

激光扫平仪光束水平误差的检定*

何平安 唐务浩 余长明 杨晋陵

(武汉测绘科技大学光电工程学院,武汉市珞喻路 129号,430079)

摘要 阐述了激光扫平仪光束水平误差的检定方法、激光扫平仪特征方向水平误差及其检测步骤和数据处理方法,给出了精度分析和实测结果。

关键词 激光扫平仪;光束水平误差;误差检定

分类号 p249

激光扫平仪通过五角棱镜的旋转,将垂直的激光束变换为水平方向的扫描线,从而建立起一个大尺寸的平面基准^[1]。它广泛应用于大型建筑工程的施工与装修、机场及公路建设、农田水利建设中自动平整土地以及大型工件形位误差等的测量基准^[1,2]。目前,针对激光扫平仪生产线上的产品检测,国内提出了相应的检测方法^[3,4,5],能解决激光扫平仪生产过程中的检测问题。这些方法都是在专用检测场上进行,但如何在没有专用检测场和检测设备的情况下,对所使用的仪器进行定期自检,并对扫平仪的特征方向水平误差进行定量分析与校正,本文提出了解决问题的办法。该方法简单易行,对检测设备及环境条件的要求不高,精度能满足实际检测的需要,很适合用户对所用仪器的自检。

1 激光扫平仪光束水平误差检定方法

激光扫平仪光束水平误差的测定通常是在室外专门的检定场进行。检定场最好设在阴处,如大楼北侧,以免阳光直射。检定场的长度约需60m,宽度仅需1m,但离建筑物外墙距离不小于2m,以减少大气折光影响。

扫平仪光束水平误差的室外检定方法与水准仪检定方法相似,即在检定场的两端设置仪器测站,在两端点内距仪器5m处设置立尺站。对于永久性检定场,可建造仪器墩,并埋设水准点;对于临时性检定场,则需在立尺处打桩,桩顶打入一钉供立尺用。如有相应长度的水泥平台可供利用,则可在仪器站及尺站处作出相应的标志。为了精确

地读取扫平仪激光探测器的高度位置,需在水准标尺(或标杆)上固定一能读至(直读或估读)0.1mm的分划尺,而在探测器上则设有相应的指标线。更理想的方法是将探测器预先固定在一测微装置上,再将测微装置与标尺相固联。检定场布置如图1所示。

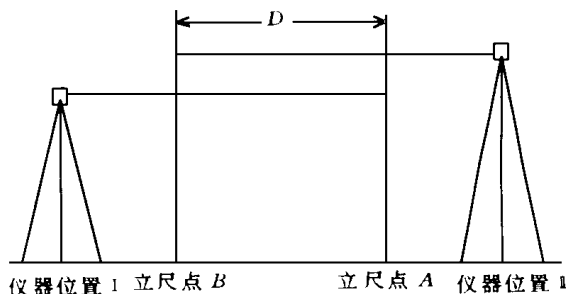


图1 激光扫平仪光束水平误差检定原理示意图

Fig. 1 Schematic Diagram of Testing of Horizontal Error of the Beam in Laser Swinger

2 检定测试工作的要求与测试步骤

激光扫平仪在结构上设有4个各为90°扫描角的出射窗。由于激光轴的校正偏差及出射窗的制造偏差,各窗口出射的不同方向的光束将具有不同的光束水平误差。水平误差与出射光束方向之间具有固定的函数关系(将另文讨论),在所有不同的出射光束方向中,有4个垂直于各出射窗平面的方向,称为特征方向,这些方向上的光束水平误差表征了激光束扫描面的主要误差特性,是仪器检定的主要对象。对于具有自动补偿(安平)功能的激光扫平仪,还需作补偿性能的测试。

JP3激光扫平仪技术要求规定,在50m距离

收稿日期:1998-09-12 何平安,男,37岁,副教授,现从事现代光学测试技术与光电检测系统研究。

* 武汉测绘科技大学科技发展基金资助项目。

上最大扫平误差不大于 $\pm 5 \text{ mm}$ (或 $\pm 20''$)。考虑到仪器的精度裕量,新仪器出厂检定时该项误差应限制在 $\pm 4 \text{ mm}$ (或 $\pm 16''$)以内,在除去补偿误差、光束高度变动差的影响之后,特征方向的光束水平误差以控制在 $\pm 3 \text{ mm}$ (或 $\pm 12''$)以内为宜。为此,检定测试精度至少要求 $\pm 1 \text{ mm}$ (或 $\pm 4''$),也就是说,光束倾斜角检定值的标准差要控制在 $1.5'$ 以内。为保证上述检定精度,尽量减少探测器定位误差,每次定位读数均取向上和向下两个不同探向(即 \uparrow 和 \downarrow)读数的平均值为读数,以消除系统误差,减少随机误差的影响。

