

武汉市城区热场变化的遥感 检测与影响因素分析

刘吉平, 朱海燕
(武汉大学资源与环境科学学院, 武汉 430079)

摘要 : 以 TM/ETM⁺ 热红外波段为基本分析数据, 通过数据处理得到武汉市城区及其近郊可对比的热红外像对辐射值, 提取了研究区建筑物、绿地及水体等下垫面信息。在此基础上, 对研究区 1988 年和 2002 年的热场时空分布和变化特征进行了分析, 指出研究区热场影响因素按作用大小依次为建筑物、绿地和水体。同时表明, 采用热辐射较为稳定的水体 DN 值对热红外波段数据做规范化处理, 所得热辐射相对值具有很好的时空可对比性。

关键词 : 武汉市 ; 热场变化 ; 热红外遥感

中图分类号 : TP 79 文献标识码 : A 文章编号 : 1001 - 070X(2006)02 - 0039 - 03

0 引言

城市热场分布及其演化与城市下垫面紧密联系。许多研究者对城市热场或热环境进行了遥感研究, 获取城市热场信息的一般过程是 : 首先, 对热红外波段遥感数据进行辐射量换算, 获得像元的单位波长辐射量(辐射亮度值); 然后, 依据黑体辐射的普朗克函数, 计算出地物的辐射温度(亮度温度)^[1~3]。在有关大气参数、地物热发射率已知的条件下, 可进一步反演出地物的动力学温度。由于大气条件的复杂性, 特别是像元尺度地物的非同温、非朗伯性质, 使得陆表地物动力学温度的反演仍然是热红外遥感研究中未解决的热点和难点问题^[4~6]。另一方面, 对于研究城市热场的空间变化和时间演化来说, 往往着重于热场在时空中的对比, 因此, 对遥感数据不进行动力学温度反演, 甚至不做辐射温度的反演, 在大尺度的时空中也可以较好地观察其变化特性。

本文采用简单处理后的遥感数据, 检测武汉市城区及其近郊在 1988 ~ 2002 年 14 a 间热场的时空分布和变化特征, 同时利用相同的数据集检测城市建筑物(包括道路, 下同)、绿地和水体的时空分布及变化情况。在此基础上, 定性分析建筑物、绿地和水体对热场空间与时间变化的影响。

1 数据集及其处理

1.1 数据集

采用武汉市及其近郊 1988 年 9 月 Landsat5 TM 数据和 2002 年 7 月的 Landsat7 ETM⁺ 数据。数据的时相是夏季和近夏季, 但有近两个月的时差。第 6 波段用于热场检测, 其余波段用于建筑物、绿地和水体的检测。

1.2 数据处理

1.2.1 几何校正

采用二次多项式将遥感数据向高斯克吕格投影的 1 : 20 万地形图数据做校正。校正的目的是将各波段和各时相数据之间配准, 便于变化检测和空间分析。

1.2.2 辐射处理

辐射处理只对热红外波段数据进行(ETM⁺ 中用低增益波段)。如引言所述, 我们不对第 6 波段数据进行辐射温度反演, 因为我们的目的是了解和分析热场的空间分布和时间演化特征, 不注重热场的绝对温度标定。而在获取各景遥感数据的某一短暂时间内, 在城市区域的有限范围内, 其传感器特性和参数、太阳辐射以及大气环境参数等可以假定为基本均一的(该地区在一景范围内)。但为了保证两个时数据之间的可比性, 而将两个第 6 波段数据分别除

以其各自波段中长江水体的 DN 均值。这样做的假设是长江水体的热性质在空间和时间上是基本稳定的。表 1 列出了研究区内长江及湖泊等水体的 DN 值及其相互比值,说明水体在空间上的热辐射是比较稳定的。事实上,水体因其比热大、热惯量小和对流等原因,其温度在空间上比较稳定。其时间上的差异主要是由太阳辐射量变化及大气条件变化引起

