

Research on RCS Reduction Technology of Microstrip Antenna

Lei Mao, Zhuguan Liang*, Peng Li, Chaokai Zhou, Zhijun Yang

Information Institute of Yunnan University, Kunming Yunnan
Email: *1281333130@qq.com

Received: Nov. 20th, 2018; accepted: Dec. 1st, 2018; published: Dec. 12th, 2018

Abstract

A conventional microstrip antenna is designed to ensure good operating bandwidth and gain. Then, combined with the short-circuit probe loading, chip miniaturization, grounding plate slotting and other techniques in the RCS reduction technology, the microstrip antennas are sequentially processed, and the RCS of the reference antenna and the technically processed antenna are compared. Then, the antenna radiation work is ensured, and can achieve the effect of RCS reduction, verify the feasibility and effectiveness of short-circuit probe loading, miniaturization, and slotting technology. On this basis, the AMC checkerboard structure is loaded to further increase the amount of RCS reduction.

Keywords

Microstrip Antenna, Antenna Scattering, Shape Technology, RCS Reduction

微带天线RCS减缩方法的研究

毛磊, 梁竹关*, 黎鹏, 周朝凯, 杨志军

云南大学信息学院, 云南 昆明
Email: *1281333130@qq.com

收稿日期: 2018年11月20日; 录用日期: 2018年12月1日; 发布日期: 2018年12月12日

摘要

设计一款常规微带天线, 保证其工作带宽和增益良好。然后, 结合RCS减缩技术中的短路探针加载、贴片小型化、接地板开槽等技术对微带天线进行依次处理, 对比参考天线与技术处理后天线的RCS, 即保

*通讯作者。

证了天线辐射的工作性能,又能实现RCS减缩的效果,验证短路探针加载、小型化、开槽技术的可行性、有效性。在此基础上,加载AMC棋盘式结构,进一步提高RCS的减缩量。

关键词

微带天线, 天线散射, 外形技术, RCS减缩

Copyright © 2018 by authors and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

1. 引言

飞行器隐身性能的研究是目前天线研究的热点方向。微带天线因为其剖面低、重量轻、体积小等优点,在实际应用中非常广泛。现代各种规模的战争主要就是依靠信息化,信息化技术的博弈是战争是否取胜的关键因素。雷达散射截面积作为衡量天线隐身性能的重要指标,反映了目标物体对电磁波反射能力的大小[1] [2]。天线作为发射和接收电磁波的散射体,降低其RCS即有效降低军事设备被探测到的几率,因而研究微带天线RCS的减缩具有重要意义。现代隐身飞机,为了获取良好的隐身效果,通常可以采用改变外形,涂覆吸波材料等方式降低目标RCS[3] [4] [5] [6] [7]。本文以微带天线的基本理论为基点,设计一款工作频率在2.46 GHz的微带贴片天线,根据不同入射角度的入射波所产生的RCS减缩效果,对比不同角度的入射波,提出RCS减缩方法,并设计满足天线辐射性能的同时又能实现RCS缩减的微带天线,验证方法的可行性。

2. 微带天线散射分析

入射波的照射角度对微带天线的散射特性影响明显,不同的照射角度,微带天线各点散射强度不同。对微带天线的散射分析,主要通过把入射波的照射角度划分为三个角域,分别为: $0^\circ \leq \theta \leq 15^\circ$ 、 $15^\circ \leq \theta \leq 80^\circ$ 、 $80^\circ \leq \theta \leq 90^\circ$ 。本节主要分析三个不同角度入射波照射情况下的散射截面情况,并相应提出缩减的办法。

设计三款天线分别为模型1、模型2、微带天线。微带天线为一款常规微带天线,贴片尺寸为 $37.26 \text{ mm} \times 28 \text{ mm}$,接地板尺寸为 $74.52 \text{ mm} \times 56 \text{ mm}$,介质基片为理想介质层,如图1所示。模型2是与微带天线尺寸相同的金属贴片和接地板构成,贴片与接地板间距与微带天线相同;模型1为与参考天线尺寸相同的一块接地板。

