

DOI:10.19651/j.cnki.emt.2108600

三线式宽带短波天线建模与仿真

王鼎 谢洪森 刘雨 卢翰
(海军航空大学青岛校区 青岛 266041)

摘要: 三线式宽带短波天线是一种新型的短波通信天线,为充分发挥该天线在全向通信与定向通信中的性能,本文首先采用矩量法分析计算三线天线在不同工种频率的辐射阻抗与天线方向图,并得到了天线方向性系数随工作频率变化的曲线,从而有效指导天线在全向通信或定向通信中的频率选择;利用电磁仿真软件 FEKO 建立了三线天线与典型地物的仿真模型,得到了典型工作频率、不同地物影响下天线方向图的畸变规律,总结出高度参数对三线天线方向图的影响最为明显,为三线天线选址架设等工程实践提供参考。

关键词: 短波通信;三线式短波宽带天线;FEKO;天线方向图

中图分类号: TP82 **文献标识码:** A **国家标准学科分类代码:** 510.5015

Modeling and simulation of three-line wide-band short-wave antenna

Wang Ding Xie Hongsen Liu Yu Lu Han
(Naval Aviation University Qingdao Campus, Qingdao 266041, China)

Abstract: Three-line HF wide band antenna is a new type of short-wave communication antenna. In order to give full play to the performance of the antenna in omni-directional communication and directional communication, this paper first analyzes and calculates the radiation impedance and antenna pattern of three-line antenna at different work frequencies by using the method of moments, and obtains the curve of antenna directivity coefficient varying with working frequency, so as to effectively guide the frequency selection of antenna in omni-directional communication or directional communication. The simulation model of three-line antenna and typical ground objects is established by using electromagnetic simulation software FEKO, and the distortion law of antenna pattern under the influence of typical working frequency and different ground objects is obtained. It is concluded that the influence of height parameters on three-line antenna pattern is the most obvious, which provides a reference for engineering practice such as location selection and erection of three wire antenna.

Keywords: short-wave communication; three-line HF wide band antenna; FEKO; antenna direction pattern

0 引言

短波一般是指频率为 3~30 MHz 的电磁波。短波天线品种有多种,可以根据所需的通信距离、方向性、发射接收功率等具体条件进行理性的选择,一般情况下大部分人选择宽带偶极子天线、笼形天线等目前市场上随处可见的短波天线。但是类似于上述的普通宽带双极天线并不是完美的,它的优缺点都很明显,虽然一般情况下这种类型的天线都具有结构简易,架设方式简单易行,省略天调,无需连接地线,造价便宜,通信频带较宽等显著的优点,但也存在辐射效率低,通信质量不佳,质量粗陋,架设后不稳定等问题。

文献[1]介绍了一种新型的短波宽带通信,即三线式宽带短波天线,简单介绍了该天线的特点,给出了天线在单频

点的方向图。文献[2]给出了三线天线 4 个频点下的方向图,并对比了该天线和双极天线的通信性能,但未分析天线性能随工作频率变化的规律。文献[3]概略给出了短波天线选型需要考虑的因素。文献[4]利用高频结构仿真 HFSS 分析了分析不同地形环境对短波三线天线的影响,但未具体分析工程实践中常见高大地物对天线性能的影响。

三线天线结构确定以后,工作频率是影响天线性能的内在因素,而地形地物是影响天线性能的外在因素。为充分发挥三线式宽带短波天线的良好性能,本文将参考文献[4]采用的矩量法,对三线天线在不同工作频率下辐射阻抗与天线方向图进行计算分析,总结天线方向性系数随工作频率变化的规律;在此基础上,借助电磁仿真软件

收稿日期:2021-12-14

FEKO 建立三线天线与典型地物的仿真模型,并在典型工作频率下仿真分析高大地物对天线方向图的影响,确定地物参数中最重要的影响维度,根据仿真结果给出工程实践的意见建议。

1 三线式宽带短波天线的特点

三线式宽带短波天线采用三线偶极结构,与之前短波天线的双线偶极相比具有小损耗、高辐射效率、全频带内保持低驻波比的重要优势,并且克服了普通短波天线架设之后重心容易不稳、受风影响大、天线容易被损坏的缺点,保证短波电台通信效果的稳定,是目前实际运用比较频繁的一种天线^[1]。三线式宽带短波天线具有如下主要特点。

