

DOI:10.3969/j.issn.1674-7135.2022.05.010

一种标准喇叭天线的转台结构研究

李玉龙

(西安克拉克通信科技有限公司,西安 710100)

摘要:天线远场测量方法广泛应用于卫星通信天线的性能测量,不同频段的测量会用到不同频段的标准喇叭天线,从而涉及到快速更换标准喇叭天线的问题。介绍了一种标准喇叭天线的转台结构,具有方位、俯仰、极化三轴调整能力,且易于快速更换,详细介绍了蜗轮蜗杆的结构组成、传动方式、参数设计。通过重量估算、传动效率和力矩计算,可知操作者可轻松转动方位、俯仰和极化组件系统。转台选用蜗轮蜗杆传动方式,具有传动比大,传动平稳,结构紧凑,无噪音,可自锁,测试过程中可查看旋转角度等特点。该标准喇叭天线转台可满足天线增益、天线方向图、G/T值、轴比等多种性能测试需求,验证天线的指标性能;针对天线不同频段的性能测试,1分钟内即可快速更换标准喇叭天线,并在实践中得到应用,为卫星通信天线性能指标的验证提供了便捷、高效的测量解决方案。

关键词:天线;蜗轮蜗杆;结构设计

中图分类号:TN828;V423

文献标志码:B

文章编号:1674-7135(2022)05-0073-05

Research on the turntable structure of a standard horn antenna

LI Yulong

(Xi'an Clarke Communication Technology Co., Ltd., Xi'an 710100, China)

Abstract: The antenna far-field measurement is widely used in the performance measurement of satellite communication antenna. The standard horn antenna of different frequency band will be used in the measurement of different frequency band, which involves the problem of replacing the standard horn antenna quickly. The paper introduces the rotary table structure of a standard horn antenna, which has the ability to adjust the azimuth, elevation and polarization axis, and is easy to replace quickly, and the structure composition, transmission mode and parameter design of worm gear and worm are introduced in detail. By weight estimation, transmission efficiency, and torque calculations, the operator can easily rotate the azimuth, pitch, and polarization component systems. The rotary table adopts worm gear transmission mode, with large transmission ratio, smooth transmission, compact structure, no noise, self-locking. The test process can check the rotation Angle and other characteristics. The standard horn antenna's rotary table can meet the antenna gain, Antenna direction map, G/T value, shaft ratio and other performance test requirement to verify the indicator performance of the antenna. For the performance test of different frequency bands of the antenna, the standard horn antenna can be quickly replaced within 1 minute, and applied in practice, providing a convenient and efficient measurement solution for the verification of satellite communication antenna performance index.

Key words: antenna; worm gear and worm; structural design

收稿日期:2021-05-05; 修回日期:2021-05-26

引用格式:李玉龙. 一种标准喇叭天线的转台结构研究[J]. 空间电子技术, 2022, 19(5): 73-77. LI Y L. Research on the turntable structure of a standard horn antenna[J]. Space Electronic Technology, 2022, 19(5): 73-77.

0 引言

卫星通信是必不可少的通信手段。在经济、政治和文化领域中,卫星通信不仅有效地补充了其他通信手段的不足或不能,更是在抢险、防灾、救灾、处理突发事件的应急通信中大有作为。

动中通卫星通信系统已成为一种移动通信的良好手段,越来越多的军用和民用移动设备上安装有动中通卫星通信天线,实现与地面的远距离、不间断通信。“动中通”系统作为地面网络的延伸和卫星通信的补充,已经成为了全球信息化基础结构的一个重要组成部分,也是实现信息在地面上任何角落实现互相通信的重要保证。

目前国内外主流的动中通卫星天线主要是车载、机载和船载 3 种类型,卫星天线所用到的频率^[1-3]主要以 C 波段、X 波段、Ku 波段、Ka 波段、Q/V 波段为主,太赫兹波段也是发展方向。为了验证卫星通信天线的性能指标,需要用标准喇叭天线对其进行参数测量。常用的标准喇叭天线分别是 BJ-84、BJ-120、BJ-220、BJ-260、BJ-320 等多种标准喇叭天线,标准喇叭天线都需要安装在转台上,且需要快速更换。

