

城市热岛效应的影响机理及其作用规律 ——以上海市为例

彭保发¹, 石忆邵², 王贺封², 王亚力¹

(1. 湖南文理学院资源环境与旅游学院, 湖南常德 415000;

2. 同济大学测绘与地理信息学院, 上海 200092)

摘要: 以上海市为例, 从土地利用规模和强度的变化、类型和布局的变化、利用方式的变化三个方面揭示其对热岛效应的影响机理; 实证分析结果表明: (1) 土地城市化是上海城市热岛强度的主要影响因素; 就建成区扩张对热岛强度的具体影响而言, 累积效应大于其增量效应; (2) 工业化、房地产开发、人口增长对上海城市热岛强度均具有较大的影响; 就经济发展和能源消耗对城市热岛强度的具体影响而言, 密度效应通常大于其规模效应; 就全社会房屋竣工面积、20层以上高层建筑数量对热岛强度的影响而言, 累积效应小于增量效应; 就人口增长对城市热岛强度的具体影响而言, 密度效应与规模效应大体相近; (3) 土地利用和城市发展模式的差异导致了城市热岛效应的空间差异。

关键词: 热岛效应; 影响因素; 密度效应; 规模效应; 累积效应; 增量效应; 关联性规律

DOI: 10.11821/dlxb201311002

1 引言

城市热岛是指由于城市化所引起的城市地表及大气温度高于周边非城市环境的一种现象。而使城市热岛形成和加强的效应, 即称为“城市热岛效应”。通常用市中心区温度减去城市郊区温度作为热岛强度的度量指标。多年来, 各国学者围绕城市热岛的形成原因^[1-2]、形态与结构^[3-4]、过程与变化^[5]、机制与模拟^[6-7]等四个方面展开了大量研究。研究发现, 城市化建设改变了城市中大气动力学特征和下垫面热交换性质, 造成了地表覆盖和土地利用的迅速改变, 对城市热岛的形成具有促进作用。城市规模越大, 人口越多, 城市热岛强度也就越强。一个城市热岛的形成与发展与其所处的地理位置及其几何形状关系密切。城市中厂矿、企业、机关单位及城市居民生活等人为热的释放, 也能促进城市热岛的形成^[8-9]。不少研究表明, 城市热岛的形成与天气条件有较大的关联, 城市热岛不仅与风速关系密切, 热岛强度的强弱也随云量的多少而改变。天气晴朗少云、静风、气压梯度小等气候条件, 能进一步促进城市热岛效应的形成和加剧。很多研究还表明, 土地利用及植被覆盖变化是城市热岛效应形成、演变的主要因素^[10-14]。因为每种土地利用类型的热学特征、辐射特征、人为热不同, 表现为水泥、瓦片结构的建筑物、广场、居民地、桥面、道路等城市用地类型人为释放热量大、温度高, 而以土壤为主的裸地、植被以及水体等温度低。因此, 随着城市的扩展, 土地利用类型的变化, 城市热岛效应会产生相应的变化。

收稿日期: 2013-07-20; 修订日期: 2013-09-11

基金项目: 上海市地质调查研究院资助项目(2012(D)-014(F)); 教育部人文社科一般项目 (12YJAZH146); 湖南省社科基金委托项目 (12JD53) [**Foundation:** Shanghai Institute of Geology Survey Fund Project, No.2012(D)-014(F); Humanities and Social Science Fund Project of Ministry of Education of China, No.12YJAZH146; Social Science Fund Project of Hunan Province, No.12JD53]

作者简介: 彭保发, 男, 湖南桃源人, 博士, 教授, 中国地理学会会员 (S110009108M), 主要研究方向为资源生态利用。
E-mail: pengbaofa@163.com

通讯作者: 石忆邵, 男, 湖南新邵人, 博士, 教授, 博士生导师, 中国地理学会会员 (S110006010M), 主要研究方向为城市与区域经济。E-mail: shiyishao@tongji.edu.cn

一些学者也分别利用历年气象观测资料或选点观测^[8, 10-11]、数值模拟、遥感反演^[15-17]等方法,对上海城市热岛效应展开实证分析,取得了明显的进展。但总体而言,对城市热岛效应的特点与成因的研究较多,而对其影响因素及作用机理的研究相对薄弱;有些文献对城市热岛效应的测度仅根据市区和郊区两个测点的数据,样本覆盖面较窄;有的研究时段较短,难以反映其长期的变化状况。这些问题都将影响到城市热岛效应及其影响因素研究的客观性和科学性。此外,以往的研究方法总体上呈现出实证分析偏多而规范研究不足的特点,很少有学者从大量的实证研究中进行一般性的规律总结和探索。因此,本文结合对上海的实证研究,分析归纳和总结提炼城市热岛效应的若干作用规律,包括规模效应、密度效应、累积效应、增量效应、关联性规律等,以供学界进一步研讨。

2 数据采集与处理

利用气象观测资料是研究城市热岛效应的经典方法。本文利用1961-2010年上海市区及郊区共11个站点的历史气象资料进行热岛效应分析,以市区和郊区的月、季节、年平均气温同步温差表示各种时间尺度的城市热岛强度。市区的观测值通常采用位于城区的徐家汇测站的观测资料,郊区的观测值采用上海10个郊区(县)气象局观测值的平均值来代表。选择10个郊区(县)的观测平均值作为郊区观测值的代表有两个原因:①由于上海市三面环水(东临大海,北接长江,南靠杭州湾),各郊区站由于所在地理位置的差异(靠近水面或不靠近水面),其观测值之间本身就有明显的差异,任一郊县站的观测值与城区观测值之间的差异都不能完全反映城区热岛效应的强弱,10站的平均值就能很好地描述上海郊区的平均气温状况,并可剔除少数测站在期间进行搬迁或改造而带来的影响;②10个测站平均值的变化也能很好地代表上海地区的平均气温状况,且基本上排除了城市发展对气温观测的影响,更多地反映区域气温本身的自然变化。本文所统计的年平均气温为当年12个月值的算术平均值。季节采用气象季节定义,即1、2月和上年的12月为冬季,3-5月为春季,6-8月为夏季,9-11月为秋季。

