

望远镜成象质量主观评价方法的研究*

李剑白 赵安庆 魏森泉

(江西省科学院应用物理研究所, 南昌, 330029)

邹晓平 余宝玲 幸芦笙

(应用光学国家重点实验室, 长春, 130022)

摘要 本文提出了在变衬比条件下一种望远镜成象质量主观评价方法, 研究设计了新的变衬比照明装置, 对若干组样品进行了实测, 分析比较并提出了有效的主观评价判据指标。

关键词 主观评价; 成象质量; 望远镜

0 前言

对大量的目视系统、摄影系统, 有噪音的图片制作及观察系统, 电视摄像及观察系统等, 人眼仍然是光学信息传递通道成象质量的最终评价手段。用现代有效的光学方法分析和测量人眼观察图象的主观作用是光学研究中重要课题之一。研究表明¹, 人眼观察过程不能简单地把人眼当作一个物理的光学系统, 研究它的 MTF, 再与成象系统 MTF 合成, 而要用心理物理学方法评价, 引入成象质量主观评价的概念。

成象质量主观评价, 在国外已研究了多年^{2~6}, 国内有人做了一些探索性工作, 对显微镜成象质量主观评价方法提出了一定的看法⁷。本文针对目视仪器之一——望远镜的使用特点, 即在室外, 天空作背景照明、随天气而变化、要在不同衬比下观察等, 提出变衬比条件下望远镜成象质量主观评价方法, 并研究设计了变衬比鉴别率照明装置, 用该装置对若干种样品进行了实测, 提出了主观评价判据指标。下面就作一介绍。

1 用变衬比目标进行望远镜主观评价的原理

望远镜主观评价方法是模拟实际使用条件, 采取变对比鉴别率测试装置⁸, 由测试者用眼睛作接收器观察, 测量阈值衬比 M_{th} 或视觉衬比灵敏度 V_{cs} 指标。

所谓“阈值衬比”是指人眼通过被测系统观察变衬比下鉴别率目标, 在刚刚能分辨的鉴别率(频率)下的目标板的衬比值。阈值衬比是频率 S 的函数。为了形式上与光学系统 MTF 曲线相一致, 也有采用视觉衬比灵敏度 V_{cs} 指标来评价光学系统主观成象质量的⁷。 V_{cs} 与 M_{th} 是倒数的关系:

$$V_{cs} = M_{th}^{-1} \quad (1)$$

为了测量主观评价指标, 作者采用了自行设计的装置, 用平行光管模拟无限远目标,

* 国家自然科学基金和应用光学国家重点实验室基金资助项目

收稿日期: 1992-12-24

变衬比鉴别率装置安在平行光管焦面上,被测望远镜置于平行光管前,人眼通过被测镜观察鉴别率的象,测出 M_{th} 或 V_{cs} 。

作者设计的变衬比鉴别率照明装置光学原理图如图1。该装置由主光路和附加背景光路组成。设主光路鉴别率板亮线和暗线的亮度分别为 L_b 和 L_o , 附加光路的背景亮度为 L_u 。定义主光路鉴别率板调制衬比为

$$M_o = \frac{I_{max} - I_{min}}{I_{max} + I_{min}} = \frac{L_b - L_o}{L_b + L_o} \quad (2)$$

附加背景光路后,亮线与暗线的亮度变为:

$$L'_b = L_b + L_u \quad L'_o = L_o + L_u$$

加背景后的鉴别率板调制衬比为

$$M = \frac{L'_b - L'_o}{L'_b + L'_o} = \frac{L_b - L_o}{L_b + L_o + 2L_u} \leq M_o \quad (3)$$

在主光路和附加光路中各设一偏振片,偏振方向互成 90° ,两束光合成后,共同通过一检偏镜。转动此检偏镜可改变主光路的 L_b 和 L_o 及附加背景光路的 L_u , 可造成不同衬比的鉴别率图案。通过平行光管和被测望远镜,人眼就可观察测量变衬比下的 M_{th} 和 V_{cs} 指标了。

