

4.2.2 移动荷载的识别

当荷载以 20m/s 的速度通过桥梁时，由 ANSYS 软件直接输出三个测点位置的动力响应，如图 4.9 所示：

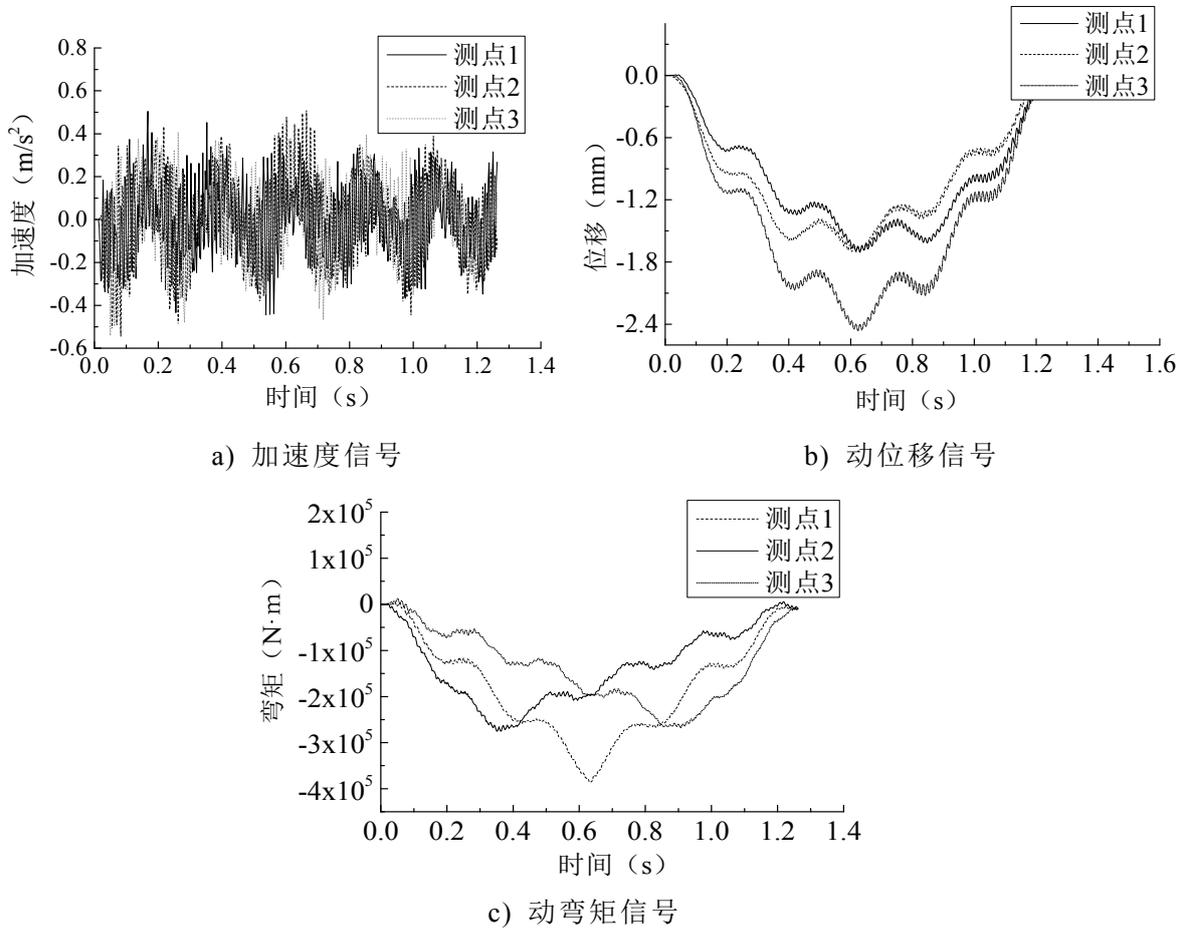


图4.9 $v=20\text{m/s}$ 时测点的动力响应

当车速较低时，通过桥梁时会产生较多的高频振动，同时由于采集过程中的环境影响和仪器自身原因所产生的噪声都会混杂在信号中，造成信号的失真，通过有限元输出的应变为不含噪声的真实信号，利用 MATLAB 对其添加 10dB 强度的白噪声来模拟实际采集得到的信号，如图 4.10 所示。

