

结构变形对抛物面天线旁瓣性能的影响

黄琼琼

(桂林长海发展有限责任公司, 广西 桂林 541001)

【摘要】由于天线结构局部变形并出现凹区,造成口径场产生畸变,从而导致了天线旁瓣性能下降。文章以某车载雷达天线为例,根据其在微波暗室的测试结果以及天线方向图与其口径场之间的关系,通过理论分析,探讨口径场分布影响天线旁瓣性能的主要机理。

【关键词】结构变形;抛物面天线;方向图;旁瓣电平

【中图分类号】

【文献标识码】

【文章编号】1008-1151(2014)07-0092-04

The influence of deformation of parabolic antenna structure to its sidelobe performance

Abstract: A local deformation of antenna structure and the pit occur, causing distortion of the field aperture, resulting in performance degradation of the antenna sidelobe. This article, taking a mobile radar antenna as an example, explores the main mechanism of the distribution of aperture field to the antenna sidelobe performance by analyzing the test results in microwave anechoic chamber and the relationship between antenna pattern and its field aperture.

Key words: Deformation of antenna structure; parabolic antenna; antenna pattern; sidelobe level

1 引言

现代雷达对天线旁瓣电平的要求越来越高,某车载雷达天线的旁瓣要求低于-27dB。在对实际生产的2.5m口径天线的方向图进行多次测试时发现,E面旁瓣电平总是达不到设计指标,明显偏高。经过多次对天线进行校准和测试,发现:用样板检验抛物面,误差较大,且其口面局部呈椭圆,并在抛物面 $\phi 800$ 的范围内局部有下凹区,口径场起伏较大。由此来分析天线结构变形对旁瓣性能的影响。

2 天线的设计要求与结构组成

2.1 天线结构设计要求

天线结构设计应满足以下要求:

(1) 具有良好的电性能,满足增益高,一定的方向图形状,低旁瓣电平等要求,因此对反射面的制造精度,反射面的安装形式以及馈源支架的安装形式等均有一定的要求。

(2) 天线结构应满足强刚度的要求。

(3) 加工性要求,天线结构与制造方法有着密切的关系,设计不好会给加工带来很大困难又或者加工周期长、费工时等。

(4) 环境要求,天线结构应满足相应的国军标要求。

(5) 安装要求,天线应便于运输和架设等。

要同时满足上述要求是困难的,因为这些要求往往互相矛盾,例如要保证高精度,则加工复杂;要满足重量轻、易架设,则精度就低。因此,在进行天线结构设计时,应具体

问题具体分析,综合考虑诸因素,以满足设计指标为目的,以使天线结构尽量满足多方面的要求。

2.2 天线的结构组成

工作于某波段的某车载雷达天线主要由反射面、骨架、馈源及馈源支架等组成。在进行天线的结构设计时,为了减少馈源的遮挡,采用了三根拉杆支撑结构。即用三根 $\phi 8$ 的拉杆对馈源的安装法兰进行固定,并可调整馈源的位置,同时为了减轻天线的重量、便于装配以及提高天线结构的强刚度,使其能在规定的载荷作用下工作,因此骨架采用了辐射梁结构,用铝合金焊接而成,铝骨架采用6根撑杆将两层保持环连成一体,在内环上焊有安装平板,内环与反射面采用螺栓连接,外环则与反射面的口径边缘采用铆钉连接,天线结构如图1所示。

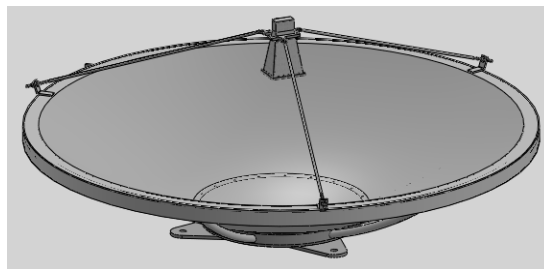


图1 天线结构示意图

【收稿日期】2014-06-11

【作者简介】黄琼琼(1963-),女,重庆人,广西桂林长海发展有限责任公司高级工程师,从事天气雷达、海用雷达和电子对抗领域相关产品的结构总师工作。

3 反射面的误差对电性能的影响

由于实际加工的反射面存在一定的误差，这里主要是指制造误差。因此在进行反射体设计时，合理确定制造误差，使其在一定限度之内就显得尤为重要了，若公差太小，则加工困难，且结构笨重；而公差太大，又使电性能变坏，因此需要研究表面误差对天线性能的影响。

