

文章编号 1005-0388(2006)03-0403-07

天线表面误差的精确计算方法 及电性能分析*

王从思 段宝岩 仇原鹰

(西安电子科技大学机电工程学院, congsi wang@tom.com, 陕西 西安 710071)

摘 要 提出一种天线表面误差的计算方法, 用来精确计算变形表面法向、径向及轴向误差, 并推导了相应的计算公式。通过分析某工程 7.3m 圆抛物面天线在多种工况下的表面误差, 及其与 ANSYS 软件计算结果的比较, 证明了该方法的正确性, 且计算结果仅为 ANSYS 软件分析结果的三分之一左右。实验结果说明此方法能够更准确地分析变形天线的表面误差及电性能。在工程中应用此方法分析大型空间天线与地面天线, 可明显降低天线设计成本, 缩短天线设计周期, 并为电气设计人员提供准确的天线变形反射面信息。

关键词 面天线, 表面误差, 拟合方法, 电性能, 增益损失

中图分类号 TN820.27

文献标识码 A

Precise algorithm for surface errors of reflector antennas and analysis of its electrical performance

WANG Cong-si DUAN Bao-yan QIU Yuan-ying

(School of Electromechanical Engineering, Xidian University,
congsi wang@tom.com, Xi'an Shaanxi 710071, China)

Abstract A novel precise algorithm for surface errors is submitted, which can be used to accurately evaluate the normal, radial and axial deviations of distorted surface. The corresponding formulae were also deduced. The correctness of the new method with its simulation values only one third of the analysis results of ANSYS software is verified by analyzing the surface errors of a 7.3-m parabolic reflector antenna working under different wind speeds and elevations in experiments and comparing the simulation results of the precise algorithm and ANSYS software methods. The data and figures have demonstrated that the new precise algorithm has the ability to well analyze the surface errors and electrical performances of distorted antenna. Its application in both large space and ground antennas will greatly decrease the design cost and shorten the design period of antenna, also offer electrical designers the accurate distortion information of antenna reflectors.

Key words reflector antenna, surface error, fitting method, electrical performance, gain loss

1 引言

面天线(见图1)因具有高增益、低噪音辐射、高可靠性以及增强的数据传输能力等特点,在雷达通讯、遥距探测、射电天文等领域得到了广泛应用^[1~3]。但对于地面天线与空间天线,天线反射面会由于重力、热效应等作用而产生系统表面变形。同样,冰荷、风雨雪以及结构设计也会引起地面天线反射面的变形,其中结构设计包括支撑杆与平板间的裂缝等。天线表面变形将会明显降低天线电性能^[4~5]。目前,面天线工作频段愈来愈高,大型面天线设计、制造与测试费用也很高,因此在反射面系统设计过程中,表面误差的计算方法必须非常精确、可靠。基于此目的,提出了一种天线表面误差的精确计算方法,并分析计算了不同工况下天线电性能的变化情况。



图1 某圆抛物面天线

分析变形天线反射面的方法已有研究人员做过相关方面工作。文献[6]提出用最佳吻合抛物面来拟合变形反射面,其基本思想是根据最小二乘法确定最佳吻合抛物面的几何参数。此方法简单、准确,但在计算节点法向偏差时,需首先判断每个采样节点变形后的坐标与最佳吻合抛物面的几何位置关系,才能得知法向偏差的正负。法向偏差的正负确定增大了计算工作量。文献[7]提出的求解方法是计算实际轮廓对最佳吻合抛物面的轴向误差,利用计算机确定积分表达式的极小值,从而确定变形反射面的参数。此方法推理缜密、计算准确,但数学表达式较繁琐,求解过程也复杂、耗时。文献[8]采用实际工程中的天线变形曲面上的测量点,以及理论节点仿真分析变形后的位置作为计算对象,使它们万方数据

