

移动式倒 V 扇锥天线设计

李金山

(中国电子科技集团公司第二十二研究所,河南 新乡 453003)

摘要:文章设计了一种移动式短波倒 V 形扇锥天线,每一臂由 7 根铜绞线构成,天线最高点离地面 10m,展宽 48m。通过液压升降杆实现天线面的升降,经软件仿真验证了电气指标满足设计要求,理论计算保证了天线的结构设计能满足可靠性和功率容量等要求,实际使用结果表明该天线在短波频段能达到 5kW 的功率要求,可快速收放,并且电气和结构性能在使用周期内保持良好。

关键词:扇锥天线; 液压升降; 功率容量; 快速收放

0 引言

倒 V 形扇锥天线是水平 V 形天线的一种变形,将水平 V 形对称振子天线的两臂改为扇锥面,并且架设于近地面,即成了倒 V 扇锥天线,这种天线能同时接收垂直极化波和水平极化波。倒 V 形扇锥天线具有工作带宽较宽、增益高、结构简单、移动性好、拆卸方便等特点。天线示意图如图 1 所示。

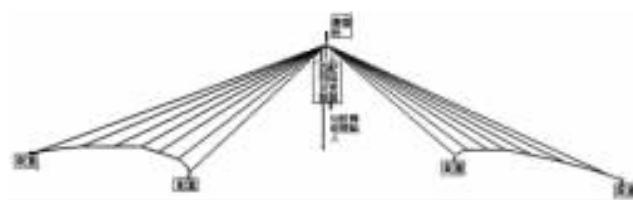


图 1 天线示意图

1 天线设计

根据用户需求,本文设计的短波倒 V 形扇锥天线主要考虑天线的功率容量和机动快速架设等特点,由于用户要求的功率容量为 5kW,同时还具备 3 人在不大于 30min 的时间内架设完成和在不大于 20min 内拆装完毕,所以从以下几个方面考虑设计。

1.1 天线结构形式

考虑到天线使用的环境条件、工作带宽(短波波段)的要求,天线面左右对称的两部分由 7 根直径为 4 的带皮铜绞线组成;中心馈电处使用车载液压升降杆升降,升降杆顶部装有匹配网络及阻抗变换器;升降杆最高 8m(离地面最高 10m),天线展宽 48m。软件仿真倒 V 扇锥天线示意图如图 2 所示,天线计算结果如图 3 所示。

天线系统由天线面、支撑杆、配重、匹配电路及馈线等组成;考虑到天线的使用要求,天线面可采用软铜线制作;天线支撑杆采用液压升降杆的方式更便于收放。

1.2 馈线设计

为了使倒 V 扇锥天线适应机动化使用要求,天线匹配器采用放在地面、通过平行双线传输线的方式给天线进行馈电,平行双线间距 $D=0.04\text{m}$,平行双线使用 $\Phi 4\text{mm}$ 的铜绞线,并且采用聚四氟乙烯板作为支撑。

1.3 天线阻抗性能

取大地 $\epsilon_r=30, \sigma=0.001\text{s/m}$, 计算得到相对 50Ω 的天线驻波比(见图 3)。



图 2 天线仿真示意图

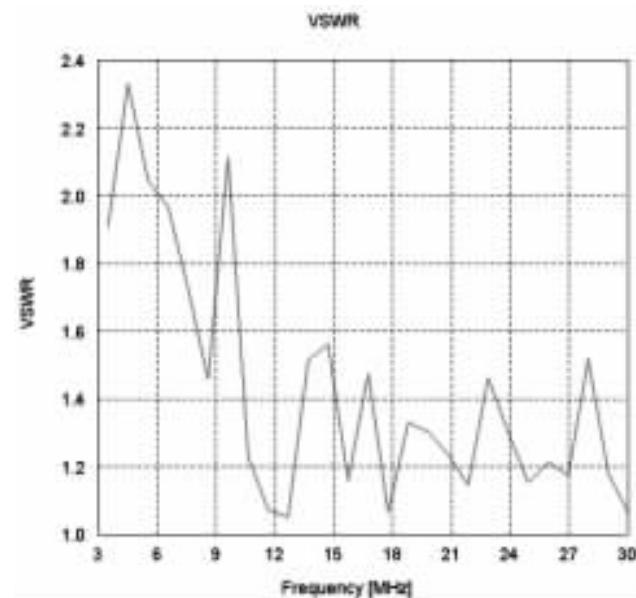


图 3 天线驻波比(300 归于 50Ω 阻抗变换)

