

文章编号: 0494-0911(2006)09-0040-03

中图分类号: TU198

文献标识码: B

# 50 m 天线轨道调整方法

许文学, 李宗春, 李广云, 薛志宏, 储 鹤

(信息工程大学 测绘学院, 河南 郑州 450052)

## The Adjusting Method of 50 m Antenna Orbit

XU Wen-xue, LI Zong-chun, LI Guang-yun, XUE Zhi-hong, CHU Hu

**摘要** 介绍 50 m 天线的工程概况以及全站仪、数字水准仪和合相水平仪在天线轨道调整中的应用,重点介绍轨道径向偏差和法向偏差测量方案的制定以及轨道调整的具体实施方法,对相关工程有一定的参考价值。

**关键词** 全站仪; 数字水准仪; 轨道调整; 测量方案; 径向偏差; 法向偏差

### 一、工程概况

50 m 天线是目前我国在建的最大天线,它由国家天文台出资,电子科技集团公司第 54 研究所承制。它一方面是用于天文观测的射电望远镜,另一方面也是“绕月探测工程”深空探测网的重要传感器之一。其机械结构主要由反射体、轨道、滚轮组合、中心枢轴、A 型支架、俯仰组合、伺服控制系统等几部分组成。为保证天线总成安装的顺利对接,各部分接口都有严格的尺寸要求。天线圆形导轨是保证天线实现  $\pm 275^\circ$  (相对正南)方位转动的基础,轨道设计直径 32 500 mm,上面宽 180 mm,下面宽 400 mm,高 200 mm,轨道总重约为 36 t,地脚螺栓共 126 组,轨道分为 21 段,单根导轨如图 1 所示。设计要求轨道的圆度小于 5 mm,与中心枢轴的同轴度小于 5 mm。单轨水平度小于 0.25 mm,全轨水平度小于 0.8 mm,径向水平度小于 0.2 mm。

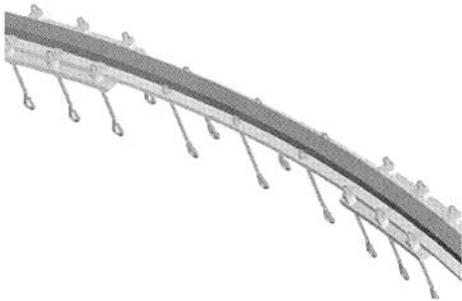


图 1 单根导轨示意图

### 二、测量仪器

#### 1. 全站仪

由于现场场地窄小而设站困难,设计要求检测

轨道的圆度以及轨道与中心枢轴的同轴度,所以我们选用了 TDA5005 全站仪、笔记本电脑、MetroIn 工业测量系统软件平台和联机电缆等构成单台全站仪测量系统。

#### 2. 数字水准仪

由于轨道整体水平度要求小于 0.8 mm 的高精度,故选用徕卡 NA3003 高精度数字水准仪和合相水平仪,其他的附件主要有 2 根 3 m 条码标尺,特制尺台,扶尺杆等。

数字水准仪又称电子水准仪,是在自动安平水准仪的基础上发展起来的。它融光机电技术、图像处理技术、计算机技术于一体,能自动采集数据和信息处理,从而实现了水准测量的自动化。数字水准仪的水准标尺采用条形码分划,代替人眼读数的是光电二极管阵列(CCD 探测器)。徕卡的数字水准仪采用相关法测量原理。

NA3003 是瑞士徕卡公司生产的高精度电子水准仪。它的标准偏差为 1 km 往返差 0.4 mm,操作方便、测量数据能自动记录、重量轻、体积小、便于携带。它还带电子范围控制的摆式补偿器,倾斜范围  $\pm 12''$ ,设置精度  $\pm 0.4''$ 。电子测量范围:用 3 m 因瓦水准尺为 1.8 ~ 60 m,用 4 m 因瓦水准尺为 1.8 ~ 100 m。一般测量时间只需 4 s。这些都是选择该型号水准仪的原因,测量时启动了 Only Meas 程序多次测量取其平均值,自行编制了程序,可以直接与计算机进行通讯及数据后处理,极大地节省了测量时间,实现了内、外业一体化。

#### 3. 合相水平仪

径向水平度要求小于 0.15 mm,主要靠合相水平仪来保证。合相水平仪相当于一个精密的水准气

泡,它体积小、重量轻,可以在小范围内调整轨道的水平变化。

### 三、测量方案

#### 1. 圆度调整方案

全站仪测量系统为极坐标测量原理,它只需要测量一个斜距和两个角度(水平角和垂直角)就可以得到被测点的3维坐标,可以充分发挥该系统建立速度快、操作简便,且测量精度均匀的优势。

