

小卫星天线机构动态干涉检验

黄元林^{1,2},吴志军²,郁鼎文²

(1. 国防科技大学 机电工程与自动化学院,湖南 长沙 410001)

(2. 清华大学 精密仪器与机械学系,北京 100084)

摘要:在对小卫星活动天线机构动态干涉原理进行分析的基础上,借助UG/Motion模块进行了机构动态干涉检验和定量分析;根据分析结果对响应天线的装配设计方案进行了改进,并最终避免了干涉的发生,使设计达到要求。该分析方法可为其他同类分析问题提供借鉴。

关键词:小卫星;天线机构;动态干涉检验

中图分类号:TP242

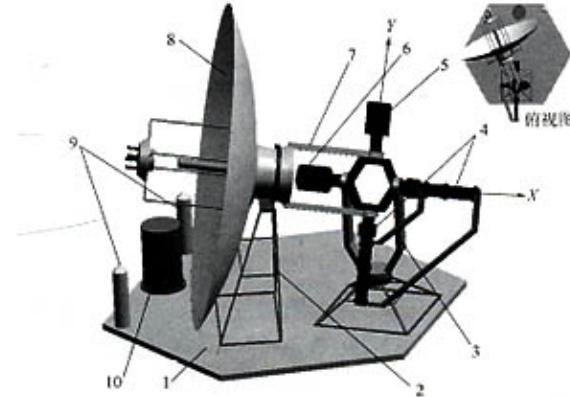
文献标识码:B

文章编号:1672-1616(2005)01-0106-03

小卫星质量一般在1000kg以下,单颗小卫星的成本一般都要上千万元人民币,且同类小卫星的产量一般不会很大,因此提高小卫星设计与制造的一次成功率,就具有格外重要的意义^[1]。小卫星因其体积小,故对星体结构要求较高,整星不仅结构紧凑精巧,还要使星上有效载荷布局合理,满足功能需求和动态性能要求。由于计算机技术的迅猛发展和各种大型CAD/CAE/CAM软件日趋成熟,在小卫星样机设计阶段,可充分发挥虚拟设计与分析的优越性,利用数字化模型对卫星装配体进行各种干涉检验与分析。通过检验各零部件装配位置是否合理,以达到优化结构设计方案、为后续设计分析乃至制造提供参考的目的。对于星上运动部件,如小卫星上的运动天线,可单独进行动态干涉检验,以保证天线在运动过程中与其他部件之间互不干涉,且相对位置符合设计要求。

1 研究对象介绍

本项研究工作是对某遥感测量小卫星天线的初始数字模型进行动态干涉检验分析。小卫星一般由电源层、测控系统层、有效载荷层、天线层等多层组成^[2],为突出研究对象,去除与分析无关的零部件,得到该小卫星天线层部分初始设计数字模型如图1所示。模型主要由上板、托架、下支撑支架、X-Y向支架、2个驱动电机5和6、上支撑支架、活动天线、两个小天线、响应天线等组成。下支撑支架、托架、圆柱形响应天线和小天线均固联在上板上,活动天线分别与上支撑支架和托架固联;卫星升空前,活动天线通过固定环固联在托架上,进入轨道后,活动天线与托架通过自爆螺栓解除约束。随后,电机5可驱动上支撑支架和活动天线组成的部件绕Y支架作旋转运动;电机6可驱动X-Y向支架、电机5、装配在Y向支架上的上支撑支架及与其相固联的活动天线一起在下支撑支架支撑下绕X向支架作旋转运动。



1 - 上板;2 - 托架;3 - 下支撑支架;4 - X - Y 向支架;

5 - 驱动电机 1;6 - 驱动电机 2;7 - 上支撑支架;

8 - 活动天线;9 - 小天线;10 - 响应天线

图 1 小卫星部分数字化模型

可见,活动天线的运动实际上是由绕X向支架运动和绕Y向支架运动叠加产生的组合运动,其运动轨迹由组合运动的路径来决定。

需要研究的是,在活动天线运动的过程中,活动天线与响应天线是否有干涉现象产生(2个小天线距离较远,检验亦未发生干涉,故文中不作为研究对象)。如有,则在满足最小距离及动态特性的条件下,调整响应天线在上板上的装配位置,消除干涉,最终使设计达到要求。

