

# 一种高可靠无人值守天气雷达天线座介绍\*

师民祥

(中国电子科技集团公司第五十四研究所, 河北 石家庄 050081)

**摘要:**文中介绍了一种结构设计合理、维修与安全设置完善、人机关系考量全面的方位/俯仰式天线座,虽然设计定型已经20多年,但其设计理念对当今的天线座设计仍有一定的参考价值。该天线座在方位机构与俯仰机构中使用相同的预应力转盘轴承,以此独特的结构形式有效地解决了天线座的高刚度与紧凑的结构问题。LRU(现场可更换单元)设计有效地解决了天线座的快速维修问题,从而保证了天线座的运行可靠性和运行寿命。该天线座实现了无人值守的全年连续运行。

**关键词:**转盘轴承;现场可更换单元;无人值守天气雷达;天线座

**中图分类号:**TN820.8<sup>+</sup>2 **文献标识码:**A **文章编号:**1008-5300(2013)01-0018-05

## Introduction to the Highly Reliable Antenna Pedestal of an Unmanned Weather Radar

SHI Min-xiang

(The 54th Research Institute of CETC, Shijiazhuang 050081, China)

**Abstract:** In this paper, an azimuth/elevation type antenna pedestal is introduced, which has the advantages of reasonable structure design, good maintenance and safety setting and friendly human-computer interface. This type of pedestal had been designed for over 20 years, its design philosophy could still be used as a good reference for modern antenna pedestal design. A slewing bearing is used to meet the requirements of both high stiffness and compact structure. LRU(line replaceable unit) design has the advantage of quick maintenance, thus guarantees pedestal reliability and service life. This pedestal can continuously work for a year without operator.

**Key words:** slewing bearing; LRU; unmanned weather radar; antenna pedestal

## 引言

美国 NEXRAD-88D 天气雷达是当前世界上最先进的天气雷达之一,它于 1988 年定型,到 1996 年完成了美国天气雷达地面探测网的布设,并且有少量的出口。该雷达的特点是天气信息丰富且准确,运行可靠,做到了无人值守的全年 365 天连续运行。经过 20 多年的可靠运行,证明该雷达是一款性能优异的雷达。天线座是该雷达的主要组成部分,它的设计思想对于当天线座的设计仍然有着一定的参考价值。本文从天线座的结构形式与性能、机械传动、模块化设计、可维护性、安全设计等方面对其进行简要介绍。

## 1 结构形式与基本性能

### 1.1 结构形式<sup>[1]</sup>

天线座结构形式如图 1 所示。天线座采用了俯仰在方位之上的结构。俯仰轴高度为 4.7 m,其负载为口径 8.4 m 的卡赛格伦抛物面天线,天线重 1 200 kg。天线座方位部分采用转盘式结构,俯仰部分采用独特的双侧转盘轴承结构加扭矩轴结构。方位转盘采用外齿式四点接触预应力球轴承,提高了座体和传动的刚度,简化了座体结构;俯仰轴的驱动端采用与方位相同的外齿式四点接触预应力球轴承,另一端采用径向接

\* 收稿日期:2012-09-28



到了有效控制,进而有效地降低了天线座的整体重量。该天线座的谐振频率要求为6 Hz,实际上最高可达到7 Hz,接近一般雷达设计要求中的天线口径与谐振频率之积等于40~60的上限,可见其结构品质是很高的。

## 2.2 同步传动

该天线座的同步传动采用了双片齿轮消除的传动设计,采用两组消除齿轮实现旋转变压器与主轴1:1的转动。天线座方位与俯仰同步传动链完全相同。同步传动结构见图4,同步传动原理见图5。

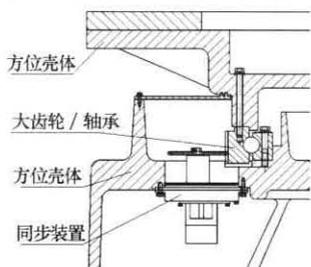


图4 同步传动结构图

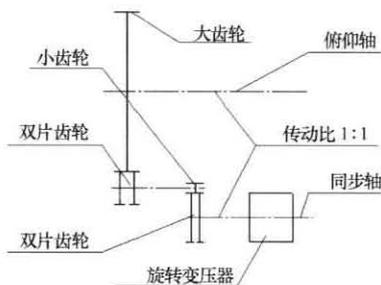


图5 同步传动原理图

## 3 模块化设计和LRU

### 3.1 模块化设计

在模块化设计方面,该天线座采用了全模块化设计方式。如方位壳体、方位底座、方位下底座、转盘、俯仰箱体、左右支臂、大齿轮/轴承、减速器、同步装置、滑环、波导旋转关节、油位传感器、电机、联轴器、缓冲装置、手动装置、锁定装置、润滑装置、方位门、俯仰门、滑环拨叉、波导器件、把手、支架等都作为专用模块进行设计和加工,有利于批量制造和降低成本。