作者简介:李金山(1977-),男,河南新乡,工程师;研究方向:天线设计和电离层观测。

天线阻抗变换器采用6:1阻抗变换，阻抗变换器输出为L36电缆座，输入端采用两端口平衡端螺纹连接。

1.4 天线功率容量计算

1.4.1 平行馈电线的耐压与功率容量计算

利用聚四氟乙烯作绝缘支撑，平行馈电线间距为 $D=40\text{mm}$ ，其特性阻抗为：

$$Z_0 = 276 \lg \frac{2D}{d} \quad (1)$$

式中： D 为双导线中心间距， d 为导线直径 $\Phi 4\text{mm}$ ，计算得到集合线(平行双导线)的特性阻抗为： $Z_0=359\Omega$ 。平行双导线的电压波腹点最大电场强度为：

$$E_{\max} = \frac{120}{d} \sqrt{\frac{p}{k Z_0}} \quad (2)$$

d 为平行双导线的直径(cm)， Z_0 为双导线的特性阻抗， k 为行波系数。将 $Z_0=359\Omega$ ， $d=0.4\text{cm}$ ， $p=5\text{kW}$ ， $k=1$ (假定在完全匹配的情况下)代入上式得平行双导线的电压波腹点最大电场强度为： $E_{\max}=0.6\text{kV/cm}$ 。可以看出，即使在潮湿空气的工作环境中，平行双导线的电压波腹点最大电场强度远小于潮湿空气临界场强值 $E_0=1.2\text{kV/cm}$ ，因此，平行双导线的功率容量满足设计指标要求。

1.4.2 天线面耐压与功率容量计算

按等效传输线理论，天线振子是由对称振子变形而成，对称振子可看成特殊的传输线，振子表面的最大场强为：

$$E_{\max} = \frac{120}{d} \sqrt{\frac{p}{k W_0}} \quad (3)$$

d 为振子导线的直径(cm)， W_0 为天线的特性阻抗， $W_0=120(\ln \frac{2l}{r} - 2.25)$ ，式中， r 是振子导线半径， $d=2r$ 。已知单元天线的最大功率容量 5kW ，天线振子线直径为 4mm ，将 $d=0.4\text{cm}$ ， $p=5\text{kW}$ ， $k=1$ 代入得振子表面的最大场强为 $E_{\max}=0.6\text{kV/cm}$ ，小于潮湿空气临界场强值 $E_0=1.2\text{kV/cm}$ 。振子线上可承受的最大功率率为：

$$P = \frac{E_d^2 n^2 d^2 W^2}{2880 v_a^2} = 14.35\text{kW} \quad (4)$$

式中， W 为振子的特性阻抗， d 为振子直径， n 为线数， v_a 代表振子的等效电压有效值， E_d 为临界场强的振幅，通常为 $6\sim 8\text{kV/cm}$ ，这里取 6kV/cm 。由以上公式计算可知，天线面采用7根 $\Phi 4$ 铜绞线，跨距为 48m 时，完全可以满足功率容量要求。

2 通用性设计

2.1 可靠性设计

天线系统由天线、液压升降杆和匹配器等3大部分组成。其中天线面主要由结构件组成，结构件的可靠性随时间耗损而降低，它受自身重量、雨、雪、冰、风、湿度以及盐雾影响，随疲劳、老化、磨损、腐蚀等因素而降低，它的使用可靠性和使用寿命

命在结构设计上考虑天线的使用环境，使用期限及天线结构部件材料等因素而详细计算，并留有足够的安全系数，采取有效的保护措施以及定期维修维护保证其可靠性；液压升降杆由驱动部分电路及液压升降杆结构件组成，液压升降杆结构件采用和天线结构件相同的设计方案；驱动部分电路及天线匹配器由电子元器件、电路模块及电路板等构成，采用电子元器件可靠性理论来预计和分配其可靠性指标，优选出适应于该天线使用环境及使用期限的电子元器件，形成最终的天线组成单元。

2.2 电磁兼容性设计

此项内容仅针对液压升降杆控制部分进行。在整个设计中考虑屏蔽、隔离、接地，最大限度地断开电磁干扰的传输路径。元器件的位置和走线要合理布置，以尽量减少静电耦合。采取电磁信号防护措施进行控制部分的防护设计，选购元器件、电缆电源线、电机部件时，选取满足指标要求、辐射小、抗干扰能力强的部件，确保产品满足GJB151A和用户对电磁兼容性相关要求。

