

超磁致伸缩执行器驱动的新型射流伺服阀

朱玉川, 李跃松

(南京航空航天大学 江苏省精密与微细制造技术重点实验室, 江苏 南京 210016)

摘要: 论述了超磁致伸缩材料在电液控制元件中的应用研究现状, 基于超磁致伸缩材料的特点和未来航空航天领域对高频大流量伺服阀的迫切需求, 提出了一种由超磁致伸缩执行器驱动的新型射流伺服阀的结构, 分析了其工作原理与特点, 同时对该新结构伺服阀涉及的温度控制、热补偿、预压力施加与零位调节与驱动磁场均匀化等关键技术进行了详细分析并给出了具体实施方法。

关键词: 超磁致伸缩执行器; 射流伺服阀; 热补偿; 预压力

中图分类号: TN812⁺.3; TH137

文献标识码: A

A Novel Jet Pipe Servo Valve Driven by Giant Magnetostrictive Actuator

ZHU Yuchuan, LI Yuesong

(Jiangsu Key Lab. of Precision and Micro-Manufacturing Technology, Nanjing University of Aeronautics and Astronautics, Nanjing 210016, China)

Abstract: This paper deals with the research on giant magnetostrictive material in the application of electrohydraulic control element. Based on the characteristic of giant magnetostrictive material and the urgent need of high frequency and great flowing servo valve in aerospace industry, a novel structure jet pipe servo valve driven by giant magnetostrictive actuator is proposed and its working principle and characteristic are presented. Key technologies involved such as temperature control, thermal compensation, preliminary pressure loading, zero position regulating and constant magnetic fields are studied in detail. Finally, the concrete implementation is given.

Key words: giant magnetostrictive actuator; jet pipe servo valve; thermal compensation; preliminary pressure

稀土超磁致伸缩材料(GMM)是继稀土永磁、稀土磁光和稀土高温超导材料后的又一种重要的新型功能材料。它能有效地实现电磁能-机械能的可逆转化, 具有应变大, 响应速度快, 能量传输密度高和输出力大等优异性能, 已广泛用于机器人、传感器、航海、声纳、换能器、微机电系统和流体元件等领域^[1]。就液压伺服控制领域而言, 利用GMM已相继开发出电液比例阀、直动式伺服阀、喷嘴挡板伺服阀等新型电液控制元件, 取得了较传统电液控制元件更优异的动态控制性能。但这些新型电液控制阀也存在控制流量小和控制压力低的缺点, 如何利用GMM研制高频大流量和高可靠性的新型电液控制元件, 既是目前GMM应用领域的空白又是我国航空航天领域应用的迫切需求。

本文结合目前国内外GMM在电液伺服阀中应用研究现状, 提出一种由超磁致伸缩执行器(GMA)驱动的新型射流伺服阀结构, 给出了其具体工作原理, 同时就该新型伺服阀涉及的温度控制、热

补偿、预压力施加与零位调节及阀芯高频高精度控制等关键技术进行了详细分析与设计。

1 GMM在新型伺服阀中的应用

1.1 GMM电液比例阀

美国M. Goodfriend等人用GMM转换器作为驱动器改造了一台比例滑阀如图1所示^[2]。该阀在300 Hz时, 其阀芯位移达0.031 cm, 其最高驱动信号频率可以达到5 kHz, 它可直接利用GMM棒的输出位移对比例阀进行控制。

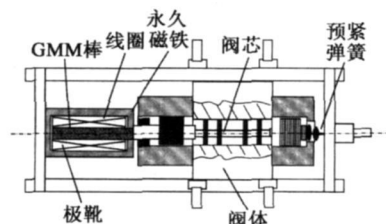


图1 GMM比例阀

1.2 GMM直动伺服阀

日本的Takahiro Urai等人用GMM转换器设

收稿日期: 2009-12-05

基金项目: 国家自然科学基金资助项目(50805080); 航空科学基金资助项目(20090752008); 南京航空航天大学基本科研业务费专项科研基金资助项目(NS2010150)

