

文章编号: 2095-4980(2020)03-0409-05

一种仰角可调的变形对数周期天线

程 阳, 陈 星*

(四川大学 电子信息工程学院, 四川 成都 610065)

摘 要: 设计了一种最大辐射方向仰角可调的缩比变形对数周期天线。对对数周期天线变形, 改变天线主体和振子的旋转角, 使得该对数周期天线的最大辐射方向在一定范围内连续可调。增加X型反射器, 有效改善了前后比, 增加了天线增益。这种可调振子旋转角的对数周期天线能够在1~2 GHz实现电压驻波比(VSWR)小于2, 俯仰角从25°至90°连续可调。相比传统对数周期天线, 该天线除了具备宽带特性外还具备低仰角、俯仰可调等性能。

关键词: 对数周期天线; 低仰角; 宽带; 可调节

中图分类号: TN821⁺.6

文献标志码: A

doi: 10.11805/TKYDA2019289

Deformable logarithmic period antenna with adjustable pitch angle

CHENG Yang, CHEN Xing*

(College of Electronics and Information Engineering, Sichuan University, Chengdu Sichuan 610065, China)

Abstract: A variable-shaped log-periodic dipole antenna with adjustable pitch angle is proposed. By changing the rotation angle of the antenna body and the oscillator, the maximum radiation direction of the log-periodic dipole antenna is continuously adjustable within a certain range. And the addition of the X-type reflector effectively improves the front-to-back ratio and increases the gain of antenna. This log-periodic dipole antenna, which can adjust the rotation angle of the oscillator, can realize a wide impedance bandwidth ranging from 1 GHz to 2 GHz with Voltage Standing Wave Ratio(VSWR)<2 and the pitch angle continuously adjustable from 25° to 90°.

Keywords: log-periodic dipole antenna; low elevation angle; wide-band; adjustable

随着无线通信技术的迅速发展, 尽管新型无线电通信系统不断涌现, 短波通信^[1-2]因其独特的优点, 仍受到全世界的重视。短波天线^[3-4]形式很多, 其中应用最多的有对称天线、同相水平天线、倍波天线、角型天线、V型天线^[5]、菱形天线^[6]、鱼骨形天线^[7-8]等。作为重要的远程通信手段, 短波不受网络枢纽和有源中继体制约, 其抗毁能力和自主通信能力也十分突出。尤其在山区、戈壁、海洋等地区, 超短波覆盖不到, 主要依靠短波。短波的传输按传输路径不同, 主要分为天波和地波两种。通信会因电离层和季节等变化而受到影响^[9]。通信距离与天线高度和辐射仰角密切相关, 通过调节辐射仰角能有效调节通信距离, 在诸多重要场合能做到灵活应用^[10-12]。一般研究天线特性都是把天线置于自由空间来分析, 但在实际情况中, 尤其是短波通信, 天线架设在地面上, 而地面的影响与天线的性能密切相关。短波天线工作时, 发射频率和所处地域的大地电导率对天线周围的电场强度大小以及分布都有一定影响^[13-15]。天线激发的电磁场会在地面激起电流, 该电流再在空间激发起二次场。空间场是天线直接激发的场与二次场的叠加, 会使天线的方向特性、阻抗特性、天线效率等发生很大的变化。因此指定天线辐射方向的同时(尤其是低仰角), 确保天线的性能变得十分困难。另一方面, 短波天线的尺寸较大, 制作成本较高。

本文设计了一种最大辐射方向俯仰角可调的缩比变形对数周期天线。通过调节振子的旋转角, 改变天线结构, 使得该对数周期天线在1~2 GHz实现VSWR<2, 俯仰角在25°到90°连续可调。另外, 在辐射相反方向加入X型反射器, 相比无反射器的对数周期天线, 有效改善了前后比, 增益显著提高。

