

基于 Landsat 影像的南京地区热岛效应

谭桂容, 蔡哲, 徐永明 (教育部气象灾害重点实验室南京信息工程大学气象台, 江苏南京 210044)

摘要 以南京地区作为研究区域, 利用 Landsat TM 的热红外波段作数据, 通过单窗算法反演出地表温度, 进而分析地表温度的空间分布差异情况以及由此引起的热岛效应。结果表明, 在南京人口密集的城区存在明显的热岛效应, 而水体和林地的温度比较低, 两者地表温度差异达 10 以上。地表比辐射率与地表真实温度有密切关系, 表明地表覆盖类型在地表热量分布中起重要作用。

关键词 热岛效应; Landsat TM; 地表温度; 单窗算法

中图分类号 S127 文献标识码 A 文章编号 0517 - 6611(2009) 13 - 06050 - 03

Investigation on Heat-island Effect in Nanjing Area by Landsat TM Data

TAN Gui-rong et al (Nanjing University of Information Science & Technology, Ministry of Education Key Laboratory of Meteorological Disasters, Nanjing, Jiangsu 210044)

Abstract In terms of Landsat TM thermal infrared band data, the land surface temperature was calculated with the mono-window algorithm. Then the spatial distribution of the land surface temperature was investigated for heat island effect. The results showed that densely populated urban heat island effect was noticeable in Nanjing with surface temperature about 10 higher than that of water and forestland area. And that actual surface temperature was closely related to surface emissivity which showed surface overlay types play an important role on surface heat distribution.

Key words Heat-island effect; Landsat TM; Land surface temperature; Mono-window algorithm

热岛现象是城市气候中最典型的特征之一。城市的规模越大、都市化程度越高, 城市和郊区的温差就越大, 热岛效应就越明显。热岛效应主要表现在气温的空间分布上, 常规研究主要依靠地面气象站采集的温度数据, 但是由于气象站点的空间分布不均匀和观测条件的限制, 采集到的数据无法全面地反映整个地区的温度变化状况。随着遥感技术的发展, 应用卫星遥感反演技术可以在一定程度上弥补这一不足。

覃志豪等提出了利用 Landsat 热红外波段的数据计算地表温度的单窗算法^[1-3]。Landsat-5 TM6 波段数据适合精确分析区域地表热量的空间差异, 该算法的地表温度演算精度较高, 在参数估计没有误差时, 地表温度平均误差小于 0.4^[1]。因此笔者使用单窗算法, 利用 Landsat TM 遥感数据演算出地表温度, 进而分析地表温度的空间分布差异情况以及由此造成的热岛效应, 并初步分析其可能的成因, 为改善人民生活环境提供决策支持。

1 研究区域概况及数据来源

南京地处长江中下游的宁镇丘陵山区, 全市总面积 6 516 km², 其中市区 976 km²。南京属亚热带湿润气候, 四季分明、雨水充沛、光能资源充足, 年平均温度 15.6, 最高气温 43 (1934 年 7 月 13 日), 最低气温 - 16.9 (1955 年 1 月 6 日)。

遥感数据为 2006 年 5 月 4 日 Landsat 5 采集到的南京地区的 TM 图像, 包括 TM 1~5 和 7, 以及 TM6 共 7 个波段数据。

由成像当天的 MODIS 大气产品 Mod 07 数据得到当日南京地区的大气水分含量, 为 2.30 g/cm², 近地表大气温度为 294.23 K。

2 研究方法

2.1 单窗算法

覃志豪等根据热辐射传输方程, 利用 Landsat TM6 热红外波段数据, 推导出单窗算法演算地表温度。

单窗算法主要依据热辐射传输方程, 根据 TM6 遥感探测器所观测到的热辐射亮度方程, 考虑大气的垂直差异对大气

向上和向下辐射亮度的影响, 再利用 Taylor 展开式展开, 最后得到单窗算法的公式:

$$T_s = \{67.3554(C + D + 1) + 0.5414(C + D) + 0.4586\} / (T_6 - DT_a) / C \quad (1)$$

