

文章编号: 1007-4619(2000)增-0064-07

利用双通道双温度在室内测量 方向比辐射率

陈良富¹, 庄家礼¹, 徐希孺¹, 柳钦火²

(1. 北京大学 遥感与地理信息系统研究所, 北京 100871; 2. 中国科学院 遥感应用研究所, 北京 100101)

摘 要: 主动法测量比辐射率是通过对方半球反射率的测量而间接获得的, 由于在 2π 空间中测点有限, 且主动光源存在对目标物的加温现象而使测量结果误差较大。被动法测量比辐射率存在两个问题: 一是被测物的温度无法获得; 二是很难从传感器中分离出环境辐射经目标物反射的部分。为避免直接测量目标温度和排除环境辐射的影响而提出过“箱式法”、“双温度法”等比辐射率测量方法, 然而所有这些方法都无法测量比辐射率的方向特性。为了能较精确地量化环境辐射项, 制作了一个直径为 3m 多的球体, 在背景辐射的普适性计算公式基础上, 利用双通道热辐射仪在两个温度下用自动观测装置测量了抛光铝板方向热辐射亮度值, 最后计算得到铝板的方向比辐射率值。

关键词: 比辐射率; 双通道双温度

中图分类号: TP722.5/O4-34 **文献标识码:** A

1 引 言

比辐射率的测量方法有主动法和被动法两种。主动法是从基尔霍夫定律出发, 利用比辐射率与方向半球反射率的关系 $\epsilon_\lambda = 1 - \rho$, 通过测量方向半球反射率间接获得比辐射率^[1]。而方向-半球反射率是对所有双向反射率的半球积分^[2]。所以主动法存在如下问题: (1) 由于一般物体为非朗伯体, 反射辐射在 2π 空间的分布状况很难用有限的测点来逼近, 导致半球反射率 ρ 的测量误差较大, 从而影响比辐射率精度; (2) 传感器测得的辐射亮度值包括目标物的自身热辐射与目标物对外辐射源的反射辐射两部分。为了降低自身热辐射对计算方向-半球反射率所带来的误差, 采用提高外辐射源的强度, 或对外辐射源进行调制, 但由于物体在热红外波段的吸收率很高而使外辐射源对被测物表面加热, 致使反射辐射的信噪比降低而给 BRDF 的测量带来最大可达 30% 的误差^[3]。在实验室条件下, 用基于互易原理的积分球办法比较容易实现 ρ 的近似测量^[4-6]。但由于尺寸的限制, 积分球法只能对小尺

度样品进行测量, 对自然条件下的目标物比辐射率的测量却无能为力。

被动法测量比辐射率是基于比辐射定义 $\epsilon_\lambda = L_\lambda / L_{b\lambda}(T_s)$ 进行的。这里 L_λ 是传感器的测量值, $L_{b\lambda}(T_s)$ 是温度为 T_s 的黑体辐射, ϵ_λ 就是目标物的比辐射。从式中可知, 只要知道物体的物理温度 T_s 便可求出 $L_{b\lambda}(T_s)$, 并最终求得比辐射率值。这一方法需要解决两个问题^[7, 8]: 第 1 个问题是精确地获取目标物的表面温度十分困难。因为决定物体表面热辐射强度的温度是物体表面的皮层温度^[9], 它是物体表面向外通过湍流热交换、水汽热交换 (包括蒸腾与凝结) 及表面与物体内部热传导作用的平衡过程的反映。它导致在物体表层几微米厚度内存在一个温度梯度, 梯度的方向与强度决定于上述 3 种过程之间的平衡状况。如果用传统的接触测温方式去测量表面温度, 则由于测温感应元件接触物体表面而破坏了原表面的热平衡机制, 而失去其测量意义。对水表面而言皮肤效应会带来约 0.5K 的误差, 而对固体表面如土壤表面, 叶子表面则可达几度到十几度之差^[10]。“双通道双温度”方