经济规模和经济密度、能源消耗规模和能源消耗强度、人口规模和人口密度、全社会房屋竣工面积、高层建筑数量等初始数据主要来源于历年上海统计年鉴,或依此计算获得。由于能源消耗缺少1985以前的数据,常住人口缺少1978以前的数据,故分析时段分别定为1985-2010年、1978-2010年。由于全社会房屋竣工面积缺少1981以前的数据,高层建筑缺少1980以前的数据,故其分析时段分别定为1981-2010年、1980-2010年。

3 上海城市热岛强度变化分析

1961-1970年间,上海城、郊热岛强度的升温速率约为 $0.09\text{ }^{\circ}\text{C}/10\text{年}$ (图1);1971-1980年间,上海城、郊热岛强度的升温速率增至 $0.12\text{ }^{\circ}\text{C}/10\text{年}$;1981-1990年间,上海城、郊热岛强度的升温速率又降为 $0.09\text{ }^{\circ}\text{C}/10\text{年}$;1991-2000年间,上海城、郊热岛强度的升温速率约为 $0.22\text{ }^{\circ}\text{C}/10\text{年}$;2001-2006年间,上海城、郊热岛强度的升温速率约为 $0.17\text{ }^{\circ}\text{C}/5\text{年}$,但自2006年以来,上海城、郊的热岛强度已经明显减弱。由此可见,1991-2006年间是上海城、郊热岛强度增长最快的时期,这一时期也是上海工业化和城市化发展最迅速的时期。

若以城区和郊区的温差大于 $0.8\text{ }^{\circ}\text{C}$ 的区域为热岛面积,1960-1970年上海热岛面积局限在市区的 100 km^2 范围内。但从1980年开始突然扩大到 400 km^2 以上,增加了3倍。到1990年代后期,更是扩展到近郊地区,热岛总面积超过 800 km^2 ,达到60-70年代的8倍。到2010年,全市热岛总面积已超过 1500 km^2 。

另据统计分析,1981-2010年间上海地区春、夏、秋、冬四季热岛效应均有所增强,

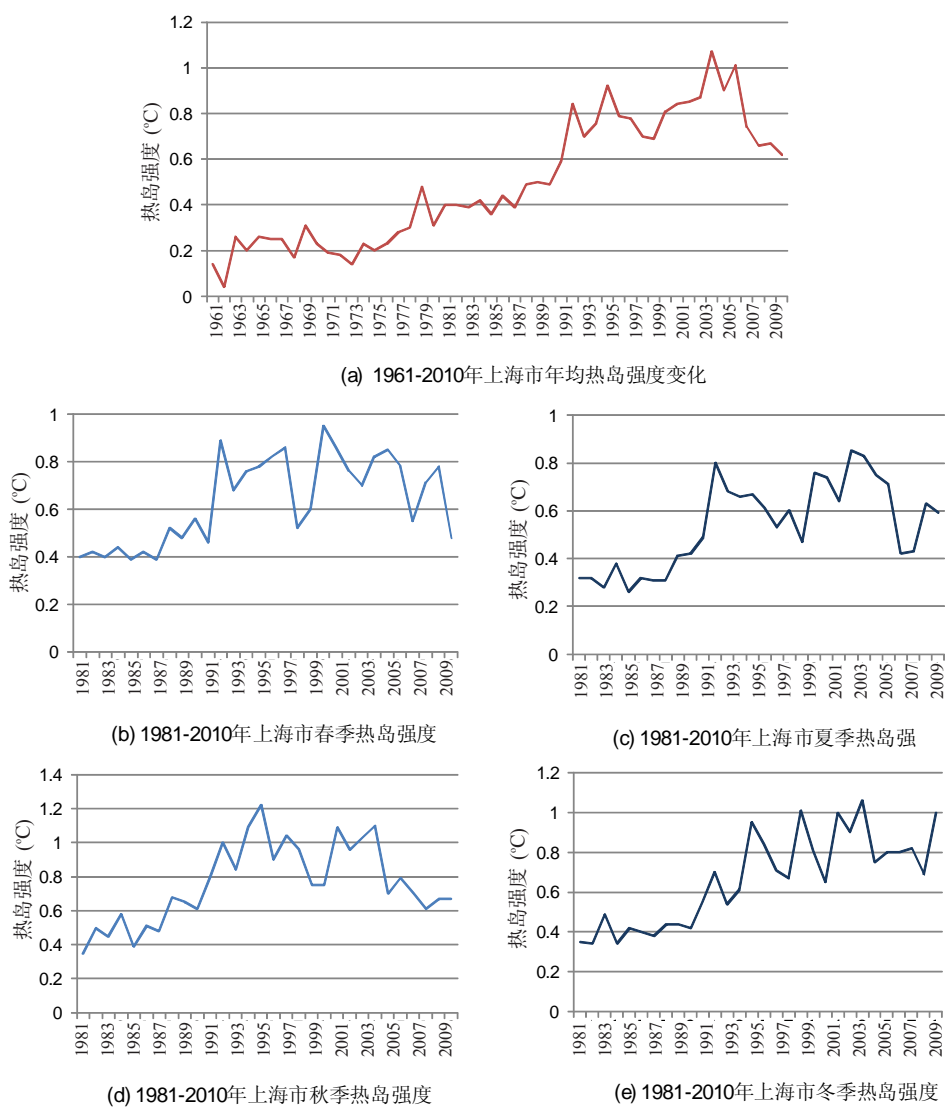


图1 上海市年均热岛强度及其各季热岛强度变化

Fig. 1 Annual average and seasonal change in urban heat island intensity in Shanghai

资料来源: ① 1981-2003年上海市各季热岛强度数据来自于: 谢济善. 上海地区城市热岛效应分析[D]. 南京信息工程大学, 2007. ② 2004-2010年数据根据上海统计年鉴、上海各郊区县统计年鉴计算得到。

且热岛强度总体上以秋季最强, 冬季次之, 夏季最弱。但自2005年以来, 冬季热岛强度有所增强, 甚至超过了秋季的热岛强度。

4 上海城市热岛强度变化的影响因素分析

4.1 经济发展对热岛强度的影响

4.1.1 经济规模对热岛强度的影响 以上海市经济规模为自变量, 以热岛强度为因变量进行相关性分析后发现: 经济规模和热岛强度在0.01显著性水平下存在较为显著的相关关系, 相关系数为0.509。回归分析结果显示, 二者呈二次函数关系, 决定系数为0.756, 达到较好的解释水平 (图2)。

