

广角伽氏无焦系统的筒长扩展技术

林银森

摘 要

伽氏无焦系统的筒长与视场之间存在反比律关系。本文提出一种以多元法和倍乘法为理论基础的筒长扩展技术,以满足广角条件下获得适用的筒长,并阐述抑制畸变和保证一定出瞳距对物镜与负目镜的结构制约,及其象差的平衡方式。

【关键词】 筒长扩展; 倍乘法; 负目镜结构制约

引 言

众所周知,用于目视观察仪器的望远镜,通常总是希望视野中能呈现正立的象,以适应人眼观察景物的习惯。从这个意义上说,伽氏无焦系统(俗称伽俐略望远镜)是最理想的装置,而且,它还具有结构简单、短小轻便、光能损耗少等特点,更是开普勒望远镜无法比拟的。

然而,伽氏无焦系统却存在某些致命的弱点,诸如,入窗与物平面不重合,违背光学系统无渐晕的必要条件,而且,一旦眼瞳与出瞳错位,也会导致系统的渐晕,使得观察场的边缘亮度明显降低。尤其是伽氏无焦系统的视场、倍率和筒长及出瞳距等参数之间相互制约,当物镜口径一定时,倍率越大,视场越小。因此,迄今为止,伽氏无焦系统的倍率一般仅为 $2.5 \sim 4 \times$,视场角不超过 $6^\circ \sim 8^\circ$,其视场角(w)与倍率(Γ)的关系如图1所示。

伽氏无焦系统的筒长与视场成反比律关系,筒长将随视场角的增大而急剧减小。对于一个口径 $D = 40\text{mm}$,倍率 $\Gamma = 3 \times$,半视场角 $W = 8^\circ$ 的伽氏无焦系统,其筒长仅约为 17mm 。显然物镜与目镜之间这样小的间隔是没有实用意义的。

随着文体活动的日益丰富多彩和旅游观光事业的发展,人们越来越迫切需要一种具有大视场角的伽俐略双筒望远镜提供使用,以便在影剧院欣赏大型文艺演出时能舒展地看到

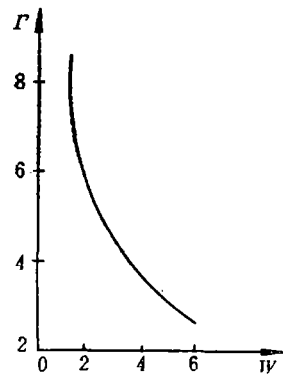


图1 倍率与视场角的关系曲线

收稿日期:1991-05-13

午台的全景，或者在体育场观看足球、田径等竞技比赛时，又能适应快速跟踪运动的目标。为此，本文着重阐述广角伽氏无焦系统设计中所必须解决的理论和技术问题，并对设计结果进行了评价。

1 筒长扩展技术

伽氏无焦系统由正物镜和负目镜构成。如图 2 所示，物镜 L_1 的镜框为场阑，也即为入窗，其出窗位于 L_1 与负目镜 L_2 之间的 N 处；眼瞳为孔阑，也即为出瞳 P' ，入瞳位于眼瞳右方

