

DOI:10.3969/j.issn.1003-5060.2024.02.008

# 用于车载终端通信的双频段全向偶极子天线

朱奎<sup>1</sup>, 廖同庆<sup>1</sup>, 左昌余<sup>2</sup>, 周刚<sup>2</sup>, 赵读俊<sup>2</sup>

(1. 安徽大学 集成电路学院, 安徽 合肥 230601; 2. 安徽庆宇光电科技有限公司, 安徽 合肥 230061)

**摘要:**针对露天矿山车载终端通信的需求,文章基于山字型结构设计一款同时满足 4G/5G 通信的全向偶极子天线。基于双锥天线模型设计全向印刷偶极子单频天线,通过在两侧加载枝节引入高频谐振,并通过在倒三角辐射贴片上开 L 形缝隙和矩形缝隙实现频段的展宽及谐振频点的偏移;对两侧枝节的末端进行渐变处理,使天线的谐振频率在拐点处可以平滑地过渡,从而在较宽的频带内获得良好的阻抗匹配。仿真和实测结果表明,该天线具备双频段全向的辐射特性,完全满足设计要求,且结构简单小巧、容易安装、不易受到损坏。

**关键词:**车载终端通信;4G/5G 通信;双频段;全向;偶极子天线

**中图分类号:**TN821.4 **文献标志码:**A **文章编号:**1003-5060(2024)02-0195-05

## Dual-band omnidirectional dipole antenna for vehicle-mounted terminal communication

ZHU Kui<sup>1</sup>, LIAO Tongqing<sup>1</sup>, ZUO Changyu<sup>2</sup>, ZHOU Gang<sup>2</sup>, ZHAO Dujun<sup>2</sup>

(1. School of Integrated Circuits, Anhui University, Hefei 230601, China; 2. Anhui Qingyu Photoelectric Technology Co., Ltd., Hefei 230061, China)

**Abstract:** In order to satisfy the needs of open-pit mine vehicle-mounted terminal communication, an omnidirectional dipole antenna which can meet 4G/5G communication at the same time is designed. This antenna is based on a mountain-shaped structure. Firstly, an omnidirectional printed dipole single frequency antenna is designed based on biconical antenna model. Then, high frequency resonant point is introduced by loading branches on both sides. And frequency bands are extended and resonant frequency points are shifted by cutting L-shaped slits and rectangular slits on the inverted triangular radiation patch. Finally, for the sake of smooth transition at the inflection point of the antenna, gradient processing is done at the end of branches on both sides, so as to obtain good impedance matching in a wider frequency band. Simulation and measurement results show that this antenna has dual-band and omnidirectional radiation characteristics which meets the design requirements completely. It has simple and compact structure, and is easy to install and not easy to be damaged.

**Key words:** vehicle-mounted terminal communication; 4G/5G communication; dual-band; omnidirectional; dipole antenna

## 0 引言

随着无线通信领域的飞速发展,对天线性能的要求也越来越高。目前工作频段单一的天线已

无法满足实际场景的应用需求,利用单个天线实现多种通信模式下的多个频段覆盖,以及在某一平面实现 360°均匀辐射的全向特性在无线通信系统中显得非常重要<sup>[1-2]</sup>。

收稿日期:2022-01-04;修回日期:2022-03-31

基金项目:安徽省重点研究与开发计划资助项目(202104g01020005)

作者简介:朱奎(1995—),男,安徽蚌埠人,安徽大学硕士生;

廖同庆(1976—),男,安徽宿州人,博士,安徽大学教授,硕士生导师。

文献[3]提出一款用于 WiFi 系统的双频全向偶极子天线,通过耦合到偶极子的 2 根辐射枝节引入双频谐振,实现工作频段在 2.40~2.50 GHz 和 5.15~5.85 GHz 且具有良好的全向辐射特性;文献[4]采用共面波导馈电,通过对称折叠的长单极子和短单极子结构设计出工作在 2.43~2.61 GHz 和 5.67~5.93 GHz 的双频全向辐射天线;文献[5]通过一种改进的偶极子结构提出一款高效的双频整流天线,该天线工作在 0.88~0.94 GHz 和 2.39~2.54 GHz 频段且全向辐射特性良好。

