

DOI:10.19651/j.cnki.emt.2108295

一种固定指向多波束天线安装测量技术研究

张新盼^{1,2} 郭可敬^{1,2} 李建军^{1,2}

(1. 中国电子科技集团公司第三十九研究所 西安 710065; 2. 陕西省天线与控制技术重点实验室 西安 710065)

摘要: 某固定指向多波束天线由主反射体和馈源系统组成,天线主反射体固定且主波束指向唯一,馈源系统可以沿倾斜轨道运动以匹配不同的卫星。与全动或限动式天线相比,固定指向多波束天线结构指标在追求主反射面具有高精度的表面精度的同时,要保证其主波束指向精度,并实现馈源系统的精确定位。本文提出一种综合运用静态 GPS 测量系统、全站仪测量系统、激光跟踪仪测量系统、数字工业摄影测量系统等多种空间测量技术的方案。在该多波束天线安装过程中采用此测量方案,主反射面表面精度优于 ± 0.15 mm,主波束指向精度优于 ± 0.012 °,馈源系统定位精度优于 ± 1.5 mm,满足结构安装指标要求。通过多波束天线系统测试电性能指标满足要求,充分验证了该方案的可行性、可靠性、高效率和高精度的特点。

关键词: 多波束天线;指向精度;主反射面;表面精度;馈源系统

中图分类号: P204 文献标识码: A 国家标准学科分类代码: 420.40

Research on the installation and measurement technology of a fixed pointing multi-beam antenna

Zhang Xinpan^{1,2} Guo Kejing^{1,2} Li Jianjun^{1,2}(1. The 39th Research Institute of China Electronics Technology Group Corporation, Xi'an 710065, China;
2. Shaanxi Key Laboratory of Antenna and Control Technology, Xi'an 710065, China)

Abstract: The fixed pointing multi-beam antenna consists of the main reflector fixed and the feeder system which can move along the inclined orbit to match different satellites, and the main beam point is unique. In contrast to full motion or limited motion antennas, the main reflector surface has high precision surface accuracy, ensure the main beam pointing accuracy and realize the precise positioning of the feed system. This paper proposes a variety of spatial measurement technology including static GPS measurement system, total station measurement system, laser tracker measurement system and digital industrial photographic measurement system. During the installation of a multi-beam antenna, the main reflection surface accuracy is better than ± 0.15 mm, the main beam pointing accuracy is better than ± 0.012 °, and the feeder system positioning accuracy is better than ± 1.5 mm, which meets the requirements of the structural installation index. By testing the electrical performance index meets the requirements through the multi-beam antenna system, the characteristics of the feasibility, reliability, high efficiency and high efficiency of the scheme are fully verified.

Keywords: multi-beam antenna; pointing accuracy; main reflector; surface accuracy; feed source system

0 引言

相比于传统的抛物面天线同一时刻接收单颗卫星电磁波信号,多波束天线具备同一时刻接收多颗卫星、多频段电磁波信号的优势。在降低地球站天线建设成本的同时,也提高了天线的利用效率。

多波束天线的主波束准确指向卫星轨道和馈源系统的高精度定位是保证多波束天线电性能指标的关键因素。在

多波束天线安装过程中,保证主反射面表面精度满足型面要求的同时,也要保证天线主波束指向精度(方位角、俯仰角和姿态角);另外,馈源系统姿态需要精确调整,在电性能测试阶段,馈源系统仅需沿着测试架倾斜轨道运动,即可对准天线主波束指向以匹配相应的同步卫星,此时多波束天线的电性能达到最优。

针对主波束指向、主反射面表面精度同时测量调整的问题,传统方法是采用双经纬仪测量系统进行测量,测量点

数量较多导致测量效率低。文献[1]介绍了采用双经纬仪测量系统与数字工业摄影测量系统(简称摄影测量)相结合的办法,双经纬仪系统的建站精度和坐标系传递精度影响较大,其主要原因是受环境限制,双经纬仪系统架设位置距离天线较近,从而造成部分公共点测量时交会角度较小,测量误差较大。

为了进一步提高测量效率和测量精度,并顾及馈源系统定位工作,本文综合运用 GPS 静态测量系统、全站仪测量系统、激光跟踪仪测量系统和数字工业摄影测量系统等多种空间测量技术相结合的方案。全站仪测量系统具有测量范围广、单站式、可自由设站的特点^[2];激光跟踪仪测量系统具有测量速度快,用于动态目标实时测量的优势;摄影测量因其非接触、高精度、高效率的测量特点和适用于恶劣环境的优势受到广泛应用^[2-4],特别是在大型天线主反射面表面精度测量方向^[5-8]。

