

土体品质因子原位测试的方法及原理*

1 前言

疏松土体对弹性波能吸收比致密岩体大得多。疏松的土体在我国覆盖面广阔,人口聚集区和大多数工程建筑物都位于地表土体上。因此,评估土体对强地面运动的影响,对于工程抗震是十分重要的。

目前,测试岩体 Q 值的方法较多,比较典型的有频谱比率法和上升时间法。应用频谱比率法要求震源至测点的距离大于地震波波长的 5-7 倍^[1]。上升时间法要求所测介质的 Q 值大于 20。

一般来说,工程地震测试的范围较小,从几米到数百米。一些室内标本试验表明,松散土体的 Q 值基本上在 20 以内,因此,上述方法对于测试土体 Q 值是不合适的。本文介绍了一种测定土体 Q 值的方法。

2 方法及原理

考虑到地震脉冲加宽与几何扩散无关^①,在研究中可将地震波看成是以平面波的形式传播的,这一假设并不影响实际工作的结果。因此,可以利用衰减介质中平面波脉冲响应函数与实际震源处质点运动褶积,并考虑地震仪器的频响因素,计算得出测点处质点的运动情况,将这一计算值与实测记录的脉冲宽度做最佳拟合,求出土体的品质因子 Q。

1970 年 Strick 用最快下降法计算了时间域的脉冲响应函数 $B_s(t, x)$ ^[2]:

$$B_s(t, x) = (x/C_s)^{-\beta} t_s^{-(\gamma+1)/2\gamma} [2\pi\gamma(1-r)^{-1/\gamma}]^{-1/2} \exp[-r(1-r)^{(1-r)/\gamma} t_s^{1-1/\gamma}] \quad (1)$$

$$C_s = C_0 \cos(\pi r/2) \omega_0^{-r} \quad (2)$$

$$\gamma = 1/\pi \tan^{-1}(1/Q) \quad (3)$$

$$\beta = 1/1-r \quad (4)$$

$$t_s = (x/C_s)^{-\beta} \quad (5)$$

式中 x 为测点至震源的距离; t 为时间; C_0 是地震波频率为 ω_0 时在介质中传播的相速度,而 ω_0 是可以任意选取的参照频率,一般取为地震波脉冲的主频率。

ω_0 可以通过对地震脉冲做频谱分析求得。 C_0 可以通过窄带滤波的方法求得^[3]。

实际上,人工地震波的频率集中在 10-100Hz 内,在这个频段内,相速度的频散现象并不明显,那么,就可以用地震波的群速度来近似代替相速度 C_0 。群速度 V_p 或 V_s 是很容易测出的。

对(1)式求导,可得出脉冲的速度响应函数^[2]:

$$B_{\dot{s}}(t, x) = (x/C_s)^{-\beta} B_s(t, x) [(1-r)^{1/\gamma} t_s^{-1/\gamma} - (r+1)/2\gamma t_s^{-1}] \quad (6)$$

地震仪的记录可以是位移量也可以是速度量,这两种记录都可以利用,方法类似。

2.1 对于位移量的记录

设 $D_s(t)$ 为震源质点的位移; $E_s(t)$ 为震源处人工地震位移记录; $J_s(\omega)$ 为震源处地震仪的

* 兰州地震研究所青年基金项目

① D. Jongmans, 土体衰减的现场测量,刘旭译,地震译文集, No. 2, 1991.

频响,则有

$$F[E_i(t)] = J_i(\omega) F[D_i(t)] \quad (7)$$

式中 F 为付氏变换。

设 $D_i(t)$ 为测点处质点位移; $E_i(t)$ 为理论计算的测点处仪器的位移记录; $J_i(\omega)$ 为测点处地震仪的频响,则有

$$D_i(t) = D_s(t) * B_i(t) \quad (8)$$

$$F[E_i(t)] = J_i(\omega) F[D_i(t)] \quad (9)$$

将(7)、(8)式代入(9)式并做付氏逆变换 F^{-1} 得出:

$$E_i(t) = F^{-1}\{F[E_i(t)]J_i(\omega)F[B_i(t)/J_i(\omega)]\} \quad (10)$$

设 $B(\omega) = F[B_i(t)]$, 当 $Q^{-2} \ll 1$ 时,

$$B(\omega) \approx \exp\{-x|\omega|/2QC - i\omega x/c\} \quad (11)$$

其中 $C = C_0(\omega/\omega_0)\exp(1/\pi Q)$ 。

将(11)式代入(10)式得出:

$$E_i(t) = F^{-1}\{J_i(\omega)/J_s(\omega)F[E_s(t)]\exp[-x|\omega|/2QC - i\omega x/c]\} \quad (12)$$

