

折叠机构力学性能研究

郑海宁, 梁彩平, 朱平, 陈关龙

(上海交通大学机械与动力工程学院, 上海 200240)

摘要:为提高大型机构设计的可靠性、有效性,使用UG NX3和ADAMS,研究了一种天线车雷达折叠机构的虚拟样机建模和运动仿真。通过对天线车雷达折叠机构虚拟样机模型的转化,解决了ADAMS软件三维建模功能较弱的问题。结合天线车雷达折叠机构实际工作条件,对折叠机构进行了仿真,获得了其静力学、动力学特性参数。对虚拟样机进行初步试制的结果表明本折叠机构在液压缸优化压力推动下可以实现平稳、可靠运动,为进一步的结构细化提供了可靠的参考依据。

关键词:雷达天线车;折叠机构;虚拟样机;动力学仿真

中图分类号:TP391.9 **文献标识码:**A

Mechanical Performance of Folding Structures

ZHENG Hai - ning, LIANG Cai - ping, ZHU Ping, CHEN Guan - long

(School of Mechanical Engineering, Shanghai Jiaotong University, Shanghai 200240, China)

ABSTRACT: To improve the reliability and efficiency of mechanical design, the modeling of the virtual prototype and motion simulation of a radar antenna deployable structure were developed using UG NX3 and ADAMS. The problem that ADAMS could not build complicated model was settled through the model transformation of the virtual prototype presented. The deployable structure is simulated according to its practical work condition, achieving its statical and dynamic characteristics. The primary trial - manufacture results showed that this deployable structure can perform stable and reliable movement under optimized hydraulic pressure. This work provides reliable references for further detailed mechanical design.

KEYWORDS: Radar antenna; Deployable structures; Virtual prototype; Dynamics simulation

1 引言

现代雷达天线阵面尺寸巨大,采用折叠机构在运输过程中对天线阵面进行有效压缩,可以提高雷达的机动性^{[1][2]}。目前国内外对天线折叠机构的研究往往有理论研究和试验研究两种方法^{[3][4]},理论分析往往基于静力学、运动学和多体系统动力学,通过建立动力学方程或微分方程与代数方程的组合求解,试验主要有静力试验和风洞试验。而在天线车设计过程中,由于机构重量、尺寸庞大,结构复杂,通过传统机械设计方式进行理论分析往往数学模型复杂,求解困难,而通过试制进行试验研究只能在设计结束后进行,并且花费巨大^[5]。

本文根据雷达天线车运输及工作条件要求,创新性的将虚拟样机技术系统的应用于天线折叠机构的设计中,采用UG NX3和ADAMS建立了系统三维模型与多体动力学模型,实现了机械系统的仿真并对机构进行了分析,获得了折叠机构的运动学、动力学特性,解决了天线运动过程中的平

稳性问题以及载荷分析问题,大大提高了设计分析的效率。

2 系统原理与建模

2.1 折叠机构系统原理

天线雷达折叠机构如图1所示主要由左边块1、右边块2、中块3、高频箱4、底座5、液压缸6构成组成。整个系统由液压缸驱动,首先由左右两边块90度展开,与中块平行,然后天线阵面整体旋转90度,再完成70度倒竖动作,最后整个阵面进入匀速旋转工作状态。

在运动过程中,折叠机构要求平稳性好,到位准确,不允许有较大的振动和冲击现象,由于结构巨大,环境载荷变化等因素,很可能存在运动不连续、零部件变形及失效等问题。根据不同工况下的运动情况和连接件的力学特性,对整体机构进行平稳性与载荷分析。

2.2 系统动力学模型

天线阵面展开运动的1/2动力学模型如图2所示,天线阵面主块1通过旋转副与边块2相连,边块2在液压缸3的推动下通过旋转副逆时针旋转,展开90度与主块1平行后被锁紧机构锁住。