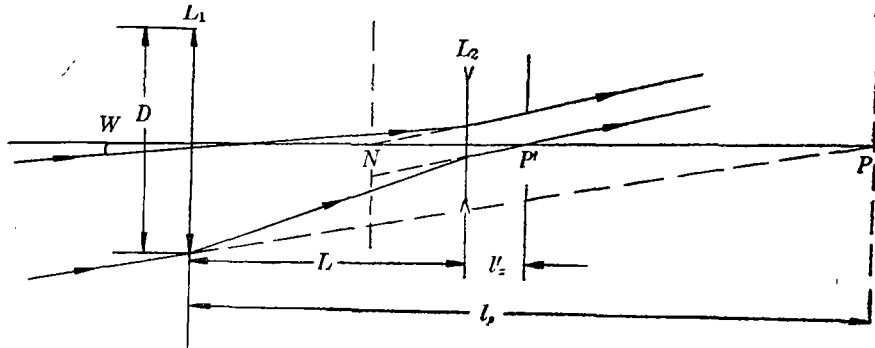


图 2 光学系统结构

P 处。为了使物镜口径不致过大，一般以 50% 的光束渐晕规定系统的角视场大小，有：

$$\operatorname{tg} \omega = D / 2l_p \quad (1)$$

式中， l_p 为入窗到入瞳的距离。根据伽氏无焦系统对于任意位置的物象共轭关系，其倍率均为常数的特性，并应用高斯公式可得：

$$l_p = \Gamma(L + \Gamma l_2) \quad (2)$$

式中， Γ 为伽氏无焦系统的视觉放大率， l_2 为出瞳距。

将方程 (2) 代入方程 (1)，导得伽氏无焦系统的视场角 W 与物镜口径 D 、筒长 L 和出瞳距 l_2 之间的关系式为：

$$\operatorname{tg} \omega = D / [2\Gamma(L + \Gamma l_2)] \quad (3)$$

分析方程 (3) 式可知，当 D 、 Γ 、 l_2 一定时，筒长 L 与视场角的正切成反比例律关系。这就意味着，广角的伽氏无焦系统只能有很小的筒长，以致失去实用价值。无疑，在广角条件下，必须对伽氏无焦系统的筒长进行有效的扩展。

1.1 多元法

采用三组元型式扩展筒长。如图 3 所示， L_1 和 L_2 组成正物镜， L_3 为负目镜。基于系统的物象关系，并从视场角、放大率及出瞳距的要求出发，可建立如下方程：

$$\begin{cases} L - f'_3 = e + f'_{12} \left(1 - \frac{e}{f'_1} \right) \\ \phi_{12} = \phi_1 + \phi_2 - e\phi_1\phi_2 \\ \Gamma = -f'_{12}/f'_3 \\ D/2\operatorname{tg} \omega = [l'_2(x\phi_3 + y) - x]/(x\phi_3 + y) \end{cases} \quad (4)$$

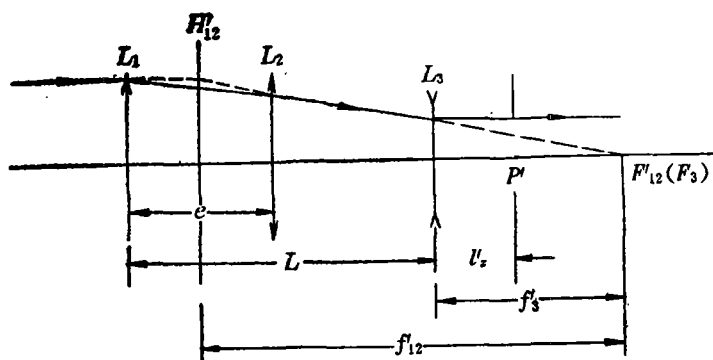


图3 多元法扩展筒长

式中, $x = e - ty$ $y = e\phi_2 - l$ $t = L - e$

利用方程(4)中的各式联立求解,可得到各组元透镜的光焦度表示式分别为:

$$\begin{cases} \varphi_1 = (\theta + t\varphi_3)/\Gamma e \\ \varphi_2 = (\theta + L\varphi_3)/e(t\varphi_3 - 1) \\ \varphi_3 = [z_1 z_3 + (z_2 \Gamma - ez_1)]/t(z_1 z_3 + \Gamma) \end{cases} \quad (5)$$

式中, $\theta = \Gamma - 1$, $z_1 = -1/l'_2$, $z_2 = 1 - tz_1$, $z_3 = D/(2\Gamma \text{tg}\omega)$

选择 e 和 L ,由方程(5)即可计算出各组元的光焦度。值得注意的是,若 e 和 L 选择不当时,将导致视场角无法满足要求。为此,可通过调整出瞳距 l'_2 来实现,即 l'_2 应满足下式:

$$l'_2 = [z_3(t\varphi_3 - 1) + (t\Gamma + \theta)]/\Gamma(t\varphi_3 - 1) \quad (6)$$