1 测试原理

在开阔试验场采用远场法进行参数测量。远场法可细分为场地法、卫星源法和射电源法。本测试采用场地法和卫星源法。

测试场地应满足自由空间和远区场的条件,采用场地法测试时,要求来自地面反射波的电平足够低,以保证反射波对测量结果的影响低于测量所要求的精度。对天线进行性能测试时,要求源天线与被测天线的距离满足^[4-5]:

$$R \geq \frac{2D^2}{\lambda} \quad (1)$$

其中,收发天线之间的距离为 R, m ;被测天线口径为 D, m ;工作波长为 λ, m 。

2 转台的结构设计

转台主要由方位组件、俯仰组件、极化组件、标准喇叭天线组成^[6-9],整体外形如图 1 所示。

下面将从主要的设计特点、结构设计、传动设计、更换方式等方面进行详细的说明。

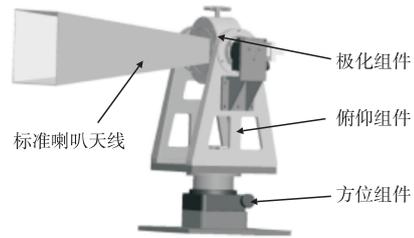


图 1 转台的结构

Fig.1 The structure of rotary table

2.1 设计特点

a. 转台的方位和俯仰选用蜗轮蜗杆传动方式,其具有传动比大,传动平稳,结构紧凑,无噪音,可自锁等特点。

b. 蜗轮蜗杆传动箱可以任意正向和反向旋转且空回小,设计了精巧的消空回结构,可调整长期使用造成的空回间隙。

c. 减速箱外安装有转动手柄,可分别调节方位和俯仰的转动。

d. 方位、俯仰和极化外侧标有刻度,方便查看三个轴需要转动的角度。

e. 方位转动范围^[10]为 $0^\circ \sim 360^\circ$,俯仰转动范围为 $-50^\circ \sim 100^\circ$,极化转动范围为 $\pm 180^\circ$,并安装锁紧手柄。

f. 可快速完成不同标准喇叭天线的更换,安装方便、简单。

2.2 结构设计

测试转台^[11-12]经常会在室外使用,防止金属表面出现生锈现象,转台所有零件采用 7075 铝合金加工,表面硬质阳极氧化处理。

2.2.1 方位组件设计

方位组件由底座、方位减速箱和固定盘组成,如图 2 所示。方位传动选用蜗轮蜗杆传动方式,可 360° 连续旋转,此类型蜗轮蜗杆减速箱可承受轴向力矩,直接安装在底座上,用于转台的方位转动。

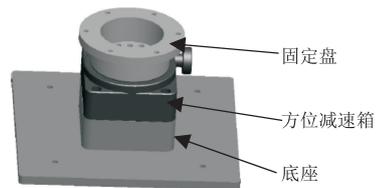


图 2 方位组件

Fig.2 AZ assembly

2.2.2 俯仰组件设计

俯仰组件由转台、左支架、右支架、俯仰支撑、

俯仰减速箱、过渡支架、轴承压盖、两个深沟球轴承组成,如图 3 所示。左右支架俯仰轴的同心度需要达到 0.03,即可保证转动精度。俯仰选用蜗轮蜗杆传动方式。左支架和右支架各装一个深沟球轴承,用于径向受力,减速箱轴向力矩,传动更平稳。

