

用脉冲激振法识别超精密金刚石车床的动态特性

王义强 于骏一

(吉林工业大学)

韩荣久

(应用光学国家重点实验室)

摘要：用脉冲激振方法识别了MSG—325 双轴数控金刚石车床的传递函数。机床动态特性参数用复模态方法识别。为了考证被测试验结果的可靠性。运用随机激振方法进行校核。

关键词：脉冲激振；动态参数识别；识别精度；金刚石切削

一、引言

随着科学技术的发展，对零件的精度要求日益提高，各发达国家竞相研究开发超精加工技术，单点金刚石切削技术水平成为衡量一个国家超精加工技术水平的重要标志。为掌握单点金刚石切削技术，在应用光学国家重点实验室的资助下，我们对MSG—325 双轴数控金刚石车床（如图1所示）的动态特性进行了系统的测试与分析。试验中应用脉冲激振方法进行激振，采用相干函数校正的传递函数识别方法及复模态识别技术识别了这台机床的动态参数。

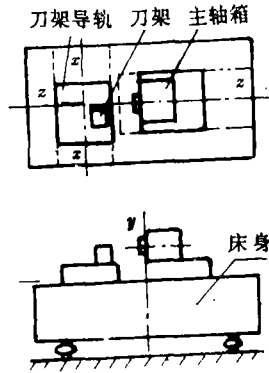


图1 MSG—325金刚石车床结构图

二、机床传递函数的识别模型

本文应用图2所示模型识别机床的传递函数。

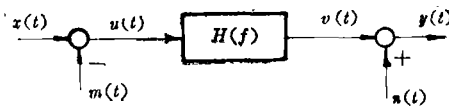


图2 传递函数的识别模型

图中 $H(f)$ —— 被测系统的真实传递函数;
 $u(t)$ 、 $v(t)$ —— 分别为被测系统真实的输入、输出;
 $x(t)$ 、 $y(t)$ —— 分别为所测得的输入、输出;
 $m(t)$ 、 $n(t)$ —— 分别为输入、输出噪声。
 被测系统真实传递函数

$$H(f) = G_{uv}(f) / G_{uu}(f) \quad (1)$$

式中 $G_{uv}(f)$ —— $u(t)$ 与 $v(t)$ 的互功率谱;
 $G_{uu}(f)$ —— $u(t)$ 的自功率谱。

当不考虑噪声时, 系统的传递函数可用下式识别:

$$H_1(f) = G_{xy}(f) / G_{xx}(f) \quad (2)$$

由于 $x(t) = u(t) + m(t)$, $y(t) = v(t) + n(t)$, 且 $m(t)$ 与 $n(t)$ 不相关, 则

$$H_1(f) = H(f) / (1 + G_{mm}(f) / G_{uu}(f)) \quad (3)$$

根据杜哈美积分我们可以推导出另一种传递函数估计式

$$H_2(f) = G_{yy}(f) / G_{yx}(f) = H(f) * (1 + G_{nn}(f) / G_{vv}(f)) \quad (4)$$

由式(3)、式(4)可知, 用 $H_1(f)$ 估计被测系统的传递函数将引起传递函数的低估; 而用 $H_2(f)$ 估计被测系统的传递函数将引起传递函数的高估。我们取 $H_1(f)$ 、 $H_2(f)$ 的算术平均值 $H_3(f)$ 来估计被测系统的传递函数, $H_3(f)$ 可表达为

$$H_3(f) = H_1(f) * [1 + 1/Y^2_{zv}(f)] / 2 \quad (5)$$

这样便得到了用相干函数进行校正的传递函数估计式, 在此基础上, 应用复模态参数识别技术进行动态参数识别。

三、测试方法与装置

针对这台机床固有频率较低的特点, 本文采用脉冲锤击法对机床进行激振, 采用超低频、高灵敏度加速度传感器拾振。由于机床床身是用花岗石制造的, 无法用磁座固定传感器, 本文试验采用粘结度很高的双面胶固定传感器, 这种方法绝缘性好、粘结牢固、方便, 附加质量小。

