

文章编号:1671-251X(2016)06-0008-05

DOI:10.13272/j.issn.1671-251x.2016.06.003

崔洁,刘逢雪,臧其亮,等.矿用可穿戴翻折结构半模衬底集成空腔天线设计[J].工矿自动化,2016,42(6):8-12.

矿用可穿戴翻折结构半模衬底集成空腔天线设计

崔洁¹, 刘逢雪², 臧其亮¹, 徐钊²

(1. 江苏建筑职业技术学院 能源与交通工程学院, 江苏 徐州 221116;

2. 中国矿业大学 信息与电气工程学院, 江苏 徐州 221008)

摘要:根据煤矿井下对可穿戴天线的要求,在半模衬底集成空腔天线的基础上,采用折叠结构降低天线主体的宽度,并利用水平放置的馈电探针实现可穿戴天线扁平化,设计了一种矿用可穿戴翻折结构半模衬底集成空腔天线。仿真结果表明,该天线在5 GHz处于谐振状态,-10 dB带宽约为254 MHz,最大增益为5.4 dBi,辐射效率为70%,辐射方向具有较宽的主瓣和较低的背向辐射,且可通过增加上层衬底厚度来增加天线-10 dB带宽。

关键词:矿用天线;可穿戴天线;半模衬底集成空腔天线;翻折结构

中图分类号:TD655.3

文献标志码:A

网络出版时间:2016-06-01 10:18

网络出版地址:<http://www.cnki.net/kcms/detail/32.1627.TP.20160601.1018.003.html>

Design of mine-used wearable folded half-mode substrate-integrated cavity antenna

CUI Jie¹, LIU Fengxue², ZANG Qiliang¹, XU Zhao²

(1. College of Energy and Transportation Engineering, Jiangsu Vocational Institute of Architectural Technology, Xuzhou 221116, China; 2. School of Information and Electrical Engineering, China University of Mining and Technology, Xuzhou 221008, China)

Abstract: Based on half-mode substrate-integrated cavity antenna, a mine-used wearable folded half-mode substrate-integrated cavity antenna was designed considering requirements for underground wearable antenna. Width of antenna is reduced by use of folded geometry, and planar antenna is realized with horizontal feeding probe structure. The simulation results show that the antenna resonates at 5 GHz, -10 dB bandwidth is 254 MHz, the maximum gain is 5.4 dBi, radiation efficiency is 70%, and the antenna has radiation direction with wide beamwidth and low back radiation. Besides, -10 dB bandwidth of the antenna can be increased with thicker upper substrate.

Key words: mine-used antenna; wearable antenna; half-mode substrate-integrated cavity antenna; folded geometry

0 引言

近年来,可穿戴天线越来越多地应用于医疗监控、运动、安全和军事等领域。在煤矿生产安全方面,可穿戴天线同样具有巨大的应用前景。为了保障井下人员的人身安全,能够第一时间对潜在的危

险进行预警,需要对井下人员周围空气中的氧气、瓦斯含量等重要指标进行实时、不间断的监控^[1]。一旦发生安全事故,井下人员被困,则需要知道被困人员的位置,监控人体心跳、血压等各项生命指标,并且需要被困人员与地面控制中心之间保持通信联络^[2]。随着无线传感网络技术的广泛应用,上述各

收稿日期:2016-04-01;修回日期:2016-04-21;责任编辑:盛男。

基金项目:国家安全监管总局资助项目(jiangsu-0002-2015AQ)。

作者简介:崔洁(1987—),女,山东枣庄人,助教,硕士,主要研究方向为煤矿井下信道建模和天线设计,E-mail:348651736@qq.com。

项功能都可通过随身携带的传感器实现^[3]。可穿戴天线能将传感器获取的各项数据实时传输给地面基站,方便数据的及时存储和处理。

相较于传统硬质天线,可穿戴天线一般为柔性天线,面对弯折具有较高的鲁棒性,可集成在衣物中,且具有极高的便携性,对佩戴者的肢体活动影响很小,非常适合井下人员佩戴。为了保证佩戴人员在不同位置和姿态下都能够获得良好的接收信号,一般需要可穿戴天线具有较宽的主瓣。而为了避免天线与人体之间的相互影响,则需要天线具有较低的背向辐射,一般通过较大的导电地面尺寸来提高天线与人体之间的电磁隔离。半模衬底集成空腔天线具有扁平的外形,尺寸仅为传统背腔缝隙天线的50%,但谐振频率和带宽与其相同,而且仅有侧面的一条开口,结构较封闭,受灰尘、水气等环境因素的干扰较小^[4],适合作为矿用可穿戴天线。本文以半模衬底集成空腔天线为基础,设计了一种谐振频率为5 GHz的矿用可穿戴翻折结构半模衬底集成空腔天线。

