

激光引偏角测量不确定度分析

王正林, 刘静梅, 欧阳艺
(91404 部队, 河北 秦皇岛 066001)

摘要:介绍了激光引偏角测量系统的组成和工作原理; 引用扩展不确定度评定方法, 对激光引偏角测量系统测量不确定度进行了分析, 明确了激光引偏角测量系统标定标准偏差、激光跟踪标准偏差、电视跟踪标准偏差、电视测角标准偏差是构成激光引偏角测量不确定度的主要因素; 提出了激光引偏角测量系统在使用过程中减小测量不确定度的措施。

关键词:激光引偏角; 激光跟踪; 电视跟踪; 电视测角; 测量不确定度

中图分类号: TN219 **文献标识码:** A **DOI:** 10.3969/j.issn.1001-5078.2013.12.06

Analysis of measurement uncertainty for laser deception angle

WANG Zheng-lin, LIU Jing-mei, OU Yang-yi
(Unit 91404 of PLA, Qinhuangdao 066001, China)

Abstract: In the article, the composition and work theory of laser deception angle measurement system are introduced. By quoting the evaluation method of expanded uncertainty, the measurement uncertainty for laser deception angle is analyzed. The main factors of the measurement uncertainty for laser deception angle are confirmed, including demarcate standard deviation of laser deception angle measurement system, standard deviation of laser tracking, standard deviation of television tracking and standard deviation of television angulation. The methods which can decrease the uncertainty of measurement in the process of using the laser deception angle measurement system are presented.

Key words: laser deception angle; laser tracking; television tracking; television angulation; uncertainty of measurement

1 前言

激光引偏干扰是一种针对激光半主动制导武器实施的欺骗式有源干扰方式^[1]。激光引偏角是评价激光引偏干扰有效性的一项要素。开展激光引偏角测量是激光引偏干扰装备研制过程中不可缺少的一项科研活动。测量不确定度表征合理赋予的被测量之值的分散性, 可以用标准偏差表示, 也可以用说明了置信水平的区间的半宽度表示。用标准偏差表示的测量不确定度称为标准不确定度, 用在一定置信度下测量结果的区间表示的测量不确定度称为扩展不确定度。明晰影响激光引偏角测量不确定度的因素, 确定激光引偏角测量不确定度的范围, 可为研究激光引偏角测试方法, 分析激光引偏角测试数据提供帮助。

2 系统组成及工作原理

激光引偏角测量系统由激光跟踪器、可变视场 CCD 摄像机、陀螺稳定跟踪平台及控制与处理计算机组成, 如图 1 所示。

激光跟踪器主要由光学系统、信息探测与处理器模块及电源组成。可变视场 CCD 摄像机由变焦光学镜头和 CCD 摄像机组成。控制器接收激光跟踪器的跟踪误差信号, 控制陀螺稳定跟踪平台对激光光斑进行跟踪^[2]。由于 CCD 摄像机的光轴与激光跟踪器光轴平行, CCD 摄像机的光轴也指向激光光斑。激光跟踪器同控制器、控制与处理

作者简介:王正林(1970-), 男, 高级工程师, 主要从事光电对抗试验工作。

收稿日期:2013-05-07

计算机及陀螺稳定跟踪平台构成激光搜索与跟踪模块,可变视场 CCD 摄像机同控制器、控制与处理计算机构成电视跟踪与测量模块。

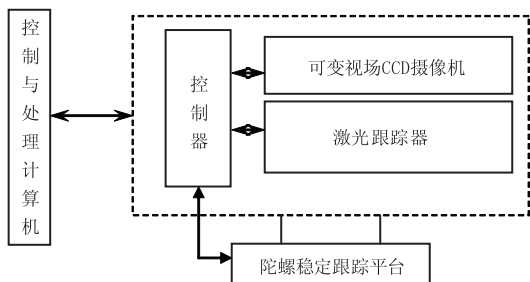


图1 系统组成框图

测试时,首先使用激光目标指示器照射目标,激光搜索与跟踪模块搜索并跟踪激光目标指示器照射光斑。然后发射引偏干扰激光,激光搜索与跟踪模块进行搜索,如果搜索到引偏激光并跟踪激光引偏光斑,则 CCD 摄像机的光轴也指向激光引偏光斑,从而实现对激光目标指示器照射点和激光引偏光斑中心之间的角度测量,即激光引偏角测量。

