

# 某型雷达更换天线座底盘误差分析

王晶

(中国电子科技集团公司第二十研究所,陕西 西安 710068)

**摘要:**首先分析天线座结构因素对雷达技术参数的主要影响和误差来源,并针对某型雷达天线座底盘更换对雷达系统造成的影响进行了分析。结果证明,更换符合设计精度要求的底盘后,所造成的误差均在雷达系统指标范围内,从理论上证明了维修中仅更换底盘是可行的,大大提高了工程实用性。

**关键词:**天线座;底盘;误差分析;雷达精度检测

中图分类号:TN95

文献标识码:A

文章编号:1004-373X(2010)15-0060-03

## Error Analysis on Antenna Pedestal Base Replacement by Some Type of Radar

WANG Jing

(The 20th Institute of CETC, Xi'an 710068, China)

**Abstract:** The error sources and influence of antenna pedestal structure factors on technical parameters of radar, the errors of radar system caused by the replacement of antenna pedestal base are analyzed. The results prove that the produced errors are meeting the need of radar system after replacing antenna pedestal base which meets the design accuracy requirement. It is proved in theory that the replacement of the antenna pedestal base in the service is feasible and the practicability in engineering is improved.

**Keywords:** antenna pedestal; base; error analysis; radar precision measurement

某型号雷达天线座因底盘损坏需进行维修,若完全更换天线座,则工程成本以及周期均不允许,因此提出仅更换底盘。由于每一件底盘的水平度在加工过程中不尽相同,则可能产生不一致的误差,进而影响到雷达系统的总体性能。为保证雷达系统最终的系统误差满足指标要求,必须对因更换底盘可能产生的各种误差进行分析。

### 1 误差对各项技术参数产生的影响

#### 1.1 雷达测角误差种类及来源

雷达测角误差种类及来源如表1所示。

#### 1.2 更换天线座底盘对水平归正的影响

该型号雷达天线座的水平度主要由底盘安装面的加工精度保证,中间未有任何归正措施。在设计中对于安装面的垂直度要求为0.05 mm,按国标对此垂直度的解释可算出方位轴的不铅垂度。

设方位轴实际位置与铅垂线的倾斜角为 $\gamma$ ,由此可得到由于加工所引起方位轴的不铅垂度为:

$$\tan \gamma = 0.05 / 1500 = 3.3 \times 10^{-5}$$

则:

$$\gamma = 6.8''$$

式中:1 500为底盘直径(单位:mm)。

表1 雷达测角误差种类及来源

误差种类	系统误差	随机误差
与雷达有关的跟踪误差	瞄准轴线的安装误差和漂移 稳态风和重力引起的力矩误差 伺服系统不平衡和漂移	热噪声 多路性 阵风引起的力矩误差 伺服系统的电噪声和机械噪声
与雷达有关的数据转换误差	天线座的水平误差 方位定北误差 方位轴与俯仰轴的不正交性 重力引起的天线座变形 日光照射不均匀引起的变形	轴承跳动 数据齿轮的非线性和齿隙 数据取出的非线性和离散性 加速度引起的天线座变形

#### 1.3 更换天线座底盘对正交性的影响

首先了解正交性的测量方法:先将天线座调平,使方位轴尽量铅垂,如果方位轴调到完全铅垂,则俯仰轴的不水平度就反映了俯仰轴与方位轴的不垂直度。但由于天线座的水平度总有误差,方位轴不可能完全铅垂,但可通过以下方法消除调平误差的影响。

如图1所示,设方位轴的不垂直度为 $\gamma$ ,俯仰轴与方位轴的不垂直度为 $\delta$ 。

在方位0°时,测得俯仰轴的不水平度为:

$$\beta_0 = \delta + \gamma$$

在方位 180°时,测得俯仰轴的不水平度为:

$$\beta_{180^\circ} = \delta - \gamma$$

将方位 0°和 180°两次读数(取代数值,规定某一方 向为正)相加,就可抵消调平误差  $\gamma$ ,从而求出俯仰轴与 方位轴的不垂直度: $\delta = (\beta_0 + \beta_{180^\circ})/2$ 。

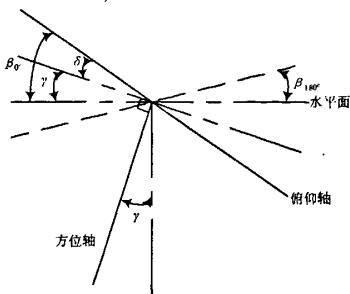


图 1 天线底座正交性分析

而影响正交性的因素主要有:

- (1) 俯仰轴驱动支臂轴承孔与数据支臂轴承孔的同心度;
- (2) 俯仰轴与方圆壳体安装轴承平面的平行度;
- (3) 安装在驱动支臂与数据支臂内轴承的径向跳动;

