

# 一种雷达天线方位转台的改装设计

肖万选 杨锡和

(南京船舶雷达研究所 210003)

**【摘要】** 对一种雷达天线方位转台改装设计中的几个问题作了分析, 提供了一些有实用价值的数据和结构型式。

**关键词** 舰载雷达 方位转台 传动型式 风载荷 摩擦力矩

## The Refit Design of an Azimuth Rotating Platform of the Radar Antenna

**【Abstract】** Several problems in the refit design of an azimuth rotating platform of radar antenna are analysed, and some practical data and structure types are provided in this paper.

**Key Words** Shipborne radar Azimuth rotating platform Drive type Wind load Moment of friction

### 1 引言

近几年来, 对已经退役、损坏的舰载雷达设备进行技术改造, 使其外形和部分功能得以恢复, 从而构成新的景点, 供人们游览观赏, 已成为旅游业开发工作的一个重要内容。由于工作的需要, 笔者参与负责了几种舰载雷达天线转台系统的外形修复和改装设计。本文主要就其中一种雷达天线方位转台改装设计中的几个问题进行讨论。

### 2 对方位转台改装设计的要求

根据工作环境条件和实际使用情况, 本雷达天线方位转台的改装设计应满足以下要求:

(1) 在相对风速不大于 20m/s 的情况下, 方位转台应能使天线系统以 5~6r/min 的转速作方位旋转运动。

(2) 方位转台应具有足够的强度和刚度。在相对风速为 54m/s 的情况下, 转台结构不破坏。

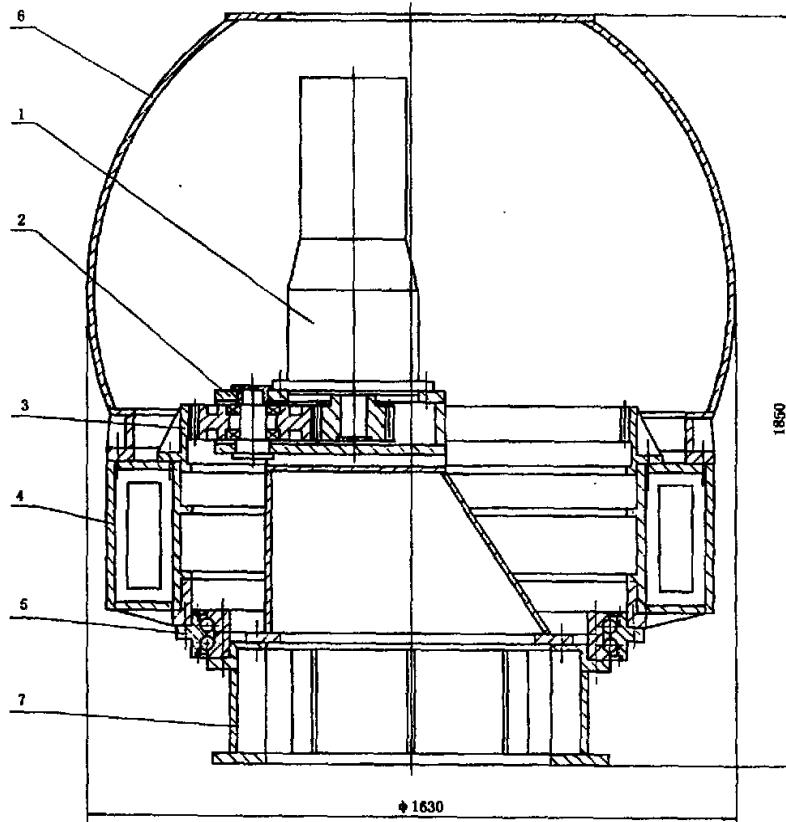
(3) 充分利用原有的关键受力零件或部件, 尽量简化结构, 减轻转台的重量。

### 3 方位转台的组成

本雷达原有的转台由方位转台和稳定平台组成。方位转台包括有方位驱动位置、方位转盘、方位铰链、球形支座等部件。方位驱动装置的末级采用内齿轮传动。方位转盘通过两个特大型单列向心推力球轴承与方位轴联接。根据使用要求, 并考虑到有些部件已经损坏的实际情况, 决定将原转台改装设计成为新的方位转台。如图 1 所示, 本方位转台主要由摆线针轮减速器、齿轮箱、内齿轮、方位转盘、方位轴承、球形支座和基座组成。其中, 内齿轮和球形支座都是原有的关键受力零件或部件。方位转盘是对原转盘进行改装设计而成的。

