

大型曲面天线精度测试方案综述\*

武斌功 张侃

( 华东电子工程研究所 ,合肥市 9023 信箱 68 分箱 安徽 合肥 230031 )

摘 要 :以某雷达大型双弯曲曲面天线为对象 ,提出了大型曲面天线精度测试的几种测量方案 ,论述了每一种方案的基本原理、数据处理方法和优缺点 ,对天线的工程测试具有一定的应用价值 ,同时也适用于一般的大型结构件的测量。  
关键词 :大型曲面天线 ;精度测试 ;数据处理 ;方案探讨  
中图分类号 :TN957.2 文献标识码 :A 文章编号 :1008 - 5300( 2005 )02 - 0011 - 03

A Review of Accuracy Measurement Methods of Large Reflector Radar Antenna

WU Bin-gong ZHANG Kan

( East China Research Institute of Electronic Engineering , Hefei 230031 , China )

**Abstract** :Taking a large reflector radar antenna as an example , some measurement methods and data processing methods are presented. The principle , advantage and disadvantage of every measurement method are discussed. The discussion is useful for antenna and big structure measurement.  
**Key words** :large reflector radar antenna ;accuracy measurement methods ;data processing methods ;discussion of schemes

0 引 言

我所研制的某型号雷达天线具有结构尺寸大、天线结构复杂等特点( 结构尺寸约 5mx 9m ) ,给天线的测试带来了较大的难度。天线的工作状态示意图如图 1 所示。

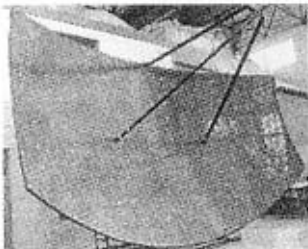


图 1 天线工作状态实物图

天线的模型是以离散的坐标点数据和参数方程的方式给出的。该天线的中截线的离散坐标点数据形式如下 :

表 1 给出的数据的入射角的间隔为 0. 5° ,不同的入射角对应于不同反射角和矢径。

表 1 天线中截线数据( 局部 )

序号	入射角 $\psi$	反射角 $\theta$	矢径 $\rho$
...	...	...	...
288	0. 5	8. 496101	2935. 028
289	1	8. 725705	2934. 05
290	- 1. 5	8. 88161	2933. 078
291	- 2	9. 044895	2932. 117
292	- 2. 5	9. 215917	2931. 166
293	- 3	9. 395188	2930. 224
294	- 3. 5	9. 582918	2929. 289
295	- 4	9. 779711	2928. 361
296	- 4. 5	9. 98589	2927. 439
298	- 5. 5	10. 33917	2925. 612
...	...	...	...

天线工作面的横向(  $x$  向 )展开是以参数方程的形式给出的 ,具体公式如下 :

\* 收稿日期 2004 - 03 - 05

$$y_{ij} = \rho \sin \Psi_j - \frac{\rho_j \sin \Psi_j}{1 - \cos(\Psi_j + \theta_j)} \left[ 1 - \sqrt{1 - \frac{x_i^2}{\rho_j^2} \operatorname{tg}^2 \left( \frac{\Psi_j + \theta_j}{2} \right)} \right] \quad (1)$$

$$z_{ij} = -\rho \cos \Psi_j + \frac{\rho_j \cos \Psi_j}{1 - \cos(\Psi_j + \theta_j)} \left[ 1 - \sqrt{1 - \frac{x_i^2}{\rho_j^2} \operatorname{tg}^2 \left( \frac{\Psi_j + \theta_j}{2} \right)} \right] \quad (2)$$

式中:  $\Psi_j$ ——入射角  $\theta_j$ ——反射角  $\rho_j$ ——矢径。

$i=1\ 2\ 3\ \dots\ m$   $x$  的取值个数。

$j=1\ 2\ 3\ \dots\ n$  中截线的数据个数。

上述参数如图2所示。

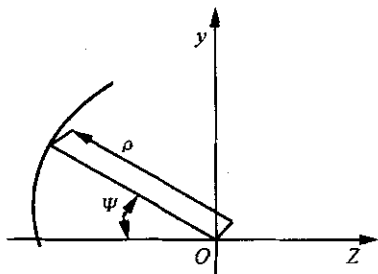


图2 中截线示意图

为了解决天线的测量问题,下面给出了几种测量方案,也是该天线测量过程中的重要依据。

## 1 大型曲面天线测量方法

### 1.1 激光跟踪仪测量方法

激光跟踪仪是一种先进的尺寸精度测量系统,不但可以测试,同时利用其自带的大气物理传感器测试大气的气压、温度和湿度,并对测试的坐标数据进行补偿以提高测量精度,该测量系统可以在天线的工作状态进行测试,测量结果能够真实地反映天线工作状态下的尺寸精度,图3是我所的某大型曲面天线的测试状态示意图。

