

# JSP-1 型激光扫平仪的调整和测试

唐荣麟

(中国农业大学)

**摘要:** 通过对激光扫平仪系统误差来源的详细分析, 提出正确调整和测试激光扫平仪的方法, 并可根据最后检测结果估算出剩余的角偏差数值, 以便能更好地进行仪器调整。

**关键词:** 激光扫平仪; 误差分析; 调整和测试; 角偏差

激光扫平仪是把近代激光技术应用到现代建筑和现代农业中的高技术产品, 在农业生产方面, 特别适用于大面积的土地平整, 节约农业用水, 提高产量。由于仪器精度要求很高, 在 120m 的作业半径范围内测平精度不得超过 1 cm<sup>[1,2]</sup>, 因此仪器的调整和检测特别重要。

## 1 激光扫平仪的构造

激光扫平仪的激光发射装置由激光器, 发射望远镜, 旋转平台, 直角棱镜和带有二个精密水准仪的基准平台所组成。

### 1.1 激光光束分析

由于激光产生的机理使激光具有良好的方向性, 但根据光的衍射原理, 一束直径为  $D = 1\text{ cm}$  的细光束, 其发散角  $\delta$  至少为<sup>[3]</sup>

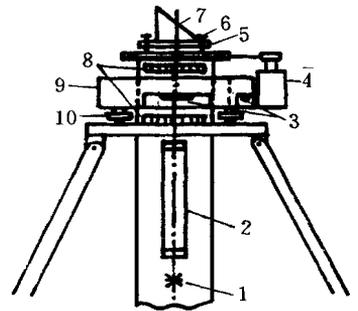
$$\delta = 1.22 \frac{\lambda}{D} = 7.7 \times 10^{-5} \text{ rad}$$

式中  $\lambda$ ——激光波长, 通常对这样直径的激光束能在 130m 的范围内保持不变, 超过该范围激光光斑将大于 1 cm, 一般的发射望远镜将激光光源发出的直径在 1 mm 左右的激光光束扩束成 1 cm 以内直径的激光束, 以保证激光扫平仪的精度需要。实验结果和理论证明, 即使通过发射望远镜扩束后的激光光斑, 在 100m 左右的远距离范围接收时已能明显看出激光的光学衍射图形, 其一级, 二级光学衍射亮环在暗处屏幕上已明显呈现出来。由于衍射光强分布为

$$I(x) = I_0 \left[ \frac{2J_1(x)}{x} \right]^2$$

式中  $I_0$ ——光斑中心光强;  $J_1$ ——一阶贝塞尔函数。  $x = (\pi D / \lambda) \sin \theta$ ,  $\theta$ ——衍射角。

根据理论计算, 当  $x_1 = 1.635\pi$  和  $x_2 = 2.679\pi$  时相应于一级和二级衍射亮环处, 用  $\sin \theta$



1. 激光光源 2. 发射望远镜 3. 精密水准仪 4. 小电机 5. 旋转平台  
6. 旋转平台调整螺钉 7. 直角棱镜  
8. 双轴承 9. 基准平台 10. 基准平台调整螺钉

图 1 激光发射装置示意图

Fig 1 Scheme of

Laser emitter

$\theta = x \cdot \frac{\lambda}{D}$ 。可得一级衍射角  $\theta = 1.635 \frac{\lambda}{D}$ , 二级衍射角  $\theta = 2.679 \frac{\lambda}{D}$ 。相当于发散角的 1.34 倍和 2.20 倍, 即说明在 130m 远处一级衍射亮环直径已达 1.34 cm, 二级衍射亮环直径已达 2.2 cm, 超过了测平精度为 1 cm 的要求, 但根据理论计算一级衍射光环光强的值  $I(x_1) = 0.0175 I(o)$  二级衍射光环光强的值  $I(x_2) = 0.004 2I(o)$ , 式中  $I(o)$  ——亮斑中心处的光强。由于衍射光强较弱, 因此只要接收电路设计合理, 完全可以避免出现不必要的测量误差<sup>[4]</sup>。

### 1.2 激光扫平仪的机械结构

通常为保持直角棱镜旋转轴的平稳, 采用双轴承转轴结构是一种很有效的方法, 与旋转平台相连接的空心轴通过双轴承与基准平台相连接, 只要基准平台调节到严格水平, 旋转轴就能达到严格铅垂。

由于激光束通过发射望远镜后, 再经过空心转轴的中心抵达直角棱镜, 激光光束必须调整得与使直角棱镜旋转的转轴相互平行, 最好是严格一致, 稍有偏差就将引起激光束光强度分布不均, 并为下面的调整工作带来很大的系统误差, 最后导致得不到合格的激光扫平仪产品。