### 4 方位转台的传动型式

图 2 表示了方位转台的传动系统。可以看出, 方位驱动电机通过一级摆线针轮行星齿轮传动、一级圆柱齿轮传动和一级内齿轮传动, 使天线系统作方位旋转运动。总传动比  $i_t$  可以用下式来计算:



1. 摆线针轮减速器 2. 齿轮箱 3. 内齿轮 4. 方位转盘  
5. 方位轴承 6. 球形支座 7. 基座

图1 方位转台的组成

$$\begin{aligned}
 I_t &= \frac{-Z_1}{Z_2 - Z_1} \times \frac{-Z_4}{Z_3} \times \frac{Z_5}{Z_4} \\
 &= \frac{-43}{44 - 43} \times \frac{-36}{20} \times \frac{124}{36} \\
 &= 266.6
 \end{aligned}$$

总传动比为正值,这表明天线的旋转方向与方位驱动电机的旋转方向相同。已知电机的转速  $n_m = 1440 \text{r/min}$ , 利用下式可以求出天线的转速  $n_L$  的值:  $n_L = n_m / I_t = 1440 / 266.6 = 5.4 \text{r/min} = 0.565 \text{rad/s}$

根据图1和图2以及上面的分析,可以把本方位转台的传动型式及其特点归纳为以下几点:

(1) 采用摆线针轮行星齿轮传动机构。该机构传动比大(此处传动比  $i=43$ ),结构紧凑,体积小,重量轻,运转平稳,承载能力强,传动效率高。但主要零件都要用优质轴承钢制造,而且零件的工艺性要求高。

万方数据

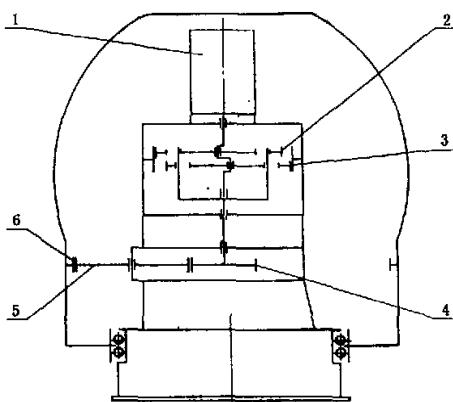
(2) 采用圆柱齿轮传动机构。该机构结构简单,加工方便,传动效率高,工作可靠。圆柱齿轮5(见图2)是一个惰轮,其齿数对总传动比的数值没有影响。采用齿轮5是为了减小摆线针轮减速器与内齿轮的中心距,从而达到避免减速器的外壳与球形支座的内壁相碰的目的。

(3) 采用内齿轮传动机构。该机构结构简单、紧凑,工作可靠。由于采用内齿轮传动,方位驱动电机不随转盘一起转动,所以电机接线不需要汇流环,这对于简化结构非常有利。

## 5 天线的风载荷

### 5.1 天线的结构与主要参数

本雷达天线是一种L波段柱形抛物面天线,它主要由反射体、背架、线性馈源、馈源支架、支撑杆、波导等部件组成。天线通过背架上的4个法兰与设



1. 方位驱动电机 2. 摆线轮 (齿数  $Z_1=43$ )  
 3. 针轮 ( $Z_2=44$ ) 4. 齿轮 ( $Z_3=20$ )  
 5. 齿轮 ( $Z_4=36$ ) 6. 内齿轮 ( $Z_5=124$ )

图 2 方位转台的传动系统

置在方位转台一侧的支架(2个)和锥形支柱(2个)联接。在方位转台另一侧的尾架上设置了平衡重和风力平衡板。

反射体采用由镀锌钢丝网构成的反射面,该反射的漏空度大,风阻力小。整个反射体分为6个部分,每个部分都是由钢丝网与由钢管构成的围框焊接而成的。反射体通过许多个尺寸可调装置与背架联接,这样便于使反射面与所设定的抛物面取得一致。