1.2 倍乘法

采用倍乘法可以克服上述多元法造成系统结构复杂化的缺点。变换方程(3)可得伽氏无焦系统的筒长表示式为:

$$L = (D - 2\Gamma^2 l'_2 \text{tg}\omega) / 2\Gamma \text{tg}\omega \quad (7)$$

所谓倍乘法,就是将(7)式的筒长 L 直接乘上所需要系数 K ,使之扩展 K 倍,以保证伽氏无焦系统在广角条件下,具有适用的镜筒长度。

问题在于,当 L 扩大 K 倍后,必须保持系统的视场、倍率及其无焦的性质不变,并满足预定的出瞳距要求。如图4所示,物镜焦距 f'_1 和负目镜焦距 f'_2 与筒长 L 有如下关系,即:

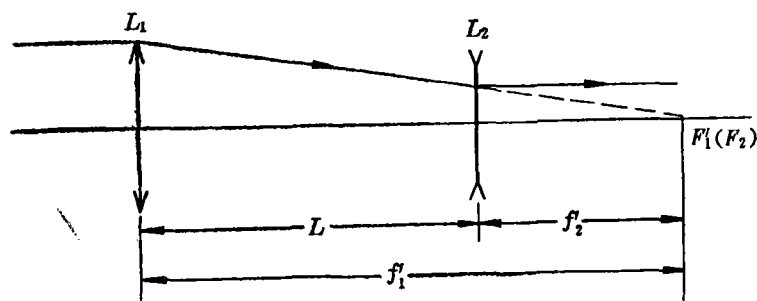


图4 倍乘法扩展筒长

$$f'_1 = L - f'_2 \quad (8)$$

从满足倍率要求，又有：

$$f'_1 = -\Gamma f'_2 \quad (9)$$

联立方程 (8) 和 (9) 得：

$$f'_2 = L/(1-\Gamma) \quad (10)$$

可知，当筒长 L 扩大 K 倍后，负目镜焦距和物镜的焦距也需同时扩大 K 倍，有：

$$\begin{cases} L^* = KL \\ f'_2{}^* = KL/(1-\Gamma) \\ f'_1{}^* = -f'_2{}^*\Gamma \end{cases} \quad (11)$$

2 負目鏡的结构限約

观察用的负目镜与摄影负目镜不同，它应有一定的出瞳距，以便使用者能看清整个视场。但是，对于倍乘法而言，当筒长扩展 K 倍后，出瞳距将随之发生变化。如图 5 所示，扩

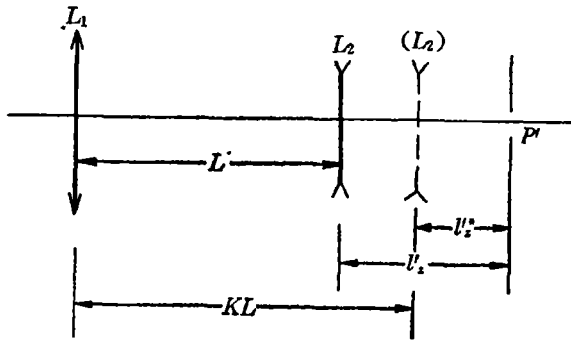


图 5 筒长扩展后的出瞳距变化

展的系数 K 值越大，扩展后的出瞳距 $l'_2{}^*$ 与预定的出瞳距 l'_2 的差值也随之增大。采用倍乘法扩展筒长后的实际出瞳距可按下式计算：

$$l'_2{}^* = [\Gamma l'_2 + (1-K)L]/\Gamma \quad (12)$$

显然，为了使筒长扩展后保证系统具有一定的出瞳距，必须对负目镜结构型式提出限制，即所选择的负目镜结构型式应具有主平面外移的性能，以最大限度满足预定的出瞳距要求，其物方主平面（倒置光路）的大小，可按下式确定，有：

$$l_H = l'_2 - l'_2{}^* \quad (13)$$

此外，在广角伽氏无焦系统中使用的负目镜，承担较大的视场角，这就必然导致严重的轴外象差。因此，选择负目镜结构时除考虑物方主平面外移的同时，还必须满足“同心原则”，以改善轴外象质。这里，有三种基本结构型式可供选择。如图 6 所示，(a) 单块负弯月厚透镜；(b) 负弯月形透镜与正薄透镜组合；(c) 平凹和平凸薄透镜分离。