反射体表面误差将引起口面场的相位误差，使天线的增益降低，旁瓣电平增高。

如图 2 所示，设抛物面在 B 点有一个凹入（或凸出）部分，此时电磁波就要多走（少走）一段路程。

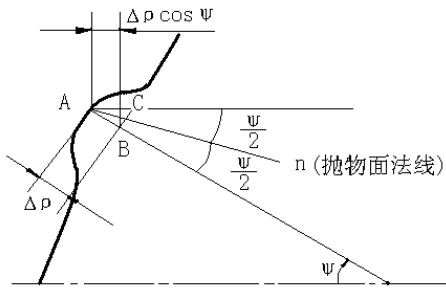


图 2 抛物面误差引起的相位差

称之为光程差： $AB + AC = \Delta\rho + \Delta\rho \cos \psi$

式中： $\Delta\rho$ ——径向误差。

由此而引起的相位差为：

$$\Delta\varphi = \frac{2\pi}{\lambda} \Delta\rho(1 + \cos \psi)$$

由于反射面上各点的误差均不同，所以口面上各点的相位也不同，口面不是等相面，这样最大辐射方向的场强就要减弱，引起增益降低。

由馈源辐射出来的电磁波，照射到反射面，在反射面上感生出电流。设想把反射面分成许许多多小单元，每个小单元可看作一个辐射元，整个天线的辐射场是许许多多辐射元的场的合成。在理想情况下，口面是等相面，所有单元的场强在天线轴线方向上彼此同相，因而天线增益最大。当有表面误差时，口面不是等相面，各单元场强在轴线方向上不再彼此同相，因而天线增益下降。如图 3 所示。

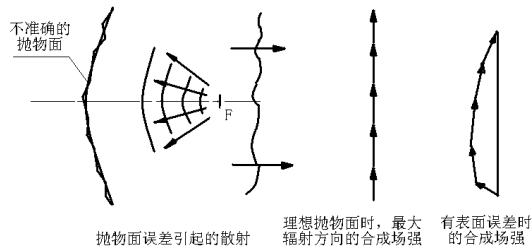


图 3 抛物面误差引起的天线增益下降

一直以来，对天线表面公差的要求都是规定最大误差不得超过某一数值，现在看来，这种规定方法是不完善的，因为反射面个别点的误差对整个天线性能不起决定性的影响，一个点的误差（实际是一个很小的面积）对天线性能的影响可以忽略不计，决定天线性能是整个反射面的误差情况，即误差的大小和分布，也就是说，虽然一个天线的最大误差比另一个天线大几倍，但由于其误差分布不同，前者性能不一定比后者差，甚至有可能比后者要好。

理论分析也指出，反射面有误差时，其增益的降低只和误差的均方值有关（误差的平方对整个口面的平均值），而和个别点的误差最大值无关，因此应将误差的均方值保持在一定范围内，而不是追究某个点的误差。

由于抛物面的制造误差属于起伏不平的随机误差。反射面的随机误差对天线增益的影响，目前公认鲁兹（Ruze）公式比较合适，同是也为实验所证实。他是用数理统计的方法来研究的。

假设 G_0 为无表面误差时的天线增益， G 为有表面误差时的天线增益，则

$$\frac{G}{G_0} = e^{-\bar{\delta}^2}, \text{ 式中: } \bar{\delta} \text{ ——均方根相位误差 } \bar{\delta} = \frac{4\pi\epsilon}{\lambda}$$

当有表面误差时，增益下降系数为：

$$\eta_s = \frac{G}{G_0} = e^{-\bar{\delta}^2} = e^{-\left(\frac{4\pi\epsilon}{\lambda}\right)^2}$$

式中： ϵ —— 均方根表面误差，

λ —— 波长。

由上述关系式可知，天线允许的误差取决于对增益的要求。一般规定均方根误差为 $\lambda/30$ ，也有的规定均方根误差为 $\lambda/60$ ，这要看对天线的具体要求，当误差为 $\lambda/60$ 时，制造误差和变形误差各占一半。本天线，若取均方根误差为 $\lambda/60$ ，则约为 0.5 左右。