检定测试工作的步骤如下:

- 1) 在仪器位置I 架设扫平仪;
- 2) 整平仪器,启动激光扫平仪开关,检查激光束是否正常扫描,调整扫描速度至最快;
- 3) 在立尺点 A 处设置探测器位置;
- 4) 使第一出射方向对向探测器及水准尺;
- 5) 精确整平仪器;
- 6) 启动探测器开关,读取探测器向上时的高度值,接着再读向下时的读数,填入记录表格中,取二次读数的平均值为测定值;
- 7) 按顺时针方向旋转扫平仪,分别使第二、三、四出射方向对向探测器位置,重复步骤5) 6);
- 8) 将探测器及水准尺移至立尺点 B 处,重复步骤4) 5) 6) 7);
- 9) 将仪器移至位置II 处,重复步骤2)~ 8);
- 10) 检查测试记录是否完整无误,若发现有缺误,则补正之;
- 11) 按表格要求进行检定值及检定精度的计算;
- 12) 若检定精度不够,可再检测一组,取 2组平均值为检定值;
- 13) 若发现光束水平误差超过技术要求,则需对仪器进行校正后,再重新检定。

3 测试数据的处理与分析

对每一个光束出射方向,均求取 A B 点间的高差值 h :

$$h = M_A - M_B$$

式中, M_A 和 M_B 为探测器在 A B 点处的高度值。

计算 I、II 两个位置 A B 点高差的差值 Δh :

$$\Delta h = h_I - h_{II}$$

式中, h 、 h_{II} 分别为仪器在位置 I、II 时测得的高度差。

由于激光束水平误差对两个位置上所测高差

值的影响正好相反,故 Δh 值应为激光束水平误差 i 的 2 倍。故有:

$$i'' = (\Delta h / 2D) d''$$

式中, D 为两立尺点间的距离; $d'' = 206\,265''$ 。从该式可以看出,两标尺间的距离 D 越大,越有利于提高仪器的检测精度。但 D 太大,大气扰动和大气折光将会引入较大误差。因此,只要能满足检测精度的要求, D 不宜取得太大。若考虑探测器的灵敏度和读数精度为 $0.1 \text{ mm} \sim 0.5 \text{ mm}$,则由上式可知,欲保证 $1'$ 的检测精度, D 的取值范围为 $10 \text{ m} \sim 50 \text{ m}$ 。通常, D 取 $20 \text{ m} \sim 40 \text{ m}$ 为宜。

如果求出了 4 个特征方向上的激光束水平误差 i_1 、 i_2 、 i_3 及 i_4 ,则可进一步分析出激光扫描面的倾斜误差及伞形误差。根据上述误差的特性,在对径方向上倾斜误差的绝对值相同而符号相反,伞形误差则绝对值及符号都相同,故利用对径测量值即可将二者分别解出。

设第一特征方向上的倾斜误差为 T_1 ,伞形误差为 U ;第三特征方向上的倾斜误差为 T_3 ,伞形误差为 U_3 。则有以下 2 式成立:

$$i_1 = T_1 + U$$

$$i_3 = T_3 + U_3 = -T_1 + U$$

解得:

$$T_1 = (i_1 - i_3) / 2 = -T_3$$

$$U = (i_1 + i_3) / 2 = U_3$$

同理,可求得二、四方向上的倾斜误差 T_2 、 T_4 及伞形误差 U_2 、 U_4 ,即

$$T_2 = (i_2 - i_4) / 2 = -T_4$$

$$U_2 = (i_2 + i_4) / 2 = U_4$$

由于 T_1 和 T_2 是相互垂直的两个特征方向上的激光扫描面倾斜误差的分量,故激光扫描面最大倾斜误差应为:

$$|T| = (T_1^2 + T_2^2)^{1/2}$$

设最大倾斜方位与第一特征方向之间的夹角为 θ (按顺时针方向增加),则有:

$$\theta = \tan^{-1}(T_2 / T_1)$$

θ 角的象限判断法则为:

第 I 象限: T_1 为+, T_2 为+;

第 II 象限: T_1 为-, T_2 为+;

第 III 象限: T_1 为-, T_2 为-;

