

引用格式: Xu Jing, Wang Xinsheng, Gao Shoujie, *et al.* Analysis of Surface Features Emissivity Data[J]. Remote Sensing Technology and Application, 2013, 28(5): 815-823. [徐静, 王新生, 高守杰, 等. 地物比辐射率数据分析[J]. 遥感技术与应用, 2013, 28(5): 815-823.]

地物比辐射率数据分析

徐 静¹, 王新生^{1,2}, 高守杰¹, 魏新彩¹, 谢 凯¹

(1. 湖北大学资源环境学院, 湖北 武汉 430062;

2. 农业部遥感应用中心武汉分中心, 湖北 武汉 430062)

摘要: 地表比辐射率是遥感反演地表真实温度研究中不可缺少的参数, 也是最重要的参数之一。比辐射率是一个与多环境要素相关的变量, 其测定和遥感反演都具有一定的难度。收集不同文献中不同地物或地类的比辐射率, 分析地物或地类比辐射率数据来源, 以基于 IGBP、USGS 土地覆盖分类系统比辐射率数据集为重点进行分析, 得出以下结论: ①比辐射率光谱数据库中关于环境要素和被测地物自身状况记录存在不足; ②地物比辐射率与各要素间的定量关系有待深入研究; ③不同地物或地类比辐射率需要界定; ④缺乏在我国区域内对遥感反演比辐射率数据进行地面验证的工作。

关 键 词: 比辐射率; 变量; 数据来源; 土地覆盖分类系统

中图分类号: TP 79 **文献标志码:** A **文章编号:** 1004-0323(2013)05-0815-09

1 引 言

地表比辐射率是遥感反演地表真实温度研究中必不可少的参数, 也是最重要的参数之一。研究表明, 在 8~12 μm 波段, 比辐射率(ϵ)每变化 0.01, 遥感反演的地表温度(T)的差别可达 0.5 K^[1], 因此, 大面积精确获取地表比辐射率一直是研究的焦点。

国内外许多学者开展了比辐射率测量研究, Nerry 等^[2-6] 为了不同的应用目的, 开展了土壤热红外比辐射率光谱的野外测量试验并研究了不同参数对比辐射率的影响。张仁华和田国良^[7] 提出黑体筒法来测量土壤的比辐射率; 王先兵等^[8] 利用傅立叶变换红外光谱仪 (FTIR) 进行了地物目标比辐射率光谱的野外测量方法研究。

比辐射率遥感反演方面也取得丰硕的成果。目前, 遥感反演方法主要有两种, 查表法和 TES 算法, 查表法有 Snyder 等^[9] 的基于陆地表面覆盖模型、Sobrino 等^[10] 的 NDVI 阈值法、覃志豪等^[11] 的 NDVI 阈值改进算法等; TES 算法包括 Kahle 等^[12] 的

参考通道法、Watson^[13] 的双温法、Becker 和 Li^[14] 的温度独立光谱指数算法、Wan 等^[15] 的 MODIS 昼/夜算法等。

大量的测量和遥感反演研究产生了丰富的地物比辐射率数据, 如比辐射率光谱数据库、土地覆盖分类系统比辐射率数据集和比辐射率遥感产品等。本文收集不同文献中不同地物或地类的比辐射率, 分析地物或地类比辐射率数据来源, 以基于 IGBP、USGS 土地覆盖分类系统比辐射率数据集为重点进行探讨, 分析现有公开比辐射率数据存在的不足, 为使用者提供参考。

2 和地物比辐射率相关的因素

物体的比辐射率 (又称为发射率、黑度系数) 定义为物体的辐射出射度与相同温度相同波长下绝对黑体的辐射出射度的比值, 表征了实际物体的热辐射与黑体热辐射的接近程度, 其值介于 0~1 之间。地物比辐射率不仅依赖于地物的组成成分, 而且与地物的表面状态 (表面粗糙度等) 及物理性质 (介电

收稿日期: 2012-08-04; 修订日期: 2013-03-27

基金项目: 全球变化研究国家重大科学研究计划 (2010CB950902), 国家自然科学基金项目 (41071240)。

作者简介: 徐 静 (1988—), 女, 湖北随州人, 硕士研究生, 主要从事比辐射率遥感反演方面的研究。E-mail: xujingshzh@163.com。

通讯作者: 王新生 (1965—), 男, 安徽太湖人, 博士, 教授, 主要从事地理信息系统、农业遥感和 LUCC 研究。E-mail: wxs818@hubu.edu.cn。

常数、含水量、温度等)有关,并随着所测定辐射能的波长(λ)、观测角度(θ)等条件的变化而变化。也就是说,比辐射率(ϵ)是一个与多因素相关的函数。

$$\epsilon = f(\lambda, T, w, \alpha, \theta, \dots) \tag{1}$$

地物比辐射率是一个与多要素相关的变量,影响机制复杂,下面主要探讨对比辐射率影响较大的5个要素,波长(λ)、温度(T)、含水量(w)、表面状态(α)和观测角度(θ)。

比辐射率与波长(λ)有关,从 UCSB 比辐射率光谱数据库中挑选植物叶子样本,通过样本比辐射率光谱曲线(图 1)可以看出,常春藤叶子的比辐射率随波长的不同而不同。

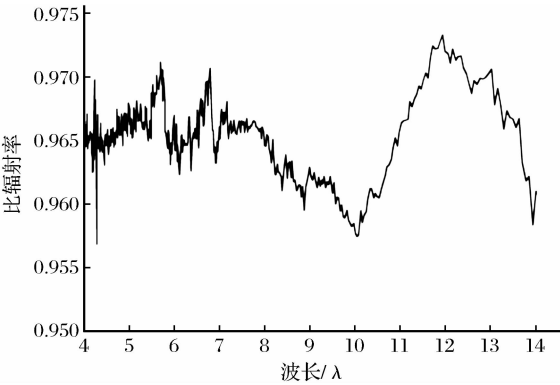


图 1 常春藤叶子比辐射率光谱

Fig. 1 The emissivity spectrum of ivy leaves

比辐射率与温度(T)有关,在常温状态下,地物自身性质比较稳定,但随着温度增加,地物自身性质会发生改变,从而引起比辐射率的变化。如植被在温度高的环境下,蒸腾作用加剧,叶片气孔增大,原有形态发生改变,比辐射率随之发生改变。

