

# 一种全金属低剖面圆极化天线

杜若楠<sup>1</sup>, 王敏<sup>1</sup>, 王伊<sup>1</sup>, 田超<sup>2</sup>

<sup>1</sup>西安导航技术研究所, 陕西 西安

<sup>2</sup>空军工程大学防空反导学院, 陕西 西安

收稿日期: 2026年5月22日; 录用日期: 2026年6月15日; 发布日期: 2026年6月23日

## 摘要

本文提出了一种全金属单馈圆极化天线。该天线利用缺陷结构改变辐射片原有的电场分布, 从而实现了单馈圆极化特性。此外, 在末端加载短路柱从而改善阻抗匹配, 通过弯折结构能够降低剖面, 以满足天线在有限空间安装。利用HFSS仿真软件进行优化仿真, 结果显示该天线在960~1,460 MHz频带内VSWR < 2, 且剖面仅为中心工作频率所对应波长的10%, 仿真结果表明该天线在实现低剖面的基础上具有良好的电性能指标, 未来在扁平式平板卫星通信领域具有广阔的应用前景。

## 关键词

圆极化天线, 全金属, 低剖面

# An All-Metal Low-Profile Circularly Polarized Antenna

Ruonan Du<sup>1</sup>, Min Wang<sup>1</sup>, Yi Wang<sup>1</sup>, Chao Tian<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Xi'an Research Institute of Navigation Technology, Xi'an Shaanxi

<sup>2</sup>Air and Missile Defense College, Air Force Engineering University, Xi'an Shaanxi

Received: May 22, 2026; accepted: June 15, 2026; published: June 23, 2026

## Abstract

A novel all-metal single feed circularly polarized antenna is presented in this paper. The antenna adopts the defect structure and the structural post to accomplish the design of the broadband circularly polarized antenna, and which has simple feeding structure by adopting the coaxial feeding. By introducing the top-loaded fold, compact structure and low profile is generated to meet drastic volume constraints. Simulation results show that the antenna can achieve 960 MHz~1,460 MHz bandwidth for Voltage Standing Wave Ratio (VSWR) < 2, and the profile height of the proposed

文章引用: 杜若楠, 王敏, 王伊, 田超. 一种全金属低剖面圆极化天线[J]. 天线学报, 2026, 15(2): 13-19.

DOI: 10.12677/ja.2026.152002

antenna is only  $0.1 \lambda_0$  ( $\lambda_0$  refers to the wavelength of the center frequency in free space). These results indicate that the proposed antenna yields good circular polarization performance, and which has the characteristics of low profile. Further, the solutions can be scaled to large arrays on low Earth orbit satellite communication.

## Keywords

Circular Polarized Antenna, All-Metal, Low-Profile

Copyright © 2026 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

在空、天、地一体化发展的大趋势下，卫星互联网体系建设成为当前和未来的研究热点。为适应快速组网的发射要求以及一箭多星的发射模式，卫星的重量、体积、成本等资源严重受限。星载天线作为卫星通信系统的主要载荷，是低轨互联网卫星实现星间链路通信和星地高速数据传输的重要桥梁与纽带，如何使星载天线在实现高增益、宽覆盖、高可靠性的同时具有小型化、轻量化、低剖面是当前星载天线设计亟待解决的技术难题。

在宽带圆极化星载天线单元的选择上，主流的天线形式主要包括交叉振子天线、空气腔金属贴片天线[1]-[4]、四臂螺旋天线[5]等。近年来，研究人员还提出了一些新颖的低剖面圆极化天线设计思路[6]-[8]。文献[5]提出的螺旋天线圆极化性能良好，但体积和重量均较大，且批次稳定性较差；文献[6]提出的窄缝贴片天线结构简单，剖面极低，但阻抗带宽较窄，不适用于星载环境；加载 AMC 结构的圆极化天线[7]阻抗带宽特性良好且剖面较低，但其结构复杂，加工精度要求高，应用于星载环境时可靠性较低。文献[8]提出的圆极化天线和本文一样采用全金属材质，星载可靠性高，但其剖面较高，安装局限性大，不适用于极限条件的安装平台。本文所涉及的天线与上述低剖面圆极化天线性能对比见表 1。

