

紫外至近红外积分球辐射定标系统

金中海 荀毓龙 章立民 王乐意
(中国科学院安徽光学精密机械研究所)

提 要

本文描述一种定标系统,它采用直径250cm的积分球辐射源作定标源,其辐射孔径大(直径40cm)、辐射功率高、具有较好的空间均匀性、广角度的漫射性、输出稳定以及宽波段的定标范围(0.25~2.5 μm)。本系统可用于光学遥感传感器和有关光辐射测量仪器的定标。

关键词: 定标; 积分球。

一、引 言

目前,光辐射探测器的定标都是使用标准灯为辐射标准,这种方法虽然设备简单,但标准灯的辐射功率有限,并具有方向性。通过积分球可解决这些问题,1976年美国NANA将12个45W卤钨灯,置于直径76cm的球内,获得高功率的漫辐射,1983年上海技术物理研究所用直径150cm的积分球,建立了类似的定标源,它们都以硫酸钡为内壁涂料。这种涂料的不足之处在于,长时间受紫外辐照后会发黄或变质,引起反射比变化。因球体小限制了出光口的孔径。为此,我们研制了直径250cm的大积分球定标源,并采用反射率高、漫射性好、化学特性稳定的聚四氟乙烯作内壁涂料。

二、基本 原理

积分球理论^[1]的基本要点是:如果一个光源放在一内壁均匀漫反射的空心球内,则球表面任何部分的辐照度相同,并正比于光源辐射的总通量,

$$E = (F/4\pi r^2) \cdot [\rho/(1-\rho)]. \quad (1)$$

其中 F 为球内总光通量, r 为球半径, ρ 为球壁反射率, E 为由反射引起的球壁辐照度。

在(1)式的推导中,假设了球为完整球,即无开口、球内无任何物体的空心球。这在实际中是不可能的。为此,考虑到这一影响修正后,在球内光源不直接照射球壁单一开口的条件下,该开口处的辐照度为^[2]:

$$E = (F/4\pi r^2) (\rho/[1-\rho(1-f)]). \quad (2)$$

式中 f 是所有开口面积与球面积之比, E 是出口处的辐照度。

(2)式表明,参数 ρ 、 f 一定时,只要在球内放入一定数量的辐射源,在球开口处即可得到适当强度的漫辐射,用作仪器的定标。

三、定标系统总体描述

本定标系统由积分球定标源、电路控制部分、标定测量部分和计算机控制与处理部分所组成(见图 1)。

积分球定标源是整个系统的核心,它提供定标所需的光辐射。铁制球体直径为 250 cm,前半部有一可变孔径的出光孔,最大孔径 40 cm,球内壁粘贴一层聚四氟乙烯漫反射材料。表 1 是测得的聚四氟乙烯贴板的光谱反射比。

