

天线的机电一体化分析方法

刘国玺

(中国电子科技集团公司第 54 所 石家庄 050081)

摘要 基于机电综合分析的思想,给出了变形反射面的变形函数描述,以及天线变形后的辐射场计算方法,并分析了变形反射面对天线辐射方向图的影响。最后,运用最优化方法计算出了馈源在最佳位置时天线的辐射方向图。

关键词 机电一体化 变形 辐射场 优化

0 引言

天线设计分为电气设计与机械结构设计。电气设计主要涉及到微波理论、天线理论及计算电磁场等学科。其具体任务是确定天线的口径、天线形式以及馈源形式等。机械结构设计主要涉及到钢结构设计、机械设计及计算结构力学等学科。其具体任务是确定天线载荷分布、骨架形式及馈源支撑等。因此,天线是典型的机电一体化设备^[1]。

1 天线变形分析

为了减小天线反射体的重力变形,过去一些长波段天线和中小型短波天线所惯于采用的全刚性设计方法,对于大型精密天线来说显然已经过时了。自 1964 年由创始者美国 NRAO 的 Von Hoerner 提出了与刚性设计完全相反的一种新的设计概念,即保型设计以后,许多天线结构设计师进行了积极研究,发展了这种理论,并在德国 100 米天线、日本 45 米天线研制中获得了成功。

一个实际的变形反射面,其形状可用函数叠加方法来描述,即

$$r(\theta, \varphi) = r_0(\theta) + \Delta r(\theta, \varphi) \quad (1)$$

式中: $r_0(\theta)$ 为旋转对称分量; $\Delta r(\theta, \varphi)$ 为非旋转对称分量。

为了求解两分量,分别用最佳吻合抛物面和数值分析的方法来导出变形反射面的函数解析式。

●最佳吻合抛物面

对于大型天线,结构变形较大。如果要使结构变形减小,就要提高结构刚度,使结构显得过于笨重。特别是对于毫米波天线,公差要求很严,有时甚

至难以实现。但通过分析反射面各点的位移,发现可以将其分为两部分:一是整个抛物面的刚体运动(转动和移动)及抛物面焦距的变化;二是反映各点相对于此新抛物面的偏差。根据第一项可以做出一个新的抛物面,它相对于原抛物面有移动和转动,同时焦距有微量的变化。这样的抛物面可以做无数个,但其中有一个,就是变形后的反射面对它的均方根偏差最小,这个新的抛物面就称为最佳吻合抛物面。它具有新的焦点和焦距,如果把馈源移到新的焦点上,则表面偏差就只有对最佳吻合抛物面的偏差,误差就大大地减小了。

●数值分析法

为了精确地分析非旋转对称分量的影响,运用傅立叶级数来描述这一修正量。

假设已求出反射面的一批采样点的值,在球坐标 (ρ, θ, φ) 中,就是已知 $\rho(\theta_i, \varphi_j)$ ($i = 1, 2, \dots, I$; $j = 1, 2, \dots, J$)。采用按 φ 分量表示的傅立叶级数来逼近这一曲面,

$$\hat{\rho}(\theta, \varphi) = \rho_0 \theta + \sum [a_n(\theta) \cos n\varphi + b_n(\theta) \sin n\varphi] \quad (2)$$

式中, $\rho_0(\theta)$ 为最佳吻合抛物面方程。

采用分步逼近的方法,即先采用插值方法对 φ 分量进行逼近,然后采用最小二乘法对 θ 进行逼近。

2 天线综合分析

天线变形后,总的辐射场可表示为:

$$\begin{cases} E_\theta = E_\theta^0 + \Delta E_\theta \\ E_\varphi = E_\varphi^0 + \Delta E_\varphi \end{cases} \quad (3)$$

由式(3)可知, ΔE_θ 、 ΔE_φ 是由反射面形状非旋转对称而产生的。同时,也可以看出,先求出旋转对称分量所产生的电场 E_θ^0 、 E_φ^0 , 然后再求出非旋转对

称分量产生的电场增量 $\Delta E_\theta, \Delta E_\phi$, 最后将两项分别进行叠加, 即可求出变形后反射面变形后的总的辐射场。

图 1 是某 50 米射电望远镜天线的理论辐射方向图 ($\varphi = 90^\circ$)。图 2 是该天线变形后的辐射方向图 ($\varphi = 90^\circ$)。

