



# 中华人民共和国国家军用标准

FL 9900

GJB 5023.1-2003

---

## 材料和涂层反射率和发射率测试方法 第1部分:反射率

The method of measuring reflectivity and emissivity for material and coating  
Part 1: Reflectivity

2003-07-21 发布

2003-10-01 实施

---

中国人民解放军总装备部 批准

## 前 言

GJB 5023-2003《材料和涂层反射率和发射率测试方法》分为两部分：

第1部分：反射率；

第2部分：发射率；

本部分是GJB 5023-2003的第1部分。

本部分由中国人民解放军总装备部电子信息基础部提出。

本部分由中国人民解放军总装备部技术基础管理中心归口。

本部分起草单位：中国科学院安徽光学精密机械研究所、中国航天机电集团公司303所、中国航空综合技术研究所、中国航天机电集团公司二〇七所。

本部分主要起草人：魏庆农、付宏明、肖 健、王桂华、张燕平。

# 材料和涂层反射率和发射率测试方法

## 第 1 部分:反射率

### 1 范围

本部分规定了在实验室条件下,对军用材料和涂层的样品,在光谱范围为  $0.4\mu\text{m}\sim 2.5\mu\text{m}$  波段内的反射率测试方法。

本部分适用于军用目标——导弹、卫星、飞机、舰船、车辆等表面材料和涂层反射率的测量。

### 2 术语和定义

下列术语和定义适用于本部分。

#### 2.1 方向半球反射率 directional hemispheric reflectance

在给定方向的照射条件下,物体反射到半球空间的辐射通量与入射在物体表面上的辐射通量之比。

#### 2.2 双向反射系数 bidirectional reflectance factor

被测物体与全漫射体在给定方向照射与观测条件下,被测物体反射的辐射通量与全漫射体反射的辐射通量之比。

#### 2.3 漫反射参考体 diffuse reflection reference

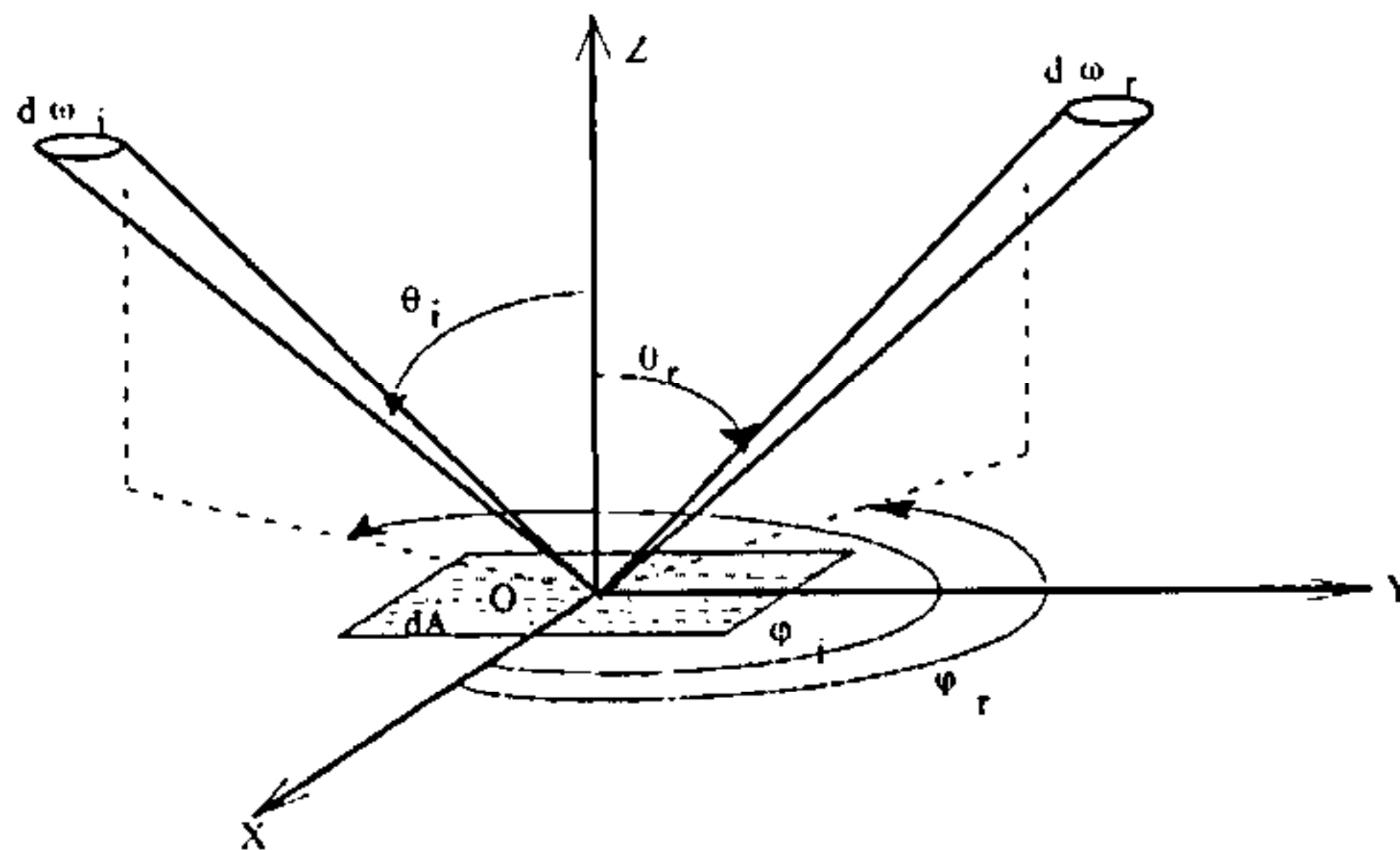
一种由高漫射材料制成的平面反射体,其方向半球反射率不低于 95%,并且不具有光谱选择性。