目前有两种形式的激光跟踪仪。一种是激光干涉测量跟踪仪,由激光器和反射镜组成,这种测量器要求在不断光的环境条件下测试,如果断光,则必须回到激光跟踪仪的“零点”,重新标定方可继续测试,从图3的测试示意图中可以看出,天线上安装了馈源支撑架,在测量过程中容易产生断光现象。这种跟踪仪的精度可以达到  $0.010\ 8\ \text{mm/m}^{[1]}$ ,设天线测量状态的最大矢量直径为  $4.5\ \text{m}$ ,测量仪表的最大测量误差为  $0.048\ 6\ \text{mm}$ ,完全能够满足大型天线的精度测量要求。

另一种是绝对测量激光跟踪仪,是通过红外激光

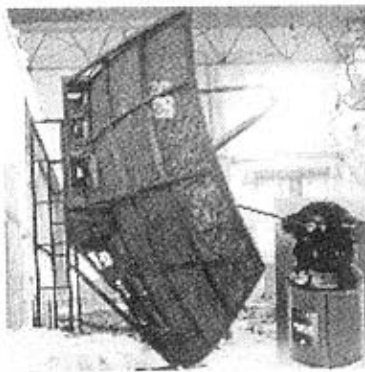


图3 激光跟踪仪模拟测试状态示意图

频率来计算传播时间,可以将“零点”移到一个固定参考点,当出现断光时,只需将光靶移到一个固定点,使光线反射回主机即可。这种跟踪仪的精度可以达到  $0.021\ 1\ \text{mm/m}^{[1]}$ ,同样按最大矢量直径为  $4.5\ \text{m}$  计算,测量仪表的最大误差为  $0.095\ \text{mm}$ ,也能够满足大型天线的精度测量要求。

激光跟踪仪测试的数据处理原理大体上有两种,分述如下。

#### 1.1.1 局部数据处理法

假设天线反射面的曲面方程为:

$$f(x\ y\ z) = 0 \quad (3)$$

为确定天线的测量坐标系,先将测量天线上的有限个基准坐标点  $P_i(x_i\ y_i\ z_i) = 0\ (i=1\ 2\ \dots\ n\ n \geq 6)$  代入式(3)中构成大于6个方程的冗余方程组,经迭代拟合后获得坐标系的原点,该点也作为天线设计的理论坐标系原点,其余点的测试都是针对该坐标系原点的。

这种处理方法的优点为以少量的数据点获得天线的设计坐标系,后续的测试坐标点就不需要再进行拟合处理,数据处理的工作量相对降低,缺点也是明显的,如果选用的基准坐标点的个别点的数据误差大或选取的点不太合理时,会使测试坐标系与理论设计坐标系产生较大的偏离程度。这样,除测试点本身的误差之外,还会产生坐标系的偏差。

#### 1.1.2 总体处理法

在测试前确定任意一参考点作为测试坐标原点,待整个数据点采集完成后,将整个数据点进行拟合处理,与天线的理论CAD曲面模型进行迭代逼近,直到达到需要的最小偏离误差,给出各个测量点的尺寸偏差的均方根误差。

与局部处理法相比,优点为用该方法得到的最终误差会最小,缺点,一方面是数据的工作量较大,但对

于用成熟的处理软件来说并不是大问题,另一方面为了得到最小的误差,天线制造过程中的工艺基准和装配基准都会产生一定的影响,需要重新校正。

## 1.2 双电子经纬仪测量方法

双电子经纬仪的测量原理是利用电子经纬仪的测试方位角和俯仰角的测试功能,由于其不具备测距功能,必须借助双台电子经纬仪和定标标尺的理论尺寸才能解算出被测点的测量坐标数值,图4是双电子经纬仪对天线测试的测试状态示意图,测试系统由两台电子经纬仪、联网计算机和一个标尺组成。