收稿日期: 1999-11-15; 修订日期: 2000-08-10

基金项目: 国家“九五”攀登预选项目 (95-预-38)。

作者简介: 陈良富 (1965—), 男, 1999 年毕业于北京大学遥感与地理信息系统研究所, 获博士学位。现从事遥感基础理论教学与研究工

法可以避免接触测量目标物的温度^[11]；“辐射箱”法自提出后广泛得到应用^[12-14]，但这一方法在野外测量很不方便。为此，有人在原环境辐射背景上叠加一个辐射源，用改变环境辐射照度法来消除环境辐射项^[15]。这一方法是建立在环境辐射照度变化的短时间内被测物的皮肤温度不发生变化这一假设的基础上，而实际上皮肤温度很容易受叠加辐射源的影响而引起表面增温。第2个问题是目标物与周围环境处在相近的温度条件下，周围环境物体辐射有一部分被目标物反射后而与目标物的自身辐射一起进入传感器^[16-18]，因此必须从传感器测得的辐射亮度值中减去对环境辐射的反射部分。尽管热红外比辐射率常大于0.9，但仍不能忽略环境辐射的反射辐射项。如大气下行辐射的反射部分已经成为野外测量比辐射率和温度反演过程中必须要加以纠正的内容，这项辐射很难估算^[19]，要分离这两部分能量需要一些技巧。目前有如下一些处理方法：

(1) 当目标物是矿物质或干燥裸露土地，在实验室消除环境反射辐射项影响的最简单办法是把样品的表面温度提高到比室温高得多的地步，使反射辐射项变得很小而被忽略^[13]；(2) 假设环境辐射为各向同性^[16]，在环境温度比较稳定的实验室内，认为环境辐射项可以很好的用环境温度的普朗克函数来近似求得^[13]；或用低发射率的黄金或铝的粗糙板来测量环境辐射项^[20]，在垂直方向上，黄金的比辐射率小于0.01，纯铝的比辐射率约为0.04左右；

(3) 对于星载传感器，大气下行辐射的反射项也常被忽略^[21]，或假设大气下行辐射为朗伯辐射，且用天顶角为0°时的辐射值代替，从而使问题简化^[22, 23]；(4) 也有学者在野外把下行辐射项考虑为非各向同性的，认为天空下行辐射项对目标物有角度效应，并可以用相同入射角的天空辐射的镜面反射项来近似。Salisbury在测总下行辐射时，利用反射率很高的镀金板来测大气下行辐射效应^[24]。

上述所说的比辐射率都是目标物表面垂直方向的值^[25]，到目前为止只有少数实验对比辐射率的角度变化进行了测量。Barton等人在测量沙子表面的比辐射率时考虑了角度变化效应，结果表明随着视角增加比辐射率变小^[10]。Labad等人在实验室对几种裸露土壤比辐射率的实验测量表明，这种角度效应确实存在，对砂子和粘土，视角在60°之内，比辐射率变化不超过1.5%，而对土壤，变化则可达5%^[21]。笔者在分析了比辐射率测量问题的基础上，

提出了一个在室内被动测量比辐射率方向性的普适性公式，基于这一原理我们在室内组装了测量装置，并进行了方向比辐射率的实际测量。

2 测量原理与方法

假设半径为 r 的目标物置于一圆球球心，圆球半径为 R ，传感器置于自动观测架上观测目标物(图1)。这样传感器测到的辐射亮度值可以表达为：

$$L_i(\theta) = \varepsilon_i(\theta)L_{bi}(T_i) + \int_{2\pi} f_i(\theta' \rightarrow \theta)L_i^\downarrow(\theta') \cos\theta' d\Omega' \quad (1)$$

