

基于 RS 与 GIS 的哈尔滨市热岛效应动态变化分析

孔 达¹, 龚文峰¹, 赵惠新¹, 范文义², 冯 欣²

(1. 黑龙江大学 水利电力学院, 哈尔滨 150086, kongda2008@163.com;

2. 东北林业大学 林学院, 哈尔滨 150040)

摘 要: 本文利用遥感 (RS) 和地理信息系统 (GIS) 技术对哈尔滨市不同年代时相的 Landsat TM/ETM+ 热红外遥感数据进行地面亮温反演、正规化和等级划分等处理, 研究城市热岛的时空变化和温度场空间分布规律, 进而揭示城市热岛效应的分布范围和发展趋势。结果表明: 道外区和铁路沿线区域是热岛效应的主要分布地带; 地面亮温等级分布图表明, 市区地面亮温发生以下转变: 特高温 - 高温 - 中温, 热岛效应区域由集中走向分散, 且有所缓解; 植被和水体区域的地表亮温较低, 其边缘亮温更低。对市区热岛效应的动态分析, 可为监测城市化进程和城区的扩展以及城市热环境质量评价和地面热源调查提供准确、丰富的信息。

关键词: 热岛效应; 热红外图像; 地面亮温; 反演

中图分类号: P208

文献标识码: A

文章编号: 0367-6234(2009)03-0198-04

Dynamic change of heat island effect in Harbin city based on RS and GIS

KONG Da¹, GONG Wen-feng¹, ZHAO Hui-xin¹, FAN Wen-yi², FENG Xin²

(1. Water Conservancy and Electric Power Academy, Heilongjiang University, Harbin 150086, China, kongda2008@163.com;

2. School of Forestry, Northeast Forestry University, Harbin, 150040, China)

Abstract: Based on the remote sensing (RS) and geographic information system (GIS), the thermal infrared remote sensing data (Landsat TM/ETM+) of different periods was used to retrieve the ground brightness temperature. The ground brightness temperature was normalized and classified to study the laws of space-time changes and the temperature's spatial distribution as well as the scope and trends of heat island effect. The results show that the heat island effect is mainly distributed in Daowai district and along the railway. Three scale distribution maps of the ground brightness temperature show that the ground brightness temperature of Harbin city changes from the highest to higher and then to the normal; the scope of heat island effect changes from convergence to scatteration and fades a little; the ground brightness temperature of the vegetation and water is low and its verge is lower. The dynamic analysis of heat island effect can provide enough information for the urbanization and urban expansion and as well as for the heat environment assessment and heat resource investigation of the urban.

Key words: heat island effect; thermal infrared imagery; ground brightness temperature; retrieval

随着城市化进程的不断加快,由其引起的城市热岛效应以及对全球气候变暖等问题的研究已引起人们的广泛关注^[1,2]。城市规模越大,热岛效

应就越明显,热岛的强度也越大^[3,4]。典型城市热岛研究方法是利用有限的地面气象站提供的地温观测资料进行。由于有限观测点很难全面地掌握城市地面热岛的空间分布情况^[5],而热红外遥感能有效地探测常温的热辐射差异^[6],并获取大范围的地面温度面状信息。理想的条件是选用不同年代时相的热红外波段来进行研究^[7]。为此,本文以哈尔滨市 1989 年、1998 年的 Landsat TM 和

收稿日期: 2006-03-01.

基金项目: 国家自然科学基金资助项目 (30371192);

教育厅项目 (11531294).

作者简介: 孔 达 (1963—),男,副教授.

2001年的 Landsat ETM +卫星遥感数据为数据来源,应用遥感 (RS)和地理信息系统 (GIS)技术,通过不同时相的热红外图像数据来研究城市热岛效应的变化.

1 研究区域和研究方法

1.1 研究区域

研究区域选在哈尔滨市,经纬度为 (45°25′~45°30′N, 126°20′~126°25′E).

哈尔滨市位于黑龙江省的中南部,地处松嫩平原的东部,境内主要有松花江、阿什河、运粮河、小黄河、马家沟和何家沟等河流.地貌为东部中低山丘陵和西部平原的特征,地形和地势的总趋势是东南高,西北低,自东向西倾斜,其中山地占全市幅员面积的 33.25%,丘陵占 21.43%,平原占 45.32%.全市年平均气温 3.2℃,年平均无霜期 130 d,年降水量在 400~600 mm,积温 2 500~3 100℃,气候条件适宜发展农业生产.资源较丰富,四季分明,区位优势优越,交通发达,是东北亚经济区重要的铁路、公路和航空运输枢纽.

