

天津市城市热岛效应的综合性研究*

孙奕敏 边海

(天津市气象科学研究所)

提 要

近几年,我们采用较先进的仪器设备,进行了天津市城市热岛效应的综合性探测和红外线航空遥感测量。并对地面和低空城市热岛强度、厚度和结构进行了分析。结果表明,白天低空热岛强度比地面热岛强度强,并有冷湖现象;在城市内,热岛是由一些小热岛群组成;我们还用能量平衡模式对城市热岛的结构进行了研究。

一、引 言

近代,由于科学技术和生产力迅速发展,城市人口密集,能源燃料倍增,大气污染日益严重,下垫面特性发生巨大变化,形成城市湿度和风速变小,温度升高,结果出现城市热岛。这既影响生态平衡,也给人民的健康带来危害。故引起国内外学者的高度关注,进行研究,并发表了许多科学论文^[1-5]。但多限于地面城市热岛的研究,对低空三维结构的城市热岛的研究还不广泛,特别是用红外航空遥感技术和模拟计算的方法更少。我们对上述方法都进行了尝试,并开展综合性探讨。

由于城市热岛存在,一方面会造成大气污染的危害,使酷夏季节出现城市高温的灾害性天气。另外,则有利于缺水城市的降水形成;可减少冬季城市居民消费于取暖所用的燃料;能减少城市霜冻日数,使春来早、秋去迟,有利于绿化,小菜田花圃可提前播种,延长生长期。总之,应变害为利发展生产,造福于人民。达到更大的经济效益、环境效益和社会效益的统一。所以,我们采用多种手段研究热岛的结构、分析它的特点、探讨它的变化规律。

二、地面城市热岛特征

1. 地面城市热岛强度的历年变化

根据1958—1985年的地面气温资料,把强度的逐年变化分为两个时期:1958—1980年和1981—1985年,分析得出它们的强度变化趋势一致(见表1、图1),冬季最强、平均为 1.2°C ,秋季为 0.9°C ,春、夏季较弱、只有 $0.4-0.5^{\circ}\text{C}$ 。近6年来强度的递增率很快,1981—1985年(市、郊区各取1个代表站平均)的平均递增率是 $0.017^{\circ}\text{C}/\text{年}$,其中冬季的

* 本文于1986年12月30日收到,1987年6月15日收到最后修改稿。

递增率是 $0.05^{\circ}\text{C}/\text{季}$ 。显然,这与冬季能源燃料倍增有关。另外,从1980年和1984年(取市区5个点、郊区4个点平均)的两年观测资料,同样得出,冬、秋季的热岛最强,春夏季较弱,强度的递增率是 $0.06^{\circ}\text{C}/\text{年}$ 为更快,从表1来看,城乡温差仍逐渐增大,这显然是因为市区的建设迅速发展所造成。

表1 天津城市热岛强度 $\Delta T(^{\circ}\text{C})$ 递增率($^{\circ}\text{C}/\text{年}$)变化

平均点	$\Delta T(^{\circ}\text{C})$ 年份	季节				平均
		春	夏	秋	冬	
城乡各取一个代表点	1958—1980	0.4	0.4	0.8	1.0	0.7
	1981—1985	0.5	0.5	0.9	1.2	0.8
城乡分别取5个和4个代表点	1980	0.4	0.9	1.2	1.2	0.9
	1984	0.6	1.0	1.3	1.6	1.2

