

基于 FEKO 软件的星载天线 EMC 仿真

张宇环,任红宇,张助玲,苏 醒,王 盛

(上海航天电子技术研究所,上海 201109)

[摘要] 为分析卫星本体及星外部件对天线方向图特性的影响,确保天线在整星布局约束条件下能够正常工作. 本文利用 FEKO 软件进行了整星约束条件下天线电性能仿真计算,通过最恶劣工况仿真分析可知,天线方向图、增益等满足技术指标要求.

[关键词] 卫星天线,FEKO 软件,电磁兼容

[中图分类号] TN015 [文献标志码] A [文章编号] 1672-1292(2019)04-0013-06

EMC Simulation of Satellite Antenna Based on FEKO

Zhang Yuhuan, Ren Hongyu, Zhang Zhuling, Su Xing, Wang Sheng

(Shanghai Aerospace Electronic Technology Institute, Shanghai 201109, China)

Abstract: In order to analyze the influence of the satellite body and other external equipment on antenna pattern and ensure the antenna's normal work under the condition of the satellite constraint, this paper uses FEKO software to simulate the antenna pattern under the condition of the satellite constraint. Through the simulation analysis of the worst condition, we find that the performance of antenna pattern meets the technical requirements.

Key words: satellite antenna, FEKO software, EMC

随着卫星功能日益复杂,星上载荷越来越多,整星布局受限问题日益突出. 尤其是微小卫星发展迅速,导致星载天线安装位置更在局促. 如何在整星约束条件下,保证天线视场及电性能满足技术指标要求,从而确保卫星通信正常,是天线及整星设计过程中的重要内容^[1-4]. XX-1 卫星对地面仅 1.2 m,且安装有卷筒式伸展机构、铰链式伸展机构及数传天线、测控天线、载荷天线等产品. 产品多、且安装位置近,卫星本体、星外部件、测控天线、数传天线均会对载荷天线的方向图特性产生影响. 因此,为了验证载荷天线发射特性在 RM 星平台上能否满足任务书要求,利用 FEKO 软件计算了载荷天线^[5]在星体、伸杆、卫星平台天线影响下的辐射性能,为整星结构布局提供必要数据支撑,保证天线在整星约束条件下的方向图特性满足使用要求.

1 软件介绍

随着计算机技术和电磁场数值分析技术的发展,市场上涌现出一批电磁仿真软件,例如 FEKO、CST、HFSS、GRASP 等. 天线设计过程中常用的矩量法、有限元法等数值计算方法对硬件性能要求高,导致很多电大尺寸天线^[6]无法计算. FEKO 软件是 Ansys 公司用于解决电大尺寸物理结构的高频电磁场计算模块,针对大多数的电大尺寸天线进行电磁仿真时,FEKO 软件可通过采用高低频混合法(MOM/PO)和多层快速多极子算法(MLFMM)来完成计算,可以大大节省计算时间.

2 单天线仿真

某卫星载荷天线工作在 VHF、UHF 和 L 频段,天线采用对称振子形式,为右旋圆极化工作方式. 设对称振子中心为坐标原点,振子沿振子如图 1 所示放置,对称振子的电流分布可近似表示为:

收稿日期:2019-09-10.

通讯联系人:张宇环,工程师,研究方向:天线与射频电路. E-mail:516891253@qq.com

$$\begin{cases} I(z) = I_m \sin \beta(l-z), & 0 < z < l, \\ I(z) = I_m \sin \beta(l-z), & -l < z < 0. \end{cases} \quad (1)$$

式中, I_m 是波腹电流, l 是对称振子单臂的长度, β 是对称振子的电流传输相移常数.

对称振子可以看成是由无数个长度为 dz 的电基本振子串联组成, 在沿 dz 方向上电流等幅同相, 但沿轴方向上不同的 z 处 dz 上的电流幅度则按正弦分布, 如式 (1) 所示. 通过计算对称振子上任意一个电基本振子的辐射场, 再将各个电基本阵子产生的辐射场叠加就可以得到对称振子的辐射场. 沿振子臂轴线方向距原点 z 处的电流元 $I(z) dz$, 在远区任意一点 $M(r, \theta, \varphi)$ 所产生的电场为:

$$dE_\theta = j \frac{60\pi I(z) dz}{\lambda r(z)} \sin \theta(z) e^{-jkr(z)}. \quad (2)$$

依据叠加原理, 对称振子远场产生的辐射场是:

$$E_\theta = j \frac{60\pi}{\lambda r} \sin \theta e^{-jkr} \left[\int_{-l}^l I_m \sin \beta(l-|z|) e^{jkz \cos \theta} dz \right]. \quad (3)$$

根据上述分析建立天线模型及仿真结果如图 2 所示.