上述天线虽然具备了双频全向辐射特性,但带宽较窄,尺寸较大,阻抗匹配性能较低,无法满足露天矿山 4G/5G 通信的需求。

本文针对露天矿山车载终端需要同时满足 4G/5G 且全向通信的特点,设计出一款基于山字型结构的双频全向印刷偶极子天线。采用多分支和缝隙开槽技术引入新的谐振点并增大带宽,对两侧的枝节末端进行渐变处理,使天线在较宽的频带内获得良好的阻抗匹配,以期满足露天矿山车载终端与基站之间的通信,保证数据的快速传输。

## 1 天线设计

### 1.1 天线结构分析

天线结构如图 1 所示。

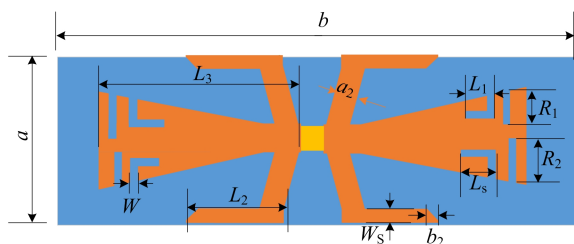


图 1 天线结构

天线的整体结构为山字型,辐射贴片的材料为铜,全部印刷在介质基板的上表面,介质基板的材料为介电常数等于 4.4 的 FR4,正切损耗角为 0.02,整体尺寸为 14 mm×60 mm×1 mm。天线中间辐射贴片结构参考双锥天线模型,设计成倒三角结构,实现覆盖的频段为 2.30~2.70 GHz,通过在倒三角辐射贴片上开 L 形缝隙和矩形缝隙实现宽带和谐振频点的偏移<sup>[6]</sup>。在中间辐射贴片的两侧增加对称枝节形成山字型结构,使天线的谐振频率实现 4.80~4.90 GHz 频段的覆盖,

其中对称枝节的两臂向上倾斜设计,实现了较宽的带宽及良好的阻抗匹配<sup>[7]</sup>。山字型辐射贴片的中间以及两臂的顶端都采用渐变结构的设计,结构渐变使得天线从一个频率谐振模式平缓地过渡到另一个频率谐振模式,确保在较宽的频带内获得良好的阻抗匹配。

采用 HFSS15.0 软件对天线的结构及尺寸进行仿真与优化,最终确定的尺寸见表 1 所列。

表 1 天线结构尺寸

| 参数    | 尺寸/mm | 参数    | 尺寸/mm |
|-------|-------|-------|-------|
| $a$   | 14    | $L_3$ | 3.2   |
| $b$   | 60    | $L_s$ | 3.3   |
| $a_2$ | 2     | $w$   | 0.8   |
| $b_2$ | 1     | $W_s$ | 1.3   |
| $L_1$ | 20.3  | $R_1$ | 2.4   |
| $L_2$ | 10.1  | $R_2$ | 3.2   |

### 1.2 天线设计思路

为了能够清楚地理解该双频段全向偶极子天线的设计思路,天线的设计过程如图 2 所示;图 2 中所涉及的参考天线对应的回波损耗  $S_{11}$  曲线如图 3 所示。因为双锥天线结构是实现全向特性中最简单的结构之一,所以参考双锥天线结构,设计出天线 1。天线 1 的  $S_{11}$  只在 2.52 GHz 附近产生单个谐振频点,并不满足双频段设计需求。为了实现双频谐振,需要在 4.85 GHz 附近出现新的谐振点,因而在天线 1 的左侧引入辐射枝节,设计出天线 2。

