

doi:10.3969/j.issn.1001-893x.2014.09.024

引用格式: 马军星,全录贤,王兵,等. 卫星地面站天线塔不均匀沉降影响及数据分析[J]. 电讯技术,2014,54(9):1303-1307. [MA Jun-xing, QUAN Lu-xian, WANG Bing, et al. Influence and Data Analysis of Uneven Settlement of Satellite Earth Station Antenna Tower[J]. Telecommunication Engineering, 2014, 54(9):1303-1307.]

卫星地面站天线塔不均匀沉降影响及数据分析*

马军星^{1,**},全录贤¹,王 兵²,马 婷³

(1. 西安卫星测控中心 宇航动力学国家重点实验室,西安 710043;2. 西安交通大学 建筑系,西安 710043;
3. 中国空间技术研究院 西安分院,西安 710100)

摘 要:通过对多个全动卫星地面站天线塔不均匀沉降的长期连续测量,得出了其不均匀沉降的大小及变化趋势。分析了不均匀沉降对天线测角精度的影响,研究了不均匀沉降的补偿方法。中小型天线一般自身设置有机调平装置,可进行一定量的调整补偿。更为普遍的补偿方法是用数学模型来修正不均匀沉降带来的测量误差,大天线和中小天线都适用。工程中这些方法都已应用,效果好,对提高天线塔建设效费比有重要意义。

关键词:卫星地面站;天线塔;不均匀沉降;大盘不水平;机械调平补偿;数学模型修正

中图分类号:TN957.2 **文献标志码:**A **文章编号:**1001-893X(2014)09-1303-05

Influence and Data Analysis of Uneven Settlement of Satellite Earth Station Antenna Tower

MA Jun-xing¹, QUAN Lu-xian¹, WANG Bing², MA Ting³

(1. State Key Laboratory of Astronautic Dynamics, Xi'an Satellite Control Center, Xi'an 710043, China;
2. Architecture Department, Xi'an Jiaotong University, Xi'an 710043, China;
3. China Academy of Space Technology(Xi'an), Xi'an 710100, China)

Abstract: The uneven settlement degree and change trend is obtained through long-term continuously measuring the uneven settlement of satellite earth station antenna tower. The influence of uneven settlement on the antenna measurement accuracy is analyzed and compensation method for the uneven settlement is discussed. For medium-sized and small antennas, a certain amount of compensation settings can be performed by the leveling device of antenna. More general method is to use mathematical model to correct the angle error caused by uneven settlement of antenna tower and it is useful for large, medium-sized and small antennas. The methods have been applied in engineering and performed well, which are important for improving the antenna tower construction cost-effectiveness.

Key words: satellite earth station; antenna tower; uneven settlement; pedestal unlevelness; mechanical leveling compensation; mathematical model correction

1 引 言

天线塔是卫星地面站天线系统的支承受力结构装置,其性能优劣直接关系到天线系统的运转性能、可靠性以及天线测量信息的准确度^[1]。天线塔的建设涉及基建工艺、工程代价及对天线性能的影响等多方面因素。由于受基建工艺条件和成本限制,以及天线塔基地面基础长时间受力不均、环境条件等因素,天线塔基的不均匀沉降在所难免,表现为天线塔基座

* 收稿日期:2014-01-06;修回日期:2014-06-19 Received date:2014-01-06;Revised date:2014-06-19
** 通讯作者:22184459@qq.com Corresponding author:22184459@qq.com

$$X = D \cdot \tan \theta_m \tag{5}$$

3 试验数据分析

实际工程中, 大盘不水平度误差包含了检测误差、天线安装时的调整残差、塔基沉降、日照气温变化等。检测误差可作为随机残差处理; 调整残差是固定值, 不影响相对测量; 日照影响的避免可选择日出之前或日落之后测量。因此, 测量值主要是塔基不均匀沉降造成, 其他因素可以忽略。

3.1 大盘不水平随时间的变化

对 6 个站的 12 个天线座进行了 2 年以上的大盘不水平测量。其中大部分天线座建成多年, 不均匀沉降基本趋于稳定。以下是 3 个典型天线座测量值的处理结果, 分别是 K 站 5#、S 站 5#、J 站 5# 天线座, 都是 2008 年建成; 三站分处中国西部、东北部和南部, 测试从 2009 年开始。