### 3.2 LRU

天线座上除了如方位壳体、方位底座、方位下底座、转盘、俯仰箱体、左右支臂等长寿件外,其他有可能损坏的部件都被定义为专用模块——LRU(现场可更换单元),如减速器、同步装置、大齿轮/轴承等。所有LRU模块都可更换,以确保该天线座具有完善的可维

护性。不仅电机、减速器、同步箱、滑环、波导旋转关节等一般部件能在现场进行更换,而且要求包括方位大齿轮/轴承、俯仰大齿轮/轴承、俯仰轴承等所有可转动部件都必须在不拆除天线的前提下,在天线罩内进行现场更换。这样的设计,目前国内大型天线座的设计上还是没有的。

## 4 维护维修性设计

该天线座在可维修性方面有着独到之处,由于结构设计上采用了全模块化设计,所有可能损坏的部件都被定义为可更换单元,因而该天线座的可维修性非常好,对保证天线的正常运行提供了可靠保障。在维修性设计中,部分可更换单元重量较大,如减速器的重量大于100 kg,人工抬起困难较大,为此在天线座俯仰箱上专门设置了安装吊杆的插孔,当需要更换电机、减速器、滑环等重量较大的部件时,将专用吊杆安插在吊杆孔中,就可以方便地将被更换的部件吊到需要的地方。

### 4.1 减速器的维护

在运行过程中或者在更换减速器后,为保证减速器输出齿轮与大齿轮的啮合齿隙保持在合理的范围内,需要对减速器输出齿轮与大齿轮的齿隙进行调整,便于精确调整减速器安装的偏心角。在减速器与安装壳体之间设置有图6所示的螺纹调节齿隙调整装置,通过调整减速器的偏心角来调整齿隙。

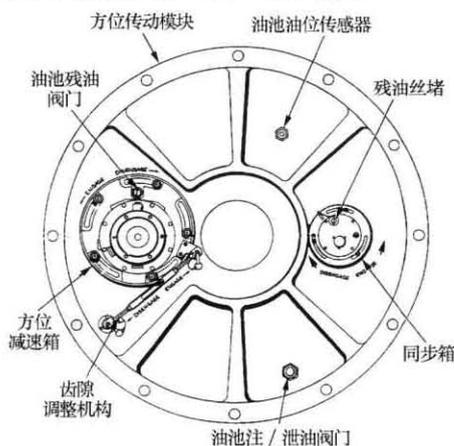


图6 减速器齿隙调整装置安装示意图

为便于测量齿轮啮合齿隙,在减速器输出齿轮顶部,设置有安装测量齿隙装置的螺纹孔,当需要测量齿隙时,将专用摆杆安装在输出齿轮上,用手轮转动减速器,利用百分表测量摆杆空转的行程,测量出减速器输出齿轮与大齿轮啮合的间隙。这一测量方式,为测量不易观察之处的齿轮啮合间隙提供了一种简洁、实用

的方法。图7为齿隙测量示意图。

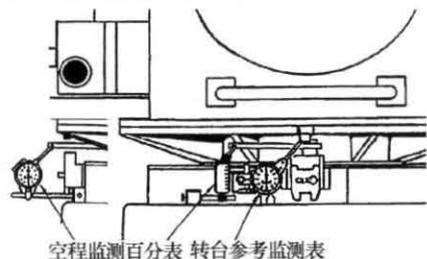


图7 齿隙测量示意图

#### 4.2 方位大齿轮与俯仰大齿轮的维护更换

为实现不拆卸天线而更换俯仰箱与方位大齿轮轴承,天线座的方位壳体上设置有专用支架的安装面,以安装支撑两支臂与天线的可升降的专用支架。当需要更换俯仰或方位大齿轮时,用专用支架将两支臂连同天线一起支撑起来,卸下支臂与俯仰箱间的连接螺栓以及俯仰箱与转盘之间的连接螺栓,就可以用简易龙门架将俯仰箱吊到天线座地板上,以维修更换俯仰轴承等部件,这时还可以方便地维护方位大齿轮。为便于取下俯仰箱,支臂与俯仰箱的连接采用平面安装形式,这样看似违反常理的结构在一般设计中极其少见,但从实际使用效果上看,它不仅可行,而且可靠,这也充分表明了该天线座高超的设计水平和丰富的实践经验。图8为更换大齿轮工装示意图。

