



中华人民共和国国家军用标准

FL 9900

GJB 5023.2-2003

材料和涂层反射率和发射率测试方法 第2部分:发射率

The method of measuring reflectivity and emissivity for material and coating
Part2: Emissivity

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2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。

本标准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：中国航天科工集团第二〇七所、中科院安徽光机所、中国航空综合技术研究所。

本部分主要起草人：胡文智、朱晓芳、马勇辉、肖 健、王桂华。

材料和涂层反射率和发射率测试方法

第2部分:发射率

1 适用范围

本部分规定在实验室条件下,利用等温辐射法对军用表面材料(含涂层)在 223K~700K 温度范围内,光谱范围为 $2\mu\text{m}\sim 14\mu\text{m}$ 波段内、被测样品表面法线与观察视轴夹角 $0^\circ\sim 45^\circ$ 范围内的红外光谱发射率测试方法。

本部分适用于军用目标——导弹、卫星、飞机、舰船、车辆等材料和涂层的光谱发射率测量。

2 术语和定义

下列术语和定义适用于本部分。

2.1 光谱辐射通量 spectral radiant flux

单位波长间隔的辐射通量,单位为: $\text{W}\mu\text{m}^{-1}$ 。

2.2 光谱辐射出射度 spectral radiant exitance

单位波长间隔的辐射出射度,单位为: $\text{Wm}^{-2}\mu\text{m}^{-1}$ 。

2.3 光谱发射率 spectral emissivity

一个辐射源的光谱辐射出射度与具有同一温度的黑体辐射源的光谱辐射出射度之比。

2.4 光谱辐射亮度 spectral radiance

单位波长间隔的辐射亮度,单位为: $\text{Wm}^{-2}\text{sr}^{-1}\mu\text{m}^{-1}$ 。

3 测试原理

实际物体的光谱发射率是该物体的光谱辐射出射度与具有相同温度的黑体的光谱辐射出射度的比值。即:

$$\epsilon_\lambda(T) = \frac{M_\lambda(T)}{M_{\text{b}}(T)} \dots\dots\dots (1)$$

式中:

$M_\lambda(T)$ —— T 温度时,实际物体的光谱辐射出射度;

$M_{\text{b}}(T)$ —— T 温度时,黑体的光谱辐射出射度;

$\epsilon_\lambda(T)$ —— T 温度时,实际物体的光谱发射率。

对于朗伯体表面,其辐射出射度为辐射亮度的 π 倍,即 $M_\lambda(T) = \pi L_\lambda(T)$; 因此(1)式也可用辐射亮度表示:

$$\epsilon_\lambda(T) = \frac{L_\lambda(T)}{L_{\text{b}}(T)} \dots\dots\dots (2)$$

式中:

$L_\lambda(T)$ —— 温度为 T 时,实际物体的光谱辐射亮度;

$L_{\text{b}}(T)$ —— 温度为 T 时,黑体的光谱辐射亮度;

$\epsilon_\lambda(T)$ —— 温度为 T 时,实际物体的光谱发射率。

实际环境中,任何物体向空间发射出的能量均可表述为两部分,一部分是物体的自身辐射,另一部分是物体表面反射外部环境的辐射。因此,对于温度为 T 、光谱发射率为 $\epsilon_\lambda(T)$ 的不透明物体表面,处于

温度为 T_e 的环境中时,其表面的等效黑体光谱辐射亮度为:

$$L_\lambda(T) = \epsilon_\lambda(T)L_\lambda^0(T) + \rho_\lambda(T)L_\lambda^*(T_e) \dots\dots\dots (3)$$

对于不透明物体, $\rho_\lambda(T) = 1 - \epsilon_\lambda(T)$, 因此,(3)式又可写成:

$$L_\lambda(T) = \epsilon_\lambda(T)L_\lambda^0(T) + (1 - \epsilon_\lambda(T))L_\lambda^*(T_e) \dots\dots\dots (4)$$

式中:

$\epsilon_\lambda(T)$ ——温度为 T 时,实际物体表面的光谱发射率;

$L_\lambda^0(T)$ ——温度为 T 时,黑体的光谱辐射亮度;

$L_\lambda^*(T_e)$ ——温度为 T_e 的环境辐射对该物体表面产生的光谱辐射亮度;

$\rho_\lambda(T)$ ——温度为 T 时,实际物体表面的光谱反射率;

$L_\lambda(T)$ ——温度为 T 时,实际物体表面的光谱辐射亮度;

为了测量实际物体温度为 T 时的表面光谱发射率,建立一个测量装置,使实际物体(被测样品)、高发射率参考辐射体(参考黑体)、低发射率朗伯参考辐射体(低发射率参考体)具有相同的温度 T , 并且处于温度为 T_e 的环境中,此时参考黑体表面光谱辐射发射率为 $\epsilon_b(T)$ 、光谱辐射亮度为:

$$L_b(T) = \epsilon_b(T)L_\lambda^0(T) + (1 - \epsilon_b(T))L_\lambda^*(T_e) \dots\dots\dots (5)$$

