

# 阵列天线排阵间距与天线增益的关系探讨

路志勇<sup>1,2</sup> 苏晓莉<sup>2</sup>

(北京理工大学 北京 100000)<sup>1</sup> (中国电子科技集团公司第 54 研究所 石家庄 050081)<sup>2</sup>

**摘要** 在天线的设计中,为增强天线的方向性、提高天线增益,经常用到天线阵列。阵列天线的增益与排阵间距有关。对于具有某一波束宽度的天线,给出了能使阵列天线获得最大增益的最佳间距。在工程设计应用上,分析了高增益单元天线进行排阵时排阵间距选择问题。

**关键词** 阵列天线 排阵间距 天线增益

**中图分类号** TN82 **文献标识码** A **文章编号** 1003-3114(2005)05-0077-01

## 1 引言

在天线的设计中,为增强天线的方向性、提高天线增益,经常用到天线阵列。天线阵列的辐射特性取决于阵元的结构、数目、排列方式以及整个阵的电流幅度和相位分布等因素。

由天线阵理论可知,若单元天线的主瓣波束宽度较窄,为获得较高的排阵增益,则要求阵因子方向图的波瓣也较窄,即需要较大的排阵间距。但是,对于主瓣较宽的天线来说,过大的间距反而会引起较大的副瓣,因此较小的间距是适当的。对于一定波束宽度的单元天线,都有使其获得最大排阵增益的排阵间距。该文定量计算了不同波束宽度单元天线的排阵间距与天线增益的关系,可以为天线排阵设计提供参考。

## 2 天线排阵增益最佳间距

以半波振子天线等幅同相二元阵为例,进行定量计算。

对于半波振子天线,其单元方向图函数为:

$$F(\theta) = \left| \frac{\cos\left(\frac{\pi}{2} \cos\theta\right)}{\sin\theta} \right|. \quad (1)$$

其半功率波束宽度为 78°,增益为 2.15 dBi。把半波振子在垂直方向排列成等幅同相二元直线阵,则其阵因子方向图为:

$$f_a(\theta) = \left| \cos\left(\frac{\pi d}{\lambda} \cos\theta\right) \right|. \quad (2)$$

式中,  $d$  为排阵间距,  $\lambda$  为所用频率对应的波长。

根据方向图乘积定理,天线阵列的方向图函数为:

$$f(\theta) = F(\theta) \cdot f_a(\theta). \quad (3)$$

天线阵列的增益为:

$$D = \frac{2}{\int_0^{\pi} f^2(\theta) \sin\theta d\theta}. \quad (4)$$

取不同的排阵间距,得出不同的天线阵列增益,从而得出半波振子天线二元阵增益与天线排阵间距的关系,绘制成曲线如图 1 所示。从图中的结果可知,当排阵间距为 0.95λ 时,该

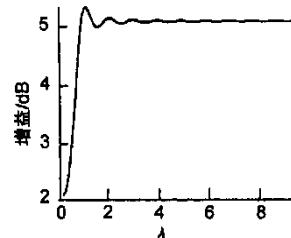


图 1 半波振子天线二元阵增益与排阵间距的关系

二元天线阵具有最高增益为 5.41 dBi,其中排阵对增益的贡献为  $5.41 - 2.15 = 3.26$  dB。当排阵间距大于  $0.95\lambda$  时,天线阵增益反而下降,增益与间距的曲线类似于阻尼振荡的形状,增益最终收敛在  $5.16$  dBi。

从上述的分析可以得出,如只考虑天线增益,则  $0.95\lambda$  的排阵间距为最佳间距。当然,此时天线的副瓣会较高,天线的长度也会较大,在应用中要根据实际电气和结构指标要求,选择相应的排阵间距。

