

doi:10.3969/j.issn.1001-893x.2014.11.022

引用格式:包飞,钟德安,冯鸿奎,等.电磁环境对重力下垂参数标定的影响[J].电讯技术,2014,54(11):1576-1579. [BAO Fei,ZHONG De-an, FENG Hong-kui, et al. Effects of Electromagnetic Environment on Gravity-influence's Parameter Measurement[J]. Telecommunication Engineering,2014,54(11):1576-1579.]

电磁环境对重力下垂参数标定的影响*

包飞**,钟德安,冯鸿奎,刘扬

(中国卫星海上测控部,江苏 江阴 214431)

摘要:在航天测量船无线电测量设备重力下垂参数标定中常常会受到电磁环境的影响,导致标定结果失真(参数值不可用)。为提高设备的跟踪精度,需获得较为准确的重力下垂参数。设电磁环境影响参数 ξ ,将参数 ξ 代入到相关的标定过程中去定量分析影响量,给出了 ξ 对重力下垂参数的影响量值,同时得到结论:重力下垂参数 ΔE_c 和电磁环境影响 ξ 对电轴在方向上的影响相同,反向法无法分离两种误差。为分离两种误差,消除环境影响量 ξ ,对重力下垂参数标定的工程方法进行了改进,依据误差的包含关系,将传统的对塔方法和跟踪信标球的方法相结合,通过相关数学方法处理得到较为准确的重力下垂参数,经过试验验证,该方法可行,标定结果可信。

关键词:航天测量船;无线电测量设备;电磁环境;重力下垂参数

中图分类号:V556 文献标志码:A 文章编号:1001-893X(2014)11-1576-04

Effects of Electromagnetic Environment on Gravity-influence's Parameter Measurement

BAO Fei,ZHONG De-an,FENG Hong-kui,LIU Yang

(China Satellite Maritime Tracking and Control Department,Jiangyin 214431,China)

Abstract: Measurement of gravity-influence's parameter of the radio measuring equipment on TT&C ship is usually effected by the electromagnetic environment, and the parameter is certainly wrong as a result. In order to get the correct parameter, a parameter ξ is presumed to express the effects of electromagnetic environment on gravity-influence's parameter measurement, the parameter ξ is taken into a related measurement process to analyze the effects quantitatively, and then the error value of effects is given. The following conclusions are drawn: the effect of the gravity-influence's parameter ΔE_c and the parameter ξ on the deflections of electric axis is same, and ΔE_c and ξ can't be separated by the Reverse method. In order to eliminate the errors, the gravity-influence's parameter measurement method is improved. According to the distribution of error, the method of tracing iron tower is combined with the method of tracing air balloon that transmits radio signal, and then the correct parameter of gravity-influence is obtained by mathematical treatment. Practical application proves that this method is feasible and the measurement result is reliable.

Key words: space TT&C ship; radio measuring equipment; electromagnetism environment; gravity-influence's parameter

1 引言

天线重力下垂参数是指抛物面天线结构受重力

影响产生变形,使电轴上翘或下偏而产生的一种系统测量参数。重力下垂参数的大小与天线材料、天

* 收稿日期:2014-03-04;修回日期:2014-08-27 Received date:2014-03-04;Revised date:2014-08-27

** 通讯作者:baofei053@163.com Corresponding author:baofei053@163.com

线结构、天线口径等因素密切相关。其中,对于格里高利形式的抛物面天线,重力使天线电轴上翘(重力下垂参数为负值);对于卡塞格伦形式的抛物面天线,重力使天线电轴下偏(重力下垂参数为正值)。由于周围空间电磁环境的复杂性,在标定与电轴相关的轴系误差参数时不可避免地会受到影响^[1],特别是在标定重力下垂参数时,大量的试验数据表明电磁环境对标定结果产生了不可忽视的影响,较大时,可使标定的重力下垂参数值失真(不可用)。比如,在对航天测量船某抛物面天线进行重力下垂参数标定时,不同时间、不同地点所测结果最大相差近百角秒。

为解决该问题,首先在理论上定量地分析了电磁环境对重力下垂参数标定的影响(本文所指电磁环境影响主要为电磁波传输路径上的山体、建筑物、铁塔等无源、恒定的干扰源产生的影响)值;其次,为消除该影响,对多种光、电轴相关的标定方法进行了研究,并重点分析了各方法的误差包含关系,提出了一种新的重力下垂参数标定方法:通过对塔标定俯仰光电偏差与跟踪信标球标定俯仰光电偏差,而后再将两种俯仰光电偏差进行数学处理得到较为可信的重力下垂参数的方法;最后将该方法代入到相关试验中验算,从工程上证明了该方法的有效性。