3 整星状态下仿真

根据天线在整星上安装位置与实际工作状态, 结合单天线波束宽度及辐射方向图情况, 认为太阳电池阵及水平伸杆对天线方向图影响可忽略. 本文拟分 3 种工况分析星体对天线方向图影响. 卫星入轨后工作状态如图 3~图 5 所示.

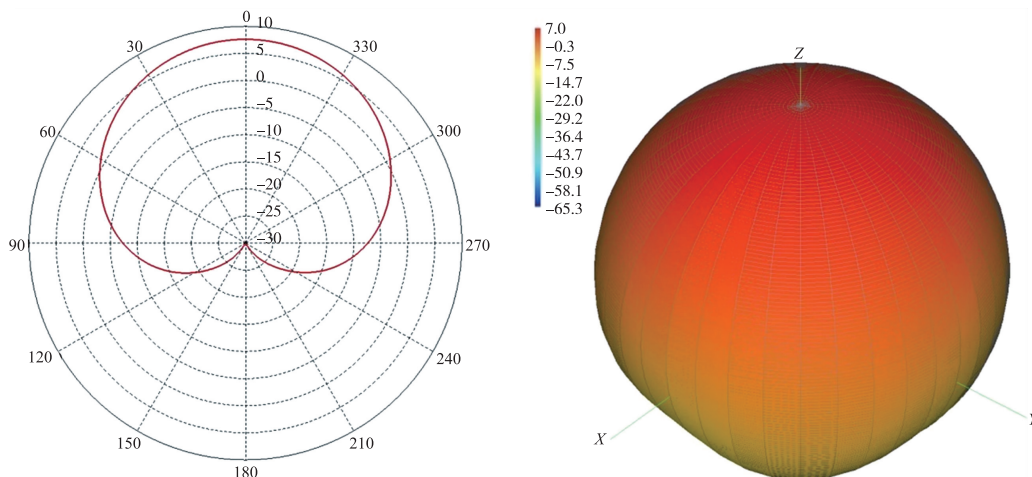


图 3 天线 VHF 频段方向图

Fig. 3 VHF band simulation result

根据天线在整星上安装位置与实际工作状态, 结合单天线波束宽度及辐射方向图情况, 认为太阳电池阵及水平伸杆对天线方向图影响可忽略. 本文拟分 3 种工况分析星体对天线方向图影响. 卫星入轨后工作状态如图 6 所示.

3.1 整星约束条件下对载荷天线 VHF 频段的影响

工况 1: 在卫星对地面建立简易平台天线模型如图 6 所示, 并据此模型进行天线性能仿真, 结果如图 7 所示, 实线是载荷天线单独工作时增益方向图, 虚线是增加卫星平台天线时增益方向图. 由图 7 仿真结构可知, 在 VHF 频段, 在整星环境下周围平台天线对载荷天线增益方向图 $\pm 55^\circ$ 主瓣范围内没有影响.

