

加速度计冲击校准方法 资料汇编

(内部资料)

中国计量科学研究院

一九七五年五月

毛主席语录

中国人民有志气，有能力，一定要在不远的将来，赶上和超过世界先进水平。

社会主义革命和社会主义建设，必须坚持群众路线，放手发动群众，大搞群众运动。

百花齐放，百家争鸣。

说 明

这份资料是根据1973年10月在武汉召开的“加速度计冲击校准方法讨论会”上交流的资料编印的。由于国内各有关单位的要求，会后我们又请各参加会议的单位作了进一步的整理和修改，现编印出来，供从事这方面工作的同志们参考。

中国计量科学研究院第二力学室

1975年5月

目 录

| | |
|--|---------|
| 1. 说明 | (1) |
| 2. 加速度计冲击校准方法讨论会总结 | (2) |
| 3. 落体冲击加速度的测定方法——总字306部队 | (3) |
| 4. 落锤式冲击标定台——上海交通大学 | (13) |
| 5. 建立冲击加速度标准装置——中国计量科学研究院 | (22) |
| 6. JC-1型冲击摆技术总结(摘要)——三机部304所 | (41) |
| 7. 在弹导摆上的冲击校准——七机部704所 | (42) |
| 8. 冲击测量和校准——三机部625所 | (51) |
| 9. 冲击加速度计的校准设备——广字802部队 | (63) |
| 10. 量测系统在几种输入函数作用下的动态响应分析—— 总字306部队 | (69) |
| 11. 冲击测量——七机部704所 | (206) |
| 12. 电荷放大器及其在冲击测量中的应用——北京6971厂 | (220) |
| 13. 冲击测量及冲击测量仪器——北京6971厂 | (228) |

加速度计冲击校准方法讨论会总结

随着我国国防建设,工业生产和科学研究工作的迅速发展,准确测量冲击加速度的问题显得日益迫切,国内有不少单位为解决当前急需问题,已先后建立了冲击加速度校准装置,做了很多工作,取得了一定成绩,也积累了不少经验。但是,由于校准方法不一致,彼此校准结果也存在一定的差别,在一定程度上已经影响了生产和科研成果的质量。

在党的“十大”路线指引下,为落实伟大领袖毛主席提出的“备战、备荒、为人民”和“抓革命、促生产、促工作、促战备”的伟大号召为加快我国振动冲击测量的科学研究步伐,更好为国防建设和工业生产服务,本着互相学习,交流经验,在与会单位积极准备下,在湖北省计量局大力协助下,于十月二十六日至十一月四日,在武汉市由中国计量科学研究院主持召开了加速度计冲击校准方法讨论会。

在会上宣读了十篇研究报告和工作总结。经过与会34个单位,60位同志认真讨论后,对以下问题,初步取得比较一致的意见。

1. 讨论会认为加速度计进行冲击校准是必要的。冲击校准的目的一般有二个:线性校准和检查波形的畸变,即检查加速度计及其前置放大器对于给定的冲击信号的响应误差。

2. 会议上介绍的校准装置大致分为①冲击摆校准装置(单摆和复摆两种),适用于冲击加速度几百个“g”以下校准冲击持续时间为1毫秒到数十毫秒;②下落台校准装置,适用于一、二千个“g”以下校准冲击持续时间为1毫秒到数十毫秒;③落球式校准装置适用于几百个“g”到几个“g”校准冲击持续时间为50微秒到几毫秒;④空气枪(或炮)适用于一万个“g”到数十万个“g”校准,或作长持续时间低“g”值校准用。以上校准装置,校准精度约5%~10%。

3. 会议讨论了几种加速度计冲击校准方法,大致可以归纳为三种:①速度改变求面积方法,②冲击力方法,③速度切线法。

其中速度切线法,是根据记录冲击过程运动速度随时间的变化曲线,求出速度曲线的斜率,来确定各瞬时加速度值,或求出最大斜率来确定最大加速度值(详见目录③)。

冲击力方法,是根据力学第二定律 $F=ma$,在产生最大冲击力那一瞬时, $F_{\max}=ma_{\max}$,所以最大加速度 $a_{\max}=\frac{F_{\max}}{m}$, F_{\max} 为测力传感器测出最大的冲击力(详见目录4)