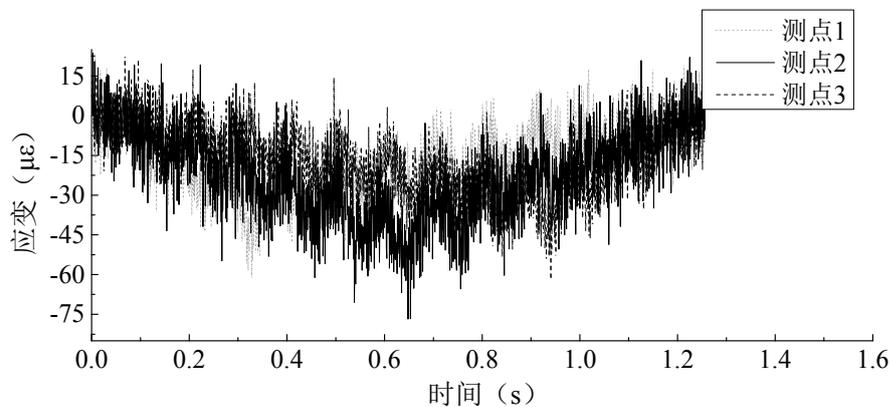


图4.10 添加噪声的应变

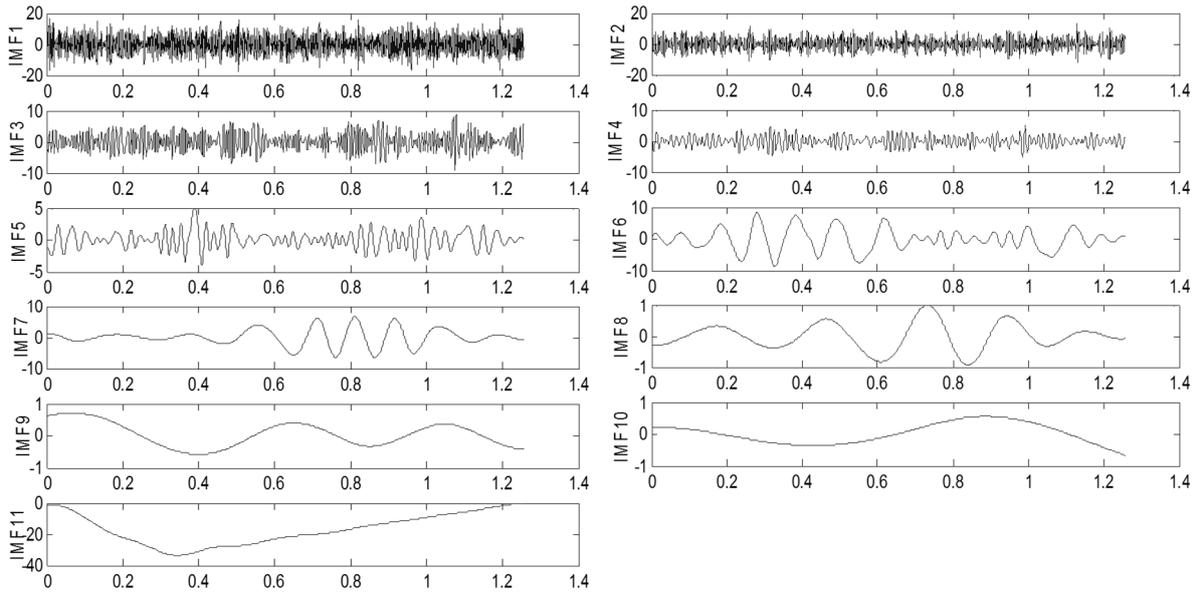


图4.11 测点1应变信号EMD分解

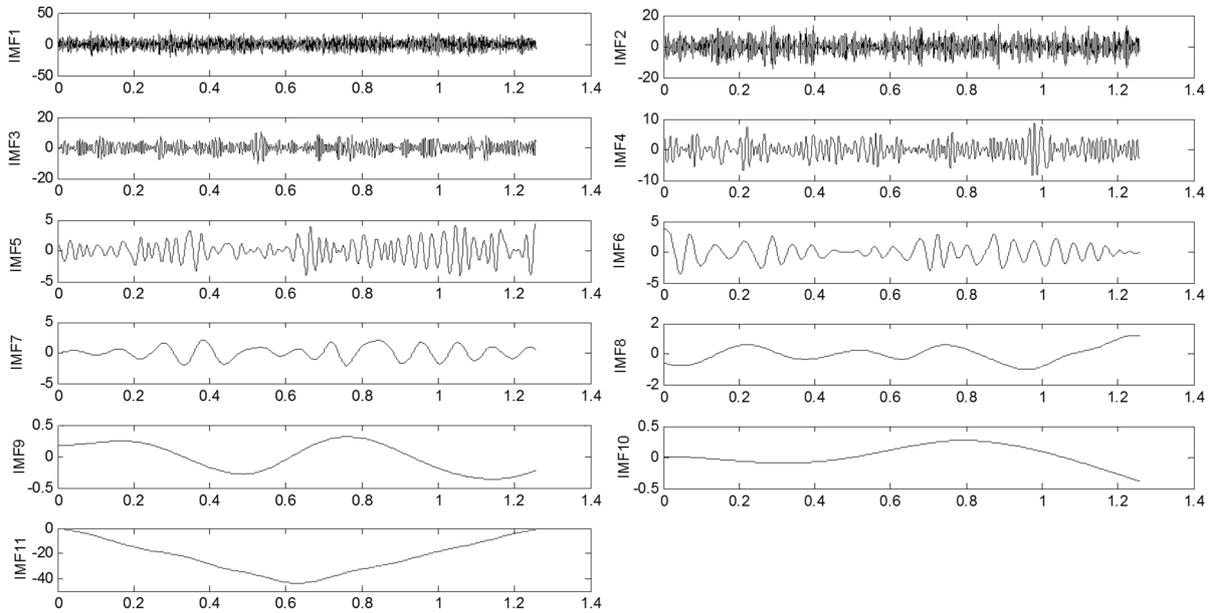


图4.12 测点2应变信号EMD分解

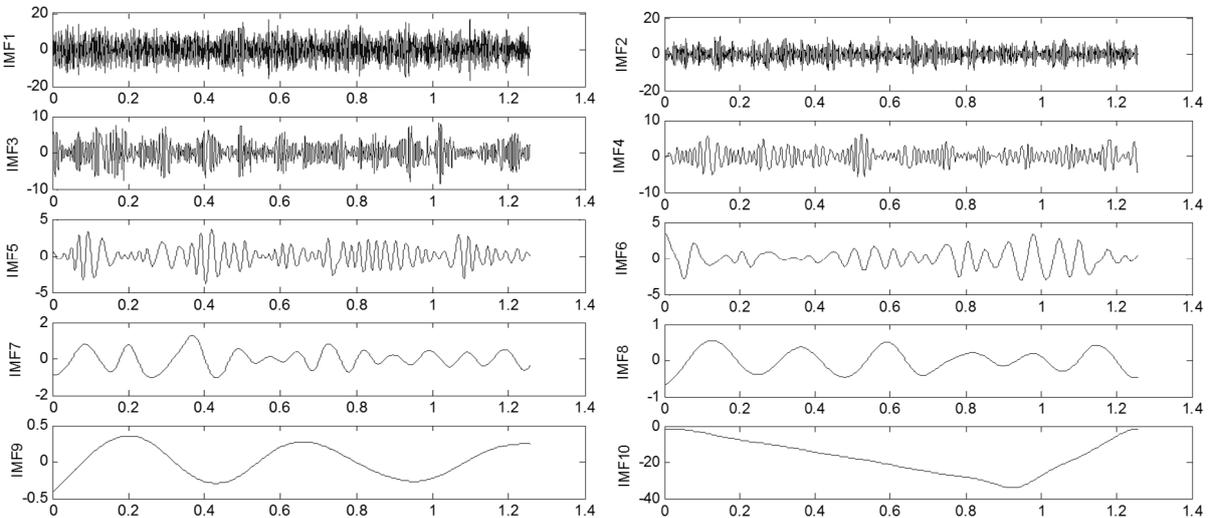


图4.13 测点3应变信号EMD分解

对于动应变信号，首先利用 EMD 方法对三个测点的应变响应进行分解，得到的 IMF 如图 4.11-4.13 所示，计算得到静荷载引起的应变响应如图 4.14 所示。从 EMD 分解的结果可以看出，EMD 的分解方法将单个信号按照频率从高到低，分解成多个 IMF，其中第一个分离出来的分量频率最高，最后的低频分量和残余项即动应变信号中由车辆静载所产生的应变值。

