

城市典型地物的热辐射特性研究

张霞, 赵云升*, 孙天琳, 梁壬凤

东北师范大学城市与环境科学学院, 吉林 长春 130024

摘要 运用热红外技术监测地表温度已获得成熟的发展, 城市化进程的加快使得城市热岛效应日益显现, 有关城市典型地物热辐射特性的研究对于分析城市热岛现象的成因和分布具有重要意义。本文通过对保定市地面实测数据的研究发现, 地物类型、观测时间和墙面朝向是影响城市典型地物热辐射亮度温度的主要因素。结果显示, 地物类型的不同显著影响其亮度温度, 但仍存在同谱异物现象; 不同时间观测到的地物热辐射强度不同, 且在很大程度上影响其在各通道上的亮温差异; 不同朝向墙面的亮温也有差异, 且这种差异随观测时间而改变。对城市典型地物热辐射特性的研究具有理论和实践意义, 为热红外遥感监测城市热岛效应提供了依据。

关键词 城市热岛; 热辐射; 亮度温度; 红外辐射计

中图分类号: TQ325.1 **文献标识码:** A **DOI:** 10.3964/j.issn.1000-0593(2012)01-0092-04

引言

电磁波包括可见光、近红外和热红外等波段, 其中, 可见光、近红外波段已广泛应用于植被、水体、土壤、岩石、冰雪等研究。而热红外波段在探测地表温度方面发挥着重要作用^[1], 在城市热环境的研究中功不可没。

从遥感的角度, 可将地表温度定义为由辐射测定的表面温度, 它是城市热分析中的重要因素之一^[2]。自然界中任何高于热力学温度(0 K)的物体, 必然存在分子热运动, 都会不断地向外发射电磁波。依据维恩位移公式, 地球的最强辐射峰值落在 $9.66 \mu\text{m}$, 恰在 $\sim 14 \mu\text{m}$ 的热红外波段, 所以地表物体主要发射不可见的热辐射。

对城市热环境的研究多数运用热红外遥感影像, 经大气校正和几何校正后, 通过目视解译等分析城市的“热岛”及“冷岛”源^[3-7]。受大气以及混合像元问题的影响, 以往的研究结果精度较低。本文通过对保定市的地面实测数据研究城市典型地物的热辐射特征, 将上述两种因素的干扰降低到最小, 测量精度大大提高, 为热红外遥感监测城市热岛效应提供了依据。

1 野外试验

1.1 试验设计

收稿日期: 2011-04-04, 修订日期: 2011-07-20

基金项目: 国家自然科学基金项目(40971190, 40771153)和国家重点基础研究发展(973计划)项目(2009CB426305)资助

作者简介: 张霞, 女, 1985年生, 东北师范大学城市与环境科学学院博士研究生 e-mail: zhangx396@nenu.edu.cn

*通讯联系人 e-mail: zhaoy975@nenu.edu.cn

试验时间为2010年7月11日—14日, 试验区位于河北省保定市西北部, 107国道以东, 北二环以南, 乐凯北大街以西, 天威西路以北, $38^{\circ}49'N-38^{\circ}53'N$, $115^{\circ}21'E$ -东经 $115^{\circ}25'E$, 属保定市新市区内, 平均海拔高度20 m。

为了分析城市地表的热辐射特性, 选取了保定市新市区几块典型的建筑区, 如钞票纸厂、热电厂、学校、政府部门以及居民住宅楼等。调查中分别记录调查时间、天气状况, 空气温度、湿度、建筑物的用途、尺寸、朝向、街道宽度、建筑物的墙体和屋顶材料以及建筑物周边的绿化情况。通过对各类建筑物不同墙面、屋顶以及地表典型地物的多次测量, 获得了这些地物的辐亮度和亮度温度。

1.2 仪器

试验所用仪器为红外辐射计(CE312-1b), 其工作的通道波段为: $8.2\sim 9.2 \mu\text{m}$, $10.3\sim 11.3 \mu\text{m}$, $11.5\sim 12.5 \mu\text{m}$, $8\sim 14 \mu\text{m}$, 该设置和多数遥感卫星上装载的测温传感器的波段相一致^[8]。应用该仪器可以测量地物的亮度温度及辐亮度信息, 是航空、航天平台上多光谱扫描仪的模拟传感器^[9]。