2 干涉原理分析

2.1 模型建立

根据图1所示的小卫星天线层的数字化模型,经等效处理并简化,得到如图2所示的结构简图,图2(a)为结构简图,图2(b)为根据图2(a)抽象出来的计算模型。

收稿日期:2004-07-13

作者简介:黄元林(1975-),男,湖北汉川人,国防科技大学工程师,清华大学硕士研究生,主要研究方向为机构运动学和动力学分析。

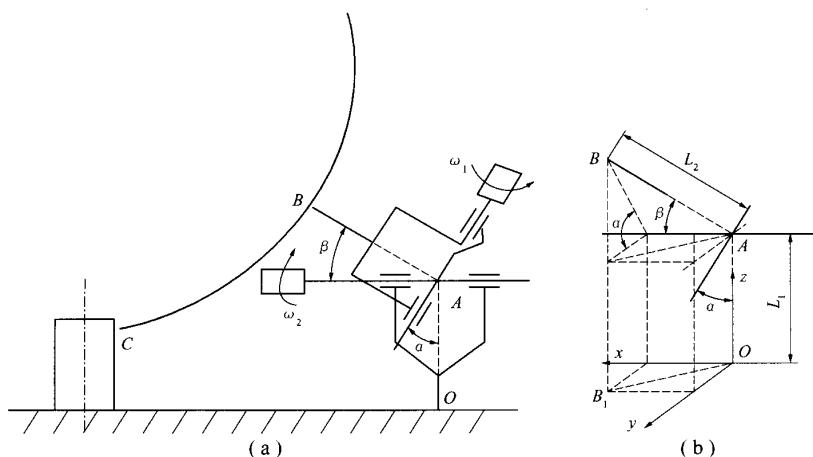


图 2 结构简图

2.2 计算分析^[3]

如图 2(b)所示,设定空间坐标系 $Oxyz$,其 xOy 平面与上板面重合, X 向支架与 x 坐标轴平行,原点在下支撑支架与上板的结合点 O 处, z 轴垂直向上。设下支撑支架中心轴 $|OA| = L_1$, 上支撑支架的中心轴 $|\overrightarrow{AB}| = L_2$ 。假设在 2 个电机驱动下的某个时刻, Y 向支架与 $|\overrightarrow{AO}|$ 的夹角为 α , $|\overrightarrow{AB}|$ 与 x 坐标轴夹角为 β ,则 B 点的空间坐标可表示为:

$$\begin{cases} X_B = L_2 \times \cos \beta \\ Y_B = L_2 \times \sin \beta \times \cos \alpha \\ Z_B = L_2 \times \sin \beta \times \sin \alpha + L_1 \end{cases}$$

B 点坐标一旦确定,活动天线圆盖形边缘上任意点 C 的坐标就可根据其来惟一确定。因为 B 与 C 同属活动天线上的点,它们的相对位置是固定不变的,且活动天线的运动条件也已给出,故可根据 B 的坐标确定 C 的空间坐标。而判断活动天线与响应天线是否干涉的实质,就是要判断圆盖形边缘上的点在运动过程中,有没有落入到响应天线所占据的圆柱体空间。

3 动态干涉检验

3.1 干涉检验分析步骤

UG 内嵌了强大的解算器 ADAMS 作为分析计算的核心工具,可用其解决动态干涉检验中的分析计算问题。利用 UG/Motion 模块,可按如下步骤进行干涉检验分析^[4]:

a. 设置连杆并确定连杆间的运动副形式。

进入连杆设置功能模块,将活动天线和 $X-Y$ 向支架分别设为连杆;进入运动副设置功能模块,将活动天线与 X 向支架之间、 $X-Y$ 向支架与下支撑支架之间均设为旋转副。

b. 设置关节运动方程。

因为活动天线的运动是由上支撑支架和 $X-Y$ 向支架的运动叠加产生的,而上支撑支架和 $X-Y$ 向支架的运动又分别由 2 个电机的旋转运动来决定,因此活动天线的运动路径与 2 个电机的转速有很大关系。改变任何一个电机的转速,活动天线几乎都会产生一条新路径(当两个电机的转速以相同比例同时增大或减小时,路径可保持不变)。因此,应该选择有代表性的

路径来进行检验。

以卫星天线的实际工作状况为参考,不失一般性,在运动副属性设定界面中,设电机 5 轴上转动副的运动方程为 STEP (TIME,0,0,5,20),电机 6 轴上转动副的运动方程为 STEP (TIME,0,0,5,-20),即两电机以相同转速转动。此时活动天线的运动产生的包络面如图 3 所示。

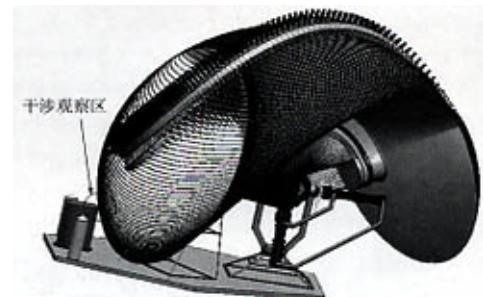


图 3 活动天线运动包络面

c. 选择干涉实体。

进入干涉分析设置模块,分别选择活动天线的前端圆盖形体和反馈天线的柱体作为 2 个待研究的干涉实体。选择干涉显示模式为高亮显示,即当实体发生干涉时,均显示为亮红色(颜色可自定);或者选择实体显示模式,这样干涉区将显示为实体形式的干涉块,可以通过观察干涉块的大小来修改装配位置。