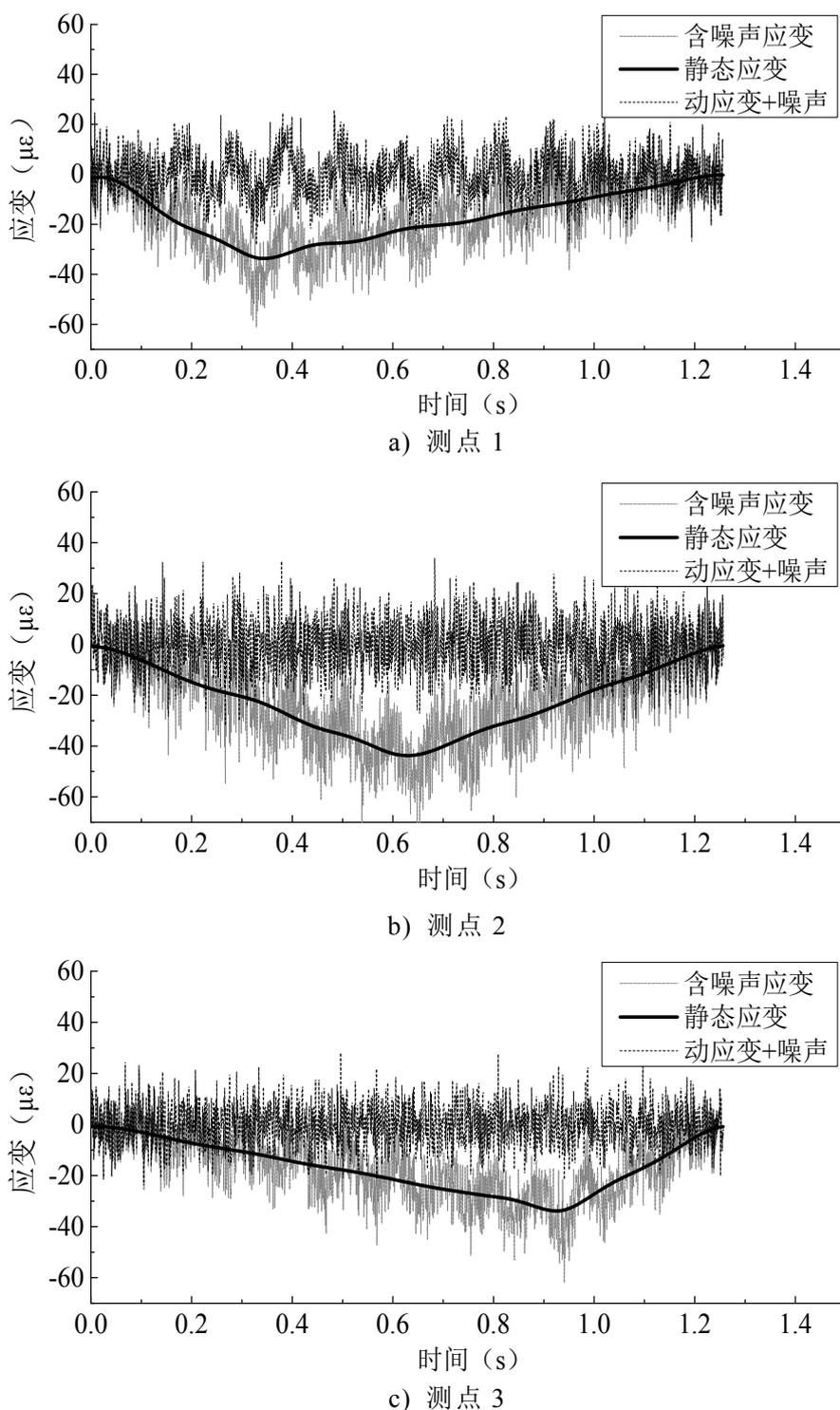


图4.14 应变信号分解

由于模拟的结构是对称的等截面梁，且梁在移动荷载作用下仍然处于弹性阶

段，因此可以认为中性轴的位置在每一个梁截面高的 1/2 处。由曲率和应变的关系式可以通过节点应变响应得到多个点的曲率，利用最小二乘法求得整个梁的曲率函数表达式。再对梁曲率函数进行二次积分运算，即可得到梁的挠度曲线。通过代入梁上任意位置的横坐标就可以得到这一个测点所对应的动挠度。梁上测点 1、2、3 位置处由静载引起的位移值如图 4.15 所示，对于因结构的振动而引起的动位移部分，可利用基于加速度信号积分的方法进行识别。