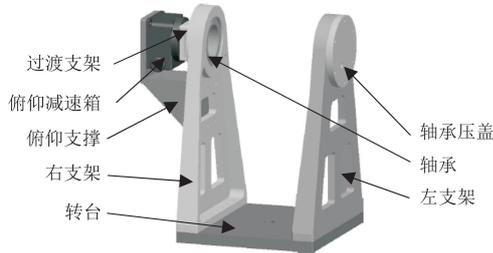


图 3 俯仰组件

Fig. 3 EL assembly

2.2.3 极化组件设计

极化组件由极化座、俯仰轴、锁紧手柄、极化内圈、压盖和深沟球轴承组成,如图 4 所示。极化设计原则是极化的重心与俯仰旋转重心尽量缩小,减少俯仰负载力矩,从而保证测试精度达到要求。极化座上刻有刻度,极化内圈有指向箭头,根据测试项目不同,极化可任意角度锁紧。极化内圈上加工有导向槽,锁紧手柄锁紧时,固定极化内圈,旋松锁紧手柄,导向槽和旋松锁紧配合转动,保证极化内圈不会脱落。

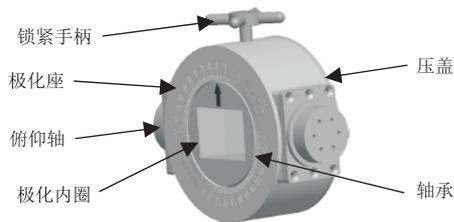


图 4 极化组件

Fig. 4 POL assembly

2.3 传动设计

方位和俯仰组件采用蜗轮蜗杆传动,蜗轮蜗杆传动用于传递交错轴之间的回转运动,主要优点是结构紧凑、工作平稳、无噪声、冲击振动小以及能达到很大的单级传动比。极化组件装有深沟球轴承可直接进行旋转。

按照目前最常用、重量最重的喇叭天线是 BJ-120 标准喇叭天线,下列计算按照此种标准喇叭天线组件为例进行计算。

2.3.1 方位组件传动设计

蜗轮蜗杆传动设计参数如下^[13]:

蜗杆直径系数为:

$$q = \frac{d_1}{m} = 18 \quad (2)$$

其中,蜗杆直径系数为 q ; 蜗杆分度圆直径 $d_1 = 9 \text{ mm}$; 模数 $m = 0.5$ 。

蜗杆分度圆的导程角可根据下列公式计算:

$$\tan \gamma = \frac{z_1}{q} \quad (3)$$

其中,蜗杆分度圆的导程角为 $\gamma, ^\circ$; 蜗杆头数为 $z_1 = 1$; 蜗杆直径系数为 q 。

计算得到蜗杆分度圆的导程角 $\gamma = 3^\circ 11'$ 。

当 $\gamma \leq 3^\circ 40'$ 时,蜗杆传动具有自锁性。

蜗轮分度圆直径为:

$$d_2 = m \cdot z_2 = 41 \quad (4)$$

其中,蜗轮分度圆直径为 d_2, mm ; 模数为 $m = 0.5$; 蜗轮齿数为 $z_2 = 82$ 。

蜗杆螺纹长度为:

$$b_1 = 2m \sqrt{z_2 + 1} = 9.11 \quad (5)$$

其中,蜗杆螺纹长度为 b_1, mm ; 模数为 m ; 蜗轮齿数为 z_2 。

蜗轮齿宽为:

$$b_2 \approx 2m(0.5 + \sqrt{q + 1}) = 4.86 \quad (6)$$

其中,蜗轮齿宽为 b_2, mm ; 模数为 m ; 蜗杆直径系数为 q 。

蜗轮蜗杆传动比为:

$$i = \frac{z_2}{z_1} = 82 \quad (7)$$

方位组件系统受摩擦力矩和负载力矩。

方位摩擦力矩为:

$$M_1 = \mu_1 \cdot m_1 \cdot g = 6.37 \text{ N} \cdot \text{m} \quad (8)$$

其中,方位摩擦力矩为 $M_1, \text{N} \cdot \text{m}$; 摩擦系数为 $\mu_1 = 0.05$; 负载重量为 $m_1 = 13 \text{ kg}$ 。