1 测量方案

某固定指向多波束天线由 1 套主反射体和 8 套馈源系统组成,二者是空间上相互独立的结构,天线主反射体固定且主波束指向唯一。多波束天线主反射体安装在测试塔基上,馈源系统安装在测试架倾斜轨道上,如图 1 所示。主反射体包含底座、斜撑、连接件、背架、主反射面;主反射面口径为 18 m×18 m,由 14 行、14 列,共计 196 块单块面板组成;馈源系统主要包括副反射面、馈源喇叭、平行导轨、支撑架和滑车,如图 2 所示。

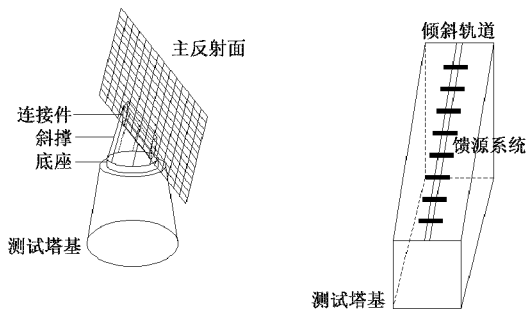


图 1 多波束天线示意图

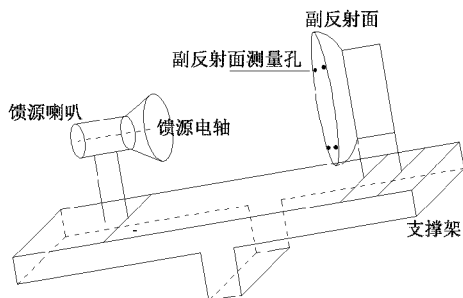


图 2 馈源系统示意图

根据该多波束天线系统的特性和测量方案,施工前期需要应用静态 GPS 测量系统引入天线原点大地坐标和安

装区域大地方位角基准;应用全站仪测量系统进行三维控制网建立、方位基准传递、多波束天线系统坐标系建立和恢复、馈源系统定位等;应用激光跟踪仪测量系统进行馈源系统的地面拼装;应用摄影测量系统进行主反射面表面精度调整的。

具体步骤如下:

1)应用静态 GPS 测量系统对安装区域建筑好的观测墩进行测量,获取观测墩在 WGS-84 坐标系的大地坐标和高斯平面坐标。

2)用全站仪测量系统对观测墩进行加密测量建立高精度的测量控制网,同时联测天线原点,按照闭合导线传递公式计算获取天线原点 O 的大地坐标和高斯平面坐标,并建立多波束天线系统坐标系。

3)应用摄影测量和全站仪测量系统进行主反射面表面精度调整,通过全站仪测量主反射面上分布的公共点或多波束天线系统坐标系下的坐标值,采用公共点坐标系转换的方法,将主反射面测量点转换至多波束天线系统坐标系下,统计测量点相对于天线理论模型法向偏差的均方根值,即主反射面表面精度,同时应用全站仪测量系统对馈源系统姿态进行精确测量和调整。

2 测量内容和实施

2.1 大地方位角测量

为了精确获取多波束天线原点的大地坐标和方位基准,在安装区域确定多波束天线的原点后,进行定位和定向测量。采用静态 GPS 测量技术,对多波束天线安装区域已建成的 4 个 G1-G4 带有强制对中基座的观测墩,如图 3(a)所示,组成 GPS 短边控制网^[9];采用全站仪测量系统,测量 4 个观测墩组成的三维控制网^[11,10],如图 3(b)所示。

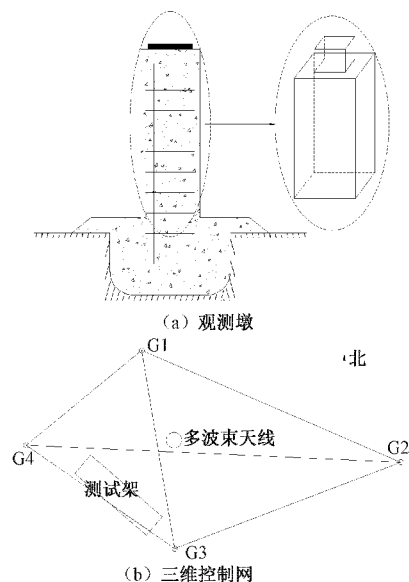


图 3 观测墩和三维控制网

选用3台Trimble 5700双频段GPS接收机,分别对G1-G2-G4和G2-G3-G4进行观测,每个同步环连续观测12h,长基线G2-G4连续观测24h。在WGS-84坐标系下处理GPS数据时,采用观测站精密星历解算获得G2大地坐标,并以G2点的计算结果为控制网基准数据进行局域网平差,获得方位基准及G1、G3、G4各点大地坐标和高斯平面坐标^[10]。

