

机载天线间隔度仿真分析

Simulation Analysis of Isolation of the Aircraft Antenna

路雷 (中国电子科技集团第三十六研究所,浙江 嘉兴 314033)
Lu Lei (No.36 Research Institute of CETC, Zhejiang Jiaxing 314033)

摘要:利用一致性几何绕射理论仿真计算了机载天线间隔度,并通过与实测结果的比较,验证了该仿真方法工程适用性。对机载系统的天线布局优化以及电磁兼容性预设计具有一定的参考意义。

关键词:一致性几何绕射;机载天线;间隔度;电磁兼容

中国分类号:TN011 **文献标识码:**A **文章编号:**1003-0107(2008)06-0053-04

Abstract: This The uniform geometrical theory of diffraction (UTD) was employed to calculate the isolation of aircraft antennas. The method was proved to be practical by compared to test result. It is useful to forecast optimize the antenna position and the EMC design.

Key Words: UTD; Aircraft antenna; Isolation; EMC

CLC number: TN011 **Document code:**A **Article ID:**1003-0107(2008)06-0053-04

1 前言

在当代电子战飞机上,大量天线密布于尺寸有限的机体,少则十几部几十部,多则达到天线林立的程度。天线密集与机体尺寸有限并且使用时间和占用频段的相互重叠,造成了天线间相互耦合干扰问题越来越突出,对整个任务系统的指标和性能产生很大影响^{[1][2]},所以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必须满足有关的电磁兼容技术指标,具体到天线分系统上,则是对收发天线之间的隔离度有一定的技术指标要求^[1]。另外,由于飞机这类平台的特殊性,不允许在实验阶段做过多破坏性试验,因此,在装机之前对天线之间的隔离度情况进行仿真研究,为最后装机提供布局参考,是十分必要的。

2 隔离度仿真计算

2.1 隔离度数学模型

天线隔离度概念在电磁场理论上可以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形状和电特性以及收发天线的辐射特性所决定的。在实际操作中,系统建模复杂并且计算量比较大,难以在短时间内实现,为了简化计算,工程上一般将天线隔离度求解为载体存在时接收天线的接收功率和发射天线间直通功率的比值。

假设发射天线的有效接收面积(对线天线来说是有效接受高度)为 S_T ,极化方向 \hat{V}_T (圆极化可以分为两种线极化的叠加),发射天线等效点源处的电场强度为 E_T ,接收天线的有效面积为 S_R ,极化方向为 \hat{V}_R ,辐射功率为 P_R ,而二者都已等效为具有一定方向特性的点源,则当接收点场强密度等于发射点源处的场强密度时,接收天线全部有效面积接收时获得直通功率为 P_T ,即:

$$P_T = S_R \cdot E_T^2 / 2\eta_0 \quad (1)$$

式中 η_0 为空间波阻抗。

设接收天线等效点源处的实际电场强度为 E_R ,其在接

收天线极化方向上的投影为:

$$E_R^V = E_R \hat{a}_R \cdot \hat{V}_R \quad (2)$$

其中 \hat{a}_R 为电场强度方向的单位矢量,则实际接收功率为:

$$P_R = S_R \cdot E_R^V / 2\eta_0 \quad (3)$$

所以天线间隔度为:

$$(INS)_{dB}^A = 10 \lg \left(\frac{E_T^2}{E_R^V} \right) \text{ (dB)} \quad (4)$$

由上式可以看出,只要求得了在某个辐射场下的接收点场强,我们就可以确定收发天线间的隔离度,针对不同收发极化时求得的电场强度,可以获得不同极化时的相互隔离程度。由于飞机的形状复杂,计算中必须要考虑机体绕射、遮蔽等影响。又由于飞机属于尺寸远大于工作频段波长的电大尺寸物体,所以我们可以采用概念清晰、计算既快捷又准确的一致性几何绕射方法(UTD)来求解接收位置处的场强。

2.2 机体与天线的等效

为简化计算,机体和天线需要等效为 UTD 预测计算适宜处理的几何模型和电磁模型。对飞机机体而言,机身形状可近似为圆柱体,机头和机尾部分为圆锥体或者半椭球体,机翼部分为有限大的平面,图 1 所示为对某型国产电子战