方位负载转矩为:

$$M_2 = m_1 \cdot g \cdot l_1 = 12.74 \text{ N} \cdot \text{m} \quad (9)$$

其中,俯仰负载转矩为 $M_2, \text{N} \cdot \text{m}$; 负载重量为 $m_1 = 13 \text{ kg}$; 重量加速度 $g, \text{m/s}^2$; 质心到旋转轴的距离为 $l_1 = 0.1 \text{ m}$;

方位组件系统总力矩为:

$$M_3 = M_1 + M_2 = 19.11 \text{ N} \cdot \text{m} \quad (10)$$

其中,方位组件系统总力矩为 $M_3, \text{N} \cdot \text{m}$ 。

正常人手的最大扭力范围是 60 - 120 N,取最小值 60 N 计算,操作者通过减速箱转动转台后,转动手柄的半径是 0.02 m,方位的最大驱动转矩为:

$$M_A = F \cdot r \cdot i = 98.4 \text{ N} \cdot \text{m} \quad (11)$$

其中,方位的最大驱动转矩为 $M_A, \text{N} \cdot \text{m}$; 人手的扭力为 $F = 60 \text{ N}$; 转动手柄的直径为 $r = 0.02 \text{ m}$; 传动比为 $i = 82$ 。

因为 $M_3 < \eta_1 \cdot M_A = 59.04 \text{ N} \cdot \text{m}$, 操作者可轻松转动方位组件系统。

其中,蜗轮蜗杆的传动效率为 $\eta_1 = 0.6$ 。

2.3.2 俯仰组件传动设计

俯仰组件系统受摩擦力矩和负载力矩。

俯仰摩擦力矩为:

$$M_4 = \mu_2 \cdot m_2 \cdot g = 1.96 \text{ N} \cdot \text{m} \quad (12)$$

其中,俯仰摩擦力矩为 $M_4, \text{N} \cdot \text{m}$; 摩擦系数为 $\mu_2 = 0.05$; 负载重量为 $m_2 = 4 \text{ kg}$; 重量加速度 $g, \text{m/s}^2$ 。

俯仰负载转矩为:

$$M_5 = m_2 \cdot g \cdot l_2 = 7.84 \text{ N} \cdot \text{m} \quad (13)$$

其中,俯仰负载转矩为 $M_5, \text{N} \cdot \text{m}$; 负载重量为 $m_2 = 4 \text{ kg}$; 重量加速度 $g, \text{m/s}^2$; 质心到旋转轴的距离为 $l_2 = 0.2 \text{ m}$;

俯仰组件系统总力矩为:

$$M_6 = M_4 + M_5 = 9.8 \text{ N} \cdot \text{m} \quad (14)$$

其中,俯仰组件系统总力矩为 $M_6, \text{N} \cdot \text{m}$ 。

俯仰的最大驱动转矩为:

$$M_E = F \cdot r \cdot i = 98.4 \text{ N} \cdot \text{m} \quad (15)$$

其中,方位的最大驱动转矩为 $M_E, \text{N} \cdot \text{m}$; 人手的扭力为 $F = 60 \text{ N}$; 转动手柄的直径为 $r = 0.02 \text{ m}$; 传动比为 $i = 82$ 。

因为 $M_6 < \eta_1 \cdot M_E = 59.04 \text{ N} \cdot \text{m}$, 操作者可轻松转动俯仰组件系统。

其中,蜗轮蜗杆的传动效率为 $\eta_1 = 0.6$ 。

2.3.3 极化组件传动设计

极化组件系统旋转中心和中心重合, 只受摩擦力, 极化摩擦力矩为:

$$M_7 = \mu_3 \cdot m_3 \cdot g = 0.59 \text{ N} \cdot \text{m} \quad (16)$$

其中,极化摩擦力矩为 $M_7, \text{N} \cdot \text{m}$; 摩擦系数为 $\mu_3 = 0.03$; 负载重量为 $m_3 = 2 \text{ kg}$; 重量加速度 $g, \text{m/s}^2$ 。