比辐射率与含水量(w)有关,如在 20℃时,土壤的比辐射率随土壤水分含量而变化,干土比辐射率是 0.92,湿土比辐射率可达 0.95~0.98^[16];肖青等^[17]利用 BOMEN 傅立叶变换红外光谱仪测量得到了土壤的比辐射率光谱,分析不同含水量土壤的热红外比辐射率变化规律结果表明,在 8~14 μm 波长范围内土壤的比辐射率随含水量的增加而增大,在 11~13 μm 波长范围内土壤的比辐射率基本保持不变。

比辐射率与地物表面状态(α)有关,例如常温下,白云石比辐射率随表面状态而变化,磨光面是 0.929,粗糙面是 0.958;落叶树的比辐射率随状态而变化,单叶是 0.96,整个树冠是 0.98^[16]。

比辐射率与观测角度(θ)有关,因自然界的物体是非朗伯体,其比辐射率具有方向性,随观测角

度变化而变化,Dozier 等^[18]指出不同方向雪面亮温由于雪面比辐射率的方向性差异而产生 3℃的误差。

3 公开发表的比辐射率数据分析

本文收集了相关研究资料,整理得到不同波长范围、不同地物覆盖类型比辐射率(表 1),包括植被类(针叶林、阔叶林、混交林、灌木丛、热带草原、苔原、草地和稀疏植被等),土壤类(黑沃土、棕泥土、棕壤沙土、粘土质、沙土质、砂壤土和沙地等),农田耕地,建筑材料类(混凝土、石子路、砂石板和砖瓦等),水/冰/雪等类型的比辐射率数据。

目前,地物比辐射率数据主要来自两个方面:①自己遥感反演结果,或者引自他人遥感反演成果。例如,覃志豪等^[11]得出了 Landsat TM6 波段范围内地表比辐射率的估计,据不完全统计,引用这篇论文地表比辐射率数据的文献有 11 篇之多^[19-29]。文献[31-34]引用了 Sobrino 等^[30]采用 Landsat TM5 在反演地表温度中得到的地表比辐射率数据。文献[35-40]地表比辐射率数据则是来自比辐射率遥感产品 MODIS LSE 和 ASTER LSE;②直接来自实验室或者野外测量。实验室测量的方法为对研究区域进行样品采样,采用 Nicolet 520FT-IR 等仪器,测量得到样品热红外波段范围的反射率值,再通过 Kirchhoff's law 得到样品比辐射率值。比辐射率野外测量大多都是针对平坦、均匀、同质的小面积地表,采用红外光谱辐射仪(CIMEL CE 312-1、CIMEL CE 312-2、EVEREST3000、RAYTEK ST8、RAYTEK MID 和 D&P Model-102 FTIR 等)测量地物辐射量,利用黑体筒法或 TES 法(参考通道法、归一化比辐射率法、MMD 法和 ISSTES 法等)获得不同波段比辐射率。

不同文献中,同种地物或地类的比辐射率差异较大,可能原因有:①地物类型的定义不同。例如植被类型中,植被覆盖度、高度、季相特征等定义不同;②比辐射率获取方法不同。地物比辐射率的测定分为野外或室内两种,测定采用的仪器不同也会带来不同程度的误差,而遥感反演得到的比辐射率为混合像元比辐射率,获取的同类地物或地类比辐射率有所不同;③测量环境不同。地物比辐射率随着周围环境条件和自身性质的变化而变化,不同环境下测量得到的比辐射率不同。

虽然同种地物或地类的比辐射率存在差异,但呈现集中趋势,水的比辐射率主要集中在 0.9860~

0.9950 之间,城镇/建筑的比辐射率集中在 0.9600~0.9750 之间,植被的比辐射率则集中在 0.9609~0.9760 之间,裸土的比辐射率集中在 0.9800~0.9900 之间。

表 1 来自不同文献的地物比辐射率
Table 1 Surface feature emissivity from different literatures

| 地类 | 波段/ μm | | | | | | | | |
|-------|-------------------|---|--------------------|-------------------|--|---------------------------------------|---------------------------------------|---|--|
| | 3.846~ 4.16 | 0.63~0.69 (TM3) | 0.76~0.90 (TM4) | 1.5~1.75 (TM5) | 10.4~12.5 (TM6) | 10.5~11.5 (AVHRR4) | 11.5~12.5 (AVHRR5) | 10.78~11.28 (MODIS31) | 11.77~12.27 (MODIS32) |
| 落叶针叶林 | | | | | 0.94[35] | 0.9736[50] | 0.9731[50] | 0.986[9] | 0.988[9] |
| 常绿针叶林 | | | | | 0.95[35] | 0.9890[50] | 0.9908[50] | 0.989[9] | 0.991[9] |
| 落叶阔叶林 | | | | | 0.93[35] | 0.9736[50] | 0.9731[50] | 0.968[9] | 0.971[9] |
| 常绿阔叶林 | | | | | 0.95[35] | 0.9890[50] | 0.9908[50] | 0.987[9] | 0.99[9] |
| 针阔混交林 | | 0.95[60] | | | 0.97[43],0.985[35] | 0.9813[50] | 0.9819[50] | | |
| 灌木丛 | | | | | 0.88[35] | 0.9813[50] | 0.9819[50] | | |
| 草地 | 0.983[42] | 0.95[60] | | | 0.985[35] | 0.9822[41] 0.9682[50] | 0.9886[41] 0.9703[50] | | |
| 植被 | | 0.977850[21] 0.995[32] 0.95[60] 0.99[66] | | 0.994[47] | 0.970[45],0.988[52] 0.99[64] 0.986[51-54,20,23,63-65] 0.983[39] 0.985[52,31,38],0.98[57] | 0.957[46] 0.9773[50] >0.98[48] | 0.960[46] 0.9802[50] 0.985[61] | 0.98672[22,26,28,19] 0.9844[40,62] 0.9848[27,34] 0.9773155[40] | 0.98990[22,26,28,19] 0.9851[40,62] 0.9857[27,34] |
| 黑沃土 | 0.969[42] | | | | 0.94[58] | 0.9741[41] 0.968[46] | 0.979[41] 0.973[46] | | |
| 棕泥土 | | | | | | 0.9725[41] | 0.9805[41] | | |
| 棕壤沙土 | | | | | 0.96866[52,65] | | | | |
| 粘土质 | | | | | 0.97953[52,65] | | | | |
| 沙土质 | | | | | 0.97047[52,65] | | | | |
| 砂壤土 | | | | | 0.96993[52,65] | | | | |
| 暗棕沙 | 0.968[42] | | | | 0.76[44] | 0.9642[41] | 0.9782[41] | | |
| 黄沃沙 | | | | | 0.93[44] | 0.9591[41] | 0.9707[41] | | |
| 沙地 | 0.705[55] | | 0.96[59] | | | 0.962[56] 0.961[56] 0.9450[48] | 0.965[56] 0.975[56] | | |
| 裸土 | 0.948[55] | 0.962623[21] 0.92[60] | | 0.923[47] | 0.93[43],0.975[52,39] 0.960[31],0.972[52-54] 0.970[45],0.97215[20,23,65] 0.962[63],0.89[57],0.973[64] | | 0.960[61] | 0.96767[22,26,28,19] 0.9731[40,27,34,36,62] 0.9803398[40] | 0.97790[22,26,28,19] 0.9832[40,27,34,36,62] |
| 混泥土 | 0.949[42] | | | | | 0.9505[41] | 0.9684[41] | | |
| 城镇/建筑 | | 0.935[32] 0.97[66] | | | 0.95[43],0.976[52] 0.970[52,53,20,23,65] 0.963[39],0.949[63] 0.968[64] | 0.9748[50] | 0.9761[50] | | |
| 水 | 0.974[42] | 0.99[32,60] 0.995[66] | 0.995[59] | 0.9925[47] | 0.99[43],0.986[45,59] 0.995[45,52,54,20,39,23,65] 0.972[53],0.97[63] | 0.9920[50] | 0.9877[50] 0.985[61] | 0.992[40,27,62] 0.99683[34,26,19] 0.97[33],0.9876848[55] | 0.989[40,27,62] 0.99254[34,19] 0.992324[26] |
| 冰/雪 | | | | | 0.97[44] 0.95[35] | 0.997[46] 0.9895[50] | 0.996[46] 0.9668[50] | 0.99[33] 0.98818[36] | 0.971152[36] |
| 海水 | | | | | | 0.9903[41] 0.99[46] 0.99057[49] | 0.986[41] 0.985[46] 0.98664[49] | 0.98399[49] | |

