

# 太阳模拟器的光谱辐照度分布

郎永志 \*于培诺 仲跻功 李文君

(中国科学院长春光学精密研究所, 长春 130021)

(\* 电子工业部 18 所, 天津 300020)

**摘要:**以两种方式列出了一个有代表性的中国太阳模拟器 TM-500D 的光谱辐照度分布数据。数据表明该太阳模拟器是标定和复制标准太阳电池的一种理想系统。介绍了评价太阳模拟器光谱辐照度分布的一种新方法。

**关键词:**太阳模拟器, 光谱辐照度分布, 太阳电池, 数据

## 1 引言

太阳模拟器是检验和标定太阳电池的一种主要设备。在中国太阳模拟技术已经有近三十年的发展历史。为光伏部门研制的太阳模拟器具有先进的性能<sup>(1),(2)</sup>,并具有好的光谱辐照度分布。在硅太阳电池的检测和标定中,我们的太阳模拟器有两个特色:它可以用来标定一级标准太阳电池,也可以用来复制二级标准电池。这两个特色由改换滤光片来实现,即相应调整滤光片的光谱透过率。

## 2 太阳模拟器光谱辐照度分布的评价方法

当太阳模拟器被用来检测或标定太阳电池时,它们对于标准光谱辐照度分布的匹配精度是个关键。然而在很多关于太阳模拟器的技术资料中,很少给出光谱辐照度分布的详细数据,而只是一般地称 AM0 或 AM1.5 光谱。虽然在少数文献中列出对于标准光谱辐照度分布的失配误差,对于标定标准太阳电池来说仍然是不够的。总之,对于光谱辐照度分布,缺乏详细的介绍和直接的评价方法。在不同的光谱辐照度分布下,太阳电池的输出电流值之间总是存在着一定的差别,这种差别能够更直接地表示太阳模拟器对于标准光谱辐照度的模拟精度。

几乎(所有)各种太阳电池在不同的光谱段都具有不同的光谱响应。即使在同一波段,每一个太阳电池的光谱响应也都不相同。实际上,在太阳电池的检测或标定中,只有那些对输出电流贡献大的波段才能起主要作用。因此,在这些波段中光谱失配误差值应首先给予考虑。

### 3 TM-500D 的光谱辐照度分布

TM-500D 是 TM-500 太阳模拟器系列中的一个典型系统,在设计和工艺上它有自己的独道之处<sup>(2)</sup>。它可以通过改换滤光片提供 AM0、AM1.0 和 AM1.5 标准太阳光谱辐照度分布,光谱失配误差都在对 A 级太阳模拟器规定的范围之内<sup>(1)</sup>,见表 1。

表 1 TM-500D 的光谱辐照度和失配误差

辐照度 ( $\mu\text{m}$ )	AM 0			AM 1.0			AM 1.5		
	$P_r(\lambda)$	$P_s(\lambda)$	失配差 (%)	$P_r(\lambda)$	$P_s(\lambda)$	失配差 (%)	$P_r(\lambda)$	$P_s(\lambda)$	失配差 (%)
0.4-0.5	205.34	156.16	-24	160.57	121.98	-24	-24	137.24	-22.6
0.5-0.6	194.12	202.71	+4.4	166.08	164.70	-0.8	-0.8	143.78	-0.3
0.6-0.7	166.25	177.64	+6.9	145.51	144.65	-0.6	-0.6	130.50	-3.5
0.7-0.8	135.42	148.01	+9.3	120.52	120.76	+0.2	+0.2	105.56	-0.4
0.8-0.9	108.70	101.93	-6.2	94.96	102.81	+8.3	+8.3	87.64	+9.3
0.9-1.1	163.92	173.72	+6.0	122.13	124.10	+1.6	+1.6	112.72	-2.0

表中失配误差值是由下面公式计算的:

$$\frac{P_s(\lambda) - P_r(\lambda)}{P_r(\lambda)} \times 100\% \quad (1)$$

这里  $P_s(\lambda)$  是在以  $\lambda$  作为中心波长的给定波段内,使用相应的 AM 滤光片时, TM-500D 的光谱辐照度。 $P_r(\lambda)$  是具有同样 AM 值的标准光谱辐照度。