1.2 研究方法

1.2.1 数据来源

本文采用的数据是 1989 年 9 月、1998 年 10 月的 Landsat TM 遥感数据,地面分辨率为 120 m ×120 m,2001 年 9 月的 Landsat ETM +数据,地面分辨率为 60 m ×60 m,还收集到哈尔滨地形图、部分航片和地面调查数据.

1.2.2 数据处理

由于地球自转、大气折射、地形起伏、传感器姿态变化等多种因素的影响,使遥感图像产生辐射失真和几何变形,在使用前必须先进行处理.首先用 ERDAS MAGNE遥感图象处理软件对遥感影像数据进行几何校正、图象增强、合成等处理.利用 1:5 万的地形图选取控制点和采用多项式方法对图像进行几何校正,保证总体误差均控制在一个像元点之内.根据研究区域的边界,对图像进行剪裁.

1.2.3 地面亮温的反演

Landsat 的 6 波段接收的是与地面温度高低相对应的热红外辐射强度.通过 6 波段所接收到的地面各处的热辐射值 (在图像中以灰度值表示)可以求算出对应的地面温度.但卫星在接收地面热红外辐射过程中受到了大气和地面等诸多复杂因素的干扰,因此其准确的温度反演十分复杂^[8].但由于城市热岛研究大多注重的是温度相对强弱的空间分布特点,且城市下垫面辐射温度

与低空 (1.5 m)气温呈显著线性关系,如果只注重区域的温度对比,可以直接使用地面亮温数据^[7].

受到地面湿度和粗糙度等诸多因素的影响,各种土地覆盖类型都没有确定的比辐射率,同一类型地物在不同的区域,其比辐射率是不同的,一般都要进行实地监测.由于本文没有获取各种地类实时的比辐射率,不对其进行纠正,都假设为 1,即下垫面的各种地物均为全辐射体,此情况下反演出来的地面温度仅是地面的亮度温度,有时也称为亮温、辐射温度等.

利用 TM/ETM +热红外亮温计算模式,可得到 TM/ETM +第 6 波段图像灰度值和下垫面像元亮温之间的定量关系^[9].

$$L_b(TM6) = L_{min}(TM6) + ((L_{max} - L_{min}) / 255) DN6.$$

$$Tb = k_2 / Ln(k_1 / L_b + 1).$$

其中: T_b 为地面亮温 (K); L_b 为 6 波段的光谱辐射率; L_{max} 为传感器可探测到的最大辐亮度 (单位: $W \cdot m^{-2} \cdot sr^{-1} \cdot \mu m^{-1}$); L_{min} 为传感器可探测到的最小辐亮度; DN6 为 6 波段的图像灰度值.

对于 Landsat TM5

$$L_{max} = 1.560\ 0 (W \cdot m^{-2} \cdot sr^{-1} \cdot \mu m^{-1});$$

$$L_{min} = 0.123\ 8 (W \cdot m^{-2} \cdot sr^{-1} \cdot \mu m^{-1});$$

$$k_1 = 60.776 (W \cdot m^{-2} \cdot sr^{-1} \cdot \mu m^{-1});$$

$$k_2 = 1\ 260.56\ K$$

对于 Landsat ETM +

$$L_{max} = 17.04 (W \cdot m^{-2} \cdot sr^{-1} \cdot \mu m^{-1});$$

$$L_{min} = 0.0 (W \cdot m^{-2} \cdot sr^{-1} \cdot \mu m^{-1});$$

$$k_1 = 1\ 282.71 (W \cdot m^{-2} \cdot sr^{-1} \cdot \mu m^{-1});$$

$$k_2 = 666.09\ K$$

2 结果与分析

2.1 地面亮温

利用 Landsat TM/ETM +热红外波段计算模式,反演出哈尔滨市 1989 年、1998 年和 2001 年的地面亮温.从反演的图像可以看出 (图 1),地面亮温的最高值主要集中到道外和道里区的部分区域;最低值主要分布在河流、湿地、草地等区域.