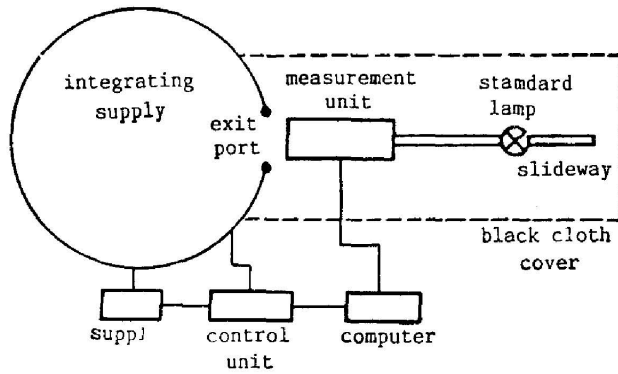


Fig. 1 Schematic diagram of the calibration system

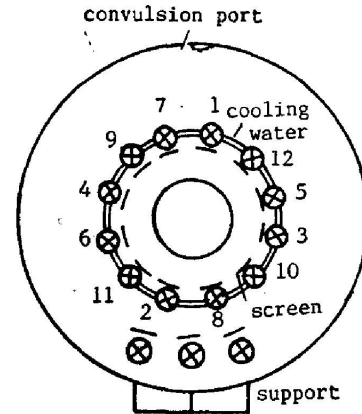


Fig. 2 Back view of the sphere

Table 1 The reflectance of sphere paint

λ (nm)	ρ_λ	λ	ρ_λ	λ	ρ_λ	λ	ρ_λ
250	0.945	420	0.959	900	0.986	1800	0.985
260	0.944	450	0.961	950	0.986	1900	0.978
270	0.941	500	0.966	1000	0.985	2000	0.972
280	0.950	550	0.971	1100	0.988	2100	0.953
300	0.937	600	0.974	1200	0.987	2200	0.962
320	0.941	650	0.976	1300	0.988	2300	0.959
340	0.946	700	0.978	1400	0.985	2400	0.943
360	0.949	750	0.978	1500	0.985	2500	0.939
380	0.953	800	0.978	1600	0.987		
400	0.956	850	0.985	1700	0.982		

球内, 12 个溴钨灯(24 V, 250 W)对称于出口, 安装在由冷却水管组成的直径 94 cm 的圆圈上, 如图 2。挡板是为了防止灯的直射光从球开口处出射。溴钨灯由精密可调的直流稳流电源(WZRD 型, 120 V-15 A)供电, 稳流精度为 0.04%。为提高紫外部分的辐射, 球内还装有三个氙灯(UXL-157 型, 150 W)。

为防止球内温升过高而影响定标, 在球顶部和底部分别装有可调速的抽风机和鼓风机, 从而可控制球内温度。

定标需要出光口具有不同强度的可变辐射, 在本系统中通过控制球内亮灯数目来实现。经过特殊设计的控制电路可任意接通和关闭球内的任何一个溴钨灯, 而同时保持始终连通, 与之串联的整个灯回路, 并使通过其它灯的电流维持不变。

测量部分用于标定出口处的辐射量和辐射特性。计算机控制和处理部分用于标定过程的自动化和数据处理。

四、测量及结果分析

1. 均匀性与漫射性

把口径为 40 cm 的积分球出光口看成为一面光源,在此面上,按图 3 取 25 个点,沿平行光轴方向,用 JF-1 型绝对辐射计测量辐射大小,以所测值相互间的标准差代表非均匀性。图中 $r_1=5\text{ cm}$, $r_2=9\text{ cm}$, $r_3=13\text{ cm}$ 。实测的面辐射非均匀性为 0.93%,最大偏差为 1.88%。

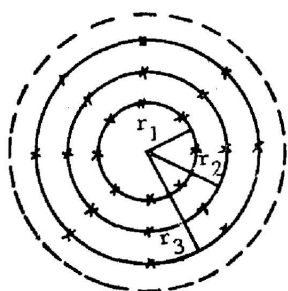


Fig. 3 Distribution of measurement points

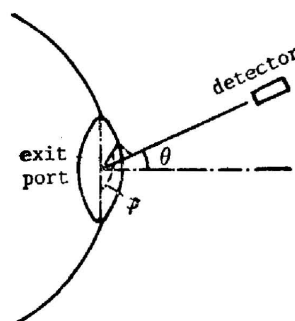


Fig. 4 Diffusion measurement

取出光孔中心法线为轴向, θ 为测量方向与轴向夹角, φ 为方位角(见图 4)。用 ORIEL 热释电辐射计在 185 个方向上测量辐射亮度,以所测值相互间的标准差代表漫射性误差,在 60° 锥角内,实测漫射性误差为 0.98%,最大偏差为 2.5%,在 100° 锥角内实测漫射性误差为 1.72%,最大偏差为 7.5%。