1 天线材料选择

衬底材料的选择对于天线性能,尤其是天线效率的影响很大。常见的可穿戴天线的衬底材料包括皮革、羊毛毡、发泡材料等。参考文献[5]中提出的由羊毛毡作为衬底、工作在1 GHz的贴片天线的辐射效率在50%左右,天线效率较低。参考文献[3]介绍了一种圆形半模衬底集成空腔天线,其衬底由PF-4发泡材料制成,天线效率高于90%,但发泡材料价格高昂,物理强度低且易燃。本文选择与参考文献[6]中相同的皮革材料衬底(在5 GHz时,相对介电常数为1.3,损耗角正切为0.02)进行天线设计。

可穿戴天线的导电部分一般常用导电织物、导电聚合物或铜箔制成。考虑到数字缝纫机能够方便地对导电织物制成的可穿戴天线进行制作,本文选择与参考文献[6]相同的导电布(方块电阻为0.04 Ω)和导电缝纫线,经缝纫得到方块电阻为1 Ω的导电侧壁。

2 半模衬底集成空腔天线

半模衬底集成空腔天线由半个矩形谐振腔和1个开口组成,如图1所示。 a, b 分别为空腔的宽度、长度; ω_g, l_g 分别为底面的宽度、长度; h 为衬底厚度; a_0 为馈电探针到辐射开口的距离。根据经典

空腔模型理论的推导,可得半模衬底集成空腔天线谐振频率为

$$f_r = \frac{c}{2\sqrt{\epsilon_r}} \sqrt{\frac{1}{4a^2} + \frac{1}{b^2}} \tag{1}$$

式中: c 为真空光速; ϵ_r 为衬底材料的相对介电常数。

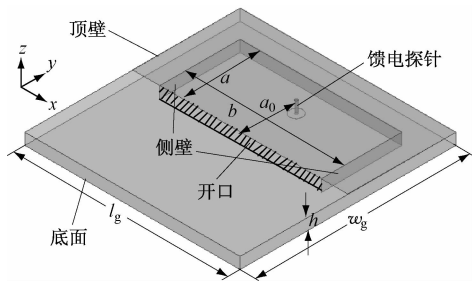


图1 半模衬底集成空腔天线

为了简化设计,本文选择半个正方形的空腔形状,即 $b=2a$;底面为50 mm×50 mm的正方形,即 $l_g=\omega_g=50$ mm; $h=2$ mm。经过HFSS参数优化,当 $a=18.3$ mm, $b=2a=36.6$ mm, $a_0=12.9$ mm时,天线在5 GHz处于谐振状态,且阻抗匹配良好。通过HFSS仿真得到天线回波损耗曲线如图2所示,可计算出天线的-10 dB带宽约为261 MHz。

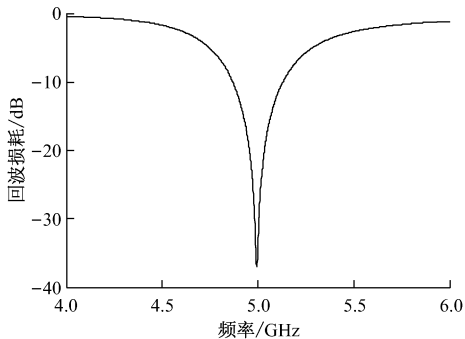


图2 半模衬底集成空腔天线回波损耗曲线

3 翻折结构半模衬底集成空腔天线

当半模衬底集成空腔天线受到如图3所示的180°翻折后,天线上下两部分之间的空隙 $g=1$ mm,且保持翻折后的底面总宽度不变,根据不同的翻折位置距馈电探针的距离 y_0 ,可得天线回波损耗曲线,如图4所示。从图4可看出,对于不同的翻折位置,半模衬底集成空腔天线阻抗匹配情况均保持良好,这是因为半模衬底集成空腔天线的开口可等效为平行于天线底面的磁偶极子^[7],而在本文所讨论的翻折情况下,辐射开口未发生翻折,因此,等效磁偶极子并未受到弯折;翻折情况下的天线谐振频率有轻微的偏移,这是由于天线的实际空腔宽度在翻