收稿日期: 2019-08-13; 修回日期: 2019-10-05

作者简介: 程 阳(1993-), 男, 在读硕士研究生, 主要研究方向为天线设计等。email:chengyang70@163.com

*通信作者: 陈 星 email:83860865@qq.com

1 天线结构

1.1 天线基本结构模型

天线结构如图 1 所示, 此天线以基本对数周期天线结构为基础, 主体为 4 对振子, 采用 2 个比例系数 k_1 和 k_2 控制其结构大小。相邻单元的长度 l 和间距 s 的比例为:

$$\frac{l_{n+1}}{l_n} = k_1 \tag{1}$$

$$\frac{s_{n+1}}{s_n} = k_2 \tag{2}$$

该天线被放置在一块较大的用来模拟无限大的地的覆铜板上, 天线最低端点离铜板高度为 H_1 。利用 50Ω 的同轴线进行馈电, 同轴线缆垂直穿过地板, 在天线最低端内外导体分别与天线 2 根主干相连接, 且其在空间位置保持不变。通过 3 个旋转角(ξ, γ, ψ)控制天线主体和振子的位置。其中, ξ 为天线主干与地面的夹角, γ 为一对振子组成的平面与天线主干所形成的夹角, ψ 为一对振子所形成的夹角的一半。以 PP' 单元为例, 振子终点在空间中的坐标为:

$$X_{P'} = X_p + l_n \cos\psi \cos(\gamma - \xi) \tag{3}$$

$$Y_{P'} = -l_n \sin\psi \tag{4}$$

$$Z_{P'} = Z_p - l_n \cos\psi \sin(\gamma - \xi) \tag{5}$$

式中 X, Y, Z 为振子端点在三维空间中的坐标。天线主要结构参数由表 1 给出。

表 1 天线主要结构参数

Table 1 Main structural parameters of the antenna

l_1/mm	s_1/mm	H_1/mm	k_1	k_2
30.2	8.51	80	1.335	1.731

1.2 加载 X 型反射器仿真性能分析

为增加前后比, 在天线后端加载 X 型反射器。X 型反射器由 2 根可伸缩的金属棒构成, 其结构简单, 易于重构。其位置和大小由 R_x, R_y, R_z 确定。倾斜程度可根据不同频点的实际情况调节。

本文采用原美国海军使用的仿真软件 NEC 对天线进行仿真分析。图 2 为该天线垂直放置时(ξ, γ, ψ 都为 90°)的 VSWR 图。从图中可以看出, 垂直放置时, 天线的 $VSWR < 2$ 阻抗带宽为 0.910~2.070 GHz, 满足设计要求。图 3 为增加 X 型反射器对该天线方向图和增益的影响。从图 3 可以明显看出, 加载 X 型反射器后, 天线后向辐射减小, 增益增加了 1.1 dBi。

