. 同时,由 250—500Hz

的  $\alpha$  倍频程递增关系,推算到六个倍频程至 32kHz 的  $\alpha$  约为 4.8dB/cm, 这与干砂和湿砂对 30kHz 声波的吸收系数为 3—2dB/cm 是基本相接近的<sup>[10]</sup>.

图4—2表明,由八个地声信号通过等厚度沙层(10cm)的声能损耗计算得到的介质常数  $Q$  是相接近的. 其中,  $\bar{Q}_1$ (10cm 至 20cm 沙层)在 125—630Hz 内约为 12—9, 其各个频率点的标准偏差率均小于 10%;  $\bar{Q}_2$ (20cm 至 30cm 沙层)约为 8, 其各个频率点的标准偏差率, 80, 100, 125Hz 为 15—17%, 其余 7 个点均小于 10%. 可见, 这与浮土层的  $Q$  值约为 10 左右的概念是相一致的<sup>[3]</sup>.

地声信号透入 30cm 沙层内的洞穴中,其  $SPL$  的相对衰减率,见图 5.

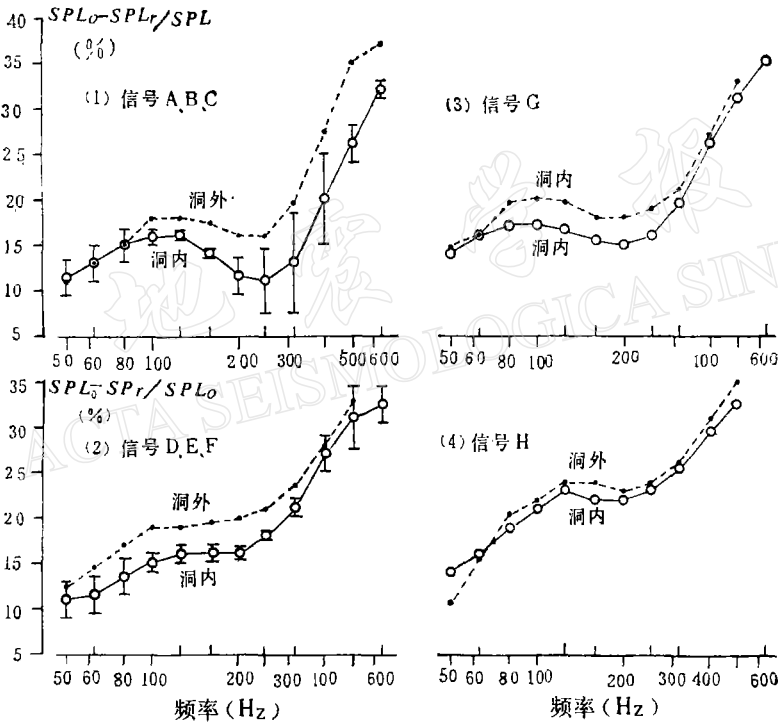


图 5 地声信号在 30cm 沙层洞内  $SPL$  的相对衰减率

Fig. 5 Relative attenuation rate of  $SPL$  of geosound signals in hole of 30 cm sand layer

图 5 表明,信号 A、B、C 在 160—250Hz 内,洞内  $SPL$  的相对衰减率比同深度沙层内平均约下降  $4.4 \pm 0.8\%$ ; 信号 D、E、F 在 100—200Hz 内平均下降  $3.5 \pm 0.3\%$ ; 信号 G 在 100—250Hz 内平均下降  $3.0 \pm 0.24\%$ ; 信号 H 的下降不显著.

由  $SPL$  的读数偏差和沙层厚度的偏差 (不超过  $\pm 0.5\text{cm}$ ) 所引起的  $SPL$  相对衰减率的偏差分别不超过  $\pm 0.65\%$  和  $\pm 0.6\%$ . 可见,同一声压级的地声波透过同厚度沙层进入洞穴内,其洞内的声压级比洞外增高的现象,可能主要与洞穴的共鸣等声响作用有关.

