

温变条件下抛物面天线时延特性研究

温日红，冯晓超

(中国人民解放军 61081 部队，北京 100094)

摘要 在卫星导航应用中，设备时延是抛物面天线的重要参数之一，时延的稳定性会影响卫星导航系统的定位、导航和授时业务精度，而工作环境温度是影响天线时延稳定性的主要因素。从抛物面天线在卫星导航工程应用需求出发，分析抛物面天线的相位中心和设备时延参数，根据天线基本结构和信号传输原理，分光程段、馈源段和馈线段 3 部分对天线在温度变化条件下的时延特性进行分析研究。分析结果表明，温度变化对滤波器时延的影响是决定天线时延稳定性的重要因素，对 GNSS 系统抛物面天线结构设计具有指导意义。

关键词 GNSS 系统；抛物面天线；相位中心；时延

中图分类号 TN911.6 **文献标识码** A **文章编号** 1003-3106(2010)06-0042-03

Research on Time Delay Characteristic of Parabolic Antenna along with Temperature Variety

WEN Ri-hong, FENG Xiao-chao

(The Unit 61081 of PLA, Beijing 100094, China)

Abstract Time delay is one of main parameters for a parabolic antenna in Global Navigation Satellite System (GNSS). The stability of time delay influences the precision of Position, Navigation and Timing (PNT) services. The temperature is the key factor that influences the characteristic of antenna's time delay. According to the requirement of GNSS, the paper analyses phase center and time delay of the parabolic antenna in GNSS, and then studies the characteristic of time delay of parabolic antenna along with temperature variety based on the configuration of parabolic antenna. The analysis result indicates that the effect of temperature variety on filter time delay is key factor of deciding antenna time delay stability. The paper gives the guidance to parabolic antenna structure design and manufacture.

Key words GNSS; parabolic antenna; center phase; time delay

0 引言

抛物面天线是卫星导航系统完成时间同步，建立导航系统时间基准和坐标基准的基础设备，准确掌握天线时延特性是确保系统业务精度的前提条件。抛物面天线时延受到各种环境因素的影响，如环境温度变化、基础形变、风载荷影响、自身重力载荷影响以及结构件老化形变等；其中，环境温度变化是影响抛物面天线时延的主要因素之一。首先分析了 GNSS 抛物面天线相位中心和设备时延 2 项重要参数，然后根据天线基本结构分光程段、馈源段和馈线段 3 部分对天线时延在温度变化条件下的时延特性进行了深入的研究。

1 GNSS 系统抛物面天线

在卫星导航系统(GNSS)中，地面运行控制设备通过抛物面天线完成对导航卫星星地时间同步上行信号发射和下行信号接收、伪距测量、导航电文注入

和遥测遥控信息管理，完成地面主控站与各备份注入站和监测站的站间时间同步信号发射与接收、伪距测量和数据传输。抛物面天线设备时延标定的准确度和稳定性会影响系统的时间同步性能，从而影响整个导航系统提供的 PNT(导航、定位和授时)业务精度。

1.1 参考相位中心

对于卫星导航系统而言，抛物面天线需选择一个基准点，此基准点可视为电磁波在空间传播和在地面设备中传播及处理的转换点，以进行星地距离的实时计算和电离层延迟计算等。

如果把喇叭馈源的物理相位中心作为基准点，由于电磁波传播的空间路径中包含了主、副反射面的反射路径时延，利用此基准点计算的星地几何距离与电磁波从卫星到此基准点的实际传播距离是不相同的，因此，将喇叭馈源物理相位中心作为天线基

收稿日期：2010-03-10

准点并不合适。在卫星导航系统中,通常将抛物面天线口面中心选择为电磁波空间传播时延和地面设备时延的基准分界点,而电磁波从馈源相位中心经副、主反射面再到天线口面的电磁波传播时延可视为地面设备时延的一部分。这样,利用此基准点坐标计算得到的星地距离与电磁波从卫星传播到该点的距离是一致的,通常将该基准点定义为抛物面天线的参考相位中心。参考相位中心很好的解决了抛物面天线设备时延起始基准点的问题,抛物面参考相位中心可通过天线结构进行归算标定。抛物面天线参考相位中心示意图如图1所示。

