

测绘地理信息仪器装备发展研究

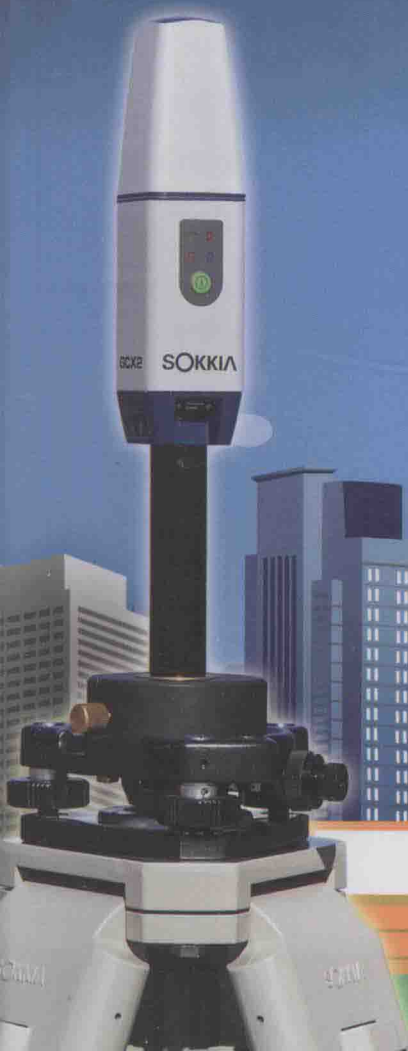
中国测绘地理信息学会仪器装备专业委员会

编

2014



测绘出版社



测绘地理信息仪器装备发展研究 (2014)

中国测绘地理信息学会仪器装备专业委员会 编

测绘出版社

• 北京 •

所有权利(含信息网络传播权)保留,未经许可,不得以任何方式使用。

测绘地理信息仪器装备发展研究/中国测绘地理信息学会
仪器装备专业委员会编. —北京:测绘出版社,2014.11

I. ①测… II. ①中… III. ①测绘仪器—文集

IV.①P204-53

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2014)第 278698 号

出版发行	测绘出版社	电 话	010-83543956(发行部)
地 址	北京市西城区三里河路 50 号		010-68531609(门市部)
邮政编码	100045		010-68531363(编辑部)
电子信箱	smp@sinomaps.com	网 址	www.chinasmp.com
印 刷	北京京华虎彩印刷有限公司	经 销	新华书店
成品规格	210mm×285mm		
印 张	13.5	字 数	400 千字
版 次	2014 年 11 月第 1 版	印 次	2014 年 11 月第 1 次印刷
印 数	0001-1000	定 价	46.00 元

书 号 ISBN 978-7-5030-3588-3/P · 771

本书如有印装质量问题,请与我社联系调换。

编 委 会

顾 问 刘先林

主 编 王 权 齐维君

编 委 (按姓氏拼音为序)

白正玄 陈 新 方爱平 付子傲

郭四清 郭志勇 李 松 李英成

李宗春 廖定海 罗维佳 马建平

沈万君 吴海玲 徐忠阳 赵保卫

前言

测绘地理信息仪器装备已广泛应用于测绘地理空间信息获取、处理和输出等各个环节,是测绘地理信息技术发展不可或缺的重要组成部分。近年来,测绘地理信息产业迅速兴起并保持高速增长,仪器装备作为获取测绘地理信息数据的主要工具,对推动测绘地理信息产业发展发挥着至关重要的作用。发展测绘地理信息仪器装备,促进其技术进步,保持其各项技术指标和整体性能满足测绘地理信息工作要求是测绘地理信息重点工作之一。

中国测绘地理信息学会仪器装备专业委员会围绕测绘地理信息仪器装备的“产学研用与检测”开展学术交流,活跃学术思想,普及科学知识,传播科学思想。本文集的出版涉及测绘地理信息仪器装备理论与研究、测试与评价、技术与应用等方面,力求为广大青年科研工作者提供一个高质量、高水平和内容广泛的学术交流平台。在此向所有为本文集积极撰稿和出版做出贡献的专家和学者表示衷心的感谢!

