

激光助视下, 光谱匹配系数的研究

狄慧鸽^{1,2} 刘 磊²

(1 郑州大学河南省激光与光电信息技术重点实验室, 郑州 450052)

(2 南京理工大学电子工程与光电技术学院, 南京 210094)

摘 要 分析了在激光助视下, 景物反射辐射光谱与光电阴极光谱匹配系数的变化, 给出了理论公式, 分析了此系数的特征和意义. 计算了激光助视下光谱与几种典型的超二代管光电阴极(New S₂₅, Super S₂₅₁, Super S₂₅₂)的光谱匹配系数, 其结果分别为 0.833、0.72 和 0.56. 验证了选取激光助视系统光源的合理性, 揭示了在激光助视下, 光谱匹配系数的特征, 同时为在激光助视下夜视系统的视距评估提供了重要参考.

关键词 光谱匹配系数; 光电阴极; 激光助视; 超二代; 视距

中图分类号 TP802+.5; TN223 **文献标识码** A

0 引言

为了克服微光夜视系统易受外界影响的缺点, 在系统中添加激光助视系统, 以便使夜视仪能在极低的照度下或者天气不好的情况也能观察目标. 在微光夜视系统的视距评估中^[1,7], 像增强器光电阴极的光谱响应与景物对激光波长反射辐射之间的光谱匹配系数是一个不容忽视的重要参量. 当用激光助视时, 夜视仪接收的光由夜天光变为激光和夜天光. 激光的加入使得光电阴极的接收光谱发生了变化. 所以在计算光谱匹配系数时, 除了夜天光还要考虑到激光的影响. 同时, 所选择的激光光谱应能够与光电阴极相匹配.

1 光谱匹配系数

器件与光源的光谱匹配系数是一个无量纲的积分比, 是描述器件响应的波长范围与光源光谱的吻合程度的一个物理参量. 光谱匹配系数的公式^[2]为

$$\alpha = \frac{\int P(\lambda)R(\lambda)d\lambda}{\int P(\lambda)d\lambda} \quad (1)$$

式中, $R(\lambda)$ 为相对光谱响应率; $P(\lambda)$ 为单色辐射功率相对值. 其含义可以拓展为光电阴极的光谱响应与景物反射光谱之间的吻合程度^[3]. 光电器件在一定的辐射作用下会产生信号输出, 一般用器件灵敏度特性来表征其输出信号的强弱. 灵敏度分光谱灵敏度和积分灵敏度.

$$\alpha(S, P(\lambda)) = \frac{\int S(\lambda)P(\lambda)d\lambda}{\int P(\lambda)d\lambda} \quad (2)$$

式中, $S(\lambda)$ 为光电阴极相对光谱响应值; $P(\lambda)$ 为光电阴极接收到的景物反射辐射相对光谱分布.

2 激光助视下的光谱匹配系数

在激光助视下, 光电阴极面接收的为夜天光和激光经过景物反射后的辐射, 即

$$\tilde{\omega}_\lambda = \rho_\lambda P_\lambda + \rho_\lambda P_J \quad (3)$$

式中, $\tilde{\omega}_\lambda$ 为景物反射辐射光谱分布; ρ_λ 为景物的光谱反射系数, 随波长 λ 变化而变化; P_λ 为夜天光辐射光谱分布; P_J 为激光辐射光谱分布.

将景物的反射辐射光谱分布 $\tilde{\omega}_\lambda$ 对其最大值 $\tilde{\omega}_m$ 归一化, 则得其相对光谱分布为

$$\omega(\lambda) = \frac{\tilde{\omega}_\lambda}{\tilde{\omega}_m} \quad (4)$$

由此

$$\alpha(S, \tilde{\omega}(\lambda)) = \frac{\int S(\lambda)\tilde{\omega}(\lambda)d\lambda}{\int \tilde{\omega}(\lambda)d\lambda} \quad (5)$$

为激光助视下光电阴极与景物反射辐射的光谱匹配系数.

该系数能有效的表征光电阴极的光谱响应与景物对激光和夜天光的反射辐射光谱之间的匹配程度. $\alpha(S, \tilde{\omega}(\lambda))$ 越大, 则匹配越好, 从而微光夜视系统的观测效果越好; $\alpha(S, \tilde{\omega}(\lambda))$ 越小, 则匹配越差, 从而观测效果也越差. 当 $S(\lambda)$ 分布与 $\tilde{\omega}(\lambda)$ 完全不重合时, $\alpha(S, \tilde{\omega}(\lambda))$ 具有最小值 0; 在理想情况下, 即在景物反射辐射光谱范围内 $S(\lambda)$ 恒等于 1 时, $\alpha(S, \tilde{\omega}(\lambda))$ 具有最大值 1. 因此, 对于有选择性的光电阴极来说, $\alpha(S, \tilde{\omega}(\lambda))$ 是介于 0 与 1 之间的无量纲的系数.

