



文章编号: 1003-8728(2006)10-1170-02

具有缓冲的气压驱动水平冲击台参数计算

吴 斌, 王博哲

(西北工业大学 航天学院, 西安 710072)

吴 斌

摘 要:建立了气压驱动水平冲击台两自由度阻尼减振的数学模型;对不考虑缓冲和考虑缓冲的水平冲击台基本参数进行了计算比较,给出了具体工程实例;分析了减振系统对冲击峰值加速度、脉冲宽度的影响。

关 键 词:冲击;阻尼减振

中图分类号: TH4 **文献标识码:** A

Calculation of the Parameters of an Air Pressure-driven Horizontal Impact Apparatus with Cushion

Wu Bin, Wang Bozhe

(College of Astronautics, Northwestern Polytechnical University, Xi'an 710072)

Abstract: The paper established the mathematical model of a horizontal impact apparatus driven by air pressure. The model uses two-DOF damps for vibration reduction. The basic parameters of the impact apparatus with cushion were compared with those of the apparatus without cushion, and an engineering instance was provided. The influence of the vibration reduction system on the impact peak acceleration and impulse width was analyzed.

Key words: impact; damp for vibration reduction

对于大型水平冲击台,要求的工作负载和冲击峰值加速度很大,在冲击过程中会产生非常大的瞬时冲击力,容易对设备底座造成损坏,并且对地基要求也较高,必须设计缓冲装置。本文对具有缓冲装置的气压驱动水平冲击台基本参数进行了理论计算,给出了缓冲装置对冲击峰值加速度的影响,计算了在不同缓冲情况下的减振特性,对设计此类冲击台有一定的指导意义。

1 不考虑缓冲时水平冲击台基本参数计算

不考虑缓冲时水平冲击台动力学模型如图 1 所示。

图 1 中: k_1 为波形发生器的刚度; m_1 为工作台与试件(包括夹具)质量之和; v_0 为冲击的瞬时速度。不考虑摩擦力,系统的动力学方程为

$$m_1 \ddot{x}_1 + k_1 x_1 = 0, x_{10} = 0, \dot{x}_{10} = v_0 \quad (1)$$

解此微分方程可得脉冲持续时间 D 、峰值加速度 A_0 与冲击瞬时速度的关系为^[3]

$$A_0 = \frac{v_0}{D} \quad (2)$$

式中: $D = \sqrt{k_1/m_1}$ 。工作台采用气压驱动,工作台在冲

击接触点位置 x_1 的瞬时速度与气缸压力的关系为^[3]

$$v_0 = \sqrt{\frac{2SP_0x_0}{m_1} \ln \left(\frac{x_1}{x_0} \right) - 2 \left(gf + \frac{SP^*}{m_1} \right) (x_1 - x_0)} \quad (3)$$

式中: S 为活塞面积, m^2 ; g 为重力加速度, m/s^2 ; f 为工作台和导轨的滑动摩擦系数; x_0 为气缸初始长度; P_0 为气缸充气压力; P^* 为标准大气压。

由于脉冲持续时间 D 只与冲击波形发生器刚度 k_1 和试件质量 m_1 有关,因此改变波形发生器刚度可以得到不同的脉冲持续时间,改变气缸压力可以得到不同的冲击初始速度,从而得到不同的冲击峰值加速度。

由式(2)、式(3)可得出,给定了冲击峰值加速度和脉冲宽度,气缸充气压力计算公式为

$$P_0 = \frac{m_1}{2Sx_0 \ln \left(\frac{x_1}{x_0} \right)} \left[\left(\frac{A_0 D}{v_0} \right)^2 + 2 \left(gf + \frac{SP^*}{m_1} \right) (x_1 - x_0) \right] \quad (4)$$

2 考虑缓冲时水平冲击台基本参数计算

考虑缓冲时水平冲击台动力学模型如图 2 所示。

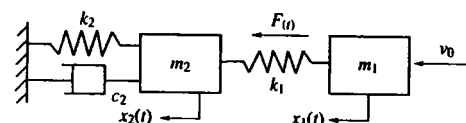


图 2 考虑缓冲时动力学模型

收稿日期: 2005-10-12

作者简介: 吴 斌 (1965 -), 男 (汉), 四川, 副教授, 研究生导师



图 2 中 m_2 为缓冲座质量, k_2 、 c_2 分别为缓冲座和固定座之间的刚度与阻尼。为了计算作用在 m_2 上的最大冲击力 F_{\max} , 假设冲击瞬时完成, 冲击过程中 m_2 的位移可以忽略, 对工作台 m_1 应用动量定律可得^[1]

$$F_{\max} = m_2 (A_0 - A_{\max}) \quad (5)$$

式中: A_{\max} 为 m_1 和 m_2 速度相等时 m_1 的加速度。

缓冲座的运动微分方程为

$$m_2 \ddot{x}_2 + c_2 \dot{x}_2 + k_2 x_2 = F(t) \quad (6)$$

设 $\xi = \frac{c_2}{2\sqrt{m_2 k_2}}$, $\omega_n = \sqrt{\frac{k_2}{m_2}}$, 考虑半正弦激励 $F(t) = F_{\max} \sin(\omega t)$, 解微分方程可得缓冲座的位移为^[4]