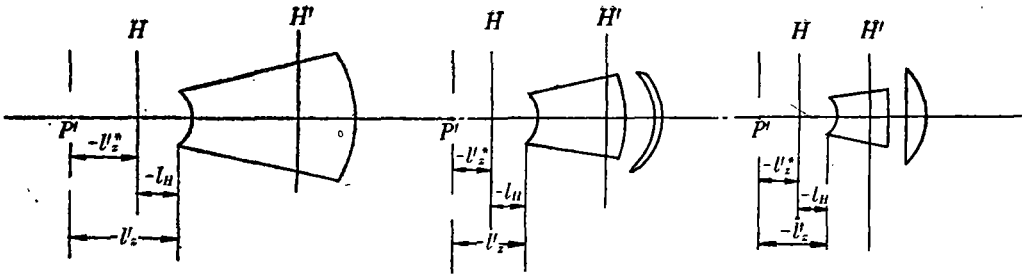


图 6 负目镜光学结构型式

3 设计结果的评价

应用多元法和倍乘法筒长扩展技术，已成功设计出几种不同结构型式、不同倍率的广角伽氏无焦系统，与现行普通伽氏无焦系统相比，具有象质优良，亮度均匀和视野开阔等特点。

在广角伽氏无焦系统的设计中，象差平衡可采用如下几种方式：

- (1) 物镜与目镜单独校正。这种平衡方式的优点在于调焦时所引起的系统象质损害小，但势必导致物镜和目镜结构的复杂化。
- (2) 物镜与目镜联合校正。这种平衡方式的优缺点恰与(1)相反，物镜和目镜结构可以得到简化，但调焦时系统的象质将产生变化。
- (3) 混合平衡方式。这种平衡方式是采用物镜和目镜单独校正某些象差，另一些象差由物镜和目镜两者联合校正，既保持了(1)和(2)两种方式的优点，而又抑制了其缺点，是较可取的。

如前所述，伽氏无焦系统的倍率和视场角的关系是相互制约的，两者的乘积基本上是常数，即 $\Gamma \cdot \omega \approx 12$ （见图1）。采用本文提出的筒长扩展技术设计的广角伽氏无焦系统，光学性能得到较大提高，其倍率与视场角的乘积常数可达24。表1给出负目镜视场角 $2w'$ 为 46° 时，系统的视觉放大率 Γ 与物镜视场角 $2w$ 之间的匹配。

表 1 筒长扩展后的倍率与视场角的匹配

负目镜视场角 $2w'$	46°					
视觉放大率 Γ	3	4	6	8	10	12
物镜视场角 $2w$	16°	12°	8°	6°	4.8°	4°

设计实践表明，广角伽氏无焦系统的物镜采用简单的双胶合结构，虽然可以使轴外细光束象散和宽光束慧差及波色差，达到与负目镜相互补偿的目的，但终究因出射主光线的剧烈偏折产生非常大的畸变。当附加进一块凸凹正透镜，使之两面与出射主光线接近同心，可有效地抑制畸变。

4 结 论

目前, 广角的伽氏无焦系统仅仅是小倍率的, 在保证一定出瞳距的前提下, 欲同时获得大视场和大倍率, 负目镜的优化设计是关键因素, 这是需要进一步致力研究的。

参 考 文 献

- [1] 别戈诺夫 B H 光学系统理论. 机械工业出版社, 1989年。
- [2] 王之江. 光学技术手册 (上). 机械工业出版社, 1987年。
- [3] 张以谟. 应用光学. 机械工业出版社, 1982年。

The Tube-Length Extended Technic For Wide-angle Galilean Non-Power System

Lin Yinsen

Abstract

The tube-length is inversely proportional to viewing field-angle Galilean non-Power. This paper presents the tube-length extended technic basing theory of multi-lens and multiply, in order to satisfy wide-angle condition to attain serviceable tube-length. And states constructing restriction of objective and negative ocular, when constraints distortion and pledge to some interpupillary distance, as well as the systematic aberration balancing method.

【Key Words】 tube-length extension; multiplexing method; constructing restriction of negative ocular