有关文献列举了基于 IGBP (17 种分类) 和 USGS (24 种分类) 的土地覆盖分类系统比辐射率数据集 (表 2、3)^[35,50]。IGBP 土地覆被分类系统比辐射率数据是采集 Salisbury and D’Aria 实验室测量的样本比辐射率数据 (8~14 μm), 先对样本按照 IGBP 土地覆盖分类系统进行分类, 再根据宽波段比辐射率计算公式得到对应传感器通道的不同样本宽波段比辐射率 (例如: Landsat TM 波段 6 和 NO-

AA AVHRR 通道 4 和 5); 然后对同类样本做平均, 求得各地类对应的比辐射率值^[5]。宽波段计算公式为:

$$\epsilon = \frac{\int \epsilon(T, \lambda) S(\lambda) M_B(T, \lambda) d\lambda}{\int S(\lambda) M_B(T, \lambda) d\lambda}$$

(2)

其中: $S(\lambda)$ 为通道光谱响应函数, $M_B(T, \lambda)$ 根据普朗克方程计算, 温度为 T 时黑体光谱辐射亮度。

表 2 IGBP 土地覆盖类型植被和地表比辐射率^[50]

Table 2 The emissivity of vegetation and bare surface of IGBP land cover type^[50]

| IGBP 地表覆盖类型 | 植被比辐射率 | | 裸露地表比辐射率 | |
|-----------------------|-----------|-----------|-----------|-----------|
| | AVHRR4 通道 | AVHRR5 通道 | AVHRR4 通道 | AVHRR5 通道 |
| 1. 常绿针叶林 | 0.9890 | 0.9908 | 0.9696 | 0.9732 |
| 2. 常绿阔叶林 | 0.9890 | 0.9908 | 0.9696 | 0.9732 |
| 3. 落叶针叶林 | 0.9736 | 0.9731 | 0.9696 | 0.9732 |
| 4. 落叶阔叶林 | 0.9736 | 0.9731 | 0.9696 | 0.9732 |
| 5. 混交林 | 0.9813 | 0.9819 | 0.9696 | 0.9732 |
| 6. Closed Shrub lands | 0.9813 | 0.9819 | 0.9679 | 0.9724 |
| 7. Open Shrub lands | 0.9813 | 0.9819 | 0.9679 | 0.9724 |
| 8. Woody Savannas | 0.9704 | 0.9714 | 0.9679 | 0.9724 |
| 9. Savannas | 0.9693 | 0.9708 | 0.9679 | 0.9724 |
| 10. Grasslands | 0.9682 | 0.9703 | 0.9679 | 0.9724 |
| 11. 草地 | 0.9871 | 0.9881 | 0.9871 | 0.9881 |
| 12. 农田 | 0.9823 | 0.9885 | 0.9727 | 0.9779 |
| 13. 城市 and 建筑 | 0.9748 | 0.9761 | 0.9591 | 0.9726 |
| 14. 农田/植被 | 0.9773 | 0.9802 | 0.9727 | 0.9779 |
| 15. 冰/雪 | 0.9895 | 0.9668 | 0.9895 | 0.9668 |
| 16. 裸地或稀疏植被 | 0.9693 | 0.9708 | 0.9576 | 0.9663 |
| 0. 水体 | 0.9920 | 0.9877 | 0.9920 | 0.9877 |

表 3 USGS 全球土地覆盖分类及其特征参数^[35]