式中, T_s 为地表温度(单位 K); T_6 为 TM6 遥感图像的亮度温度(单位 K); T_a 为大气平均作用温度(单位 K); C 和 D 为中间变量, 具体计算公式为:

$$C = \quad (2)$$

$$D = (1 - \epsilon) / [1 + (1 - \epsilon)] \quad (3)$$

式中, ϵ 为地表比辐射率; τ 为大气透射率。利用单窗算法计算地表温度, 首先需要得到 Landsat TM6 波段的亮度温度, 另外, 还需要知道 3 个参数: 地表比辐射率、大气透射率和大气平均作用温度。

2.2 亮度温度计算

亮度温度的计算分为 2 个步骤:

(1) 对 TM6 波段数据进行辐射定标。根据 Landsat 的官方资料, 利用以下公式计算 Landsat TM6 波段的辐射亮度^[4]:

$$L = G_{rescale} \times Q_{cal} + B_{rescale} \quad (4)$$

式中, L 为辐射亮度(单位 $W(m^2 \cdot sr \cdot \mu m)$); Q_{cal} 为 TM6 波段图像的 DN 值; $G_{rescale}$ 和 $B_{rescale}$ 分别为辐射亮度的增益量和偏移量, 在 Landsat 的官方资料中可以得到这 2 个数据。

(2) 求出辐射亮度后可以直接利用 Planck 公式计算亮度温度, 也可以用如下公式近似计算获得^[4]:

$$T_6 = \frac{K_2}{\ln\left(\frac{K_1}{L} + 1\right)} \quad (5)$$

式中, T_6 为 TM6 的像元亮度温度(单位 K); K_1 、 K_2 为发射前预设的常量, 对于 Landsat 5 卫星, $K_1 = 607.76$ K、 $K_2 = 1 260.56$ K。

2.3 地表比辐射率计算

地表比辐射率主要取决于地表的物质结构和传感器的波段区间。地球表面不同地区的地表结构非常复杂, 从卫星像元的尺度来看, 地物类型大致可以分为 3 类: 水面、城镇和自然表面。水面结构单一, 在热波段范围内的比辐射率很高, 接近于黑体; 城镇包括城市和乡村, 主要由各种建筑表面(水体、砖瓦等建筑材料)、道路和绿化植被组成; 自然表面主要是指各种天然陆地表面、林地和田

基金项目 吉林省气象局基金项目资助。

作者简介 谭桂容(1970 -), 女, 湖南祁东人, 副研究员, 从事短期气候异常及其预测研究。

收稿日期 2009-02-23

地等,也可以简单的看作是裸土和植被。

目前常用的计算地表比辐射率的方法有2种:一种是根据NDM值与比辐射率之间的关系,利用经验公式进行计算。根据Van de Giend & Ove的经验公式^[5],当地表的NDM值在0.157~0.727之间时,地表比辐射率可以利用NDM值近似计算:

$$= 1.0094 + 0.0471n(\text{NDM}) \quad (6)$$

另外一种方法是混合像元分解,也就是将组成地表的像元看成是由不同类型地物构成的混合像元,计算植被在混合像元中所占的比例,然后计算出地表比辐射率。

该研究采用大气校正的TM多光谱波段数据,对水体直接设定比辐射率,对非水体地物进行混合像元分解计算比辐射率。

水体表面和陆地表面相比,性质单一,可以认为是纯像元,首先利用归一化水分指数(NDWI),把水体从地物中提取出来。对于Landsat TM而言,归一化水分指数可以表示为:

$$\text{NDWI} = \frac{2 - 5}{2 + 5} \quad (7)$$

式中, 2 和 5 分别为TM2绿波段和TM5短波红外波段的反射率。

对图像进行交互式判读,确定水体的NDWI阈值为0.05,利用二值化操作提取出水体,并对水体的比辐射率赋值0.986。

然后利用归一化植被指数(NDVI)计算陆面的地表比辐射率。NDVI对植被背景的影响较为敏感,NDVI值的大小可以反映出地表植被覆盖的情况。NDVI值越大,地表越接近完全的植被叶冠覆盖;反之,则地表越接近完全裸土。对于Landsat TM而言,NDVI可以用以下公式进行计算:

$$\text{NDVI} = \frac{4 - 3}{4 + 3} \quad (8)$$

式中, 4 和 3 分别为TM4近红外波段和TM3可见光红波段的反射率。

根据NDM的值计算植被覆盖度,也就是计算混合像元中植被所占到地表的比例,通常用以下公式进行计算:

$$pv = \frac{\text{NDM} - \text{NDM}_m}{\text{NDM}_v - \text{NDM}_m} \quad (9)$$

式中, pv 为植被覆盖度; NDM_v 代表完全被植被所覆盖的像元的NDM值,即纯植被像元的NDM值; NDM_m 代表裸露地表(土壤或者建筑表面)覆盖区域的NDM值,即无植被覆盖像元的NDM值。

Sobriro等假定地表是由裸土和植被构成的,对于每个像元^[6-7]:当 $\text{NDM} < 0.2$ 时,该像元被认为完全由裸土覆盖,此处该像元的地表发射率取建筑表面的典型反射值0.963;

当 $\text{NDM} > 0.5$ 时,该像元就被认为完全由植被覆盖,则此时该像元的地表发射率以植被的典型发射率赋值0.983;

当 $0.2 < \text{NDM} < 0.5$ 时,该像元被认为是由裸土和植被组成的混合像元,其地表发射率计算公式如下:

$$= pv \times v + m(1 - pv) + d \quad (10)$$

式中, m 为地表比辐射率; v 为植被的比辐射率; m 为建筑物的比辐射率; pv 为植被覆盖度; d 为地表几何分布和内部散射效应,对于水平地表,该项可以忽略,但对于非均质和粗

