

超声波对土下异物探测的模型试验

袁忆丰 徐国柱

(南京大学声学研究所)

本文主要介绍用超声波透射法探测表层土下近距离异物的试验。文中给出了土壤和各异物的部分声学参量，并给出了土体模型中埋设与未埋设异物时波形的对比。

一、引言

众所周知，用超声检测表层土下近距离异物，诸如：石头、砖头和树根等方面研究目前国内外尚未见效用显著，而开展这方面的研究是一项颇为有意义的工作。

二、探测原理和实验装置

当声波在介质中传播时，其声速和衰减是描述声波传播特性的两个主要参量。因声速和衰减与介质的性质有关，故可通过测量声速和衰减了解各传播介质(如：土壤、石头、砖头等)的声传播特性。

声传播介质的声速 C 和声阻抗 Z 的测量装置如图1所示。如测得超声波穿透土壤、石

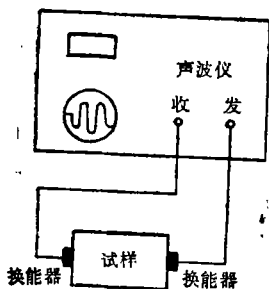


图 1

头、砖头等各试样的声时为 t ，则声速 C 为 $C = \frac{L}{t}$ 、声阻抗为： $Z = \rho c$ ，式中： C 为超声波纵速度(m/s)、 L 为试样长度(cm)、 t 为

声波仪直接测定的首波到达时的声时(10^{-7} 秒)、 ρ 为试样的密度(g/cm^3)。

用图2测试装置测得土体模型中埋设异

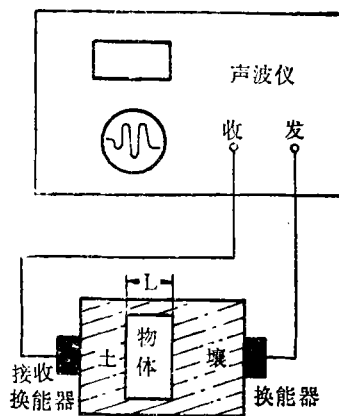


图 2

$$\text{物时声时 } t_L \text{ 为: } t_L = \frac{1}{c_1} + \frac{L-1}{C_L}$$

$$t = t_{10} + t_{L0} - t_{L1}$$

式中 C_1 为物体声速； C_L 为土壤的声速， t_{L0} 为土体中未埋异物时的声时。将上式整理一下为： $t_L - t_{L0} = t_{10} - t_{L1}$ 。因为物体的声速 C_1 大于土壤的声速 C_L 所以土壤中埋设异物时接收声波的首波到达的声时 t_L 将会变短。

用图2 实验装置测得土体模型(未埋设异物时)发射与接收换能器之间插入损失为： $IL_0 = \alpha_L \cdot L$ ，式中 α_L 为土壤的声衰减系数。测得土体模型中埋设异物时发射与接收换能器

之间插入损失为:

$$IL = \alpha_1 l + \alpha_L(L-1) + 20 \log_{10} \frac{(Z_L + Z_1)^2}{4 \cdot Z_L \cdot Z_1}$$

$$= IL_0 + (\alpha_1 - \alpha_L) \cdot l + 20 \log_{10} \frac{(Z_L + Z_1)^2}{4 \cdot Z_L \cdot Z_1}$$

式中 α_1 为物体的声衰减系数; Z_L 、 Z_1 分别为土壤和物体的特性阻抗。将上式整理为:

$$IL_0 - IL$$

$$= \alpha_{L1} l - \left[\alpha_1 \cdot l + 20 \log_{10} \frac{(Z_L + Z_1)^2}{4 \cdot Z_L \cdot Z_1} \right] \quad (1)$$

因为 $\alpha_L \gg \alpha_1$, 上式右边的第一项大于第二项, 即 $IL < IL_0$ 。这清楚说明了当土体模型中埋设异物时, 接收声波的波形幅度将会变大。

我们用 δ 脉冲源激励发射换能器, 发射声波具有不同的频率。由于土体模型中土壤的 α_L 比较大, 且 α_L 随频率 f 改变。当频率愈高, 吸收愈大, 声波的传播距离愈小。反之频率愈低, 吸收愈小, 声波的传播距离愈大。故当土体中未埋设物体时接收换能器只能接收到频率较低的声波讯号(设频率为 f_0')。

当土体模型中埋设厚度为 l 的物体时, 由于物体的 $\alpha_L \ll \alpha_L$, 则频率较高的声波在其中传播距离比在土体模型中未埋设物体时声传播距离大, 所以接收换能器能接收到频率 $f > f_0'$ 的声波讯号。

三、实验结果与分析

我们用图1实验装置测量了不同含水量、含砂量土壤的声速、声阻抗。如表一、表二所示。表一说明了土壤的声速在含水量小于15%随土壤的密度 ρ 增大而增大。但当土壤中含水量为20%(趋向饱和水时)声速就下降。这是由于土粒间接触状态的影响所致。从表一、表二数据可以看出表层土壤的声速 C_L 一般在400m左右、声阻抗 Z_L 一般在 $0.4 < Z_L < 1$ 范围内。另外我们测量了含水量10%表层土壤的声衰减系数。当声波频率为14.3KC时, $\alpha_L = 3.35 \text{db/cm}$ (如声波频率为50KC时, α_L 为11.7db/cm)。同时我们测量了埋设在土

