

X-Y型天线座结构型设计^{*}

李建军, 贾彦辉

(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:文中研究了天线座的工作原理及结构特征,由于A-E型天线座存在天顶的跟踪盲区,致使其无法完成过顶目标的跟踪任务。X-Y型天线座将天线的跟踪盲区转移到X轴的两端,即地平线上,因此可满足天线跟踪过顶目标的任务要求。同时,结合实际工程应用,提出了几种不同构型的X-Y座架型式,以及各自的技术指标及适用范围。文章面向实际任务进行机构设计,研究内容对于X-Y型天线座架设计具有重要的指导意义。

关键词:X-Y型天线座; A-E型天线座跟踪盲区

中图分类号:TN820.8² 文献标识码:A 文章编号:1008-5300(2014)05-0037-04

Configuration Design of X-Y Style Antenna Pedestal

LI Jian-jun, JIA Yan-hui

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

Abstract: This article studies the working theory and structure character of antenna pedestal. Because of the zenith tracking blind zone, A-E style antenna pedestal could not satisfy the tracking demand. X-Y style antenna pedestal moves the blind zone to the two sides of X axis (the horizon), therefore satisfying the tracking demand. According to the project applications, several different configurations of X-Y style pedestals are proposed, including their specifications and applicability. The design in this article is project-oriented, therefore its results have important guidance meaning for the design of X-Y style pedestals.

Key words: X-Y style antenna pedestal; A-E style antenna pedestal; tracking blind zone

引言

天线座作为天线的支撑与定向装置,在伺服系统控制下,引导天线准确地捕获和跟踪目标,其机械性能直接影响到天线的射频特性及伺服功能^[1]。

传统的天线座多为方位-俯仰(A-E)型结构,由2个相互垂直的转轴(A轴、E轴)组成,A轴为铅垂状态,E轴位于A轴上方,呈水平状态^[2]。通过两轴的转动,使得天线波束覆盖整个空域。

A-E型天线座跟踪目标时,当目标仰角趋近于90°时,方位角速度趋近于无穷大。由于A轴速度不可能无限增加,因此,A-E型天线座跟踪目标时不可避免地存在盲区。为完成目标的过顶跟踪,引入了X-Y型天线座结构^[3]。

1 X-Y型天线座工作原理

X-Y型天线座也有2个转轴(X轴、Y轴),两轴都是水平配置,互相垂直,Y轴位于X轴之上。这种类型的天线座也有盲区,但是不在天顶,而在X轴的两端,即地平线上,如图1所示。

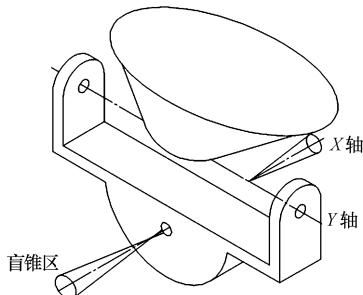


图1 X-Y型天线跟踪盲区

X轴的角速度由目标在Y方向的运动引起,其大

小取决于目标与 X 轴之间的距离, 即:

$$\omega_x = \frac{V_s}{R \cos \theta} \quad (1)$$

式中: θ 为 Y 轴角度(朝天为 0°); R 为天线与目标间距离; V_s 为目标线速度。

天线跟踪目标过顶时, $\theta=0^\circ$, X 轴的角速度最小; 在跟踪靠近地平线的目标时, X 轴的角速度最大。它的两个轴只需转动 $\pm 90^\circ$, 就能够覆盖整个空域。因此不需要高频旋转关节、滑环或电缆卷绕装置。

如图 2 所示, 轨道高度为 300 km 的圆轨道极轨卫星, 已知其线速度 $V_s=7.72$ km/s, O 为地球球心; G 为天线位置; S_0 为目标地平点; S_1 为任意目标点。

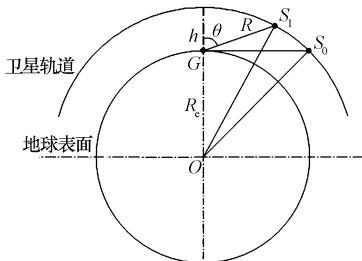


图2 天线与目标位置关系图

当目标位于 S_0 时, $\theta=90^\circ$, X 轴的角速度趋于无穷大, 天线不能跟踪目标。由于天线在低仰角时存在地面多径效应, 为了很好地接收目标信号, 地面站天线一般要求工作仰角为 3° 以上, 这就正好避开了 X-Y 型天线座的跟踪盲区。

当目标位于任意位置 S_1 时, 根据 $\Delta S_1 GO$ 中三角函数关系可得:

$$R = \sqrt{(R_e + h)^2 - R_e^2 \sin^2(180^\circ - \theta)} + R_e \cos(180^\circ - \theta)$$

