

多管发射装置同步控制技术与动力学仿真

薛承逾

江南机电设计研究所 贵州 贵阳 550009

【摘要】：多管发射装置是各种武器装备、工程发射系统的主体，同步控制精度直接影响到发射稳定度、打击精度和系统使用寿命。针对传统多管发射装置同步偏差大、动力学响应不协调、容易受到耦合扰动的影响等问题，本文从同步控制的核心需求和技术难点入手，提出适合多管协同工作同步控制的策略，利用多体动力学理论建立仿真模型，对控制效果进行动力学仿真试验验证。经过优化的同步控制技术可以减小多管发射时序偏差和姿态偏差，改善装置动力学响应特性，提高整个发射系统的可靠性，给多管发射装置的设计优化和工程应用提供技术参考。

【关键词】：多管发射装置；同步控制；动力学仿真；多体动力学；控制精度

DOI:10.12417/3041-0630.26.06.043

1 引言

目前，传统的多管发射装置大多采用独立控制的方式，各个身管的执行机构分别工作，没有考虑到多管之间机械耦合、载荷耦合和动力耦合的特点，并且由于加工误差、装配间隙、环境扰动等种种因素的影响，使得同步控制精度不能达到高端发射作业的要求。动力学仿真技术可以在物理样机试制之前，模拟出装置实际的工作工况，准确地分析出结构的动力学响应以及控制的效果，从而给同步控制技术的改进提供数据支持。因此本文以多管发射装置同步控制为核心，用动力学仿真进行系统性的研究，解决同步控制的问题，提高装置的整体性能。

2 多管发射装置同步控制核心需求与技术难点

2.1 同步控制核心需求

多管发射装置的同步控制不是单一维度的参数匹配，是包含时序、姿态、动力三个主要方面的协同控制，三者互相联系、互相制约，一起决定发射作业的质量。其一，发射时序同步，即各个身管的点火指令、弹体出管时间要保持一致，防止先后发射造成的燃气流干扰、弹道交叉问题，保证发射作业的有序性；其二，姿态角度同步，多根身管在俯仰、回转调节过程中角度偏差要控制在允许范围内，保证所有的弹体有相同的初始发射姿态，保证发射精度的一致性；其三，动力输出同步，各个身管驱动机构的扭矩、转速输出要保持一致，防止由于动力不均造成结构扭曲、振动加剧的问题，减小装置结构疲劳损耗。

2.2 同步控制关键技术难点

多管发射装置的工作环境复杂，结构耦合性高，在同步控制过程中会遇到诸多技术难题。首先多管耦合扰动的影响，各个身管不是独立工作的，机械结构的连接、发射过程中气流的冲击、振动的传递都会产生交叉耦合的干扰，传统的独立控制模式不能消除这些耦合的影响，从而造成同步偏差不断累积；其次载荷分布不均匀，在多管发射装置作业的时候，各个身管

所受的弹体重量、摩擦阻力等存在细微差别，如果控制策略不能适应载荷的变化，就会直接引起同步失衡；再次环境扰动适应性差，野外作业、极端工况下温度变化、外力冲击都会改变装置的动力学特性，固定参数的控制算法很难自适应地进行调整，同步控制精度急剧下降；最后控制延时和误差补偿问题，信号传输、执行机构响应存在延时，传统的控制方式不能达到动态误差实时补偿的目的，不能满足高精度同步控制的要求。

3 适配多管发射的同步控制关键技术

交叉耦合同步控制是实现多管协同的关键技术，它突破了各个身管独立控制的障碍，把每一个身管的运行参数实时传送到中央控制单元，并且采集相邻身管的速度、角度、时序信号，创建起多管参数交叉联系的体系。控制单元把各个身管的运行偏差值同其他各身管的运行偏差值做实时对比，将偏差值转变成补偿信号，并将其传送到各个驱动执行机构，进而及时调节动力的输出以及动作的先后顺序，从根源处阻止同步偏差的出现与蔓延。与传统的控制方式相比，它能很好地消除由于多个执行机构之间的相互作用而产生的干扰，从而达到多执行机构动态协调的目的。

