

# 低雷达截面的超宽带扇形天线

姜 文, 龚书喜, 洪 涛, 王 兴

(西安电子科技大学天线与微波技术重点实验室, 陕西西安 710071)

**摘 要:** 本文研制了一种新型可用于低可见平台的超宽带扇形天线. 该扇形天线利用由一个矩形条带和对称分布在该矩形条带上的8个圆弧条组成的扇形结构设计天线的辐射单元; 利用两边倒有90度圆弧角的矩形设计辐射地板; 并将辐射单元和辐射地板分别印制在FR-4介质材料板(介电常数为4.4)的两侧. 研究天线的辐射和散射特性, 并与参考天线作对比, 发现在满足超宽带天线的相关指标要求下, 本文提出的天线具有良好的雷达截面减缩效果. 本扇形天线适用于对超宽带天线有低雷达截面要求的场合.

**关键词:** 超宽带; 雷达截面; 平面单极子; 扇形天线; 隐身

**中图分类号:** O441 **文献标识码:** A **文章编号:** 0372-2112 (2010) 09-2162-04

## Fan-Shaped Antenna with Low RCS for Ultra-Wideband Application

JIANG Wen, GONG Shu-xi, HONG Tao, WANG Xing

(National Key Laboratory of Antenna and Microwave Technology, Xidian University, Xi'an, Shaanxi 710071, China)

**Abstract:** A novel fan-shaped antenna is presented for ultra-wideband application on low-observable platforms. The structure of the radiating element of the fan-shaped antenna is composed of eight arc patches that are symmetrically arranged along a rectangle; the structure of the radiating ground is a rectangle with two rounding chamfers. The radiating element and ground plane are printed on the top and bottom surfaces of the FR-4 with dielectric permittivity of 4.4, respectively. Its radiation and scattering characteristics are studied and compared with that of a reference antenna. The results show that the fan-shaped antenna has favorable UWB-related performances and lower RCS than the reference antenna. The fan-shaped antenna serves as a good candidate for the future design of UWB antennas with a requirement of RCS control.

**Key words:** ultra-wideband (UWB); radar cross section; monopole antennas; fan-shaped antenna; stealth

## 1 引言

雷达截面(RCS)是雷达探测技术、隐身和反隐身技术中表征目标可被识别特性的一个基本参数,是目标在平面波照射下在给定方向上返回功率的一种量度. 雷达截面减缩就是控制和降低军用目标的雷达截面,降低敌方电子探测系统和武器平台战斗力,从而提高军用目标的突防能力和生存能力. 隐身与反隐身技术已成为近年来研究的热点,对于低可见平台,对其总雷达截面贡献较大的是平台上的天线. 但是由于天线系统自身工作特点,它必须保证自身雷达波的正常接收和发射,因此常规的改变外形和涂覆等隐身措施不可以简单地应用在天线隐身中,这就使天线系统隐身成为隐身技术中亟待解决的问题<sup>[1~4]</sup>.

天线雷达截面减缩所面临的最大问题就是在天线辐射性能与散射性能两方面的兼顾,要求雷达天线只辐射和接收我方雷达波,不反射和散射敌方雷达波,这是

实际上很难解决的一对矛盾. 同时具有较好的辐射特性与散射特性是设计隐身天线的原则.

在美国FCC的定义中,规定3.1~10.6GHz为实际适用的超宽带技术频谱范围. 超宽带雷达系统以及近距离超宽带通信系统具有宽的频谱和较高的距离分辨率,具有精确的目标识别能力,能获得复杂目标的细微特征,在隐身及反隐身等方面具有广泛的应用价值. 但是为了提高其战场生存率,必须对其进行隐身处理. 超宽带天线是超宽带系统最主要的外部设备,但由于超宽带天线本身宽阻抗带宽等特点,使得对其雷达截面的减缩变得非常困难,所以对低雷达截面的超宽带天线的研究具有重要意义<sup>[5,6]</sup>.