2 变衬比照明装置的设计及测试方法讨论

变衬比照明装置及测试方法研究中,作者主要考虑了以下几个问题。

1) 人眼的目视阈值衬比 M_{th} 或其倒数 V_{cs} 值与视场照明的平均亮度有关。Van Nes 等的研究表明⁸,在人眼视网膜上照度大于100特罗兰(troland或td)时,其 M_{th} 或 V_{cs} 值变化很小。当视网膜上照度达到1000特罗兰以上,则 M_{th} 就不随照度变化了。因此,我们设计的照明器要求在视网膜上要达到100~1000td以上,即被测仪器的象场亮度应选在100尼特(cd/m^2)以上。

作者选择白炽碘钨灯,光度值为 $10^7 \text{cd}/\text{m}^2$, 经过测试光路的损耗,可以在被测望远镜第一象面上造成大于1000 cd/m^2 的亮度。增加附加背景光,还可增加视网膜照度,满足测试条件要求。

2) 检偏镜转角与目标衬比关系计算

如图1所示,设主光路振幅型鉴别率板能量分布为

$$I(x) = a + b \cdot \cos 2\pi f x \quad (4)$$

选择 $a = b$, 则 $I_{max} = 2a$, $I_{min} = 0$ 。调整背景光路光强也为 a 。

当检偏镜处于 θ 方位角时,两路照明叠合后,光路上的光强为

$$\begin{aligned} I'_o(x) &= (a + a \cos 2\pi f x) \cos^2 \theta + a \sin^2 \theta \\ &= a + a \cos^2 \theta \cos 2\pi f x \end{aligned}$$

则 $I_{max} = a + a \cos^2 \theta$, $I_{min} = a - a \cos^2 \theta$

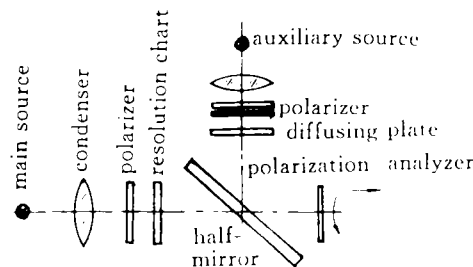


图 1 变衬比照明装置

Fig. 1 Changing contrast illuminant device.

$$M = \frac{I_{\max} - I_{\min}}{I_{\max} + I_{\min}} = \cos^2 \theta \quad (5)$$

当 $\theta \rightarrow 0^\circ$, $M \rightarrow 1$, 鉴别率目标衬比最大.

当 $\theta \rightarrow 90^\circ$, $M \rightarrow 0$, 鉴别率目标衬比最小.

标明检偏镜转角 θ , 用列表法即可找到对应的目标调制衬比 M .

3) 阈值的测量方案有两种: 一种是固定目标的衬比 M , 改变目标的空间频率, 测量在此衬比下, 空间频率的分辨阈. 另一种是固定目标的空间频率, 改变目标的衬比, 测量在此空间频率下, 眼睛能分辨的目标最低衬比. 显然这两种方案在理论上是完全等效的, 作者选择的是第一方案, 根据已有的条件及习惯, 采用调整法测量阈值.

4) 望远镜的倍率及出瞳大小的影响.

观察者眼瞳大小是否与望远镜出瞳大小相匹配是十分重要的. 如果眼瞳小于出瞳, 实际观察就受眼瞳限制, 不能充分利用望远镜口径. 这样看出的主观成像质量实际上不是望远镜全口径所固有的特性, 而是部分口径的特性, 显然, 这样评价是不准确的.

作者使用加大望远镜倍率的方法, 使其出瞳小于观察者的眼瞳. 即在被测望远镜之后, 附加一小倍率观察望远镜, 进一步缩小出瞳. 由于被测望远镜的出瞳大大小于附加观察镜的入瞳, 因此, 附加观察镜的光学系统对被测系统成像质量影响可以忽略.