1.3 数据处理

为了避免偶然误差, 提高数据精度, 要求辐射计对各地物的测量数据在5组以上, 需对有效数据进行处理, 加权平均后进行对比分析。

此次共进行了35处地面调查试验, 得到的热红外辐射及其相关数据构成一个完整的数据库, 本文仅选取了部分数

据进行初步的分析。

2 城市典型地物热辐射特性分析

我们分别从地物类型、观测时间以及墙面朝向三方面分析研究测量结果。

2.1 热辐射温度与地物类型的关系

图 1 为几种典型地面目标的热辐射特征。图中除松树冠层外，其余各地物在不同通道上的亮温值差异很小，曲线几乎与横坐标平行。松树冠层在四个通道上亮温差异显著，在第一通道出现明显的“异常值”，这是由于观测时土壤背景的影响，即进入仪器的热辐射中同时存在植被和土壤的温度信息。由此可见，该通道对于植被覆盖度极为敏感。假草坪和冬青冠层在四个通道上的波谱几乎重合，属于典型的“同谱异物”，用单一角度的热红外遥感很难将二者区分开来。此外，红砖路面、红色跑道的温度最高，墙面温度次之，而植被冠层的温度最低。因此，对于城市地表而言，一般来说，白天，路面温度 > 墙面温度 > 植被冠层温度。在热红外遥感影像上，提取路面温度、墙面温度和植被冠层温度较为容易，而要做到对各植被类型进行精确分类，则不太容易实现。

此外，不同墙体材料的热辐射特性也有差异。图 2 为江城乡人民政府大楼，同一朝向墙面不同墙体材料的热辐射特征。

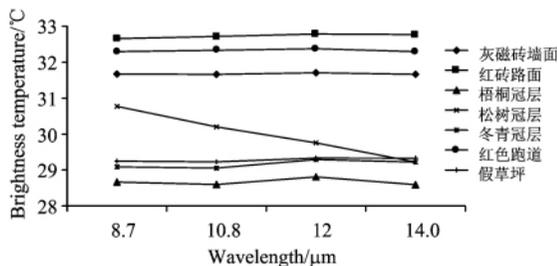


Fig 1 Thermal radiation characteristics of typical surface features

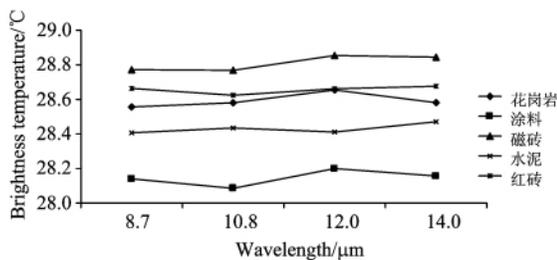


Fig 2 Thermal radiation characteristics of different wall materials

从图 2 可以看出，不同墙体材料的热辐射特性不同。其中，磁砖的亮度温度最高，涂料的亮温随波长变化最为剧烈，且平均温度最低。另外，红砖和花岗岩墙体的辐射亮温值在第二、三通道上几乎完全重合，且在其他通道上差异也不明显。为了检验墙体材料在不同波段的亮温差异，我们采

用方差分析法进行分析。

Table 1 Variance analysis of brightness temperature of different wall materials

		平方和	自由度	均方	F 值	Sig.
组间	组合	1.024	4	0.256	147.296	0.000
	对比	0.068	1	0.068	39.359	0.000
	偏差	0.956	3	0.319	183.276	0.000
组内	组合	0.026	15	0.002		
	合计	1.050	19			

从表 1 中看出，与 F 值相对应的 Sig=0.000<0.01，可以认为墙体材料对热辐射的影响是显著的，即可以通过热红外遥感区分不同墙体材料的热辐射特征。

Table 2 Variance analysis of brightness temperature of different wavebands

		平方和	自由度	均方	F 值	Sig.
组间	组合	1.013	3	0.004	0.069	0.976
	对比	0.008	1	0.008	0.128	0.725
	偏差	0.005	2	0.003	0.040	0.961
组内	组合	1.037	16	0.065		
	合计	1.050	19			

