

文章编号:1002-2082(2009)04-0650-04

## 微光像增强器信噪比与MCP电压关系

刘术林<sup>1</sup>, 董煜辉<sup>2</sup>, 孙建宁<sup>3</sup>, 邓广绪<sup>1</sup>

- (1. 北方夜视技术股份有限公司 西安分公司, 陕西 西安 710065;
2. 北方夜视技术股份有限公司 昆明分公司, 云南 昆明 650114;
3. 北方夜视技术股份有限公司 南京分公司, 江苏 南京 210110)

**摘要:** 为了揭示微通道板电压的变化对微光像增强器信噪比的影响, 进一步优化像增强器的性能, 分别测试出超二代和三代微光像增强器的信噪比随微通道板的电压变化曲线, 前者在微通道板电压为 600 V~800 V 时, 信噪比单调增加到 25.9, 在 800 V~900 V 时, 信噪比在 25 上下震荡并呈下降趋势, 在 900 V~1 000 V 时, 迅速下降到 21.8; 而后者当 MCP 电压在 800 V~1 000 V 时, 单调增加到 27.87, 在 800 V~1 180 V 时, 则在 26.61~28.66 之间震荡。通过对微通道板噪声因子的理论分析, 指出进一步降低微通道板噪声因子, 改善微光像增强器信噪比的方法。

**关键词:** 微通道板; 微光像增强器; 信噪比; 噪声因子

中图分类号: TN144

文献标志码: A

### Relation between signal-to-noise ratio of LLL image intensifier and voltage of MCP

LIU Shu-lin<sup>1</sup>, DONG Yu-hui<sup>3</sup>, SUN Jian-ning<sup>2</sup>, DENG Guang-xu<sup>1</sup>

- (1. Xi'an Branch, North Night Vision Technology Co. Ltd., Xi'an, 710065, China;
2. Kunming Branch, North Night Vision Technology Co. Ltd, Kunming, 650114, China;
3. Nanjing Branch, North Night Vision Technology Co. Ltd, Nanjing, 210110, China)

**Abstract:** In order to reveal the influence of the voltage variation of microchannel plate on the signal-to-noise ratio of LLL image intensifier and optimize the performance of the image intensifier, the curves that the signal-to-noise ratio of super Gen II and Gen III image intensifiers variates with the voltage of a microchannel plate were obtained by the aid of a signal-to-noise ratio tester. As for the super Gen II image intensifier, when the microchannel plate's voltage is in the range of 600~800 V, the signal-to-noise ratio is monotonically increased to 25.9, when it is in the range of 800~900 V, the ratio is 25 or so and has downtrend, and when 900~1 000 V, the ratio is rapidly decreased to 21.8. As for the Gen III image intensifier, when the microchannel plate's voltage is in the range of 800~1 000 V, the signal-to-noise ratio is monotonically increased to 27.87, and when the voltage is in 1 000~11 800 V, the ratio fluctuates from 26.61 to 28.66. In combination with the theoretical analysis of microchannel plate's noise factor, a method to reduce the noise factor of microchannel plates and improve the signal-to-noise ratio of LLL image intensifiers is proposed.

**Key words:** microchannel plate; LLL image intensifier; signal-to-noise ratio; noise factor

收稿日期:2009-02-03; 修回日期:2009-03-24

作者简介:刘术林(1963-),男,河南光山人,北方夜视技术股份有限公司研究员级高级工程师,主要从事微通道板和与之相关的探测器研究工作。E-mail:liush108@yahoo.com.cn

## 引言

近年来, 国内外同行<sup>[1]</sup>常用品质因素来综合评价微光像增强器的性能, 它被定义为信噪比与空间鉴别率的乘积, 可见, 信噪比是描述微光像增强器的一个非常重要的技术参数之一。带有微通道板(MCP)的像增强器的信噪比理论研究<sup>[2-6]</sup>已比较成熟, 测试评价手段已形成规范<sup>[7-9]</sup>。本文利用上述成熟理论和规范的测试手段探讨超二代和三代微光像增强器中微通道板工作电压的变化引起其信噪比的变化关系以及MCP的工作电压的改变导致像增强器信噪比变化的物理机制。

## 1 信噪比测试的理论依据和规范手段

工作于微光条件下的微通道板像增强器, 通过对输入图像的转换、增强和再现等环节实现图像增强时, 各个环节所产生的附加噪声最终导致输出图像信噪比的恶化, 比较客观准确评价微光像增强器噪声特性的参数是信噪比, 它被定义为像管输出亮度的平均信号值与偏离平均值的均方根噪声值之比, 即:

$$S/N = \frac{S - S_0}{\sqrt{N^2 - N_0^2}} \quad (1)$$

式中:  $S/N$  为像增强器输出信噪比;  $S$  为有光输入时信号直流电压平均值;  $S_0$  为无光输入时信号直流电压平均值;  $N$  为有光输入时噪声交流电压值;  $N_0$  为无光输入时噪声交流电压值。