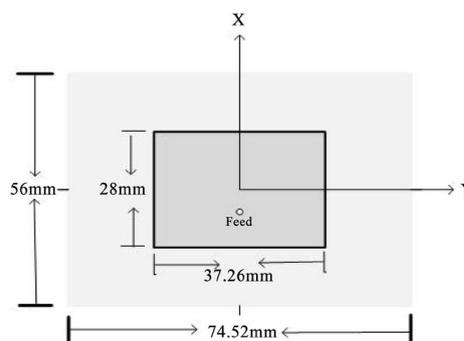


Figure 1. Reference antenna structure

图 1. 参考天线结构图

入射波入射角度分别取 $\theta = 0^\circ$ 、 $\theta = 45^\circ$ 、 $\theta = 85^\circ$ ，入射波频率范围为 2 GHz~8 GHz，对三种情况下普通微带天线、相同尺寸接地板及贴片、相同尺寸接地板模型的 RCS 数据进行综合对比，如图 2 所示：

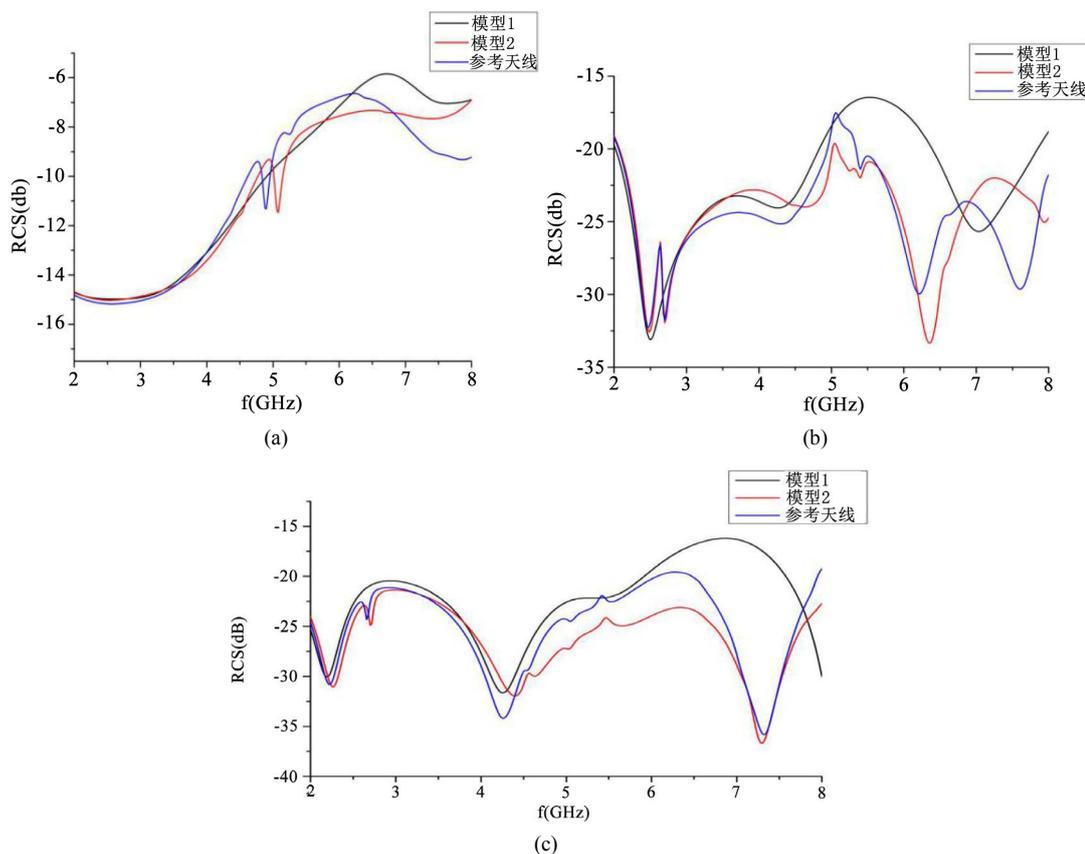


Figure 2. Reference antenna and RCS model contrast, (a) Angle of incidence $\theta = 0^\circ$; (b) Angle of incidence $\theta = 45^\circ$; (c) Angle of incidence $\theta = 85^\circ$