收稿日期:2006-10-08 修回日期:2006-11-09

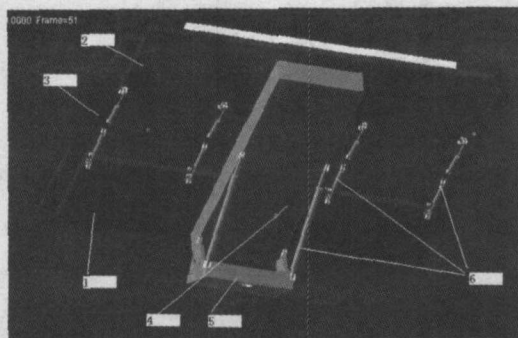


图1 折叠机构原理图

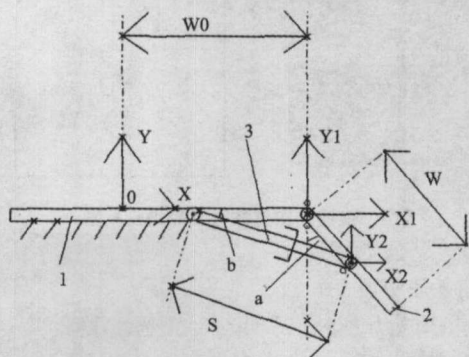


图2 天线阵面展开运动动力学分析图

利用运动学关系建立起等效力学模型,再由拉格朗日方程推出刚体系统运动微分方程式^[6]。

$$\frac{d}{dt} \left(\frac{\partial T}{\partial \dot{q}} \right)^T - \left(\frac{\partial T}{\partial q} \right)^T + \varphi_q^T \rho = Q \quad (1)$$

$$\varphi(q, t) = 0 \quad (2)$$

其中 T 为系统动能, q 为系统广义坐标阵列, Q 为广义力阵列, ρ 为对应于约束的拉氏乘子阵列。式(1) 是非线性二阶常微分方程,在给定初值后可用龙格—库塔法求解。

2.3 折叠机构虚拟样机建模

要对折叠机构进行动力学仿真,首先必须建立其三维模型,然后在三维模型基础上定义其质量、密度、惯性动量等材料属性以及零件间的连接与运动副关系,才能对机构进行准确仿真。三维实体建模软件 UG 具有强大的参数化、相关性建模功能,而多体动力学分析软件 ADAMS 动力学分析功能强大,两者均使用 parasolid 内核,UG 三维模型可以准确导入 ADAMS,完成建模与仿真的连接。完成的虚拟样机如图 3 所示。

2.4 ADAMS 求解计算

ADAMS 软件首先读取原始的输入数据,在检查正确无误后,判断整个系统的自由度,分析初始条件,通过其功能强大的积分器求解矩阵方程。如果在仿真时间结束前,不发生雅可比矩阵奇异或矩阵结构奇异(如位置锁死),则仿真成功。

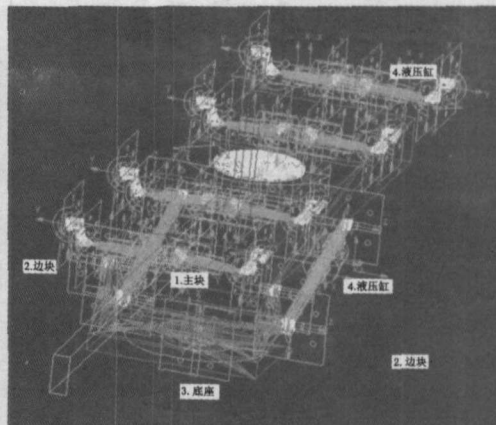


图3 折叠机构虚拟样机

3 折叠机构力学性能分析

3.1 系统平稳性问题分析

3.1.1 给定机构运动驱动,求解作用力曲线

假定液压缸做匀速运动,通过 ADAMS 中的 IF 等函数实现匀速运动控制。仿真后得到液压缸匀速运动推动相关机构质心的位移,速度,加速度,角速度,角加速度曲线如图 4 所示。

