

复摆式爆炸振动参数测量 仪及其测试方法

龚振鹏

(1983年12月8日收到)

本文主要介绍了一种爆炸振动测量仪—702型拾振器及其测试方法。大量试验及现场实测表明,该测量仪性能良好,能满足目前工程精度要求。

一、概述

目前对构筑物及各种建筑设施,多用运动参数来确定爆炸振动的烈度标准,尤其是速度常在实际工程中引用,这就对速度的测量提出了要求。本文介绍的复摆702型拾振器是一种同时测量速度和位移的仪器,其频响和量程能满足较近场爆炸振动测量,也可用于一般的机械振动测量。试验和现场实测表明它能满足工程实际要求。

二、工作原理

702型复摆拾振器属于迴转型摆(结构示于图1),其振动方程为:

$$I \ddot{\theta} + \lambda \dot{\theta} + k \theta = -\frac{I}{L_0} \ddot{X} \quad (1)$$

式中: I —摆的转动惯量; λ —阻尼系数; θ —摆的角位移; k —弹簧系统的角刚度; L_0 —等效摆长; \ddot{X} —地面运动加速度。

强迫振动的特解为:

$$\theta = -\frac{I}{L_0} \nu X(t) \quad (2)$$

式中的 ν 为幅频特性。为使摆的转角与地面位移 $X(t)$ 成正比,只要拾振器的自振频率大大低于被测频率,阻尼比调整到临界阻尼值(55%~65%),就可以实现。此时 $\nu \sim 1$ 。

在换算成线圈中心位移时,(2)式变为:

$$y = -K \nu X(t) \quad (3)$$

$$K = L_k / L_0$$

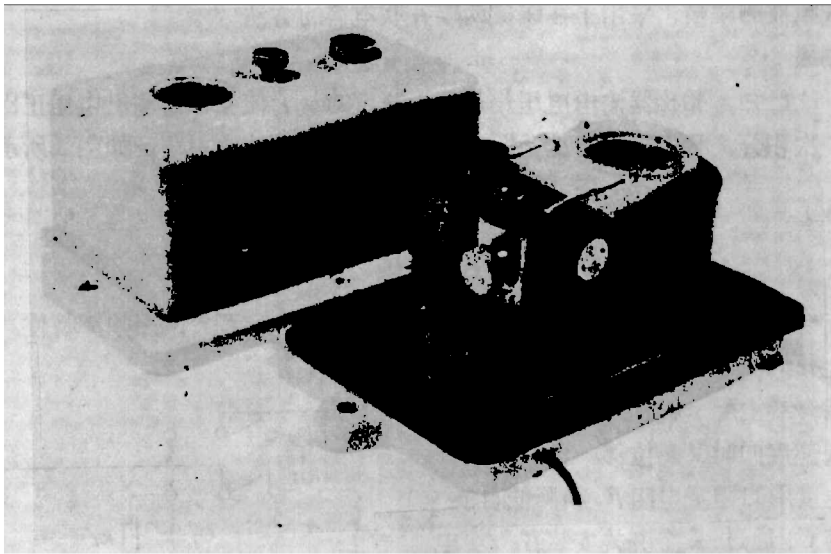


图1 702型拾振器

式中： K —静态杠杆放大倍数； L_k —线圈中心到转动轴的距离，称指示摆长。

拾振器线圈可动范围为 3 mm ($P-P$) 要想测量大位移，必须使 $K \ll 1$ ，复摆可使 $L_0 \gg L_k$ ，可以实现这一点。

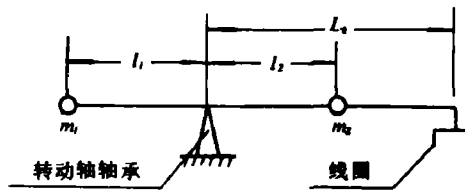


图2

复摆的原理图示于图2。在转动轴的两边有质量 m_1 、 m_2 ，其等效摆长可用下式表示：

$$L_0 = I / M \tag{4}$$

$$(I = m_1 l_1^2 + m_2 l_2^2, M = m_1 l_1 - m_2 l_2)$$

式中的 M 为绕转动轴力矩之和，只要适当地选择转动轴两边的质量分布，即可获得所需要的等效摆长 L_0 的值，从而可用复摆测量大位移。

1. 速度测量

测量方式，采用线圈在永磁体的均匀磁场中切割磁力线运动（相对位移）。此时线圈两端的感应电动势为：

$$e = Bl\dot{y} = -GKv\dot{X}(t) \tag{5}$$

式中： e —感应电动势； B —磁场感应强度； l —切割磁力线导线长度； \dot{y} —线圈与磁场相对运动速度； G —机电变换系数。

从(5)式可以看出，线圈两端输出电压与地面运动速度成正比。为了降低拾振器自振

频率, 增大低频被测幅值, 采用了在线圈两端并联电容的方法^[1]。

2. 位移测量

从公式(5)已知, 拾振器输出电压是正比于速度的, 为使拾振器输出电压正比于位移, 则必须进行一次积分, 我们采用的是无源积分网络接在线圈的输出端, 如图3所示。最后的输出电压为:

$$u = -A v_i v X(t) \quad (6)$$

式中: A —位移灵敏度, 可表示为: $A = GK/R_1 C_1$; v_i —积分网络频率特性。

在线路上我们使 $R_1 C_1$ 的乘积近似等于1。为使在一台拾振器上配一般放大器与直接接振子使用, 即测速度同时又测位移。我们把积分网络连同测速度用的阻尼电阻 R_2 和降低自振频率用的电容 C_2 通过一个开关安装在一块电路板上, 并装在拾振器内, 其线路图如图3所示。开关位于1时拾振器输出正比于位移; 开关位于2时拾振器输出正比于速度。

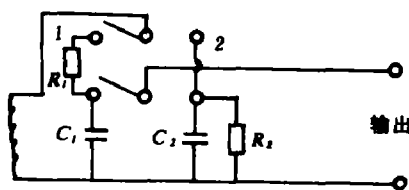


图3

三、技术性能

自振周期为 $1 \sim 3s$; 最大被测位移为 $10cm (P-P)$; 最大被测速度为 $100cm/s (P-P)$; 频率范围为 $2 \sim 30 Hz$; 输出电阻为 $36 k \Omega$; 位移灵敏度为 $38mV/cm$; 速度灵敏度为 $52mV/cm/s$ 。

四、使用方法

1. 拾振器可直接与功率放大器和记录器配套使用。测速度时, 配上适当的衰减电阻, 可直接输给振子记录, 也可以用磁带机记录。

为了排除干扰, 拾振器用双芯或单芯屏蔽电缆连接放大器(单芯时屏蔽网为一根传输线)。拾振器线圈与外壳绝缘安装, 电缆屏蔽网与放大器、记录器共地, 整个系统为半屏蔽安装, 如图4所示:

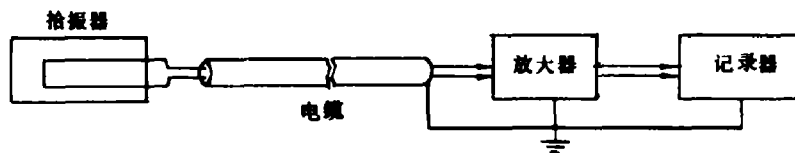


图4

如果测点很远, 导线的连接处要打结, 并用防水胶布密封, 若阴雨季节, 还要将导线的接头用 $1/3$ 的腊加 $2/3$ 的沥青加热浸泡, 这样处理的导线, 即使短时期泡在水里也能使用。