GPS控制网提供了观测墩的大地坐标和相对的大地方位角,但点位之间相对坐标精度尚不能满足多波束天线的安装要求。必须用高精度全站仪施测,建立能达到亚毫米级的安装控制网^[10]。参照GB/T 17942《国家三角测量规范》、GB/T 15314《精密工程测量规范》,按照三等控制网测量技术要求,采用Leica TDRA6000全站仪配合Leica RRR1.5"球反射器对控制网观测墩进行边角网测量,分别对平面控制网和高程控制网进行平差处理^[10]。平面控制网的点位精度如表1所示,平面误差椭圆如图4所示。

表1 控制网的点位平差精度

点号	G1	G2	G3	G4
点位精度/mm	0.16	0	0.23	0.13

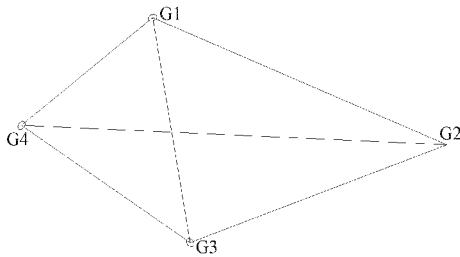


图4 控制点平面误差椭圆

2.2 天线系统坐标系建立

完成安装控制网测量后,由G1、G2、G3测量墩和多波束天线底座上端圆周圆心,即多波束天线原点O,组成闭合导线网,如图5所示。采用Leica TDRA6000全站仪配合Leica RRR1.5"球形反射镜,按照一级导线网测量规范进行测量。

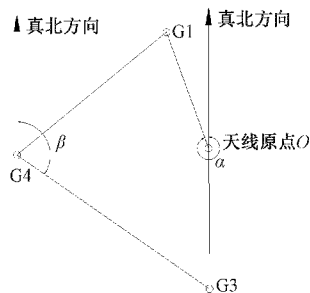


图5 闭合导线网

以已知控制点G4和已知方向G4-G3起算,计算出天线原点O的高斯平面坐标,并推算出天线原点O的大地坐

标。根据G1、G3、G4已知高程和O点相对于控制点的高差,计算出O点的高程。已知G1和天线原点O的大地坐标,根据白塞尔大地主题解算公式,计算出大地线OG1的大地方位角 α 。

由已知大地坐标和高斯平面坐标的天线原点O,以及大地线O-G1的大地方位角可以建立多波束天线系统坐标系。另外,文献[11]研究表明,对于1mm精度要求的测量任务,7km测区范围内的宜选择平面为基准平面,文献[12]研究表明200m测量范围内几何真平面同样选择平面作为计算基准面。所以,多波束天线系统坐标系以与天线原点O等高的水平面P为基准面,天线原点O作为高程起算零点。

多波束天线系统坐标系O-XYZ定义:以天线原点O为原点,Z轴沿过O点垂直于基准平面P的直线竖直向上,X轴指向大地北,Y轴由右手坐标系法则确定,如图6所示。坐标系O-XYZ作为天线安装过程中天线主波束指向、主反射面表面精度和馈源系统定位等测量任务的统一坐标系。

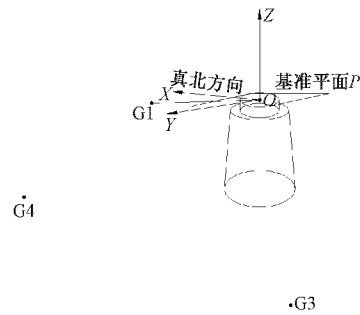


图6 天线系统坐标系O-XYZ

2.3 天线主波束指向测量

天线主波束指向包含多波束天线的方位角、俯仰角、姿态角,可转化为天线结构关键部位的测量点在O-XYZ坐标系下的坐标调整。主反射面表面精度调整阶段,通过调整面板测量点相对于主反射面理论模型的法向偏差,天线主波束指向逐渐达到最佳。

主反射体的斜撑结构与主反射面通过两者之间的过渡连接件采用螺栓连接方式固定,为确保主反射面安装以后,主反射面背后的螺栓长度满足实际调整量,需先调整连接件姿态。在连接件与主反射面接触部位的4角,选取4个连接孔作为连接件姿态调整的测量孔,如图7所示。

