

# S<sub>25</sub>光电阴极与景物反射光谱的光谱匹配系数 一. 暗绿色涂层和绿色草木

李 蔚 宗志园 常本康

(南京理工大学电子工程和光电技术学院, 南京 210094)

**摘 要** 从光电器件对光源的响应率出发, 引伸出光电阴极与景物之间的光谱匹配系数表达式, 计算了 S<sub>25</sub>光电阴极与暗绿色涂层和绿色草木的光谱匹配系数。S<sub>251</sub>光电阴极在满月光下, 对暗绿色涂层的光谱匹配系数为 0.5512, 对绿色草木为 0.2783; 在晴朗星光下, 则分别为 0.2662 和 0.1255; 对 S<sub>252</sub>光电阴极, 前者分别为 0.7174 和 0.6820, 后者分别为 0.5741 和 0.4840。计算结果对夜视系统视距估算的修正有较高的参考价值。

**关键词** 光电阴极, 光谱响应, 光谱匹配系数。

## 1 引 言

野外视距估算是一项比较复杂的工作, 其影响因素较多, 所以实际效果与理论估算总是存在一定的差距。其中, 光电阴极的光谱响应与景物的反射光谱之间的光谱匹配系数是一个不容忽视的重要参数, 它对微光夜视系统的视距评估起着重要的作用。我们计算了 S<sub>25</sub>系列光电阴极与绿色草木和暗绿色涂层反射光谱的光谱匹配系数, 这对修正夜视系统的视距评估将起到一定的作用。

## 2 光电阴极与景物的光谱匹配系数

光谱响应率是器件对单色入射辐射的响应能力, 响应率是指器件对全色入射辐射的响应能力, 两者存在着内在联系。即

$$R = \frac{\int_0^{\infty} P_{\lambda} R_{\lambda} d\lambda}{\int_0^{\infty} P_{\lambda} d\lambda}, \quad (1)$$

式中  $R$  为响应率,  $R_{\lambda}$  为光谱响应率,  $P_{\lambda}$  为单色辐射功率, 将  $R_{\lambda}$  和  $P_{\lambda}$  分别对其最大值  $R_m$  和  $P_m$  归一化, 可得相对光谱响应率  $R(\lambda)$  和单色辐射功率相对值  $P(\lambda)$

$$R(\lambda) = \frac{R_{\lambda}}{R_m}, \quad (2)$$

$$P(\lambda) = \frac{P_\lambda}{P_m}, \quad (3)$$

则有

$$R = \frac{R_m \int_0^\infty P(\lambda) R(\lambda) d\lambda}{\int_0^\infty P(\lambda) d\lambda} = \alpha R_m, \quad (4)$$

其中

$$\alpha = \frac{\int_0^\infty \hat{P}(\lambda) R(\lambda) d\lambda}{\int_0^\infty P(\lambda) d\lambda}, \quad (5)$$

称为器件与光源的光谱匹配系数<sup>[1]</sup>。它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数。在此，将其含义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。

根据光电阴极的光谱响应特性曲线，可以得到光谱响应率  $S_\lambda$ ，将其对最大值  $S_m$  归一化，可得相对光谱响应率为

$$S(\lambda) = \frac{S_\lambda}{S_m}, \quad (6)$$

将景物的反射光谱分布  $P_\lambda$  对其最大值  $P_m$  归一化，则得其相对光谱分布为

$$P(\lambda) = \frac{P_\lambda}{P_m}, \quad (7)$$

由此，定义

$$\gamma = \frac{\int \hat{S}(\lambda) P(\lambda) d\lambda}{\int \hat{P}(\lambda) d\lambda} \quad (8)$$

为光电阴极与景物的光谱匹配系数。

该系数能有效地表征光电阴极的光谱响应与景物反射光谱之间的匹配程度。 $\gamma$  越大，则匹配越好，从而微光夜视系统的观测效果越好； $\gamma$  越小，则匹配越差，从而观测效果也越差。当  $S_\lambda$  分布与  $P_\lambda$  分布完全不重合时， $\gamma$  具有最小值 0；在理想情况下，即在景物反射光谱范围内  $S_\lambda$  恒等于 1 时， $\gamma$  具有最大值 1。因此，对于有选择性的光电阴极来说， $\gamma$  是介于 0 与 1 之间的无量纲的系数。

