

双筒望远镜光轴平行度测量方法的讨论

黄卫佳

(上海光学仪器研究所, 上海 200093)

摘要: 简要地阐述平行光束通过双筒望远镜后, 自出瞳射出的左、右两光束平行度与双筒望远镜左、右两光学系统光轴平行度之间的关系及其测量方法的差异。

关键词: 双筒望远镜, 出射光束, 光轴, 平行度, 测量。

A discussion about measurement method of parallelism of optical axis of binocular telescope

HUANG Wei-jia

(Shanghai Institute of Optical Instruments, Shanghai 200093)

Abstract: The relation between parallelism of two beams from exit pupil and parallelism of two optical axes of binocular telescope is presented in the paper, so does their difference of measurement method

Key words: binocular telescope, emergence beam, optical axis, parallelism, measurement

1 引言

通常人们在观察远处物体时, 双眼的视轴是平行的。因此对于双筒望远镜(以下简称望远镜)而言, 保证望远镜左、右系统光轴平行度就十分重要。因为人们希望从无限远目标发出的平行光束通过望远镜后出射的两束光仍能相互平行, 使人的双眼能长时间观察而不易疲劳。不管望远镜的倍率多大, 光轴平行度多差, 都必须符合这个要求。否则, 使用者会发生头晕等现象, 甚至会损害使用者的眼睛。因此, 在生产中必须对这项要求进行严格控制。

根据使用者眼睛的视觉生理现象, 与之发生直接关系的是望远镜左、右两出射光束而不是左、右两光学系统的光轴。因此, 在技术上对望远镜左、右两系统光轴平行度的要求是由所允许的左、右两出射光束平行度所决定的。本文将着重研究这两者之间的关系以及控制的方法。

2 原理分析

根据望远镜的工作原理, 如果望远镜左、右两光学系统的光轴彼此是平行的, 则平行光束通过望远镜左、右两光学系统后出射的两束光也彼此平行。

但是, 由于制造方面的原因, 实际上左、右两光学系统的光轴不可能完全平行, 一般都成空

间交叉。为简化讨论,我们假定两光轴只在某一平面(如水平面)内相交,而其中一个光轴与入射平行光束的方向平行。图 1 是分析带有正像系统的望远镜光轴平行度为 θ 的情况^[1]:

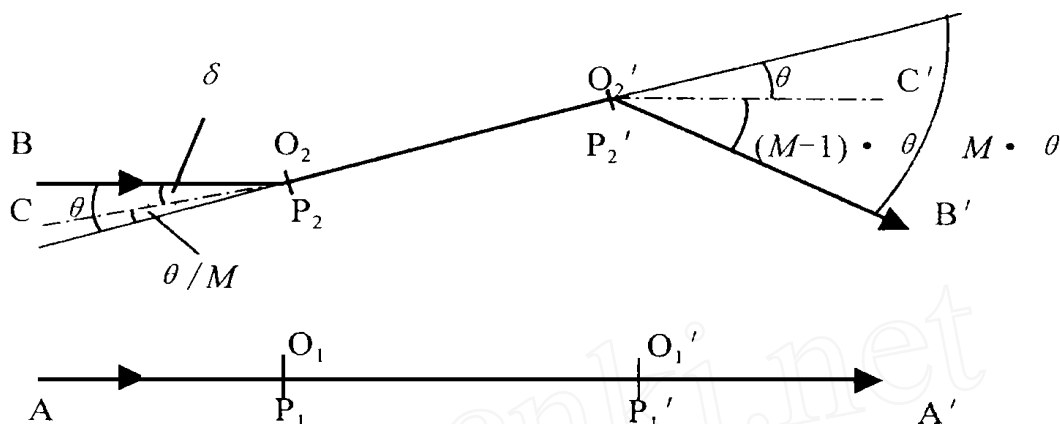


图 1

图 1 中 P_1, P_2 是望远镜的两个入瞳, P_1', P_2' 是望远镜的两个出瞳, O_1O_1', O_2O_2' 是望远镜的左、右两个光轴, O_1O_1' 与 O_2O_2' 有一个夹角 θ (即光轴平行度), 当平行光束即以 θ 角射入望远镜入瞳 P_2 , 自出瞳 P_2' 出射时, 光束方向 O_2B 偏离光轴 O_2O_2' 成 $M\theta$ 角, 而与通过另一支望远镜管出射的光束方向 O_1A 相交 ϵ 角, 此时出射光束平行度为:

$$\epsilon = (M - 1) \cdot \theta \quad (1)$$

式中 M 代表望远镜放大率, θ 代表望远镜左、右两光学系统光轴平行度。

M 和 θ 都与制造质量有关, 对于同一规格的望远镜, M 并不是一个常数。

出射光轴平行度 ϵ 随 M 的变化而变化, 在 ϵ 一定的情况下, θ 与 M 成反比。亦即望远镜放大率越大, 对光轴平行度的要求越严。有一些企业标准对不同放大率的望远镜规定了相同的光轴平行度, 显然是不合理的。