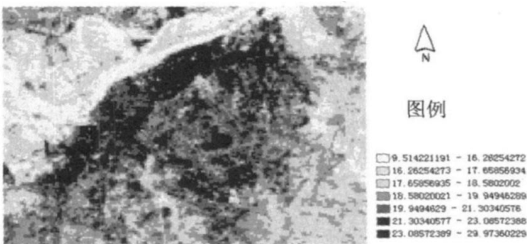


图 1 地面亮温分布图

2.2 地面亮温等级的划分

由于三幅影像的获取时间存在着一定差别,难于用其绝对亮温值来直接进行比较。然而所研究对象主要是地面亮温的空间分布特征,利用不同季相的图像所反演的温度来研究城市热岛效应在时间上的变化,热岛效应主要侧重的是下垫面温度相对强弱的空间分布特征,而季节、气候的变化改变的只是地面亮温的强度(即亮温大小),并不改变地面亮温的空间分布。因此,我们通过对地面亮温进行正规化处理来比较 1989 年、1998 年和 2001 年不同年度地面亮温等级的空间分布情况,进而研究哈尔滨城市热岛格局变化。通过正规化处理,使各自地面亮温分布范围统一到 $[0, 1]$ ^[7]。正规化公式如下:

$$N_i = \frac{T_{si} - T_{\min}}{T_{\max} - T_{\min}}$$

其中: N_i 表示第 i 个像元正规化后的值; T_{si} 为第 i 个像元的绝对亮温值; T_{\min} 表示地面绝对亮温的最小值; T_{\max} 为地面绝对亮温的最大值。

通过标准化处理后,利用密度分割等技术对地面亮温进行等级划分。根据研究需要,本文将正规化结果分为 6 个等级,分别为低温、次中温、中温、次高温、高温和特高温(见图 2, 3, 4)。

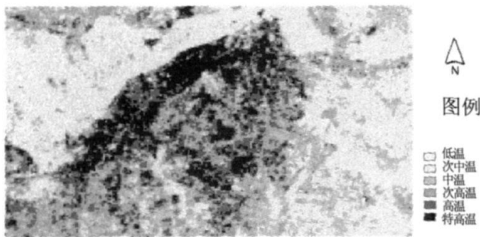


图 2 1989 年地面亮温等级分布图

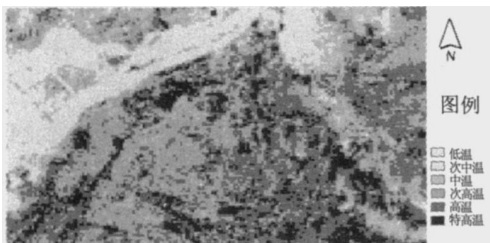


图 3 1998 年地面亮温等级分布图

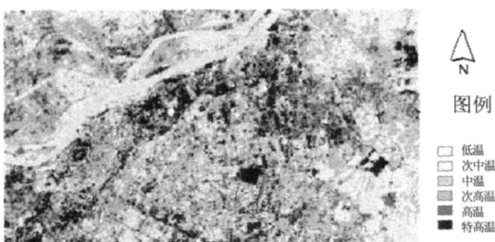


图 4 2001 年地面亮温等级分布图

1989 年的地面亮温等级,特高温首先集中在道外区的北新街、靖宇街、太古街以及道里区的公路大桥、安国街和新阳街等区域,且形成一个大的带状分布区,热岛效应相对比较集中。道外区是一个老的城区,人口相对集中,居民的热源主要来源于煤炭等一些燃烧物,排放的热量比较大,再加上部分工厂的工业热量的排放,这些来自工业生产、日常生活等的大气污染物,使得城市空气中 CO_2 、气溶胶微粒等有害物的浓度增加,增大了吸热能力,加剧城市热岛效应,造成了该区域热岛效应比较严重;其次是香坊区的安埠街一带,主要是该区域有部分的工厂存在,工业热源是该区域城市热岛效应的主要原因;最后,火车站也是一个重要的热岛效应区域,其四周高楼的存在,形成一个近似封闭的区域,高楼和广场之间的多次反射和吸收,形成局部的小气候,外加上大量人员的聚集和流动,该区域的热岛效应比较严重。高温区域和特高温空间分布相似。此时期市区主要是特高温分布为主。

1998 年的地面亮温等级,特高温主要集中在道外区的北新街、靖宇街、太古街等地带,但是和 1989 年相比起来,分布的范围有所减少,热岛效应已经相对的减弱,市区内的热岛效应的空间分布已呈现分散状态。但是,在哈尔滨三环和四环之间以及香坊区增加的比较明显,主要是由于高速公路等建设和铁路线通过,促进沿线地区经济发展,加快其城市化速度建设,造成城市热岛效应的加强。随着城市化的进程的加速,特高温分布区域相对减少,高温分布的区域明显加大,主要向香坊和动力区一带扩展,此时期市区主要以高温分布为主。

