

· 光电工程系统技术 ·

像增强器参数综合测试研究

孙大维, 蒲元远

(东北电子技术研究所, 辽宁 锦州 121000)

摘要:采用高灵敏度低噪声 CCD 器件作为像管输出图像的探测接收器, 研制了一台像增强器参数综合测试系统. 分析了各参数的综合测试方法与原理. 优化的结构设计保证了一台仪器就能够对像增强器的亮度增益、调制传递函数、分辨率等多种性能参量测试. 利用统计学的方法对多次测试结果进行误差分析. 试验表明, 测试系统具有测试过程自动快速及测试数据准确稳定的优点.

关键词:像增强器; 参数; 测试

中图分类号: TN215

文献标识码: A

文章编号: 1673-1255(2009)03-0017-03

Comprehensive Testing of Image Intensifier Parameters

SUN Da-wei, PU Yuan-yuan

(Northeast Research Institute of Electronics Technology, Jinzhou 121000, China)

Abstract: A comprehensive testing equipment of image intensifier parameters was developed with high sensitivity and low noise CCD component as the image intensifier output image detection receiver. The comprehensive test method and principle for all the parameters were analyzed. The optimized structure design ensures that many performance parameters of image intensifier such as brightness gain, modulation transfer function and resolution can be measured by single equipment. Statistical method can be used to analyze the errors in many times test results, the experiments results show that the equipment has some advantages because its test process is automatic and fast, and its data testing is accurate and stable.

Key words: image intensifier; parameter; testing

像增强器作为微光探测系统的核心器件, 是整机性能和价格的决定性因素. 像增强器的综合参数能够全面定量地表征像管在探测弱辐射图像时的综合性能. 因此, 对像增强器的参数测试技术的研究具有重要意义. 像增强器参数综合测试系统采用双共轭透射光学系统、高精度定位和调焦控制、多模式靶标投射方式、高分辨力数字视频 CCD 系统以及计算机分析控制系统等先进技术, 来实现对像增强器的分辨率、亮度增益、信噪比、传递函数、均匀性等多种性能参量的测试, 是一套价格低、操作简便, 适用于实验室工作需要的实用型像增强器测量系统.

1 系统组成及工作原理

像增强器参数综合测试系统由光源、多模式测试靶标、成像物镜、CCD 及其控制与分析处理等系统组成, 如图 1 所示.

光源出射的光经积分球均匀漫射后照明在输出孔处的靶标上(测试项目不同需分别选择不同的靶标图案). 在像增强器分辨率和 MTF 测试中, 选用成像光学系统 A ($5\times$ 缩小成像), 将靶标上的分划图案成像在待测像增强器的光阴极面上; 在其他特性项目的测量中, 光学系统移动机构选用成像光学系

收稿日期: 2009-04-10

作者简介: 孙大维(1981-), 男, 辽宁锦州人, 学士, 研究方向为光电工程.

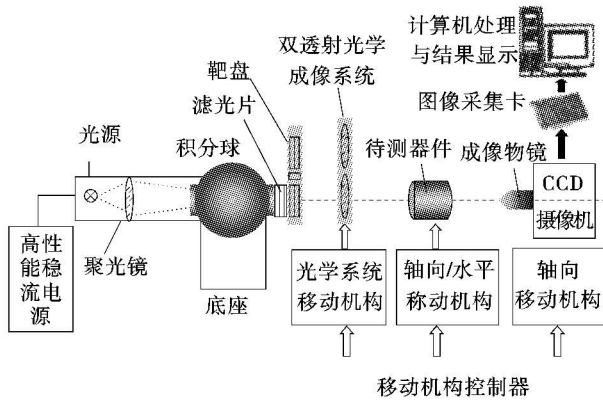


图 1 系统组成

统 B(1× 成像),用规定强度的均匀光辐射照射像增强器光阴极面;经由像管成像后的靶标图像以及像管输出图像通过 CCD 成像物镜成像在 CCD 光敏面上,由高信噪比的 CCD 传感器转换为视频信号,经由信号接口将视频信号送入计算机进行数据处理,给出测试结果。