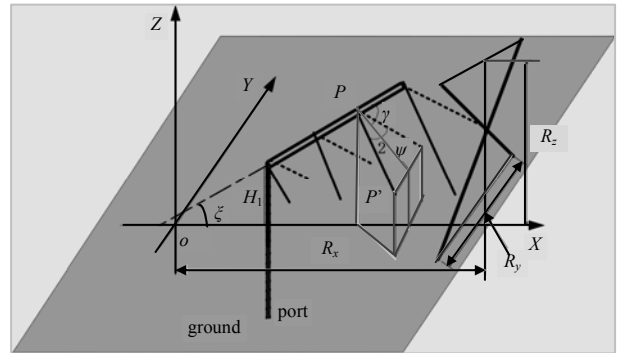


Fig.1 Structure of deformed logarithmic period antenna
图 1 变形对数周期天线结构图

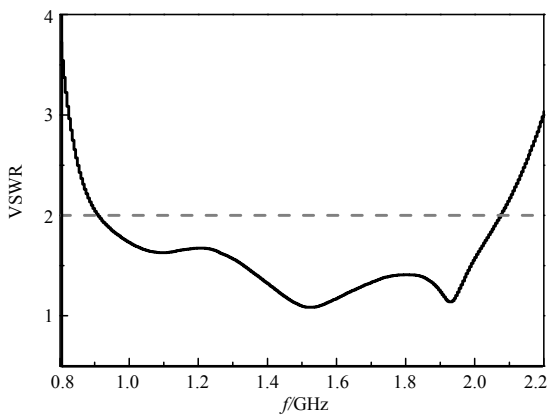


Fig.2 VSWR of antenna in basic structure
图 2 基本结构时天线的驻波比

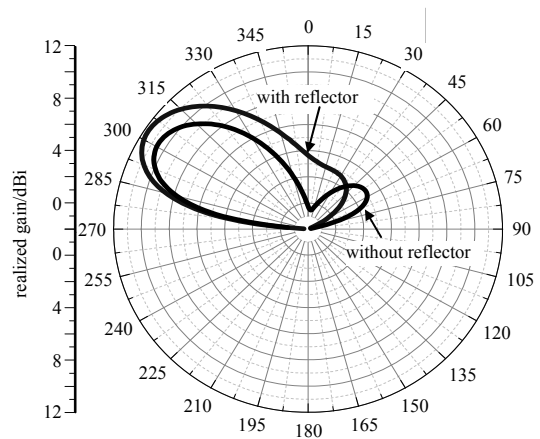


Fig.3 Antenna pattern comparison with/without X-type reflector
图 3 有/无 X 型反射器时天线方向图对比(1.5 GHz, 30°)

