

上海地区盛夏高温分布和 热岛效应的初步研究*

丁金才 张志凯 奚红

周红妹

(上海中心气象台, 上海 200030)

(上海气象科学研究所, 上海 200030)

摘要 根据1997~1998年的7~8月高温加密观测资料和卫星遥感资料,应用自然正交函数分解技术(EOF),对上海地区盛夏高温分布的气候平均场和第一特征场进行了分析。上海地区盛夏平均高温场分布具有显著的城市热岛效应特征。作者详细讨论了市区建成面积、土地利用类别、人口密度和人为热等都市化因素对热岛效应范围和强度的影响,并做出定量的估计,提出了缓解城市热岛效应的若干对策。第一特征场分析表明,风向是影响上海地区热岛效应范围和强度变化的最主要的气象因子。

关键词: 热岛效应; 城市热岛; 地面风; 上海

1 前言

盛夏高温天气是上海地区的一种重要灾害性天气^[1]。20世纪90年代以来,上海地区夏季高温有加强的趋势。除了气候变暖的原因,上海城市建设的迅速发展导致城市热岛效应的加强也是重要的原因。因此,研究城市建设等因素对热岛效应的影响和提出缓解热岛效应的对策,把高温酷暑对城市生产、生活的影响降低到最低限度,是使上海城市建设能健康和持续发展的一个重要课题。

为了获得上海地区盛夏高温分布的原始资料,1997~1998年夏季进行了上海地区高温加密观测。本文将在第2节介绍高温加密观测和资料处理情况;第3节介绍上海地区平均高温场和热岛效应的分布特点;第4节详细讨论都市化等因素对热岛效应范围和强度的影响,提出缓解城市热岛效应的对策;第5节分析风向对高温强度和热岛效应范围的影响;第6节得出几点结论。

2 资料来源和处理

1997~1998年的7~8月,进行了上海地区高温加密对比观测。地面观测站共有31个,除10个郊县气象站外,市区有21个观测点,平均间距为4 km。设置的观测点位置代表了不同地理环境、人口密度等区域特点。观测工具全是标准的百叶箱,观测点的环境基本符合观测规范条件,以保证所有观测点资料的可比性。

2000-04-24收到,2001-07-06收到再改稿

* 国家“九五”重中之重项目96-908-05-06-05资助

每次高温观测从 08:00 至 16:00, 记录每小时气温和日最高气温。2 年共选取了 30 天都处于副热带高压单一暖气团下的高温样本, 以避免不同年份、不同大气系统造成的样本差异。以龙华站的日最高气温 $T_G \geq 35.0$ °C 定义为高温日, 2 年捕捉到 65% 的高温日, 每隔 1 °C 都有一定数量的样本 (见表 1)。样本最高气温的变化幅度为 33.3~39.4 °C, 龙华站 125 年历史记录中只有 3 年的日最高气温超过 39.4 °C, 分别为 39.6 °C、39.8 °C 和 40.2 °C。因此, 该样本具有较好的代表性。

表 1 龙华站各级最高气温内的高温观测样本数

龙华站最高气温 / °C	33	34	35	36	37	38	39	合计
高温观测样本数	1	10	3	5	3	6	2	30

另外, 在 1997~1998 年 7~8 月采集了 9 天美国 NOAA-14 卫星对上海地区的热场遥感资料, 遥感时间在 14 时前后, 与最高气温出现时间接近。卫星遥感资料的处理见文献[2]。由于卫星遥感具有范围广、分辨率高等优点, 所以是研究上海地区高温分布必不可少的工具。选取其中不受云影响的 5 天遥感资料进行合成, 得到了一张平均遥感亮温分布图, 以平滑掉逐日气象条件的影响。

对 31 个观测点 30 个样本的最高气温资料进行自然正交分解 (EOF), 得到一个平均场和前 3 个特征向量场以及相应的特征场系数, 前 3 个特征场所占的方差依次为 0.901、0.030、0.013。由于第一特征场所占的方差贡献已达 90%, 因此本文只对平均场和第一特征场进行分析。

3 上海地区平均高温场和热岛效应特点的分析

图 1 (见图版) 是 30 个样本的平均最高气温分布图, 它反映了上海地区高温分布的气候特征。图 1a 中最显著的特点是, 一个由城市热岛效应造成的以 35.5 °C 等温线围成的高温区, 高温强度向市中心逐渐增强, 36.0 °C 的等温线围成的区域为炎热区, 恰与内环线内的中心市区大致吻合。从图 1b 可见, 炎热区内还有 3 个以 36.5 °C 围成的热中心, 北边 2 个热中心分别位于杨浦区的杨浦哨和闸北区的风华哨, 对应于炼钢厂、纺织厂等大工厂密集区; 南边热中心范围较大, 位于南市区、卢湾区和徐家汇地区, 对应全市的人口、商业、交通和住宅密集区。在南市区的豫园地区有中心最高值达到 37.1 °C 的热核区, 它对应全市人口、住宅、商店密度最大区。市区中还有 2 个小于 36.0 °C 的相对低温区, 东面的相对低温区位于黄浦江与苏州河交汇的黄埔公园一带, 这与宽阔水域的冷却作用有关; 西面的相对低温区位于中山公园一带, 对应全市绿化面积最多的区域。可见高温分布与城市下垫面特征相关。

