

经验交流

激光小角度测量仪*

中国计量科学研究院长度室

利用圆周封闭特性而不需要圆分度标准对圆分度精度进行检测的方法,在生产和科研中早已普遍应用,其检测精度已能达到 $0''1$ 以上。而对于小范围(例如几度,特别是 1° 以内)的小角度精密检测,诸如各种圆分度器件(圆光栅、圆磁栅、感应同步器和度盘等)的细分,以及一些小角度测量设备(如自准直仪等)示值准确度的检测,一般都需要有标准分度工具,以便与之进行比较检定,以确定被检物的角度偏差。随着生产和科学技术的发展,要求检测的间隔小、精度高,有时还需进行动态连续检测工作。这些要求往往非一般机械或光学式量仪所能满足。

激光小角度测量仪正是为了适应这种检测工作的需要而研制的一种通用性仪器。它具有体积小、重量轻、精度高以及应用范围广、能减轻检测者劳动强度等优点。仪器的测量范围为 $0-\pm 5^\circ$;仪器分辨率约为 $0''027$;在 $\pm 1^\circ$ 范围内,仪器最大误差在 $\pm 0''05$ 以内。

一、仪器测量原理及结构

激光小角度测量仪采用正弦原理测角(如图1)。

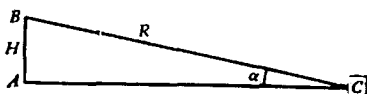


图 1

即

$$\sin \alpha = H/R, \quad (1)$$

直角三角形 ABC 的斜边 R 经测定后作为常数;对边 H 按被测角 α 的大小用激光干涉方法测定。

仪器的结构示意图如图2。下面结合 H 的产生及 R 的测定作一些简要的介绍。

1. H 的产生

由两面直角稜镜7和9组成的正弦臂对称地安装在铟钢支架上,它将随被测角一同旋转以传递转角的信息。氦-氖激光管1发出的光束经平行光管2形成平行光射向分光、移相镜5,光束一分为二。一束光反射至稜镜9及竖立的两面直角稜镜10后上移一段小距离,仍经稜镜9返回到镜5;另一束光透过镜5,经平面镜6射至稜镜7及竖立的两面直角稜镜8后,上移同一段距离,仍经稜镜7返回到镜5。透、反两光束在镜5上相遇产生

* 1976年7月1日收到。

干涉。当正弦臂绕定心轴 16 之轴心旋转时,两束光产生相应的程差变化。在斜边 R 为已知的情况下,根据程差的变化量就可按(1)式求出被测角 α 的大小。

由于采用两面直角稜镜反射,既保证回光与入射光不重叠,防止回光对光源光强的不良影响,因而在不使用激光稳频的情况下,仪器仍能正常工作;同时也有利于稜镜的加工与装调。

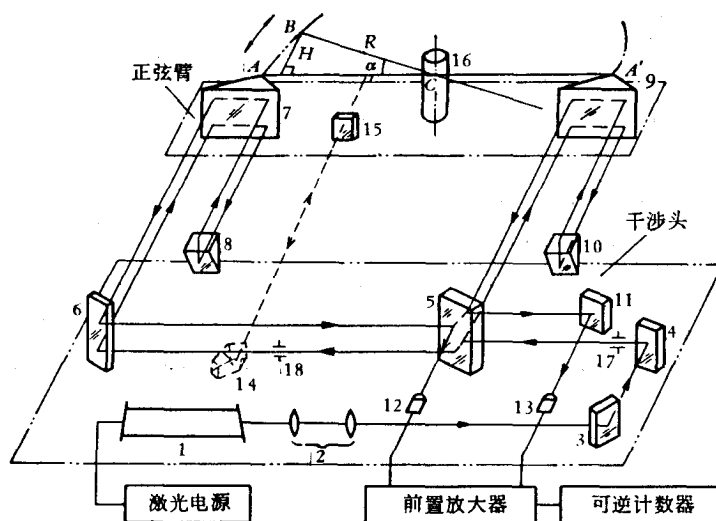


图 2

从图 2 可见,组成正弦臂的两直角稜镜 7 和 9 系差动结构,即当正弦臂旋转时,两直角稜镜按相反方向产生程差变化。于是它能以两倍程差变化量来反映 α 角的对边长度,因而使得测角灵敏度提高一倍;同时,透、反两光束分别两次通过直角稜镜 7 和 9,使同一转角的程差变化在上述基础上又增大一倍。因此,对于一个转角 α 来说,仅仅在干涉光路上,反映对边长度的程差变化就放大了四倍,亦即使测角的灵敏度提高到四倍。此外,干涉条纹经过光敏三极管 12 将干涉条纹的变化转换成电流变化后,通过前置放大器将信息送至四倍频可逆计数器计数。故最后光和电共相当于进行了十六次倍频,从而进一步提高了仪器的测角灵敏度。

