

非相干扩频测距在测量天线站址坐标的应用

杨晨光 洪志勇 刘鹏威 杨建伟 王羽
63761部队

DOI:10.12238/ems.v4i8.6027

[摘要] 测量坐标系是以测控设备三轴中心为原点建立的坐标系,准确定位测控设备三轴中心对测控设备站址坐标的确立以及卫星实际轨道的定位具有重要意义。本文依据非相干测距原理提出一种新的测量方法,通过已知位置的3个扩频应答机确定测控设备的三轴中心以及站址坐标。

[关键词] 测控设备三轴中心; 站址坐标; 测距原理

中图分类号: TN820.5 **文献标识码:** A

Application of Incoherent Spread Spectrum Ranging in Measuring Antenna Site Coordinates

Chenguang Yang Zhiyong Hong Pengwei Liu Jianwei Yang Yu Wang
Army 63761

[Abstract] The measurement coordinate system is a coordinate system established with the center of the three axes of the measurement and control equipment as the origin, and the accurate positioning of the center of the three axes of the measurement and control equipment is of great significance to the establishment of the coordinates of the station site of the measurement and control equipment and the positioning of the actual orbit of the satellite. In this paper, a new measurement method is proposed based on the principle of non-coherent ranging to determine the three-axis center of the measurement and control equipment and the station coordinates through three spread spectrum transponders at known locations.

[Key words] three-axis center of the measurement and control equipment; station coordinates; ranging principle

引言

航天器执行任务时需要确定其轨道信息,由于航天器在空间中受摄动力等影响,实际轨道对理论轨道存在偏移^[1]。为了确定卫星真实轨道,必须对卫星轨道进行测量,并据此对卫星进行控制以保持原设计的理论轨道。

目前卫星轨道的测量通常以地面测控设备三轴中心建立测量坐标系,在该坐标系下对卫星的角度、距离进行测量。作为测量卫星轨道的地面测控设备,其测量坐标的准确性对卫星轨道的测量起至关重要的作用。

由于测控设备在使用过程中,其三轴中心会发生变化,这导致测量坐标系的不准确。为了获得精确的站址坐标和测量坐标系,需要对测控设备三轴中心进行定期标定。目前测控设备站址坐标测量广泛采用GNSS测量技术,这种技术在测量时需要确定测控设备三轴中心位置,对三轴中心未知的测控设备存在较大的局限性。为了快速精确获取各测控设备点位坐标等参数值,满足对地面站所有测控设备站址坐标的测量,本文依据非相干扩频测距原理提出一种新的站址坐标测量方法,只需三个模拟应答机就能满足地面站所有测控设备站址坐标的测量。

1 测量坐标系

测量坐标系又称测站坐标系,是以测控设备为原点建立的坐标系,主要用来描述卫星等飞行器相对于测控设备的位置。测量坐标系原点为测控设备天线的旋转中心,该点位于天线三轴中心,是测距、测角的起点,是天线方位轴、俯仰轴、视准轴的三轴交点^[2]。

如图1.1所示,测控坐标系以测控设备三轴中心O为原点, X轴指向本地正北方向,并与参考椭圆切于原点; Y轴指向原点处参考椭球的法线方向,向上为正; Z轴由右手法则确定^[3]。

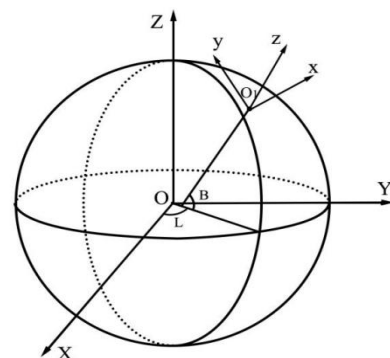


图1.1测控设备测量坐标系示意图

2 现有站址坐标的大地测量方法

目前测量地面站天线三轴中心广泛采用GNSS联合全站仪确定点位坐标。主要方法是利用站内布设的大地测量控制点^[4]。

GNSS点位应选择易于安装接收设备的视野开阔处,采用B级精度。如图2.1所示,在测控设备周围采用分级布网、逐级控制方法布设GNSS控制网,在需要进行全站仪测量的点位附近布设临时控制点和方位点,点间保持500-1500m的距离,点位之间保持一定的夹角。采用圆拟合、圆柱归心等方法确定测控设备三轴中心,并在三轴中心位置处安装棱镜或反射镜片。使用全站仪在GNSS点位上测量三轴中心位置。