## 2 激光扫平仪的调整和测试

### 2.1 激光扫平仪的误差来源与分析

激光扫平仪的偶然误差主要由旋转轴的随机摆动, 以及激光光线的随机抖动产生。由于仪器采用了双轴承结构, 以及激光光束随机抖动很微弱, 一般情况下上述 2 项偶然误差很小, 不影响仪器的测平精度。

激光扫平仪的安装系统误差则由 3 种情况形成:

1) 激光束与转轴的方向没有达到绝对铅垂, 若存在一小夹角  $\delta_1$  (见图 2a)。将使激光水平面一侧变高, 另一侧变低, 形成一个与水平面成  $\delta_1$  角偏离的平面。

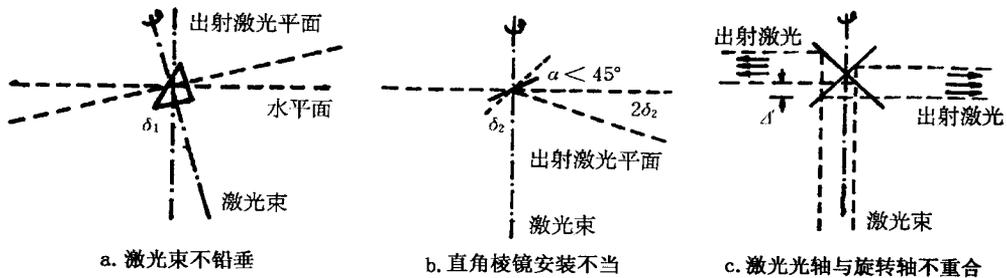


图 2 激光扫平仪的安装误差

Fig 2 Installation error of laser scanning device for flatness

2) 如果激光束与转轴的方向调整到铅垂方向, 但直角棱镜的反射面即斜面应与水平面之间的夹角  $\alpha$  应严格为  $45^\circ$ ; 当  $\alpha = 45^\circ \delta_2 < 45^\circ$  (见图 2b), 则激光束通过斜面反射的激光束都将偏低水平面  $2\delta_2$ , 当  $\alpha = 45^\circ \delta_2 > 45^\circ$ , 则激光束通过斜面反射的激光束都将偏高水平面  $2\delta_2$ , 形成一个锥面。

3) 如果激光束光轴与旋转轴平行, 但不在同一直线上, 则激光光束平面两边将形成一个高低之差  $\Delta$  (见图 2c)。一般情况下, 激光平面的误差为上述 3 种误差之和, 即

$$\Delta = \pm (\delta L + 2\delta L + \Delta)$$

式中  $L$  ——发射装置到接收装置之间的距离。由于在 120m 作业半径范围内总误差  $\Delta < 10$  mm, 因此  $\delta_1$  和  $\delta_2$  稍稍偏高即导入很大的误差, 而只要小于 0.5 mm 范围之内, 则影响不大。

### 2.2 仪器的调整和测试

寻找一宽广的田野(200m × 200m 以上)或挑选一十字路口,在田野正中央搁置并调整好 DS-3 型水准仪,并将需调整和测试的 JSP-1 型激光扫平仪发射装置放在 DS-3 型水准仪近旁。按(图 3)中 A, B, C, D, E, F 各点位置上各竖立一标杆,先用 DS-3 型水准仪分别在标杆上找出相应的水平位置  $h_a, h_b, h_c, h_d, h_e, h_f$ , 然后再用待调整的 JSP-1 型激光扫平仪发射的激光束光斑分别找出在各标杆上的高度  $h'_a, h'_b, h'_c, h'_d, h'_e, h'_f$ 。

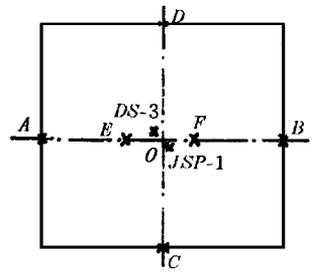


图 3 激光扫平仪测试点示意图  
Fig 3 Testing points of laser scanning device for flatness

假定在 AB 方向,激光束和转轴与铅垂方向有  $\delta_1$  角,直角棱镜的斜面与水平面之间夹角  $\alpha = 45^\circ - \delta_2$ , 则从图 4 中可得(略去  $\Delta$  的大小)

$$\delta_{AE} = \frac{(h_a - h'_a) - (h_e - h'_e)}{AE} = \delta_{AB} + 2\delta_2$$

$$\delta_{FB} = \frac{(h_b - h'_b) - (h_f - h'_f)}{BF} = -\delta_{AB} + 2\delta_2$$