从表 2 中看到，与 F 值相对应的 Sig 均大于 0.05，因此，可以认为波段的不同对热辐射的影响是可以忽略的。

2.2 热辐射温度与观测时间的关系

以水泥地面为例，在同一下午的不同时刻测量了同一点水泥地面的亮度温度。

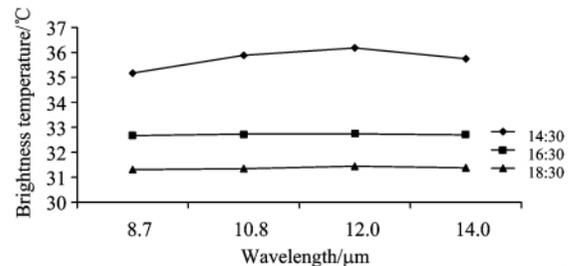


Fig 3 Thermal radiation characteristics of concrete floor at different times

从图 3 看出，14:30 时，水泥地面的亮度温度最高，且亮温随波长变化存在显著差异，第二、三通道的亮温较高，第一、四通道的亮温很低；其他时刻四个通道的亮温数据基本一致，几乎与横坐标平行，且亮温值随观测时间的早晚而发生显著变化。因此，观测时间的不同对于城市地物热辐射温度有很大影响，正午时刻较容易实现对地表不同通道亮温的区分。

2.3 热辐射温度与墙面朝向的关系

试验选取了江城中学、双鹰生活区、钞票纸厂居民楼 12 号楼的不同朝向墙面的热辐射特征数据进行分析。由于对这三区进行测试时天气状况基本一致，且墙体材料均为灰磁

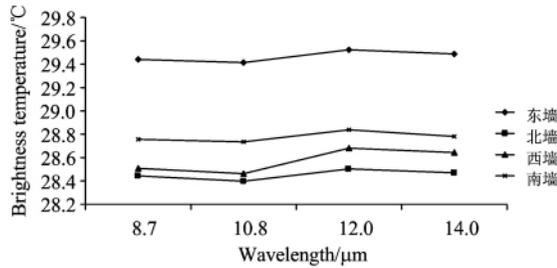


Fig 4 Thermal radiation characteristics of different wall orientations of Jiang Cheng School

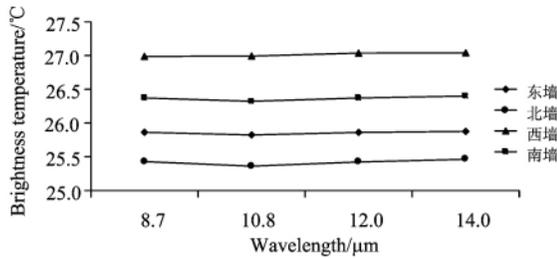


Fig 5 Thermal radiation characteristics of different wall orientations of Shuang Ying living area

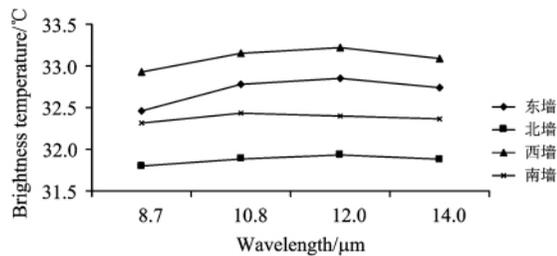


Fig 6 Thermal radiation characteristics of different wall orientations of residential buildings of bill mills

砖,我们认为所测结果具有一定的可比性和可信度(如图 4—图 6),其中,图 4 为上午测量,图 5 和图 6 均为下午测量。

对比图 4—图 6 可以发现,不同朝向墙面的热辐射亮温值不同,且随观测时间的变化而变化。上午,东墙的亮度温度最高,南墙、西墙次之,北墙最低,但南、西、北三墙温差明显。下午观测时,西墙温度最高,北墙最低,东墙和南墙居中。通过对多家建筑物墙面的调查和测量发现,所有建筑物墙面的亮温分布都呈现出这一规律,这为进行航空红外多角度遥感监测提供了验证依据。