的。为了研究城市下垫面自身状态变化引起的热场变化,用长江水体对数据进行规范化(标准化)处理。具体方法为:在两个 6 波段数据上分别采集基本相同的水体样本(AOI),以其 DN 均值除对应的 6 波段 DN 数据。处理后的数据都各自以长江水体辐射值作为参照基准,较好地消除了时相引起的辐射差异,提高了可对比性。后文称此数据为相对辐射值。

表 1 三种主要水体的 DN 值及其相互比值

年份 ^①	长 江				汉 水				梁 子 湖				mean 汉水 /mean 长江	mean 梁子湖 /mean 长江
	min	max	mean	SDev.	min	max	mean	SDev.	min	max	mean	SDev.		
2002(h)	154.00	163.00	156.49	0.91	157.00	170.00	161.07	1.34	160.00	166.00	162.83	0.79	1.03	1.04
2002(l)	133.00	137.00	135.03	0.63	135.00	141.00	137.19	0.83	137.00	141.00	138.05	0.59	1.02	1.02
1996	128.00	132.00	129.76	0.55	129.00	133.00	130.39	0.57	130.00	134.00	131.97	0.54	1.01	1.02
1988	111.00	115.00	112.70	0.49	109.00	113.00	110.02	0.55	111.00	115.00	112.83	0.57	0.98	1.00

① h 表示 ETM 热红外波段的高增益波段;l 表示其低增益波段。

1.2.3 热场数据等值线图

经过上述处理的第 6 波段数据,可直接用于热场的时空分布和变化分析。鉴于等值线更能表达热场的空间分布和时间变化特征,将两个 6 波段热辐射数据按 0.1 的间隔做成等值线图(插页彩片 9)。

2 下垫面信息提取

2.1 建筑物分布信息提取

建筑物(包括道路)的自动识别在 30 m 分辨率的 TM 影像上很难做到,它一般由包含建筑物、小巷、空地及道路等多种地物在内的混合像元构成。但城市建筑物的综合特征在 TM/ETM3 2 1 真彩色合成图像上较明显,表现在彩色纹理特征和空间布局上。武汉市城区建筑物由淡红、紫红、绛红、灰、灰白及白等几种色调的不同组合为特征,相对周围非建筑物目标而言一般具有较高的亮度。采用目视解译方法将其解译出来,并形成 ArcGIS 的 Coverage 数据,用于后面分析。

2.2 水体分布信息提取

水体在 TM/ETM⁺ 影像上特征较为明显,易于区分。通过对多组彩色合成图像的目视比较,发现武汉市区水体在 4 波段(R)、5 波段(G)、7 波段(B)组合上更易区分。在不同年份图像上采集水体样本,得到 3 个波段 DN 值的分布特征如表 2 所示。

表 2 主要水体 DN 值的范围

波段	1988 年				2002 年			
	min	max	mean	SDev.	min	max	mean	SDev.
4	21	57	33.2	5.6	15	70	44.2	5.3
5	24	91	48.2	7.3	12	97	64.9	10.2
7	15	53	30.5	5.4	7	75	36.6	6.6

用表 2 中 4、5、7 波段的相应均值加减 1.5 倍标准差作为水体的特征区间,即,如果 1988 年和 2002 年的 TM 或 ETM⁺ 数据中各自像元的 DN 值满足 $mean(i) - 1.5 SDev(i) \leq DN(i) \leq mean(i) + 1.5 SDev(i)$ ($i=4, 5, 7$),则 1988 年或 2002 年图像中的该像元为水体。其中 $mean(i)$ 为 i 波段灰度值均值; $SDev(i)$ 为 i 波段灰度值标准差。

