

动态称重传感器特性分析及测试研究

□中航电测仪器股份有限公司 王小岗 童祖刚 张睿

【摘要】本文对动态称重传感器在公路超限超载应用中的相关性能行了分析，并提出了相应的分析测试方法。

【关键词】动态称重传感器；动态特性分析；测试研究

文献标识码：A 文章编号：1003-1870（2025）03-0013-03

Characteristic Analysis and Testing Research of Dynamic Load Cell

【Abstract】In this paper, the performance of dynamic load cells in highway over-limit and overload applications is analyzed, and the corresponding analysis and testing methods are proposed.

【Keywords】dynamic load cell; dynamic characteristic analysis; testing research

引言

近年来，随着我国公路车辆运输业的发展，轴重式公路车辆自动衡器有了快速发展，成为超限超载治理的重要装备。由于公路运输行业对通行效率的要求，车辆行驶速度逐步提高，对称重传感器的动态响应及固有频率也有了更高的要求。因此研究称重传感器的动态特性，能更好的为其后续使用提供参考信息。

1 动态称重传感器基础理论

1.1 动态称重传感器的动态特性

动态称重传感器的动态特性是指动态称重传感器对随时间变化的输入量的响应特性。输入信号变化时，输出信号随时间变化而相应地变化，这个过程称为响应。用动态称重传感器测试动态量时，希望它的输出量随时间变化的关系与输入量随时间变化的关系尽可能一致，但实际并不尽然。当输入信号变化缓慢时，传感器容易跟踪。但随着输入信号的变化加快，称重传感器的及时跟踪性能会逐渐下

降。动态特性好的动态称重传感器，当输入信号是随时间变化的动态信号时，动态称重传感器能及时精确地跟踪输入信号，按照输入信号的变化规律输出信号。

1.2 动态特性参数

动态称重传感器动态特性包含幅值误差 E_d 、响应时间 t_r 及固有频率 f_n ，如图1所示。

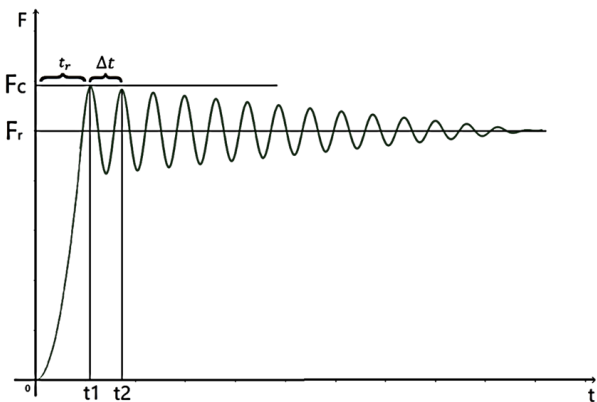


图1 动态特性

动态幅值误差 E_{At} 为动态称重传感器测量系统输出的最大值 F_c 减去参考测量系统的对应力值 F_r 之差与 F_r 的比值。动态幅值误差计算公式如下：

$$E_{At} = \frac{F_c - F_r}{F_r} \times 100\%$$

响应时间 t_r 为开始测试到第一个波峰的时间 t_1 。

固有频率 f_r 是响应信号两个波峰时间的差值 Δt 的倒数。

$$f_r = \frac{1}{\Delta t} = \frac{1}{t_2 - t_1}$$

1.3 动态计算要求

在车辆高速行进时，动态称重传感器承受的重量 $X(t)$ 总是不断变化的，动态称重传感器的输出量 $Y(t)$ 也是不断变化的，这就要求动态力测量系统要跟踪力值变化。例如，当动态称重传感器称重面宽度为50mm，车辆以120km/h的速度行进时，车轮通过动态称重传感器称重面的总时间如下：

$$t = \frac{L}{v} = \frac{0.05}{120 \times \frac{1000}{3600}} = 0.0015 \text{ (s)}$$

因此，动态称重传感器在加载后的响应时间及固有频率周期时间之和 t_2 需要小于车辆通过传感器称重台面的总时间0.0015s，这样才能完成动态称重任务，使动态称重传感器输出 $Y(t)$ 能够实时的跟踪输入 $X(t)$ 的变化。

2 动态性能分析方法

2.1 动态特性理论分析

频率特性是动态称重传感器的一个十分有用的评估特性，用于评价动态称重传感器在波形复杂的周期输入作用下的复现误差。在动态称重测量中，动态称重传感器的频率响应越快，对快速变化的力或质量的测量精度越高。频率特性可从动态称重传感器的固有频率及响应速度进行分析。