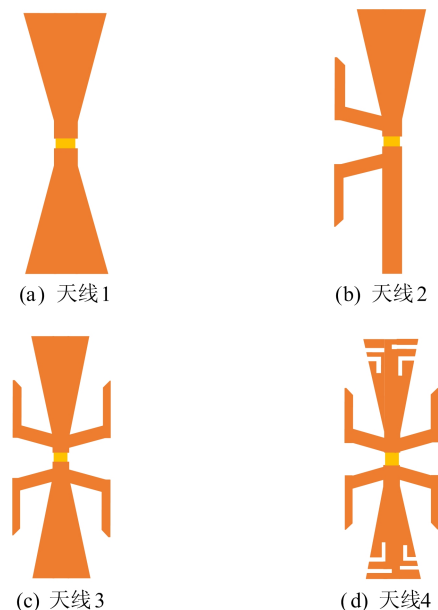
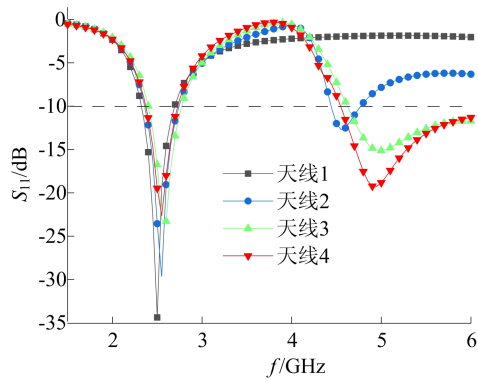


图 2 天线设计过程

图3 设计过程中参考天线对应的  $S_{11}$ 

仿真结果显示,天线2在4.60 GHz附近产生新的谐振点,但是带宽太窄,未能覆盖所需频段。进一步在天线2的右侧引入对称的辐射枝节,目的是使2个对称枝节引起的谐振频率相互靠近来拓展带宽,设计出天线3。天线3的  $S_{11}$  小于-10 dB的频段覆盖范围完全满足设计需求,但阻抗匹配的性能及中心频率点所在位置并不是很理想。

在倒三角辐射贴片的顶部边沿处引入L形和矩形缝隙,增加天线表面电流路径,使天线中心谐振频率点向低频移动,设计出天线4。天线4仿真结果显示天线高频段的谐振频率点在4.85 GHz附近,完全满足设计需求。

## 2 参数分析

在天线的设计过程中,若了解天线结构参数变化对天线性能的影响规律,则可以帮助有效快速完成天线设计。下面对天线的一些重要参数进行分析<sup>[8-9]</sup>。

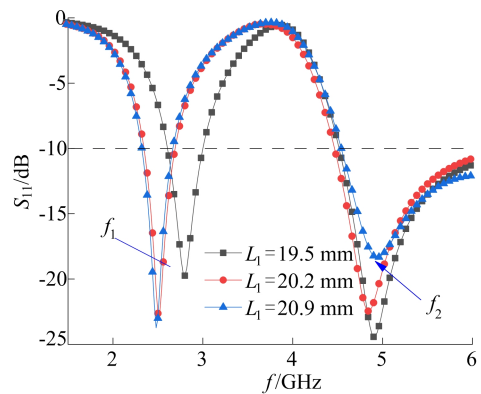
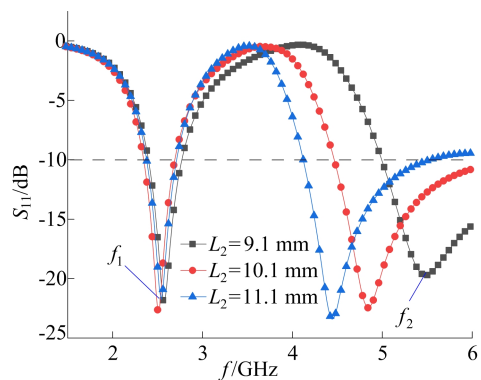
1) 中间枝节  $L_1$  长度对天线  $S_{11}$  的影响。保持其他参数不变,将  $L_1$  的长度依次增加及减少0.7 mm,得到回波损耗  $S_{11}$  随频率的变化曲线如图4所示。