糙地表,该项必须适当考虑,南京地区地势平坦,忽略此项。

经过计算,得到地表比辐射率值(图1)。

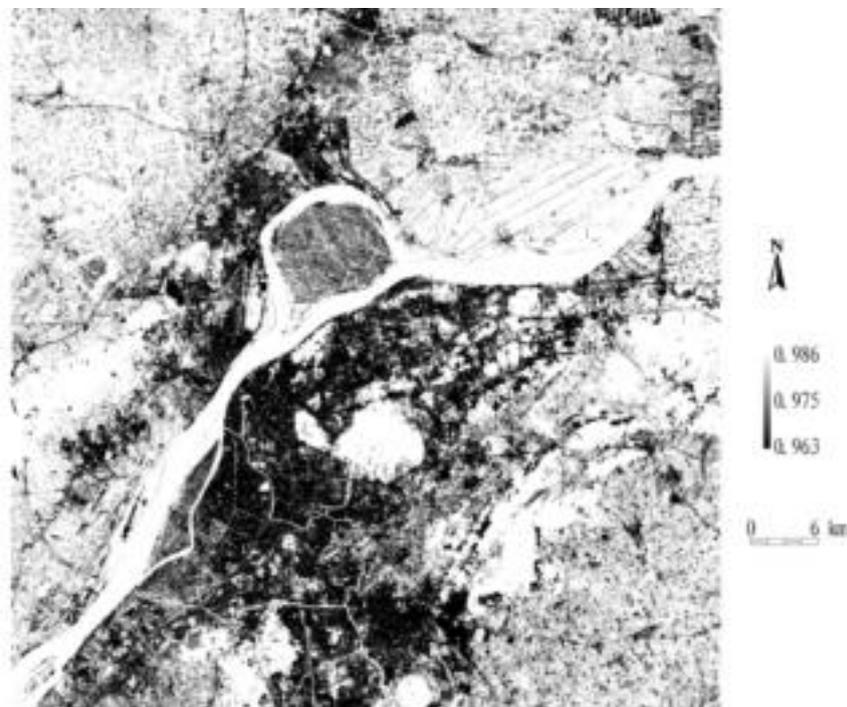


图1 南京地区比辐射率分布

Fig.1 The distribution of emissivity in Nanjing Area

2.4 大气参数的计算 单窗算法计算地表温度需要2个大气参数:大气平均作用温度和大气透射率。大气是由多种气体混合组成的气体及悬浮其中的液态和固态杂质所组成。大气中的水汽含量虽然不多,但却是热红外遥感中的一个最重要的影响因素。大气透射率的变化主要取决于大气水分含量的动态变化,大气中的其他因素因其动态变化不大而对大气透射率的变化没有显著影响。大气平均作用温度主要取决于大气剖面气温分布和大气水分含量。在标准大气状态下(天空晴朗、没有涡旋作用),大气平均作用温度是地面附近温度的线性函数。

由于研究区域位于中纬度且成像时间为5月,此时南京地区大气剖面进入高温时期,因此采用中纬度夏季高温标准大气剖面参数的关系式来计算这2个参数^[8]:

$$T_a = 25.9396 + 0.88045 T_0 \quad (11)$$

$$\epsilon_6 = 1.031412 - 0.11536 w \quad (12)$$

式中, T_0 为近地表大气温度(单位K); T_a 为大气平均作用温度(单位K); w 为大气水分含量(单位g/cm)。计算出2006年5月4日南京地区大气平均作用温度 $T_a = 284.99$ K, 大气透射率 $\epsilon_6 = 0.77$ 。

3 结果与分析

利用遥感图像计算得到亮度温度和比辐射率,结合大气平均作用温度和大气透射率,计算出地表温度(图2)。由图2可见,南京地区地表温度呈现出阶梯状分布,城区温度最高,大致在31℃以上,最高温度达到46℃;城市周边植被覆盖地区温度次之,大致在25~31℃;水体温度最低,一般在25℃以下,最低温度为18℃。最低和最高温度相差28℃。这表明南京城区部分地表温度较其他地区地表温度偏高,有明显的城市热岛现象。

图3中标号所在地区为南京主要的热岛区域,温度一般都在35℃以上:火车站附近,包括建宁路、南京火车站、中央门车站、长途东站一线;南京南站及周边地区;南京西站及周边地区。其中,建宁路是连接南京西站、南京火车站和中央门车站的主干道,经常出现交通堵塞的情况。而车站是客