#### 1.4 更换天线座底盘对光电匹配的影响

天线的电轴应与俯仰轴垂直(即与天线的机械轴重合),具体测量方法是在随俯仰转动的部件上安装光学望远镜,先将望远镜的光轴调成与俯仰轴垂直,再把电轴与光轴调到一致,这样电轴就与俯仰轴垂直。由图 2 可清楚地看到,在该型号雷达天线座中,光学望远镜位于与俯仰轴垂直的法兰板上,一旦装好,其与俯仰轴的相对位置便不会再发生变化。也就是说,当天线座水平度发生变化时,光学望远镜的光轴与电轴的相对位置并不发生变化,而天线电轴是始终对准跟踪目标的,即跟踪精度是与天线座的水平误差无关的。

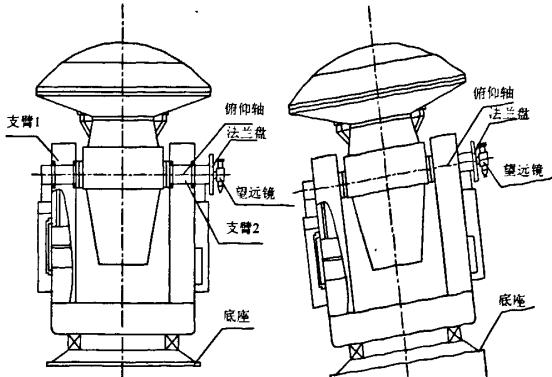


图 2 当水平度发生变化时,俯仰轴与方位轴的相对位置

#### 1.5 更换天线座底盘对测角精度的影响

由于底盘水平度具体数值分布的不同可能会造成对测角精度有一定影响。对于该型号雷达而言,其跟踪精度为 1.5 毫弧度,折算成角度为 309"。

该型号雷达天线座为俯仰-方位型,方位轴不铅垂引起的测角误差分析如下:

假定方位轴与俯仰轴垂直,电轴与俯仰轴垂直,只是方位轴不铅垂,如图 3 所示。

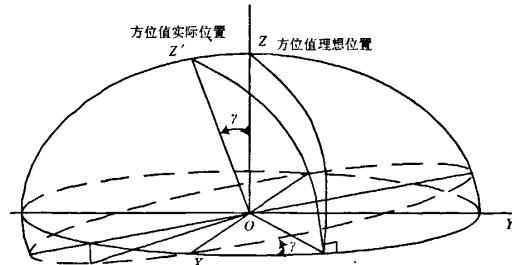


图 3 方位轴不铅垂引起的测角误差分析

在这种情况下,方位转动时,俯仰轴在倾斜面上转动。设方位轴实际位置与铅垂线的倾角为  $\gamma$ ,因此俯仰轴的实际运动平面与水平面的夹角也是  $\gamma$ 。

令  $x$  轴与上述两平面的交线重合,以  $y$  轴作为方位角的起始位置。

##### (1) 俯仰角误差

当俯仰轴转角为 0°时,由于方位轴倾斜,电轴也在倾斜面上,电轴与水平面的夹角就是俯仰角误差。方位转动时,电轴也在倾斜面上转动,即俯仰角误差也是随方位角变化的。经数学推导,可得到以下公式:

$$\Delta E \approx \gamma \cos A$$

式中:  $\Delta E$  为俯仰角误差;  $\gamma$  为方位轴实际位置与铅垂线的倾角;  $A$  为任意方位角。

由于方位轴实际位置与铅垂线的倾角最大为 6.8",因此,由于方位轴不铅垂所造成的俯仰角误差最大为  $6.8'' < 309''$ 。

##### (2) 方位角误差

因为俯仰轴与电轴垂直,俯仰轴对水平面的倾角  $\delta$  的变化规律与俯仰角误差  $\Delta E$  的变化规律在相位上差 90°。经数学推导,可得到以下公式:

$$\Delta A \approx \gamma \operatorname{tg} E \sin A$$

式中:  $\Delta A$  为方位角误差;  $\gamma$  为方位轴实际位置与铅垂线的倾角;  $E$  为雷达与目标连线与水平面的夹角;  $A$  为任意方位角。

该型号在放气球的状态下,气球高度为 400 m,距离雷达为 3 000 m,则有:

$$\operatorname{tg} E = \frac{400}{\sqrt{3000^2 - 400^2}} = 0.1345$$

即：

$$\Delta A \approx \gamma \operatorname{tg} E \sin A = 6.8 \times 0.1345 = 0.91'' \ll 309''$$

