

表征漫射体反射特性的一个重要物理参数 ——双向反射分布函数

黄 润

摘要: 本文着重介绍了双向反射分布函数 $f_b(\theta_i, \varphi_i, \theta_r, \varphi_r)$ 及其在漫射测量中的主要作用, 给出了 $f_b(\theta_i, \varphi_i, \theta_r, \varphi_r)$ 与九种反射比和九种反射比系数之间的关系, 同时介绍了 $f_b(\theta_i, \varphi_i, \theta_r, \varphi_r)$ 的几种测试方法, 有关测试仪器的设计准则以及我所研制和使用这种仪器的简单情况。

前 言

1960年, 美国D. K. Edwards^[1]等人在漫射体反射测量中第一次提出反射分布函数一说。过了5年, F. E. Nicodemus^[2]又用双向反射分布函数(Bidirection reflectance distribution function)来描述漫射体的方向反射特性。由于这一术语及其含义在表征方向特性时更显得恰当、准确和全面, 因而逐渐被世界很多国家承认和采用, 使之成为一个非常重要的物理参数。

我们知道, 对任何一个漫射物体来说, 当入射角和观测角中有一个发生改变时, 其反射亮度都会随之而变化。自然界中, 不发生这种改变的漫反射体是根本不存在的, 而双向反射分布函数正是描述这种反射亮度随角度变化之间关系的。正因为如此, 在很多方面, 测量这一参数, 显得非常重要, 如纺织、喷漆、计量、成像质量以及遥感图像分析判读上等, 比如在计量上, 可以非常准确地实现国际照明协会(CIE)所推荐的规范条件下的物体反射比, 更为重要的是, 只要测出这个参数, 那么, 表征漫射体反射特性方面的其它诸参数, 如九种反射比, 九种反射比系数以及亮度系数等, 都可以通过它的计算而得到。

本文将对双向反射分布函数的定义, 测试方法进行介绍, 并推导出双向反射分布函数与其它诸参数的关系式以及我们所进行的这方面的工作。

(一) 双向反射分布函数(缩写B. R. D. F.)

BRDF是这样定义: 来自样品A上的微面元 dA , 在空间任一方向 (θ_r, φ_r) 上的反射亮度 $dl_r(\theta_r, \varphi_r)$ 与入射到该样品微面元 dA 上的辐照度 $dE_i(\theta_i, \varphi_i)$ 之比值。其符号记为: $f_b(\theta_i, \varphi_i, \theta_r, \varphi_r)$ 。其单位为球面度 $^{-1}(sr^{-1})$ 。其数学表达式为:

$$f_b(\theta_i, \varphi_i, \theta_r, \varphi_r) = dl_r(\theta_r, \varphi_r) / dE_i(\theta_i, \varphi_i) \quad (1)$$

式中, $\theta_i, \varphi_i, \theta_r, \varphi_r$ 分别表示入射方向和反射方向的天顶角和方位角。下标字母 b, i, r 分别表示双向, 入射和反射, 见图1。

如果所测的物理参数是光谱双向反射分布函数, 则 $f_b(\theta_i, \varphi_i, \theta_r, \varphi_r)$ 也是波长 λ 的函数。

考虑到人们所研究的漫射体, 一般都是对称分布的, 即材料表面没有明显的纹理, 这时

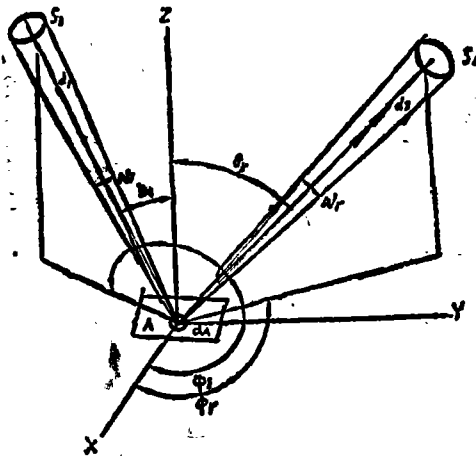


图1 双向反射光路图

一般在分析 $f_s(\theta_i, \varphi_i, \theta_r, \varphi_r)$ 时, 可认为它与 φ 角 (方位角) 是无关的^[3]。亦即可以认为:

$$f_s(\theta_i, \varphi_i, \theta_r, \varphi_r) = f_s(\theta_i, \theta_r) \quad (2)$$