从图4可以看出,对谐振点  $f_1$  来说,随着  $L_1$  长度的增加,电流路径的长度增加,  $f_1$  向低频方向移动,同时改善了阻抗匹配的性能,  $S_{11}$  的值减小;对谐振点  $f_2$  来说,  $L_1$  长度的增加,  $f_2$  位置未发生明显变化,却导致阻抗匹配性能变差,  $S_{11}$  的值在逐渐增加。

因此  $L_1$  的长度并不是越大越好。结合低频谐振点  $f_1$ 、高频谐振点  $f_2$  的变化特点,最终选择  $L_1=20.2$  mm。

2) 两侧枝节  $L_2$  长度对天线  $S_{11}$  的影响。首先将两侧枝节长度  $L_2$  作为扫描参数,其尺寸依次

增加1 mm和减小1 mm;然后利用仿真软件进行扫描分析;最后得到  $S_{11}$  随频率的变化曲线如图5所示。

图4  $L_1$  变化对  $S_{11}$  的影响图5  $L_2$  变化对  $S_{11}$  的影响

从图5可以看出,随着  $L_2$  长度增加,谐振点  $f_2$  向低频方向偏移,且阻抗匹配性能增强,因此谐振点变深。

这是由于天线的谐振长度与谐振频率呈反比例关系,  $L_2$  的变化主要影响高频谐振频率,使  $f_2$  向低频方向移动,谐振点  $f_1$  随着  $L_2$  长度的增加没有表现出明显的变化。最终两侧枝节  $L_2$  的长度为10.1 mm。

3) L形缝隙和矩形缝隙的宽度  $w$  对天线  $S_{11}$  的影响。因为缝隙长度  $L_3$  的变化基本不影响等效电流的长度,所以不会引起天线性能明显改变,因而将缝隙宽度  $w$  作为分析的对象,依次对其加、减0.7 mm,得到  $S_{11}$  随频率的变化曲线如图6所示。

从图6可以看出,随着  $w$  长度增加,低频谐振点  $f_1$  和 高频谐振点  $f_2$  都向低频方向移动,  $f_1$  所对应的  $S_{11}$  变化很小,而  $f_2$  所对应的  $S_{11}$  明显变小,阻抗匹配性能逐渐提高。最终L形缝隙和矩形缝隙  $w$  选择的尺寸为0.8 mm。

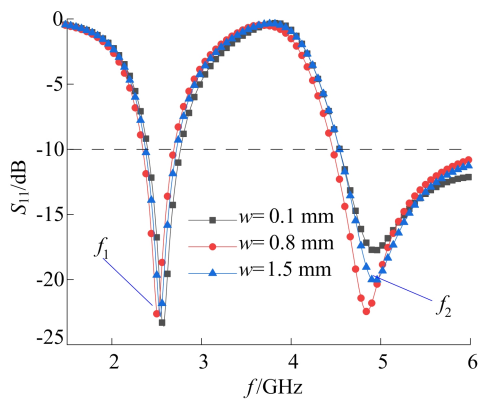


图 6  $w$  变化对  $S_{11}$  的影响

### 3 仿真与测试

加工的天线实物如图 7 所示,辐射贴片表面进行了沉金工艺处理。

下面对天线的电参数和辐射参数进行测试与分析。

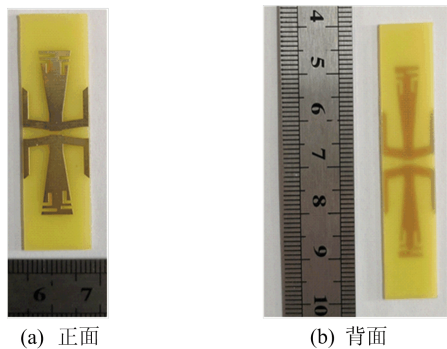


图 7 天线实物

天线仿真与测试的  $S_{11}$  曲线如图 8 所示。从图 8 可以看出,在低频段,天线的  $S_{11}$  小于  $-10$  dB 所覆盖的带宽为  $2.12 \sim 2.80$  GHz,实现覆盖 4G 频段的  $2.32 \sim 2.37$  GHz 以及 5G 频段的  $2.515 \sim 2.675$  GHz;在高频段,天线的  $S_{11}$  小于  $-10$  dB 所覆盖的带宽为  $4.53 \sim 5.55$  GHz,覆盖 5G 频段的带宽为  $4.80 \sim 4.90$  GHz。测试结果和仿真结果在趋势上基本吻合。