折情况下发生改变而造成的。

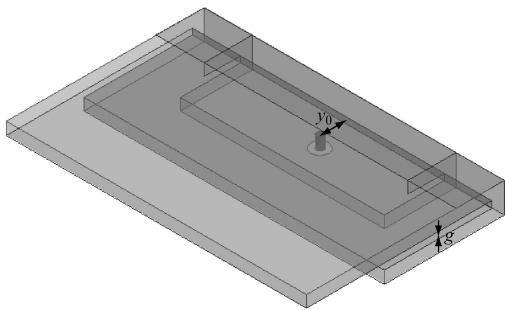


图 3 180°翻折情况下的半模衬底集成空腔天线

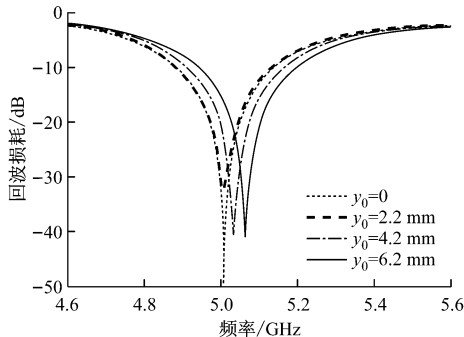


图 4 180°翻折情况下的半模衬底集成空腔天线回波损耗曲线

图 1 所示的半模衬底集成空腔天线结构扁平,但馈电探针却是竖直的,在实际使用中需要使用竖直方向的接线进行连接,这对于可穿戴应用的扁平化设计要求明显不合适。根据图 4 可知,沿着与空腔开口平行方向对天线进行翻折,当翻折位置和馈电探针重合时,天线的阻抗匹配不受影响,而且馈电探针呈水平方向放置,更适合实际的可穿戴应用。因此,令 $y_0=0$,且 $g=0$,可得到如图 5 所示的翻折结构半模衬底集成空腔天线。 a_1, a_2 分别为上层空腔、下层空腔的宽度; h_1, h_2 分别为上层衬底、下层衬底的厚度; d 为中层和翻折外侧的间距。

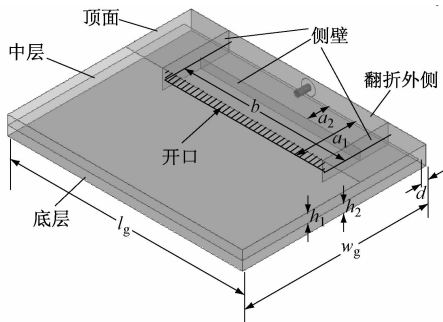


图 5 翻折结构半模衬底集成空腔天线

经过 HFSS 参数优化,当 $b=34\text{ mm}$, $a_1=12.5\text{ mm}$, $a_2=b/2-a_1=4.5\text{ mm}$, $h_1=h_2=2\text{ mm}$, $d=2\text{ mm}$, $l_g=50\text{ mm}$, $\omega_g=l_g/2+a_1+d=39.5\text{ mm}$ 时,仿真得到翻折结构半模衬底集成空腔天线回波

损耗曲线如图 6 所示。天线在 5 GHz 时处于谐振状态,阻抗匹配良好,−10 dB 带宽约为 254 MHz。

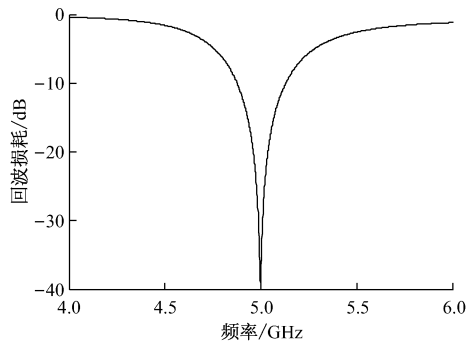


图 6 翻折结构半模衬底集成空腔天线回波损耗曲线

HFSS 仿真得到的天线辐射方向如图 7 所示。在 xz 平面和 yz 平面内,平行极化波的辐射方向均具有很宽的主瓣和很低的背向辐射,符合可穿戴天线对辐射方向的要求。仿真得到天线最大增益为 5.4 dBi,辐射效率为 70%。

