

磁致伸缩式振动能量回收技术研究进展

潘昌东

江门市润宇传感器科技有限公司 广东 江门 529100

【摘要】 振动能量回收技术是减轻能源压力的重要手段，在机电领域具有广阔的应用前景，归功于磁致伸缩材料的优异性能，该磁致伸缩式振动能量回收技术能引起人们的广泛关注并迅速发展。

【关键词】 磁致伸缩式振动；能量回收；研究进展

振动能量收集是一种通过特定的振动能量收集装置将振动能量转换为可用能量的技术，这对能源系统的利用率非常重要。能量转换是指将振动能量转换为电能的过程，而能量获取是指处理转换后的电能以供使用或存储的过程。

一、磁致伸缩材料

（一）材料特性与效应

磁致伸缩材料(Magnetostrictive Material, 简称 MsM)是一种智能磁性材料，在外界磁场作用下，磁致伸缩材料会发生形变，实现一定的机械输出。磁致伸缩材料具有机电耦合系数高、居里温度高而工作稳定、抗压能力强和能量密度大等优势，是制作传感和执行元器件的理想材料。

磁致伸缩材料的饱和磁致伸缩系数通常为 10^{-6} ，当该系数大于 3×10^{-5} 时，该种磁致伸缩材料被称为超磁致伸缩材料。磁致伸缩材料中，Galfenol 和 Metglas 系列材料机械性能较好，具有一定的韧性，但磁致伸缩量小，往往做成薄膜式；而 TerfenolD 材料硬脆，不宜承受拉力，但磁致伸缩量大，往往加工成棒料利用。

（二）典型结构

磁致伸缩能量回收装置利用材料的逆磁致伸缩效应，可采用棒式（也称为一维形状）或悬梁式。材料做成棒式，从一端固定另一端受力，磁致伸缩材料的变形引起内部磁感应力的变化，集电极线圈的内部磁通量的变化，线圈两端产生感生电动势，外接电路即可输出电流；悬臂梁式能量回收装置：磁致伸缩悬臂梁与基片贴在一起，复合板的左端固定在底座上，右端自由，底座固定在振动源上，当振动源振动时，材料内部磁特性改变，材料内部的磁特性发生变化，线圈的两端产生感应电势并产生电能。

棒式能量回收需要装置恰能安装在两个实体之间（或实体与地面之间），实体距离缩短才能使材料变形而输出电能，安装位置较大或较小均会使装置输出减小甚至是无法工作。因此，由于安装问题，杆能量回收结构的应用受到限制，特

别是在微机电领域。

磁致伸缩悬臂梁式结构与压电式能量回收装置的结构类似，能够采集较高频振动能，理论上较压电式回收装置具有更高输出，且体积较棒式结构小得多，具有与微机电系统集成可能性。但实际上，由于必需的采集线圈、偏置磁铁和预压结构，整个结构的体积仍然较大，与超小微机电系统集成较难，这与采用悬臂梁式结构的目的略显矛盾。

二、结构设计研究现状

磁致伸缩材料具有高能量密度，高机电耦合系数，高稳定性等优点，但也有不足之处，国内外许多研究人员对磁致伸缩式振动能量回收技术进行了研究，获得了一定的效果。

（一）棒式结构

以磁致伸缩棒为中心的磁致伸缩杆能量收集装置，其端部仅在受压状态下改变磁通量，这意味着磁致伸缩杆端部必须固定在相对位移的两个位置，既需要固定端又需要振动端，杆的尺寸应与振动源装置的尺寸相匹配，这在许多情况下很难满足。

实际上，磁致伸缩杆振动能量收集装置的结构几乎与杆致动器机构的结构相同，一些功能机构如预紧结构、偏置磁场施加结构也是相同的，只是致动器的操作是从输入和输出的机械能执行的，而振动能量回收装置是由输入机械能至输出电能，二者过程恰好相反。由于致动器技术的成熟，有助于棒式振动能量回收装置进行理论分析和制造。

