

文章编号:1004-8227(2003)05-0445-05

武汉市城区热岛效应的遥感研究

张 穗, 何报寅, 杜 耘

(中国科学院测量与地球物理研究所, 湖北 武汉 430077)

摘 要: 随着城市化的迅速发展,城市热岛效应及其所带来的问题对我们日常的生产生活的影响变得日益严重和不可忽视。如何快速、有效地监测城市热场的分布和强度,是解决城市环境问题的迫切需要。采用先进的遥感手段,能够大面积、同步和动态地监测地面热场的分布和变化情况。利用武汉市地区的 LANDSAT7 TM 图像,对于热红外波段遥感图像灰度值和地面温度之间的关系进行了定量的解译,并且采用 IHS 图像复合增强的方法得到了武汉市地面热场分布图,取得了很好的模拟效果。结果显示武汉地区热场的分布具有明显的规律性,区域平均温度的分布由高到低为:旧型工业区-新型工业区-老城区-新城区-郊区;城市地面结构对于区域温度有直接的影响;保护现有的水体和增加绿地的分布是缓解城市热岛效应的有效途径。此外还结合图像分析了热场分布的形成因素。

关键词: 武汉市; 热岛效应; 卫星遥感; IHS 变换

文献标识码:A

城市热岛效应是指当城市发展到一定规模的时候,由于城市下垫面的改变、大气污染以及人工废热的排放等使城市温度明显高于郊区的温度,形成类似高温孤岛的现象。城市规模越大,热岛效应就越明显,热岛的强度也越大^[1,2]。改革开放以来,我国城市化迅速发展,出现了许多世界级的大型城市,如北京、天津、上海、沈阳、武汉、重庆、成都、西安等。在这些大城市中,热岛效应越来越明显,极大地影响着城市环境和人民日常的生产生活,引起了社会的越来越广泛关注。

武汉是全国著名的“火炉”城市之一。气象资料显示,武汉市自 20 世纪 70 年代以来城市气温一直保持着变暖的趋势^[3]。究其原因,独特的自然地理因素固然是一个重要方面,但热岛效应对“火炉”的贡献是显然的。目前,武汉市城市人口已经达到 800 万,由于城市周围地理环境、下垫面因素以及人为因素的影响,热岛效应十分明显。

以往的城市热岛研究主要采用代表路线观测和选点观测相结合的方法,这种方法不可能全面、同步的反映地面的热辐射状况。因此,随着遥感技术的发展,越来越多的学者开始应用遥感图像的热红外波段来研究地面热状况。早期的研究一般利用 AVHRR 气象卫星,观测的密度只有 1 km 一个观测值,但是已经大大的推进了热岛的研究^[2]。对于热岛

效应的遥感研究,已经有不少的研究人员做过相应的尝试^[4-6]。利用遥感图像模拟城市温度的主要思路如下,首先,建立亮温计算模式,将热红外图像的灰度值转变为亮温(辐射温度)数据,再通过一定的回归分析模式,将亮温转化为地面的气温^[7],最后应用图像处理的方法,将图像所表达的热红外信息用符合视觉感受的颜色序列表达出来^[6,8]。在以往的研究中,大多只注重到了其中的一个或两个方面,并没有形成一个完整的研究体系。

本文对 LANDSAT7 +ETM 热红外波段的影像进行了定量解译。并且采用 IHS 色彩变换得到了武汉市城区地面热场分布模拟图^[8,10],直观定量地分析了武汉市热岛效应的状况,并且对热岛效应的成因进行了分析。美国 LANDSAT7 卫星的热红外波段(简称 TM6),地面分辨率达到 60 m×60 m,波长为 10.4~12.5 μm,能够较好的反映出地面的热辐射状况,为下垫面的热场分析,提供了大面积,同步和动态的数据,并且大大的提高了分析精度,为全面分析、研究热量资源和热场分布变化提供了先进的手段。