背架和馈源支架采用桁架结构,由钢管焊接而成。背架包含有主桁架和2个片桁架,主桁架与片桁架通过法兰固定在一起。

#### (1) 反射面的形状与轮廓尺寸

形状:柱形抛物面

长度:9000mm

宽度:7350mm

#### (2) 反射面轮廓在垂直于天线轴线的平面上的投影

投影形状:8边形

投影面积:50.75m<sup>2</sup>

#### (3) 反射面的焦距

2080mm

#### (4) 反射面的漏空度

80%

#### (5) 风力平衡板的形状与尺寸

形状:直角梯形

万方数据

宽度:2150mm

最大高度:2050mm

#### (6) 天线系统的重量

5000kg

### 5.2 天线的风载荷

在空间直角坐标系  $oxyz$  中,天线系统的风载荷通常包括阻力  $F_x$ 、升力  $F_y$ 、侧力  $F_z$ 、滚转力矩  $M_x$ 、方位力矩  $M_y$  和俯仰力矩  $M_z$  6个分量。其中,  $F_x$  和  $M_y$  是用来计算方位驱动电机功率的主要参数。

通过对有关资料的分析,设天线系统的阻力系数  $C_x = 0.7$  (峰值), 方位力矩系数  $C_{my} = 0.07$  (峰值)。按照设计要求,取设计风速  $V = 20m/s$ 。于是,利用风力和风力矩的计算公式,就可以求出方位转台正常工作时天线系统的风阻力和方位风力矩的峰值:

$$\begin{aligned} F_x &= 0.5C_x A \rho V^2 \\ &= 0.5 \times 0.7 \times 50.75 \times 0.125 \times 20^2 \\ &= 888 \text{kgf} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} M_y &= 0.5C_{my} AL \rho V^2 \\ &= 0.5 \times 0.07 \times 50.75 \times 7.35 \times 0.125 \times 20^2 \\ &= 653 \text{kgf} \cdot \text{m} \end{aligned}$$

式中:  $\rho$  为空气密度,取  $\rho = 0.125 \text{kgf} \cdot \text{s}^2/\text{m}^4$ ;

$A$  为天线的特征面积,  $A = 50.75 \text{m}^2$ ;

$L$  为天线的特征长度,  $L = 7.35 \text{m}$ 。

设风力作用中心到方位轴承的距离  $h$  (参看图3) = 500mm, 那么作用在方位轴承上的倾覆力矩  $M_o$  的值可以用下式求出:

$$M_o = F_x h = 888 \times 0.5 = 444 \text{kgf} \cdot \text{m}$$

按照设计要求,当风速  $V = 54 \text{m/s}$  时,转台结构不破坏,此时天线系统风阻力的峰值为:

$$\begin{aligned} F_x &= 0.5C_x A \rho V^2 \\ &= 0.5 \times 0.7 \times 50.75 \times 0.125 \times 54^2 \\ &= 6474 \text{kgf} \end{aligned}$$

### 6 方位轴承的摩擦力矩

#### 6.1 方位轴承的主要参数

本方位转台所采用的方位轴承是一种特大型双列球轴承,它能同时承受径向力、轴向力和倾覆力矩。它的应用对于简化结构、减小轴向尺寸起重要作用。如图3所示,该轴承主要由外座圈、内座圈(由2

个座圈拼合而成)、钢球、隔离体和防尘圈组成,其主要参数如下:

外径  $D = 1110\text{mm}$

内径  $D_0 = 900\text{mm}$

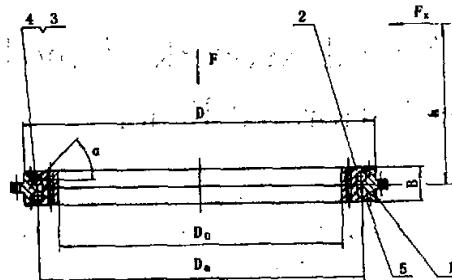
宽度  $B = 122\text{mm}$

钢球中心圆直径  $D_m = 1030\text{mm}$

钢球的直径  $d = 1.5\text{in}$

每列钢球的数目  $N = 74$

轴承的接触角  $\alpha = 45^\circ$



1. 外座圈 2. 内座圈 3. 钢球  
4. 隔离体 5. 防尘圈

图3 方位轴承的组成与有关尺寸

## 6.2 方位轴承的摩擦力矩

设作用在方位轴承上的轴向力和径向力分别为  $F$  和  $R$ , 在轴向力  $F$  和倾覆力矩  $M_0$  作用下各钢球与滚道之间法向接触载荷绝对值之和为  $P_{FM}$ , 在径向力  $R$  作用下各钢球与滚道之间法向接触载荷绝对值之和为  $P_R$ , 那么由参考文献[1]可得:

$$P_{FM} = F/\sin\alpha$$

当  $e = 2M_0/(FD_m) < 0.6$  时,

$$P_R = 1.22R/\cos\alpha$$

已知  $F = 5000\text{kgf}$ ,  $M_0 = 444\text{kgf} \cdot \text{m}$ ,  $R = F_r = 888\text{kgf}$ ,  $D_m = 1030\text{mm}$ ,  $\alpha = 45^\circ$ , 于是可以求出:

$$e = 2M_0/(FD_m) = 2 \times 444/(5000 \times 1.03) = 0.17 < 0.6$$

$$P_{FM} = F/\sin\alpha = 5000/\sin 45^\circ = 7071\text{kgf}$$

$$P_R = 1.22R/\cos\alpha = 1.22 \times 888/\cos 45^\circ = 1532\text{kgf}$$

设方位轴承的当量摩擦系数为  $f$ , 取  $f = 0.01$ , 那么轴承的摩擦力矩  $M_f$  为:

$$M_f = 0.5fD_m(P_{FM} + P_R)$$

$$= 0.5 \times 0.01 \times 1.03 \times (7071 + 1532) = 44\text{kgf} \cdot \text{m}$$

$$\begin{aligned} & \text{在天线系统没有风力作用的情况下, } P_{FM} = 7071\text{kgf}, P_R = 0, \text{ 轴承的摩擦力矩为:} \\ & M_f = 0.5fD_mP_{FM} \\ & = 0.5 \times 0.01 \times 1.03 \times 7071 \\ & = 36\text{kgf} \cdot \text{m} \end{aligned}$$

实际测量表明,  $M_f$  的计算值与测量结果基本相符。

## 7 方位转台驱动电机的功率

作用在雷达天线驱动装置上的载荷, 通常有风载荷、摩擦载荷和惯性载荷。对于本方位转台, 主要考虑风载荷和摩擦载荷。设  $M_L$  为天线系统的方位总力矩 ( $\text{kgf} \cdot \text{m}$ ),  $\eta$  为方位转台的传动效率 (取  $\eta = 0.85$ ),  $P_m$  为方位驱动电机的功率, 那么:

$$\begin{aligned} M_L &= M_f + M_0 = 653 + 44 = 697\text{kgf} \cdot \text{m} \\ P_m &\geq M_L n_L / (102\eta) \\ &= 697 \times 0.565 / (102 \times 0.85) \\ &= 4.5\text{kW} \end{aligned}$$

取:

$$P_m = 5.5\text{kW}$$

## 8 结束语

本雷达的天线方位转台系统, 架设在已被改造为娱乐城的明斯克号航空母舰的桅杆顶部。试验表明, 在风力等级为 8 级、风速约为  $20\text{m/s}$  时, 方位转台工作正常, 天线系统以  $5.4\text{r/min}$  的转速作方位旋转运动, 完全满足使用要求。在该航空母舰上的所有雷达和武器设备中, 本系统由于体积很大、所在的位置很高、天线能够转动而特别引人注目。

## 参考文献

- [1] 龚振邦等. 伺服机械传动装置. 国防工业出版社, 1980
- [2] 叶尚辉等. 天线结构设计. 西北电讯工程学院出版社, 1986
- [3] 吴凤高. 天线座结构设计. 西北电讯工程学院出版社, 1986

肖万选 男, 高级工程师, 主要从事舰载雷达和卫星地面接收系统的结构研究设计工作。

## 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>