1) 频带宽,可在短波频率范围内全频段工作并实现不同频率、不同距离的点对点或点对多点通信。

2) 免调谐,天线输入阻抗平缓、无需增设天线调谐器或相关电路单元。

3) 全方向,具有中、高仰角辐射,用近垂直入射方式工作时,可弥补短波通信“盲区”的问题,可实现全方向通信。

4) 安装架设方便,天线尺寸小、重量轻、具备抗强风能力,标准化生产,现场安装简便。

三线式宽频带短波天线的天线结构类似于折合振子,两臂分别由两条平行振子组成,在 $L/2$ 处折合成一根振子,折回后在中心处加载^[2]。其中,振子的总长度一般为 30 m,宽度为 1.3 m,边缘宽度为 1.0 m,中心架高 15 m(本文仿真均基于该典型尺寸)。水平架设的三线式宽带短波天线的结构如图 1 所示。

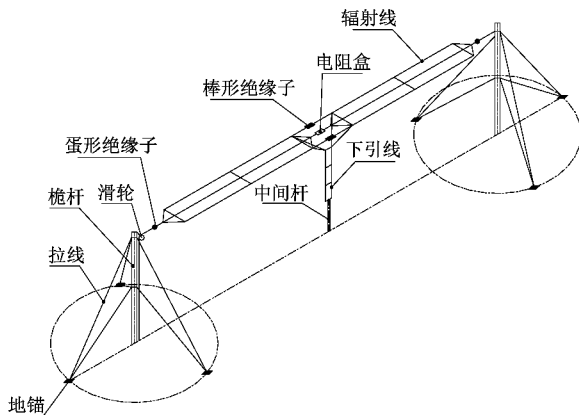


图 1 水平架设三线式宽带短波天线结构

2 对称振子天线仿真

三线宽带天线的天线结构类似于常见的折合振子,而折合振子的方向性图又与对称振子类似,所以对于三线宽带天线的仿真可以从对称振子的仿真入手。

对称振子天线也叫对称天线,它由直径和长度均相等的两根直导线构成的,在两个内端点上由等幅反相的电压激励。其中每根直导线的长为 L ,直径远小于其长度。由

于受到激励源电压激励,振子两臂产生电流,并传播到天线所在空间中,创建电磁场。

在线天线分析中,通常以电场积分方程建立问题的计算式,然后用矩量法求解积分方程来计算天线的各种电性能^[5]。

在研究对称振子上电流分布时,通常把它近似看成一对终端开路的两臂向外张开的传输线。在确立了对称振子上的具体电流分布之后,可以计算该振子在空间的任意一点上所辐射的场强。可以将对称振子化分为很多小微段,可以把每一个小微段都当成一个微小的电流元,并且每一个小微段上的电流都可近似认为是等幅同向的,于是通过积分的方法叠加众多电流元所产生的场强,就可以计算出对称振子在空间里的任一点的辐射场强。在球面坐标系中,即通过积分后可以计算对称振子在远场区空间产生的电场大小为^[6]:

$$E_{\theta} = j \frac{60 I_m}{r} \left[\frac{\cos(\beta L \cos \theta) - \cos(\beta L)}{\sin \theta} \right] e^{-j\beta r} \quad (1)$$

式中: r 为定义的参考点到天线中心的距离, L 表示天线振子其中一个臂的长度。由天线方向性函数的定义可知^[7]:

$$F(\theta, \varphi) = \frac{|E(\theta, \varphi)|}{|E_{\max}|} = \frac{\cos(\beta L \cos \theta) - \cos(\beta L)}{\sin \theta} \quad (2)$$

由式(2)可以知,对称振子辐射场的大小与方向有关,其 E 面辐射并不均匀。方向性函数 $F(\theta, \varphi)$ 中不含 φ , 这表明对称振子在垂直它的平面(H 面)内是无方向性的。

在子午面(E 面)即包含振子轴线的平面内,对称天线的方向性比电流元复杂,方向性函数不仅与 θ 有关,而且在方向性函数的表达式中含有对称振子的半臂长,这表明不同长度的对称振子有着不同的方向性,即 E 面的方向性图与电长度 L/λ 有关。因为波长与频率存在确定关系,故换言之, E 面的方向性图与振子的频率有关。