1 方法

1.1 整体思路

在这一思路中,最重要的是第一步,即怎样将

收稿日期:2002-07-30; 修回日期:2003-04-01

基金项目:中国科学院知识创新工程重大项目(KZCX1-SW-12-1)和中国科学院知识创新工程重要方向项目(KSCK2-SW-110)资助。

作者简介:张 穗(1976~),女,湖北省武汉人,硕士研究生,主要研究方向为 3S 在资源环境中的应用。

图像灰度值转化为亮温值。亮温就是下垫面的辐射温度。研究表明^[1],利用亮温计算模式可以得到 TM6 图像灰度值和地面亮温之间的定量关系:

$$L=0.005\ 631\ 4\ D\ N+0.124 \quad (1)$$

其中, L —下垫面辐射值($\text{mw}\times\text{cm}^{-2}\times\text{Sr}^{-1}\times\mu\text{m}^{-1}$);
 DN —TM6 波段图像的灰度值。

$$T=K_1/[LN(K_2/L+1)] \quad (2)$$

其中, T —亮温 (K); $K_1=1260.56$ (K); $K_2=60.766$ ($\text{mw}\times\text{cm}^{-2}\cdot\text{Sr}^{-1}\cdot\mu\text{m}^{-1}$)。

我们通常所指的气温是指距地面一定高度(一般 1.5 m)的空气温度,而这里的亮温是城市下垫面的辐射温度。因此,还需要采用一定的方法将辐射温度转化为空气温度。有很多的相关研究里,有时就把二者的数值等量化,这是有一定的道理的。北大的范心圻^[2]等人论证了亮温、地温和气温三者之间的密切关系,并且证明,如果只注重区域的温度对比,可以直接使用亮温数据。事实上,亮温的强度是由地物的实际温度(即地温)和地物的比辐射率决定的。二者之间存在如下关系: $T_B=\varepsilon^{1/4} T_E$, T_E 为亮温, T_B 为地温。一般地物的 ε 值在 0.9 左右,可以忽略不计。TM 遥感图像的精度一般是几十米范围,而城市地物分布又比较复杂,因此同一象元内的混合地物的平均比辐射率的计算是相当困难的。

在对地面温度的图象模拟中,采用 IHS 色彩变

换方法。IHS 色彩变换是图像增强显示和信息提取方法中的一种,在色度学中,千变万化的各种颜色都可用红、绿、兰三基色的色值来描述,也可以用人眼的感性变量——亮度、色度和饱和度来描述。这两组变量之间可通过某种数学模型进行相互转换,就称为 IHS 色彩变换^[9,10]。通过色彩变换,不仅可以将热红外波段的遥感信息和分辨率较高的遥感波段相融合,提高热辐射模拟的地面精度,更重要的是可以将热红外信息以符合人眼视觉感受的颜色序列的变化,形象、直观、定量地反映在图像上。

1.2 图象处理方法

主要以 TM6 的高增益波段图象为主,首先对图象进行灰度拉伸,使温度之间的差异更加明显。将灰度拉伸后的图像滤去灰度值低于 85 的部分,将得到的图像作为 H 值参与 IHS 变换。

将相对几何分辨率较高的 TM8 波段的灰度值作为 I 值, TM6 波段的灰度值作为 H 值参与 IHS 色彩变换可以更加清晰地反映下垫面的状况。为了使最低温区与最高温区在变换后颜色不至于混淆(即 H 为 0 和 255 时,色调都是红色),我们未将 TM6 波段的灰度拉伸到 0~255,而是仅拉伸到 0~170。这样,变换后,高温点与低温点在色调上可完全区分开。

附图 1 即为将 TM6、TM7、TM8 三个波段进行



图 1 武汉市地面热场模拟图

Fig.1 Color Simulation of Ground Heat-Field of Wuhan

IHS色彩变换后得到的合成图像。图像中,随着地面辐射温度的升高,颜色序列依次为绿→青→蓝→紫→红→橙→黄。图象中已经标示出了武汉市城市中的重要景观(河流、湖泊)以及对环境温度影响较大的地物特征,并且标注了本文中所选取的五个重要实验区(汉口城区、武昌老城区、武汉钢铁公司、武汉经济开发区和汉口城郊)的平均温度。在将图象进行黑白处理后,图象特征基本保留,黑白图象中,颜色较亮(灰度值较高)的区域反映的地面温度也较高。