的轴向误差为零,来构造条件方程组。此方法工程应用价值大,但关键是要有实际加工、装配好的天线,且需在天线实物上进行测量分析。一般天线结构设计人员在仿真设计阶段需要知道当前结构下的反射面表面精度,并据此判断是否需要更改或重新设计天线结构,而不能在天线结构已确定、反射面已加工成形、装配也已完成的情况下,再分析天线表面精度。这在指导、辅助天线结构设计人员更好地完成工作方面就有欠缺。大型通用有限元分析软件 ANSYS 在天线结构分析中有着广泛的应用^[9]。天线结构设计人员利用 ANSYS 软件本身提供的工具——后处理数据功能,可在一定程度上对变形面天线的表面误差进行计算。但限于软件本身具有的功能,表面均方根(rms)误差的计算只是简单地对 num 个节点轴向误差进行取平均值求和开方计算,属于一种近似计算,并不能反映反射面的真实变形情况。

针对以上分析方法的不足及综合作者的研究,首先给出了有限元分析软件 ANSYS 分析计算天线表面误差均方根的方法,指出了其计算过程中的缺点与不足,接着研究了通过确定天线变形反射面的6个参数来确定变形曲面方程的方法,即基于最小二乘原理的拟合抛物面方法,并分别给出了精确计算天线表面轴向、法向和径向误差的方法。这里,拟合抛物面就是由抛物面天线变形后的实际形状求解出的对此实际形状偏差最小的抛物面。在实际工作中,根据变形反射面参数把馈源的相位中心放置在拟合抛物面的焦点上,抛物面焦轴作为天线主波束指向,就可使反射面变形导致的天线电性能损失减至最低程度。针对不同工况下的某7.3m圆抛物面天线,分析、比较了采用 ANSYS 软件与精确计算方法的计算结果,同时给出了相应的天线增益。采用精确计算方法分析天线结构,将会为天线结构设计人员提供准确的天线变形表面误差信息,更好地帮助结构设计人员对天线背架、中心体、反射面等结构进行设计与修改,同时也为电气设计人员分析天线电性能提供详细准确的反射面信息。

2 ANSYS 软件计算方法

随着计算机技术的迅速发展,有限元方法在天线工程中得到了极其广泛的应用。国际上大型有限元分析软件主要有 ANSYS、NASTRAN、ADINA、SAP、ASKA 等。由于 ANSYS 软件具有建模简单、快速、方便的特点,因而成为大型通用有限元软件的

代表,并在我国各研究所与科研单位有着广泛的使用^[10]。

天线变形反射面的误差均方根(rms)是衡量天线结构设计成败的主要依据,其数值必须小于某一规定数值。而 ANSYS 软件后处理中的数据运算功能,能够在每次分析天线结构之后,迅速得到均方根值,从而判断设计结构能否满足要求。下面就介绍其基本计算方法。

在 ANSYS 软件中,天线变形反射面的(轴向)误差均方根的计算公式为

$$\delta_z = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{num} (\Delta z_i - \overline{\Delta z})^2}{num}} \quad (1)$$

其中, num 为采样节点数, Δz_i 为各节点的轴向变形值, $\overline{\Delta z}$ 为 num 个节点变形 Δz_i 的均值。

ANSYS 软件后处理中的 Element Table 数据运算功能,可计算变形反射面的误差均方根。首先选择菜单路径 Utility->Select->Entities, 选择背架上弦节点上的所有质量元,建立单元选择集,使 Element Table 运算只对所选择的单元起作用。然后进入后处理中的 Element Table 菜单,用 Define Table 项把天线轴向变形值定义为 Δz_i , 用 Sum of Each Items 项求出 Δz_i 的和 $\sum_{i=1}^{num} \Delta z_i$, 用 Add Items 项求出 num 个采样节点的 $\Delta z_i - \frac{1}{num} \sum_{i=1}^{num} \Delta z_i$ 的值 $\Delta z'_i$, 用 Multiply 项求出每个 $\Delta z'_i$ 的平方值 σ_i , 用 Sum of Each Items 项求出 num 个 σ_i 的和 $\sum_{i=1}^{num} \sigma_i$, 最

后利用计算器对 $\frac{1}{num} \sum_{i=1}^{num} \sigma_i$ 进行开方计算,即得到天线变形反射面的均方根值。变形面天线的法向误差均方根的计算原理类似,只需利用 ANSYS 软件先分析出背架上弦节点的法向位移。

