

Research on RCS Reduction Method of Microstrip Antenna

Zongshan Wang¹, Ning Lei^{2*}

¹School of Information Science and Engineering, Yunnan University, Kunming Yunnan

²College of Vocational and Continuing Education, Yunnan University, Kunming Yunnan

Email: 839259966@qq.com

Received: Mar. 5th, 2020; accepted: Mar. 20th, 2020; published: Mar. 27th, 2020

Abstract

In order to reduce the RCS of microstrip antennas, a novel microstrip patch antenna was designed to reduce the wideband radar cross section of the microstrip antenna while satisfying the antenna radiation performance. Based on this, a 3×3 AMC checkerboard structure is loaded, which further reduces the RCS and broadens the operating bandwidth of the microstrip antenna. Simulation results verify the feasibility and correctness of the design. It shows that the proposed method can significantly reduce the RCS of the microstrip antenna, and can greatly expand its operating bandwidth.

Keywords

Microstrip Antenna, RCS Reduction, Checkerboard Structure, Artificial Magnetic Conductor

微带天线RCS减缩方法的研究

王宗山¹, 雷 宁^{2*}

¹云南大学信息学院, 云南 昆明

²云南大学职业与继续教育学院, 云南 昆明

Email: 839259966@qq.com

收稿日期: 2020年3月5日; 录用日期: 2020年3月20日; 发布日期: 2020年3月27日

摘 要

针对微带天线的RCS减缩问题, 设计了一种新颖的微带贴片天线, 在满足天线辐射性能的同时, 减缩了微带天线的宽频带雷达散射截面。在此基础上, 加载了 3×3 AMC棋盘式结构, 进一步实现了RCS的减缩, 并拓宽了微带天线工作的带宽。仿真结果验证了设计的可行性和正确性, 表明所提方法可以显著地减缩微带天线的RCS, 并能够大幅拓宽其工作带宽, 对微带天线的隐身技术有重要意义。

*通讯作者。

关键词

微带天线, RCS减缩, 棋盘结构, 人工磁导体

Copyright © 2020 by author(s) and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY 4.0).

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



Open Access

1. 引言

微带天线是 20 世纪 70 年代以来逐渐发展起来的一种新型天线。微带天线有着体积小、重量轻、制造工艺简单、容易实现共形等多种优点, 从而得到了广泛的应用[1] [2]。近些年来, 微带天线 RCS 的减缩问题是人们研究的热点问题[3] [4]。RCS 是衡量目标散射特性的重要参数, 对于飞行器而言, RCS 越小, 飞行器的隐身性能越好, 越不容易被地方探测[5] [6]。因此天线 RCS 减缩控制对于实现电磁波隐身有决定性的作用, 在强调军事强国的今天, 天线 RCS 减缩的研究有重要的意义[7]。对于 RCS 的减缩方法, 可以归纳为三类: 加载技术、改变天线基片和覆盖层技术、周期性结构技术。但是现存的这几种方法都有或多或少的缺点, 并且在减缩 RCS 的同时, 会影响天线辐射的条件[8]。

针对这一问题, 本文以微带天线的基本理论为基点, 设计了一种新颖的微带天线, 在满足天线辐射性能的同时, 实现了 RCS 减缩的目的。

2. 天线散射分析

微带天线最早称作微带辐射器, 主要分为微带贴片天线、微带振子天线、微带线性天线、微带缝隙天线四种类型[9] [10]。早期由于软件和硬件方面的限制, 微带天线难以运用到实际工程中, 微带天线的研究没有被更多的关注, 微带天线技术也就止步不前。直到上世纪 70 年代, 在空间技术和微波技术取得发展的基础上, 微带天线才实质性应用到工程实践当中[11]。目前, 微带天线在 100 MHz 到 100 GHz 的宽频段内得以广泛应用, 涉及各行各业, 雷达、遥感技术、电子对抗、武器引信、卫星通信、医用微波辐射等[12]。天线的散射分天线结构模式项散射和天线模式项散射。天线结构模式项散射即在入射波照射

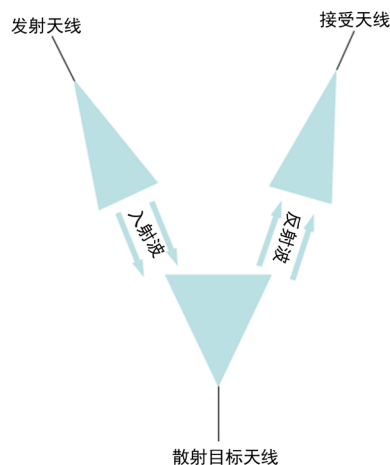


Figure 1. Antenna scattering physical model

图 1. 天线散射物理模型

情况下, 天线为理想匹配负载状态, 散射机理与普通目标体散射原理一致; 天线模式项散射即在入射波照射情况下, 负载与天线阻抗不匹配, 天线反射功率产生二次再辐射, 其散射场受负载变化的影响, 天线模式项散射也是天线与普通散射体相比特有的散射特点[13]。天线散射的物理模型和天线散射原理模型分别如图 1 和图 2 所示。其中, 天线散射原理模型是以单端口天线为基础来建立的。

