

高稳定度全息隔震台的设计

Abstract: The calculating formulae and design basis of the shock-attenuation table with two stages for holographic equipments and optical precision instruments are presented. A number of examples illustrate that the stability of this table may be an order of magnitude higher than that with one stage.

在全息干涉、光谱实验和各种精密测量技术中，都要求有稳定度很高的工作台。工作台的稳定度与台的质量、隔震器类型以及刚度和阻尼系数等很多因素有关^[1~3]。作者通过计算与实验证明，在相同条件下，根据隔震理论设计的双级隔震台的稳定度可比单级隔震台大约提高一个数量级。

一、双级隔震台的理论计算公式

双级隔震台是由两个质量和两级隔震器组成。其计算模型如图1所示。设地面干扰运动为 $x_0 = a_0 e^{i\omega t}$ 。只考虑两个质量 m_1 、 m_2 平衡位置附近的小垂直运动，则它们的微分方程为

$$m_2 \ddot{x}_2 + c_2 (\dot{x}_2 - \dot{x}_1) + k_2 (x_2 - x_1) = 0 \quad (1)$$

$$m_2 \ddot{x}_2 + m_1 \ddot{x}_1 + c_1 (\dot{x}_1 - \dot{x}_0) + k_1 (x_1 - x_0) = 0 \quad (2)$$

设微分方程组的解为 $x_1 = \tilde{x}_1 e^{i\omega t}$ ， $x_2 = \tilde{x}_2 e^{i\omega t}$ ，将它们代入(1)、(2)式后解得隔震系数 η_1 、 η_2 为

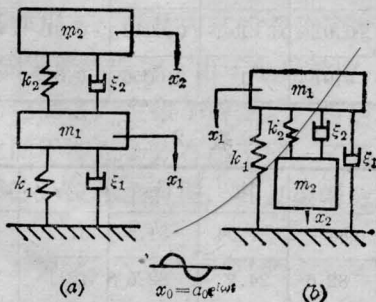


图 1

$$\eta_1 = \frac{\tilde{x}_1}{x_{st}}$$

$$\eta_1 = \frac{\sqrt{\left\{ \left(1 - 4\xi_1 \xi_2 \frac{\omega_1}{\omega_2} \frac{\omega^2}{\omega_1^2} - \frac{\omega_1^2}{\omega_2^2} \frac{\omega^2}{\omega_1^2} \right)^2 + \left[\left(1 - \frac{\omega_1^2}{\omega_2^2} \frac{\omega^2}{\omega_1^2} \right) \xi_1 + \frac{\omega_1}{\omega_2} \xi_2 \right]^2 \left(2 \frac{\omega}{\omega_1} \right)^2 \right\}}{\sqrt{\left\{ \left[\left(1 - \frac{\omega^2}{\omega_1^2} \right) \left(1 - \frac{\omega^2}{\omega_2^2} \right) - 4\xi_1 \xi_2 \frac{\omega_1}{\omega_2} \frac{\omega^2}{\omega_1^2} - \mu \frac{\omega^2}{\omega_1^2} \right]^2 + \left[\left(1 - \frac{\omega_1^2}{\omega_2^2} \frac{\omega^2}{\omega_1^2} \right) \xi_1 + \left(1 - \frac{\omega^2}{\omega_1^2} - \mu \frac{\omega^2}{\omega_1^2} \frac{\omega_1}{\omega_2} \xi_2 \right)^2 \left(2 \frac{\omega}{\omega_1} \right)^2 \right\}}}} \quad (3)$$