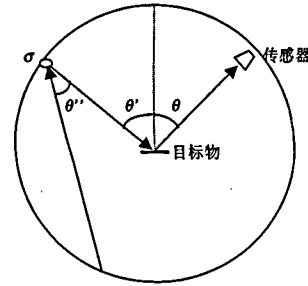


图1 圆球体测量方向比辐射率的结构示意图

Fig. 1 Sketch of directional emissivity measurement in sphere

公式(1)中： $L_i(\theta)$ 是传感器接收到的辐射亮度值， $\varepsilon_i(\theta)$ 是目标物的方向比辐射率， $L_{bi}(T_i)$ 是第*i*波段的黑体辐射值， T_i 是目标的温度， $f_i(\theta' \rightarrow \theta)$ 是目标物的BRDF，假设目标物在方位角上是各向同性的， $L_i^\downarrow(\theta')$ 是背景下行辐射值， $d\Omega'$ 为立体角。在非黑体背景条件下，背景的下行辐射可以表达为如下普适性公式¹⁾：

$$L_i^\downarrow(\theta') = L_{bi}(T_b) + [L_{bi}(T_i) - L_{bi}(T_b)] \cdot [1 - \varepsilon_b] \cdot \varepsilon_{ie,a}(\theta) \quad (2)$$

其中 ε_b 为球体背景的比辐射率， T_b 是背景温度， $\varepsilon_{ie,a}(\theta)$ 可表达为：

$$\varepsilon_{ie,a}(\theta) = \varepsilon_i(\theta)M(\theta, \varepsilon_b) \quad (3)$$

其中： $M(\theta, \varepsilon_b) = \frac{w(\theta)}{\varepsilon_b \pi} - \frac{w^2(\theta)}{\varepsilon_b^2 \pi^2} + \frac{w^3(\theta)}{\varepsilon_b^3 \pi^3} - \dots$,

$$w(\theta) \equiv \pi \left(\frac{r}{R} \right)^2 \cos\theta$$

将(3)式和(2)式代入(1)式，可得：

$$L_i(\theta) = \varepsilon_i(\theta)L_{bi}(T_i) + L_{bi}(T_b)[1 - \varepsilon_i(\theta)] + [L_{bi}(T_i) - L_{bi}(T_b)](1 - \varepsilon_b) \cdot M(\theta, \varepsilon_b)\varepsilon_i(\theta)[1 - \varepsilon_i(\theta)] \quad (4)$$

1) 徐希儒等。室内目标物方向发射率的被动测量方法。中国科学待发表。

令: $A(\theta) = [L_{bi}(T_i) - L_{bi}(T_b)](1 - \varepsilon_b)M(\theta, \varepsilon_b)$

$$B(\theta) = [L_{bi}(T_i) - L_{bi}(T_b)] \cdot [(1 - \varepsilon_b)M(\theta, \varepsilon_b) + 1]$$

$$C(\theta) = L_i(\theta) - L_{bi}(T_i)$$

则 $A(\theta)\varepsilon_i^2(\theta) - B(\theta)\varepsilon_i(\theta) + C(\theta) = 0$, 通过解此方程可以得到第 i 波段的 $\varepsilon_{ii}(\theta)$ 的表达式:

$$\varepsilon_{ii}(\theta) = \frac{B_i(\theta) + [B_i^2(\theta) - 4A_i(\theta)C_i(\theta)]^{\frac{1}{2}}}{2A_i(\theta)} \quad (5)$$

由于比辐射率不随温度发生变化, 对于同一通道在不同温度下得到的目标物的比辐射率是相同的, 用 A_{ij} , B_{ij} 和 C_{ij} 代替系数 A, B, C, 这里脚标 i, j 分别代表不同的波段和温度。故此可以利用“双通道双温度”方法来建立双温度 T_1 和 T_2 的两个方程式:

$$\frac{B_{i1}(\theta) + [B_{i1}^2(\theta) - 4A_{i1}(\theta)C_{i1}(\theta)]^{\frac{1}{2}}}{2A_{i1}(\theta)} = \frac{B_{i2}(\theta) + [B_{i2}^2(\theta) - 4A_{i2}(\theta)C_{i2}(\theta)]^{\frac{1}{2}}}{2A_{i2}(\theta)} \quad (6)$$