(1) K 站 5# 天线座

K 站 5# 天线座 2009 年 1 月天线安装后测得大盘不水平倾斜角 $0.002\ 778^\circ$, 从 2010 年 12 月至 2012 年 4 月, 每月进行一次测量。从安装首次测试到 2012 年 4 月测试结束, 历时 3 年 3 个月, 塔基沉降所倾斜的角度为 0.01° , 折算到天线安装环(直径 3 000 mm)处的沉降值为 $0.524\ \text{mm}$ 。期间变化的最大值为 $0.012\ 5^\circ$, 折算到天线安装环处的沉降值为 $0.654\ \text{mm}$ 。大盘不水平及所在方位角变化曲线如图 2 所示。

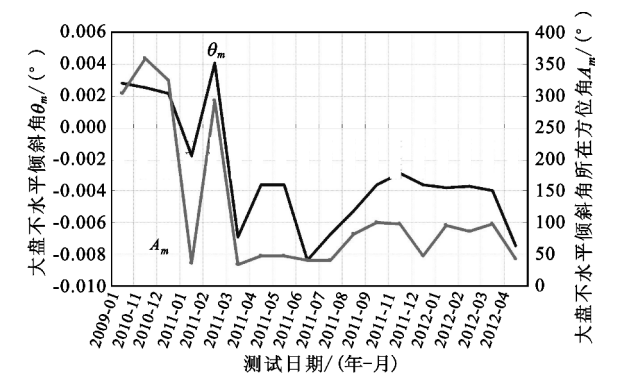


图 2 K 站 5# 天线大盘不水平及所在方位角变化曲线
Fig. 2 K station 5# antenna pedestal unlevelness and the azimuth angle change curve

(2) S 站 5# 天线

S 站 5# 天线座 2008 年 3 月天线安装后测得大盘不水平 $-0.000\ 797^\circ$ 。从 2010 年 11 月至 2012 年 3 月, 每月进行一次测量。检测数据从安装之日起到 2012 年 3 月, 历时 4 年塔基沉降所倾斜的角度为

$0.004\ 752^\circ$, 折算到天线安装环(直径 3 000 mm)处的沉降值为 $0.249\ \text{mm}$ 。期间变化的最大值为 $0.004\ 752^\circ$, 折算到天线安装环处的沉降值为 $0.249\ \text{mm}$ 。大盘不水平及所在方位角变化曲线如图 3 所示。

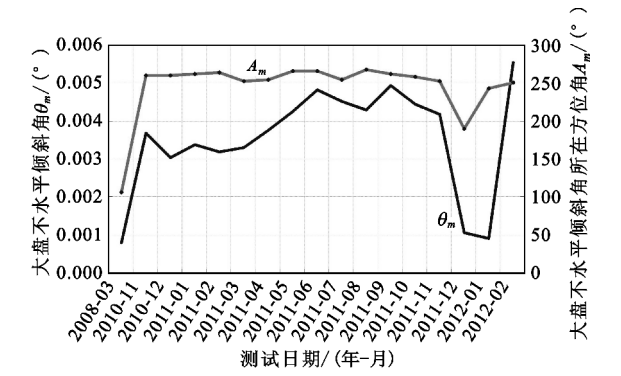


图 3 S 站 5# 天线大盘不水平及所在方位角变化曲线
Fig. 3 S station 5# antenna pedestal unlevelness and the azimuth angle change curve

(3) J 站 5# 天线

J 站 5# 天线座检测数据从 2010 年 12 月到 2012 年 4 月, 历时 1 年 4 个月间塔基沉降所倾斜的角度为 $0.003\ 065^\circ$, 折算到天线安装环(直径 3 000 mm)处的沉降值为 $0.16\ \text{mm}$ 。期间变化的最大值为 $0.006\ 143^\circ$, 折算到天线安装环处的沉降值为 $0.322\ \text{mm}$ 。大盘不水平及所在方位角变化曲线如图 4 所示。