2001 年的地面亮温等级,特高温同样也分布在道外区的北新街、靖宇街、太古街等区域一带,但是和 1989 年、1998 年两期的数据相比起来,热岛效应已经有了相对的缓解,分布区域也相对减少了很多,而且已经相当分散。另外,在香坊区出现了一个新的特高温区,分布在一些工业厂矿区域。高温区域也有所分散。此时期市区主要以中温为主,市区内低温分布有所增加,对应的是城市中的水体和植被,其分布处于中温和较高温区,在热红外图像上形成了城市热岛空洞现象。

此外,从 3 幅图像上可以看出,由哈尔滨火车站——王兆屯火车站——香坊火车站——太平桥火车站——哈尔滨火车站以及王兆屯火车站——香坊火车站——平房火车站——王兆屯火车站区域是地面高温、特高温地带,也是市区热岛效应比

较严重的区域。有植被覆盖、水体区域的地面亮温都较低, 而水体的亮温是最低的, 松花江流域就是一个很好的例子, Quattrochi 等^[10]和周红妹等^[11]在分别对亚特兰大等一些美国城市 and 上海市的热岛效应时进行研究时, 也都得出过类似的结论, 可见植被对城市的热岛效应有很重要的影响。

3 结论与讨论

1) 利用不同时相的卫星热红外数据 (Landsat TM/ETM+) 反演的地面温度, 正规化处理和等级划分研究城市热岛的时空变化规律和温度场的分布规律, 能客观、准确地反映城市热岛效应的分布范围、发展趋势。

2) 三幅地面亮温等级图表明, 道外区是城市热岛效应的主要分布区; 市区铁路沿线地带也是热岛效应比较严重的区域。

3) 1989 年的热岛效应区域面积大, 分布区域集中, 市区以特高温为主; 1998 年热岛效应区域有所缓解, 分布相对分散, 市区以高温为主; 2001 年热岛效应区域相当分散, 市区以中温为主。

4) 市区内低温分布的区域, 主要是水体和植被, 处于中温和较高温区, 在热红外图像上形成了城市热岛空洞现象, 其周围的区域受其边缘效应的影响, 也都呈现出较低的温度。

5) 加强对城市热岛效应研究, 特别是定量研究热岛强度与地物表面结构、空间布局和季相变化等之间的关系, 可为改善城市下垫面热力学特性, 降低城市热岛效应, 指导城市绿化建设, 合理城市布局提供决策。

参考文献:

[1] AUER A H. Correlation of land use cover with meteoro-

logical anomalies [J]. Journal of Applied Meteorology, 1978, 17: 636 - 643.

[2] ROTH M, OKE T R, EMERY W J. Satellite derived urban heat islands from three coastal cities and utilization of such data in urban climatology [J]. International Journal of Remote Sensing, 1989, 10 (11): 1699 - 1720.

[3] 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.

[4] 范心圻. 我国主要城市热岛现象动态监测研究 [C] // 见: 范心圻主编. 环境监测和作物估产的遥感研究论文集, 北京: 北京大学出版社, 1991.

[5] OWEN T W, CARLSON T N, GILLIES R R. Assessment of satellite remotely-sensed land cover parameter in quantitatively describing the climate effect of urbanization [J]. International Journal of Remote Sensing, 1998, 19 (9): 1663 - 1681.

[6] 陈述彭, 赵英时. 遥感地学分析 [M]. 北京: 测绘出版社, 1990.

[7] 徐涵秋, 陈本清. 不同时相的遥感热红外图像在研究城市热岛变化中的处理方法 [J]. 遥感技术与应用, 2003, 18 (3): 129 - 133.

[8] 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.

[9] GYANESH C, BRIAN M. Revised Landsat - 5 TM radiometric calibration procedures and postcalibration dynamic ranges [J]. IEEE transaction on Geoscience and Remote Sensing, 2003, 41 (11): 2674 - 2677.

[10] DALE A, QUATTROCHI A. A decision support information system for urban landscape management using thermal infrared data [J]. Photogrammetric engineering remote sensing, 2000, 66 (10): 1195 - 1207.

[11] 周红妹, 周成虎, 葛伟强, 等. 基于遥感和 GIS 的城市热场分布规律研究 [J]. 地理学, 2001, 56 (2): 189 - 196.

(编辑 张 宏)