文章编号:1671-251X(2016)02-0055-03　　DOI:10.13272/j.issn.1671-251x.2016.02.014
王婷婷,徐钊.一种矿用定向天线设计[J].工矿自动化,2016,42(2):55-57.

一种矿用定向天线设计

王婷婷,　徐钊

(中国矿业大学 信息与电气工程学院,江苏 徐州　221008)

摘要:设计了一款适用于巷道类狭长受限空间的双臂平面螺旋天线。该天线由 4 条等角螺旋线构造的 2 个对称的螺悬臂组成。与传统的全向天线相比,该天线辐射的定向波束可减少无线电波在巷道壁上的反射损耗,圆极化特性可有效减弱巷道内多径效应的影响,双向辐射特性可提高辐射效率。仿真结果表明,工作在 2.4 GHz 频段时,5 圈双臂平面螺旋天线的 3 dB 半功率波瓣宽度大于 60°,增益大于 4 dB;10 圈双臂平面螺旋天线的 3 dB 半功率波瓣宽度为 120°,增益大于 6 dB。

关键词:双臂平面螺旋天线;圆极化;有向辐射;抗多径

中图分类号:TD655　　文献标志码:A　　网络出版时间:2016-01-26 15:47

网络出版地址:http://www.cnki.net/kcms/detail/32.1627.TP.20160126.1547.014.html

Design of a mine-used directional antenna

WANG Tingting,　XU Zhao

(School of Information and Electrical Engineering, China University of Mining and Technology, Xuzhou 221008, China)

Abstract: A two-arms planar spiral antenna was designed for long-narrow confined space like tunnels. The antenna is composed of two symmetrical arms which are structured by four equiangular helix lines. Compared with traditional omni-directional antenna, the antenna has greater potential for reducing reflection loss of radio waves by tunnel walls. Because of circular polarization characteristics, the antenna has potential for weakening influence of multi-path effect, and bidirectional radiation characteristic can make the antenna to improve radiation efficiency. The simulation results show that when the antenna with five cores works at 2.4 GHz, half power beam width in 3 dB is more than 60 degree and gain is more than 4 dB while the antenna with ten cores is 120 degree and 6 dB seperately.

Key words: two-arms planar spiral antenna; circular polarization; directional beam; anti-multipath

0　引言

在煤矿巷道类受限空间,无线电传播最突出的一个现象就是多径效应,即从发射源辐射出的电磁波由于巷道壁和各种障碍物阻挡,会发生反射、散射、绕射等现象[1]。近年来国内外学者对无线电波在井下的传播预测理论比较关注,已建立了初步的信道模型系统,为巷道内电磁波传播特性的研究奠定了基础[2]。但目前针对巷道等带状环境下的天线理论研究还未形成体系。现有矿井无线通信系统大多采用单极子类鞭状天线[3]和微带天线[4]。该类天线近似为全向辐射,在狭长巷道中的辐射波束会因巷道壁的阻挡而产生较多的反射损耗。霍羽等[5]研究表明,该类天线辐射波束与巷道耦合后的波束为有向辐射波束,证明具有定向辐射波束的天线更适用于巷道类受限空间。现有的矿用定向天线主要有

收稿日期:2015-11-05;**修回日期**:2015-12-30;**责任编辑**:李明。

基金项目:江苏省自然科学基金面上资助项目(BK20130199,BK20131124)。

作者简介:王婷婷(1986—),女,江苏连云港人,博士研究生,主要研究方向为矿井无线通信、矿用定向天线设计等,E-mail:tracy_cumt@163.com。

喇叭天线、反射面天线、螺旋天线等，其中工作频率为 2.4 GHz 的喇叭天线体积较大，反射面天线和普通螺旋天线均为单向辐射天线，辐射效率较低。

研究表明，圆极化天线收发数据时可有效减弱多径效应影响，且提高无线通信系统的信道容量[6]。双臂平面螺旋天线同时具有圆极化特性和定向辐射特性，并可实现双向窄波束辐射，符合巷道类受限空间对定向天线的应用需求，因此，本文设计了一款双臂平面螺旋天线作为矿井无线通信系统基站的收发天线，以减少因巷道壁和颗粒反射造成的多径效应干扰，改善井下无线通信质量，并可对不同波束进行频分复用，提高信道容量。