由于球体背景的比辐射率值可以测量, 背景的温度在目标物放入球体内部进行实验之前用热辐射仪直接测量球体内部的辐射亮度值计算得到, 因为球体内部是一个典型的假黑体。根据双通道热辐射仪在两个温度下所观测的某个视角天顶角下的辐射亮度值 $L_i(\theta)$, 就可以根据等式 (6) 所建立的方程组用迭代求解的办法解得 T_i 值^[15]。得到真实的目标温度 T_i 后, 根据等式 (5) 就可以得到目标物的方向比辐射率值。

3 测量仪器与装置

3.1 球体测量装置

球体内壁特性

一个直径为 3.2m 的球体, 内表面贴以绒面纸并涂以太阳光涂料, 尽可能使圆球体的内壁热辐射特性均匀, 且近似为各向同性的朗伯体。经中科院地理科学与资源研究所张仁华研究员的主动激光测量表明, 绒面纸的发射具有各向同性。经中国科学院上海技术物理研究所研究员张才根用 IR-1 比辐射率测量仪对绒纸的发射率的测量, 测得比辐射率经 20 次平均得到的结果为 0.91。

数字温度巡检测控仪

为了监视球体内壁温度的一致性, 我们制作了数字温度巡检测控仪。即在球体的内壁均匀地布置了 20 个点的 Pt100 型温度传感器, 其准确度为 0.5%, 测量范围为 $-100^\circ\text{C} \sim +200^\circ\text{C}$ 。20 个点的输入信号经电子模拟开关转换成同一路信号, 再经滤波、放大器转换成一定伏值的电压信号, 并经电压频率转换器变为频率信号, 频率信号用数码管分路显示, 或通过 RS232 串联讯口输入计算机, 进行自动记录, 采样时间为 0.2s。V/F 转换器具有良好的稳定性和线性关系, 仪表精度较高。在本室内实验中, 球体内壁的巡检温度只作为监视球体的温度状况, 以确保在具体实验时球体内壁的温度一致或非常接近。此温度只作参考温度用, 不参与数据计算。

3.2 实验测量仪器

双通道热辐射仪

双通道热辐射仪由两台单通道辐射仪组合而成的。探测器为胆酸铝 (LiTaO_3), 通道的响应波段分别为: $8\text{--}11\mu\text{m}$ 和 $10.4\text{--}14\mu\text{m}$, 采用两个滤光片组合而成; 视场角为 4.7° , 灵敏度 (NETD) 0.04°C ; 温度测量范围: $-20^\circ\text{C}\text{--}150^\circ\text{C}$; 等效噪声温度 $<0.01^\circ\text{C}$; 调制片为电子振荡, 传感器响应时间 $t < 0.5\text{s}$; 对于 1.5m 的观测杆, 在垂直角度观测时视场范围为直径约 13cm 的一个圆。由于热红外波段的视场位置无法看到, 故在探测器上部装设了激光指示器, 激光指示器的光轴与探测器的光轴平行, 距离为 2.5cm。下面是这两个通道宽通道黑体辐射拟合公式和波长响应函数图 (图 2):

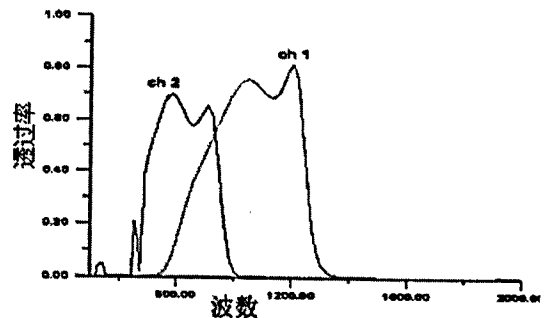


图 2 双通道热红外辐射仪响应函数

Fig. 2 The two channels respond functions of infrared spectroradiometer

第 1 通道的黑体辐射公式:

$$L(T) = 25.466 + 0.2866(T - 240) + 0.0018(T - 240)^2$$

第 2 通道的黑体辐射公式:

$$L(T) = 47.687 + 0.4926(T - 240) + 0.0015(T - 240)^2$$

数据采集系统

双通道热辐射仪的数据采集器与探测系统分置，其间采用 6 芯电缆线连接。采集器每 2s 采集 7 次数据，两个通道轮流采集，采集器把探测器的模拟信号转换为数字信号后，由液晶 LCD 显示和 RS—232 串口输出。串口输出采用两个通道相间，以文本方式连续输出，输出格式为“@xxxxA@xxxxB”，其中@为输出标示符，A 为第一通道标示符，B 为第二通道标示符，xxxx 为输出温度数据，输出值保留点后一位小数，小数点省略不输出。计算机在接到采集器输送的字符串后，根据字符串中的识别符，分离出两个通道的亮度温度值，并分别对连续的两个温度值进行平均，同时读取计算机的系统时钟，一起存盘保留。