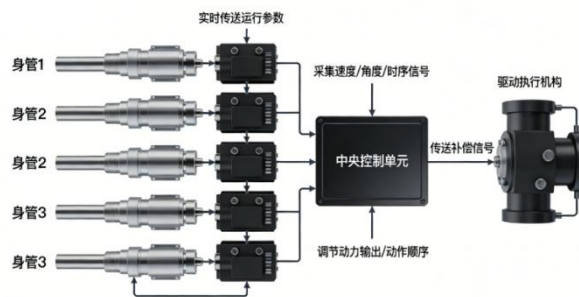


图1 适配多管发射的同步控制关键技术原理图

4 多管发射装置动力学仿真模型构建

为了检验同步控制技术的实际效果，按照多体动力学理

论,用专门的动力学仿真软件创建多管发射装置刚柔耦合的仿真模型,准确模拟实际工作工况下同步控制过程中动力学响应特性。

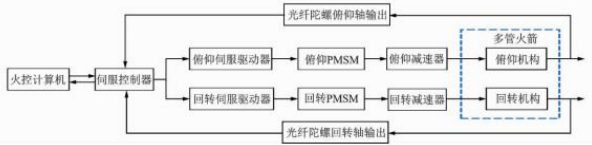


图2 多管发射装置动力学仿真模型构建体系

建模时充分考虑到装置的实际情况,把发射装置分成主体框架、身管、驱动机构、支撑结构这四个部分,主体框架和身管用柔性体建模来体现实际工作中出现的弹性变形以及振动情况,驱动机构和支撑结构用刚性体建模来保证模型运算速度和精确度。设置合适的约束关系,模拟各个部件之间铰接、滑动、固定连接的方式,还原出实际装配间隙和运动自由度,定义接触属性,模拟弹体与身管内壁的摩擦接触、发射过程中的燃气冲击载荷,符合实际发射受力情况。

仿真工况设置符合工程实际情况,设置了多管同步发射、姿态调节、连续发射三种典型的工况,输入优化后的同步控制指令,设置传统的独立控制模式作为对照试验。仿真参数包含发射时序偏差、姿态角度偏差、装置结构应力、振动加速度、驱动机构扭矩等主要指标,用不同的控制模式下指标数据的对比来客观评价同步控制技术的改进情况。

5 仿真试验与结果分析

经由动力学仿真试验得到传统控制模式和改进之后的同步控制模式下关键数据,对比可知,改进后的同步控制技术可以明显改善多管发射装置的协同性能。在发射时序同步性方面,传统控制模式下多管发射的最大时序偏差大于15ms,而且没有规律可循,在优化后的交叉耦合同步控制模式中,时序偏差控制在3ms之内,偏差值一直保持在允许范围内,很好地满足了多管同步发射的时序要求。

参考文献:

[1] 刘刚.机载多管火箭弹变发射间隔时间方法[J].电子技术与软件工程,2020,(02):129-130.
 [2] 李波,芮筱亭,王国平,等.多管火箭发射动力学建模与PID主动控制[J].振动工程学报,2020,33(06):1103-1111.
 [3] 刘广,许自然,张广军,等.多管火箭发射系统虚实混合动力学建模与仿真[J].计算机辅助工程,2018,27(Z1):20-27.

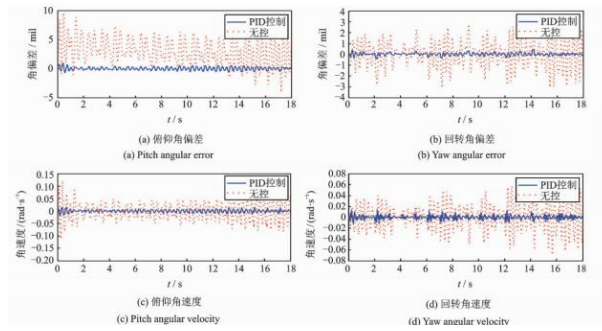


图3 仿真实验结果

试验结果表明,本文所提的同步控制技术可以很好地解决多管耦合扰动、载荷不均等技术难题,动力学仿真模型能较好地反映装置的实际运行特性,同步控制策略具有较好的工程适用性和可靠性。

6 技术优化与工程应用展望

根据仿真试验结果,之后可以从两个方面来进一步改善同步控制技术,一是采用智能感知模块,利用高精度传感器对装置运行状况及周围环境参数进行持续监测,并对出现的扰动信号作出事先预估并实施即时补偿,从而明显改善在极端条件下所遇到的控制稳定问题,二是改良控制算法,借助深度学习算法去执行控制参数的自动寻优工作,在适应各种类型弹体以及复杂的作业环境方面具有更高的适应能力,并且可以拓展这项技术的应用领域。工程发射装置等各种多管协同装备上,不需要对原有的结构进行大幅度的改变,只需要对控制模块和算法进行简单的优化,改造成本低、适用性强,可以有效地提高装备作业精度和可靠性,具有较高的工程推广价值。

7 结论

本文针对多管发射装置同步控制精度低、动力学响应不协调等问题,从同步控制的核心需求和关键技术入手,提出以交叉耦合、自适应补偿为基础的同步控制技术,用刚柔耦合动力学仿真模型做试验验证,得到如下结论,优化后的同步控制技术可以有效地抑制多管耦合扰动的影响,使发射时序偏差、姿态角度偏差控制在工程允许的范围内,明显改善装置的动力学响应特性,减小结构振动和应力载荷;动力学仿真技术可以准确地模拟出多管发射装置的工作过程,给控制技术的改进提供可靠的数据支持,避免物理样机反复试制造成的成本浪费。