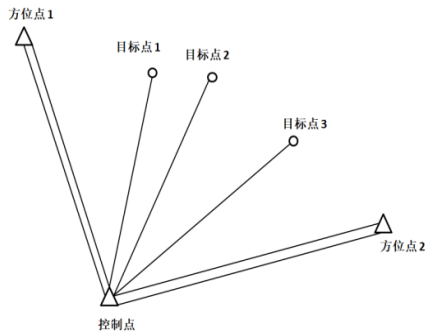


图2.1 GNSS全站仪点位示意图

该测量方法存在一定的局限性,存在两点不足。一是该测量方法需要明确测控设备三轴中心位置。对于大多数测控设备三轴中心都是未知难以测量的,在这种情况下只能大致估算测控设备三轴中心位置,存在较大误差。二是该测控方法需要在视通良好、成像清晰稳定时进行,还需要对全站仪进行调平等一些列操作确保精度,操作相对繁琐。

3 基于非相干扩频测距原理的测控天线站址坐标测量方法

3.1 测控设备测距原理与测距环路

3.1.1 测距原理

本文使用测控设备测距主要采用非相干伪码测距方式,测距通过双向测伪距实现。上、下行测距信号采用测距帧结构,帧内所传信息是测距信息。

卫星接收到上行信号后完成PN码的捕获、跟踪,将星上时间、测量信息实时放入下行测距帧。地面站多功能数字基带系统测控基带接收到下行测距链路信号后进行解扩、解调,利用收到的下行帧同步对上行测距信号采样,提取测量信息,并采样地面时间,根据式(1)完成测距值解算。

$$r = \frac{(\varphi_{up} - \varphi_r)C}{2r_{pn}} \quad (1)$$

上式中 r_{pn} 为PN码速率, φ_{up} 为星上采样上行信号的

“相位”, φ_r 为地面采样下行信号的“相位”。

在实际测量中,测量值为测控基带到卫星的环路时延,但在卫星定轨过程中,卫星的位置坐标是以天线的三轴中心为原点,根据测距、测角值归算得出的。根据公式(2),实际距离值为:

$$r = r_0 - r_1 - r_2 \quad (2)$$

式中 r_0 为测量值; r_1 为测控设备零值; r_2 为校零变频器零值。

3.1.2 构建测距环路

采用校零变频器和S频段波纹喇叭来模拟星上应答机。测控设备发出S非相干扩频信号,喇叭接收信号后传输给校零变频器,校零变频器将输入的信号经过两次变频后,输出2200-2300MHz的信号,经喇叭后输出给测控设备。

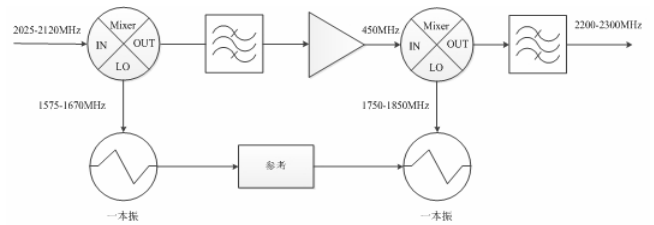


图3.1.1 校零变频器原理

3.2 定位法测量三轴中心

3.2.1 测量控制点位选择

如图3.3.2所示,以CGCS2000大地坐标系为参考系,在地面站内布设3个测量控制点。为了满足整个测站所有测控设备的使用,以天线阵中心为参考点,选择距离、角度均不相同的三个点位安装模拟应答机。

