

# 光电管绝对灵敏度的标定

聂朝江

(中国科学院上海光机所)

**提要:** 本文描述了测定光电管绝对灵敏度的一种简单方法。

## Calibration of absolute sensitivity of phototubes

Nie Chaojiang

(Shanghai Institute of Optics and Fine Mechanics, Academia Sinica)

**Abstract:** A simple method for determining absolute sensitivity of phototube is described.

GaAs 激光器的光功率,一般都采用光电管或硅光电池进行测定。光电管的绝对灵敏度,过去多数都采用真空热电偶进行直接标定。由于真空热电偶接收面较小,在实验中容易引起较大的误差,而且实验技术也较复杂<sup>[1]</sup>。

我们采用绝对黑体对光电管的绝对灵敏度进行测定,方法简单,有较高的精度。

### 一、基本原理

当弱光照射在光电管上时,光电管产生的光电流与光强度成正比,有

$$i = RI \quad (1)$$

式中,  $i$ ——光电流(安),

$I$ ——入射光强度(瓦),

$R$ ——比例常数,当入射复色光时, $R$ 称光电管的积分灵敏度(安/瓦),单色光入射时, $R(\lambda)$ 称单色(或光谱)灵敏度。

首先,我们采用绝对黑体作为标准光源,

可直接测定光电管的积分灵敏度。当绝对黑体温度为  $T$  时,在  $\lambda \rightarrow \lambda + d\lambda$  波长范围内的辐射功率为:

$$dI = N(\lambda) d\lambda = 2\pi hc^2 \frac{\lambda^{-5}}{e^{hc/\lambda kT} - 1} d\lambda \quad (2)$$

而在  $\lambda \rightarrow \lambda + d\lambda$  波长范围内的黑体单色辐射照射下,光电管的单色光电流为:

$$di = R(\lambda) dI = R(\lambda) N(\lambda) d\lambda$$

积分光电流

$$i = \int_{\lambda=0}^{\infty} di = \int_0^{\infty} R(\lambda) N(\lambda) d\lambda = RI \quad (3)$$

由(3)式得光电管的积分灵敏度

$$R = \frac{\int_0^{\infty} R(\lambda) N(\lambda) d\lambda}{I} = \frac{\int_0^{\infty} R(\lambda) N(\lambda) d\lambda}{\int_0^{\infty} N(\lambda) d\lambda} \quad (4)$$

式中  $I = \int_0^{\infty} N(\lambda) d\lambda = \sigma T^4$  表示在绝对温度  $T$  时,黑体的总辐射功率。

而光电管的光谱灵敏度有

收稿日期: 1980年1月17日。

$$R(\lambda) = BS(\lambda) \quad (5)$$

式中  $B$  为比例常数,  $S(\lambda)$  为光电管的相对光谱响应。

将(5)式代入(4)式得

$$B = \frac{R \int_0^{\infty} N(\lambda) d\lambda}{\int_0^{\infty} S(\lambda) N(\lambda) d\lambda} \quad (6)$$

再将(6)式代入(5)式得光谱灵敏度

$$R(\lambda) = \frac{S(\lambda) R \int_0^{\infty} N(\lambda) d\lambda}{\int_0^{\infty} S(\lambda) N(\lambda) d\lambda} = \frac{R}{\Phi(T)} S(\lambda) \quad (7)$$

式中

$$\Phi(T) = \frac{\int_0^{\infty} S(\lambda) N(\lambda) d\lambda}{\int_0^{\infty} N(\lambda) d\lambda} \quad (8)$$

$\Phi(T)$ ——光电管的光谱有效系数。

从(7)和(8)式看出, 光电管的相对光谱响应  $S(\lambda)$ , 积分灵敏度  $R$  可由实验测得, 用相对光谱响应  $S(\lambda)$  和黑体辐射公式进行数值积分得  $\Phi(T)$ , 故可确定光电管的绝对光谱灵敏度。

