**模态锤实验指导书**

**一、 实验设备**

机床模态测试设备主要用于测量和分析机床结构在各种激励条件下的动态响应。通过对机床的模态分析，可以获得机床的固有频率、振型和阻尼比等参数，从而评估机床在不同工作状态下的动态行为。该设备包括传感器、激振器、数据采集系统三个组成部分。

* 传感器：本次实验采用的是三向加速度传感器，用来测量用来测量空间加速度。三轴加速度传感器可以将空间加速度在X、Y、Z三个轴上进行分解。
* 激振器：本次实验采用的激励器是模态锤，通过模态锤敲击被测机床表面来获得激励信号。
* 数据采集系统：数据采集系统由多通道信号采集仪、PC和数据线构成，通过数据线将传感器收集到的信号传送到信号采集仪中，并进一步传送到PC端进行展示。

**二、 测试原理**

模态测试基于输入激励与输出响应之间的关系，通过激振器施加已知频率的激励，这些激励信号通常是正弦波、冲击波或随机激励，目的是让机床结构产生振动，之后使用传感器测量机床各部位的响应，通过频域分析，可以获得机床的固有频率、模态振型等信息，

**三、 实验步骤**

* **准备工作**：布置实验设备，确保传感器安装牢固，位置合适，并与机床表面有良好的接触；激振器（模态锤）头部完好，不存在磨损和裂纹；信号采集仪连接正常，数据能够正常显示。
* **传感器与激励点布置：**选择机床关键部位进行测量，此次实验主要选择机床的主轴和工作台进行测量。
* **激励施加**：使用模态锤对被测机床表面进行敲击，激发机床的模态响应，并确保冲击力的方向与传感器的采集方向一致，每个激励点至少敲击3次，确保信号的一致性。
* **数据采集**：启动数据采集系统，在数据采集系统的界面上选择采样频率（需为2倍于机床最高响应频率的奈奎斯特采样率），选择数据采集时间，记录机床的振动响应数据并保存为相应的数据格式以便后续分析。
* **模态分析**：使用分析软件处理振动数据，得到机床的固有频率、阻尼比等频率信息，主要分为以下几步。

1. 数据预处理：对原始数据进行去噪、归一化和信号调整，确保数据的质量，为后续的频域分析和模态参数识别做好准备。

将数据采集系统中的数据导入，并使用数据分析软件读取数据，使用带通滤波器去除高频噪声和低频干扰，保留关键频率范围内的信号，再将数据中的直流分量去除，并进行归一化处理得到处理后的信号。

1. 频域分析：将时域信号转换为频域信号，找到系统的固有频率和共振峰。

对时域信号进行快速傅里叶变换 (FFT)，将信号从时域转换为频域，计算频率响应函数（输出响应与输入激励的比值） ：

其中，X(f)是响应信号的FFT，F(f)是激励信号的FFT。

根据频率响应函数绘制频谱图，找到幅值最大的位置，对应的频率即为固有频率。

1. 阻尼比计算：

通过半功率带宽法（3dB法）计算阻尼比：

其中，和 是峰值两侧3dB**下降点的频率**，是峰值的固有频率。

1. 数据导出与结果生成：

导出计算的，并将结果集合到下面的表格中

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| **测量点** | **固有频率（Hz）** | **阻尼比** |
| 1 |  |  |
| 2 |  |  |

**需要测量的关键参数：**

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| **类别** | **参数** | **测量方法** | **意义** |
| 输入信号 | 激励信号的幅值与频率 | 通过模态锤直接记录 | 评估外部激励信号的强度和频率 |
| 振动响应 | 加速度 | 加速度传感器记录 | 评估机床的动态响应 |
| 模态参数 | 固有频率 | 通过频域分析计算获得 | 确定机床频率，防止共振 |
| 模态参数 | 阻尼比 | 通过频域分析计算获得 | 评估机床的耗能能力 |

**四、 思考题**

1. 在模态分析中，为什么在频谱图中某些频率位置会出现“峰值”？这些峰值在机床的动态性能中有什么物理意义？

2. 在模态测试实验中，如果**传感器的安装方向不对**（如未与激励方向对齐），会对测量的结果造成什么样的影响？