(二) 利用 $f_s(\theta_i, \theta_r)$ 计算九种反射比

反射比被定义为被反射的辐通量或光通量与其入射通量之比。其符号记作 ρ 。根据入射和反射的位置不同, 反射比又划分为九种不同含义的反射比, 它们由入射角是定向、锥角、半球和反射角是定向、锥角、半球这样九种组合状态而定, 这九种反射比是:

(1) 双向反射比 $d\rho(\theta_i, \theta_r)$ —— 定向入射、定向反射。根据反射比定义, 双向反射比

$$d\rho(\theta_i, \theta_r) = d\phi_r(\theta_r) / d\phi_i(\theta_i) \quad (3)$$

$$\text{又 } d\phi_r(\theta_r) = dl_r(\theta_r) dA \cdot d\Omega_r \quad (4)$$

$$d\phi_i(\theta_i) = l_i(\theta_i) dA \cdot d\Omega_i \quad (5)$$

$$\text{其中 } d\Omega_i = d\omega_i \cdot \cos\theta_i = s_1 / d_1^2 \cos\theta_i \quad (6)$$

$$d\Omega_r = d\omega_r \cdot \cos\theta_r = s_2 / d_2^2 \cos\theta_r \quad (7)$$

式中 $\phi_i(\theta_i), \phi_r(\theta_r)$ —— 入射和反射通量,

$l_i(\theta_i), l_r(\theta_r)$ —— 入射和反射亮度,

Ω_i, Ω_r —— 入射和反射投影立体角,

ω_i, ω_r —— 入射和反射立体角,

s_1, s_2 —— 入射光源和接收面面积,

d_1, d_2 —— 样品中心到 s_1, s_2 距离,

将(3)(4)(5)式结合, 则:

$$d\rho(\theta_i, \theta_r) = dl_r(\theta_r) / l_i(\theta_i) d\Omega_i \cdot d\Omega_r \quad (8)$$

因为, 入射到样品 dA 处的照度

$$dE_i(\theta_i) = l_i(\theta_i) d\Omega_i \quad (9)$$

将(9)式代入(8)则有

$$d\rho(\theta_i, \theta_r) = f_s(\theta_i, \theta_r) d\Omega_r \quad (10)$$

由(10)式可知, 双向反射比等于双向反射分布函数乘以该反射方向探测器接收面所相对应的投影立体角 $d\Omega_r$ 。 $d\Omega_r$ 越小, 则方向性越强, 但不会是无限小。因此, 严格来说, 双向反

射比以及后边将要提到的定向接收的情况都是一种近似。由(10)式可知, $f_b(\theta_i, \theta_r)$ 一经测出, 则不同 (θ_i, θ_r) 方向的双向反射比可求。式中的 $d\Omega$ 可以直接求出。当方向一经确定后, 它就是一个常数, 见公式(6)。

(2) 定向——锥反射比 $\rho(\theta_i, \omega_r)$ 一定向入射, 锥角反射。

锥角反射是由锥角内的所有定向反射叠加而成。因而由公式(10)得到:

$$\rho(\theta_i, \omega_r) = \int_{\omega_r} d\rho(\theta_i, \theta_r) = \int_{\omega_r} f_b(\theta_i, \theta_r) \cdot d\Omega, \quad (11)$$