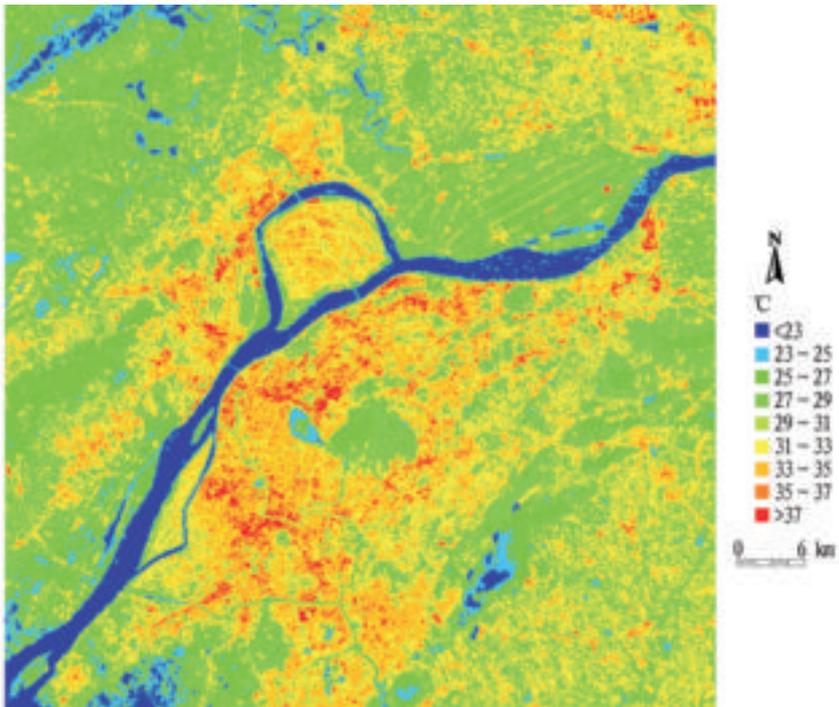


图2 2006年5月4日南京地区地表温度分布

Fig 2 The distribution of land surface temperature in Nanjing Area on May 4th of 2006

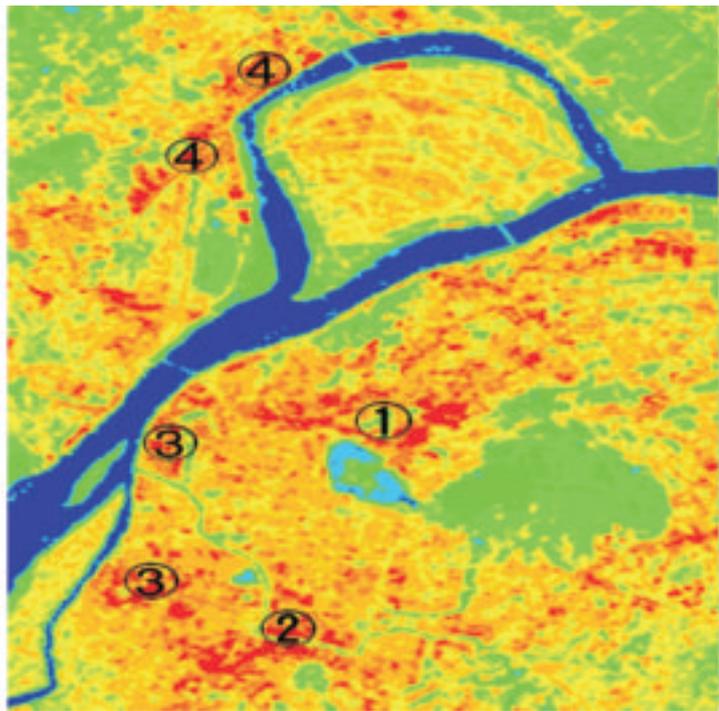


图3 南京地区热岛分布

Fig 3 Distribution of heat island in Nanjing Area

流的集散地,往往一天二十四小时都人群拥挤,会产生大量的热量,并且过往车辆繁多,汽车也会排放出大量的温室气体,使得车站附近形成了南京最大的热岛。秦淮河、夫子庙一带,包括夫子庙秦淮风景区、中华门长途汽车站以及南京南站,这里是南京主要的旅游观光带,同时也是重要的交通枢纽地带。每天有无数的游客来这里游览,产生大量的人为热;景区内部的下垫面构成以砖瓦为主,比热小,经太阳照射后,升温很快。人为热、温室气体、交通工具排放出的热量以及建筑物本身吸收的辐射,使得在这些地方容易产生高温。河西新城以及沿江一带,这些地方是南京最近发展比较快的地区,主要是新兴的商业区和居民区,缺少植被覆盖,大量的人工建筑物使得地表温度也比较高。在江北大厂区一带有南京钢铁公司、扬子石化集团、南京化工等众多的工业厂房,在工业生产过程中会释放大量的热量,温室气体含量高,而在运行过程中机器本身也会产生热量,由此构成了南京的工业热岛。

