

·测试、试验与仿真·

经纬仪布站位置对交会测量结果影响的分析

刘鑫伟¹, 王 铎¹, 杨健强²

(1. 海军航空工程学院, 山东 烟台 264001; 2. 中国人民解放军驻三三零三厂军代室, 湖北 武汉 430200)

摘要:以靶场交会测量中常用的L公式为基础, 结合误差传递定律, 得出目标空间位置的测量误差公式。然后, 设置4个不同测站, 以一条理想航迹为测量对象, 分别得到不同测站两两交会测量结果的误差曲线。对不同位置的双站交会结果以及它们之间的对比等5种基本情况进行了详尽的对比分析, 得到了不同布站位置对双站交会测量结果的影响, 研究结果对实际工程应用中的经纬仪布站有重要参考价值。

关键词:光电经纬仪; L公式; 交会测量; 布站

中图分类号: TN953

文献标识码: A

文章编号: 1673-1255(2012)05-0064-05

Analysis of Theodolites Distribution Influenced on Intersection Measurement Results

LIU Xin-wei¹, WANG Duo¹, YANG Jian-qiang²

(1. Naval Aeronautical and Astronautical University, Yantai 264001, China; 2. People's Liberation Army Military Representative Office in 3303 factory, WuHan 430200, China)

Abstract: Based on formula L commonly used at intersection measurement in ranges and combined with the law of error transfer, measurement error formula of the position of a target is obtained. Then four different stations are set up with an ideal flight path as measuring. The error curves of measurement results with double intersection mode from different measurement stations can respectively obtained. Five basic statuses such as the intersection result of double stations at different positions, comparisons of them etc. are analyzed and compared in detail. The measurement result of double stations intersection is influenced by station distribution. It's the important reference value to station distribution of theodolites in actual engineering application.

Key words: electro-optic theodolite; formula L; intersection measurement; station distribution

光电经纬仪是采用光电技术, 具有实时测量和自动跟踪功能的一种电影经纬仪, 是迄今为止在空间目标定位测量中精度最高的航迹测量系统^[1]。光电经纬仪以其具有测量精度高、直观性强、性能稳定可靠、不受“黑障区”和地面杂波干扰影响等优点, 被广泛应用于航空、航天、武器实验等科研和军事领域中。

传统的单站经纬仪只能获得空间目标的二维坐标信息, 即空间目标所在位置相对于测站的方位角 A 和俯仰角 E 。为了获得目标位置的三维信息, 常以多

站交会的方式测量确定目标的空间位置^[2]。近年来, 随着激光、雷达等测距技术的快速发展, 加装了激光测距机或脉冲雷达的光电经纬仪, 在测得目标方位角和高低角的同时也能测出其斜距 R , 进而实时测得目标的空间位置, 实现单站定位测量^[3]。虽然, 单台经纬仪能够实现定位测量, 但因为交会测量所得的数据精度高, 使用多台经纬仪交会测量仍然具有实用性。

收稿日期: 2012-08-15

基金项目: 国家自然科学基金(60674090)

作者简介: 刘鑫伟(1988-), 男, 河南新乡人, 硕士研究生, 研究方向为模式识别与智能控制、测控技术。

文中设置4个站点位置,以一条理想航迹为测量对象,分别得到不同测站两两交会测量结果的误差曲线。双站交会测量时两测站的布站位置相对于航迹分为多种情况,文中详细分析、对比了不同布站位置对测量结果的影响^[4-6]。分析结果具有一定的应用价值。

1 两台经纬仪交会测量方法

假设发射坐标系为 $O-xyz$,测站及待测目标的空间位置如图1所示。 $O_1(x_1, y_1, z_1)$ 、 $O_2(x_2, y_2, z_2)$ 为已知经纬仪站点位置, $M(x_m, y_m, z_m)$ 为待测目标的空间位置。两台经纬仪测得目标的方位角和俯仰角分别为 α_i 和 $\lambda_i(i=1,2)$ 。