3 实测结果及评价

通过测试望远镜变衬比分辨率来评价其主观成像质量可以用两种具体评价方法.

3.1 低衬比分辨率本领指标体系

这是王之江⁹提出的象质评价指标, 他采用调制衬比 $M=0.5$ 或 0.3 作为评价标准, 考查在这种衬比下光学系统的空间频率阈.

3.2 特征频率法评价指标体系¹⁰

鉴于目前对望远镜使用的特征频率选取研究进展较少, 望远镜光学传递函数中所选的特征频率偏低, 测试使用困难. 作者在望远镜主观象质评价中选用 $M=0.3$ 低衬比分辨率指标, 对实验测试结果进行分析评价, 获得明显的效果. 实验测试了一具单筒望远镜, 九具双筒望远镜, 共十九套光学系统. 实验分四组进行, 测试结果分别绘在图 2 ~ 图 6 中. 现分述如下, $M=0.3$ 时低衬比分辨率用 $S_{0.3}$ 表示:

1) 相同口径, 不同倍率, 不附加扩展镜, 用人眼直接在被测望远镜后观察. 测试了 10×50 双筒望远镜和 30×50 单筒望远镜, 其低衬比分辨率 ($M=0.3$ 时, 下同) 分别为: 左镜 6.2, 右镜 6.8, 单筒 15.5, 单位: 线/视角分 (下同). 由于未加附加扩展望远镜观察, 被测镜出瞳受眼睛限制, 30×50 单筒望远镜出瞳为 $\phi 1.7 \text{ mm}$, 全口径的光束都可以进入眼瞳, 因此低衬比分辨率 $S_{0.3}$ 明显的高; 10×50 双筒望远镜出瞳为 $\phi 5 \text{ mm}$, 只有约一半口径的光束可以进入眼瞳, 即实际只利用了约一半的入射口径, 造成 $S_{0.3}$ 明显偏低, 测试结果示于图 2.

2) 相同口径, 不同倍率, 加 4 倍扩展望远镜. 测试结果示于图 3、图 4、图 5.

由于加了附加望远镜, 测量 15×50 系统时总倍率相当于 50 倍, 测量 7×50 时, 总倍率为 28 倍. 这样, 两种系统出瞳均小于 2 mm , 即小于人眼瞳, 测量不受眼瞳限制. 可观

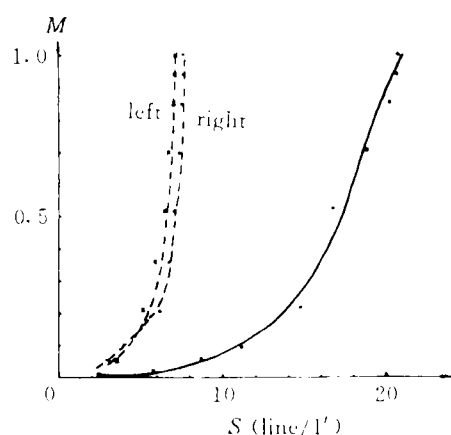


图 2 望远镜 (1) 的调制阈曲线

Fig. 2 Modulation threshold curves of telescope (1).

--- 30 × 50 telescope
 ---- 10 × 50 telescope

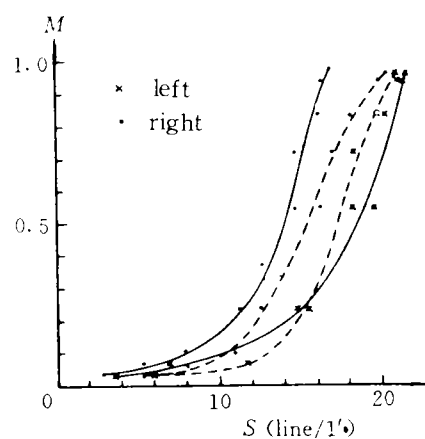


图 3 望远镜 (2) 的调制阈曲线

Fig. 3 Modulation threshold curves of telescope (2).