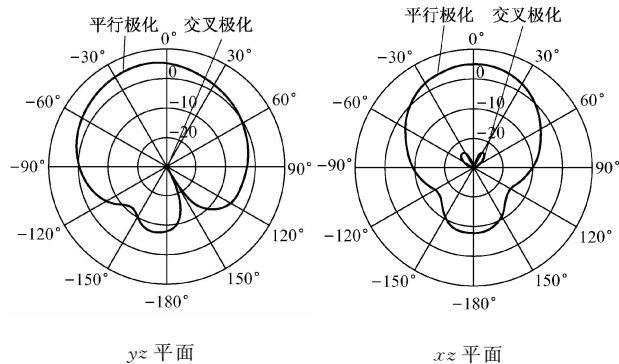


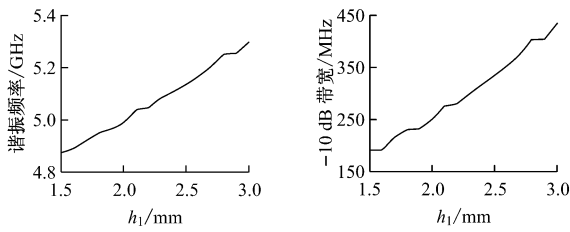
图 7 翻折结构半模衬底集成空腔天线辐射方向

4 关键参数分析

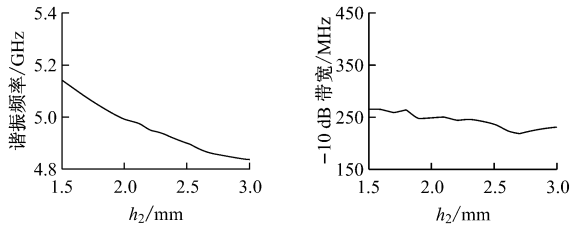
为了研究关键参数 h_1, h_2 和 d 对天线性能(谐振频率和−10 dB 带宽)的影响,通过 HFSS 进行仿真,结果如图 8 所示。从图 8 可看出, h_1 是对天线−10 dB 带宽影响最大的参数,而 h_2 和 d 对−10 dB 带宽基本没有影响;天线谐振频率随着 h_1 的增大而升高,但随着 h_2 的增大而降低,这可能是因为对于不同的 h_1, h_2 ,为了在仿真中达到阻抗匹配, a_1, a_2 的比值需要进行调整,而天线阻抗因此发生了变化所导致的;天线谐振频率随着 d 的增大而降低,这是因为 d 的增大导致上层空腔和下层空腔的实际宽度 a_1+d 和 a_2+d 增加,而由式(1)可知,天线谐振频率随空腔宽度增加而降低。

5 结语

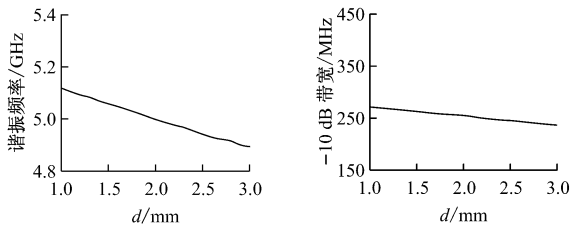
提出了一种矿用可穿戴翻折结构半模衬底集成



(a) h_1 对天线谐振频率和-10 dB带宽的影响



(b) h_2 对天线谐振频率和-10 dB带宽的影响



(c) d 对天线谐振频率和-10 dB带宽的影响

图8 不同参数对天线谐振频率和-10 dB带宽的影响

空腔天线的设计方案。在半模衬底集成空腔天线的基础上采用翻折结构,降低了天线主体的宽度,并使用水平放置的探针进行馈电,符合可穿戴天线的扁平化设计要求。仿真结果表明,该天线的谐振频率为5 GHz,-10 dB带宽约为254 MHz,最大增益为5.4 dBi,辐射效率为70%,且辐射方向具有较宽的主瓣和较低的背向辐射,满足可穿戴天线对辐射方

向的要求。下层衬底厚度对天线-10 dB带宽的影响不大,而上层衬底厚度对-10 dB带宽具有较大影响,所以,在设计天线时,可适当降低下层衬底厚度,增加上层衬底厚度,以便在保持较小天线厚度的同时获得较宽的带宽。

参考文献:

- [1] 孙继平. 煤矿事故特点与煤矿通信、人员定位及监视新技术[J]. 工矿自动化, 2015, 41(2): 1-5.
- [2] 张燕燕. 基于无线传感器网络的矿井应急通信系统的研究[J]. 工矿自动化, 2008, 34(4): 71-73.
- [3] 孙彦景, 钱建生, 李世银, 等. 煤矿物联网系统理论与关键技术[J]. 煤炭科学技术, 2011, 39(2): 69-72.
- [4] LIU F X, KAUFMANN T, XU Z, et al. Wearable applications of quarter-wave patch and half-mode cavity antennas[J]. IEEE Antennas and Wireless Propagation Letters, 2015, 14: 1478-1481.
- [5] ALOMAINY A, TIAN H L. Experimental evaluation of wearable antenna efficiency for applications in body-centric wireless networks [C]//IEEE MTT-S International Microwave Workshop Series on RF and Wireless Technologies for Biomedical and Healthcare Applications, London, 2014: 1-3.
- [6] 刘逢雪, 徐钊, 华钢. 矿用多频切换半模衬底集成空腔天线设计[J]. 工矿自动化, 2016, 42(2): 19-22.
- [7] KAUFMANN T, FUMEAUX C. Wearable textile half-mode substrate-integrated cavity antenna using embroidered vias[J]. IEEE Antennas and Propagation Society, 2013, 12(9): 805-808.