为更好满足星载环境适应性要求，防止空间中强电离辐射和剧烈温度变化对天线的破坏，本文结合金属贴片天线和螺旋天线的优点，提出了一种全金属准螺旋单馈圆极化天线。该天线采用全金属结构设计，可以承受发射过程中的剧烈振动和高载荷，既保证了天线在太空工作的结构稳定与可靠性，又能够在低剖面的条件下实现了良好的宽频带圆极化特性，从而有效解决了卫星组网中星间和星地应用的天线技术难题。

**Table 1.** System resulting data of standard experiment performance comparison of the final proposed antenna with other low-profile circularly polarized antenna design

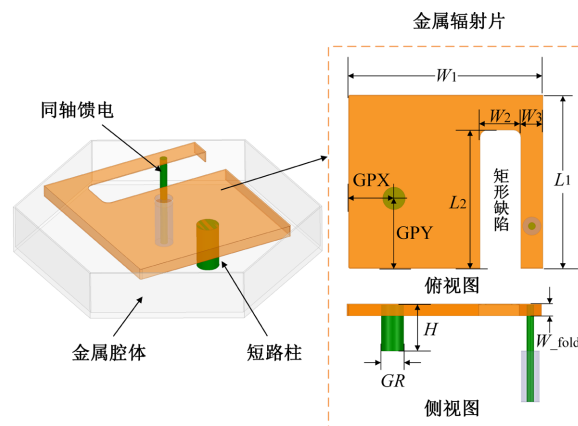
**表 1.** 所设计天线与其他低剖面圆极化天线性能对比表

参考文献	天线形式	阻抗带宽	剖面高度	星载环境适应性
[5]	四臂螺旋天线	10%	$0.84\lambda_L$	优
[6]	窄缝贴片天线	3.4%	$0.013\lambda_0$	差
[7]	加载 AMC 圆极化天线	18.56%	$0.073\lambda_0$	差
[8]	全金属背腔缝隙天线	18.6%	$0.58\lambda_0$	优
本设计	全金属准螺旋天线	41.3%	$0.10\lambda_0$	优

## 2. 天线设计

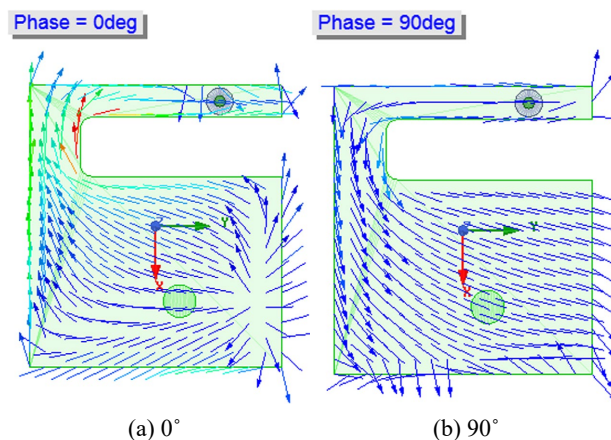
各个类型的星载天线都有其独特的优点也有相应的局限性。不同形式天线的结构特点和电特性不同,适用的平台也相应不同。当前,低轨卫星星载天线要求天线在保证良好电性能的同时具有小型化、轻量化、低剖面等特性,同时还需要在极端温度交变、强粒子辐射等恶劣空间环境下长期稳定工作,为更好满足当前卫星通信领域的应用环境适应性要求,本文选择了一种全金属的天线结构。

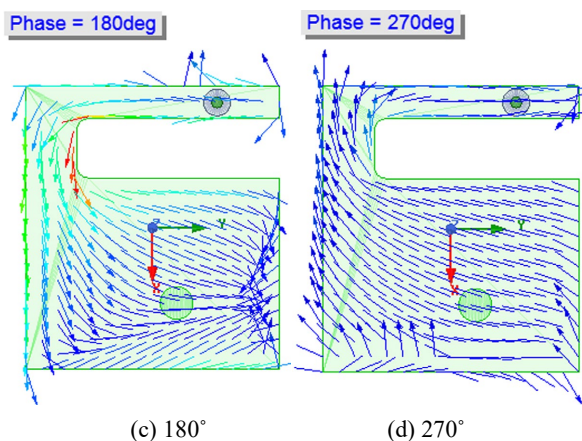
高性能、低剖低轨卫星星载天线设计,关键是在有限安装空间内,实现天线结构上电流路径的有效延展。本文的设计思路是在不增大天线物理尺寸前提下,采用辐射贴片开槽、弯折等手段,有效地延长辐射贴片电流路径,通过加载短路柱,有效抵消低频容抗特性,从而实现天线的宽带特性及低剖面和小型化。