从 ANSYS 软件计算反射面的表面精度的过程可知,均方根值计算基础是理论设计抛物面的采样节点位移。此方法缺点在于它只是简单地对 num 个位移进行取平均值求和开方计算,并不能反映天线反射面变形的真实情况。作者认为反射面均方根的计算应建立在拟合变形反射面的基础上,即应先分析每个节点对新的拟合抛物面的偏差,然后计算偏差对应新反射面的均方根值。这里提出了一种基于最小二乘原理的精确抛物面拟合方法,推导了计算变形反射面轴向、法向与径向误差的计算公式,同时也给出了计算变形反射面表面精度公式。

3 表面误差的精确计算方法

分析天线表面误差的前提是能够确定变形反射面的曲面方程,下面就先介绍变形反射面的拟合方法,再推导天线表面误差的精确计算方法。

3.1 变形反射面的拟合方法

令天线变形反射面的拟合抛物面相对于原设计抛物面的坐标系 $Oxyz$ 而言,有 6 个几何变形参数: Δx 、 Δy 、 Δz 、 ϕ_x 、 ϕ_y 、 Δf , 称作最佳拟合参数,其中 Δx 、 Δy 、 Δz 为拟合抛物面顶点在原坐标系中的位移, ϕ_x 、 ϕ_y 分别为拟合抛物面的焦轴绕原坐标轴 x 、 y 的转角, Δf 为焦距变化量(见图 2)。计算实际变形轮廓曲面对拟合抛物面的偏差,令这个偏差最小即可确定拟合抛物面的 6 个几何变形参数,从而得到拟合抛物面的方程。

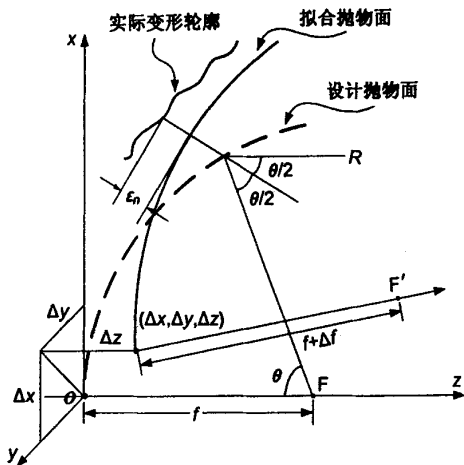


图2 设计、拟合抛物面的几何关系

拟合抛物面的方程如下:

$$z \approx \frac{(x - \Delta x)^2 + (y - \Delta y)^2}{4(f + \Delta f)} + \Delta z + y\phi_x - \phi_y \quad (2)$$

利用 $\frac{1}{4(f + \Delta f)} \approx \frac{1}{4f} \left(1 - \frac{\Delta f}{f}\right)$

取泰勒级数第一项 $(x_p - \Delta x)^2 \approx x_p^2 - 2x_p \Delta x$

$$(y_p - \Delta y)^2 \approx y_p^2 - 2y_p \Delta y$$

采用变形曲面的实测点 P_1 与 P_0 点的轴向误差来构造条件方程组。

$$\delta = z_1 - z_0 = z_1 - \left(z_p - \frac{x_p}{2f} \Delta x - \frac{y_p}{2f} \Delta y + \Delta z + y_p \phi_x - x_p \phi_y - \frac{z_p}{f} \Delta f \right) \quad (3)$$