4.1.2 经济密度对热岛强度的影响 以上海市经济密度为自变量,以热岛强度为因变量进行相关性分析后发现:经济密度和热岛强度在 0.01 显著性水平下存在显著相关关系,相关系数为 0.705。回归分析结果显示,二者呈对数函数关系,决定系数为 0.8245,达到很好的解释水平(图3)。

比较而言,经济密度和热岛强度的相关程度大于经济规模和热岛强度的相关程度,说明就经济发展对热岛强度的影响而言,密度效应大于其规模效应。

4.2 能源消耗对热岛强度的影响

4.2.1 能源消耗规模对热岛强度的影响 能源消耗量的增加直接导致人为热释放的增加和大气污染,许多研究表明,这些因素将导致城市热岛的加剧。以上海市的能源消耗量为自变量,以热岛强度为因变量进行相关性分析后发现:能源消耗量与热岛强度在 0.01 显著性水平下存在显著相关关系,相关系数为 0.570。回归分析结果显示,二者呈二次函数关系,决定系数为 0.844,达到很好的解释水平(图4)。能源消耗量与热岛强度的相关性相对较低的原因可能是:20 世纪 90 年代以来,由于空调的普及、市政基础设施发展等原因,城区民用能源消耗量有一定增加,但大量工业企业外迁到郊区,使工业能源消耗在空间分布上表现为向郊区,尤其是向郊区的工业园区集中。因此,其对热岛效应的直接作用有所减弱^[12]。

4.2.2 能源消耗强度对热岛强度的影响 以上海市的能源消耗强度为自变量,以热岛强度为因变量进行相关性分析后发现:能源消耗强度与热岛强度在 0.01 显著性水平下存在显著负相关关系,相关系数为-0.784。回归分析结果显示,二者呈线性函数关系,决定系数为 0.6146,达到较好的解释水平(图5)。由图 5 可见:能耗强度越大,热岛强度越低。这一方面是因为能源消费主要包括生活能源消费和生产能源消费(主要是工业能源消费)两大部分(上海工业能源消费一直占能源消费总量的 55%以上),技术的进步导致了生产性能耗强度的下降,但居民生活水平的上升及人口增长

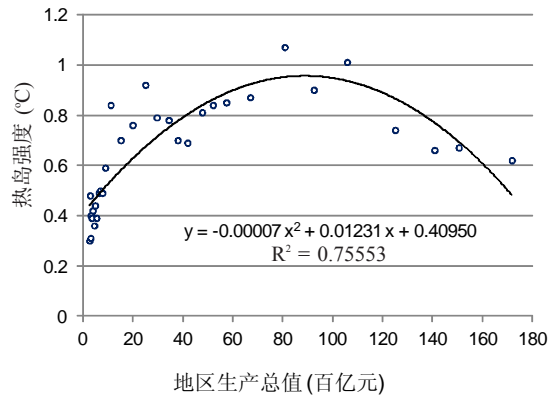


图2 上海市热岛强度与经济规模(地区生产总值)的关系(1961-2010年)

Fig. 2 Relationship between heat island intensity and economic scale (GDP) in Shanghai from 1961 to 2010

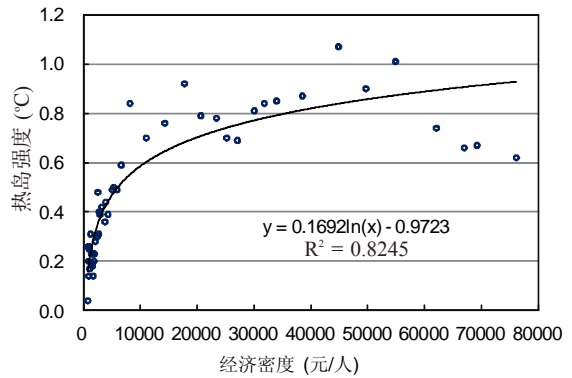


图3 上海市热岛强度与经济密度的关系(1961-2010年)

Fig. 3 Relationship between heat island intensity and economic density in Shanghai from 1961 to 2010

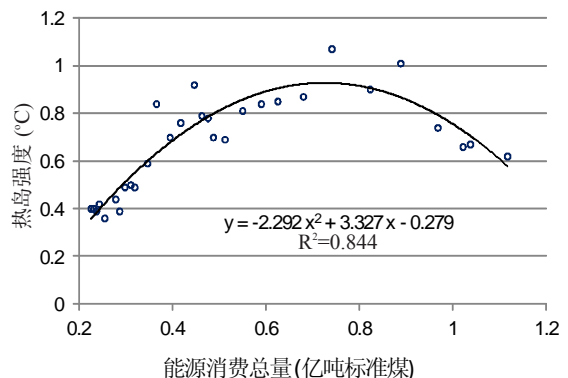


图4 上海市热岛强度与能源消耗量的关系(1985-2010年)

Fig. 4 Relationship between heat island intensity and energy consumption in Shanghai from 1985 to 2010

却带来了生活性能耗强度的上升,两者的相互作用使得能耗强度与热岛强度的变化关系更趋复杂。另一方面则是因为热岛强度是多种因素综合作用的结果,能耗强度不是影响热岛强度的唯一因素,而且也不是最主要的因素,故两者并不呈现同向变化态势。

比较来看,能源消耗强度与热岛强度的相关程度远大于能源消耗量与热岛强度的相关程度,表明就能源消耗对热岛强度的影响而言,强度效应大于规模效应。

4.3 人口增长对热岛强度的影响

4.3.1 人口规模对热岛强度的影响 以上海市常住人口规模为自变量,以热岛强度为因变量进行相关性分析后发现:常住人口规模和热岛强度在0.01显著性水平下存在显著相关关系,相关系数为0.622。回归分析结果显示,二者呈二次函数关系,决定系数为0.807,达到很好的解释水平(图6)。

4.3.2 人口密度对热岛强度的影响 以上海市常住人口密度为自变量,以热岛强度为因变量进行相关性分析后发现:常住人口密度和热岛强度在0.01显著性水平下存在显著相关关系,相关系数为0.609。回归分析结果显示,二者呈二次函数关系,决定系数为0.807,达到较好解释水平(图7)。