Table 3 USGS global land cover classification and its characteristic parameters^[35]

| 分类数 | 类型描述 | 反照率 | 比辐射率 | 粗糙度 | 气孔阻抗 |
|-----|--------------|-----|-------|------|------|
| 1 | 城镇用地 | 15 | 0.880 | 80 | 200 |
| 2 | 旱地农田和牧场 | 17 | 0.985 | 15 | 40 |
| 3 | 灌溉农田和牧场 | 18 | 0.985 | 15 | 40 |
| 4 | 旱地/灌溉混合农田/牧场 | 18 | 0.985 | 15 | 40 |
| 5 | 农田/草地马赛克 | 18 | 0.990 | 14 | 40 |
| 6 | 农田/林地马赛克 | 16 | 0.985 | 20 | 70 |
| 7 | 草地 | 19 | 0.985 | 12 | 40 |
| 8 | 灌丛 | 22 | 0.880 | 10 | 300 |
| 9 | 混合丛林/草地 | 20 | 0.900 | 11 | 170 |
| 10 | 热带大草原 | 20 | 0.920 | 15 | 70 |
| 11 | 落叶阔叶林 | 16 | 0.930 | 50 | 100 |
| 12 | 落叶针叶林 | 14 | 0.940 | 50 | 150 |
| 13 | 常绿阔叶林 | 12 | 0.950 | 50 | 150 |
| 14 | 常绿针叶林 | 12 | 0.950 | 50 | 125 |
| 15 | 混合林带 | 13 | 0.940 | 50 | 125 |
| 16 | 水体 | 8 | 0.980 | 0.01 | 100 |
| 17 | 草本湿地 | 14 | 0.950 | 20 | 40 |
| 18 | 木本湿地 | 14 | 0.950 | 40 | 100 |
| 19 | 裸地或稀疏植被 | 25 | 0.850 | 10 | 999 |
| 20 | 草本苔原 | 15 | 0.920 | 10 | 150 |
| 21 | 木本苔原 | 15 | 0.930 | 30 | 150 |
| 22 | 混合苔原 | 15 | 0.920 | 15 | 150 |
| 23 | 裸土苔原 | 25 | 0.850 | 10 | 200 |
| 24 | 冰/雪 | 55 | 0.950 | 5 | 999 |

USGS 土地覆被分类系统比辐射率结果来自比辐射率遥感产品 MODIS LSE,将遥感反演的比辐射率对应到地表分类系统上,求取各地类的平均比辐射率值。将 MODIS 标准产品 MOD11B1 的波段 29、31 和 32 比辐射率经过公式转化为宽波段的比辐射率。拟合公式为:

$$\epsilon_{8-14} = 0.0139\epsilon_{29} + 0.4606\epsilon_{31} + 0.5256\epsilon_{32} \quad (3)$$

该拟合公式是从不同数据库收集地表光谱比辐射率谱线(如 ASTER 光谱库、Salisbury 光谱库、USGS 光谱库),基于这些比辐射率曲线首先计算宽波段比辐射率(ϵ_{8-14});将这些光谱比辐射率根据传感器的光谱响应函数积分,模拟 MODIS 光波段 29、31 和 32 的光谱比辐射率,最终建立宽波段和光谱比辐射率的简单线性关系^[67]。

基于 IGBP(17 种分类)和 USGS(24 种分类)的土地覆盖分类系统比辐射率数据是对不同地类进行粗略的比辐射率估计,数据的代表性和适用性较差。首先,基于土地覆盖分类系统赋予不同地类比辐射率需要高精度的土地覆盖数据,而 IGBP(17 种分类)和 USGS(24 种分类)土地覆盖分类系统是否适用于我国不同区域还需要考证;其次,不同时期同一地类比辐射率不同,如落叶阔叶林、夏季绿叶、冬季落叶,一年四季变化显著,比辐射率不能用固定值代替。

4 结 语

总体来说,现有公开发表的地物比辐射率数据存在以下不足:

(1)有关地物或地类比辐射率数据的记录还存在一些不足。

表 4 是来自不同文献中裸土比辐射率数据(实际上文献中只记录了裸土比辐射率数据,未描述数据获取环境条件等信息),表明同一地物(裸土)具有不同比辐射率值,并且差异很大。仅仅依据这些数据,难以判定其是否准确。实际上,地物比辐射率不仅依赖于地物的组成成分,而且与地物的表面状态(表面粗糙度等)及物理性质(介电常数,含水量、温度等)有关,并随着所测定的辐射能的波长(λ)、观测角度(θ)等条件的变化而变化。另外,比辐射率有半球比辐射率(半球全比辐射率或半球积分比辐射率、半球光谱比辐射率)和方向比辐射率(方向全比辐射率、方向光谱比辐射率)之分。所以,任何地物比辐射率数据,应该包括有关环境条件和其本身背景的定义。

表 4 裸土比辐射率(10.4~12.5 μm)

Table 4 The emissivity of soil(10.4~12.5 μm)

| 文献 | 比辐射率 | 文献 | 比辐射率 |
|----------------|-------|----------------|---------|
| [43] | 0.93 | [20],[23],[65] | 0.97215 |
| [29],[52] | 0.975 | [63] | 0.962 |
| [31] | 0.960 | [57] | 0.89 |
| [52],[53],[54] | 0.972 | [64] | 0.973 |
| [45] | 0.970 | [59] | 0.92 |

(2)地物比辐射率与各要素间的定量关系有待研究。

地物比辐射率是一个与多要素相关的变量,为了得到更加精确的比辐射率数据,有关温度、下垫面类型(地表覆盖或地物类型)等要素与地表比辐射率值之间的定量关系是一个重要的研究问题。

(3)不同地物或地类比辐射率需要界定。

在陆面过程模式或其他气候模型中,需要输入不同地物或地类比辐射率数据,虽然同种地物或地类的比辐射率有一定差异,但呈现一定的规律性,因此需要对不同地物或地类比辐射率范围进行界定,为采用查表法进行赋值时提供参考。

(4)缺乏在我国区域内对遥感反演比辐射率数据进行地面验证工作。

目前,获得大面积地表比辐射率数据的最有效的方法是遥感技术方法,存在 2 个全球尺度的比辐射率产品提供公开免费服务:MODIS 的比辐射率产品(MODIS LSE)和 ASTER 的比辐射率产品(AS-TER LSE),这是非常好的资源,但是能否使用还不能确定,主要原因是:①在我国尚未开展像元尺度的野外验证工作;②遥感产品定义的地表覆盖类型是否与我国定义的地表覆盖类型一致,需要进一步考证。地物比辐射率与温度一样千变万化,即使进行了验证,仍不能一劳永逸。之后地物比辐射率又发生变化,仍不能进行过时的“对号入座”。因此,精确获知地物比辐射率的对策是像元尺度的直接测量和同时验证。

参考文献(References):

[1] Zhang Renhua. Some Thinking on Quantitative Thermal Infrared Remote Sensing[J]. Remote Sensing for Land & Resources,1999,1:1-6.[张仁华.对于定量热红外遥感的一些思考[J].国土资源遥感,1999,1:1-6.]

