

# 测量雷达天线座轴系精度分析\*

吴 迪

(南京电子技术研究所 210013)

**【摘要】** 本文分析了影响测量雷达天线座轴系精度的一些主要因素,为轴系设计提供参考。

**关键词** 天线座 轴系精度

## Analysis on Precision of Axes of Measuring Radar's Pedestal

**【Abstract】** This paper analyses some main factors that affect precision of axes of measuring radar's pedestal. It can be used as reference for the design of axes.

**Key Words** Pedestal Precision of axes

### 1 引 言

测角精度是测量雷达的一项重要性能指标。雷达测定目标一般采用球坐标系,方位角在水平面内度量,俯仰角在铅垂面内度量,雷达的测角数据通常是按照天线座方位轴和俯仰轴的转角通过轴角编码器输出的。如果天线座方位轴与大地不垂直,方位轴的转角就与水平面内的方位角  $A$  不相等,或俯仰轴与方位轴不垂直,俯仰轴的转角也不等于铅垂面内的俯仰角  $E$ ,则会产生测角误差,直接影响雷达的测角精度。

下面,以方位—俯仰型天线座为例,对影响天线座轴系精度的主要因素进行分析。

### 2 分 析

在工程中,我们一般用方位轴与大地的垂直度  $\gamma$ 、俯仰轴与方位轴的垂直度  $\delta$ 、天线电轴与俯仰轴的垂直度  $\kappa$  三项误差的均方根值作为天线座轴系精度的综合指标。

方位轴与大地的垂直度  $\gamma$  包括方位轴回转精度

和方位轴的理论轴线与大地的垂直度(天线座水平调整误差)。俯仰轴与方位轴的垂直度  $\delta$  包括俯仰轴回转精度和俯仰轴的理论轴线与方位轴的垂直度(俯仰轴的倾斜误差)。天线电轴与俯仰轴的垂直度  $\kappa$  包括电轴晃动和天线机械轴线与俯仰轴垂直。

#### 2.1 主轴的回转精度

天线座轴系的设计,尽管结构形式各不相同,但轴系在旋转中应有较高的回转精度,则是主要的共同要求。但由于轴系零件的加工误差、配合间隙、温度等因素的影响,轴系中旋转件的回转轴心不可能始终在空间保持一定的位置,其位置多少有一些变动,所以可以用主轴回转轴心的位置变动量(即主轴回转误差)来表征轴系的回转精度。

可以认为,在任何瞬时,轴系的主轴一方面绕自己的回转轴线(实际回转轴线)旋转,另一方面此回转轴线还同主轴一起相对另一条理想回转轴线作轴向、径向和倾角的运动。考虑到这三种运动的共同作用,我们将主轴回转误差分解为三个误差分量:轴向窜动分量、径向晃动分量和角运动误差。

①主轴轴向窜动分量为该轴回转误差的轴向分量,以该轴回转轴线的纯轴向窜动量表示。此误差对雷达的轴系影响不大。

②主轴径向晃动分量为主轴回转误差的径向分量。在主轴旋转的任一轴向位置上,主轴实际回转轴线的纯径向移动与由主轴轴线角度摆动(角运动误差)所引起的主轴轴心的径向偏移之总和就是主轴在该位置上的径向晃动误差(见图1),即

$$\Delta c = \Delta c_0 + l_i \Delta \gamma \quad (1)$$

式中,  $l_i$ —主轴该位置之截面到位于摆动角顶点处的主轴端面的距离。

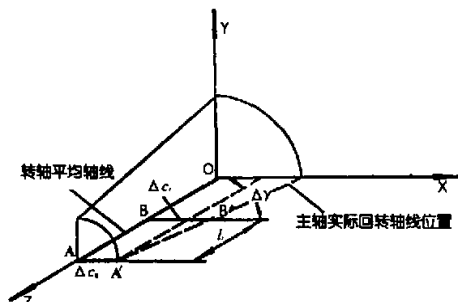


图1 主轴回转轴线纯径向移动示意图

由公式(1)可知,在主轴不同轴向位置的各个垂轴截面上,径向晃动误差各不相同。

由(5)可知,径向晃动误差一般由三个不同部分组成:单周径向晃动误差、双周径向晃动误差和随机径向晃动误差。三者的周期、大小和符号各不相同。

a. 单周径向晃动误差是指回转轴线的晃动周期为  $360^\circ$  的径向晃动。在雷达轴系中,主要由轴承尺寸误差、轴承的配合尺寸公差、零件的位置误差和挠度误差、主轴与轴承同轴度以及轴系中摩擦力的周期变化等因素造成。

在工程中,为了减小单周径向晃动误差,对轴承选择采用高精度轴承,要求零游隙或副游隙,或对轴承进行预紧;对轴承与主轴、轴承座配合尺寸进行配做;对轴系零件提高刚性,减小挠度,特别是相控阵测量雷达的俯仰轴系,由于采用组合轴形式,跨度大,提高轴系零件刚性显得尤为重要;对位置误差、同轴度要求,主要靠尺寸链来保证,同时在装配时进行调整,对轴承的安装,通过测量,定向安装,提高工作区域内主轴的置中精度。