进一步对水体专题图(二值图)做众数滤波,以消除孤立的散点噪声。

2.3 绿地分布信息提取

采用广泛使用的 $NDVI$ 指数,即 $NDVI = (TM4 - TM3) / (TM4 + TM3)$ 进行绿地信息提取。

为了使归一化植被指数图简洁并且 1988 年与 2002 年可比,首先将 $NDVI$ 值小于或等于 0 的都赋为 0 值,因为植被的 $NDVI$ 值不会小于或等于 0;然后,将这两个数据层分别除以其相应的均值。这个标准化 $NDVI$ 数据可用于 1988 年与 2002 年之间变化的定量分析。为了方便定性分析和显示醒目,根据已知绿地(植被区)的标准化 $NDVI$ 值,对此数据做二值化分割,将绿地信息提取出来。

热场等值线图与下垫面信息专题图综合表示在插页彩片 9 中。

3 热场及其影响因素的关系分析

3.1 武汉市热场空间分布特征

从插页彩片 9 中可以发现,热场的高值区依次是工业区(如武汉钢铁集团公司、东风武汉轻型汽车公司)、老城区(如江岸路、武胜路、民主路、紫阳路等)。老城区热场值高的主要原因是其建筑物布局

较杂乱,热辐射散发不畅所致。还有一个特点是,沿江两岸的热场值较高,这主要是因为沿江两岸多是老城区地带,非干江水本身热性质。在空间上,汉口、汉阳、武昌三地的热场值并无太大差异。图 1 是从汉口至武昌的热场剖面,可以佐证上述结论。其中,相对辐射值小于或等于 1.0 的部位都是水体。

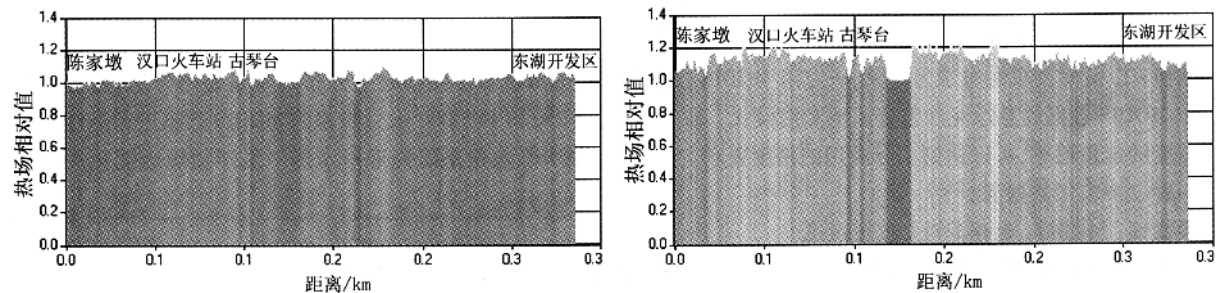


图 1 汉口 - 汉阳 - 武昌一线热场剖面示意图
(左:1988 年热场剖面;右:2002 年热场剖面)

3.2 箱汉市热场时间变化特征

(1)热场绝对值增加。1988 年热场相对辐射最小值为 0,最大值为 1.251 1、平均值为 1.019;2002 年最小值为 0,最大值为 1.370 1,平均值为 1.056。表明 10 余 a 来,武汉城区及其近郊平均温度在提高。

(2)高热场值的范围扩大。从插页彩片 9 中可以看到,相对辐射值大于 1 的区域在 1988 年只局限于工业区、老城区,而且分布比较零散。而在 2002 年则几乎遍布武汉三镇及近郊。

(3)热场的最高值总与高能耗工业区相伴随。如 10 余 a 来,武钢保持为高热辐射区,武汉轻型汽车工业区显示为高热辐射区等。

3.3 热场时空特征的影响因素

热场时空分布及其变化特征明显受下垫面中建筑物、绿地和水体的影响,但各因素的影响程度有差异。

3.3.1 建筑物影响

建筑物是影响热场分布的最重要因素。从插页彩片 9 中可以清楚看出,热场的宏观分布和变化明显呈现与建筑物的分布和变化相一致。其微观影响与建筑物的类型(工业建筑、住宅建筑等)、建筑物的密度(单位面积上的建筑物占地面积)、建筑物的容积率(建筑物占地面积乘楼层数除以总面积)、建筑物材料以及布局等相关,可定量研究其相关关系。本文尚未做此研究。