[2] Nerry F,Labed J,Stoll M P. Spectral Properties of Land Surfaces in yhe Thermal Infrared,1. Laboratory Measurements of Absolute Spectral Emissivity Signatures[J]. Journal of Geo-

- physical Research, 1990, 95(B5): 7027-7044.
- [3] Hook S J, Gabell G A. A Comparison of Techniques for Extracting Emissivity Information from Thermal Infrared Data for Geological Studies[J]. Remote Sensing of Environment, 1992, 42: 123-135.
 - [4] Salisbury J W, D'Aria D M. Emissivity of Terrestrial Materials in the 8~14 μm Atmospheric Windows[J]. Remote Sensing of Environment, 1992, 42: 083-110.
 - [5] Rubio E, Caselles V, Badenas C. Emissivity Measurements of Several Soils and Vegetation Types in the 8~14 μm Wave Band; Analysis of Two Field Methods[J]. Remote Sensing of Environment, 1997, 59: 490-521.
 - [6] Hulley G C, Hook S J, Baldridge A M. Investigating the Effects of Soil Moisture on Thermal Infrared Land Surface Temperature and Emissivity Using Satellite Retrievals and Laboratory Measurements[J]. Remote Sensing of Environment, 2010, 114: 1480-1493.
 - [7] Zhang Renhua, Tian Guoliang. Measurement of Normal Temperature Object Emissivity[J]. Science Bulletin, 1981, 5: 297-300. [张仁华, 田国良. 常温物体比辐射率的测量[J]. 科学通报, 1981, 5: 297-300.]
 - [8] Wang Xianbin, Yang Shizhi, Qiao Yanli, *et al.* Field Measurement Methods for Thermal Infrared Spectral Emissivity of Terrestrial Surface Materials[J]. The Atmosphere and Environment Journal Optics, 2006, 1(2): 105-111. [王先兵, 杨世植, 乔延利, 等. 地物目标热红外光谱发射率的野外测量方法研究[J]. 大气与环境光学学报, 2006, 1(2): 105-111.]
 - [9] Snyder W C, Wan Z, Zhang Y, *et al.* Classification-based Emissivity for Land Surface Temperature Measurement from Space[J]. International Journal of Remote Sensing, 1998, 19(14): 2753-2774.
 - [10] Sobrino J A, Raissouni N, Li Z L. A Comparative Study of Land Surface Emissivity Retrieval from NOAA Data[J]. Remote Sensing of Environment, 2001, 75: 255-256.
 - [11] Qin Zhihao, Li Wenjuan, Xu Bin, *et al.* The Estimation of Land Surface Emissivity for Landsat TM6[J]. Remote Sensing for Land & Resources, 2004, (3): 27-32. [覃志豪, 李文娟, 徐斌, 等. Landsat TM6 波段范围内地表比辐射率的估计[J]. 国土资源遥感, 2004, (3): 27-32.]
 - [12] Kahle A B, Madura D P, Soha J M. Middle Infrared Multi-spectral Aircraft Scanner Data; Analysis for Geologic Applications[J]. Applied Optics, 1980, 19: 2279-2290.
 - [13] Waston K. Two-temperature Method for Measuring Emissivity[J]. Remote Sensing of Environment, 1992, 42: 117-121.
 - [14] Becker F, Li Z L. Temperature-independent Spectral Indices in Thermal Infrared Bands[J]. Remote Sensing of Environment, 1990, 32: 17-33.
 - [15] Wan Z, Li Z L. A Physics-based Algorithm for Retrieving Land Surface Temperature from Space[J]. IEEE Transactions on Geosciences and Remote Sensing, 1997, 34: 980-996.
 - [16] Zhao Yingshi. Theory and Method of Analysis of Remote Sensing Application[M]. Beijing: Science Press, 2003. [赵英时. 遥感应用分析原理与方法[M]. 北京: 科学出版社, 2003.]
 - [17] Xiao Qing, Liu Qinhua, Li Xiaowen, *et al.* A Field Measurement Method of Spectral Emissivity and Research on the Feature of Soil Thermal Infrared Emissivity[J]. Journal of Infrared and Millimeter Waves, 2003, 5: 373-378. [肖青, 柳钦火, 李小文, 等. 热红外发射率光谱的野外测量方法与土壤热红外发射率特性研究[J]. 红外与毫米波学报, 2003, 5: 373-378.]
 - [18] Dozier J, Warren S G. Effect of Viewing Angle on the Infrared Brightness of Snow[J]. Water Resources Research, 1982, 18(5): 1424-1434.
 - [19] Jiang Lipeng, Qin Zhihao, Xie Wen. Program Splits Window Algorithm to Retrieve Land Surface Temperature for MODIS Data Using IDL[J]. Geomatics & Spatics Information Technology, 2006, 29(3): 114-117. [姜立鹏, 覃志豪, 谢雯. MODIS 数据地表温度反演分裂窗算法的 IDL 实现[J]. 测绘与空间地理信息, 2006, 29(3): 114-117.]
 - [20] Hou Peng, Cao Guangzhen, Jiang Weiguo, *et al.* Temperature Inversion of Urban Complex Land Surface by TM and Its Comparison with MODIS Temperature Product[J]. Journal of Natural Disasters, 2009, 18(5): 113-119. [侯鹏, 曹广真, 蒋卫国, 等. 城市复杂地表 TM 温度反演及其与 MODIS 产品的比较[J]. 自然灾害学报, 2009, 18(5): 113-119.]
 - [21] Luo Zhiyong, Liu Hanhu, Yang Wunian. The Application Study of Mono-window Algorithm in Chengdu for Land Temperature Retrieval[J]. Journal of Tropical Meteorology, 2007, 23(4): 409-453. [罗智勇, 刘汉湖, 杨武年. 单窗算法在成都市地面温度反演中的应用研究[J]. 热带气象学报, 2007, 23(4): 409-453.]
 - [22] Meng Fanying, Liu Zhiming, Wang Xiaojuan. Method for Land Surface Temperature Retrieval[J]. Geospatial Information, 2010, 8(1): 35-38. [孟凡影, 刘志明, 王晓娟. 地表温度反演方法[J]. 地理空间信息, 2010, 8(1): 35-38.]
 - [23] Zhang Zhaoming, He Guojin, Xiao Rongbo, *et al.* Land Surface Temperature Retrieval based on MODIS and TM Data[J]. Journal of Image and Graphics, 2007, 12(2): 366-371. [张兆明, 何国金, 肖荣波, 等. 基于 MODIS 和 TM 数据的陆面温度反演[J]. 中国图象图形学报, 2007, 12(2): 366-371.]
 - [24] Gao Maofang, Qin Zhihao, Xu Bin. Estimation of The Basic Parameters for Deriving Surface Temperature from MODIS Data[J]. Arid Zone Research, 2007, 24(1): 113-119. [高懋芳, 覃志豪, 徐斌. 用 MODIS 数据反演地表温度的基本参数估计方法[J]. 干旱区研究, 2007, 24(1): 113-119.]
 - [25] Mao Kebiao, Qin Zhihao, Wang Jianming, *et al.* Lowtran Retrieval of Atmospheric Water Content and Transmittance Computation of MODIS Bands 31 and 32[J]. Remote Sensing for Land & Resources, 2005, (1): 26-29. [毛克彪, 覃志豪, 王建明, 等. 针对 MODIS 数据的大气水汽含量反演及 31 和 32 波段透过率计算[J]. 国土资源遥感, 2005, (1): 26-29.]
 - [26] Wang Tie, Li Zhenfa. Land Surface Temperature Retrieve based on MODIS Data——A Case Study for Tianjin[J]. Chinese