$$\eta_2 = \frac{\tilde{x}_2}{x_{st}}$$

$$\eta_2 = \frac{\sqrt{\left\{ \left(1 - 4\xi_1 \xi_2 \frac{\omega_1}{\omega_2} \frac{\omega^2}{\omega_1^2} \right)^2 + \left(\xi_1 + \xi_2 \frac{\omega_1}{\omega_2} \right)^2 \left(2 \frac{\omega}{\omega_1} \right)^2 \right\}}{\sqrt{\left\{ \left[\left(1 - \frac{\omega^2}{\omega_1^2} \right) \left(1 - \frac{\omega^2}{\omega_2^2} \right) - 4\xi_1 \xi_2 \frac{\omega_1}{\omega_2} \frac{\omega^2}{\omega_1^2} - \mu \frac{\omega^2}{\omega_1^2} \right]^2 + \left[\left(1 - \frac{\omega_1^2}{\omega_2^2} \frac{\omega^2}{\omega_1^2} \right) \xi_1 + \left(1 - \frac{\omega^2}{\omega_1^2} - \mu \frac{\omega^2}{\omega_1^2} \frac{\omega_1}{\omega_2} \xi_2 \right)^2 \left(2 \frac{\omega}{\omega_1} \right)^2 \right\}}}} \quad (4)$$

式中：

$$\omega_1 = \sqrt{k_1/m_1} \quad (5)$$

$$\omega_2 = \sqrt{k_2/m_2} \quad (6)$$

$\tilde{x}_1 = |\tilde{x}_1|$ 和 $\tilde{x}_2 = |\tilde{x}_2|$ 分别为质量 m_1 和 m_2 的绝对位移 x_1 和 x_2 的振幅， $x_{st} = a_0$ 为地面干扰运动的振幅， ω 为地面干扰频率， $\mu = m_2/m_1$ 为质量比。 ω_1 、 ξ_1 、 k_1 和 ω_2 、 ξ_2 、 k_2 分别为第一级和第二级的自振频率、相对阻尼系数和刚度。

$$\xi_1 = c_1/c_{c1} = c_1/2\sqrt{m_1 k_1} = c_1/2m_1 \omega_1 \quad (7)$$

$$\xi_2 = c_2/c_{c2} = c_2/2\sqrt{m_2 k_2} = c_2/2m_2 \omega_2 \quad (8)$$

$$A_1 = (W_1 + W_2)/k_1, W_1 = m_1 g \quad (9)$$

$$A_2 = W_2/k_2, W_2 = m_2 g \quad (10)$$

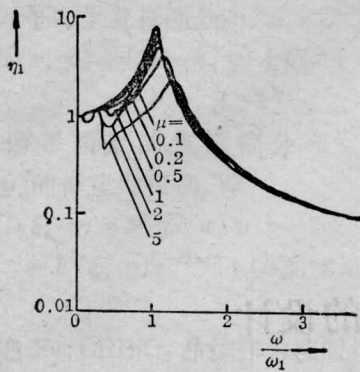


图 2

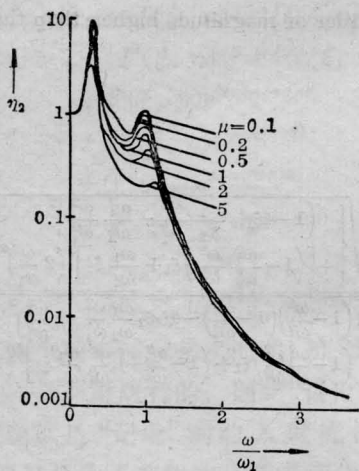


图 3

式中 c_1 、 c_{c1} 和 c_2 、 c_{c2} 分别为第一级和第二级的阻尼系数和临界阻尼系数， Δ_1 和 Δ_2 分别为质量 m_1 和 m_2 的静压缩(拉伸)位移， g 为重力加速度。