为了定量地描述上海地区热岛效应的强度, 有必要分析滤去城市热岛效应作用后的上海地区高温分布的背景场。从图 1a 可见, 闵行站和浦东新区站离市区较近, 会受到热岛效应的影响, 和 35.5 °C 以上的高温区一起从整个高温场中扣除, 仅考虑郊区 8 个气象站的高温分布。若以相互之间的平均最高气温差小于 0.4 °C 的气象站归于地理热力条件相似的一组, 如表 2 中黑体字标出的各站的温差明显小于与其他各站的温差, 由此可把 8 个郊区气象站的高温分布分为 3 组, 恰好成 3 个平行地带。西北郊区 (宝山一

表 2 高温观测期上海郊区气象站平均最高气温差值分组表

平均最高气温	宝山	青浦	嘉定	松江	金山	川沙	南汇	奉贤
	35.4	35.4	35.0	34.8	34.7	34.6	34.0	33.8
宝山	35.4	0.0	0.0	0.4	0.6	0.7	0.8	1.6
青浦	35.4	0.0	0.0	0.4	0.6	0.7	0.8	1.6
嘉定	35.0	-0.4	-0.4	0.0	0.2	0.3	0.4	1.0
松江	34.8	-0.6	-0.6	-0.2	0.0	0.1	0.2	1.0
金山	34.7	-0.7	-0.7	-0.3	-0.1	0.0	0.1	0.9
川沙	34.6	-0.8	-0.8	-0.4	-0.2	-0.1	0.0	0.8
南汇	34.0	-1.4	-1.4	-1.0	-0.8	-0.7	-0.6	0.0
奉贤	33.8	-1.6	-1.6	-1.2	-1.0	-0.9	-0.8	-0.2

嘉定—青浦一线)的平均最高气温为 35.3℃,中部郊区(川沙—松江—金山一线)为 34.7℃,东南郊区(南汇—奉贤一线)为 33.9℃,即存在一个从西北指向东南的温度梯度,平均梯度约为 0.8℃/24 km(图略)。这是由于上海地形呈三角形半岛,西连大陆,东北和东南二边临水的海陆地形差异决定的。因为,夏季海温低于陆温,上海地区又盛行偏东风,造成气温从邻近海面的东南郊区向内陆的西北郊区逐渐升高。

由于上海市区与中部郊区处于同一地理带,由此可定义市区某地与中部郊区两地的平均最高气温差值为该地的热岛强度^[3]。市区 21 个观测点的最高气温平均值为 36.4℃,市中心最高气温的最大值为 37.1℃。因此,全市热岛效应平均强度为 1.7℃。热岛效应强度从外围的 0.8℃向市中心逐渐增强到 2.4℃。

卫星遥感热场图验证了上述的分析。图 2a(见图版)清楚显示出热岛效应造成的高温区范围。全市亮温 T_b 的变化范围为 28~34℃,间隔 1℃,可分为 7 个等级,前 5 级集中在从市中心到半径为 18 km 的区域内。二级高温区边界(浅蓝色, $T_b \geq 31^\circ\text{C}$)与图 1 中 35.5℃等温线吻合,可定义为上海地区的热岛范围,面积约 781 km²。炎热区边界(紫红色, $T_b \geq 33^\circ\text{C}$)与 36.0℃等温线接近。图 2b 显示了市区热场细致结构,如热核区(深红色, $T_b \geq 34^\circ\text{C}$)和相对低温区(深蓝色, $32^\circ\text{C} \leq T_b \leq 33^\circ\text{C}$)与图 1b 非常相符,说明卫星遥感热场图可以作为分析地面高温分布的重要依据之一。

4 都市化建设等因素对热岛效应的影响

4.1 市区建成面积与热岛效应的关系

众多文献在论述都市建设与热岛效应的关系时,常用城市人口数作为衡量城市大小的标准,很少涉及到市区建成面积与热岛效应的关系^[3,4]。根据上海近 40 年来的气象资料变化可发现市区建成面积与热岛效应的强度和面积有密切的关系。表 3 列出了龙华气象站(市区代表站)与南北方向上的各郊区气象站 7~8 月平均气温的 5 年平均值之差。各站位置如图 1a 所示,离市中心的半径距离分别为:

宝山: 17 km←市中心→龙华: 7 km; 闵行: 17 km; 松江: 33 km; 金山: 48 km。

从表 3 可见,在 1980 年以前的 20 年中,龙华站与宝山站、闵行站的温差维持在零附近,反映了热岛效应仅局限在离市中心小于 7 km 以内的中心城区内,尚未影响到

表 3 龙华气象站与南北方向上各郊区气象站 7~8 月平均气温的 5 年平均值之差

年份	龙华减宝山	龙华减闵行	闵行减松江	松江减金山
1960~1964	-0.1	0.0	0.1	0.0
1965~1969	0.1	0.0	0.2	-0.2
1970~1974	0.0	0.0	0.1	0.0
1975~1979	0.0	0.1	-0.1	0.1
1980~1984	0.3	0.4	-0.1	0.0
1985~1989	0.2	0.4	0.0	-0.1
1990~1994	0.3	0.5	0.2	-0.1
1995~1999	0.3	0.5	0.3	-0.1

龙华站。但在 1980 年以后很快增加到 0.3℃ 以上, 说明上海地区的热岛效应到 20 世纪 80 年代才开始迅速扩大到龙华站以外离市中心 7~17 km 之间的区域。上海的市政建设在 20 世纪 60~70 年代基本处于停滞状态, 市区面积变化很小, 因此热岛效应面积也基本不变。到 1980 年以后, 随着改革开放, 上海的市政建设才迅速发展, 市区建成面积显著扩大, 龙华气象台所在地区也由郊区划为市区, 造成热岛效应面积相应向外迅速扩大。到 20 世纪 90 年代不仅龙华与闵行的温差进一步加大, 而且闵行与松江的温差也扩大到 0.2℃ 以上, 但松江与金山的温差仍无变化, 说明近 10 年来热岛效应的影响范围逐渐扩大到离市中心 17~33 km 的区域内, 强度也有增加。可见, 热岛效应面积和强度的变化与市区建成面积密切相关。

为了进一步定量地分析热岛效应面积与市区建成面积的关系, 根据 1992 年和 1998 年的卫星遥感热场图和由上海城市发展信息研究中心提供的全市土地利用图, 利用遥感图像面积计算技术, 得到 1998 年的上海热岛效应面积 (图 2 中 $T_b \geq 31^\circ\text{C}$ 区域) 和市区建成面积分别为 781 km² 和 444 km², 1992 年的热岛面积和市区建成面积分别为 396 km² 和 236 km²。1998 年的上海市区建成面积比 1992 年扩大了近一倍, 热岛效应面积也相应增加了一倍。二者呈同步增大的关系。2 年的热岛面积与市区建成面积之比平均为 1.7:1。热岛面积大于市区建成面积的主要原因是风对热岛效应的热扩散, 4.2 节和第 5 节中将有详细讨论。

4.2 不同土地利用类别对热岛效应的贡献

不同利用类别的土地, 由于对太阳热的吸收、反射以及透水性不同, 对城市热岛效应的贡献有显著的差别^[3,4]。通常用各类别土地在热岛范围内所占的面积比来衡量不同类别土地对热岛效应的贡献大小。Park^[5]根据 1982 年 6~8 月韩国汉城的观测资料分析得出, 工厂和商店对汉城的热岛强度贡献最大, 其次是住宅面积。上海的情况有所不同, 表 4 列出了几种主要土地类别的面积比 (面积比超过 5%)。上海的耕地总面积为 5 148 km², 在热岛区内仅为 332 km², 说明耕地产生的热辐射应局限在 $T_b < 31^\circ\text{C}$ 的亮温级别, 热岛区内的耕地面积比实质是风对市区高温的热扩散的热量叠加到周围耕地上, 使之平均最高气温增加 0.5℃ 左右而造成的。随着热岛强度级别增加, 道路广场和居民用地的贡献明显增加, 对 $T_b \geq 33^\circ\text{C}$ 以上的炎热区和热核区, 贡献最大的是居民用地, 其次是道路广场, 第三是工业用地。由表 4 可见, 居民用地的热贡献约占各类土地热贡献总和的 1/3, 道路广场和工业用地的热贡献占 1/3, 其他各类土地的热贡献