设有 n 个采样型值点,第 i 个型值点的原始坐

标为 (x_i, y_i, z_i) , 变形后的相应坐标为 (x_i, y_i, z'_i) , 则为求拟合抛物面, 下式就必须取最小值。

$$T = \sum_{i=1}^n \delta_i^2 \quad (4)$$

据微积分极值定理, 为使 T 达到极小, 需使其对 6 个待定几何系数求偏微分并等于零, 得一正规线性方程组, 求解该方程组即可确定全部待定系数。

可得正规方程组

$$A \cdot \beta = H \quad (5)$$

其中,

$$A = \begin{bmatrix} \sum_{i=1}^n \frac{x_i^2}{2f} & \sum_{i=1}^n \frac{x_i y_i}{2f} & -\sum x_i & -\sum x_i y_i & \sum x_i^2 & \sum \frac{x_i z_i}{f} \\ \sum_{i=1}^n \frac{x_i y_i}{2f} & \sum_{i=1}^n \frac{y_i^2}{2f} & -\sum y_i & -\sum y_i^2 & \sum x_i y_i & \sum \frac{y_i z_i}{f} \\ \sum_{i=1}^n \frac{x_i z_i}{2f} & \sum_{i=1}^n \frac{y_i z_i}{2f} & -\sum z_i & -\sum y_i z_i & \sum x_i z_i & \sum \frac{z_i^2}{f} \\ \sum_{i=1}^n \frac{x_i}{2f} & \sum_{i=1}^n \frac{y_i}{2f} & -n & -\sum y_i & \sum x_i & \sum \frac{z_i}{f} \end{bmatrix}$$

$$\beta = (\Delta x \ \Delta y \ \Delta z \ \phi_x \ \phi_y \ \Delta f)^T$$

$$H = \left(\sum_{i=1}^n (z_i - z'_i) x_i \sum_{i=1}^n (z_i - z'_i) y_i \right. \\ \left. \sum_{i=1}^n (z_i - z'_i) z_i \sum_{i=1}^n (z_i - z'_i) \right)^T$$

若引入采样点分析误差的权因子 d_i , 则

$$A^T D A \beta = A^T D H \quad (6)$$

则待定未知项为

$$\beta = [A^T D A]^{-1} A^T D H \quad (7)$$

$$\text{其中 } D = \begin{bmatrix} d_1 & 0 & \cdots & 0 \\ 0 & d_2 & \cdots & 0 \\ & \cdots & \cdots & \cdots \\ 0 & 0 & \cdots & d_n \end{bmatrix}$$

3.2 表面误差的计算

在得到拟合抛物面方程后, 根据下述变形反射面误差计算方法, 就可准确分析天线实际变形后的表面精度。这里先分析如图 2 所示的法向误差 ε_n 的计算方法。

设经过空间一点 (x_0, y_0, z_0) 的直线方程为

$$\frac{x-x_0}{l} = \frac{y-y_0}{m} = \frac{z-z_0}{n} \quad (8)$$

其中 l, m, n 为此直线的方向余弦(由抛物面的特点可知 $n \neq 0$)。

在图 3 中, 点 P 为反射面节点变形前的位置, 点 P_1 为此节点 P 变形后的实际位置, 点 P_0 为实际节点 P_1 沿法线方向与拟合抛物面上的交点。令反射面变形前的节点 P 坐标为 (x_p, y_p, z_p) , 变形后的节

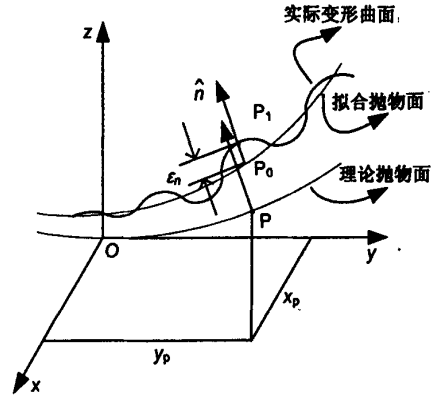


图3 变形面天线的法向误差

点 P_1 坐标为 (x_0, y_0, z_0) 。其中, 节点变形后的位置对拟合抛物面的法线方向余弦, 近似等于原设计抛物面上的相应位置的法线方向余弦。则可知式(8)中的直线方向余弦分别为

$$l = \frac{-x_p}{2\sqrt{f(f+z_p)}}, \quad m = \frac{-y_p}{2\sqrt{f(f+z_p)}}, \quad n = \sqrt{\frac{f}{f+z_p}} \quad (9)$$