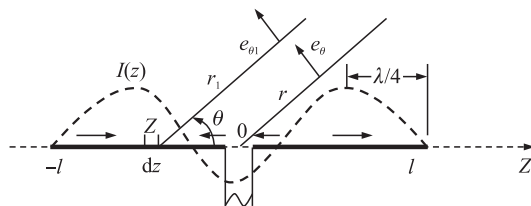


图 1 对称振子的电流分布

Fig. 1 Current distribution of dipole

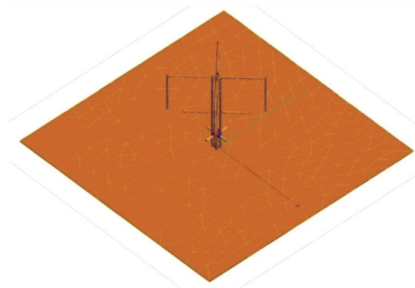


图 2 天线仿真模型

Fig. 2 Antenna simulation model

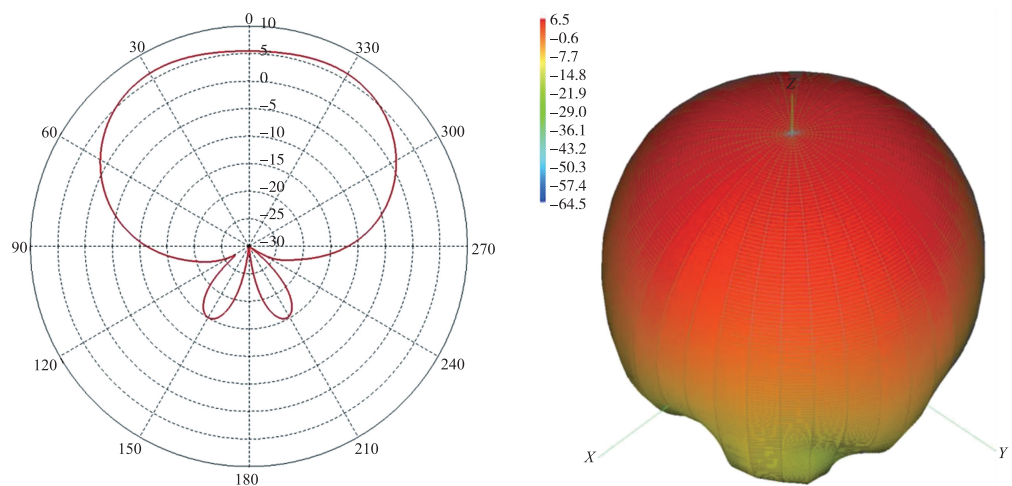


图 4 天线 UHF 频段方向图
Fig. 4 UHF band simulation result

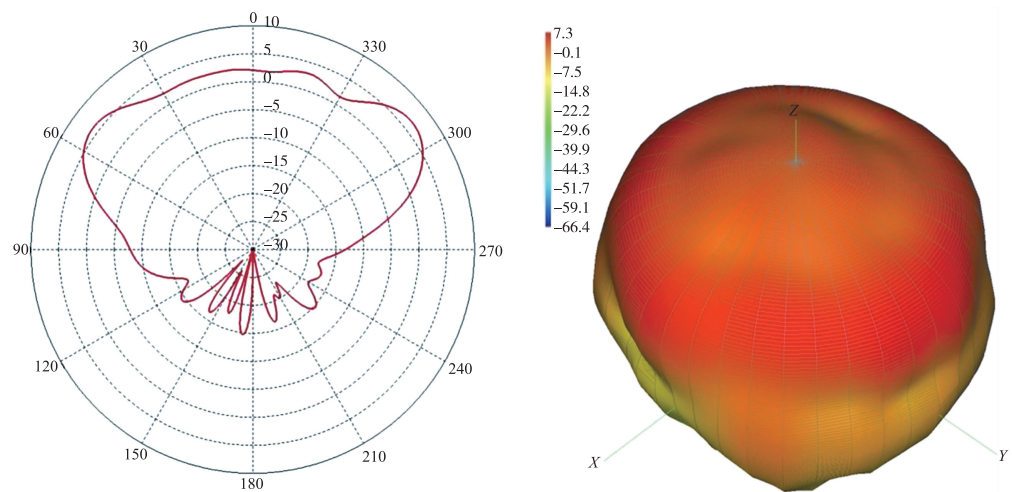


图 5 天线 L 频段方向图
Fig. 5 L band simulation result

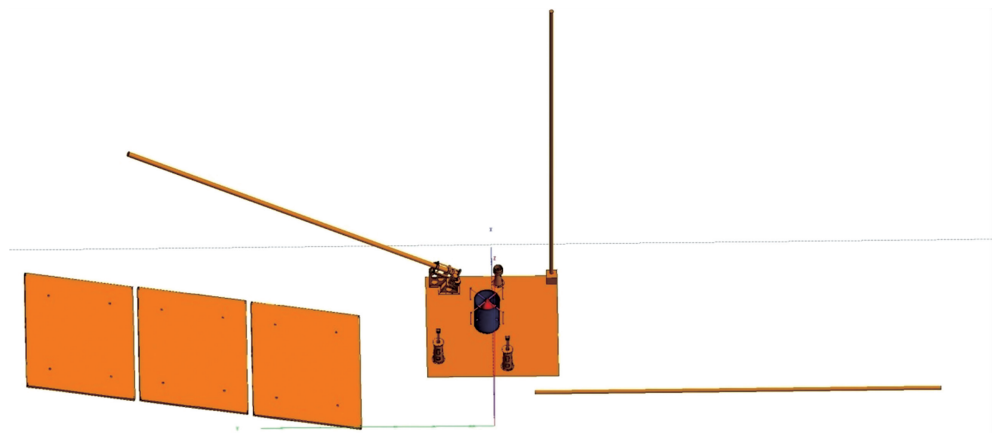


图 6 天线整星模型
Fig. 6 Satellite model

工况 2:在整星约束条件下考虑铰链式伸杆机构对载荷天线的影响. 仿真结果如图 8 所示,实线是载荷天线工况 1 工作时增益方向图,虚线是增加铰链式伸杆机构时天线增益方向图. 