图 1 机体几何建模(a)

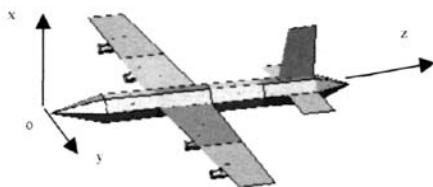


图 1 机体几何建模(b)

飞机平台以及简化后的模型。

对机载天线而言, 实际 UTD 计算时可以转化为点源的辐射, 这个点源具有实际天线的辐射方向图和能量关系, 位置位于实际天线的相位中心, 这种天线模型称为点源模型。对于应用越来越多的大口面相控阵天线来说, 由于其相对口面尺寸较大, 相对于机体来说, 点源等效自然会带来一定的误差。因此, 计算时我们一般修正这种普遍采用的点源模型, 而将构成天线的每一个单元等效为一个点源来考虑, 那么整个天线阵的散射场就是每个单元的散射场的矢量叠加, 这就是大口面阵列天线的叠加模型, 而每一个单元的理想方向图和馈电的相位、幅度分布则可以通过预处理来得到。即便是天线处于扫描的状态, 也需要通过改变预处理中的相位分布部分, 就可以很方便地得到扫描时飞机对天线阵的散射效应。

2.3 接收场的计算

机体和天线等效模型建好以后, 根据 UTD 理论和射线追踪法^[4], 我们可以得到任意等效点源模型的机载天线, 在经过机体散射及绕射后某点的场强:

$$\bar{E}^i = \bar{E}^{i'} + \bar{E}^{i''} + \bar{E}^{pd} + \bar{E}^{sr} + \bar{E}^{cr} + \bar{E}^{hp} \quad (5)$$

式中 \bar{E}^i 为直达场, $\bar{E}^{i'}$ 为平板反射场, \bar{E}^{pd} 为边缘绕射场(包括曲边缘绕射场), \bar{E}^{sr} 为曲面反射场, \bar{E}^{cr} 为曲面绕射场, \bar{E}^{hp} 为高次绕射场。具体各种场的求解过程可参考 UTD 理论, 本文在此不做详细讨论。

在各类射线寻迹及绕射场的计算中, 为方便大都采用各自的射线基坐标系, 另外在各坐标系之间还大量使用了坐标平移, 旋转等多种坐标系。若不统一坐标系, 会导致各类射线极化方向取向杂乱, 造成总场矢量叠加的困难。考虑到各分量场的极化转化和统一, 先将这些分量场在统一坐标系中进行分解, 然后再进行统一的矢量叠加, 选定飞机模型坐标系(x,y,z) 为统一坐标系, 那么接收点场强可写成矩阵形式即为:

$$\begin{bmatrix} E_x \\ E_y \\ E_z \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} E_x' \\ E_y' \\ E_z' \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} E_x'' \\ E_y'' \\ E_z'' \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} E_x^{pd} \\ E_y^{pd} \\ E_z^{pd} \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} E_x^{sr} \\ E_y^{sr} \\ E_z^{sr} \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} E_x^{cr} \\ E_y^{cr} \\ E_z^{cr} \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} E_x^{hp} \\ E_y^{hp} \\ E_z^{hp} \end{bmatrix} \quad (6)$$

对于叠加模型, 这样的一次计算只是一个单元的散射场, 实际天线总的散射效应是各个单元散射场的再次矢量叠加。具体编程计算的流程图如图 2 所示, 其中实线部分为点源模型流程, 叠加模型要加上虚框部分。

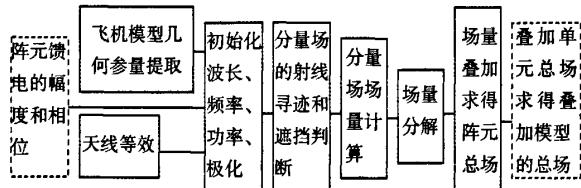


图 2 天线阵机体散射效应编程计算流程图

2.4 遮挡判断

在具体场量计算中, 由于飞机是由多种几何体组成, 空间伸展较大, 各类射线的遮挡比较复杂, 所以正确判断遮挡与否, 对场量计算的正确性有着决定意义, 为此定义遮挡因子:

$\delta = 1$, 无遮挡, 该射线场对总场有贡献

$\delta = 0$, 有遮挡, 该射线场对总场无贡献
这样, 总场等于各部分射线场之和:

$$E = \sum_{i=1}^n \delta_i E_i \quad (7)$$

其中:

i —各类射线的编号 (如直射、反射、绕射、高次绕射等);

n —飞机组件的总个数;

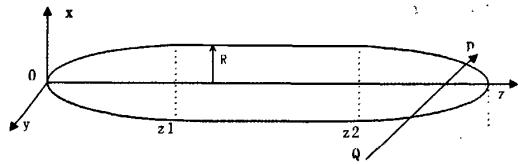


图 3 机身遮挡因子判断示意图

E —各类射线场, δ 该射线的遮挡因子。

1) 机身遮挡因子判断

如图 3 机身坐标方程

$$\begin{aligned} & \frac{X^2}{R^2} + \frac{Y^2}{R^2} = 1 - \frac{(Z-Z_1)^2}{Z_1^2} \quad 0 \leq Z < Z_L \\ F: & \begin{cases} X^2 + Y^2 = R^2 & Z_2 \leq Z \leq Z_3 \\ \frac{X^2}{R^2} + \frac{Y^2}{R^2} = 1 - \frac{(Z-Z_2)^2}{(Z_3-Z_2)^2} & Z_2 < Z < Z_3 \end{cases} \end{aligned} \quad (8)$$

PQ 为空间射线, Q 为出射点, P 为到达点。则射线方程:

$$\frac{x-Q_x}{P_x-Q_x} = \frac{y-Q_y}{P_y-Q_y} = \frac{z-Q_z}{P_z-Q_z} \quad (9)$$

将式(9)代入式(8)得

$$\begin{cases} a_{11}z^2 + b_{11}z + c_{11} = 0 \\ a_{22}z^2 + b_{22}z + c_{22} = 0 \\ a_{33}z^2 + b_{33}z + c_{33} = 0 \end{cases} \quad (10)$$

分别利用其判别式 Δ_{11} Δ_{22} Δ_{33} ，判断是否有解，若 Δ_{11} Δ_{22} Δ_{33} 中有一个不小于 0，则 PQ 线与机身有交点，即 PQ 线被机身遮挡，遮挡因子为 0，否则为 1。对发动机的遮挡因子判断，其方法与机身相同。

2) 平板遮挡因子判断

机翼、垂尾及螺旋桨都可等效为平板，以机翼平板遮挡因子判断为例，机翼平板如图 4，根据平板各点坐标可得平板法向矢量：

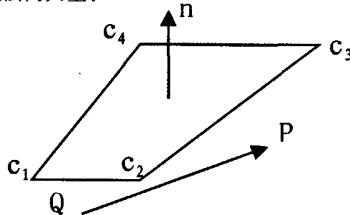


图 4 机翼平板遮挡判断示意图

$$\hat{n} = \text{归一化}(c_1 c_2 \times c_3 c_4) = n_x \hat{a}_x + n_y \hat{a}_y + n_z \hat{a}_z \quad (11)$$

平板方程：

$$n_x(x - c_1 x) + n_y(y - c_1 y) + n_z(z - c_1 z) = 0 \quad (12)$$

将式(11)代入式(12)，因式(12)实质上代表了无限大平板，只要 $\hat{n} \cdot QP \neq 0$ ，即可求得交点 $Q_i(x, y, z)$ 。再判断 Q_i 是否在平板区域内：写出 C_1C_2, C_3C_4 方程，判断 $Q_i(x, y, z)$ 是否在两线之间；同理写出 C_1C_4, C_2C_3 方程，再判断 $Q_i(x, y, z)$ 是否在两线之间，即可判别出 $Q_i(x, y, z)$ 是实遮挡点，还是虚遮挡点，从而确定平板遮挡因子。对尾平翼、垂尾及螺旋桨，解法同平翼，只是各边缘顶点坐标不同而已。