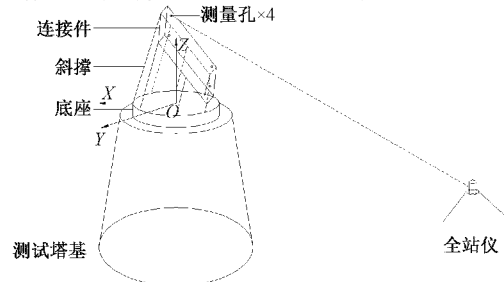


图7 连接件测量孔

采用 Leica TDRA6000 全站仪测量系统配合 Leica RRR1.5"球形反射器,测量 4 个测量孔在 $O-XYZ$ 坐标系下的坐标,测量孔坐标调整偏差控制在 $\pm 1.5\text{ mm}$ 以内。测量孔的最终实际坐标与理论坐标偏差如表 2 所示。

表 2 连接件测量孔坐标偏差 mm

点号	Δ_x	Δ_y	Δ_z	$\Delta_{\text{总}}$
测量孔 ₁	-0.52	-0.73	-1.12	-1.43
测量孔 ₂	0.61	0.42	1.27	1.47
测量孔 ₃	0.78	-0.48	-0.95	1.32
测量孔 ₄	-0.92	-0.85	-0.82	-1.50

2.4 主反射面表面精度测量

采用 Leica TDRA6000 全站仪测量系统和郑州辰维科技股份有限公司的 MPS/S CIM-1 数字工业摄影测量系统,测量多波束天线主反射面表面精度。Leica TDRA6000 全站仪测距精度 $0.6\text{ mm}+(1 \cdot D)\text{ mm/km}$ (D 单位为 km)、测角精度 $\pm 0.5''$;MPS/S CIM-1 数字工业摄影测量系统测量精度 $1\text{ }\mu\text{m}+(5 \cdot L)\text{ }\mu\text{m/m}$ (L 为摄影测量距离,单位为 m)。

摄影测量坐标系为光束法平差后 MPS/S 系统自动定义的物方坐标系,为顾及天线主波束指向,通过公共点坐标转换的方法将摄影测量数据转换至多波束天线系统坐标系下^[1]。公共点位置根据主反射面结构均匀分布,在主反射面的 4 个角和边缘的背架上选取 8 个位置固定工装,用于互换球半径相同的 Leica RRR 1.5"球反射器和摄影测量半球工装,如图 8 所示。全站仪测量公共点在多波束天线系统坐标系 $O-XYZ$ 下的坐标后,主反射面测量点的摄影测量数据以 8 个公共点坐标为基准转换至多波束天线系统坐标系。

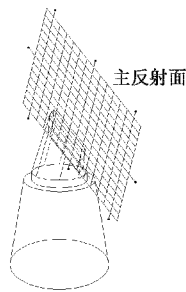


图 8 公共点分布

$O-XYZ$ 坐标系的 Z 轴垂直于大地水平面、 X 轴指向大地北方向,而面板调整螺杆沿主反射面法向。为直观表达面板的调整方向和调整量,在导入主反射面理论模型之前,需要通过 7 参数坐标系转换方法,将多波束天线系统坐标系 $O-XYZ$ 转换为主反射面法向坐标系 $O_1-X_1Y_1Z_1$ ^[3],如图 9 所示。

由坐标系 $O-XYZ$ 向主反射面坐标系 $O_1-X_1Y_1Z_1$ 转换时,7 参数包含 3 个平移参数($\Delta_x, \Delta_y, \Delta_z$)、3 个旋转参数(ω, φ, κ)和 1 个比例参数 λ ,即先平移($\Delta_x, \Delta_y, \Delta_z$),再依次

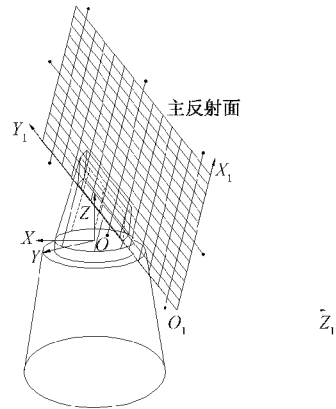


图 9 坐标系 $O_1-X_1Y_1Z_1$

绕 X 轴、旋转后的 Y 轴、和旋转后的 Z 轴旋转 ω, φ, κ ,最后缩放 λ 倍。坐标系转换公式为:

$$\begin{bmatrix} X_1 \\ Y_1 \\ Z_1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \Delta_x \\ \Delta_y \\ \Delta_z \end{bmatrix} + (1 + \lambda) \cdot \mathbf{M} \cdot \begin{bmatrix} X \\ Y \\ Z \end{bmatrix} \quad (1)$$