3.2 结果分析

进入运动仿真模块,设定运动时间与运动步数(设为 100 步);进入动画控制界面,选择干涉封装选项,开始仿真。仿真结果:在原始设计方案中,在活动天线运动过程中,活动天线与响应天线有高亮显示,表明两者确实存在干涉现象。为定量获取干涉情况,再次进入干涉分析设置模块,选择分析方式为测量。进入运动仿真模块,其他设置不变,开始运动仿真。获得并列出测量值,见表 1。表中 Δ_{min} 为两干涉实体的最小距离,取最接近 0 的部分值 20 个(本例取第 12 步到第 31 步)。从表 1 中数据可以看到,从第 20 步到第 23 步,两干涉体的距离为零。结果表明,活动天线运动到第 20 步时开始与响应天线发生干涉,到第

24 步时干涉结束。

表 1 测量值列表

步数	12	13	14	15	16
测量值 $\Delta_{min/mm}$	20.351	18.147	15.802	13.325	10.728
步数	17	18	19	20	21
测量值 $\Delta_{min/mm}$	8.022	5.221	2.341	0.000	0.000
步数	22	23	24	25	26
测量值 $\Delta_{min/mm}$	0.000	0.000	4.056	9.501	16.002
步数	27	28	29	30	31
测量值 $\Delta_{min/mm}$	23.394	31.568	40.449	49.980	60.118

3.3 修改设计方案并进行干涉检验

设计规定,活动天线在运动过程中与响应天线的最小距离应大于 5mm。按照要求对响应天线的装配位置进行改进,同时对其他部件进行设计并对位置加以调整,以满足动平衡及其他动态特性方面的要求,此方面的研究另文撰述。改进后的设计方案如图 4 所示。

针对新设计方案再次进行运动干涉检验分析,结果表明无干涉现象,测得响应天线与活动天线在运动过程中的最小距离为 $\Delta_{min} = 8.656\text{mm} > 5\text{mm}$, 符合设计要求。

4 结论

针对小卫星活动天线可能存在的动态干涉问题,本文进行了以下研究:(1)对小卫星天线层的结构及活动天线机构的运动方式进行了介绍。(2)在天线层三维数字模型的基础上抽象出结构简图和计算模型,分析了活动天线与响应天线发生几何干涉的实质。(3)利用 UG/Motion 对活动天线的运动进行了仿真和动态干涉检验,得出了定量分析结果。结果表明活动天线与响应天线存在干涉现象。(4)修正了响应天线的设计方案,并

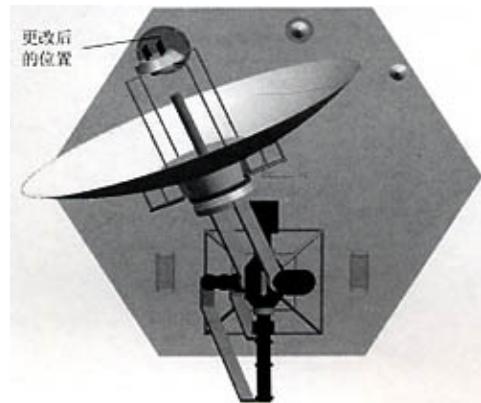


图 4 改进后的设计方案(俯视)

对新方案进行了动态干涉检验,结果表明无干涉现象,符合设计要求。

这种研究方法对于分析有复杂空间运动路径的部件的动态干涉问题以及优化结构设计方案有一定的借鉴意义。

参考文献:

- [1] 张祥根. 小卫星的现状、特点及发展方向[J]. 电信快报, 2000 (5): 27~29.
- [2] 程光明, 廖明宏, 吴翔虎. 小卫星星载计算机及其外围设备的管理[J]. 哈尔滨工业大学学报, 2002, 34(2): 201~203.
- [3] 魏永庚, 王知行. 内铣式并联机床运动空间干涉分析[J]. 中国制造业信息化, 2003, 32(7): 123~126.
- [4] Unigraphics Solutions Inc. UG 运动分析培训教程[M]. 胡小康译. 北京: 清华大学出版社, 2002.