- Journal of Agrometeorology, 2009, 30: 137-139. [王铁, 黎贞发. 基于 MODIS 数据的地表温度反演——以天津地区为例[J]. 中国农业气象, 2009, 30(增 1): 137-139.]
- [27] Ye Ke, Qin Zhihao. A Study of Urban Heat Island in Summer of Nanjing based on MODIS Data[J]. Remote Sensing Technology and Application, 2006, 21(5): 426-431. [叶柯, 覃志豪. 基于 MODIS 数据的南京市夏季城市热岛分析[J]. 遥感技术与应用, 2006, 21(5): 426-431.]
- [28] Du Lingtong, Li Guoqi. Spatial Distribution Characteristics of Land Surface Temperature Retrieved from MODIS Data in Ningxia Hui Autonomous Region[J]. Agricultural Research in the Arid Areas, 2008, 26(6): 191-196. [杜灵通, 李国旗. 基于 MODIS 数据的宁夏地表温度空间分布研究[J]. 干旱地区农业研究, 2008, 26(6): 191-196.]
- [29] Li Xingmin, Yang Wenfeng, Zhang Shuyu, *et al.* Monitoring of Land Surface Temperature in Shaanxi Province based on MODIS Data[J]. Journal of Shaanxi Meteorology, 2007, 1: 12-16. [李星敏, 杨文峰, 张树誉, 等. 基于 MODIS 数据的陕西地表温度监测[J]. 陕西气象, 2007, 1: 12-16.]
- [30] Sobrino J A, Jimenez-Muioz J C, Paolini L. Land Surface Temperature Retrieval from Landsat TM 5[J]. Remote Sensing of Environment, 2004, 90: 434-440.
- [31] Yi Nan, Zhou Yunxuan, Wang Liming, *et al.* An Application of Split Window Algorithm to the Retrieval of Land Surface Temperature with NOAA /AVHRR Data[J]. Geomatics & Spatial Information Technology, 2005, 28(4): 8-11. [尹楠, 周云轩, 王黎明, 等. NOAA/AVHRR 的分裂窗算法在地表温度反演中的应用[J]. 测绘与空间地理信息, 2005, 28(4): 8-11.]
- [32] Xu Min, Liu Yong, Yang Hongwei, *et al.* Calibration and Analysis of the Surface Temperature in the Arid and Semi-arid Area based on Landsat ETM+ Data[J]. Desert and Oasis Meteorology, 2009, 3(5): 20-25. [许民, 刘勇, 杨红卫, 等. 基于 Landsat ETM+ 影像的干旱半干旱地区地表温度反演研究[J]. 沙漠与绿洲气象, 2009, 3(5): 20-25.]
- [33] Li Fenling, Liu Yong. Algorithm Comparison of Land Surface Temperature on Qilian Mt. Area based on MODIS[J]. Journal of Lanzhou University(Natural Sciences), 2008, 44: 6-10. [李粉玲, 刘勇. 基于 MODIS 的祁连山区陆面温度反演算法比较[J]. 兰州大学学报(自然科学版), 2008, 44: 6-10.]
- [34] Wu Jian, Meng Xianhong, Lv Shihua. Land Surface Temperature Retrieved from MODIS Data in Jinta Oasis Area[J]. Plateau Meteorology, 2009, 28(3): 523-530. [武坚, 孟宪红, 吕世华. 基于 MODIS 数据的金塔绿洲地表温度反演[J]. 高原气象, 2009, 28(3): 523-530.]
- [35] Liu Wei, Gao Yanhong, Li Haiying, *et al.* Land use Patterns of Heihe River Basin and Its Impact Modeling[J]. Plateau Meteorology, 2007, 26(2): 278-286. [刘伟, 高艳红, 李海英, 等. 黑河流域土地覆盖分类数据的建立及其影响的模拟[J]. 高原气象, 2007, 26(2): 278-286.]
- [36] Xie Yan, Liu Zhihui, Wang Yunfeng. Retrieval of Land Surface Temperature on Wuchang Area in Spring based on MODIS Data[J]. Gansu Science and Technology, 2008, 24(3): 37-40. [谢燕, 刘志辉, 王云丰. 基于 MODIS 乌昌地区春季地表温度反演[J]. 甘肃科技, 2008, 24(3): 37-40.]
- [37] Zhang Xueyi, Zhang Xiaoyu, Wei Jianguo, *et al.* New Exploration of Land Surface Temperature Retrieved from MODIS Data in Ningxia[J]. Meteorological Monthly, 2009, 35(5): 62-65. [张学艺, 张晓煜, 魏建国, 等. 基于 MODIS 资料的宁夏 LST 反演方法新探索[J]. 气象, 2009, 35(5): 62-65.]
- [38] Wu Hua, Li Tong. The Estimation of Land Surface Emissivity for Landsat TM Thermal Infrared Band [J]. Application Technology, 2006, 3: 26-29. [吴骅, 李彤. TM 热红外波段等效比辐射率估算[J]. 应用技术, 2006, 3: 26-29.]
- [39] Wang Xiuxin, Zhu Qijiang, Chen Shenghai, *et al.* Remote Sensing Retrieval of Water and Heat Fluxes over Urban Green Space and Experimental Validation [J]. Area Research and Development, 2010, 29(3): 63-67. [王修信, 朱启疆, 陈声海, 等. 城市绿地水热通量的遥感反演与实验验证[J]. 地域研究与开发, 2010, 29(3): 63-67.]
- [40] Wang Chunlin, Tang Lisheng, Chen Shuisen, *et al.* All-weather Applicable Methodology to Retrieve Land Surface Temperature for Cold Disaster Monitoring [J]. Chinese Journal of Agrometeorology, 2007, 28(1): 80-87. [王春林, 唐力生, 陈水森, 等. 寒冷灾害监测中的全天候地表温度反演方法研究[J]. 中国农业气象, 2007, 28(1): 80-87.]
- [41] Wang Minyan, Lv Daren. An Improved Algorithm to Retrieve Land Surface Temperature by GMS 5 Data[J]. Chinese Journal of Geophysics, 2005, 48(5): 1034-1044. [王敏燕, 吕达仁. GMS5 资料反演地表温度的一个修正算法[J]. 地球物理学报, 2005, 48(5): 1034-1044.]
- [42] Jin Yi'e. Emissivity of Natural Surfaces and Surface Temperature[J]. Acta Meteorologica Sinica, 1989, 47(1): 92-96. [金一愕. 自然表面的比辐射率与表面温度[J]. 气象学报, 1989, 47(1): 92-96.]
- [43] Yao Yunjun, Nan Peng, Zhang Zhaolu, *et al.* Application of Split Window Algorithm in Land Surface Temperature Retrieval from Thermal Infrared Remote Sensing Data[J]. Journal of Lanzhou University of Technology, 2007, 33(6): 89-93. [姚云军, 南鹏, 张照录, 等. 分裂窗算法在热红外遥感陆面温度反演中的应用[J]. 兰州理工大学学报, 2007, 33(6): 89-93.]
- [44] Peng Liang, Yao Zhanyu. Satellite Microwave Retrieval Test for Non-precipitating Cloud Liquid Water in Henan Area[J]. Journal of Applied Meteorological Science, 2008, 19(5): 539-546. [彭亮, 姚展予. 河南省非降水云中液态水的卫星微波反演试验研究[J]. 应用气象学报, 2008, 19(5): 539-546.]
- [45] Da Rima, Bao Yuhai. Comparative Analysis of Land Surface Emissivity (LSE) Retrieval Methods based on TM Data[J]. Journal of Inner Mongolia Normal University (Natural Science Edition), 2010, 39(2): 186-191. [达日玛, 包玉海. 基于 TM 数据的地表比辐射率反演方法对比分析[J]. 内蒙古师范大学学报(自然科学汉文版), 2010, 39(2): 186-191.]
- [46] Li Jinping, He Yueshun, Yu Ying. An Introduction to a Self-