图 2. 参考天线与模型 RCS 对比图，(a) 入射角 $\theta = 0^\circ$ ；(b) 入射角 $\theta = 45^\circ$ ；(c) 入射角 $\theta = 85^\circ$

当入射波从 $0^\circ \leq \theta \leq 15^\circ$ 照射时，参考天线与对比模型 RCS 情况如图 2(a)所示，通过数据对比可以看出，散射的主要影响因素是接地板参数，因此可以通过减小天线接地板的尺寸，让天线得以小型化，地板开槽等方式来降低地板的镜面反射作用，从而达到有效的 RCS 减缩目的。

当平面波从 $0^\circ \leq \theta \leq 15^\circ$ 的角域照射时，通过图 2(b)数据对比和对天线散射机理分析可以得出，入射波照射到微带天线上，在贴片上会产生高次模感应电流，而天线工作模式主要为主模 TM_{10} 模，为了达到减缩 RCS 目的就需要抑制产生 RCS 峰值的其余谐振模式。在贴片和地板上进行合理的开槽处理可以截断贴片上的高次模电流，且能保证谐振模式不受影响，达到降低 RCS 的效果。

当平面波入射角度为 $80^\circ \leq \theta \leq 90^\circ$ 时，如图 2(c)所示，这时散射源主要集中在微带贴片上，可以适当减小贴片的尺寸，在贴片投影面相对的地板上开槽等方式有效降低微带天线 RCS。

3. 微带天线 RCS 减缩技术

3.1. 短路探针加载技术

以第 2 节图 1 所示微带天线作为参考天线，工作频率在 2.46 GHz。采用同轴馈电的方式，贴片结构尺寸为 $28 \text{ mm} \times 37.26 \text{ mm}$ ，地板尺寸结构为 $56 \text{ mm} \times 74.52 \text{ mm}$ ， h 为 1.6 mm。在参考天线的基础上，加载短

路探针, 天线馈电点中心坐标为(7 mm, 0), 半径为 1.5 mm; 短路探针中心坐标为(-10 mm, 0), 半径为 2 mm (如图 3 所示)。

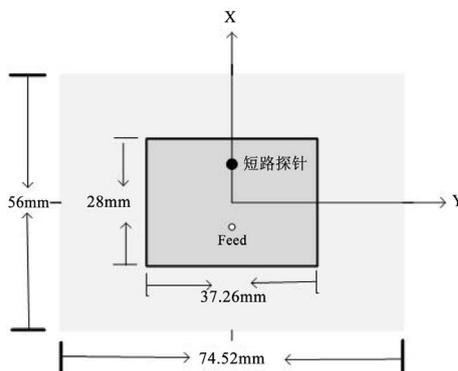


Figure 3. Load short circuit probe antenna
图 3. 加载短路探针天线

根据上节对不同方向入射波情况下的散射情况分析和对应的 RCS 缩减方法, 这里从入射角度 $\theta = 45^\circ$ 分析对比 RCS, 仿真结果如图 4、图 5 所示:

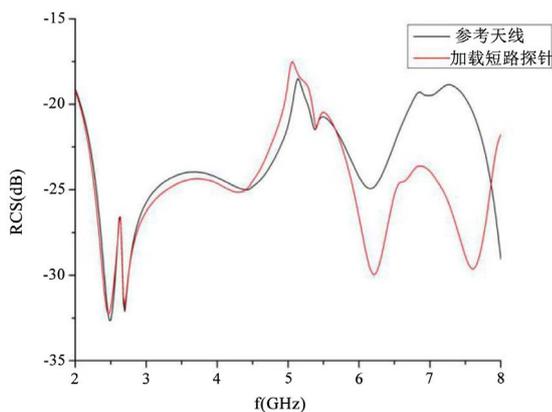


Figure 4. Reference antenna and load short circuit probe antenna RCS contrast
图 4. 参考天线与加载短路探针天线 RCS 对比