速度改变求面积方法,是根据冲击过程速度变化等于冲击过程加速度的积分,速度的变化量可绝对测量,加速度波形面积可以通过如下几种方法:(1)将加速度计电压—时间曲线记录下来经放大后,用求积仪测量(详见目录5,目录6)(2)根据冲击加速度波形近似情况,工程上计算时可以假设为余弦波面积为 $0.5\tau A$, τ 是冲击持续时间, A 是波形高度。(详见目录3),(3)也可以根据记录下来的冲击加速度波形,取10%高度水平线所截的脉冲宽度 τ^1 ,按半正弦波面积计算为 $0.636\tau^1 A$, (详见目录7,目录8)(4)还可以根据面积相等原理,通过波形顶点作二直线,要使直线两边所包络的面积相等,求出这二直线与水平线所组成的三角形的面积(详见目录3)(5)按半正弦波假设,取冲击持续时间 τ ,计算面积为 $0.636\tau A$ (详见目录9)。

根据实验对比，实际冲击加速度波形取余弦波形(面积为 $0.5\tau A$)或取10%高度所截取的时间 τ' 按半正弦计算面积($0.636\tau'A$)，经过初步比较和振动灵敏度是一致的，与求积仪求面积校准结果也是一致的。而计算时间取冲击持续时间 τ ，按半正弦波面积 $0.636\tau A$ 计算结果加速度值比实际约小28%。

4. 讨论并推荐了，冲击加速度测量误差为5%~10%的频带要求为①测量系统(包括传感器和测量仪器)的上限频率必须高于冲击持续时间倒数的3~5倍以上，对于有阻尼的加速度计可按阻尼系数适当选取(详见目录10)②测量系统的下限频率必须低于冲击持续时间倒数的0.016~0.032倍。

会议经过讨论，并经各单位的实验证明：在测量系统的频带宽度满足上述要求情况下，在允许误差范围内，振动灵敏度与冲击灵敏度是一致的。

5. 与会同志希望中国计量科学研究所和有关计量部门，早日建成我国冲击加速度标准，统一加速度量值，更好为国防建设和工业生产服务。

希望在条件具备时，由计量院组织国内有关单位的校准装置的对比和统一工作。

6. 与会单位也很大兴趣听取了北京6971厂介绍他们研制冲击测量仪器的工作和经验，大家一致希望今后有更多，更好的国产冲击振动测量仪器，以满足我国国防建设和工业生产的需要。

目前加速度计校准方法分为绝对校准方法和相对校准方法两种，绝对法精度较高，但比较复杂，校准效率低。相对法精度低一些，但比较简单，校准效率高，适用于生产单位和现场测量单位。这次会议着重交流和讨论了绝对校准法，会上介绍的几种方法各有优缺点，从我国当前实际情况出发为解决国防和生产上的急需，大家认为这些方法基本上都是可行的。

与会同志表示今后要加强技术交流，对现有的方法和装置不断改进，并进一步探讨新的校准方法。大家认为这次讨论会对今后冲击振动工作起到了促进作用。

加速度计冲击校准方法讨论会会议秘书组

一九七三年十一月四日

落体冲击加速度的测定方法

(中国人民解放军总字三〇六部队)

一、前 言

对振动加速度实际量测中所用的加速度传感器及其量测系统,必须进行标定,以建立加速度值与讯号之间量的关系。目前,我部这一工作主要是在 ZS-600 电磁振动台上进行的,尽管在振动台上加了共振梁,扩大了标定范围,但仍然满足不了对大量程加速度传感器标定的需要。为此,我们又初步调试了我部 H-600 落体冲击台。

对落体冲击台进行调试,即确定落体下落高度 H 与其落体产生的冲击加速度值 $A(g)$ 的关系,可以用比较的方法即相对标定法;在没有可视为标准的加速度传感器及其量测系统时,也可用不依赖标准量测系统的绝对标定法。我们用绝对标定法对 H-600 落体冲击台所产生的冲击加速度进行了标定试验。

试验中,利用电磁学原理测量了落体下落末速度 V_1 和回跳初速度 V_2 以及冲击速度波形 $V_{12}=f(t)$;使用晶体加速度传感器测量了冲击加速度波形 $G_{0r}=A(t)$ 。

应用冲击速度波形切线法确定了冲击加速度峰值,并且与冲击加速度波形面积积分法、正矢函数模拟法、正弦函数模拟法等方法给出的冲击加速度值作了比较。

在附录中,简述了对冲击速度波形测量装置的改进,从而使切线法的量程得到了扩展。同时,也提及了用阴极射线示波管作为晶体加速度传感器的讯号负载来测量冲击加速度波形 $G_{0r}=A(t)$ 的尝试试验。

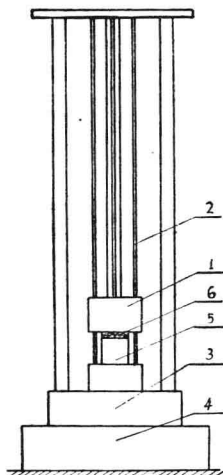


图 2-1 冲击落体台示意图

二、H-600 落体冲击台

实验用的 H-600 落体冲击台其基本结构如图 2-1 所示:

落体①可沿三根导杆②上下运动;底座③连在混凝土地基④上;其座上的砧体⑤放有缓冲垫⑥。

试验时,冲击加速度传感器固定在落体上,将落体升到需要的高度,使它沿导杆自由落下与缓冲垫碰撞,于是产生了所需要的冲击。

三、确定冲击加速度值的方法

确定落体冲击台落体与缓冲垫相碰时产生的最大加速度值,我们是依据测得的冲击速度波形和冲击加速度波形来进行分析计算的。下边分述几种确定冲击加速度值的分析计算方

法。

1. 冲击速度波形切线法

大家知道，在速度曲线（波形）上某点所作切线的正切值就是该点的加速度值，即加速度曲线是速度曲线对时间的微分。

$$A(t) = \frac{dV(t)}{dt} \quad (3-1)$$

图 3-1 为落体冲击速度随时间变化的曲线。由单摆现象知道，速度在从正到负（或从负到正）的变化过程中，速度为零的那一点（见图 3-1 中 0 点）就是加速度极大值的那一瞬间 0 由 0 点作曲线 \widehat{COE} 的切线，时间间隔取为 $\Delta\tau$ ，纵坐标 G' 点之值 $O'G'$ 与 $\Delta\tau$ 之比就称之为时间 $\Delta\tau$ 内的平均加速度值。 $\Delta\tau$ 取得越小，该值越接近于 0 点的真实值。

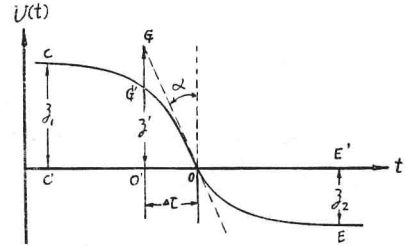


图 3-1

$$\lim_{\Delta\tau \rightarrow 0} \frac{O'G'}{\Delta\tau} = A(t)|_0 = \frac{O'G}{\Delta\tau} \quad (3-2)$$

图 3-1 中令：

$$O'G = V'_1$$

则 0 点的加速度为：

$$A(t)|_0 = \frac{V'_1}{\Delta\tau} \quad (3-3)$$

由于 $C'C = V_1$

$$\text{所以 } \frac{O'G}{C'C} = \frac{z'}{z_1} = \frac{V'_1}{V_1}$$

$$\Delta\tau = \frac{l'}{l}$$

式中 V_1 —测得的落体下落末速度

z_1 —速度波形中表征 V_1 的高度值

z' —对应于时间间隔 $\Delta\tau$ 时通过 0 点 \widehat{COE} 的切线高度

l —时间轴上单位时间所对应的长度

l' —时间轴上时间间隔 $\Delta\tau$ 所对应的长度

将上述符号代入 (3-3) 式中得：

$$A(t)|_0 = \frac{V'_1}{\Delta\tau} = \frac{z'/z_1 V_1}{l'/l} = \text{Ctg}\alpha \frac{l}{z_1} V_1$$