已知 $R_e=6378$ km, $h=300$ km, 仰角 3° 时 $\theta=87^\circ$, 计算得 $R=1673$ km。

将 R 代入式(1)可得 $\omega_x=5^\circ$ 。

因此, 与 A-E 型相比, X-Y 型天线座既具备了跟踪过顶目标的能力, 又大大降低了两轴的驱动转速。

2 X-Y 型天线座构型设计

2.1 全配重构型

X-Y 型天线座结构不紧凑, 重量较大, 因为两根转轴都不与地面垂直, 如果转动部分的重心不在转轴上, 就会产生不平衡力矩。传统的 X-Y 型天线座两轴都需要配重, 所以体积、重量大, 两轴的间距大, 转动惯量也大。下面以 X 频段 5.4 m X-Y 型天线为例介绍。

5.4 m X-Y 型天线包括反射体、 X 轴装置、 Y 轴装置、底座 4 部分, 如图 3 所示。

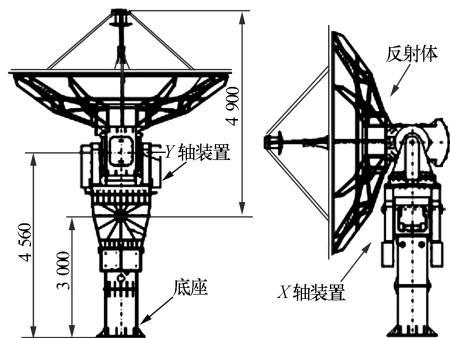


图3 全配重X-Y型天线

结构性能指标如下:

- 1) X 、 Y 轴运动范围: $-90^\circ \sim 90^\circ$;
- 2) X 、 Y 轴驱动速度: $0.01 \sim 5^\circ/\text{s}$;
- 3) X 、 Y 轴驱动加速度: $0.01 \sim 5^\circ/\text{s}^2$ 。

Y 轴装置采用叉臂方箱结构, 位于 X 轴上端。随着 X 轴的转动, Y 轴的姿态在水平与垂直方向不断改变, 如图 4 所示。

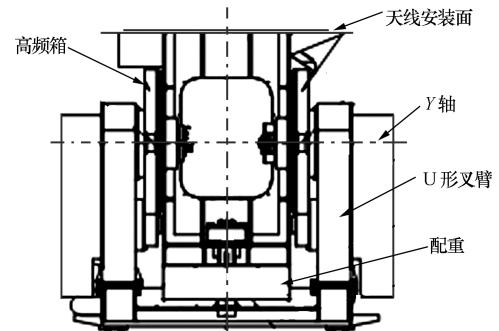


图4 Y轴装置示意图

在 U 形叉臂中间安装高频箱, 其中容纳天线高频系统。高频箱上端面与天线连接, 尾部安装配重, 用以平衡天线反射体相对 Y 轴的不平衡力矩。由于配重相对于 Y 轴力臂较短, 因此, 所需配重较多。

叉臂的跨距和高度取决于高频箱的体积和 Y 轴的位置驱动、限位、锁定及测角机构分别位于左右叉臂之中。

Y 轴与 U 形叉臂固定, 高频箱两侧通过圆锥轴承与 Y 轴连接。叉臂两端各安装一套驱动机构, 同时驱动高频箱两侧的齿轮, 使得高频箱带动天线作 Y 轴运动。

X 轴装置采用挂臂方箱结构, 用于支撑 5.4 m 天线反射体以及 Y 轴装置, 如图 5 所示。

方箱内容纳 X 轴装置部分的驱动、限位、锁定及测角机构, X 轴由 2 个半轴头组成, 分别通过圆锥轴承与方箱两侧相连。在 X 轴两侧安装挂臂, 挂臂上端面与 Y 轴装置连接, 下端安装配重, 用以平衡天线反射体及 Y 轴装置相对 X 轴的不平衡力矩。

方箱下平面固定在底座上, 内部容纳 X 轴装置的

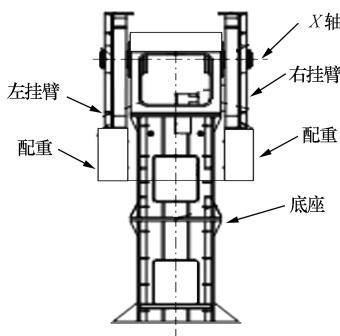


图5 X轴装置示意图

驱动、限位、锁定及测角机构。X轴与方箱固定,左、右挂臂通过圆锥轴承安装在X轴两侧。挂臂上端面与Y轴装置连接,下端安装配重,用以平衡天线反射体及Y轴装置相对X轴的不平衡力矩。