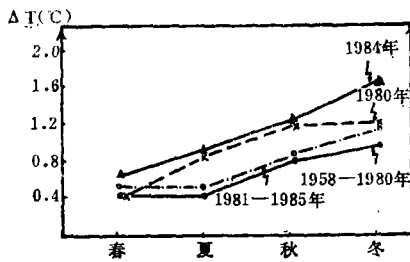


图1 天津市地面城市热岛强度 $\Delta T(^{\circ}\text{C})$ 的递增率($^{\circ}\text{C}/\text{年}$)变化

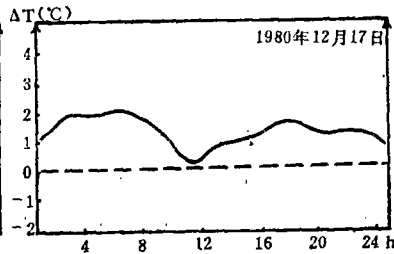


图2 天津市地面热岛强度 $\Delta T(^{\circ}\text{C})$ 的日变化

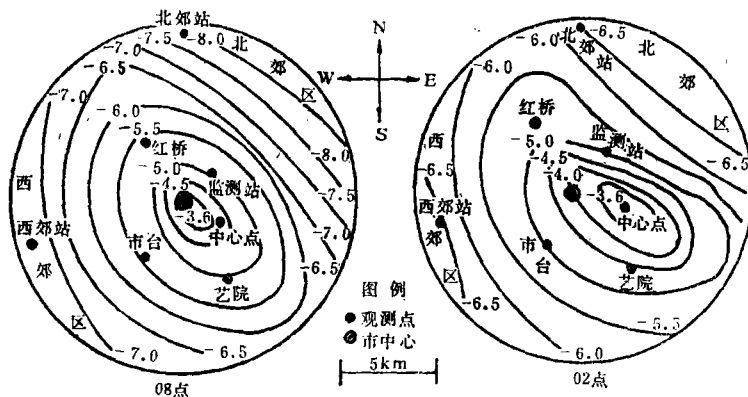


图3 天津市、郊区1980年12月15—19日(晴、天气稳定)2时和8时地面平均气温分布

2. 地面城市热岛强度日变化

1) 1980年1年的观测资料,热岛强度 $\Delta T(^{\circ}\text{C})$ 的平均值,早、晚、夜为 $0.9-1.0^{\circ}\text{C}$,中午多为 -0.3°C 的“冷湖”¹⁾。

2) 1980年12月17日(见图2)也观测到热岛强度晚上和夜间最强,其值为 $1.7-$

¹⁾ 早是05,06,07,08时,晚是17,18,19,20时,夜是23,24,01,02时,中午是11,12,13,14时的4次观测的各个平均值。

2.0°C,中午较弱。

3) 1984年6月15—21日(见表2)热岛强度平均值:8时为0.57°C,14时0.07°C,20时0.67°C,23时0.77°C;12月15—20日的热岛强度平均值是:8时0.37°C,14时为-0.34°C,20时是1.33°C。这两个月的城乡气温差值,夜晚大、中午也有冷湖。

4) 1980年12月15—29日地面气温平均分布(见图3),2时市区气温比郊区高2.9°C,8时比郊区高3.5°C。

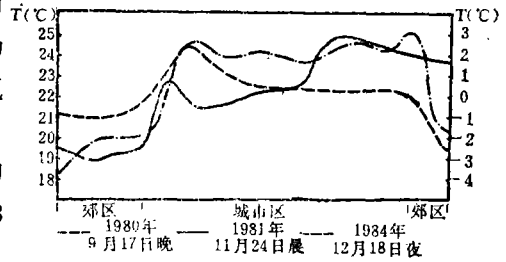


图4 天津市热岛强度剖面观测

3. 地面城市热岛强度剖面观测(见图4)

用汽车在1980年9月17日8时30分、1981年11月24日6—7时、1984年12月18日22时穿越市区观测,分别获得市中心比郊区气温高3.0—3.5°C,5.8°C和6.9°C。

总之,地面热岛强度的特点是:历年平均值为0.7—1.2°C,三次剖面观测到最大强度为3.5°C,5.8°C和6.9°C,历年的强度递增率为0.017—0.06°C/年,冬秋季强、夏季最弱,早(08时)、晚(20时)、夜(02时)最强,中午14时弱、还有“冷湖”现象。

表2 1984年6、12月市、郊区平均风、温差的时空变化*

差值 高度(m)	6月 15—21日		08		14		20		23	
	$\Delta\bar{u}$	$\Delta\bar{T}$	$\Delta\bar{u}$	$\Delta\bar{T}$	$\Delta\bar{u}$	$\Delta\bar{T}$	$\Delta\bar{u}$	$\Delta\bar{T}$	$\Delta\bar{u}$	$\Delta\bar{T}$
地面	-0.9	0.57	0.9	0.07	0.80	0.67	-0.6	0.77		
50	-0.03	0.33	-0.13	0.43	1.20	0.37	-0.57	0.20		
100	0.33	-0.10	-0.17	3.00	1.57	0.63	0.10	0.20		
200	-0.07	-0.33	0.73	-0.40	3.10		1.43	-0.40		
300	0.83	-0.33	1.90	-0.03	2.63	-0.53	0.57	-0.83		
400	1.17	-0.93	1.37	-1.53	1.40	0.03	3.00	-0.47		
500	-0.13	-0.63	1.40	-2.07	0.13	0.10	1.20	-1.00		
600	0.07	-0.67	(3.60)	-1.93	0.10	0.43	-0.27	-1.03		