为进一步提高测试与分析的精度, 应尽量减少测试与分析的中间环节, 本文试验在测试现场用 HP3562A 动态信号分析仪对测试信号进行实时分析处理。

为校核脉冲激振方法的正确性, 本文应用随机激振方法进行考证。试验中, 采用 HP3562A 动态信号分析仪产生有限带宽 (0~500) Hz 的随机信号经功率放大器放大后驱动电磁式激振器对机床进行激振。

图 3 (a)、(b) 分别是随机激振试验测试系统框图和脉冲激振试验测试系统框图。

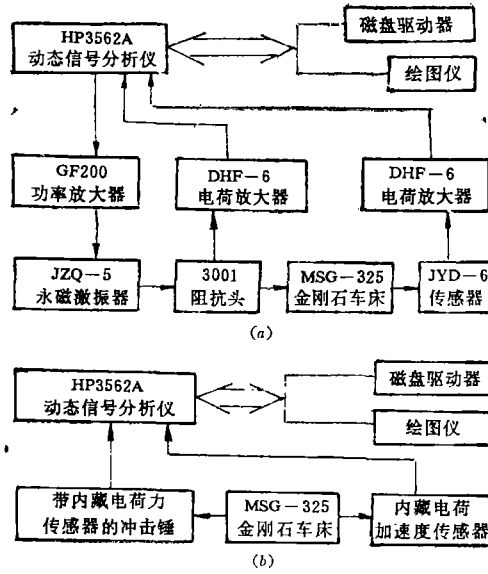


图3 实验测试系统框图

四、测试结果分析

图4、图5分别是脉冲激振试验时测试的瞬态力时域图和在刀架 y 向锤击在刀架 y 向测得的振动响应的时域图。

图6、7、8、9是采用脉冲激振方法测得的系统传递函数图。图10是脉冲激振（A曲线）与随机激振（B曲线）两种激振方法测得的系统传递函数图。

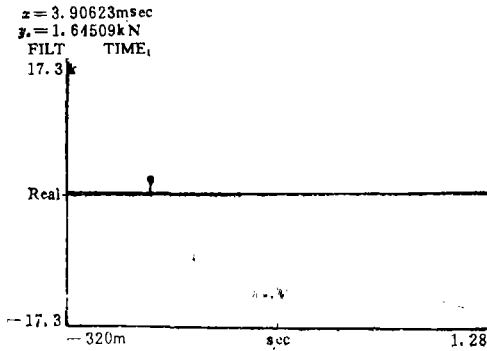


图4 瞬态激振力时域图

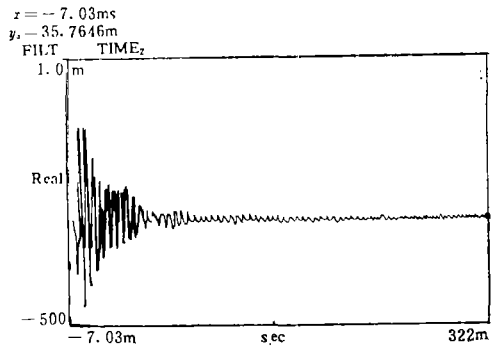


图5 刀架锤击响应图

表1、表2分别是用试验方法识别得到的各阶固有频率和各阶模态阻尼比。分析表1、表2所列试验数据可知， Δf_1 一般都比 Δf_2 大， $\Delta \zeta_2$ 比 $\Delta \zeta_1$ 大，这说明用相干函数校正的传递函数识别方法是比较可靠的，其识别精度较高，特别是在低频区段，其识别精度的提高更为明显。试验结果表明本文采用脉冲激振方法测得的数据是可靠的。