现在, 我们再讨论望远镜左、右两个镜筒光轴都与入射光束不平行的一般情况。

图 2 是带有正像系统的望远镜左、右两光学系统的光轴既不相互平行又都不与平行光束入射方向平行的一般情况, 为了方便讨论, 仍假定在一个平面内。图中角度的正、负号按应用光学规定的法则确定。

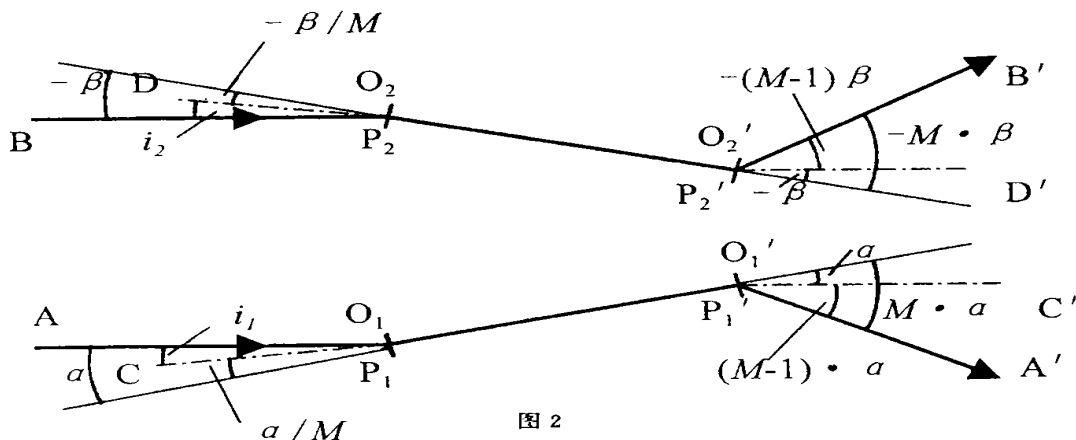


图 2

平行光束 A、B 射入望远镜, 其方向与两光轴 O_1O_1' 及 O_2O_2' 分别有夹角 α 及 $-\beta$, 左、右两光学系统光轴平行度:

$$\theta = \alpha + (-\beta) = \alpha - \beta$$

A、B 为自望远镜两出瞳出射的光束方向, 出射光束平行度:

$$\begin{aligned}\epsilon &= (M - 1) \cdot \alpha + [- (M - 1) \cdot \beta] \\ &= (M - 1) \cdot (\alpha - \beta) \\ &= (M - 1) \cdot \theta\end{aligned}\quad (2)$$

$\epsilon > 0$, 两出射光束发散; $\epsilon < 0$, 两出射光束会聚。

3 测量方法讨论

测量望远镜出射光束的平行度方法较多, 目前许多望远镜生产企业都采用“望远镜综合检查仪”(以下简称综合检查仪)来检查望远镜的光轴平行度, 但是这种综合检查仪由于设计原理所限并不能测量出真正的望远镜光轴平行度。其工作原理是: 被光源照明的目标分划板(分划板的分划格值由平行光管物镜焦距确定)处于平行光管物镜(由于口径较大, 一般可用反射物镜)的焦面上, 经由平行光管物镜出射平行光线通过被测望远镜后再经过会聚物镜成像于毛玻璃屏上, 如果望远镜左右两系统光轴是平行的, 则通过望远镜出射的两束平行光在屏上成的像重合在一起, 如果望远镜左右两系统光轴不平行, 则通过望远镜出射的两束平行光在屏上的像将不重合在一起, 其分开的程度即为测量值 δ 。如果在光路中进行技术处理, 使左右两出射光束所成目标像的颜色不同, 则还可以根据左右目标像的位置确定它们是会聚或发散。