表 4 各等级亮温中不同类别土地所占的面积比

9₀

土地类别	热岛强度级别和对应的亮温级别			
	一级高温区 $T_{\text{a}} \geq 31 \text{ }^{\circ}\text{C}$	二级高温区 $T_{\text{a}} \geq 32 \text{ }^{\circ}\text{C}$	炎热区 $T_{\text{a}} \geq 33 \text{ }^{\circ}\text{C}$	热核区 $T_{\text{a}} \geq 34 \text{ }^{\circ}\text{C}$
耕地	42.5	18.8	5.4	0.0
待建用地	5.0	5.2	3.5	0.9
公共设施	2.1	4.4	5.7	0.9
工业用地	14.2	16.1	17.5	15.5
道路广场	6.2	12.1	17.2	23.6
居民用地	16.2	29.6	38.7	54.5

之和约占 1/3。

根据上海城市发展信息研究中心制作的 1997 年上海市区房屋类别分布图显示，炎热区内的大部分住宅区是低层简屋和里弄住宅，楼间空隙小，道路狭窄，建筑密度（建筑物底层面积/街坊用地面积）大于 60%。尤其在豫园地区，有 4/5 地区的建筑密度大于 60%，其中 2/5 地区的建筑密度大于 80%。屋顶和墙面以暗黑色调为主，对太阳热的吸收率高，热量又不易散发，造成了全市热岛效应最强的热核区。相反，在商业区和高楼住宅区，楼间空隙大，道路宽，建筑密度小于 60%，且楼间的峡谷风使热量容易散发，热岛强度比上述居民区弱。道路和广场的水泥地面对太阳热的吸收率很高，但宽阔的环境使热量容易散发，因此它对市区的热岛贡献为第二。工业用地对热岛效应的贡献主要来源于燃烧大量的燃料所产生的热量，在 4.4 节将有说明，工业区释放的燃烧热量密度小于豫园地区释放的生活热量密度，因此，工业用地对热岛效应的贡献小于居民用地。这提示了要减缓上海热岛效应的强度，关键是改善上述三类用地的布局和环境。居民住宅应以多层和高层为主，减小住宅密度。在道路和广场上多植树，减少地面对太阳热的吸收。在可能的条件下，把燃料大户的工厂迁出市区。

4.3 人口密度与热岛效应强度的关系

国外学者对热岛强度与城市人口的关系已有研究。Mitchel^[6]根据美国 77 个城市的资料论证城市最大热岛强度与城市人口的平方根有很好的正相关关系。Oke^[7]根据北美和欧洲 20 多个城市资料统计出最大热岛强度与城市人口数 P 的对数 $\log P$ 呈线性关系。Fukuoka^[8]于 1983 年研究出日本城市最大热岛强度与城市人口数 P 的对数 $\log P$ 是非线性关系，可按城市人口大于 30 万人和小于 30 万人建立两个线性回归方程。必须指出的是，因各城市的地理环境、气候和城市面积等因素的不同也会造成热岛强度的差异。本文选取从东到西横穿上海市区的 14 个点的热岛强度和人口密度资料进行分析，可排除上述非人口因素造成的城市间的热岛强度差异。豫园地区是上海人口密度最大的地方，为 11.0 万人/ km^2 ，对应全市热岛最强的热核区；其次是卢湾中学地区，人口密度为 9.0 万人/ km^2 ，对应全市第二热岛强度为 2.2 $^{\circ}\text{C}$ 。相反，浦东的陆家嘴地区的人口密度为 3.8 万人/ km^2 ，对应热岛强度也小，为 0.9 $^{\circ}\text{C}$ ；市区最西端的华漕地区人口密度是全市最小，为 0.2 万人/ km^2 ，相应的热岛效应强度也最小，仅为 0.3 $^{\circ}\text{C}$ 。世界上像上海这样人口密度分布差异如此之大的城市很少，这使我们有可能利用上述 14 个点的资料建立可信度较高的人口密度与热岛强度的定量关系，如下式所示：

$$\Delta T = 0.657 + 0.130 \lg D + 0.428 (\lg D)^2, \quad (1)$$

式中热岛强度 ΔT 和人口密度 D 的单位分别是 $^{\circ}\text{C}$ 和 $\text{万人}/\text{km}^2$ 。二者的关系可用图 3 所