1.1 光源系统

由氙灯、高性能稳流电源、光阑、积分球和滤光片组成,氙灯光源通过自身的光学系统可以发出较强的光,通过积分球均光和滤光片滤光后,可以得到带宽很窄均匀性非常好的特定光谱,光阑分为 5 档,用于调节光源辐射通量大小。

1.2 多模式测试靶标系统

由各种靶标和可旋转的靶标座组成,为测试系统提供分辨率、狭缝以及白板等各种测试靶标,靶标基底材料选择 JGS1 型石英材料,明暗对比度达到 90%。如图 2 所示,图 2a 为分辨率靶,图 2b 为狭缝靶。

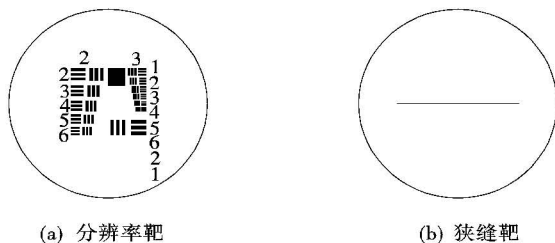


图 2 分辨率靶与狭缝靶

1.3 成像物镜系统

由具有完全相同的物像共轭距的成像物镜 A

和成像物镜 B 组成,2 套系统可以通过电动进行切换。成像物镜 B 采用 1 倍成像设计,直接将积分球出射窗等大成像在像管阴极面上,实现均匀性等指标测试。成像物镜 A 采用 5 倍成像设计,用于分辨力、传递函数等参数的测试。

1.4 CCD 成像系统

由不同的成像物镜和高信噪比 CCD 摄像机组成,利用 4 倍显微镜镜头进行分辨力和传递函数测试,利用远心光学成像物镜完成均匀性、缺陷、增益和信噪比的检测。

1.5 控制与分析处理系统

包括微型计算机、移动机构及其控制器、高性能数字/模拟视频图像采集卡、以及相应的控制和管理软件包,主要控制各测试系统、信号采集以及数据处理与存储。

2 测试方法与原理

“像增强器参数综合测试系统”用于实现对像增强器的成像性能、光电特性等多种性能参量的测试,主要测试项目为:像增强器分辨力的测试、像增强器调制传递函数(MTF)的测试、像增强器均匀性的测试、像增强器增益的测试、像增强器信噪比的测试。由于系统采用 CCD 作为信号接收器,其测试原理与以往有较大区别。

2.1 像增强器分辨力的测试

在一定照度下,观察输出的分辨力靶标图案,以可目视分辨的最高空间频率作为被测像增强器的分辨力。系统可测试范围为 10~40 lp/mm。

2.2 像增强器调制传递函数(MTF)的测试

在一定照度下对狭缝靶成像,得到一条均匀的线扩散函数(LSF)。根据线性光学系统的基本原理,LSF 经过傅里叶变换得到系统的光学传递函数(optical transfer function,OTF),对 OTF 的幅度进行归一化就可以得到系统的 MTF,即

$$OTF(u) = F\{LSF(x)\} = \int_{-\infty}^{\infty} LSF(x)e^{2\pi jux} dx \quad (1)$$

$$MTF(u) = \frac{|OTF(u)|}{OTF(0)} \quad (2)$$

这样得到的是包括狭缝,镜头,像增强器,CCD 相机在内的整个系统的 MTF,根据光学传递函数理论得出像增强器的 MTF^[1]

$$MTF_{\text{像增强器}} = \frac{MTF}{MTF_{\text{狭缝}} \times MTF_{\text{镜头}} \times MTF_{\text{CCD}}} \quad (3)$$

2.3 像增强器均匀性的测试

在均匀光照条件下,像增强器荧光屏输出图像的有效区域内绘制过中心直线,采集各直线上的最大灰度值 V_{\max} 和最小灰度值 V_{\min} 及其比值.计算所选定直线的灰度平均值 \bar{V} 和均方根误差 σ ,绘制 $V_i - n$ 曲线(n 为像素个数).