辐射阻抗就是将天线对外所辐射的功率等效为天线在一个电阻上的损耗,其表达式即:

$$R_{\Sigma} = \frac{2P_{\Sigma}}{I_m^2} = 60 \int_0^{\pi} \frac{\cos(\beta L \cos \theta) - \cos(\beta L)}{\sin \theta} d\theta \quad (3)$$

利用 MATLAB 得出对称振子在短波频段内的辐射阻抗随电长度变化的曲线。辐射阻抗的变化可以反映天线的辐射效能变化,如图 2 所示。

3 三线式宽带短波天线仿真

三线式宽带天线从结构上可以简单化地看成 3 个对称振子的叠加。三线式宽带天线三根线的距离为 1.3 m,可以根据不同频点对应的不同波长与间距的比值,适当的在对称振子方向性函数加上一个相位,再将三根天线的各自方向性图进行叠加,由此可得三线式宽带天线的大致方向性图^[8]。

结合目前实际中常用的波段,且频率过高会展现出较强的超短波特性和,本次仿真的主要波段主要集中在 3~17 MHz,在不同工作频率的水平方向图如图 3 所示。

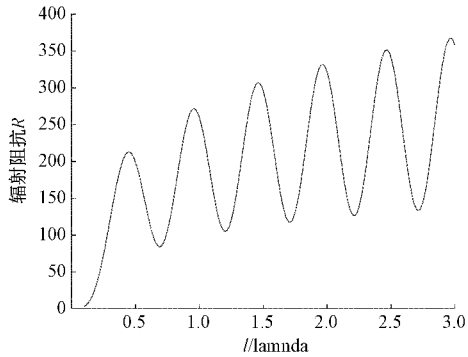


图 2 对称振子的辐射阻抗与电长度的函数关系

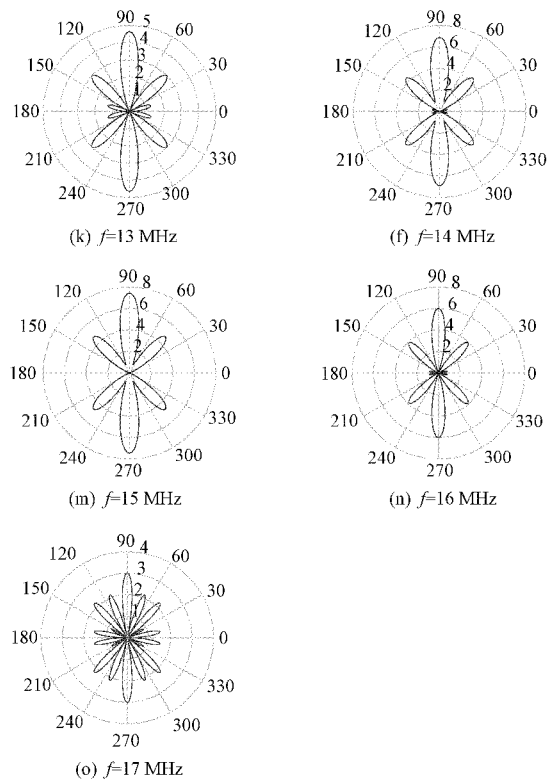
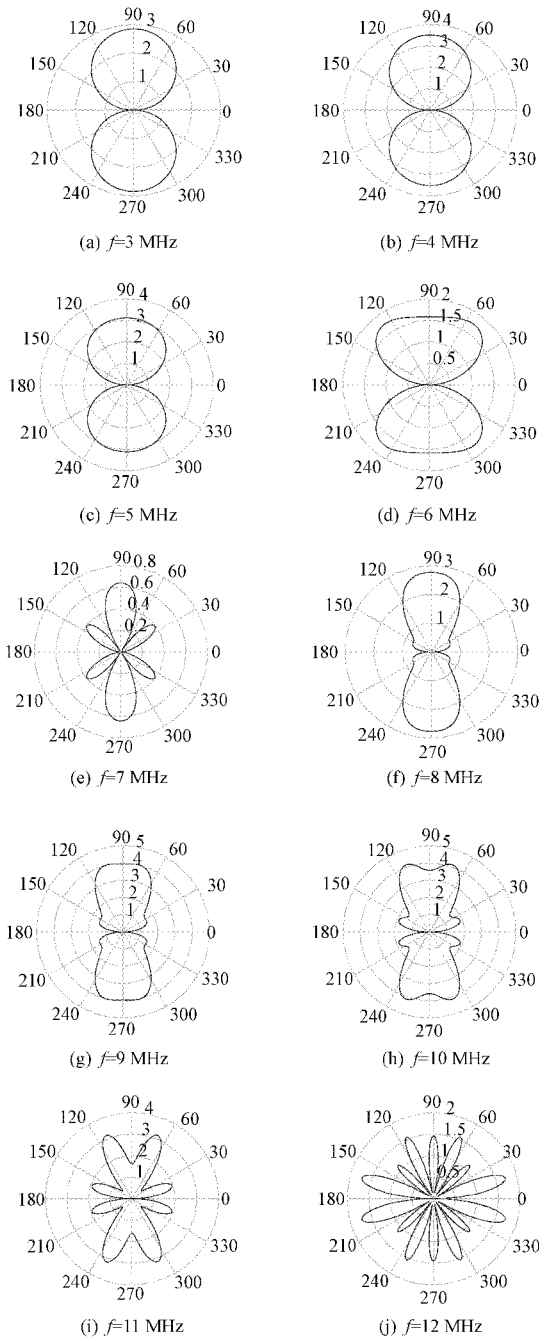


