

机载天线电磁兼容性分析

苏东林 王东方

(北京航空航天大学 电子工程系)

王明皓 孙 聪

(中国航空工业公司 601 研究所)

摘要 假定飞机腹部加装了某一形状的炮舱和矩形喇叭天线,用时域有限差分法(FDTD)分析了这样的外形对天线辐射特性的影响.通过对机身和天线之间不同相对位置下天线辐射特性的分析,得出了机载天线方向图的一些规律.

关键词 电磁干扰;天线;天线方向图;飞机天线;时域有限差分

中图分类号 TN 82; V 243.4

文献标识码 A

文章编号 1001-5965(2002)02-0228-03

天线在装设到飞机上后,其辐射特性会受到机身外壳的影响,方向图发生改变.这种电磁兼容性问题在实际应用中是要考虑的.特别是战斗机,外挂设施相对较多,更应引起足够的重视.但由于系统的复杂性,做严格理论分析是不容易的.实验测试法也不易得到比较系统的结果.以往对这个问题的研究多采用射线法.射线法采用光学方法处理电磁波的传输,因此只是考虑了电磁波的光学效应,忽略了全波效应,如绕射现象等.进一步的研究中,有学者在射线法的基础上计入了绕射场的影响^[1],在目标的光滑处采用射线法,在拐角等处采用几何绕射方法,得出了较好的分析结果.但对于飞机这样复杂的目标,其绕射场的分析是十分复杂的,故上述方法存在较大局限性.

本文尝试用时域有限差分法(FDTD)来分析机载天线的电磁兼容问题.FDTD是直接对麦克斯韦方程差分而得到,是一种全波分析法,很好地反映了电磁波的传播情况,而且FDTD程序的通用性较好,对于不同的计算目标,只需做较小的改动,复杂目标的几何建模也比较容易实现.因此用这种方法分析机载天线电磁兼容是一个值得探索的问题.虽然FDTD作为数值方法在分析电尺寸很大的问题时会遇到困难,例如需要的计算机资源比较大,且对电尺寸很大的目标网格划分不能足够密,因此对精度有影响,等等.但FDTD方法在一定范围内仍不失为一种有效的方法.

1 分析方法简介

本文使用了3个关键技术:FDTD方法、最佳

匹配层(PML)边界条件和近远场转换.

1) FDTD

FDTD是用有限差分式代替时域麦克斯韦方程对时间和空间的微分而得到,为实现空间坐标的差分计算,计算空间划分为网格,电磁场各分量在网格上满足正交和铰链的关系.使用最多的是Yee网格,本文使用的也是这种网格^[2].

2) PML 边界条件

由于计算空间不可能无限大,这就需要在计算空间外加吸收边界条件,以模拟无限大空间.本文使用的边界条件是PML吸收边界条件^[3].

3) 近远场转换

用FDTD计算所得数据是机身附近场,而求天线方向图要用远场数据.近远场转换的方法大致分两类:频域法^{[4][5]}和时域法^{[4][6]}.本文使用了文献[6]中提出的时域近远场转换方法.

2 计算目标外形特点

机身外形如图1所示,炮舱的形状取自一种战斗机的机炮,略呈半圆柱型,长度大约1.4 m.

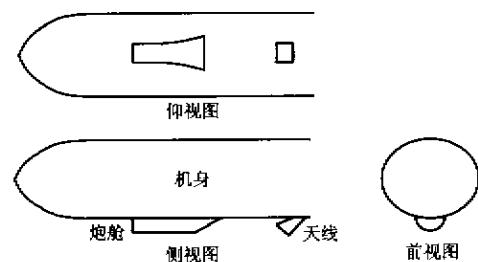


图1 机身外形三视图

喇叭天线与炮舱前端的距离可在 $9\lambda \sim 13\lambda$ 调节, λ 为波长, 与机腹距离(上下位置)也可有一定范围的变化. 分析频率为 1.69 GHz, 方向图的 -3 dB 点(图中 A 点)对应的波瓣宽为 60° , 喇叭天线口面与水平面夹角 60° , 最大辐射方向在水平面以下 30° 如图 2 所示.