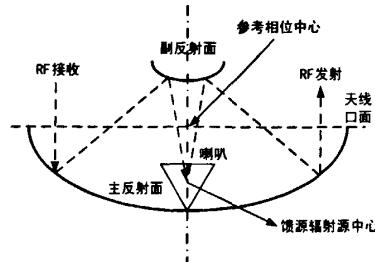


图1 抛物面天线参考相位中心示意图

1.2 天线时延

抛物面天线设备时延定义为电磁波从天线口平面传输到馈源输出口(或从馈源输入口传输到天线口平面)的信号延迟量。根据抛物面天线结构和电磁波传输机理,可以把信号在天线中的传输路径分为天线段(光程段)、馈源段和馈线段3部分,如图2所示。

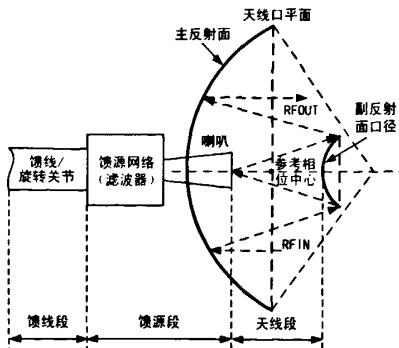


图2 抛物面天线时延组成结构

天线段中,电磁波以开放场形式传播,其传播路径符合光学原理,也称光程段。光程段时延起始点从天线口面到喇叭相心,由馈源相心发出的球面波

经主、副反射面反射后在主面口面处形成平面波;从馈源相心(天线焦点)到天线口面的每一条波束都是等长的,这一光程时延特性通过计算是可以得到其精确数值的。

馈源段包括了喇叭、馈源网络和滤波器等重要环节。喇叭时延是从喇叭相心到喇叭输入口;馈源网络时延是馈源网络输出口即喇叭输入口到馈源网络输入口(收发网络),主要由波纹喇叭、跟踪器和极化器等构成。电磁波在这些部件中的传输特性各不相同,而且部件内部和部件之间也会存在耦合和一定的反射,因此不能通过简单的结构计算来获得馈源的时延值,需要通过精密仪器标定测量获得时延值。

馈线段主要由旋转关节和电缆等组成。由于这部分的部件在天线运动过程中要发生相对位移。在卫星导航系统中,通常对馈线部分时延采用事先标定、在线标校及实时监控的方法取得。

2 温度变化条件下天线时延特性

抛物面天线设备时延受到各种环境因素的影响,其中工作环境的温度是影响抛物面天线时延变化的主要原因。由于天线系统每个组成部分的物理结构和电磁波传播机理不同,受温度变化影响的时延特性也会有所差异。

2.1 天线光程段时延特性

光程段时延变化主要是由于温度变化引起天线结构形变,导致抛物面天线参考相位中心基准点发生位移,引起抛物面天线的时延变化。通过利用ANSIS力学分析软件仿真分析了某工程13 m抛物面天线在俯仰角固定条件下,温度变化引起的天线相位中心基准点位移变化量。仿真结果表明,在俯仰角固定条件下,温度变化50 ℃时,从馈源到主面口面的光程变化小于10 mm,即0.033 3 ns。

2.2 馈源段时延特性

馈源段主要由喇叭和馈源网络组成。在温度变化条件下,每部分由于构件结构和电波传输特性等因素,其时延特性表现也不尽相同。

2.2.1 喇叭段时延特性

天线工作环境温度变化引起喇叭长度发生改变,导致喇叭时延值变化。喇叭可等效为圆波导,喇

喇叭时延随温度的变化量可等效为圆波导时延随温度的变化量,温度变化导致喇叭长度的变化量以及相应电长度的变化量通过计算方法可以得到。在空气填充波导中电磁波传播的时延公式为:

$$\tau = \frac{1}{c \sqrt{1 - \left(\frac{\lambda}{\lambda_c}\right)^2}} \quad (1)$$