极化的最大驱动转矩为:

$$M_p = F \cdot a = 3 \text{ N} \cdot \text{m} \quad (17)$$

其中,极化的最大驱动转矩为 $M_p, \text{N} \cdot \text{m}$; 人手的扭力为 $F = 60 \text{ N}$; 人手到旋转中心的距离为 $a = 0.05 \text{ m}$ 。

因为 $M_7 < \eta_2 \cdot M_p = 2.97 \text{ N} \cdot \text{m}$, 操作者可轻松转动极化组件系统。

其中,深沟球轴承的的传动效率为 $\eta_2 = 0.99$ 。

2.4 更换方式设计

极化内圈加工成四棱台通孔形状, 将标准喇叭天线插入极化内圈中, 用 302 改性丙烯酸酯胶粘剂固定好, 如图 5 所示, 整体做为测试工装, 不需要拆卸。此种结构经过长时间的测试使用, 涂胶处没有出现裂痕, 302 改性丙烯酸酯胶可用于两个金属缝隙的简单固定。



图 5 喇叭固定方式

Fig. 5 Fixing mode of the horn

更换喇叭天线时, 采用插拔更换方式, 只需要把喇叭天线组件整体插入转台极化座内, 旋转到需要的测试角度, 锁紧手柄锁紧标准喇叭天线组件即可, 如图 6 所示。

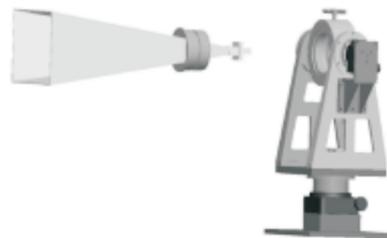


图 6 喇叭安装方式

Fig. 6 Installing mode of the horn

从拆下一种标准喇叭到安装好另外一种标准喇叭, 1 分钟内即可快速完成不同的标准喇叭更换, 安装方便、简单。

3 用途

标准喇叭天线的转台可对被测天线进行方向图、天线增益、G/T 值、轴比等性能^[14-15]进行测试, 验证天线的指标性能。

3.1 天线方向图性能测试

为检验天线的方向图特性, 需首先对天线的方向图进行测量^[12]。天线方向图是指天线接收或发射等幅平面波能力随天线指向角度变化情况的图形描述。照射被测天线的等幅平面波由设置在远区的某一固定源产生, 接收能力的大小表现为连接天线的接收机所显示的功率电平。测量方向图时, 依改变天线指向角度的旋转轴的取向不同, 可得到不同平面的方向图, 并由此获得天线的第一方向图电平值。

3.2 天线增益性能测试

首先测量天线的接收增益,将标准增益喇叭与待测天线分别与信标发射喇叭对准,测出二者接收端口的最大接收信标电平值,利用式(8)可计算出待测天线的接收增益:

$$G_{RX} = G_{RS} + P_{RX} - P_{RS} \quad (18)$$

其中,待测天线的接收增益为 G_{RX} ;dBi,已知标准增益喇叭的接收增益为 G_{RS} ,dBi;标准增益喇叭的最大接收信标电平值为 P_{RS} ,dBi;待测天线的最大接收信标电平值为 P_{RX} ,dBi。

由天线的收发互易性可知,天线发射端口的发射特性和接收特性是相同的。因此,天线的发射增益也可采用前面介绍的增益比对法进行测量。

3.3 天线 G/T 值性能测试

采用载噪比较法测量 G/T 值,待测天线从馈源口(含滤波器)接 LNA/LNB 后,连接频谱仪,不接波导及旋转关节;标准喇叭连接同一个 LNA/LNB 后连接频谱仪。Ku 频段天线对准线极化卫星信标测试,Ka 频段天线对准圆极化卫星信标测试。