2 重力下垂参数的传统标定方法

无线电测量设备用电轴、天线望远镜或测量电视正向(俯仰角 $E < 90^\circ$) 测量目标,录取方位角和俯仰角的测量值分别为 A_z 、 E_z ;方位转动 180° ,俯仰转动 $180^\circ - 2E_z$,再用电轴、天线望远镜或测量电视测量同一目标,录取方位角和俯仰角的测量值分别为 A_F 、 E_F ,称为反向法。在无线电测量设备系统误差标定中,反向法是一种常用的方法。

通常,重力下垂参数利用反向法进行标定^[2],标定应在良好的电磁环境中进行。距离上应满足远场条件,即 $R \geq 2D^2/\lambda$,其中 R 为天线至目标的距离, D 为天线口径, λ 为波长。具体步骤如下:

- (1) 利用反向法转动天线,使天线正向、反向分别跟踪目标,并分别读取目标在测量电视中的纵向脱靶量 ΔE_{z_i} 、 ΔE_{F_i} ;
- (2) 按步骤 1 重复 5 次以上;
- (3) 若从测量电视中读数,则按下式计算重力下垂参数 ΔE_G :

$$\Delta E_{G_i} = -(\Delta E_{z_i} - \Delta E_{F_i}) / (\cos E_{z_i} - \cos E_{F_i}) \quad (1)$$

$$\Delta E_G = \sum \Delta E_{G_i} / n \quad (2)$$

式中, ΔE_{G_i} 为第 i 次重力下垂参数标定结果, E_{z_i} 为第 i 次标定时目标俯仰角正向测量值, E_{F_i} 为第 i 次标定时目标俯仰角反向测量值, i 为重复标定次数, $i = 1, 2, \dots, n, n \geq 5$ 。

3 电磁环境对重力下垂参数标定的影响分析

3.1 电磁环境对电轴偏移的影响特点

无线电反向法测量目标时,这种电轴偏移在方向上表现为正向测量时的偏移与反向测量时的偏移方向相同^[3-4]。如图 1 所示,设光轴与电轴原本平行,正测时电轴上翘,调整天线使电轴对准电标,此时,光轴对准光标下方;如图 2 所示,反测时电轴将仍然上翘,调整天线使电轴对准电标,此时,光轴对准光标下方。

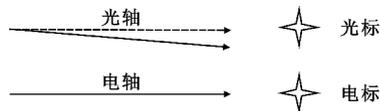


图 1 正测时两轴关系示意图

Fig. 1 Diagram of two axes in forward testing

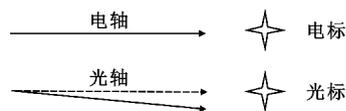


图 2 反测时两轴关系示意图

Fig. 2 Diagram of two axes in reversed testing

3.2 电磁环境对重力下垂参数标定的影响分析

设电磁环境对电轴的影响参数为 ξ (规定该参数符号方向与重力下垂参数符号方向的约定相同,即电轴上翘时 ξ 为负值),同时设天线正向对准综合光电标时,标校电视光轴与电轴比较,光轴向上抬头,夹角为 a (该值不含重力下垂、环境等因素影响),受重力下垂影响电轴上翘,上翘角度为 b_1 ,受电磁环境对电轴的影响,上翘角度为 d_1 (依据方向符号约定, $\xi_z = -d_1$),则标校电视中俯仰脱靶量理论值为

$$\Delta E_z = -(a - b_1 - d_1) \quad (3)$$

反向对准综合光电标时,标校电视与电轴比较,向下低头,夹角为 a ,受重力下垂影响电轴仍然上翘,上翘角度为 b_2 ,受电磁环境影响电轴仍然上翘,上翘角度为 d_2 (依据方向符号约定, $\xi_F = -d_2$),则标校电视中俯仰脱靶量理论值为

$$\Delta E_F = -(a + b_2 + d_2) \quad (4)$$

设备在俯仰为 0° 时,重力下垂参数为 ΔE_G ,俯仰角为 E 时,重力下垂参数的计算公式^[5]为

$$\Delta E_E = \begin{cases} \Delta E_G \times \cos E, 0^\circ \leq E \leq 90^\circ \\ -\Delta E_G \times \cos E, 90^\circ \leq E \leq 180^\circ \end{cases} \quad (5)$$

由式(3)~(4)可得

$$\Delta E_Z - \Delta E_F = b1 + b2 + d1 + d2 = -\Delta E_G \times (\cos E_Z - \cos E_F) - \xi_Z - \xi_F \quad (6)$$