图 3 不同工作频率的水平方向图

从各个频点的方向性图的对比中可以发现,当三线天线使用的频率越高,由于其频率越来越接近超短波,其方向性系数越好。

三线天线的振子为折合振子,其方向性与对称振子类似,这里可以简单的以对称振子为例,简单分析一下。因为不同长度的对称振子上的电流不同,所以振子在子午面(E 面)内的方向性图随电长度 L/λ 变化。当 $2L \leq \lambda$ 时,振子上的电流都是同相的。当 $2L > \lambda$ 后,振子上的电流出现了反相部分^[9]。正是由于天线上的电流分布不同,各电流元段至观察点的射线之间存在着行程差,因而电场间存在着相位差^[10]。叠加时是同相相加,即产生最大辐射;若反相则相减,产生零点值;而在其他方向上,有相互抵消作用,于是产生了介于最大值和 0 之间的其他值,如图 4 所示。

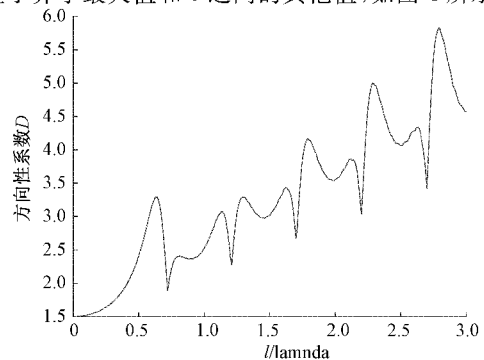


图 4 方向性系数与电长度的函数关系

在 7、12、17 MHz 这 3 个频点时,和方向性变化大规律不一致,天线的方向性发生骤变,主瓣变得不如之前的明显,副瓣数量增多且幅度变大。这 3 个频点对应的电长度依次为 0.7、1.2、1.7,从方向性系数与电长度的变化曲线中可以发现这 3 个点正是曲线的 3 个谷值,所以方向性图出现了主瓣不明显,副瓣增多且变大的现象。

由此可知,在定向通信是应该避开这几个频率点,但如果是全向短波通信台站,所以反而应该选取这几个频率点进行通信。

4 基于 FEKO 的环境影响仿真

FEKO 是一个专门针对于天线仿真的软件^[11],广泛应用于航空、航天、电子、通信、电力等行业,可以用于天线的设计与分析、天线布局分析、系统的 EMC/EMI 分析、电缆辐射与抗干扰分析等,功能强大^[12]。FEKO 的数值混合技术、矩量法与高频混合技术等也广泛应用天线设计、天线布局、散射以及电磁兼容等领域^[11]。应用 FEKO 进行天线仿真的一般流程如图 5 所示。