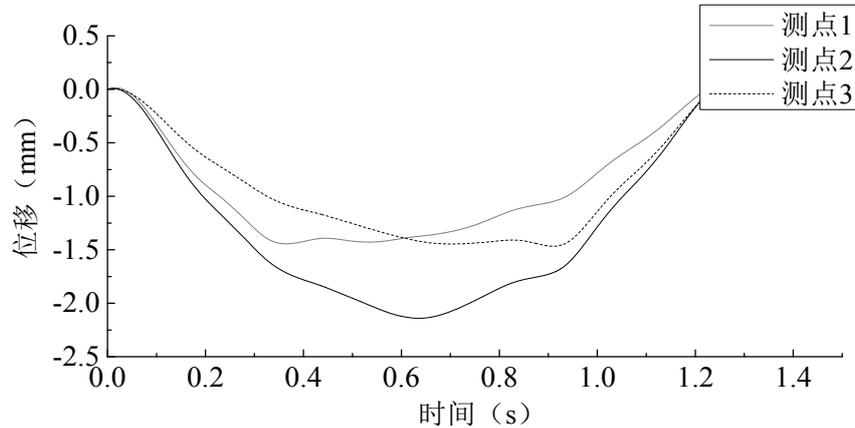


图4.15 静力位移识别结果

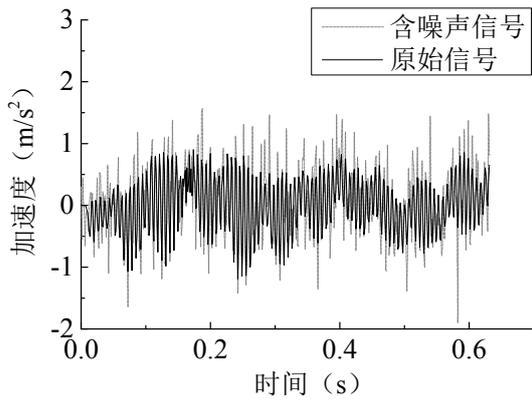


图4.16 测点1含噪声加速度信号

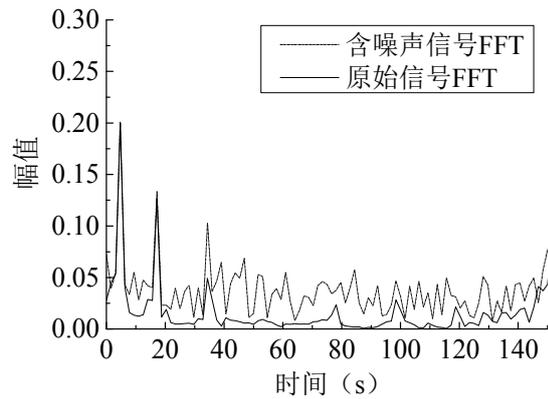


图4.17 测点1加速度信号傅立叶谱

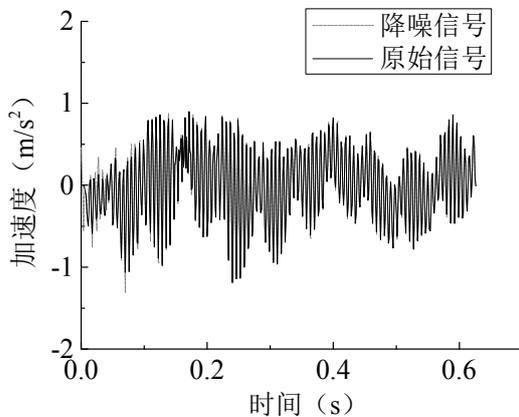


图4.18 测点1降噪后加速度信号

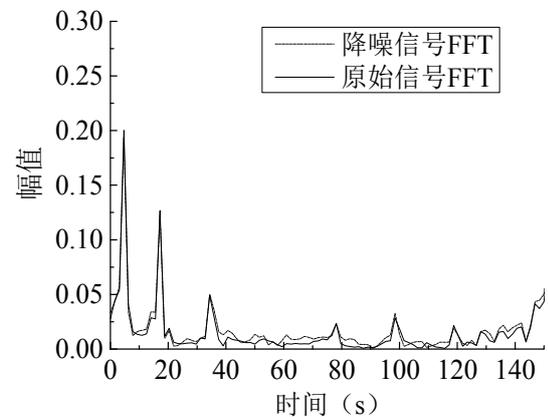


图4.19 测点1降噪后信号傅立叶谱

测点 1 加速度信号的真实值和添加白噪声的值如图 4.16 所示，对信号进行傅

立叶变换得到频谱特性，从图 4.17 可以看出，结构的前三阶频率为 $f_1=4.79\text{Hz}$ ， $f_2=19.18\text{Hz}$ ， $f_3=43.15\text{Hz}$ ，添加噪声后的信号中存在许多的干扰频率，通过第二章中介绍的自适应降噪方法，取滤波阶数 100，步长因子为 0.005 对信号进行降噪处理，可以得到降噪后的信号如图 4.18 所示，在和真实加速度信号的对比中可以看出，自适应降噪法对信号的还原程度较高，除了初始阶段迭代参数收敛过程中仍然残留少量高频噪声外，其他信号部分都具有较高的真实性，从频谱特性中也能明显看出降噪前后的变化，图 4.19 中经过降噪的信号除了在高频部分仍有少量噪声之外，频域内的特征与实际信号基本相同。

振动位移的结果通过加速度频域积分计算，频域积分具有更高的精度和效率，一次积分后去趋势项能较好地保证信号的真实性，很显然荷载在上桥前测点的速度和位移为零，荷载下桥后结构重新回到初始的平衡状态，因此可以将这两个条件作为两次积分过程中去除趋势项的依据，得到振动位移如图 4.20 所示。从图中积分的结果可以看出，振动位移满足在车辆上桥前数值为零的初始条件，同时当车辆下桥后位测点重新恢复到平衡位置，信号恢复达到了预期的结果。