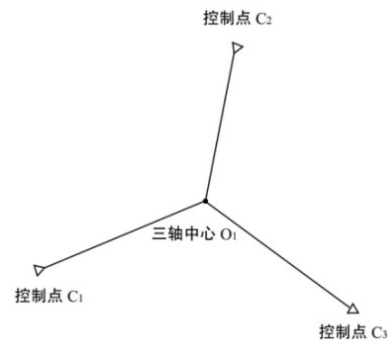


图3.2.1 控制点布局

3.2.2 测量测控设备三轴中心

(1) 测控设备操作与距离测量

①测控设备操作。为了使天线对准模拟应答机和确保测距精度,具体操作如下: ②下宏。选择一颗S非相关扩频的卫星参数进行下宏,包括设备配置宏和卫星参数宏的下达。③更改卫星应答机零值。测控基带显示的距离值为测控设备到卫星应答机的零值即实际距离,为了使测距更加精确,需将模拟应答机的零

值进行装订。④校零。校零操作是测量测控设备的设备零值,该操作重新进行设备零值的标定。⑤天线转等待点。根据模拟应答机的位置将天线指向模拟应答机,并在该范围内进行手动搜星,确保天线指向模拟应答机信号主瓣。⑥校相。对天线当前位置进行校相,消除信号和差通道的相位差,确保跟踪。⑦天线自跟踪。在完成校相后,将天线转入自跟踪状态,确保天线稳定跟踪。⑧测控设备加上行。天线发送10W功率,发送功率后确保测控基带锁定正常。⑨距离测量。测站测控基带加调发送上行信号,变频器收到上行信号后,经过二次变频,产生S下行信号环回天线。此时记录测控基带的距离值r,每个点位记录10次,求平均值。

(2)坐标系的选择及测控设备站址坐标的计算

①坐标系的选择。本论文中共涉及到两种坐标系,分别是地心地固直角坐标系和大地坐标系。地心地固直角坐标系为计算测控设备三轴中心及站址坐标的过度坐标系,主要用来将大地坐标系下的坐标转化成该坐标系,便于计算站址坐标。大地坐标系为最终确定三轴中心及站址坐标的坐标系,即测控设备的三轴中心及站址坐标、模拟应答机的位置坐标均用该坐标系表示。地心地固直角坐标系是以地心作为坐标原点,Z轴指向协议地球北极,X轴指向参考子午面与地球赤道的一个交点,X,Y和Z三轴一起构成右手直角坐标系。在地心地固直角坐标系下的坐标使用(x,y,z)来表示。大地坐标系是通过大地纬度、经度和大地高度来表示空间位置的坐标系,目前通常使用CGCS2000大地坐标系。在大地坐标系下的坐标使用(B,L,H)来表示。

②测控设备站址坐标的计算。以CGCS2000大地坐标系为参考系,精确测量点1、2、3在该坐标系下的坐标C₁(B₁,L₁,H₁),C₂(B₂,L₂,H₂),C₃(B₃,L₃,H₃)。根据公式(3),将CGCS2000大地坐标系下的点位坐标转换为地心地固直角坐标系^[5]。

$$\left. \begin{aligned} x &= (N + H) \cos B \cos L \\ y &= (N + H) \cos B \sin L \\ z &= [N(1 - e^2) + H] \sin B \end{aligned} \right\} \quad (3)$$

式中,B、L、H为坐标的纬度、经度、高程,N为参考椭球的卯西圈半径, $N = \frac{a}{\sqrt{1 - e^2 \sin^2 B}}$,a为椭球半长轴,e为椭球的第一偏心率。