两个坐标系的转换参数由仿真计算直接给出,因此两个坐标系的尺度比例为 1,即 $\lambda=1$ 。 \mathbf{M} 为旋转矩阵,由 3 个旋转参数,根据旋转顺序,可导出 \mathbf{M} 矩阵的 9 个元素值:

$$\mathbf{M} = \begin{bmatrix} \cos\varphi \cos\kappa & \cos\varphi \sin\kappa & -\sin\varphi \\ \sin\omega \sin\varphi \cos\kappa - \cos\omega \sin\kappa & \cos\omega \cos\kappa + \sin\omega \sin\varphi \sin\kappa & \sin\omega \cos\varphi \\ \sin\omega \sin\varphi \sin\kappa + \cos\omega \sin\varphi \cos\kappa & -\sin\omega \cos\kappa - \cos\omega \sin\varphi \sin\kappa & \cos\omega \cos\varphi \end{bmatrix} \quad (2)$$

在 $O_1-X_1Y_1Z_1$ 坐标系下,导入主反射面的理论模型(IGES 格式)。将主反射面测量点与理论模型直接比对,测量点实际位置相对于主反射面理论模型的法向偏差即为调整量,统计全部测量点法向偏差的均方根值(RMS),即主反射面表面精度^[5-7]。

经过 4 次测量和 3 次调整,主反射面表面精度优于 $\pm 0.15\text{ mm}$,满足设计指标的要求。每次测量的表面精度如表 3 所示,测量点偏差的分布如图 10 所示。

表 3 主反射面表面精度

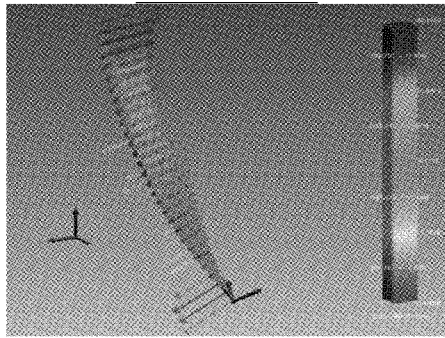
测量次数	1	2	3	4
表面精度(RMS)/mm	8.23	2.54	1.28	0.15

2.5 馈源系统定位

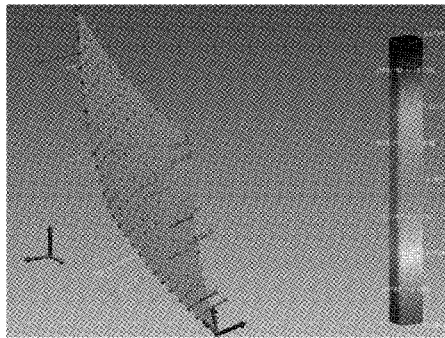
馈源系统安装在已经完成测量和调整的测试架倾斜轨道上,其定位分为如下两个步骤。

1) 地面拼接

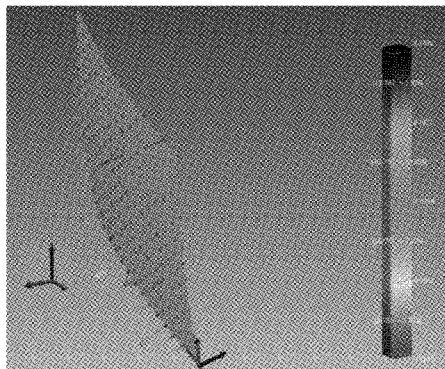
在地面拼接阶段,采用 Leica AT401 激光跟踪仪测量系统,以馈源喇叭为基准,调整副反射面姿态。建立馈源系统独立坐标系 $o-xyz$:以馈源喇叭圆心在平行导轨平面上的投影为原点 o ,馈源电中心轴(即电轴)在平行导轨平面投影直线为 x 轴, z 轴沿过原点 o 垂直于导轨平面竖直向上, y 轴由坐标系右手法则确定,如图 11 所示。



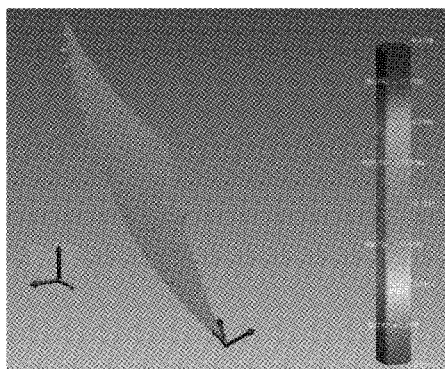
(a) 第1次测量



(b) 第2次测量



(c) 第3次测量



(d) 第4次测量

图10 主反射面测量点偏差

在 $o-xyz$ 坐标系下,通过测量副反射面4个测量孔坐标,调整副反射面相对于馈源喇叭的姿态,测量孔坐标误差控制在 $\pm 0.5\text{ mm}$ 。记录副反射面测量孔和馈源喇叭中心轴端点的空间位置关系。

