

# 双弯曲反射面天线精度测量问题探讨<sup>\*</sup>

宋为民<sup>1,2</sup>, 徐 波<sup>1</sup>

(1. 南京航空航天大学, 江苏 南京 210016; 2. 中国电子科技集团 38 所, 安徽 合肥 230031)

**摘 要** : 工程中对双弯曲赋形反射面天线精度的常用测量方法中存在测量点拟合和理论坐标系与测试坐标系的转换关系等难点, 数据处理关系较复杂。提出将设计、工艺、检测基准统一于中心圆筒的方法, 解决了数据处理难点问题。

**关键词** : 双弯曲反射面 ; 精度测量 ; 基准

**中图分类号** : TN82      **文献标识码** : A      **文章编号** : 1008 - 5300(2006)02 - 0044 - 03

## A Study on Accuracy Measurement Technology of Double Curvature Reflector

SONG Wei-min<sup>1,2</sup>, XU Bo<sup>1</sup>

(1. Nanjing University of Aeronautics & Astronautics, Nanjing 210016, China)

(2. The 38th Research Institute of CETC, Hefei 230031, China)

**Abstract** : In practice, there are difficulties of measuring points fitting and data transformation between theoretical coordinates and measurement coordinates in common accuracy measurement methods of double curvature reflector and connection among data is complex. In this paper the problems of data processing are solved by uniting the data of design, technology and measurement into a central cylinder.

**Key words** : doubly curved reflector ; accuracy measurement ; datum

## 0 引 言

在许多雷达系统中,经常使用赋形波束天线。实现波束赋形有许多方法,阵列天线和反射面天线均可实现波束赋形。反射面天线可分为多波束赋形和反射面赋形。其中反射面赋形分两种情况:单弯曲反射面赋形和双弯曲反射面赋形。双弯曲赋形反射面天线已被广泛应用到搜索警戒雷达上。

赋形波束双弯曲反射面天线的设计方法是根据反射定律和能量守恒定律,用迭代法计算出反射面的中截线,选择具有聚焦特性的条带,装到中截线上构成反射面,然后根据面电流法计算出天线的远场波瓣。这种天线反射面的形状是根据需要的波束形状或获得高增益应有的口面场分布综合出来的,它们不再是标准的解析曲面。天线的微波设计输出数据是一组中截线的数值<sup>[1]</sup>。

天线精度测量的目的主要是满足制造安装的需要和验证是否达到设计要求以及变形观测的需要。本文讨论的测量技术方法主要在于验证是否满足制造安装

的需要和达到天线设计精度要求。为了解决非标准的解析曲面的测量问题,有很多的测量手段,下面结合工程实际,探讨天线精度测量中数据处理的难点和产生原因,提出数据处理难点问题的解决方法即基准统一法。

## 1 工程中的常用测量方法

为满足上述两个要求,工程中对双弯曲赋形反射面天线精度的常用测量方法一般有 4 种:三坐标测量机、双经纬仪、激光跟踪仪和三坐标测量臂<sup>[2~3]</sup>。

三坐标测量机应用最普遍,测量精度高,测量直观。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满足其要求,但大型三坐标测量机的造价昂贵。双经纬仪测试方法不但适合大型天线的测试,而且可对工作状态下的天线进行测试,更能实际地反映天线的制造精度。缺点是测试后的数据处理烦琐,直观性较差,但仍是大型零件测试较为理想的选择。激光跟踪仪是自动化程度比较高的测试仪表,其工作原理与双电子经纬仪相类似。三坐标测量臂是一