3.3 多角度自动观测架

为了得到精确热红外辐射的方向性观测值，我们制作了自动观测架。自动观测架主要由观测架和控制器两部分组成。观测架采用感应式 SMC-201 型步进电机作为动力装置，其采用高技术的谐波传动原理，实现大减速比的传动，出力大、无低频共振以及具有自锁定位力矩，配合谐波传动后，能提供足够定位力矩，遇到特殊情况，能保护设备，不会失控。观测架的主要性能指标：输出力矩：大于 150NM，最高运行频率为 10000Hz，最大加速度——突跳频率为 100 Hz，最大步长为 1,000,000 步（200 步运行 0.9°），精度在 10 分以内，定位力矩为大于 32NM，零点可选（坐标系可选），并具有限位功能。控制器有自动执行方式、联机通信方式和手动操作方式。自动执行方式，智能控制器能够提供多于 20 条命令，如匀速定步长运动，匀速定时运动，加速定时步长运动，循环运动等命令，可根据这些命令在微机上编制成执行文件，通过 RS-232 接口，传送到智能控制器来执行。对于手动操作方式，可以通过操作面板设置各种参数并进行各种运动的操作。如单步运动、点动、匀速运动和加减速运动等。

3.4 目标物温度控制设备

目标物的温度控制部分采用了温度传感器，通过人为设置温度参数后，打开温度控制电源，在设置温度高于室温时，控制器自动启动加温装置对目标进行加温，待感应目标物的传感器的温度达到所设置的温度时，温度控制器自动切断加温装置。由于加温和温度传递存在一定的惯性，所以要在温度

控制器稳定后方可进入室内正式测量工作状态。温度控制器也只是起到稳定目标物的温度作用，而目标物具体的温度正是本室内实验所要解决的问题。

4 室内实验步骤

室内实验严格按以下 6 个步骤进行：

(1) 对双通道热辐射仪进行标定，然后将传感器固定在自动观测架上，并在球体内架设好。由于自动观测架要求传感器探头至目标物的距离保持在 1.5m，且观测架的转动杆为倒“L”型，在保证目标物处在球体中心时，无法使转动杆正常运行。所以本室内实验将架设自动观测架的工作平台调低一定尺度，确保自动观测在一定天顶角内自由的转动。本次实验的最大观测角度为 $\pm 72^\circ$ ，步进电机匀速时速度为 600 步，走完整个过程需耗时 50s 左右。

(2) 将传感器的信号线与采集器连接好，与自动记录数据的计算机通讯口连接。关闭球体开口，打开球体的温度巡检仪监视球体内壁的温度状况。同时在设置好目标物的温度限定值后，将目标物置于加热台上，打开温度控制电源使加热台加热目标物，等待 20 分钟确保温度控制趋于稳定。

(3) 先对球体的内壁进行热辐射的测量。由于球体处于封闭状态，在经过前两个步骤使球体内壁基本处于热平衡状态时，启动自动观测架和双通道传感器，测量得到一组不同角度的球体内壁热辐射数据。然后设置好观测架自动转动的参数值，并调整好观测架，作好对目标物进行观测准备。

(4) 打开球体开口，将加热台平稳迅速地移至球体内并在观测平台上放置好后，关闭球体的开口。然后同时启动自动观测架和计算机自动记录指令，并注视观测架控制器的步进电机转动的角度步长，待该步长达到所设置的观测要求步长值后（此时自动观测架停止运行），立即切断计算机自动记录指令，以确保观测数据的可靠性。