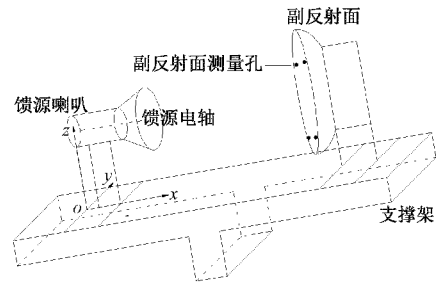


图11 坐标系 $o-xyz$

2) 安装测量

馈源系统安装在测试架倾斜轨道上后,由于测试架倾斜轨道安装误差、重力变形等因素,需要在多波束天线系统坐标系 $O-XYZ$ 下测量副反射面4个测量孔坐标,对馈源系统进行高精度的定位。

同2.1节,通过7参数坐标系转换方法,由多波束天线系统坐标系获得测试架馈源系统坐标系 $O_2-X_2Y_2Z_2$,定义为:从测试架低端面向测试架倾斜平面,左侧倾斜轨道下端端点为坐标系原点 O_2 , Z_2 沿过 O_2 点垂直于倾斜平面的直线向上, X_2 轴指向右侧倾斜轨道下端端点, Y_2 轴由右手坐标系法则确定,如图12所示。

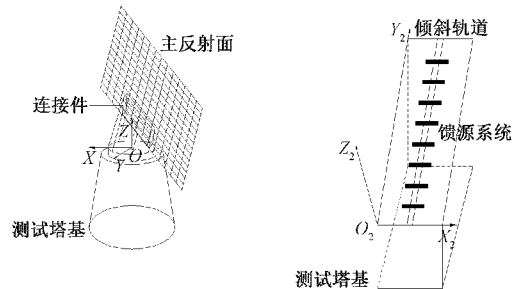


图12 坐标系 $O_2-X_2Y_2Z_2$

在 $O_2-X_2Y_2Z_2$ 下坐标系,副反射面4个测量孔坐标的实测值与理论坐标进行比对。 Y_2 坐标的差值通过滑车移动,使馈源系统趋近于轨道上的理论位置; X_2 、 Z_2 坐标差值反映了副反射面相对于主反射面位置的前后偏差、高低偏差、方位角度误差和俯仰角度误差,通过调整副反射面背后的螺杆长度,使副反射面姿态满足指标要求;以副反射面测量孔位为公共点,将馈源喇叭中心轴两个端点转换至坐标系 $O_2-X_2Y_2Z_2$ 下,对馈源喇叭进行调整。

以2号馈源系统为例,馈源系统定位精度优于 1.5 mm ,如表4所示。

3 多波束天线指向精度

多波束天线主波束指向精度的评定,根据测量任务中大地方位角测量精度、安装控制网精度、全站仪测量公共点与传递精度、多波束天线系统坐标系恢复精度等多因素进行估算^[3]。

表 4 2 号馈源系统测量孔坐标偏差 mm

点名	X	Y	Z	
副面	孔 ₁	-1.16	-0.73	0.59
	孔 ₂	-1.39	-0.02	-0.54
	孔 ₃	-0.54	-1.34	0.21
	孔 ₄	-0.49	-1.24	-0.17
馈源中心	1	-0.64	0.26	1.27
	2	0.22	-1.06	1.02

3.1 大地北方位角测量精度

2.1 节中静态 GPS 控制网,根据 GPS 国家二等控制网的规范进行测量,单点坐标解算精度在±5 mm 以内,最长基线 G2-G4 观测墩的距离为 143.613 4 m,最短基线 G1-G4 观测墩的距离为 57.177 0 m,则可计算由于点位偏差引起的大地方位角误差 ε₁(单位:°)范围为:

$$\frac{5 \times 2}{143.6134 \times 1000} \times \frac{180}{\pi} \leq \epsilon_1 \leq \frac{5 \times 2}{57.177 \times 1000} \times \frac{180}{\pi} \quad (3)$$

即 ε₁ 的取值范围为 0.003 992° ≤ ε₁ ≤ 0.010 026°, ε₁ 取最大值 0.010 026°。

3.2 安装控制网精度

安装控制网的测量采用 Leica TDRA6000 全站仪,对安装区域的 4 个观测墩进行平面控制测量,按照边角全测的方式,测量方案如图 3 所示。全站仪每设站测量 4 个测回,边角网测量限差指标如表 5 所示。

表 5 控制网测量角度限差 (")

项目	限差
半测回归零差	6
一个测回内 2C 互差	9
归化统一起始方向,同一测回各测回误差	6
三角形最大闭合差	3.5

平面控制网平差后最大点位误差为±0.952 mm,最大点间误差为±0.952 mm,最短边长为 57.177 0 m,按最大点位误差和最短边长计算最大的角度影响误差 ε₂(单位:°):

$$\epsilon_2 = \frac{0.952 \times 2}{57.1770 \times 1000} \times \frac{180}{\pi} \approx 0.001909 \quad (4)$$