2. 绝对光谱分布

积分球出口的绝对光谱分布通过与国家计量院提供的 1000 W 辐照度标准灯相比较来

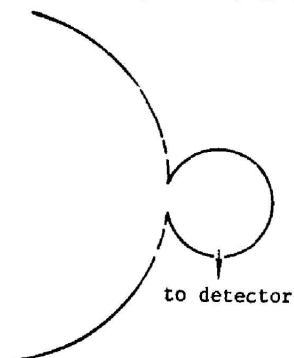


Fig. 5 Position of small sphere in large sphere irradiance measurement

测定。为消除积分球辐射(漫射)与标准灯辐射(近似点光源)之间的差异,采用一直径 50 cm 的小积分球接收。小球有一孔径在 10 cm 范围内可变的接收口,在与它垂直的一侧有一出光口,测量大积分球辐照度时,使小球与大球内壁相切,以便接收大球各部分的辐射(见图 5)。测量标准灯时,把标准灯放在距小球入口 50 cm 处。辐射经小球积分后均成为漫射光输出,出射光由单色仪分光后, ($0.25\ \mu\text{m}$ 到 $0.85\ \mu\text{m}$ 的波段内)用 RCA 4832 光电倍增管探测, ($0.85\ \mu\text{m}$ 到 $2.5\ \mu\text{m}$ 波段内)用 PbS 光导管探测,探测器信号经 PAR, 124 A 型锁相放大器放大后由记录仪记录或存入计算机。如果标准灯在 50 cm 处照度标准值为 $E_{0\lambda}$, 小球内壁反射比为 P_λ 。在单色仪缝宽及放大增益相同的情况下,若测标准灯时记录信号为 $D_{0\lambda}$, 测大球辐射时记录信号为 $D_{s\lambda}$, 则大球出口光谱辐照度为^[3]:

$$E_{s\lambda} = \rho_\lambda E_{0\lambda} \cdot D_{s\lambda} / D_{0\lambda}, \quad (3)$$

图 6 为所测结果,其中曲线 a 代表大球出口的总光谱辐照度分布, b 代表 1000 W 标准灯在

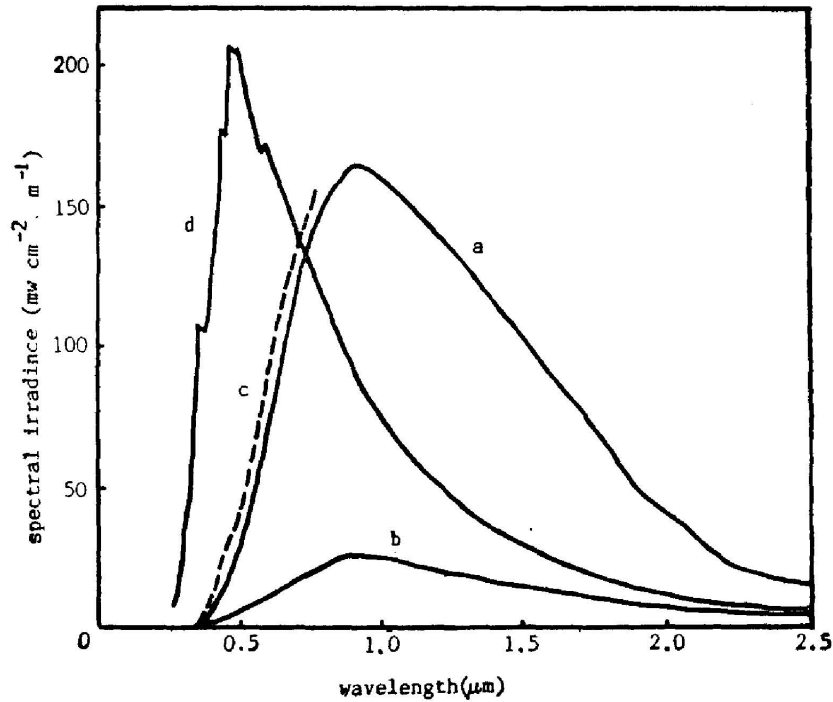


Fig. 6 Spectral irradiance

50 cm 处的光谱辐照度分布, C 为加氙灯后 ($0.25 \mu\text{m}$ 到 $0.8 \mu\text{m}$ 波段内), 球出口处总光谱辐照度分布 ($\lambda > 0.80 \mu\text{m}$ 氙灯出现大量线光谱), d 为大气上界的平均太阳辐照度 (Johnson 曲线)。可见, 在短波部分球出口处总辐照度低于大气上界的太阳光谱辐照度, 而在长波部分则高于太阳辐照度。