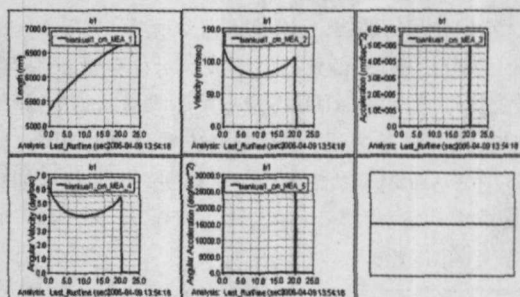


图4 匀速运动时相关机构运动曲线

由图 4 可知,运动速度和加速度存在很明显的突变现象,对机构受力造成很大的冲击作用,而对该处的力曲线测量也证实了这一点,仿真得到的力曲线如图 6,由图 6 可知此种驱动方式得到的冲击力达到 $1e8$ 牛大小,对机构冲击很大,不能采用。

改变液压缸柔和运动,通过 ADAMS 中的 step 函数给定驱动。仿真后得到液压缸匀速运动推动相关机构质心的位移,速度,加速度,角速度,角加速度曲线如图 5 所示。

由图 5 可知,运动速度和加速度不存在突变现象,平稳性好,到位准确,同时,在动作的开始和结束点,没有有振动和冲击现象,而对该 motion 处的力曲线测量也证实了这一点,仿真得到的力曲线如图 6,由图可知此种驱动方式得到的冲击力曲线非常平缓,量级为 $2e6$ 牛,所以此种驱动方式符合要求。文中后续机构仿真均采用此种运动驱动。

通过此步分析得到各个驱动,各个连接处的受力曲线,由此可以进一步通过反加力,分析机构的运动情况,并且可

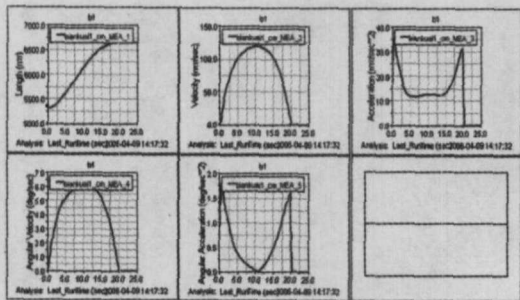


图5 柔和运动时相关机构运动曲线

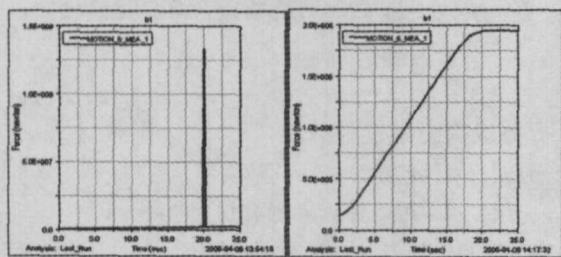


图6 冲击力曲线(左:匀速运动;右,柔和运动)

供液压缸等机构进行选型参考。

3.1.2 给定作用力曲线,反求机构运动情况

在上步分析中,将得到的力曲线作为样条数据保存,导出为数据文件,然后在 ADAMS 模型中删除运动驱动,导入该数据文件,建立样条曲线,在液压缸位置施加作用力,运用 ADAMS 中的 AKISP 函数把上步分析得到的力曲线施加到机构上,反求运动情况,得到相关机构质心的位移,速度,加速度,角速度,角加速度曲线如图 7 所示。

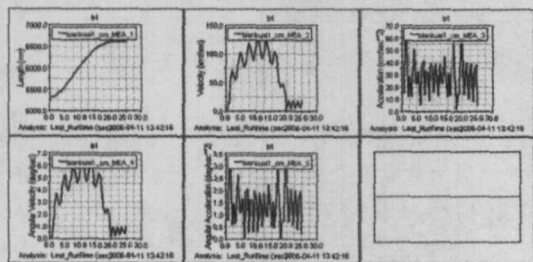


图7 反给力得到的相关机构运动曲线

由图 7 可知机构的运动情况与图 5 大致相符,由于实际机构受力情况比较复杂,均为时变力,很难避免干扰与微小扰动,配合上很难达到完全匹配,因此速度,加速度出现微小波动,但是运动整体趋势与图 5 比较吻合,尤其是位移曲线与图 7 完全相符,达到了要求,从而为液压缸选型提供了可靠依据。