(3) 定向——半球反射比 $\rho(\theta_i, 2\pi)$ 一定向入射, 半球空间反射。

当锥角扩展为半球空间时, 即 $\omega_r = 2\pi$ (sr) 时, 则由公式(11)可得:

$$\rho(\theta_i, 2\pi) = \int_{2\pi} f_b(\theta_i, \theta_r) \cdot d\Omega, \quad (12)$$

(4) 锥角一定向反射比 $d\rho(\omega_i, \theta_r)$ 一锥角入射, 定向反射。

锥角入射是由锥角内定向入射叠加而成。由公式(9)可知, 在锥角入射时, 其被照面 dA 上的照度

$$E_i(\theta_i) = \int_{\omega_i} dE_i(\theta_i) = \int_{\omega_i} I_i(\theta_i) d\Omega, \quad (13)$$

这时的入射通量和反射通量分别为:

$$d\phi_i(\omega_i) = dA \cdot E_i(\theta_i) = dA \cdot \int_{\omega_i} I_i(\theta_i) d\Omega, \quad (14)$$

$$\begin{aligned} d\phi_r(\omega_i, \theta_r) &= I_r(\theta_i, \theta_r) \cdot d\Omega_r \cdot dA \\ &= dA \cdot d\Omega_r \cdot \int_{\omega_i} I_i(\theta_i) d\Omega_i \cdot f_b(\theta_i, \theta_r) \end{aligned} \quad (15)$$

这里 $I_r(\theta_i, \theta_r)$ 是 θ_r 方向上的反射亮度, 并且

$$I_r(\theta_i, \theta_r) = \int_{\omega_i} I_i(\theta_i) d\Omega_i \cdot f_b(\theta_i, \theta_r)$$

结合(14)、(15)两式, 则锥角——定向反射比可求,

$$\begin{aligned} \text{即 } d\rho(\omega_i, \theta_r) &= d\phi_r(\omega_i, \theta_r) / d\phi_i(\omega_i) \\ &= \int_{\omega_i} I_i(\theta_i) d\Omega_i \cdot f_b(\theta_i, \theta_r) dA \cdot d\Omega_r / dA \int_{\omega_i} I_i(\theta_i) \cdot d\Omega_i \\ &= (d\Omega_r / \Omega_i) \cdot \int_{\omega_i} \Omega_i \cdot f_b(\theta_i, \theta_r) \cdot d\Omega_i, \end{aligned} \quad (16)$$

这里 $I_i(\theta_i) \cdot dA$ 均是常数, $\Omega_i = \int_{\omega_i} d\Omega_i$

(5) 双锥反射比 $\rho(\omega_i, \omega_r)$ ——锥角入射, 锥角反射。根据公式(16), 入射和反射立体角均为锥角时,

$$\begin{aligned} \text{则: } \rho(\omega_i, \omega_r) &= \int_{\omega_r} d\rho(\omega_i, \theta_r) \\ &= \int_{\omega_i} \int_{\omega_r} f_b(\theta_i, \theta_r) d\Omega_i \cdot d\Omega_r / \Omega_i, \end{aligned} \quad (17)$$

(6) 锥角——半球反射比 $\rho(\omega_i, 2\pi)$ ——锥角入射, 半球空间反射。根据公式(17), 当反射立体角 $\omega_r = 2\pi$ 球面度时半球空间, 则得:

$$\rho(\omega_i, 2\pi) = \int_{\omega_i} \int_{2\pi} f_b(\theta_i, \theta_r) d\Omega_i \cdot d\Omega_r / \Omega_i, \quad (18)$$

(7) 半球——定向反射比 $\rho(2\pi, \theta_r)$ ——半球空间入射, 定向反射。

$$\begin{aligned} \text{当 } \omega_i = 2\pi \text{ 球面度时, 因 } \Omega_i &= \int_{\omega_i} d\Omega_i = \int_{2\pi} \cos\theta \cdot d\Omega_i \\ &= \int_{\pi/2} \cos\theta \cdot 2\pi \cdot \sin\theta \cdot d\theta \\ &= \pi \text{ (sr)} \end{aligned} \quad (19)$$