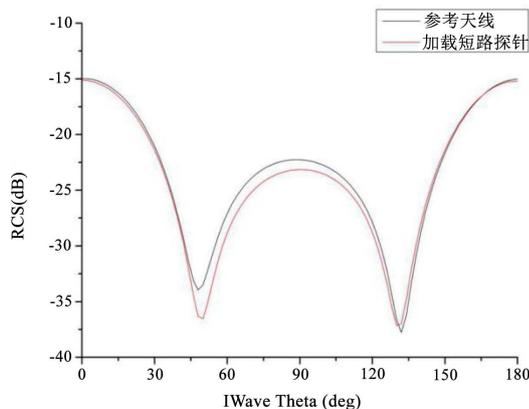


Figure 5. Single station RCS analysis and contrast
图 5. 单站 RCS 分析对比

分析图 4 可以得出, 加载短路探针后, 微带天线 RCS 约在频段 5.0 GHz~7.5 GHz 内达到了减缩的目的, 验证了加载短路探针方法的可行性。从图 5 可看出, 当入射波入射角方向在 $43^\circ \leq \theta \leq 130^\circ$ 范围时, 加载短路探针对于微带天线 RCS 减缩产生作用。

3.2. 小型化技术

根据微带天线散射机理, 当高频入射波照射时, 贴片与地板间散射场不断相互作用, 在贴片上产生较强辐射源。在天线贴片表面开缝, 可有效切断贴片表面电流路径, 使电流路径加长, 相当于加入级联电感。

在上一节加载短路探针的基础上, 在微带天线贴片上开出两个“L”形缝(缝宽 1 mm, 长 10 mm)实现贴片小型化, 并设定入射波入射角 $\theta = 45^\circ$ 、 $\varphi = 45^\circ$ 的 θ 极化波为入射波, 开缝小型化后微带天线如下图 6 所示:

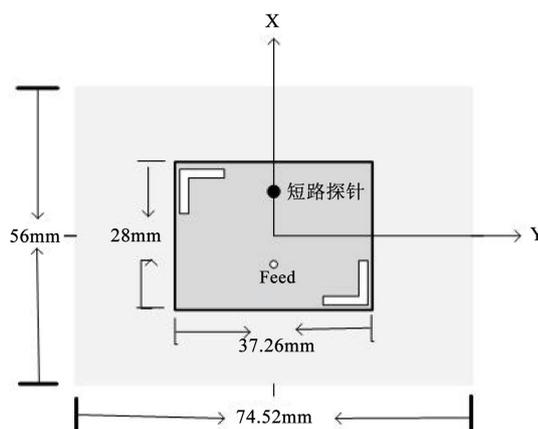


Figure 6. Miniaturized microstrip antenna structure
图 6. 小型化后微带天线结构图

贴片小型化处理后微带天线 RCS 减缩(入射波入射角 $\theta = 45^\circ$ 、 $\varphi = 45^\circ$)与单站 RCS 对比如图 7、图 8 所示:

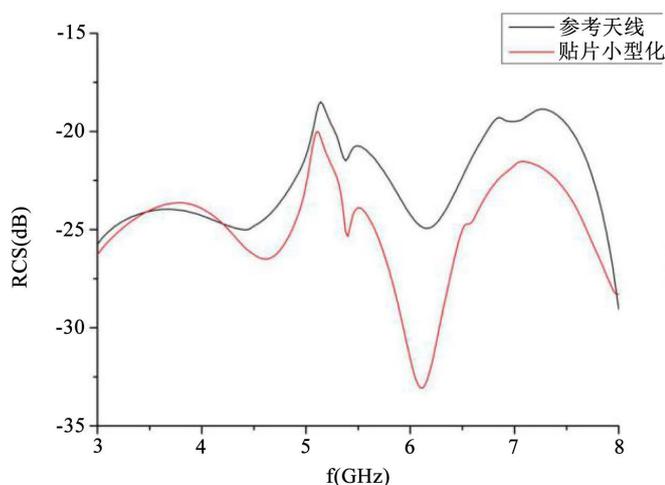


Figure 7. RCS comparison of reference antenna and miniaturized antenna
图 7. 参考天线与小型化天线 RCS 对比图

