

·光电系统·

集成化光电靶标对光电跟踪设备标校方法研究

王继光, 李金亮, 白云塔, 高文静

(91404部队, 河北 秦皇岛 066000)

摘要: 为了提高光电跟踪设备测量精度, 设计利用集成化光电靶标, 对光电跟踪设备的多个参数的外场标校方法进行研究。标校涉及电视、红外、激光测距等多个部分, 采用像素分析的方法, 可以较精确地对光电跟踪设备的多个指标进行标校和误差修正, 并给出了某些参数的修正结果。其多光轴平行性优于0.2 mrad。外场标校贴近实际, 具有较高置信度。

关键词: 光电靶标; 光电跟踪设备; 标校方法; 误差修正; 光轴一致性

中图分类号: TN29

文献标识码: A

文章编号: 1673-1255(2013)-02-0009-04

Research on Calibrating Method of Photo-electric Tracing Equipment Using Integrated Photo-electric Target

Wang Ji-guang, Li Jin-liang, Bai Yun-ta, Gao Wen-jing

(91404 army unit, Qinhuangdao 066000, China)

Abstract: In order to improve the measurement accuracy of photo-electric tracing equipment, the calibration method of several parameters of the photo-electric tracing equipment is studied by using integrated photo-electric target in the field. The calibration involves TV, IR and Laser ranging. Pixel analysis is used so that multiple indicators of photo-electric tracing equipment can be calibrated and corrected more accurately. The correction results of some parameters are given out. The optical axis parallelism is better than 0.2 mrad. The field calibration is close to the real. Therefore, it has a higher degree of confidence than indoor.

Key words: photo-electric target; photo-electric tracing equipment; calibrating method; error-correct; optical axis parallelism

光电跟踪设备以电视、红外成像和激光测距机加伺服机构, 可以对目标进行精确定位与跟踪, 其标校和修正对提高测量精度有重要意义。在野外, 针对不同气象和环境条件, 测量设备的标校比室内更加困难。

多个文献论述了多光轴不平行性的室内测量方法^[1-3]。高文静等研究了大口径平行光管在光轴平行性测量的应用^[4]。史学舜等提出了一种光电跟踪仪光轴一致性测量装置^[5]。在野外环境下, 李建超等设计了激光可见光两光轴检测装置^[6]。文中设计利用集成化光电靶标, 对光电跟踪设备的空间分辨角

度、光轴一致性和最大作用距离等参数的外场标校进行了研究。

1 集成化光电靶标的组成和原理

集成化光电靶标包括电视无源标、电视有源标、红外有源标、激光无源标和激光有源标等, 主要用于远场对准和标校, 精度和稳定度较高, 可以对电视、红外、激光等光电设备进行标校。

图1为集成化光电靶标的组成及原理图^[7]。其中, 红外有源标相当于一个可以精确调节温度的黑体。激光无源标相当于角反射体, 电视有源标一般

由带定向反射镜的可见光源构成,激光有源标发射激光引导信号,对被测设备进行引导,使其对准靶标。以红外有源标为基准,其光轴作为系统光轴,几个分靶标之间光轴平行。各靶标固定级联在伺服转台上,可以实现不同角度的调节。