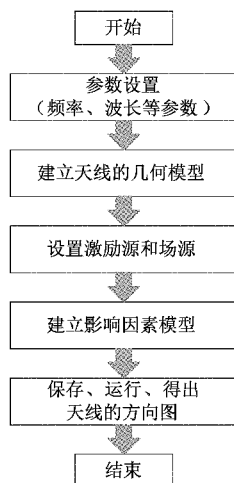


图 5 天线仿真流程

根据前期调研,对于三线式宽带天线周围环境而言,影响三线式宽带天线的电波传播的高大地物主要是由一些高大的山丘、陡峭的山峰和高大的民用楼房等,虽然这些高大地物形状不同,但是可以简化为同一种无源干扰影响^[13]。无源干扰的形状很复杂,所以这里将它近似为一个立方体。再依次改变建筑物的大小尺寸为长 20 m×高 20 m、长 20 m×高 100 m、长 50 m×高 20 m、长 50 m×高 100 m 的立方体模型,改变建筑物里天线距离分别为 50 m、100 m 和 200 m,观察在各个情况下的天线方向性图形状。对于机场内的其他天线等有源干扰可以用偶极子天线模拟,可以模拟单个有源干扰和多个有源干扰对天线的影响^[14]。在建模过程中,结合实际短波通信中常用的频率^[15],将天线的频率设定为 12 MHz。

1) 不同距离下障碍物对天线影响效应的仿真

本部分以宽 20 m×高 100 m 的障碍物为例,分别在距离三线式宽带短波天线 50、100 与 200 m 时,仿真了障碍物对天线的影响效应,如图 6~8 所示。

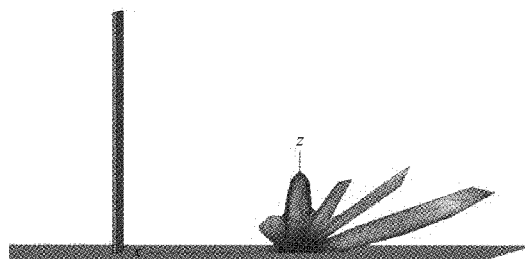


图 6 距离为 50 m 时的天线三维方向图

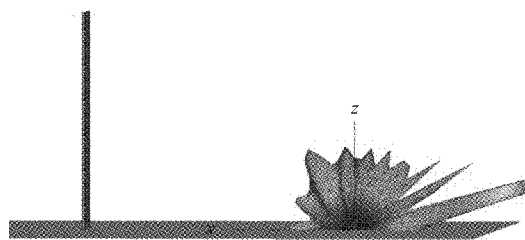


图 7 距离为 100 m 时的天线三维方向图

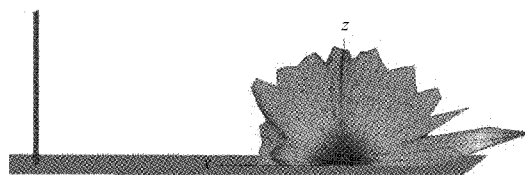


图 8 距离为 200 m 时的天线三维方向图

当宽 20 m×高 100 m 的建筑在距离天线 50 m 时对于天线的的影响很大,且建筑物对靠近建筑物的一侧的水平方向性图影响更明显,当宽 20 m×高 100 m 的建筑在距离天线 100 m 和 200 m 时对于天线的的影响逐渐减小。

2) 不同大小的障碍物对天线影响效应的仿真

本部分在障碍物与三线式宽带短波天线之间距离(50 m)一定情况下,分别仿真了宽 20 m×高 20 m、宽 50 m×高 20 m、宽 20 m×高 100 m 与宽 50 m×高 100 m 的障碍物分别对天线的的影响效应,如图 9~12 所示。