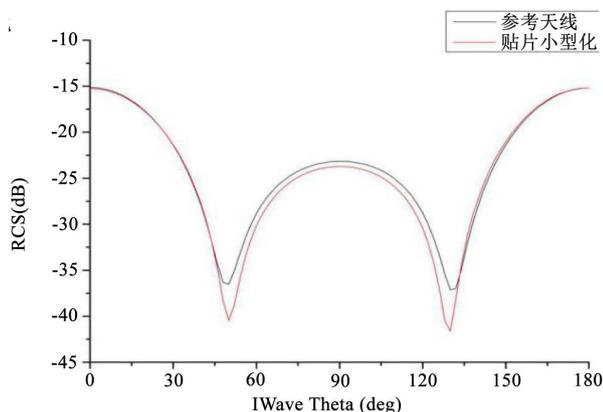


Figure 8. Single station RCS analysis and comparison
图 8. 单站 RCS 分析对比图

图 8 可得出，在参考天线基础上贴片小型化后，当入射波入射方向在 $43^\circ \leq \theta \leq 135^\circ$ 范围时，小型化对微带天线 RCS 减缩产生作用。通过图 7 对比，在加载短路探针微带天线为参考天线的基础上，对微带贴片进行适当的开缝小型化处理，微带天线的 RCS 在 5.2 GHz~7.9 GHz 频带范围内有明显的降低，普遍降低约 3 dBsm，最大减缩量达到 7.1 dBsm。综合小型化后对比，微带天线 S 参数、带宽和增益受影响不大，在可接受范围内。微带天线 RCS 减缩目的达成，验证了贴片开“L”缝小型化技术的有效性。

3.3. 开槽技术

对于微带天线的工作模式(工作带宽内)，其电场沿非辐射边中心处为零，加载探针对辐射性能几乎没有影响。为了使 RCS 减缩效果更好，贴片小型化的基础上再对微带天线接地板进行开槽处理。在微带天线地板上开槽可以改变感应电流路径，进而影响天线的散射特性以达到降低天线 RCS 的目的[8]。在上一节小型化后微带天线的基础上，对地板进行开槽，结构如图 9 所示。

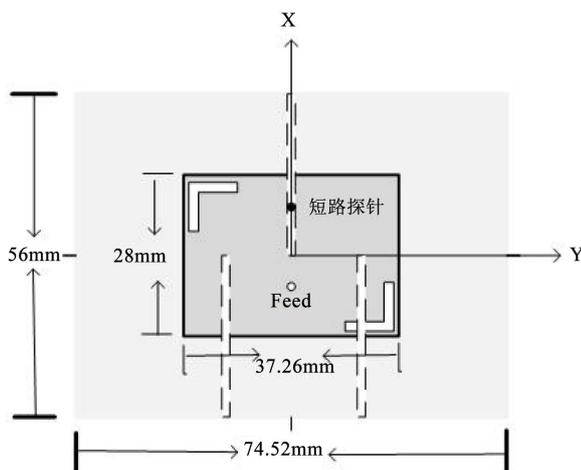


Figure 9. Floor slotted antenna structure
图 9. 地板开槽天线结构图

微带天线地板开槽以后，RCS 减缩效果如图 10 所示。从图 11 可得出，在参考天线基础上地板开槽后，当入射波入射方向在 $17^\circ \leq \theta \leq 47^\circ$ 、 $138^\circ \leq \theta \leq 170^\circ$ 范围时，接地板开槽对微带天线 RCS 减缩产生作用。从图 10 可以直观的看出，在约 4.25 GHz~4.9 GHz、5.1 GHz~5.4 GHz、6.5 GHz~7.0 GHz 频带内，地板开