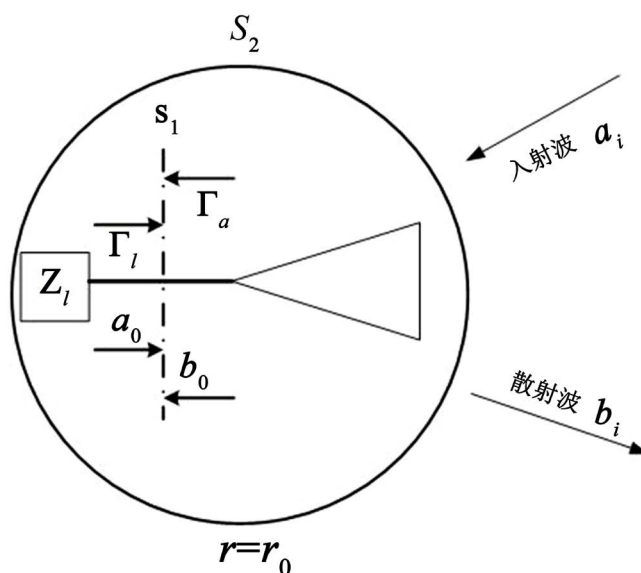


Figure 2. Antenna scattering principle model

图 2. 天线散射原理模型图

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各异。本节主要分析了受到不同角度的入射波照射时, 微带天线的散射情况。图 3 为入射波的方向图。

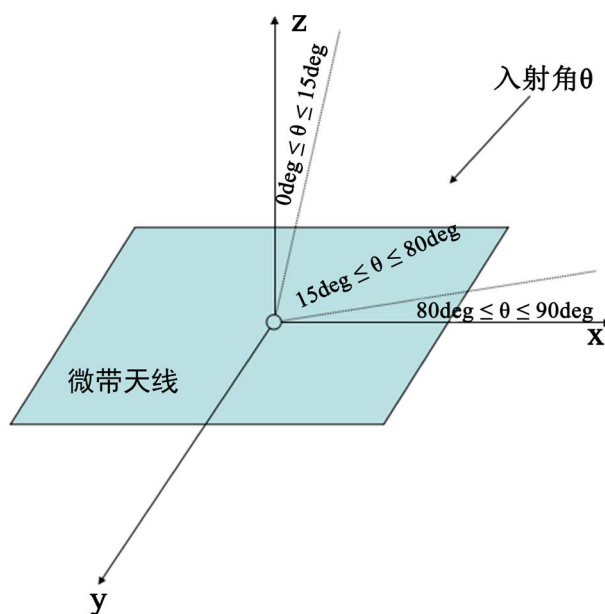


Figure 3. Incident wave pattern

图 3. 入射波方向图

本文设计了三种天线或模型, 如图 4 所示。其中, 图 4(a)为模型 1, 图 4(b)为模型 2, 图 4(c)为参考微带天线。贴片尺寸和接地板尺寸在图 4 有详细标注, 介质基片考虑为理想介质层。

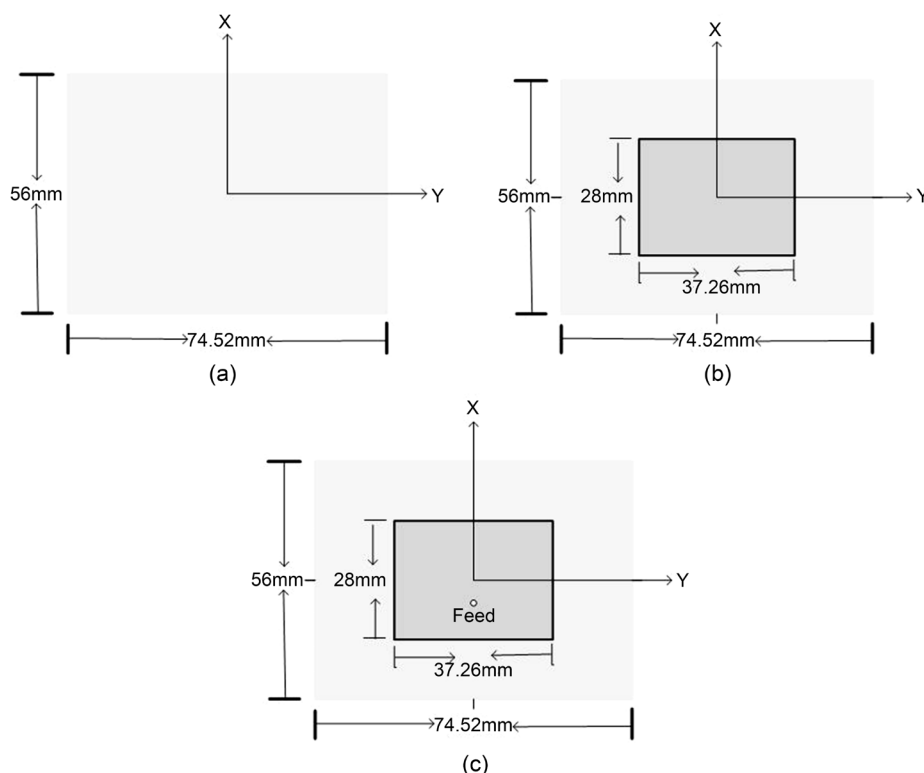


Figure 4. Model 1, Model 2, Reference Antenna Structure
图 4. 模型 1、模型 2、参考天线结构图

当入射波垂直照射时, 三种被照射目标的 RCS 对比如图 5 所示。从图中可以看出, 这种情况下, 入射波以不同频率对三种被照射目标进行照射时, 三种被照射目标的 RCS 非常接近。说明入射角为 0 时, 对微带天线 RCS 产生影响的主要因素在于接地板。