当用综合检查仪检查望远镜时, 在屏上得到自左、右两支望远镜分别形成的两个目标像, 用它们互为基准进行读数, 如果按图 1 的假设, 沿 O_1O_1' 入射和出射的光束所成的目标像与综合检查仪上固定目标像(即入射平行光束不通过望远镜直接在屏上形成的像)重合, 而另一个以 θ 角入射的光线自望远镜出射后, 光线方向变为 O_2B , 在屏上形成的目标像与前者错开一定的距离。如果要读出错开的距离, 这时必须在后者的目标像周围找到一个与前者目标像重合的一个点, 在图 1 中光线 O_2C 与 O_1A 平行, 在屏上形成的像与 AA 的像重合。由于屏上的目标像是无限远物体的像, 所以屏上 C 与 B 之间的距离代表了物方 B、C 两支光线间的角值。因为 B 与 A 平行, 所以在 M 为一定的情况下, B、C 之间的夹角也代表了进入左、右两支望远镜管的入射光束的平行度 δ (亦即在综合检查仪上实际测得的值), 这时:

$$\delta = \frac{M - 1}{M} \cdot \theta$$

因此, 光轴平行度:

$$\theta = \frac{M}{M - 1} \cdot \delta\quad (3)$$

这就是用综合检查仪检查得到的结果与望远镜光轴平行度的关系式, 当 M 越大, δ 值与 θ 值越接近, 但永远不可能相等, 因为望远镜的放大率 M 不可能无限增大。

图 2 中 C、D 两出射光线与入射平行光束 A、B 方向平行, 因此, 对应于 C、D 的两条光线在物方的共轭光线 C、D 之间的夹角即为与出射光束平行度共轭的物方入射光束平行度, 这是:

$$\delta = i_1 + i_2$$

$$\begin{aligned}
 i_1 &= \frac{M-1}{M} \cdot \alpha & i_2 &= \frac{M-1}{M} \cdot \beta \\
 \delta &= \frac{M-1}{M} \cdot \alpha + \left(-\frac{M-1}{M} \cdot \beta \right) \\
 &= \frac{M-1}{M} \cdot (\alpha - \beta) = \frac{M-1}{M} \cdot \theta
 \end{aligned}$$

光轴平行度:

$$\theta = \frac{M}{M-1} \cdot \delta \quad (4)$$

因制造误差,一般左右系统放大率还有差异。所以实际情况更为复杂。由图 1、图 2 我们知道,如果按光线行进方向为参照方向,当光轴平行度会聚时,出射光束即为发散,反之则会聚,因此在技术标准中光轴平行度与出射光束平行度的会聚或发散方向刚好相反。

企业中由于生产批量较大,用综合检查仪检查效率较高。因此在生产线上不排斥使用综合检查仪,只是在该道工序要求上要采取技术措施。

有的企业将在综合检查仪上得到的数据乘以被检望远镜的名义放大率,得到出射光束的平行度,这在理论上是可行的。但是前面已经指出望远镜放大率有制造误差,且左、右系统的放大率还不完全一样,乘以名义放大率也只能得到近似值,按实际放大率进行计算又太繁。

因此,比较可行的办法是在该道工序的工艺要求上或作业指导书中对标准中规定的光轴平行度指标值按公式 $\theta = \delta \cdot M / M - 1$ 进行修正,亦即将标准中的指标值乘以 $M - 1 / M$ 作为该道工序的校正要求。如果考虑到望远镜放大率的制造误差,可再乘以一定的系数就能保证。而符合该项校正要求的望远镜其出射光束平行度也能得到保证,当然标准中规定的光轴平行度指标值必须是一个倍率一种要求。

其他的测量方法还有多种^[2,3],如大倍率望远镜光轴校正仪、用一个平行光管和一个可旋转斜方棱镜组成的望远镜校正仪、用一个平行光管和一个带水准器的五角棱镜组成的望远镜校正仪、三管式望远镜校正仪和反射式望远镜校正仪等。这些方法都是借助前置镜直接对出射光束平行度进行测量的。实践证明,采用具有足够大孔径的平行光管和前置镜组合的大倍率望远镜光轴校正仪产生的误差环节较少,测量精度高,设备可方便地进行周期检定,故优先推荐用于严格的望远镜品质检验。

4 结 论

通过以上分析、讨论,可以得出这样的结论:第一,对于双目仪器而言,提“出射光束平行度”比提“光轴平行度”更直观、更合理,而且在理论上和实际应用上都能精确地予以计量;第二,综合检查仪测得的结果不是光轴平行度,而应该再乘上一个系数。

5 参考文献

1 L C MARTIN. Technical Optics (II) LONDON: SIR ISAAC PITMAN & SONS, LTD., 1960.

2 1959.

3 光学测量与仪器编辑组. 光学测量与仪器. 北京: 国防工业出版社, 1978.