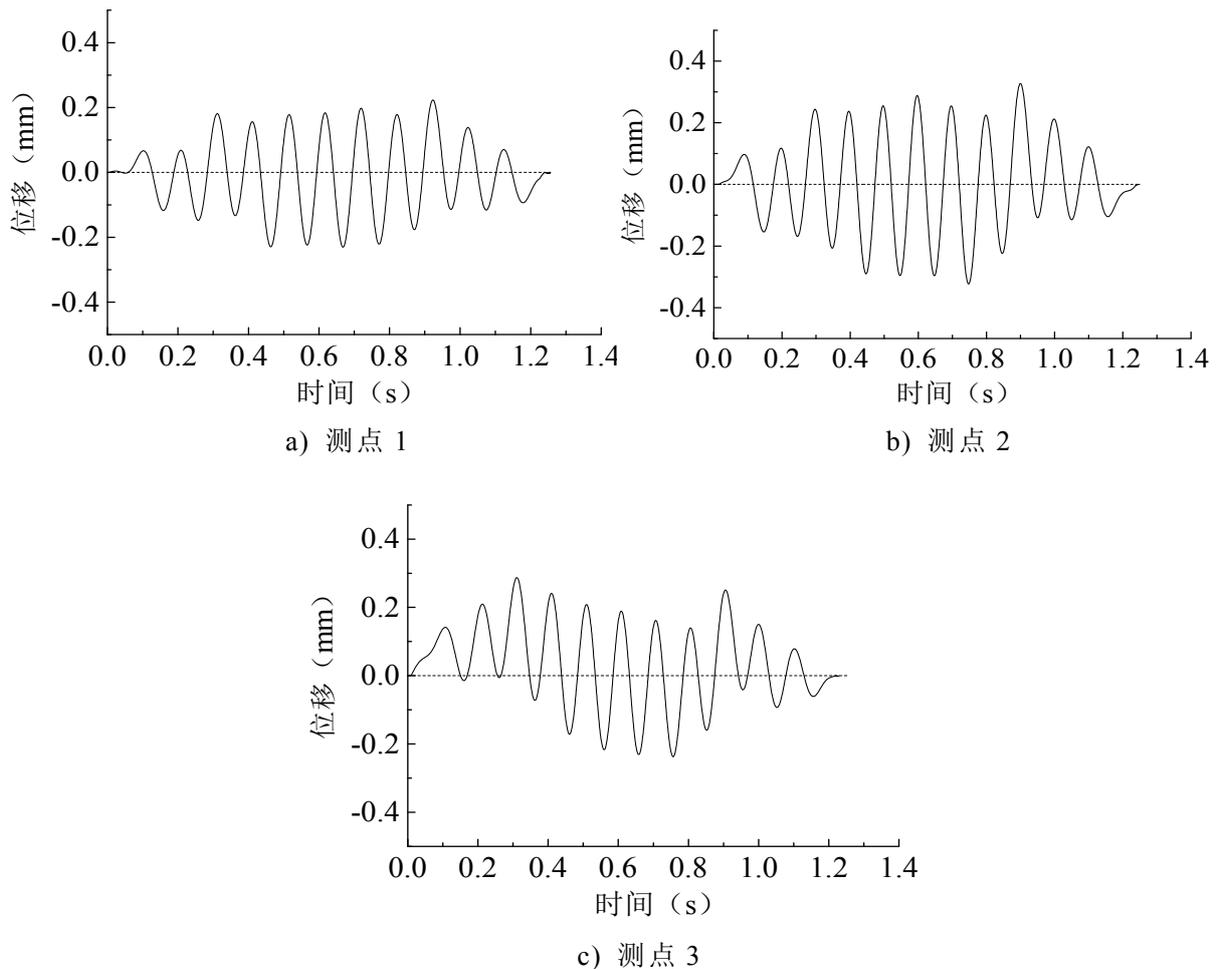
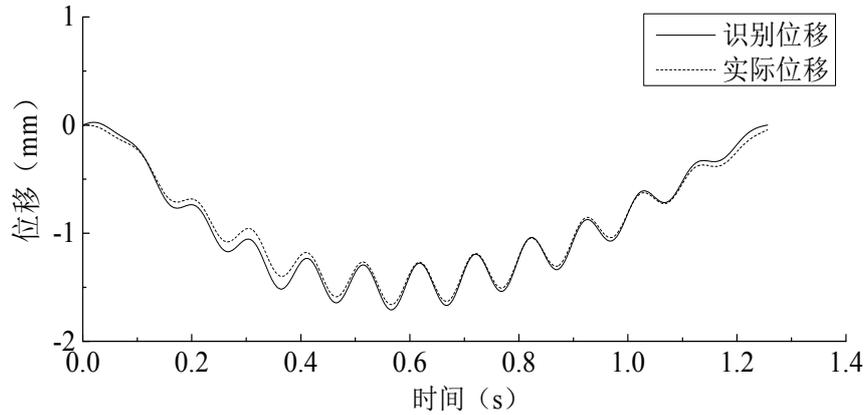