比较来看,两者的相关程度相差不大。这是因为,上海市外来常住人口占全市总人口的比重已高达40%,且一半以上(约53.7%)的外来常住人口集聚于近郊区域,他们对近郊区的热岛效应的影响程度要大于中心城区,从而弱化了其密度效应和规模效应。

4.4 城区面积对热岛强度的影响

建成区是指市区集中连片部分及分散在近郊与城市有密切联系、具有基本完善的市政公用设施的城市用地。建成区的拓展直接引起城市土地利用覆盖及用地类型的变化,导致城市不透水面积及其覆盖率的增加,直接带来较高的城市气温。城市热岛面积一般随工业用地、商住用地和道路的扩展而增加,并与建成区的空间范围基本吻合。

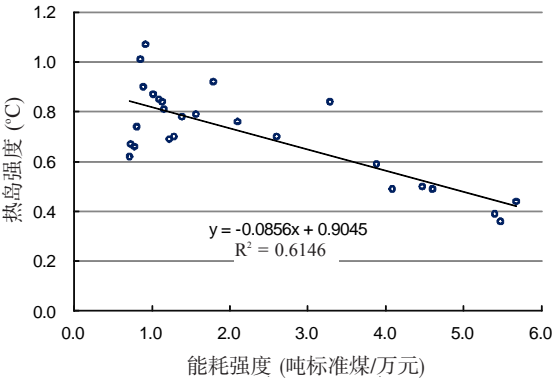


图5 上海市热岛强度与能源消耗强度的关系 (1985-2010年)

Fig. 5 Relationship between heat island intensity and energy consumption intensity in Shanghai from 1985 to 2010

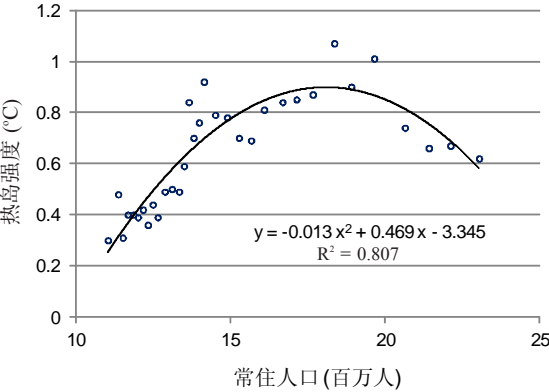


图6 上海市热岛强度与常住人口规模的关系 (1978-2010年)

Fig. 6 Relationship between heat island intensity and the resident population size in Shanghai from 1978 to 2010

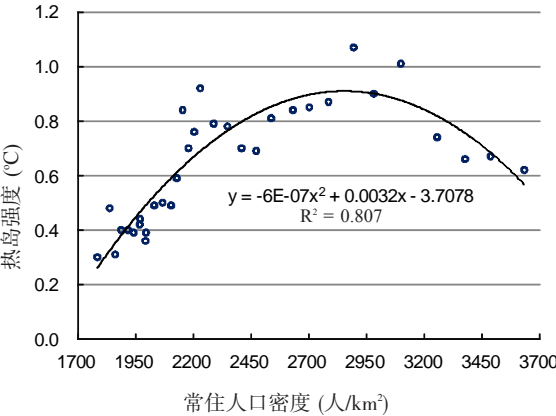


图7 上海市热岛强度与常住人口密度的关系 (1978-2010年)

Fig. 7 Relationship between heat island intensity and the resident population density in Shanghai from 1978 to 2010

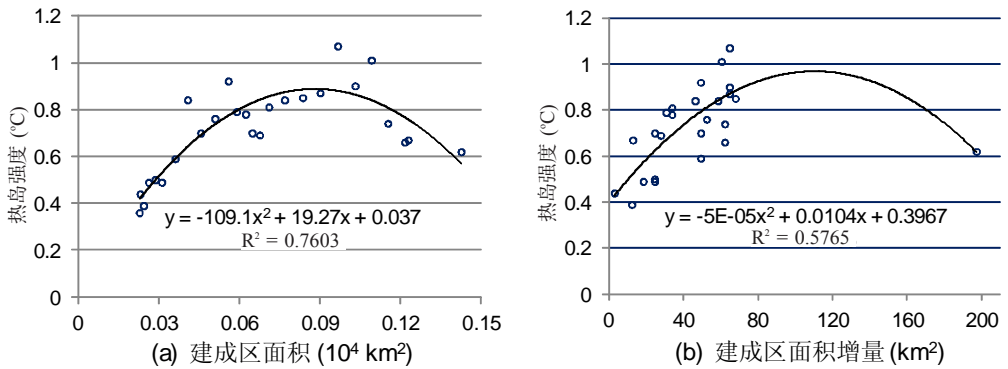


图8 上海市建成区面积与热岛强度的关系 (1985-2010年)

Fig. 8 Relationship between area of the built up area and heat island intensity in Shanghai from 1985 to 2010

注：① 1985-2005年上海建成区总面积数据来源于：王桂新，沈续雷. 上海城市化发展对城市热岛效应影响关系之考察. 亚热带资源与环境学报, 2010, 5(2): 1-11. ② 2006-2010年该项数据由作者根据相关图件提取得到.

分别以上海市建成区总面积和增量面积为自变量，以热岛强度为因变量进行相关性分析后发现：① 建成区总面积与热岛强度的相关系数 $R = 0.865$ ，说明二者呈显著正相关关系。回归分析结果显示，二者呈二次函数关系，决定系数为0.7603 (图8a)，达到了较高的解释水平。② 建成区面积增量与热岛强度的相关系数 $R = 0.817$ ，说明二者呈显著正相关关系。回归分析结果显示，二者也呈二次函数关系，决定系数为0.5765 (图8b)。③ 建成区总面积与热岛强度的相关程度大于建成区面积增量与热岛强度的相关程度，说明就城市用地扩张对热岛强度的影响而言，累积效应大于其增量效应。

