

复杂天线隔离度的工程预估技术研究

王萌 黄炳涛

(中船重工第七研究院，北京，100192)

wangm513@gmail.com

摘要：隔离度的计算是电磁兼容分析的难点，目前经典的计算电磁学算法仅适用于一些比较简单、电尺寸较小的模型，对于形式复杂的天线，尤其是阵列天线，难以分析；工程中的经验公式由于适用范围较窄，在没有遮挡物的情况下精度可以满足要求，但是有遮挡物时误差较大。为了满足隔离度计算的需要，本文提出了二者的结合方法，兼顾了两种方法的优点，具有一定的工程应用价值。

关键词：复杂天线；隔离度；预估技术

The Prediction of The Isolation Between Complex Antennas

Wang Meng Huang Bingtao

(The 7Th Research And Development Academy CSIC , BeiJing , 100192)

Abstract: The classical electromagnetic computation algorithms fit for the simple and electric small model, for the complex antennas, especially the array antennas, the computation of the isolation is still difficult. For the engine problems, some experienced formulas are useful only for the free space situation. To analyze the isolation between complex antennas, the author combine classic algorithm and experienced formulas. The example proved the validation of the new method presented in this paper.

Key words: Complex Antenna ; Isolation ; Prediction

1 引言

随着信息技术的发展，现代作战平台装备越来越多的电子设备，从而导致电磁兼容问题日益突出。因此，电磁兼容的仿真预测分析，尤其是天线间隔离度的分析，作为天线相互干扰的重要指标，一直是国内计算电磁学研究的重点。

目前国内计算电磁学的研究主要采用电磁学算法，例如矩量法、物理光学、一致性几何绕射理论等，这些经典的算法随着计算机技术和计算电磁学算法的发展，在电磁干扰仿真分析中应用越来越广泛。经典算法计算隔离度的基本思想就是通过计算天线端口的互阻抗，进而得到天线间的传输参数 S_{21} ，从而得出天线间的隔离度。

这样的计算方法具有较高的精度，然而对于某些形式较复杂的天线，尤其是阵列天线，往往难以归算为两个端口，并且互阻抗难以计算。因此，经典隔离度分析方法在工程应用中受到较大限制。在实际工程中，根据工程经验总结出一些隔离度的工程预估方法^[1]。经过多年工程实践证明，该方法简洁实用，并且精度完全可以满足工程预测的需要。然而。该方法仅适用于两天线距离较远，并且处于自由空间的情况，对于天线间有遮挡物的情况，该方法误差较

大。

为了克服上述两种方法的缺点，作者提出一种新的隔离度计算方法，基于经典算法并结合工程预估方法，在计算速度与精度间取得平衡。通过大量的工程实践表明，作者提出的方法非常具有工程应用价值，因此值得在工程中推广。

2 隔离度计算

2.1 隔离度经典计算方法

平台上收发天线如图1所示。根据微波网络理论，收发天线可以等效为两端口的微波网络（如图2所示）。

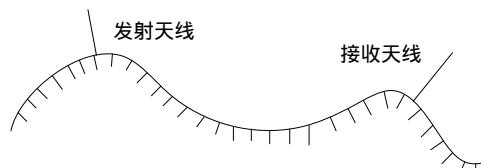


图 1 天线间隔离度



图 2 二端口 S 网络

不妨假设发射天线为端口1，接收天线为端口2，收发天线的等效网络为：

$$\begin{bmatrix} b_1 \\ b_2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} S_{11} & S_{12} \\ S_{21} & S_{22} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} a_1 \\ a_2 \end{bmatrix}$$