**Figure 1.** Geometry of the proposed antenna  
**图 1.** 天线结构图

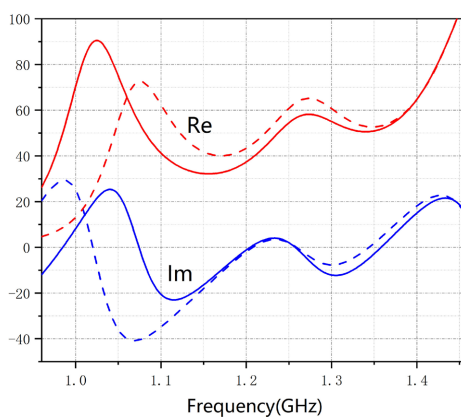
所提出的天线结构如图 1 所示,该天线由金属腔体,金属辐射片,金属短路柱和同轴馈电结构组成。天线采用单口同轴馈电,同轴线的导体与金属腔体相连接,内导体与顶端金属辐射片相连接。依据圆极化天线的设计原理,单馈结构的辐射贴片可以产生两个幅度相等的简并模(TM<sub>10</sub>模和 TM<sub>01</sub>模),在金属辐射片上设置矩形缺陷会使得两个模式的表面电流路径长度不相等,从而简并性被破坏[9],通过调整缺陷的尺寸和位置,可以使得简并模相位正交,最终实现天线圆极化辐射。为了说明该天线实现圆极化辐射的原理,图 2 给出了该天线在 1,210 MHz 处,馈电相位分别为 0°、90°、180°和 270°的表面电流分布图,由于电流方向逆时针旋转,表明本设计天线可以实现右旋圆极化。





**Figure 2.** Simulated electric surface current vectors on the antenna to demonstrate circular polarization  
**图 2.** 天线在中心频点处的表面电流分布图

为了优化天线的阻抗特性，对金属辐射片加载了短路柱。当高频电流通过短路柱时，短路柱会呈现明显的电感特性，此时短路柱即可等效为一个与金属辐射片并联的电感  $L$ ，通过优化调节金属短路柱的几何外形和加载位置即可调节感性分量  $L$ 。从图 3 中可以看出，未加载短路柱时，960 MHz 时天线输入阻抗实部为  $4.54 \Omega$ ，虚部为  $19.68 \Omega$ ，此时阻抗匹配状态极差，随着短路柱的引入，天线阻抗实部增大，阻抗虚部模值减小，天线低频段的阻抗匹配状态得到了改善，在 1 GHz 左右，天线阻抗实部被调节至  $50 \Omega$ ，虚部被调节至  $0 \Omega$ ，表现出理想的匹配状态。



**Figure 3.** Input Impedance of the proposed antenna with and without structural post  
**图 3.** 加载短路柱前后天线输入阻抗图

除此之外，根据天线结构示意图可知，金属辐射片相邻的三边设置了弯折结构，天线电流有效路径越长，工作频率越低，弯折结构即为一种常见的曲流技术，在不增大天线外形尺寸的前提下进一步实现了所设计天线的低剖面特性。

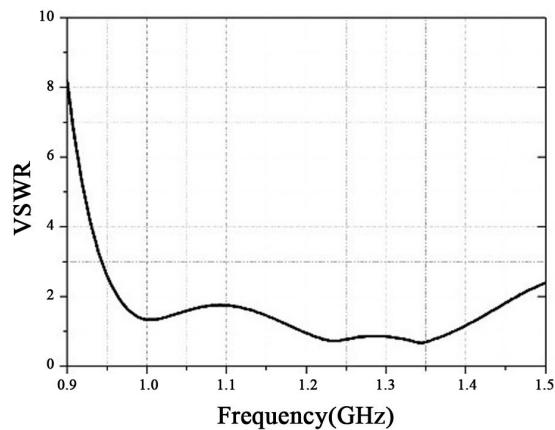
### 3. 仿真分析

为了实现天线的最佳性能，本文采用 Ansoft HFSS 18 电磁仿真软件进行了仿真设计与验证，合理调整金属辐射片尺寸、缺陷尺寸和位置、短路接地柱位置以及天线馈电点位置，优化天线各项电性能特性，得到优化后的天线尺寸参数如表 2 所示：