众所周知,干涉条纹的一次明暗变化等于 $\lambda/2$ 的程差变化(λ 为所用光源波长,对于氦-氖激光约为 6328 \AA)。经过上述的光电“倍频”后,可逆计数器的一个数就相当于 $\lambda/32$ 的长度量。因此,当正弦臂旋转 α 角时,对边的长度就等于

$$H = \frac{\lambda}{32} \cdot N, \quad (2)$$

式中 N 为计数器所计数字。

为了使仪器能反映出正弦臂正、反转的角度加、减变化,在光的回路上加入全反射镜 11。由于分光镜 5 从镀膜工艺中保证了 90° 的移相作用,因此,在光敏三极管 13 上可同时接受到与光敏三极管 12 在相位上相差 90° 的干涉条纹信号。该两路信号同时输至可逆计数器,即可按正弦臂不同的转向进行加减计数。

2. 斜边 R 的测定

由于正弦臂采用差动结构, 所以 R 实际上就是通过旋转中心的两直角稜镜 7 和 9 的直角稜的垂直接线 $A-A'$ 长度的一半。显然, 因为不要求从两稜到旋转中心的长度严格相等, 更有利于稜镜的安装和 R 的测定。

从(1)式可知, R 测量的准确度同样直接影响 α 角的检测精度。对于高精度的小角度检测来说, R 的测量结果一般要求准确到微米级。据报道, R 通常是在测长机或类似仪器上直接测量。但是由于两直角稜镜直角稜的几何形状难免的不规则及其对支承面的不垂直度, 往往给测量工作带来不少困难, 严重影响测量精度。即使采取一些措施改善测量条件, 也是比较烦琐的。而事实上, 直角稜镜的直角稜在产生干涉的过程中, 并不需要完整无缺(见图 2)。因此, 我们采用了另一种测量方法, 即从已知角反求 R , 方法较简便, 且获得了满意的测量精度。简介如下。

用一块工作面平面性较好、外角为 β 的角度块, 在精密测角仪上用全组合法进行测量, 使测量结果的极限误差在百分之几秒以内(这是不难做到的)。然后将此角度块与正弦臂安装在同一个转台上使之同旋转, 并以自准直仪对角度块照准、定位, 在激光小角度测量仪上测出正弦臂旋转 β 角时对边的读数 N_β 。按下式即可算出 R 的长度:

$$R = \frac{\frac{\lambda}{32} \cdot N_\beta}{\sin \beta}. \quad (3)$$

实践证明, 用这种方法可以较高精度测量出 R 值。例如, 当 $R \approx 150$ 毫米, 取 $\beta = 5^\circ$ 时, 测得的 R 值的极限误差可在 ± 1.5 微米以内。

二、仪器的使用

正弦臂是传递转角信息的部件。测角时, 将其同心地固定在被测物的旋转台上。干涉头按图 2 所示的光路系统安装在合适的固定位置, 使两光束在镜 5 上产生干涉。光敏三极管对准干涉光束, 通过前置放大器将直流电平调至零时, 可逆计数器即可按转角方向进行加减计数。由于仪器采用正弦原理测角, 因此 $A-A'$ 线(参见图 2)起始测量位置必须与人射光束垂直, 才能在测角过程中构成直角三角形。这只要移入五稜镜, 14 及狭缝 18 使通过狭缝的光束经五稜镜折转 90° 后射入与 $A-A'$ 线平行的反光镜 15, 同时旋转正弦臂使反射光与狭缝 18 重合即可。然后, 移开五稜镜及狭缝, 计数器复零, 就可开始检测工作了。检测后, 将计数器随转角所计数 N 代入(1)及(2)式, 即可求得转角的大小。

如果被测物能发出起始和终了的测量信息, 并配备相应的记录、打印设备, 仪器还可以进行动态测量及自动测量。

A LASER INTERFEROMETER FOR SMALL ANGLE MEASUREMENT

LENGTH LABORATORY, THE CHINESE INSTITUTE FOR METROLOGY