中国测绘地理信息学会仪器装备专业委员会

2014年11月

目 录

理论与研究

ISO 17123-3 与 JJG 100—2003 测角精度比较与分析	时健康,史东旭,朱海波,李超,翟清斌(3)
高精度航天器精度测量方法研究	庞亚飞,赵旭枫,林德贵,杜冬(10)
基于散斑干涉的航天器结构微变形测量方法	陶力,杨再华,刘笑,刘涛(16)
激光跟踪仪快速定向方法研究	杨凡,范百兴,李广云,杨再华(20)
角反射器雷达截面积快速计算方法验证与优化设计	翁寅侃,李松,杨晋陵,周辉,田昕,高俊玲,王虹(25)
平行误差对手持式激光测距仪室内检定装置准确度的影响的研究	黄稣,吴健鸥(33)
数码水准标尺激光测长系统研制	万斐,盛丽安娜,葛中华(37)
双飞秒激光频率梳绝对距离测量研究	沈罗丰,吴冠豪(41)
亚米级 GIS 数据采集器校准方法的探讨	杨锐,吴学文,王露露,李桢,许文婧(44)

测试与评价

北斗高精度接收机自动测试技术初探	张锐,石晶,王健,陈澍,任永超,牛犇,杨景秋(51)
地面激光扫描仪检测研究	付子傲,王建波,贾真(57)
多模多频高精度 OEM 板测试接口协议研究	牛犇,任永超,杨景秋,王健,陈澍(63)
高精度数字水准仪测量精度分析与研究	罗官德,闵学鹏,陶茂盛,黄智,种宇,李亚娟(68)
工业测量全站仪检定方法研究	范百兴,包欢,付子傲,杨凡(73)
基于反射率基法的数字航摄影辐射性能检测	丁朋辉,齐维君,方爱平,袁枫,徐寿志(79)
基于互联网授时技术实现全站仪系统时间校对	赵猛(84)
激光跟踪仪动态性能研究	杨凡,范百兴,李广云,杨再华,贾真(87)
激光跟踪仪自校准技术	范百兴,易旺民,李广云,杨凡(91)
绝对编码码盘的检测	龚浩瀚(96)
利用多线阵模式传感器实现立靶参数测量	姚志军,韩秋蕾(99)
瑞格 VZ400 型激光扫描仪测量自然纹理目标内外符合精度分析	邓勇,李宗春,杨振,李丛(105)
数字水准仪系统误差测量不确定度分析	吴秀娟,朱海波,刘安琪(110)
陀螺超站仪测量方法与精度分析	向民志,范百兴,杨凡(113)
陀螺经纬仪准直立方镜建立坐标系方法研究与应用	李丛,杨再华,范百兴,刘浩渺(117)
仪器接口技术及在全站仪自动测试中的应用	赵猛,时健康,史东旭(121)