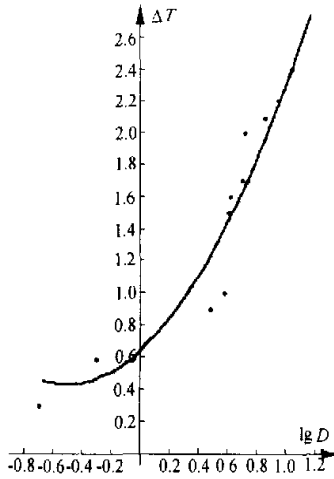


图 3 上海市区热岛强度 ΔT 和人口密度对数 $\lg D$ 的关系

示的抛物线来显示, 大致可分为 3 种情况: 当 $D < 0.5 \text{ 万人}/\text{km}^2$, 热岛强度变化很小, $\Delta T \approx 0.4 \text{ }^{\circ}\text{C}$; 当 $0.5 \text{ 万人}/\text{km}^2 < D < 7 \text{ 万人}/\text{km}^2$, ΔT 与 $\lg D$ 呈线性关系; 当 $D > 7 \text{ 万人}/\text{km}^2$, ΔT 随 $\lg D$ 的平方增加。由于世界上人口密度大于 $7 \text{ 万人}/\text{km}^2$ 的地区和城市是很少的, 许多文献都把热岛强度 ΔT 与人口密度对数 $\lg D$ 的关系处理成线性关系。可见, 对上海地区而言, 疏散密度大于 $7 \text{ 万人}/\text{km}^2$ 的地区的人口是减缓热岛强度的最有效措施之一。

4.4 人为热与热岛强度的关系

城市人为热主要指住宅和工厂燃烧燃料产生的热量。本文根据文献[9]提供的资料, 用年平均耗煤密度 R_m 表示人为热总量的大小, 单位是 $10^4 \text{ t}/(\text{a km}^2)$; 用年平均工业废气密度 G_m 表示工厂人为热的大小, 单位是 $10^8 \text{ m}^3/(\text{a km}^2)$, 其中 m^3 是标准大气压下的立方米气体。

统计结果表明, 上海市区的 R_m 和 G_m 分别为郊区的 7.26 倍和 5.50 倍, 说明城市人为热

是造成热岛效应的主要原因之一。图 4 显示了上海市区的 R_m 和 G_m 的分布, 对照图 1b 可见, R_m 和 G_m 和热岛强度定性上成正相关。 $R_m > 1.10$ 的 3 个地区, 平均最高气温均大于 $36.7 \text{ }^{\circ}\text{C}$ 。豫园地区的 R_m 达到 8.35, 为全市最大, 恰好对应全市热岛强度最大的热核区。值得一提的是豫园地区的工业废气密度 G_m 仅为 0.25, 是全市倒数第二, 说明豫园地区的人为热几乎都是住宅热。另外, 杨浦地区人口密度约为 $4 \text{ 万人}/\text{km}^2$, 是全市人口密度较小的地区。根据式 (1) 计算的热岛强度为 $1.48 \text{ }^{\circ}\text{C}$, 平均最高气温应为 $36.2 \text{ }^{\circ}\text{C}$, 但图 1 所示杨浦的平均最高气温为 $36.7 \text{ }^{\circ}\text{C}$ 。这是因为杨浦地区的 R_m 为 2.63, 居全市第二, 工业废气密

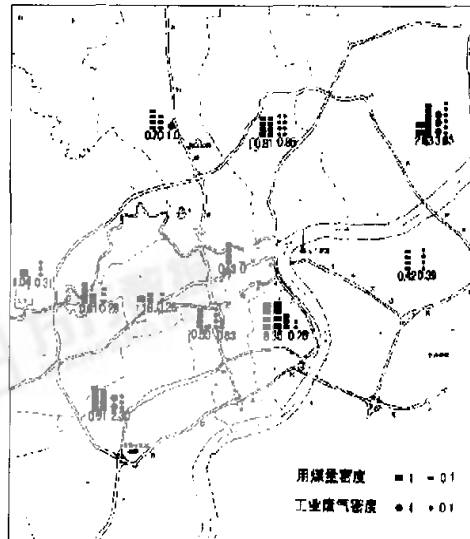


图 4 上海市区用煤量和工业废气平均密度分布图
平均耗煤密度单位是 $10^4 \text{ t}/(\text{a km}^2)$, 年平均工业废气密度单位是 $10^8 \text{ m}^3/(\text{a km}^2)$

度 G_m 达到 3.63, 为全市第一, 说明了杨浦哨的热中心主要是工厂热造成的。

应该指出的是, 热岛强度是多个因素综合影响的结果, 而且有些因素是相关联的, 因此, 要精确地计算单个因素对热岛效应的影响程度是困难的。

5 风对高温和热岛效应的影响

Fujibe^[10]分析了局地风对关东内陆地区高温日猛增的关系, 指出了风是影响高温分布的重要因素。本文第 2 节已说明用 EOF 分解得到的第一特征向量场反映了上海地区高温分布逐日变化的最主要特征。表 5 列出了第一特征向量系数与龙华站 11~14 时的平均风向的相关关系: 西风型 (SW-NW) 对应负系数, 东风 (SSE-NE) 和南风 (SSW-S) 型对应正系数, 30 个样本中只有 4 个样本例外。计算得出第一特征向量系数与平均风的 U 分量和 V 分量的相关系数分别为-0.67 和 0.46, 证明了风向是影响上海地区高温分布逐日变化的最主要气象要素。