## 二、积分灵敏度的测定

测定积分灵敏度时, 用上海热工仪表所的 2000K 绝对黑体作为标准辐射源。

黑体炉如图 1 所示。腔长 700 毫米, 腔孔径  $\phi 26$  毫米, 发射本领 99.9%, 腔体用石墨制成。黑体炉温用光学高温计测量 2000K 时, 误差  $\pm 2$ K。距离黑体炉腔口  $L=500$  毫米的位置放置水冷光阑。

我们把黑体视为余弦发射体, 则在距离  $D$  处, 光电管所接收的光功率为

$$P = \frac{\sigma(T^4 - T_0^4) A_0 A}{\pi D^2} = EA \text{ (瓦)} \quad (9)$$

式中  $\lambda = 5.67 \times 10^{-12}$  瓦/厘米<sup>2</sup>·度<sup>4</sup>——斯忒藩-玻耳兹曼常数;  $T$ ——黑体温度 (K);

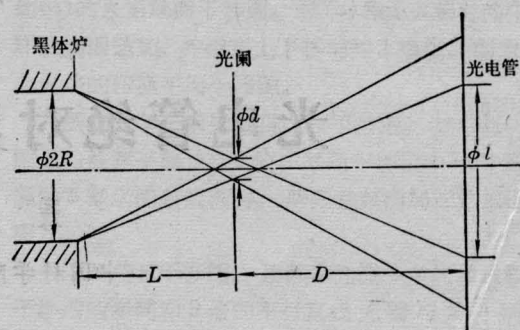


图 1 黑体炉均匀照射光电管的几何关系图

$T_0$ ——室温 (K);  $A_0 = \frac{\pi}{4} d^2$  (厘米<sup>2</sup>)——光阑

面积;  $A = \frac{\pi}{4} l^2$  (厘米<sup>2</sup>)——光电管接收面积;

$L$ ——光阑与黑体炉腔口间的距离;  $D$ ——光电管阴极面与光阑间的距离;  $E$ ——黑体在距离  $D$  处的辐射通量 (瓦/厘米<sup>2</sup>)。

从图 1 可知, 要使黑体辐射均匀照射光电管,  $D$  和  $L$  必须满足如下几何关系式

$$L < \left( R - \frac{d}{2} \right) \frac{D}{\frac{l}{2} + \frac{d}{2}} \quad (10)$$

式中  $R$ ——黑体腔孔的半径;  $d$ ——光阑的孔径;  $l$ ——光电管的最大线度。

当  $T=2000$ K,  $T_0=300$ K 时,  $(T/T_0)^4 = 5.1 \times 10^{-4}$  可忽略, 则有,

$$P = \frac{\sigma T^4 d^2 A}{4D^2} = 22.68 \left( \frac{d}{D} \right)^2 A \quad (11)$$

光电管的光电流, 我们利用 1070-E 型光点检流计测定, 检流计的电流常数为  $6.2 \times 10^{-10}$  安/毫米, 内阻 4700 欧姆, 临界电阻 85000 欧姆, 周期 3 秒, 积分灵敏度  $R = i/P$ 。

## 三、绝对光谱灵敏度

### 1. 相对光谱响应 $S(\lambda)$ 的测定

用单色光计 (德制), 对光电管的相对光谱分布进行了测定。用 50 瓦、12 伏的白炽灯作光源, 接收用真空热电偶的灵敏度为 8.3 伏/瓦, 接收面积 1 毫米<sup>2</sup>, 内阻 31.6 欧

姆, 时间常数 28 毫秒, 所用 AC4/3 型检流计的电流常数为  $0.833 \times 10^{-9}$  安/毫米, 内阻 80 欧姆时, 电压常数为  $6.67 \times 10^{-8}$  伏/毫米。单色光计的入射出射狭缝均为 0.2 毫米。