与城市热岛现象相反的是,水体和植被的温度比较低,尤其是水体温度。因为水体有良好的热惯性,随辐射能的变化温度改变的比较缓慢,如长江温度一般在22左右,同时

长江中流动的江水也给长江沿岸上空带来大量的水汽,使得长江沿岸大部分地区的温度也比其他地区的温度要低一些。而在植被覆盖度比较高的地方,如林地和农田,地表温度一般在27以下。在紫金山、幕府山、栖霞山、汤山、老山和牛首山一带,地表有大量植被覆盖,虽然这些地方也有很多游客,人为产生的热量也比较多,但是地表温度相对较低。在农村地区,地表有农作物覆盖,温度也比较低。

为了能对城区不同下垫面覆盖类型和热场分布进行分析,在地表温度图上沿长江、湖南路、紫金山一线做一个剖面(图4),提取出了剖面上的温度信息,得到剖面上的温度分布图(图5)。

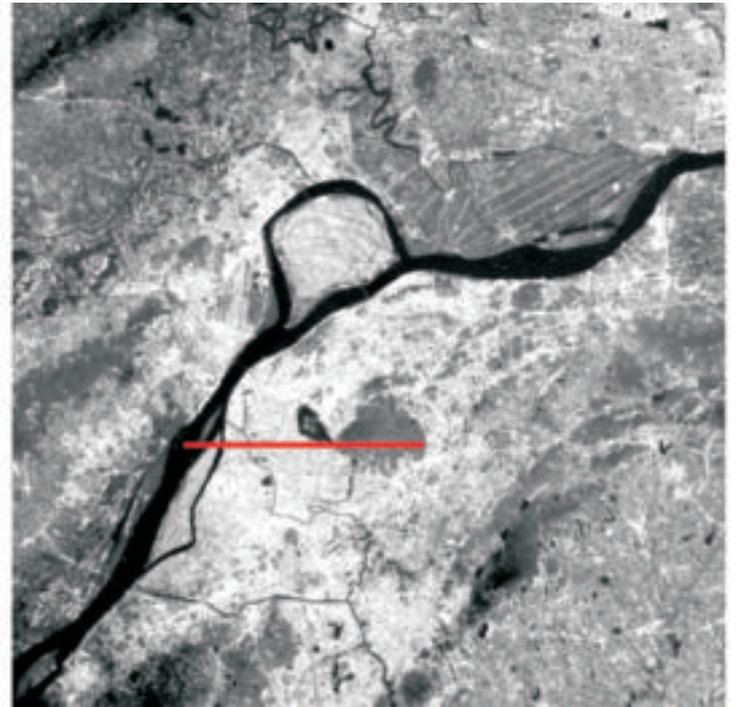


图4 温度剖面位置(红线部分)

Fig 4 The profile position of temperature (the red line)