由式(8)可得

$$x = \frac{l}{n}z - \frac{l}{n}z_0 + x_0 \quad (10a)$$

$$y = \frac{m}{n}z - \frac{m}{n}z_0 + y_0 \quad (10b)$$

为了公式书写与推导方便, 引入下列参数:

$$c1 = \frac{l}{n}, \quad c2 = -\frac{l}{n}z_0 + x_0, \quad c3 = \frac{m}{n}$$

$$c4 = -\frac{m}{n}z_0 + y_0, \quad s1 = 4(f + \Delta f)$$

$$s2 = \frac{c1^2 + c3^2}{s1}$$

$$s3 = \frac{2[c1(c2 - \Delta x) + c3(c4 - \Delta y)]}{s1}$$

$$s4 = c3 \cdot \phi_x - c1 \cdot \phi_y,$$

$$s5 = \frac{(c2 - \Delta x)^2 + (c4 - \Delta y)^2}{s1}$$

$$s6 = \Delta z + c4 \cdot \phi_x - c2 \cdot \phi_y$$

把式(10)代入式(2), 整理、化简, 可得

$$s2 \cdot z^2 + (s3 + s4 - 1) \cdot z + s5 + s6 = 0 \quad (11)$$

求解此方程, 就可得到过实际节点的法线方向直线与拟合抛物面交点的 z 坐标。但需要注意的是, 应取 z 值较小的那个。这是因为空间直线与抛物面有两个交点, 必然一个交点的 z 坐标要小于另外一

个交点的,分析抛物面上点的法线方向特点,可知过变形节点的直线与拟合抛物面的最近的交点必然是 z 值小的那个。

于是,变形后的空间点 $P_1(x_0, y_0, z_0)$ 对应拟合抛物面的法线方向的交点坐标如下:

$$\begin{cases} x'_0 = c1 \cdot z + c2 \\ y'_0 = c3 \cdot z + c4 \\ z'_0 = \frac{1-s3-s4-\sqrt{(s3+s4-1)^2-4 \cdot s2s5-4 \cdot s2s6}}{2 \cdot s2} \end{cases} \quad (12)$$

则变形反射面的节点 P_1 对拟合抛物面的法向偏差为

$$\epsilon_n = \sqrt{(x_0 - x'_0)^2 + (y_0 - y'_0)^2 + (z_0 - z'_0)^2} \quad (13)$$

因此,整个变形反射面的法向误差均方根为

$$\epsilon_{rms}^n = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{nm} (\epsilon_n^i)^2}{nm}} \quad (14)$$

在分析变形反射面的光程差时,有时也需知道反射面的径向误差。限于篇幅,下面就简要介绍分析计算反射面径向误差的方法,并给出相应图形。图4给出了反射面径向误差的定义,并给出相应的光程差,其大小等于 $\Delta\rho(1+\cos\varphi)$ 。

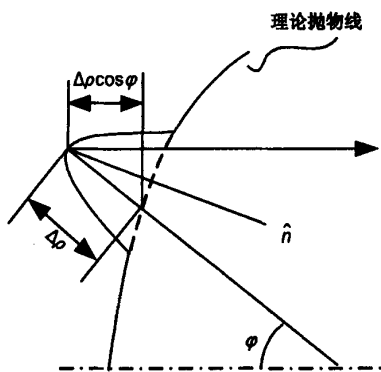


图4 反射面的径向偏差

拟合抛物面的新焦点 F' 在原坐标系 $Oxyz$ 中的坐标为(见图5)

$$\begin{cases} x_{F'} = \Delta x + (f + \Delta f) \cdot \phi_y \\ y_{F'} = \Delta y - (f + \Delta f) \cdot \phi_x \\ z_{F'} = f + \Delta f + \Delta z \end{cases} \quad (15)$$

此时节点径向方向为变形后的节点 P_1 与拟合抛物面的新焦点 F' 的连线方向,其方程为:

$$\frac{x - x_{F'}}{x_0 - x_{F'}} = \frac{y - y_{F'}}{y_0 - y_{F'}} = \frac{z - z_{F'}}{z_0 - z_{F'}} \quad (16)$$