或

$$A(g)|_0 = \text{Ctg}\alpha \frac{l \cdot V_1}{z_1 \cdot g} \quad (3-4)$$

式中

α —切线与纵坐标的夹角（见图 3-1） $\text{Ctg}\alpha = z'/l'$

g —重力加速度（一般取9.8米/秒²）

另外，由速度波形图 3—1 中，还可以得到落体的回跳系数 K ：

$$K = \frac{V_2}{V_1} = \frac{z_2}{z_1} \quad (3-5)$$

2. 冲击加速度波形的函数模拟法

如图 3—2 所示，落体 M 冲击缓冲垫 S （如工业毡）， S 的运动方程为：

$$m \frac{dV}{dt} = F(t) \quad (3-6)$$

式中

m —缓冲垫 S 的质点质量

V —缓冲垫 S 的质点运动速度

$F(t)$ —缓冲垫 S 的质点所受的冲击作用力（3—6）式积分得：

$$mV_r - mV_0 = \int_0^r F(t)dt \quad (3-7)$$

式中

$$V_0 = -V_1 = -\beta u_1$$

$$V_r = V_2 = \beta u_2$$

V_1 、 V_2 —测量的落体下落末速度和回跳初速度

u_1 、 u_2 —按自由落体计算的下落末速度和回跳初速度

β — V_1 与 u_1 之比（见表 5—1）

考虑到：

$$F(t) = mA(t) \quad A(t) \text{—加速度,}$$

令回跳系数

$$K = \frac{u_2}{u_1} = \frac{V_2}{V_1} = \sqrt{\frac{h_2}{h_1}}$$

（当 $K = 1$ 时，为完全弹性碰撞；当 $K = 0$ 时，为全塑性碰撞。）则（3—7）或可写成：

$$\beta m(u_1 + u_2) = m \int_0^r A(t)dt$$

$$\beta m(1 + K)u_1 = m \int_0^r A(t)dt$$

或

$$(1 + K)V_1 = \int_0^r A(t)dt \quad (3-8)$$

下面用正弦函数和正余函数对加速度波形 $G_{0r} = A(t)$ 来进行模拟计算。

（1）、如图 3—3 所示，假定冲击加速波形 $G_{0r} = A(t)$ 为半正弦函数，即，

$A(t) = A \sin \omega t (0 \leq t \leq \pi)$ (3—9) 将（3—9）式代入（3—8）式，并考虑到 $\omega \pi = \pi$ ，则

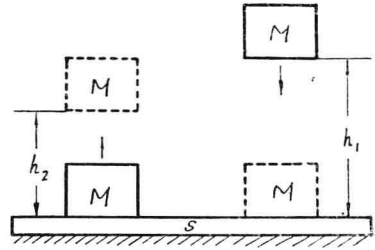


图 3—2

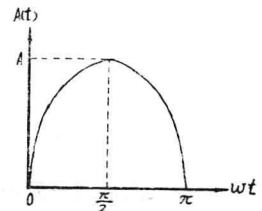


图 3—3

$$\begin{aligned}
 (1+K)V_1 &= A \int_0^\tau \sin\omega t dt \\
 &= \frac{A}{\omega} (1 - \cos\omega\tau) \\
 &= \frac{2}{\pi} A\tau
 \end{aligned}$$

所以

$$A = \frac{\pi}{2} \frac{1+K}{\tau} V_1 = \frac{\pi}{2} \frac{1+K}{\tau} \beta \sqrt{2gh}$$

或

$$A(g) = \frac{A}{g} = \frac{\pi}{2} \frac{1+K}{\tau} \beta \sqrt{\frac{2h}{g}} \quad (3-10)$$

式中

h — 落体下落高度

τ — 冲击作用时间

β — V_1 和 u_1 的比值

g — 重力加速度

(2) 如图 3-4 所以, 假定冲击加速度波形 $G_{0r} = A(t)$ 为正矢函数, 即,

$$A(t) = \frac{A}{2} (1 - \cos\omega t) (0 \leq t \leq 2\pi) \quad (3-11)$$

将(3-11)式代入(3-8)式, 并

考虑到 $\omega\tau = 2\pi$, 则得

$$(1+K)V_1 = \frac{A}{2} \int_0^\tau (1 - \cos\omega t) dt = \frac{A}{2} \tau$$

所以

$$A = 2 \cdot \frac{1+K}{\tau} V_1 = 2 \cdot \frac{1+K}{\tau} \beta \sqrt{2gh}$$

或

$$A(g) = \frac{A}{g} = 2 \frac{1+K}{\tau} \beta \sqrt{\frac{2h}{g}} \quad (3-12)$$

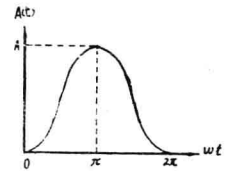


图 3-4

3. 冲击加速度波形面积积分法

如图 3-5 所示波形, 矩形近似法求出此波形在 $0-\tau$ 区间内的面积, 此面积的数值为冲击过程的下落末速度与回跳初速度之和。即为:

$$A \sum_{i=1}^n M_i \Delta \tau_i = V_1 + V_2 \quad (3-13)$$

式中

n —所划分的间隔数, $n=1, 2, 3, \dots$

$\Delta \tau_i$ —所分的时间间隔值

A, A_i —加速度最大值和 $t=\tau_i$ 处的加速度值

M_i — A_i 和 A 的比值

由(3-13)式可得:

$$A(g) = \frac{1+K}{\sum_{i=1}^n M_i \Delta t_i} \frac{V_1}{g} = \frac{(1+K)\beta}{\sum_{i=1}^n M_i \Delta \tau_i} \sqrt{\frac{2h}{g}} \quad (3-14)$$