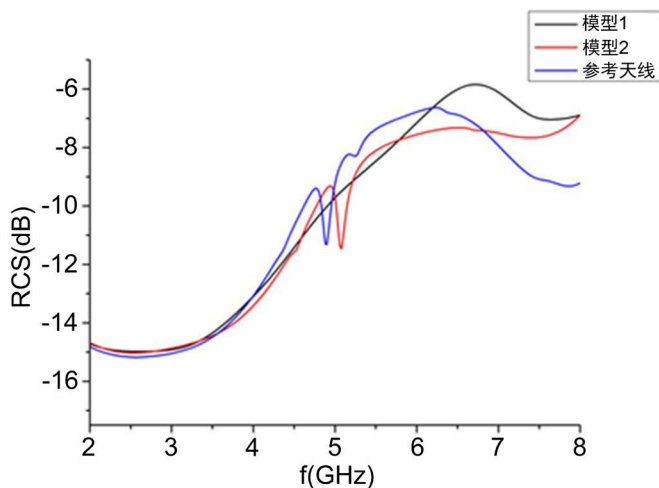


Figure 5. Structure Comparison of RCS of three kinds of irradiated targets
图 5. 三种被照射目标的 RCS 对比图

当入射波的照射角度范围在 $80^\circ \leq \theta \leq 90^\circ$ 时, 从图 3 中可以看出, 这种情况下, 入射波与微带天线贴片所形成的夹角非常小, 三种被照射目标的 RCS 对比如图 6 所示。从图中可以看出, 入射波以不同频率对三种被照射目标进行照射时, 三种被照射目标的 RCS 相对来说非常的接近。图 7 为入射频率分别为 2 GHz、4 GHz、8 GHz 的平面波时, 电场的比对图。通过分析可知, 此种情况下, 微带天线的强散射源主要在贴片上。

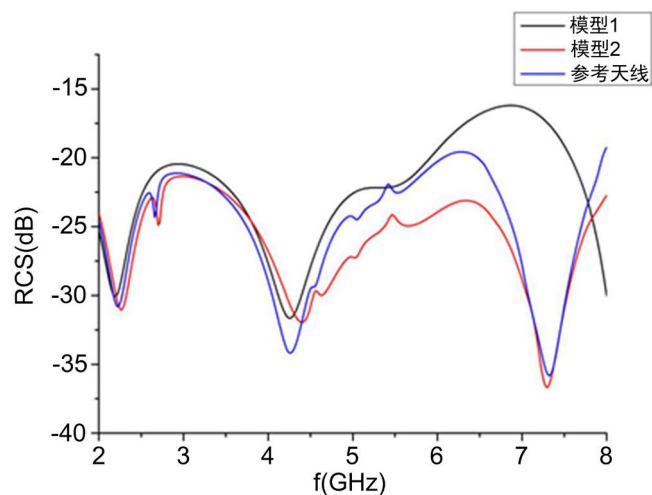
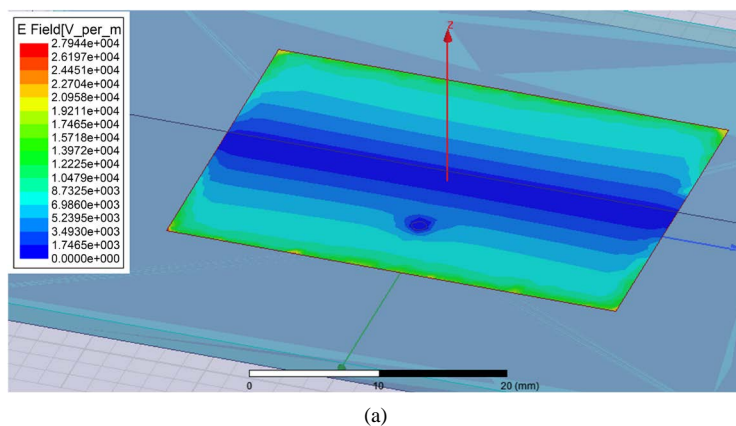
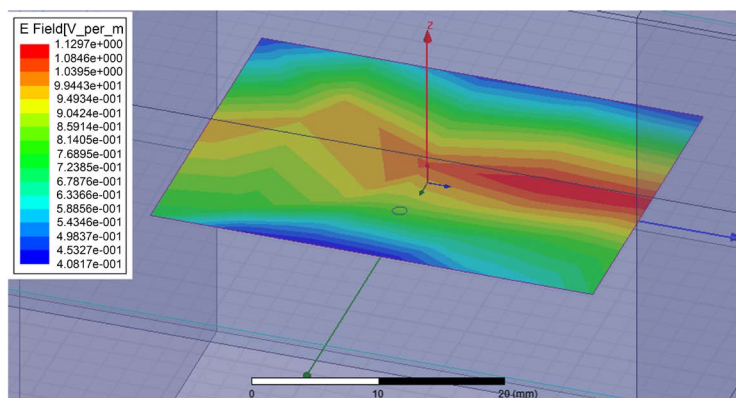


Figure 6. Structure comparison of RCS of three kinds of irradiated targets
图 6. 三种被照射目标的 RCS 对比图