**Table 2.** Parameter values of the proposed antenna  
**表 2.** 优化后天线尺寸参数

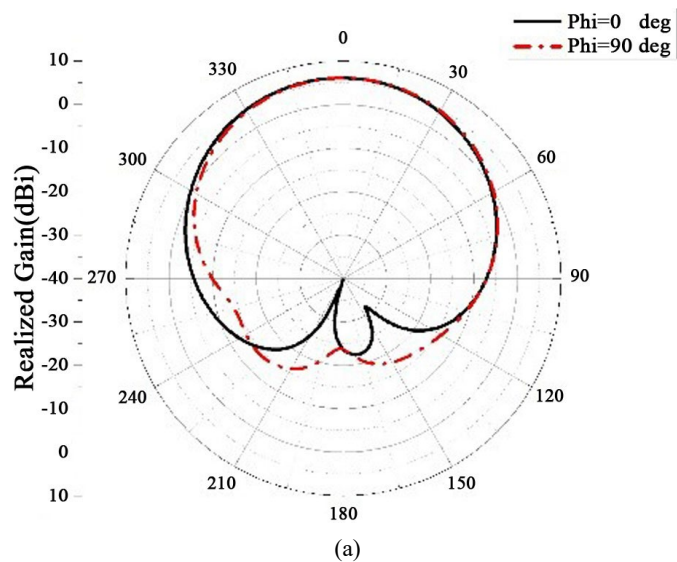
变量	值/mm	变量	值/mm
$L_1$	94	$H$	25
$L_2$	75	$W_{fold}$	6
$W_1$	105	$GPX$	24.64
$W_2$	22	$GPY$	38
$W_3$	12	$GR$	6.12

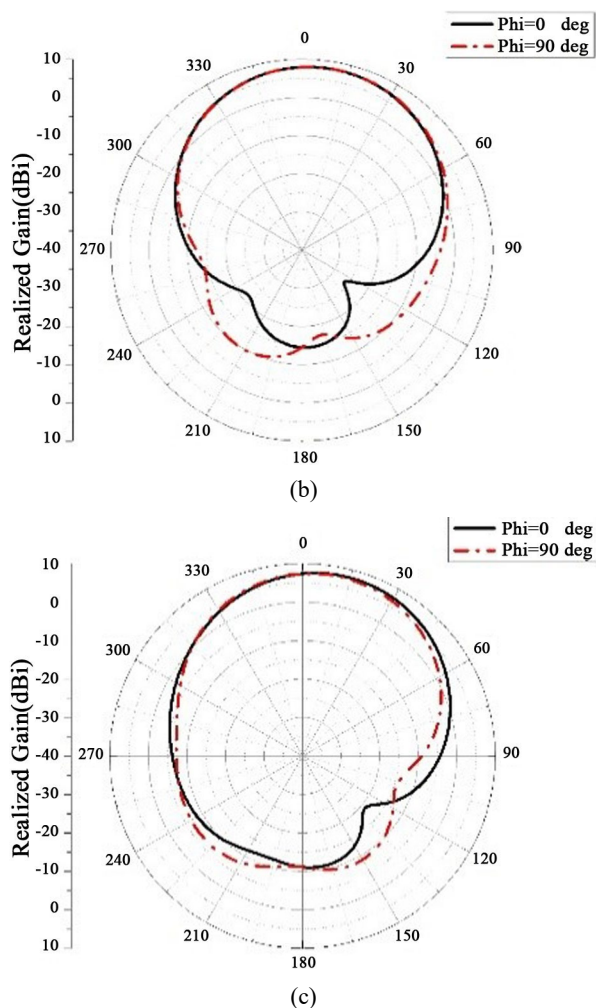
仿真得到天线的驻波如图 4 所示。图中表明，在 960~1,460 MHz 工作频带内，天线的驻波均小于 2。图 5 给出了天线分别在 960 MHz、1,210 MHz、1,460 MHz 三个频点处的  $\Phi = 0^\circ$  (xoz 面)和  $\Phi = 90^\circ$  (yoz 面)的方向图结果，由结果可见，在三个频点下天线的最大增益分别为 6.1 dBi、8 dBi、7.5 dBi。可见天线在整个工作频带内均有稳定的圆极化方向图特性，辐射特性良好。