3.3.2 绿地影响

绿地是仅次于建筑物的影响因素。观测和研究表明,绿色植物对水分和太阳光的吸收与蒸腾散热作用可以使周围气温降低。很多学者研究了 NDVI 万方数据

从统计数值来看,1988 年汉口地区热场均值为 1.037,标准差为 0.021;武昌地区均值为 1.038,标准差为 0.023,略高于汉口。2002 年汉口热场均值为 1.153,标准差为 0.033;武昌地区为 1.148,标准差为 0.035(汉口略高于武昌)。这是由于 10 余 a 间汉口的建筑物增加量明显高于武昌的原因。

与地表温度的关系,基本共识是 NDVI 与地表温度呈负相关。插页彩片 9 的绿地分布也定性地印证了这一点。以龟山为例,由于龟山三国城建筑物的建立,龟山相对 NDVI 均值由 1988 年的 0.986 下降为 2002 年的 0.672,降幅为 31.85%,而相对热辐射均值由 0.997 增加到 1.601,增幅为 6.42%。

3.3.3 水体影响

水体对局部气温有调节作用,但水体对城市温度的调节或影响程度不及建筑物和绿地的。只有当水体的面积和体积足够大时,才能产生可察觉的气温调节作用。由插页彩片 9 可见,在武昌的东湖、沙湖,汉口的东西湖等较大湖泊周围热场值相对较低,而其它较小的湖泊则对热辐射的影响很小。但武汉市作为一个多湖泊的城市,其河流、湖泊一起对气温的调节作用应该是不容忽视的。

4 结论

(1)武汉市作为特大城市,从 1988 ~ 2002 年以来,城区及近郊热场值有明显增加。一些工业区和老城区成为城市中的热岛。为了控制城市发展中升温幅度,需要对城市布局、老城区改造做周密合理地规划,同时大力加强城市绿化建设和保护,并严格保护现有水域的面积和水质。

(2)利用 TM/ETM+ 热波段检测和分析城市宏观热场特征,是一个快速有效的手段。在不能精确反演地表动力学温度的情况下,直接应用原始数据做简单的预处理,可以得到有实用价值的分析结果。

(下转第 56 页)

flectance measured at ground level using a FieldSpec™ Pro JR spectroradiometer. Paired measurements of community characteristics ,including environmental factors ,and spectral reflectance were collected for a range of salt marsh vegetation types on the Chongming Dongtan Natural Reserve ,Shanghai. In total ,53 sample quadrats were collected along three transects within the study site. The spectral data were converted to simulate a 12 – channel bandset of the Compact Airborne Spectrographic Imager (CASI) instrument. The results of the PCA applied to the simulated spectral data identified the bare mudflat ,scirpus mariqueter community ,spartina alterniflora community and phragmites australis community. The vegetation height and cover of the salt marsh communities were found to be most significantly related to variations in spectral reflectance.

Key words : Salt marsh vegetation ; Spectroradiometer ; CASI ; Canopy reflectance ; Indirect ordination

第一作者简介:高占国(1976 –) ,男 ,河北井陉人 ,华东师范大学河口海岸国家重点实验室博士生 ,主要从事景观生态和湿地生态研究。

(责任编辑 :刁淑娟)

=====

(上接第 41 页)

本文所采用的用水体 *DN* 均值除热辐射波段的方法 ,可以提高不同时相和年份热辐射数据之间的可比性。如能利用若干实测地温数据对预处理后的相对热辐射数据进行回归分析 ,预计可进一步得到较为精确的分析结果。

参考文献

[1] Schott J R. Image Processing of Thermal Infrared Images[J]. Photogrammetric Engineering and Remote Sensing , 1989 , 55 (9) :1311 – 1321.
[2] Li Jiahong. Study of Relation between Land – cover Conditions and