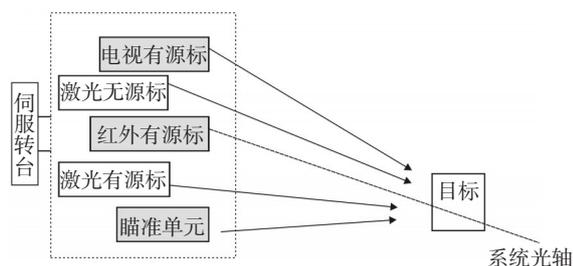


图1 集成化光电靶标的组成及原理

2 利用光电靶标对光电跟踪设备的标校

集成光电靶标按照严格的标准进行安装,其水平度、光轴一致性等指标要求严格。一般这种靶标是为了远场光电设备的校准设立,通常建在海拔高、视野开阔、可视性好的位置。

2.1 最小可分辨温差 MRTD

针对红外热像仪的最小可分辨温差检测,通常采用标准的周期测试图案,4杆,每杆纵横比7:1。图2为周期测试靶示意图。

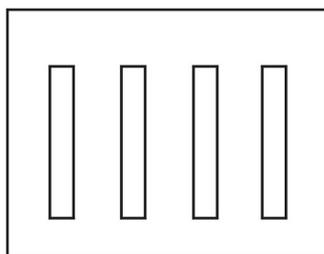


图2 标准的周期测试

红外靶标的研究比较成熟^[8-9]。采用一种可进行温度调节的标准黑体靶板,形状为正方形,温度调节精度为 1° 。采用在辐射面覆盖周期测试板的方法测量,距离选择为500 m。周期测试板采用杆镂空的绝缘不透明材料,调节红外靶标温度,使其与周期测试板温差由负到正逐渐变化。光电跟踪设备红外热像仪对准周期测试板,用小视场测量,使测试板在红外热像仪上成比较大的像,红外图像处理能分辨出测试杆时,这个温差即为最小可分辨温差。

2.2 空间分辨率

测量空间分辨率在近场一般采用如图3所示的逐次加宽的方形杆,采用百分比分辨率表示空间分辨特性。百分比分辨率的定义: $R=A_b/A$, A_b 为对某一特定尺寸的杆,仪器测出它与背景板之间的峰-峰值; A 为环境板和目标源之间仪器测出的峰-峰值。改变被测系统与靶板之间的距离,就可以得到百分比分辨率和瞬时视场之间的关系, $\theta=S/L$, S 为靶标尺寸。

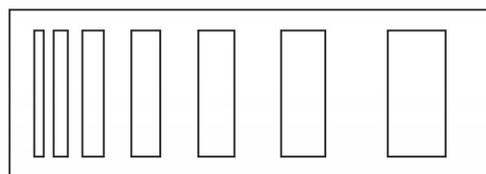


图3 空间分辨率测试方形杆

在外场测试中,近距离测量,选择空间分辨率板,材质选择不透明的绝缘材料,其中的方形杆用镂空替代。镂空分辨率板固定在红外有源标的前面,方形杆和周围形成温度差。光电跟踪设备对准靶标,对获得图像进行处理,得到最小可分辨间隔 S ,并以高度仪记录设备布站高度,以激光测距测出与靶标距离 L ,就可以得到最小可分辨率 $\theta=S/L$ 。改变与靶标之间的距离,可以得到不同的 θ 。理论上,最小分辨率不随距离变化,但是由于测量误差等原因,在较远距离测得的最小分辨率准确度高。空间分辨率测试布站示意图如图4所示。

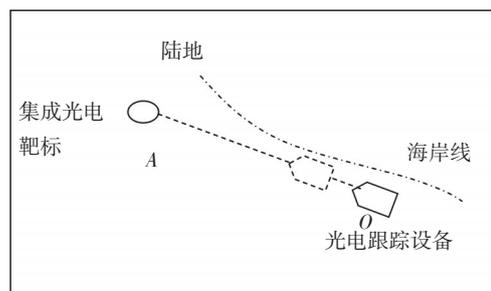


图4 空间分辨率测试布站示意图

2.3 光轴一致性标校

设红外视场中心与系统轴重合。以红外热像仪的视场中心作为基准,采用质心方式,图像中心对准红外有源标并稳定跟踪;记录红外图像,同时记录电视图像,以电视通道测量红外有源标和电视标之间

的角度;测量系统对激光无源标可以稳定测距,靶标激光探测器可准确探测测距信号,则认为激光轴与红外轴平行。布站方式与分辨率测试相同。

以最小视场为例,容易计算得红外有源标与电视标都在视场内,于是两个标在各视场都能成像。如图5所示。

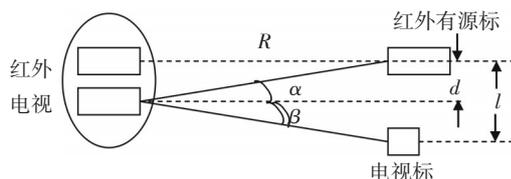


图5 红外、电视光轴一致性示意图

$$\begin{aligned} \tan \alpha &= \frac{d}{R} \\ \tan \beta &= \frac{l-d}{R} \end{aligned} \quad (1)$$