3. 辐射功率级别的线性

为了对探测器进行线性定标, 还必需准确知道各级辐射的相对比值。用 ORIEL 热电辐射计测量 12 个级别的各级总辐射, 归一化后的结果列于表 2, 其中 E_N/E_{12} 表示球内 N 个灯亮时与 12 个灯全亮时球出口处总辐射的相对值。由所测数据按 $K = \frac{12}{N} \cdot \frac{E_n}{E_{12}} - 1$ 计算非线性系数可知, 各级中最大非线性系数为 0.8%。图 7 是用 CCD 探测器扫描的各级辐射强度的相对大小, 可以看到各级辐射线性增加, 并保持色温的图形。

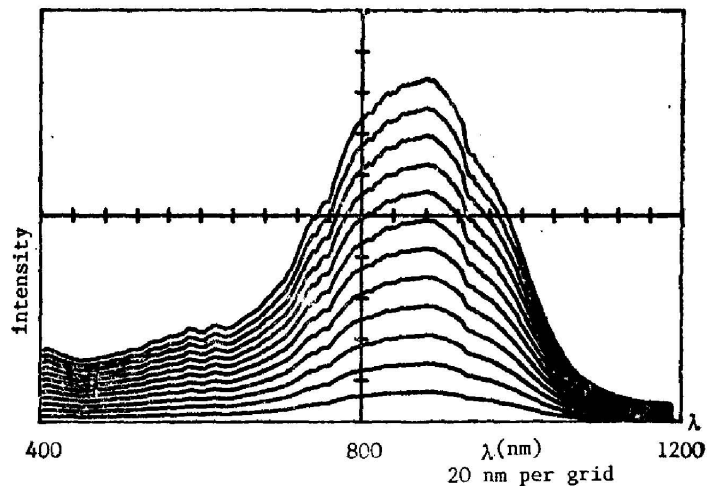


Fig. 7 Relative radiant intensity at all levels

由所测数据按 $K = \frac{12}{N} \cdot \frac{E_n}{E_{12}} - 1$ 计算非线性系数可知, 各级中最大非线性系数为 0.8%。图 7 是用 CCD 探测器扫描的各级辐射强度的相对大小, 可以看到各级辐射线性增加, 并保持色温的图形。

Table 2 Ratio of intensity of n lamps to 12 lamps in sphere

No. of lamps	E_N/E
12	1.000
11	0.917
10	0.834
9	0.750
8	0.668
7	0.584
6	0.502
5	0.419
4	0.335
3	0.252
2	0.168
1	0.084

五、结 论

测量结果表明,积分球定标源是一种具有较好的空间均匀性和漫射性的大尺寸面光源。它不仅具有高能量的辐射,而且能方便地实现多层次的辐射功率,并在辐射大小变化时保持色温不变。本系统具有宽波段的定标范围($0.25\ \mu\text{m}\sim 2.5\ \mu\text{m}$)。它不仅使得标准灯定标时辐射功率小,方向性强等问题得到了解决,而且将简化定标的程序和方法。因此,这种定标系统能满足紫外至近红外区内的各种辐射计和光辐射测量仪器的定标。

作者感谢张文友、李健康、陈爱珍;姜树榕、冯建平;洪加升等同志分别在球壁贴板;测量;机械加工等方面的工作中所给予的帮助。

参 考 文 献

- [1] I. W. T. Walsh; "Photometry", (London, Constable and Co., 1958), 253.
- [2] D. G. Goebel; *Appl. Opt.*, 1967, **6**, No. 4 (Jan), 125~128.
- [3] J. T. McLean, A. Meculloch and E. L. Mohr; *N76-11175*, 1975, 783~796.

Integrating sphere radiation calibration system for UV to near IR

JIN ZHONGHAI, XUN YULONG, ZHANG LIMING AND WANG LEYI
(*Anhui Institute of Optics and Fine Mechanics, Academia Sinica, Hefei*)

(Received 4 January 1988; revised 26 September 1988)

Abstract

This paper describes a calibration equipment, consisting of a 250 cm—diameter integrating sphere radiation source as its calibration source. It has a large radiation aperture (in diameter of 40 cm), high radiation power, high spatial uniformity and wide angle diffusion, with stable output and wide wavelength region of calibration (0.25 to 2.5 micrometer). The equipment can be used to calibrate optical remote sensors and other optical instruments used for measuring radiation in the near UV, visible, and near IR wavelength regions.

Key words: calibration; integrating sphere.