

表面波对收发天线隔离度的影响及其解决方法

杨 桦

(中国空空导弹研究院, 河南 洛阳 471009)

摘要: 表面波引起的收发天线耦合是影响天线接收性能的重要因素。天线表面覆盖天线罩后, 耦合信号能量明显增强, 通过分析天线罩对表面波的激励作用, 找到敏感参数, 进而提出了降低耦合的方法, 并通过仿真和实测验证。

关键词: 表面波; 收发天线耦合; 隔离度

中图分类号: TN821 **文献标识码:** A **文章编号:** 1673-5048(2011)01-0043-03

The Influence of Surface Wave on Transceiver Antenna Isolation Degree and the Solving Method

YANG Hua

(China Airborne Missile Academy, Luoyang 471009, China)

Abstract: The transceiver antenna coupling caused by surface wave is a reason which influences the characteristic of receiver. The strength of coupling signal increases after the antenna is covered by radome. By analyzing the incentive role of radome on surface wave, the sensitive parameters and the way to restrain the coupling are discussed, then the way is proved by simulation and experiments.

Key words: surface wave; transceiver antenna coupling; isolation degree

0 引言

收发天线间的耦合是影响雷达系统性能的重要因素, 当收发天线距离较近时, 耦合能量可能比有用信号能量大得多, 直接影响雷达系统对信号的识别与接收。

耦合的强弱一般用隔离度表示, 其定义为发射天线输出功率与未经空间目标反射而直接进入接收天线的功率之比。

对于收发分离放置于相连介质表面的天线, 表面波为天线间能量直接耦合的重要原因: 介质会引导发射天线的辐射能量以表面波的形式进入接收天线。因此, 抑制表面波能有效提高收发天线间的隔离度。

收稿日期: 2010-05-13

作者简介: 杨桦(1981-), 男, 河南洛阳人, 硕士研究生, 研究方向是天线与射频技术。

1 表面波机理分析

1.1 表面波模式

两种媒质的交界面、敷有介质层的导体平面和柱体, 以及分层平面和柱体等, 都能够引导一种能量沿介质交界面流动的波型, 波的能量沿结构表面流动, 其场强随离开表面的距离呈指数衰减, 但在沿表面流动方向衰减很小, 因而称为表面波。表面波可分为 TM 和 TE 两种模式, 两种模式的波在介质交界面传播的截止频率满足^[1]:

$$f_c = \frac{nc}{2d \sqrt{\epsilon_r - 1}} \quad n = 0, 1, 2, \dots \quad (\text{TM}) \quad (1)$$

$$f_c = \frac{(2n+1)c}{4d \sqrt{\epsilon_r - 1}} \quad n = 0, 1, 2, \dots \quad (\text{TE}) \quad (2)$$

其中: c 是真空中的光速; ϵ_r 是介质的相对介电常数; d 是介质厚度。除 TM_0 模式的截止频率为 0 外, 其他各模式, 介质的介电常数越高、厚度越

薄，则能激励起的表面波模式越多、截止频率越低。

1.2 天线罩对表面波的激励作用

为保护天线，通常在天线外加装天线罩。常用的天线罩材料有玻璃纤维、环氧树脂、石英等，它们都具有较高的介电常数，容易激发表面波。对于收发分离工作同时进行的天线，若覆盖天线罩并放置于相连的结构表面，则激发的表面波能量会引起收发天线间的耦合，影响接收性能。

为进一步分析天线罩对表面波的激励作用，建立如图 1 所示模型。天线上面覆盖厚度为 d 的天线罩，安装面近似为无限大金属平板。

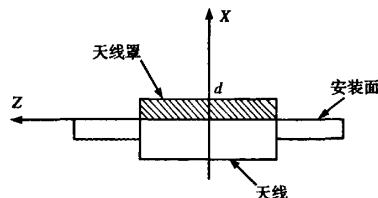


图 1 天线、天线罩模型

根据公式(1)~(2)计算，此时表面波为 TM_0 模式，在天线罩外，其磁场在 X 方向的形式为^[2-3]：

$$H_x = A \exp(jh_1 x - j\beta z) \quad x > d \quad (3)$$

在天线罩内，磁场在 X 方向的形式为

$$H_x = [B \exp(-jh_2 x) + C \exp(jh_2 x)] \exp(-j\beta z) \quad 0 < x < d \quad (4)$$