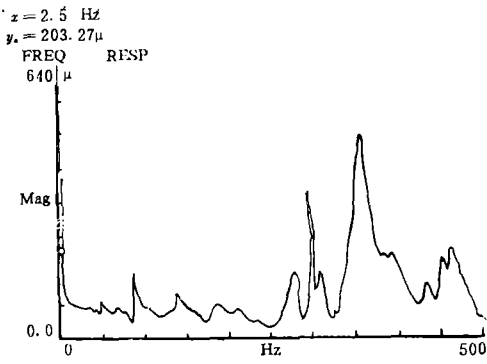


图6 在床身 y 向激振, y 向测量的动态特性图

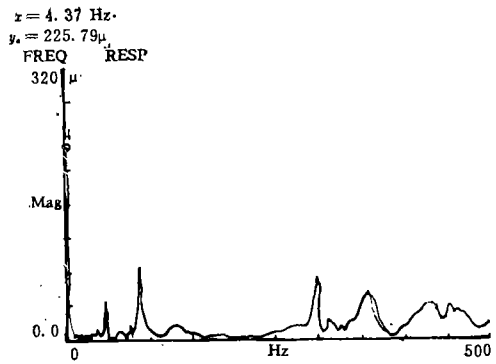


图7 在床身 y 向激振, x 向测量的动态特性图

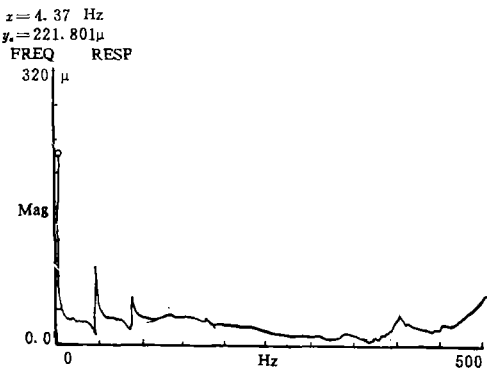


图8 在床身 x 向激振, x 向测量的动态特性图

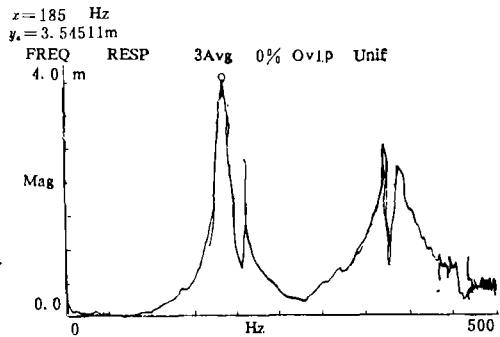


图9 在刀架 y 向激振, 在刀架 y 向测量的动态特性图

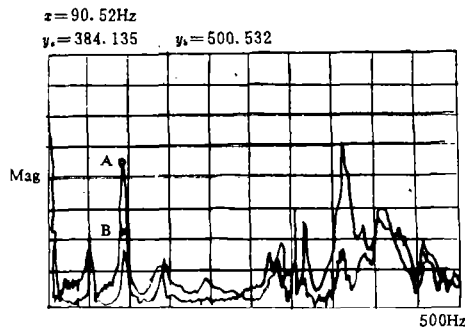


图10 两种不同激振方法得到的传递函数

为了验证试验结果的可信度, 本文应用互易法试验进行验证。图11中曲线A是在床身 y 向激振, x 向测振经分析得到的传递函数曲线, 曲线B是在床身 x 向激振, y 向测振经分析得到的传递函数曲线。由图可知, 曲线A与曲线B基本相近, 这说明本文提供的试验数据是可信的。