(3-10)、(3-12)、(3-14)等式中的 K 值和 β 值在测量结果一节中表 5-1 给出。

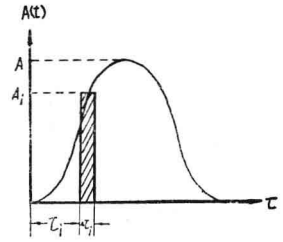


图 3-5

四、冲击参数的测量方法

1. 落体下落末速度 V_1 和回跳初速度 V_2 的测量

测量落体下落末速度 V_1 和回跳初速度 V_2 的方法很多, 我们是根据电磁学原理应用磁带录音的有关技术来测量的。选取一定长度的35毫米宽的磁带和一个相应的磁头, 先用磁铁消去磁带上的原有讯号, 随之使磁带成为等强度、同方向的带磁场。然后用最小号钢针在磁带的磁质面上划两条横向平行线迹 C 和 D , 如图 4-1 所示。两线迹间距 Δh 我们选用 6 毫米。把这样处理好的磁带用夹具挂在落体冲击台的台架上。并把 CD 段调整到紧接缓冲垫的测速位置。磁头固定在落体上并随落体一起作自由落体运动, 在运动过程中磁头与磁带始终保持良好的接触。当磁头随落体运动到 CD 两线迹时, 便产生出电脉冲讯号。利用此脉冲讯号间的时间间隔就可以求得 CD 两线间 Δh 段的下落平均速度 V_{CD} 与回跳平均速度 V_{DC} , 我们把 V_{CD} 和 V_{DC} 分别看作是 V_1 和 V_2 。

测试系统方框图如图 4-2 所示。

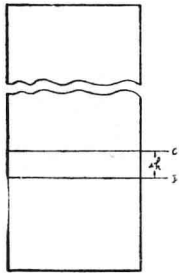


图 4-1

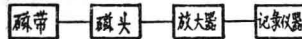


图 4-2

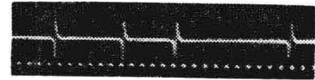


图 4-3

图 4-3 是落体在特定高度下落时用 1049 示波器记录的脉冲波形。

若只需测量 V_1 , 记录仪器可用计数器直接读取 $\Delta \tau_{CD}$; 若需同时测量 V_1 和 V_2 , 记录仪器可选用能拍照的阴极射线示波器或八线、十六线振子示波器。

速度大小为:

$$V_1 = \frac{\Delta h}{\Delta \tau_{CD}} \quad (4-1)$$

$$V_2 = \frac{\Delta h}{\Delta \tau_{DC}} \quad (4-2)$$

式中

Δh —C、D 两线迹之间的距离

$\Delta \tau_{CD}$ —落体下落时通过 Δh 所用的时间

$\Delta \tau_{DC}$ —落体回跳时通过 Δh 所用的时间

2. 冲击速度波形的测量

物理学中指出，导线与磁场相对运动，在导线内所产生的电动势其大小正比于导线单位时间内切割磁力线的数目，即闭合线路里的感生电动势其大小与穿过线路里的磁通量的变化率成正比。这就是我们所熟悉的法拉弟电磁感应定律：

$$\varepsilon = 10^{-8} \frac{\Delta \phi}{t} \quad (4-3)$$

令闭合线路是一个矩形线圈，且其一边切割磁力线，则公式(4-3)可推导为：

$$\varepsilon = 10^{-8} H L V \quad (4-4)$$

式中

ε —感生电动势

H —磁场强度

L —切割磁力线的导线有效长度

V —切割磁力线的导线与磁场相对运动的速度

如果切割磁力线的导线长度 L 为常数，磁场为均匀磁场，即磁场强度 H 为常数，那么，导线内产生的感生电动势 ε 的大小只决定于导线与磁场的相对运动速度 V 。即

$$\varepsilon \propto V$$

由此可知，当我们作一个矩形闭合线圈，使它的一边切割均匀磁场的磁力线时，所感生的电动势波形就直接线性地反应着线圈与磁场相对运动速度的规律。

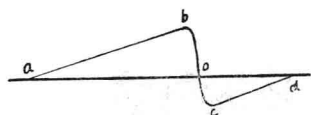


图 4-4

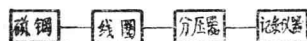


图 4-5

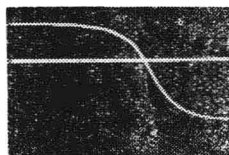


图 4-6

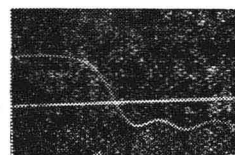


图 4-7

假如作一个相当大的具有均匀磁场的磁钢，并把它放在适当位置上；再作一个一对对边相当长的矩形线圈，固定在所要测的落体上，使线圈随落体运动时线圈的一边切割均匀磁场的磁力线，此时所产生的电动势波形如图4-4所示。图中 ab 段表示落体下落时的速度规律 $u_{ab} = -gt_1$ ； boc 段表示冲击过程的速度规律 $u_{bc} = f(t)$ ； CD 段表示回跳时的速度规律 $u_{CD} = gt_2$ 。我们需要讨论的只是 boc 段，所关心的又是 0 点处的加速度值。所以，在实际测量时，磁钢和线圈是以如实地反应 boc 段变化规律为条件进行设计的。我们原来用的是二块并在一起的马蹄形磁钢加上磁掌来形成的均匀磁场。用一块厚 4 毫米的矩形胶木板，在其边上