槽技术对 RCS 减缩其促进作用, RCS 最多减缩量最多达到 10 dB。

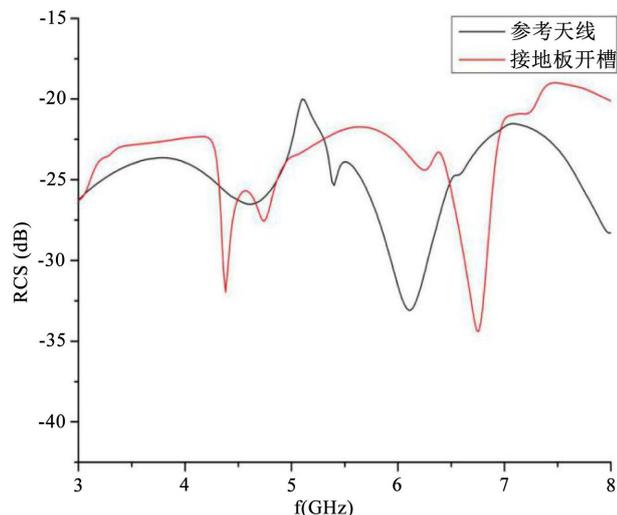


Figure 10. RCS comparison of reference antenna and grounding plate slotted antenna

图 10. 参考天线与接地板开槽天线 RCS 对比图

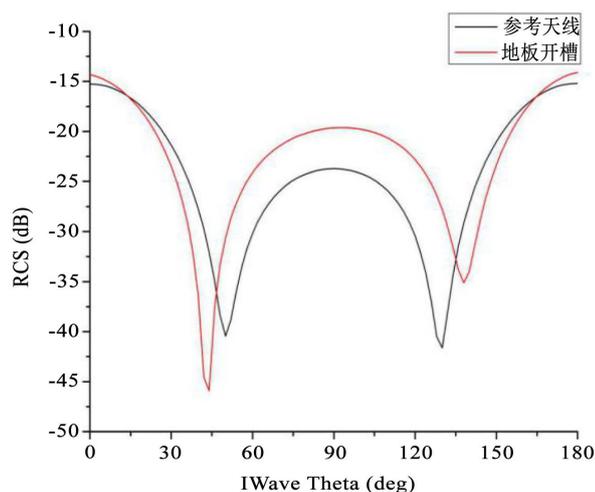


Figure 11. Single station RCS analysis and comparison

图 11. 单站 RCS 分析对比图

本节在加载短路探针和小型化技术的基础上, 再对微带天线地板进行开槽处理, 改变有入射波照射引起的地板上高模次电流的方向, 抑制高模次电场, 同时减小地板反射面。微带天线带宽增大, 辐射方向增益有微小降低, 在可接受范围内。结果显示地板开槽对 RCS 减缩在部分频段内有效, 验证了地板开槽技术的可行性。

4. 基于 AMC 的微带天线 RCS 减缩技术

上述三种方法对 RCS 减缩产生了一定的作用, 但 RCS 减缩量数量级不是很高, 减缩量均在 10 dB 以内, 普通的外形技术在微带天线 RCS 减缩中还存在一定的局限性[9] [10]。本节提出一种基于人工磁导体 (AMC) 技术的微带天线 RCS 减缩方法, 进一步改善 RCS 的减缩量。

AMC (人工磁导体) 是一种电磁周期性结构, 也称为高阻面, 通常将某种金属结构印刷在带有金属接

地板的介质基片上，可以实现入射电磁波的同相反射，达到反射相位为 $\theta = 0^\circ$ 的目的[11] [12]。选取 $N = 7 \times 7$ 的单元个数组成 3×3 规模的方环和圆环混合 AMC 棋盘加载到外形 RCS 减缩技术处理后的天线上，如图 12 所示：