令测控设备的站址坐标为O₁(x₀,y₀,z₀),三个测量控

制点分别为C₁(x₁,y₁,z₁),C₂(x₂,y₂,z₂),C₃(x₃,y₃,z₃),

根据公式(4)解算出天线三轴中心在地心地固直角坐标系下的坐标。

$$\left. \begin{aligned} r_1^2 &= (x_1 - x_0)^2 + (y_1 - y_0)^2 + (z_1 - z_0)^2 \\ r_2^2 &= (x_2 - x_0)^2 + (y_2 - y_0)^2 + (z_2 - z_0)^2 \\ r_3^2 &= (x_3 - x_0)^2 + (y_3 - y_0)^2 + (z_3 - z_0)^2 \end{aligned} \right\} \quad (4)$$

根据公式(5),将地心地固直角坐标系下的站址坐标

O₁(x₀,y₀,z₀)转换为大地测量系下的坐标(B,L,H)。

$$\left. \begin{aligned} L &= \tan^{-1} \frac{y}{x} \\ B &= \tan^{-1} \left[\frac{z}{\sqrt{x^2 + y^2}} \left(1 - e^2 \frac{N}{N + H} \right)^{-1} \right] \\ H &= \frac{\sqrt{x^2 + y^2}}{\cos B} - N \end{aligned} \right\} \quad (5)$$

3.3测控设备非相干扩频测量测量误差分析

非相干扩频测距的测量值包含各种误差,按照误差来源不同大致分为:与测控设备有关的误差、与信号传播有关的误差、与用校零变频器和S频段波纹喇叭构建的模拟应答机有关的误差,测控设备与模拟应答机指向精度误差。

在该测量方法中,由于模拟应答机建在地面,与测控设备相距较近,大气对信号传播产生的大气时延误差可以忽略不计。模拟应答机误差主要是由校零变频器产生的误差,校零变频器主要产生时延误差,由于模拟应答机所用环路光纤长度短,时延误差可忽略不计。测控设备误差是产生测距误差的主要影响因素,根据测控设备不同测距误差也不同,本文根据某套特定的测控设备进行具体分析。测控设备未完全对准模拟应答机时,也会产生误差,该误差与测控设备指向精度有关。

3.3.1测控设备误差

设备在进行测距值测量之前,已经进行设备距离零值的标定。在标定的过程中,设备的误差已在距离零值标定中测量,并在测控基带进行处理,所以测控设备的误差ΔR₁在此忽略不计。

3.3.2测控设备与模拟应答机指向精度误差

测控设备的指向精度即测控设备对准模拟应答机的角度差也会带来误差,根据公式(6),该指向误差引入的测距误差为:

$$\Delta R_2 = \frac{R}{\cos \Delta \theta} - R \quad (6)$$

式中 $\Delta\theta$ 为测控设备的指向精度; R为测控设备到模拟应答机的测距值。

4 结论

本文根据非相干扩频测距原理,提出了一种新的测量测控设备站址坐标的方法。该方法不需确定三轴中心的位置,对于无法精确测量三轴中心的测控设备站址坐标的确定具有很高的实用性。该方法只要在地面站内部建立三个精确位置的扩频应答机,就可实现整个测站所有设备站址坐标的测量,操作方便,可节省大量人力、物力。

[参考文献]

[1]何丽娜.不同摄动力对低中高轨航天器轨道的影响分析[J].大地测量与地球动力,2017,(11):165.

[2]鲁尽义.航天测控系统测角分系统[M].中国电子科技集团公司第三十九研究所,2006:52-355.

[3]李晓波.林小江.航天测控系统概论[M].北京:防工业出版社2010:88-93.

[4]高海荣.陈胤璇.GNSS联合全站仪在大型设备相位中心测量中的应用[J].西藏科技,2021,(1):75-78.

[5]谢钢.GPS原理与接收机设计[M].北京:子工业出版社,2017:42-46.

作者简介:

杨晨光(1996--),男,汉族,山东威海人,本科,测控技师,从事航天测量控制。