测量时在中心枢轴上架设全站仪(研制了特殊的仪器架设工装确保仪器和中心枢轴同心)观测球棱镜,球棱镜通过测量工装(如图2所示)放置在轨道面上,此测量工装的作用是保证球棱镜始终在轨道面的中心线上,每根导轨上观测两端和中间3点共36个点,整体观测一遍大概只需30 min。

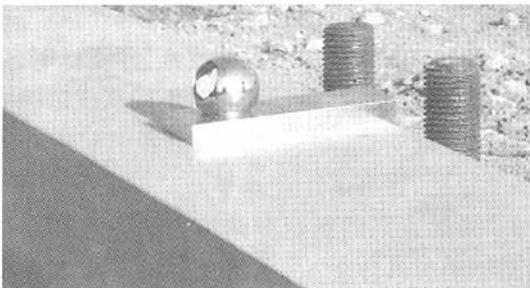


图2 测量工装

#### 2. 全轨水平度调整方案

如图3所示,首先在基准点M上放置标尺,在测站A处架设水准仪,照准标尺读数 $l_{11}$ ,然后将尺台置于轨道上,标尺置于尺台上,水准仪照准标尺读数 $h_{11}$ ,然后将尺台和标尺置于轨道的下一个位置进行读数 $h_{1i}$ ,如此下去,直到中心枢轴挡住视线水准仪无法读数为止,接着把标尺再次放到M上,水准仪读数 $l_{12}$ 来闭合水准路线,检查水准仪的稳定性。然后,水准仪搬站到测站B处,测量过程与测站A类似,先后得到 $l_{21}, h_{2i}, l_{22}$ 。整个测量过程完毕后,以M点作为高程基准面0,各点的高程读数平均值 $\Delta h$ 作为轨道面的高程基准面,每一点与平均高程的差值即为每一点的法向偏差调整量 $d_i$ 。

测站A,B处基准点的平均读数分别为

$$h_{10} = \frac{l_{11} + l_{12}}{2} \quad (1)$$

$$h_{20} = \frac{l_{21} + l_{22}}{2} \quad (2)$$

高程基准面为

$$\Delta h = \frac{1}{n_1 + n_2} \left\{ \sum_{i=1}^{n_1} (h_{1i} - h_{10}) + \sum_{i=1}^{n_2} (h_{2i} - h_{20}) \right\} \quad (3)$$

其中, $n_1$ 为测站A处所测点的个数; $n_2$ 为测站B处所测点的个数。

则测站A处所测点的法向偏差调整量为

$$d_{1i} = h_{1i} - \Delta h \quad (4)$$

测站B处所测点的法向偏差调整量为

$$d_{2i} = h_{2i} - \Delta h \quad (5)$$

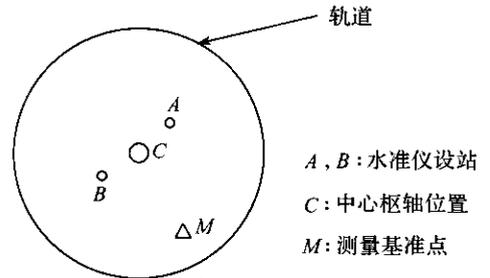


图3 测量过程示意图

#### 3. 径向水平度调整方案

径向水平度是指沿半径方向导轨里外面的高低情况,它是在确保全轨水平度满足要求的基础上通过合相水平仪来进行调整的,根据合相水平仪的读数通过轨道里外的地脚螺栓升降即可调整轨道的径向水平。

### 四、调整过程及结果

土建施工时首先把地脚螺栓放样到位,然后在每组地脚螺栓上铺装好轨道垫板。在吊装轨道之前,在保证轨道垫板与中心枢轴下表面高差的前提下,先把轨道垫板大致调整在同一个水平面上。对一条轨道起支撑作用的垫板共有9块,其中7块小垫板、2块大垫板,这2块大垫板与相邻导轨共用,测量前按顺时针方向把垫板编号,如图4所示。