--- 15 × 50 telescope
 No. 1702221
 ---- 15 × 50 telescope
 No. 2210968

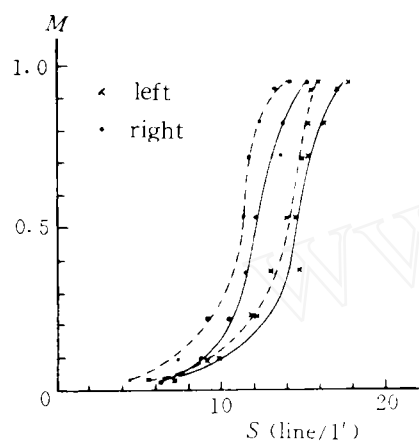


图 4 望远镜 (3) 的调制阈曲线

Fig. 4 Modulation threshold curves of telescope (3).

--- 7 × 50 I telescope
 No. 7200441
 ---- 7 × 50 III telescope
 No. trail product

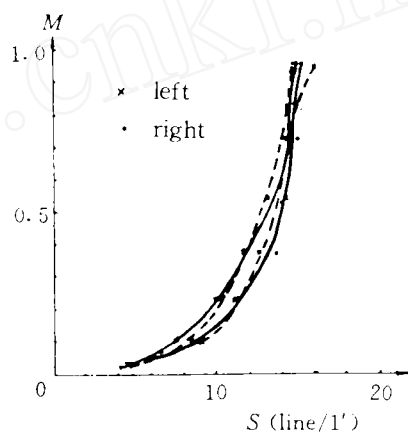


图 5 望远镜 (4) 的调制阈曲线

Fig. 5 Modulation threshold curves of telescope (4).

--- 7 × 50 II telescope
 No. 200003
 ---- 7 × 50 I telescope
 No. 320014

察到全口径内望远镜的完整的成像质量, 结果表明, 相同口径的两种望远镜, $15\times$ 明显地优于 $7\times$, 实际上这两种望远镜除目镜倍率不同以外, 物镜和其他部分完全相同, 选择光学质量好的做 15×50 镜, 质量差的做 7×50 镜, 这与我们检测结果完全一致。

3) 相同口径, 相同倍率, 左镜和右镜比较, 从图3、图4中可以看出, 同一具望远镜, 左镜和右镜的 $S_{0.3}$ 值相差甚大, 这完全是光学系统成像质量偏差所造成的。作者进一步观察了光学系统星点象, 发现两个 $15\times$ 望远镜的右镜筒有明显的轴上象散, 致使右镜筒 $S_{0.3}$ 明显下降, 而其左镜筒仅小量的轴上慧差, $S_{0.3}$ 接近理论值。图4中两具 7×50 镜的左右镜也有类似的象质差别, 说明, 用低衬比分辨率评价不仅兼有星点检验法高灵敏度的优点, 而且可以定量化测量, 是一种值得推广的评价体系。

4) 小口径高质量的系统与大口径低质量系统比较, 作者测试了一具有代表性的 12×42 双筒望远镜, 入瞳口径 $\phi 42\text{mm}$, 比上述 $7\times$ 、 $15\times$ 镜均小, 但主观评价指标 $S_{0.3}=12.8$ (左镜)和 11.4 (右镜), 高过大口径的 $7\times$ 镜, 接近 $15\times$ 的水平(图6), 说明只要提高小口径镜设计加工装配的质量, 充分发挥其通光口径的作用, 可以替代大口径系统, 使产品尺寸、重量大大减小, 对野外和军用有重要意义。

4 结 论

从本文列举的研究结果, 作者认为, 用低衬比分辨指标作为望远镜主观评价方法及设备具有明显的优点:

1) 获得信息比经典方法多, 它不仅可以模拟晴朗天气下望远镜的观察效果, 其低衬比特性还可表明阴雨天气、雾气、早晚黄昏天气、树荫下等各种能见度差、照明不足、反差较小时望远镜的观察效果。

