

〈微光技术〉

## 微光像增强器亮度增益测量及寿命预测

拜晓锋<sup>1</sup>, 郭 晖<sup>1</sup>, 杨书宁<sup>1</sup>, 石 峰<sup>1</sup>, 胡 中<sup>2</sup>, 侯志鹏<sup>1</sup>, 陈旭浪<sup>1</sup>, 黄武军<sup>1</sup>

(1. 昆明物理研究所 微光夜视技术重点实验室, 云南 昆明 650223; 2. 云南北方光电仪器有限公司, 云南 昆明 650114)

**摘要:** 亮度增益是进行微光像增强器寿命预测时常用的一个重要参量, 高精确度的亮度增益测量可以提高微光像增强器寿命预测的准确性。本文基于亮度增益的测量原理, 通过分析测量装置的组成部分及相关误差特性, 给出了能有效降低亮度增益测量误差的处理方案, 该方案经试验证明像增强器寿命预测的准确度有所提高, 其与试验结果之间的相对偏差小于 4%, 为提高微光像增强器的工程研制效率提供一种有效检测手段。

**关键词:** 亮度增益; 微光像增强器; 寿命; 相对误差

中图分类号: TN223

文献标识码: A

文章编号: 1001-8891(2019)03-0203-05

## Luminance Gain Measurement and Life Prediction of Low-light-level Image Intensifier

BAI Xiaofeng<sup>1</sup>, GUO Hui<sup>1</sup>, YANG Shuning<sup>1</sup>, SHI Feng<sup>1</sup>, HU Zhong<sup>2</sup>,  
HOU Zhipeng<sup>1</sup>, CHEN Xulang<sup>1</sup>, HUANG Wujun<sup>1</sup>

(1. Kunming institute of physics, Science and Technology on Low-Light-Level Night Vision Laboratory, Kunming 650223, China;

2. Yunnan North Photoelectric Instrument Co. Ltd., Kunming 650114, China)

**Abstract:** Luminance gain is an important parameter for predicting the life of low-light-level image intensifier. Highly accurate luminance gain measurements improve the accuracy of the low-light-level image intensifier life prediction. This article is based on the measurement principle of luminance gain. By analyzing the components of the measuring device and the associated error characteristics, a treatment scheme that can effectively reduce the measurement error of luminance gain is given. The program has been experimentally verified to improve the accuracy of image intensifier life prediction. The relative deviation from the test results is less than 4%. An effective detection method to improve the engineering development efficiency of the low-light-level image intensifiers is presented.

**Key words:** luminance gain, low-light-level image intensifier, life, relative error

### 0 引言

亮度增益是微光像增强器的重要特性之一<sup>[1-3]</sup>, 反映了像增强器对所接收微弱光辐射的增强能力<sup>[4]</sup>。通过测量微光像增强器寿命试验时的亮度增益变化情况, 一方面经拟合试验初期的亮度增益变化数据可实现寿命预测, 另一方面还可通过对比亮度增益门限值来准确评价其寿命<sup>[5-6]</sup>。亮度增益测量结果的准确性直接影响着微光像增强器的寿命评价结果, 分析其测

量误差并进行误差处理意义重大。本文分析了微光像增强器亮度增益测量准确度的影响因素, 提出了有效的误差处理方式, 可为微光像增强器的工程研制提供一种准确的检测手段。

### 1 测量原理

微光像增强器亮度增益的测量原理是<sup>[4,7]</sup>:

用规定照度的标准光源照射光阴极, 在像增强器输出光轴方向上, 分别测量有光输入和无光输入时荧

收稿日期: 2018-09-13; 修订日期: 2019-01-19.

作者简介: 拜晓锋(1982-), 男, 陕西大荔人, 高级工程师, 博士研究生, 主要从事微光像增强器性能评价技术及微光器件的系统应用技术研究。E-mail: baixiaofeng2001@163.com.

