

复合材料垂尾隐蔽式短波天线研究

刘娜，韦高

(西北工业大学电子信息学院，陕西 西安 710072)

[摘要]为研究复合材料垂尾对机载短波天线输入阻抗和辐射特性的影响，分析了不同机载隐蔽式短波天线的结构和性能，提出了一种基于复合材料垂尾的新型回线天线结构，并利用基于时域有限差分法的仿真软件XFDTD对这种位于机垂尾前缘的隐蔽式回线天线和传统的机载套筒天线分别进行了建模和仿真。根据仿真结果分析并总结出了复合材料垂尾对这两种机载短波天线输入阻抗和辐射特性的影响情况。通过与传统回线天线的比较，验证了新型回线天线的可行性和优势。仿真结果对实际机载短波天线的研究和设计有一定的参考价值。

[关键词]复合材料；短波天线；阻抗图；辐射图

[中图分类号] TN82 [文献标识码] A [文章编号] 1009-8054(2010) 05-0047-03

Study on Concealed Short Wave Antenna in Composite Vertical Stabilizer

LIU Na, WEI Gao

(School of Electronics and Information, Northwest Polytechnical University, Xi'an Shaanxi 710072, China)

[Abstract] To study the effect of composite materials on the input impedance and radiation characteristics of the airborne short-wave antennas, the structure and properties of short-wave antenna are analyzed, and a type of loop antenna based on vertical stabilizer is proposed, airborne short-wave loop antenna and sleeve antenna are modeled and simulated by using XFDTD. The effect of composite materials on the input impedance and radiation characteristics of the above two antennas are summarized. Feasibility and advantages of the proposed loop antenna are verified and compared to those of the traditional one. The simulation result is of certain reference value to the research and design of actual airborne short wave antenna.

[Keywords] composite materials; short-wave antenna; impedance diagram; radiation pattern

0 引言

随着科学技术的发展和制造工艺的提高，复合材料由于其高比强度、高比刚度、可进行材料及结构设计和抗疲劳性能等众多优点，在航天、航空和其他领域应用日益广泛^[1]。相对金属而言，复合材料不仅具有提高结构整体性的优越条件，而且可有效地降低飞机结构质量，改善气动性，提高飞机的综合性能。复合材料在飞机制造上的大量应用，使得传统金属垂尾处的隐蔽式短波天线的设计原理与方法已不再适用于复合材料垂尾。因此，研究复合材料垂尾隐蔽式短波天线的特性成为必要，并对实际机载短波天线的研究和设计有一定的参考价值。

1 隐蔽式短波天线

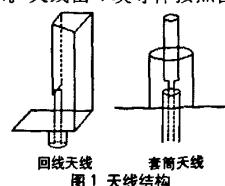
短波通信是利用电离层的反射达到远距离信息传输^[2]。早

收稿日期：2009-11-23

作者简介：刘娜，1984年生，女，硕士研究生，研究方向：机载短波天线；韦高，1963年生，男，教授，博士生导师，研究方向：电磁场与微波技术、天线和电磁特性等方面的教学及科研工作。

期国产大型飞机的短波天线基本采用由飞机的垂尾拉到机头的一根或多根钢索组成。钢索天线简单、效率高，可以较好地满足系统的要求，但由于其易结冰，外部突出物多，对飞机整体外观和气动影响很大。隐蔽式天线可以克服钢索天线带来的弊端，同时满足飞机远距离通信，提高飞机的整体形象。

隐蔽式天线的主要形式有：位于飞机垂尾前缘的套筒天线或缺口天线；位于飞机垂尾上的尾帽天线；位于飞机尾翼前缘或背鳍上缘的回线天线等^[3-4]。其中回线天线和套筒天线以其各自的优点得到广泛的应用。回线天线损耗相对较小，效率相对较高，而且不影响处于垂尾前缘的防冰气囊，因此应用广泛。传统的机载回线天线是在导体垂尾上开槽填充介质，同轴线进行馈电。当垂尾由导体变为复合材料后，上述回线天线结构已不再适用，于是文中提出一种基于复合材料垂尾的回线天线，相应的天线结构如图1所示。天线由4块导体按照图1结构拼接而成。同轴线内导体与图示左立面导体相连，外导体与右立面导体相连接，左右立面导体间产生横向电场，相当于一个竖直方向的等效磁



流，向外辐射能量。同时，为了适应垂尾曲线结构，回线天线顶端横截面设计为梯形。套筒天线（如图 1 所示）是在单极子辐射体外面加上一个与之同轴的金属套筒，从而实现不对称馈电，展宽了阻抗带宽，因其宽频带特性已经被广泛应用于现代通信及遥感系统中^[3]。在实际应用中套筒天线作为一种机载天线已经显现出它特有的结构简单、重量相对较轻、方向图稳定等优点。