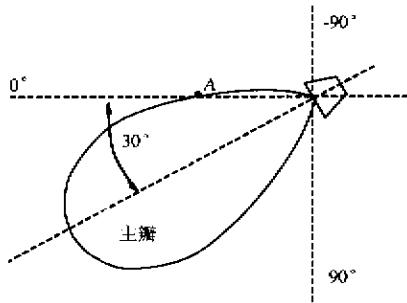


图 2 喇叭天线方向图(主瓣)

3 仿真结果及讨论

时域有限差分法中, 计算精度与网格大小是有关的, 一般情况下, 要求网格边长 $\Delta\delta < \lambda/10$. 本文中机身相对于 λ 来说电尺寸很大, 因此网格划分不能很密. 在保证一定精度的情况下, 选取网格 $\Delta x = \Delta y = \lambda/14.2$, $\Delta z = \lambda/16.4$, $\Delta t = \Delta z/\sqrt{3}/c$, c 是光速. 喇叭口面激励为 TE10 模, 调制高斯脉冲. 时域有限差分法的计算量和计算时间与网格数目是有关的, 按照现有的计算条件是无法计算整个机身对天线的影响的. 但由于天线的频率较高, 所关心的是机身对主瓣的影响, 所以影响天线辐射的主要是其附近的机壳, 特别是前向的炮舱, 这样在分析中所取的计算空间是包围了炮舱、天线及其附近机壳的足够大的区域.

按所取网格电尺寸, 从炮舱前端到天线约 11λ 左右. PML 边界条件对于垂直入射的电磁波吸收效果是很好的, 用 10 层网格时吸收率可达 60 dB 以上, 但入射角变大时边界反射增大, 当目标很大时, 反射波可能回到目标上, 为避免这种情况发生, 将飞机侧身与 PML 边界间的网格数增加到 50 个. 整个计算空间共有 $200 \times 120 \times 200$ 个网格, 接近立方型, 而不是狭长的形状. 计算机配置 K7-700 CPU, 256 M 内存, 计算时间为 1000 步, 需 7 h 左右.

机身的外形是按截面给出的, 特别是炮舱外形比较复杂, 用网格拟合是一件很困难的工作, 考虑到外形某些地方的设计主要是从空气动力学角度出发的, 对天线的影响并不大, 因此做这项工作时稍做了一些简化.

当天线距炮舱前端 2.08 m (约 11.7λ) 距机腹 15.16 cm 时, 方向图如图 3 中实线所示.

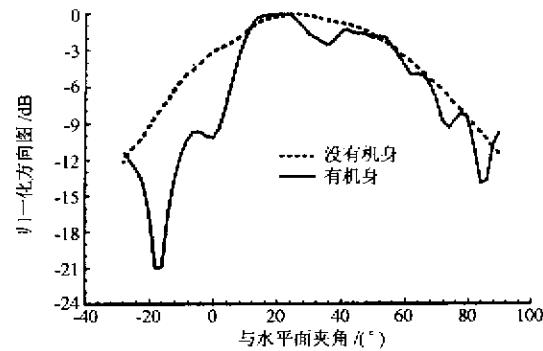


图 3 计算所得方向图

由图 3 可看出, 最大辐射方向(水平面以下 30°)的右侧在加炮舱外型后变得凹凸不平, 这是由于在这些方向上, 电磁波是由天线的辐射波与机身反射绕射波叠加而成, 由于两处波的相位不同, 有些方向上场值加强, 有些方向上场值减弱, 这与机身外形和天线位置有关. 叠加的结果对天线的波瓣宽度也造成了影响. 前面提到, 计算中所取的机身外形是截取了从炮舱到天线这一部分, 从外形边缘绕射和反射的波不能真实的反映实际情况, 所以偏离喇叭口面法向(30°)较大的角度上计算出来的数值会有较大误差, $0^\circ \sim 60^\circ$ 的数值是较准确的.

炮舱水平距离保持不变, 仍为 2.08 m (11.7λ), 进行多次计算, 得到几种情况的方向图, 其主瓣宽度、 -3 dB 点与水平面夹角如图 4 所示.

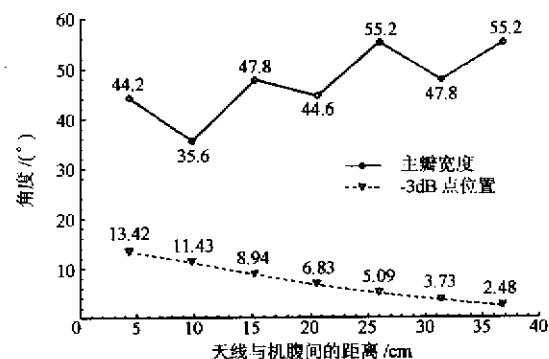


图 4 天线与炮舱前端相距 2.08 m

图 4 中, 上边的曲线表示天线机腹距离与主瓣宽度的关系, 下边曲线表示主瓣 -3 dB 点与水平面夹角的变化. 由图可以比较清楚地看出垂直方向位置变化对天线的影响: 增大天线与机腹距离, 主瓣 -3 dB 点逐渐向水平面(0°)靠近(即更接近于天线原始 -3 dB 波瓣点指向), 波瓣宽度略呈周期性, 有 $10^\circ \sim 20^\circ$ 的变化, 但总的的趋势是波瓣逐