基金项目: 实验室基金项目(614241204021703)。

光屏的法向亮度，两者亮度之差与垂直入射到光阴极面上的照度之比，即是被测像增强器的亮度增益。亮度增益的计算公式是：

$$G = \frac{L_1 - L_0}{E}$$

(1)

式中： $G$  为亮度增益， $\text{cd}/(\text{m}^2 \cdot \text{lx})$ ； $L_1$  为有光输入时荧光

屏的法向亮度， $\text{cd}/\text{m}^2$ ； $L_0$  为无光输入时荧光屏的法向亮度， $\text{cd}/\text{m}^2$ ； $E$  为光阴极接收的垂直入射光照度， $\text{lx}$ 。

2 测量装置及方法

微光像增强器亮度增益测量装置的组成如图 1 所示。

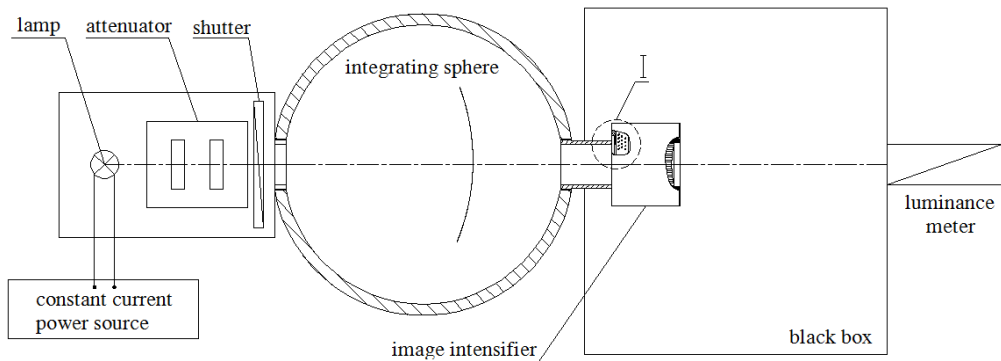


图 1 微光像增强器亮度增益测量装置组成图  
Fig.1 A brightness gain measuring device for low-light-level image intensifiers

钨丝灯泡在稳压恒流源的控制下输出满足色温要求的光线，经衰减器衰减后进入积分球，在积分球内壁进行多次反射后均匀输出，输出光斑尺寸不小于微光像增强器的有效成像面积。通过控制快门实现微光像增强器光阴极有光输入和无光输入的条件，快门可自动控制，也可手工控制；亮度计分别在快门关闭和快门打开时测量像增强器荧光屏输出的法向亮度。为实现宽量程、高精度亮度测量，一般采用 PR880 成像亮度计<sup>[7]</sup>。暗箱主要用来保证亮度增益测量时能够较好地屏蔽外界环境的杂散光。

3 测量误差分析及数据处理

3.1 系统误差

由图 1 所示的微光像增强器亮度增益测量装置可知，亮度增益测量的系统误差主要包括光阴极入射光照度标定时的位置误差、像增强器光轴和测试系统轴线夹角的余弦误差、亮度计采样测量时的荧光屏亮度误差等。

1) 光阴极入射光照度标定的位置误差

在亮度增益计算公式中，微光像增强器光阴极接收的入射光照度应是窗口玻璃后表面（及光阴极感光面）位置上的照度。一般情况下，照度计是无法直接从光阴极感光面位置处测量照度的，这主要受限于微光像增强器光阴极部分的结构（见图 2）。通常，微光像增强器塑料外壳端面与像增强器窗口玻璃前表面之间的距离为 0.8 mm~1 mm，像增强器窗口玻璃

（折射率约 1.49）厚度在 5.5 mm~5.6 mm 之间。上述两项距离的叠加，使光阴极实际接收光照射面的位置后移，导致光阴极入射光照度的测量产生误差，该误差大小约为 1.3%。

由图 2 可知，对光阴极照射面位置误差进行系统校正，可以有两种途径：一种是在相对像增强器塑料外壳入射端面（光阴极端）的位置后移约 4.8 mm 处用照度计直接测量；一种是在积分球出射光基准面处先用照度计测量，然后根据照度平方反比定律进行距离校正。通常第一种方式相对来说简单、方便，更符合工程应用的实际，且照此方式校正后，光阴极照射面位置误差可降低至 0.4% 以下；第二种方式的计算较为繁杂，工程实践中通常不采用。