由仿真结果可知,在 VHF 频段,在整星环境下周围存在铰链式伸杆机构对载荷天线增益方向图 -55° 至 -5° 主瓣范围以及 35° 至 60° 影响较大,方向图凹陷达 3 dB.

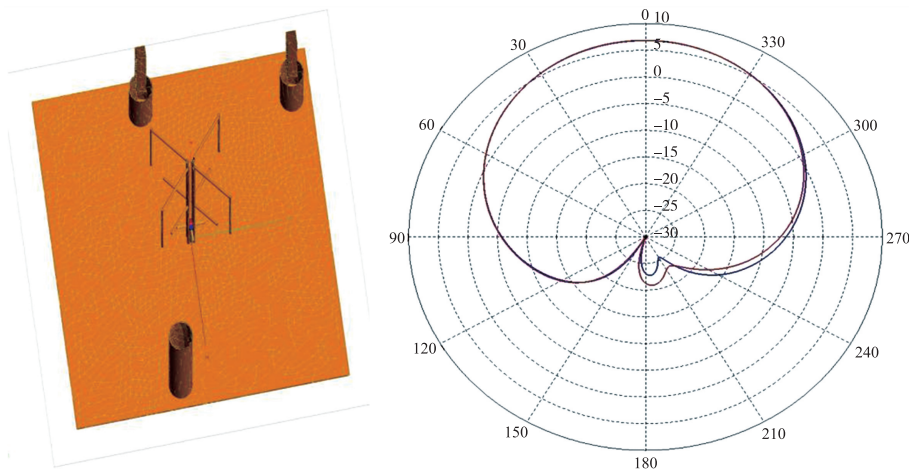


图 7 卫星平台天线对三频信标天线 VHF 频段方向图影响情况
Fig. 7 Influence of platform antenna on VHF frequency band

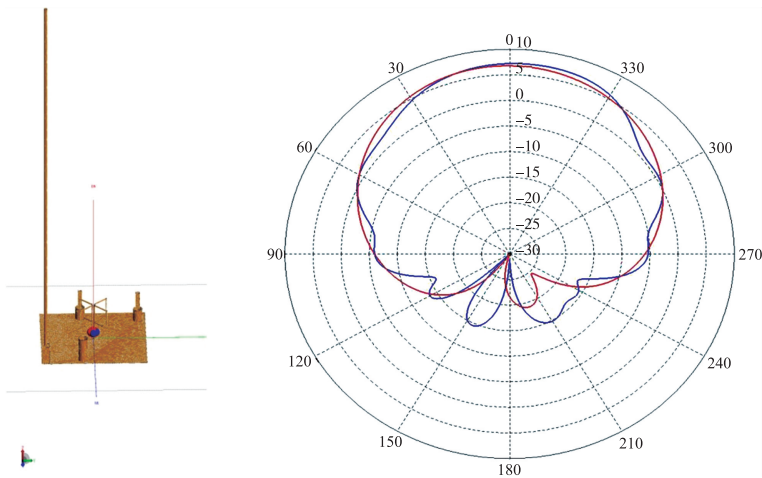


图 8 铰链式伸杆机构对三频信标天线 VHF 频段方向图影响情况
Fig. 8 Influence of hinged mechanism on VHF frequency band

工况 3:在整星约束条件下考虑卷筒式伸杆机构对载荷天线的影响. 仿真结果如图 9 所示,实线是载荷天线考虑铰链式伸杆机构时增益方向图,虚线是增加卷筒式伸杆机构时天线增益方向图. 由仿真结果可知,在 VHF 频段,在整星环境下周围存在卷筒式伸杆机构对载荷天线增益方向图 -40° 至 -65° 主瓣范围内影响较大,方向图凹陷达 2 dB.