根据S参数矩阵的定义，可得：

$$S_{21} = \left. \frac{b_2}{a_1} \right|_{a_2=0}$$

因此， S_{21} 表示端口2匹配时，端口1到端口2的传输系数。

由此可得收发天线隔离度的经典定义公式：

$$I = 20 \log \frac{1}{|S_{21}|} \quad (1)$$

2.2 隔离度工程预估方法

在实际工程中，有些天线具有多个端口，难以等效为两个端口，并且互阻抗的计算也非常困难。因此对于自由空间中的两天线（如图3所示），工程中常采用下面公式预估收发天线的隔离度^[2]：

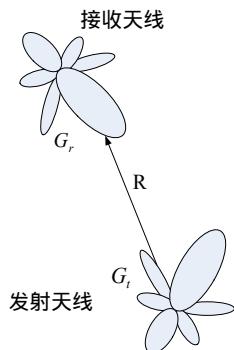


图3 自由空间收发天线

$$I \approx G_r G_t \left(\frac{\lambda}{4\pi R} \right)^2 \quad (2)$$

式中 I 是收发隔离度， G_r 为指向发射天线方向的接收天线的增益， G_t 为指向接收天线方向的发射天线的增益， R 为天线间的距离， λ 为工作波长。

多年的工程实践证明，自由空间两天线收发隔离度的工程预估方法不仅可以简单有效，而且估算结果精度完全可以满足工程的实际需要。

然而，该方法仅在天线处于自由空间或受环境影响较小的情况下有效，对于空间障碍物的遮挡、反射、绕射造成的干扰难以预测，因此其应用范围比较有限。

3 隔离度混合分析方法

本文提出基于经典算法的隔离度混合方法计算公式如下：

$$I \approx G_r G_t \left(\frac{\lambda}{4\pi} \right)^2 L \quad (3)$$

式中 I 是收发隔离度， G_r 为指向发射天线方向的接收天线的增益， G_t 为指向接收天线方向的发射天线的增益， L 为衰减因子。

衰减因子是隔离度计算的关键，电磁波的衰减包括空间路径衰减、障碍物遮挡衰减以及反射和绕射造成的衰减。UTD方法作为一种射线方法，非常适合进行反射、绕射场的计算。因此本文中采用UTD方法计算衰减因子，实际工程中，MOM、PO等方法同样适用于衰减因子的计算。

4 衰减因子 L 的UTD分析

几何光学(GO)是一种非常经典的电磁场近似计算方法，在几何光学理论的基础上，凯勒推广了经典的几何光学理论，系统地引入了绕射线，发展了几何绕射理论(GTD)。绕射射线的引入不仅改变了几何光学算法中阴影区场为0的尴尬，而且非常有效地改善了亮区场。

然而，在阴影区与亮区的过渡区，几何绕射理论方法却无法保证场的连续。为此，P.G.Kouyoumjian与P.H.Pathak等人对GTD算法做了修正，发展了“一致性几何绕射理论”[3]。一致性几何绕射理论(UTD)保证了亮区与过渡区的连续性，而在过渡区之外，则自动转化为GTD算法。UTD算法的求解公式虽然复杂，针对平板反射、平板边缘绕射、凸曲面反射与绕射，UTD算法的计算公式各不相同，但是其基本形式可以下式表示：

$$E^{d,r} = E^i \cdot M \cdot A(s) \cdot e^{-jks} \quad (4)$$

式中 $E^{d,r}$ 表示反射场或者绕射场 (d表示绕射，r表示反射)； E^i 表示入射场； M 表示反射系数或者绕射系数，如果是直射射线，则 $M = 1$ ； $A(s)$ 表示扩散因子，其中 s 表示出射线长度。

直射场、反射场、绕射场的和为接收天线接收到的总散射场 E^s 。因此，衰减因子可通过下式计算：

$$L = \left(\frac{|E^s|}{|E^i|} \right)^2 \quad (5)$$

因此，隔离度的计算公式如下：

$$I = \left(\frac{\lambda}{4\pi} \right)^2 G_r G_t \cdot \frac{|E^s|^2}{|E^i|^2} \quad (6)$$