壤中异物诸如石头、砖头、树根(相应木材)的声速、声阻抗和声衰减系数, 如表二所示实验结果表明土壤的声速 C_{L0} 、声阻抗 Z_L 与其它各物的声速 C_1 、声阻抗 Z_1 有较大的差异 $Z_1 > Z_L$ 、 $C_1 > C_{L0}$, 且表层土壤的声衰减系数 α_L 比较大。由于土壤与各异物存在声传播特性差异, 它给我们提供了探测表层土下埋设异物的可行性。

我们用图2 实验装置(发、收换能器中心工作频率为20KC)拍摄了 L 为12~15cm土体模型中未埋设与埋设石头、砖头、木头等各异物时接收波形图。图3为土体模型中未埋设物体时声波仪扫描速度为2000 μs 时的接收波形图。由波形图可以看出接收波形首波到达声时比较长, 波形幅度比较小, 且波形频率较低。

当土体模型中埋设木头(柞木)、石头(花岗岩——7、8)、小钢圆柱体和砖头(碎青砖块)等物体时, 声波仪扫描速度在800 μs , 档时接收波形图分别为图4、5、6。

由图3与图4——图6波形图对比, 我们

表1不同含水量土壤的密度 $\rho(\text{g/cm}^3)$ 、声速 $C_L(\text{m/s})$ 、声阻抗 $Z_L(\times 10^5 \text{g/cm}^2 \cdot \text{s})$

土壤 含水量%	黑色(表层土)			黄色(地下土)		
	ρ	C_L	Z_L	ρ	C_L	Z_L
0	1.32	364	0.48	1.30	295	0.38
10	1.50	459	0.69	1.59	422	0.67
15	1.95	477	0.93	1.95	596	1.16
20	1.95	432	0.84	1.98	456	0.90

表2不同含砂量土壤的密度 $\rho(\text{g/cm}^3)$ 、声速 $C_L(\text{m/s})$ 、声阻抗 $Z_L(\times 10^5 \text{g/cm}^2 \cdot \text{s})$

土壤 含水量%	黑色(表层土)			黄色(色下土)		
	ρ	C_L	Z_L	ρ	C_L	Z_L
0	1.41	350	0.49	1.59	422	0.67
10	1.47	345	0.51	1.55	443	0.69
20	1.55	411	0.64	1.61	401	0.65

表3各物体的声速 C_1 ($\times 10\text{m/s}$)、声阻抗 Z_1 ($\times 10^5\text{g/cm}^2 \cdot \text{s}$)、声衰减系数 α_1 (db/cm)

物体名称	C_1	Z_1	α_1 (超声波频率 50kc)	
石	花岗岩-7	607	17.1	0.06
	花岗岩-8	538	14.3	1.4
头	砂岩-8	278	6.4	/
	砂岩-9	261	5.2	/
砖	青色沿厚度方向	196	3.5	3.5
	红 厚度方向	245	5.0	3.4
头	色 宽度方向	200	4.1	1.4
	松 厚度方向	332	0.82	1.5
木	木 长度方向	336	2.54	0.37
	柞 厚度方向	354	1.35	3.1
材	木 长度方向	450	3.1	0.87
	低碳钢	588	45.5	1.32(250kc)

可以明显看到当土壤中埋有物体时,接收波形首波到达时间 t 变短、波形幅度大(约20db以上)和接收波形频率变高的实验图象。与前述有关的探测原理是基本符合的。

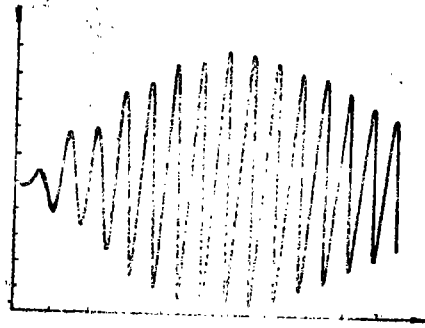


图5 土壤中埋设花岗岩-8(长:7.8cm、 ϕ :5.8cm)的接收波形图。(声波仪扫描速度为 $800\mu\text{s}$ 。长度方向为声传播方向)。

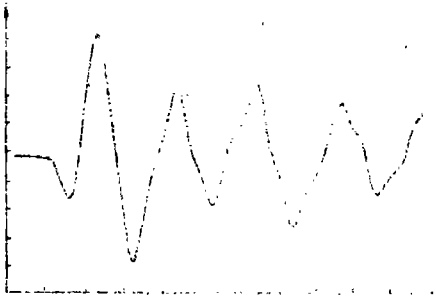


图3 声波穿透长为L土壤的接收波形图(声波仪扫描速度为 $2000\mu\text{s}$)