种便携式的三坐标测量机,其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。

## 2 精度检测的主要内容和数据处理难点

### 2.1 精度检测的主要内容

在工程实际中,反射面天线常见的精度检测包括形面公差(RMS)、反射面轮廓公差、反射面在坐标系中的位置、焦距、馈源指向角、馈源相对于反射面的位置。

### 2.2 数据处理难点

双弯曲赋形反射面天线的特点是天线的截线数据是离散的,如何找到天线每一个测试点的理论坐标值是数据处理的重点。对上述几种测量方法而言,都需要建立测试坐标系,然后与天线理论坐标系进行对比。由于测量之前理论坐标未知,测试点在理论坐标系中的坐标未知,因此数据处理中涉及到理论坐标系与测试坐标系的转换关系、测试点拟合等问题,数据处理关系较复杂。在近年来涉及解决反射面天线数据处理难点方面的文献<sup>[4~8]</sup>中提出的最佳拟合抛物面、最佳拟合面等概念,实质上就是为了调整获得具有最小均方根误差的天线反射面系统。具体内容本文不再赘述。

## 3 数据处理难点的解决方法

### 3.1 原因分析

在反射面天线数据处理过程中,之所以要调整反射面坐标,是因为天线反射面的实际坐标系未知。如果理论坐标系事先就已知,测试坐标系和理论坐标系的关系明确,就不存在理论坐标系与测试坐标系的转换关系、测试点拟合等一系列问题。即问题的实质在于设计坐标系、工艺坐标系、测量坐标系的不统一。工程上如果设计一个统一(设计、工艺、测量)的基准,就可以避免坐标变换以及最佳拟合等问题。通过将馈源安装和天线反射体作为一个整体来考虑,事先做好基准,就不存在后来去找理论坐标系、工艺坐标系、测试坐标系的工作,数据处理的难题迎刃而解。

### 3.2 统一基准设计原则

对轴类零件,由于中心孔易于实现多工序定位基准的统一,因此往往采用中心孔作为统一定位基准。对非轴类零件而言,该原则亦适用,此时中心孔位置选定是定位基准统一设计的关键。一般采取以下步骤:

(1)找出非轴类零件的所有对称要素。绝大多数非轴类零件具备局部的结构对称性,这些局部结构的中心要素(点、线、面)往往是非轴类零件的主要设计

基准,也是其中心孔位置的候选处。

(2)确定非轴类零件中必须严格保证的关键尺寸和形位公差。

(3)确定中心孔的具体位置和方向。中心孔应选定在能够作为多道工序的基准中心要素(点、线、面)上。当此必备条件无法实现时,需将中心孔选定在能体现工序基准作用,并与工序基准之间有确定尺寸和位置关系(如平行、垂直)的点、线、面上。

### 3.3 实例分析

某双弯曲反射面天线尺寸为  $6200\text{ mm} \times 3300\text{ mm}$ ,反射面外形为椭圆(加)两端平切,由骨架、筋条框架和蒙皮组成,要求面精度  $\sigma \leq 0.4\text{ mm}$ 。

为了将设计、工艺和测量基准统一起来,在天线反射面坐标系中心设计了一个中心圆筒。圆筒和板焊接在中块骨架的合适部位,去除焊接应力后,在大型镗床上加工中块骨架的定位连接块(与边块连接用)和中心圆筒,中心圆筒的加工和零件毛坯图参见示意图1至图3,圆筒的加工精度要求较高。

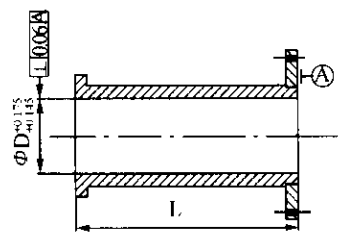


图1 中心圆筒加工示意图(骨架局部)

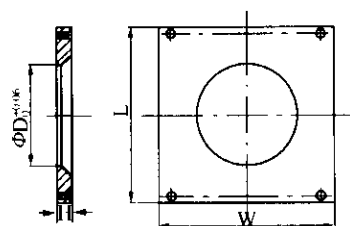


图2 板毛坯图

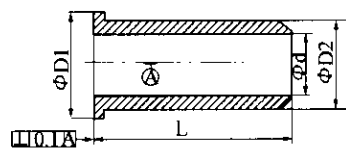


图3 中心圆筒毛坯图

将中心圆筒的轴线作为直角坐标系的Z轴,中心圆筒端面作为XOY坐标面,天线反射体组装以此为中心,馈源安装也以此为中心,使用打靶仪(靶标事先在反射面打小孔或划十字线确定,打小孔或划十字线的基准也是反射体上的中心圆筒)和准直望远镜来调整