三、地声波的生物效应

成年雄性小白鼠(出生 60—65 天),共分三组,每组12只. 在本底 22.5dB(C) 的隔声室内静适应饲养 48 小时后,对照组用液氮冰冻,待分析;其他二组分别同时在地声信号 A—H 的随机组合声场中暴露 30 分钟,液氮冰冻,待分析. 其中,高声强组 (HS)为 105—85dB (线性),低声强组 (LS) 放在同一隔声室内的隔音箱内,箱内的 SPL 为 76—66dB (线性). 同时与相近声压级的白噪声 (20—20000Hz) 和 10.5kHz、19.2kHz 的连续脉冲声暴露组相比较.

各组实验动物脑内 5-HT 和 5-HIAA 含量的变化,见图 6.

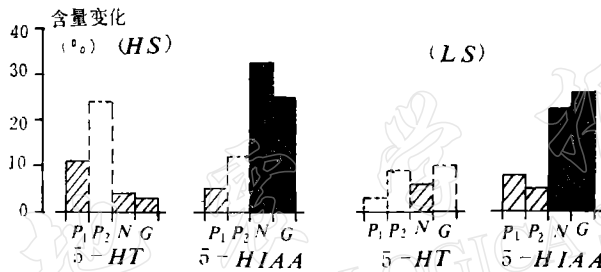


图 6 声波对小白鼠脑内 5-HT 和 5-HIAA 含量的影响

■: 显著性增高 ( $p < 0.05$ ), ▨: 增高, □: 降低, G: 地声, N: 白噪声, P<sub>1</sub>, P<sub>2</sub>: 10.5kHz, 19.2kHz 连续脉冲声

Fig. 6 Effects of sound wave on the content of 5-HT and 5-HIAA in brain of mice

■: significant increase, ▨: increase, □: decrease, G: geosound signal random noise, N: white noise, P<sub>1</sub>, P<sub>2</sub>: continual pulse sound of 10.5 kHz and 19.2kHz

图 6 表明,小白鼠在 105—85dB 和 76—66dB 的地声波作用下,脑内 5-HIAA 的含量分别比对照组(平均含量为 600±23 毫微克/克脑组织)增高 24.7% 和 26.2%.  $t$ -检验表明,与对照组相比较都有显著性增高 ( $P < 0.05$ ). 同时,这与相近声压级的白噪声作用效应相接近,而明显高于 10.5kHz 和 19.2kHz 的连续脉冲声的作用效应.

由隔音箱的隔声量 (100—400Hz、500—600Hz、2000—8000Hz 分别为 15—25dB、30—42dB、47—54dB) 来看,箱内的 LS 组动物所受到的地声波和白噪声作用,主要是 500Hz 以下的 70dB 左右的声刺激,即可显著地影响鼠脑中 5-HIAA 含量的变化,即 5-HT 代谢加强.

四、讨 论

由上述沙层对地声波的吸收衰减特性看来,某些地震前所观测到的前兆性地声信号的优势频段为数百赫芝<sup>[1,2]</sup>,以及人们在某些强烈地震前所听到的宏观地声一般都比较低沉,这可能与容积密度接近沙层的地表土层(如粘土为 1.6 克/厘米<sup>3</sup>)的吸收特性有关.

在某些三级左右地震震中附近松散基岩 ( $V_p=1.8\text{km/s}$ ,  $\rho=1.6\text{g/cm}^3$ ) 面上,观测到的前兆性地声,在 150—250Hz 内的有效声压级为 23—19dB<sup>[4]</sup>。但是要引起鼠脑内 5-HT 代谢功能的明显增强,其声压级必须达到 70dB 左右。假定某些不同震级地震前是以同比例(文献[3]中设为 1/10)的能量流真正转变成地声波能量流释放出来,则由地震的能量与震级的关系来看,某些七级左右强烈地震前所释放的声能流透射到地表的地声强度,可能要比某些三级地震前高得多。事实上,许多强烈地震前数分钟,甚至数小时,人们所听到的宏观地声不会低于 70dB。可见,某些强烈地震的前兆性地声波透入地表洞内,有可能引起鼠等穴居动物脑内 5-HT 的代谢功能。