(5) 打开球体开口，将加热台移出球体后立即封闭好球体开口，对球体内壁进行一次热辐射测量。这组数据同前一组背景数据平均后将作为背景辐射值。

(6) 重复步骤（3）—（5），测量另一温度情况下铝板的方向辐射温度。

5 实验测量结果

在进行铝板热辐射方向性观测前，用双通道测

量得到了球体内壁的平均亮度温度分别为 23.4℃、23.5℃。做完铝板观测后测得的球体内壁平均亮度温度分别为 23.8℃和 24.0℃。第 2 次观测时得到的两组球体内壁平均亮度温度数据分别为 23.6℃、23.7℃和 24.5℃、24.8℃。两次观测的铝板热辐射值见图 3，双通道传感器的标定状况见图 4。

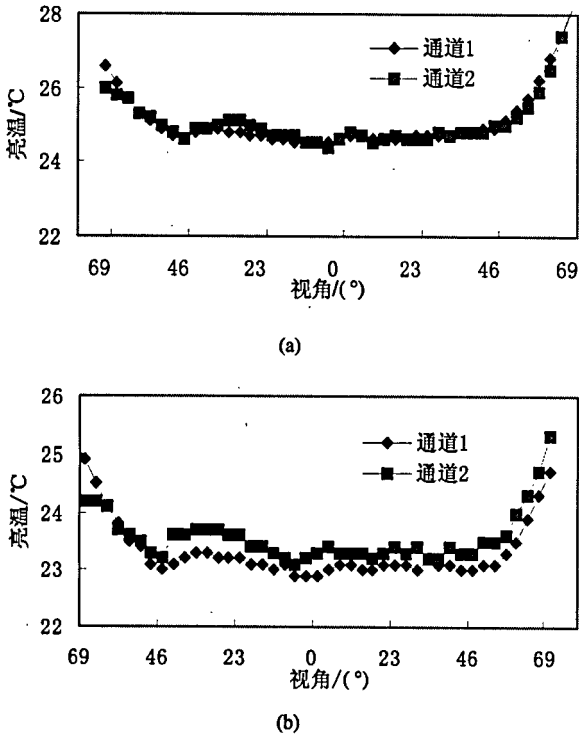


图 3 不同温度时铝板热辐射亮度值随视角变化
注：(a) 温度高；(b) 温度低

Fig. 3 The measured radiance of aluminium plate varies with different view angle

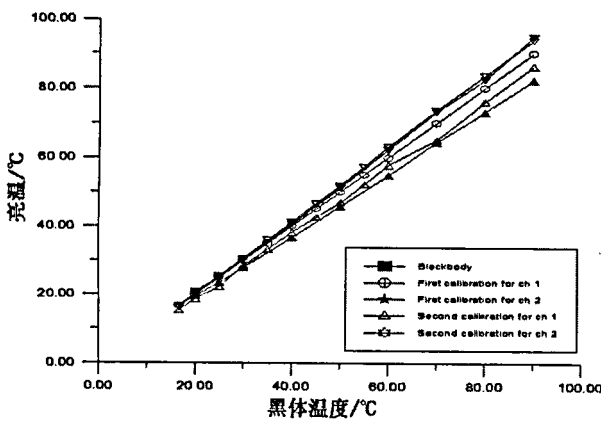


图 4 双通道热红外外辐射仪实验前后的标定结果

Fig. 4 The calibration results of two-channel infrared spectroradiometer

在观测时虽然使用了自动观测架，但完成一组测量仍需 50s 左右的时间。在这一过程当中，即使有温控设施，但因目标物在加温后温度较高，其与

环境的热交换强，会导致辐射测量中的目标温度漂移。所以在处理数据时，选择传感器位于垂直角度的辐射值所对应的目标温度来代表目标的真实温度。具体做法将在两个温度状态下测量的垂直角度的辐射值和球体背景辐射值代入公式 (6)，用迭代方式求解。具体求解过程：即①先根据 (6) 式中通道 1 方程，给定一个温度 T_1 值得到一个 T_2 值；②将此 T_2 值代入 (6) 式中通道 2 方程来求取其所对应的 T_1' ；③比较 T_1' 和 T_1 ，若两值相差较大，就将 T_1' 替换原来的 T_1 值后重复过程①—②，直至两者的差值小于一个给定的阈值。