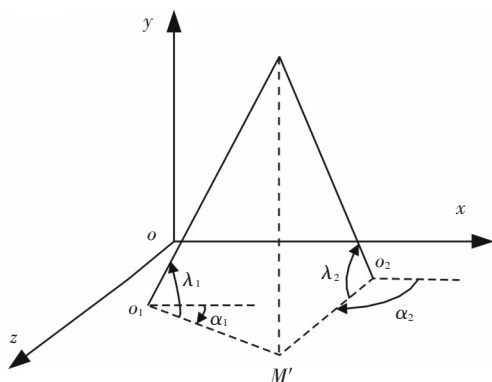


图1 交会测量方法

两台经纬仪进行交会测量,根据立体几何知识,可用多种方法计算求得 $M(x_m, y_m, z_m)$ 点坐标。式(1)给出利用“水平投影法—《L》公式”给出一组测量结果为^[7,8]

$$\begin{cases} x_m = x_1 + \Delta x \\ y_m = y_1 + \frac{\Delta x}{\cos \alpha_1} \tan \lambda_1 \\ z_m = z_1 + \Delta x \tan \alpha_1 \end{cases} \quad (1)$$

式中, $\Delta x = \frac{(x_1 - x_2) \tan \alpha_1 - (z_1 - z_2)}{\tan \alpha_1 - \tan \alpha_2}$ 。

2 交会测量误差分析

在式(1)中,目标 $M(x_m, y_m, z_m)$ 的3个坐标分量 x_m 、 y_m 、 z_m 分别是已知量 $x_1, y_1, z_1, x_2, y_2, z_2, \alpha_1, \alpha_2, \lambda_1$ 的函数。用 $\sigma_\alpha, \sigma_\lambda$ 分别表示经纬仪的方位角和俯仰角测量误差,忽略大地测量误差,根据误差传递法则得到目标空间位置的测量误差^[9,10]

$$\begin{cases} \sigma_{x_m} = [(\frac{\partial x_m}{\partial \alpha_1})^2 \sigma_{\alpha_1}^2 + (\frac{\partial x_m}{\partial \alpha_2})^2 \sigma_{\alpha_2}^2]^{1/2} \\ \sigma_{y_m} = [(\frac{\partial y_m}{\partial \alpha_1})^2 \sigma_{\alpha_1}^2 + (\frac{\partial y_m}{\partial \alpha_2})^2 \sigma_{\alpha_2}^2 + (\frac{\partial y_m}{\partial \lambda_1})^2 \sigma_{\lambda_1}^2]^{1/2} \\ \sigma_{z_m} = [(\frac{\partial z_m}{\partial \alpha_1})^2 \sigma_{\alpha_1}^2 + (\frac{\partial z_m}{\partial \alpha_2})^2 \sigma_{\alpha_2}^2]^{1/2} \end{cases} \quad (2)$$

若令 $\sigma_{\alpha_1} = \sigma_{\alpha_2} = \sigma_{\lambda_1} = \sigma_\alpha$, 则式(2)变为

$$\begin{cases} \sigma_{x_m} = [(\frac{\partial x_m}{\partial \alpha_1})^2 + (\frac{\partial x_m}{\partial \alpha_2})^2]^{1/2} \sigma_\alpha \\ \sigma_{y_m} = [(\frac{\partial y_m}{\partial \alpha_1})^2 + (\frac{\partial y_m}{\partial \alpha_2})^2 + (\frac{\partial y_m}{\partial \lambda_1})^2]^{1/2} \sigma_\alpha \\ \sigma_{z_m} = [(\frac{\partial z_m}{\partial \alpha_1})^2 + (\frac{\partial z_m}{\partial \alpha_2})^2]^{1/2} \sigma_\alpha \end{cases} \quad (3)$$

3 仿真结果及布站分析

根据图2所示仿真流程图^[11],设置了4台经纬仪,其布站位置分别是 $S1(-600, 0, 600)$, $S2(-600, 0, -600)$, $S3(600, 0, -600)$, $S4(600, 0, 600)$, 单位:m。航迹 L 设置: y 轴(航高)取为500 m, z 轴取为0 m, x 轴变化范围为-1 500~1 500 m,如图3所示。图3中虚线 L 代表航迹在坐标平面 $O-xz$ 内的投影。经纬仪