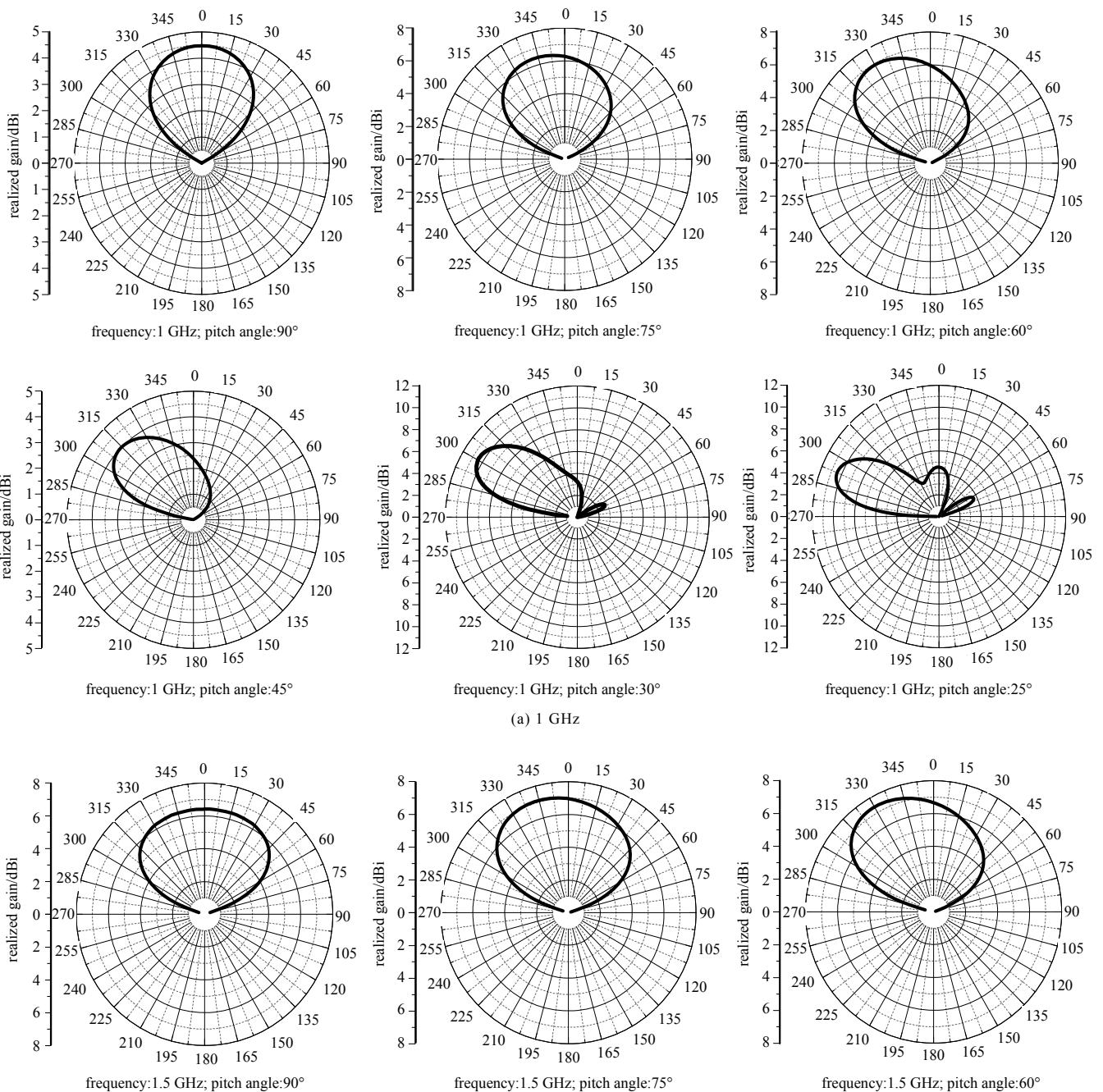
2 调节辐射仰角仿真结果

确定天线基本结构后，调节 3 个旋转角和 X 型反射器的状态，可以实现在频带内任意辐射角度的定向辐射。表 2 为中心频率为 1.5 GHz 时各个仰角的结构参数。当俯仰角大于 60° 时，X 型反射器将倾斜放置或不需。图 4 为改变天线 ξ, γ, ψ 3 个旋转角以及 X 型反射器位置与形状所实现的不同辐射角度方向图。图 5 为增益随俯仰角度的变化，可以看出，该天线在阻抗带宽范围(以 1 GHz, 1.5 GHz, 2 GHz 为例)可以实现俯仰最低 25° 至最高 90° 的连续调节。随着频率的升高，相同辐射方向上增益增加。同一频率下，随着辐射俯仰角的降低，波束越来越窄，增益随之越来越大。

表 2 中心频率时(1.5 GHz)各个仰角结构参数

Table 2 Each parameter value at the center frequency(1.5 GHz)

elevation angle/(°)	ξ /(°)	γ /(°)	ψ /(°)	R_x /mm	R_y /mm	R_z /mm
25	46.15	-9.56	39.48	53.6	20.0	100
30	16.79	2.793	43.24	67.2	20.9	100
45	-40	1.93	39.88	80.0	46.2	100
60	-70	0	86	—	—	—
75	-90	0	86	—	—	—
90	-90	0	90	—	—	—