像增强器的信噪比值和测试条件有关, 即它和测试光源光谱的类型、光斑直径、照度以及规定的噪声频率都有关系。在不同的测试条件下, 获得的结果不同。实际测试时, 要统一入射通量和带宽等技术条件。如若偏离规定值, 应进行修正, 修正后的信噪比为

$$S/N = \frac{S - S_0}{\sqrt{N^2 - N_0^2}} \sqrt{\frac{E_0 A_0}{E_x A_x} \left[ \frac{\Delta f}{\Delta f_0} \right]^{1/2}} \quad (2)$$

式中:  $E_0$  和  $A_0$  分别表示标准入射照度和面积;  $E_x$  和  $A_x$  分别表示实际入射照度和面积;  $\Delta f_0$  为标准系统带宽;  $\Delta f$  为实际系统带宽。

一个更为同行所接受的公式<sup>[7]</sup>为

$$S/N = \frac{S - S_0}{\sqrt{k(N^2 - N_0^2)}} \sqrt{\frac{E_0 A_0}{E_x A_x}} \quad (3)$$

式中  $k$  为修正系数。

目前, 规范的测试条件是: 光源采用色温为

( $2856 \pm 50$ )K 的钨灯, 通过直径为 0.2 mm 的取样照射到阴极输入面上, 并使输入面照度为  $108 \mu\text{lx}$ , 测出 10 Hz 等效频宽的信噪比。

## 2 测试结果及分析

利用  $8 \mu\text{m}$  微通道板制作的超二代微光像增强器, 按照上述理论和标准测试方法, 在其他条件保持不变而只改变微通道板电压, 测出其信噪比随电压的变化关系曲线如图 1 所示。从图中可以看出, MCP 电压较低时, 其信噪比也比较低, 这是由于此时微通道板的增益很低。在  $600 \text{ V} \sim 800 \text{ V}$  之间, 其信噪比随电压的增加而单调地增加, 在此阶段中, 微通道板的增益呈指数上升, 暗噪声和因电子倍增而导致的统计涨落也不断攀升, 但总的噪声增加的趋势还是没有信号增加的快, 因而信噪比总体上还是增加的; 在  $800 \text{ V} \sim 900 \text{ V}$  时, 信噪比总体上处于震荡下降趋势, 这是由于 MCP 工作于最佳工作状态, 增益快要接近饱和值, 暗噪声和因电子倍增导致统计涨落同步增加, 最终导致信噪比维持在 25 左右, 电压进一步上升时, MCP 处于饱和状态, 增益尽管也在上升, 但已不再按照原来的指数关系继续上升, 而噪声则上升的很快, 从而导致信噪比下降, 在视场中雪花点增多, 随机噪声增加。

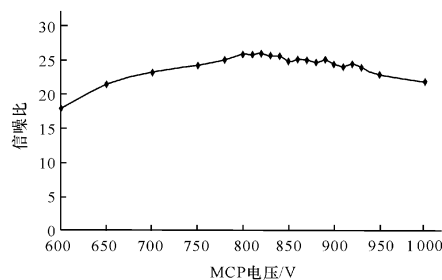


图 1 超二代微光像增强器信噪比随微通道板电压的变化关系

Fig. 1 Variation of signal-to-noise ratio of super Gen II with voltage of MCP

装管前, 三代微光像增强器使用的微通道板应事先在微通道板的输入面上蒸镀一层防离子反馈薄膜, 它的存在一方面阻挡了来自于微通道板末端的离子反馈而造成的离子反馈噪声, 另一方面, 也使得来自光阴极的部分低能光电子被阻挡掉, 进而导致信噪比的降低。图 2 为测得的某公司三代微光像增强器的信噪比随微通道板电压变化关系的曲线。由此可见, 这种管子的这一指标的确不错, 从图

中可以看出,当MCP的电压从800 V~1 000 V变化时,信噪比从17.27逐步增加到27.87,尽管我们尚不知道其使用的微通道板及其细节,但可以推断其MCP的长径比比超二代管子中的微通道板要大。当微通道板的电压从1 000 V增加到1 180 V时,三代微光像增强器的信噪比在26.61~28.66之间震荡,估计其使用的微通道板是一种低噪声微通道板,而且在装管前经过了很好的处理,从而导致微通道板在很宽的工作电压下继续保持比较高的信噪比。

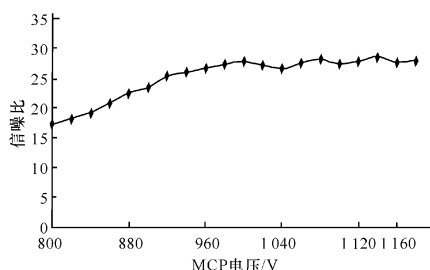


图2 三代微光像增强器的信噪比随微通道板电压变化关系的曲线

Fig. 2 Variation of signal-to-noise ratio of Gen III with voltage of MCP

### 3 讨论

评价MCP对由此制作的微光像增强器的信噪比贡献的比较客观的技术指标是MCP的噪声因子,它是描述放大器件在放大信号的同时导致输入信号信噪比恶化程度的技术参数,其定义为输入信噪比与输出信噪比的比率,即:

$$F = (S/N)_{in} / (S/N)_{out} \quad (4)$$

具体到本文的MCP,有人<sup>[6,10]</sup>仔细研究并推导出公式:

$$F = (D_{OAR})^{-0.5} \{ 1/\delta [1 + (\alpha^X/M^X)^2] + 1 + b \} \quad (5)$$

式中:  $D_{OAR}$ 为MCP的探测效率,它与微通道板的开口面积比的大小密切相关;  $\delta$ 为材料的二次电子发射系数(有人认为是首次碰撞时的二次电子发射系数);  $\alpha^X$ 为增益的标准偏差;  $M^X$ 为增益的平均值;  $b$ 是描述增益分布形状的参数,通常为0。

对于微光像增强器中使用的MCP,(5)式中随电压变化只是 $(\alpha^X/M^X)^2$ 项,即增益变化的标准偏差与平均增益比值的平方,可以推断,当MCP的工作电压较低时,增益波动比较高,增益分布呈指数

形式,其标准偏差变大,而增益的平均值不高,导致 $(\alpha^X/M^X)^2$ 项变大,噪声因子增加,整管的信噪比恶化。随着工作电压的增加,MCP的增益也跟着增加,电子增益的波动将会降低,从而导致 $(\alpha^X/M^X)^2$ 项变小,MCP的噪声因子进而导致由此做成的微光像增强器的信噪比得到改善。上述测得的2条曲线可由此得到很好的解释,其定量解释可以借助于像增强器脉冲高度分布中的相关参数随MCP电压的变化关系并结合二次电子在通道倍增过程中涨落统计理论。

测得有些公司的三代微光像增强器的信噪比优于超二代产品,估计其使用的MCP在高电压下可能显示出更好的噪声因子,也可能涉及到整管工艺和制管商对MCP的处理工艺。俄罗斯的一家公司信噪比能做到25,可见要想提高整个像增强器的信噪比,不仅要提高构成其各个元件的技术质量水平,而且还要注重总体集成时各工艺处理及其细节对最终产品的信噪比的影响。

为了更好地揭示出微通道板及其除气处理后的工作状态,对像增强器信噪比的影响,可以考虑专门制作一个超高真空系统,并在该系统内,能够实现类似于超二代和三代微光像增强器对MCP的处理,适时测试出MCP的噪声因子,结合MCP的材料、工艺和实现电子倍增过程的物理机制,深入研究MCP的噪声形成机理及其降低的工艺技术途径和后序处理工艺,探索出最佳处理工艺,则是快速提升国产微光像增强器信噪比乃至其它涉及到MCP影响因素而受影响的技术指标的有效技术途径。

#### 参考文献:

[1] 周立伟. 微光成像技术的进展与展望[C]//母国光. 现代光学与光子学的进展:庆祝王大珩院士从事科研活动六十五周年专集. 天津:天津科学技术出版社,2003:316-339.  
ZHOU Li-wei. Perspectives of developments of low-light-level imaging techniques[C]//MU Guo-guang. Development of modern optics and photonics: The special compile for celebrating academician Wang Da-hang engate technology activity 65 anniversary. Tianjin; Tianjin Science and Technology Press, 2003:316-339. (in Chinese)

[2] 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,1999.  
XIANG Shi-ming, NI Guo-qiang. The principle of photoelectronic imaging devices [M]. Beijing:

- National Defense Industry Press,1999. (in Chinese)
- [3] 邹异松. 微通道板像增强器性能的综合分析[M]//夜视技术文集. 北京:国家科委夜视技术专业组《夜视技术文集》编辑部,1982:51-59.  
ZHOU Yi-song. A synthetical analysis for the performance of the MCP image intensifier [M]// Night Vision Technical Proceeding. 1982:51-59. (in Chinese)
- [4] ESCHARD G. Signal to noise and collection efficiency measurements in microchannel wafer image intensifiers[J]. AEEP,1976,40A:35-38.
- [5] HERTEL R J. Signal and noise properties proximity focused image tubes[J]. SPIE,1989,1155:332-342.
- [6] LAPRADE B N, REINHART S T W. A low noise figure microchannel plate optimized for Gen III image intensification systems [J]. SPIE,1990,1243:162-172.
- [7] Dutoit A G. The newest measurement technology of signal-to-noise ratio in image intensifiers[J]. SPIE,1986,691:16-18.
- [8] Anon. MIL-STD-1858, Image Intensifier Assemblies, Performance Parameter of [S]. US:Department of defence USA,1981.
- [9] 国防科工委军标出版发行部. GJB2000-94 像增强器通用规范[S]. 北京:国防科工委军标出版发行部,1995.  
Armament Standard Press of Commission of Science Technology and Industry for National Defense. GJB2000-94 General specification of image intensifier[S]. Beijing: Armament Standard Press of Commission of Science Technology and Industry for National Defense ,1995. (in Chinese)
- [10] HERTEL R J. Signal and noise properties proximity focused image tubes[J]. SPIE,1989,1155:332-342.