当 $d=0.3 \text{ m}$, $R=3 \text{ km}$, $\alpha=0.0057^\circ=0.1 \text{ mard}$, β 也是这个量级。电视最小视场为 1° , 582 个像素, 所以红外和电视通道光轴平行时测量目标位置相差 $\frac{\alpha}{1^\circ} \times 582 = 3.3$ 像素。

$l=11d$, 即 $\beta=10\alpha$ 时, 红外和电视标垂直距离为 36 个像素, 此时两光轴平行。如图6所示。

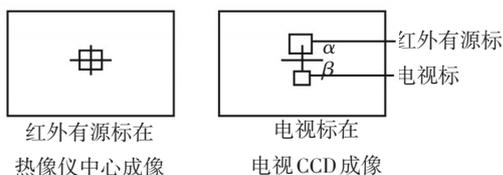


图6 红外、电视标在探测器的成像

不同距离测得数据如表1所示。

表1 不同距离靶标之间对应的角度

距离 R (km)	α	α 对应 像素	β	β 对应 像素	电视和红外 标距离 (像素)
3	0.0057°	3	0.057°	33	36
4	0.0043°	2.5	0.043°	25	27
5	0.0034°	2	0.034°	20	22
6	0.0029°	1.6	0.029°	16	17
8	0.0021°	1.2	0.021°	12	13
10	0.0017°	1	0.017°	10	11

从以上理论计算可知, 在较近距离, 电视和红外通道对同一目标的位置测量差别明显, 距离越远, 这

种差别越小。

2.4 最大作用距离

对于光电跟踪设备, 其通过红外成像或电视跟踪目标, 其作用距离取决于目标的辐射能量和目标的大小, 分为探测距离和识别距离。

目标对红外系统光学入瞳中心的张角小于系统的瞬时视场角时, 可视为点源, 对于热成像系统, 只要目标像占据探测器的一个像元, 并且信号足够大就可予以探测。无背景辐射下的作用距离为^[10]

$$R = \sqrt{\frac{D^* L_t A_t A_0 k}{(A_d \cdot \Delta f)^2 \left(\frac{U_s}{U_n}\right)}} \quad (2)$$

均匀背景下的作用距离表示为

$$R = \sqrt{\frac{D^* A_t A_0 (L_t k - L_b k_b)}{(A_d \cdot \Delta f)^2 \left(\frac{U_s}{U_n}\right)}} \quad (3)$$

其中, L_t 为目标辐射亮度; A_t 为目标的有效辐射面积; A_0 为红外光学系统有效接收面积; A_d 为探测器光敏面积; D^* 为探测器探测率; D^*_{\max} 为探测器最大探测率; Δf 为探测器电路带宽; U_s 为信号幅度; U_n 为均方根噪声幅度; k 为红外系统对实际辐射体辐射功率的利用系数, 正比于大气透过率; L_b 为背景辐射亮度; k_b 为背景辐射功率的利用系数; $(A_d \cdot \Delta f)^2 \propto NEP$ (噪声等效功率)。到达最大作用距离探测时, 信号幅度达到一个最小值。式中的变量仅仅是 R 和 $L_t k - L_b k_b$, 可以得到

$$R^2 \propto L_t k - L_b k_b \quad (4)$$

背景辐射在目标面和探测器面可以看作是相等的, 即 $L_b k_b$ 为不变量。目标辐射在探测器上的能量可以用本身的能量辐射与大气透过率的乘积来表示

$$W = W_0 \tau \quad (5)$$

$$k \propto \tau \quad (6)$$

对固定探测器, 目标成像灰度 H 与辐射量 $L_t k - L_b k_b$ 的关系确定。

实际测量时, 首先确定透过率与距离的关系。固定红外有源靶标的温度, 结合图所示, 探测距离由小到大, 每隔一个距离测量一个灰度, 直至目标与背景不能分辨。红外有源标在图像上随距离成像灰度不同, 每个距离上的接收能量即可得到, 可以根据接收能量与距离关系, 进行曲线拟合得到透过率与距离的关系。