### 3 S<sub>25</sub> 光电阴极与绿色草木和暗绿色涂层的光谱匹配系数

由光谱匹配系数表达式(8)可知，它只与光电阴极的相对光谱响应率和景物的相对反射光谱分布有关。这两种相对光谱分布可由实验曲线或理论公式(见参考文献[2])算出，因而可以用面积积分求得光谱匹配系数。

我们选择了两种 S<sub>25</sub> 阴极，它们分别由 JEDEC 和荷兰的 DEP 公司命名，为区别起见，分别称为 S<sub>251</sub> 和 S<sub>252</sub>。下面分别计算了这两种阴极的光谱响应对绿色草木和暗绿色涂层在满月光和明亮星光下的光谱匹配系数，如图 1~ 4 所示。图中曲线 S<sub>25</sub>( $\lambda$ ) 表示光电阴极的相对光谱响应率，其中下标 1 和 2 分别代表 S<sub>251</sub> 和 S<sub>252</sub>；曲线 P( $\lambda$ ) 表示景物的相对反射光谱分布，

其中下标  $p$  和  $v$  分别代表暗绿色涂层和绿色草木。由光谱匹配系数的定义, 各个  $\gamma$  即为曲线  $S_{25}(\lambda)P(\lambda)$  下的面积与曲线  $P(\lambda)$  下的面积相除的结果。由于  $S_{251}$  与  $S_{252}$  光谱响应的截止波长在 950 nm 附近, 所以, 在利用(8)式进行光谱匹配系数计算时, 为了便于比较, 其积分上限取为 950 nm, 下限为 350 nm。计算结果见表 1。

Table 1. Spectral matching factors of S<sub>25</sub> photocathodes for objects

photocathode	wavelength of peak value/nm	dark green paint		green vegetation	
		clear star	full moon	clear star	full moon
S <sub>251</sub>	480	0.2662	0.5512	0.1255	0.2783
S <sub>252</sub>	700	0.5741	0.7174	0.4840	0.6820

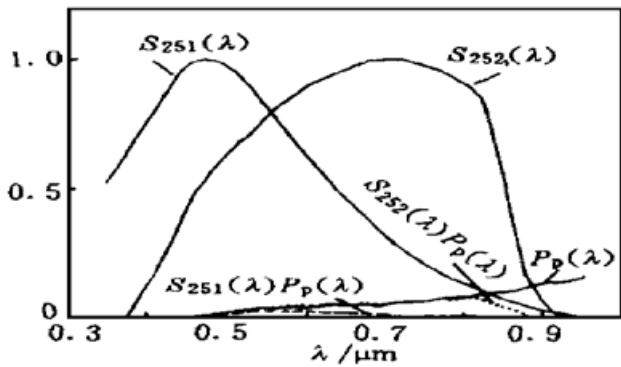


Fig. 1 Calculation of spectral matching factors of S<sub>25</sub> for dark green paint under clear star radiation

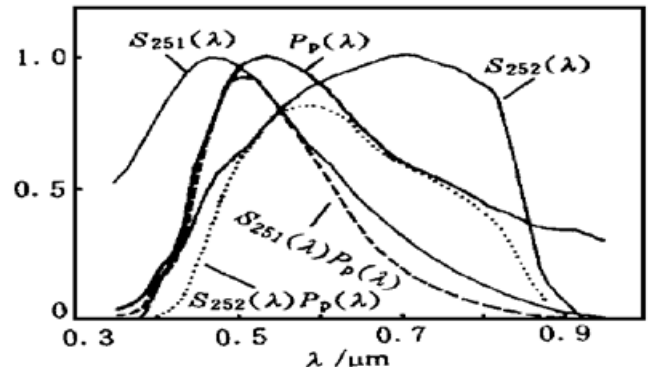


Fig. 2 Calculation of spectral matching factors of S<sub>25</sub> for dark green paint under full moon radiation

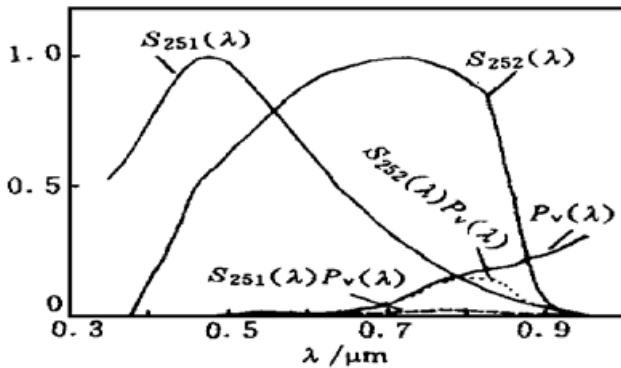


Fig. 3 Calculation of spectral matching factors of S<sub>25</sub> for green vegetation under clear star radiation