绕20圈 $\phi 0.27$ 毫米的高强度漆包线作成 $20 \times 60\text{mm}^2$ 矩形线圈。

测试系统方框图如图4-5所示。

图4-6和图4-7分别是落体下落高度为10厘米和30厘米时用1049示波器记录的冲击速度波形。

3. 冲击加速度波形的测量

测试系统方框图如图4-8所示。

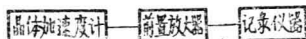


图 4-8

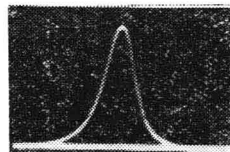


图 4-9

图4-9所示波形是用Z28-1晶体加速度传感器、JF-01前置放大器以及1049示波器测得的落体下落高度为30厘米时的冲击加速度波形。

五、测量结果

1. 落体下落末速度 V_1 和回跳初速度 V_2 的测量结果

对 V_1 和 V_2 的实测波形按(4-1)式和(4-2)式处理计算。现把其中一次的测量结果和按自由落体末速度的理论计算值列于表5-1。

表 5-1

| 下落高度 (厘米) | 下落末速度 (米/秒) | | 回跳初速度 V_2 (米/秒) | $K = \frac{V_2}{V_1}$ | $\beta = \frac{V_1}{u_1}$ (%) | 97% u_1 (米/秒) |
|--------------|--------------------|-------|-------------------------|-----------------------|----------------------------------|--------------------|
| | $u_1 = \sqrt{2gh}$ | V_1 | | | | |
| 5 | 0.99 | 0.95 | 0.59 | 0.61 | 96 | 0.96 |
| 10 | 1.40 | 1.36 | 0.78 | 0.575 | 97 | 1.36 |
| 15 | 1.71 | 1.66 | 0.97 | 0.585 | 97 | 1.66 |
| 20 | 1.98 | 1.92 | 1.14 | 0.595 | 97 | 1.92 |
| 30 | 2.42 | 2.37 | 1.38 | 0.582 | 98 | 2.34 |
| 40 | 2.80 | 2.73 | 1.61 | 0.59 | 97.5 | 2.72 |
| 50 | 3.13 | 3.00 | 1.82 | 0.607 | 96 | 3.03 |
| 60 | 3.43 | 3.38 | 1.93 | 0.572 | 98.5 | 3.32 |

2. 冲击加速度的测量结果

对实测波形, 分别按(3-4)式、(3-10)式、(3-12)式、(3-14)式处理计算。现把结果列于表5-2。

表5—2

| 下落高度 (厘米) | 冲击加速度峰值 A(g) | | | |
|--------------|--------------|-------|-------|-------|
| | 切线法 | 面积积分法 | 正矢模拟法 | 正弦模拟法 |
| 5 | 110 | 111 | 112 | 88 |
| 10 | 247 | 235 | 237 | 186 |
| 15 | 396 | 396 | 406 | 321 |
| 20 | 579 | 580 | 588 | 462 |
| 30 | 997 | 938 | 931 | 731 |
| 40 | 1590 | 1329 | 1315 | 1033 |
| 50 | 2045 | 1678 | 1670 | 1312 |
| 60 | 2315 | 2025 | 2036 | 1600 |

六、分 析 讨 论

1. 从表5—1可以看出, 落体下落末速度测量值 V_1 与按自由落体计算值 $u_1 = \sqrt{2gh}$ 相接近, 且 $V_1 \approx 0.97\sqrt{2gh}$ 。说明落体运动时受到了空气阻力和导杆摩擦以及其它因素的影响。还可以看出, 回跳系数 $K \approx 0.59$ 。在波形处理和数值计算时, 我们取 $K = 0.97u_1$, $K = 0.59$ 。

2. 除相对标定外, 不论应用哪种方法来确定落体的冲击加速度, 都要求较准确地测得落体下落末速度 V_1 和回跳初速度 V_2 。用磁带磁头的测量方法, 从测量结果来看, 数据较集中, 而且方法简便, 是测定落体下落末速度和回跳初速度的有效方法之一。