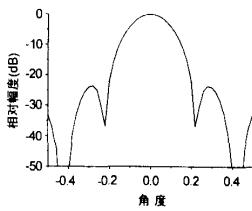


图 1 天线理论的主瓣方向图
($-0.5^\circ \sim 0.5^\circ$)

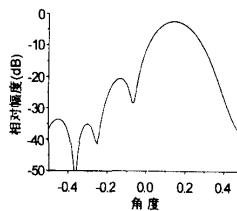


图 2 天线变形后的主瓣方向图
($-0.5^\circ \sim 0.5^\circ$)

现将变形前后的主要指标 ($\varphi = 90^\circ$) 进行比较, 如表 1 所示。

表 1 变形前后的主要指标比较

$f = 2300\text{MHz}$	理论上	变形后
半功率波束宽度	0.17°	0.19°
波束偏移角	0°	0.17°
第一旁瓣电平	-23.6dB	-20.4dB
第一旁瓣位置	-0.28°	-0.12°

由上可以得出如下结论: 由于结构的自重变形造成了旁瓣电平的升高; 同时由于馈源的偏移造成了波束的偏移以及方向图各面的不等化。

3 馈源位置的优化

天线的增益和天线的旁瓣特性是相互矛盾的。这种矛盾可以定性地解释如下: 当旁瓣变低时, 能量由旁瓣挤入主瓣, 使主瓣变胖即波束宽度变宽, 因此天线增益变低。同样, 当天线增益一定, 某一个旁瓣升高, 也就是说这个旁瓣增益变大, 能量便向其他旁瓣挤, 则有的旁瓣就变胖, 变胖旁瓣的增益变低, 旁瓣峰值变小。控制旁瓣的关键就是折衷处理增益和旁瓣的关系, 并合理配置各个旁瓣之间的关系, 从而使天线既能提供较佳的增益又能提供满足规范要求的旁瓣^[3]。

优化设计问题的关键是建立正确的数学模型, 为此, 要正确地选择设计变量, 目标函数和约束条件, 并把它们组合在一起, 成为一组能准确地反映优

化设计问题实质的数学表达式。优化设计问题的数学描述为:

$$\begin{aligned} & \min f(x) \\ & s.t. \begin{cases} g_i(x) \geq 0, & i=1, 2, \dots, m \\ h_j(x) = 0, & j=1, 2, \dots, p \end{cases} \end{aligned} \quad (4)$$

式中, $f(x)$ 称为目标函数; $g_i(x) \geq 0$ ($i=1, 2, \dots, m$), $h_j(x) = 0$ ($j=1, 2, \dots, p$) 均称为约束条件。

图 3 是某 50 米射电望远镜天线变形后, 经过优化的辐射方向图 ($\varphi = 90^\circ$)。

优化前后的
主要指标比较如
表 2 所示。

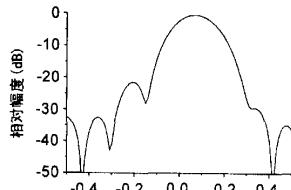


图 3 天线优化后的主瓣方向图
($-0.5^\circ \sim 0.5^\circ$)

表 2 优化前后的主要指标比较

$f = 2300\text{MHz}$	优化前	优化后
半功率波束宽度	0.19°	0.17°
波束偏移角	0.17°	0.08°
第一旁瓣电平	-20.4dB	-21.3dB
第一旁瓣位置	-0.12°	-0.2°

经过比较可以看出: 进行优化后, 主要电气指标得到了改善, 主要表现为: 天线的半功率波束宽度减小, 因此天线的增益将得到提高, 同时, 波束偏移角也相应减小, 第一旁瓣电平也比优化前减少近 1 分贝。增益提高为:

$$\Delta \text{dB} = 20 \lg \frac{0.19}{0.17} = 0.97 \text{dB} \quad (5)$$

4 结语

通过对天线的机电分析, 既可以看出结构对电气指标的影响, 又可以对结构进行优化。因此, 该方法对于反射面天线的工程实践具有较高的参考价值。

参 考 文 献

- [1] 段宝岩. 我国天线结构机电一体化设计的现状与发展. 南京: 电子机械工程, 1999(3).
- [2] 杨可忠. 反射面天线. 天线工程手册. 北京: 电子工业出版社, 2002.
- [3] 杨可忠, 杨智友, 章日荣著. 现代面天线新技术. 北京: 人民邮电出版社, 1993.

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>