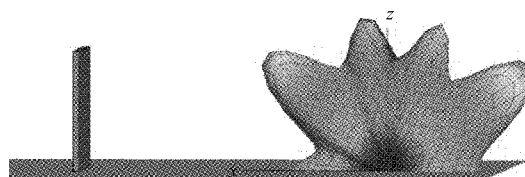


图 9 宽 20 m×高 20 m 的障碍物对天线三维方向图的影响效应

从图 9~12 中可以明显看出,随着障碍物体积尤其是高度的增加,对三线式宽带短波天线方向图的影响更加明

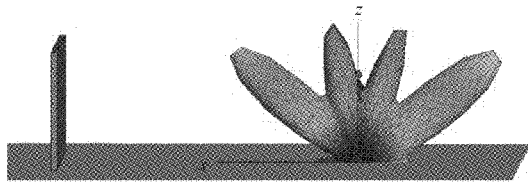


图 10 宽 50 m×高 20 m 的障碍物对天线三维方向图的影响效应

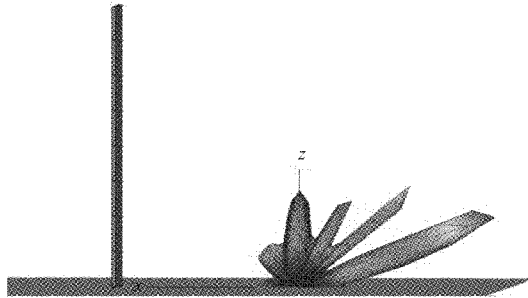


图 11 宽 20 m×高 100 m 的障碍物对天线三维方向图的影响效应

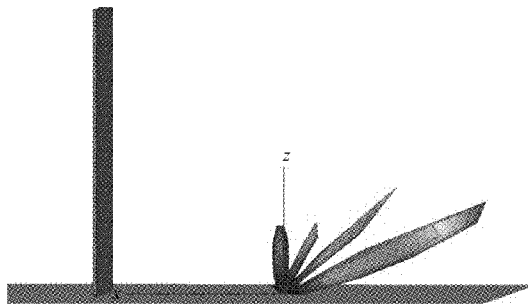


图 12 宽 50 m×高 100 m 的障碍物对天线三维方向图的影响效应

显。所以面对大型建筑物或建筑群,应该尽量避免选址在其附近。

5 结 论

本文首先对时域有限差分法进行了理论学习及公式推导,利用 MATLAB 软件并结合电磁计算仿真得到了三线式宽带短波天线的辐射阻抗、方向图、方向性系数等主要特性。然后结合矩量法利用 FEKO 软件仿真了障碍物对三线式天线的影响效应,通过改变建筑物的距离、尺寸等参数得到了不同情况下的天线方向性图,并给出了定性结论,对短波天线的工作频率选择以及架设选址具有一定的参考价值。后续还需进一步分析有源干扰对三线式短波宽带天线性能的影响。

参考文献

[1] 屠振,白贵芳,张广求,等.一种新型三线式宽频带短

波基站天线[J].现代雷达,2008(2):79-80,84.

- [2] 袁仕继,侯小江,李博章,等.三线式短波宽带天线仿真分析及性能测试[J].电子元件与材料,2014,33(6):46-50.
- [3] 周波,熊宗炬,蒋耀楼,等.短波天线工程设计实践[J].通信技术,2020,53(5):1280-1284.
- [4] 兰俊杰,何世彪,李长勇,等.不同地形环境下短波三线天线性能仿真分析[J].军事通信技术,2017,38(2):55-58.
- [5] 辛琦.移动通信天线及短波天线关键技术研究[D].西安:西安电子科技大学,2013.
- [6] 张波.基于随机模糊测度的高铁通信定向天线最优算法[J].国外电子测量技术,2020,39(9):42-46.
- [7] 欧阳,王超,单志勇.共形网格中含有多种与频率有关介质的 FDTD 新算法[J].电子测量技术,2020,43(5):80-83.
- [8] 朱文军.障碍物遮挡对天线性能的影响[J].电子科技,2014,27(12):112-115.
- [9] 陈翰.短波天线的宽带化设计研究[D].西安:西安电子科技大学,2012.
- [10] 李高飞.短波天线的小型化研究[D].哈尔滨:哈尔滨工业大学,2010.
- [11] 汪圆圆.基于 CST 和 FEKO 的天线辐射特性的仿真模块开发[D].武汉:华中科技大学,2014.
- [12] 白磊.中短波天线电磁辐射分析[D].华北电力大学,2012.
- [13] 崔彦军.一种高增益水平全向天线的设计及建筑物和地面对短波天线影响的分析[D].成都:四川大学,2005.
- [14] 邵晟.用 FDTD 算法计算高频电磁波在复杂环境下的传播特性[D].哈尔滨:哈尔滨工业大学,2007.
- [15] 王博.短波天线在人防通信中的选型研究[J].无线互联科技,2014(1):42.

作者简介

王鼎,副教授,硕士研究生,主要研究方向为无线电对空通信与导航。

E-mail:825834868@qq.com

谢洪森,教授,博士,博士研究生导师,主要研究方向为航空无线电导航理论与技术应用、航空通信导航信息检测、获取与处理。

E-mail:qdrfeng@sohu.com

刘雨,助教,硕士研究生,主要研究方向为无线电通信与导航。

E-mail:liuyul104@126.com

卢翰,讲师,硕士研究生,主要研究方向为无线电通信与导航。

E-mail:814954962@qq.com