表 5 第一特征向量系数符号 (+, -) 与龙华站 11~14 时平均风向的对应关系

系数	6.2	4.3	7.2	7.1	6.6	9.2	7.6	-2.7	1.5	10.7	7.5	8.5	7.7	5.3	-11.6
风向	WSW	SSW	SE	S	ESE	ESE	SW	SW	W	S	S	SSE	SSW	S	W
系数	-1.7	3.6	15.5	-0.7	8.0	-11.0	-12.4	-13.0	-14.7	-14.7	-9.8	-8.0	-13.7	-3.3	1.0
风向	W	W	S	SW	S	SW	WSw	WSW	SW	WSW	WSW	W	WSW	W	S

除去 4 个例外样本, 正系数样本和负系数样本恰好各为 13 个。下面根据 2 种风向型各 13 个样本合成平均的上海地区的高温分布图进行讨论 (图略)。现选取热岛的上风方和下方风几个代表点的最高气温变化进行阐述。表 6 列出了这些代表点的平均最高气温值, 对照图 1b 可见, 杨浦哨和风华哨位于市区北部的东西 2 个热中心, 新区站和中山公园位于市区南部热中心的東西两侧, 用以讨论风对市区高温分布变化的影响。川沙站和嘉定站是位于城市热岛东西两侧的郊区气象站, 用以讨论风对城市热岛效应的影响。奉贤站与青浦站的连线在市中心以南, 垂直距离为 22 km, 不受城市热岛影响。它与川沙站和嘉定站的连线平行, 两站间距也大致相等, 通过对比分析可看出风对热岛的热扩散作用。

在东风和南风型情况下, 特征向量值与系数的乘积所得的温度距平为负, 会产生一个降温场叠加到平均场上, 造成高温强度减弱。东风和南风带来海面上的冷平流, 使上

表 6 城市热岛上风方和下方风方的高温变化的对比

观测点	平均场温度 ($^{\circ}\text{C}$)	东风和南风型温度距平 ($^{\circ}\text{C}$)	西风型温度距平 ($^{\circ}\text{C}$)
新区站	35.3	-1.7 (上风方)	+2.0 (下方风)
中山公园	35.7	-0.9 (下方风)	+1.5 (上风方)
杨浦哨	36.7	-1.3 (上风方)	+1.7 (下方风)
风华哨	36.5	-0.8 (下方风)	+1.2 (上风方)
川沙站	34.6	-1.6 (上风方)	+1.9 (下方风)
嘉定站	35.0	-0.8 (下方风)	+1.2 (上风方)
奉贤站	33.8	-1.5	+1.7
青浦站	35.4	-1.1	+1.4

风方的高温强度降低 $1.3\sim 1.7\text{ }^{\circ}\text{C}$ 。由于城市热岛的加热作用, 使下风方的降温幅度减小到 $0.8\sim 0.9\text{ }^{\circ}\text{C}$, 约为上风方的降温幅度的一半, 造成市区内高温中心向西转移, 并使全市的热岛效应范围向下风方的西部郊区扩展。相反, 在西风型情况下, 特征向量值与系数的乘积所得的温度距平为正, 全市会出现增温场叠加到平均场上, 全市高温强度增加。西风带来大陆的暖平流可使上风方的高温强度增加了 $1.2\sim 1.5\text{ }^{\circ}\text{C}$ 。由于城市热岛的加热作用, 使下风方的增温幅度加大到 $1.7\sim 2.0\text{ }^{\circ}\text{C}$, 约为上风方的增温幅度的 $1.3\sim 1.6$ 倍, 导致市区高温中心向东转移, 全市的热岛效应范围向下风方的东部郊区扩展。相反, 对于不受城市热岛影响的奉贤站和青浦站的高温变化, 在东风和南风型情况下, 青浦站的降温幅度比奉贤站小 $0.4\text{ }^{\circ}\text{C}$; 在西风型情况下, 奉贤站的增温幅度比青浦站大 $0.3\text{ }^{\circ}\text{C}$ 。这仅是陆地的加热作用所致, 均为受城市热岛影响的川沙站和嘉定站的降温幅度差 ($0.8\text{ }^{\circ}\text{C}$) 和增温幅度差 ($0.7\text{ }^{\circ}\text{C}$) 的一半。风对城市热岛的这种热扩散作用使城市热岛效应面积总是比市区建成面积大, 可以推理, 热岛效应面积和市区建成面积的比例大小应与高温季节的平均风速和热岛强度的乘积成正比。

6 结论

(1) 城市热岛效应是影响上海地区盛夏高温分布的主要因素之一。高温区的分布与城市下垫面特征密切相关。盛夏季节上海市区平均的热岛强度为 $1.7\text{ }^{\circ}\text{C}$, 最大热岛强度位于豫园地区, 为 $2.4\text{ }^{\circ}\text{C}$ 。