馈源位置,水平和角度使用水平仪和倾斜仪来调整,焦距用千分尺或专用测量杆测量。由此,天线反射体上的中心圆筒就成为一个统一基准(图4)。该方法最终反射面精度 $\sigma$ 等于0.379 mm,符合设计要求。

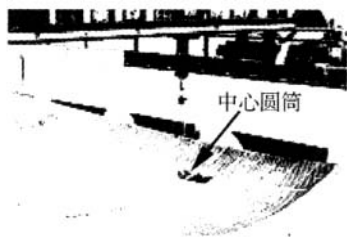


图4 以中心圆筒为统一基准的反射面天线总装示意图

当然该方法会带来另外一个问题即天线反射体制造状态可能和天线反射体工作状态不一致,天线反射体工作状态的精度和天线反射体制造状态的精度会有差异,这与天线反射体的刚强度设计有关,天线反射体的刚强度越好,这一差异就越小。另外在中心圆筒处的反射面上要开窗,在检测完成后再盖上,反射面多了一个部件。

## 4 结 论

在重量、结构空间位置允许的条件下,设计、工艺、检测基准统一于中心圆筒的方法适用于各波段的的天线,对非标准的解析曲面尤其适用。统一基准有利于加工精度的提高,有利于反射器及馈源空间位置的检测及校准,有利于提高检测效率和减少检测误差,具有

一定的应用推广价值。

### 参考文献:

- [1] 胡明春,李建新. 赋形波束双弯曲反射面探讨[J]. 现代雷达, 1996(6): 64-68
- [2] 宋剑鸣. 卫星天线研制中的机械检测技术[J]. 测试技术学报, 1998. 3
- [3] 武斌功,张 侃. 大型曲面天线精度测试方案综述[J]. 电子机械工程, 2005. 2
- [4] 陈继华,李广云. 离散点抛物面拟合的算法研究[J]. 无线电工程, 2005. 4
- [5] 李宗春,等. 面天线检测数据处理方法的探讨[J]. 宇航计测技术, 2003. 2
- [6] 李宗春,李广云,卢志辉. 余割波束天线检测方法的研究[J]. 电波科学学报, 2001(3)
- [7] 武斌功,张 侃. 大型双弯曲曲面天线精度测试的数据处理技术[J]. 机械与电子, 2003. 4
- [8] 叶云裳. 星载多频段双极化共馈微波辐射计天线[J]. 宇航学报, 2004. 1

作者简介 宋为民(1967-),男,南京航空航天大学在读工程硕士,高工,主要从事机械加工工艺和产品工艺工作;

徐 波(1975-),男,硕士,工程师,主要从事产品工艺和精密焊接工作。

(上接第43页)

## 4 工艺设计要求

由上述分析计算给出的曲线不难得出:用具有线胀系数为 $1.5 \times 10^{-6}$ 的殷钢4J36拉制的波导制作歧管,就其线胀系数来说,在环境温度 $-40^{\circ}\text{C} \sim +60^{\circ}\text{C}$ 范围内完全可以满足某系统的监测指向角精度的要求。至于拉制成的波导的精度、直线度以及扭曲度等其它要求,不在此论证中。为了能够较容易地将其校到歧管所要求的直线度,还需对拉制成的波导另提要求。

## 5 结 论

经过理论分析可以看出选用线胀系数为 $1.5 \times$

$10^{-6}$ 的殷钢4J36拉制的波导制作歧管,完全可以满足设计要求,并已成功应用。

### 参考文献:

- [1] 《钢铁材料手册》总编辑委员会. 钢铁材料手册. 第10卷 精密合金类材料[M]. 北京:中国标准出版社, 2003

作者简介:朱海明(1964-),男,高级工程师,毕业于成都电讯工程学院电子机械专业,主要从事无线电导航设备的天线结构设计工作,为某型导航装备的结构副总师。

## 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>