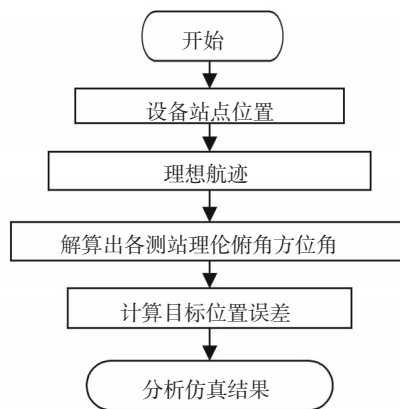


图2 仿真方法流程图

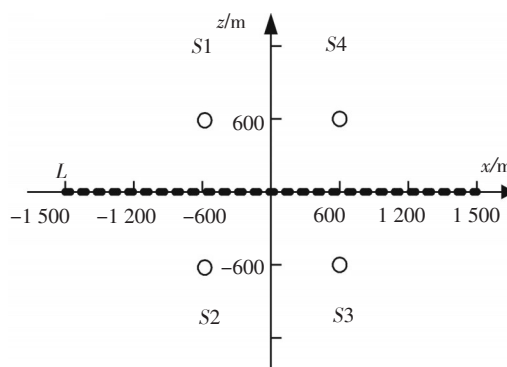


图3 测站位置及航迹分布图

方位角和俯仰角的测角精度均取±10个角秒^[12,13]。

仿真求解过程中,利用由理论航迹解算出来的俯仰角和方位角,根据式(3),容易得到目标实时位置的测量精度。仿真过程中均方差均取正值(考虑负值时可得到同样的结果,故可做简化处理)。

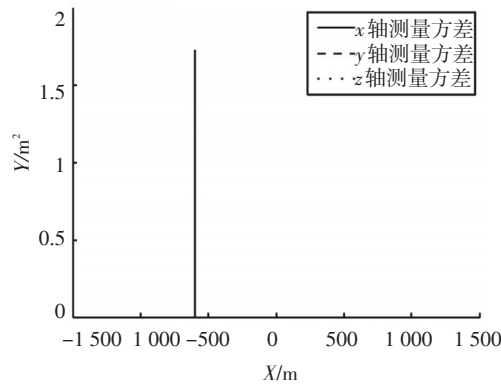
仿真分析过程中,测量精度表示仪器本身测量时误差的偏离程度,为达到更好的分析效果,文中取测量精度绝对值的最大值(多次仿真试验表明取其他值可得到相同的结论,但分析效果不明显)做仿真分析。由于单次测量时方位角和俯仰角的测量误差都是随机的,但是可将其分布规律近似视为正态分布,因此可用正态分布仿真实测测量误差分布。

3.1 对1、2站测量结果进行分析

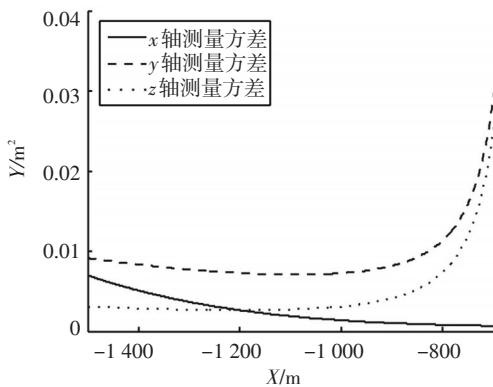
图4所示为测站1、2交会测量误差。图4中,横轴代表图3中的x轴坐标,纵轴代表交会测量误差的平方。图4a为全局误差,图4b、图4c、图4d三幅图分别为不同横坐标下的局部误差。

对比4幅图分析结果如下:

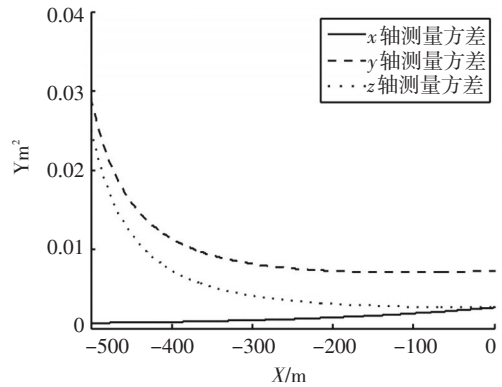
(1)由图4a可得,测量误差在基线-600 m附近测量误差较大,出现奇异值;