固定测试距离,改变红外有源靶的温度,根据探测到的辐射量的变化可以确定背景辐射 $L_b k_b$

$$\begin{cases} W_1 = a(L_1 k - L_b k_b) \\ W_2 = a(L_{21} k - L_b k_b) \\ \vdots \\ W_n = a(L_n k - L_b k_b) \end{cases} \quad (7)$$

不同的目标有不同的辐射特性,其红外表征由温度决定。调节红外有源靶的温度,在每个温度上,按照距离由小到大进行探测,直到目标和背景不能分辨,得到每个温度辐射下的作用距离。测试红外热像仪在不同目标辐射下的作用距离。

作用距离包括探测距离和识别距离。探测距离是指在某一个像元上能够有能量响应时的距离,识别距离则是在多个像元上有响应时的距离,响应的像元能够表达出某型目标红外特征^[11]。

3 结 论

文中利用集成光电靶标,在外场条件下,对光电跟踪设备的多种指标的标校方法进行了研究。对于实际测量误差做了修正。测量采用了像素分析的方法,光轴平行度测量精度优于0.2 mrad。

参考文献

[1] 金伟其,王霞,张齐扬,等.多光轴一致性检测技术进展及

其分析[J].红外与激光工程,2010,39(3):526-531.

- [2] 马世帮,杨红,杨照金,等.光电系统多光轴平行性校准方法的研究[J].应用光学,2011,32(5):917-921.
- [3] 高滨,刘朝晖,侯年仓.多光学测试设备光轴不一致性测量计算的研究[J].科学技术与工程,2007,21(7):5539-5543.
- [4] 高文静,窦茂森,李金亮.大口径平行光管在多光轴探测器光轴平行性测量中的应用[J].光电技术应用,2009,24(4):32-40.
- [5] 史学舜,胡光亮,崔鹏,等.光电跟踪仪光轴一致性测量装置[J].宇航计测技术,2012,32(1):45-48.
- [6] 李建超,高明,苏俊宏.外场激光可见光光轴检测装置[J].激光与红外,2011,41(3):293-297.
- [7] 郑均杰,张镭,李杰然.光电综合标校系统光轴平行度标校方法[J].舰船电子对抗,2011,35(5):47-49.
- [8] 许伟,刘丽.红外靶标的研制与应用[J].光电技术应用,2004,19(3):19-24.
- [9] 杨雷,王铁岭,安莹.主动式红外光电靶的研究[J].现代电子技术,2004,4(171):52-55.
- [10] 梅遂生等.光电子技术[M].北京:国防工业出版社,2008:178-181,324-325.
- [11] 姜宏斌.舰载红外警戒系统中的距离估算[J].红外与毫米波学报,1999,18(6):438-441.
- [12] 高文静,窦茂森,李金亮,等.海面水雾对激光传输的影响分析[J].激光技术,2011,35(5):645-646.

《光电技术应用》期刊网站简介

《光电技术应用》期刊网站的网址为: <http://www.gdjsyy.com>。网站设有:期刊介绍、资质荣誉、编委会、版权声明、征稿简则、征订启事、联系方式等栏目。通过上述栏目,作者与读者可对期刊基本情况和编辑部工作有进一步了解。

为方便作者投稿,网站设立了期刊的投稿指南及论文格式模板。投稿指南从文章的题名、摘要、引言、结语、参考文献等几个部分提出对所投稿件(文章)的要求、编写方法、应注意的问题等,供作者参考。论文格式模板以本刊一篇已发表的文章为例,对刊载文章的体例、格式及部分基本要求进行了较为详细的说明(采用红色说明文字),以节省文章编辑修改时间,提高录用的时效。

《光电技术应用》期刊的电子邮箱为: nloe@vip.163.com。热诚欢迎广大作者踊跃投稿。