万方数据

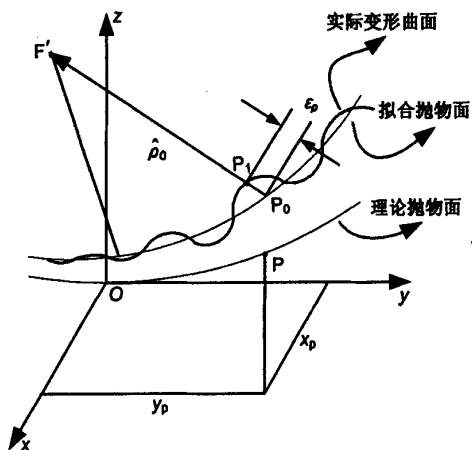


图5 变形面天线的径向误差

则其方向余弦为

$$\begin{aligned} l &= \frac{x_0 - x_{F'}}{dt}, \quad m = \frac{y_0 - y_{F'}}{dt}, \\ n &= \frac{z_0 - z_{F'}}{dt} \end{aligned} \quad (17)$$

其中 $dt^2 = (x_0 - x_{F'})^2 + (y_0 - y_{F'})^2 + (z_0 - z_{F'})^2$

于是,节点 P_0 和 P_1 连线方程变化为

$$x = \frac{l}{n}z - \frac{l}{n}z_0 + x_0 \quad (18a)$$

$$y = \frac{m}{n}z - \frac{m}{n}z_0 + y_0 \quad (18b)$$

以下计算过程类似法向误差的计算过程,同样可确定变形后的空间节点 (x_0, y_0, z_0) 与拟合抛物面的径向交点 (x'_0, y'_0, z'_0) 。则变形后节点对拟合抛物面的径向偏差为

$$\epsilon_p = \sqrt{(x_0 - x'_0)^2 + (y_0 - y'_0)^2 + (z_0 - z'_0)^2} \quad (19)$$

天线表面轴向误差均方根的计算较简单,首先需确定节点变形后的位置在拟合抛物面上的对应节点,然后计算它们的轴向误差,在对所有的采样节点进行均方根计算即可。

4 实验结果

下面对某工程案例7.3m口径圆抛物面天线进行表面误差及电性能分析。其工作频段为Ku频段、C频段发射,副瓣包络是CCIR.580-2,工作风速为20m/s,生存风速为55m/s,工作环境温度范围为 -45° 至 60° ,天线表面法向精度指标是0.5mm。天线反射面是实板型,背架属桁架类,整个天线沿中心体圆周均匀布有16片辐射梁。沿天线弦杆的圆

周布有三圈环形梁,即每两片辐射梁之间有三根环形梁,整个天线共有 48 根环形梁。环形梁采用无缝钢管制成,两端通过单螺栓与辐射梁相连。反射面由 2mm 厚的硬铝钹(LY12-M)拉制而成,整个天线使用 16 片扇形反射面,是典型壳结构,视为壳单元(在 ANSYS 中取 shell63)。为提高反射面刚度,在反射面的背面布有 Z 型铝型材加强筋^[11]。表 1 给出了具体的天线结构有限元模型参数。

在自重与风荷共同作用下,天线反射面会发生变形,天线表面也不再是一光滑曲面,电磁场的边界条件也就发生了变化。这里采用 ANSYS 软件方法与提出的精确计算方法分别对变形天线反射面进行仿真计算。不同工况下天线变形反射面的表面精度,以及天线增益变化情况在表 2 中给出。此天线焦距为 2.5335926m,工作频率为 14GHz,风载荷是

从天线侧面对天线施加作用,天线仰角指天线焦轴与水平方向的夹角。实际工程中,天线在各种仰角及风速下,都是满足工作性能要求的。

天线增益损失的计算公式为

$$\Delta G = 685.810(k\epsilon_{rms}^n/\lambda)^2 \tag{20}$$

表 1 天线结构有限元模型参数

天线结构	单元	单元类型	单元数	材料
反射面	壳	Shell63	6400	铝钹
Z 型铝加强筋	梁	Beam4	2560	铝型材
上、下弦杆	梁	Beam4	176	矩形钢管
部分下弦杆	杆	Link8	16	矩形钢管
腹杆	杆	Link8	80	矩形钢管
上弦杆外缘	梁	Beam4	16	钢板
环形梁	杆	Link8	48	钢管