2) 在高衬比下观察分辨率, 由于象差, 产生双象重叠现象, 影响分辨率读数, 产生较大测量误差, 而 $M=0.3$ 的低衬比情况, 双象重叠基本消失, 测量容易、精度高, 而且在实际测试中发现, 具有高灵敏度的特点, 定性定量测定都比较方便。

3) 与近代纯客观的光学传递函数评价方法比较, 用目视低衬比分辨率作主观评价, 有两个明显的优点: 一是从理论上符合生理物理学原理, 符合目视仪器的实际使用条件; 二是设备简单、投资少, 适宜推广使用。

当然望远镜等目视光学仪器主观评价研究在我国才刚刚开始, 但由于具有以上优点, 进一步研究推广是有意义的。

张国柱、俞起豪、龚清华、赵斌、陈学岗参加了研究测试工作, 谨表感谢。

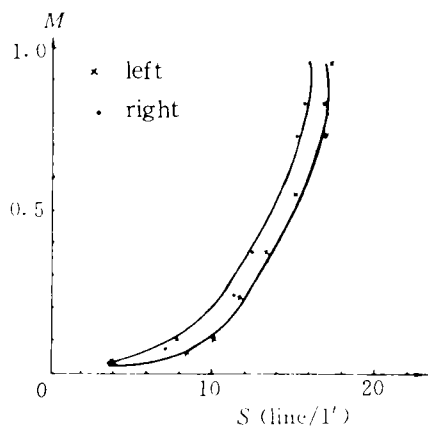


图 6 望远镜(5)的调制阈曲线

Fig. 6 Modulation threshold curves of telescope (5).

— 12×42 telescope
No. 200004

参 考 文 献

- 1 杨雄里译. 应用物理学会光学讨论会 (H): 生理光学, 北京: 科学出版社, 1980: 10~522
- 2 Higgins G C. J. Appl. Photogr. Eng, 1977, 3(2): 52~60
- 3 Granger E M, Cupery K N. photogr Sci Eng, 1972, 16:221~224
- 4 Yasada Y, Emori Y. A summary of the proceedings of an SPIE technical section conference, 1977, oct:81~85
- 5 Overington I, Growther A G. Proceedings of SPIE, 1976, 98:65~71
- 6 Granger E M. Proceedings of SPIE, 1974, 46:86~92
- 7 钱振邦等. ICO-13 Conference Digest 80, 1984, Sapporo
- 8 van Nes F L., Bouman M A. J opt Soc Am. 1967, 57: 401~407
- 9 王之江. 物理学报. 1963, 10(11): 741~752
- 10 蒋筑英, 李剑白等. 光学系统成像质量评价及检验文集, 北京: 中国计量出版社, 1988: 75~85

THE RESEARCH ON SUBJECTIVE EVALUATION METHOD OF OPTICAL IMAGE QUALITY FOR TELESCOPE SYSTEMS

Li Jianbai, Zhao Anqing, Wei Senquan

Zou Xiaoping, Yu Baoling, Xing Lusheng

Institute of Applied Physics, Jiangxi Academy of Sciences, Nanchang, 330029

National Applied Optics Laboratory, Changchun, 130022

Received data: 1992-12-24

Abstract This paper explain a new subjective evaluation method of image quality for telescope with changing contrast illuminator. Authors have designed a new illuminator equipment with changing contrast chart and tested some set of telescope samples. In the paper authors have analysed and discussed these results. A available judge index on subjective evaluation of this systems was suggested.

Keywords Subjective evaluation; Image quality; Telescope systems



Li Jianbai was born in 1938. He is a professor of the Institute of Applied Physics, Jiangxi Academy of Sciences. He graduated from the Department of Optical Instrument of Qinghua University. From 1962 to 1983, he was engaged in research for image quality evaluation and measurement of optical systems, OTF, and its application design of optical systems, in the Changchun Institute of Optics and Precision Mechanics, Academia Sinica. He has published many papers on international and national journals and conferences. Recently he is engaging in applied optics and studies of National Science Funding.