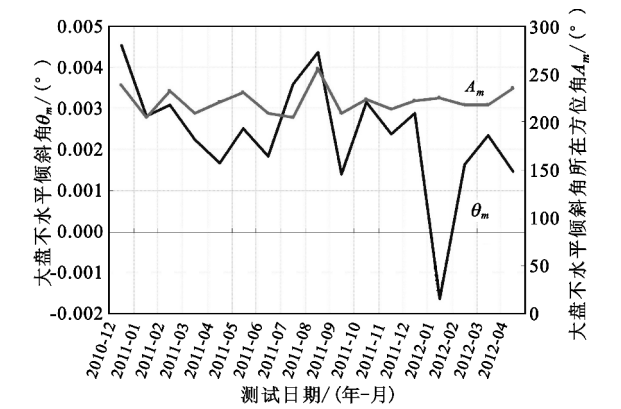


图 4 J 站 5# 天线大盘不水平变化曲线
Fig. 4 J station 5# antenna pedestal unlevelness and the azimuth angle change curve

3.2 多个天线座的不均匀沉降比较

为了找到各天线塔基沉降随时间变化的普遍情况, 将各天线塔沉降值按天线安装时间长短进行排序比较, 如表 1 所示, 天线塔基沉降值对天线安装时间的比较曲线如图 5 所示。

表 1 各天线塔基沉降值对天线安装时间的比较 Table 1 The change value of antenna tower settlement with the antenna installation time						
序号	沉降 时间	天线 名称	质量 /t	天线 安装环 直径 /mm	大盘不水 平最大 倾斜量 /(°)	沉降值 /mm
1	12 个月	N 站 6#	70	2 900	0.000 329	0.017 0
2	16 个月	J 站 5#	87	3 000	0.003 065	0.160 0
3	16 个月	J 站 6#	70	3 000	0.000 150	0.007 9
4	18 个月	K 站 7#	70	3 000	0.001 100	0.058 0
5	19 个月	K 站 1#	200	3 300	0.004 690	0.270 0
6	30 个月	S 站 2#	70	3 000	0.002 756	0.144 0
7	39 个月	K 站 5#	87	3 000	0.010 000	0.524 0
8	40 个月	X 站 5#	45	2 900	0.006 159	0.312 0
9	43 个月	Q 站 8#	45	3 200	0.000 650	0.036 3
10	48 个月	J 站 1#	380	7 000	0.002 990	0.365 0
11	48 个月	S 站 5#	70	3 000	0.004 572	0.239 0
12	60 个月	Q 站 1#	200	3 300	0.000 300	0.015 7

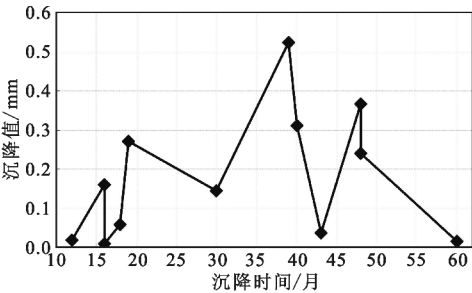


图5 天线塔基沉降对天线安装时间的比较
Fig.5 The change curve of antenna tower settlement
with the antenna installation time

3.3 结果分析

从各站测量数据分析的普遍性规律来看,不均匀沉降引起的大盘不水平度的变化是:初期逐渐加大,到3年左右达到顶峰,以后又有所减小,最后基本稳定在一定值附近;不均匀沉降最大值是3年0.524 mm(K站5#),小于指标很多(指标为3年内不大于2 mm)。从试验结果看,不均匀沉降普遍较小,均在各天线座机械补偿范围内,当然更在数学模型的修正范围内。

从测量数据也可看出,大盘不水平度所在的方位角是变化的,尤其安装初期变化较大,例如图3所示的大盘不水平度方位角在安装后就变化了153°。总的来看,大盘不水平度所在方位角达到稳定状态的时间较大盘不水平为短,稳定后的变化也小。