#### 2.4 积分球 integrating sphere

一种内壁涂有均匀漫反射材料的球形腔光学装置。

### 3 测试原理

目标在空间双向反射系数测量光束的几何条件见图 1。



$d\omega_i$ —入射光源相对样品所张立体角;

$d\omega_r$ —接收探测器相对样品所张立体角;

$\theta_i$ —入射辐射方向的天顶角;

$dA$ —被测物体面积

$\varphi_i$ —入射辐射方向的方位角;

$\theta_r$ —探测器接收方向的天顶角;

$\varphi_r$ —探测器接收方向的方位角;

图 1 测量光束的几何条件

测量方式可以分为等天顶角或等方位角方式。等天顶角方式为在给出了入射方向时,探测器相对被

测物体按照相同天顶角,不同的方位角进行测量。等方位角方式为在给定入射方向时,探测器相对被测物体按照相同方位角,不同的天顶角进行测量。

通常用比对法测量材料的反射率,即双向反射系数  $R$ 。通过测量被测物体在给定方向上的辐射通量  $d\Phi_r$  和漫反射体在相同方向上的辐射通量  $d\Phi_{r,id}$ , 以及利用由计量部门标定的漫反射体的双向反射系数  $R_{r,id}$ , 由下式计算:

$$R(\theta_i, \varphi_i; \theta_r, \varphi_r; \lambda) = \frac{d\Phi_r(\theta_i, \varphi_i; \theta_r, \varphi_r; d\omega_r; \lambda)}{d\Phi_{r,id}(\theta_i, \varphi_i; \theta_r, \varphi_r; d\omega_r; \lambda)} R_{r,id}(\theta_i, \varphi_i; \theta_r, \varphi_r; \lambda) \dots\dots\dots (1)$$

式中:

$d\Phi_r(\theta_i, \varphi_i; \theta_r, \varphi_r; d\omega_r; \lambda)$  ——被测物体在方向  $(\theta_r, \varphi_r)$  上的辐射通量, W;

$d\Phi_{r,id}(\theta_i, \varphi_i; \theta_r, \varphi_r; d\omega_r; \lambda)$  ——漫反射体在相同照射情况下, 在方向  $(\theta_r, \varphi_r)$  上的辐射通量, W;

$R_{r,id}(\theta_i, \varphi_i; \theta_r, \varphi_r; \lambda)$  ——漫反射体的双向反射系数。

#### 4 测试内容

在实验室测量的主要物理量为:

- a)  $\theta_i, \varphi_i$ : 入射辐射方向的天顶角和方位角;
- b)  $\theta_r, \varphi_r$ : 探测器接收方向的天顶角和方位角;
- c)  $\Delta\Phi_r(\theta_i, \varphi_i; \theta_r, \varphi_r; \Delta\omega_r; \lambda)$ : 被测物体在方向  $(\theta_r, \varphi_r)$  上的辐射通量;
- d)  $\Delta\Phi_{r,id}(\theta_i, \varphi_i; \theta_r, \varphi_r; \Delta\omega_r; \lambda)$ : 漫反射体在相同照射情况下, 在方向  $(\theta_r, \varphi_r)$  上的辐射通量。