如果地震仪频响相同,(12)式就可以大大简化,因此,在选用地震仪时,应尽量选取响应相同的仪器。

应用(12)式的前提是 $Q^{-2} \ll 1$, 一般说来,对于砂砾石层或粘土层($Q \approx 3 \sim 6$),这一前提是满足的¹⁾。但对于风成黄土或人工堆填物,松散粉细砂等土体的 Q 值,还没有已知的衰减系数资料,不能直接运用(12)式,应运用(10)式计算。当 $J_s(\omega) = J_i(\omega)$ 时,(10)式为:

$$E_i(t) = B_i(t) * E_s(t) \quad (10')$$

2.2 对于速度量记录

原则上讲,对速度量积分就可得出位移量,从而可以运用(12)式计算。但是,根据(6)式,可省去对测点处的记录进行积分。与位移量的分析相似,可得出:

$$R_i(t) = F^{-1}\{J_i(\omega)F[\int_0^t F^{-1}\{F[R_s(\xi)]/J_s(\omega)\}d\xi]F[B_s(t)]\} \quad (13)$$

式中 $R_s(t)$ 为震源处人工地震速度记录; $R_i(t)$ 为理论计算的测点处速度记录。

在(12)、(13)式中, $J_i(\omega)$ 与 $J_s(\omega)$ 以及 $E_s(t)$ 和 $R_s(t)$ 均是已知的。 Q 值仅在 $B_s(t)$ 或 $B_{sn}(t)$ 项内出现。选用不同的 Q 值,便可给出一系列 $E_i(t)$ 及 $R_i(t)$ 曲线,在此曲线上求得脉冲的宽度,与测点处实际记录的脉冲宽度比较,选取最佳拟合时的 Q 值。

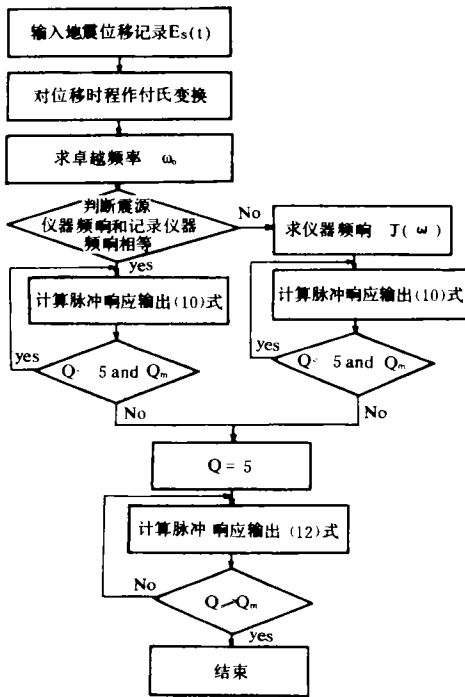
计算程序框图如下:

3 结语

浅层土体的品质因子是一个重要的工程地震参数,本文在前人工作的基础上,讨论了近源测试品质因子的方法原理,但深感工作深度不够,望读者不吝指教。作者感谢兰州地震研究所李清河、闵祥仪副研究员的指导和帮助。

(本文 1992 年 7 月 20 日收到)

(国家地震局兰州地震研究所 刘旭)



参考文献

- 1 Einar Kiartansson. Constant Q-wave propagation and attenuation. Journal of Geophysical Research. 1979, 84(89).
- 2 徐果明. 地震学原理. 北京: 科学技术出版社, 1982.
- 3 安艺敬一. 定量地震学. 李钦祖译. 北京: 地震出版社, 1986.

IN-SITU MEASUREMENT OF SOIL Q-VALUE

Liu xu

(Earthquake Research Institute of Lanzhou, SSB; Lanzhou 730000)

(上接 104 页)

大震临震预报的某些实用化指标探讨

张文冕 田少柏 陈文彬

(国家地震局兰州地震研究所, 兰州 730000)

摘要

本文对我国大陆 1969 年至 1990 年所发生 11 次大震(唐山、炉霍、松潘、海城、渤海、龙陵、永善、澜沧、乌恰、道孚、共和)的各种前兆临震突变异常和趋势性背景异常运用多阶段综合、多现象综合的方法进行统计分析。研究临震突发性异常的总体特征及其物理解释, 归纳各种前兆异常分阶段发展的时、空、强(频)演变规律, 临震突变日距发震日的时间分布规律, 临震实发性异常组合性与同步性规律, 探讨大震临震异常综合判断方法、临震预报综合指标和有效性时间预报。