按运动范围求轴系误差引起的测角误差概率值。设：

- (1) 俯仰角  $E$  在  $-10^\circ \sim +84^\circ$  范围内等概率分布；
- (2) 方位角  $E$  在  $0^\circ \sim 360^\circ$  范围内等概率分布；
- (3)  $\delta, \gamma$  均为对称分布，平均值为零，标准差  $\sigma(\gamma) = \sigma(\delta) = 6.8''$ 。

则：

$$M(\operatorname{tg} E) = \frac{57.3}{85 - (-10)} \int_{-10^\circ}^{84^\circ} \operatorname{tg} E dE =$$

$$\frac{1}{1.66} [-\ln \cos E]_{-10^\circ}^{84^\circ} = 1.46$$

$$D(\operatorname{tg} E) = \frac{57.3}{85 - (-10)} \int_{-10^\circ}^{84^\circ} \operatorname{tg}^2 E dE - M^2(\operatorname{tg} E) =$$

$$\frac{1}{1.66} [\operatorname{tg} E - E]_{-10^\circ}^{84^\circ} - 1.46^2 = 3.84$$

$$M(\sin A) = 0, M(\cos A) = 0$$

$$D(\sin A) = 1/2, D(\cos A) = 1/2$$

由于方位轴不铅垂引起方位测角误差：

$$\Delta A = \gamma \operatorname{tg} E \sin A$$

$$M(\Delta A) = 0$$

$$D(\Delta A) = D(\gamma) D(\sin A) [D(\operatorname{tg} E) + M^2(\operatorname{tg} E)]$$

$$= D(\gamma) \times (1/2) \times [3.84 + 1.46^2]$$

$$= 2.98 D(\gamma)$$

得到：

$$\sigma(\Delta A) \approx 1.732 \times 6.8 = 11.8'' \ll 309''$$

即方位轴不铅垂引起方位测角误差仅占跟踪精度的 3%。

同样，由于方位轴不铅垂引起的俯仰测角误差：

$$\Delta E \approx \gamma \cos A$$

$$M(\Delta E) = 0$$

$$D(\Delta E) = D(\gamma) D(\cos A) = D(\gamma)/2$$

得到：

$$\sigma(\Delta E) \approx 0.707 \times 6.8 = 4.8'' \ll 309''$$

即由于方位轴不铅垂引起的俯仰测角误差为 1.5%。

作者简介：王晶，女，1972 年出生，工程师。现主要从事雷达结构设计工作。

## 2 结语

通过以上 4 种情况分析，更换天线座底盘后，可以得到以下结论：

(1) 换上一个符合设计要求的底盘，水平归正是完全有保证的，只不过是具体数值分布与原水平度数值分布不一定相同。

(2) 通过俯仰轴与方位轴不垂直度的公式可清楚地看出，天线座水平度的变化对于其正交性毫无影响。

(3) 由 1.4 节分析可知，天线座的水平误差对光电匹配是没有影响的。

(4) 在加工精度范围内，方位轴不铅垂对录取数据的影响非常小，可忽略不计。

## 参考文献

- [1] 吴凤高. 天线座结构设计[M]. 北京：国防工业出版社，1980.
- [2] 王生洪. 电子设备机械设计[M]. 西安：西安电子科技大学出版社，1994.
- [3] 樊松林. 大型天线座方位支承传动装置结构设计[J]. 现代雷达，2005, 27(4): 67-70.
- [4] 毛英秦. 误差理论与精度分析[M]. 北京：国防工业出版社，1982.
- [5] 段宝岩. 天线结构分析、优化和测量[M]. 西安：西安电子科技大学出版社，1986.
- [6] 牛忠文. 雷达天线座水平误差的一种测量方法[J]. 电子机械工程，2005, 21(6): 38-41.
- [7] 肖方选. 舰载雷达稳定转台调平误差分析[J]. 电子机械工程，1998, 14(3): 35-41.
- [8] 傅强. 相控阵雷达光轴的标定与校准[J]. 火控雷达技术，2002, 31(2): 63-66.
- [9] 奎振邦, 陈宋春. 伺服机械传动装置[M]. 北京：国防工业出版社，1979.
- [10] 胡波, 梁星霞, 练学辉. 雷达系统误差的测量和修正方法[J]. 雷达与对抗，2005(2): 12-15.
- [11] 梁维力. 车载站三轴天线座测角精度分析[J]. 现代电子技术，2007, 30(15): 64-65, 74.
- [12] 华秦麟. 运动载体姿态角速率对跟踪稳定性影响的分析[J]. 现代电子技术，2007, 30(7): 35-37.
- [13] 王霞云. 便携式雷达天线座结构分析[J]. 现代电子技术，2005, 28(14): 118-119.

《现代电子技术》(半月刊) 欢迎刊登广告 029-85393376

## 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，一直致力于专注于微波、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>