由于误差是正态分布的，由此可确定误差的分配，并根据概率积分表可以确定误差值在某一范围内所占的百分比。

对于大型天线，不同区域还可规定不同的公差，如抛物面边缘部分的公差可比中间部分取得大些。具体怎样取值，要看误差在反射面上如何分布比较合适。

在规定误差时，要注意轴向误差，法向误差和径向误差的区别。如图 4 所示。

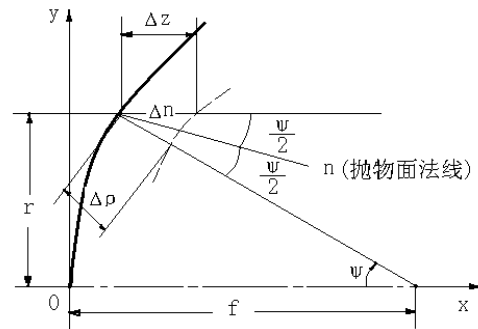


图 4 误差之间的相互关系

式中： Δz —— 轴向误差，
 Δn —— 法向误差，
 $\Delta \rho$ —— 径向误差。

$$\Delta n = \Delta z \cos \frac{\psi}{2} = \Delta \rho \cos \frac{\psi}{2}$$

$$\cos \frac{\psi}{2} = \frac{2f}{\sqrt{4f^2 + y^2}} \quad \cos \psi = \frac{4f^2 - y^2}{4f^2 + y^2}$$

法向误差与均方根误差的关系：

$$\varepsilon = \frac{\Delta n}{\sqrt{1 + \left(\frac{r}{2f}\right)^2}} = \frac{\Delta n}{\sqrt{1 + \left(\frac{y}{2f}\right)^2}} = \frac{2f}{\sqrt{4f^2 + y^2}} \cdot \Delta n$$

4 馈源安装误差对电性能的影响

按照理想情况，馈源的相位中心应该与焦点完全重合，但实际上总存在一定偏差。这是由于馈源支架的变形及馈源安装不准确造成的，因此需要研究馈源偏焦对天线性能的影响，从而规定出合适的馈源位置公差。对于主焦抛物面天线系统，馈源偏离抛物面焦点可分为下列两种情况。

4.1 馈源沿抛物面轴线方向的偏移（纵偏）

当馈源沿轴线方向前后偏离焦点时，天线辐射特性的主要变化是：主瓣变宽，增益降低，旁瓣电平升高，由于反射面围绕轴线是对称分布的，所以最大辐射方向不变。仍在抛物面的轴线方向上。

当馈源在焦点 F 上时，口径平面是等相面，因此最大辐射方向垂直于等相面，与抛物面轴线重合。而当馈源偏离焦点 F 时，根据入射角与反射角相等的光学原理，反射波的射线就不与抛物面轴线平行，并且其偏离角各点不等，故反射线互不平行，引起散焦。则等相面就与抛物面口面不重合，因此最大辐射方向也与抛物面轴线不重合，而是偏转了一个角度。

设原来馈源位于焦点 F 处，轴向偏移 δz 后，移至 F' 点，显然从 F' 点发出的波经抛物面反射后到达口面上所走的路程各射线不同，如图 5 所示。

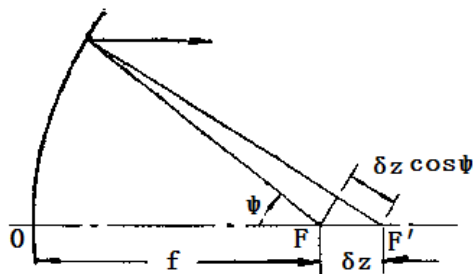
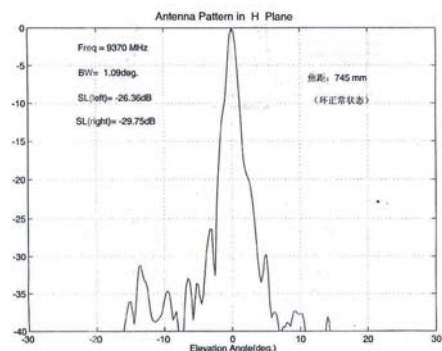


图5 馈源沿轴线方向的偏移

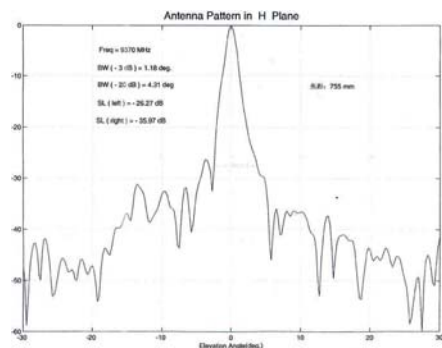
当 $\psi=0$ 时，由图可看出，射线多走 δz 的路程，而在 ψ 方向上的射线则多走了 $\delta z \cos \psi$ 的路程，两者之差为 $\delta z(1 - \cos \psi)$ ，则相位差是

$$\Delta \varphi = \frac{2\pi}{\lambda} \delta z (1 - \cos \psi)$$

这种偏焦对方向图的影响可根据天线理论来计算，它与偏焦量的大小、口面场的分布、焦径比等有关。图6中给出了天线轴向偏焦 0.16λ 时的方向图，可以看出，当偏焦在 0.16λ 时，第一旁瓣已溶于主瓣中，随着偏焦量的增大，增益降低与主瓣展宽日益严重。