差值 高度(m)	12月 15—20日		02		08		14		20	
	$\Delta\bar{u}$	$\Delta\bar{T}$	$\Delta\bar{u}$	$\Delta\bar{T}$	$\Delta\bar{u}$	$\Delta\bar{T}$	$\Delta\bar{u}$	$\Delta\bar{T}$	$\Delta\bar{u}$	$\Delta\bar{T}$
地面				0.37				-0.34		1.33
50	0.10	-0.15	1.65	0.52	0.6	-0.20	0.25	-0.01		
100	1.00	0.08	1.05	0.20	-0.3	0.77	-0.05	0.19		
200	1.00	0.03	1.45	-0.07	0.2	0.11	1.25	0.50		
300	0.30	0.35	0.05	0.10	1.30	0.30	-1.70	0.55		
400	0.75	0.25	0.85	0.05	0.55	0.42	0.05	0.23		
500	2.75	0.40	0.45	0.16	-0.10	0.49	-1.40	0.63		
600	0.40	0.80	0.85	0.15	0.30	0.89	2.85	0.90		

* ① $\Delta T(^{\circ}\text{C})$ 为正表示平均气温市区高于郊区。

② $\Delta u(\text{m/s})$ 为正表示平均风速市区小于郊区。

三、红外航空遥感下垫面城市热岛特征^[6]

1. 红外热图象景观结构类型

按下垫面辐射温度场的温度高低分三类:

1) 高温型;这类下垫面目标区,是耗能多、热源强度高、工厂集中、街道网密,对周围环境影响大,属强热岛型。

2) 常温型;这类目标区,一般耗煤较少,人工热源强度低,如居民、商业、小公园等。

3) 昼夜交错型;此类特点是热力状况随昼夜变化。如水面、大公园,白天常呈冷色调,夜间呈暖色调,其变化主要受下垫面物质的比热大小所控制。

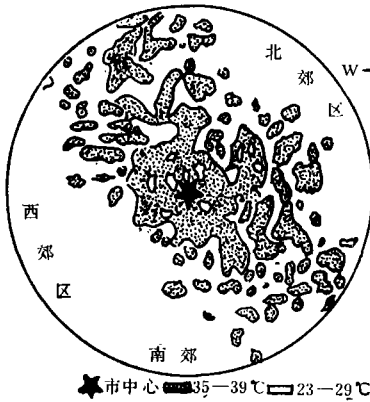


图5 1980年5月10日早计算机打印红外遥感下垫面温度场——城市热岛分布

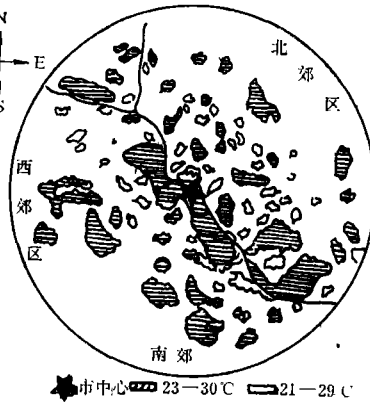


图6 1980年9月6日晚直接转绘红外遥感下垫面温度场——城市热岛分布

2. 红外遥感城市热岛强度、形状、大小的特点(见图5-6)。

1) 整个建城区清楚呈现为“城市热岛”,形状、走向、位置与建城区一致。

2) 城市热岛中又包括许多大小不同、形状各异、强度有别的小热岛群,它们的大小、强弱和位置与商业、学校、工业、居民、公园、地表性质及能源消耗多少都密切相关。

3) 红外遥感城市热岛强度大、呈峰状、1980年9月6日热图象显示出,市区多为28—30°C、郊区为18—21°C,有65个小热岛,强度都比周围高3—5°C,有的高7°C。1980年5月10日市区共有60多个小热岛,强度多为4—6°C。有的比郊区高8°C。