鼠等动物脑内的 5-HT 主要是由集中在脑干内中缝核群神经元中的 5-HT 能神经元所分泌的。许多研究结果表明,脑内 5-HT 的代谢过程与机体的行为活动,体温调节、睡眠、镇痛等多种生理功能有关。例如,在强烈的应激状态下,可使脑内 5-HT 的更新加速。当鼠被强迫固定时,其丘脑下部 5-HT 含量减少和 5-HIAA 增加,在第 1 小时末就明显地表现出来<sup>[11]</sup>。Holst 等(1960)给鸡脑干中的埋藏电极施加一个缓慢增强的电刺激,鸡由安静状态逐步活动起来,最后惊叫飞起<sup>[12]</sup>。可见,前兆性地声波对某些动物脑内 5-HT 代谢功能的影响,有可能激起相应的行为异常反应。此时能否影响外周血液中 5-HT 含量的变化,尚且不清。由于血脑屏障,脑内和外周血液中的 5-HT 基本上是二个独立系统<sup>[11]</sup>。

上述测量结果表明,同深度沙层洞穴内的 SPL 相对衰减率比洞外沙层中下降 3—4%。对于比较致密和光滑的粘土洞,这种下降现象可能更为明显。如果某些强烈地震前透入地表土层中的地声波为 70dB,则由于洞穴的共鸣等作用,其洞内的声压级有可能比同厚度土层中提高 3—4%,即 2—3 dB。这对鼠类等穴居动物的声信号识别和行为活动是有意义的。作者等的观察结果表明,615 鼠在 120dB, 9.7kHz 的连续脉冲声场中,都明显地躲藏到声压级约低 2dB 的角落里<sup>1)</sup>。沈壕等(1983)的结果表明,豚鼠在 165—173dB 的宽带白噪声场中,声压级每增加 3dB,其半数致死时间相应缩短一半<sup>[13]</sup>。可见,洞穴的这种声响作用有可能对鼠等穴居动物的震前行为异常反应起到某种增强效应。

由低频噪声生物效应的某些研究结果看来,例如,锅炉发出的噪声谱(2—500Hz)中,54Hz 的峰值约 63dB 应对附近 6 米处居民的不安症负主要责任,32dB 就引起烦恼而不能入睡<sup>[14]</sup>。可见,某些强烈地震前透入洞内的前兆性地声波,虽然优势频率为数百赫芝,即远低于鼠的听觉敏感区,但对鼠可能是一种极不适应的低频噪声刺激。不仅可能直接引起鼠等穴居动物的不安和逃避性行为反应,还可能引起与脑内 5-HT 代谢功能有关的行为反应,即构成这些动物出现震前行为异常的重要因素之一。