4.5 房屋建筑对热岛强度的影响

4.5.1 房屋建筑面积对热岛强度的影响 分别以上海市历年全社会房屋竣工累积面积、增量面积为自变量，以热岛强度为因变量进行相关性分析，发现：① 全社会房屋竣工累积面积与热岛强度在0.01的显著性水平下存在显著正相关关系，相关系数为0.673。回归分析结果显示，二者呈二次函数关系，决定系数 R^2 为0.7561，达到了较高的解释水平 (图9a)。② 全社会房屋竣工增量面积与热岛强度在0.01的显著性水平下存在显著正相关关系，相关系数为0.714。回归分析结果显示，二者呈对数函数关系，决定系数 R^2 为0.525，说明函数关系式能够较好地反映两个变量之间的关系。③ 热岛强度会随着全社会房屋竣工增量面积而增加；在变化趋势上，开始时增加速度较快，之后逐渐变慢 (图9b)。④ 就全社会房屋竣工面积对热岛效应的影响而言，累积效应小于增量效应。

4.5.2 高层建筑对热岛强度的影响 分别以上海市20层以上高层建筑累积幢数、幢数净增量为自变量，以热岛强度为因变量进行相关性分析，发现：① 上海市20层以上高层建筑累积幢数与热岛强度在0.01的显著性水平下呈明显正相关关系，相关系数为0.558。回归分析显示，两者呈指数函数关系，决定系数为0.765，达到较高的解释水平 (图10a)。② 20层以上高层建筑幢数增量与热岛强度在0.01的显著性水平下呈明显正相关关系，相关系数为0.712。回归分析显示，两者呈二次函数关系，决定系数为0.5862 (图10b)。③ 就20层以上高层建筑数量对热岛效应的影响而言，累积效应弱于其增量效应。

4.6 土地利用对热岛强度的影响

土地利用主要包括规模和强度、类型和布局、利用方式三个方面。三者的变化都直接地或间接地影响着城市热岛效应的变化 (图11)。不同的土地利用类型产生了不同的城市地表热环境，从而导致热岛强度的地域差异。工业用地密集分布区、建筑物密集分布区及人流密集的商业区绝大多数是城市高温区和强热岛中心；而大量植被覆盖区域、水系、湖泊以及城市周边郊区则大多成为城市的低温区域。

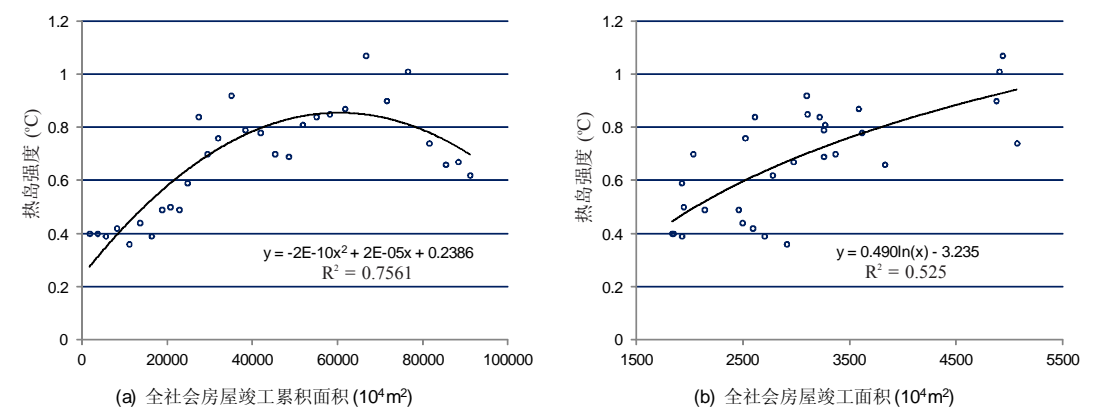


图9 上海市热岛强度与全社会房屋竣工面积的关系 (1981-2010年)

Fig. 9 Relationship between heat island intensity and floor space of completed buildings in Shanghai from 1981 to 2010

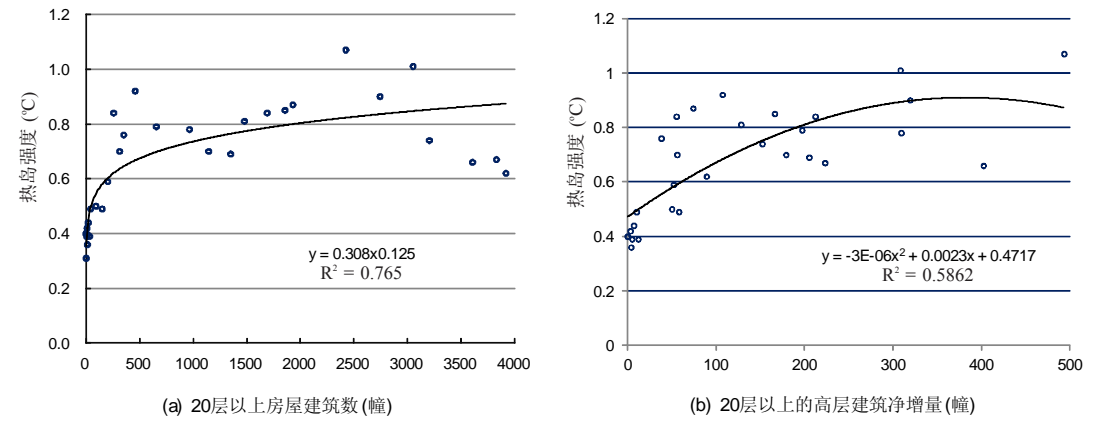


图10 上海市热岛强度与20层以上高层建筑的关系 (1980-2010年)

Fig. 10 Relationship between heat island intensity and buildings with over 20 storeies in Shanghai from 1980 to 2010

一般而言，高密度居住区通常成为强热岛区。这些地区楼房密度大，建筑物之间距离较小。白天太阳辐射照射在这些建筑物墙面上，这些墙面不仅能吸收大量的太阳辐射，而且还向四周反射长波辐射，使得城市中建筑物与建筑物，墙壁与墙壁，墙壁与地面之间进行多次反复的吸收辐射能流，为城市热岛的形成积累了所需的热量。到了夜间，这些鳞次栉比、高矮不一的建筑物又能有效阻挡城市地面长波辐射的散发，使夜间长波辐射的热量仍保留在城区，从而易于形成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，且楼间的峡谷风使热量容易散发，故热岛强度比高密度居民区弱^[8-9]。