四、低空城市热岛垂直结构特征

本节主要分析市区上空城市热岛的强度、高度、临界风速和热岛模式等特点。

城市上空各层高度上的温度比郊区同一高度上的温度、冬季平均高0.5°C(见表2,图7—8)夏季平均高0.56°C,最大温差可达1—2°C。

低空热岛存在时,市区上空各层风速小于郊区为0.5—3 m/s(见表2),而上下各层的

风速多为 3 m/s 左右,很少达到 5—6 m/s, 故认为形成低空城市热岛的临界风速为 5 m/s。

1984 年 6 月 18 日和 12 月 15 日(图 9), 在 500 m 高度下, 各层热岛强度特强, 夏季平均为 1°C, 冬季可达 1—1.5°C。

热岛顶高夏季平均为 700 m, 上限可达 800—900 m, 冬季平均高度为 270 m, 最高为 600 m。低空城市热岛高度日变化明显, 夏季从 8 时到 17—20 时, 以 80 m/h 的上升速度逐渐升高, 23 时明显下降。冬季热岛高度变化不明显。

夏季白天城市上空有时比贴地面的热岛强度还强; 冬、夏季都有贴地面的“冷湖”现象, 但这种交叉现象 12 月比 6 月多, 这可能是因楼房顶上常出现薄薄的逆温层之故。

综上所述, 低空城市热岛模式是, 晴天少云, 天气稳定; 上下各层风速为 3 m/s 左右, 临界风速为 5 m/s; 温度高于郊区, 风速小于郊区; 热岛高度夏季比冬季高, 夏季一般为 500 m, 最高可达 900 m, 高度日变化冬季不明显。夏季从 8—17 时以 80 m/h 的速度上升, 然后下降。城市中心上空是辐合上升的暖空气, 到热岛顶部开始辐散, 这就是低空热岛环流模式。

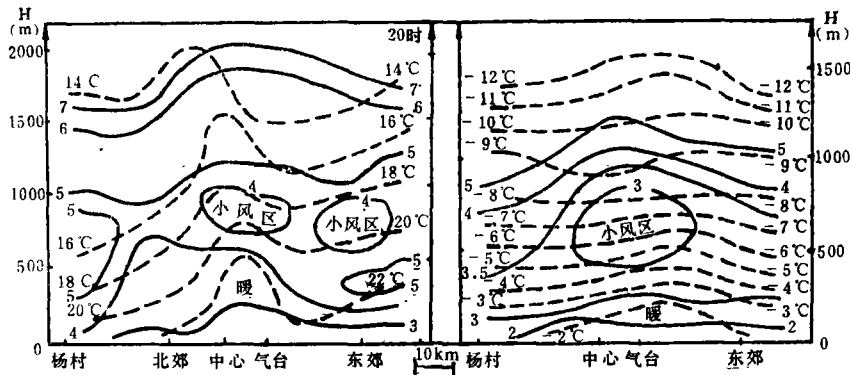


图 7 1984 年 6 月 16—24 日市、郊区上空风、温平均分布 (实线—等风速线, 虚线—等温线)

图 8 1984 年 12 月 15—20 日市、郊区上空风、温平均分布 (实线—等风速线, 虚线—等温线)

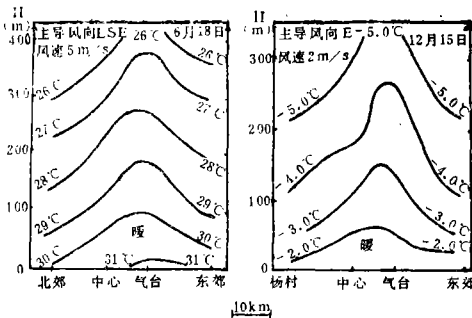


图 9 1984 年 6 月 18 日 15 时 51 分至 16 点 29 分和 12 月 15 日 10 时至 11 时实测天津上空热岛模式

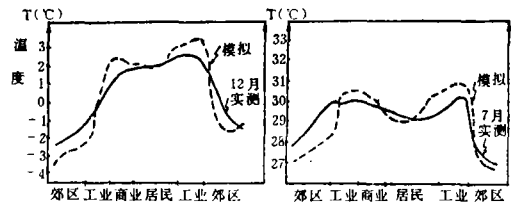


图 10 1984 年 12 月 18 日 22 点和 7 月 6 日 22 点的剖面实测与模拟天津市主导风轴上地面气温分布

五、地面城市热岛的数值模拟

本文利用能量平衡方程,在晴天少云小风的天气条件下,对天津市四季夜间的地面城市热岛进行了模拟。能量平衡方程为^[7,8]:

$$HR = HT + HQ + HS - HA - HM \quad (1)$$

方程右边的各项取输送出近地面层时为正,反之为负。式中各项的物理意义及表达式如下:

$$\text{净长波辐射: } HR = -0.3 e \cdot \sigma (T_0 + 273)^4 \quad (2)$$

$$\text{显热通量: } HT = \frac{\rho c_p K}{Z_2 - Z_0} (T_2 + \Gamma_d Z_2 - T_0) \quad (3)$$

$$\text{潜热通量: } HQ = -\frac{\rho L K}{Z_2 - Z_0} (q_2 - q_0) \quad (4)$$

$$\text{土壤热通量: } HS = -\frac{K_s}{d} (T_d - T_0) \quad (5)$$

$$\text{平流热通量: } HA = -\rho c_p U_s \alpha [T_0(n) - T_0(n-1)] \quad (6)$$

$$\text{人为热排放: } HM = RM(n) \quad (7)$$

这里, T_0 为模拟地面温度; T_2, q_2 为 z_2 高度的温度和比湿; T_d, K_s 为土壤温度和热传导系数其值见文献[8]; e 是地面比辐射率; σ 为斯蒂芬-玻尔兹曼常数; ρ, c_p, L 分别为空气密度、定压比热、蒸发潜热; z_0, q_0 和 U_s 为地面粗糙度, 比湿、风速; K 为湍流交换系数; 括号中的 n 表示网格数。各参数值见表 3。

表 3 模式输入参数值

季 节	$T_2(^{\circ}\text{C})$	$u_2(\text{m/s})$	q (%)	$T_d(^{\circ}\text{C})$	城市 $u_s(\text{m/s})$	郊区 $u_s(\text{m/s})$
夏季	30.0	4.0	10	31.0	2.5	2.5
冬季	0.0	6.0	2	3.0	3.0	7.5

将方程(2)一(7)代入方程(1)构成一个温度的四次方代数方程,利用迭代法将此方程在天津市按主导风划分的网格上求解,即得到天津市的地面温度场分布及热岛。这里只在图 10 中给出冬、夏季主导风轴上的模拟结果与实测值。

模拟结果表明,冬、夏两季的温度场分布相类似,峰值出现在工业区;夏季模拟热岛强度为 3.2°C 、实测值为 2.8°C ;而冬季模拟热岛强度为 7.7°C , 实测为 6.9°C 。模拟与实测吻合较好,没有量级差别,且变化趋势一致。

六、城市热岛成因的综合分析

1. 人工热是生成城市热岛的主要因素

城市热量主要来自太阳辐射和人工热源,因市、郊区的太阳辐射相差不大,故人工热

就成突出问题。天津能源消耗以煤为主,约占整个能源消耗的 92%。据 1980 年不完全统计,市区全年燃煤约为 545 万吨(近两年约为 1000 万吨),其中采暖季每月耗煤 64.5 万吨、非采暖季每月达 35.9 万吨。若换算成焦[耳]每平方米月,采暖期为 5095.83 J/(cm²·M)、非采暖季为 2833.33 J/(cm²·M);而 1980 年的太阳总辐射值,采暖期是 28541.66 J/(cm²·M)、非采暖期是 40916.66 J/(cm²·M)。现以太阳总辐射值与同期耗煤所产生的热量相比,则得出耗煤产生的热量,在采暖期相当于太阳总辐射的 17.8%,非采暖期相当于太阳总辐射的 6.9%。而天津的燃料热能利用率较低,这就会有大量的热能直接逸入空气,使城市气温上升,形成城市热岛,故人工热占重要地位。数值模拟冬季的城市热岛也得出同样结论。