可变视场 CCD 摄像机像面上两个像点的夹角与测量的两个点目标的夹角相对应。由两个点目标之间的角度、点目标像点之间的像素数和 CCD 摄像机焦距可标定电视跟踪与测量模块一个像素所对应的角度,即电视码当量。选择 CCD 摄像机不同焦距进行标定,可获得一组码当量数据。进行激光引偏角测量时,由两个像点之间的像素数和码当量,可计算激光引偏角。

3 测量不确定度分析

用对被测量重复观测并根据测量数据进行统计分析的方法得到实验标准偏差,这种评定方法称为标准不确定度 A 类评定方法。当被测量 Y 的估计值 y 不是由重复观测得到时,估计方差 $u^2(y)$ 或标准不确定度 $u(y)$ 可以用对 Y 的有关信息或资料来评定,这种方法称为标准不确定度 B 类评定方法。当测量结果的标准不确定度包含若干个测量不确定度分量时,用各不确定度分量的合成得到,称为合成不确定度。扩展不确定度由合成不确定度 $u_c(y)$ 乘以包含因子 k 得到,用 U 表示:

$$U = ku_c(y)$$

测量结果可表示为:

$$Y = y \pm U$$

y 是被测量 Y 的最佳估计值。 k 值根据 $Y = y \pm U$ 的区间要求的置信度水平而选择。当 $k = 2$ 时,区间的置信度水平约为 95%^[3]。通过分析激光引偏

测量系统工作原理和激光引偏角测量方法,确定使用扩展不确定度表示激光引偏角测量不确定度较为合适。

在 CCD 摄像机焦平面上,以焦点为原点,水平方向为 x 轴,俯仰方向为 y 轴建立直角坐标系。设电视跟踪与测量模块所测量的激光目标指示器瞄准点坐标为 (x_0, y_0) ,激光跟踪器所跟踪的引偏目标点坐标为 (x_1, y_1) ,则在水平方向和俯仰方向测量的激光引偏角分别为:

$$\alpha = k_x(x_1 - x_0) \tag{1}$$

$$\beta = k_y(y_1 - y_0) \tag{2}$$

式中, k_x, k_y 分别为水平方向和俯仰方向的码当量。

首先分析水平方向激光引偏角测量不确定度。

设:

$$f(k_x, x_0, x_1) = k_x(x_1 - x_0)$$

则:

$$\alpha = f(k_x, x_0, x_1)$$

由于 k_x, x_0, x_1 不相关,所以:

$$d\alpha = \sqrt{\left(\frac{\partial f}{\partial k_x} dk_x\right)^2 + \left(\frac{\partial f}{\partial x_0} dx_0\right)^2 + \left(\frac{\partial f}{\partial x_1} dx_1\right)^2} \tag{3}$$

由式(1):

$$\frac{\partial f}{\partial k_x} dk_x = (x_1 - x_0) dk_x$$

dk_x 与标定方法和所使用的标定装置有关。下面以精密转台测角法为例进行分析。使用平行光管和点光源生成一个空间位置固定的点目标,将 CCD 摄像机架设在精密转台上。首先将 CCD 摄像机视场某边缘对准目标,读取转台水平角度值 A_1 ,转动转台使电视跟踪与测量分系统视场另一边边缘对准目标,读取转台水平角度值 A_2 。设电视跟踪与测量模块水平方向像素数为 N_h ,则:

$$k_x = \frac{|A_2 - A_1|}{N_h} = \frac{A}{N_h}$$

$$dk_x = \frac{1}{N_h} dA - \frac{A}{N_h^2} dN_h$$

$$\frac{\partial f}{\partial k_x} dk_x = (x_1 - x_0) \left(\frac{1}{N_h} dA - \frac{A}{N_h^2} dN_h \right)$$