由于超宽带天线具有很宽的阻抗带宽,所以对其雷达截面进行减缩非常困难<sup>[7]</sup>. 目前国内外关于超宽带天线雷达截面减缩的文献并不多见. 文献[8]给出了一种超宽带平面单极子天线,天线的辐射单元和辐射地板分别印制在介质板的两侧,实现了超宽带天线平面化. 该

天线因其出色的表现而被广泛地应用于超宽带系统中,但是圆形的辐射单元和较大的金属覆盖面积使其天线雷达截面很高,不利于天线的隐身,本文提出的扇形结构辐射单元可有效地解决这一问题。

## 2 天线散射的理论分析

天线是一类特殊的散射体,它的散射通常包括两部分:一部分是与散射天线负载情况无关的结构模式项散射场,它是天线接匹配负载时的散射场,其散射机理与普通散射体相同;另一部分则是随天线的负载情况变化的天线模式项散射场,它是由于不匹配而反射的功率经天线再辐射而产生的散射场,这是天线作为一个加载散射体而特有的<sup>[4]</sup>。

文献[9]提出了一个分析天线散射的模型,利用该模型可通过天线开路 and 短路两种状态下的散射场得到任意状态下的天线总散射场,从而解决了结构模式项散射场与天线模式项散射场之间相位差难以确定的问题。该模型可用以求解各种天线的雷达截面特性,其结论公式如下所示:

$$\begin{aligned} E^s(Z_l) = & \frac{(1 - \Gamma_a)E^s(\infty) + (1 + \Gamma_a)E^s(0)}{2} \\ & + \frac{\Gamma_l}{1 - \Gamma_l\Gamma_a} \frac{1 - \Gamma_a^2}{2} [E^s(\infty) - E^s(0)] \end{aligned}$$

上式中第一项对应天线结构模式项散射场,第二项对应天线模式项散射场。 $E^s(Z_l)$ 指将接收机端视为任意负载时的天线散射电场, $E^s(\infty)$ 指将接收机端视为开路负载时的天线散射电场, $E^s(0)$ 指将接收机视为短路负载时的天线散射电场, $\Gamma_l$ 指接收机负载反射系数, $\Gamma_a$ 指天线反射系数。

## 3 天线结构

本文提出的扇形天线和参考天线的结构如图 1 所示。扇形天线包括:辐射单元,辐射地板和介电常数为 4.4,厚度为 0.8mm 的 FR-4 介质板。天线辐射单元和辐射地板分别印制在介质材料板的两侧。辐射单元为由一个矩形条带和对称分布在该矩形条带上的 8 个圆弧条组成的扇形结构。这些圆弧条的宽度为 1.0mm,且具有相同的圆心和圆心角;圆弧半径自上而下按等间隔递增,圆弧间的间隔为 3.0mm。辐射地板为两边倒有 90° 圆弧角的矩形,矩形的长为 42mm,宽为 16mm。辐射单元与宽度为 1.2mm 的微带馈电线连接。参考天线的辐射单元是半径为 16mm 的圆。为说明扇形天线的辐射单元结构在雷达截面减缩方面的优越性,扇形天线和参考天线的辐射地板和介质材料板完全相同。