驱动机构共2套,同时驱动左、右挂臂的大齿轮,实现Y轴装置及天线做X轴运动。

如图4所示,Y轴高度4 560 mm,X轴高度3 000 mm,天线回转直径9 880 mm,总重量10 900 kg,两轴驱动功率各为3 000 W。

该构型天线座两轴均需配重,天线座体积及重量较大,转动惯量大,刚度低,因此运动速度、加速度受限,天线快速响应能力较差。由于两轴均为平衡状态,因此,驱动功率较低。

2.2 无配重构型

由于全配重X-Y型天线的尺寸和重量较大,制约了产品的推广和应用。为了降低重量,减小工作空间,本节介绍一种无配重X-Y型天线构型。

仍以X频段5.4 m天线为例,其结构性能指标同上,天线包括反射体、X轴装置、Y轴装置、底座4部分,如图6所示。

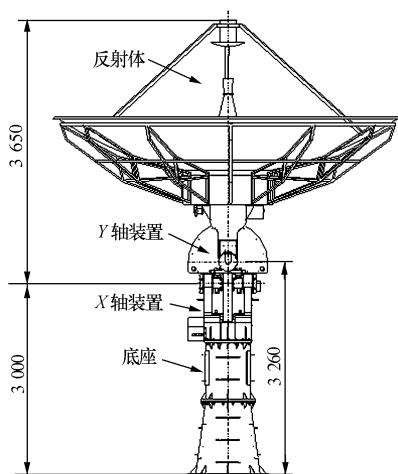


图6 无配重X-Y型天线

X轴装置和Y轴装置结构相同,正交安装,主要包括电机、减速机、末级齿轮弧、支臂、码盘、限位机构等

零部件,如图7所示。

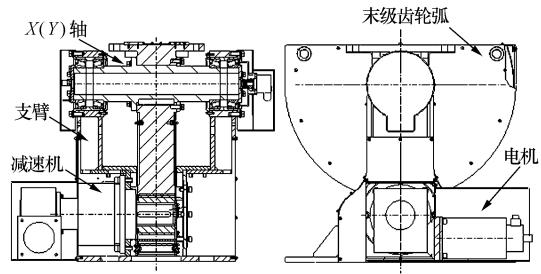


图7 X(Y)轴装置示意图

X(Y)轴为整体轴,两端通过圆锥轴承支撑在支臂左右。末级齿轮弧安装在X(Y)轴中间。电机、减速机安装在支臂底部,输出小齿轮与末级齿轮弧啮合,组成闭合的驱动机构。在X(Y)轴的一侧安装码盘,实时输出X(Y)轴角度信号。

X轴装置的支臂底平面固定在底座上,Y轴装置的支臂底平面支撑天线,两轴的末级齿轮弧平面连接固定,轴线垂直相交。

此时,Y轴装置的电机、减速机位于支臂上部,工作时,末级齿轮弧与Y轴固定不动,驱动系统带动支臂及天线绕着末级齿轮弧圆周滚动,实现天线做Y轴运动。

X轴装置的电机、减速机位于支臂下部。工作时,驱动机构及支臂固定不动,X轴与末级齿轮弧转动,实现Y轴装置及天线做X轴运动。

该构型的5.4 m X-Y型天线X(Y)轴均没有配重,天线工作在偏心状态。为保证天线能够反向自锁,高速级采用蜗轮减速机,利用其自锁功能保证天线安全工作。直齿轮副位于传动链末级,精度高,加工、装配质量容易保证。

如图7所示,由于无配重,该构型天线的体积和重量较原来大幅度减小Y轴高度3 260 mm,X轴高度3 000 mm,天线最大回转直径7 300 mm,总重量3 800 kg,两轴驱动功率各为6 000 W。

由于传动链采用了蜗轮蜗杆副,因此该构型天线运动速度、加速度受限,天线快速响应能力较差。由于两轴均工作在偏心状态,因此驱动功率较大。

2.3 X轴虚轴构型

某船载X-Y型天线对于体积、重量、驱动功率的要求都比较严格。为了补偿船摇带来的角度偏差,要求天线运动速度加速度较高,需要两轴全方位平衡。上述两种构型均不能满足使用要求,因此设计了全配重X轴虚轴构型。