3.2 天线底座支撑孔载荷分析

由于折叠机构结构复杂,重量较大,所以势必要对关键件进行有限元应力、应变校核。

由机构图 1 可知,支撑整个机构的底座部位有两个孔受

力较大,如图 8 所示。很可能在此两处产生应力集中,因此必须对此两处孔进行有限元校核。而两孔受力在机构运动过程不断变化,因此必须结合机构静止时的静力学状态与运动时的动力学状态进行分析,确定其最差工况,对其进行有限元校核。

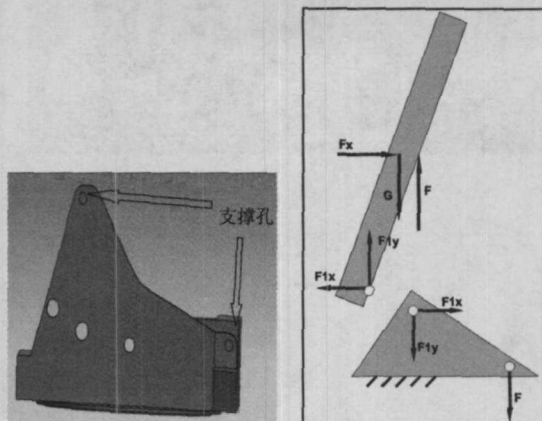


图8 底座结构支撑孔及受力分析图

3.2.1 静力学分析

根据机构受力图 8 所示,得到两孔受力方程。

无风时,机构受力平衡方程

$$F_{ly} = G - F = 4003Kgf \quad (3)$$

$$F = -F_x \frac{a}{c} - G \frac{e}{c} = 2797Kgf \quad (4)$$

当风速为 30m/s 时,受力平衡方程:

$$F_{ly} = G - F = -2960Kgf \quad (5)$$

$$F = -F_x \frac{a}{c} - G \frac{e}{c} = 10060kgf \quad (6)$$

3.2.2 动力学分析

在机构从倒伏状态运动到工作状态中,在无风及风速为 30m/s 时,两处孔的受力曲线如图 9 所示。由图 9 可知,风力对天线折叠机构受力影响很大,在不同风力作用下,受力曲线形状形似,但具体数值差别很大。

3.2.3 确定最差载荷

由动力学分析可知运动过程中机构的受力是不断变化的,分析动力学稳定阶段(time > 20s)受力,发现其数值与静力学分析基本吻合,而在运动过程中孔的受力情况比静止的工作状态要差很多,比如风速为 30m/s 时两孔受力情况中,孔 2 最大受力达到了 1.2e5 牛,此处为最差工况,因此在有限元校核时应采取 12 秒左右的受力数值,而不是简单校核平衡状态下的静力载荷。

4 实验验证

使用系统仿真得到的系统参数,对折叠机构进行了初步试制,试验结果表明整个天线机构在液压缸优化压力推动下可以在规定时间内完成打开、旋转、倒竖等各种运动,并且运

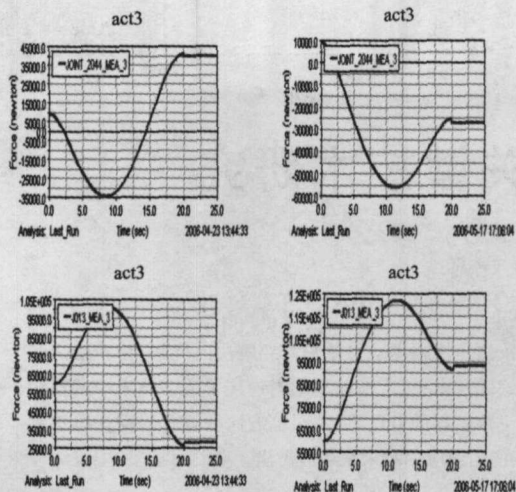


图9 两孔受力曲线(左:0m/s;右:30m/s)