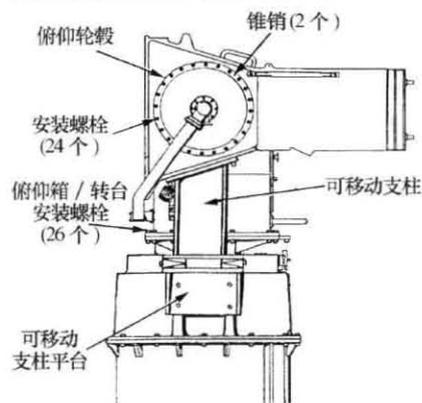


图8 更换大齿轮工装示意图

#### 4.3 同步装置的更换

更换同步装置如图9所示。为方便更换,在同步箱体上的固定位置刻有安装对齐线。在安装初始同步装置时就在安装壳体上对应安装对齐线的地方做了标记,当需要更换同步装置时只需将新同步装置上的安装对齐线与壳体上的标记对齐即可。由于与大齿轮啮合的是带弹簧的双片齿轮,为方便啮合,在同步装置的壳体上还设置了双片齿轮对齐插销的工艺孔,双片齿轮上设置有对齐孔,安装时插上插销,安装到位后拔掉

插销,双片齿轮的齿自动错开。

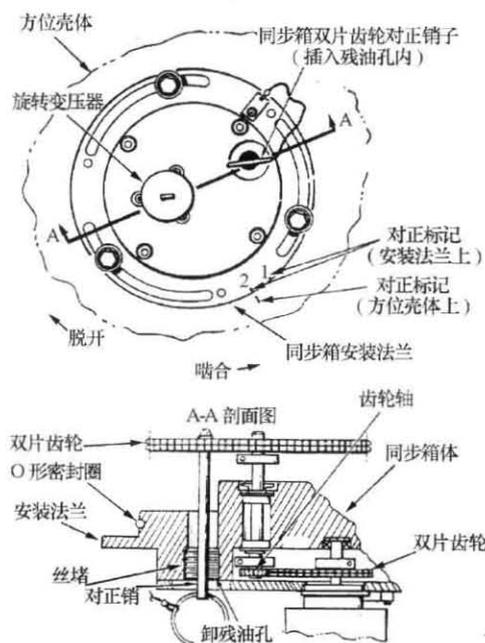


图9 更换同步装置示意图

#### 4.4 润滑设计

天线座方位/俯仰减速器与方位大齿轮采用稀油润滑,俯仰大齿轮、轴承、俯仰减速器输出齿轮辅助轴承采用润滑脂润滑。

对于安装在天线座内部的行星减速器,在减速器上开油位观察窗不现实,如果安装外置的油位指示,更换减速器时易损坏,并且安装不方便,所以在减速器上除了配置带软管接头的注/卸油阀门外,还配置了用于观测注油进度的溢油阀门。在向减速器内灌注润滑油的过程中,当油位上升到需要的高度时,润滑油将从溢油阀门流出,这样可以既安全又方便地更换润滑油。方位与俯仰减速器油嘴配置见图10和图11。