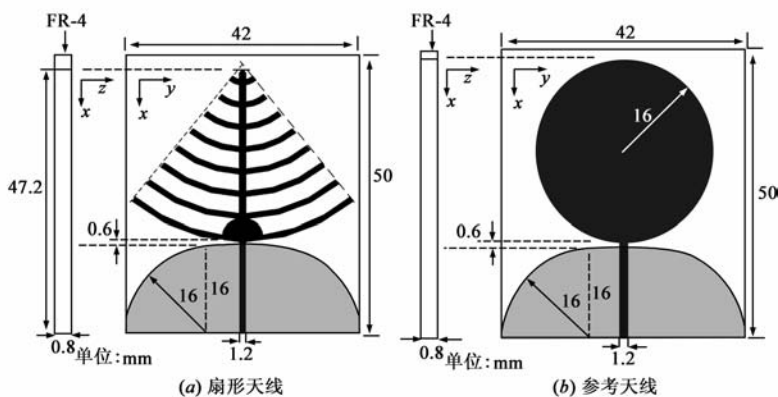


图1 天线结构示意图

## 4 天线性能

通过印制板技术加工两天线的天线样机。图 2 和图 3 分别给出两天线 VSWR 的仿真结果和实际测试结果,测试采用 AgilentE8361 网络分析仪。从图中可以看出计算结果与测试结果比较吻合。实测结果表明,在 VSWR 小于 2.0 时,扇形天线具有 2.8 ~ 13.4GHz 的带宽,参考天线具有 3.0 ~ 14.0GHz 的带宽,均充分覆盖了 UWB 所要求的 3.1 ~ 10.6GHz 带宽。

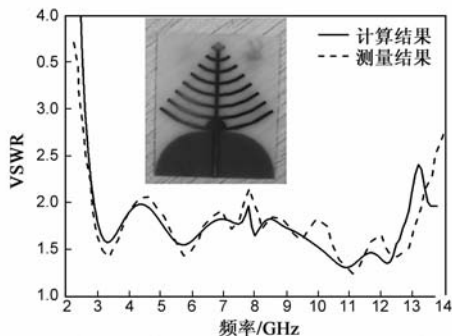


图2 扇形天线VSWR的计算结果和测试结果

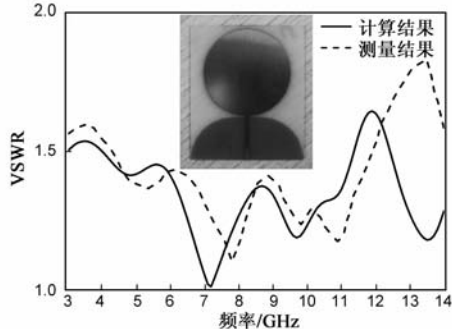


图3 参考天线VSWR的计算结果和测试结果

图 4 和图 5 分别给出扇形天线在低频(3.0GHz)和 高频(8.0GHz)的 E 面( $x-z$  面)和 H 面( $x-y$  面)辐射方向图,计算和测量结果吻合良好。图 6 给出了两天线离散频率点的实测增益对比。从图中可以看出,扇形天线可视为平面单极子天线,其最大辐射方向垂直于  $x$  轴,且在整个 UWB 带宽内具有良好的全向性,可以较好地用于超宽带系统。

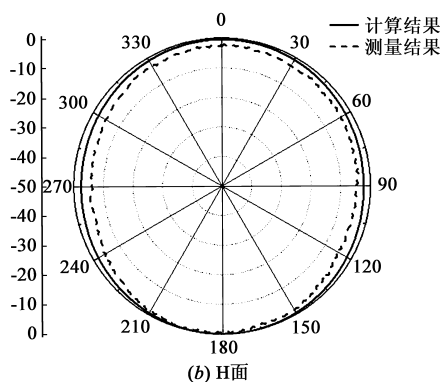
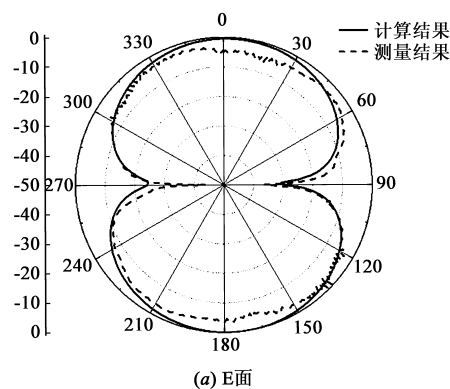


图4 天线低频的辐射方向图(3GHz)