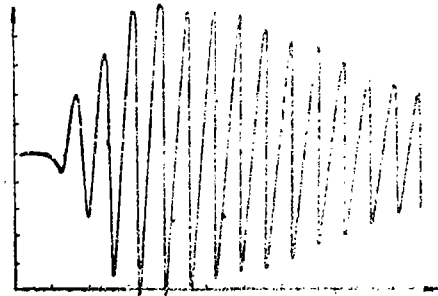


图6 土壤中埋设实心钢圆柱体(长:7cm、 ϕ :4.3cm)的接收波形图。声波仪扫描速度为 $800\mu\text{s}$ 。长度方向为声传播方向)

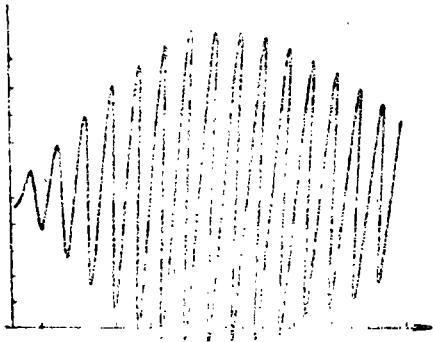


图4 土壤中埋设柞木(长:7cm、宽:5.5cm、高:4.8cm)的接收波形图。(声波仪扫描速度为 $800\mu\text{s}$ 。木材长度方向为声传播方向)。

四、结束语

我们用超声波透射法根据透射声波在波越时间 t 、波形幅度和频率 f 的变化来探测地下近距离埋设异物诸如石头、砖头是可行的,但要实施在室外较大范围内超声探测异物,则要求具备一台有强穿透力的声波仪,包括小型大功率声波发射源和尺寸小、承受功率大、灵敏度高的发、收换能器探测系统。并配备具有对接收波形首波到达声时 t 、波

(下转第33页)

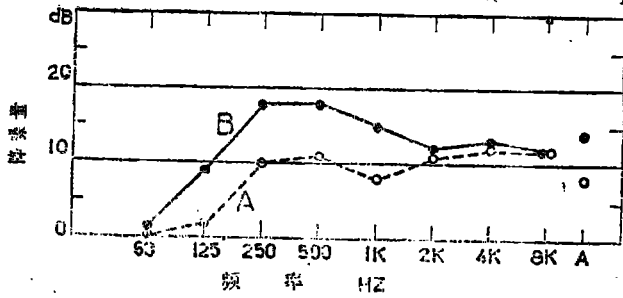


图6 噪声处理和电机噪声对泵房的降噪效果

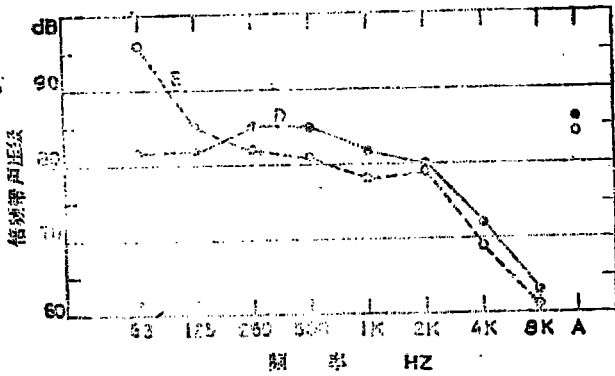


图7 降噪以后泵房内噪声总谱一测和暂停运转(备用机)水泵运转的噪声级

级已低至84dB A。同时还测定了暂停运转(备用机)水泵附近的噪声级,目的是了解检修人员在水泵附近工作时的噪声暴露情况,该点的噪声级已下降到86dB A,其结果见图7所示。

油田注水站泵房内噪声源较多,分布面又广。我们对其电机和平顶进行处理,这种措施施工安装比较简单,对操作工人和设备的运行影响较小,对所测各点的降噪量约达8~16dB A,泵房内的噪声基本符合工业企业噪声标准要求。

附记:参加噪声测试工作的有大港油田安全处王震亚、曹子良和温州机电配件厂吴昌斌等同志。

(上接第12页)

形幅度和频率变化的识别报警系统。

本研究工作得到南京大学研究所吴文虬教授的指教和王耀俊副教授、朱正亚老师的大力帮助、特致谢意。

参考文献

- [1] 牛凤岐,张雪萍应用声学1(1982),39.
- [2] 杜功焕等编著声学基础(1981)
- [3] 同济大学声学研究室,超声工业测量技术,(1977)
- [4] 骆文海、土中应力波及其测量,(1985)

(上接第21页)

- [6] R.J.M.Craik, "The Prediction of Sound Transmission Through Buildings Using Statistical Energy Analysis", J.Sound Vib. (1982), 82(4), 505-516.
- [7] L.L.Beranek, Noise and Vibration Control, McGraw-Hill, 1971.
- [8] K.A.Mulholl, A.J.Price and H.D.Parbrook, "transmission Loss of Multiple Panels in a Random Incidence Field", J.Acoust.Soc.Am. (1968), 43(6), 1432-1435.
- [9] R.H.Lyon and E.Eichler, "Random Vibration of Connected Structures, J.Acoust Soc.Am. (1964), 36(7), 1344-1354.