

# 北京地区城市热岛特性的卫星遥感

范天锡 潘钟跃

(卫星气象中心)

## 一、前言

城市工业、商业、交通运输业的高速发展和居民住宅的高度集中，使城市范围内形成了特有的城市气候，这种气候以热岛现象为主要特征。其形成的原因，一方面由于城市特有的下垫面特性；另一方面由于城市具有丰富的热源。研究城市热岛的具体特征，不仅是城市气候研究的重要内容，而且对现有城市的合理改造和新建城市的综合规划也将起到重要作用。近几十年来，由于城市大气污染日益严重，许多国家对城市热岛效应和城市其他气象现象进行了广泛的研究。我国对城市热岛的研究很早就开始了，1970年底到1971年中，北京市科协组织过一次对北京市热岛的全面观测<sup>[1]</sup>，地质部航空遥测大队也曾用机载红外仪器对北京市进行过观测。但类似这样的观测，消耗大量的人力物力，很难经常进行。

气象卫星观测时次多，分辨率高，范围广，特别是具有辐射资料，十分有利于城市热岛特征的研究。国外从70年代以来利用卫星遥感，在研究热岛分布、强弱变化、形成条件等方面做了大量工作。本文是利用卫星气象中心接收的美国NOAA卫星资料，对北京市热岛特征进行研究的一个尝试。

## 二、资料处理方法

美国NOAA卫星为双星组网，每天有4次观测资料。其改进的甚高分辨率辐射计(AVHRR)具有5个通道，波长范围分别为0.58—0.68, 0.725—1.1, 3.55—3.93,

10.3—11.3, 和11.5—12.5μm，每秒有6条扫描线，每条扫描线有2048个扫描点，星下点空间分辨率为1.1km，热红外通道的噪声等效温差为0.12K。我们使用的资料是AVHRR 1B数据集<sup>[2]</sup>。

资料处理工作是在IBM 4381计算机上实现的，整个处理过程的基本步骤如图1所示。

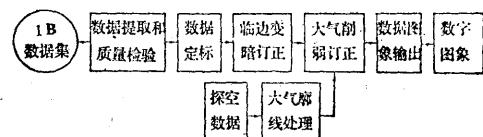


图1 资料处理流程

首先，我们按照指定区域中心点的经纬度值，寻找其所在的扫描线、点序号。然后提取中心点周围一定范围内所有扫描点的信息，这些信息包括：太阳天顶角，定标系数，地理经纬度，以及第4通道的测量计数值。通过数据定标，把卫星测量计数值I转换为辐射值R，单位是mW/(m<sup>2</sup>·sr·cm<sup>-1</sup>)。定标公式为：

$$R = AI + B \quad (1)$$

式中A和B为定标系数。

根据普朗克定律，R和亮温T<sub>B</sub>可以相互换算，

$$T_B = \frac{c_1 \nu}{\lg \left( \frac{c_2 \nu^3}{R} + 1 \right)} \quad (2)$$

其中c<sub>1</sub>和c<sub>2</sub>为常数，c<sub>1</sub>=1.1910659×

$10^{-5}$ ,  $c_2 = 1.438833$ ,  $\nu$  是通道的中心波数。

由于扫描角不同, 地表辐射所受到的消弱亦不同, 若换算成天顶所接收的辐射, 要进行临边变暗订正。如图 2 所示, 卫星天顶角  $\theta$  为:

$$\theta = \sin^{-1} \left( \frac{r+h}{r} \sin \sigma \right) \quad (3)$$

式中  $r$  是地球半径,  $h$  是卫星高度,  $\sigma$  是观测点的卫星扫描角。临边变暗订正的订正量  $\Delta T$  由经验公式求出:

$$\Delta T = A_1 + A_2 (\sec \theta - 1) + A_3 T_B (\sec \theta - 1) \quad (4)$$

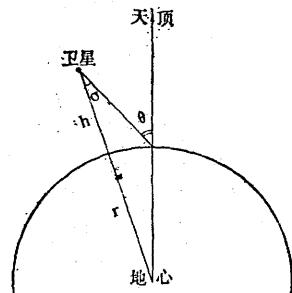


图 2

其中  $A_1$ 、 $A_2$ 、 $A_3$  是回归系数, 我们由 400 条大气廓线通过数字模拟计算求出。于是临边变暗订正后的温度为:

$$T_{BL} = T_B + \Delta T \quad (5)$$

根据辐射传递方程, 天顶接收的辐射为:

$$R_{BL} = B(T_{BS}) \tau(p_s) + \int_{\tau(p_s)}^1 B[T(p)] d\tau(p) \quad (6)$$

式中,  $B(T_{BS})$  是表面亮温为  $T_{BS}$  时的普朗克辐射,  $\tau(p)$  是从压力为  $p$  的大气层到大气外 ( $p=0$ ) 的大气透过率,  $B[T(p)]$  是大气温度为  $T(p)$  时的普朗克辐射,  $p_s$  是表面气压。

在红外窗区, 大气吸收的主要因素是水汽吸收。我们使用依据 LOWTRAN 5 作出

的大气透过率计算程序来作大气削弱订正。

在计算中, 把表面 ( $p=1000\text{hPa}$ ) 到大气顶部 ( $p=0.1\text{hPa}$ ) 划分为 40 层, 并假定每个薄层中大气是均匀的, 每层温度和水汽混合比, 由无线电探空的标准层和特性层数据经过内插和外推得到。温度  $T(p)$  内插公式为:

$$T(p) = T(p_{i-1}') + \frac{T(p_i') - T(p_{i-1}')}{\lg(p_i'/p_{i-1}')} \cdot \lg(p/p_{i-1}'). \quad (7)$$

式中的  $p_i'$  和  $p_{i-1}'$  分别为在  $p$  层上下探空数据的气压。由于无线电探空仪一般只能达到 50hPa 左右的高度, 50hPa 以上的数据由外推产生, 外推经验公式为:

$$T(p) = C_0 + \sum_{j=1}^6 C_j T_j \quad (8)$$



图 3 北京地区 1985 年 9 月 24 日地表温度分布图

$L = 23.0-24.0^\circ\text{C}$   $P = 27.0-28.0^\circ\text{C}$   $T = 31.0-32.0^\circ\text{C}$   
 $M = 24.0-25.0^\circ\text{C}$   $Q = 28.0-29.0^\circ\text{C}$   $U = 32.0-33.0^\circ\text{C}$   
 $N = 25.0-26.0^\circ\text{C}$   $R = 29.0-30.0^\circ\text{C}$   $V = 33.0-34.0^\circ\text{C}$   
 $O = 26.0-27.0^\circ\text{C}$   $S = 30.0-31.0^\circ\text{C}$   $W = 34.0-35.0^\circ\text{C}$

式中,  $C$  为回归系数,  $T_j$  为 40 层中第 35、30、26、24、20、16 层 (相应于 700、500、300、200、100、50hPa) 的温度。水汽混合

比  $w(p)$ ，在低于 100hPa 的高度，由探空数据内插产生，内插公式类似于（7）式，在高于 100hPa 高度赋  $w(p) = 0.001$ 。

当得到了  $T(p)$ 、 $\tau(p)$  后，通过（6）式，可以由  $T_{BL}$  计算出大气修正后的  $T_{BS}$ 。

最后，我们打印输出  $T_{BS}$  数字图象（见图 3）。图中每个字符表示一个扫描点覆盖范围内的平均温度，温度区间是 1℃。图象中的经纬度网格是通过判识第 1、2 通道数字

图象中湖泊、水库等地标点，对地理位置进行修正后作出的。

### 三、结果分析

我们处理了 1985 年 9 月 24 日、1986 年 3 月 31 日和 1986 年 8 月 28 日共三次 NOAA 卫星的观测资料，根据输出相应温度数字图象，绘出地表温度等值线图（见图 4）。图 4 (a)、(b)、(c) 分别为 1986 年 3 月 31 日、8 月 28 日和 1985 年 9 月 24 日地表温度等