由光电阴极与景物反射辐射的光谱匹配系数表达式可知, 它只与光电阴极的相对光谱灵敏度和景物的反射辐射相对光谱分布有关. 在选定像增强器后, 其光电阴极的相对光谱灵敏度可由实验曲线或者理论公式算出, 因此想得到较好的光谱匹配, 可根据式(5)这一理论依据, 在已知夜天空光谱分布的基

基础上, 选择适当的景物对激光的反射辐射光谱分布, 即选择适当的激光助视系统, 从而完成激光波长与像增强器光谱响应匹配的技术研究.

3 实例计算

头盔式微光夜间驾驶仪上使用的多为超二代多碱光电阴极, 选取几种典型的多碱阴极——Super S₂₅ 和 New S₂₅ 光电阴极来计算光谱匹配系数. 这几种光电阴极具有宽而平坦的光谱响应, 而且响应值很高, 在 500~850 nm 波长范围以内具有 60~70 mA/W 的灵敏度. New S₂₅ 是美国夜视实验室研制的, Super S₂₅ 分别由荷兰的 DEP 公司和日本 Hamamatsu 公司美国分公司命名, 同样为了区别起见, 分别称为 Super S₂₅₁ 和 Super S₂₅₂. 这三种光电阴极的光谱响应曲线如图 1^[4].

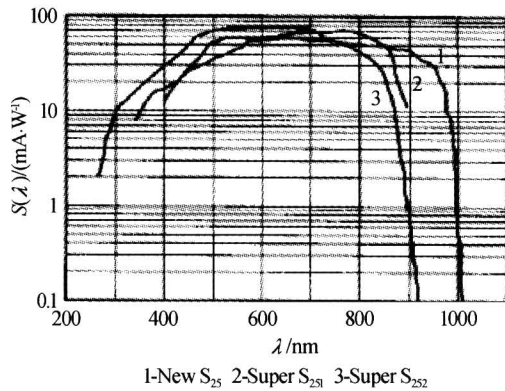


图 1 三种光电阴极的光谱响应曲线
Fig. 1 Spectral response of three photo cathodes

在此种驾驶仪上, 助视系统中所用激光, 选择波长为 850 nm. 激光器连续输出功率为 51 mW, 光谱宽度为 1 nm.

夜天空的光谱是辐射亮度曲线^[5], 而对于激光仅知道其发射功率, 当激光与夜天光叠加时, 需要将激光的功率值转换为辐射亮度值. 因为求解具体数字的麻烦, 所以这里只求出激光照射景物辐射亮度的数量级.

激光功率为 51 mW, 用在助视系统中照射到的景物面积为 10~100 m², 所以取数量级为 10². 从助视系统出来的激光发散角为 10°×2°, 立体角处于 1~10°. 根据辐射亮度的定义能得出激光照射到景物上的辐射亮度为 10⁻⁴ 量级. 满月光的辐射亮度量级^[6]为 10⁻⁸, 晴朗星光辐射亮度量级^[6]为 10⁻⁹. 取激光照射景物的辐射亮度为 0.0005.

根据式(5)可得

$$\alpha = \frac{\int S(\lambda) \bar{\omega}(\lambda) d\lambda}{\int \bar{\omega}(\lambda) d\lambda} = \frac{\sum S(\lambda) [P(\lambda) + J(\lambda)] \Delta\lambda}{\sum [P(\lambda) + J(\lambda)] \Delta\lambda} = \frac{\sum S(\lambda) P(\lambda) \Delta\lambda + S(0.85) J(0.85) * 0.001}{\sum P(\lambda) \Delta\lambda + J(0.85 \text{ nm}) * 0.001} \quad (6)$$

这三种超二代管的光电阴极 (New S₂₅ Super S₂₅₁ Super S₂₅₂) 在 λ=850 nm 时的相对光谱响应值分别为 0.833, 0.72 和 0.46.

首先计算满月光下, 暗绿色涂层反射光谱与 New S₂₅ 光电阴极的光谱匹配系数.

$$\alpha = \frac{\sum S(\lambda) P(\lambda) \Delta\lambda + 0.000833}{\sum P(\lambda) \Delta\lambda + 0.001} \approx 0.833 \quad (7)$$

同理计算出的几种常见材料对激光的反射光谱与不同光电阴极的光谱匹配系数如表 1.

表 1 激光助视下, 景物反射光谱与超二代管的光谱匹配系数

光电阴极	光源	暗绿色涂层	绿色草木	粗糙混凝土
New S ₂₅	月光	0.83	0.83	0.83
	星光	0.83	0.83	0.83
Super S ₂₅₁	月光	0.72	0.72	0.72
	星光	0.72	0.72	0.72
Super S ₂₅₂	月光	0.46	0.46	0.46
	星光	0.46	0.46	0.46

注: 同一种光电阴极在不同景物或不同夜天光下的光谱匹配系数并不完全一样, 只是它们之间的差别在小数点后好几位, 在此将之忽略不计.