1 天线结构设计

双臂平面螺旋天线结构如图 1 所示。该天线包括 2 个螺悬臂，每个螺悬臂由 2 条起始角相差 δ 的等角螺旋线构成。ρ 为内圈半径，r_w 为外圈半径。

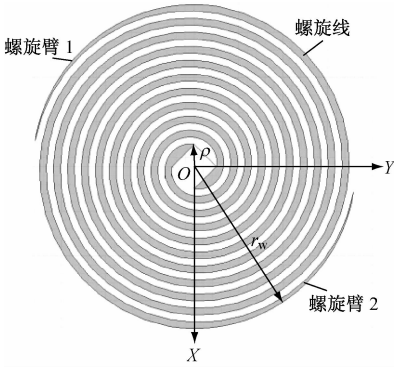


图 1 双臂平面螺旋天线结构

在 XOY 平面上，螺旋线方程为

$$r = \rho\exp[\alpha(\varphi - \delta)] \tag{1}$$

式中：r，φ 分别为极坐标的矢径与幅角；$\frac{1}{\alpha}$ 为螺旋率；δ 为螺旋线角宽度。

式(1)符合拉姆斯提出的非频变天线的一般形状方程。选取 $\delta=90°$ 的双臂自互补型结构，每个螺旋臂为 5 圈，线宽为 0.1 cm，线间距为 0.1 cm，内圈半径 $\rho=0.5$ cm，外圈半径 $r_w=2.5$ cm。螺旋臂末端采用平滑过渡，基板选择常用的 FR4，其相对介电常数为 4.4。

2 仿真分析

当中心频率为 2.4 GHz 时，双臂平面螺旋天线辐射归一化方向如图 2 所示。由于该天线为平面且双臂结构对称，所以其在 XOZ 和 YOZ 平面辐射出的辐射波瓣均为对称双向波束，且最大辐射方向均在天线两侧的法线方向上，上下波束的半功率波瓣宽度（Half Power Beam Width，HPBW）均大于 60°，增益大于 4 dB。

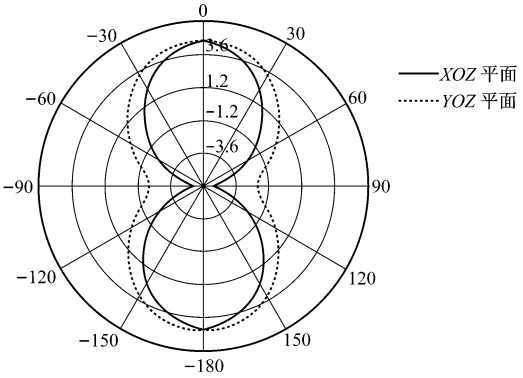
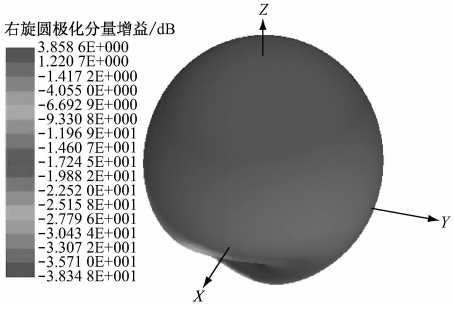
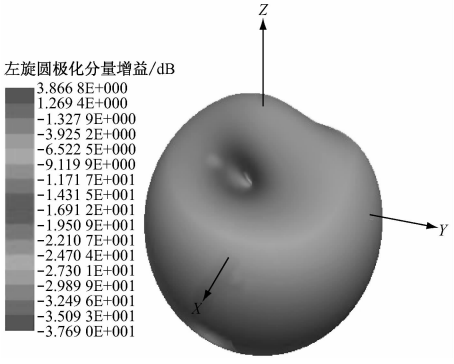


图 2 双臂平面螺旋天线辐射归一化方向

图 3 为 HFSS 软件仿真的双臂平面螺旋天线辐射方向 3D 效果。可见该天线辐射的 2 个波瓣分别在天线平面（XOY 平面）的两侧。已知具有圆极化特性的双臂平面螺旋天线具有旋向正交性，即发射天线和接收天线之间满足互易定理：天线若辐射左旋圆极化波，则只接收左旋圆极化波；天线若辐射右旋圆极化波，则只接收右旋圆极化波。由图 3 可知，本文设计的双臂平面螺旋天线同时辐射左旋圆极化波和右旋圆极化波波束，因此该天线具有旋向正交性，可工作于同一频段而互不干扰，从而实现频率复用，提高信道容量。