第 IV 象限: T_1 为+, T_2 为-。

从理论上讲,伞形误差在所有方向上都应相等,但实测结果往往并不相等,这除了由于存在测量误差外,4 个出射窗保护玻璃的平行度各不相同对其也有很大影响。为使检定结果安全可靠,可以取两个伞形误差测得值中绝对值较大者作为激光扫平仪伞形误差的检定值。

表 1 激光扫平仪室外法测定光束水平误差
Tab. 1 Testing of the Horizontal Error of Beam in Laser Swinger

方 测 探 向 站 向	A 点读数 /mm			B 点读数 /mm			高差 /mm	高差之差 /mm	水平误差 /"
	M_A	上下差 d	平均值	M_B	上下差 d	平均值	$h = M_A - M_B$	$\Delta h = h_1 - h_1$	$i'' = d''\Delta h / 2D$
1	I ↑	3.0		10.8					
	I ↓	5.5	2.5	4.2	12.8	2.0	11.8	-7.6	
2	II ↑	17.3	2.0	18.3	3.0	2.0	4.0	14.3	-21.9
	II ↓	19.3			5.0				
3	I ↑	16.6			11.7				
	I ↓	18.8	2.2	17.7	13.0	1.3	12.4	+5.3	
4	II ↑	18.0			16.2				+3.6
	II ↓	20.2	2.2	19.1	18.7	1.5	17.4	+1.7	+9.6
5	I ↑	26.0			12.2				
	I ↓	28.0	2.0	27.0	14.6	2.4	13.4	+13.6	
6	II ↑	20.3	2.2	21.4	26.3	2.7	27.6	-6.2	+19.8
	II ↓	22.5			29.0				
7	I ↑	13.1			12.0				
	I ↓	15.2	2.1	14.2	13.4	1.4	12.7	+1.5	
8	II ↑	19.0	1.7	19.8	13.6	1.4	14.3	+5.5	-4.0
	II ↓	20.7			15.0				-10.6

倾斜误差计算: $T_1 = -T_3 = (i_1 - i_3) / 2 = -55.4''$ $T_2 = -T_4 = (i_2 - i_4) / 2 = +10.1''$
 最大倾斜误差: $|T| = (T_1^2 + T_2^2)^{1/2} = 56.3''$
 最大倾斜误差方位: $\theta = \tan^{-1}(T_2 / T_1) = 349.7^\circ$
 伞形误差: $U_1 = U_3 = (i_1 + i_3) / 2 = -2.8''$ $U_2 = U_4 = (i_2 + i_4) / 2 = -0.5''$
 伞形误差检定值: $|U_{\max}| = -2.8''$
 高差之差测定值的标准差: $\sigma_h = \sigma_d = ([dd] / (16 - 1))^{1/2} = 0.414 \text{ mm}$
 水平误差测定值的标准差: $\sigma_i \approx \sigma_h d'' / 2D = 0.414 \cdot 2.65 = 1.1''$

注: 表中 M_A 、 M_B 对应的数据为原始记录值; 仪器号为 JP3; 两立尺间距 D 为 38.8 m

参 考 文 献

1 郝群, 赵洋, 曹芒, 等. 五角棱镜角度误差对建立大尺寸平面基准的影响. 光学技术, 1997 (4): 49-51

2 朱宝亮, 刘莉. 激光扫平自动控制系统. 光学技术, 1996 (3): 27-29

3 陈计金. 激光扫平仪的误差分析、测试与分离. 航空精密制造技术, 1992 (5): 36-37

4 黄露. 激光扫平仪的精度与测试. 见: 中国测绘学会测绘仪器专业委员会 1996 综合学术年会论文集. 上海, 1996

5 唐务浩. JP 激光扫平仪检测方案探讨. 武汉测绘科技大学学报, 1997, 22(增刊): 43-45

6 JP 激光扫平仪技术条件. 苏州第一光学仪器厂

7 JP 激光扫平仪使用说明书. 苏州第一光学仪器厂

Testing of the Horizontal Error of the Beam in Laser Swinger

He Ping'an Tang Wuhao Yu Changming Yang Jinling

(School of Photoelectric Engineering, WUTUSM, 129 Luoyu Road, Wuhan, China. 430079)

Abstract The testing method of horizontal error of the beam in laser swinger is expounded in this paper, in which the horizontal error of beam in characteristic direction, its testing steps, and the method of data processing are presented. The testing result is given.

Key words laser swinger; horizontal error of beam; error testing