Temperature Based on Landsat/TM Data[J]. 遥感技术与应用 , 1998 , 13 (1) :18 – 28.
[3] 柳钦火 ,徐希甯 ,陈家宜. 遥测地表温度与比辐射率的迭代反演方法[J]. 遥感学报 ,1998 , 2 (1) :1 – 8.
[4] Norman J M , Divakarla M , Geol N S. Algorithms for extracting information from remote thermal – IR observations of the earth 's surface[J]. Remote Sens. Environ. , 1995 , 51 :157 – 168.
[5] 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.
[6] 李小文 ,汪骏发 ,王锦地 ,等. 多角度与热红外对地遥感[M]. 北京 :科学出版社 ,2001.

THE DETECTION OF THERMAL FIELD CHANGE IN URBAN AND SUBURBAN AREAS OF WUHAN CITY WITH TM/ETM⁺ DATA AND AN ANALYSIS OF THE AFFECTING FACTORS

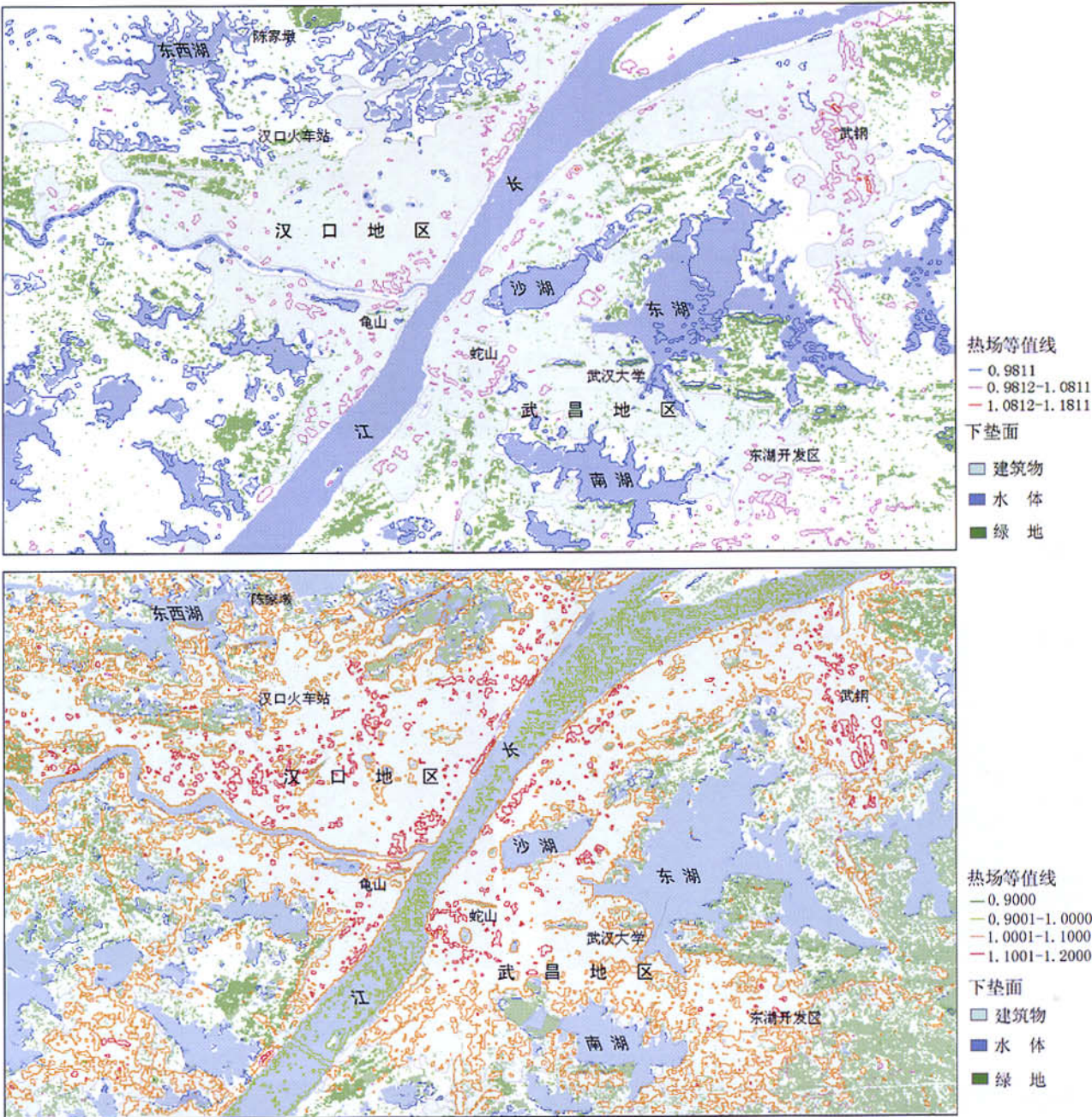
LIU Ji – ping , ZHU Hai – yan
(School of Resources and Environmental Science ,Wuhan University ,Wuhan 430079 , China)