作者简介: 朱玉川(1974-), 男, 安徽淮南人, 副教授, 博士, 主要从事新型功能材料应用的研究。

计了直动式伺服阀^[3], 结构如图 2 所示。其原理是通过线圈中变化的电流产生磁场, 使 GMM 棒伸缩以驱动与 GMA 直接连接的阀芯产生位移, 并且按照其位移量大小来控制阀口流量。同时用位置传感器和比例积分 (PI) 控制器组成闭环控制的方法来调节和克服 GMM 磁场变形的非线性。该阀采用闭环控制, 结构紧凑, 精度高, 响应快。

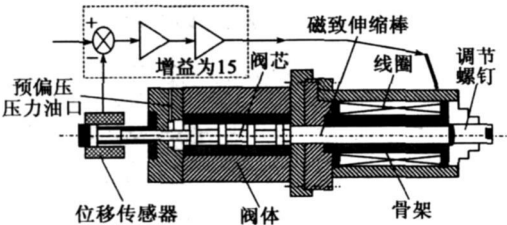


图 2 GMM 直动式伺服阀

1.3 GMM 喷嘴挡板伺服阀

国内浙江大学研制的 GMM 喷嘴挡板伺服阀的结构原理如图 3 所示^[4]。

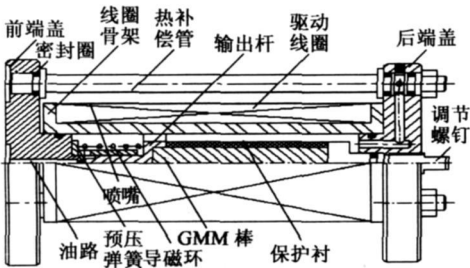


图 3 GMM 喷嘴挡板伺服阀

在驱动线圈通入一定电流, 引起磁场变化, 驱动 GMM 棒产生一定的输出位移。输出杆也是挡板, 喷嘴与挡板间距离由 GMM 棒伸缩位移控制。预压力机构由前端盖、预压弹簧、输出杆和调节螺钉等零件组成, 其基本原理是利用 GMM 棒的输出位移推动输出杆改变喷嘴与挡板间的间隙, 从而实现喷嘴挡板伺服阀控制压力的改变, 通过 GMM 棒位移输出的高频高精度实现伺服阀频响和精度的提高。

2 GMM 射流伺服阀结构与原理

2.1 GMM 射流伺服阀结构设计

以上所述基于 GMM 材料的新型伺服阀无论从结构原理的创新还是从性能的提高等方面均取得了一定的成果, 但在一定程度上并未充分利用 GMM 材料特点, 特别是在输出位移和输出力的综合应用方面, 尚未挖掘出足够的材料本身特性, 致使无论是 GMM 比例阀、GMM 直动式伺服阀还是 GMM 喷嘴挡板伺服阀均存在控制压力和控制流量小的缺点。因此, 本文提出了一种可实现高频大流量及高可靠性的新型 GMM 射流伺服阀结构如图 4 所示, 其驱动部分由驱动线圈和偏置线圈构成, 闭合