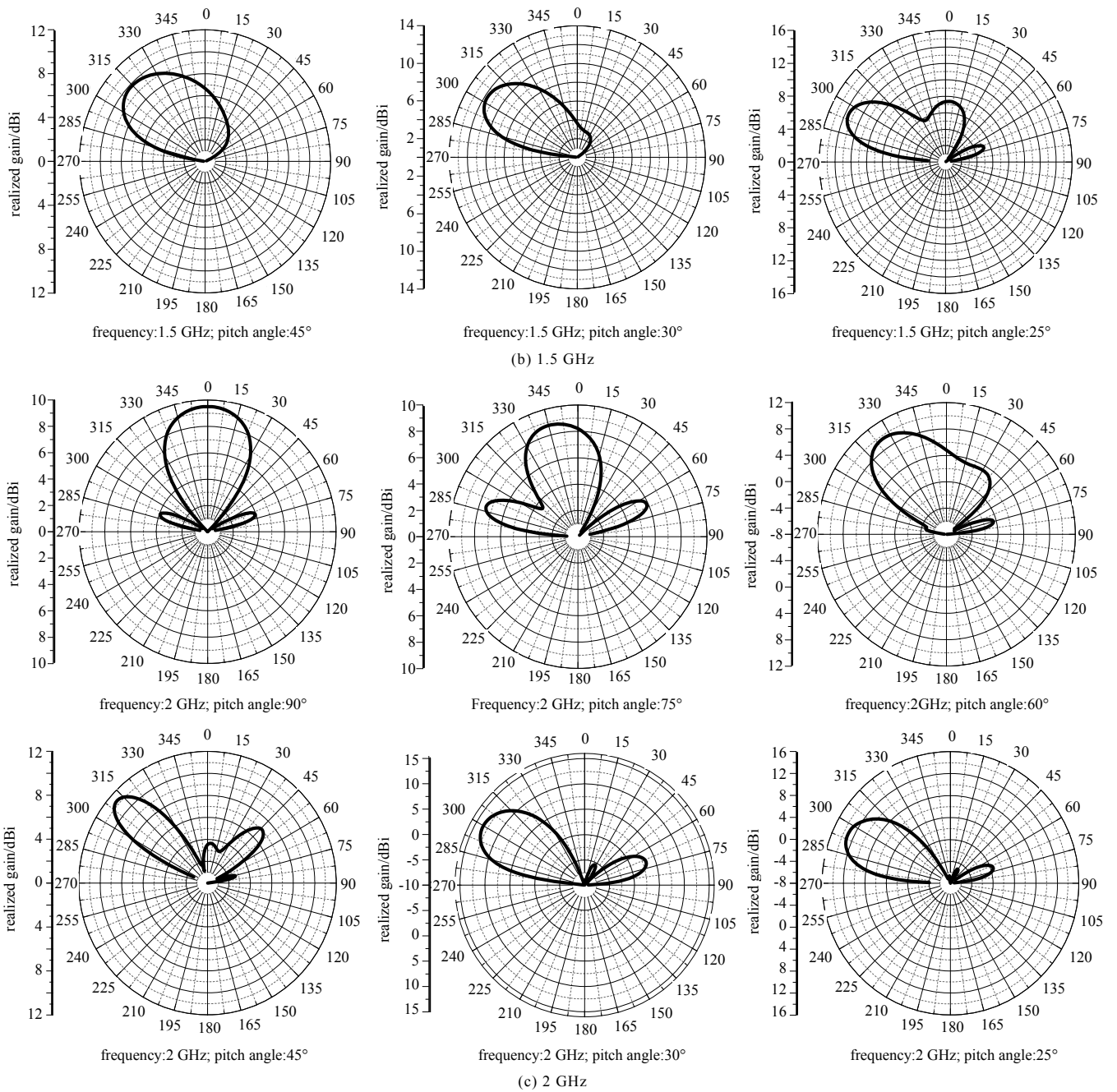


Fig.4 Vertical plane pattern of several radiation directions at different frequencies
图 4 不同频率处几个辐射方向的垂直面方向图

3 结论

本文提出一种最大辐射方向俯仰角可调的缩比变形对数周期天线，通过改变天线主体和振子的旋转角，使得该对数周期天线的最大辐射方向在一定范围内连续可调。增加 X 型反射器，有效改善了前后比，增加了天线增益。这种可以调整振子旋转角的对数周期天线能够在 1~2 GHz 实现 VSWR<2，俯仰角从 25°到 90°连续可调。该方法适用于短波天线。

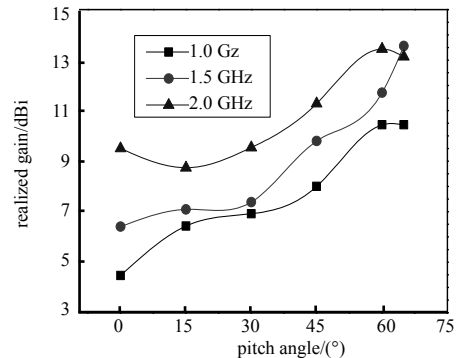


Fig.5 Gain values for various pitch angles at different frequencies
图 5 不同频率各个俯仰天线增益值