- consistency Information Applied Atmospheric Correction for NOAA Satellite[J]. *Laser&Infrared*, 2008, 38(4): 383-386. [李金萍, 何月顺, 余英. 基于 NOAA 卫星图像信息的大气校正方法研究[J]. *激光与红外*, 2008, 38(4): 383-386.]
- [47] Li Jingzhong, Yin Xueyong, Cai Qinghua, *et al.* Land Surface Temperature Retrieval based on TM Remote Sensing Image in Lanzhou[J]. *Journal of Anhui Agriculture Science*, 2008, 36(18): 7805-7807. [李京忠, 殷学勇, 蔡清华, 等. 基于 TM 影像的地表温度遥感反演研究——以兰州市区为例[J]. *安徽农业科学*, 2008, 36(18): 7805-7807.]
- [48] Liu Dongqi, Wang Jiemin. Estimation of the Angular Variation of the Land Surface Emissivity in Heterogeneous Areas with the ATSR/ERS-1 Data[J]. *Chinese Journal of Atmospheric Sciences*, 1999, 23(5): 613-622. [刘东琦, 王介民. 利用 ATSR/ERS-1 资料研究复杂下垫面比辐射率的变化[J]. *大气科学*, 23(5): 613-622.]
- [49] Ren Hongqi. The Epson Correcting Method of the Infrared Sea Surface Temperature Measurement[J]. *Ocean Technology*, 2003, 22(3): 6-11. [任洪启. 红外测量海表面温度中的 ϵ 修正[J]. *海洋技术*, 2003, 22(3): 6-11.]
- [50] Yang Hu, Yang Zhongdong. A Modified Land Surface Temperature Split Window Retrieval Algorithm and Its Applications over China[J]. *Journal of Remote Sensing*, 2006, 10(4): 600-607. [杨虎, 杨忠东. 中国陆地区域陆表温度业务化遥感反演算法及产品运行系统[J]. *遥感学报*, 2006, 10(4): 600-607.]
- [51] Lin Zhibin. Study on Urban Heat Island based on Landsat ETM+ Image[J]. *Journal of Anhui Agriculture*, 2009, 37(28): 13961-13963. [林志彬. 基于 Landsat ETM+ 影像的城市热岛研究[J]. *安徽农业科学*, 2009, 37(28): 13961-13963.]
- [52] Zhang Wenwu, Zeng Yongnian, Tian Yaping. Estimation of TM6/ETM+ Thermal Band Emissivity based on Spectral Unmixing Model[J]. *Geography and Geo-Information Science*, 2010, 26(3): 25-29. [郑文武, 曾永年, 田亚平. 基于混合像元分解模型的 TM6/ETM+ 热红外波段地表比辐射率估算[J]. *地理与地理信息科学*, 2010, 26(3): 25-29.]
- [53] Ding Feng, Xu Hanqiu. Comparison of Two New Algorithms for Retrieving Land Surface Temperature from Landsat TM Thermal Band[J]. *Geo-Information Science*, 2006, 8(3): 125-131. [丁凤, 徐涵秋. TM 热波段图像的地表温度反演算法与实验分析[J]. *地球信息科学*, 2006, 8(3): 125-131.]
- [54] Hou Peng, Jiang Weiguo, Cao Guangzhen. Quantitative Analyses of Thermal Regulation Function of Urban Wetland[J]. *Journal of Beijing Forestry University*, 2010, 32(3): 191-196. [侯鹏, 蒋卫国, 曹广真. 城市湿地热环境调节功能的定量研究[J]. *北京林业大学学报*, 2010, 32(3): 191-196.]
- [55] Zhang Tianshu, Liu Wenqing, Gao Minguang, *et al.* Retrieve Surface Emissivity from Airborne Fourier Transform Infrared Spectrum[J]. *Optical Technology*, 2006, 32(2): 219-222. [张天舒, 刘文清, 高闽光, 等. 地表发射率的机载傅立叶变换红外光谱反演方法研究[J]. *光学技术*, 2006, 32(2): 219-222.]
- [56] Sun Yiyi, Li Zhiping. Dependence of Infrared Emissivity on View Zenith Angle for Natural[J]. *Acta Meteorologica Sinica*, 2001, 59(3): 373-376. [孙毅义, 李治平. 地面热红外发射率的天顶角变化效应[J]. *气象学报*, 2001, 59(3): 373-376.]
- [57] Zhang Renhua, Zhang Xiaomin, Liu Jiuyan, *et al.* Quantitative Remote Sensing Inversion of The Regional Differentiation of Soil Moisture Utilization and Crop Transpiration[J]. *Science in China (Series D)*, 31(11): 959-968. [张仁华, 张晓敏, 刘纪远, 等. 定量遥感反演作物蒸腾和土壤水分利用率的区域分异[J]. *中国科学(D辑)*, 31(11): 959-968.]
- [58] Chen Liangfu, Zhuang Jiali, Xu Xiru, *et al.* Non-isothermal Mixed Pixel Effective Emissivity Concepts and Its Verification[J]. *Chinese Science Bulletin*, 2000, 45(1): 22-29. [陈良福, 庄家礼, 徐希孺, 等. 非同温混合像元热辐射有效比辐射率概念及其验证[J]. *科学通报*, 2000, 45(1): 22-29.]
- [59] Yu Hong, Yang Jie, Chen Jie. The Study of Surface Features Parameters Inversion on HuangFuChuan Basin[J]. *Yellow River*, 2008, 30(4): 5-7. [于红, 杨劫, 陈杰. 皇甫川流域地表特征参数遥感反演研究[J]. *人民黄河*, 2008, 30(4): 5-7.]
- [60] Wang Yajun. The Retrieval of and Analysis on the Urban Heat Island Effect based on Landsat TM Remote Sensing Data[J]. *Science Technology Information Development & Economy*, 2009, 19(12): 87-92. [王亚军. 基于 Landsat TM 遥感数据的城市热岛效应信息提取与分析[J]. *科技情报开发与经济*, 2009, 19(12): 87-92.]
- [61] Zhang Changchun, Wang Guangqian, Wei Jiahua, *et al.* Estimates of Evapotranspiration based on TM and NOAA Data in the Yellow River Delta[J]. *Journal of Tsinghua University(Science & Technology)*, 2005, 45(9): 1184-1188. [张长春, 王光谦, 魏加华, 等. 联合 TM 和 NOAA 数据研究黄河三角洲地表蒸发(散)量[J]. *清华大学学报(自然科学版)*, 2005, 45(9): 1184-1188.]
- [62] Mao Kebiao, Qin Zhihao, Shi Jiancheng, *et al.* The Research of Split-Window Algorithm on the MODIS[J]. *Geomatics and Information Science of Wuhan University*, 2005, 30(8): 237-240. [毛彪, 覃志豪, 施建成, 等. 针对 MODIS 影像的劈窗算法研究[J]. *武汉大学学报·信息科学版*, 2005, 30(8): 237-240.]
- [63] Zhu Yefei. Mono-window Algorithm DEM based and Derivation of Net Long-wave Radiation of Land Surface in Mountainous Area[J]. *Journal of Geology*, 2008, 32(4): 297-304. [朱叶飞. 基于 DEM 的单窗算法及山区地表长波净辐射的计算[J]. *地质学刊*, 2008, 32(4): 297-304.]
- [64] Tu Liping. Land Surface Temperature(LST) Retrieval and Land Surface Emissivity (LSE) Estimation from Landsat TM Data[D]. Hangzhou: Zhejiang University, 2006. [涂梨平. 利用 Landsat TM 数据进行地表比辐射率和地表温度的反演[D]. 杭州: 浙江大学, 2006.]
- [65] Hong Wenfeng. Research on Urban Land Surface Temperature based on TM/ETM Data[D]. Kaifeng: Henan University, 2008. [洪文峰. 基于 TM/ETM 数据的城市地表温度研究[D]. 开封: 河南大学, 2008.]