$$x_2 = \frac{F_{\max} R}{k_2} \sin(\omega t - \phi) \quad (7)$$

式中: R 为动力放大系数, $R = \frac{1}{\sqrt{(1 - \xi^2)^2 + (2\xi)^2}}$, 为

激励频率与系统固有频率之比, $\omega = f/f_0$ 。

对式 (7) 求导, 可得缓冲座的最大加速度为

$$\ddot{x}_{2\max} = \frac{F_{\max}}{m_2} R \quad (8)$$

由牛顿第二定律知

$$\ddot{x}_{2\max} = \frac{m_1}{m_2} A_{\max} \quad (9)$$

将式 (9)、式 (5) 代入式 (8) 可得考虑缓冲动力特性时各基本参数之间的关系式为

$$A_{\max} = A_0 \left(1 + \frac{m_1}{m_2} \cdot \frac{1}{R} \right) \quad (10)$$

由此可得缓冲座的最大位移为

$$x_{2\max} = \frac{m_1 A_{\max}}{k_2} R \quad (11)$$

由缓冲座传递到地基的力

$$F_T = m_1 A_{\max} \cdot TR \quad (12)$$

式中: TR 为传递率, $TR = \frac{1 + (2\xi)^2}{\sqrt{(1 - \xi^2)^2 + (2\xi)^2}}$

3 算例分析

设 $m_1 = 500 \text{ kg}$, $m_2 = 2500 \text{ kg}$, $\xi = 0.5$, $\omega = 2.8$, $f = 0.1$, 气缸初始长度 $x_0 = 1100 \text{ mm}$, 冲击接触位置 $x_1 = 1600 \text{ mm}$, 气缸活塞直径 $\phi = 200 \text{ mm}$, 计算了考虑缓冲与不考虑缓冲时常用冲击峰值加速度、脉冲宽度所对应的气缸充气压力和传递到固定座上的力, 如表 1 所示。

表 1 不考虑缓冲时的 P_{00} , F_{T0} 与考虑缓冲时的 P_{01} , F_{T1}

序号	峰值加速度 (m/s^2)	脉冲宽度 (ms)	压力 P_{00} (MPa)	压力 P_{01} (MPa)	传递力 F_{T0} (kN)	传递力 F_{T1} (kN)
1	150	11	0.15	0.18	75.00	30.17
2	300	11	0.16	0.27	150.00	60.34
3	600	6	0.17	0.30	300.00	120.68
4	1000	6	0.21	0.57	500.00	204.14

由式 (10)、式 (12) 可知, 最大峰值加速度和传到底座的力和动力放大系数及传递率有关, 而动力放大系数及传递率只与 ξ 和 ω 有关。图 3、图 4 给出了 A_{\max}/A_0 和 TR 随 β 的变化曲线。

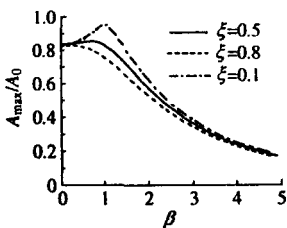


图 3 $m_1/m_2 = 0.2$ 时, A_{\max}/A_0 随 β 变化曲线

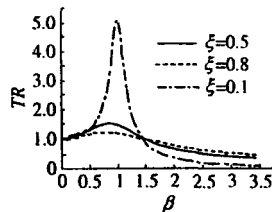


图 4 $m_1/m_2 = 0.2$, TR 随 β 变化曲线

4 结论

(1) 由表 1 可以看出, 考虑缓冲后实现相同的冲击技术条件, 所需要的气压增大, 并且随着冲击能量的增加, 气压增大越明显。

(2) 由图 4 可知, 为了使缓冲效果更好, 应尽可能大, 即 f_0 减小, 但当 $\omega > 5$ 后减振效果的增加不明显, 因此一般取 $\omega = 2 \sim 5$ 之间。

(3) ξ 越大, 虽然减振效果好, 但由图 3 可知峰值加速

度大幅降低, 气缸压力明显增大。因此在设计缓冲时, 首先根据最大充气压力确定合适的 ξ 值, 以此来设计缓冲系统。

(4) 对于减振系统, 一般要求 $\xi > \sqrt{2}$, 因此阻尼的大小对缓冲和峰值加速度影响较小, 一般取 $\xi = 0.1 \sim 0.5$ 之间。

【参考文献】

- [1] 赵清望. 具有抗震砧座的落体式冲击试验机基本参数理论计算 [J]. 机械科学与技术, 1993, 12(1): 37~40
- [2] 吴斌. 气压驱动垂直冲击试验机设计 [J]. 机械设计与制造, 2002, (5): 38~40
- [3] 吴斌, 李立名. 双向式水平冲击试验机设计 [J]. 振动、测试与诊断, 2002, (4): 310~315
- [4] 余旭东, 赵育善. 飞行器结构动力学 [M]. 西安: 西北工业大学出版社, 1998
- [5] 吕平华. 100kg 冲击试验机的设计分析与计算 [J]. 试验技术与试验机, 1995, (1, 2): 12~22
- [6] 赵清望. 冲击试验机的基本参数理论计算 [J]. 震动与冲击, 1991, (2): 1~5