



机载任务系统天线收发隔离 数值仿真研究及实验验证

●方剑 杜建春 赵钦

(成都 610036·信息产业部电子第二十九研究所)

TN97 A

【摘要】使用几何绕射理论,提出数值仿真机载天线隔离值的方法,作为算例,给出了某机载设备任务系统中收发天线之间隔离值的计算结果,作为验证,同时给出了实际测试结果。两种结果的对比表明,仿真模拟结果与实际测试结果的吻合程序基本令人满意。

关键词 机载天线 收发隔离仿真 电磁兼容 几何绕射理论

0 引言

在机载设备天线任务系统的研制过程中,系统总体要求任务系统满足有关电磁兼容的指标要求,具体到天线分系统上,则对任务系统中发射和接收天线之间的隔离值有一定的技术指标要求。因飞机本身形状复杂,且空间有限,容易导致由于任务系统自身收发天线之间的相互耦合,对整个任务系统的指标和性能产生影响,严重的甚至能使任务系统不能正常工作^{[1][2]}。另外,由于飞机这类载体的特殊性,不允许在实验阶段对机身作过多的破坏性实验。因此,在装机之前,通过一定的实验验证之后,对任务系统收发天线之间的隔离情况进行仿真研究,从而为最后装机提供实验和仿真依据,是十分必要的。

1 机载天线收发隔离仿真计算原理

从电磁场的基本理论出发,计算机载收发天线之间的收发隔离,实际上可归结到求解一定的边界条件下的 Maxwell 方程,该边界条件是由飞机蒙皮形状和电特性,以及所研究发射天线的辐射特性或接收天线的特性所决定的^{[3][4]}。目前国内外对这一问题的研究方法主要有分析方法和数值方法以及二者相结合的混合方法等^{[3][5][6]}。由于对全部机载系统的分析建模困难,计算复杂,需要使用超级计算机来完成。为简化计算过程,工程上一般应用感应电动势的方法来计算安装在飞机机身上收发天线的互耦,再由互耦值得到收发隔离值。文献资料表明^{[3][5]},用这种方法进行估算是能够满足工程设计精度要求的。计算机载收发天线互耦的公式为

本文 2000 年 11 月 30 日收到

$$A = 20 \lg \frac{\lambda}{4\pi R} + G_T + G_R + 20 \lg \delta_1 + 20 \lg \delta_2 + 10 \lg B + 20 \lg C \quad (1)$$

式中: λ ——波长;

R ——两天线之间电磁传播的短程线;

G_T ——发射天线增益;

G_R ——接收天线增益;

δ_1 ——接收天线方向上的发射天线场方向图电平;

δ_2 ——发射天线方向上的接收天线场方向图电平;

B ——考虑两个天线极化匹配的系数;

C ——考虑配置天线位置表面屏蔽作用的系数。

计算出的 A 为负值,随着收发天线电磁传播的短程线距离 R 的增加, A 越小,表示互耦越小,即收发天线之间的空间隔离值越大。为与摸底实验得到的结果直接进行比较,这里收发隔离取为

$$I_s = A \quad (2)$$

在飞机上,天线一般安装在机身或机翼的端面上。两个天线之间电磁波的短程线不能简单地按直线距离进行计算,必须考虑机身绕射的影响,一般应用电磁场近似计算的数值方法来完成,如几何绕射理论(GTD)、矩量法(MoM)等。由于飞机相对于所研究的机载天线工作频段波长而言,属于大尺寸物体,在实际应用中更多的是采用几何绕射法和物理光学法(PO)来进行模拟计算。

这里,计算短程线的方法就是应用绕射理论,通过求解机身曲面表层的两点之间的最短距离来完成的。

为简化计算,通常将飞机的外形进行一定的近似^{[1][3][5]},即将机身形状近似为圆柱体,机头部分为圆锥体,机翼部分为有限大的平面,近似后的简化模型和坐标系如图1所示。这种近似的方便之处在于一方面可以基本模拟飞机机身的形状,另一方面是不论是圆锥体还是圆柱体,都是形状规则的旋转几何体,其表面是可以展开成平面的曲面,对进一步应用几何绕射理论计算短程线较容易^[7]。

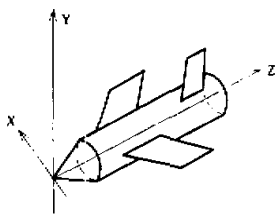


图1 简化的飞机模型

基于如图1所示的简化模型,可以将机载任务系统的收发天线之间的相对位置分为三种情况:(1)收发天线均在机身圆柱表面上;(2)收发天线均在机身圆柱表面外;(3)收发天线中,一个在机身圆柱表面上,一个在机身圆柱表面外。应用几何绕射理论可以得到上述三种情况下,收发天线之间电磁传播的短程线值。

2 几何绕射理论原理

几何光学只研究直射、反射和折射问题,不能解释绕射现象!当几何光学射线遇到任意一种表面不连续,例如边缘、尖顶,或者在向曲面掠入射时,按几何光学理论,阴影区的场应等于零,但实际上阴影区的场并不等于零。这是由绕射现象造成的,而几何光学却不