中国科学院声学研究所田时秀等同志提供了有关的地声记录磁带。中医研究院针灸研究所王友京等同志协助测定了 5-HT 等的含量。一并表示致谢。

1) 蒋锦昌等,噪声对鼠脑内 5-HT 代谢的影响,图 2,科学通报,待发表。



## 参 考 文 献

- [1] 中国科学院生物物理研究所地声组, 余震期间的地声观测研究, 地震科学研究, 第一辑, 25—32, 1980.
- [2] Tian Shixiu and Wu Fukun, Observations and studies of geosound prior to earthquakes in the Tangshan—Ninghe region, ISCSEP, 480—493, Seismological Press, Beijing, China, 1984.
- [3] Armstrong, B. H. Acoustic emission prior to rockbursts and earthquakes, *B.S.S.A.*, **59**, 3, 1259—1279, 1969.
- [4] 蒋锦昌、刘向群, 震前地声与动物异常关系的研究, 地震学报, **3**, 4, 429—439, 1981.
- [5] 蒋锦昌、孙巍、孙立谔等, 岩石样品加压过程中家鼠行为反应的观察研究, 科学探索学报, **3**, 3, 37—44, 1983.
- [6] Tributsch, H., Do aerosol anomalies precede earthquakes? *Nature*, **276**, 606, 1978.
- [7] 鲍尔著, 王铮等译, 化学用数据统计手册, 9—11, 化学工业出版社, 1983.
- [8] 傅淑芳、刘宝诚、李文艺编, 地震学教程(上册), 236, 地震出版社, 1980.
- [9] 马大猷、沈 燮编著, 声学手册, 474, 科学出版社, 1983.
- [10] 孙成栋编著, 岩石声学测试, 33, 地质出版社, 1981.
- [11] 韩济生等编著, 中枢神经介质概论(第二版), 科学出版社, 1980.
- [12] Holst, E. V., et al. Vom Wirkungsgefüge der Triebe, *Naturwiss*, **47**, 409—422, 1960.
- [13] 沈 燮、陈定楚、郑素贤, 强声场中豚鼠的死亡曲线, 声学学报, **8**, 1, 57—61, 1983.
- [14] Broner, N., The effects of low frequency noise on people—A review, *Journal of Sound and Vibration*, **58**, 4, 483—500, 1978.

## A STUDY ON THE ATTENUATION CHARACTERISTICS OF EARTHQUAKE PREMONITORY GEO-SOUND AND ITS BIOLOGICAL EFFECTS

JIANG JINCHANG SUN WEI XU MULING NIE SHIFANG LIU XANGQUN

LIU LIJUN WANG QIANG

(Institute of Biophysics Academia Sinica)

### Abstract

In this paper the attenuation characteristics of 8 recorded premonitory geo-sound signals of earthquakes in sand layer is measured, and the effect on the metabolic process of 5-hydroxytryptamine (5-HT) in the brains of mice is analysed. The results are as follow:

1. The forms of the attenuation characteristics of 8 geo-sound signals in sand layer are basically similar, showing that geo-sound signals have almost the same fundamental characteristics. The attenuation is obviously related to frequency within the frequency bands of 50—100 Hz and 250—630 Hz, but attenuation is relatively uniform in the dominant band of 100—250 Hz, that is, the absorption coefficient of a sand layer with a thickness of 20—30 cm is about  $4 \times 10^{-2}$ — $6 \times 10^{-2}$  dB/cm within this band.

2. The relative attenuate rate of intensity level of geo-sound signals transmitted into a hole through a sand layer 30 cm thick shows some decrease as compared with attenuation in sand of the same depth, and it is related to the fundamental characteristics of the geo-sound signal. Within the dominant band, single tumbling sound, continual sound of “roasting beans” and so on, and blast sound drop  $4.4 \pm 0.8\%$ ,  $3.5 \pm 0.3\%$

and  $3.0 \pm 0.2\%$  respectively, but the drop in intensity of continuous sound of snare drums is not obvious.

3. Two groups of mice quiet adaptation of 48 hours are exposed for 30 minutes to random geo-sound signal noise of 105—85 dB and of 76—66 dB respectively. It was found that the accumulative volume of 5—hydroxyindole-3-acetic acid (5-HIAA), that is, the metabolite of 5-HT in the centre of both groups increases respectively 24.7% and 26.2% as compared with animals of the control group.

These results show that the spectrum characteristics of geo-sound with premonitory property transmitted into the ground is related to the absorption characteristics of the ground medium, and it is the stimulation by low frequency noise that makes the animals feel very uneasy. Though the dominant band of geo-sound transmitted into hole is obviously lower than the sensitive band of hearing of mice. It may directly effect the metabolic process of 5-HT in the brains of mice. Moreover, “acoustic effect of the hole” may raise the ability of animals to distinguish sound signals above the noise background. It may be seen that geo-sound with premonitory property may be an important factor which causes the abnormal behavior of animals living in holes, eg. mice, prior to the occurrence of earthquakes.

#### 更正

6 卷 4 期,叶文华文章第 468 页第 2 行中“零频与特征频率之间”应为“体波谱特征频率处”。