LANDSAT7 的 TM6 波段的+ETM 图象,精度达到地面每 60 m×60 m 有一个灰度值,而全色波段 TM8 的地面分辨率达 15 m×15 m。将热红外波段和全色波段的图像融合,可得到 15 m 分辨率的地面热场分布图,对于城市下垫面热辐射的模拟已经可说是相当精确了。图象处理软件使用 PHOTOSHOP6.0, 图象增强软件采用的是 ERDAS IMAGINE8.4。

2 结果与讨论

2.1 结果

本文使用的是 1999 年 12 月 24 日上午九时四十分过境的美国资源卫星 LANDSAT7 的 6、7、8 波段图象,时值武汉的初冬,正是观测热环境污染的最佳时节。因为冬天城市的背景温度较低,空气的流动性相对较小,热岛效应的特征比较明显。从图象上来看,除天兴洲以东等局部地区外,当日武汉市城区上空晴朗少云,地面特征清晰明显,图象干扰比较少。

在进行温度反演之前,对 TM6 波段的灰度图象进行了图象增强处理,将灰度 110~160 之间的部分进行拉伸。然后采用目视判读的方法,找出以下几个有代表性的区域,选取合适的范围,取灰度平均值,根据 Wukelic 的公式进行反演^[7],得到表 1。

表 1 灰度—地温反演表

Tab.1 Relation of Grayscale Value and Ground Temperature

	灰度	辐射量 *	亮温(K)	温度(°C)	地温(°C)
长江水温	118	0.788 5	289.28	16.28	-
汉水入长江口水温	110	0.743 4	285.48	12.96	-
汉口城区	127	0.839 2	293.42	20.42	5.16
武昌老城区	130	0.856 1	294.77	21.77	6.44
武汉经济开发区	137	0.895 5	297.86	24.86	9.37
武汉钢铁公司	157	1.008 1	306.30	33.30	17.38
汉口城郊	110	0.743 4	285.48	12.96	-1.91

*辐射量的单位: $\text{mw} \times \text{cm}^{-2} \cdot \text{Sr}^{-1} \cdot \mu\text{m}^{-1}$

表 2 是由湖北省气象局提供的 1999 年 12 月 24 日当天上午 8 点的气温监测值:

表 2 武汉市 1999 年 12 月 24 日 8 时气温监测数据(°C)

Tab.2 Air Temperature Data of Wuhan in December 24,1999

蔡甸	黄陂	江夏	新州	武汉市(东西湖)
1.2	-1.8	2.8	-2.4	1.6

由表 1 和表 2 的对比可以看出,遥感图象反演所得到的定量数据与监测数据比较接近。如由遥感图象上看,汉口城郊地区平均温度为 -1.91°C ,而监测所得的地面温度为 1.6°C 。二者还是存在着一定的差距,分析原因有以下三点:①热遥感图象的分辨率是 60 m×60 m,因此反演温度为平均值,而气象局的监测温度为点测值,而且监测位置也有差异;②时象上还是略有差别,TM 图的成像时间为早

上 9 时许,而地面监测时间为早上 8 时整;③遥感图象的温度反演公式中取 $\varepsilon=0.9$,而实际状况可能根据地面状况的不同而有细微的差别。

从图象处理后得到的温度模拟图,可以非常直观地看到武汉市冬日早晨的地面温度状况。根据图象,可以总结出以下几点:

(1)图象显示,混凝土、沥青路面的高速公路升温速度快,早晨的温度明显高于背景值很多;工业密集区的地面温度明显高于其他地区,其中武汉经济开发区从图上可以看出清晰的混凝土路面网络;长江上的白沙洲和天星洲边缘由于是裸露沙滩,热容量小,早晨升温最快。

下垫面结构类型的差异会影响小区域的热环境状况。地面材料的热容量、反射性能、地面结构的储热性,蓄水性,都会对环境温度产生直接的影

响^[1]。下垫面的因素包涵很广,不仅是地面结构类型,还应该包括城市地貌对环境温度的影响。实地调查中我们发现,老式的红砖瓦房顶成片的地区在遥感图象上显示处很高的辐射温度,而沥青、混凝土结构的高速公路也可以明显的看出与周边环境有很大的温差,水泥路面次之。

