



图9 加噪声加速度信号及积分位移

Fig.9 Acceleration signal with noise and integral displacement

表 1 多组实测数据误差图的最大值

Table 1 Maximum value of errors diagram of multi group measured data

| 激励频率/Hz | 激励幅值/mm | 误差图峰值 |
|---------|---------|-------|
| 0.5 | 35 | 0.192 |
| 1.0 | 30 | 0.181 |
| 1.5 | 30 | 0.151 |
| 5.0 | 2 | 0.071 |
| 5.0 | 5 | 0.069 |
| 8.0 | 2 | 0.076 |

析得出低频成分对位移结果影响较大,主要频率越小误差就越大。

4 结论

针对工程测试实际中带噪声加速度信号的积分问题,本文提出了一种基于滑动平均的低频衰减频域积分方法. 利用该方法,给出了一种加速度积分位移方案,可以较准确地估计结构位移. 通过数值模拟和振动台实验验证了该积分方案结果的有效性和实用性,得出如下结论:

- 1) 为了保证积分结果的准确度,积分前需要对测量的加速度信号作预处理,以去除信号中的高频干扰和直流分量;
- 2) 在频域积分的过程中,由于积分幅值与频率

的平方成反比,则低频成分幅值会被放大,因此,频域积分的误差主要来源于低频干扰部分,基于低频衰减方法的高通滤波器,能有效去除低频部分对位移结果的影响;

- 3) 该积分方法采用滑动平均法预处理和频域积分,没有导致误差累积,较之其他积分方法,重构位移不存在长周期漂移,且具有较高的计算效率;
- 4) 通过数值模拟实例研究发现,积分位移信号与标准位移信号波形相似,只是幅值略有差异,除开始部分外,误差均保持 0.02 以内,证明精度较高,添加白噪声后的积分位移仍保持较高的精度;
- 5) 最后通过搭建六自由度实验平台,将该方法应用于实际轨道测量的数据分析中,通过实测加速度数值,将积分位移与实测位移结果进行比较,结果表明,测试误差均小于 0.1,可以满足工程精度要求,表明本文所提出的方法具有较高的实际应用价值。

参考文献:

[1] XIAO X, XU X Y, SHEN W. Simultaneous identification of the frequencies and track irregularities of high-speed railway bridges from vehicle vibration data[J]. Mechanical Systems and Signal Processing, 2021, 152: 107412.

[2] CHANG C, LING L, CHEN S et al. Dynamic performance evaluation of an inspection wagon for urban railway tracks [J]. Measurement, 2021, 170: 108704.