从图 8 还可以看出,仿真与测试结果之间存在一定差异,高频段带宽偏窄及天线整体阻抗匹配性能较弱,其原因主要如下:

- 1) 加工制造过程中存在不可避免的误差。
- 2) 实际使用介质基板的介电常数与仿真使用的介电常数有所偏差。
- 3) 馈电同轴头的损耗及测试误差的影响。

为了验证该天线在其工作频率内具有较好的

全向辐射特性,在天线谐振的低频段、高频段分别选取  $2.52$ 、 $4.85$  GHz 2 个谐振点在微波暗室里对该天线的远场辐射参数进行测试,并绘制仿真与测试的归一化辐射方向图,如图 9 所示。

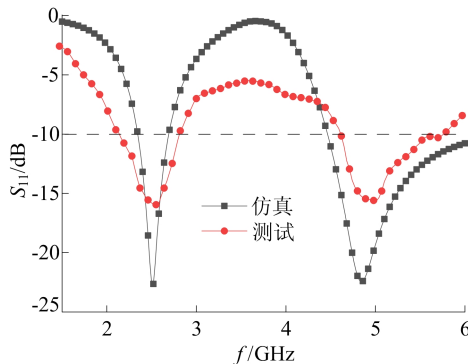
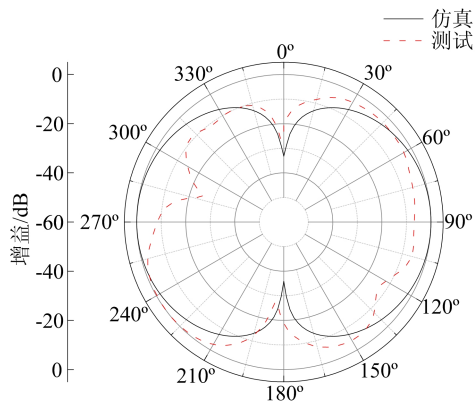
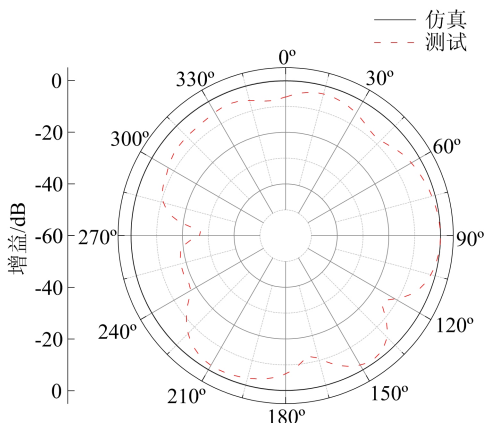


图 8 天线仿真与测试的  $S_{11}$  曲线

从图 9 可以看出,  $2.52$  GHz 频点的  $XOZ$  面辐射方向显示为准 8 字形,  $4.85$  GHz 频点的  $XOZ$  面辐射方向存在一些失真,所有频点的  $XOY$  平面图案都呈现准圆形。上述辐射特性说明,该天线在整个工作频带上展现出良好的全向辐射特性,符合设计要求。



(a) 2.52 GHz( $XOZ$  面)



(b) 2.52 GHz( $XOY$  面)