迭代结果表明：在目标物的两个温度值分别为 339.96K 和 324.81K 时差值最小。将所得的温度和两组铝板方向辐射观测值代入公式 (5)，便得到了铝板的各个观测角度的比辐射率值 (图 5)。这一结果和《热辐射性质及其测量》一书中专引的刨光铝板的比辐射率测量值随角度变化趋势相同^[26]，只是在垂直方向上我们所测量的值要偏大一些。

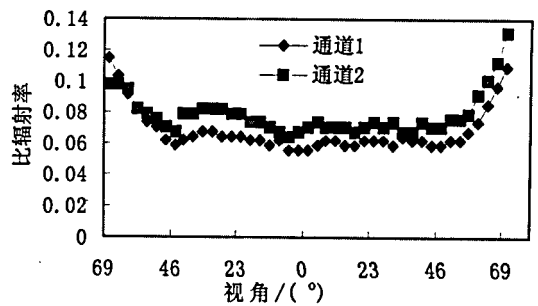


图 5 铝板比辐射率方向变化结果

Fig. 5 The directional emissivity of aluminium plate

6 结 论

在球体装置内可以用双通道热辐射仪在双温度下测量目标物的方向比辐射率，但要保证测量精度，必须确保球体内壁光学特性和温度的均一，且对目标物的温度控制要尽量保持稳定。

参 考 文 献 (References)

- [1] Nicodemus F. E. Directional reflectance and emissivity of an opaque surface[J]. *Appl. Opt.*, 1965, (4):767—773.
- [2] Thomson J. L., Salisbury J. W. The Mid-infrared reflectance of mineral mixtures(7-14um) [J]. *Remote Sens. Environ.*, 1993, 45:1—13;
- [3] Zhang Y., Zhang C., Klemas V. Quantitative measurements of ambient radiation emissivity and truth temperature of a greybody: methods and experimental results[J]. *Applied Optics*, 1986,