中高空机载画幅相机调焦检测	周兴义, 蔚素升, 雷虎(124)
---------------------	-------------------

技术与应用

BDS/GPS 短基线载波相位差分处理结果分析	任永超, 牛犇, 陈澍, 杨景秋, 王建(131)
DAV-C 天线主面超大模具摄影测量技术研究	冯其强, 李宗春, 金超(134)
IGPS 系统与经纬仪测量系统集成方案研究	杨振, 范百兴, 邓勇, 李丛(138)
不稳定条件下远距离高精度跨海高程传递方法探索及实施	郭子珍, 常建增(142)
改造 WILD T3 为科研工作服务的一点心得	黄稣, 张光宇(145)
基于单轴光纤陀螺仪的桥梁线形测量方法的可行性研究	李强, 李松, 李子乐, 黄科, 王良训, 王雅培(148)
基于地质灾害应急航摄的无人机红外传感器改制研究	朱国华, 孟超(153)
基于全站仪的管线测量系统	郑慧, 刘德斌, 邢亚兰, 王晶(157)
基于双目立体相机的车载道路资产测量技术研究	游志谦(161)
基于无线网络的单基站移动化 RTK 系统实现	陈澍, 牛犇, 王健, 张绪丰(169)
基于线结构激光和图像识别技术对车辙深度的检测与标定	杨辉(173)
激光垂准仪改进型校准装置的研究	王露露, 杨锟, 吴学文, 李楨(178)
空间大尺寸工业测量技术发展动态	徐忠阳(183)
四系统全频三维扼流圈天线设计	王春华, 吴文平, 王晓辉, 邓文雄(188)
一种复合编码水准标尺原理设计	董忠言, 蒋理兴, 肖凯(192)
一种机载激光雷达定标器的特征点提取算法	肖凯, 蒋理兴, 董忠言(197)
智能化中药资源数据采集与处理系统设计与实现	孙成忠, 陈国岭, 张锐, 郭志勇, 陈澍, 郝振国(205)

理论与研究

ISO 17123-3 与 JJG 100—2003 测角精度比较与分析

时健康, 史东旭, 朱海波, 李 超, 翟清斌

国家光电测距仪检测中心, 北京 100039

摘 要:本文详细介绍了采用 ISO 17123-3 进行全站仪和电子经纬仪角度精度测试的方法, 并给出了利用 ISO 17123-3 方法对 4 台同一型号全站仪进行测试的结果, 同时也给出了利用国家计量检定规程 JJG 100—2003 中的方法对该 4 台全站仪水平角、竖直角检定的检定结果, 并对采用两种标准测试结果进行了分析和比较。
关键词:全站仪; 测角精度; ISO 17123-3; JJG 100—2003

1 引 言

国际标准 ISO 17123 是由国际标准化组织第 172 技术委员会(ISO/TC 172)“光学及光学仪器”第六分委员会(SC6)“大地测量和测量仪器”负责编制的系列标准, 该系列标准规定了在野外进行大地测量和测量仪器测试的方法和步骤, 该标准目前包括以下几个部分:

- (1)Part 1 理论;
- (2)Part 2 水准仪;
- (3)Part 3 经纬仪;
- (4)Part 4 光电测距仪;
- (5)Part 5 全站仪;
- (6)Part 6 激光扫平仪;
- (7)Part 7 光学投点仪;
- (8)Part 8 GNSS 接收机 RTK。

ISO 17123-3 规定了在野外进行经纬仪测角精度测试的方法、步骤、数据处理过程及对测试结果的假设检验, 该标准同样适用于对目前使用更加广泛的电子经纬仪和全站仪测角精度的测试。

目前我国在全站仪、电子经纬仪测角精度检定方面, 执行的国家计量检定规程是 JJG 100—2003《全站型电子速测仪》。在水平角测角精度检定方法上, JJG 100—2003 提供了两种方法, 分别是多齿分度台法和多目标平行光管法; 在竖直角精度方面, JJG 100—2003 中采用的方法是多目标平行光管法。

ISO 17123-3 标准与 JJG 100—2003 相比较, 在环境、测试过程、数据处理方法以及对测试结果判定等几个方面都存在一定的差异, 表 1 给出了两种方法在水平角测试(检定)过程及方法上的差异。

表 1 ISO 17123-3 与 JJG 100—2003 方法的差异

差异点	ISO 17123-3	JJG 100—2003*	
		多齿分度台法	多目标平行光管法
环 境	室外	室内	室内
标准器	无	多齿分度台	稳定的平行光管
观测目标	目标清晰的棱镜, 距离为 100~250 m	平行光管分划板, 距离为无穷远	平行光管分划板, 距离为无穷远
测试方法	分为简单测试和全面测试。简单测试: 4 目标、3 测回; 全面测试: 包括 4 组简单测试, 目标数为 5 个	12 受检点、2 测回	5 个观测目标、6 测回
数据处理	最小二乘法	直接对比法	最小二乘法
限差	根据测试方法不同而不同	1.4"	1.4"
假设检验	对全面测试进行假设检验	不进行假设检验	不进行假设检验