由式(6)可得

$$\Delta E_G = -(\Delta E_Z - \Delta E_F + \xi_Z + \xi_F) / (\cos E_Z - \cos E_F) \quad (7)$$

式中, ΔE_Z 为正向测量时,标校电视俯仰脱靶量; ΔE_F 为反向测量时,标校电视俯仰脱靶量; E_Z 为正向测量时,俯仰角值; E_F 为反向测量时,俯仰角值。

由式(7)与式(1)比较可见,在对塔进行重力下垂参数标定时, $\cos E$ 值近似为1,重力下垂参数中被1:1代入了外部电磁环境影响量 ξ 。

此外,由以上推导过程可得,重力下垂参数 ΔE_G 和电磁环境影响 ξ 对电轴在方向上的影响相同(即正测、反测时,重力使电轴在这两种测量状态下发生偏移的方向相同, ξ 使电轴在这两种测量状态下发生偏移的方向也相同),采用反向法无法分离 ΔE_G 和 ξ 。

4 重力下垂参数标定方法的改进及效果分析

4.1 重力下垂参数标定方法的改进

由以上分析可知,测量船坞内标校时由于电磁环境影响,采用传统的重力下垂参数标定方法无法得出较为准确的重力下垂参数。为解决该问题,最简单、有效的方法是选取电磁环境较好的场地进行标定,但该方法实际实施难度较大。现提出一种依据工程实践经验改进后的标定方法,下面介绍具体步骤。

(1)通过跟踪信标球得到设备的俯仰光电偏差

设备跟踪信标球可使电轴避免高山、铁塔、建筑物等的干扰,因而可以得到较跟踪标校塔好得多的电磁环境。此方法可近似认为跟踪信标球得到的俯仰脱靶量只包含重力下垂的影响,而没有电磁环境的影响。俯仰光电偏差计算公式如下:

$$C_e = -(\Delta E_Q + \Delta E_G \times \cos E_Q) \quad (8)$$

其中, C_e 为俯仰光电偏差, ΔE_Q 为信标球在测量电视中的脱靶量, E_Q 为跟踪信标球时目标在大地坐标系中的俯仰角度, ΔE_G 为重力下垂参数。

(2)通过反向法对塔得到俯仰光电偏差

采用通常正测对塔的方法^[5]所得的俯仰光电

偏差包含有重力下垂、环境影响量 ξ 等误差参数,通过反向法对塔可得到没有重力下垂和 ξ 影响的俯仰光电偏差。

将式(3)与式(4)相加可得

$$\Delta E_Z + \Delta E_F = -2a + b1 - b2 + d1 - d2 \quad (9)$$

对塔或固定目标测量时,可近似认为正测与反测时天线的俯仰角之和为 180° ($\cos E_Z = \cos E_F$),即天线正、反测量时指向相同。天线指向相同时, $d1 = d2$, $b1 = b2$,公式(9)简化为

$$a = -(\Delta E_Z + \Delta E_F) / 2 \quad (10)$$

公式(10)可变换为

$$C_e = -(\Delta E_Z + \Delta E_F) / 2 \quad (11)$$

其中, C_e 为纵向光电偏差,同 a 。

表1为测量船坞内标校中相关测量数据,由表中数据可见,坞内标校时对塔测得重力下垂参数最大相差近百秒,而采用本节反向法所测得的俯仰光电偏差在考虑测量误差的情况下则可认为基本一致。

表1 测量船某设备重力下垂与俯仰光电偏差标定数据
Table 1 Data of the gravity-influence and the deflection between electromagnetic axis and light axis of an equipment on TT&C ship

时间	重力下垂参数值/(")	俯仰光电偏差/(")	备注
第一天	-201.01	58.25	坞内标校
第二天	-301.00	65.25	坞内标校
第五天	-198.32	58.08	坞内标校

(3)重力下垂参数的数学解算

反向法对塔所得俯仰光电偏差可认为基本没有重力下垂、环境等影响误差,跟踪信标球所得的俯仰光电偏差可认为只包含重力下垂的影响误差,对两种俯仰光电偏差进行数学处理,理论上可得到重力下垂参数。

由公式(8)、(11)可得

$$\Delta E_G = ((\Delta E_Z + \Delta E_F) / 2 - \Delta E_Q) / \cos E_Q \quad (12)$$

4.2 重力下垂参数标定改进方法的效果分析

将多台雷达多组对塔试验数据和跟踪信标球数据代入改进后的方法进行计算,以验证该改进方法的正确性。

表2为测量船某设备某次码头放球所测得的相关数据。

表2 测量船某设备跟踪信标球测量数据
Table 2 The tracking data of signal balloon of an equipment on TT&C ship