由此可见,下垫面因素是热岛效应形成的一个重要的因素,而且其造成的影响也越来越被人们所重视,如何提高城市下垫面的散热能力,增加城区内部空气的流通性,从而减轻城市热岛的效应,已经成为一个新的课题。

(2)长江水温明显高于汉水水温;江水的水温明显高于湖泊的水温;城市内湖的影像色彩略微偏红,郊区湖泊的影像色彩偏蓝,说明郊区湖泊水温略低于城市内湖,并且湖泊边沿的水温明显高于内部;湖水的升温速度最慢,在图象上呈近暗黑色。

从热场分布图来看,水体和绿地的分布对于城市温度的影响十分明显,由于水体的热容量大,对于周围环境有一定的调节能力。很明显的,汉口城区的水体和绿地分布较少,居民地密度相对较大,而武昌由于有东湖和沙湖的影响,整体温度明显要低于汉口,并且热源集中的地区的分布也不如汉口那样密集,尤其在湖泊水体附近的区域,这种影响尤其明显。湖泊是城市气候的调节器,要想在局部区域中改善气候状况,保护现有的水体面积和增加城市绿地的分布是一个简单而且行之有效的方法。

(3)图象上,武汉市城区地面温度明显高于周边郊区的温度,形成岛屿状的高温区域,界线清晰可辨。可见,与环境地质因素比起来,人类活动产生的影响更加严重。

2.2 几点讨论

从武汉市地面热场模拟图来看,Wuklic的TM6-地温反演公式用于武汉市城市温度的模拟是可行的。但是,由于水体在第六波段(波长10.4~12.5 μm)处有一个强的吸收峰,因此,图象上湖泊均呈较暗的黑色,公式是针对地面的反射亮温进行反演,实际上是地面辐射能量的一种体现,湖水对热红外几乎完全的吸收,使水体反射值接近零,对此公式是不适用的。而TM其他波段的影象对温度的敏感度较低,不适于温度反演的需要。目前水温的遥感监测主要集中在海水水温领域,其主要原因是海水中所含的杂质较多,导致海水的光谱特征比较复杂,同样,长江水由于处于流动状态,而且携带大量的悬浮物质,因而对热红外的反射大大增强

了。长江上的天兴洲的一部分和白沙洲呈现较亮的白色,也不适合于用能量—温度的方式进行反演。这些地方一般是裸露的沙质结构,反射系数极高。不适合于本公式中所采用的 $\epsilon=0.9$ 的情况。除了这两点,其他地面情况都可以包括在本文所采用的方法里,并且结果是可信的。

在遥感影象的处理和实地调查中,我们发现,大面积的红瓦顶的老城区白天的温度明显高于周围的环境温度,在处理后遥感影象上表现出亮红色,表明地面温度相对较高,其机理有待进一步的研究。城市热岛的温度场强度是不均匀的,其分布也与人类的活动和经济发展密切相关,由表1我们可以看出,城市温度场的分布由高到低:旧型工业区—新型工业区—老城区—新城区—郊区。

3 结论

从本次武汉市地面热岛状况调查的情况来看,我们所采取的灰度反演和图象模拟的方法是可行的,而且对于地面温度的反演也十分接近于实际的温度状况。用遥感的方法调查地面热岛状况,无论从方法的成熟度上,还是精度上,都达到了指导实际工作的需要。用此种方法还可以对指定区域地面温度进行大面积的动态监测,从而反映该地区人类活动对于区域热状况的动态影响,或者是不同气候、季相中热岛中心的转移。

在遥感影象的处理和实地调查中,我们发现了武汉市热岛状况的几点特征:

地面材料的热容量、反射性能、地面结构的储热性,蓄水性,都会对环境温度产生直接的影响。比较明显的证明是,沥青、混凝土路面的高速公路,表现出比水泥路面较高的辐射温度。