3.3 全站仪测量公共点精度

全站仪测量 2 次主反射面 8 个公共点坐标,重复测量精度为 0.986 mm,则单次测量精度 RMS = 0.986/√2 ≈ 0.679 mm。在 18 m 范围内引起的角度偏差 ε₃(单位:°)约为:

$$\epsilon_3 = \frac{0.679 \times 2}{18000} \times \frac{180}{\pi} \approx 0.004329 \quad (5)$$

3.4 全站仪与摄影测量传递精度

全站仪测量系统与摄影测量系统所测的 8 个公共点进行

公共点坐标转换时,公共点坐标转换误差 RMS=0.590 mm,则在 18 m 范围内引起的角度偏差 ε₄(单位:°)约为:

$$\epsilon_4 = \frac{0.590 \times 2}{18000} \times \frac{180}{\pi} \approx 0.003758 \quad (6)$$

3.5 多波束天线系统坐标系恢复精度

多波束天线系统坐标系 O-XYZ 是整个安装过程全部测量任务的统一坐标系,因此坐标系的恢复精度是影响指向精度的重要因素。常规的坐标系恢复方法是采用公共点坐标转换,公共点要求在空间分布均匀且尽量包含被测对象^[14]。多波束天线空间范围较大和高度较高的实际情况,难以满足公共点分布的要求。

因此,根据 2.2 节中已知 G1、G2、G3 观测墩到天线原点 O 的平面距离和高差值,通过多边测量^[15],并采用距离交会恢复天线原点 O,进而恢复坐标系的方法成为选项。已知平面距离 L_{G1O}、L_{G2O}、L_{G3O},和全站仪自由设站时 G1、G2、G3 的平面坐标(x_{G1},y_{G1}),(x_{G2},y_{G2}),(x_{G3},y_{G3}),以 G1、G2、G3 为圆心和各自对应的平面距离为半径画出 3 个平面圆,理论上 3 个圆相交于一点,即天线原点 O。由于测量误差的存在,3 个圆不相交于同一点,因此需要根据最小二乘算法计算出 O 点平面坐标的最优解。设 O 点平面坐标为(x_O,y_O),则计算公式如下:

$$\begin{cases} \sqrt{(X_{G1} - x_O)^2 + (Y_{G1} - y_O)^2} = L_{G1O} \\ \sqrt{(X_{G2} - x_O)^2 + (Y_{G2} - y_O)^2} = L_{G2O} \\ \sqrt{(X_{G3} - x_O)^2 + (Y_{G3} - y_O)^2} = L_{G3O} \end{cases} \quad (7)$$

由已知的原点 O 相对于 G1、G2、G3 的高差 h₁、h₂、h₃ 和全站仪自由设站时 3 个测量墩的高度 z_{G1}、z_{G2}、z_{G3},则 O 点的高度 z_O 可计算得到:

$$Z_{G1} = \frac{(Z_{G1} + h_1) + (Z_{G2} + h_2) + (Z_{G3} + h_3)}{3} \quad (8)$$

通过以上数据处理,即可在当前全站仪自由设站的测量工程下恢复天线原点 O,由 2.2 节中已知的大地线 O-G1 的大地方位角,就可以按照前述多波束天线系统坐标系的建立方法重新恢复坐标系。影响坐标系恢复精度的主要因素是全站仪测量观测墩的误差,因此在恢复坐标系后,用 3 个观测墩坐标的偏差值均方根来评价坐标系恢复精度。根据多次恢复坐标系坐标偏差统计 RMS=0.96 mm。

按最短的平面距离 L_{G1O}=34.317 2 m 和坐标恢复精度计算对角度误差的影响 ε₅(单位:°),则:

$$\epsilon_5 = \frac{0.96 \times 2}{34.3172 \times 1000} \times \frac{180}{\pi} \approx 0.003192 \quad (9)$$

综上所述各项角度误差,根据线性误差传播定律,可以计算出多波束天线指向精度 ε(单位:°)约为:

$$\epsilon = \sqrt{\epsilon_1^2 + \epsilon_2^2 + \epsilon_3^2 + \epsilon_4^2 + \epsilon_5^2} = 0.0122 \quad (10)$$