文中就以这两种天线为例，通过软件仿真总结出复合材料垂尾处短波天线的输入阻抗和辐射特性，研究和分析复合材料垂尾对天线性能的影响。

2 仿真结果及分析

文中的仿真采用基于时域有限差分法的软件 XFDTD。时域有限差分法(FDTD)^[6]是电磁场的一种时域计算方法，FDTD 法直接求解依赖时间变量的麦克斯韦旋度方程，利用二阶精度的中心差分近似把旋度方程中的微分算法直接转换为差分形式，这样达到在一定体积内和一段时间上对连续电磁场的数据取样压缩。电场和磁场分量在空间被交叉放置，这样保证在介质边界处切向场分量的连续条件自然得到满足，其最显著的优点就是通过一次时域分析计算，借助傅氏变换可以得到整个通带范围内的频率响应，缩短了计算时间，提高了计算效率。

以下仿真计算中的复合材料以玻璃钢为例（介电常数 4.5），垂尾壁厚为 10 mm。因短波天线工作频段为 2~30 MHz，故选择 5 MHz、30 MHz 两个工作频率进行仿真并对结果进行分析。

2.1 垂尾回线天线

文中设计的回线天线位于复合材料垂尾前缘，结构如图 2 所示，其中回线高度为 2 m，左右立面导体间隔 300 mm。根据图 2 结构和上述参数，利用 XFDTD 软件建模、网格剖分和计算，得到的结果如图 3 和图 4 所示。

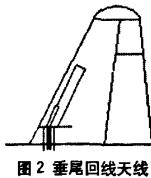


图 2 垂尾回线天线

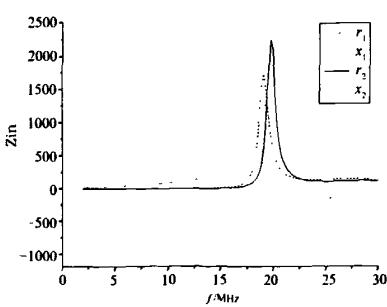
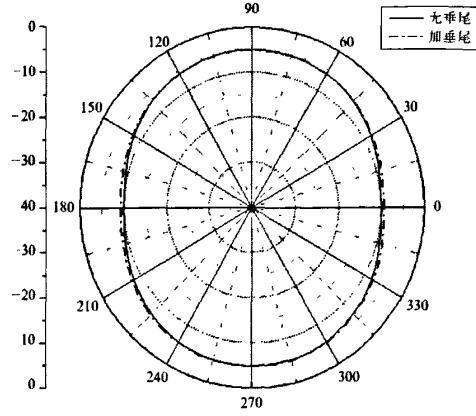


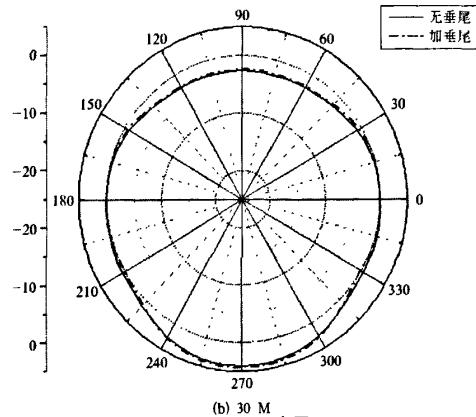
图 3 垂尾回线天线输入阻抗

由图 3 可以看出：复合材料垂尾的存在对回线天线输入阻抗曲线谐振点和幅度影响很小。文中提出的复合材料垂尾回线天线在低于 20 MHz 的频段呈感性，在高于 20 MHz 的频段呈现为

容性，与文献 [3] 中传统导体垂尾回线天线（谐振点 19.5 M）相比，该复合材料垂尾回线天线谐振点后移，低频段呈现感性的范围变大，高频段呈现容性的范围变小，这将利于阻抗匹配。由图 4 可以看出：与不加垂尾时结果比较，加垂尾后水平面变化不大于 0.5 dB，且产生全向辐射，满足机载短波天线的辐射要求。其中， r_1, x_1 为不加垂尾时输入阻抗的实部和虚部， r_2, x_2 为加垂尾时输入阻抗的实部和虚部。



(a) 5 M



(b) 30 M

2.2 垂尾套筒天线

复合材料垂尾处套筒天线的结构和回线天线类似，套筒和

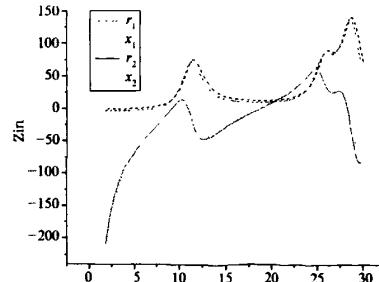


图 5 垂尾套筒天线输入阻抗

单极子半径分别为 235 mm 和 75 mm, 天线总高度 1.85 m。利用 XFDTD 软件建模、剖分和计算, 套筒天线的仿真结果如图 5 和图 6 所示。其中, r_1, x_1 为不加垂尾时输入阻抗的实部和虚部, r_2, x_2 为加垂尾时输入阻抗的实部和虚部。