* 以 2"级全站仪为例

为了比较 ISO 17123-3 方法与 JJG 100—2003 中方法在测角精度测试(检定)结果的差异, 我们利用 4

第一作者简介: 时健康(1983—), 男, 主要从事测绘仪器计量检定工作。
邮箱: shijiankang2004@163.com

台同一型号的全站仪分别采用 ISO 17123-3 方法和 JJG 100—2003 中的方法对水平角和竖直角进行了测试。

2 国际标准 ISO 17123-3 测试方法

2.1 一测回水平方向标准偏差测试

2.1.1 测试方法与步骤

国际标准 ISO 17123-3 推荐了两种对一测回水平方向标准偏差进行测试的方法,分别是简单测试和全面测试,本次对 4 台同型号全站仪所进行的一测回水平方向标准偏差测试均采用全面测试。测试按照

ISO 17123-3 推荐的全面测试方法,测试时在室外平坦区域选择 5 个照准目标,测站位于 5 个观测目标的中心位置,每个目标距测站的距离为 140 m(ISO 17123-3 相关要求为 100~250 m)。5 个目标与测站近似等高,且基本均匀分布在水平面上。图 1 为测站与观测目标的分布。

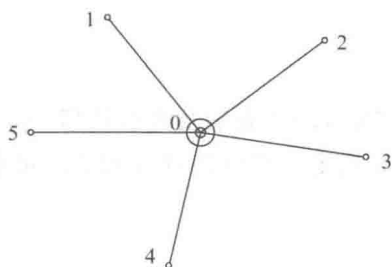


图 1 测站与目标分布

测量时,依据 ISO 17123-3 相关要求,每台仪器都进行 4 组角度观测,每组测量时盘左按照 1、2、3、4、5 的顺序观测,盘右按照 5、4、3、2、1 的顺序观测,以上为一测回,测回间变换度盘读数 60° ,共进行 3 个测回测量。

2.1.2 测试结果计算

在 4 组测量中,每测回方向值用 $x_{j,k}$ 表示,下标 j 表示测回数($j=1,2,3$),下标 k 表示目标数($k=1,2,3,4,5$),计算公式如下。

每测回方向值:

$$x_{j,k} = \frac{x_{j,k,1} + x_{j,k,2} \pm 180^\circ}{2} \quad (1)$$

相对于 1 目标归零后的方向值:

$$x'_{j,k} = x_{j,k} - x_{j,1} \quad (2)$$

第 k 个目标的 3 个测回平均值:

$$\bar{x}_k = \frac{x'_{1,k} + x'_{2,k} + x'_{3,k}}{3} \quad (3)$$

同一方向各测回归零后方向值与平均值之差:

$$d_{j,k} = \bar{x}_k - x'_{j,k} \quad (4)$$

同一测回各方向差值的平均值:

$$\bar{d}_j = \frac{d_{j,1} + d_{j,2} + d_{j,3} + d_{j,4} + d_{j,5}}{5} \quad (5)$$

各测回各方向的残差值:

$$r_{j,k} = d_{j,k} - \bar{d}_j \quad (6)$$

一组测量的检核条件:

$$\sum_{k=1}^5 r_{j,k} = 0 \quad (7)$$

每组测量残差的平方和:

$$\sum r_i^2 = \sum_{j=1}^3 \sum_{k=1}^5 r_{j,k}^2 \quad (8)$$

一组测量的自由度:

$$v_i = (3-1) \times (5-1) = 8 \quad (9)$$

一组测量的一测回水平方向标准偏差:

$$s_i = \sqrt{\frac{\sum r_i^2}{(j-1) \times (k-1)}} \quad (10)$$

由 4 组测量求得的一测回水平方向标准偏差

$$s = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^4 \sum r_i^2}{i \times (j-1) \times (k-1)}} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^4 \sum r_i^2}{32}} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^4 s_i^2}{4}} \quad (11)$$