电视跟踪与测量模块码当量标定偏差与转台角度测量偏差 σ_A 和电视跟踪与测量模块像素数读取偏差 σ_N 相关。由于码当量标定偏差造成的激光引偏角测量不确定度分量:

$$\sigma_k = (x_1 - x_0) \left(\frac{1}{N_h} \sigma_A - \frac{A}{N_h^2} \sigma_N \right) \tag{4}$$

由式(1):

$$\frac{\partial f}{\partial x_0} dx_0 = -k dx_0$$

dx_0 与电视跟踪与测量模块对激光指示光斑的跟踪精度相关,包括激光搜索与分系统跟踪标准偏差 σ_{il} 和电视跟踪与测量分系统跟踪标准偏差 σ_w 。由于 x_0 测量偏差造成的激光引偏角测量不确定度分量:

$$\sigma_{x_0} = -k \sqrt{\sigma_{il}^2 + \sigma_w^2} \quad (5)$$

由式(1):

$$\frac{\partial f}{\partial x_1} dx_1 = k dx_1$$

dx_1 为激光搜索与分系统跟踪标准偏差 σ_{il} 和电视跟踪与测量分系统坐标值读取标准偏差 σ_n 。由于 x_1 测量偏差造成的激光引偏角测量不确定度分量:

$$\sigma_{x_1} = k \sqrt{\sigma_{il}^2 + \sigma_n^2} \quad (6)$$

由式(3),激光引偏角合成不确定度:

$$u_c(\alpha) = \sqrt{\sigma_k^2 + \sigma_{x_0}^2 + \sigma_{x_1}^2}$$

由式(4)~式(6)得:

$$u_c(\alpha) = \sqrt{(x_1 - x_0)^2 \left(\frac{1}{N_h} \sigma_A - \frac{A}{N_h^2} \sigma_N \right)^2 + k^2 (2\sigma_{il} + \sigma_w + \sigma_n)}$$

取区间置信度水平为 95%,则激光引偏角测量扩展不确定度为:

$$U = 2 \sqrt{(x_1 - x_0)^2 \left(\frac{1}{N_h} \sigma_A - \frac{A}{N_h^2} \sigma_N \right)^2 + k^2 (2\sigma_{il} + \sigma_w + \sigma_n)}$$

根据水平方向激光引偏角测量不确定度分析方法,由式(2)可进行俯仰方向激光引偏角测量不确定度分析。

4 结束语

激光引偏角测量扩展不确定度主要由电视跟踪

与测量模块码当量标定转台测角标准偏差、电视跟踪与测量模块像素数读取标准偏差、激光搜索与跟踪模块跟踪标准偏差、电视跟踪与测量模块跟踪标准偏差、电视跟踪与测量模块坐标值读取标准偏差确定。为了降低激光引偏角测量不确定度,在进行电视跟踪与测量模块码当量标定时,应使用高精度转台对测量过程中所使用的电视视场对应的码当量进行标定;在进行激光引偏角测量过程中,使用激光目标指示器照射目标时,应选择目标特征明显的位置进行照射,并保持照射光斑位置稳定;在满足测量要求条件下,应使用 CCD 摄像机窄视场进行测试,并保持测试过程中视场不变。报告激光引偏角测量结果时,除报告测量数值外,还应报告测量的扩展不确定度。

参考文献:

- [1] Ye Shengxiang. The technique of electro-optical jamming and protecting system [M]. Beijing: National Defence Industry Press, 2005. (in Chinese)
叶盛祥. 光电干扰防护系统技术 [M]. 北京: 国防工业出版社, 2005.
- [2] Mei Suisheng. Optoelectric technology [M]. Beijing: National Defence Industry Press, 2008. (in Chinese)
梅遂生. 光电子技术 [M]. 北京: 国防工业出版社, 2008.
- [3] Ye Depei. Uncertainty of measurement [M]. Beijing: National Defence Industry Press, 2001. (in Chinese)
叶德培. 测量不确定度 [M]. 北京: 国防工业出版社, 2001.