

# 圆口径天线方向性系数和增益的简单计算方法

秦 顺 友

(信息产业部电子第五十四研究所,石家庄 050081)

**摘 要** 本文利用均匀分布的圆口径天线方向性系数和半功率波束宽度,导出了任意非均匀分布的圆口径天线方向性系数的简单计算公式。从而可快速的估算出天线的增益。

**关键词** 圆口径天线 方向性系数 增益 半功率波束宽度

天线方向性系数和增益是表征天线性能的最重要的特性参数,但是,在很多实际情况下,不可能测量或计算天线增益。在系统设计中,简单而精确的确定天线增益是很重要的。很多文献介绍了天线方向性系数和增益的简单近似计算公式<sup>[1][2]</sup>,而且这些简单公式的应用是有条件的,否则将引起较大的误差。本文在以往文献研究的基础上,导出了任意非均匀分布的圆口径天线方向性系数的计算公式,并介绍了由估算天线增益的简单方法,大量的实验结果证明了这种方法的正确性。

## 1 均匀分布的圆口径天线方向性系数

由天线理论可知,对于任意口径场分布的面天线的方向性系数为<sup>[3]</sup>:

$$D = \frac{4\pi}{\lambda^2} S \frac{\left| \int_S E_a(x, y) ds \right|^2}{S \int_S |E_a(x, y)|^2 ds} = \frac{4\pi}{\lambda^2} S \eta_i \quad (1)$$

式中:  $\lambda$  为口面天线的工作波长;  $S$  为天线的口面面积;  $E_a(x, y)$  为天线口面场分布;  $\eta_i$  为口面利用效率。反应了口面场分布对方向性系数  $D$  的影响,则  $\eta_i$  表达式为

$$\eta_i = \frac{\left| \int_S E_a(x, y) ds \right|^2}{S \int_S |E_a(x, y)|^2 ds} \quad (2)$$

显然,当天线口面场为均匀分布时,即  $E_a(x, y) = 1$ ,则天线方向性系数  $D_0$  为

$$D_0 = \frac{4\pi S}{\lambda^2} = \frac{4\pi^2 a^2}{\lambda^2} \quad (3)$$

式中  $a$  为圆口径天线的半径,均匀分布的圆口径天线半功率波束宽度为<sup>[3]</sup>

$$HPW_E = HPW_H = 58.44 \frac{\lambda}{2a} \quad (^\circ) \quad (4)$$

式中： $HPW_E$ 为天线方向图E面半功率波束宽度； $HPW_H$ 为天线方向图H面半功率波束宽度。为了用半功率波束宽度表示天线方向性系数，将式(3)进行适当变换可得：

$$D_0 = \frac{D_0 HPW_E HPW_H}{HPW_E HPW_H} \quad (5)$$

将式(4)、(3)带入式(5)的分母可得，均匀分布的圆口径天线方向性系数与半功率波束宽度的关系为：

$$D_0 = \frac{33709}{HPW_E HPW_H} \quad (6)$$

## 2 非均匀分布的圆口径天线方向性系数

由前面的讨论可知，对于任意非均匀分布的圆口径天线的方向性系数  $D$  与均匀分布的圆口径天线的方向性系数  $D_0$  的关系为：

$$D = D_0 \eta_i = \frac{33709 \eta_i}{HPW_E HPW_H} \quad (7)$$

对于均匀分布的圆口径天线，其半功率波束宽度由式(4)很容易计算，这样式(6)很容易确定均匀分布的口径天线的方向性系数；而对于非均匀分布的圆口径天线，其半功率波束宽度计算比较复杂，但天线口径场的非均匀分布对方向性系数的影响，可通过口面利用效率反应出来，这样只要计算出非均匀分布的口径天线的口面利用效率，然后乘以均匀分布的方向性系数，即可得非均匀分布的圆口径天线的方向性系数，而其半功率波束宽度仍按均匀分布的公式计算，从而达到快速估算天线方向性系数的目的。

例如，在现代卫星通信天线的设计中，中小口径的地面站天线常采用环焦天线，经过大量的理论研究和实验研究，寻找了一些既能保证较高增益又能满足天线旁瓣特性的口面场分布<sup>[4]</sup>，下面以在地面站天线设计中，广泛应用的指数型口面场分布为例，讨论其方向性系数的简单计算方法。

指数型口面场分布函数为：

$$Ea(t) = 1 - a_1 e^{-b_1(1-t)} - a_2 e^{-b_2 t} \quad (8)$$

式中： $t=r/a$ ， $a$ 为天线直径，通常在  $r=1$  时，照射锥削为-14.9dB，在  $r=0.1$  时，照射锥削为-4.3dB，因此取  $a_1=a_2=0.82$ ， $b_1=4$ ， $b_2=8$ ，即

$$Ea(t) = 1 - 0.82 e^{-4(1-t)} - 0.82 e^{-8t} \quad (9)$$

将式(9)代入式(2)进行积分，并化简计算可得

$$\eta_i = 0.9125 \quad (10)$$

将式(10)、(3)代入式(7)可得天线的方向性系数为

$$D = \frac{31063}{HPW_E HPW_H} \quad (11)$$

式(11)中, $HPW_E$ 和 $HPW_H$ 仍是均匀圆口面半功率波束宽度。表1所示,给出了天线口径场分布为指数型分布的圆口径天线的方向性系数计算结果,C波段天线的计算频率为6GHz,Ku波段天线的计算频率为14GHz。