2. 严重的大气污染与城市热岛

市区上空常存在很浓的烟雾,飘尘和气体污染物。观测到半径为 0.001—0.1 μ 的气溶胶浓度为 7922—19227 个/cm³, 0.3—20 μ 为 100 个/cm³, 平均浓度随高度增加而减少,据统计^[9], 1960—1974 年能见度小于 1 km 的水雾, 每年 18.7 次;烟雾每年 13.1 次,在市区上空形成一层强大的雾障。P. A. 克拉特采尔认为与近郊比较,城市增温第一个最主要原因是雾障,因白天雾障减弱了太阳辐射,夜间阻碍并吸收地面长波辐射,雾障越密对温度影响越大。所以,地表辐射热及人工热源发出的热量,被雾障拦在近地面层,从而造成市区上空温度上升,形成城市热岛。

3. 城市建筑物和下垫面特性的影响^[10]

市区楼房密度可达 50—80%。几乎全被砖石、水泥、柏油等建筑材料所覆盖。它们的反射率小,能吸收较多的太阳辐射,楼群和地面吸收率更大,它们之间又多次反射和吸收,故比郊区获得的太阳能多。下垫面热容量大、导热率高,贮热量比郊区多,参差不齐的建筑物,减少了地面长波辐射热的损失,夜晚长波辐射提供给空气的热量比郊区多。日落后,下垫面降温速度比郊区小。总的造成城市下垫面温度比郊区高,形成了城市热岛。

七、结 论

1. 地面城市热岛强度,历年市区比郊区平均高 1—2°C,其增强率是 0.017—0.6°C/年。多次实验观测为 3—5°C,最高可达 6.9°C;红外遥感测量的温度市区比郊区高 5—6°C,有时达 7—10°C。整个城市热岛的走向、大小与建城区一致,小热岛群与人工热源分布规律相吻合。热岛强度冬、秋季最强、夏季较弱,夜晚强,中午弱,有时中午出现“冷湖”。利用地面能量平衡方程模拟夜间地面城市热岛,结果与实测值相吻合。

2. 低空城市热岛强度,各层高度上平均值为 0.5°C,最强达 2—3°C。热岛顶高一般在 500 m 以下,夏季最高可达 900 m。白天城市上空的强度有时比地面还强。热岛存在的临界风速为 5 m/s。

3. 综合分析结果,人工热是形成城市热岛的最主要原因。复杂的城市下垫面建筑物和下垫面特性、大气污染,亦是形成热岛的重要因素。

参 考 文 献

- [1] 周明煜等, 北京地区热岛和热岛环流特征, 环境科学, 1, 5, 12—18, 1980。
- [2] 河树武, 都市气候の分布实态, 气象研究。ノート, 133, 26—47, 1977。
- [3] 孙奕敏等, 天津市区城市热岛温度场的特征和红外遥感技术的应用, 中国环境科学, 4, 1, 34—41, 1984。
- [4] G. W. 帕尔特里奇等著, 吕达仁等译, 气象学与气候学中的辐射过程, 科学出版社, 1981。
- [5] Израэль. Ю. А. Экология и контроль состояния прир дной среды, москва гидрометеонздат, 385—560, 1984。
- [6] 约翰 E. 埃斯蒂斯等著, 张莉等译, 遥感手册第六分册, 国防工业出版社, 1983。
- [7] Myrup, L., A numerical model of the urban heat island, *J. Appl. Meteor.*, 8, 908—918, 1969。
- [8] Tapper, N. J., et al., Modeling the winter urban heat island over Christchurch, New Zealand, *J. Appl. Meteor.*, 20, 365—376, 1981。
- [9] 孙奕敏, 天津地区浓雾与大气污染, 气象, 7, 29—31, 1981。
- [10] 周淑贞、张超编著, 城市气候学导论, 128—136, 华东师范大学出版社, 1985。

A COMPREHENSIVE STUDY ON URBAN HEAT ISLAND EFFECT IN TIANJIN

Sun Yimin Bian Hai

(*Tianjin Research Institute of Meteorological Science*)

Abstract

In recent year, using some advanced instruments, urban heat island effect in Tianjin is observed. Ground-level and low-level urban heat island magnitude and thickness and structure are analysed. The results show that low-level heat island magnitude is higher than ground-level and cold lake appears by day, and urban heat island consists of many small heat island. Heat island structure with an energy balance model is analysed.