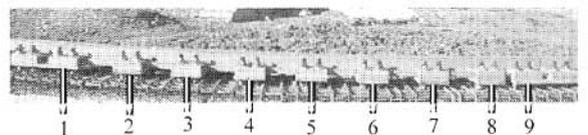


图4 轨道图

#### 1. 圆度调整

全站仪测量后得到轨道63个点,即每根导轨的1,5,9号点的3维坐标,然后进行固定圆心坐标和设计半径的圆拟合,就可以得到每个点的径向偏差调整量。两次调整以后,轨道的圆度由原来的

8.258 mm减小到 3.232 mm,整体偏差明显减小,已经满足设计要求。

## 2. 全轨水平度调整

测量前要精确测量数字水准仪的  $i$  角,因为它的光电系统  $i$  角受到运输或机械振动影响,机内 CCD 探测器的位置可能发生变化,另外受温度影响也较大。同时,测量过程中要尽量避免标尺遮挡或光照不均匀以及折光差对观测数据的影响。

第一次测量时只固定 1,5,9 号垫板,将其螺栓旋紧,然后对其测量并给出法向偏差调整量,此时共测量 63 个点,所需时间大概为 30 min,配合合相水平仪进行调整,经过 4 次调整以后法向偏差明显好转。第 5 次调整时加测 3,7 号垫板,共测量 105 个点,所需时间大概为 50 min,给出其法向偏差调整量,然后根据此调整量配合合相水平仪将 3,7 号垫板的螺栓旋紧,同时调整由于旋紧 3,7 号垫板螺栓时对已调整好垫板的影响。从第 6 次调整开始将剩余的 2 个点也加测进来,此时共测量 189 个点,整个过程 90 min 即可测量完毕,然后给出全轨法向偏差调整量整体调整一遍。调整结果如表 1 所示。

表 1 轨道法向偏差调整结果

调整次数	正偏差 /mm	负偏差 /mm	偏差范围 /mm	测量值均方差/mm	测量点数/个
1	3.21	-2.63	5.84	1.25	63
2	2.09	-2.00	4.09	0.92	63
3	2.90	-2.70	5.60	1.21	63
4	1.37	-1.93	3.30	0.57	63
5	1.77	-0.89	2.66	0.45	105
6	1.22	-1.58	2.80	0.42	189
7	0.51	-0.92	1.43	0.24	189
8	0.42	-0.39	0.81	0.18	189
9	0.35	-0.40	0.75	0.16	189
10	0.38	-0.38	0.76	0.16	189

从表 1 可以看出,随着调整的进行,调整结果在逐渐变好,整个导轨的法向偏差均在  $\pm 0.4$  mm 之间,完全满足全轨水平度小于 0.8 mm 的设计要求。

另外,最后两次测量结果基本一致说明轨道调整结果稳定。

## 3. 径向水平度调整

全轨的水平度保证以后,在最后两次调整时用合相水平仪加测轨道的径向水平度,结果表明只是个别点不满足设计要求,只需升降对应的地脚螺栓即可。

## 五、结 论

经过对轨道的反复调整,最终达到了设计要求。从此次调整工作中我们可以得出以下几点结论。

1. 全站仪测量系统不仅建立系统速度较快,而且更适合于测量条件差、交会图形条件无法保证等场地窄小的环境。研制相应的测量工装在实际测量工作中是非常必要的,不仅能提高测量效率还能保证测量精度,同时也有利于测量数据的处理。

2. NA3003 数字水准仪精度高、性能稳定,且仪器操作简单、方便、直观。观测时不用从望远镜内直接读标尺上刻划数,削弱了因观测者引起的测量误差,便于作业,提高了作业效率。

3. 测量方案的制定和调整方法的选择要根据现场具体情况具体分析,了解仪器的性能和各项精度指标,是制定出合理的测量方案的前提。同时注重与专业测量仪器的配合使用。

## 参考文献:

- [1] 李宗春. 天线测量理论、方法及应用研究[D]. 郑州:信息工程大学, 2003.
- [2] 薛志宏. 数字水准仪的原理、检定及应用研究[D]. 郑州:信息工程大学, 2002.
- [3] 孙 坚. 数字水准仪的现状与发展[J]. 北京测绘, 1998(3).
- [4] 罗官德,等. 数字水准仪  $i$  角检验方法探讨[J]. 测绘信息与工程, 2002, 27(4):45-47.
- [5] 王明善,等. 数字水准仪使用中的几个问题[J]. 四川测绘, 2001, 24(3).

## 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](http://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](http://www.edatop.com))由数名来自于研发第一线的资深工程师发起成立,一直致力和专注于微波、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](http://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>