仍然是X频段5.4 m天线,其结构性能指标同上。天线包括反射体、X轴装置、Y轴装置、底座4部

分,如图 8 所示。

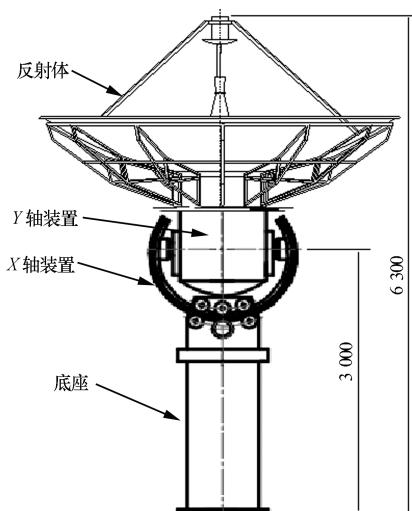


图 8 全配重虚轴 X-Y 型天线

X 轴装置主要包括圆弧滚道、滚轮支架、压紧滚轮、导向滚轮、减速机、电机、码盘、机电限位装置等零部件,如图 9 所示。

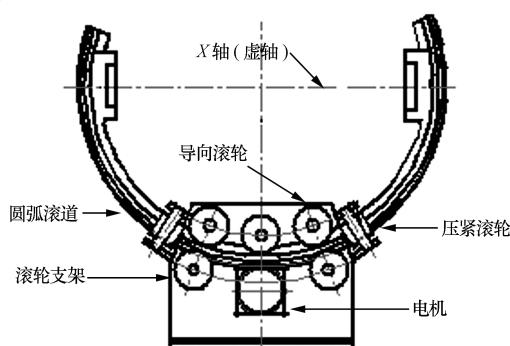


图 9 X 轴装置

滚轮支架固定在底座上,其上安装 5 对上下布置的压紧滚轮,对 X 轴装置的圆弧滚道进行支撑定位;另有 2 对左右布置的导向滚轮对圆弧滚道进行导向,防止其左右偏摆。滚轮既承受径向力,又能承受由于滚道的左右偏摆引起的轴向力。

电机通过减速机驱动圆弧滚道背面的齿轮,从而带动圆弧滚道作 X 轴旋转。圆弧滚道的几何轴心即为 X 轴,它是一个虚轴。

Y 轴装置包括箱体、大齿轮、左右轴头、配重、减速机、伺服电机、码盘、机电限位装置等零部件,如图 10 所示。

Y 轴装置的中心箱体通过左右轴头支撑在 X 轴装置的圆弧滚道上,箱体的上平面与天线相连。伺服电机通过减速机驱动 Y 轴大齿轮,从而带动中心箱体和天线一起做 Y 轴旋转。在 Y 轴的右轴头上安装码盘,

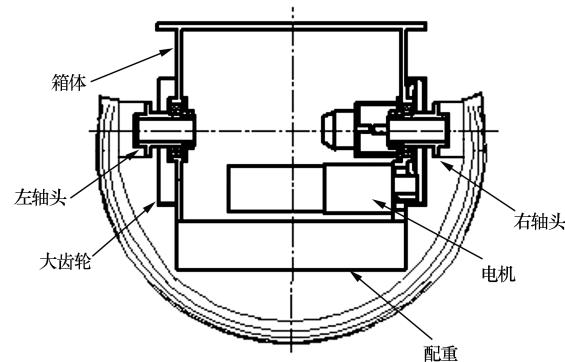


图 10 Y 轴装置

实时输出天线座 Y 轴角度信号。

天线在 X 轴=0°,Y 轴=0°状态,X、Y 轴距离安装底平面约为 3 000 mm。天线最大回转半径为 6 600 mm,总重量 4 500 kg,两轴驱动功率各为 3 000 W。

该构型天线座两轴全方位平衡,X、Y 轴垂直相交,因此,传动链不需要自锁。天线体积、惯量、驱动功率大大降低。重量较无配重构型稍大,远低于全配重构型。因此,天线可满足较高的运动速度、加速度要求。

3 结束语

由于 A-E 型天线座架存在天顶的跟踪盲区,不能满足任务需求,从而引出了 X-Y 型天线座架。分析了 X-Y 型天线的工作原理及使用范围,根据天线的应用需求,详细介绍了 X-Y 型天线的 3 种不同构型,并从体积、重量、功耗等方面加以比较。研究内容紧密结合工程实际,对于 X-Y 型天线工程化设计具有重要的理论指导意义。

参 考 文 献

- [1] 吴凤高. 天线座结构设计 [J]. 西安: 西北电讯工程学院出版社, 1975.
- [2] 成大先. 机械设计手册 [M]. 北京: 化学工业出版社, 2002.
- [3] 张燕. 过顶跟踪的天线座设计方法 [J]. 无线电工程, 1997, 27(4): 37-39.

李建军(1970-),男,高级工程师,主要研究方向为天馈系统结构设计。

贾彦辉(1984-),男,工程师,主要研究方向为天馈系统结构设计与力学分析。

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)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)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),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>