通过式(1), 得到被测物体的双向反射系数。

#### 5 测试设备

##### 5.1 设备概述

材料及涂层反射率测试装置由光源、接收系统、变角转台以及数据采集与处理系统组成。测量系统原理示意图见图 2。

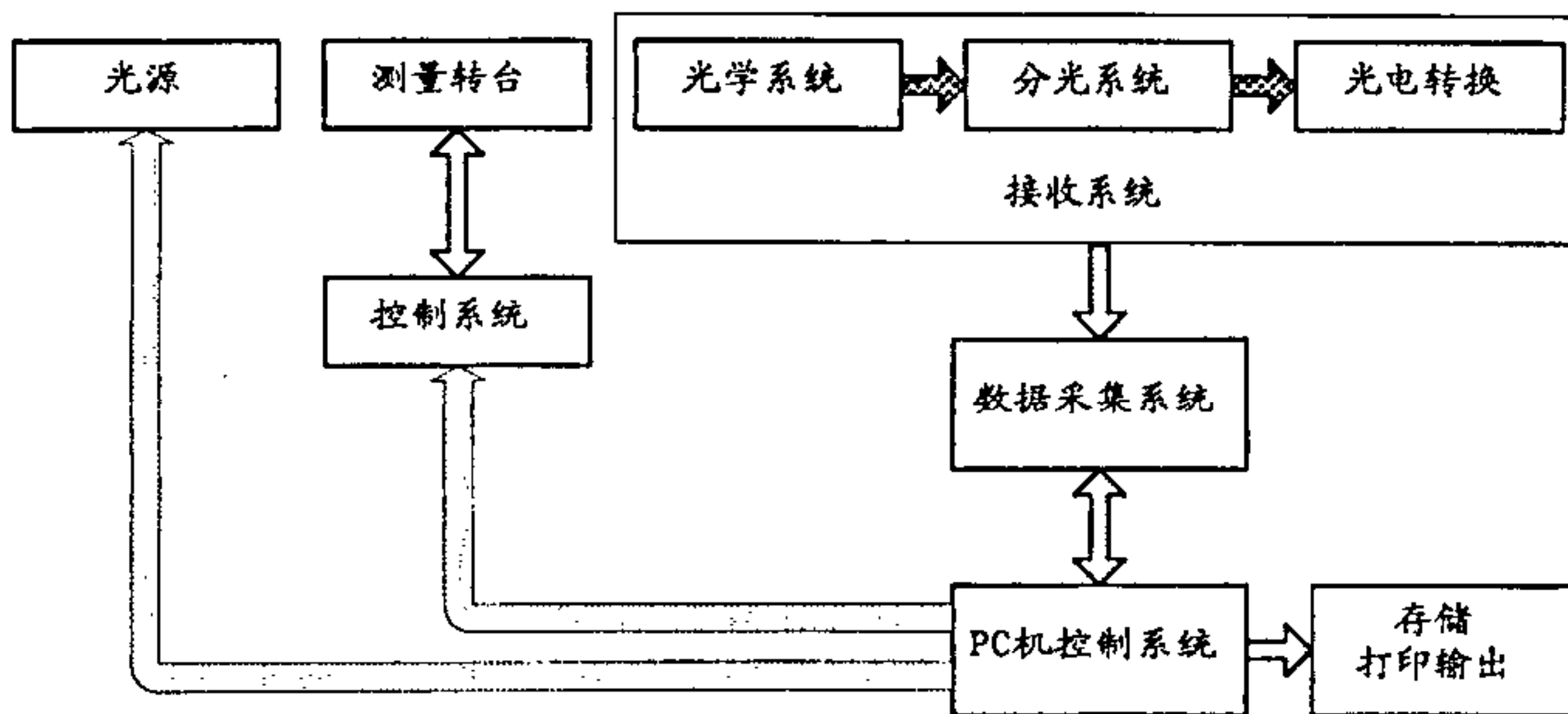


图 2 测量系统原理示意图

##### 5.2 光源

光源的选择要求在  $0.4\mu\text{m} \sim 2.5\mu\text{m}$  波长范围内有较高的发光强度, 光源入射至被测物体上的发散角小于  $10\text{mrad}$ 。光源在被测样品表面均匀照明, 在 8h 之内光源强度的不稳定性小于 3%。