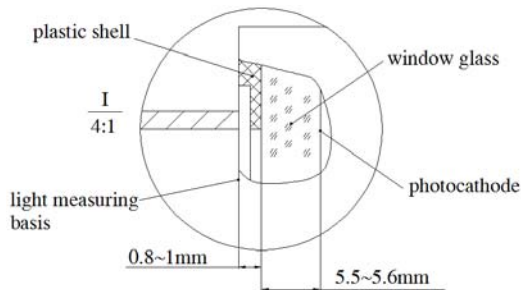


图 2 微光像增强器光阴极部分的结构细节  
Fig.2 Structural details of the photocathode portion of the low-light-level image intensifier

2) 像增强器光轴和测试系统轴线夹角的余弦误差

一般情况下，测量亮度增益时，积分球出射光斑和像增强器的输入直径基本上是相等的，且像增强器轴线和测试系统光轴应保持同轴。

若两条轴线之间存在一夹角 $\theta$ ，如图3所示，则实际照射到像增强器上的光斑面积应是理想照射面积 $S$ 在像增强器垂轴方向上的投影面积 $S_\theta$ ，两者之间遵循余弦定律，即：

$$S_\theta=S\cdot\cos\theta \tag{2}$$

由公式(2)可知，两条轴线之间的夹角越大，实际照射到像增强器上的投影光斑面积越小。鉴于入射光照度是在理想面积时标定的，则由公式(1)可知，此时的亮度增益数值会偏小，且两条轴线之间的夹角越大，亮度增益就越小。

该项系统误差的消除方法是：增大积分球出射光斑尺寸使其大于像增强器的输入直径，同时校对像增强器光轴和测试系统轴线同轴，使校对后的两条光轴夹角不超过 $3^\circ$ ，则该项系统误差可降低至约0.1%，可以忽略不计。

3) 亮度计采样测量时的荧光屏亮度误差

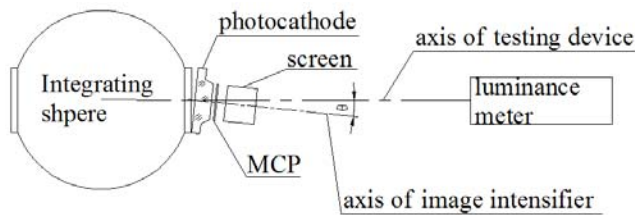
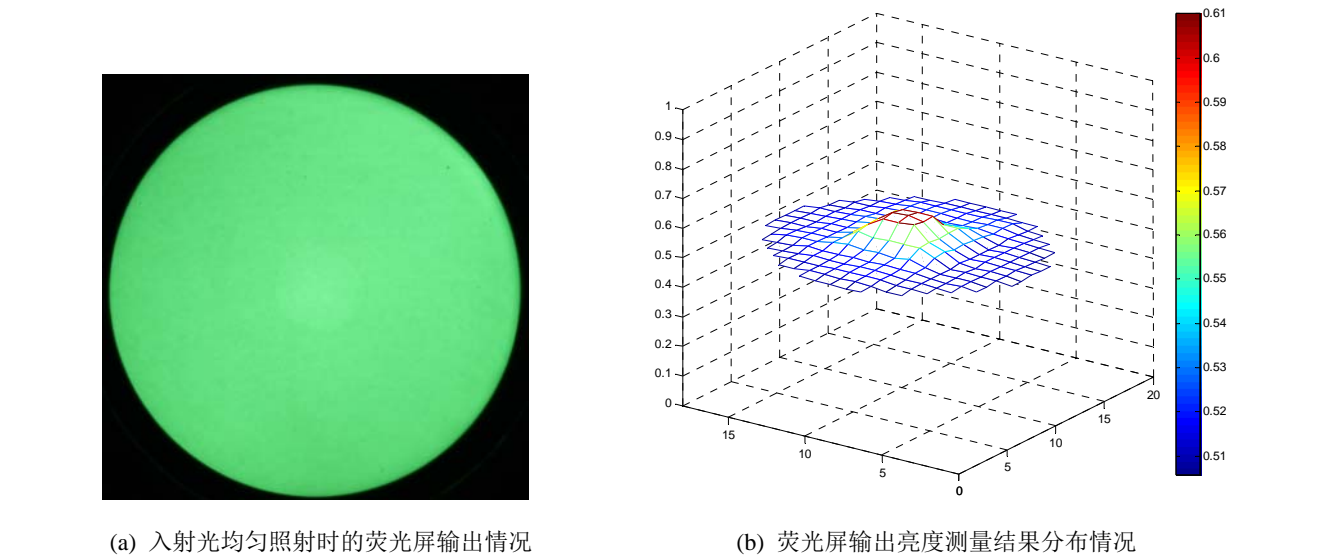