大面积的红瓦顶的老城区白天的温度明显高于周围的环境温度,在处理后遥感影象上表现出亮红色,其机理有待进一步的研究。

城市热岛的温度场强度的分布是不均匀的,其分布也与人类的活动和经济发展密切相关,武汉市城市温度场的分布由高到低:旧型工业区—新型工业区—老城区—新城区—郊区。

水体及大面积的绿地对于区域温度的调节作用十分明显,是缓解热岛效应的有效途径。

本文中所采用的TM6波段图象分辨率为60m,与TM7、TM8波段的图象融合后,其解析精度达到15m,这已经是目前TM图象所能达到的最大精度。

但是由于 TM6 波段的波谱分辨率有限 (10.4~12.5 μm), 而且其他波段对热信息基本上不敏感, 所以在静态水体 (如湖泊) 的温度反演方面受到很大的限制。而最新的 MODIS 成像光谱虽然地面分辨率方面不如 TM 影象, 然其仅在热红外就分为三个波段, 大大地提高了地面热辐射状况的光谱分辨率, 如果将其与 TM 影象进行融合, 能够大大拓展地面温度反演的区域, 相信这也是地面热辐射状况的遥感调查的新的研究方向。我们也将在这个方面进行进一步的研究。

根据实地调查, 城市热岛分布最重要的决定因素, 是城市地貌结构和材质, 这一点将在其他文章里进一步研究和讨论。

参考文献:

- [1] 赵红旭. 昆明市热岛效应卫星监测研究 [J]. 国土资源遥感, 1999, (4): 29~32.
[2] 范心圻. 我国主要城市热岛现象动态监测研究[A]. 见: 范心圻

- 主编. 环境监测和作物估产的遥感研究论文集[C]. 北京: 北京大学出版社, 1991. 171~189.
[3] 张永芳, 张 敏. 盛夏武汉市局地温度差异与防暑降温之对策 [A]. 见: 梁必骥主编. 自然地理学研究对策[C]. 广州: 中山大学出版社, 1994. 154~161.
[4] 赵俊华. 城市热岛的遥感研究[J]. 城市环境与城市生态, 1994, 7 (4): 41~43.
[5] 唐伶俐, 陈 刚, 戴昌达, 等. 南京市热岛效应的卫星遥感[J]. 国土资源遥感, 1993, (2): 6~9.
[6] 李旭文. 苏南大运河沿线城市热岛现象的卫星遥感分析[J]. 国土资源遥感, 1993, (4): 28~33.
[7] Wuklic G E. Radiometric calibration of landset thematic mapper band[J]. Remote Sensing of Environment, 1989, 28(28): 338~347.
[8] 张海林, 何报寅, 丁国平. 武汉湖泊富营养化遥感调查与评价 [J]. 长江流域资源与环境, 2002, 11(1): 36~39.
[9] 贾永红, 李德仁, 孙家柄, 等. 四种 IHS 变换用于 SAR 与 TM 影象复合的比较[J]. 遥感学报, 1998, 2(2): 103~106.
[10] 江 涛. GIS 支持下的多元信息复合研究[J]. 矿山测量, 1999, (3): 16~18.
[11] 何报寅, 许贵来. 湖北省水资源现状和可持续利用战略对策[J]. 长江流域资源与环境, 2000, 9(2): 207~211.

INVESTIGATION ON HEAT-ISLAND EFFECTION IN WUHAN CITY ZONE BY REMOTE SENSING

ZHANG Sui, HE Bao-yin, DU Yun

(Institute of Geodesy and Geophysics, The Chinese Academy of Sciences, Wuhan 430077, China)

Abstract: With the rapid development of urbanization, problems caused by heat-island influence in big cities have become more and more serious and unneglectful than ever before. It is necessary and useful for city planners and managers to investigate rapidly and effectively the distribution, intension and effective factors of heat-island in these cities. By means of advanced remote sensing, the distribution and change of ground heat field can be monitored synchronously and continuously. In this paper, Wuhan was investigated as an example. A corelation model was built between ground temperature and image brightness of LANDSAT7 TM Band 6, and a map of ground heat field was made by IHS enhance method. Results shows that the heat field of Wuhan presents regular distribution. The areas from higher temperature to lower temperature are old industrial estates, new industrial estates, old city zone, new city zone and the suburb. It is also found that landcover affects directly the upper ground temperature, so heat-island effection may be weakened through protecting the existing water body and increasing the greenbelt of the city. In the end of the paper, several factors influencing the heat field of Wuhan are also analysed.

Key words: Wuhan City; heat-island effection; remote sensing; IHS transform