Abstract : The thermal field of urban and suburban areas of Wuhan city was derived from TM/ETM⁺ thermal infrared data ,and the results were qualitatively analyzed. Water bodies have stable and uniform thermal field. By normalizing the thermal infrared bands (*DN*s of thermal infrared band divided by the mean value of water bodies) ,the two bands of 1988 and 2002 become comparable with each other in thermal value. With the other bands of the same data set ,the basic factors affecting the thermal field ,namely buildings ,greenbelts and water bodies ,were identified by visional interpretation or image processing. Contours of the normalized data were calculated for qualitative analysis of the basic affecting factors. The results show that the effects upon the thermal field gradually decrease in order of buildings ,greenbelts and water bodies.

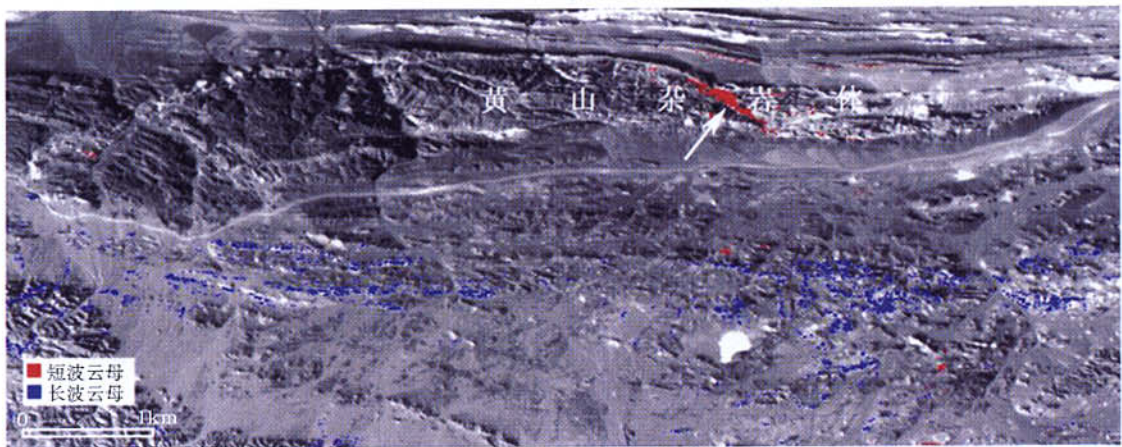
Key words : Wuhan city ; Thermal field change ; Thermal infrared remote sensing

第一作者简介:刘吉平(1957 –) ,男 ,副教授 ,1999 年毕业于中国地质大学地球探测及信息技术专业 ,获博士学位。目前主要从事资源与环境遥感、数字图像处理的教学与科研工作。

(责任编辑 :刁淑娟)



彩片9 武汉市城区及近郊热场分布和下垫面分布图(上:1988年热场及下垫面;下:2002年热场及下垫面)



彩片10 黄山铜镍矿区HyMap成像光谱云母类矿物填图结果
(彩片10见刘圣伟一文)