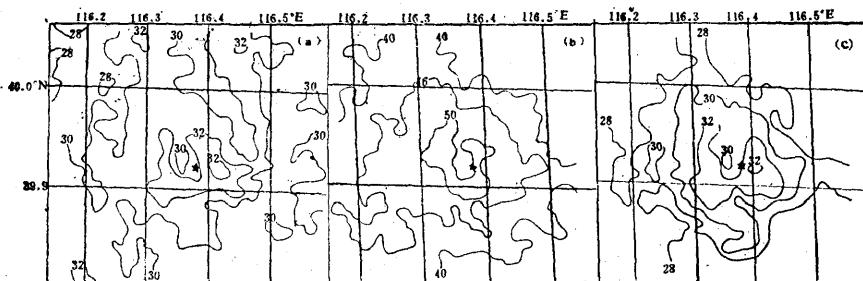


图 4 北京地区卫星观测地表温度分布 (°C)

值线。卫星通过北京上空的时间都在北京时间 14 时 25 分左右。以上经处理的卫星观测

资料可以大致代表春、夏、秋三季北京白天热岛的情况。北京各气象台站下午 2 时的地

附表 北京地区各气象站观测和卫星观测温度 单位 (°C)

日期	1985年9月24日					1986年3月31日					1986年8月28日				
	$T_1$	$T_2$	$T_3$	$T_2 - T_1$	$T_2 - T_3$	$T_1$	$T_2$	$T_3$	$T_2 - T_1$	$T_2 - T_3$	$T_1$	$T_2$	$T_3$	$T_2 - T_1$	$T_2 - T_3$
怀柔	18.0	29.7	27.5	11.7	+2.2	19.5	32.5	25.5	13.0	7.0	30.9	49.7	41.5	18.8	8.2
平谷	18.0	25.0	25.5	7.0	-0.5	18.2	32.2	29.5	14.0	2.7	30.3	49.1	40.5	18.8	8.6
密云	17.9	28.8	28.5	10.9	+0.3	18.6	33.5	29.5	14.9	4.0	30.6	46.5	40.5	15.9	6.0
门头沟斋堂						17.0	34.6	26.5	17.6	8.1	31.8	49.9	36.5	18.1	13.4
丰台	18.0	31.9	29.5	13.9	+2.4	19.3	35.1	30.5	15.8	4.6	30.8	38.2	47.5	7.4	-9.3
门头沟	19.4	28.6	29.5	9.2	-0.9	18.6	34.1	32.5	15.5	1.6					
大兴	18.5	29.7	26.5	11.2	+3.2	19.4	35.1	29.5	15.7	5.6	30.8	48.5	40.5	17.7	8.0
观象台	18.7	27.8	31.5	9.1	-3.7	19.7	32.5	27.5	12.8	5.0	31.5	45.8	48.5	14.3	-2.7
房山	19.5	32.1	28.5	12.6	+3.6	18.7	37.9	29.5	19.2	8.4	30.4	44.7	41.5	14.3	3.2
海淀	19.1	26.5	30.5	7.4	-4.0	18.3	32.8	29.5	14.5	3.3	31.6	46.3	47.5	14.7	-1.2
昌平	18.8	30.4	27.5	11.6	+2.9	19.4	34.4	30.5	15.0	3.9	30.4	48.8	44.5	18.5	4.4
石景山	19.0	27.0	28.5	8.0	-1.5	19.1	35.0	29.5	15.9	5.5	30.8	49.0	45.5	18.2	3.5
朝阳区	18.5	27.6	28.5	9.1	-0.9	19.7	27.2	30.5	7.5	-3.3	31.0	39.1	42.5	8.1	-3.4
顺义	19.0	27.0	28.5	8.0	-1.5	18.8	36.4	27.5	17.6	8.9	30.2	38.6	42.5	8.4	-3.9
房山霞云岭	17.4	27.0	21.5	9.6	+5.5	16.6	35.7	22.5	19.1	13.2	30.5	38.5	38.5	8.0	0.0
通县	18.0	27.9	29.5	9.9	-1.6	18.9	36.5	31.5	17.6	5.0	30.5	48.7	42.5	18.2	6.2
平均	18.5	28.5	28.1	10.0	+0.4	18.7	34.1	28.9	15.4	5.2	30.8	45.4	42.7	14.6	2.7