磁路由前后端盖、调节螺钉、热补偿滑块、GMM 棒、输出滑块构成。

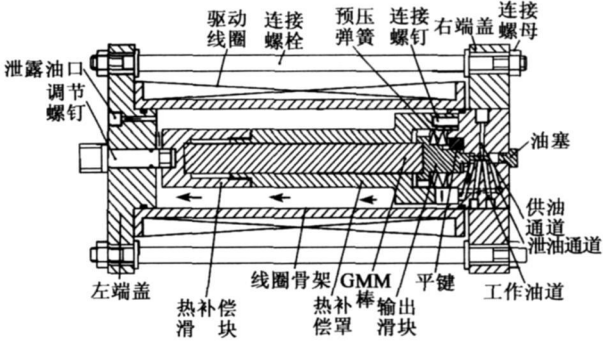


图 4 GMM 射流伺服阀结构原理图

2.2 GMM 射流伺服阀工作原理

如图 4 所示, 新型 GMM 射流伺服阀工作原理: 供油通道输入一定压力和流量的液压油液, 偏置线圈中输入直流电以产生偏置磁场, 驱动线圈中通入交流电, 产生变化的磁场使 GMM 棒被磁化, GMM 棒直接驱动输出滑块, 输出滑块右侧小圆柱锥形孔可实现对输入压力油液的接收及输出, 锥形孔的输出油液输入至右端盖两个对称的接收孔, 驱动线圈首先输入一定的初始电流使 GMM 棒产生一定的预伸长量, 并通过调零装置将伺服阀输出滑块的位置调至右端盖两个接受孔中间, 此时左右两个接收孔接收流量相等, 压力也相等, 无压差输出。当继续输入正向电流时, GMM 棒增加伸长量, 推动输出滑块右移, 此时右侧接收孔输入流量增大, 左侧接收孔输入流量减小, 右侧接收孔压力大于左侧接受孔油液压力, 两接收孔产生工作压差。同理在输入反向电流时可产生反向压差。

3 GMM 射流伺服阀关键技术

3.1 温度控制技术

超磁致伸缩材料对温度较敏感, 因线圈发热及涡流、磁滞等损失导致 GMM 棒发热而引起的位移输出与磁致伸缩数量级相同, 必须加以抑制。就温度控制而言, 图 4 中的射流管射出的压力油经输出滑块小圆柱端的配流锥形孔后, 未流入接收孔的压力油经图 4 所示的线圈骨架与热补偿罩间的间隙流出阀外并经阀外冷却器流回油箱, 此油液循环过程中由于油液与热补偿罩和线圈骨架充分接触, 同时由于热补偿罩导热性能很好, 因此泄露油液循环可带走部分线圈发热和 GMM 棒发热传递的热量, 达到对 GMA 冷却和温度控制的目的。

3.2 热补偿技术

为了获得更高的执行器位移输出精度, 本伺服阀结构还提供了一种执行器实时热致位移补偿的方

法, 结构如图 5 所示。

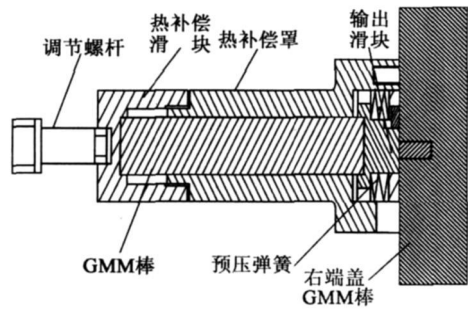


图 5 GMM 射流伺服阀热补偿结构原理图

热补偿罩右侧固定端固定于右端盖, 左侧膨胀端通过螺纹与热补偿滑块右侧连接, 热补偿滑块左侧内六角槽中插入调节螺杆并可在调节螺杆上轴向滑动, 热补偿罩采用导磁率很小的材料, 其热膨胀系数与长度尺寸通过设计保证 GMM 棒热膨胀量与 GMM 棒相当, 同时其导热性能很好, 当 GMM 棒温度上升时, 其热量很快传至热补偿罩, 热补偿罩由于固定端固定, 只能向膨胀端产生热膨胀, 此时 GMM 棒与热补偿滑块间产生间隙, 此间隙很快被预压弹簧推动 GMM 棒反方向移动后消除, 而在此时 GMM 棒也产生热膨胀, 由于热补偿罩的膨胀系数和其长度经设计可保证 GMM 棒热膨胀量与热补偿罩膨胀量相等, 这样可保证温度上升后对 GMM 棒位移量没有影响从而保证执行器和伺服阀阀芯输出位移不受热变形的影响。

3.3 预压力施加与阀零位调节

对于 GMM 棒施加适当预压力不仅有利于发挥其磁致伸缩性能, 同时也是保证伺服阀正反两个反向可靠工作的需要, 如图 4、5 所示, GMM 新型伺服阀中 GMM 棒与输出滑块直接接触, 输出滑块通过预压弹簧压在右端盖上, 预压弹簧选择蝶形弹簧, 不仅满足预压力大小要求, 同时尺寸较小, 方便安装在输出滑块与右端盖之间, 还可保证 GMM 棒回程工作的快速性, 不至于限制伺服阀频响。