4 电性能测试

综上,该多波束天线系统结构安装阶段所需测量内容

满足指标要求,随后对该多波束天线系统的电性能指标进行测试,以其中一套馈源系统匹配主反射面接收相应卫星 f_0 频段电磁波信号电平值为例,其电平值满足系统设计要

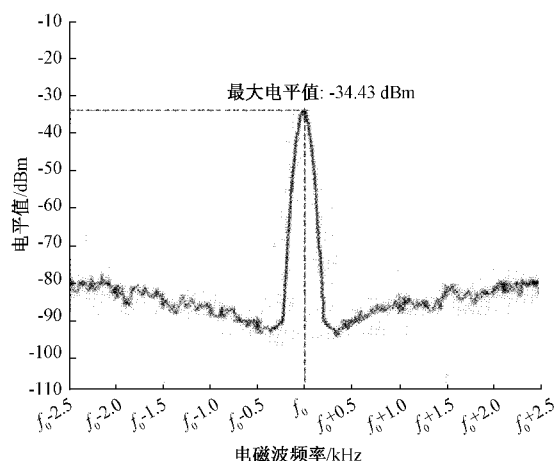


图13 电性能测试图

5 结 论

固定指向多波束天线与传统的抛物面天线有所区别,不仅追求良好的主反射面表面精度,更需要保证天线主波束精确的指向;因其主反射体和馈源系统空间上是分离的结构,同时需要实现馈源系统的高精度定位。综合使用静态GPS测量系统、全站仪测量系统、激光跟踪仪测量系统和数字工业摄影测量系统,在提高效率的同时,成功的完成了上述测量任务。通过电性能指标的测试,验证了该方案的可靠性。

本文采用Leica TDRA6000全站仪测量系统进行建站、坐标系传递、馈源系统定位等工作,充分利用了其高精度、自由设站等特点,且在主反射面测量阶段,可将其放置较远处测量主反射面公共点,从而降低坐标系转换过程中的角度误差影响。

本文提出天线系统坐标系、主反射面法向坐标系、测试架馈源系统坐标系等概念,使整个测量过程坐标系始终统一、且使各项偏差的调整量直观。

参考文献

- [1] 冯其强,金超,李宗春. 9 m×36 m 天线安装测量技术研究[J]. 无线电工程, 2015, 45(1): 58-60.
- [2] 李广云,范百兴. 精密工程测量技术及其发展[J]. 测绘

学报, 2017, 469(10): 1742-1751.

- [3] 崇爱新,尹辉,刘艳婷,等. 基于双目视觉的无缝线路钢轨纵向位移测量方法研究[J]. 仪器仪表学报, 2019, 40(11): 82-89.
- [4] 李明,于冀平. 几何量工业测量的现状与发展[J]. 仪器仪表学报, 2017, 38(12): 2959-2971.
- [5] 程志峰,金超,孙伟. 数字摄影测量在大型天线主面测量中的应用[J]. 河北省科学院学报, 2019, 36(1): 47-50.
- [6] 张新盼,任鹏飞,吴昕颖,等. 天线反射体的空间几何关系精密测量[J]. 中国测试, 2019(5), 45(250): 54-59.
- [7] 张新盼. 应用数字工业摄影测量实现天线反射体姿态恢复[J]. 宇航计测技术, 2017, 37(6): 16-21.
- [8] 段玉虎. 副反射面调整模型及工程实现方法[J]. 飞行器测控学报, 2017, 36(3): 180-186.
- [9] 申洋洋. 基于不同网形的短边GPS控制网精度分析[J]. 河南科技, 2020, 716(16): 8-12.
- [10] 李宗春,路志勇,张冠宇,等. 一种顾及现势指向的上行天线阵相位中心精确标校方法[J]. 测绘学报, 2019, 48(2): 145-152.
- [11] 郭迎钢,李宗春,李广云,等. 粒子加速器工程控制网研究进展与展望[J]. 测绘通报, 2020(1): 136-141.
- [12] 郭迎钢,李宗春,刘忠贺,等. 工程测量平面控制网计算基准面选定方法[J]. 测绘科学技术学报, 2020, 37(3): 232-238.
- [13] 潘国荣,周跃寅,郭巍. 工业测量三维基准转换参数的全局最优解算法[J]. 武汉大学学报, 2014, 39(1): 85-89.
- [14] 张皓琳,林嘉睿,郝继贵. 三维坐标转换精度及其影响因素的研究[J]. 光电工程, 2012, 39(10): 26-31.
- [15] 缪东晶,孙威,李建双,等. 测站数量对多边形坐标测量系统测量精度的影响[J]. 仪器仪表学报, 2020, 41(7): 38-44.

作者简介

张新盼,工学学士,工程师,主要研究方向为大尺寸三维空间几何测量、数字工业摄影测量。

E-mail: zhangxinpan_1989@163.com

郭可敬,工学硕士,高级工程师,主要研究方向为天线结构工艺。

李建军,工学硕士,高级工程师,主要研究方向为微波网络和天线设计。