3 仿真结果与实测结果比较

根据实际机载收发天线的频段和参数，我们利用以上方法计算了飞机上几对收发天线之间的隔离度，其中收发天线的位置根据实际上装位置确定。在进行仿真实验的同时，我们也对该飞机上装各天线进行了实地摸底测试，并对

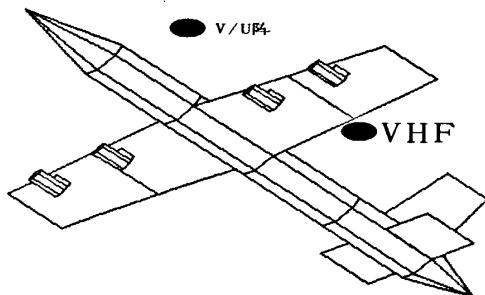


图 5 V/U 阵与 VHF 数据链天线在 225~450MHz 频段内的耦合度(a)

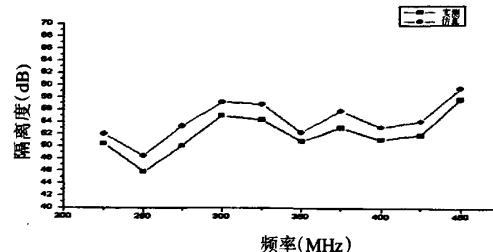


图 5 V/U 阵与 VHF 数据链天线在 225~450MHz 频段内的耦合度(b)

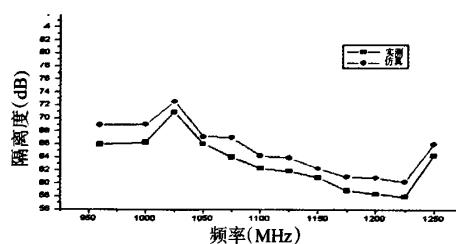
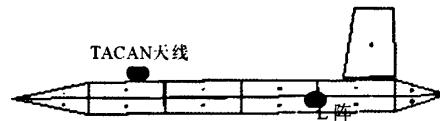


图 6 L 阵天线与 TACAN 天线在 960~1250MHz 频段内的耦合度测试数据进行了存储和处理。图 5 和图 6 给出了两对机上收发天线之间隔离度的实测与仿真结果对比。

由以上对比图可以看出，实测和仿真结果差距不大，结果基本一致，证明了仿真结果可信，仿真方法有效。需要说明的是，对比图上实测与仿真结果有略微的差距，主要是因为实测时飞机是在地面上，地面的反射作用对隔离度测试起到了一定影响，而仿真时并未考虑地面的反射作用。

4 结论

本文应用一致性几何绕射理论对机载天线系统收发隔离度进行了近似求解，经验证与实测结果基本一致，是一种实用的工程算法。在系统设计阶段它能为分析机载系统天线布局提供一些有价值的参考数据。另外，该方法对不同的机身外形和天线，只需在程序中做较小的改动即可，完全可以应用到其它类型的平台，是一种应用范围很广的计算方法。◆

参考文献

- [1] 陈穷. 电磁兼容性工程设计手册[M]. 北京：国防工业出版社，1996.
- [2] 卢礼芬. 环境电磁兼容控制基础[M]. 北京：兵器工业出版社，1989.
- [3] 梁福生，王广学. 飞机天线工程手册[M]. 北京：中国民航出版社，1997.
- [4] 汪茂生. 几何绕射理论[M]. 西安电子科技大学，1994.
- [5] Persson P, Josefsson L. Calculating the Mutual Coupling

电动汽车隔离型 DC/DC 辅助电源模块的可靠性设计

Dependability Design That the Electric Automobile Isolating Type DC/DC Assists
the Module of Power

黄会雄,袁力辉,王成(湖南商务职业技术学院,湖南 长沙 410205)

Huang Hui-xiong, Yuan Li-hui, Wang Cheng (Hunan Vocational College of Commerce, Hunan Changsha 410205)

摘要:提出一种新型的电压前馈补偿的准谐振、零电流开关 DC/DC 变换器电路设计方案,并对 DC/DC 辅助电源模块电路拓扑结构的进行论证和选择,运用电磁兼容性(EMC)设计方法,研制并开发电动汽车用隔离型 DC/DC 辅助电源模块。