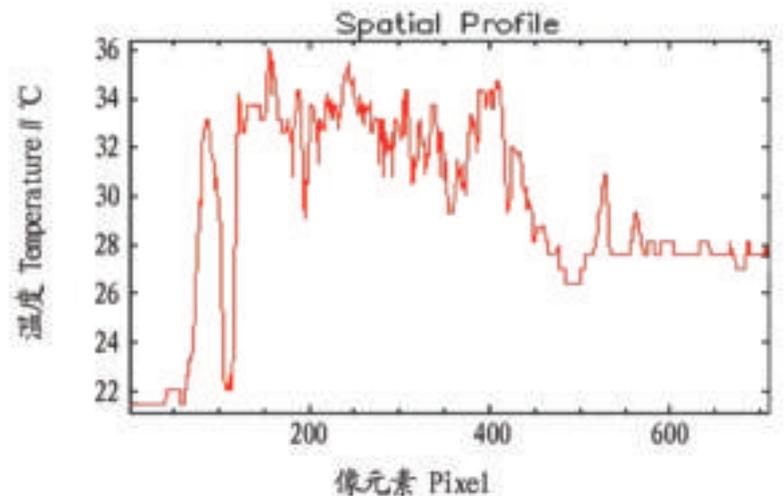


图5 剖面温度分析

Fig 5 The profile temperature analysis

由图4、5可见,温度最低的部分为长江,也就是水体部分,温度在22左右;最高温度出现在湖南路中山路一带,也就是城市的商业区和居民区,这里是城市的繁华地带,植被覆盖量最少,人工建筑比较多,平均温度超过了32,比水体温度大约高出10;而紫金山一带的温度介于前两者的温度之间,大致在28左右,紫金山植物茂盛,植被是主要的地表覆盖类型。城市的下垫面在白天吸收大量的热量,夜晚又会散发到大气中,导致城市中大气温度进一步升高,从而加剧了热岛现象^[9]。从剖面图来看,剖面温度变化幅度大,变化频率快,说明在城市中,地表温度由于下垫面情况不同,受到绿地、水体、道路、水泥、建筑和人口密度等多种因素的影响,表现出很大的跳跃性。

是1987年;1957年的大雪最多,其次为1987年;暴雪最多的年份是1957年,其次是1977年。1984年1月18日,长江中下游的13个基准/基本站观测到了24 h降雪量不小于30 mm的特大暴雪,单站最大降雪量达49.7 mm,该日的降雪为合肥等站有记录以来的单日最大降雪。特大暴雪偏多的年份还有1989和1998年,分别有10和8个站·日出现了特大暴雪。

4 结论

(1) 近现代的水平能见度观测基本以人工观测为主,故此造成雪天(尤其是中雪以上等级的降雪和有大风的降雪)的能见度观测误差较大。该研究的降雪强度划分标准不考虑能见度因素,仅以12 h和24 h降雪量为依据。在确定雪日时,剔除了难以估计降雪量的雨夹雪和阵性雨夹雪日。

(2) 我国地形条件错综复杂,积雪分布的不均匀性与高山-低地系统的关系极为密切,降雪的分布受地形的影响也十分显著。我国年平均降雪日数超过10 d的区域主要有北疆、东北大部、华北西部和北部以及青藏高原东部,超过30 d的主要位于北疆、东北的北部与东部以及青藏高原东部,只有高原和高山地区的年平均降雪日数超过了60 d。

(3) 我国小雪和中雪的多发地区均为新疆北部、东北北部与东部、华北北部以及青藏高原东部。大雪主要集中在小兴安岭、长白山脉、天山、阿尔泰山、祁连山、青藏高原东部和喜马拉雅山脉。

(4) 我国暴雪的高发区是北疆天山和阿尔泰山、长白山

和辽东半岛、青藏高原东部和喜马拉雅山脉以及太行山脉和黄淮平原。长白山天池是观测到暴雪最多的台站,平均每年观测到10.8 d。江西东部与北部、浙江中部、江苏南部、安徽中部和河南南部出现小雪和中雪的次数并不多,均是大-暴雪的高发区。