2.4 像增强器增益的测试

像增强器的增益按式(4)计算

$$G = \frac{L}{E_0} = \frac{(S - b)/K}{E_0} \quad (4)$$

式中, G 为像增强器转换系数, cd/W^{-1} ; L 为有光照射时输出面的法向亮度, cd/m^2 ; E_0 为输入面辐照度, W/m^2 ; S 为测量 CCD 输出信号值; K 为测量 CCD 亮度响应度, $(\text{cd}/\text{m}^2)^{-1}$; b 为测量 CCD 亮度响应偏差.

在不同光辐射强度下,分别利用辐射计与亮度计对 E_0 和 L 进行标定后,并计算出 K 与 b 值,系统可以直接得出增益结果.

2.5 像增强器信噪比的测试

利用高帧频 CCD 对像增强器输出的图像进行多帧采样;然后再对每帧图像像素点进行灰度值统计,计算出灰度平均值和均方根误差,进而利用灰度平均值和均方根误差求得像增强器的输出信噪比.由于 CCD 摄像机暗电流对测试结果有影响,因此,在计算信噪比时应将暗电流的影响去掉.具体公式^[2]为

$$S/N = 20 \lg [(\bar{S} - \bar{S}_1) / \sqrt{\sigma_1^2 + \sigma_2^2}] \quad (5)$$

式中, \bar{S} 为 n 帧图像总的灰度平均值; \bar{S}_1 为 n 帧图像 CCD 总的灰度平均值; σ_1^2 、 σ_2^2 为均方差.

3 测量结果及分析

利用研制的测试系统对 18/18 型像增强器的参数进行测试,在规定的检定环境条件下,连续测量

N 次.按式(6)计算各测试项测量重复性误差.

$$\delta_{LS} = \frac{\sqrt{\frac{1}{N-1} \sum_{i=1}^N (L_i - \bar{L})^2}}{\bar{L}} \quad (6)$$

式中, $\bar{L} = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N L_i$,表示在测量时间范围内,测量值的算术平均值; L_i 为在测量时间范围内,第 i 次测量值; N 为测量次数,取 $N = 10$.

用该系统对分辨率测试等 5 项内容分别进行了 10 次测试,根据式(6)计算得到重复性误差,如表 1 所示.

表 1 测量重复性误差

测试项	测试次数	管型	重复性误差 / (%)
分辨力的测试	10	18/18	0.000
调制传递函数(MTF)的测试	10	18/18	0.999
均匀性的测试	10	18/18	3.745
增益的测试	10	18/18	1.026
信噪比的测试	10	18/18	2.871

表 1 的测试结果表明,测试系统工作是稳定的.由于像增强器的各项参数会随各种外界因素和像增强器的本身工作状态而有所变化,以及测试过程中光源的不稳定性和像管在测试盒中位置的变化等原因,测试结果在一定范围的偏差是正常现象,多次的实验已证实了这点.

4 结 论

像增强器的综合参数测试非常重要,它将决定着像管的实际应用情况.国内像增强器测试设备多采用光电倍增管作为探测器件,而通过高灵敏度 CCD 对像增强器荧光屏成像也正在逐步发展起来,但通常测试能力有限.在以往的测试仪器基础上,对测试系统进行改进,研制出了适用于实验室的操作简便的像增强器参数综合测试系统,实现了一台仪器对像增强器的多种参数测试.利用该系统在各种测试环境中对多种型号的像增强器进行测试,虽然外部环境对像管测试产生一定影响,但对连续测试结果进行统计误差分析,重复性不大于 4%,测试结果表明,本测试仪测试数据稳定、可靠.试验证明采用 CCD 器件作为像管输出图像探测接收器的测试方法是可行的.

(下转第 46 页)

0 ℃ 时的标准不确定度为 $u_{3.1} = 0.01/\sqrt{3} = 0.006$, 100 ℃ 时为 $u_{3.2} = 0.014/\sqrt{3} = 0.008$.