2.1.3 假设检验方法

采用 ISO 17123-3 中全面测试方法获得试验标准偏差后,必须对试验结果进行假设检验,验证测试结果的正确性和可靠性。

(1)假设测试得到的实验标准偏差 s 小于或等于仪器标称标准偏差或者小于一个预定值 σ 。

$$s \leq \sigma \times \sqrt{\frac{x_{1-\alpha}^2(v)}{v}} = \sigma \times \sqrt{\frac{x_{0.95}^2(32)}{32}} = \sigma \times \sqrt{\frac{46.19}{32}} = \sigma \times 1.20 \quad (12)$$

$$x_{0.95}^2(32) = 46.19 \quad (13)$$

式中, σ 取值通常为全站仪标称的测角精度。

(2)对于两组具有相同的分布概率和自由度的不同试验数据测试结果,检验其是否属于同一总体,相应的假设为 $\sigma = \tilde{\sigma}$,需满足以下条件

$$\frac{1}{F_{1-\frac{\alpha}{2}}(v, v)} \leq \frac{s^2}{\tilde{s}^2} \leq F_{1-\frac{\alpha}{2}}(v, v) \quad (14)$$

$$\frac{1}{F_{0.975}(32, 32)} \leq \frac{s^2}{\tilde{s}^2} \leq F_{0.975}(32, 32) \quad (15)$$

$$F_{0.975}(32, 32) = 2.02 \quad (16)$$

$$0.49 \leq \frac{s^2}{\tilde{s}^2} \leq 2.02 \quad (17)$$

若不满足以上条件,则假设不成立。

2.2 竖直角测角精度测试

2.2.1 测试方法与步骤

国际标准 ISO 17123-3 中推荐了两种对竖直角测角精度进行测试的方法,分别为简单测试和全面测试,本次对 4 台四台同型号全站仪所做的竖直角测角精度测试均为全面测试。

测试按照 ISO 17123-3 推荐的全面测试的方法,在室外距测站 50 m 处竖直方向上布设 4 个目标点。4 个目标点竖直角范围在 $[-18^\circ, 11^\circ]$ 。图 2 为测站与观测目标的分布。

测试时,根据 ISO 17123-3 要求,每台仪器都进行 4 组竖直角观测,每组测量分别盘左、盘右各进行 3 个测回竖直角观测,测回间变换度盘读数 30° 。

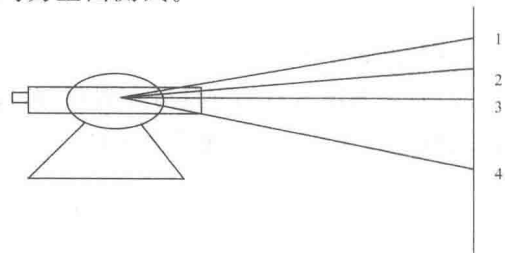


图 2 测站与目标分布

2.2.2 测试结果计算

在 4 组测量中,每测回竖直角用 $x_{j,k}$ 表示,下标 j 表示测回数($j=1, 2, 3$),下标 k 表示目标数($k=1, 2, 3, 4$),计算公式如下。

竖直角计算:

$$x'_{j,k} = \frac{x_{j,k,I} - x_{j,k,II} + 360^\circ}{2} \quad (18)$$

求四组的指标差平均值:

$$d_i = \frac{1}{n \times t} \sum_{j=1}^3 \sum_{k=1}^4 \frac{x_{j,k,I} + x_{j,k,II} - 360^\circ}{2} \quad (19)$$

$$\partial = \frac{1}{4} \sum_{i=1}^4 \partial_i \quad (20)$$

一组测量中每个方向竖直角平均值:

$$\bar{x}_k = \frac{x'_{1,k} + x'_{2,k} + x'_{3,k}}{3} \quad (21)$$

各方向值残差:

$$r_{j,k} = x'_{j,k} - \bar{x}_k \quad (22)$$

各方向值残差之和为零:

$$\sum_{j=1}^3 \sum_{k=1}^4 r_{j,k} = 0 \quad (23)$$

各方向值残差平方和之和:

$$\sum r_i^2 = \sum_{j=1}^3 \sum_{k=1}^4 r_{j,k}^2 \quad (24)$$

一组测量的自由度:

$$v_i = (3-1) \times 4 = 8 \quad (25)$$

一组测量竖直角精度:

$$s_i = \sqrt{\frac{\sum r_i^2}{v_i}} = \sqrt{\frac{\sum r_i^2}{8}} \quad (26)$$

$$v = v_1 \quad (27)$$

$$s = s_1 \quad (28)$$

四组测量的竖直角精度:

$$s = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^4 \sum r_i^2}{v}} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^4 \sum r_i^2}{32}} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^4 s_i^2}{4}} \quad (29)$$

2.2.3 测试结果分析

(1) 假设测试得到的实验标准偏差 s 小于或等于仪器标称标准偏差或者小于一个预定值 σ 。

$$s \leq \sigma \times \sqrt{\frac{x_{1-\alpha}^2(v)}{v}} = \sigma \times \sqrt{\frac{x_{0.95}^2(32)}{32}} = \sigma \times \sqrt{\frac{46.19}{32}} = \sigma \times 1.20 \quad (30)$$

$$x_{0.95}^2(32) = 46.19 \quad (31)$$

否则, 假设不成立。

(2) 对于两组具有相同的分布概率和自由度的不同的试验数据测试结果, 检验其是否属于同一总体, 相应的假设为 $\sigma = \bar{\sigma}$, 需满足以下条件:

$$\frac{1}{F_{1-\frac{\alpha}{2}}(v, v)} \leq \frac{s^2}{\bar{s}^2} \leq F_{1-\frac{\alpha}{2}}(v, v) \quad (32)$$

$$\frac{1}{F_{0.975}(32, 32)} \leq \frac{s^2}{\bar{s}^2} \leq F_{0.975}(32, 32) \quad (33)$$

$$F_{0.975}(32, 32) = 2.02 \quad (34)$$

$$0.49 \leq \frac{s^2}{\bar{s}^2} \leq 2.02 \quad (35)$$

若不满足以上条件, 则假设不成立。

3 测试仪器

所选 4 台测试样机均为国外某知名厂家生产的同一型号 2'' 级全站仪(相关参数见表 2), 为方便描述, 我们分别简称四台仪器依次为 A、B、C、D。

表 2 测试全站仪角度部分相关技术参数

测角精度	2"
测角原理	绝对编码,连续,对径测量
最小读数	0.1"
补偿方式	电子双轴补偿

4 ISO 17123-3 方法的测试结果

表 3 给出了依据 ISO 17123-3 所做的 4 台同型号全站仪的测试结果。

表 3 角度测量精度测试结果

序号	样机编号	角度测量精度/(")	
		一测回水平方向标准偏差	竖直角测角精度
1	A	1.53	0.94
2	B	1.35	0.97
3	C	1.37	1.16
4	D	1.59	1.00

5 JJG 100—2003 方法的检定结果

依据国家计量检定规程 JJG 100—2003《全站型电子速测仪》对 4 台同型号全站仪进行测试的方法为：采用多目标平行光管法,多齿分度台法两种方法进行一测回水平方向标准偏差(水平角测角精度)测试,采用多目标平行光管法进行一测回竖直角测角标准偏差(竖直角测角精度)测试,测试结果见表 4、表 5 所示。

表 4 一测回水平方向标准偏差测试结果

序号	样机编号	一测回水平方向标准偏差/(")		
		多目标平行光管法	多齿分度台法	限差
1	A	0.69	0.91	1.4
2	B	0.70	0.92	
3	C	0.65	0.65	
4	D	1.30	1.02	