式中, l 为波导长度; c 为光速; λ 为信号波长。

喇叭长度随温度变化量 Δl 与喇叭的材料有关。温度变化时,喇叭长度的变化公式为:

$$\Delta l = \alpha \cdot \Delta T \cdot l \quad (2)$$

式中, ΔT 为温差,喇叭通常由合金铝材加工而成,合金铝的线胀系数 $\alpha = 2.3 \times 10^{-5}/^{\circ}\text{C}$ 。

以某工程中 13 m 抛物面天线为例,其喇叭长度为 1 887 mm, 相心距口面为 800 mm, 在温度变化 60 °C 条件下,喇叭对不同频率信号的时延值统计入表 1 所示。

表 1 温度变化条件下不同频率喇叭的 $\Delta\tau_b$ 值

频率/GHz	$\Delta\tau_b/\text{ns}$
1.25	0.011
1.36	0.008
2.18	0.006
2.28	0.006
3.8	0.005
6.0	0.005

数据分析结果表明:在温度变化 60 °C 条件下,喇叭段时延变化优于 0.01 ns,在实际工程应用中,喇叭段时延可忽略不计。

2.2.2 馈源网络时延特性

由于馈源网络结构相对较为复杂,电磁波在其内传输会遇到各种反射和耦合作用。而且当温度变化时,馈源网络的结构形变很难进行定量分析计算。因此温度变化条件下,馈源网络时延特性不能采用类似于喇叭时延分析方法进行。

对馈源网络时延特性采用温变试验的方法进行试验分析。将待测馈源网络放置在温箱内,调节温箱温度,利用矢量网络分析仪实时测量不同频率馈源网络随温度变化的时延值。在试验温度变化范围为 -45 °C ~ +75 °C、步进值为 5 °C 的测试条件下,以某工程 13 m 抛物面天线馈源网络为例,其时延特性变化如图 3 所示。

试验结果表明:在 -45 ~ +75 °C 的温度变化范围内,滤波器是造成馈源网络时延变化幅度较大的

主要因素。在工程应用中,滤波器工作环境温度的相对恒定是确保馈源网络时延稳定的前提。

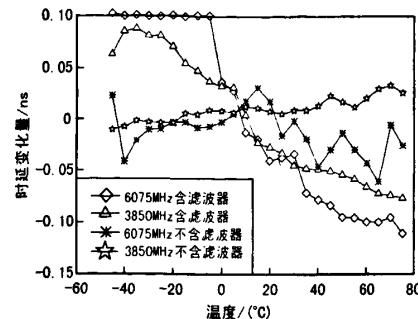


图 3 13 m 天线馈源网络随温度变化时延特性

2.3 馈线段时延特性

抛物面天线馈线段主要由波导、射频电缆或旋转关节组成,馈线段时延受温度变化影响相对较小。经过对应用于某工程型号中的 L 频段 13 m 抛物面天线馈线段在温度变化条件下的时延特性测量结果表明:在温度变化 -45 ~ +75 °C 范围内,馈线段时延变化幅度不超过 0.005 ns,在实际工程应用中,馈线段时延变化可忽略不计(注:试验馈线为长度约 20 m 的 ANDREW 同轴射频电缆。)。

3 结束语

根据抛物面天线时延特性,在 GNSS 系统抛物面天线设计时,需优化天线结构,保持滤波器工作环境温度的相对恒定,以保证滤波器时延的稳定性。同时,采用标校环路对滤波器的时延变化进行实时在线标定和监测,尽可能降低滤波器时延变化的影响。



参考文献

- [1] 秦顺友,许德森.卫星通信地面站天线工程测量技术 [M].北京:人民邮电出版社,2006.
- [2] KAPLANE D. GPS 原理与应用 [M].邱致和,王万义,译.北京:电子工业出版社,2002.
- [3] 张勇虎.卫星导航系统的测量型天线技术研究 [D].长沙:国防科技大学,2006:10~14.
- [4] 尹仲琪,彭表英.时延测量方法的分析与比较 [J].电讯技术,2006(6):213~216.
- [5] 林昌禄.天线工程手册 [M].北京:电子工业出版社,2002.

作者简介

温日红 男,(1964-),中国人民解放军 61081 部队高级工程师。主要研究方向:卫星导航技术与应用。

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>