由于单周径向晃动误差以  $360^\circ$  为周期的有规律的可掌握的系统误差,对于方位轴,可通过方位回转  $360^\circ$  测量修正;但俯仰的工作范围一般只有  $190^\circ$  左右,无法进行整圆周测量,因此,可采用十字分划万方数据

板,直接测量垂轴截面上的径向晃动误差。

b. 双周径向晃动误差在雷达轴系中还未有出现过的记录,这里不作分析。

c. 引起主轴随机径向晃动误差的因素比较复杂,工作温度变化、润滑油物理性质的改变、摩擦磨损、灰尘以及负载不稳定而产生的挠度等均可产生误差,而此误差经常成为影响轴系精度的主要因素。

由于测量雷达装配一般均在  $20^\circ\text{C}$  左右,而雷达的工作温度在  $-30^\circ\text{C} \sim 55^\circ\text{C}$ 。温度的变化将引起轴系配合间隙的改变、润滑油粘度的变化、轴系零件的变形等。在设计时必须估计到温度变化对轴系精度的影响。

摩擦不仅影响轴系旋转的平稳性和使用寿命,更主要地是它还直接与轴系的回转精度有关,特别是摩擦系数经常变化的不稳定摩擦。

为了改变轴系的摩擦磨损状况,很多轴系都采用了润滑剂,但正确选择润滑是非常重要的。在雷达轴系中,轴承的使用特征是慢转、局部转动,改变转向、静态周期长以及工作环境温度变化。由于转速低,不可能依靠动力效应来建立适当的润滑油膜,因此,油的粘度很重要。对于方位轴系中采用的四点球轴承和交叉滚柱回转支承,由于设计紧凑,油脂必须能够润滑滑动接触和滚动接触面。同时,需满足高低温要求。

③主轴角运动误差(定向误差)为主轴实际回转轴线对转轴平均轴线的纯角度摆动量,即回转轴线空间方向的变化范围。在天线座设计中,我们通常把轴系的理想回转轴线的方向规定在铅垂方向或水平方向上,因此角运动误差就表明了主轴实际回转轴线对给定方向的偏离程度,即轴系的定向精度。主轴的角运动误差也包含单周、双周和随机这三种角运动误差。角运动误差与径向晃动误差的产生原因相同,不再分析。

在主轴的同一轴剖面内,距离为  $l_{1-2}$  的任意两个垂轴截面上,其径向晃动误差  $\Delta c_1$  与  $\Delta c_2$  有如下关系:

$$\Delta c_2 = \Delta c_1 + l_{1-2} \Delta \gamma \quad (2)$$

由此可得角运动误差为:

$$\Delta \gamma = (\Delta c_2 - \Delta c_1) / l_{1-2} \quad (\text{rad}) \quad (3)$$

## 2.2 轴线间的垂直度

对于方位轴的理论轴线与大地的垂直,主要取

决于天线座的结构刚度、水平调整装置的灵敏度以及测量仪器的精确度。

俯仰轴的理论轴线与方位轴的垂直,主要是俯仰轴左右轴承中心与方位旋转平面不等高所引起的。可靠加工保证或采用调整补偿环节。

对于电轴误差,在天线座的设计中,主要保证俯仰轴上安装反射体的平面和俯仰轴平行。一般是在制造时保证适当的精度,同时,预留调整环节。

### 3 结束语

由(1)可知,这三项误差  $\gamma$ 、 $\delta$ 、 $\kappa$ ,对雷达方位测角的影响分别为  $\Delta A_1 = \gamma \operatorname{tg} E \sin A$ 、 $\Delta A_2 = -\delta^2 \operatorname{tg} E / 2$ 、 $\Delta A_3 = \kappa / \cos E$ ,对俯仰测角的影响分别为  $\Delta E_1 = \gamma \cos A$ 、 $\Delta E_2 = \delta \operatorname{tg} E$ 、 $\Delta E_3 = -\kappa^2 \operatorname{tg} E / 2$ 。

可以看出,天线座轴系误差引起的测角误差是随着方位角和俯仰角变化的,因此测角误差应根据雷达方位角和俯仰角的工作范围来确定。在测角精度给定的情况下,可验证轴系误差的分配。

通过对天线座轴系精度的分析,将影响轴系精度的主要因素进行了分类,可作为选择轴系设计方案的参考。

### 参考文献

- [1] 吴凤高编. 天线座结构设计. 西安:西北电讯工程学院出版社,1986
- [2] 叶尚辉,胡林祥,吴凤高等译. 雷达机械工程论文集. 西北电讯工程学院资料室,1980
- [3] 费业泰主编. 误差理论与数据处理. 北京:机械工业出版社,1987
- [4] 毛英泰主编. 误差理论与精度分析. 北京:国防工业出版社,1982
- [5] 《机床译丛》编辑组. 机床精度与测试. 上海:科学技术文献出版社,1979
- [6] 刘鸿文主编. 材料力学. 高等教育出版社,1992

吴 逾 男,工程师,主要从事雷达结构总体工作。

## 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>