AM0 标准—NASA 分布, AM1 标准引自参考文献(3),总法向光谱辐照度取为 1074.91 瓦/米<sup>2</sup>, AM1.5 标准引自参考文献(4),它的总辐照度取为 1000 瓦/米<sup>2</sup>。

### 4 三种太阳电池输出电流的计算

对于一个具有已知光谱响应  $S_x(\lambda)$  的太阳电池  $x$ ,在光谱辐照度分布为  $P_s(\lambda)$  的太阳模拟器下它的输出电流为  $I_s(\lambda)$ ,在标准光谱辐照度分布  $P_r(\lambda)$  下输出电流为  $I_r(\lambda)$ ,它们由下述公式计算。

$$I_s(\lambda) = A \int_{\lambda} P_s(\lambda) S_x(\lambda) d\lambda \quad (2)$$

$$I_r(\lambda) = A \int_{\lambda} P_r(\lambda) S_x(\lambda) d\lambda \quad (3)$$

这里  $A$  是太阳电池的面积。我们选择  $a, b, c$  三种有代表性的太阳电池, 它们的面积都是  $4\text{cm}^2$ , 分别计算它们的  $I_s$  和  $I_r$  值。这里电池  $a$  是常规工艺的单晶硅太阳电池, 它的峰值光谱响应在  $0.85\mu\text{m}$ ;  $b$  是背场工艺单晶硅太阳电池, 光谱响应峰值在  $0.95\mu\text{m}$ ;  $c$  是辐照过的或多晶硅太阳电池, 光谱响应峰值在  $0.75\mu\text{m}$ 。它们的输出电池  $I_s$  和  $I_r$  在表 2 中给出。

表 2 太阳电池输出电流

电 流 电 池	AM		0		1.0		1.5	
	mA		$I_s$	$I_r$	$I_s$	$I_r$	$I_s$	$I_r$
$a$			154.40	155.192	127.804	129.264	113.288	114.968
$b$			166.728	167.804	137.616	139.340	122.036	124.06
$c$			125.568	125.740	104.216	106.312	92.004	94.056

表 3  $a, b, c$  三种电池的  $\Delta(x)$  值

$\Delta(\%)$	AM		
	0	1.0	1.5
$a$	-0.5	-1.1	-1.5
$b$	-0.6	-1.2	-1.6
$c$	-0.1	-2.0	-2.2

每一个电池在不同条件下的  $I_s$  和  $I_r$  的相对偏差由(4)式计算, 其结果表示在表 3 中。

$$\Delta(x) = \frac{I_s(x) - I_r(x)}{I_r(x)} \times 100\% \quad (4)$$

### 5 二级标准太阳电池的复制

当利用一级标准电池产生二级标准电池, 或者在太阳模拟器下用标准电池标定辐照度后检测其它电池的时候, 由于太阳模拟器和标准状态之间光谱辐照度失配误差及标准电池和被检测电池的光谱响应不一致, 将产生电池输出电流的失配误差  $F$ 。

$$F = \frac{\int P_r(\lambda) S_r(\lambda) d\lambda}{\int P_s(\lambda) S_r(\lambda) d\lambda} \bigg/ \frac{\int P_r(\lambda) S_t(\lambda) d\lambda}{\int P_s(\lambda) S_t(\lambda) d\lambda} \quad (5)$$

这里  $S_r(\lambda), S_t(\lambda)$  分别是标准电池和被检测电池的光谱响应。

$$r_r = \frac{\int P_r(\lambda) S_r(\lambda) d\lambda}{\int P_s(\lambda) S_r(\lambda) d\lambda}$$

$$r_t = \frac{\int P_r(\lambda) S_t(\lambda) d\lambda}{\int P_s(\lambda) S_t(\lambda) d\lambda}$$