表 5 竖直角测角精度测试结果

序号	样机	一测回竖直角测角标准偏差/(")	
		测试结果	限差
1	A	1.08	2
2	B	0.90	
3	C	0.74	
4	D	0.79	

6 两种标准得出测试数据分析

6.1 一测回水平方向标准偏差

从表 6、图 3 可以明显看出国家计量检定规程 JJG 100—2003 提供的两种测试方法之间得出的测试结果不存在明显的差别,而与 ISO 17123-3 比较却有明显的差别。ISO 17123-3 得出的四台样机的测试结果明显大于 JJG 100—2003 的检定结果,其原因在于利用 ISO 17123-3 方法对全站仪角度测试的环境是在室外进行

的,测试条件比 JJG 100—2003 要差,但利用 ISO 17123-3 测试对测试结果的判定限差与 JJG 100—2003 不同,对于 2″全站仪,利用 JJG 100—2003 检定结果限差为 1.4″,而采用 ISO 17123-3 的限差为 2.4″。

表 6 四台样机一测回水平方向标准偏差测试结果比较

样机	测试标准		
	ISO 17123-3	JJG 100—2003	
		多目标法	多齿分度台法
A	1.53	0.69	0.91
B	1.35	0.7	0.92
C	1.37	0.65	0.65
D	1.59	1.3	1.02

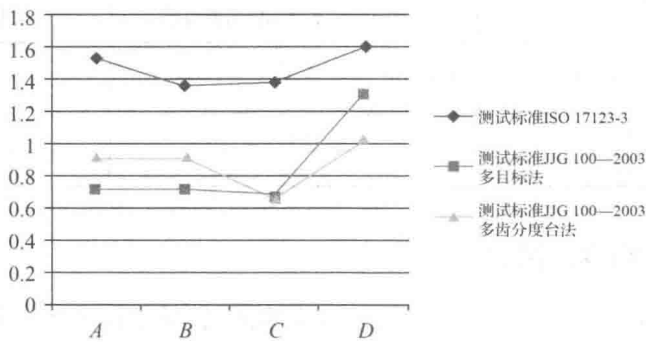


图 3 四台样机一测回水平方向标准偏差变化趋势

6.2 竖直角测角精度

从表 7、图 4 看,两种方法得出的竖直角测角精度不存在明显的差别。原因可能在于,竖直角观测目标采用的是更便于照准的带有十字丝的反射片,有利于消除照准误差;另外架设仪器采用了观测墩,消除了三脚架位移带来的影响。

表 7 竖直角测角精度测试结果比较

样机编号	测试标准	
	ISO 17123-3	JJG 100—2003
A	0.94	1.08
B	0.97	0.9
C	1.16	0.74
D	1.00	0.79

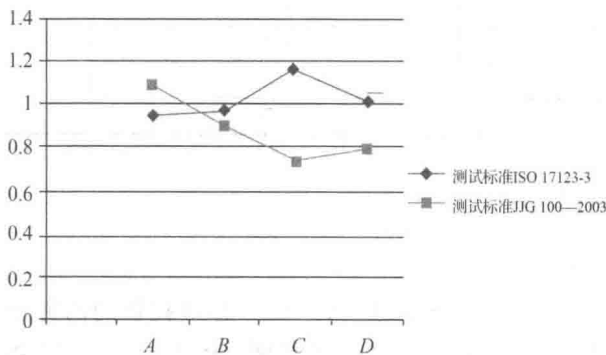


图 4 竖直角测角精度变化趋势

7 结 语

通过测试数据可以看出两种方法水平角测角精度测试结果有所差异,其主要原因分析认为有以下两个方面:

(1)观测目标的清晰度:室外观测受环境影响明显,主要受阳光照射、水平折光、照准误差等方面影响,室内观测采用平行光管,目标光照均匀,十字丝清晰便于照准;

(2)室外测试与相对稳定的室内环境相比受环境影响较大,测试仪器补偿器、观测三脚架受环境影响对角度观测带来一定影响。

通过测试结果可以看出以上 4 台全站仪的测角精度均满足 ISO 17123-3 的相关限差要求,也满足国家计量检定规程 JJG 100—2003《全站型电子速测仪》中的相关限差要求。

参考文献(略)