所以, 根据公式(16)

$$d\rho(2\pi, \theta_r) = d\Omega_r / \pi \cdot \int_{2\pi} f_b(\theta_i, \theta_r) d\Omega_i, \quad (20)$$

(8) 半球——锥反射比 $\rho(2\pi, \omega_r)$ ——半球入射, 锥角反射, 根据公式(17)和(19), 可得:

$$\rho(2\pi, \omega_r) = 1/\pi \int_{2\pi} \int_{\omega_r} f_b(\theta_i, \theta_r) d\Omega_i \cdot d\Omega_r, \quad (21)$$

(9) 双球反射比 $\rho(2\pi, 2\pi)$ ——半球空间入射, 半球空间反射, 根据公式(20)可得

$$\rho(2\pi, 2\pi) = 1/\pi \int_{2\pi} \int_{2\pi} f_s(\theta_i, \theta_r) d\Omega_i \cdot d\Omega_r \quad (22)$$

由以上可知, 只要实际测得BRDF的 $f_s(\theta_i, \theta_r)$ 之值, 那么, 根据已知的几何常数, 则其它九种反射比均可通过计算而得到。

(三) 利用 $f_s(\theta, \theta)$ 计算九种反射比常数

反射比系数是指在同一辐照情况下, 样品在某一方向上的反射通量与完全理想漫射体在同一方向上的反射辐通量之比, 其符号记作 R 。

这里所说的完全理想漫射体是指半球反射比为1的全反射漫射体。这样的漫射体反射辐亮度以及双向反射分布函数不随入射和反射方向而变, 处处相等。若用 V 代表理想漫射体, 则 $\rho_v(\theta_i, 2\pi) = 1$

又根据公式(12), 对全反射漫射体则有:

$$\rho_v(\theta_i, 2\pi) = \int_{2\pi} f_s^v(\theta_i, \theta_r) \cdot d\Omega_r = 1 \quad (23)$$

而 $f_s^v(\theta_i, \theta_r)$ 又是一个常数, 所以

$$f_s^v(\theta_i, \theta_r) = 1/\int_{2\pi} d\Omega_r = 1/\pi(sr^{-1}) \quad (24)$$

由公式(24)可知, 对全反射漫射体, 其双向反射分布函数是一恒值, 在数值上等于 $1/\pi(sr^{-1})$ 。根据这一关系, 再根据双向反射比系数之定义, 则九种不同类型的双向反射比系数可以分别表示为:

(1) 双向反射比系数

$$\begin{aligned} R(\theta_i, \theta_r) &= f_s(\theta_i, \theta_r) \cdot d\Omega_r / f_s^v(\theta_i, \theta_r) \cdot d\Omega_r \\ &= \pi f_s(\theta_i, \theta_r) \end{aligned} \quad (25)$$

(2) 定向——锥反射比系数

$$\begin{aligned} R(\theta_i, \omega_r) &= \int_{\omega_r} f_s(\theta_i, \theta_r) d\Omega_r / \int_{\omega_r} f_s^v(\theta_i, \theta_r) d\Omega_r \\ &= (\pi/\Omega_r) \int_{\omega_r} f_s(\theta_i, \theta_r) \cdot d\Omega_r \end{aligned} \quad (26)$$

(3) 定向——半球反射比系数

$$\begin{aligned} R(\theta_i, 2\pi) &= \int_{2\pi} f_s(\theta_i, \theta_r) d\Omega_r / \int_{2\pi} f_s^v(\theta_i, \theta_r) d\Omega_r \\ &= \int_{2\pi} f_s(\theta_i, \theta_r) \cdot d\Omega_r \end{aligned} \quad (27)$$