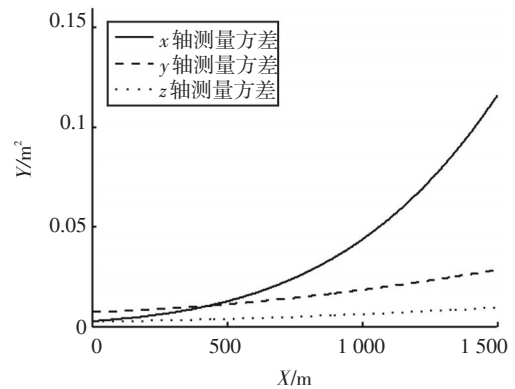
(a) 横轴取值范围:(-1 500, 1 500)



(b) 横轴取值范围:(-1 500, -700)



(c) 横轴取值范围:(-500, 0)



(d) 横轴取值范围:(0, 1 500)

图4 不同坐标轴区间上测站1、2交会测量结果(单位:m)

(2)由图4b可得,测量误差在区间(-900,-800)上递增幅度开始变快;

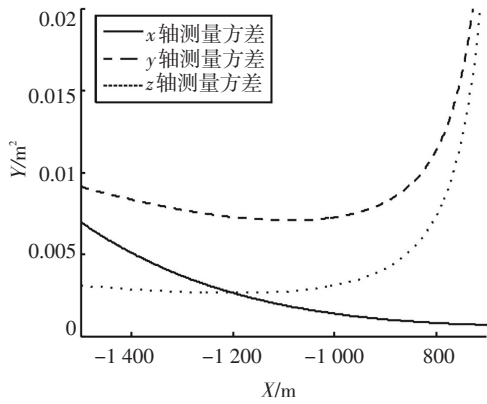
(3)由图4c可得,测量误差在区间(-400,-300)上递减幅度逐渐变慢;

(4)由图4d可得,测量误差在区间(400,500)上递增速度开始加快。

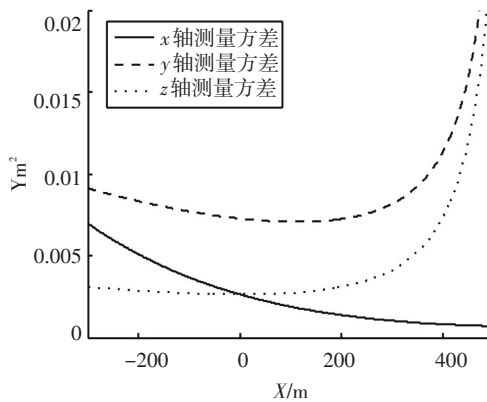
3.2 对测站1、2站和3、4站测量误差对比分析

测站3、4可看作是由测站1、2经向量(1 200, 0, 0)平移得到,也可看作是由测站1、2以z轴为对称轴,对称分布得到。因此可以预测两种交会测量结果不仅具有平移关系而且具有对称关系。仿真验证结果如图5所示。

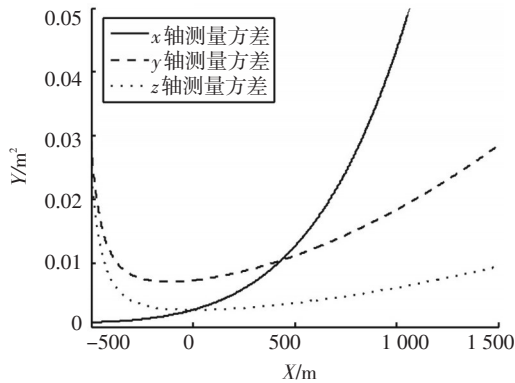
通过分析对比图5a与图5b两幅图发现,两图中仅仅是横坐标不同,测量误差变化相同,验证了上文中所提出的平移关系;通过分析对比图5c与图5d两幅图发现,测量误差变化规律左右对称分布,验证了对称关系。