(a)



(b)

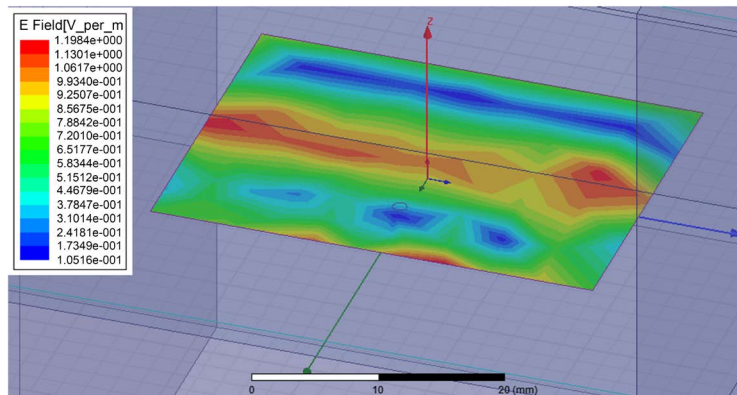


Figure 7. Map patch electric field strength comparison chart
图7. 图贴片电场强度对比图

当入射波的照射角度范围在时, 三种被照射目标的 RCS 对比如图 8 所示。这种情况下, 入射波与微带天线贴片所形成的夹角非常大, 需要进行分解, 综合前面讨论的两种散射机理, 相对来说较为复杂。若想减缩微带天线的 RCS, 必须要抑制产生 RCS 峰值的其余谐振模式。

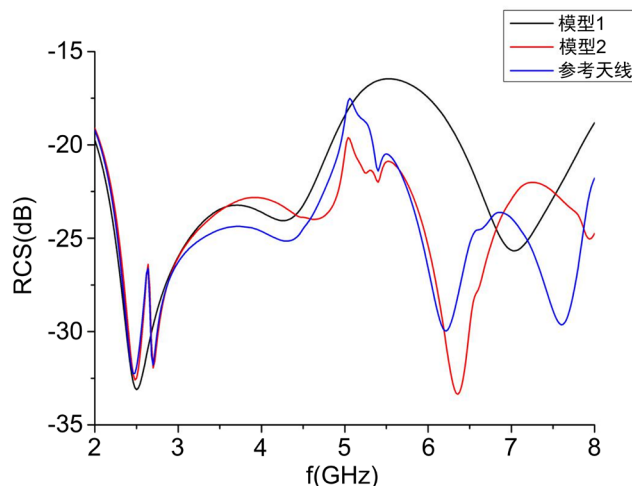


Figure 8. Structure comparison of RCS of three kinds of irradiated targets
图8. 三种被照射目标的 RCS 对比图

3. 微带天线 RCS 减缩

3.1. 短路探针加载技术

首先设计了一种微带贴片天线(工作频率为 2.46 GHz)作为参考天线, 如图 9(a)所示。贴片结构尺寸和地板尺寸结构见图 9(a)。在此基础上, 加载短路探针, 即相当于引入电感和电容。加载短路后天线结构如图 9(b)。

上节分析了入射波角度为 $0^\circ \leq \theta \leq 15^\circ$ 、 $15^\circ \leq \theta \leq 80^\circ$ 、 $80^\circ \leq \theta \leq 90^\circ$ 三种情况时的散射情况, 在这三种不同的入射波角度照射下的散射情况分析的基础上, 本节从入射角度 $\theta = 85^\circ$ 对微带天线的 RCS 进行了分析对比。两种天线的参数对比如图 10 所示。仿真的结果如图 11 所示。微带天线工作频率下, 单站 RCS 减缩对比如图 12 所示。

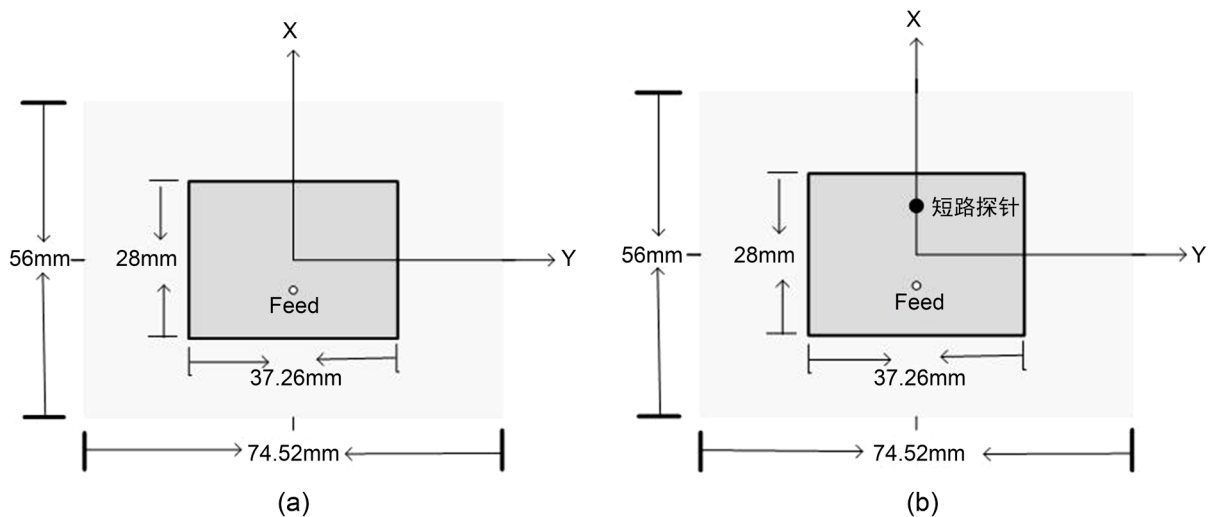


Figure 9. Reference antenna and short circuit probe antenna structure diagram
图 9. 参考天线与加载短路探针天线结构图