二、双级隔震台的设计原则

(1) 两种设计方案：令 $\xi_1 = \xi_2 = 0.06$ ， $\omega_2/\omega_1 = \frac{1}{3}$ 。以 μ 为参数，由式(3)、(4)计算出隔震系数 η 和 ω/ω_1 的关系曲线如图 2、3 所示。每个图中的曲线都出现“左”、“右”两个峰值。图 2 表示以 m_1 作为工作台。它的左、右两个峰值大小较接近；图 3 表示以 m_2 作为工作台。它的左、右两个峰值大小相差较大。通过理论分析可知，当

$$\omega_2/\omega_1 = \frac{1}{1+\mu} \quad (11)$$

时，图 2 中的两个峰值很接近，且居于图 3 中左、右峰值之间。因此对于全干扰频率范围都不希望出现很大振幅时，应该用 m_1 作为工作台(图 1(b))。例如

精密光学仪器运输过程中的隔震就可采用这种形式。此时仪器底座本身就可作为工作台 m_1 ；对于图 3，由图看出，它的右峰值很低，而且下降速度很快。因此，如果要求在干扰频率大于某一特定值以后，不允许出现较大振幅时，应该用 m_2 为工作台(图 1(a))。例如精密量测和全息等隔震台。

(2) 参数设计原则：对式(3)、(4)经详细分析指出，如果采用 m_1 作为全干扰频率范围内隔震的工作台时，应着重讨论激震区，即讨论两个峰值附近区域。为使它们的振幅极大值下降，应尽可能同时增大 ξ_1 和 ξ_2 ，或允许其中一个取较小值。此外适当选取较小的 μ 值，并用式(11)选取 ω_2/ω_1 之比值；如果用 m_2 作为大于某一干扰频率以上范围隔震的工作台时，应着重讨论 $\omega/\omega_1 \geq \sqrt{2}$ 的工作区。此时 ξ_1 和 ξ_2 的大小对振幅影响不大。但 ξ_1 、 ξ_2 小的隔震器容易得到。为了使它的振幅值下降，建议选取 $\omega_2/\omega_1 < 0.4$ 或 $\omega_2/\omega_1 \geq 1$ ，常取 $\omega_1 \approx \omega_2$ 。为了减小静压缩(拉伸)位移，也需选取较小的 μ 值。

三、计算例

试设计一个双级全息隔震台，希望台上最大振幅 $\bar{x} \leq 0.01$ 微米。已测得地面最低干扰频率 $\omega = 50$ 弧度/秒，最大振幅 $\bar{x}_{st} = 0.01$ 毫米。受结构限制，要求两级隔震器静压缩(或拉伸)位移总和 $\Delta \approx 40$ 厘米。

双级隔震设计：按题意应选择 m_2 为工作台。根

表 1

	ω_1	ω	ω/ω_1	ω_2	ω_1/ω_2
①	16.7	50	3.00	5.56	3
②	9.00	50	5.56	9.00	1
③	7.00	50	7.15	21.0	1/3
	$\xi_1 = \xi_2$	μ	η_2	\bar{x}_{st}	\bar{x}_2
①	0.01	1	0.0015	0.01	0.015
②	0.01	1	0.0012	0.01	0.012
③	0.01	1	0.0056	0.01	0.056

表 2

	h_1	Δ_1	k_2	Δ_2	$\Delta = \Delta_1 + \Delta_2$
①	284	7.04	31.5	31.7	~39
②	82.6	24.2	82.6	12.1	~36
③	50.0	40.0	450	2.22	~42

据本文提出的设计原则作如下选取:令 $\mu = m_1/m_2 = 1$, $W_1 = W_2 = 1000$ 公斤, $\xi_1 = \xi_2 = 0.01$, 代入式(4)按表 1 试算 \bar{x}_2 (微米); 代入式(5)、(6)、(9)和(10)按表 2 验算总位移 Δ (厘米)。

试算表明总位移量 Δ 都在 40 厘米左右, 符合题意; 当选择第二种参数时, 工作台的振幅最小, $\bar{x}_2 = 0.012$ 微米, 符合题意; 用第三种参数计算得的振幅约比第二种的高 5 倍。如果不按本文提供的设计原则计算, 其振幅值可能很大。