(4) 锥——定向反射比系数

$$\begin{aligned} R(\omega_i, \theta_r) &= \left(\frac{d\Omega_i}{\Omega_i}\right) \cdot \int_{\omega_i} f_s(\theta_i, \theta_r) d\Omega_i / \left(\frac{d\Omega_i}{\Omega_i}\right) \int_{\omega_i} f_s^v(\theta_i, \theta_r) d\Omega_i \\ &= (\pi/\Omega_i) \cdot \int_{\omega_i} f_s(\theta_i, \theta_r) d\Omega_i \end{aligned} \quad (28)$$

(5) 双锥反射比系数

$$\begin{aligned} R(\omega_i, \omega_r) &= \left(\frac{1}{\Omega_i}\right) \int_{\omega_i} \int_{\omega_r} f_s(\theta_i, \theta_r) d\Omega_i \cdot d\Omega_r / \left(\frac{1}{\Omega_i}\right) \int_{\omega_i} \int_{\omega_r} f_s^v(\theta_i, \theta_r) d\Omega_i \cdot d\Omega_r \\ &= \left(\frac{\pi}{\Omega_i \cdot \Omega_r}\right) \int_{\omega_i} \int_{\omega_r} f_s(\theta_i, \theta_r) d\Omega_i \cdot d\Omega_r \end{aligned} \quad (29)$$

(6) 锥——半球反射比系数

$$R(\omega_i, 2\pi) = \left(\frac{1}{\Omega_i}\right) \int_{\omega_i} \int_{2\pi} f_s(\theta_i, \theta_r) d\Omega_r \cdot d\Omega_i \quad (30)$$

(7) 半球——定向反射比系数

$$R(2\pi, \theta_r) = \int_{2\pi} f_s(\theta_i, \theta_r) \cdot d\Omega_i \quad (31)$$

(8) 半球——锥反射比系数

$$R(2\pi, \omega_r) = \left(\frac{1}{\Omega_r}\right) \int_{\Omega_r} \int_{\Omega_r} f_s(\theta_i, \theta_r) d\Omega_i \cdot d\Omega_r \quad (32)$$

(9) 双球反射比系数

$$R(2\pi, 2\pi) = \left(\frac{1}{\pi}\right) \cdot \int_{\Omega_r} \int_{\Omega_r} f_s(\theta_i, \theta_r) \cdot d\Omega_i \cdot d\Omega_r \quad (33)$$

在实际计算时, 所有这些求值计算, 积分均是由求和代替。

(四) 测量 $f_s(\theta_i, \theta_r)$ 的几种方法

$f_s(\theta_i, \theta_r)$ 的测量, 一般分为相对测量和绝对测量两种。在大部分应用中, 特别是在一般实验室中, 多以相对测量为主。这时人们所关心的并不是漫射样品 $f_s(\theta_i, \theta_r)$ 本身的绝对值大小, 所关心的只是 $f_s(\theta_i, \theta_r)$ 的响应值和本身某一特定角度下, 如 $(45^\circ/0^\circ)$ 或 $(0^\circ/45^\circ)$ 时, 其响应值的相比值, 或者是与在同样条件下的工作标准板响应值的相比值, 如利用其比值计算总反射比的方法, 测量九种反射比系数等等, 都是如此。长春光机所研制的室内模拟遥感装置以及小型变角反射率计, 都是采用相对测量原理来获得相对双向反射分布函数或双向反射比系数的, 而绝对测量则要求获得样品 $f_s(\theta_i, \theta_r)$ 的实际大小。这一般有三种方法:

(1) 亮度法; 根据公式 (1) 和 (9), 双向反射分布函数可以表示为下面式子:

$$f_s(\theta_i, \theta_r) = dI_r(\theta_i, \theta_r) / I_i(\theta_i) d\Omega_i \quad (34)$$