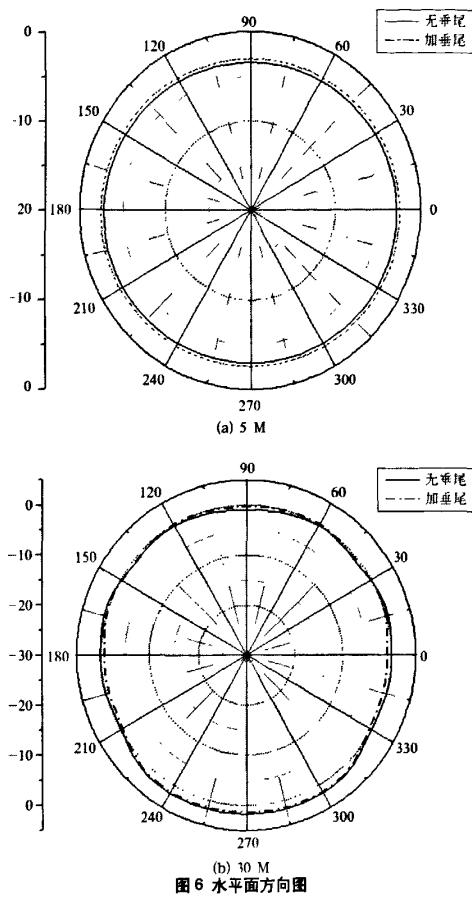


图 6 水平面方向图

如图 5 所示, 阻抗曲线在频带内变化较为平缓, 表明套筒天线具有良好的宽频带特性。同时, 复合材料垂尾对天线阻抗曲线的影响很小。

由图 6 可以看出: 加垂尾后水平面辐射图变化大于 0.5 dB, 且辐射图全向, 满足机载短波天线的辐射要求。

3 结语

文中利用 XFDTD 软件对复合材料垂尾前缘的两种隐蔽式短波天线进行了分析和研究, 得出了相应的阻抗图和辐射图, 总结了复合材料垂尾对天线特性的影响。通过与传统回线天线的比较, 验证了文中提出的新型回线天线的可行性和优势。仿真结果对实际机载短波天线的研究和设计有着一定的参考价值。

参考文献

- [1] 赵稼祥. 碳纤维复合材料在民用航空上的应用 [J]. 高科技纤维与应用, 2003, 28(03): 01-04.
- [2] 张蕴玉, 张华, 胡修林, 等. 软件无线电在自适应短波通信发射机中的应用 [J]. 通信技术, 2003(09): 29-31.
- [3] 郭陈江, 丁君, 许家栋, 等. 机载隐蔽式短波天线研究 [J]. 微波学报, 2004, 20(03): 66-68.
- [4] Rudge A W. The Handbook of Antenna Design[M]. [s.l.]: Peter Peregrinus Ltd., 1983.
- [5] 王元坤, 李玉权. 线天线的宽频带技术 [M]. 西安: 西安电子科技大学出版社, 1995.
- [6] 葛德彪, 闫玉波. 电磁波时域有限差分方法 [M]. 西安: 西安电子科技大学出版社, 2002. QS

名词释义

◆ P4P(Proactive Network Provider Participation for P2P): P4P 技术是 P2P 技术的升级版, 意在加强服务供应商 (ISP) 与客户端程序的通信, 降低骨干网络传输压力和运营成本, 并提高改良的 P2P 文件传输的性能。与 P2P 随机挑选 Peer(对等机) 不同, P4P 协议可以协调网络拓扑数据, 能够有效选择 Peer, 从而提高网络路由效率。

◆ 统一威胁管理 UTM(Unified Threat Management): 统一威胁管理 (UTM) 安全设备是指由硬件、软件和网络技术组成的具有专门用途的设备, 它主要提供一项或多项安全功能, 它将多种安全特性集成于一个硬设备里, 构成一个标准的统一管理平台。

◆ 社会工程 (Social Engineering): 社会工程是指综合利用社会科学 (尤其是心理学和语言学) 和人性弱点 (如心理弱点、本能反应、好奇心、信任、贪婪等), 获得个人敏感信息的方法。信息安全领域中的社会工程是指不法分子利用非计算机的手段 (例如人际关系、欺骗、欺诈、威胁或恐吓, 甚至物理上的盗窃等) 获取敏感信息的犯罪活动。近年来, 社会工程呈迅速上升甚至滥用的趋势。不法分子往往基于一些表面上看起来没什么价值的信息, 如名字、电话号码、工作证号等, 对受害者进行渗透, 从而获得受害者的敏感信息。常见的社会工程方法包括: 网络钓鱼、电话钓鱼、短信钓鱼等。“人肉搜索”也可以视为社会工程的一个实例。

(来源: 信息安全协调司, <http://www.miit.gov.cn/n11293472/n11295344/n11297007/12372630.html>)

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>