**Figure 4.** Simulated VSWR of the all-metal antenna

**图 4.** 天线驻波仿真结果





**Figure 5.** Simulated normalized radiation patterns of the proposed antenna. (a) 960 MHz; (b) 1,210 MHz; (c) 1,460 MHz

**图 5.** 不同频率下天线的辐射方向图(a) 960 MHz; (b) 1,210 MHz; (c) 1,460 MHz

#### 4. 结论

本设计采用全金属材料实现了一款自支撑结构的低剖面圆极化天线。首先在金属辐射片上设置缺陷实现圆极化，接着通过调整感性短路枝节的尺寸和位置来调节天线工作频点，进一步使天线实现了宽带圆极化特性，而后对天线辐射片进行弯折处理，使天线实现了超低剖面，仅为中心频率对应波长 10%，可适用于扁平式的卫星平台安装。该天线的不对称结构导致天线单元的轴比特性不甚理想，但我们可以 在组阵时通过阵面排布的旋转及相位补偿改善阵列天线的圆极化特性，最终实现良好辐射性能的低轨卫星星载阵列天线。

#### 基金项目

本研究受陕西省人工结构功能材料重点实验室基础研究基金资助(基金号：AFMD-KFJJ-23208)。

#### 参考文献

- [1] 陈雨微. 导航系统中十字交叉振子天线的设计与实现[D]: [硕士学位论文]. 长沙: 国防科技大学, 2017.

- 
- [2] Zhao, Z., Zhang, L.F., Wu, L.S. and Mao, J. (2021) A Cross Dipole Antenna Array in LTCC for Satellite Communication. 2021 *IEEE MTT-S International Wireless Symposium (IWS)*, Nanjing, 23-26 May 2021, 1-3. <https://doi.org/10.1109/iws52775.2021.9499443>
- [3] Shehna, S. and Susan, R.J. (2020) Broadbeam Cross-Dipole Antenna for L-Band Applications. 2020 *2nd International Conference on Advances in Computing, Communication Control and Networking (ICACCCN)*, Greater Noida, 8-19 December 2020, 606-610. <https://doi.org/10.1109/icacccn51052.2020.9362803>
- [4] Chou, J.H., Lin, D.B., Lin, C.H., *et al.* (2013) S-Band Circularly Polarized Crossed Dipole Antenna for Automotive Applications. 2013 *International Symposium on Antennas & Propagation*, Nanjing, 23-25 October 2013, 276-279.
- [5] 薛金阳. 一种星载宽带覆球波束四臂螺旋天线[J]. 电子信息对抗技术, 2026, 41(2): 96-101.
- [6] Ray, M.K., Mandal, K. and Nasimuddin, N. (2019) Low-Profile Circularly Polarized Patch Antenna with Wide 3 Db Beamwidth. *IEEE Antennas and Wireless Propagation Letters*, **18**, 2473-2477. <https://doi.org/10.1109/lawp.2019.2940703>
- [7] Luo, Y., Wang, X., Yan, N., An, W. and Ma, K. (2024) Low-Profile Wide-Axial-Ratio-Beamwidth Circularly Polarized Antenna Loaded with Artificial Magnetic Conductor. *IEEE Antennas and Wireless Propagation Letters*, **23**, 935-939. <https://doi.org/10.1109/lawp.2023.3339491>
- [8] Chen, R., Zhu, L., Wong, S., Lin, J., Li, Y., Zhang, L., *et al.* (2021) S-Band Full-Metal Circularly Polarized Cavity-Backed Slot Antenna with Wide Bandwidth and Wide Beamwidth. *IEEE Transactions on Antennas and Propagation*, **69**, 5963-5968. <https://doi.org/10.1109/tap.2021.3061116>
- [9] Nasimuddin, Anjani, Y.S. and Alphones, A. (2015) A Wide-Beam Circularly Polarized Asymmetric-Microstrip Antenna. *IEEE Transactions on Antennas and Propagation*, **63**, 3764-3768. <https://doi.org/10.1109/tap.2015.2438397>