伺服阀零位调节对于伺服阀的正常工作十分重要, 调零时由调节螺杆一端旋转, 另一端六角螺头作用于热补偿滑块六角槽内带动热补偿滑块转动, 由于热补偿罩一端固定于右端盖上, 则热补偿滑块的转动通过其与热补偿罩的细牙螺纹连接带动 GMM 棒向右移动以驱动输出滑块轴向移动并调节至某一确定位置, 保证其处于零位。

3.4 执行器磁路闭合与磁场均匀化

GMA 工作时需闭合磁路, 并且在 GMM 棒内的磁场分布尽可能均匀, 这样可最大程度地发挥 GMM 棒的工作性能。GMM 新型伺服阀闭合磁路

通过左、右端盖、连接螺栓、调节螺杆、热补偿滑块、GMM 棒、输出滑块构成, 除 GMM 棒外, 其余零件材料均选用导磁性能好的金属材料从而保证磁路闭合及漏磁小。结构上 GMM 棒轴向尺寸小于驱动磁场的轴向尺寸, 这样可保证经过 GMM 棒内的磁场均匀。

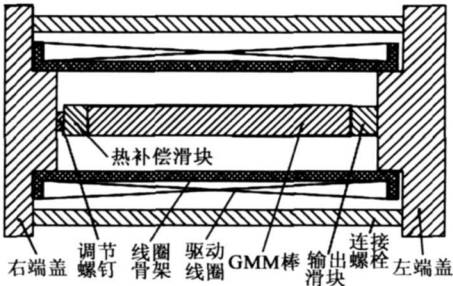


图 6 GMM 射流伺服阀磁路结构原理图

3.5 射流伺服阀阀芯高频高精度控制技术

GMM 射流伺服阀阀芯的高频高精度控制是获得伺服阀高性能的关键, 图 7 为阀芯结构原理图。图 8 为输出滑块与右端盖连接截面图。

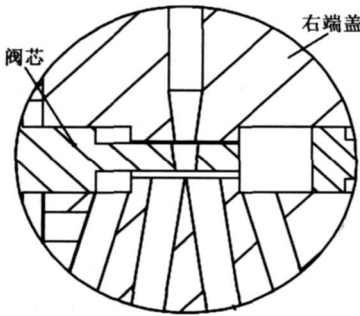


图 7 阀芯结构原理图

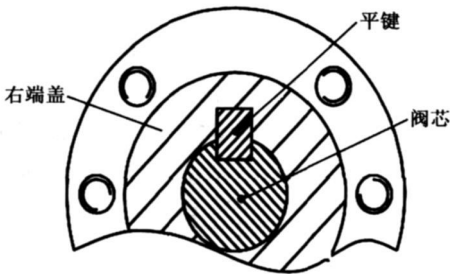


图 8 输出滑块与右端盖连接截面图

如图 7、8 所示, 在该新型 GMM 射流伺服阀中, 输出滑块即为射流伺服阀阀芯, 亦可称为配流器, 输出滑块与 GMM 棒直接相连, 即充分利用 GMM 棒的高频位移输出又充分利用其大输出力的特性, 射流伺服阀的喷嘴和接收器均设计在右端盖上并为固定结构, 不参与伺服阀的运动, 伺服阀的压差靠输出滑块的轴向运动产生, 该结构不仅降低了伺服阀的运动部分的惯量, 还充分利用了 GMM 的高频特性, 通过对伺服阀结构参数的设计不仅提高

了控制流量, 还提高了伺服阀的频响。

4 结束语

超磁致伸缩材料由于自身特点使其在电液控制元件中的应用很活跃, 本文在分析超磁致伸缩材料在新型电液伺服阀中的应用现状的基础上提出了一种全新的射流伺服阀结构。

(1) 该新型射流伺服阀输出滑块由超磁致伸缩执行器直接驱动, 同时固定射流喷嘴和射流接收器, 则伺服阀动态响应完全由超磁致伸缩执行器决定, 从而避开直接驱动大惯量的射流管而对系统动态响应的制约, 并充分发挥了超磁致伸缩材料的性能优势, 从结构上保证了该射流伺服阀的高频响。