焦距 $f = 745\text{mm}$ 时



焦距 $f = 755\text{mm}$ 时

图6 天线纵偏的方向图

4.2 馈源沿垂直于抛物面轴线方向偏离焦点（横偏）

馈源横向偏焦时，天线方向图主瓣最大辐射方向将偏离轴线一定角度，主瓣偏转方向恰好与偏焦方向相反。这时方向图变得不对称，靠近轴线一边的旁瓣明显升高，而另一边旁瓣则减小，主瓣宽度则变化不大，增益损失较小。若横向偏移不大，只使方向图的主瓣偏转了一个角度（朝相反方向），而不会使方向图失真。

馈源偏焦距离和波束偏移角大小有一近似关系式：

$$\theta_2 = \frac{\Delta x}{f} \cos^2 \frac{\psi_0}{2}$$

式中： θ_2 —— 波束偏移角，
 Δx —— 偏焦距离，
 ψ_0 —— 抛物面张角。

如图7所示，当馈源在原来焦点 F 上时，口面是等相面，最大辐射方向垂直于等相面，与抛物面轴线重合。

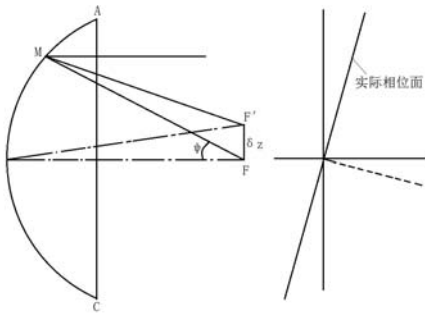


图 7 馈源沿垂直于抛物面轴线方向偏移

当辐射器横向偏离焦点至 F' 时，由于偏移距离很小，由 F' 向抛物面投射后的反射线基本上是平行的，但因 $F'A$ 比 $F'C$ 短，A 点的相位比 C 点超前，故可在口面上得到一个大致直线倾斜相位分布，从图上看，对于任意反射点 M，其路程差为：

$$FM - F'M = \delta_z \sin \psi$$

故相位差为：

$$\Delta\varphi = \frac{2\pi}{\lambda} \delta_z \sin \psi$$

横偏时，当偏焦不大时，最大辐射方向偏转一个角度，旁瓣一边增大，一边减小；当偏焦较大时，一边的旁瓣与主瓣溶合，图 8 所示为天线横向偏焦时的方向图。

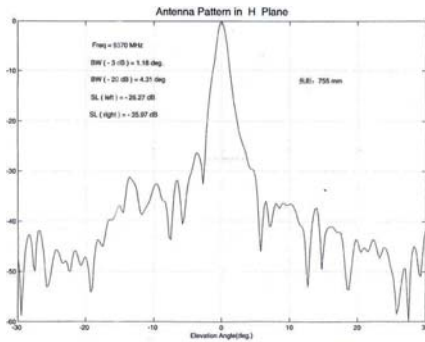


图 8 天线横偏的方向图

在微波暗室对天线进行测量的过程中，发现 E 面旁瓣电平偏高，达不到技术指标的要求，经过分析，此天线除了加工原因外，机械轴也有偏移，因此，采用上述纵偏和横偏的方法对该天线进行了多次测试，找到了最佳的机械轴位置，最终性能指标达到了设计要求，由此可见，结构变形对天线的电性能影响是非常大的。

5 结语

本文说明了由于反射面加工精度较差，同时天线骨架有局部变形，造成天线旁瓣性能变差，导致天线性能指标不满足设计要求，通过论证分析，重新校准反射面和天线骨架，采用纵偏和横偏的方法确定最佳的机械轴位置，最后用专用工装夹具将馈源调整到反射面的中心并固定，最终使该天线达到了技术指标的要求。

【参考文献】

- [1] 四 0 二室.天线结构设计[M].西安:西北电讯工程学院出版社,1975.
- [2] 朱钟淦,叶尚辉.天线结构设计[M].北京:国防工业出版社,1980.
- [3] 叶尚辉,李在贵.天线结构设计[M].西安:西北电讯工程学院出版社,1986.
- [4] 段宝岩.天线结构分析、优化与测量[M].西安:西安电子科技大学出版社,1998.
- [5] (美)John D.Kraus.天线[M].北京:电子工业出版社,2008.
- [6] 李宗春,李广云.天线结构设计测量[M].北京:测绘出版社,2010.

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>