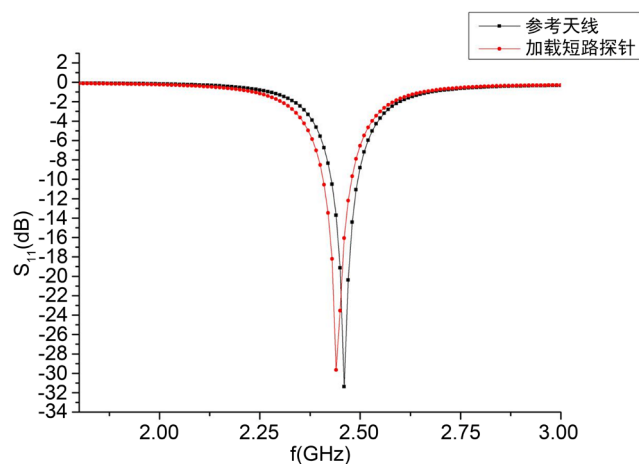


Figure 10. Comparison of the parameters of the two antennas
图 10. 两种天线的参数对比图

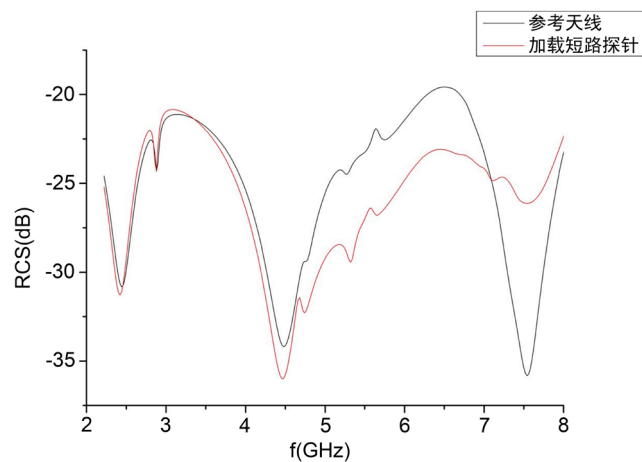


Figure 11. Comparison of two antennas RCS
图 11. 参考天线与加载短路探针天线 RCS 对比图

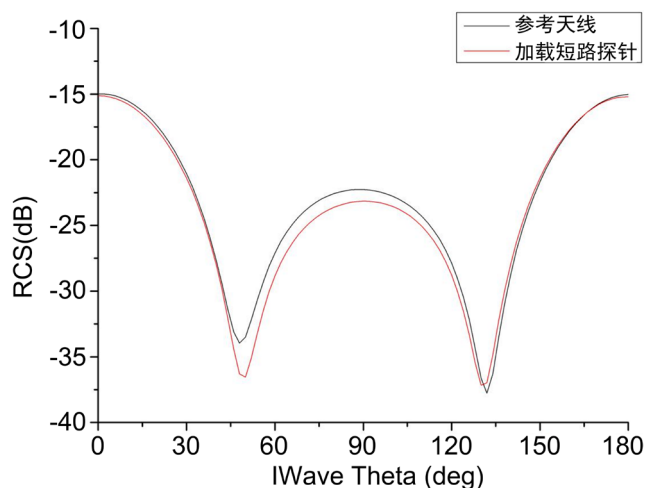


Figure 12. Single station RCS analysis comparison chart
图 12. 单站 RCS 分析对比图

通过上述实验对比图可以得出, 通过为微带天线加载短路探针, 成功的实现了 RCS 缩减的目的, 验证了加载短路探针的可行性和有效性。

3.2. 小型化技术

在上一节基础上, 得出入射波为时的 RCS 减缩情况。在频段 2 GHz~3 GHz 范围内, 满足 RCS 频率特性, 低频散射特性, 位于瑞利区, 改变微带物理尺寸对 RCS 对比影响不大。因此下步选择扫频范围为 3 GHz~8 GHz, 利于更直观对比 RCS。当入射波从角域入射时, 散射情况最为复杂更具代表性。因此, 以下设定入射波入射角、的极化波为入射波, 此角度照射同时包括垂直分量与水平分量, 对 RCS 减缩的验证更具有说服力。

本节在上一节的基础上, 对微带天线进行小型化处理, 具体方法为在微带天线贴片上进行开缝处理, 开缝位置分别在微带天线的左上和右下, 缝宽 1 mm, 缝长 10 mm。如图 13 所示, 图 13(a)、图 13(b)分别为参考天线与开缝小型化后的天线结构图。