##### 5.3 接收系统

接收系统由光学系统、色散系统和光电转换系统组成。

### 5.3.1 光学系统

光学系统由反射镜或透镜组成,以增加接收的光能量,提高信噪比。

### 5.3.2 色散系统

色散系统由光学系统、分光元件、电学和控制系统组成。为达到较高的测量精度,大多采用双光束测量。

### 5.3.3 光电转换系统

光电转换器的类型应根据测量的波段、信号的强度、信噪比的要求等因素来选择。光电转换器应工作在线性区域,具有可靠的稳定性。

## 5.4 变角转台

变角转台是测量物体方向反射性能的基本装置,由变角装置及控制系统组成。

### 5.4.1 性能

变角转台的方向角度范围、方向分辨率等主要技术指标应满足使用要求。控制转台转动应有反馈控制功能,入射与接收天顶角的范围不小于  $80^\circ$ ,方位角的范围为  $360^\circ$ ,角度转动误差小于  $0.5^\circ$ 。

### 5.4.2 结构

变角装置为三维测量装置,能够实现入射方向和接收方向在上半球空间各向进行。

### 5.4.3 控制

被测样品由三个电机带动转动,各个电机的控制按照固定的数学公式确定的方式转动。

## 5.5 数据采集与处理系统

数据采集系统包括前置放大器和信号放大器。对连续光源采用光调制,信号放大器用锁相放大器;对脉冲光源用积分平均器作为放大器。放大器需具有数字信号输出,接口为 GPIB 或 RS232。

## 6 测试方法

### 6.1 样品的要求

#### 6.1.1 样品采集

选择的样品应具有代表性,可真实反映物体的光谱特性和反射特性,采集样品时应避免污染。在样品上须做好方位的标记。

#### 6.1.2 样品面型

不透明样品至少应有一个平面,透明样品应有两个平行平面。

#### 6.1.4 样品尺寸

选择的样品尺寸应充满仪器的观测视场。

### 6.2 标准参考体

#### 6.2.1 性能

标准参考体为各向同性均匀的漫反射体,方向半球反射率大于  $95\%$ ,性能稳定,具有可溯源性。

#### 6.2.2 制作

标准参考体的材料为聚四氟乙烯,压制成形,经烧结而成。标准参考板的尺寸不小于样品的尺寸。

#### 6.2.3 使用

使用标准参考体时,不应接触光学面,当其方向半球反射率小于  $95\%$ 时,需要更换。

### 6.3 测试环境

实验室温度为常温,湿度小于  $50\%$ ,要求遮挡可见光。

### 6.4 测试步骤

- a) 安装测试样品;
- b) 将测试转台初始化;
- c) 输入辅助记录参数,包括仪器参数、样品参数、标准参考体参数、环境参数、测试时间、测试人员



- 等;设置测量方式;设置天顶角和方位角的测量范围和采样间隔;
- d) 启动测量控制程序,程序将自动记录在不同几何条件下的辐射通量  $\Delta\Phi(\theta_i, \varphi_i; \theta_r, \varphi_r; \Delta\omega_r; \lambda)$ ;
- e) 安装标准参考体;
- f) 重复 a)、b)、c)、d)、e),得到辐射通量  $\Delta\Phi_{r, id}(\theta_i, \varphi_i; \theta_r, \varphi_r; \Delta\omega_r; \lambda)$
- g) 用下式计算  $R(\theta_i, \varphi_i; \theta_r, \varphi_r; \lambda)$ ;

$$R(\theta_i, \varphi_i; \theta_r, \varphi_r; \lambda) = \frac{\Delta\Phi(\theta_i, \varphi_i; \theta_r, \varphi_r; \Delta\omega_r; \lambda)}{\Delta\Phi_{r, id}(\theta_i, \varphi_i; \theta_r, \varphi_r; \Delta\omega_r; \lambda)} R_{r, id}(\theta_i, \varphi_i; \theta_r, \varphi_r; \lambda) \dots\dots\dots (2)$$

- h) 将  $R(\theta_i, \varphi_i; \theta_r, \varphi_r; \lambda)$  及辅助记录参数存贮成数据文件。

7 标定

仪器应周期地或在测试前后进行定标,以保证仪器性能指标能够满足使用要求,以及对测量结果进行修正。

7.1 光谱定标

7.1.1 定标光源

光源采用笔型低压汞灯,利用低压汞灯的标准线状谱对仪器进行标定。

7.1.2 光谱分辨率定标

用光谱仪测量低压汞灯的标准线状谱,将线状谱强度一半时的宽度定义为光谱分辨率。

7.2 稳定度定标

仪器经开机预热 1h 后,固定仪器参数,检验测量结果 30min,给出 100% 的变化值。

8 材料及涂层光谱反射率的不确定度分析与评价

为评定反射率测量不确定度,对公式(2)求偏导数得出不确定度评定的数学模型:

$$u_c(R) = \left[ \left( \frac{\partial R(\theta_i, \varphi_i; \theta_r, \varphi_r; \lambda)}{\partial \theta_i} \right)^2 u^2(\theta_i) + \left( \frac{\partial R(\theta_i, \varphi_i; \theta_r, \varphi_r; \lambda)}{\partial \varphi_i} \right)^2 u^2(\varphi_i) + \left( \frac{\partial R(\theta_i, \varphi_i; \theta_r, \varphi_r; \lambda)}{\partial \theta_r} \right)^2 u^2(\theta_r) + \left( \frac{\partial R(\theta_i, \varphi_i; \theta_r, \varphi_r; \lambda)}{\partial \varphi_r} \right)^2 u^2(\varphi_r) + \left( \frac{\partial R(\theta_i, \varphi_i; \theta_r, \varphi_r; \lambda)}{\partial \lambda} \right)^2 u^2(\lambda) \right]^{\frac{1}{2}} \dots\dots\dots (3)$$

式中:

- $u(\theta_i)$  ——入射辐射方向的天顶角不确定度;
- $u(\varphi_i)$  ——入射辐射方向的方位角不确定度;
- $u(\theta_r)$  ——探测器接收方向的天顶角不确定度;
- $u(\varphi_r)$  ——探测器接收方向的方位角不确定度;
- $u(\lambda)$  ——入射辐射光波长不确定度。

上述标准不确定度分量按 B 类方法评定:  $k = 3$

公式(3)中各被测量值的可能区间为  $(\alpha_+ - \alpha_-)$ , 则

$$u_B = (\alpha_+ - \alpha_-) / 2k \dots\dots\dots (4)$$

根据公式(4)可以得出  $u(\theta_i), u(\varphi_i), u(\theta_r), u(\varphi_r), u(\lambda)$ , 代入公式(3)可以得出  $u_c(R)$ 。计算出材料及涂层双向反射系数的最大不确定度不大于 5%。

9 测试报告

测量结束后,应编写完整的测试报告,测试报告应包括下述内容:

- a) 测试目的,委托单位、承担单位,测试样品种类;
- b) 测试原理,测试方法,测试时间,测试地点;

- c) 测试的波长范围、采样间隔、天顶角和方位角的范围、方向采样间隔和空间分辨率等；
- d) 测试参数：
  - 1) 仪器参数：包括生产厂家、仪器型号和使用的附件；
  - 2) 样品参数：包括样品名称、编号，表面光学特性描述，样品尺寸、厚度，制备日期；
  - 3) 标准参考板参数：标准参考板的材料、制作编号、制作单位、最近一次定标的日期及溯源单位；
  - 4) 其它参数：测量时的环境参数，测量单位，测量时间等。
- e) 测试结果及分析：给出测试结果，必要时应以图表形式给出。

## 10 数据文件

### 10.1 内容

数据文件应包括该样品测试过程中所有的数据和文件。

### 10.2 存储介质

光盘、硬盘或软盘。

参 考 文 献

F. E. Nicodemus, J. C. Richmond etc., Geometrical considerations and nomenclature for reflectance. Natl. Bur. Stand. U. S. Monogr. 1977, 160

F. J. J. Clarke etc., Goniophotometric and polarization properties of white reflection standard materials. Light. Res. Technol. 15, No. 1, 1983, 133 - 149

W. Erb, High-Accuracy Gonioreflexance Spectrometry at the PTB. Adv. Stand. Method. Spectrophotom. 2, No. 1, 1987, 87

章立民、魏庆农等,一种新型的变角光度计.光学仪器,第十卷第四期,1988

Xiaofan Feng, J. R. Schott and T. Gallagher, Comparison of methods for generation of absolute reflectance-factor values for bidirectional reflectance-distribution function studies. Appl. Opt. Vol. 32, No. 1, 1993, 1234 - 1242

魏庆农、刘建国等,双向反射分布函数的绝对测量方法.光学学报,第16卷第12期,1996

叶德培,测量不确定度,国防工业出版社,1996



中 华 人 民 共 和 国  
国 家 军 用 标 准  
材 料 和 涂 层 反 射 率 和 发 射 率 测 试 方 法  
第 1 部 分 : 反 射 率  
GJB 5023.1-2003

\*

总装备部军标出版发行部出版  
(北京东外京顺路7号)  
总装备部军标出版发行部印刷车间印刷  
总装备部军标出版发行部发行  
版权专有 不得翻印

\*

开本 880×1230 1/16 印张 3/4 字数 18 千字  
2003 年 10 月 第 1 版 2003 年 10 月 第 1 次 印 刷  
印数 1-400

\*

军标出字第 5162 号



G J B 5 0 2 3 . 1 - 2 0 0 3 Z