

大型空间可展天线的温度场及热控分析

张淑杰¹ 关富玲¹ 尹增山² 范玉辰¹

(1 浙江大学建筑工程学院空间结构研究中心, 杭州, 310027)

(2 浙江大学信息工程学院控制科学研究中心, 杭州, 310027)

摘要: 为满足航天器射频性能的要求, 需使用大型、精密、可展天线反射器。本文考虑到其自身阴影的影响, 讨论了天线在不同轨道处的温度场分布, 计算出由较大温差引起的热应力和热变形, 提出大型可展天线的热控制方法。因无论是热控涂层还是材料本身, 都不能完全保证天线的正常工作温度范围, 被动热控应与主动热控(电加热器)相结合, 才能保证天线的正常工作。

主题词: 可展天线 温度场 热变形 被动热控 主动热控

1 概述

自六十年代以来, 世界各强国已充分认识到星载情报的独特优点和重要性, 为形成以地球为主的全球航天通讯侦察网, 要求天线提高增益, 扩大带宽, 提供更精确的波束成形精度, 因而要求利用大口径可展天线, 以具备较强的星上信号处理能力。

大型空间可展天线反射器一般位于卫星的顶部, 直接裸露于太空环境中, 在各种轨道上, 由于太阳辐射热、卫星反射太阳热、卫星自身散热系统辐射热、地球反射太阳热、地球红外辐射热以及周围深冷空间, 使得天线的工作环境十分恶劣, 特别是当卫星处于轨道上特定位置时, 天线反射器及支撑桁架的温度场分布极不均匀, 温度梯度极大, 从而引起较大的热变形, 使得抛物面尺寸产生偏差, 导致天线增益下降, 散焦误差增大, 图象破坏, 影响信号的传输与接收效果。有关资料表明, 10 米反射面天线热变形可达到 12mm, RMS 值达到 3.8mm, 天线反射图由热变形引起增益减少 1.5dB, 旁瓣加宽, 倾斜 0.35°。

由此可见, 研究大型可展天线热变形的控制方法和控制措施是非常重要的。

2 大型空间可展天线的热分析原理

2.1 假定条件

大型可展天线一般采用构架式, 主要单元是杆单元和膜单元, 可采用以下假设:

(1) 天线杆件间的辐射热很小, 可忽略不计。Chamber et al. 的研究表明: 在开敞式空间结构中, 相距很近的两根杆件的角系数小于 0.001, 即杆件所有的辐射能量都消散到太空中去了, 故杆件间的辐射热可忽略不计。

(2) 温度沿杆件的轴向呈线性变化, 沿径向不考虑变化, 认为是恒温。

(3) 索网及背架造成的阴影要考虑, 当阴影作用在桁架上时, 可认为此时桁架在阴影区不吸收任何热量。

(4) 天线在太空中所吸收的热量仅考虑太阳辐射。

(5) 将太空的深冷环境认为是绝对的黑体。

2.2 天线模型的有限元热分析

大型可展天线主要由杆单元和膜单元组成, 所以主要分析杆单元和膜单元的瞬态辐射——导热问题。

图 1 为杆单元的分析模型, 表征杆单元瞬态辐射——导热问题的微分方程为:

$$\lambda A \frac{\partial^2 T}{\partial x^2} - P \sigma \epsilon T^4 + P \sigma \sum_{n=1}^N \epsilon_n B_n T_n^4 + P(q_s + q_r) = A \rho c \frac{\partial T}{\partial \tau} \quad (1)$$

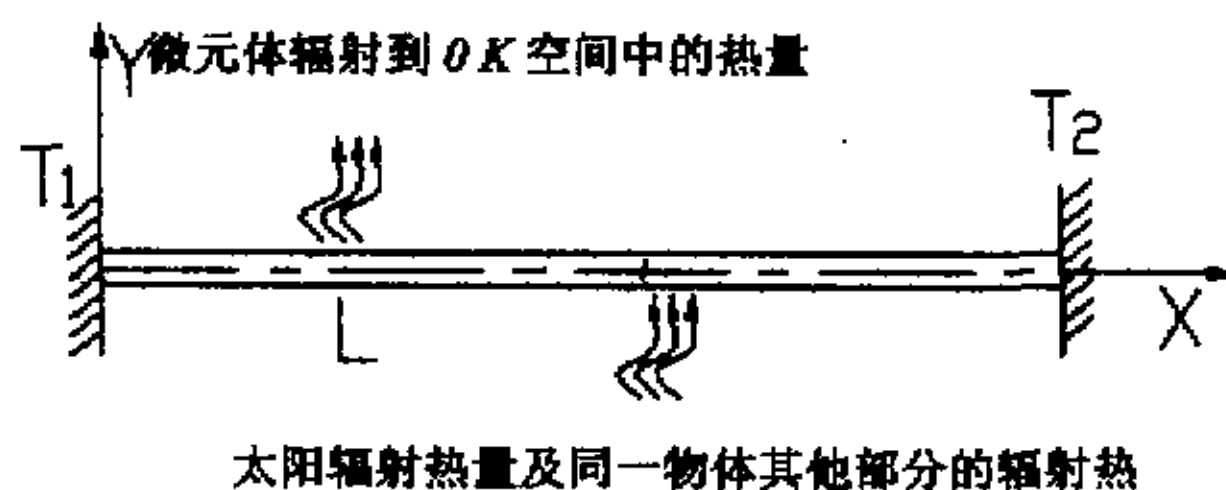


图 1 杆单元的瞬态辐射——导热分析模型

式中:

λ —热导率, $W/(m \cdot k)$

A —截面面积, m^2

P —截面周长, m

ε —材料表面发射率,

σ —Stefan—Boltzman 常数, $\sigma = 5.67 \times 10^{-8} W/(m^2 \cdot k^4)$

ρ —材料密度, kg/m^3

c —材料比热容, $J/(kg \cdot k)$

P —单元的太阳常数, (一般取 $P/2$ 或 0)

q_s —单位面积上的太阳辐射能, W/m^2

q_e —单位面积上的地球辐射能, W/m^2

B_n —微元体对其他部分辐射的热吸收因子

T —单元温度, K

图 2 为膜单元的分析模型。在展开抛物面中, 可以认为抛物面反射器是平面问题, 表征膜单元瞬态辐射——导热问题的微分方程为:

$$\delta \left[\frac{\partial}{\partial x} \left(\lambda_x \frac{\partial T}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(\lambda_y \frac{\partial T}{\partial y} \right) \right] - (\sigma \varepsilon T^4 - \sigma \sum_{n=1}^N \varepsilon_n B_n T_n^4) + q_s + q_e = \delta \rho c \frac{\partial T}{\partial \tau}$$

δ —单元的厚度

其余符号同式 (1)。

3 大型空间可展天线的温度变形及热控分析

天线在轨道上运行时, 对于空间冷、热源的相对位置有严格的要求, 当姿态发生偏差或失控, 使卫星上的散热、吸热表面发生非设计的遮挡或暴露, 均可能造成过大的温度偏差, 甚至造成天线不能正常工作, 热控系统的可靠性和工作寿命是很重要的。

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,一直致力和专注于微波、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>