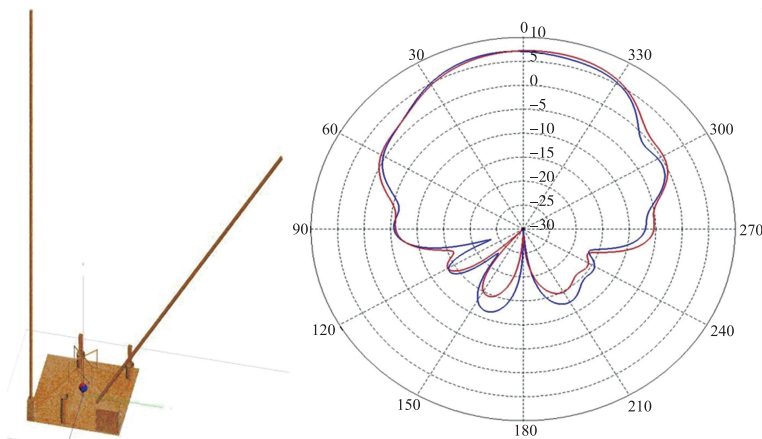


图 9 卷筒式伸展机构对 VHF 频段方向图影响情况
Fig. 9 Influence of drum extension mechanism on VHF frequency band

3.2 整星约束条件下对载荷天线 UHF 频段的影响

根据 VHF 仿真结果可知,在卫星平台天线、铰链式伸杆机构及卷筒式伸杆机构全部展开工作时,对载荷天线方向图影响最大. 因此,对 UHF 及 L 频段方向图特性分析只计算最终状态下的结果. UHF 频段仿真结果如图 10 所示. 由仿真结果可知,UHF 频段增益方向图在 -55° 至 -15° 主瓣范围以及 30° 影响较大,增益下降 1.5 dB.

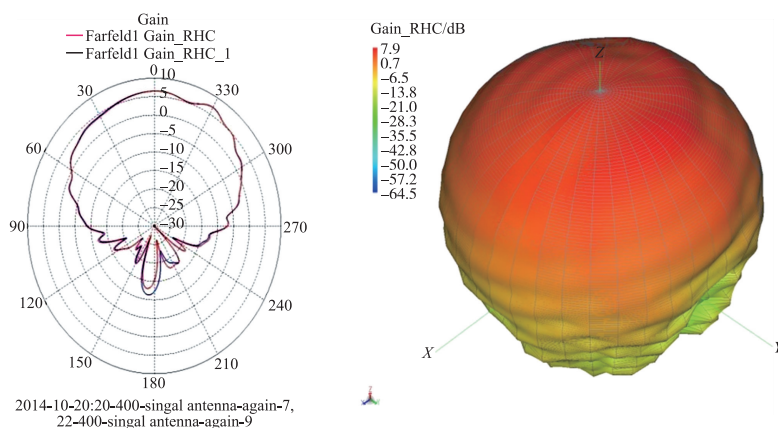


图 10 整星约束条件下 UHF 频段方向图

Fig. 10 UHF frequency band result under satellite layout constraints

由仿真结果可知,在整星约束条件对天线 L 频段增益方向图有较大影响. 与单天线仿真结果相比,载荷天线在波束范围内出现多个凹陷,在 -22° 附近凹陷最大,达到了 6.5 dB. 在 -60° 至 -30° 波束范围内增益下降了 2 dB,在 $\pm 55^{\circ}$ 波束范围内,最小增益为 -3.6 dB.