已有研究结果表明：工业园区布局与城市热岛效应的关系也较为密切。在上海，宝山钢铁产业区、嘉定汽车产业区、杨浦区的沪东工业区、闸北工业区、闵行工业区等工业密集分布区域，一般都是全市或区域性城市强热岛中心^[10-11]。工业园区对热岛效应的贡献主要来源于工业生产过程中燃烧大量的燃料所释放的热量及较高密度的工业废气排放量。在上海市奉贤区，星火开发区、化工区奉贤分区等以化工产业为主导的开发区，其能源消费强度要明显高于现代农业园区和海湾旅游区 (表1)。

由于水的热容较大，温度升高缓慢，因此水体的温度相对较低，城市中的江河湖面往往成为低温或较低温分布区域。

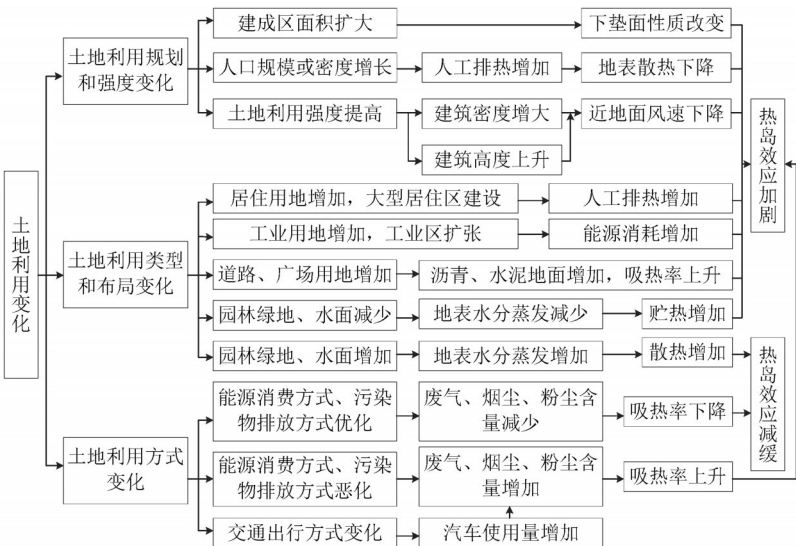


图 11 土地利用变化影响城市热岛效应的作用机理

Fig. 11 The impacting mechanism of land use changes on the urban heat island effect

许多研究都证实：植被覆盖水平与下垫面温度呈显著的负相关关系，且植被降温效果夏季好于春季；当然，植被对地面温度的影响也受到下垫面结构的制约。在土壤水分充足的条件下，植物根部吸收土壤中的水分，并通过其叶面的蒸腾将水分以气态形式散发到大气中，造成周围空气湿润和气温变化，同时也带走了一部分热量，从而降低了气温。尤其是大面积的绿地 (包括由城市中以绿化为主的各级公园、小游园、街头绿地、道路绿化、居住区绿地、庭院绿地、交通绿地、风景区绿地和生产防护绿地等所组成的绿地系统) 建设有助于改善城市下垫面的热力学性质，促进空气的冷却及循环流动，从而对分隔热岛和限制热岛的扩散起到了较显著的促进作用^[15-17]。因此，城市中的园林绿地能形成低温中心或低温带。研究表明，当一个区域的绿化覆盖率达到30%，热岛强度明显减弱；绿化覆盖率大于50%，热岛缓解现象极其明显^[18]。

4.7 城市发展模式对热岛强度的影响

研究表明：在上海市老城区内，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，建筑密度通常大于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%。该区域的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，形成了全市热岛效应最强的热核区^[8]。由此可见，低容积率但

表 1 上海市奉贤区各开发区能源消费强度比较 (2005-2010 年) (吨标准煤/万元)

Tab. 1 The contrast of energy consumption intensity of development zones in Fengxian District of Shanghai from 2005 to 2010 (Tons of standard coal per ten thousand yuan (RMB))

年份\开发区	海湾旅游区	工业综合开发区	化工区奉贤分区	现代农业园区	海港开发区	星火开发区
2006	0.0924	0.1085	0.5500	0.1094	0.1673	0.2186
2007	0.0564	0.0443	0.4430	0.1113	0.1603	0.2662
2008	0.0418	0.0536	0.1923	0.1328	0.1417	0.2446
2009	0.0388	0.0488	0.1811	0.1211	0.1000	0.2351
2010	0.0308	0.0343	0.1604	0.0664	0.0760	0.2311
主导产业	休闲旅游、 商务	光仪电、 汽车零部件	石油化工、 精细化工	农产品深加工	物流产业、 装备制造业、 航空零部件等	精细化工、 生物医药

资料来源：根据上海市奉贤区统计年鉴 (2007-2011) 计算得到。

高建筑密度的传统中心城区可以成为强热岛区。同样,高层建筑连片分布的住宅区、大规模高强度开发的现代中心城区也往往成为强热岛区。

因此,城市发展模式与热岛效应之间存在一定的关联性,不合理的城镇化设计和建设模式往往会加剧城市热岛效应。在特大城市和大城市,有人通常以人口增长太快作为大建高层建筑的借口,盲目推崇高层建筑的模式,在中央商务区、城市副中心、区域中心、高铁商务区等城市核心区或次中心区域内规划、建设超高层住宅或综合体项目^[19],进而崛起高层建筑连片分布居住区或商务办公区,这些区域很有可能成为强热岛区。而且,这种“高而密”的城镇化模式既形不成紧凑的街道空间,又增加了对汽车的依赖和能耗,还导致了停车位的紧缺。近年来,上海等特大城市的热岛效应有所加剧,在一定程度上也与中心城区“高而密”的城镇化蔓延扩张模式有关。

相比而言,低而密的城镇化模式(高密度的多层建筑模式)既可解决人口的居住问题,又宜于形成紧凑的街道空间,并能保持城市的肌理和尺度。只要将建筑密度加以适当控制(最好不要超过60%),也有利于遏制城市热岛效应。