将待测天线和标准增益喇叭分别对准目标卫星模拟信标,使接收电平最大,并记录归一化载噪比分别为 X_1 和 X_2 。然后,测量标准增益喇叭的 G/T 值为 X_3 ,最后按下式计算待测天线的 G/T 值:

$$\frac{G}{T} = X_3 + X_1 - X_2 \quad (19)$$

3.4 天线轴比性能测试

按照测试频率计划,信号源发射单载波射频信号,待测天线接收此信号,并用频谱仪监测信号电平大小,调整圆极化天线的方位、俯仰角度直至接收到信号电平最大,此时接收天线对准发射天线;

利用计算机获取频谱仪数据,计算最大信号与最小信号电平差,即可得到待测天线的轴比。

4 结论

1. 建立了远场测试装置,利用插拔式快拆原理,对不同的天线进行指标测试时,1 分钟内即可快速更换不同的标准喇叭天线,可对不同口径的天线进行性能指标测试,此结论已在实践中验证。

2. 标准喇叭天线转台可对被测天线进行方向图、天线增益、G/T 值、轴比等进行性能测试,验证天

线的指标性能。同时,本技术也可用于其它频段,如 C 波段、X 波段、QV 波段等标准喇叭天线的装配。

3. 此种蜗轮蜗杆结构可用于工程中,当蜗杆分度圆的导程角 $\gamma \leq 3^\circ 40'$ 时,蜗杆传动具有自锁性。

4. 标准喇叭天线组件经过长时间的测试使用,涂胶处没有出现裂痕,证明 302 改性丙烯酸酯胶可用于两个金属缝隙的简单固定。

参考文献:

- [1] 田懂勋. 船载卫星通信天线关键技术指标研究[J]. 电子技术与软件工程,2020(15):37-39.
- [2] 许建军,陈宏. 基于标准喇叭天线的电磁脉冲时域电场波形重建[J]. 探测与控制学报,2008,30(3):21-24.
- [3] 特尼格尔,张宁,邱景辉. 低频补偿超宽带 TEM 喇叭天线的研究与设计[J]. 科学技术与工程,2014,14(8):186-189.
- [4] 罗喜明,吴传昕,黄品芳,等. 标准喇叭天线远场参数校准技术研究[J]. 计量技术,2017(10):47-50.
- [5] 黄凯冬. 标准增益喇叭天线的准确定标测量[J]. 国外电子测量技术,2010,29(9):26-29.
- [6] 顾立彬. 某机载雷达天线座的结构设计[J]. 现代制造技术与装备,2018(4):6-7.
- [7] 宋建虎,吴云皓,张义坡. 一种便携式卫星通信天线的设计[J]. 河北省科学院学报,2018,35(4):37-40.
- [8] 董华,温倩,初晓军. 便携式雷达天线系统测试与控制平台的设计[J]. 计算机测量与控制,2014,22(3):787-789.
- [9] 杨俊良,艾永强,钟亦阳. 星载薄壁结构天线结构优化设计与试验验证[J]. 空间电子技术,2019,16(3):7-14.
- [10] 刘辉. 雷达测试用标准增益天线智能伺服系统设计及实现[J]. 计算机测量与控制,2014,22(5):1467-1468+1505.
- [11] 赵冲,杨国文,靳磊. 无人艇载三轴雷达转台结构设计[J]. 机械设计,2020,37(S1):278-281.
- [12] 徐非,骏王贺. 一种带升降机构的两轴转台实现[J]. 雷达与对抗,2019,39(2):36-40+44.
- [12] 邱宣怀. 机械设计[M]. 4版. 北京:高等教育出版社,1997:257-279.
- [13] 胡继伟,党红杏,贺荣荣. 滑动聚束 SAR 空变天线方向图校正方法[J]. 空间电子技术,2021:18(5):14-19.
- [15] 陈焯,马玉丰,张启涛,等. 基于智能机械臂的任意扫描曲面天线测试系统[J]. 空间电子技术,2022,19(1):24-28.