(1) 固有频率分析

固有频率分析可以通过有限元计算的方法进行模态分析。有限元分析是一种利用数学近似的方法对真实物理系统进行模拟的分析方法，而模态分析是研究结构动力特性的一种有限元分析的近代方法，是系统辨别方法在工程振动领域中的应用。模态是机械结构的固有振动特性，具有特定的固有频

率，动态称重传感器的模态振型一般进行二阶频率分析。分析过程如下：

通过有限元软件按照图2 对动态称重传感器建立模型并创建网格。

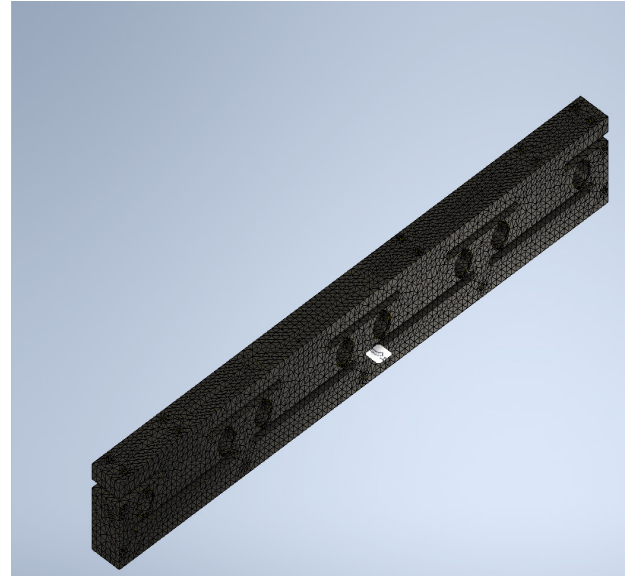


图2 网格划分

对动态称重传感器弹性体固定底端后，对上板Y方向施加100kN的静态载荷，所得弹性体位移结果如图3 中右侧列表所示。

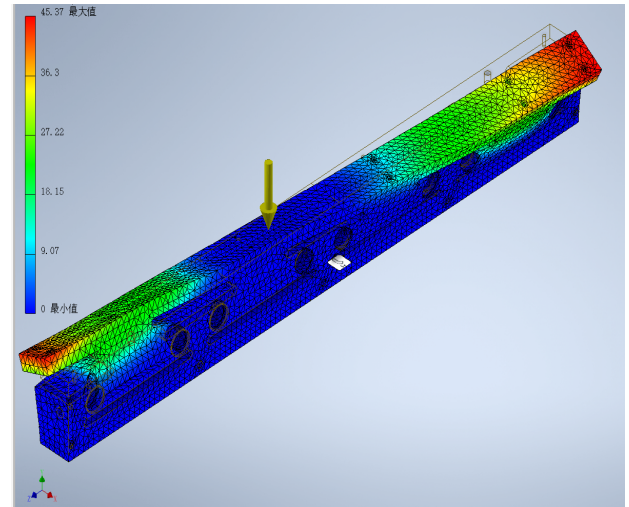


图3 位移结果

动态称重传感器的固有频率即动态称重传感器在受到加载时发生振动的频率，利用有限元软件施加载荷对其固有频率进行计算，动态称重传感器弹性体加载后的频率模型如图4 所示。