关键词:DC/DC 变换;辅助电源;电磁兼容性

中图分类号: TN86 **文献标识号:**B **文章编号:**1003-0107(2008)06-0056-03

Summary: Resonance, a electric current switch DC/DC changer circuit design plan that what has been compensated allows that this text puts forward a new kind of voltage feedforwards, and assist the proving and choosing of topological structure

Keywords: DC/DC varies; Auxiliary power; Electromagnetic compatibility

CLC number: TN86 **Document code:**B **Article ID:**1003-0107(2008)06-0056-03

1 引言

电动汽车电源分为主电源和辅助电源。主电源为驱动汽车行驶的高压电源;辅助电源是为车载各种仪表,控制系统提供的直流低压电源。电动汽车电源模块是整个系统的稳定运行的保障。电源的可靠性对于整个系统的性能起着至关重要的作用。设计和选择电源时要考虑配电方案,布局,接地回路等,以实现对负载良好的供电,达到高电压调整精度,低噪音,同时避免系统中电路之间的干扰,振荡以及过热等问题的出现。DC/DC 模块电源具有高功率密度,重量轻,高效率,工作温度范围宽,输入电压范围宽,低干扰,低纹波,低噪声,能隔离电压等诸多优点,在整个系统中得到了应用。由于车体内部只提供不够稳定的 12V 的直流电源,故将 12V 作为本系统的输入电源。但系统电路设计中只需 5V 和 3.3V 供电电压,故需要进行电平转换。另一方面,为了防止 CAN 总线上的干扰影响了控制系统,在 CAN 模块和核心模块间加入了光电隔离电路,故 CAN 模块虽和核心模块供电电压均为 5V 供电,但二者不可共享电源,需单独供电。本系统以东风爱丽舍电动汽车为例,研制设计 DC/DC 辅助电源模块,并分别为 3 个电路模块供电,如图 1

所示。

传统的 DC/DC 电源模块,基本上采用线性模拟或电压脉宽调制技术,但是前者稳压范围窄、效率低下;后者的缺点是这类电源电压调整率和负载调整率低,动态响应慢,特别在轻负载时 DC/DC 转换效率和稳定性通常明显降低,因此不能满足电动汽车仪表对电源设计的严格要求。

基于以上的原因,本方案根据开关电源 DC/DC 转换器向高性能、高可靠性以及小型化、轻量化、高功率密度化发展的主要趋势,提出一种新型的电压前馈补偿的准谐振、零电流开关 DC/DC 变换器电路方案。该方案与软开关技术的谐振型转换器不同,软开关技术可使开关器件在零电压或零电流状态下通断,实现开关损耗为零,从而可将开关频率提高到兆赫级水平,具有低开关损耗、恒频控制、合适的储能元件尺寸、较宽的控制范围及负载范围等优点,但是此项技术主要应用于大、中功率开关电源,成本偏高,有性价比原则。而电压前馈补偿的准谐振变换器只能单向从电源到负载传输能量,效率较高并且具有固有的稳定性,在给定输入电压的条件下,每次谐振都传输相同的能量并且这些能量能够以不同的重复速率传输,因此可以改变传输到输出端的总功率。这些能量经 LC 输出滤波器平均与平滑后,通过二次稳压电路获得稳定的输出功率。当负载需要输出更大功率时,模块的重复速率将上升,以满足汽车发电机变载的需求,因此是一种更适合汽车仪表的电源设计方案,其基本设计思想和对策如下。

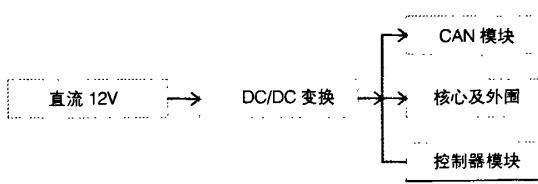


图 1 辅助电源 DC/DC 模块框图

between Apertures on a Coneex Circular Cylinder Using a Hybird UTD-MOM Method [J]. IEEE Trans on Antenna and Propagation, 2001;49(4):672-677.

[6] D.B walter. A study of KC-135 Aircraft Antenna Patterns [J]. IEEE Trans, on AP,1975;23(5):309-316.

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>