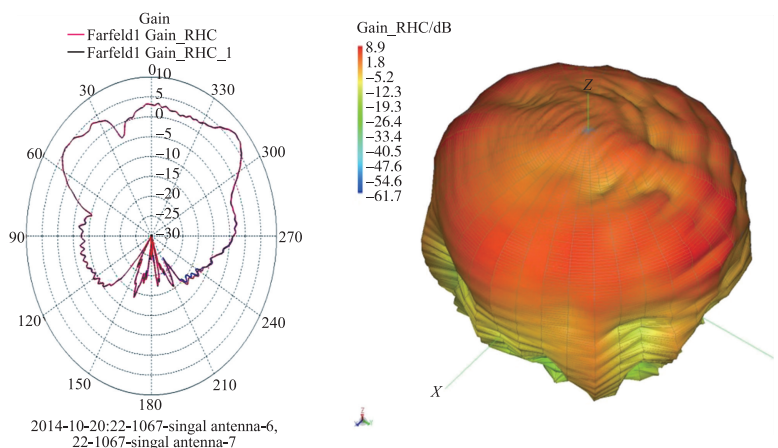


图 11 整星约束条件下 L 频段方向图

Fig. 11 L frequency band result under satellite layout constraints

由上述仿真结果可知,天线方向图受在整星约束影响最大的是 L 频段,导致天线方向图出现凹陷现象,凹陷处最小增益为 -3.6 dB. UHF 频段方向图在 -55° 至 -15° 主瓣范围以增益下降 1.5 dB. VHF 频段方向图在 -40° 至 -65° 主瓣范围内增益下降 4 dB,但仍然满足整星条件下允许个别地方凹陷至 -6 dB 的技术指标要求.

4 结语

本文利用 FEKO 仿真软件在整星约束条件下对某卫星载荷天线进行了 EMC 仿真分析,通过星上三种工况下的天线方向图变化情况,分析出不同设备对天线方向图的影响程度. 同时通过对比最恶劣工况下天线方向图与单天线方向图变化情况得出卫星本体对载荷天线方向图的影响满足整星 EMC 要求,为整星结构布局提供了有效借鉴.

[参考文献](References)

- [1] 张宇环,张宇琛,马岩冰,等. 基于电路参数模型的辐射电磁干扰噪声预估方法[J]. 电波科学学报,2016,31(6):1202-1208.
ZHANG Y H,ZHANG Y C,MA Y B,et al. Prediction method for radiative electromagnetic EMI based on circuit parameter model[J]. Chinese journal of radio science,2016,31(6):1202-1208.(in Chinese)
- [2] 张宇环,赵阳,颜伟,等. 基于电磁干扰源特征的 GTEM 辐射干扰测量方法[J]. 中国电机工程学报,2013,33(18):162-169.
ZHANG Y H,ZHAO Y,YAN W,et al. A novel GTEM measurement method for radiated EMI based on noise source characteristics[J]. Proceedings of the CSEE,2012,32(27):168-176.(in Chinese)
- [3] 颜伟,赵阳,王恩荣,等. 射频识别系统电磁辐射干扰特征快速分析与抑制[J]. 中国电机工程学报,2011,32(9):161-166.
YAN W,ZHAO Y,WANG E R,et al. Analysis and suppression on radiated EMI noise for radio frequency identification system[J]. Proceedings of the CSEE,2012,32(9):161-166.(in Chinese)
- [4] 赵阳,罗永超,颜伟,等. 高频电路辐射干扰快速分析与预估方法[J]. 电波科学学报,2010,25(3):466-471.
ZHAO Y,LUO Y C,YAN W,et al. Fast analysis and estimation approach applied in radiated EMI for high-frequency circuit[J]. Chinese journal of radio science,2010,25(3):466-471.(in Chinese)
- [5] 宋立众,房亮,聂玉明,等. 基于 FEKO 的双极化振子天线设计与仿真研究[J]. 实验技术与管理,2014,31(6):102-106.
SONG L Z,FANG L,NIE Y M,et al. Research on design and simulation of dual polarized dipole antenna based on FEKO software[J]. Experimental technology and management,2014,31(6):102-106.(in Chinese)
- [6] 赵波,吕琳,刘越东,等. 基于 FEKO 软件的电大尺寸面天线仿真[J]. 遥测遥控,2012,33(5):56-59.
ZHAO B,LÜ L,LIU Y D,et al. Simulation of electrically large scale surface antenna based on FEKO[J]. Journal of telemetry, tracking and command,2012,33(5):56-59.(in Chinese)

[责任编辑:陈 庆]