渐变宽。这是因为随着天线远离机身，机身对天线的影响变小。从图中还可以看出，计算所得的几个主瓣宽度值按大小相间变化，这是由于前后两次计算中，天线与机腹间的距离变化了约 0.3λ ，这样从机身反射的波和从天线直接发出的波在相位上就差了 $0.5\lambda \sim 0.6\lambda$ ，于是出现这种周期性。

根据 -3 dB 主瓣宽度的变化规律，安装天线时可依照指标的要求选择一个合适的位置。

改变天线的前后位置（距机腹保持 15.16 cm ），进行多次计算，得到几种情况的方向图，其主瓣宽度、 -3 dB 点与水平面夹角见图5。

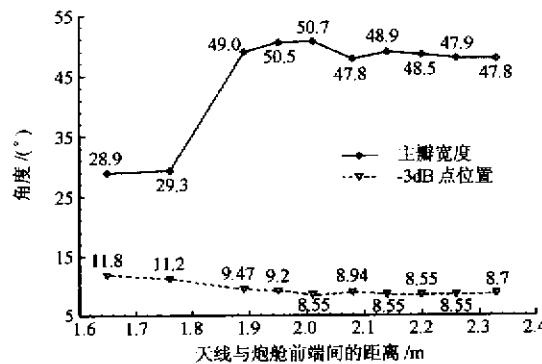


图5 天线与机腹相距 15.16 cm

可以看出天线距离炮舱前端大于 1.9 m (10.6λ)时，主瓣约 50° 左右。而在 1.7 m 左右，主瓣明显变窄，因为这时天线离炮舱太近，距炮舱后端只有 0.5 m (约 3λ)。在保持距机腹 15.16 cm 时， -3 dB 点与水平面夹角变化不大，特别是 2 m 以后基本上无变化。

4 结 论

本文尝试用时域有限差分法分析了机载天线电磁兼容问题，得出了机身(包括炮舱)与天线不同相对位置的情况下，对天线方向图主瓣影响的一些规律。时域有限差分法考虑了电磁波的全波效应，而且一次计算可得到多个频点的结果，对不同的机身外型和天线，只需在程序中做较小的改动即可，在需要大量分析计算的情况下更加方便。

致谢 在论文过程中得到吕善伟教授和李朝伟博士的热心指导，在此表示衷心感谢。

参 考 文 献

- [1] Safak M. Complete radiation pattern of a focus-fed offset paraboloidal reflector[J]. IEEE Trans on AP, 1985, 33(5): 566~570.
- [2] Sheen D M, Ali S M, Abouzahra M D, et al. Application of the three-dimensional finite-difference time-domain method to the analysis of planar microstrip circuits[J]. IEEE Trans on MTT, 1990, 38(7): 849~857.
- [3] Berenger J P. A perfectly matched layer for the absorption of electromagnetic waves[J]. Journal of Computational Physics, 1994, 114: 185~200.
- [4] 高本庆. 时域有限差分法[M]. 北京 国防工业出版社, 1995.
- [5] Tafove K A. A novel method to analyze electromagnetic scattering of complex objects[J]. IEEE Trans on EMC, 1982, 24(4): 397~405.
- [6] Luebbers R J, Kunz K S, Schneider. A finite-difference time-domain in near zone to far zone transformation[J]. IEEE Trans on AP, 1991, 39(4): 429~433.

Electromagnetic Compatibility Analysis of Plane Antennas

SU Dong-lin WANG Dong-fang

(Beijing University of Aeronautics and Astronautics, Dept. of Electronic Engineering)

WANG Ming-hao SUN Cong

(Aeronautic Technology Company of China, 601 Institute)

Abstract: On the assumption that a cabin and a horn antenna were under the bottom of an airplane, FDTD method was applied to analyze the antenna patterns which are generally affected by the body of the airplane. By adjusting the relative positions between the body and the antenna, some interesting results were obtained, which are suggested to be useful for a reasonable distribution of the plane-antennas.

Key words: electromagnetic interference; antennas; antenna directional patterns; aircraft antennas; finite difference time domain

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>