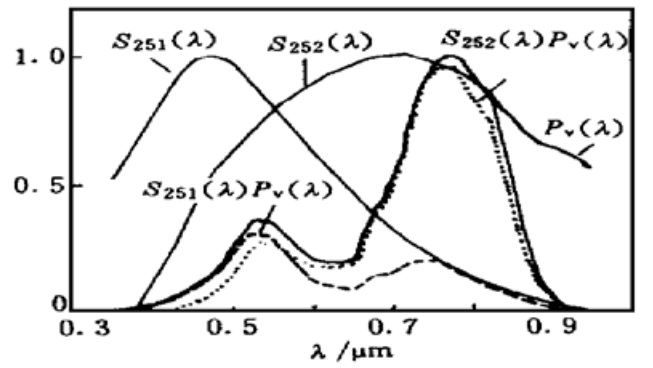


Fig. 4 Calculation of spectral matching factors of S<sub>25</sub> for green vegetation under full moon radiation

### 4 分析与结论

从以上的计算结果不难看出:

1) 两种阴极与景物在满月光下的光谱匹配系数都要大于晴朗星光下的情形。这是因为晴朗星光下的暗绿色涂层与绿色草木的反射光谱的峰值波长位于红外波段(图中未画出), 远远大于 S<sub>251</sub> 与 S<sub>252</sub> 的峰值响应波长 480 nm 和 700 nm, 而满月光下的暗绿色涂层与绿色草木的反射光谱的峰值波长分别位于 550 nm 与 775 nm 附近, 这与 S<sub>251</sub> 和 S<sub>252</sub> 的峰值响应波长 480 nm 和 700 nm 较靠近, 因而较晴朗星光下的匹配程度要好得多。

2) 由于 S<sub>252</sub> 的峰值响应波长大于 S<sub>251</sub>, 所以它与景物在晴朗星光下的光谱匹配系数要大于 S<sub>251</sub>。同时虽然它们的峰值响应都是 40 mA/W, 但是 S<sub>252</sub> 的相对光谱响应曲线较 S<sub>251</sub> 的平坦, 所以 S<sub>252</sub> 在较大的波段范围内有着较高的响应, 故从总体来说, S<sub>252</sub> 与景物的光谱匹配系

数都大于  $S_{251}$ 。

3)  $S_{252}$ 与景物之间的匹配程度总的来说要好于  $S_{251}$ 。当景物反射光谱的峰值波长位于短波时,  $S_{251}$ 与其有着较好的匹配程度;当景物反射光谱的峰值波长位于长波或红外时,  $S_{252}$ 与景物的匹配程度要优于  $S_{251}$ 。

从上面的分析可以看出,光电阴极与景物之间为了获得良好的匹配程度,阴极的峰值响应波长必须向长波和近红外方向延伸。同时,除了提高光电阴极的光谱响应外,还应增大其光谱响应曲线的平坦性,从而提高光电阴极与景物的匹配程度,使微光夜视系统获得良好的观测效果。

### 参 考 文 献

- [1] 方如章,刘玉凤. 光电器件. 北京:国防工业出版社,1988. 2~3  
 [2] 常本康. 多碱光电阴极机理、特性与应用. 北京:机械工业出版社,1995. 92~93

## Spectral Matching Factors of $S_{25}$ Photocathodes for Reflecting Spectrum of Objects I. Dark Green Paint and Green Vegetation

Li Wei    Zong Zhiyuan    Chang Benkang  
 (School of Electronic Engineering and Optoelectronic Technology,  
 Nanjing University of Science and Technology, Nanjing 210094)  
 (Received 20 July 1998; revised 5 November 1998)

**Abstract** According to the responsivity of photoelectric device for a light source, the formula of spectral matching factor of photocathode for object is deduced. The spectral matching factors of  $S_{25}$  photocathodes for dark green paint and green vegetation are calculated and compared. To  $S_{251}$ , the spectral matching factors for dark green paint and green vegetation are 0.5512 and 0.2783 under the full moon radiation. They are 0.2662 and 0.1255 under the clear star radiation. To  $S_{252}$ , the former are 0.7174 and 0.6820 and the latter are 0.5741 and 0.4840. It is referential to evaluate visual range of night vision system through analyzing the results.

**Key words** photocathode, spectral response, spectral matching factor.