[66] Wang Tianxing. The Inversion of Land Surface Parameter and Its Application on Urban Heat Thermal Environment Research[D]. Fuzhou: Fujian Normal University, 2008. [王天星. 地表参数遥感定量反演及其在城市热环境研究中的应用[D]. 福州: 福建师范大学, 2008.]

[67] Jin M L, Liang S L. An Improved Land Surface Emissivity Parameter for Land Surface Models Using Global Remote Sensing Observations[J]. Journal of Climate, 2006, 19: 2867-2881.

Analysis of Surface Features Emissivity Data

Xu Jing¹, Wang Xinsheng^{1,2}, Gao Shoujie¹, Wei Xincai¹, Xie Kai¹

(1. School of Resources and Environmental Science, Hubei University, Wuhan 430062, China;
2. Wuhan Branch, Remote Sensing Application Center, Ministry of Agriculture, Wuhan 430062, China)

Abstract: The land surface emissivity is one of the important parameters in temperature inversion from thermal infrared remote sensing. It is a variable related to different environment factors, which makes its determination and inversion difficult. Nowadays, increasing mature emissivity inversion and measurement skills have provided us a majority of emissivity data, such as MODIS emissivity products, emissivity spectra database and so on. In this paper, we collect different features or land types emissivity data from various of materials and analyze the main sources of the emissivity data, with emphasis on the emissivity data set based on IGBP and USGS land cover classification system, the results show that: ① The records of the emissivity spectrum database about the environment factors and measured status are inadequate; ② The quantitative relationship between emissivity and the factors need to be studied; ③ Different features or land types emissivity need defined; ④ Lack of ground validation in the area of China about remote sensing emissivity data.

Key words: Emissivity; Variable; Data source; Land cover classification system