The Kinetic Interference Inspection of the Moonlet's Antenna

HUANG Yuan-lin^{1,2}, WU Zhi-jun², YU Ding-wen²

(1. National University of Defence Technology, Hunan Changsha, 410001, China)

(2. Tsinghua University, Beijing, 100084, China)

(上接第 105 页)

- [4] Li Xin-zhou. Attractive or repulsive nature of the Casimir force for rectangular cavity [J]. Physical Review D, 1997, 56 (4): 2155~2162.
- [5] 张礼, 葛墨林. 量子力学的前沿问题[M]. 北京: 清华大学出版社, 2000.
- [6] Ding Jingning. Casimir force correction between parallel polysilicon plates[J]. Tinghua Science and Technology, 2002, 7 (3): 276~280.
- [7] Bordag M, Mohideen U, Mostepanenko V M. New developments in the Casimir effect[J]. Physics Report, 2001 (353): 1~205.

The Application of the Casimir Force in “Zero – Point Energy”

ZHU Guo-hua, DING Jian-ning, YANG Ji-chang

(Jiangsu University, Jiangsu Zhenjiang, 212013, China)

Abstract: The Zero – Point energy in vacuum can solve the problem of the energy for MEMS. It explains the theory of Zero – Point energy and Casimir force, analyzes the Casimir force based on the configuration of two parallel boards, discusses some factors which may affect the Casimir force. At last it shows the feasibility of distilling Zero – Point energy using Casimir force.

Key words: Zero – Point Energy; Casimir Force; Tiny Driving

如何学习天线设计

天线设计理论晦涩高深，让许多工程师望而却步，然而实际工程或实际工作中在设计天线时却很少用到这些高深晦涩的理论。实际上，我们只需要懂得最基本的天线和射频基础知识，借助于 HFSS、CST 软件或者测试仪器就可以设计出工作性能良好的各类天线。

易迪拓培训(www.edatop.com)专注于微波射频和天线设计人才的培养，推出了一系列天线设计培训视频课程。我们的视频培训课程，化繁为简，直观易学，可以帮助您快速学习掌握天线设计的真谛，让天线设计不再难…



HFSS 天线设计培训课程套装

套装包含 6 门视频课程和 1 本图书，课程从基础讲起，内容由浅入深，理论介绍和实际操作讲解相结合，全面系统的讲解了 HFSS 天线设计的全过程。是国内最全面、最专业的 HFSS 天线设计课程，可以帮助你快速学习掌握如何使用 HFSS 软件进行天线设计，让天线设计不再难…

课程网址: <http://www.edatop.com/peixun/hfss/122.html>

CST 天线设计视频培训课程套装

套装包含 5 门视频培训课程，由经验丰富的专家授课，旨在帮助您从零开始，全面系统地学习掌握 CST 微波工作室的功能应用和使用 CST 微波工作室进行天线设计实际过程和具体操作。视频课程，边操作边讲解，直观易学；购买套装同时赠送 3 个月在线答疑，帮您解答学习中遇到的问题，让您学习无忧。

详情浏览: <http://www.edatop.com/peixun/cst/127.html>



13.56MHz NFC/RFID 线圈天线设计培训课程套装

套装包含 4 门视频培训课程，培训将 13.56MHz 线圈天线设计原理和仿真设计实践相结合，全面系统地讲解了 13.56MHz 线圈天线的工作原理、设计方法、设计考量以及使用 HFSS 和 CST 仿真分析线圈天线的具体操作，同时还介绍了 13.56MHz 线圈天线匹配电路的设计和调试。通过该套课程的学习，可以帮助您快速学习掌握 13.56MHz 线圈天线及其匹配电路的原理、设计和调试…

详情浏览: <http://www.edatop.com/peixun/antenna/116.html>



关于易迪拓培训:

易迪拓培训(www.edatop.com)由数名来自于研发第一线的资深工程师发起成立，一直致力于专注于微波、射频、天线设计研发人才的培养；后于 2006 年整合合并微波 EDA 网(www.mweda.com)，现已发展成为国内最大的微波射频和天线设计人才培养基地，成功推出多套微波射频以及天线设计经典培训课程和 ADS、HFSS 等专业软件使用培训课程，广受客户好评；并先后与人民邮电出版社、电子工业出版社合作出版了多本专业图书，帮助数万名工程师提升了专业技术能力。客户遍布中兴通讯、研通高频、埃威航电、国人通信等多家国内知名公司，以及台湾工业技术研究院、永业科技、全一电子等多家台湾地区企业。

我们的课程优势:

- ※ 成立于 2004 年，10 多年丰富的行业经验
- ※ 一直专注于微波射频和天线设计工程师的培养，更了解该行业对人才的要求
- ※ 视频课程、既能达到了现场培训的效果，又能免除您舟车劳顿的辛苦，学习工作两不误
- ※ 经验丰富的一线资深工程师主讲，结合实际工程案例，直观、实用、易学

联系我们:

- ※ 易迪拓培训官网: <http://www.edatop.com>
- ※ 微波 EDA 网: <http://www.mweda.com>
- ※ 官方淘宝店: <http://shop36920890.taobao.com>