3. 从表5—2中可以看出, 面积积分法与正矢函数模拟计算所得结果比较一致。而速度波形切线法在落体下落高度25厘米以下时与上述两种方法所得结果亦比较一致, 当落体下落高度增高时, 此法给出的加速度值偏高。我们曾在同一高度同一缓冲垫条件下, 对测量线圈有机械振动与无机械振动所测结果进行了比较, 发现前者比后者的数值偏大。因此我们认为速度波形切线法所得数据, 在30厘米开始显著偏高是由于测量线圈出现机械振动所致。从表5—2中看出, 现用的磁钢、测量线圈可测定近1000g的冲击加速度。只要对磁钢和测量线圈的结构及其安装形式进行改进, 克服由冲击使测量线圈产生的机械振动, 此法可以测定更大范围的冲击加速度。速度波形切线法无需具体地知道冲击规律的函数表达式, 测试系统简单易行, 计算也较方便, 是一种可取的方法。但作取波形的切线要仔细, 力求准确。

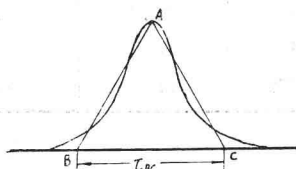


图 6—1

4. 对加速度波形进行正弦、正矢函数模拟计算时, 所取冲击作用时间 τ 的大小对数据分析影响很大。由于所测得的此种冲击加速度波形没有明显的起止点, 所以读取冲击作用时间 τ 不大方便, 也不易准确。我们读取方法是从波形峰值点 A 沿波形两侧作直线交基线 (即

零线) 于 B、C 两点, 如图6—1所示, 使 \overline{AB} 、 \overline{AC} 两线割去的波形面积与新围进来的面积相等。则 B、C 两点间的时间间隔 τ_{BC} 就视为冲击作用时间 τ 。表6—1列出了特定条件下落体在不同高度下落时所读取的 τ 值。

表 6-1

| 落 高 (厘米) | 5 | 10 | 15 | 20 | 30 | 40 | 50 | 60 |
|----------------|------|-------|------|------|------|------|------|------|
| τ (毫秒) | 2.79 | 1.865 | 1.32 | 1.06 | 0.82 | 0.67 | 0.59 | 0.53 |

在加速度波形的正弦和正矢函数模拟计算中，都是按上述方法读取冲击作用时间 τ 的。从表5-2看出，用这种方法取定 τ 值时，正矢函数模拟比正弦函数模拟要好。

5. 用加速度波形面积积分法来确定冲击加速度峰值，也是一种可行的近似方法。但此法对量测系统技术性能要求高，同时波形处理与数值计算繁琐。

6. 用落体冲击缓冲垫来产生加速度时，所用缓冲垫的性能决定着冲击加速度的波形规律和数值大小。我们选用工业毡作缓冲垫，新毡垫初始用时，发现重复性很差，并且冲击加速度波形规律难用一简单函数形式来表达，但是所得波形始终是光滑的。为了克服重复性不好的缺点，可将毡垫进行“冲击老化”，老化时间愈长，性能愈趋于稳定，重复性就愈好。

七、测量装置的改进

为了使切线法的量程得到扩展，并减小加速度波形的失真，我们又对测量装置进行了改进。因为试验条件有所变化，所得数据有所差别，所以在此对改进情况及试验结果加以补充说明。

1. 对落体冲击台的调整

在进行新的测量之前，对落体冲击台的调整内容主要有：第一，老化缓冲垫（工业毡）到足够的硬度，并趋于稳定。第二，原来控制示波器触发的机械装置使落体冲击能量有显著的损耗，现改成可控硅控制系统，没有了这种损耗。以上两者均使相应的冲击有所增强。

2. 对冲击速度波形测量装置的改进

改进前的冲击速度波形测量装置的测量线圈如在《冲击速度波形的测量》一节中所述那样，是板状骨架，矩形线圈，安装在落体侧面，呈悬臂状，容易激振。现改成圆柱骨架，圆形线圈，可以牢固地安装在落体下端，不易激振，大大地改善了性能。表7-1列出了改进后的装置对调整过的落体冲击台进行测试得到的冲击加速度峰值。图7-1中波形②是其实测波形。

表 7-1

| 下 落 高 度 (厘米) | 切线法给定加速度值 A(g)切 | 相对法给定加速度值 A(g)相 | A(g)切—A(g)相 |
|-----------------|--------------------|--------------------|--------------|
| | | | A(g)相 (%) |
| 5 | 133 | 131 | 1.5 |
| 10 | 350 | 337 | 3.9 |
| 15 | 550 | 547 | 1.0 |
| 20 | 789 | 778 | 1.5 |
| 30 | 1240 | 1243 | |
| 40 | 1709 | 1655 | 3.3 |
| 50 | 2180 | 2070 | 5.3 |