参考文献:

- [1] 邹建宏. 短波通信的现状与发展趋势[J]. 信息与电脑:理论版, 2015(11):88-90. (ZOU Jianhong. Current status and development trend of short-wave communication[J]. Information and Computer:Theoretical Edition, 2015(11):88-90.)
- [2] 董彬虹,李少谦. 短波通信的现状与发展趋势[J]. 太赫兹科学与电子信息学报, 2007,5(1):1-5. (DONG Binhong,LI Shaoqian. Current status and development trend of short wave communication[J]. Journal of Terahertz Science and Electronic Information Technology, 2007,5(1):1-5.)
- [3] 张健. 短波天线宽带可重构技术的研究[D]. 西安:西安电子科技大学, 2013. (ZHANG Jian. Research on short-wave antenna wideband reconfigurable technology[D]. Xi'an,China:Xidian University, 2013.)
- [4] LU W Z,YAN J,ANMIN Y,et al. A novel short-wave broadband antenna[C]// 2000 5th International Symposium on Antennas, Propagation,and EM Theory. Beijing,China IEEE, 2000:366-369.
- [5] CHAN K,SILVESTER P. Analysis of the log-periodic V-dipole antenna[J]. IEEE Transactions on Antennas and Propagation, 2003,23(3):397-401.
- [6] WU X H,CHEN Z N,YANG N. Optimization of planar diamond antenna for single-band and multiband UWB wireless communications[J]. Microwave & Optical Technology Letters, 2004,42(6):451-455.
- [7] CHEN X,HUANG KM,XU X B. Automated design of a three-dimensional fishbone antenna using parallel genetic algorithm and NEC[J]. IEEE Antennas & Wireless Propagation Letters, 2005,4(1):425-428.
- [8] TAKASE Y,MOELLER C,SEKI T,et al. Development of a fishbone travelling wave antenna for LHD[J]. Nuclear Fusion, 2004,44(2):296-302.
- [9] 王睿,张海勇,杨曦. 自然环境对短波通信的影响[J]. 舰船科学技术, 2008(5):88-89,92. (WANG Rui,ZHANG Haiyong, YANG Xi. The influence of natural environment on short wave communication[J]. Ship Science and Technology, 2008(5): 88-89,92.)
- [10] 马满仓. 新一代短波通信技术的特点[J]. 军民两用技术与产品, 2009(2):44-45,48. (MA Mancang. Features of the new generation of short-wave communication technology[J]. Military and Civil Dual-Use Technology and Products, 2009(2): 44-45,48.)
- [11] 杨照中,王立伟. 短波通信发展趋势及外军应用问题研究[J]. 计算机工程与应用, 2015,51(s1):179-184. (YANG Zhaozhong,WANG Liwei. The development trend of shortwave communication and application in foreign studies[J]. Computer Engineering and Applications, 2015,51(s1):179-184.)
- [12] KRONBERGER R,WERKER S. Simulation,design and measurement of a shortwave antenna under consideration of the environment[C]// Antennas & Propagation Society International Symposium. Orlando FL:[s.n.], 2013:2177-2178.
- [13] KUBANOV V P,SHEREDKO E I. The effect of the irregularity of the relief of the antenna field on the parameters of synphase short-wave antennas[J]. Physics Letters B, 1969,29(2):108-110.
- [14] 白磊. 中短波天线电磁辐射分析[D]. 北京:华北电力大学, 2012. (BAI Lei. Analysis of electromagnetic radiation of medium and short wave antennas[D]. Beijing:North China Electric Power University, 2012.)
- [15] 戴宇峰,柳超,吴华宁,等. 短波对数周期天线宽频带性能分析[J]. 计算机与数字工程, 2013,41(12):1898-1899,1927. (DAI Yufeng,LIU Chao,WU Huaning,et al. Wide-band characteristics of short wave LPDA[J]. Computer and Digital Engineering, 2013,41(12):1898-1899,1927.)