图3 微光像增强器光轴和测试系统轴线之间的夹角情况

Fig.3 The angle between the optical image intensifier optical axis and the axis of the test system



(a) Screen output when the incident light is uniformly illuminated (b) Distribution of brightness measurement results of the screen output

图4 微光像增强器荧光屏输出光亮度分布

Fig.4 Luminous screen output brightness distribution of a low-light-level image intensifier

3.2 随机误差

微光像增强器亮度增益测量也存在随机误差，主要是：入射光照度标定时的随机测量误差<sup>[8]</sup>、亮度计采样荧光屏输出光亮度时的随机测量误差等。

微光像增强器亮度增益测量时的这几项随机误差具有正态分布的特征<sup>[7]</sup>，可以在单参量测量时通过实施多次重复测量求平均值的方式加以处理<sup>[8]</sup>。通常情况下，采取至少重复 5 次测量求算术平均值的方案<sup>[9]</sup>。

4 试验验证

4.1 亮度增益测量误差验证

对 5 只微光像增强器的亮度增益测量误差变化情况进行验证。

首先，在图 1 所示的微光像增强器亮度增益测量装置上，在不执行本文所述误差处理措施的前提下，进行亮度增益测试，重复测量 5 次。然后，按照本文所述误差处理方式先完成装置校准后再进行亮度增益测试，同样重复测量 5 次。两种不同方式下得到的亮度增益测试数据见表 1。

4.2 寿命预测试验验证

对 5 只微光像增强器进行寿命预测试验，试验期间按照本文第 3 章所述方法对其亮度增益进行测量，监测的初期 15 个亮度增益随时间变化情况见图 5。

对已有的亮度增益测试数据，按照负指数回归拟合得到的像增强器寿命预测结果见表 2。5 只微光像增强器寿命试验结束后得到的实际寿命结果见表 2。

表 1 亮度增益测量误差验证情况 Table 1 Verification of brightness gain measurement error

Image intensifier No.		1#	2#	3#	4#	5#
None error processing	First	9526	10897	9128	12567	8589
	Second	9144	9877	9288	10589	9233
	Third	9028	10121	8657	11288	8897
	Forth	9377	9966	8721	10987	8858
	Fifth	8965	10384	8676	11879	9113
	Average	9208	10249	8894	11462	8938
	Relative error	2.6%	4.0%	3.3%	6.8%	2.8%
Error processing	First	9257	10338	8950	11205	8987
	Second	9189	10204	8830	11387	9070
	Third	9168	10243	8798	11166	8798
	Forth	9230	10247	9010	11235	8910
	Fifth	9216	10258	8787	11332	9120
	Average	9212	10258	8875	11265	8977
	Relative error	0.4%	0.5%	1.1%	0.8%	1.4%

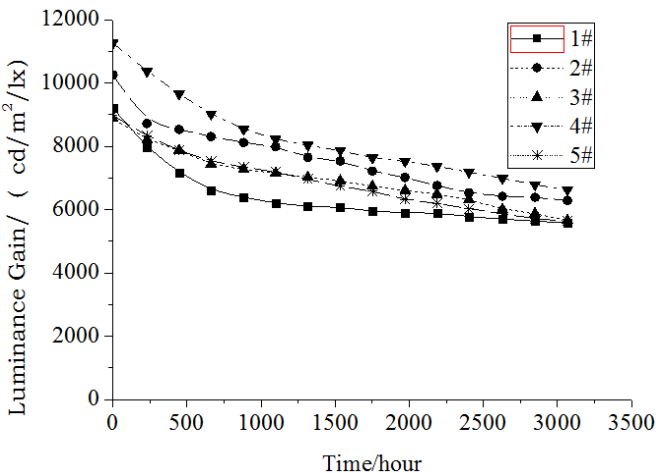


图 5 微光像增强器寿命试验初期亮度增益随时间变化情况

Fig.5 Luminance gain changes with time in the initial life test of low-light-level image intensifier