(2) 上海地区的热岛效应在 1980 年以前局限在离市中心小于 7 km 的范围内, 从 20 世纪 80 年代开始迅速扩大到离市中心 $7\sim 17\text{ km}$ 之间的区域内, 到 20 世纪 90 年代热岛效应影响范围进一步扩大到 $17\sim 33\text{ km}$ 的区域。热岛效应面积与市区建成面积呈同步扩大趋势。由于风对市区热岛的热扩散, 热岛面积与市区建成面积之比约为 $1.7:1$ 。

(3) 不同城市由于土地利用类别的组成不同, 城市热岛的热组成也有显著的差别。对上海市区而言, 居民用地对热岛强度的贡献最大, 其次是道路广场, 第三是工厂用地。其中, 居民用地占各类土地热贡献总和的 $1/3$, 道路广场和工厂用地的热贡献之和占 $1/3$, 其他各类土地的热贡献占 $1/3$ 。

(4) 上海市区热岛强度与人口密度对数 $\lg D$ 的关系是非线性的, 呈抛物线关系。大致可分为 3 种情况: 当 $D < 0.5\text{ 万人}/\text{km}^2$, 热岛强度变化很小, $\Delta T \approx 0.4\text{ }^{\circ}\text{C}$; 当 $0.5\text{ 万人}/\text{km}^2 < D < 7\text{ 万人}/\text{km}^2$, ΔT 与 $\lg D$ 呈线性关系; 当 $D > 7\text{ 万人}/\text{km}^2$, ΔT 随 $\lg D$ 的平方增加。

(5) 城市人为热是造成热岛效应的主要原因之一。上海市区热岛强度与人为热密度成正相关。有的地区人口密度不大, 但释放的工厂热密度大而使平均热岛强度增强 $0.5\text{ }^{\circ}\text{C}$ 。

(6) 风是影响上海地区高温分布和强度的最主要气象要素。东风和南风带来海上的冷平流, 使全市高温强度降低。而城市热岛的加热作用, 使下风方的降温幅度为上风方的降温幅度的一半, 造成市区内高温中心向西转移, 全市的热岛效应范围向下风方的西部郊区扩展。相反, 西风带来大陆的暖平流使上风方的高温强度增强, 城市热岛的加热

作用使下风方的增温幅度大于上风方的增温幅度, 导致市区高温中心向东转移, 全市的热岛效应范围向下风方的东部郊区扩展。风对城市热岛的热扩散作用使城市热岛面积总是比市区面积大。

参 考 文 献

- 1 丁金才、周国良、周红妹, 上海城市高温灾害和气候成因的初步研究, 大气科学研究与应用, 1998, 1, 138~144.
- 2 周红妹, 丁金才, 气象卫星在上海市热场分布动态监测中的应用研究, 大气科学研究与应用, 1998, 1, 150~156.
- 3 周淑贞, 束炯, 城市气候学, 北京: 气象出版社, 1994, 244~334.
- 4 Hiroyuki Kusaka, Motoki Nishimori and Tetsuzo Yasunari, Estimation of the increasing rate of surface air temperature associated with urbanization by use of seasonal variations of maximum / minimum temperature anomaly, *Weather (Japan)*, 1998, 5, 31~40.
- 5 Park, Hye-Sock, Features of the heat island in Seoul and its surrounding cities, *Atmospheric Environment*, 1986, 20(10), 1859~1866.
- 6 Mitchell, J. M. Jr., The thermal climate of cities, Symp. Air over Cities, U. S. Public Health Serv., Publ. SEC. Tech. Rept., A62-5, 1961, 131~145.
- 7 Oke, T. R., City size and the urban heat islands, *Atmospheric Environment*, 1973, 7, 769~779.
- 8 Fukuoka, Y., Physical climatological discussion on causal factors of urban temperature, Memoirs of the Faculty of Integrated Arts and Science, 8, Hiroshima University, 1983, 157~178.
- 9 上海市测绘院等, 上海市地图集, 上海: 上海科学技术出版社, 1997, 19~49, 126.
- 10 Fujibe, F., An increasing trend of extremely hot days in the inland of the Kanto Plain and its relation to urban effects, *Weather (Japan)*, 1998, 8, 35~45.