（二）悬臂梁式结构

国内外对涉及到磁致伸缩材料的组合式回收技术进行了研究，其中主要是结合 MsM 和压电材料薄膜的磁电组合式能量回收技术。磁致伸缩-压电组合式能量回收装置可以利用磁致伸缩薄膜的大输出特点，该设备还可以是两种材料同时收集能量，具有更好的输出效果，但是该设备由两种智能材料制成，结构复杂，难以分析和优化性能。另外，该装置工作时需要两种材料同时稳定工作，整体稳定性较低，因

此尚未进行相关的基础研究。

三、建模与仿真技术研究现状

磁致伸缩振动能量收集模型是描述能量收集设备的机电特性的数学模型,对结构的设计,优化和控制非常重要。不同学者对磁致伸缩振动能量回收装置,已经给出了许多理论结果。

棒式能量回收建模方面,DAVINO等对棒式能量回收装置模型进行了大量研究,并且考虑了磁滞特性、涡流损耗以及容性负载对结构输出的影响,然而模型均未考虑整个装置的结构特性。

仿真技术方面,FGYUAN等对能量回收装置进行电路等效,方便整个装置输出电能的计算,并采用数值方法进行仿真,KMORI等采用有限元仿真分析了结构的固有频率,并借助分析对装置进行结构优化设计,YWPARK等对设计的能量回收装置进行有限元分析,得到装置的磁通量变化,可直接分析输出电能。

前述建模或仿真对于磁致伸缩振动能量收集装置的分析很重要,但是,尽管计算出的振幅确实匹配,但很少考虑材料的非线性和机电耦合特性。根据实验结果,曲线的形状差异很大,大多数模型没有考虑极化磁场,预应力对材料的影响,而是基于材料的参数或模型基于能量回收装置的模型的特定模型,其最佳输出效率难以保证。部分文献基于关于有限元建模的过于简单的假设,与材料本征不够吻合,模拟是不可靠的。这些问题对优化设计至关重要。整个系统,在以后的研究中应予以考虑。

四、能量采集电路

磁致伸缩能量采集设备发出的电信号不能直接用于驱

动负载或给电池充电,因此有必要拉直,放大,转换和转换采集电路。由于能量获取电路的工作原理几乎相同,因此磁致伸缩振动能量获取电路类似于电磁和压电能量获取电路,并且可以以类似的方式进行研究。

LWANG等设计的能量回收电路由四倍频器、储存电容和智能调制电路组成,其中储存电容采用3F的超级电容,具有小尺寸、充电效率高和低损耗等优势,智能调制电路以MAX1795芯片为核心,实验输出电压可达2.2V。桑杰设计了四倍压整流电路和DC-DC变换电路,实现存储电容充电和供电的交替执行,通过仿真,能量采集电路可输出约3.5V的直流电压。武汉理工大学的刘江驰也利用Max1795芯片为复合磁电式能量采集器设计采集电路,可输出3.3V的直流电压,系统能量密度约为0.6mW/cm³,超过一般的压电能量采集系统;刘成龙等设计的能量采集电路由电压放大电路、全桥整流滤波电路和能量存储电容组成,经四倍放大后,可实现约186mV的直流输出。总体来看,当前能量采集电路的研究大都处于理论和实验阶段,高效转换和储能电路的开发仍是当前亟待解决的重要问题。

结束语

磁致伸缩能量回收结构存在诸如材料的非线性强,体积大,难以与微机电系统集成等缺点,实现工程实用仍需解决体积大难安装的结构设计问题,以及模型的精度低,仿真技术还不成熟难以实现工程应用。今后,应以高能量密度的结构设计,还应根据结构材料的动态特性,开发精确的物理能量输出模型和仿真模型,具体取决于器件材料的磁滞非线性,进而优化器件的结构。此外,后续研究根据应用场合的振动特性,如频率,加速度,幅度等设计合理而高效的能量采集电路,加速磁致伸缩能量回收的技术应用。

参考文献:

- [1] 刘成龙. 基于超磁致伸缩材料的能量收集装置研究[D].杭州电子科技大学,2015.
- [2] 桑杰. 磁致伸缩振动发电理论和能量采集电路的研究[D].河北工业大学,2015.
- [3] 郭岩. 基于磁致伸缩材料的振动能量采集研究[D].河北工业大学,2014.
- [4] 杨松. 磁致伸缩振动发电机的能量采集电路研究[D].河北工业大学,2016.