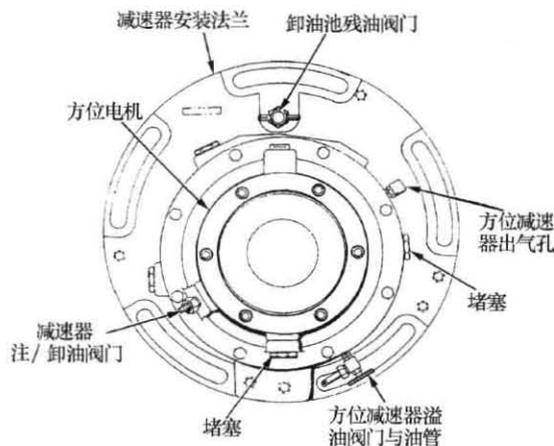


图10 方位减速器油嘴配置示意图

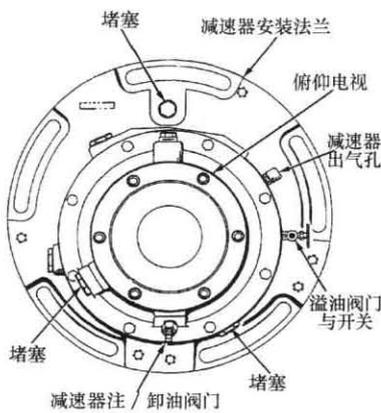


图 11 俯仰减速器油嘴配置示意图

在方位大齿轮油池上,配置了注油孔、带软管接头的卸油阀门与油位观察窗,同样可以方便地更换润滑油。

在俯仰大齿轮仓设置了维护用仓门,打开仓门,即可给大齿轮与俯仰减速器输出齿轮辅助支撑轴承加注润滑脂。

在俯仰箱内便于操作的地方设置了一个注油点,从该处通过铜管可以向左右两个大轴承共计 8 个加油点加注润滑脂。

#### 4.5 辅助设施

为维护方便,该天线座在需要的部位全部配置了相应的攀爬构件。如在方位门处专门设置了进入方位壳体用的梯子,在俯仰门的上方与下方配置了挂梯子的专用把手,在两支臂的外侧设置了维护俯仰旋转关节与俯仰电缆的把手,俯仰箱的顶部还设置了工作专用把手与吊杆插座等。为攀登天线座,还配置了专用可伸缩的挂钩梯子。

### 5 安全性设计

天线座运行安全方面,在俯仰转动的上下两方向都配置了预限位行程开关、死区限位行程开关和机械限位装置。在维护操作安全方面,对应于每一步操作,都有相应的安全措施与设置。

只要打开进入天线罩的门,天线不仅不能发射电磁波,还不能转动。如果需要对天线座进行维护,在攀登或进入天线座之前,将安装在天线座下部的天线座安全开关置于安全位置,这时,天线将不能发射电磁波,伺服系统将不能加强电。

天线座方位传动装置设置了一个锁定器,可锁定于 0°、90° 两位置。俯仰传动装置设置了左右两个锁定器,可将天线锁定于 0°、23°、90° 三位置。3 个锁定器的结构相同,采用了结构简洁的翻板机构,只有当锁定器的翻板位于工作位置时,才能加电转动,一旦翻板离开该位置,不管锁定与否,就切断伺服系统的供电,

电机将不能转动(只要电机不转动,发射机就不能发射电磁波),杜绝了因天线座转动带来的事故。锁定示意图如图 12 所示。

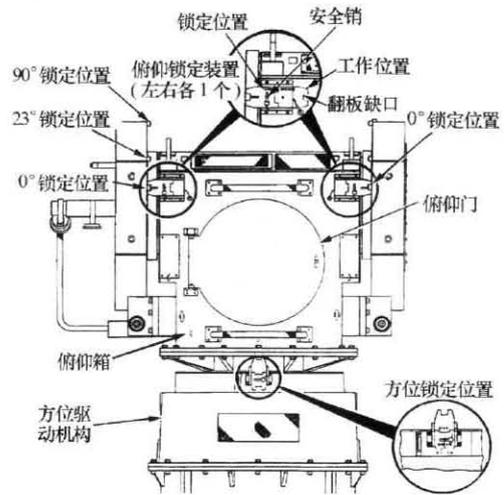


图 12 锁定示意图

在方位与俯仰电机的尾部设有方位与俯仰手动装置,用来调整天线座,见图 13。手动装置上带有安全插销,只要该插销未插到位,就不能压到安全开关,安全开关就不闭合,这时不管手轮与电机轴是否啮合,电机都不能加电,从而避免因电机加电转动带来的事故。

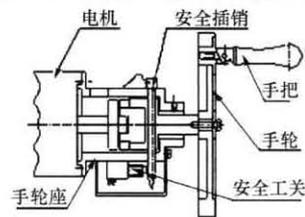


图 13 手动装置示意图

从以上安全开关的配置上不难看出,该天线座在安全开关配置上采取的是一种绝对安全控制策略。只要设备上的任意操作件离开工作位置,天线座都将切断电机供电,以彻底消除因误操作带来事故。