(5) 我国降雪的季节分布规律是:降雪主要集中于11月~次年4月,其中小雪和特大暴雪以1月最多,中雪以2月最多,大雪和暴雪以3月最多。

(6) 我国降雪的多年变化规律是:1955~1967年度我国降雪处于少雪的负位相,1968~1994年基本为多雪的正位相,1995~2005又为少雪的负位相。

参考文献

- [1] 康志明,罗金秀,郭文华,等.2005年10月青藏高原特大暴雪成因分析[J].气象,2007,33(8):60-67.
- [2] 阿衣夏木·尼亚孜,孔期,杨贵名.2005年11月哈密暴雪天气过程的诊断分析[J].气象,2007,33(6):67-74.
- [3] 黄海波,徐海容.新疆一次秋季暴雪天气的诊断分析[J].高原气象,2007,26(3):624-629.
- [4] 中国气象局监测网络司.地面气象电码手册[M].北京:气象出版社,2003:18-19.
- [5] 周淑贞,张如一,张超.气象学与气候学[M].3版.北京:高等教育出版社,1997:74.
- [6] 四川省质量技术监督局.天气术语 四川省地方标准DB51/T580-2006[S].北京:中国标准出版社,2006.
- [7] 向毓意,达桑,许燕.那曲地区严重雪灾的对比分析[J].西藏科技,1999,83(1):38-41.
- [8] 魏凤英.现代气候统计诊断预测技术[M].北京:气象出版社,1999:45-63.

(上接第6052页)

4 总结

利用Landsat TM热红外波段数据,采用单窗算法反演地表温度,计算出的地表温度比亮度温度更接近地表真实温度,认为单窗算法反演地表温度是可行的。该研究结果表明,南京地区城区温度最高,植被温度次之,水体温度最低,其温度分布集中在22、28和34℃,呈现出阶梯状分布的特点。城区热岛效应显著的地区主要分布在车站、工业区以及大型商业区,这与城市的下垫面情况、人为热、温室气体的排放有关;而水体和植被对城市地表温度的空间分布起着重要的调节作用,能有效地缓解热岛效应。地表温度与比辐射率具有良好的反相关关系,比辐射率又与地表植被覆盖度有关,说明城市中大片的植被覆盖可以缓解热岛效应。

在城市中,人为热源受人类活动的支配,随时间、水平空间和垂直高度都有十分明显的变化^[10],因此在今后的城市热岛研究中应考虑热量分布随高度的变化对热岛效应的影响。同时,虽然Landsat影像的空间分辨率比较高,但是其时间分辨率相对较低,今后可以和其他多时像的遥感数据如NOAA AVHRR、TERRA ASTER等相结合,采用多种算法反演城市地表温度,并结合更多气象站点观测资料研究

城市中的热岛现象。在今后的城市建设中,有关部门应多关注城市绿化建设,城市绿化水平的提高,可以减轻热岛效应,同时也可以改善人民的居住环境和生态环境,为子孙后代造福。

参考文献

- [1] 覃志豪,ZHANG MH,ARNON KARNELI,等.用陆地卫星TM6数据演算地表温度的单窗算法[J].地理学报,2000,56(4):456-466.
- [2] 覃志豪,LI WJ,ZHANG MH,等.单窗算法的大气参数估计方法[J].国土资源遥感,2003(2):37-43.
- [3] 覃志豪,李文娟,徐斌,等.陆地卫星TM6波段范围内地表比辐射率的估计[J].国土资源遥感,2004(3):28-41.
- [4] CHANDER G,MARKHAM B.Revised Landsat-5 TM Radiometric Calibration Procedures and Post calibration Dynamic Ranges[J].IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing,2003,41(11):2674-2677.
- [5] VAN DE GRIND A A,OWE M.On the relationship between thermal emissivity and the normalized difference vegetation index for natural surfaces[J].International Journal of Remote Sensing,1993,14(6):1119-1131.
- [6] SOBRINO J A,JIMENEZ MUNOZ J C,PACINI L.Land surface temperature retrieval fromLANDSAT TM5[J].Remote Sensing of Environment,2004,90:434-440.
- [7] SOBRINO J A,RAISSOUN N,LI Z L.A comparative study of land surface emissivity retrieval from NOAA data[J].Remote Sensing of Environment,2001,75:256-266.
- [8] 刘三超,张万昌.张掖绿洲城市热效应的遥感研究[J].国土资源遥感,2003(4):17-21.
- [9] 肖荣波,欧阳志云,李伟峰,等.城市热岛时空特征及其影响因素[J].气象科学,2007,27(2):230-236.
- [10] 蒋维楣,陈燕.人为热对城市边界层结构影响研究[J].大气科学,2007,31(1):37-47.