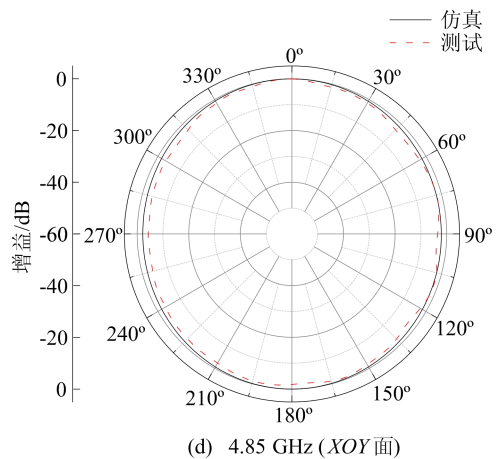
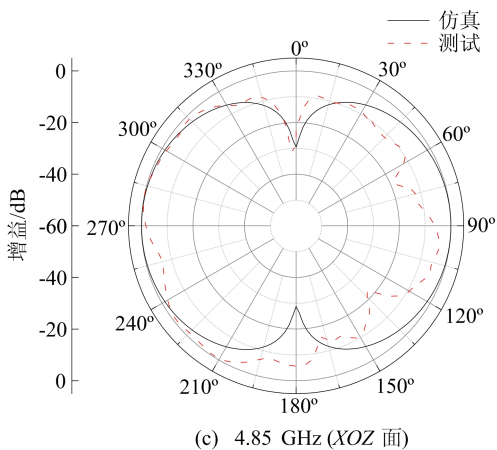


图 9 仿真与测试的天线辐射方向

### 4 结 论

本文了设计一款整体结构为山字型的满足露天矿山车载终端通信天线。基于双锥天线结构设计出工作在低频段的全向偶极子单频天线,采用多分支技术和缝隙开槽技术引入新的谐振点并增大带宽。经优化设计、加工和测试,最终该全向天线的带宽覆盖为 2.12~2.80 GHz 和 4.53~5.50 GHz 频段,完全满足露天矿山车载通信终端天线的要求。

### [参 考 文 献]

[1] 何帅,王慧. 新型超宽带低散射全向天线设计[J]. 微波学报,2016,32(增刊 1):159-161.

[2] BHATTACHARJEE S, MAITY S, CHAUDHURI S R B, et al. A compact dual-band dual-polarized omnidirectional antenna for on-body applications[J]. IEEE Transactions on Antennas and Propagation, 2019, 67(8):5044-5053.

[3] NGAMJANYAPORN P, KAKHONG T. A dual band dipole antenna for WiFi applications[C]//2019 7th International Electrical Engineering Congress (IEECON). [S. l. : s. n. ],2019:1-4.

[4] KISSI C, SARESTONIEMI M, SONKKI M. Dual band CPW-fed double monopole antenna for 2.4/5.8 GHz ISM band medical applications[C]//2019 International Symposium on Advanced Electrical and Communication Technologies (ISAECT). [S. l. : s. n. ],2019:1-6.

[5] LE T T, YUN T Y. Miniaturization of a dual-band wearable antenna for WBAN applications [J]. IEEE Antennas and Wireless Propagation Letters, 2020, 19(8):1452-1456.

[6] WANG W, YANG S, FANG Z, et al. Compact dual-polarized wideband antenna with dual-/single-band shifting for microbase station applications [J]. IEEE Transactions on Antennas and Propagation, 2021, 69(11):7323-7332.

[7] ZHOU L, WANG Y. Design of a high-gain dual-frequency omnidirectional antenna[C]//2019 Photonics & Electromagnetics Research Symposium-Fall (PIERS-Fall). [S. l. : s. n. ], 2019: 2398-2400.

[8] YU J, LI S J, LU W J. Conceptual design of triple-resonant dipole antenna with distinctive operational modes[C]//2020 International Conference on Microwave and Millimeter Wave Technology (ICMMT). [S. l. : s. n. ],2020:1-3.

[9] YIN X, CHEN S J, FUMEAUX C. Wearable dual-band dual-polarization button antenna for WBAN applications[J]. IEEE Antennas and Wireless Propagation Letters, 2020, 19(12):2240-2144.

(责任编辑 张 镅)