表 2 不同工况下天线表面精度与增益损失

仰角 (°)	风速 (m/s)	ANSYS 软件方法			精确计算方法		
		法向 rms(mm)	轴向 rms(mm)	增益损失(dB)	法向 rms(mm)	轴向 rms(mm)	增益损失(dB)
0	30	0.476217	0.223357	0.273220	0.129236	0.142786	0.020122
	50	1.272202	0.533457	1.949912	0.334692	0.370757	0.134956
30	30	0.512354	0.242511	0.316259	0.141651	0.157831	0.024174
	50	1.359513	0.634540	2.226741	0.379962	0.424890	0.173934
60	30	0.450682	0.232184	0.244705	0.151587	0.173004	0.027684
	50	1.188166	0.650458	1.700815	0.417729	0.477336	0.210229
90	30	0.460479	0.419285	0.255460	0.148071	0.164157	0.026415
	50	1.279719	1.165255	1.973023	0.411811	0.456522	0.204314

其中, ϵ_{rms}^n 为天线表面的法向误差均方根值, k 为相关因子,其数学公式如下^[12]。

$$k = \frac{4F}{D} \sqrt{\ln\left[1 + \frac{1}{(4F/D)^2}\right]}$$

(21)

这里, F 表示天线焦距, D 为天线口径。

分析可知,随着天线仰角增大,变形反射面的误差均方根也随之增大,但在仰天状态下,表面误差均方根反而减小。两种方法得到的法向误差均方根与轴向误差均方根明显不同,精确计算方法得到的数值要小于利用 ANSYS 软件得到的。而且,ANSYS 软件分析得到的变形反射面的轴向误差均方根与法向误差均方根的数值差别是很明显的,而精确计算方法得到的轴向误差均方根与法向误差均方根相当接近,且数值大小变化趋势非常接近。这些都说明了精确计算方法在分析计算变形反射面误差时的准确性。

为更好地比较两种不同计算方法,图 6 给出了万方数据

变形反射面的轴向误差均方根与法向误差均方根随天线仰角变化的情况。左边两图表示天线受到的风荷速度为 30m/s,右图对应风速为 50m/s。上面的曲线表示采用 ANSYS 软件得到的结果,而下面的曲线表示采用精确计算方法分析的结果。从 4 个图中可看出,利用精确计算方法计算得到的表面误差 rms 都要低于利用 ANSYS 软件分析得到的,且对于法向误差,这种情况更加明显。

利用 ANSYS 软件分析变形面天线的表面误差时,得到的误差均方根有时会大于给定的表面精度要求,如果据此就判断当前天线结构不符合要求,需重新进行结构设计,那就会造成设计成本的浪费。分析图 6 可知,利用精确计算方法分析天线结构,得到的结果是天线结构满足设计要求。例如图 6 中的右下方图形,当天线仰角为 90°,ANSYS 软件分析的结果是法向误差均方根为 1.279719mm,远远大于 0.5mm 的表面精度要求,而精确计算方法得到

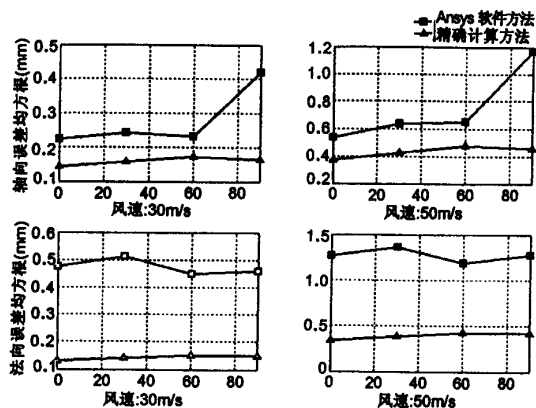


图6 两种计算方法的比较

的结果是 0.411811mm, 低于设计精度要求, 表明天线结构是满足要求的。而且实际天线在这样的工况下是能够正常工作的。也就是说, 此时的天线结构在上述工况下满足表面精度要求, 不需重新修改或补偿^[13]。其它 3 个图形也有相同情况。所以, 天线结构设计人员在设计结构时, 不能仅凭有限元分析软件 ANSYS 分析结果就否定当前结构, 而应利用作者提出的精确计算方法重新分析天线结构, 从而判断天线结构是否满足设计要求。