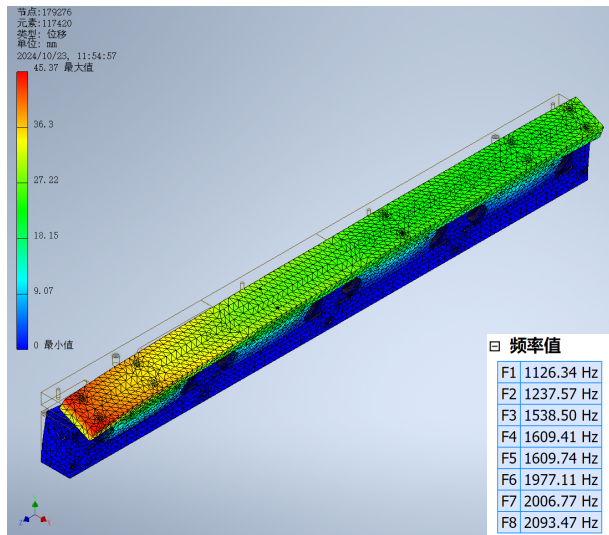


图4 固有频率

(2) 响应时间分析

使用显示动力学分析进行动态称重传感器响应时间分析，如图5所示，产品的响应时间约为0.00006s。

根据分析进行计算，动态称重传感器的固有频率周期时间

$$\Delta t = \frac{1}{1237.57} = 0.000808s$$

动态称重传感器响应时间及固有频率周期总时间

$$t = 0.00006 + 0.000808 = 0.000868s < 0.0015s$$

整体时间能够实现车辆速度为120km/h 下的称重计量要求。

2.2 动态称重传感器测试研究

动态称重传感器可在落锤式动态力标准装置上进行动态响应频率的试验测试。试验设备如图6所示。

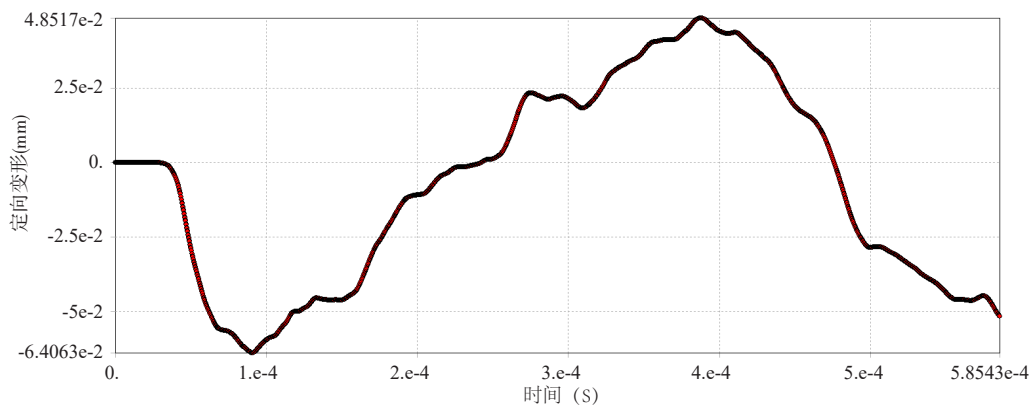


图5 响应时间

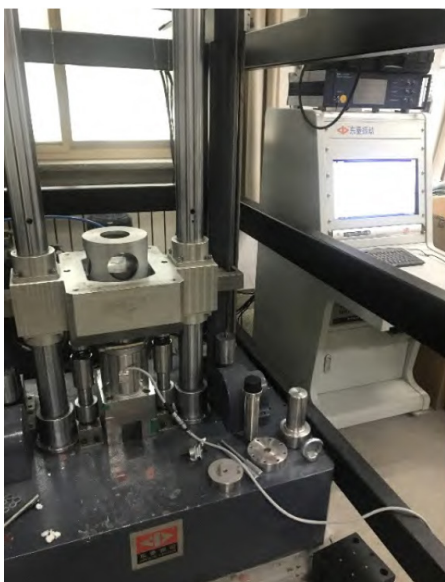


图6 试验设备

实验过程：将动态称重传感器安装在落锤式大幅值脉冲力发生器的底座上，通过控制锤体运动与提升高度产生较大幅值的脉冲力，通过仪表采集动态称重传感器受力后的输出波形，从而得到动态称重传感器的响应时间及固有频率。

3 结语

本文所介绍的是一种动态称重传感器动态特性的分析及测试研究方法，在公路高速预检使用的动态称重传感器设计中尤为重要，可以提升公路高速预检传感器准确性，使产品设计满足使用要求，为高速预检提供准确的数据支撑。

参考文献

[1] 刘九卿. 应变式称重传感器的动态特性[J]. 传感器技术及应用, 2008 年.

[2] 刘劲松, 叶程. 基于窄条传感器的高精度动态称重系统设计和实现[J]., 中国交通信息化, 2016.03.

作者简介

王小岗, 中航电测仪器股份有限公司主任设计师、传感器技术专家, 中国衡器专家委员会技术专

家。荣获: 汉航集团科技技术进步奖4项; “85”国家重点攻关项目2项; 国家专利20余项; 吉林省科学发明奖1项。

童祖刚, 中航电测仪器(西安)有限公司传感器副高级工程师, 曾获陕西省科学技术进步奖1项, 专利10余项。

张睿, 现任中航电测股份有限公司研发工程师, 从事传感器设计与应用研发工作, 获授权发明专利一项。