为了进一步比较，表7—1也列出了用相对标定法确定的相应的落体冲击加速度峰值。它是把晶体加速度传感器产生的电讯号直接加到阴极射线示波管的偏转板上测得的冲击加速度波形，并由晶体加速度传感器的振动灵敏度处理计算出来的。

用晶体加速度传感器、阴极射线示波管这种量测系统测得的冲击加速度波形（见图7—1中的波形①）看不到负冲现象，这说明阴极射线示波管偏转板之间绝缘电阻相当高，系统低频响应比较好。因此只要晶体加速度传感器本身的频率响应足够高时（与所测冲击的作用时间比较）就可以认为这种系统在晶体加速度传感器的量程范围内，所测得的波形就有较高的精确度。

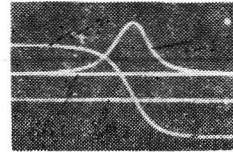


图 7—1

如果把由晶体加速度传感器的振动灵敏度处理计算出来的冲击加速度值视为相对标准与冲击速度波形切线法所得数据比较，从表中的比例数据看出，它们的相对差别只有最后一组略大于5%，其它均在5%以下。这就进一步说明冲击速度波形切线法确定冲击加速度峰值是可行的。而且，对于改进了的测量装置，由于克服了测量线圈的机械振动，使其测量范围从原来近1000g（见表5—2）扩展到2000g以上的冲击强度。

八、结 束 语

通过试验摸索，我们认为在一定的冲击范围内，不依赖其它标准系统来确定落体冲击台所产生的冲击加速度值的方法中，冲击速度波形切线法是比较好的方法。另外，加速度波形面积积分法又比函数模拟法好一些。

这给我部应用落体冲击台标定大量程加速度传感器打下了基础。

由于我们的理论水平甚低，实践经验不多，工作做得粗浅，上面所述内容，其缺点和错误一定很多，希望同志们提出宝贵意见。

落锤式冲击标定台

(上海交大)

随着我国工业生产、国防建设和科学技术的飞速发展,要求精确测量冲击加速度的问题显得日益迫切。为此必须首先建立相应的冲击加速度传感器标定校准装置。本文所介绍的“落锤式冲击标定台”就是这种校准装置之一。它适用于冲击加速度1000 g 以下校准冲击持续时间在20毫秒以内。

落锤式冲击标定台是依据“冲击力法”标定原理而研制的。但在实际使用时也可以用“速度改变法”进行标定,同时还可以做为小型产品的冲击试验台使用。

关于落锤式冲击标定台(以下简称标定台)的基本结构、标定原理以及精度分析等问题具体介绍如下:

一、标定台的构造原理

标定台构造比较简单。由落锤、测力冲砧、提升器、释放器、导轨标尺、光电控制器以及机架等部分所组成。见图1所示:

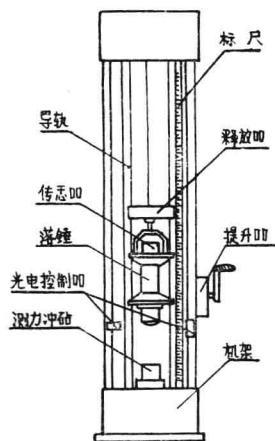


图1 结构原理图

一般在标定之前对落锤进行比较精确的称秤以得出其重量。

2. 测力冲砧:

测力冲砧是一种测力传感器,用来测出冲击过程中力的变化规律。由40铬钢经过调质处

1. 落 锤:

落锤是产生冲击的主要部分。被标定的传感器就安装在落锤的顶部上。落锤经手动提升器提升到一定高度后呈自由落体状态下落,碰撞到测力冲砧后回跳到一定高度完成一次冲击。

落锤由锤身和锤头二部分组成。锤头有钢质和橡胶的,可以根据冲击持续时间不同而调换;锤身几何形状对称且两侧V型槽与导轨有一毫米间隙以保证能完全呈自由落体状态下落。

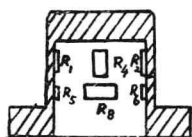


图2 测力冲砧结构图

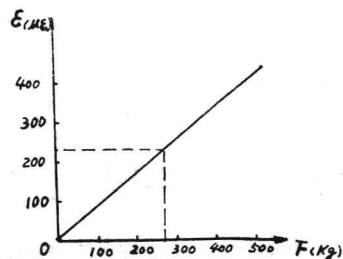
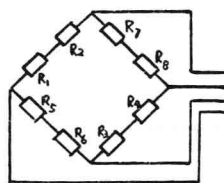


图 3