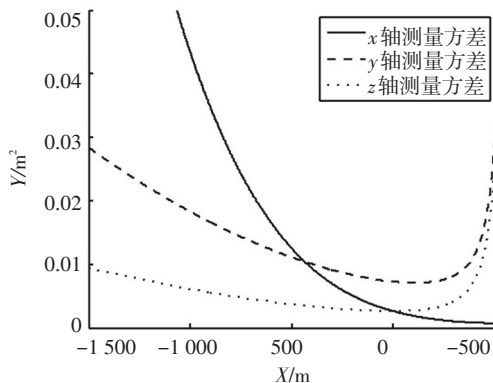
(a) 测站1、2交会测量结果



(b) 测站3、4交会测量结果



(c) 测站1、2交会测量结果



(d) 测站3、4交会测量结果

图5 对比测站1、2与测站3、4测量结果

3.3 对1、4站测量结果进行分析

本例所选测站1、4位于航迹的同一侧,交会测量误差如图6所示。

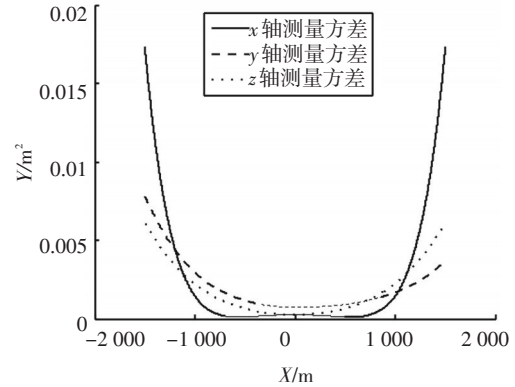


图6 测站1、4交会测量结果

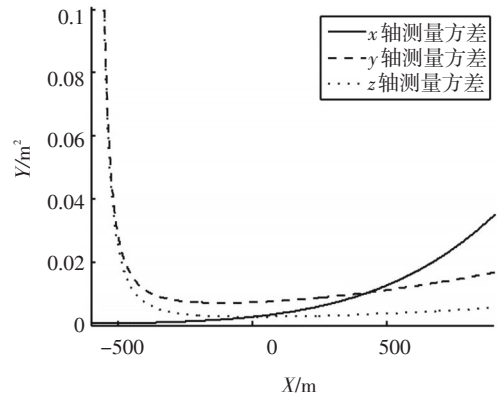
由图6分析可得:

- (1)测量误差在区间(-1 000,1 000)上幅值较小且变化平稳;
- (2)在区间(-1 500,-1 000)和(1 000,1 500)上幅值较大且递增(减)幅度较大。

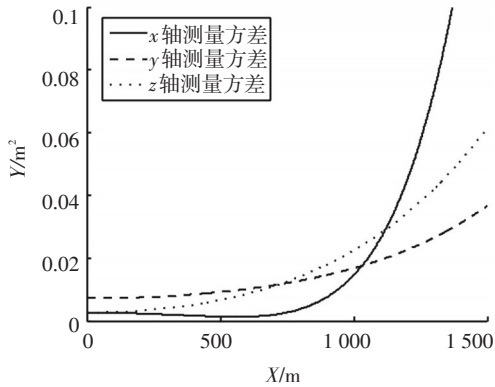
3.4 对测站1、2站和1、4站测量误差对比分析

在图3测站位置及航迹分布图中可以看出,所设理想航迹从测站1、2基线穿过;对于测站1、4,航迹位于其基线的同一侧。交会测量误差如图7所示,图7a中横坐标取区间(-600,900),纵坐标取0.1;图7b中横坐标取区间(0,1 500),纵坐标也取0.1。由图7分析可得:

- (1)测站1、2所得目标误差除基线-600 m附近以外,其他区间误差相对于测站1、4来讲,幅值较小且变化平稳;