3.4 标准器本身引入的标准不确定度分量 u_4

不确定度分量 u_4 是由标准铂电阻传感器本身阻值的不重复性引起的, 采用 B 类不确定度进行评定.

由标准铂电阻的检定证书得: 标准铂电阻的扩展不确定度为 $U = 0.013 (k = 3)$. 故 $u_4 = U/k = 0.013/3 = 0.004$.

3.5 标准不确定度各分量一览表

为了便于对各个标准不确定度分量有更加直观的了解, 绘制表格如表 2.

表 2 标准不确定度一览表

序号	来源	类别	标准不确定度/(℃)		分布	
			0	100		
1	u_1	重复性	A	0.000 9	0.000 2	均匀
2	u_2	温场不均匀性	B	0.003	0.003	均匀
3	u_3	电测设备	B	0.006	0.008	均匀
4	u_4	标准器本身	B	0.004	0.004	均匀

4 检测系统总不确定度的评定

4.1 合成标准不确定度

将以上 4 个主要标准不确定度分量进行合成, 得到合成标准不确定度, 用 u_c 来表示.

$$0 \text{ ℃ 时: } u_{c1} = \sqrt{u_{1.1}^2 + u_2^2 + u_{3.1}^2 + u_4^2} = 0.007 96$$

$$100 \text{ ℃ 时: } u_{c2} = \sqrt{u_{1.2}^2 + u_2^2 + u_{3.2}^2 + u_4^2} = 0.009 44$$

4.2 扩展不确定度

为了更能准确地表示测量结果, 需要给出一个测量区间, 使被测量的值大部分位于其中, 为此用扩展不确定度来表示. 扩展不确定度由标准不确定度 u_c 乘以包含因子 k 得到, 记为 U .

$$0 \text{ ℃ 时: } U_{k1} = k \times u_{c1} = 0.016 \quad (k = 2)$$

$$100 \text{ ℃ 时: } U_{k2} = k \times u_{c2} = 0.019 \quad (k = 2)$$

5 结 束 语

通过以上对温度传感器自动检测系统不确定度的数据分析可以看出, 对系统不确定性影响较大的几个方面分别是被检温度传感器测量重复性的、检测过程中温场的不均匀性的、电测设备的测量误差和标准器本身的误差. 因此, 在日常系统的使用中要注意观察这几个方面的变化, 堆栈式测温仪和标准器要定期检定, 油槽温场的均匀性也要定期测试, 这样才能保证系统的可靠性和稳定性. 同时由于用来测试温度传感器, 所以对测试环境要求较高^[4]. 如堆栈式测温仪推荐使用温度为 18 ℃ ~ 28 ℃, 当超出这一范围时, 必须考虑仪表的温度系数. 同时在油槽中, 传感器的插入深度必须大于 300 mm, 否则会造成整个传感器与周围环境存在热交换形成一定的温度梯度, 从而导致测量误差.

参考文献

- [1] 孙宝元. 传感器及应用手册[M]. 北京: 北京机械出版社, 2004: 8-32.
- [2] 周鸿仁, 刘秀蓉, 杜晓松. 温度传感器与快速测温[J]. 世界电子元器件, 1997(7): 8-59.
- [3] 费业泰. 误差理论与数据处理[M]. 北京: 机械工业出版社, 2000: 2-55.
- [4] 邓隐北. 同时测量应力、温度和振频的光纤传感器[J]. 光电技术应用, 2007, 22(5): 35-38.

(上接第 19 页)

参考文献

- [1] 朱宏权. 微通道板像增强器的调制传递函数的测量与

研究[J]. 光子学报, 2007, 11(11): 1983-1987.

- [2] 王吉晖, 白廷柱, 等. 像增强器信噪比测试方法的分析与研究[J]. 光学技术, 2005, 3(2): 177-178.

- [3] 钱芸生. 微光像增强器亮度增益和等效背景照度测试技术[J]. 真空电子技术, 2004(2): 34-37.