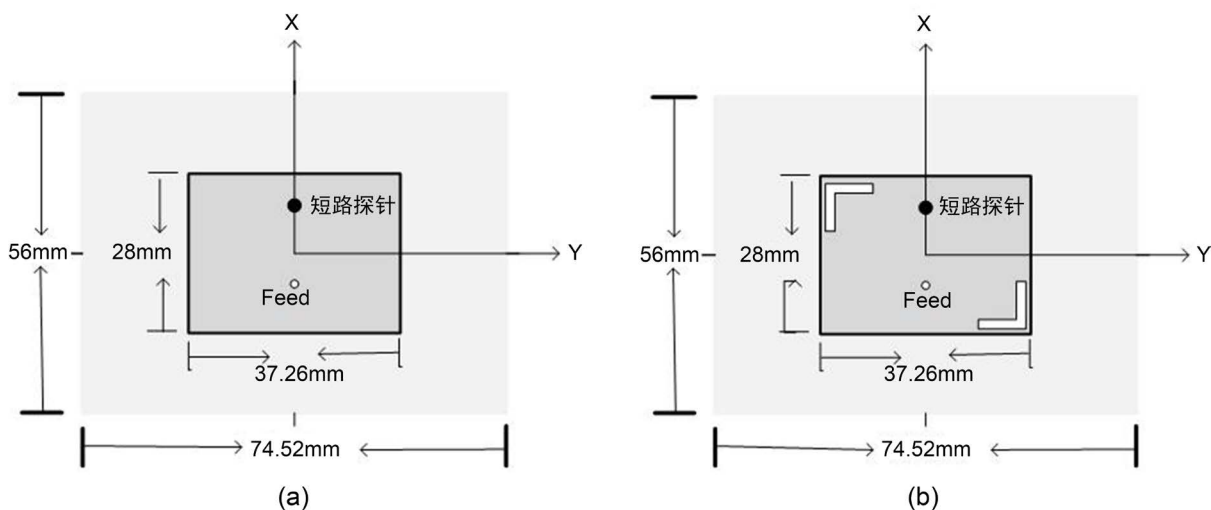


Figure 13. Single station RCS analysis comparison chart
图 13. 单站 RCS 分析对比图

仿真的结果如图 14 所示。微带天线工作频率下，单站 RCS 减缩对比如图 15 所示。

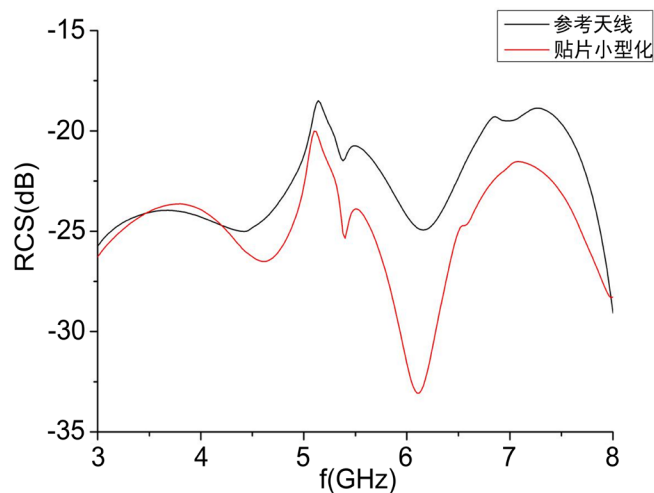


Figure 14. Comparison of two antennas RCS

图 14. 参考天线与小型化天线 RCS 对比图

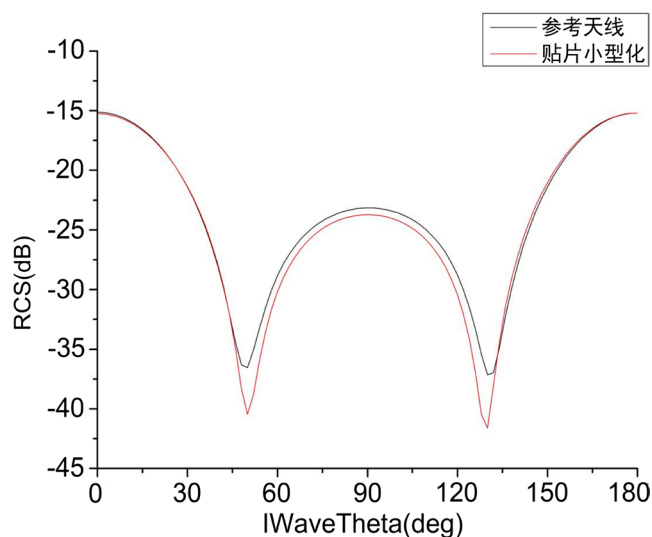


Figure 15. Single station RCS analysis comparison chart

图 15. 单站 RCS 分析对比图

从图 15 中可以看出，对微带天线进行贴片小型化处理之后，成功达到了 RCS 减缩的目的。通过与图 14 的对比，在 3.1 节中提出的加载短路探针的微带天线为参考天线的基础之上，进一步的进行小型化处理，成功缩减了微带天线的 RCS，降低均值约为 3 dBsm，最大缩减值达到了 7.1 dBsm。通过实验分析验证了微带天线小型化处理的可行性与有效性。

4. 基于人工磁导体的微带天线 RCS 减缩方法研究

上述方法在一定程度上达到了微带天线 RCS 减缩的目的，但是减缩量有限，本节为解决外形技术对 RCS 缩减的局限性这一问题，从而进一步缩减 RCS，提出一种基于 AMC 的微带天线 RCS 减缩方法。并通过仿真实验验证了所提方法的有效性。