从 (34) 式, 不难看出, $f_s(\theta_i, \theta_r)$ 仅是反射亮度和入射亮度在不同角度下的函数。因此, 只要使得测量装置能测出这两个物理参数, 那么, 样品双向反射分布函数 $f_s(\theta_i, \theta_r)$ 就可求出。但一般对漫射来说, $dI_r(\theta_i, \theta_r) / I_i(\theta_i)$ 之间是 $10^{-4} - 10^{-6}$ 关系, 用同一个探测器同时完成动态范围这样宽的两个量级的测量是困难的, 所以, 一般在装置中增加一个辅助光源, 使该光源亮度 $I_m(\theta_i)$ 介于 $dI_r(\theta_i, \theta_r)$ 和 $I_i(\theta_i)$ 之间。即让 $dI_r(\theta_i, \theta_r) / I_m(\theta_i) = I_m(\theta_i) / I_i(\theta_i)$ 介于 $10^{-2} - 10^{-3}$ 。在测量时, 首先将辅助光源移到主光源位置处, 当探测器测得 $dI_r(\theta_i, \theta_r)$ 和 $I_m(\theta_i)$ 之后, 再在探测器前放一个衰减器, 其衰减系数并不一定知道。然后, 再将主光源移到辅助光源处, 再测一次 $I_i(\theta_i)$ 和 $I_m(\theta_i)$ 。这样, $I_m(\theta_i) / I_i(\theta_i)$ 之值就可以得到了。

根据 (34) 式 $f_s(\theta_i, \theta_r) = 1/d\Omega_i \cdot I_r(\theta_i, \theta_r) / I_m(\theta_i) \cdot I_m(\theta_i) / I_i(\theta_i)$

(2) 通量法; 根据公式 (10) 可知, 双向反射分布函数 $f_s(\theta_i, \theta_r)$ 就等于双向反射比除以探测器所对应的投影立体角, 即:

$$f_s(\theta_i, \theta_r) = d\rho(\theta_i, \theta_r) / d\Omega_i$$

这样, 唯一要测的物理量就是 $d\rho(\theta_i, \theta_r)$, 为此, 首先在放样品的位置上, 放上一个已知衰减系数 k 的衰减器, 用它接收全部入射通量 ϕ_i , 经过衰减以后, 若仪表指示值为 $V_i(\theta_i)$, 则有 $V_i(\theta_i) = \phi_i \cdot sr \cdot k$ 。式中, sr 是探测器灵敏度。然后, 移走衰减器, 在同样位置上换上待测样品, 在同样照明条件下, 探测器在不同角度下接收来自样品的反射通量。这时的仪表响应值为 $V_r(\theta_i, \theta_r)$ 。且

$$V_r(\theta_i, \theta_r) = \phi_i \cdot d\rho(\theta_i, \theta_r) \cdot sr$$

结合上式, 则有:

$$d\rho(\theta_i, \theta_r) = V_r(\theta_i, \theta_r) / V_i(\theta_i) \cdot k$$

进而求得 $f_s(\theta_i, \theta_r) = V_r(\theta_i, \theta_r) / V_i(\theta_i) \cdot k \cdot (d\Omega_i)^{-1}$

(3) 模拟法, 就是首先假定一个漫射样品是一个均匀漫射体, 并以它做为模拟标准, 这样一个漫射体其总反射比 $\rho_{\Sigma, s}$ 之值是可以从手册中查到的。根据公式 (23) 可知, 若是全反射漫体, 则 $\rho_{\Sigma, s} = 1$, 而其 $f_s^w(\theta_i, \theta_r) = 1/\pi(sr^{-1})$ 。若作为模拟标准的仅是均匀漫射体而非

全反射, 则其

$$f_b^w(\theta_i, \theta_r) = \rho_{\zeta 2 \pi} / \pi$$

这样, 将待测样品和模拟标准各测一次, 则待测样品

$$f_b^s(\theta_i, \theta_r) = V_s / V_w \cdot f_b^w = V_s / V_w \cdot \rho_{\zeta 2 \pi} / \pi$$