天线口径 (m)	圆口径均匀分布的半功率波束宽度(°)		方向性系数 (dBi)	
	C 波段(6GHz)	Ku 波段(14GHz)	C 波段(6GHz)	Ku 波段(14GHz)
1.2	2.435	1.044	37.19	44.55
2.4	1.218	0.522	43.21	50.57
3.0	0.974	0.417	45.15	52.52
3.7	0.790	0.339	46.97	54.32
4.5	0.649	0.278	48.68	56.04
5.0	0.584	0.251	49.59	56.93
6.2	0.471	0.202	51.46	58.82
7.3	0.400	0.172	52.88	60.21
9.0	0.325	0.139	54.69	62.06

表1 指数型分布的圆口径天线的方向性系数计算结果

对于其它一些圆口径分布,仿照上面的方法,同理可得出其方向性系数的表示式。这样我们利用均匀分布的圆口面为基础,就可得出任何非均匀分布的圆口面天线的方向性系数,因为均匀分布圆口面天线其方向性系数和半功率波束宽度均是已知的,而求非均匀分布的圆口面天线的方向性系数口面利用效率只是场分布的简单积分运算,是很容易也是很方便的。

### 3 天线增益的估算

由天线理论可知,口径天线增益与方向性系数的关系为<sup>[3]</sup>:

$$G = D_0 \eta_i \eta = \frac{4\pi S}{\lambda^2} \eta_i \eta \quad (12)$$

式中: $\eta_i \eta$ 是天线的总效率, $\eta_i$ 是天线的口面利用效率, $\eta$ 是除口面利用效率之外,其它效率的总和。它反应了参考点到辐射体之间的损耗因子。因此,只要按照前面讨论的方法简单计算出天线的方向性系数,估算出效率因子 $\eta$ ,即可简单地估算出天线增益。

例如,在现代卫星通信天线设计中,中小口径的天线常采用环焦天线形式,当口面场采用指

数型分布时,其口面利用效率为 0.9125。从目前地面站天线发展水平看,一般 C 波段天线的总效率为 65%左右;而 Ku 波段天线的总效率为 60%左右。由此可得 C 波段天线的效率因子 $\eta$ 为 71.23%左右,而 Ku 波段天线的效率因子 $\eta$ 为 65.75%左右,表 2 给出了不同口径的环焦天线增益快速估算结果(表中的空格表示此项无实际测量结果),及实际工程测量的增益结果,二者比较可知,C 波段的最大误差为 0.34dB,Ku 波段的最大误差为 0.45dB,因此在误差允许的范围内,用半功率波束宽度快速估算的增益同实际测量的天线增益吻合很好,从而验证了本文导出的用半功率波束宽度快速估算天线增益简化公式的正确性。

天线口径 (m)	天线增益快速估算结果(dBi)		实际测量结果 (dBi)	
	C 波段(6GHz)	Ku 波段(14GHz)	C 波段(6GHz)	Ku 波段(14GHz)
1.2	35.72	42.73		42.90
2.4	41.74	48.75	42.08	48.71
3.0	43.68	50.70	43.55	50.64
3.7	45.50	52.50	45.53	52.88
4.5	47.21	54.22	47.54	54.45
5.0	48.12	55.11	47.78	
6.2	49.99	57.00	50.07	57.11
7.3	51.41	58.39	51.19	58.83
9.0	53.22	60.24		60.69

表 2 地面站天线增益快速估算结果

## 4 结束语

本文利用已知的均匀分布的圆口径天线方向性系数和半功率波束宽度,简单计算任意非均匀分布的圆口径天线方向性系数的简单计算公式,由此可快速的估算出天线的增益。以圆口径指数型分布为例,介绍了其方向性系数和增益的快速简单的估算方法。

## 参 考 文 献

[1] C.T.TAI and C.S.PEREIRA.An approximate formula for calculating the directivity of an antenna,IEEE AP ,p235~238 ,March 1976

[2] W.L.STUTZMAN.Estimating directivity and gain of antennas, IEEE AP Mag , Vol.40,No.4,p 8~11, August 1998

[3] 魏文元等.天线原理,p175~206, 北京: 国防工业出版社,1985

[4] 杨可忠 杨智友.口面场分布函数,无线电通信技术,Vol.16,No.4,p1~10, 1990

## 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,一直致力和专注于微波、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>