2. 标定: 在使用前, 必须对拾振器的幅频特性、线性关系进行标定。我们采用拾振器、放大器和记录器整套标定法。其方块图如图5所示。

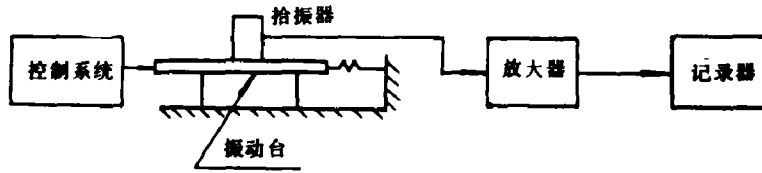


图 5

当振动台身位移为 x_1 、速度为 \dot{x}_1 时，记录的位移为 x_2 、速度为 \dot{x}_2 ，则全系统的传输系数为：

$$K_l = \frac{x_2}{x_1}, \quad \dot{K}_l = \frac{\dot{x}_2}{\dot{x}_1} \quad (7)$$

其中 K_l 和 \dot{K}_l 分别为不同频率下的位移传输系数和速度传输系数，即是位移和速度的频率特性。如果现场实测在记录纸上的位移和速度的幅值分别为 x_2 、 \dot{x}_2 ，那么实测位移 x 和实测速度 \dot{x} 就等于：

$$x = \frac{x_2}{K_l}, \quad \dot{x} = \frac{\dot{x}_2}{\dot{K}_l} \quad (8)$$

3. 安装：将拾振器固定在被测物上，松开锁紧摆的螺丝，使摆能在磁隙中自由活动，并调节三个地脚螺丝和弹簧（垂直的）使摆位于适中位置，如果用万用表电阻挡量拾振器的输出端，就会看到线圈向里或向外移动，但切勿用高阻挡（电压大于 6 伏）测量，以免击穿拾振器内的电容器。在较恶劣的环境条件下，需在爆前不久进行安装，为了防潮可将拾振器用塑料口袋套上，只要没有水和其他液体浸入，仪器就可正常工作。

测量是有方向性的，必须把拾振器对准欲测的方向，如果有偏角，则必须进行修正。公式为：

$$b = \frac{a}{\cos a} \quad (9)$$

其中： b —修正后的欲测方向值； a —存在 a 角的实测值； a —偏角。从化爆近区高频（相对其他测试而言）测得的结果来看，此仪器还是可以满足工程上的需要的。

垂直速度沿地下岩洞底板衰减规律为：

$$V_s = 111.2 \left(\frac{\sqrt[3]{Q}}{R} \right)^{2.07}$$

$$0.48 < \frac{\sqrt[3]{Q}}{R} < 2.26$$

$\gamma = 0.8902$ ——相关系数； $S = 0.0599$ ——剩余标准差。

式中： Q —装药量； R —测点与爆心的距离。

与爆炸洞平行岩洞底板垂向衰减规律为：

$$V_s = 88.7 \left(\frac{\sqrt[3]{Q}}{R} \right)^{2.446}$$

$$\gamma = 0.9977; \quad S = 0.0014$$

径向为:

$$V_r = 296.3 \left(\frac{\sqrt{Q}}{R} \right)^{2.192}$$

两个方向的峰值比为:

沿着垂直于爆炸洞的观测洞垂向位移衰减

规律为:

$$d_s = 2.016 \left(\frac{\sqrt{Q}}{R} \right)^{1.42}$$

$$0.7 < \frac{\sqrt{Q}}{R} < 3.05$$

$$\gamma = 0.9372; S = 0.0243$$

从位移和速度间的关系粗略估算,在量级上也是符合的,所测位移频率一般在10周左右,而位移和速度之间相差约 $2\pi f$ 倍。图6为现场实测的位移和速度波形。

试验序号	V_s/V_r
105-2 1-1	0.64
106-10-1	0.31
108-11-1	0.35
107-10-1	1.57
平均	0.72

试验序号	V_s	d_s
101-2-2	964	10.0
101-2-3	714	9.3
105-3-5	181	2.5

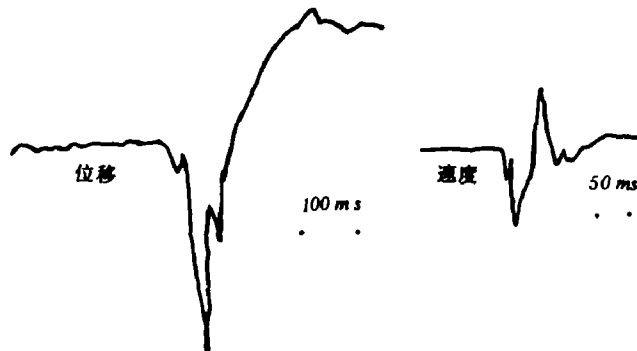


图6 现场实测位移和速度波形

4. 现场更换拾振器: 在现场由于运输或其他原因造成标定好的拾振器损坏, 而又一时无法修好, 可把备用的换上, 新的传输系数有两种办法重新确定。

(1) 计算出两台拾振器灵敏度的比值, 再用此值修正原系统的传输系数, 便是更换后的系统的传输系数。以位移为例, 原拾振器灵敏度为 36 mV/cm 系统的传输系数为10, 换上去的拾振器灵敏度为 32.4 mV/cm , 新的传输系数 $K_i = 32.4 \times 10 / 36 = 9$ 。

(2) 电讯号标定法, 即用低频振荡器模拟换上去的拾振器灵敏度输给放大器, 此时比较二次幅值, 便可计算出新系统的传输系数。仍以上例为例, 原传输系数为10时, 在记录纸上的幅值为 4 cm , 而更换的拾振器灵敏度是 32.4 mV/cm (即是振荡器输出电压) 在记录纸上的幅值是 3.6 cm , 则新的传输系数是 $K_i = 10 \times 3.6 / 4 = 9$ 。

5. 更换放大器:

(1) 如果知道两台放大器的各自的放大倍数, 计算出二者间的比值关系, 即可计算出新系统的传输系数。

(2) 电讯号标定法和更换拾振器一样, 只是振荡器输出电压模拟原拾振器灵敏度。

6. 更换振子: 如果某一线振子损坏或者更换不同型号振子, 也需要重新确定全系统的传输系数。一是计算出两根振子灵敏度的比值, 再用此值修正原系统的传输系数; 二是与以上两种电讯号标定方法一样, 标定出新的传输系数。如果更换记录器, 也要重新标定。因为每台记录器磁场强度不一定相同, 标定的办法是把振子按顺序移到新记录器上, 再用电讯号标定其中一条线的新的传输系数, 找出新旧传输系数比值关系, 再用此值修正每条线的传输系数。因为所有振子都同处于一磁场中, 因而它们的误差是相同的。

六、结束语

本仪器及其测试方法经多次实测证明可在实际工程中应用, 在现场测试中, 测得大于 300cm/s 的振动速度。从702型拾振器理论分析上看, 是完全可以做到的。但拾振器毕竟是一个机械组合体, 在大速度作用下其本身的机械零件的相对运动是很复杂的, 由于目前尚没有标定大速度设备, 所以对 300cm/s 以上的速度的精确度尚待以后进一步研究。

此项工作得到了黄浩华同志的关怀与指导, 杨昇田同志多方面给予帮助, 特此致谢。

参 考 文 献

(1) 黄浩华, 701型拾振器, 中国科学院工程力学研究所研究报告, 78—013

AN EXPLOSION VIBRATION PARAMETER METER OF COMPOUND PENDULUM TYPE AND ITS APPLICATIONS

Gong Zhenpeng

Abstract

An explosion vibration parameter meter - model 702 detector and the proper measuring method are described in this paper. The in-situ measurement results show that its quality is good and can satisfy the precision required for engineering applications.