能解释这一现象。Keller 在 1951 年前后提出了一种近似计算高频电磁场的新方法。他把经典几何光学的概念加以推广,引入了一种绕射射线以消除几何光学阴影边界上的场的不连续性,并对阴影区的场进行适当的修正。Keller 的这一方法称为几何绕射理论(GTD)。绕射射线产生于物体表面上几何特性或电磁特性不连续之处,例如物体的边缘、尖顶和光滑凸曲面上与入射射线相切之点。

对于本文所研究的飞机机身情况,简化后的圆柱体可以认为是理想导电凸曲面,当射线向光滑的理想导电凸曲面掠入射时,它的场将分为两部分^[7]:一部分入射能量将按几何光学定律继续沿凸曲面的阴影边界照直前进,另一部分入射能量则沿着物体的表面传播而成为表面射线。表面射线在沿曲面传播时将不断沿曲面的切线方向发出绕射射线,如图 2 所示。由广义费马原理可知,对于在散射体阴影区的场点 P 而言,入射线和绕射线是分别和表面上的 Q_1 点和 Q_2 点相切的,而表面射线则是沿 Q_1 和 Q_2 两点的最短路程传播的。曲面上两点间的最短路程称为短程线。

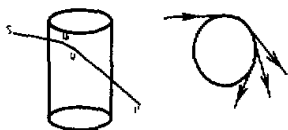


图 2 表面绕射射线

在实际计算收发天线之间电磁波传播的短程线时,根据图 2 所示, R 由下式确定,

$$R = SQ_1 + Q_1Q_2 + Q_2P \quad (3)$$

由(3)式,当收发天线均在圆柱体表面时, SQ_1 和 Q_2P 都等于零;当收发天线均在圆柱体表面外时, SQ_1 和 Q_2P 都不等于零;当收发天线一个在圆柱体表面外,一个在圆柱体表面上时, SQ_1 和 Q_2P 两变量一个等于零,另一个非零。

实际仿真模拟时,首先在图 1 所示的坐标系下,从收发天线的空间位置 S 和 P ,确定出切点 Q_1 和 Q_2 ,并计算出 SQ_1 和 Q_2P ;再根据几何绕射理论,推导出以收发天线的空间几何位置为变量的短程线 Q_1Q_2 的一般解析表达式,根据此表达式便可以由(1)式和(2)式仿真计算出任务系统任意两个机载收发天线之间的耦合及隔离值。

3 算例分析及与实验测试结果的比较

根据实际机载收发天线的频段和天线参数,我们模拟计算了 70~200 MHz、0.2~0.8 GHz、0.8~2 GHz、2~8 GHz 以及 8~18 GHz 等五个频段的收发天线之间隔离,计算中所采用的收发天线的空间几何位置由实际将要装机位置确定,天线指标参数选取了部分测试结果进行模拟。

对天线不同安装位置,机身表面的屏蔽作用影响的系数,即(1)式中参数 C 的计算方法为

$$C = 10^{-\frac{M}{20(\eta+1)}} \quad (4)$$

式中:

$$M = \alpha \cdot \Delta\phi^2 \cdot \sqrt{\frac{2\pi}{\lambda \cdot AB}}$$

$\Delta\phi$ ——绕射线在传播圆柱上的角度变量;

AB ——圆柱螺旋线长。

$$\eta = \begin{cases} 5.476 \times 10^{-3}, & \text{for } M < 26 \\ 3.340 \times 10^{-3}, & \text{for } M \geq 26 \end{cases}$$

$$\xi = \begin{cases} 0.5083, & \text{for } M < 26 \\ 0.5621, & \text{for } M \geq 26 \end{cases}$$

在进行仿真模拟计算的同时,我们根据实际载机情况进行了外场实际摸底测试,测试后对测试数据进行了计算机实时存储和处理,图3为计算机显示的一个测试结果。

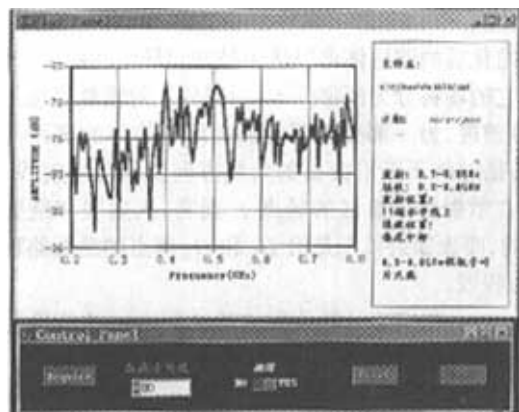


图3 测试结果显示

模拟结果如图4~8所示,各图中虚线为实际测试结果,实线给出对实际测试数据进行多项式平滑后的结果,星号线为数值仿真的计算结果。需要说明的是,实际测试结果不是在理想测试条件下得到,存在多径效应和地面反射等因素的影响,这与仿真模拟时所采用的理想条件是有区别的。比较两者所得到的结果,仿真模拟结果与实际测试结果是基本一致的。