同理可得

$$\delta_{CD} = \frac{(h_c - h'_c) - (h_d - h'_d)}{CD} = \delta_{CD}$$

故调整激光扫平仪发射装置时需将激光扫平仪中,基准平台上二个高精度水准仪分别对准 AB 和 CD 方向。

调节基准平台水平调节螺丝(见图 1),使  $\delta_{AE}$  尽量接近  $\delta_{FB}$ , 即  $\delta_{AB} = 0$ , 目的是使转轴和激光束的方向尽量与铅垂方向一致。

调节旋转平台调节螺钉(见图 1),使  $h_a - h'_a, h_e - h'_e$

$h_e, h'_e - h'_f, h_b - h'_b$  尽量趋向一致,这样将使  $\delta_2$  可以调节得最小,即直角棱镜斜面与铅垂方向成  $45^\circ$ ;再锁定旋转平台调节螺钉。

在 CD 方向使  $h_c - h'_c, h_d - h'_d$  尽量趋向一致,这样使转轴在 CD 方向也与铅垂方向一致,即  $\delta_{CD} = 0$ 。

反复调节上面 3 个步骤多次后,再调节并锁定精密水准仪调整装置使水泡指示水平位置,以后只要这 2 个水准仪指示水平,则旋转轴必定铅垂。

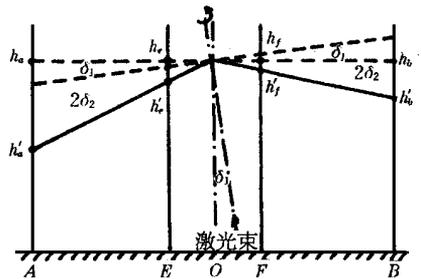


图 4 角偏差分析图

Fig 4 Angular deviation analysis

### 3 实际结果

笔者用试制的 JSP-1 型激光扫平仪,经过上述调整后,获得调整后样机结果如表 1 所示,并测得  $OE = 6.6\text{m}, AE = 90.0\text{m}, OF = 9.3\text{m}, FB = 90.0\text{m}, CD = 233.0\text{m}$ 。设 AB 为 X 方向,CD 为 Y 方向。

$$\text{得: } \delta_{AE} = \frac{(h_a - h'_a) - (h_e - h'_e)}{AE} = -4.4 \times 10^{-5} \text{ rad} = -9; \delta_{FB} = -3.3 \times 10^{-5} \text{ rad} = -7$$

$$\text{计算得: } \delta_{ix} = \frac{\delta_{AE} - \delta_{FB}}{2} = -1; \delta_{iy} = \frac{\delta_{AE} + \delta_{FB}}{4} = -4; \delta_{iy} = \frac{(h_c - h'_c) - (h_d - h'_d)}{CD} = -3$$

表 1 JSP-1 型样机静态测试结果

Tab 1 Test results of JSP-1 Device in static condition

mm

	A	B	C	D	E	F
$h$	584	595	588	577	635	701
$h$	547	558	553	537	594	660
$h-h$	37	37	35	40	41	41

## 4 结 论

1) 仪器要求在 120 m 作业范围内测平精度为 1 cm, 相当于角偏差为  $\delta=17'$ , 根据上述测试和计算结果, 该产品是合格的。

2) 旋转轴和直角棱镜还可以再进一步调整, 旋转轴应在  $CD$  方向可进一步调节而直角棱镜斜面与水平的夹角  $\alpha > 45^\circ$  应适当调小。

### [参 考 文 献]

- [1] 陈计金 激光扫平仪的误差分析: 测试和分离 航空精密制造技术, 1992(5): 36~ 37
- [2] 唐荣麟, 贾贵儒, 戴允玢 JSP-1 型激光扫平仪的发射装置 中国农业大学学报, 1997(4): 97~ 101
- [3] 赵凯华, 钟锡华 光学(上册). 北京: 北京大学出版社, 1984 227~ 228
- [4] 贾贵儒, 唐荣麟, 戴允玢 自动平地机的激光平面系统研究与试验 农业工程学报, 1997, 13(增刊): 301~ 305

## Adjustment and Measurement of JSP-1 Laser Scanning Device for Flatness

TANG Rong-lin

(China Agricultural University, Beijing 100083)

**Abstract:** The error factors of laser scanning device for flatness were analyzed in detail. The adjustment and measurement methods of laser scanning device for flatness were introduced. The angular deviation can be accounted and the device can be adjusted perfectly.

**Key words:** laser scanning device for flatness; error analysis; adjustment and measurement; angular deviation