其中： h_1, h_2 为 X 方向传播常数； A, B, C 为波幅。对于金属导体，归一化表面阻抗为

$$Z_s = (1 + j) \sqrt{\frac{k_0}{2\sigma Z_0}} \quad (5)$$

其中： k_0 为波数； σ 为金属电导率； Z_0 为自由空间波阻抗。于是，在无天线罩覆盖时， h_1 可表示为

$$h_1 = k_0 (1 + j) \sqrt{\frac{k_0}{2\sigma Z_0}} \quad (6)$$

加上天线罩后， h_1 表达式变为

$$h_1' = k_0 \left[\sqrt{\frac{k_0}{2\sigma Z_0}} + j \left(\frac{\epsilon_r - 1}{\epsilon_r} k_0 d + \sqrt{\frac{k_0}{2\sigma Z_0}} \right) \right] \quad (7)$$

公式(6)~(7)虚部的意义为电磁波在 X 方向传播的衰减速度。比较发现，公式(7)多出一项

$\frac{\epsilon_r - 1}{\epsilon_r} k_0 d$ ，这一项是加天线罩后引入的，并且该项

随介电常数 ϵ_r 和天线罩厚度 d 的增大而增大。这说明加上天线罩后，表面波能量在 X 方向上的衰减加快，或者说大部分表面波能量被束缚在天线

表面附近。

2 表面波对收发隔离的影响

2.1 收发天线隔离度测试

将一种收发分离的雷达天线安置于弧形金属面上，天线口径所在平面正交，一根用于发射，另一根用于接收，图 2 为天线布置示意图。选取 16 对天线测试隔离度，测试分有天线罩和无天线罩两种状态，天线罩材料为玻璃纤维。图 3 为 16 组天线在两种状态下测量数据的比较曲线，无罩状态的隔离度明显大于有罩状态，加上天线罩后，隔离度下降 17 dB 左右。其隔离度数据平均值见表 1。

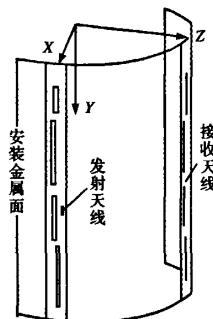


图 2 天线布置示意图

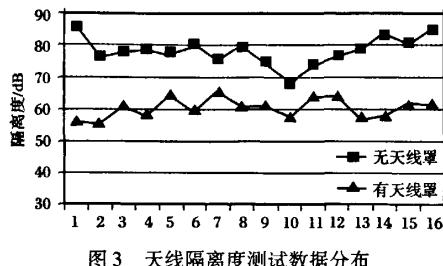


表 1 收发天线隔离度测试数据表

	无天线罩	有天线罩
隔离度/dB	78	61

测试结果表明，天线罩是导致隔离度下降的直接原因，这说明天线罩激励起表面波，并将其束缚在天线表面，能量进入接收天线，造成了隔离度的下降。

2.2 表面波能量分布仿真

表面波又叫爬行波 (creeping wave)，形象地说明了表面波能量沿介质表面流动的方式。对于 2.1 节所测天线，在收发天线间的介质上必然分布着由表面波贡献的电磁流。因此，通过仿真收发天线间导体面上电磁流的分布，可以较直观地反映在