式中 V_s, V_w 分别是探测器分别对准待测样品和模拟标准时的响应值。

但实际上, 这里作为模拟标准的漫射体并不是理想全反射漫射体, 也就是说, 该样品的 $f_b^w(\theta_i, \theta_r)$ 并不是等于 $\rho_{\zeta 2 \pi} / \pi$, 因此要对这个数值进行必要的修正, 使得

$$f_b^w(\theta_i, \theta_r) = \rho_{\zeta 2 \pi} / \pi \cdot k(\theta_i, \theta_r)$$

式中 $k(\theta_i, \theta_r)$ 就是修正系数。将 $k(\theta_i, \theta_r)$ 求出后, 则样品双向反射分布函数

$$f_b^s(\theta_i, \theta_r) = \rho_{\zeta 2 \pi} \cdot V_s / \pi \cdot k(\theta_i, \theta_r) \cdot V_w$$

(五) 测量 $f_b(\theta_i, \theta_r)$ 的装置

为了测量样品相对双向反射分布函数以及绝对双向反射分布函数, 必须依据不同测量方法建立相应的测试装置。但不管是相对测量, 还是绝对测量, 测试装置的建立必须满足以下几个条件:

(1) 入射光源的亮度分布必须均匀。(2) 入射光必须尽量接近平行光。(3) 从待测样品中心处看光源和探测器的立体角, 一般要保持在 $10^{-3} sr$ 以下, 以保证较好的方向性。(4) 入射角和反射角要在几乎整个半球空间连续可变, 光源、样品架和探测器相互可改变的位置不小于 5 个自由度。(5) 测量时间要迅速, 测量环境要稳定, 一般在暗室中进行。(6) 整个测量要由计算机自动进行控制, 数据采集和处理。

根据不同需要, 还可以有其它要求, 但以上几个条件应是不可缺少的。为了测量各种典型地物的双向反射比系数, 1985年长春光机所研制成功了室内模拟遥感装置, 它的光源采用太阳模拟器, 被测物可是岩石, 水体以及正在生长的植物、庄稼。被测面积可达 $1m^2$, 并在极短时间内, 将整个半球空间上千个测点同时测出。同时, 在这个装置中, 因为有一块超大面积氧化镁白板需要进行标定, 为此, 长春光机所又研制了精密的反射率计。它既可以测相对双向反射分布函数, 也可以测绝对双向反射分布函数, 它所提供的工作白板本身的双向反射比系数已用到室内遥感测试中, 它所标定的压制氧化镁白板相对双向反射分布函数以及由此计算的总反射比和英国物理研究所 (NPL) 所测结果吻合。

1986年, 利用室内模拟遥感装置完成了对大豆、小麦整个生长期不同时间的双向反射比系数的测量。上万个数据被采集和存储, 并已经对这些数据进行了综合分析和处理。在我国, 双向反射分布函数的测量研究工作还没有引起人们足够的注意。此文虽然介绍了一些这方面的情况, 但比较简单, 我们相信, 这个重要参数的测量工作以及它在这方面应用将会越来越多的被人们所重视。

参 考 文 献

- [1] D.K.Edwards, J.T.Gier, K.Enelson and R.D.Roddick, J.O.S.A., 1961, 51, p1279.
- [2] Fred.E.Nicodemus, Applied Optics, 1965, 4, p767.
- [3] W.Erb, Applied Optics, 1980, 19, p3789.
- [4] 国际电工辞典, 第45组—照明, 科学出版, 1983, p67.

Bidirection Reflectance Distribution Function
— an Important Physical Parameter for Description of
Reflection Properties of Diffuse Object

Huang Ren

Abstract

In this paper, bidirection reflectance distribution function $f_r(\theta_i, \varphi_i, \theta_r, \varphi_r)$ and its main use in the diffuse measurement are described. We suggest relations between the function $f_r(\theta_i, \varphi_i, \theta_r, \varphi_r)$ and nine reflectance and nine reflectance coefficients. Besides, we also introduce several methods for the measurement of the function, design standards of this instrument, and brief situation that we made and used the instrument in the Institute.