实验测得的光电管相对光谱响应曲线绘于图 2。

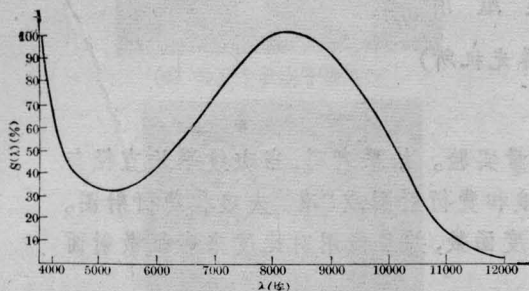


图 2 491S-0824# 光电管的相对光谱分布曲线

$$R(2000\text{K}) = 0.156 \text{ 毫安/瓦};$$

$$\Phi = 6.92 \times 10^{-2};$$

$$R(8300\text{Å}) = 2.56 \text{ 毫安/瓦(峰值)}$$

### 2. 光谱有效系数 $\Phi(T)$ 的计算

我们计算光电管的光谱有效系数时, 可将(8)式写为;

$$\Phi(T) = \frac{\sum S(\lambda) N(\lambda) \Delta\lambda}{\int_0^{\infty} N(\lambda) d\lambda} = \sum S(\lambda) \frac{R\Delta\lambda}{R_{0 \rightarrow \infty}} \quad (12)$$

$\frac{R\Delta\lambda}{R_{0 \rightarrow \infty}}$  可查普朗克函数表得到, 我们求得光电管的  $\Phi(T)$  值列于表 1 中。

表 1 光电管的光谱有效系数  $\Phi(T)$

光 电 管	491S-0824#	491S-0844#
$\Phi(T)$	$6.092 \times 10^{-2}$	$5.48 \times 10^{-2}$

### 3. 光谱灵敏度

将求得的光电管的  $\Phi(T)$  值代入(7)式, 得光电管的光谱灵敏度。对 491S-0824# 光电管有

$$R(\lambda) = \frac{R}{\Phi(T)} S(\lambda) = \frac{0.156}{6.092 \times 10^{-2}} S(\lambda) = 2.56 S(\lambda) \text{ (毫安/瓦)}$$

我们得到的光电管在几种波长的灵敏度列于表 2 中。

表 2 光电管的绝对光谱灵敏度

光 电 管	491S-0824#	491S-0844#
$\bar{R}$ (毫安/瓦)	0.156	0.1435
$\Phi(T)$	$6.092 \times 10^{-2}$	$5.48 \times 10^{-2}$
$R(8300\text{Å})$ (毫安/瓦)	2.56	2.62
$R(9000\text{Å})$ (毫安/瓦)	2.31	2.285
$R(1.06\mu)$ (毫安/瓦)	0.46	0.25
$R(6328\text{Å})$ (毫安/瓦)	1.23	1.31

## 四、误差分析

光电管的积分灵敏度为

$$R = \frac{i}{P} = \frac{\pi D^2 i}{\sigma T^4 A_0 A} \quad (13)$$

由于  $i$ 、 $D$ 、 $T$ 、 $A_0$ 、 $A$  等项测量误差所引起  $R$  的相对误差为

$$\frac{dR}{R} = \frac{di}{i} + 2 \frac{dD}{D} + 4 \frac{dT}{T} + \frac{dA_0}{A_0} + \frac{dA}{A} \quad (14)$$

当  $D=60$  厘米时,  $dD=2$  毫米,  $2 \frac{dD}{D} \approx 0.7\%$ 。  $T=2000\text{K}$ ,  $dT = \pm 2\text{K}$ ,  $4 \frac{dT}{T} = 0.8\%$ 。用读数显微镜测光阑和光电管面积时,  $\frac{dA_0}{A_0}$  和  $\frac{dA}{A}$  都小于 1%, 故这几项的相对误差只有 3~4%, 而主要误差来源于  $\frac{di}{i}$ , 若检流计的灵敏度较高, 可以把  $\frac{di}{i}$  压低到 1% 左右。

根据误差分析估计, 我们的测量精度在 5% 左右。

采用本方法, 对硅光电池进行了标定, 也得到满意的结果。实验测得 1# 号硅光电池  $R=2.7 \times 10^{-2}$  安/瓦,  $\Phi(T)=5.63 \times 10^{-2}$ ,  $R(8200\text{Å})=0.4795$  安/瓦,  $R(9000\text{Å})=0.427$  安/瓦。

## 参 考 文 献

- [1] R. L. Christensen, L. Ames; *JOSA*, 1961, 51, 224.