表 1 各阶固有频率的识别值

单位 Hz

阶次	未用相干函数修正识别得到的固有频率			用相干函数修正识别得到的固有频率		
	激振方式		$\Delta f_1 = f_{\text{随}} - f_{\text{脉}} $	激振方式		$\Delta f_2 = f_{\text{随}} - f_{\text{脉}} $
	随机激振	脉冲激振		随机激振	脉冲激振	
1	2.81	2.57	0.24	2.68	2.75	0.07
2	4.23	4.28	0.05	4.25	4.23	0.02
3	36.34	36.97	0.63	36.12	36.64	0.52
4	49.09	48.52	0.57	49.12	48.69	0.43
5	89.55	89.25	0.30	89.52	89.17	0.35
6	139.55	139.34	0.20	139.72	139.55	0.17
7	188.73	186.45	2.28	189.02	186.31	2.71
8	285.19	284.35	0.84	285.23	284.42	0.81

表 2 各阶模态阻尼比的识别值

阶次	未用相干函数修正得到的模态阻尼比			用相干函数修正得到的模态阻尼比		
	激振方式		$\Delta \zeta_1 = \zeta_{\text{随}} - \zeta_{\text{脉}} $	激振方式		$\Delta \zeta_2 = \zeta_{\text{随}} - \zeta_{\text{脉}} $
	随机激振	脉冲激振		随机激振	脉冲激振	
1	0.065	0.073	0.008	0.079	0.082	0.003
2	0.076	0.073	0.003	0.066	0.064	0.002
3	0.011	0.001	0.003	0.013	0.012	0.001
4	0.021	0.022	0.001	0.020	0.021	0.001
5	0.018	0.015	0.003	0.016	0.014	0.002
6	0.020	0.023	0.003	0.021	0.023	0.002
7	0.043	0.040	0.003	0.043	0.040	0.003
8	0.013	0.018	0.005	0.013	0.018	0.005

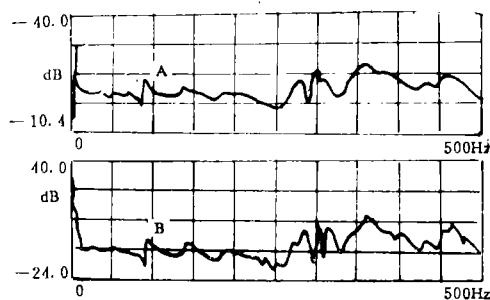


图11 互易法试验结果

五、结 论

1. 试验结果表明，采用锤击法激振可获得较高的测试与分析精度。
2. 试验结果表明，用相干函数校正的传递函数估计方法是可靠的，它能有效地排除测

量噪声的干扰, 提高分析识别精度。

3. MSG—325双轴数控金刚石车床的低阶固有频率为2.75Hz和4.23Hz, 远远避开了机床的机内振源和环境干扰的频率, 使这台机床具有较高的抗干扰能力。

4. 该机床的模态阻尼比较大, 一阶模态阻尼比达0.08。

5. 该机床主轴系统的固有频率为36.64Hz, 这阶固有频率所对应的主轴转速正好落在这台机床规定的主轴转速范围(100 ~ 2400) r/min内, 作者认为这是本机床设计的一个失误。

参 考 文 献

- [1] Fabunm J A, Tasker F A; Journal of Vibration, Acoustics, Stress and Reliability in Design, ASME, 1988, 110
- [2] MSG—325 2-Axis CNC Diamond Tool Lathe for Micro Machining of Contour Rank Pneumo Precision Inc
- [3] J Tlusty, T Moriwaki; Experimental and Computation of Dynamic Structural Models, Annals of the CIRP, 25, No. 2, 1976
- [4] S 铁摩辛柯, D H 杨; 《工程中的振动问题》, 人民铁道出版社, 1983

Identification of Dynamical Behavior of Ultra-precision Diamond Tool Lathe with Impulse Excitation Method

Wang Yiqiang, Yu Junyi and Han Rongjiu

Abstract

In this paper, the impulse excitation method was applied in identifying the transfer function of MSG—325 2-axis CNC Diamond Tool Lathe, its dynamical behaviors parameters were identified by complex modal method. In order to examine the reliability of measured test results, the verifying tests were carried out with the random excitation method.

Key Words: Impulse Excitation, Identification of Dynamical Parameters, Accuracy of Identification, Diamond Cutting