本文在综合分析比较了圆环 AMC、方环 AMC、“十”字形 AMC 之后, 对比获得了频带较宽的 AMC 单元, 决定采用圆环 AMC 和方环 AMC 进行棋盘式组合, 如图 16 所示。

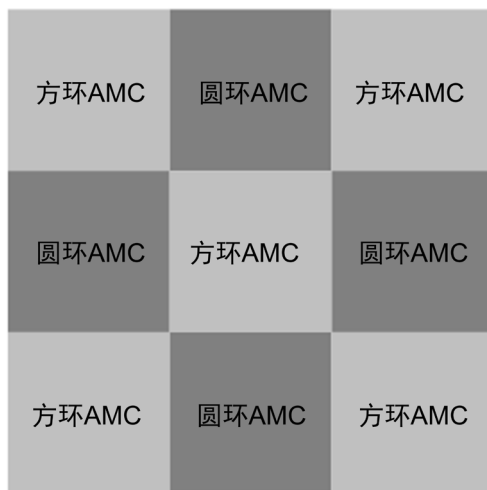


Figure 16. Checkerboard combination structure diagram
图 16. 棋盘式组合结构图

AMC 单元的数量较少时, 不能很好的反映出其反射相位特性, 但是 AMC 单元过多会增加成本, 加大加工难度, 并且在整体目标 RCS 的降低方面表现较差。本节采用 $N \times N$ 的 AMC 单元组合成 AMC 块, N 分别取值 3、5、7、9, 结构如图 17 所示。AMC 单元尺寸为上述最优方环 AMC、圆环 AMC 单元的尺寸。当 $f = 8 \text{ GHz}$ 时, 其单站 RCS 减缩对比如图 18 所示。

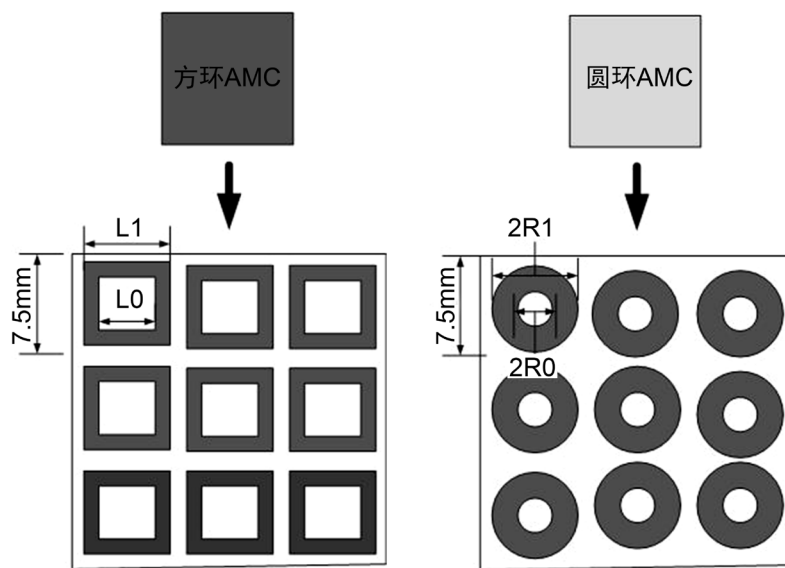


Figure 17. Top view of $N \times N$ scale AMC block legend
图 17. $N \times N$ 规模数 AMC 块图例俯视图

由图 18 可知, AMC 单元数不同, 反射能量情况也不同, 整体上来说, AMC 单元数越少, 反射能量越集中, 但对主瓣的抑制效果会变差, RCS 的减缩效果不明显, 但从图中可以看出, RCS 的减缩效果整体上都超过了 -10 dB , 证明了该设计的有效性。

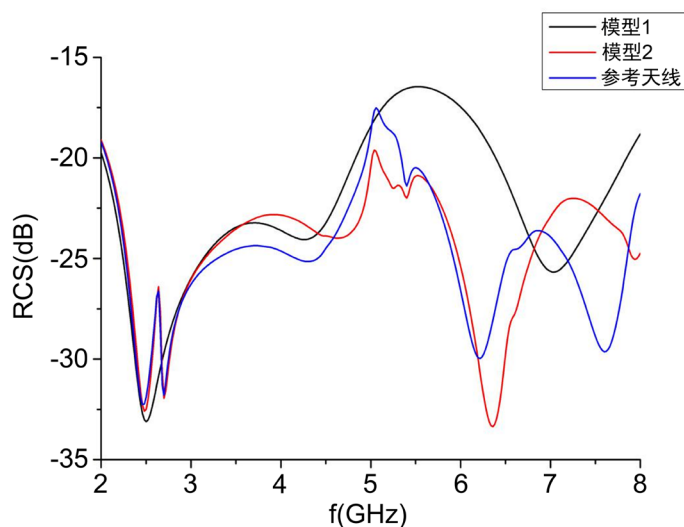


Figure 18. Comparison of single station RCS of AMC blocks of different sizes
图 18. 不同规模数 AMC 块单站 RCS 对比

图 19 给出了入射波频率分别为 6 GHz、10 GHz 时, 参考天线和加载 AMC 天线的单站 RCS 对比。从图中可以看出, 加载 AMC 可以有效的降低微带天线 RCS, 并且降低效果较为显著, RCS 减缩最大可达 -23.7 dB, 并且加载 AMC 后, 同时实现了带内和带外的减缩。