注： $T_1$ —气温； $T_2$ —地表温度； $T_3$ —卫星探测温度。

面观测结果和卫星测量结果列于附表（卫星观测温度取 $1^{\circ}\text{C}$ 区间的中值）。

从附表可以看出：在8、9月份，卫星观测温度与地表温度比较接近，而3月31日地表温度比卫星观测温度平均高出 $5.2^{\circ}\text{C}$ ，这可能是由于地表辐射率不同所造成。

从卫星和地面观测结果的分析，可以发现北京地区地表温度有下列特征：

(1) 在北京城区春夏秋三季都出现了范围广、温度高的热岛，且形状与城市建设规模基本一致。城区中部有温度略低一些的区域，处于城市中部北海、中南海一带，它反映植被和水面对热岛有较强的缓解作用。

(2) 热岛强度（即热岛温度与周围环境温度的差值），8月28日，9月24日和3月31日分别为 $9.5^{\circ}\text{C}$ 、 $4.1^{\circ}\text{C}$ 和 $2.5^{\circ}\text{C}$ 。夏季热岛强度最大，秋季次之，春季较小。

(3) 9月24日和3月31日的北京气温大致相同，太阳天顶角分别为 $50.0^{\circ}$ 和 $46.5^{\circ}$ ，也相差不大，而地表温度特征有很大区别：第一，9月24日高温区主要出现于城镇，且与城镇大小密切相关。而3月31日除城镇外，其他地域也出现了大片的高温区；第二，这两天城市内地表温度，从图上看基本一致，而城外地区的地表温度3月31日却普遍高于9月24日；第三、郊区地表温度9月24日比较均匀，而3月31日相比之下不均匀；第四，地表温度与气温的平均差值，3月31日超过了 $15^{\circ}\text{C}$ ，而9月24日只有 $10^{\circ}\text{C}$ 左右。这些特点反映北京郊区春季植被少，土壤干燥，表面特性差别大，某些表面热容量很小，与城市表面相似。而秋季郊区植被覆盖率高，表面热容量大，表面温度较低且均匀。

(4) 北京西面、北面的山区温度很不均匀，有的地方表面温度也很高。这是由于山区表面受地形的影响，特性复杂，且太阳照射角也有很大区别。

#### 四、总结

本文用NOAA卫星AVHRR资料显示了北京地区春、夏、秋三个季节白天晴空条件下的热岛特征，表明卫星遥感是研究城市热岛的有效手段。然而，卫星通过热红外波段探测取得的是地表辐射温度，地表温度的热岛特征与地面气温是有所不同的。气温热岛强度的季节变化是冬季强，夏季弱，春秋介于二者之间；日变化是夜晚强于白天<sup>[3]</sup>。而地表温度的热岛强度则是白天大于夜间，夏季白天大于冬季白天<sup>[4]</sup>。地表温度更能反映下垫面的辐射特性。用卫星遥感研究热岛的主要缺点是受云的影响，只能取得晴空的资料。

本文是用卫星资料对北京市热岛特征作定量分析的一次尝试，仅使用了3次白天的观测资料。要取得北京地区热岛特征的变化规律，需要积累和分析更多的资料。同时，在云检测和大气削弱订正等处理方法上尚待进一步研究和改进。

#### 参考文献

- [1] 周明煜、曲绍厚、李玉英、宋锡铭，北京地区热岛和热岛环流特征，环境科学，1980年，第5期。
- [2] 范天锡、郭俊茹，AVHRR 1B数据集格式和使用方法，气象，1986年，第10期。
- [3] 徐兆生、周树秀，北京城市环境和热岛，城市气候与城市规划，科学出版社，1985年。
- [4] F. M. Vukovich, An analysis of the ground temperature and reflectivity pattern about St. Louis, Missouri, using HCMM satellite data, J. Clim.-Appl. meteor., 22. 4, 560—571, 1983.

#### 更正

《气象》第13卷第6期第43页右侧第23行  
 $\frac{\partial v}{\partial y} > 0$  应为  $\frac{\partial v}{\partial z} > 0$ ；第24行  $\frac{\partial u}{\partial y} < 0 \dots$  应为  $\frac{\partial v}{\partial z} < 0 \dots$