4 防止和处理天线塔基不均匀沉降的措施

要减少和消除天线塔基沉降带来的影响,可从

两条路径着手,一是在土建施工方面采取措施,使建成的天线座不沉降或少沉降;二是在沉降发生后,采取机械调整的方法调平大盘不水平,或者采用数学模型的方法消除不均匀沉降带来的误差。

4.1 土建施工方面^[6]

天线塔座对地基变形都有一定的工艺要求,故地基基础设计等级均为甲级。从选址开始,就要对此种要求加以考虑,结合地质勘探,选取合理的天线塔座基础方案。施工时选用合理的地基处理方法,严格按施工顺序进行。

对天线塔座不均匀沉降指标的要求,要合理选择提出。如果太高,则加大了施工的难度,提高了土建造价。因此要在满足天线性能要求的前提下,选择合理的指标,达到性价比最优,对于一定的不均匀沉降量,可用机械调整方法或数学模型方法加以修正。

4.2 补偿和修正方法

一般有两种不均匀沉降修正方法,即机械装置修正和数学补偿修正,通常大型天线的大盘水平是在方位转台安装完成后就采用机械调平装置进行调整,此时俯仰部分和天线反射体都还未安装,重量较轻,用千斤顶可以勉强调动。待天线全部安装完成以后,天线总重将达上百吨甚至几百吨,无法用外力再进行调整,虽然百吨以下的中小型天线还有可能重新调水平,但是耗费的人力物力巨大。因此天线在安装完成后,不均匀沉降带来的测角误差值优先采用数学方法来补偿。如果大盘不水平误差过大,必须重新调平时可再采用机械方法。

机械补偿方法是根据三点确定一个平面的原理来进行调整,水平度微调机构安装在底座与天线水泥塔之间的过渡环上,如图6所示,调整斜铁的动态调整范围一般在2 mm以内。

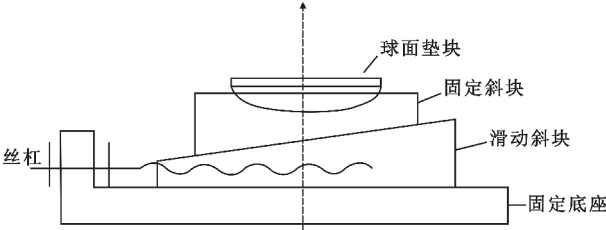


图6 天线大盘不水平机械调整机构
Fig.6 Pedestal unlevelness mechanical adjustment
mechanism of antenna

采用数学模型修正时,参考第2节式(3)和式(4)给出的误差量,依照“真值=测量值+误差”的模型^[7],在测量值中加以扣除即可。

$$E_z = E_c + \theta_m \cdot \cos(A_c - A_m) \quad (6)$$

$$A_z = A_c + \theta_m \cdot \sin(A_c - A_m) \cdot \tan E_c$$

式中, A_z 为补偿后的方位角度值, E_z 为补偿后的俯仰角度值。公式中误差项符号以补偿后的值为参考定义, 当由于某项误差的存在使测量值变小时, 该误差取“正”号, 反之则取“负”号。

5 结束语

通过对 12 个天线塔不均匀沉降的长期持续测量, 得到了其不均匀沉降的大小和变化趋势, 表明这些天线塔座的设计建造很好地满足了不均匀沉降的指标要求。分析了不均匀沉降对测量精度的影响和对天线机械系统性能的影响, 提出了防止和处理天线塔基不均匀沉降的措施: 一是在土建施工方面采取措施, 使建成的天线座不沉降或少沉降; 二是在沉降发生后, 采取机械调整的方法调平大盘不水平, 或者采用数学模型的方法消除不均匀沉降带来的误差。

机械调平方法的调整范围目前一般在 2 mm 以内; 数学模型修正方法的精度则取决于不均匀沉降的测量精度, 亦即取决于测量仪器水平仪的精度, 目前一般所用的水平仪的精度为 2"。实际工程中这些措施均取得了良好效果。在保证天线性能和安全的前提下, 模型修正方法是一个经济高效的方法。

此外, 对天线塔的不均匀沉降指标论证非常重要, 指标过高, 使工程造价升高, 施工难度增大, 而天线系统总体性能提升有限; 指标过低, 会影响天线系统的性能, 改正困难。所以, 应根据天线的实际工作需求, 提出合理的指标约束, 进行合理的方案和工艺设计, 确保工程建设的合理、经济, 满足天线系统的总体性能要求。