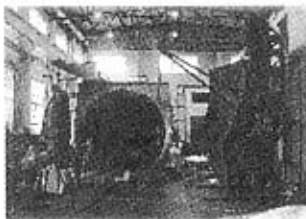


图4 天线的双经纬仪工作状态测试状态图

双电子经纬仪测量精度也是较高的,可以设置测量的角度误差范围,假设设定的角度误差在 $2''$ 以内,设天线测量状态的最大矢量直径为 $4.5\text{ m}$ ,最大偏离半径约为 $0.022\text{ mm}$ ,可以达到较高的测量精度。

双电子经纬仪测量的数据处理方法与用激光跟踪仪的整体处理方法类似,必须将所有的靶标点测试完成后才可以进行逼近迭代计算。由表1、式(1)、式(2)知,整个天线给出的是离散的入射角、反射角和矢径,可以用计算机辅助几何设计的方法求得任意点的坐标。图5是天线测试数据处理前的天线模型和测量点的偏离状态图。

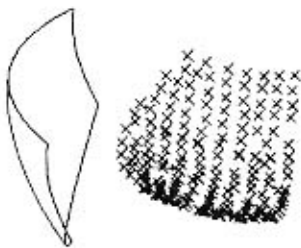


图5 数据处理前天线模型与测量点的关系

双电子经纬仪测量系统可以在天线的工作状态进行测试,测量结果能够真实地反映天线工作状态下的尺寸精度,同时也存在一定的缺点,分别为:在测试过程中需要两人同时瞄准一个目标靶点才能完成一个坐标点的测试,测量效率较激光跟踪仪低;除测量误差外,还存在靶标点的标识误差,存在装配基准调整的问题,测试精度还会受到环境温度的影响,环境温度补偿困难。

## 1.3 大型三坐标测量机测量方法

三坐标测量机是通用的尺寸精度测量设备,应用最为普遍。对于大型零件,特别是大型曲面天线,需要足够大的三坐标测量机才能满足要求,图6是我所自行研制的大型三坐标测量机,用于大型天线的装配过程中的在线测量,全程的测试精度在 $0.1\text{ mm}$ 左右,可以满足大型天线的测量精度要求。

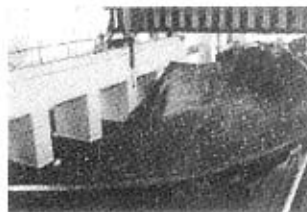


图6 天线的大型三坐标测试状态图

三坐标测量机测量方法具有测量直观、边装配边调整的优点,可以利用天线制造的工艺基准和装配基准进行校正。

缺点为只能测量天线直角坐标系的一个坐标轴方向的误差,但可以通过数据处理的方法换算成矢径误差,图6的测试结果反映的是 $Z$ 向的误差;由于天线的工作状态与测试状态难以做到一致,因此三坐标测量机测量的结果不能百分之百地反映工作状态的实际情况,会存在一定的偏差。

## 1.4 三坐标测量臂测量方法

三坐标测量臂是一种便携式的三坐标测量机,图7是FARO公司制造的三坐标测量臂,整个系统的重量在 $9\sim 10\text{ kg}$ ,在最大测量半径为 $3.7\text{ m}$ 的条件下,它的重复测量精度为 $0.119\text{ mm}^{[2]}$ ,基本上能够达到大型天线的测量精度要求。三坐标测量臂的基本原理是通过各个测量臂的臂长和转动角度来计算测头的坐标位置。



图7 三坐标测量臂工作状态示意图

由于三坐标测量臂的重量轻,移动方便,如果被测天线的尺寸超过三坐标测量臂的测量范围,可以采用

(下转第56页)

协同分系统设计师建立了承载平台、天线、天线座和有关电子设备的模型(见图2)。在此基础上进行了静态干涉检查,对天线倒竖折叠和转台进行了机构运动仿真分析(见图3)。采用有限元分析软件 ANSYS 对天线座、天线倒竖机构、承载平台等进行静、动力分析和优化设计(见图4)。采用 Division MockUp 演示了天线车结构件装配、架设/撤收、方舱电子设备虚拟