综上所述,上海城市热岛强度的影响因素不仅多种多样,而且其影响程度又具有明显的差异性:(1)无论从累积效应还是从增量效应来看,建成区扩张对热岛强度的影响效应最大,表明土地城市化是上海城市热岛强度的主要影响因素;(2)能源消耗强度、房屋竣工面积增量、经济密度等因素的影响程度居于次位,接下来则是房屋竣工累积面积、人口增长等因素,表明工业化(能耗强度、经济发展强度)、房地产开发、人口增长对上海城市热岛强度均具有较大的影响;(3)而能耗规模、高层建筑面积、经济规模等因素对上海城市热岛强度的作用则相对较弱。

5 结语

5.1 主要结论

(1)上海城市热岛强度的变化具有时间上的波动性和空间上的差异性。从上海热岛强度的年际变化来看,其长期变化存在跃变的波动性特征;而且,在平稳升高的阶段中,热岛效应强度的波动与区域气温的波动呈现正相关关系,即区域气温升高的年份,热岛效应也变强;区域气温降低的年份,热岛效应相对变弱。

(2)土地城市化是上海城市热岛强度的主要影响因素,两者的相关系数大于0.8;就建成区扩张对热岛强度的具体影响而言,累积效应大于其增量效应。

(3)工业化、房地产开发、人口增长对上海城市热岛强度均具有较大的影响,各自的相关系数介于0.6~0.8之间。就经济发展和能源消耗对城市热岛强度的具体影响而言,密度效应通常大于其规模效应;就房屋建筑对热岛强度的具体影响而言,累积效应小于增量效应;就人口增长对城市热岛强度的具体影响而言,密度效应与规模效应大体相近。只有能耗规模、高层建筑面积、经济规模3个因素与热岛强度的相关系数介于0.5~0.6之间。

(4)土地利用和城市发展模式的差异导致了城市热岛效应的空间差异。高温区主要对应工业仓储、道路广场、交通、居住等用地类型;低温区主要为耕地、绿地、林地和园地、水面等用地类型。高而密的城镇化蔓延扩张模式一般较低而密的城镇化模式更易产生城市热岛效应。

5.2 讨论与建议

(1)城市热岛是在人为因素(主要是城市化和工业化的快速推进)及局地天气气象条件共同作用下形成的。其中:局地天气气象条件是外因,由人口增长及城市化和工业化引发的土地利用变化是内因。从以上研究结果可以推断:控制城市经济发展强度和能耗强度、将人口总量控制与人口密度合理分布结合起来,是有效遏制上海城市热岛效应的重要举

措;与此同时,适当控制城市房地产的增量开发,适度控制高层建筑的增量开发,也是有效遏制热岛效应的重要任务。

(2) 寻求合理的城市土地利用规模、结构、方式及其空间布局,应当成为有效遏制上海城市热岛效应的重要目标。一方面,要切实扭转传统的单中心城市“摊大饼”式的蔓延扩张模式,积极推进多中心城市建设,合理控制建成区的总量规模和新增规模,既是城市土地利用总体规划的重要目标,又是遏制热岛效应的有效措施。另一方面,适当控制建设用地增长规模,增加非建设用地面积,推进集约、绿色、低碳的土地利用,也有助于缓解城市热岛效应。

(3) 与北京和苏州两大城市比较,上海的城市热岛强度弱于北京而强于苏州。1960-2000年,北京城市热岛强度平均为 $0.94\text{ }^{\circ}\text{C}^{[20]}$;上海同期城市热岛强度平均为 $0.41\text{ }^{\circ}\text{C}$ 。1971-2000年,北京城市热岛强度以平均每10年 $0.22\text{ }^{\circ}\text{C}$ 的速率加剧^[21];上海只有1991-2000年城市热岛强度以平均每10年 $0.22\text{ }^{\circ}\text{C}$ 的速率增加,而1960-1990年间城市热岛强度的增速则低于北京。上海的人口和经济总量虽然高于北京,但由于地形平坦且地处东海之滨和太平洋西岸,其热岛强度及其增速均低于同期的北京。而在与上海毗邻的苏州市,1970-2007年间其城市热岛强度虽也保持总体上升趋势,但其热岛强度的增幅仅为每10年 $0.071\text{ }^{\circ}\text{C}^{[22]}$,明显低于同期的上海,这主要缘于苏州的人口规模和密度、经济活动规模和强度、城市化水平和建成区规模等均不及上海所致。

参考文献 (References)

- [1] Bornstein, R D. Observations of the urban heat island effect in New York City. *Journal of Applied Meteorology and Climatology*, 1968, 7: 575-582.
- [2] Magee N, Curtis J, Wendler G. The urban heat island effect at Fairbanks, Alaska. *Theoretical and Applied Climatology*, 1999, 64: 39-47.
- [3] Morris C J G, Simmonds I, Plummer N. Quantification of the influences of wind and cloud on the nocturnal urban heat island of a large city. *Journal of Applied Meteorology*, 2001, 40(2): 169-182.
- [4] Baumann P R. An urban heat island Washington D. C., URL: http://www.oneonta.edu/faculty/baumanpr/geosat/Urban_Heat_Island/Urban_Heat_Island.htm
- [5] Ackerman B. Temporal march of the Chicago heat island. *Journal of Applied Meteorology*, 1985, 24(6): 547-554.
- [6] Steve Kardinal Jusuf, Wong N H, Emlyn Hagen et al. The influence of land use on the urban heat island in Singapore. *Habitat International*, 2007, 31(2): 232-242.
- [7] Sarkar H. Study of land cover and population density influences on urban heat island in tropical cities by using remote sensing and GIS: A methodological consideration. 3'd FIG Regional Conference Jakarta, Indonesia, October 3-7, 2004.
- [8] Ding Jincai, Zhang Zhikai, Xi Hong et al. A study of the high temperature distribution and the heat island effect in the summer of the Shanghai area. *Chinese Journal of Atmospheric Sciences*, 2002, 26(3): 413-421. [丁金才, 张志凯, 奚红等. 上海地区盛夏高温分布和热岛效应的初步研究. *大气科学*, 2002, 26(3): 413-421.]
- [9] Yue Wenze, Xu Jianhua. Impact of human activities on urban thermal environment in Shanghai. *Acta Geographica Sinica*, 2008, 63(3): 247-256. [岳文泽, 徐建华. 上海市人类活动对热环境的影响. *地理学报*, 2008, 63(3): 247-256.]
- [10] Cao Aili, Zhang Hao, Zhang Yan et al. Decadal changes of air temperature in Shanghai in recent 50 years and its relation to urbanization. *Chinese Journal of Geophysics*, 2008, 51(6): 1663-1669. [曹爱丽, 张浩, 张艳等. 上海近50年气温变化与城市化发展的关系. *地球物理学报*, 2008, 51(6): 1663-1669.]
- [11] Mu Haizhen, Kong Chunyan, Tang Xu et al. Preliminary analysis of temperature change in Shanghai and urbanization impacts. *Journal of Tropical Meteorology*, 2008, 24(6): 672-678. [穆海振, 孔春燕, 汤绪等. 上海气温变化及城市化影响初步分析. *热带气象学报*, 2008, 24(6): 672-678.]
- [12] Wang Guixin, Shen Xulei. On the relationship between urbanization and heat island effect in Shanghai. *Journal of Subtropical Resources and Environment*, 2010, 5(2): 1-11. [王桂新, 沈续雷. 上海城市化发展对城市热岛效应影响关系之考察. *亚热带资源与环境学报*, 2010, 5(2): 1-11.]
- [13] Yang Yingbao, Su Weizhong, Jiang Nan et al. Spatial-temporal characteristics of urban heat island effect change of Nanjing city and its relation with land use change. *Geographical Research*, 2007, 26(5): 877-887. [杨英宝, 苏伟忠, 江南等. 南京市热岛效应变化时空特征及其与土地利用变化的关系. *地理研究*, 2007, 26(5): 877-887.]
- [14] Wang Wenjie, Shen Wenming, Liu Xiaoman. Research on the relation of the urbanization and urban heat island effect changes in Beijing based on remote sensing. *Research of Environmental Sciences*, 2006, 19(2): 44-45. [王文杰, 申文明, 刘晓曼. 基于遥感的北京市城市化发展与城市热岛效应变化关系研究. *环境科学研究*, 2006, 19(2): 44-45.]