$r_r, r_t$  分别是标准电池和被检测电池的在标准状态和太阳模拟器下输出电流之比, 这样公式(5)可写成如下形式:

$$F = r_r / r_t \quad (6)$$

当三种电池中的一种用作标准电池去检测其余二种电池时,在 AM0、AM1.0 或者 AM1.5 条件下的最大相对偏差可以计算出来。

正如从表 4 中所见,在这三种电池之间虽然有大的光谱响应差别,当它们混合使用即利用任何一种作为标准去检测其作两种电池时,最大相对偏差在 1% 以内。

表 4  $a, b, c$  三种电池的  $r_r/r_i$ 

$r_r/r_i$ \ AM	0	1.0	1.5
$r_a/b$	0.998	0.999	.998
$r_a/r_c$	1.003	0.992	0.993
$r_b/r_c$	1.005	0.993	0.995

## 6 讨 论

太阳模拟器的光谱辐照度分布,可以通过比较太阳电池在太阳模拟器和标准状态的两种光谱辐照度分布下的输出电流来评价。

习惯上,在所有各个波段内光谱辐照度分布的失配误差值常常是同时给予考虑的,这把太阳电池输出电流的相对偏差之进一步减小限制在某一范围内。如果计算出太阳电池在每一个波段内的光谱输出电流偏差  $\Delta\lambda$ ,太阳模拟器光谱辐照度分布对于太阳电池  $\Delta(x)$  的影响便一目了然。借助于这些数据进一步修改滤光片的光谱透过率数值,将可得到足够小的  $\Delta(x)$  值。

对于光谱响应明显不同的太阳电池,并且在不同的 AM 值光谱分布状态下,太阳模拟器 TM—500D 都有较为理想的光谱区配误差和  $\Delta(x)$ 。这表明这种太阳模拟器在广泛的应用范围内有高的模拟精度。并且很适于科学实验和研究工作。而且,当我们的太阳模拟器特别用来检测具有确定光谱响应的某种电池时,可以根据需要利用适当的滤光片来实现完善的光谱辐照度分布模拟。由于这一特色,它也很适于工厂生产线上的产品检查和质量管埋。

## 7 结 论

当 TM—500D 用作标定一级标准电池的设备时,它的标定精度小于 1%。

如果适于标定一级标准电池滤光片用来标定二级标准电池,它的最大误差小于 1%,并且和利用适于标定二级标准电池的滤光片具有相同的效果。

如果非晶硅或其它种类太阳电池投入大规模生产,具有适当滤光片的太阳模拟器也可望作为标定设备,并且将和标定硅太阳电池有相同的精度。

TM—500D 对于 AM0、AM1.0 和 AM1.5 三种标准太阳光谱辐照度分布都优于 A 级太阳模拟器。<sup>[1]</sup>它只是我们太阳模拟器系列中的一个系统,我们所研制的其它太阳模拟器也具有同样的光谱辐照度分布特征。

感谢王纪武先生,他为我们提供了太阳模拟器光谱滤光片。他在七十年代初期首先在国内研制成这种滤光片。

## 参 考 文 献

- [1] Solar Simulator Performance Requirements (draft), IEC/TC 82, 82 (secretariat) 20. March, 1985
- [2] Richard E. Bird and Roland L. Hulstrom, Additional Solar Spectral Data Sets. *Solar Cells*, 1983, **8**: 85—95
- [3] R. Hulstrom, B. Bird and C. Riordan, Spectral Solar Irradiance Data Sets of Selected Terrestrial Conditions. *Solar Cells*, 1985, **15**: 365—391

### Spectral Irradiance Distribution of a Typical Chinese Solar Simulator

Lang Yongzhi, \* Yu Peinuo, Zhong Jigong and Li Wenjun

(*Changchun Institute of Optics and Fine Mechanics,*

*Chinese Academy of sciences, Changchun 130021*)

(\* *The Eighteenth Institute, Electronic Industry Ministry, Tianjin 300020*)

## Abstract

The data of spectral irradiance distribution of a typical chinese solar simulator TM—500D are listed in this paper with two forms. These data show that the recommended solar simulator is an ideal equipment for calibrating and duplicating reference solar cells. A new way for the evaluation of the spectral irradiance distribution of solar simulator is introduced.

**Key words:** Solar simulator, Spectral irradiance distribntion, Solar cells, Data