3 结论

通过上述仿真计算和实际测试，天线设计能满足技术指标的要求；同时经过用户长时间在复杂环境下的使用，天线系统的电性能指标基本不变，外观结构保持良好。

参考文献

- [1]王元坤,李玉权.线天线的宽频带技术[M].西安:西安电子科技大学出版社,1995.
- [2]魏文元,宫德明,等,天线原理[M].北京:国防工业出版社,1985.
- [3]周朝栋,王元坤,周良明.线天线理论与工程[M].西安:西安电子科技大学出版社,1988.
- [4]林昌禄,聂在平.天线工程手册[M].北京:电子工业出版社,2002.
- [5]邮电部北京设计院.电信工程设计技术手册——天线和馈电线[M].北京:人民邮电出版社,1985.

(责任编辑 胡峰)

如何学习天线设计

天线设计理论晦涩高深，让许多工程师望而却步，然而实际工程或实际工作中在设计天线时却很少用到这些高深晦涩的理论。实际上，我们只需要懂得最基本的天线和射频基础知识，借助于 HFSS、CST 软件或者测试仪器就可以设计出工作性能良好的各类天线。

易迪拓培训(www.edatop.com)专注于微波射频和天线设计人才的培养，推出了一系列天线设计培训视频课程。我们的视频培训课程，化繁为简，直观易学，可以帮助您快速学习掌握天线设计的真谛，让天线设计不再难…



HFSS 天线设计培训课程套装

套装包含 6 门视频课程和 1 本图书，课程从基础讲起，内容由浅入深，理论介绍和实际操作讲解相结合，全面系统的讲解了 HFSS 天线设计的全过程。是国内最全面、最专业的 HFSS 天线设计课程，可以帮助你快速学习掌握如何使用 HFSS 软件进行天线设计，让天线设计不再难…

课程网址: <http://www.edatop.com/peixun/hfss/122.html>

CST 天线设计视频培训课程套装

套装包含 5 门视频培训课程，由经验丰富的专家授课，旨在帮助您从零开始，全面系统地学习掌握 CST 微波工作室的功能应用和使用 CST 微波工作室进行天线设计实际过程和具体操作。视频课程，边操作边讲解，直观易学；购买套装同时赠送 3 个月在线答疑，帮您解答学习中遇到的问题，让您学习无忧。

详情浏览: <http://www.edatop.com/peixun/cst/127.html>



13.56MHz NFC/RFID 线圈天线设计培训课程套装

套装包含 4 门视频培训课程，培训将 13.56MHz 线圈天线设计原理和仿真设计实践相结合，全面系统地讲解了 13.56MHz 线圈天线的工作原理、设计方法、设计考量以及使用 HFSS 和 CST 仿真分析线圈天线的具体操作，同时还介绍了 13.56MHz 线圈天线匹配电路的设计和调试。通过该套课程的学习，可以帮助您快速学习掌握 13.56MHz 线圈天线及其匹配电路的原理、设计和调试…

详情浏览: <http://www.edatop.com/peixun/antenna/116.html>



关于易迪拓培训:

易迪拓培训(www.edatop.com)由数名来自于研发第一线的资深工程师发起成立，一直致力于专注于微波、射频、天线设计研发人才的培养；后于 2006 年整合合并微波 EDA 网(www.mweda.com)，现已发展成为国内最大的微波射频和天线设计人才培养基地，成功推出多套微波射频以及天线设计经典培训课程和 **ADS**、**HFSS** 等专业软件使用培训课程，广受客户好评；并先后与人民邮电出版社、电子工业出版社合作出版了多本专业图书，帮助数万名工程师提升了专业技术能力。客户遍布中兴通讯、研通高频、埃威航电、国人通信等多家国内知名公司，以及台湾工业技术研究院、永业科技、全一电子等多家台湾地区企业。

我们的课程优势:

- ※ 成立于 2004 年，10 多年丰富的行业经验
- ※ 一直专注于微波射频和天线设计工程师的培养，更了解该行业对人才的要求
- ※ 视频课程、既能达到了现场培训的效果，又能免除您舟车劳顿的辛苦，学习工作两不误
- ※ 经验丰富的一线资深工程师主讲，结合实际工程案例，直观、实用、易学

联系我们:

- ※ 易迪拓培训官网: <http://www.edatop.com>
- ※ 微波 EDA 网: <http://www.mweda.com>
- ※ 官方淘宝店: <http://shop36920890.taobao.com>