（a）右旋圆极化分量



（b）左旋圆极化分量

图 3 双臂平面螺旋天线辐射方向 3D 效果

图 4 为双臂平面螺旋天线的电压驻波比。电压驻波比为反映馈线传输效率的指标，通常要求小于 1.5，在工作频点应小于 1.2。从图 4 可看出，在 1.5～10 GHz 范围内，该天线电压驻波比小于 1.5，说明天线阻抗匹配良好。图 5 为该天线的回波损耗，表征信号反射性能。可见天线中心频率为 2.4 GHz 时，回波损耗为 −28 dB；中心频率为 5.8 GHz 时，回波损耗为 −18.4 dB，均满足小于 −10 dB 的设计要求。天线相对带宽达 60%，属于超宽带天线范畴。

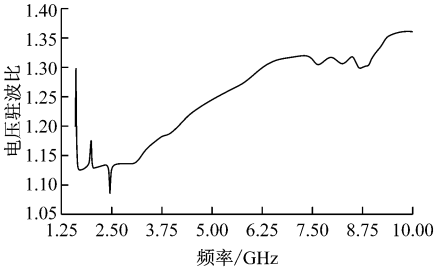


图 4　双臂平面螺旋天线的电压驻波比

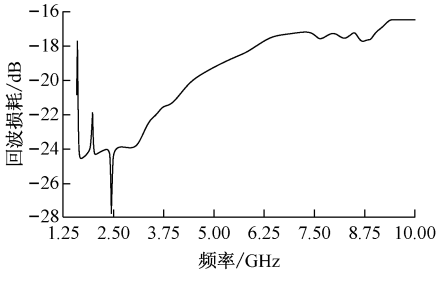


图 5　双臂平面螺旋天线的回波损耗

可通过增大天线辐射表面积来获得更高增益。图 6 为工作频率为 2.4 GHz 的 10 圈双臂平面螺旋天线辐射归一化方向，外圈半径为 45 mm，3 dB 波瓣宽度为 120°，增益大于 6 dB，优于参考文献[7]中小型单极子超宽带天线增益(5.2 dB)。由图 2 和图 4 可知，双臂平面螺旋天线辐射的“8”字型对称波束的最大辐射方向均在法线方向上，与全向覆盖的单极子天线和副瓣很多的微带圆极化天线相比，其辐射能量更集中，辐射效率更高。

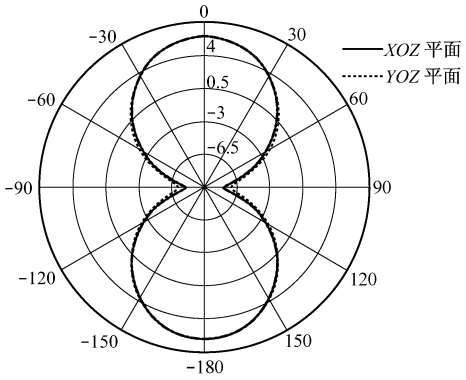


图 6　10 圈双臂平面螺旋天线辐射归一化方向

3　结语

双臂平面螺旋天线的辐射波瓣分别在天线平面两侧并对称，HPBW 大于 60°，满足矿用天线最大扫描角大于 30°的要求。5 圈双臂平面螺旋天线的增益大于 4 dB，10 圈双臂平面螺旋天线增益大于 6 dB，高于常用单极子全向天线。后续将在条件允许的情况下，在巷道环境内对该天线及其辐射的电磁波传播特性进行测试，以验证理论分析结果。

参考文献：

[1]　孙继平. 矿井移动通信的现状及关键科学技术问题[J]. 工矿自动化，2009，35(7)：110-114.

[2]　ZHANG Y P，HWANG Y. Characterization of UHF radio propagation channels in tunnel environments for microcellular and personal communications[J]. IEEE Transactions on Vehicular Technology，1998，47(1)：283-296.

[3]　田子建，雷婧，王文清. 矿用小型化单极子超宽带天线设计和性能分析[J]. 煤炭科学技术，2015，43(1)：81-85.

[4]　黄凯，张然，卑璐璐. 一种紧凑型宽频带圆极化射频识别天线设计[J]. 工矿自动化，2014，41(5)：34-38.

[5]　霍羽，徐钊，刘逢雪. 融合波模和射线理论的矿井电波传播模型[J]. 电子学报，2013，41(1)：110-116.

[6]　孙晓玲. MIMO 系统终端天线研究与设计[D]. 太原：太原理工大学，2011：74.

[7]　丁丁，龚克. 圆极化波室内传播特性研究[J]. 电波科学学报，1999，14(3)：304-307.