有(无)天线罩时表面波的强弱变化, 建立起表面波与隔离度之间的联系。建立模型并仿真, 如图 4 所示。

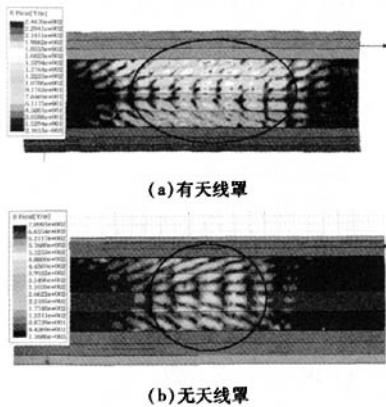


图 4 收发天线间电流分布仿真图

图 4 中, 白色区域为表面电流分布较强的区域, 其亮度越高, 表明表面电流强度越大, 亦即表面波越强。

在图 4(a)中, 天线罩紧贴天线放置, 电流强度高, 分布广; 在图 4(b)中, 将天线罩去掉, 电流强度明显降低, 分布区域明显变小。对应图 3 的隔离度分布数据, 可知有天线罩时, 表面波强, 隔离度低; 无天线罩时, 表面波弱, 隔离度高。因此, 天线罩起到了激励表面波的作用, 表面波是影响隔离度的重要因素。

3 表面波的抑制方法

根据前述可知, 天线罩厚度 d 越厚、介电常数 ϵ_r 越大, 则能激励起的表面波模式越多, 相应的天线互耦也就越强, 这两个参数是表面波敏感参数, 因此, 可以通过减小厚度和介电常数来抑制表面波。

由公式(2)可知, TE 模式的最低次波型满足:

$$d = \frac{c}{4f_c \sqrt{\epsilon_r - 1}} \quad (8)$$

该式表明, 当天线罩的介电常数确定后, 可以通过选择适当的天线罩厚度, 使激发的表面波模式最少。

仍采用图 2 所示天线, 但采用低介电常数的材料制作天线罩, 并适当减小其厚度, 仿真天线表面电流分布并重新测量隔离度, 结果如图 5~6 所示。

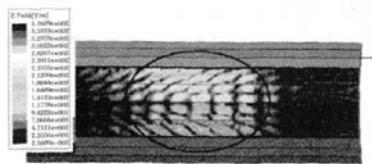


图 5 收发天线间电流分布(低介电常数天线罩)

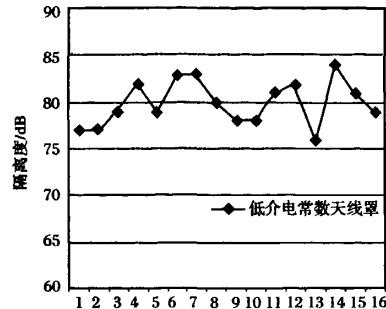


图 6 低介电常数天线罩下隔离度测试数据

比较图 4 和图 5 可知, 通过改进, 收发天线间介质表面电流强度介于有天线罩和无天线罩之间, 表明天线罩对表面波的激励作用依然存在, 但是通过调整敏感参数, 可以使其能量降低。由图 6 可知, 收发天线间的隔离度提高到 75 dB 以上, 说明通过调整, 达到了抑制表面波, 改善收发天线隔离度的目的。

测试改进后的天线系统方向图, 其最大辐射方向增益、主瓣倾角、主瓣宽度等参数均在原指标范围内, 满足使用要求。

4 结 论

讨论了天线罩对表面波的激励作用, 提出了降低收发耦合, 提高隔离度的方法。天线罩厚度和材料的介电常数为激励表面波的敏感参数, 通过调整这两个参数, 可以有效抑制天线罩对表面波的激励, 提高天线隔离度, 并且不影响天线辐射性能, 方法通过实测得到验证。

参考文献:

- [1] Collin R E. 导波场论 [M]. 何庆元, 译. 上海: 上海科学技术出版社, 1966.
- [2] 林昌禄. 天线工程手册 [M]. 北京: 电子工业出版社, 2002.
- [3] Kraus J D, Marhefka R J. 天线 [M]. 章文勋, 译. 北京: 电子工业出版社, 2004.

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>