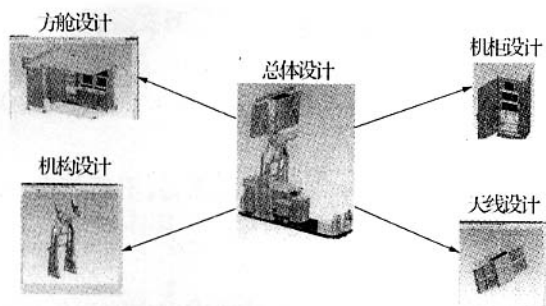


图2 某雷达天线车总体以及分系统数字化模型

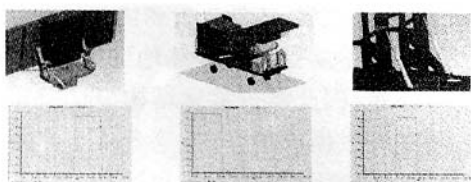


图3 某雷达天线车天线倒竖折叠及转台的运动仿真结果

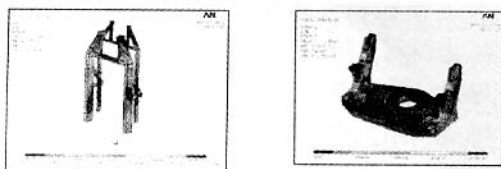


图4 某雷达天线车天线倒竖机构及转台有限元分析结果

现实仿真(见图5)。后续将采用 ADAMS 进行各机构和整机的动力学仿真、优化设计。

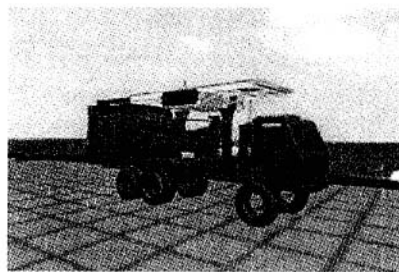


图5 某雷达天线车虚拟模装的仿真结果

### 3 结束语

虚拟样机技术是一门新兴的技术,改变了传统的设计思想,为开发复杂系统提供了有效手段。由于雷达技术发展,对结构性能要求更高,设计难度也更大,因此开发可信度高的虚拟样机非常迫切,深入研究、应用虚拟样机技术必将促成结构设计水平质的提高。

参考文献:

- [1] 李伯虎等. 复杂产品虚拟样机工程[J]. 计算机集成制造系统, 2002, 8(9).
- [2] 熊光楞等. 数字化设计与虚拟样机技术[J]. CAD/CAM 与制造业信息化, 2004(1).
- [3] 侯宝存等. 虚拟样机设计仿真环境中多领域工具集成的研究[J]. 系统仿真学报, 16(2).

作者简介:胡长明(1969-),男,高级工程师,硕士,研究方向为机械设计及理论,主要从事雷达结构总体设计工作。

(上接第13页)

中间基准,对其进行移位调整,对天线进行多次测量,最终完成整个天线的测试。

三坐标测量臂具有较多的优点,如重量轻、移动方便、造价低、不需要测量工作台等。

为确保三坐标测量臂的测量精度,测量杆的长度受到一定的限制,当被测天线超出测量机的测量范围时只有进行移位测量,但如果三坐标测量臂可以安装在被测量大型构件的中心区域,可以大大提高测量范围。

## 2 结论

从上述四种测量方法对大型曲面天线的测量方法的论述,可以得出如下结论:

1. 上述四种测量方案都能够满足对大型双曲面天线的尺寸精度测试。

2. 激光跟踪仪具有较高的测量精度,同时具有较高的测量效率。

3. 三坐标测量机和三坐标测量臂具有调整方便的特点,在装配阶段具有良好的在线测量功能。

4. 上述对大型曲面天线的测量方案的论述同样适用于一般的大型结构件的测量,具有一定的通用性。

参考文献:

- [1] FARO. 激光跟踪仪技术说明书[Z]. 2002.
- [2] FARO. 三坐标测量臂技术说明书[Z]. 2002.

作者简介:武斌功(1963-),男,高工,主要从事产品工艺工作。

## 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>