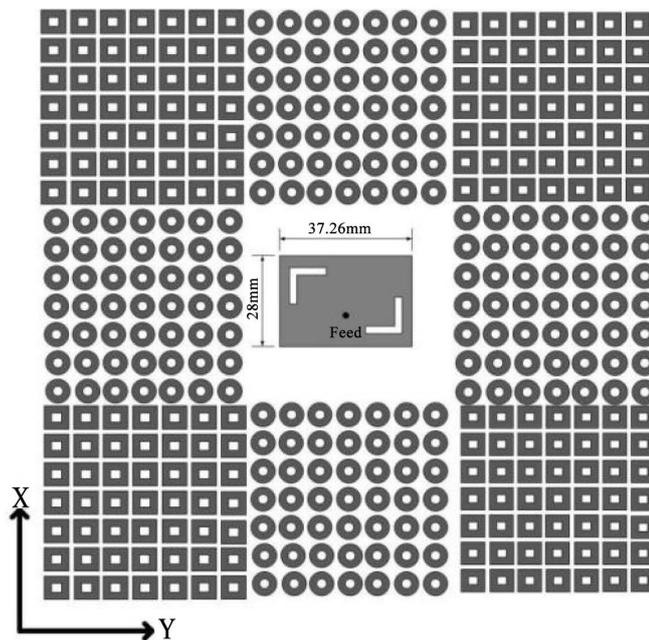


Figure 12. Antennas loaded with AMC
图 12. 加载 AMC 后的天线

为了比较加载 AMC 棋盘后 RCS 的减缩效果，对不同入射频率下的单站 RCS 进行仿真，结果如下：图 13 分别给出在 2 GHz、6 GHz 两种频率下加载 AMC 天线与参考天线随入射波角度变化的单站 RCS 对比图。可以看出加载 AMC 后天线 RCS 减缩效果相对参考天线有了明显提升，减缩效果总体上在 -10 dB 到 -30 dB 范围内。2 GHz 时，在 0~180 度入射角范围内，均能实现 RCS 减缩，在平面波垂直照射情况下，RCS 减缩最多达 -23.7 dB；6 GHz 时，在较宽入射角范围(0~38 度、75~180 度)内可实现 RSC 减缩。

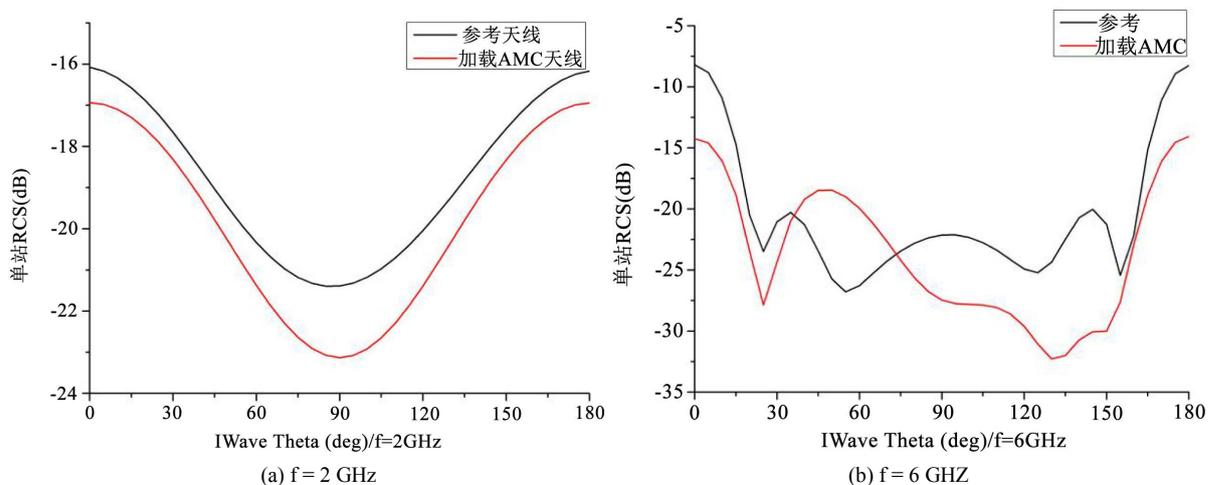


Figure 13. Single-station RCS comparison at different incident frequencies
图 13. 不同入射频率下单站 RCS 对比图