高精度航天器精度测量方法研究

庞亚飞, 赵旭枫, 林德贵, 杜 冬

上海卫星工程研究所, 上海 200240

摘 要:针对航天器精度测量技术的需求现状,本文阐述了基于光电自准直仪精度测量方法进行卫星有效载荷相对姿态角度测量的原理及优势。该方法使用光电自准直仪替代传统的电子经纬仪精测手段,建立测量坐标系描述有效载荷在公共坐标系的姿态角度,并通过矢量旋转的方法获得有效载荷之间的相对姿态角度关系。文章详细地介绍了该方法的数学原理,分析了测量精度,算例演算表明利用光电自准直仪测试系统可实现角秒级载荷精度测量,并且具有便携性好、使用灵活等优点。

关键词:精度测量;光电自准直仪;高精度;姿态角测量

1 引 言

为保证有效载荷的正常工作和卫星性能指标的实现,必须对有效载荷、姿控系统测量执行部件以及其他系统相关单机的精度在地面总装、试验等过程中进行测量、调整和控制。一般情况下,在结构上设置正六面体棱镜或多面体棱镜,利用棱镜光轴表征被测载荷或单机的物理特性,安装、装配精度测量主要是通过电子经纬仪建站测量实施,需要两台或多台经纬仪分别自准直被测棱镜反射面,再通过经纬仪之间互相瞄准,进而计算出棱镜光轴之间的角度关系。

卫星在轨运行需要星敏感器安装矩阵作为姿态控制参数,卫星在振动试验前后星敏感器安装矩阵的精度变化是考核卫星结构设计的重要指标。近年来高分辨率对地观测需求呈现不断增长的态势,对光学遥感卫星的空间分辨率、时间分辨率、光谱分辨率及定位精度等提出了更高的要求。卫星星敏感器安装矩阵的测量精度从几角分到几十角秒,甚至达到几个角秒。传统电子经纬仪精测方法由于受人为影响因素较大,操作比较复杂、测量环节较多、误差因素复杂,目前测量最高精度可以达到 $\pm 5''$,无法满足角秒级星敏感器安装矩阵精度测量要求。

高精度、自动化、快速测量已成为航天器精度测量的重要发展方向,光电子自准直仪具有测量精度高、适用性强、自动化程度高等优点,已逐渐应用于航天器高精度角度测量领域。本文针对角秒级卫星星敏感器安装矩阵精测需求,介绍了高精度光电自准直仪精测方法的数学原理和潜在优势,并通过数据算例分析了该方法的测量精度及有效性。

2 自准直仪测角原理

光电自准直仪主要用于检测 and 测量小角度偏移量,例如平面度测量、光学装置系统对准调校、热稳定性测量等等,具有非接触、灵敏度高、精度高、实时、快速、自动化程度高等优点。

图1是一种典型的光电自准直仪结构。分划板和光电传感器位于物镜的两个共轭焦平面上。光源经聚光镜均匀照亮分划板,经由分光棱镜、物镜,出射平行光束,遇到反射镜,平行光束返回由物镜汇聚,成像于光电探测器表面。十字分划板是一种广泛使用的分划板,当被测的反射镜偏转时,光电传感器检测出十字回像的移动距离。信号处理系统对光电传感器输出信号进行处理,然后计算出反射镜转角。

当平行光束投射到几乎与射束轴垂直的反射镜上时,十字线图像将处于 CCD 中心位置附近。如果此时将反射镜倾斜某个角度 α ,则反射像会相对原始位置侧向偏移位移 d ,偏移量 d 是倾斜角 α 和物镜焦距 f 的函数:

$$d = 2\alpha f$$

通过 CCD 测出偏移量 d 后,便可计算得出倾斜角 α 。

3 精度测量方法

星敏感器指向的稳定性是影响卫星图像配准精度的重要因素,某卫星将三台星敏感器安装在同一支

第一作者简介: 庞亚飞(1983—),男,博士,主要从事卫星结构与结构特性试验工作。

邮箱: pyf0501@sina.com