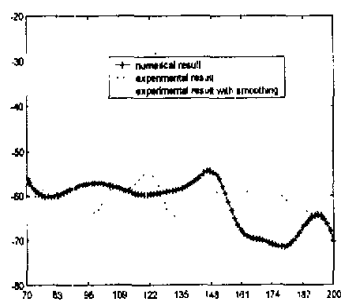


图4 70~200MHz 仿真和实测结果的比较

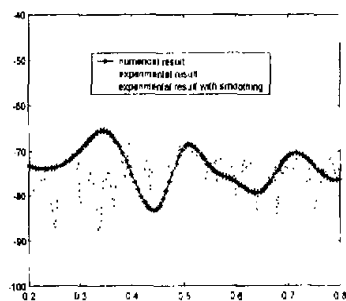


图5 0.2~0.8GHz 仿真和实测结果的比较

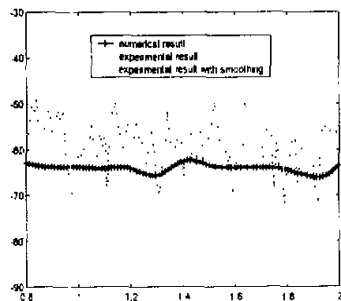


图6 0.8~2GHz 仿真和实测结果的比较

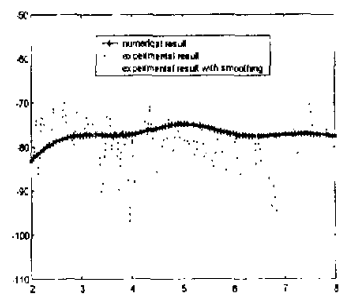


图7 2~8GHz 仿真和实测结果的比较



4 总结

本文所得到的基于几何绕射理论的仿真模拟机载天线系统收发隔离的结果,与实际测试结果基本一致,是一种较为实用的工程模拟方法。该研究方法还可以应用于其它类似飞机平台和大型电子战设备的研制,在方案论证前期提供较为准确的设计支撑,从而缩短研制周期。

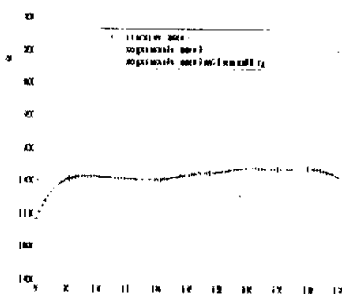


图8 8~18GHz 仿真和实测结果的比较

致谢

本文所引用的测试结果是由某型号课题组在外场进行了艰苦工作后得到的,课题组成员除本文作者外还有粟玉春、黄福清、罗旭、翟世刚四位同志,在此对课题组所有成员的工作表示感谢。感谢马升荣老师对作者在本文写作过程中的提出的宝贵意见。

参考文献

- 1 卢礼芬(编著). 环境电磁兼容控制基础. 兵器工业出版社, 1989
- 2 盛健骅, 柏传龙. 机载电子战系统加装工程中电磁兼容问题的研究与实践. 航天电子对抗, 1996; (1): 51-55
- 3 [苏] Ю. Г. 沙特拉柯夫等. 飞机天线系统. 航空工业部六〇一研究所, 1985
- 4 梁福生, 王广学(编著). 飞机天线工程手册. 中国民航出版社, 1997
- 5 蔡仁钢(主编). 电磁兼容原理、设计和预测技术. 北京航空航天大学出版社, 1997
- 6 D. B. walter. A Study of KC-135 Aircraft Antenna Patterns. IEEE Trans. On AP, 1975; 23(5): 309-316
- 7 汪茂光. 几何绕射理论. 西安电子科技大学出版社, 1994



EW 数字接收机取得重大技术突破 D

过去十年的“数字革命”结果出现了手机和功能更强的小型计算机之类的产品, 军用上也有同样的进展。现在, 电子战系统应用的宽带数字射频接收机也正在从数字技术的重大进展中得到实惠。

桑得斯公司最近有两项计划正在顺利进展之中, 这两项计划将使其使用数字接收机的电子战系统能为可能。一项是太空应用有关的先进系统与技术(AS&T)计划, 另一项是旨在降低 F-22 的 EW 系统造价的 F-22/JSF 计划。

具 F-22/JSF 计划主任吉姆·班哈特解释说: “虽然数字技术在多数电子系统中取得了惊人的进展, 但应用于电子战领域的射频接收机至今还在这道门槛外。没人能做出所需要的高取样速率的 A/D 转换器, 而且处理最终数据的门密度也不够。”

意欲开发电子战应用宽带数字接收机的大多数公司, 主要集中于研制定制的 A/D 转换器, 专用集成电路(ASIC)和多芯片模块。

不过 AS&T 计划小组在数字接收机的前期工作中起了不小的作用。据天线与接收机

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>