- [15] Yue Wenzhe, Xu Jianhua, Xu Lihua. An analysis on eco-environmental effect of urban land use based on remote sensing images. *Acta Ecologica Sinica*, 2006, 26(5): 1450-1460. [岳文泽, 徐建华, 徐丽华. 基于遥感影像的城市土地利用生态环境效应研究. *生态学报*, 2006, 26(5): 1450-1460.]
- [16] Su Weizhong, Yang Yingbao, Yang Guishan. Distributional characteristics of urban thermal space and relations with land use/cover of Nanjing. *Scientia Geographica Sinica*, 2005, 25(6): 697-703. [苏伟忠, 杨英宝, 杨桂山. 南京市热场分布特征及其与土地利用/覆被关系研究. *地理科学*, 2005, 25(6): 697-703.]
- [17] Tang Xi, Shu Jiong, Yue Qun. Relationship between vegetation and urban heat-island effect in Shanghai. *Journal of East China Normal University: Natural Science*, 2008, (1): 119-128. [唐曦, 束炯, 乐群. 基于遥感的上海城市热岛效应与植被的关系研究. *华东师范大学学报: 自然科学版*, 2008, (1): 119-128.]
- [18] Yu Zhixi. *Urban Ecology*. Beijing: China Forestry Publishing House, 1992. [于志熙. *城市生态学*. 北京: 中国林业出版社, 1992.]
- [19] 张宏伟. 中国城市犯病超高层, 建的太多后患无穷. 第一财经网站, 2013-07-26. <http://sh.focus.cn/news/2013-07-26/3689611.html>.
- [20] Lin Xuechun, Yu Shuqiu. Interdecadal changes of temperature in the Beijing region and its heat island effect. *Chinese Journal of Geophysics*, 2005, 48(1): 39-45. [林学椿, 于淑秋. 北京地区气温的年代际变化和热岛效应. *地球物理学报*, 2005, 48(1): 39-45.]
- [21] Ji Chongping, Liu Weidong, Xuan Chunyi. Impact of urban growth on the heat island in Beijing. *Chinese Journal of Geophysics*, 2006, 49(1): 69-77. [季崇萍, 刘伟东, 轩春怡. 北京城市化进程对城市热岛的影响研究. *地球物理学报*, 2006, 49(1): 69-77.]
- [22] Zhu Yan, Yang Jinbiao, Zhu Lianfang et al. The investigation of the relationship between urbanization process and climate change in Suzhou. *Journal of the Meteorological Sciences*, 2012, 32(3): 317-324. [朱焱, 杨金彪, 朱莲芳 等. 苏州城市化进程与城市气候变化关系研究. *气象科学*, 2012, 32(3): 317-324.]

The impacting mechanism and laws of function of urban heat islands effect:

A case study of Shanghai

PENG Baofa¹, SHI Yishao², WANG Hefeng², WANG Yali¹

(1. *College of Resource Environment and Tourism, Hunan University of Arts and Science, Changde 415000, Hunan, China;*

2. *College of Surveying and Geo-Informatics, Tongji University, Shanghai 200092, China)*

Abstract: Urban heat island is the interactive result between human factors and the local weather conditions. In terms of human factors, land use and land cover change, anthropogenic heat and atmospheric emissions of pollutants caused by the interaction between industrialization and urbanization are particularly important. This article reveals the impacting mechanism of urban heat islands effect from the three aspects including scale and intensity, types and layout, and patterns of land use changes exemplified by Shanghai. Empirical evidences show that: (1) Land urbanization is the most important factor affecting urban heat island intensity in Shanghai. In terms of the influence of built-up area expansion on heat island intensity, accumulative effect is greater than incremental effect; (2) Industrialization, real estate development, and population growth are the second more important factors impacting urban heat island intensity in Shanghai. As far as the influence of economic development and energy consumption on heat island intensity is concerned, density effect is often greater than size effect; in terms of the influence of floor space of completed buildings and buildings with over 20 storeys on heat island intensity, accumulative effect is less than incremental effect; as for the influence of population growth on heat island intensity, density effect and size effect are approximately equivalent; (3) Dissimilar urban land properties or types and urban development modes lead to spatial disparity in urban heat island intensity.

Key words: heat islands effect; impacting factors; density effect; size effect; accumulative effect; incremental effect; relevant laws