动平稳,没有出现冲击、振动等现象,并达到了系统性能要求。通过采集不同时刻的左边块质心位移,得到其运动轨迹如图10所示,与图7模拟所得运动曲线非常吻合。

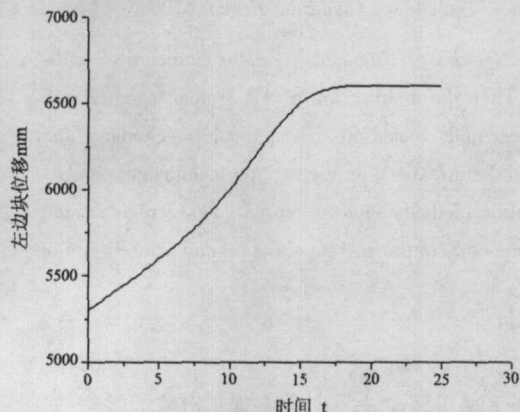


图10 天线左边块实际运动曲线

5 结论

通过UG,ADAMS建立了天线折叠机构的虚拟样机模

(上接第145页)

- [5] 李德毅,孟海军,史雪梅. 隶属云和隶属云发生器[J]. 计算机研究与发展,1995, 32(6):16-21.
- [6] Li Deyi, J Han, X Shi. Knowledge Representation and Discovery Based on Linguistic Models[C]. Singapore: In: Lu H J, Motoda H eds. KDD: Techniques and Applications. : World Scientific Press, 1997. 3-20.
- [7] G M arland, A Willmott, P Heckbert. Hierarchical face clustering on polygonal surfaces[C]. North Carolina: Proceedings of ACM Symposium on Interactive 3D Graphics, Research Triangle Park, 2001. 49-58.

型,对本多体动力学系统的平稳性问题与载荷问题进行了深入研究,得到了各种实际工作状态下的系统动力学、静力学特性,为进一步的结构细化提供了可靠的参考依据。

注:本文图形中所有数据均为国际单位制,分别为:位移:毫米;速度:毫米/秒;加速度:毫米/秒²;角速度:度/秒;角加速度:度/秒²;力:牛。

参考文献:

- [1] 蒋德富. 相控阵雷达系统设计的研究[J]. 现代雷达, 1998, 3: 2-4.
- [2] Gantes, Charis. Systematic Design Methodology for Deployable Structures[J]. International Journal of Space Structures, 1994, 2: 67-85.
- [3] Osman, Balci. Principles of Simulation Model Validation, Verification and Testing[J]. Transactions of the society for Computer Simulation International, 1997, 1:3-12.
- [4] C J Gantes. Deployable structures: Analysis and design[M]. Southampton, U. K. WIT-Press. 2001.
- [5] 邹慧君,等. 现代机构学的研究内容和应用展望[J]. 机械设计与研究,1998, 3: 9-11.
- [6] 赵育善,等. 折叠翼展开过程仿真研究[J]. 弹箭与制导学报, 1997, (2).



【作者简介】

郑海宁(1982-),男(汉族),山东淄博人,博士生,研究方向:汽车车身的数字化设计及数字化制造;
梁彩平(1977-),女(汉族),山西平遥人,博士生,研究方向:汽车车身的数字化设计及数字化制造;
朱平(1966-),男(汉族),浙江宁波人,工学博士,教授,博导,主要研究方向为汽车结构性能数值仿真、车身轻量化设计制造以及制造质量控制技术;

陈关龙(1947-),男(汉族),上海人,教授,博导,副院长,研究方向:汽车车身的数字化设计及数字化制造,制造系统中的信息处理及智能化诊断。



【作者简介】

黄晓涛(1966-),女(汉),上海人,副教授,硕士生导师,研究方向为网络安全与人工智能;
李莎(1980-),女(汉),湖北武汉人,硕士研究生,研究方向为网络安全与计算机免疫技术。