表2  参试5只微光像增强器的寿命预测及试验结果比对情况  
Table 2  Life prediction and test results comparison of 5 low-light image intensifiers

	1#	2#	3#	4#	5#
Life predicting results/h	7500	8050	8150	7950	7300
Life test results/h	7445	7911	8086	7736	7005
Relative error	−0.7%	−1.7%	−0.8%	−2.7%	−4.0%

由表1可知,通过多次重复测量消除随机误差后,微光像增强器的亮度增益测量重复性尚有6.8%的相对偏差;而在采取本文所述的误差处理措施后,微光像增强器亮度增益测量重复性相对偏差降低至不超过1.4%,亮度增益重复性明显提高。

由表2可知,在进行了亮度增益测量误差处理后,入射光照度、光轴余弦偏离、荧光屏亮度均匀性等误差以及系统误差都得到了较好的控制或消除,微光像增强器亮度增益测试结果更加准确、稳定;对亮度增益测试数据进行负指数回归拟合后得到的微光像增强器寿命预测结果和试验结果之间的相对偏差不大于4.0%,两者之间具有较高的吻合度。

5 结论

亮度增益作为微光像增强器寿命试验期间的一项重要监测指标,其测量误差对寿命预测和评价结果影响很大。通过对测量装置的系统误差进行校正,并消除测量时的随机误差,可大幅提高微光像增强器寿命试验期间亮度增益测试结果的准确度,其寿命试验结果与预测结果之间的相对偏差不大于4%,具有较高的准确度。将本研究成果直接应用于微光像增强器的工程研制,可为提高研制效率提供一种有效的检测手段。

参考文献:

[1] 向世明,倪国强. 光电子成像器件原理[M]. 北京:国防工业出版社, 2006.

XIANG Shiming, NI Guoqiang. *The principle of photo electronic imaging devices*[M]. Beijing: National Defense Industry Press, 2006

[2] 张敬贤. 测量象管亮度增益的一种新方法[J]. 红外技术, 1988, 10(5): 23-25.

ZHANG Jingxian. A new method for measuring tube brightness gain[J]. *Infrared Technology*, 1988, 10(5): 23-25.

[3] 邱亚峰,钱芸生,常本康. 像增强器亮度增益和等效背景照度测试仪的研制[J]. 红外技术, 2003, 25(5): 76-79.

QIU Yafeng, QIAN Yunsheng, CHANG Benkang. Development of iImage intensifier brightness gain and equivalent background illuminance tester[J]. *Infrared Technology*, 2003, 25(5): 76-79.

[4] 高岳,王仲春,高雅允. 像管亮度增益和背景测试仪[J]. 应用光学, 2003, 24(5): 14-15.

GAO Yue, WANG Zhongchun, GAO Zhiya. Image intensifier brightness gain and background tester [J]. *Journal of Applied Optics*, 2003, 24(5): 14-15.

[5] 美国军用标准 MIL-I-49052D. Image Intensifier Assembly, 18mm Microchannel Wafer[S]. 1984.

US military standard MIL-I-49052D. Image Intensifier Assembly, 18 mm Microchannel Wafer[S]. 1984.

[6] GJB 5984-2007. 三代像增强器规范[S]. 2007.

GJB 5984-2007. Specification for the third generation image intensifier[S]. 2007.

[7] 史继芳,王生云,孙宇楠,等. 三代微光像增强器亮度增益测量装置[J]. 应用光学, 2011, 32(2): 300-302.

SHI Jifang, WANG Shengyun, SUN Yunan. Third generation of image intensifier brightness gain measurement device[J]. *Journal of Applied Optics*, 2011, 32(2): 300-302.

[8] 刘宇. 微光计量的量值传递方案探讨[J]. 应用光学, 1996, 17(6): 38-42.

LIU Yu. Discussion on the transfer scheme of the value of low-light metering[J]. *Journal of Applied Optics*, 1996, 17(6): 38-42.

[9] 费业泰. 误差理论与数据处理[M]. 北京:机械工业出版社, 2010.

FEI Yetai. *Error Theory and Data Processing*[M] Beijing: China Machine Press, 2010.