5. 总结

本文主要介绍微带天线 RCS 减缩方法, 并且分析了传统微带天线的散射特性, 提出了减低微带天线散射的理论方法。设计了一款微带贴片天线, 然后对贴片依次进行短路探针加载、小型化、地板开槽处理后, 依次验证了在保证微带天线辐射性能受影响不大的前提下, 三种方法对 RCS 减缩产生了一定的作用, 但 RCS 减缩数量级不是特别明显, 减缩量均在 10 dB 以内, 普通的外形技术在微带天线 RCS 减缩中还存在一定的局限性。在此基础上利用基于人工磁导体(AMC)的微带天线减缩方法对该贴片天线做了进一步处理, 提升 RCS 减缩数量级, 使减缩效果总体达到-10 dB 到-30 dB。

参考文献

- [1] 薛晓春, 李宗瑞. 电磁散射场和雷达散射截面积的计算[J]. 北京航空航天大学学报, 1998(2): 193-196.
- [2] 龚书喜, 刘英. 天线雷达截面预估与减缩[M]. 西安: 西安电子科技大学出版社, 2010.
- [3] 丁君, 程春霞, 郭陈江. 一种微带天线 RCS 减缩方法研究[J]. 计算机仿真, 2008, 25(9): 130-133.
- [4] 庄亚强, 张晨新, 张小宽, 等. 典型隐身飞机动态 RCS 仿真及统计分析[J]. 微波学报, 2014, 30(5): 17-21.
- [5] 凌劲, 龚书喜, 张鹏飞, 等. 一种微带贴片天线 RCS 减缩新方法[J]. 西安电子科技大学学报(自然科学版), 2010, 37(2): 295-299.
- [6] Knott, E. (2003) RCS Reduction of Dihedral Corners. *IEEE Transactions on Antennas & Propagation*, **25**, 406-409. <https://doi.org/10.1109/TAP.1977.1141586>
- [7] Zhang, J., Wang, J., Chen, M., et al. (2012) RCS Reduction of Patch Array Antenna by Electromagnetic Band-Gap Structure. *IEEE Antennas & Wireless Propagation Letters*, **11**, 1048-1051. <https://doi.org/10.1109/LAWP.2012.2215832>
- [8] 张明旭, 龚书喜, 刘英. 利用接地板开槽减缩微带贴片天线的 RCS [J]. 电子与信息学报, 2008, 30(2): 498-500.
- [9] 徐唯伟. 带内低散射微带天线及其阵列研究[D]: [硕士学位论文]. 北京: 北京交通大学, 2015.
- [10] 徐胜, 徐元铭. 有源对消隐身系统设计研究[J]. 航空电子技术, 2014(3): 26-32.
- [11] 李有权, 张辉, 付云起, 等. 人工磁导体(AMC)与 PEC 复合结构散射特性分析[C]//第 19 届全国电磁兼容学术会议论文集. 天津: 中国电子学会, 2009.
- [12] 杨奋华. 人工磁导体特性研究及天线应用[D]: [硕士学位论文]. 泉州: 华侨大学, 2013.

知网检索的两种方式:

1. 打开知网页面 <http://kns.cnki.net/kns/brief/result.aspx?dbPrefix=WWJD>
下拉列表框选择: [ISSN], 输入期刊 ISSN: 2163-3983, 即可查询
2. 打开知网首页 <http://cnki.net/>
左侧“国际文献总库”进入, 输入文章标题, 即可查询

投稿请点击: <http://www.hanspub.org/Submission.aspx>

期刊邮箱: hjwc@hanspub.org