由于天线阵列方向图是天线单元与阵因子的乘积,因此对于不同波束宽度的单元天线,使天线阵列获得最大增益的排阵间距是不同的。单元天

线的波束宽度与使等幅二元阵最佳间距(仅指使天线阵列获得最大增益的排阵间距)的关系曲线如图2所示。

从图2中可知,单元天线波束越窄(即增益越高),其等幅二元阵获得最大增益的排阵间距越大。

### 3 高增益天线单元排阵增益问题

对于宽波束的天线单元,天线排阵增益问题符合一般的估算方法,天线的排阵增益 $G$ 与天线单元个数 $N$ 的关系可近似为:

$$G = 10 \lg N. \quad (5)$$

但是对于窄波束的天线单元,天线的排阵增益就需要仔细考虑。比如八木天线和对数周期天线,单元天线本身具有较窄的波束,要通过排阵进一步提高天线的增益,天线间距的选择至关重要。由于单元天线的方位和俯仰方向都具有较小的尺寸,因此在排阵时,从结构上考虑可以采用较小的排阵间距。但是采用小的排阵间距,使得天线单元的波束宽度远远小于阵因子的波束宽度,根据天线方向图乘积定理,排阵后天线阵列的波束宽度没有明显的减小,天线阵列的增益相对于天线单元也就没有明显的提高,因此天线的排阵效率非常低。所以这种类型天线需要较大的排阵间距。表1给出了具有 $16$  dB(半功率波束宽度为 $28^\circ \times 28^\circ$ )的八木天线组成的二元阵的增益以及排阵所贡献增益与排阵间距的关系。

表1 八木天线阵的增益与排阵间距的关系

排阵间距	天线阵列增益/dB	排阵贡献增益/dB
$0.5\lambda$	16.5	0.5
$1\lambda$	17.4	1.4
$1.5\lambda$	18.4	2.4
$2\lambda$	18.9	2.9
$2.5\lambda$	19.0	3.0
$3\lambda$	19.0	3.0

分析表1中的数据,可知:①对于高增益天线单元排阵,排阵间距很小时( $0.5\lambda$ ),排阵对增益的

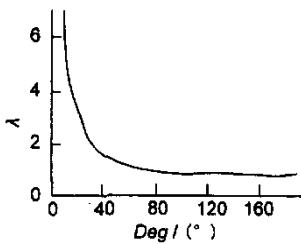


图2 单元天线的波束宽度与最佳排阵间距的关系曲线

贡献很小;②当排阵间距大于 $2.5\lambda$ 时,天线阵列增益可以增加 $3$  dB;③排阵间距很大时,天线主瓣波束变窄,出现栅瓣,不利于实际使用。

对于高增益的反射面天线排阵,由于天线本身具有较大的尺寸,而窄波束天线所需要的最佳排阵间距也较大,因此反射面天线也可以选择合适的排阵间距,来提高天线的增益。

### 4 结束语

从文中的论述可以说明几个问题:

①阵列天线增益与排阵间距密切相关,不同的间距可使天线阵列获得不同的排阵增益。对于等幅二元阵,有可能使排阵增益超过 $3$  dB;

②对于不同波束宽度的单元天线,使天线阵列获得最大增益的排阵间距是不同的。单元天线波束越窄,其天线阵列获得最大增益的排阵间距越大;

③对于高增益单元天线,要获得较高的排阵增益,需要较大的排阵间距。

### 参 考 文 献

- [1] 魏文元,宫德明,陈必森.天线原理[M].北京:国防工业出版社,1985.
- [2] 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.
- [3] 刘芸江,甄蜀春,李曼.矩量法结合AWE技术分析阵列天线[J].无线电通信技术,2003,29(4):46~48.

### 作者简介:

路志勇 男,(1974~),现为中国电子科技集团公司第54所工程师,北京理工大学在读博士。

苏晓莉 女,(1978~),现为中国电子科技集团公司第54所工程师,西安电子科技大学在读研究生。

《无线电通信技术》期刊

全国中文核心期刊

万方数据资源系统数字化期刊群入网期刊

中国期刊全文数据库全文收录期刊

中国学术期刊综合评价数据库统计源期刊

中文科技期刊数据库 全文收录期刊

欢迎订阅 欢迎投稿

邮发代号:18-149;联系电话:0311-86924954

## 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](http://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](http://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](http://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>