4 分析与结论

1) 根据计算出的数据可以得出: 选择波长为 850 nm 的激光作为助视系统的光源是合理的, 它与超二代的几种光电阴极能较好的匹配. 另一方面选择在此波长是为了隐蔽性, 此波段属于红外线, 不易被敌人发现.

2) 激光助视下的光谱与 New S₂₅ 光电阴极匹配效果最好, Super S₂₅₁ 次之, Super S₂₅₂ 最差. 这是因为 New S₂₅ 相对于 Super S₂₅ 来说有较好的长波相应. 特别在波长 λ=850 nm 时的相对光谱响应值, 光电阴极 New S₂₅ 要明显好于 Super S₂₅.

3) 激光助视时, 夜天光情况对光谱匹配系数的大小影响不大, 原因是激光照射景物时产生的辐射亮度要远远大于夜天光的亮度. 激光照射到景物上的辐射亮度为 10⁻⁴ 量级, 满月光的辐射亮度量级为 10⁻⁸, 晴朗星光的辐射亮度量级为 10⁻⁹. 所以说, 在计算光谱匹配系数时, 夜天光与激光相比几乎可以忽略不计. 景物的选择对光谱匹配系数的影响也几乎没有, 这是因为激光的辐射亮度远远大于夜天光且激光光谱很窄, 都集中在 850 nm 处 1 nm 的宽度内, 在计算过程中任何景物在 850 nm 处的相对光谱响应值都为最大值 1. 所以, 不论景物的反射率为多少, 光谱匹配系数值差别很小, 可以忽略不计.

参考文献

1 邢强林, 黄惠明, 熊仁生. 红外成像探测系统作用距离分

- 析方法研究. 光子学报, Xing Q L, Huang H M, Xiong R S. *Acta Photonica Sinica*, 2004, **33**(7): 893~896
- 2 Eberhardt E H. Source2 detector spectral matching factors. *Applied Optics*, 1968, **7**(10): 2037~3047
- 3 李蔚, 常本康. GaAs 光电阴极与景物反射光谱的光谱匹配系数. 光子学报, 1999, **28**(9): 857~859
Li W, Chang B K. *Acta Photonica Sinica*, 1999, **28**(9): 857~859
- 4 刘磊, 常本康. Super S₂₅ 与 New S₂₅ 光电阴极的光谱响应特性的数值模拟. 光子学报, 2004, **33**(5): 613~616
Liu L, Chang B K. *Acta Photonica Sinica*, 2004, **33**(5): 613~616
- 5 Richards E A. Contrast - enhancement in imaging devices by selection of input photo surface spectral response. *AEEP(B)*, 1969, **28B**(3): 661~675
- 6 李蔚, 常本康. 夜天光下景物反射光谱特性的研究. 兵工学报, 2000, **21**(2): 177~179
Li W, Chang B K. *Acta Armamentarii*, 2000, **21**(2): 177~179
- 7 过润秋, 李大鹏, 林晓春. 红外点目标检测的小波变换方法研究. 光子学报, 2004, **33**(4): 464~468
Guo R Q, Li D P, Lin X C. *Acta Photonica Sinica*, 2004, **33**(4): 464~468

The Research of Spectral Matching Factors Under the Laser Aids

Di Huige^{1,2}, Liu Lei²

¹ HeNan Key Laboratory of Laser Technology and Application, Zhengzhou University, Zhengzhou 450052

² Nanjing University of Science and Technology, Nanjing 210094

Received date: 2004-12-24

Abstract The change of spectral matching factors between photo cathode and reflecting spectrums of scenes is analyzed, when the laser aids system is used. Its expression is given, and the character and significance of the expression are analyzed. The spectral matching factor is calculated between the Super Second Generation Photo Cathode (New S₂₅, Super S₂₅₁, Super S₂₅₂) and scenes by the laser. And the results are 0.833, 0.72 and 0.56, which proves the laser ($\lambda = 850$ nm) is reasonable. The character of matching factor under laser aids is discussed and analyzed. All of above is with practical value in the evaluation of visual range of night vision systems when the laser aids system is used.

Keywords Spectral matching factors; Photo cathode; The laser aids; Super second generation; Visual range



Di Huige was born in Feb. 1981. She received the Master degree in optical engineering in 2004 from Nanjing University of Science and Technology. She is currently a teacher at Henan Key Laboratory of Laser and Opto-electric Information Technology of Zhengzhou University. Her research interests include physical electronic and photo electronics.