

# 基于数学建模的压电传感器动态特性补偿方法

刘凌峰\*

(上海飞机设计研究院, 上海 201210)

**摘要:**近年来,基于压电传感器和 Lamb 波的结构健康监测技术因其对小损伤敏感以及监测范围广等优点被广泛地研究并应用于飞行器上。由于材料特性以及其它复杂因素的影响,压电传感器采集的信号与原始信号并不能够完全一致,需要后续补偿处理。针对圆形压电传感器,从其工作机理出发,推导了其动态特性的理论公式,建立起传感器数学模型。利用 MATLAB 建立数学建模仿真得到传感器模型的动态特性曲线,并与实验获得的标定曲线进行了对比,验证了模型的合理性。为了改善压电传感器的动态特性,采用零极点配置法设计了动态补偿滤波器。结果表明,经过补偿的压电传感器的各方面动态指标较未补偿前有了很大的改善,响应速度得到了很大的提高,工作频带从 315.9 kHz 拓宽到 609.1 kHz,说明经过补偿后的压电传感器可以应用到工程实践当中。

**关键词:**飞行器;结构健康监测;压电传感器;数学建模;动态特性;补偿

中图分类号: TP212.1

文献标识码: A

OSID:



## 0 引言

近年来,结构健康监测技术被广泛地应用于民用飞机的设计以及安全运营领域<sup>[1-2]</sup>。其中,基于压电传感器和 Lamb 波的结构健康监测技术凭借 Lamb 波可传播距离较远并且对小损伤具有敏感性的特点,被认为是一种非常值得研究的结构健康监测技术<sup>[3-4]</sup>。在此技术中,为了能够准确的判别损伤的位置,希望传感器采集的信号能够是原信号的真实还原,即没有发生失真。但是,实际制作的压电传感器,由于材料特性,以及其它复杂因素的影响就会使得传感器的动态特性呈现非线性,使得不同频率的信号被放大或缩小的程度不一致,从而导致传感器的输出信号或多或少的失真,甚至完全不可用,所以需要一种方法去改善传感器的动态响应特性。一般可以从两个方面考虑:一是将传感器的结构设计指标进行改变;二是将传感器采集的信号进行后续分析处理,设计与之匹配的动态补偿器<sup>[5]</sup>。匹配动态补偿器的方法因具有灵活性、调控

性且实现容易等优点被广泛研究<sup>[6]</sup>。

一般的动态补偿原理主要分两个步骤:第一是利用系统辨识法将动态标定实验中采集的传感器输入输出信号转换成传感器数学模型;第二步,构造后处理动态补偿器,将其串联在获得的传感器数学模型上,使得补偿后系统总的动态特性达到预期的要求<sup>[6]</sup>。杨文杰等<sup>[7]</sup>应用白化滤波器的广义最小二乘法创建了压力传感器动态特性数学模型;刘一江等<sup>[8]</sup>应用模糊神经网络算法,创建了激波管激励传感器动态特性数学模型;毛丽民等<sup>[9]</sup>应用高斯-牛顿方法创建了压力传感器动态特性的数学模型;孙海波等<sup>[10]</sup>采用基于沃尔什函数的最小二乘法建立了传感器的数学模型等。上述学者均通过动态标定实验,采用不同的辨识方法建立了传感器的数学模型。采用这种标定实验的辨识方法会引入两方面的误差,一方面是动态标定实验采集的信号数据不能保证是完全未失真的原始信号,另一方面系统辨识法本身是一种逼近方法,采用此方法创建的传感器数学模型与真实的传感器模型存在误差。

\* 通信作者. E-mail: liulingfeng@comac.cc

**引用格式:** 刘凌峰. 基于数学建模的压电传感器动态特性补偿方法[J]. 民用飞机设计与研究, 2023(2): 70-76. LIU L F. Dynamic characteristic compensation method of piezoelectric sensors based on theoretical modeling[J]. Civil Aircraft Design and Research, 2023(2): 70-76 (in Chinese).