为监测润滑油是否有泄露或不足,该天线座在方位减速器、俯仰减速器与方位油池上各配置了一个油位传感器,一旦传感器报警,天线座将自动停止工作。

在电机的电枢上还配置有电机温度报警器,当电机温度过高时,天线座也将自动停止工作,以避免造成更大的损失。

在辅助安全设置方面,每一个需要抓扶的地方都设置了必要的安全把手。

### 6 人机关系<sup>[3]</sup>

该天线座在人机关系上亦有一定的表现。如在各  
(下转第 26 页)

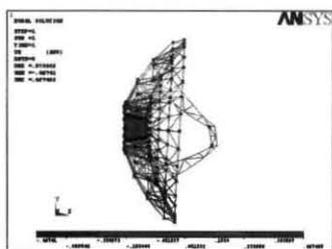


图5 朝天Z向变形图

表1 优化前后指标对比(指平状态)

指标	原始结构	优化结构	圆整后结构
重量/kg	4 712.6	4 705	5 027.8
反射面表面精度	1.2	0.212 6	0.22
Z向变形/mm	(-3.193, 3.193)	(-0.527 4, 0.527 4)	(-0.467, 0.467)

由此看出,在重量基本相同的情况下,优化后模型比原模型的反射面表面精度有大大提高。

### 3 结束语

通过 ANSYS 软件建立天线中心体和背架结构的有限元模型,并用 APDL 建立天线中心体和背架结构优化的数学模型,并以天线中心体和背架结构的重量

(上接第 22 页)

个把手上、需要站人的天线座顶部和工作人员徒手攀爬天线座时可能脚蹬的方位壳体上都粘贴了防滑橡胶板。

方位门、俯仰门、底座门的通孔直径都是 700 mm 左右,人员进出比较方便。

方位壳体直径约 1 200 mm,高约 2 000 mm,当人进入方位壳体内时可以方便地对减速器、电机、同步装置、滑环进行维护。

该天线座的俯仰箱尺寸较小,人不便于进入到内部进行工作,但是减速器等被设置在了俯仰门口,维护人员可以在俯仰箱外进行维护。

俯仰门上下、俯仰箱顶部、支臂外侧都设置了可以挂爬梯的大把手,便于维护人员使用,由于设置的把手较大,必要时维护人员还可以坐在把手上。

### 7 结束语

该天线座的方位与俯仰机构都采用刚度大、结构简洁的转盘轴承,既有效地保证了天线座的刚度,又使天线座获得了较大的内部空间。采用俯仰扭矩轴的设计,有利于降低天线的重量,进而降低天线的惯量,获

为目标函数,采用一阶方法实现天线结构的优化设计,取得了较好的效果。从而大大提高了设计的预见性、可靠性和合理性。

### 参考文献

- [1] 万耀青. 机械优化设计建模与优化方法评价[M]. 北京: 北京理工大学出版社, 1995.
- [2] 叶尚辉, 李在贵. 天线结构设计[M]. 西安: 西安电子科技大学出版社, 1988.
- [3] 钱令希. 工程结构优化设计[M]. 北京: 北京水力电力出版社, 1983.
- [4] 段宝岩. 天线结构分析、优化与测量[M]. 西安: 西安电子科技大学出版社, 2005.
- [5] 叶尚辉, 段宝岩. 带离散变量的天线结构几何优化设计[J]. 西北电讯工程学院学报, 1985(3): 1-9.
- [6] 周长城, 胡仁喜, 熊文波. ANSYS11.0 基础与典型范例[M]. 北京: 电子工业出版社, 2007.
- [7] 美国 ANSYS 公司上海办事处. ANSYS 基本分析过程指南[M]. 2000.

徐曙斌(1972-),女,硕士,主要从事天线结构设计和力学分析工作。

得较大的谐振频率。油位传感器的应用,使得工作人员可以远程观察天线座的润滑状态。以绝对安全的理念进行天线座安全设计,最大限度地保证了人员及设备的安全。LRU 设计和良好的维护维修性设计,使得工作人员可以方便地对天线座进行快速维修,极大地提升了天线座的运行寿命和运行可靠性,从而实现了无人值守的天线座全年连续运行;并且从理论上讲,只要保证零备件的充足供应,即可实现天线座的无限寿命。该天线座虽是 20 多年前美国设计的,但其设计思路对今天的同行仍具有参考价值。

### 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, 1986.
- [2] 龚振邦, 陈守春. 伺服机械传动装置[M]. 北京: 国防工业出版社, 1986.
- [3] 成大先. 机械设计手册[M]. 北京: 化学工业出版社, 2009.

师民祥(1960-),男,高级工程师,主要从事天线座设计工作。