- 25(20):3683—3688.
- [4] Sutherland R.A. Broadband and spectral emissivities (2—18 μm) of some natural soils and vegetation[J]. *American Meteorological Society*, 1986, 199—203.
- [5] Salisbury J.W., D'Aria D.M. Infrared (8-14 μm) remote sensing of soil particle size[J]. *Remote Sens. Environ.*, 1992, 42:157—165.
- [6] Salisbury J.W., Wald A., D'Aria D.M. Thermal-infrared remote sensing and Kirchhoff's law 1. Laboratory measurements[J]. *J. Geophys. Res.*, 1994, 99(B6): 11,897—11,911.
- [7] Griggs M. Emissivities of natural surfaces in the 8- to 14- μm spectral region[J]. *J. Geophys. Res.*, 1968, 73: 7545—7551.
- [8] Nerry F., Labed J., Stoll M.P. Emissivity signatures in the thermal infrared band for remote sensing: calibration procedure and method of measurement[J]. *Appl. Optics*, 1988, 27:758—764.
- [9] Hepplewhite C.L. Remote observation of the sea surface and atmosphere: the oceanic skin effect[J]. *Int. J. Remote Sensing*, 1989, 10:801—810.
- [10] Barton I.J., Talashima T. An AVHRR investigation of surface emissivity near lake Eyre Australia[J]. *Remote Sens. Environ.*, 1986, 20:153—163.
- [11] Watson K. Two-temperature method for measuring emissivity[J]. *Remote Sens. Environ.*, 1992, 42:117—122.
- [12] McClain E.P., Pichel, W.G., Walton C.C. Comparative performance of AVHRR-Based multi-channel sea surface temperatures[J]. *J. Geophys. Res.*, 1985, 20:11587—11601.
- [13] Zhang Renhua, Tian Guoliang. The measurement of emissivity at normal temperature[J]. *Chinese Science Bulletin*, 1981, 26(5):297-300. (In Chinese) [张仁华, 田国良. 常温比辐射率测量[J]. 科学通报, 1981, 26(5): 297—300.]
- [14] Buettner K.J.K., Kern C.D. The determination of infrared emissivity of terrestrial surfaces[J]. *J. Geophys. Res.*, 1965, 70:1329—1337.
- [15] Zhang Renhua. Discussion on unclosed measurement of emissivity[J]. *Chinese Science Bulletin*, 1981, 26(23): 1444—1447. (In Chinese)[张仁华. 比辐射率的非封闭测定法初步探讨[J]. 科学通报, 1981, 26(23): 1444—1447.]
- [16] Labed J., Stoll M.P. Spatial variability of land surface emissivity in the thermal infrared band: Spectral signature and effective surface temperature[J]. *Remote Sens. Environ.*, 1991, 38:1—17.
- [17] Becker F., Li Z. Towards a local split-window method over land surfaces[J]. *Int. J. Remote Sens.*, 1990, 11(3): 369—393;
- [18] Becker F., Li Z. Temperature-independent spectral indices in thermal infrared bands[J]. *Remote Sens. Environ.*, 1990, 32:17—33.
- [19] Rivard B., Thomas P.J., Giroux J. Precise emissivity of rock samples[J]. *Remote Sens. Environ.*, 1995, 54:152—160.
- [20] Nerry F, Labed J, Stoll M.P. Spectral properties of land surfaces in the thermal infrared. Part 1: Laboratory measurements of absolute spectral emissivity signature[J]. *J. Geophys. Res.*, 1990, 95(B5): 7027—7044.
- [21] Francois C., Otle C. Estimation of the angular variation of the sea surface emissivity with the ATSR/ERS-1 data[J]. *Remote Sens. Environ.*, 1994, 48:302—308.
- [22] Schmugge, T.J., Becker F., Li Z. Spectral emissivity variations observed in airborne surface temperature measurements[J]. *Remote Sens. Environ.*, 1991, 35:95—104.
- [23] Coll C., Caselles V., Schmugge T.J. Estimation of land surface emissivity differences in the split-window channels of AVHRR[J]. *Remote Sens. Environ.*, 1993, 48: 127—134.
- [24] Salisbury J.W. Emissivity of terrestrial materials in the 3—5 μm atmosphere window[J]. *Remote Sens. Environ.*, 1994, 47:345—361.
- [25] Siegel R., Howell J.R. Thermal radiation heat transfer[M]. Second Edition, McGraw-Hill: New York, 1981, 48.
- [26] Ge Shaoyan, Na Hongyue. Property of thermal radiance and its measurement[M]. Beijing: Science in China Press, 1989. [葛绍岩, 那鸿悦编著. 热辐射性质及其测量[M]. 北京: 科学出版社, 1989.]

Measurement of Directional Emissivity in Lab Using Two-channel and Two-temperature Method

CHEN Liang-fu¹, ZHUANG Ji-li¹, XU Xi-ru¹, LIU Qin-huo²

(1. Institute of Remote Sensing & GIS, Peking University, Beijing 100871;

2. Institute of Remote Sensing Applications, CAS, Beijing 100101)

Abstract: The active measurement method of emissivity is done by measuring the directional half-sphere reflectance, and it has big errors because of the limited measured points in 2π space and the object heated by the radiative resource. The passive measurement method of emissivity has two problems: it is hard to directly get the temperature of object and difficult to separate the radiance of environment reflected by object from the sensor. In order to avoid measuring the temperature of object and eliminate the radiance of environment, the "box" and "two-temperature" methods have been put forward, but it is impossible to measure directional emissivity. For calculating the radiance of background, we built a boll with more than 3 meter diameter, and in the boll we measured the radiance of aluminum slab in different view angle under two different temperatures using the two-channel sensor attached on automatic frame, then we got directional emissivities of aluminum slab based on the common equation about radiance of background.

Key words: emissivity; two-channel and two-temperature