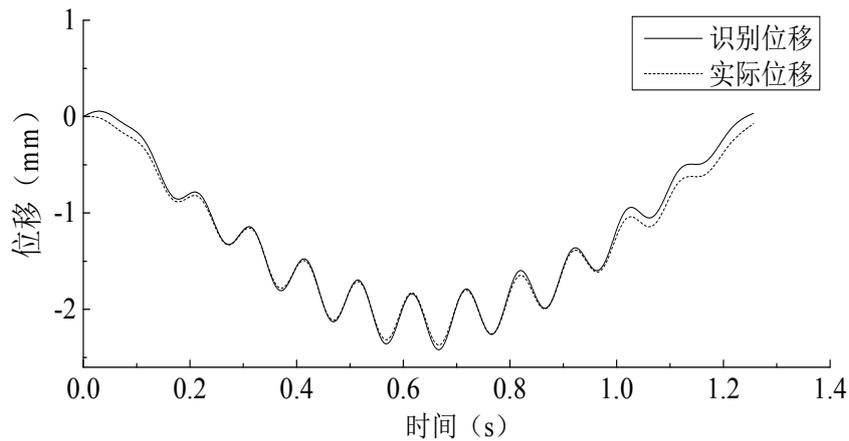
图4.20 振动位移计算结果

通过叠加静荷载位移和振动位移得到的重构位移信号如图 4.21 所示，重构的

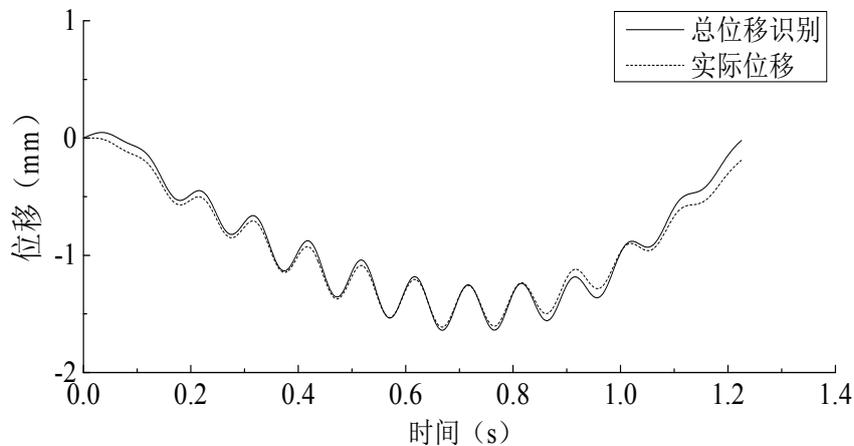
位移信号与实际信号整体一致，误差主要出现在局部高频识别的部分以及时间的后半段，产生误差的原因有两个方面，一是由积分过程中很小的趋势项所引起的误差积累，另一方面由于应变在 EMD 分解过程中，出现了轻微的端点效应^[77]，端点效应是指 EMD 信号分解过程中出现发散的现象，当信号端点处极大值和极小值计算出现偏差或者无法确定极大值和极小值的时候，会导致计算得到的包络线出现错误，继而导致 EMD 分解的结果发散。



a) 测点 1



b) 测点 2



c) 测点 3

图4.21 信号重构识别的位移值