A Study of the High Temperature Distribution and the Heat Island Effect in the Summer of the Shanghai Area

Ding jincai, Zhang Zhikai and Xi Hong

(Shanghai Meteorological Center, Shanghai 200030)

Zhou Hongmei

(Shanghai Meteorological Institute, Shanghai 200030)

Abstract Based on the data of the temperature intensive observation and the satellite remote sensing in July~ August of 1997~1998 in the Shanghai area, the mean field and the first characteristic field of the high temperature are analysed with the Empirical Orthogonal Function (EOF). The mean field of high temperature during summer in the Shanghai area has notable features of heat island. We discussed and quantitatively estimated how the factors such as the city built-up area, the lands with different landuses, the population density, the man-made heat affect the area and intensity of the heat island. And some measures to relax the heat island effect are proposed. The analysis of the first characteristic field reveals that wind is the most important one of the meteorological factors affecting the changes of the area and intensity of heat island effect in the Shanghai area.

Key words: heat island effect; urban heat island; local wind; Shanghai

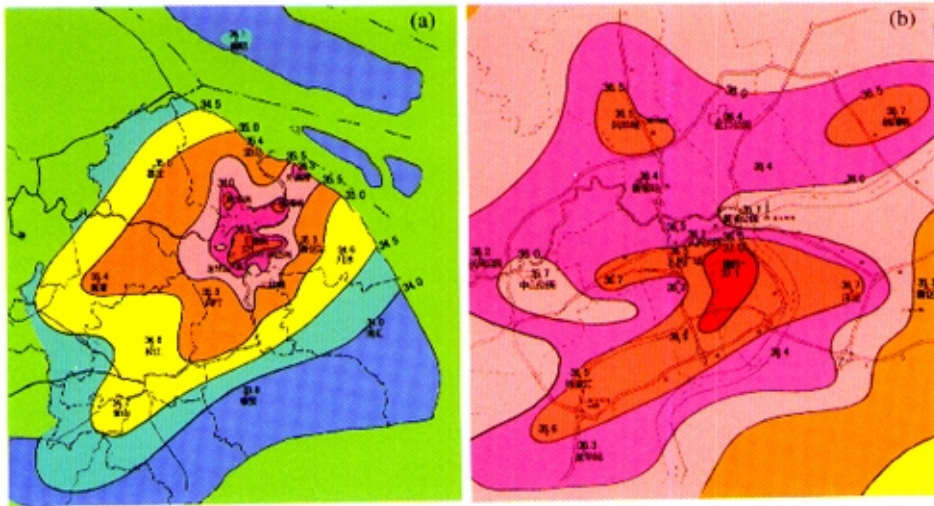


图1 1997~1998年7~8月上海高温观测期最高气温合成图(30天平均)
(a)上海地区;(b)上海市区。虚线是行政县和区的界线,图中窄双线表示高速公路,宽双线表示黄浦江

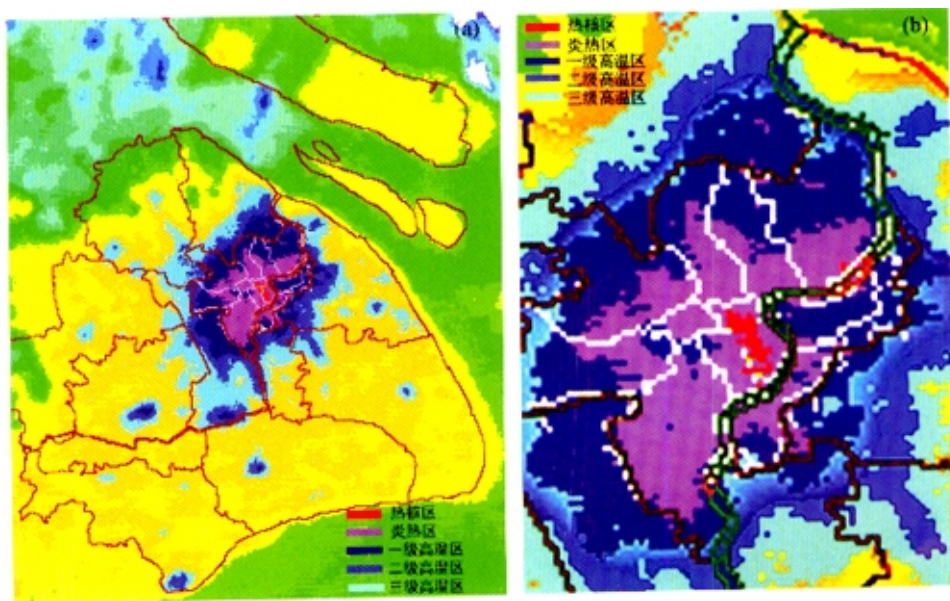


图2 1997~1998年7~8月高温观测期NOAA-14卫星对上海地区的遥感热场5天合成图
(a)上海地区;(b)上海市区。棕色线是行政县和市区的界线,白色线是市区内各行政区的界线,(a)中棕色双线和(b)中绿色双线表示黄浦江