低发射率参考体表面光谱辐射发射率为 $\epsilon_r(T)$ 、光谱辐射亮度为:

$$L_r(T) = \epsilon_r(T)L_\lambda^0(T) + (1 - \epsilon_r(T))L_\lambda^*(T_e) \dots\dots\dots (6)$$

式中:

$\epsilon_b(T)$ ——温度为 T 时,参考黑体的光谱发射率;

$\epsilon_r(T)$ ——温度为 T 时,低发射率参考体的光谱发射率;

$L_\lambda^0(T)$ ——温度为 T 时,黑体的光谱辐射亮度;

$L_\lambda^*(T_e)$ ——温度为 T_e 的环境辐射对该物体表面产生的光谱辐射亮度;

$L_b(T)$ ——温度为 T 时,参考黑体的光谱辐射亮度;

$L_r(T)$ ——温度为 T 时,低发射率参考体的光谱辐射亮度。

被测物体表面光谱发射率为:

$$\epsilon_\lambda(T) = \frac{L_\lambda(T) - L_r(T)}{L_b(T) - L_r(T)}(\epsilon_b(T) - \epsilon_r(T)) + \epsilon_r(T) \dots\dots\dots (7)$$

4 测试内容

采用光谱辐射计测量处于同一温度的被测样品表面、参考黑体、低发射率参考体表面光谱辐射亮度,即:

$L_\lambda(T)$ ——温度为 T 时,被测样品表面的光谱辐射亮度;

$L_b(T)$ ——温度为 T 时,参考黑体的光谱辐射亮度;

$L_r(T)$ ——温度为 T 时,低发射率参考体的光谱辐射亮度。

根据(7)式即可计算得到被测物体表面的光谱发射率 $\epsilon_\lambda(T)$ 。其中(7)式中的参考黑体的光谱发射率 $\epsilon_b(T)$ 、低发射率参考体的光谱发射率 $\epsilon_r(T)$ 是事先确定的,具有可溯源性的已知物理量,光谱辐射计是经过计量单位标定的仪器。

5 测试设备

5.1 设备概述

材料及涂层光谱发射率测量装置主要由加热器(冷却器)、真空冷环境、控制测量单元三部分组成。测量装置框图见图 1。材料及涂层光谱发射率测量装置技术指标如下:

- a) 测量温度范围:223K~700K;
- b) 测量波段范围: $2\mu\text{m}\sim 14\mu\text{m}$;
- c) 测量角度范围: $0^\circ\sim 45^\circ$;
- d) 发射率测量范围:0.3~0.9;
- e) 测量不确定度: $U = 10\%$ (包含或置信因子 $k = 2$, 置信水平 $P \approx 95\%$)。