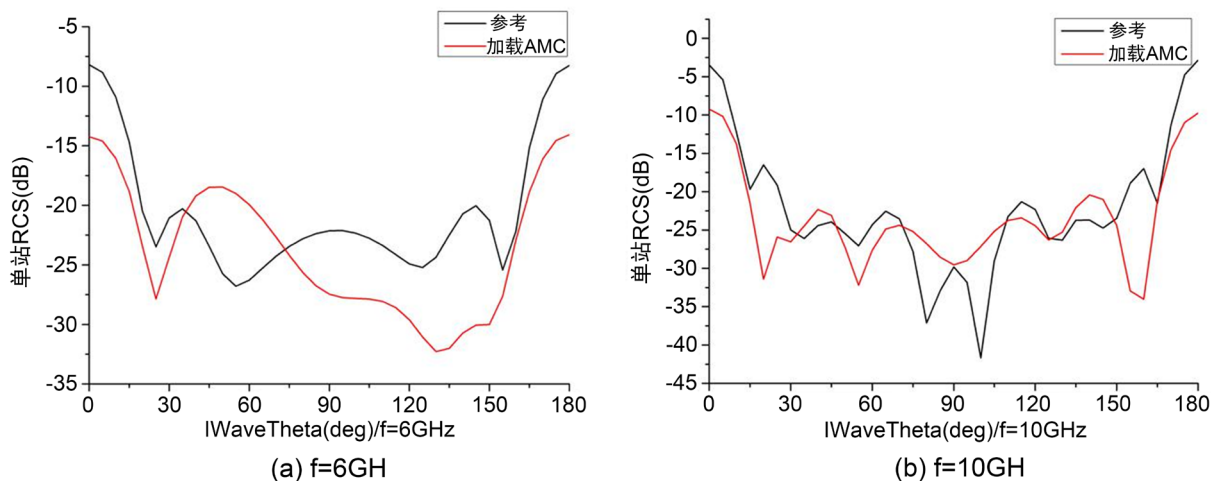


Figure 19. Comparison of single station RCS of AMC blocks of different sizes
图 19. 不同规模数 AMC 块单站 RCS 对比

5. 总结

本文主要研究了微带天线 RCS 减缩方法, 首先设计了一款常规的微带天线, 保证了其工作带宽和增益良好的基础上, 对其进行外形处理, 例如短路探针加载、贴片小型化等, 达到了微带天线 RCS 减缩的目的, 同时保证了天线辐射工作性能。并通过仿真实验验证了通过外形技术降低微带天线 RCS 的可行性。为进一步降低微带天线的 RCS, 提出一种加载棋盘式 AMC 的微带天线, 成功实现了在更宽频段的 RCS 减缩的目的。并且通过实验验证了该方法的可行性和有效性。在未来, 为进一步实现微带天线 RCS 的减缩, 我们将研究通过抑制天线各个方向的散射能量, 实现目标全方位角的 RCS 减缩。

参考文献

- [1] 张辉, 张晓发, 闫敦豹, 等. 基于 H 形缝隙耦合的宽带圆极化微带天线[J]. 电子与信息学报, 2007, 29(4): 991-993.
- [2] 朱莉, 王光明, 高向军, 等. 一种新型宽带圆极化微带天线的设计[J]. 微波学报, 2008, 24(3): 21-24.
- [3] 尹应增, 张卫东, 郑会利, 等. 正多边形贴片圆极化微带天线[J]. 西安电子科技大学学报, 2000(2): 131-133.
- [4] 荣丰梅, 龚书喜, 贺秀莲. 利用开槽和短路探针加载减缩微带天线 RCS [J]. 西安电子科技大学学报, 2006, 33(3): 479-481.
- [5] 张宏波, 龚书喜, 贺秀莲. 分形开槽减缩微带天线 RCS [J]. 微波学报, 2006, 22(6): 34-36.
- [6] 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.
- [7] 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.
- [8] 宋国栋, 潘宇虎, 高铁. 阵列天线 RCS 分析及减缩[J]. 现代雷达, 2008, 30(10): 67-70.
- [9] 王夫蔚, 龚书喜, 张鹏飞, 等. 结构型吸波材料在阵列天线 RCS 减缩中的应用[J]. 西安电子科技大学学报, 2012, 39(5): 91-95.
- [10] 王文涛, 龚书喜, 胡楚锋, 等. 基于准分形频率选择表面的天线 RCS 减缩[J]. 微波学报, 2010, 26(3): 1-5.
- [11] 陶长亚. 微带天线 RCS 减缩研究[D]: [硕士学位论文]. 西安: 西安电子科技大学, 2008.
- [12] Jia, Y., Liu, Y., Wang, H., *et al.* (2014) Low-RCS, High-Gain, and Wideband Mushroom Antenna. *IEEE Antennas and Wireless Propagation Letters*, **14**, 277-280. <https://doi.org/10.1109/LAWP.2014.2363071>
- [13] Wang, W., Gong, S., Wang, X., *et al.* (2010) Differential Evolution Algorithm and Method of Moments for the Design of Low-RCS Antenna. *IEEE Antennas and Wireless Propagation Letters*, **9**, 295-298. <https://doi.org/10.1109/LAWP.2010.2047837>