(a) 测站1、2交会测量结果



(b) 测站1、4交会测量结果

图7 交会测量误差对比分析图

(2)测站1、4所得结果中没有奇异点存在,相对于测站1、2来讲,测站与目标之间的距离是影响其误差幅值大小及变化快慢的重要因素之一。

3.5 对1、3站测量结果进行分析

测站1、3交会测量结果如图8所示。

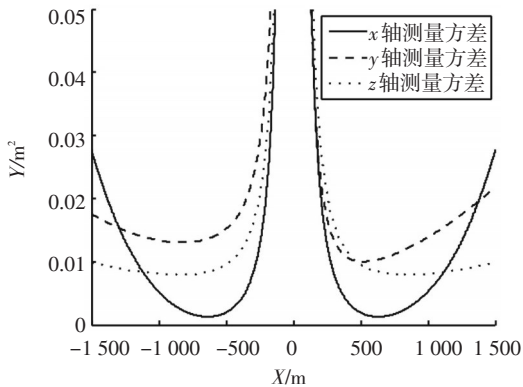


图8 测站1、3交会测量结果

在平面坐标系 $O-xz$ 中,测站1与测站3的基线横穿坐标原点,航迹的投影在也经过坐标原点,因此,测站1、3交会测量结果本应以直线 $x=0$ 为轴对称分布,但观察图8中测量结果并非如此。

经分析可得,造成以上结果的两点主要原因是:(1)两测站进行交会测量时,同一时刻至少可获取4个测量数据,而目标位置坐标中待求参数只有3个,存在数据冗余。(2)1、3交会测量时利用了测站1的俯仰角信息,而此信息在对测站3附近区域进行测量时灵敏度比对测站1附近区域进行测量时的灵敏度高。

4 结束语

对经纬仪交会测量的“水平投影法—《L》公式”进行误差仿真分析,通过仿真得到不同测站位置对同一航迹交会测量的不同误差。通过对比、分析,得到不同布站位置对测量结果的影响,所得结果具有一定的应用价值。对于双站交会测量,仍有以下几个问题有待于进一步继续深入研究:首先,交会测量时如何解决基线处存在的奇异值问题;其次,寻找更优的交会算法来提高测量精度和实时性。

参考文献

- [1] 刘利生. 外测数据事后处理[M]. 北京:国防工业出版社, 2000.
- [2] 陈森. 靶场光测定位方法研究与应用[D]. 长沙:国防科技大学研究生院, 2006.
- [3] 吴能伟. 经纬仪实时引导的研究[D]. 长春:中科院长春光学精密机械与物理研究所, 2003.
- [4] 崔书华, 胡绍林, 李果. 光电经纬仪布站分析及优化[J]. 光学与光电技术, 2007, 5(5): 12-15.
- [5] 谭振江, 郭丽虹, 于涌, 等. 经纬仪目标交汇测量及航迹曲线拟合[J]. 光电工程, 2002, 29(6): 17-20.
- [6] 石彦召, 朱新华, 郑百源, 等. 基于光电经纬仪的布站研究[J]. 探测与控制学报, 2009, 31(Z1): 86-89.
- [7] 张玲霞, 马彩文, 刘轶, 等. 靶场光电经纬仪多台交会测量的融合处理及其仿真分析[J]. 光子学报, 2002, 31(12): 1528-1532.
- [8] 张玲霞, 马彩文. 靶场光电经纬仪多台交会测量数据的一种处理方法[J]. 测绘学报, 2003, 32(2): 139-142.
- [9] 侯宏录, 周德云. 光电经纬仪异面交会测量及组网布站优化设计[J]. 光子学报, 2008, 31(5): 1023-1028.
- [10] 吕帅华, 苏秀琴, 张占鹏, 等. 一种基于高斯牛顿的光电经纬仪交会测量算法[J]. 光电工程, 2006, 33(11): 22-25.
- [11] 周杰, 刘哲, 刘长安, 等. 多台光电经纬仪布站几何的仿真研究[J]. 计算机仿真, 2011, 28(8): 24-28.
- [12] 苏建刚, 战永红, 曾海彬, 等. 雷达与经纬仪独立布站形成单站定位系统的可行性分析[J]. 飞行器测控学报, 2000, 19(1): 1-4.
- [13] 傅晓程, 王小海. 光测设备数据交汇计算方法研究[J]. 浙江大学学报(理学版), 2008, 35(2): 173-177.