3 结 论

综上所述,我们得出以下结论。

(1)城市典型地物的热辐射特性不同,通过地表的亮温信息可以对各典型地物进行识别和分类,但与可见光、近红外光谱相似,仍存在“同谱异物”现象。

(2)墙体材料的热辐射特性存在差异。通过单因素方差分析可知,墙体材料对热辐射的影响显著,而波段对热辐射的影响可以忽略。

(3)观测时间对于城市典型地物热辐射温度有很大影响,越接近中午,热辐射温度越高,且各通道上的亮温差异越明显。

(4)同一建筑物,不同朝向墙面的亮度温度也有差异,且这种差异随观测时间而改变。上午观测时,东墙温度最高,北墙最低;而下午观测时,西墙温度最高,北墙最低。

本研究仅是初步试验,由于试验时间及天气等原因的影响,获取的数据有限,分析结果还不是很理想,有待进一步试验与分析。此外,地面试验与大多遥感传感器的视场相差甚远,这种不同尺度的目标特性可能存在差异,但已充分说明了地面实测研究的重要意义。

References

- [1] LIU Qin-huo, GU Xing-fa, LI Xiao-wen, et al(柳钦火, 顾行发, 李小微, 等). Science in China(Series E) (中国科学, E 辑), 2000, 30 (Suppl): 99.
- [2] ZHAO Ying-shi(赵英时). Principles and Methods of Remote Sensing Application(遥感应用分析原理与方法). Beijing: Science Press(北京: 科学出版社), 2003.
- [3] ZHANG Xia, ZHANG Bing, ZHENG Lan-fen, et al(张霞, 张兵, 郑兰芬, 等). Journal of Infrared and Millimeter Waves(红外与毫米波学报), 2000, 19(5): 361.
- [4] ZHAN Wen-feng, CHEN Yun-hao, MA Wei, et al(占文凤, 陈云浩, 马伟, 等). Journal of Remote Sensing(遥感学报), 2010, 14(2): 372.
- [5] XU Xi-ru, CHEN Liang-fu, ZHUANG Jia-li(徐希孺, 陈良富, 庄家礼). Science in China(Series D)(中国科学, D 辑), 2001, 31(1): 82.
- [6] CHEN Liang-fu, FAN Wen-jie, LIU Qin-huo(陈良富, 范闻捷, 柳钦火). Progress in Geography(地理科学进展), 2001, 20(3): 262.
- [7] ZHANG Ren-hua, TIAN Guo-liang(张仁华, 田国良). Science Bulletin(科学通报), 1981, 5: 297.
- [8] XIAO Qing, LIU Qin-huo(肖青, 柳钦火). Journal of Infrared and Millimeter Waves(红外与毫米波学报), 2003, 22(5): 373.
- [9] WANG Jun-fa, GAO Xiao-ping, CHEN Zhi-feng, et al(汪骏发, 高晓萍, 陈志峰, 等). Journal of Infrared and Millimeter Waves(红外与毫米波学报), 2001, 20(5): 329.

Studies of the Thermal Radiation Characteristics of Urban Typical Surface Features

ZHANG Xia, ZHAO Yun-sheng*, SUN Tian-lin, LIANG Ren-feng

College of Urban and Environmental Sciences, Northeast Normal University, Changchun 130024, China

Abstract The use of thermal infrared technology to monitor the land surface temperature has received mature development, and the acceleration of urbanization makes the urban heat effect emerge, thus, studies of the thermal radiation characteristics of urban typical surface features make great significance for the analysis of the causes and distribution of the thermal phenomenon. Based on the study of ground measured data of Baoding city, we have found that, the feature types, the observation time and wall orientations are principal factors that exert an influence on the thermal radiation brightness temperature of urban typical surface features. The results show that different types of surface features will significantly affect the brightness temperature, but “different things with the same spectrum” still exists; the observation time has direct impact on the intensity of thermal radiation and to a large extent on the brightness temperature difference of each channel; the brightness temperature of different wall orientations are also different, and the difference changes with the change in observation time. Studies of thermal radiation characteristics of urban typical surface features have theoretical and practical significance, providing basis for thermal infrared remote sensing to monitor the urban heat effect.

Keywords Urban heat island; Thermal radiation; Brightness temperature; Infrared radiometer

(Received Apr. 4, 2011; accepted Jul. 20, 2011)

* Corresponding author