单级隔震计算: 由式(3)简化得单级隔震计算公式

$$\eta_1 = \frac{\bar{x}_1}{\bar{x}_{st}} = \frac{1}{\sqrt{1 + \left(2\xi_1 \frac{\omega}{\omega_1}\right)^2}} \cdot \frac{1}{\sqrt{\left(1 - \frac{\omega^2}{\omega_1^2}\right)^2 + \left(2\xi_1 \frac{\omega}{\omega_1}\right)^2}} \quad (12)$$

按题意试取 $\omega_1 = 5$, $\omega/\omega_1 = \frac{50}{5} = 10$, $\xi_1 = 0.01$ 和 $\bar{x}_{st} = 0.01$ 毫米。代入式(12)得 $\eta_1 = 0.01$ 和 $\bar{x}_1 = 0.1$ 微米, 比题中要求高 10 倍; 验算 $\Delta = W_1/k_1 = g/$

$\omega_1^2 = 980/5^2 = 39$ 厘米, 符合题意。

四、结论:

单级和双级隔震计算结果表明, 在外界干扰和结构静态总位移量都相等条件下, 双级隔震的最大振幅比单级的约低一个数量级; 如果双级隔震不按理论公式设计, 其结果不一定比单级隔震的优越。

作者感谢屈维德教授和杜庆华教授对本文的 详细审阅和指导。

参 考 文 献

- [1] T. V. 卡曼, M. A. 比奥著; “工程中的数学方法”, 科学出版社, 1961 年。
- [2] 关口久美, 饭田一嘉; 《日本工学会誌》, 1968, 41, No. 11, 1017.
- [3] 关口久美; 《力学译丛》, 1975, No. 4, 38.

(天津市电子计算机研究所激光室 袁维本
清华大学核能研究所 李周群
1983 年 11 月 22 日收稿)

固体激光器中的“退泵浦效应”及消除法

Abstract: The existence of de-excitation effect is verified experimentally and the approach to eliminate this effect is proposed.

由于氙灯辐射存在一定量的近红外 1.06 微米的辐射(约百分之几), 它将消耗一部分激光上能级的粒子数, 降低了激光输出效率。为此我们采用掺钐玻璃吸收 1.06 微米辐射, 以降低“退泵浦效应”, 提高激光总体效率。

一、实验

图 4 为实验装置的示意图。采用普通单椭圆聚光筒。由 R_{866} 全反镜和 $T=90\%$ 平面镜生成振荡

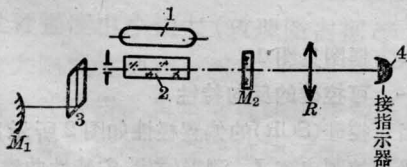


图 1 实验装置简图

1—脉冲氙灯; 2—Nd:YAG 晶体棒; 3—双 45° 铌酸锂晶体; 4—炭斗; M_1 —平凸全反镜($R=866$ 毫米); M_2 —输出镜($T=90\%$); R —补偿镜

腔, 用电压式双 45° 铌酸锂晶体调 Q。Nd:YAG 晶体棒直径为 5 毫米、长为 75 毫米。光泵是外径 8 毫米、弧长 70 毫米的脉冲氙灯。输出激光脉宽为 5~6 毫微秒; 在聚光筒两端面分别开一槽, 插入厚为 1.5 毫米的普通玻璃片及掺钐平板玻璃片。用炭斗接收激光输出能量。

二、实验数据

插入不同的玻璃片, 分别观察输出能量随输入电能量的变化。

由实验数据作激光输入-输出能量曲线示于图 2 中, 曲线(下)是插入普通玻片时测得, 曲线(上)是插入掺钐玻璃片时测得。

由曲线(下)可以看出, 输入能量 30 焦耳增加到 80 焦耳时, 输出能量近乎线性增加, 超过 80 焦耳, 输出能量开始趋向饱和。采用掺钐滤光玻璃片后, 钐离子吸收了大部分 1.06 微米的氙灯辐射, 减少了