视差修正后俯仰脱靶量/(")	俯仰角/(°)	备注
128.48	19.502	码头放球

采用表 1 和表 2 中数据按公式(12)计算重力下垂误差,分别得到如下误差:第一天数据计算得重力下垂参数为 $-198.1''$;第二天数据计算得重力下垂参数为 $-205.527''$;第三天数据计算得重力下垂参数为 $-197.921''$ 。

在考虑测量误差的情况下可认为 3 个参数是一致的。

试验表明:表 1 中第二天所测得的重力下垂参数较其他两次大了约 $100''$,但使用改进方法进行处理后,三次标定所得的重力下垂参数值基本一致,并且与第一天和第三天原标定结果也基本一致,验算结果符合理论预期。因此,改进后方法有效地消除了电磁环境对重力下垂参数标定的影响,得到了较为可信的重力下垂参数。

5 结束语

本文定量分析了电磁环境对无线电测量设备重力下垂参数标定的影响,给出了影响量值:在对塔进行重力下垂参数标定时, $\cos E$ 值近似为 1,重力下垂参数中被 1:1 代入了外部电磁环境影响量 ξ ;重力下垂参数 ΔE_c 和电磁环境影响 ξ 对电轴在方向上的影响相同,采用反向法无法分离 ΔE_c 和 ξ ,并通过相关理论研究与工程验算,提出了新的标定方法,得到了较为准确的参数值,但新的标定方法还存在一定局限性,要求两次俯仰光电偏差标定时电轴本身不发生较大变化,为此在两次俯仰光电偏差标定的时间间隔不宜过长,温度、湿度等天气情况应尽量接近。

参考文献:

- [1] 张智南,刘增良,陶源,等.基于信噪比空间的复杂电磁环境仿真模型研究[J].计算机工程与设计,2009,30(23):5458-5460.
ZHANG Zhi-nan, LIU Zeng-liang, TAO Yuan, et al. Research on complex electromagnetic environment simulation model based on SNR space [J]. Computer Engineering and Design, 2009, 30(23): 5458-5460. (in Chinese)
- [2] GJB7901-2012, 航天测量船坞内标校方法[S]. GJB7901-2012, The calibration method of TT&C ship at dock[S]. (in Chinese)

- [3] 杨永常,宗鹏,魏志勇.空间环境对无线电波传播的影响综述[J].航天器环境工程,2009(1):26-32.
YANG Yong-chang, ZONG Peng, WEI Zhi-yong. The influence of space environments on radio propagation [J]. Spacecraft Environment Engineering, 2009(1): 26-32. (in Chinese)
- [4] Guimaraes J V, Costa-Dias M H, dos Santos J C A. Proficiency testing of electromagnetic compatibility (EMC) labs in Brazil by measurement comparisons [J]. Measurement Science and Technology, 2009, 20(11): 107-115.
- [5] 钟德安.航天测量船测控通信设备标校与校飞技术[M].北京:国防工业出版社,2009:63-64.
ZHONG De-an. Calibration and precision appraising with plane for TT&C ship's radio measuring equipment and communication equipment [M]. Beijing: National Defense Industry Press, 2009: 63-64. (in Chinese)

作者简介:



包飞(1981—),男,江苏淮安人,2013年获硕士学位,现为工程师,主要研究方向为标校、校飞;

BAO Fei was born in Huai'an, Jiangsu Province, in 1981. He received the M. S. degree in 2013. He is now an engineer. His research concerns calibration and flight test.

Email: baofei053@163.com

钟德安(1964—),男,江苏江阴人,1990年获硕士学位,现为研究员,主要研究方向为测量船标校技术;

ZHONG De-an was born in Jiangyin, Jiangsu Province, in 1964. He received the M. S. degree in 1990. He is now a senior engineer of professor. His research concerns calibration techniques for TT&C ship.

冯鸿奎(1971—),男,江苏泰州人,1994年获学士学位,现为高级工程师,主要研究方向为惯性导航技术;

FENG Hong-kui was born in Taizhou, Jiangsu Province, in 1971. He received the B. S. degree in 1994. He is now a senior engineer. His research concerns inertial navigation.

刘扬(1978—),男,江苏盐城人,2000年获学士学位,现为工程师,主要研究方向为标校、校飞。

LIU Yang was born in Yancheng, Jiangsu Province, in 1978. He received the B. S. degree in 2000. He is now an engineer. His research concerns calibration and flight test.