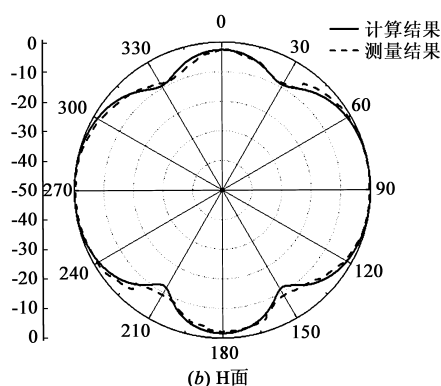
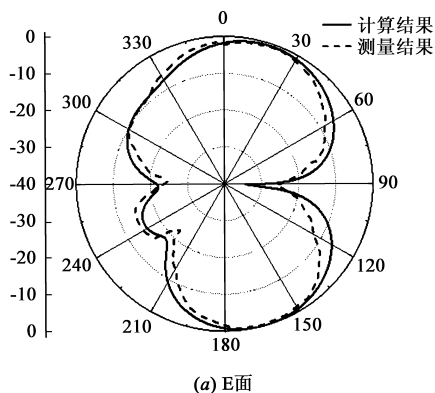


图5 天线高频的辐射方向图(8GHz)

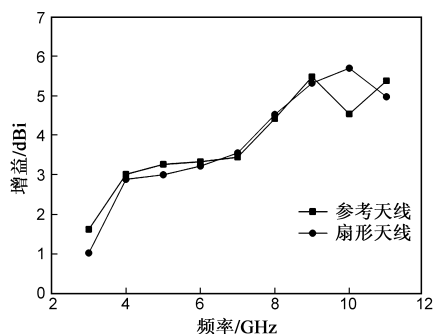


图6 天线增益对比图

图7和图8分别给出了扇形天线和参考天线在开路负载、短路负载和匹配负载状态下的雷达截面随频率变化的曲线图。天线在任意负载下的结构模式项雷达截面,天线模式项雷达截面,和总雷达截面可以通过

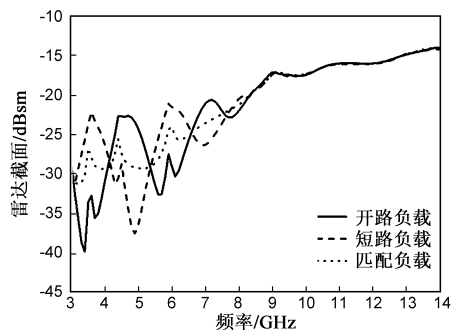


图7 扇形天线雷达截面曲线图

图中的数据容易地得到.本文提到的雷达截面均指的是单站雷达截面.入射平面波的入射方向为 $-z$ 轴方向,即天线的最大辐射方向;极化方式为垂直极化,即平面波电场矢量方向平行于 $x$ 轴.从图7和图8可以看出,超宽带天线的雷达截面在整个频带内,没有哪一种状态可以一直保持最大或者最小,这点与窄带天线不同<sup>[2]</sup>,因此大大增加了减缩超宽带天线雷达截面的难度.这种现象的原因可解释为与窄带天线相比,超宽带天线所要考虑的频带更宽,天线的结构模式项雷达截面和天线模式项雷达截面之间的相位差变化更大.

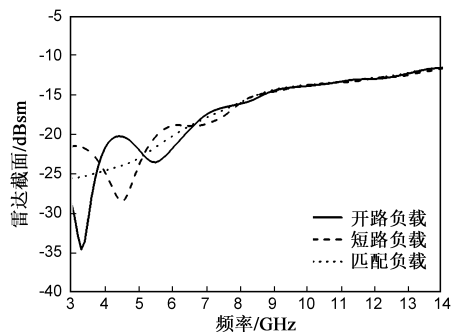


图8 参考天线雷达截面曲线图

超宽带天线具有很宽的阻抗带宽,计算两天线在50ohm阻抗状态下的天线雷达截面,如图9所示.从图中可看出本文提出的天线在很宽的频带内雷达截面均小于参考天线.这种现象可解释为:扇形天线辐射单元

的面积小于参考天线的圆形辐射单元;扇形天线独特的辐射单元结构会产生与圆形辐射单元结构完全不同的散射场,更有利于天线隐身.本文提出的扇形辐射单元结构相比传统的圆形辐射单元结构具有更好的雷达截面减缩特性,解决了以往仅减缩天线金属覆盖面积,如将辐射单元由圆形改为环形等方法无法在整个超宽频带内尤其是低频谐振区达到良好效果的问题<sup>[4]</sup>.