参考文献:

- [1] 陈芳允, 贾乃华. 卫星测控手册[M]. 北京: 科学出版社, 1992: 295-299.
CHEN Fang-yun, JIA Nai-hua. Satellite control manual [M]. Beijing: Science Press, 1992: 295-299. (in Chinese)
- [2] 王德纯, 丁家会, 程望东. 精密跟踪测量雷达技术[M]. 北京: 电子工业出版社, 2006: 108-109.
WANG De-chun, DING Jia-hui, CHENG Wang-dong. Precision tracking and measuring radar series [M]. Beijing: Publishing House of Electronic Industry, 2006: 108-109. (in Chinese)
- [3] 袁惠仁, 彭云楼, 薛吟章. 天线参数的射电天文测量[M]. 北京: 电子工业出版社, 1986: 161-163.
YUAN Hui-ren, PENG Yun-lou, XUE Yin-zhang. Radio Astronomy of Antenna Parameter [M]. Beijing: Publishing House of Electronic Industry, 1986: 161-163. (in Chinese)
- [4] 陈红英, 李辉芬, 吴君, 等. 航天测量船角度系统误差偏大问题的分析与解决[J]. 电讯技术, 2011, 51(10): 72-73.
CHEN Hong-ying, LI Hui-fen, WU Jun, et al. Analysis of and Solution to Relatively Large Azimuth System Error Problem in a Task by Space TT&C Ship [J]. Telecommunication Engineering, 2011, 51(10): 72-73. (in Chinese)
- [5] 康德永, 傅敏辉, 赵文华, 等. 基于恒星测量的船载雷达轴系误差修正参数动态标定[J]. 电讯技术, 2013, 53(7): 949-950.
KANG De-yong, FU Min-hui, ZHAO Wen-hua, et al. Dynamic Calibration for Shaft Parameters of Ship-borne Radiometer Equipment Based on Star Observation [J]. Telecommunication Engineering, 2013, 53(7): 949-950. (in Chinese)
- [6] 张春俊, 姜忠国, 张维斌. 某气象卫星天线基座设计[J]. 工程建设与设计, 2005(4): 18-19.
ZHANG Chun-jun, JIANG Zhong-guo, ZHANG Wei-bin. Design of meteorological satellite antenna tower [J]. Construction and Design, 2005(4): 18-19. (in Chinese)
- [7] 王录, 路建功, 张维宁. 精密测量雷达常规标校误差校正参数研究[J]. 雷达与对抗, 2013(1): 1-3.
WANG Lu, LU Jian-gong, ZHANG Wei-ning. Research on error correction parameters of conventional calibration for precision instrumentation radars [J]. Radar&ECM, 2013(1): 1-3. (in Chinese)

作者简介:



马军星(1981—), 男, 山东潍坊人, 2005 年获学士学位, 现为工程师, 主要研究方向为无线电测量技术及航天测控站总体设计;

MA Jun-xing was born in Weifang, Shandong Province, in 1981. He received the B. S. degree in 2005. He is now an engineer. His research concerns radio measurement and the overall design of space TT&C station.

Email: 22184459@qq.com

全录贤(1962—), 男, 陕西扶风人, 硕士, 高级工程师, 主要研究方向为卫星地面站天线总体设计;

QUAN Lu-xian was born in Fufeng, Shaanxi Province, in 1962. He is now an senior engineer with the M. S. degree. His research concerns the overall design of TT&C station antenna.

王兵(1968—), 女, 陕西西安人, 硕士, 讲师, 主要研究方向为建筑设计;

WANG Bing was born in Xi'an, Shaanxi Province, in 1968. She is now a lecturer with the M. S. degree. Her research concerns architectural design.

马婷(1983—), 女, 陕西西安人, 硕士, 工程师, 主要研究方向为电路与系统。

MA Ting was born in Xi'an, Shaanxi Province, in 1983. She is now an engineer with the M. S. degree. Her research concerns circuit and system.