5 结论

天线的工作环境日益复杂且多种多样, 工作频段也愈来愈高, 准确分析其变形反射面的表面精度就显得非常重要。作者提出了一种天线变形表面误差的精确计算方法, 并分别推导了精确计算天线表面轴向误差、法向误差和径向误差的数学公式。通过对某工程案例 7.3m 口径圆抛物面天线的仿真实验, 证明了精确计算方法在计算表面误差时的准确性, 同时指出了 ANSYS 软件在计算表面误差时的缺点与不足。实际天线设计工程中, 应用变形天线表面误差精确计算方法, 将会帮助天线结构设计人员准确分析不同工况下的天线表面精度, 降低设计成本, 缩短天线设计周期, 同时也为电气设计人员分析天线电性能提供准确的变形反射面信息。

参考文献

- [1] A V Alpatova, A M Gorin, I N Kad'kalo. Calculation of non-axisymmetrical parabolic reflector antennas [A]. The 4th International Conference on Antenna Theory and Techniques, 9~12 Sept. 2003, vol. 1, 248~250.
- [2] 章文勋. 世纪之交的天线技术[J]. 电波科学学报, 2000, 15(1): 97~100.

2000, 15(1): 97~100.

W X Zhang. The antenna technology faced to the 21-th century[J]. Chinese Journal of Radio Science, 2000, 15(1): 97~100.

- [3] 蒋泽, 等. 面向新一代移动通信的智能天线技术[J]. 电波科学学报, 2001, 16(3): 342~347.
- Z Jlang, et al.. Smart antenna technique for next generation of mobile communication[J]. Chinese Journal of Radio Science, 2001, 16(3): 342~347.
- [4] S Sinton, Y Rahmat-Samii. Random surface error effects on offset cylindrical reflector antennas [J]. IEEE Trans. Antennas Propagat., 2003, 51(6): 1331~1337.
- [5] 殷光辉, 徐之材, 韩涛, 等. 大型天线表面精度实时检测[J]. 电波科学学报, 2000, 15(2): 229~231.
- X H Yin, Z C Xu, P Han, et al.. A new real-time holographic system for the surface diagnosis of the large reflector antennas[J]. Chinese Journal of Radio Science, 2000, 15(2): 229~231.
- [6] 叶尚辉. 天线结构设计[M]. 北京: 国防工业出版社, 1980.
- [7] 章日荣. 反射面天线及波纹喇叭[M]. 北京: 无线电工程编辑部, 1977.
- [8] 华慕麟. 天线变形曲面的一种拟合方法[J]. 现代雷达, 1994, 16(1): 75~82.
- [9] 有限元软件 ANSYS 7.1 联机帮助[Z].
- [10] 毕明路. ANSYS 环境中某 7m 天线的数字化建模及静、动态分析[J]. 电子机械工程, 2003, 19(4): 1~4.
- [11] C S Wang, B Y Duan, Y Y Qiu, et al.. A new approach to fit the distorted reflector antenna and its computation of electrical characteristics [A]. The First Asia International Symposium on Mechatronics (AISM2004), Sept. 27~30, 2004, Xi'an of China, 201~205.
- [12] J W Kim, B S Kim, C W Lee. Computation of the average power pattern of a reflector antenna with random surface errors and misalignment errors [J]. IEEE Trans. Antennas Propagat., 1996, 44(7): 996~999.
- [13] W A Imbriale. Distortion compensation techniques for large reflector antennas[A]. IEEE Proc. of Aerospace Conference, 2001, 2: 10~17.

王从思 (1980—), 男, 安徽人,

西安电子科技大学机电工程学院博士研究生, 主要研究方向为天线结构分析及天线机电耦合性能分析等。



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),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>