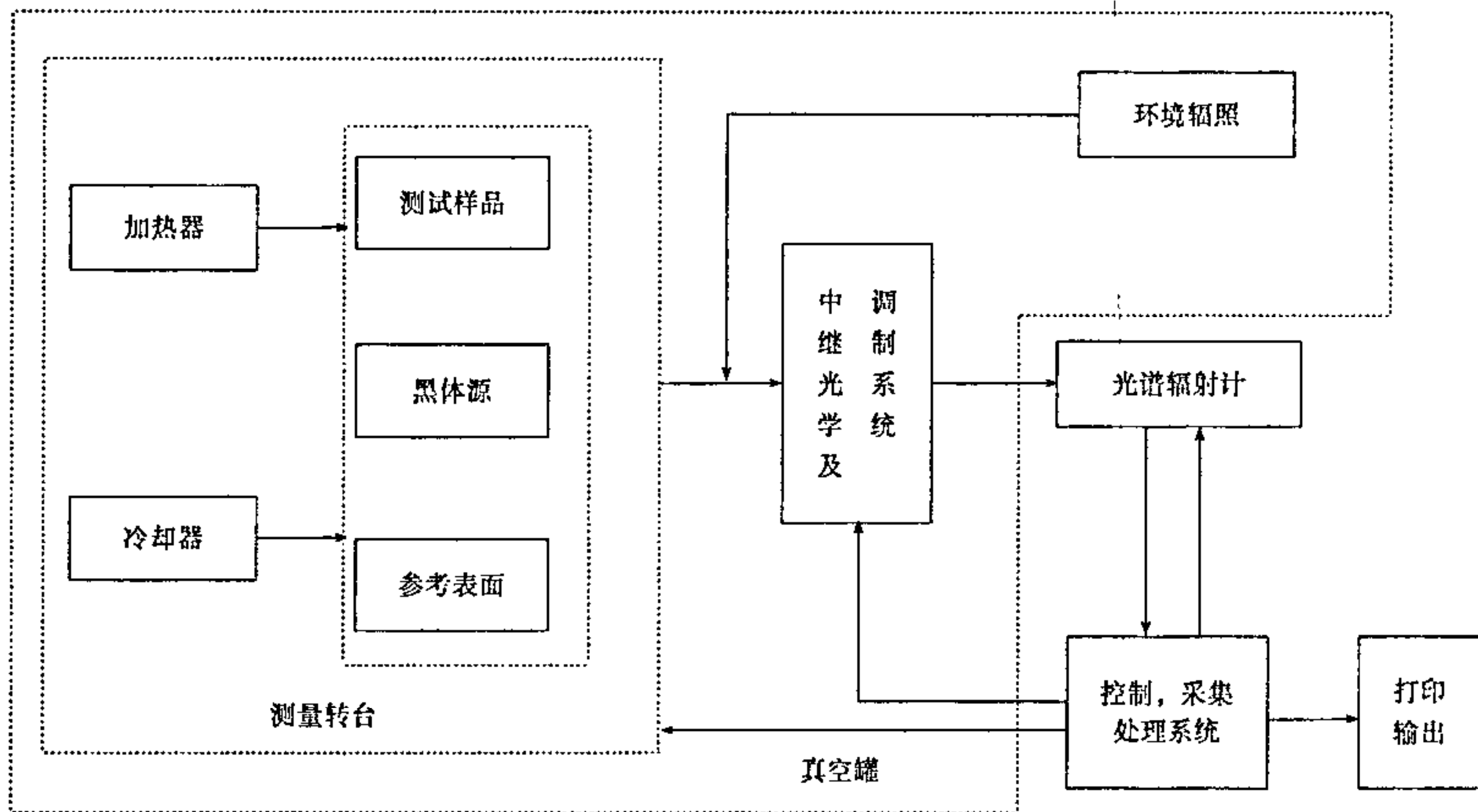


图1 测量装置框图

5.2 加热器(冷却器)

5.2.1 功能

加热器(冷却器)具有较大热惯量,并能设定温度,对被测样品、参考黑体、低发射率参考辐射体进行加热(冷却),并使三者具有相同的温度。其中参考黑体发射率不小于0.97,不确定度分量0.01,具有可溯源性;低发射率参考辐射体为朗伯体,性能稳定,其半球发射率不大于0.1,不确定度分量0.01,具有可溯源性;加热器(冷却器)的温度平衡在223K~700K范围内的任何设定的温度点上,控温精度优于1K。

5.2.2 结构

由加热器芯、保温壳和支架组成,被测样品、参考黑体、低发射率参考辐射体安装在加热器的一个端面上。加热器内置温度传感器。

5.3 真空冷环境

5.3.1 功能

提供符合下列指标的环境:

- a) 提供真空环境,其真空度小于1Pa;
- b) 提供一个温度为 T_0 的稳定的辐射环境,温度低于90K。

5.3.2 结构

其总体为真空罐,真空罐上开有法兰密封接口,用于电气控制连线使用,球冠端封中心设置高透过率(透过率优于90%)的红外窗口以供罐内外光学系统对接。另外,罐内设置工作平台,安装样品加热器、中继光学调制系统以及安装作为辐射环境用的热沉。

5.4 控制和数据处理单元

5.4.1 功能

控制加热器和热沉的温度及被测样品的角度。控温精度优于 1K, 角度控制精度 1°; 控制光谱辐射计测量 $L_\lambda(T)$ 、 $L_b(T)$ 、 $L_r(T)$ 三个物理量, 由处理软件计算出被测样品的光谱发射率 $\epsilon_\lambda(T)$ 。

5.4.2 结构

由控制计算机、传感器、步进电机、驱动器、平移及旋转平台、加热控制器及罐内红外光学中继装置、信号调制器、罐外光谱辐射计组成。加热器由温控器控制在任何设定的温度点上。旋转平台改变测试样品表面法线与测量光轴的夹角以达到测量材料发射率方向特性的目的。平移平台可使加热器端面上的被测样品、参考黑体和低发射率参考辐射按顺序分别进入测量仪器光谱辐射计的视场。

6 测试方法

6.1 测试样品

被测样品为不透明的板材和涂层表面。当被测样品为涂料时, 样品涂层厚度应小于 0.2mm。

6.2 测试步骤

测试步骤如下:

- a) 安装测试样品;
- b) 检查加热器、旋转平台、平移平台工作是否正常;
- c) 关闭真空罐端盖, 紧固法兰;
- d) 启动真空泵, 罐体抽真空, 使其真空度达到 1Pa;
- e) 启动样品加热器, 设置控温温度 T ;
- f) 热沉充液氮致冷 T_c ;
- g) 调节光谱辐射计位置和焦距, 使其通过光学中继系统对准被测样品表面;
- h) 测量参考黑体表面、低发射率朗伯体参考表面、被测样品表面的光谱辐射的亮度, 并存储成数据文件;
- i) 由处理程序计算出被测样品在不同的温度的光谱发射率 $\epsilon_\lambda(T)$ 。

7 材料及涂层光谱发射率的不确定度分析与评价

根据材料及涂层光谱发射率测量装置的特性, 测量装置所使用的标准参考体及影响辐射测量的诸多因素如: 参考黑体光谱发射率、低发射率朗伯体参考表面的光谱发射率、控温精度、角度控制精度及光谱辐射计测量带来的误差。这些是测量不确定度的主要来源。根据(7)式合成标准不确定度可用下式计算:

$$u_c(y) = \sqrt{\sum_{i=1}^n \left[\frac{\partial f}{\partial x_i} \right]^2 u^2(x_i) + 2 \sum_{i=1}^{n-1} \sum_{j=i+1}^n \frac{\partial f}{\partial x_i} \frac{\partial f}{\partial x_j} r(x_i, x_j) u(x_i) u(x_j) \dots \dots \dots (8)}$$

(8)式展开为:

$$\begin{aligned} u_c^2(\epsilon_\lambda) &= \left[\frac{\partial f}{\partial L_\lambda} u(L_\lambda) + \frac{\partial f}{\partial L_r} u(L_r) + \frac{\partial f}{\partial L_b} u(L_b) \right]^2 + \left[\frac{\partial f}{\partial \epsilon_b} u(\epsilon_b) \right]^2 + \left[\frac{\partial f}{\partial \epsilon_r} u(\epsilon_r) \right]^2 \\ &= \left[\frac{\partial f}{\partial L_\lambda} u(L_\lambda) \right]^2 + \left[\frac{\partial f}{\partial L_r} u(L_r) \right]^2 + \left[\frac{\partial f}{\partial L_b} u(L_b) \right]^2 + 2 \frac{\partial f}{\partial L_\lambda} \frac{\partial f}{\partial L_r} r(L_\lambda, L_r) u(L_\lambda) u(L_r) \\ &\quad + 2 \frac{\partial f}{\partial L_r} \frac{\partial f}{\partial L_b} r(L_r, L_b) u(L_r) u(L_b) + 2 \frac{\partial f}{\partial L_\lambda} \frac{\partial f}{\partial L_b} r(L_\lambda, L_b) u(L_\lambda) u(L_b) + \left[\frac{\partial f}{\partial \epsilon_b} u(\epsilon_b) \right]^2 \\ &\quad + \left[\frac{\partial f}{\partial \epsilon_r} u(\epsilon_r) \right]^2 \dots \dots \dots (9) \end{aligned}$$

(9)式中 $L_\lambda(T)$ 、 $L_b(T)$ 、 $L_r(T)$ 均由光谱辐射计对处于同一温度环境中样品进行测量, 如果测量装置存在系统误差, 则对三个量的影响是相同的。因此, $L_\lambda(T)$ 、 $L_b(T)$ 、 $L_r(T)$ 三个量是正强相关, 相关

系数 $r(L_\lambda, L_r)$ 、 $r(L_\lambda, L_b)$ 、 $r(L_r, L_b)$ 均为 +1。在本装置规定的测量范围内,在实验室条件下 $u(\epsilon_r)$ 和 $u(\epsilon_b)$ 均取值为 1%, $u(L_\lambda)$ 、 $u(L_b)$ 均取值为 2%,从而计算出合成标准不确定度 $u_c(\epsilon_\lambda) = 5%$ 。包含或置信因子 $k = 2$,扩展不确定度 $U = ku_c(\epsilon_\lambda)$,即材料及涂层光谱发射率扩展不确定度为 10%。

8 测试报告

测试结束后,应编写完整的测试报告。测试报告应包括:

- a) 测试样品名称;
- b) 委托单位;
- c) 承担单位;
- d) 测试时间;
- e) 测试地点;
- f) 测试仪器:包括生产厂家、仪器型号、测量波长范围、光谱分辨率等;
- g) 测试样品参数:包括样品编号、表面光学特性描述、样品尺寸、样品测试温度、样品测试角度;
- h) 测试原理;
- i) 测试方法;
- j) 测试数据不确定度的评定结果。

9 数据文件

9.1 内容

数据文件应包括辅助参数、测量结果和备注说明。

9.2 存储介质

光盘、硬盘或软盘。

9.2 数据格式

测试样品数据用文本格式存储。

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2部分:发射率
GJB 5023.2-2003

*

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 16 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5163号



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