(2) 根据该新型射流伺服阀结构形式, 分析了其工作原理, 该新型射流伺服阀不仅可用于多级伺服阀前置级以驱动功率级滑阀同时亦可直接驱动小功率液压伺服系统。

(3) 针对超磁致伸缩执行器设计的特点和射流伺服阀的设计要求, 研究了该新型射流伺服阀的温

度控制、热补偿、预压力施加与零位调节、磁路闭合与磁场均匀化及阀芯高精度位移控制等关键技术, 并给出了具体实施方法。

参考文献:

- [1] 夏春林, 丁凡, 路甬祥. GMM 电-机械转换器模型分析 [J]. 中国机械工程, 2000, 11(11): 1288-1290.
XIA Chunlin, DING Fan, LU Yongxiang. Modeling of giant magnetostrictive actuator [J]. China Mechanical Engineering, 2000, 11(11): 1288-1290.
 - [2] GOODFRIEND M, SEWELL J, JONES C, et al. Application of a magnetostrictive alloy, terfenol-D to direct control of hydraulic valves [J]. SAE International Off-Highway & Powerplant & Congress & Exhibition, 1990: 10-13.
 - [3] URAI T. Development of a valve using a giant magnetostrictive actuator [C] // Tokyo: Edited by T Maeda, 1993: 131-135.
 - [4] 王传礼. 基于 GMM 转换器喷嘴挡板阀伺服阀的研究 [D]. 杭州: 浙江大学, 2005.
-
- (上接第 573 页)
- [10] 赵东斌, 张文增, 都东, 等. 机器人用 PVDF 触觉传感器的国内外研究现状 [J]. 压电与声光, 2001, 23(6): 428-432.
ZHAO Dongbin, ZHANG Wenzhen, DU Dong, et al. A-broad research status of PVDF tactile sensor for robot [J]. Piezoelectrics & Acoustooptics, 2001, 23(6): 428-432.
 - [11] 刘京诚, 刘俊, 李敏. 基于压电式新型三维力传感器的设计 [J]. 压电与声光, 2005, 27(6): 643-645.
LIU Jingcheng, LIU Jun, LI Min. The design of a new type three-dimension power transducer based on piezoelectricity [J]. Piezoelectrics & Acoustooptics, 2005, 27(6): 643-645.
 - [12] 潘英俊, 刘嘉敏, 乔生仁. 新型三维力觉传感器的设计与分析 [J]. 压电与声光, 2001, 23(5): 349-350.
PAN Yingjun, LIU Jiamin, QIAO Shengren. Design and analysis of a newly three-axis tactile sensor [J]. Piezoelectrics & Acoustooptics, 2001, 23(5): 349-350.
 - [13] TAKASHIMA K, HORIE S, MUKAI T, et al. Piezoelectric properties of vinylidene fluoride oligomer for use in medical tactile sensor applications [J]. Sensors and Actuators A, 2008(144): 90-96.
 - [14] 具典淑, 周智, 欧进萍. PVDF 传感器的设计及在振动测量中的应用 [J]. 压电与声光, 2004, 8(26): 374-376.
JU Dianshu, ZHOU Zhi, OU Jinping. Research on metal crack monitoring based on PVDF sensors [J]. Piezoelectrics & Acoustooptics, 2004, 8(26): 374-376.
 - [15] 谭定忠, 张力勋, 王立权. 一种光电式机器人滑觉传感器研究 [J]. 半导体光电, 2000, 21(1): 66-68.
TAN Dingzhong, ZHANG Lixun, WANG Lixuan. Study on photoelectric type slipping sensor for a robot [J]. Semiconductor Optoelectronics, 2000, 21(1): 66-68.
 - [16] 陈永甫. 红外探测与控制电路 [M]. 北京: 人民邮电出版社, 2001.