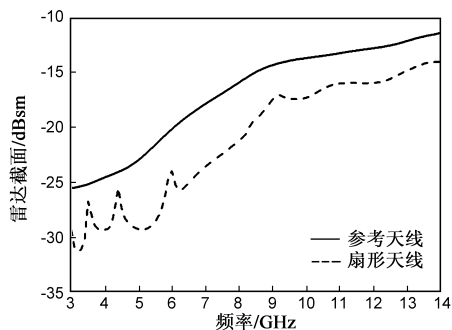


图9 扇形天线与参考天线雷达截面对比图

## 5 结论

本文针对超宽带天线隐身问题设计了一种低雷达截面的超宽带扇形天线,通过由一个矩形条带和对称分布在该矩形条带上的 8 个圆弧条组成的扇形结构设计辐射单元,由两边倒有 90°圆弧角的矩形设计辐射地板,从而使天线同时具有 2.8 ~ 13.4GHz 的超宽频带和低雷达截面的特性.本文提出的扇形辐射单元结构有利于天线同时实现超宽带特性和低雷达截面特性,适合用于对超宽带天线有低雷达截面要求的场合.

### 参考文献:

- [1] Knott E F, Shaeffer J F. Radar Cross Section[M]. 2nd Edition. Raleigh, NC: SciTech, 2004.
- [2] D M Pozar. Radiation and scattering from a microstrip patch on a uniaxial substrate[J]. IEEE Trans on Antennas and Propagations, 1987, 35(6): 613 – 621.
- [3] Liu Y, Gong S X. A novel UWB clover-disc monopole antenna with RCS reduction[J]. Journal of Electromagnetic Waves and Application, 2008, 22(7): 1115 – 1121.
- [4] Jiang W, Liu Y, Gong S X, Hong T. Application of bionics in

antenna radar cross section reduction[J]. IEEE Antennas Wireless Propagation Letter, 2009, 8: 1275 – 1278.

- [5] Toh W K, Chen Z, et al. A planar UWB diversity antenna[J]. IEEE Trans on Antennas and Propagations, 2009, 57(11): 3467 – 3473.
- [6] 王锋, 牛忠霞, 王映民, 饶育萍. 阵列天线在超宽带通信系统中的应用研究[J]. 电子学报, 2005, 33(6): 1081 – 1083.  
Wang F, Niu Z X, Wang Y M, Rao Y P. Study on the application of antenna array in ultrawide-band communication systems [J]. Acta Electronica Sinica, 2005, 33(6): 1081 – 1083.
- [7] Hu S, Chen H, Law C L, et al. Backscattering cross section of Ultrawideband antennas[J]. IEEE Antennas Wireless Propagation Letter, 2007, 6: 70 – 73.
- [8] Liang J, Chiau C C, Chen X D, Parini C G. Study of a printed circular disc monopole antenna for UWB systems [J]. IEEE Trans on Antennas and Propagations, 2005, 53(11): 3500 – 3504.
- [9] 刘英, 龚书喜, 傅德民. 天线散射理论研究[J]. 电子学报, 2005, 33(9): 1611 – 1613.  
Liu Ying, Gong Shu-xi, Fu De-min. Theoretic study of antenna scattering[J]. Acta Electronica Sinica, 2005, 33(9): 1611 – 1613.

### 作者简介:



姜 文 男, 1985 年 11 月生于山东省烟台市, 现为西安电子科技大学博士研究生, 主要研究方向为天线工程及电磁隐身技术等.

E-mail: jw13@vip.qq.com



龚书喜 男, 1957 年 3 月生于河北省, 现为西安电子科技大学教授, 博士生导师, 主要研究方向为电磁理论、电磁辐射、散射与隐身技术等.

E-mail: shxgong@xidian.edu.cn