公式(6)即本文提出的基于经典算法的隔离度预估公式。其中， λ 为工作波长， G_r 为指向发射天线方向的接收天线的增益， G_t 为指向接收天线方向的发射

天线的增益， E^i 表示入射场， E^s 是总散射场。需要指出的是，本文采用UTD方法计算衰减因子，但是公式(6)中入射场和散射场同样可以由其它算法得出。

5 算例

以对数周期天线与对称阵子为例，证明本文隔离度计算方法的有效性。天线模型如图4所示，天线下方放置一 10×15 的PEC板，平板采用UTD进行分析，两天线在150MHz ~ 190MHz间扫频，以本文方法与FEKO矩量法计算隔离度的结果进行对比。以HP DX2310型计算机进行计算，FEKO矩量法需要19分钟23秒，本文方法耗时不到一秒钟。计算结果对比如图5所示。



图4 平板上方一个对数周期天线和一个对称阵子天线

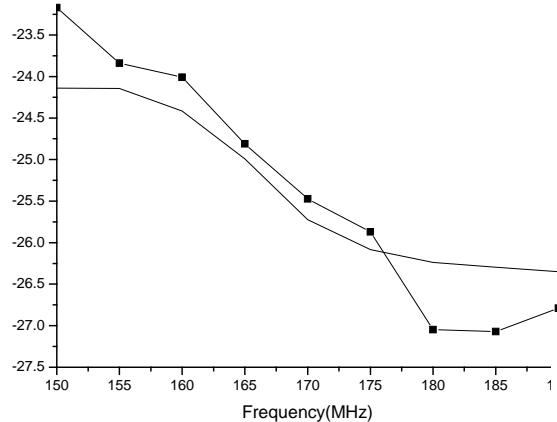


图5 Feko 矩量法计算结果与本文计算结果对比

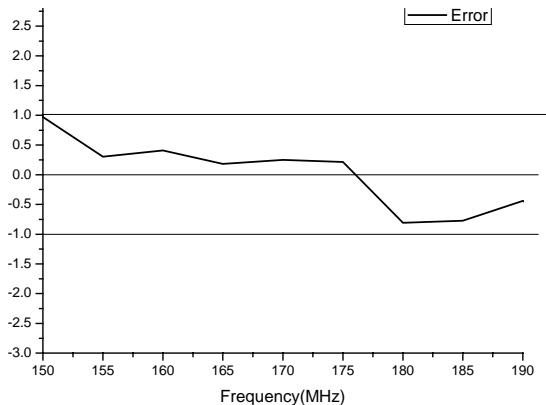


图6 Feko 矩量法计算结果与本文计算结果的误差对比

通过图6可以看出，本文方法与FEKO矩量法计算结果误差控制在1dB以内，FEKO算法精度较高，然而本文方法的计算时间远远少于FEKO算法，在精度与速度间取得了平衡。

7 结论

根据长时间的工程实践经验，作者提出一种天线间隔离度的预估方法。该方法基于隔离度经验公式，并通过修正衰减因子，大大改善了估算值的精度。

不过，需要指出的是，由于经验公式在理论上是不严格的，因此本文方法的精度同样无法保证，这也是作者下一步研究的方向。然而，幸运的是，对于大多数工程问题，虽然计算精度有一定的误差，但是仍然能够满足工程研究的需要，并且，本文方法的精度要比经验公式要好，因此，本文提出的方法有一定的工程推广价值。

参考文献

- [1] 唐永年. 舰船自身的空间电磁兼容措施 [J]. 电磁兼容性技术. 2006,4: pp39-44.
- [2] 王萌. 海洋环境对舰艇编队电磁兼容仿真预测的影响分析. 水面舰艇电磁兼容技术研讨会论文集[J].P209 ~ 214.
- [3] Pathak P H, Wang M N. Ray Analysis of Mutual Coupling Between Antennas on a Convex Surface [J]. IEEE Trans on AP,1981, 29 (6) : 9112922.

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>