# 城市热环境的规划改善策略研究

# 一以武汉市为例

岳亚飞<sup>1, 2, 3</sup>, 詹庆明<sup>1, 3</sup>, 王炯<sup>1, 3</sup>

(1. 武汉大学城市设计学院, 湖北 武汉 430072; 2. 大连都市发展设计有限公司,

辽宁 大连 116000; 3. 地球空间信息技术协同创新中心, 湖北 武汉 430079)

【摘 要】: 随着城市热环境的恶化,城市中极热现象频率逐步增高。对于在城市尺度下提出的概念性的规划策 略,因其缺乏可操作性并不能及时有效的缓解城市热岛现象。然而,在局部尺度下的策略一直难以提出,其中的一 个原因便是对现有的关于城市微气候的研究缺少标准。在 OKE 教授团队提出的局部气候区 (LCZ) 概念的基础上, 以武汉市为例提出一个通过量化的措施在局部尺度改善城市热环境的流程。方法上,利用 ArcGIS 和 envi 软件从 Landsat-7 的 ETM+影像数据和武汉市的建筑矢量数据中提取出 9 个最常用的影响地表温度 (LST) 的地表指标,进 而利用这 9 个指标通过 K 均值聚类的方法对武汉市研究区域进行 LCZ 划分。接着,利用普通最小二乘法 (OLS) 分 析地表指标与 LST 的关系。以 LCZ 为框架,结合各地表指标与 LST 的相关性关系,从改善局部 LST 过高的角度出发, 以分层结构和优先级的思路提出规划缓解策略。研究结果表明,案例中的武汉市研究区域被划分为 7 个 LCZ,同时 也定位出各 LCZ 中温度最高的热点,发现地表指标在不同的 LCZ 与地表温度有独特的相关性关系,因而针对不同 LCZ 中的热点提出了具体的地表指标参数值调整建议来改善热点的热环境状况。这可以在一定程度上有目标性的降低局 部热岛的温度,同时至少在 2 个方面有助于城市微气候和规划的研究: (1) 减小了城市热环境的研究尺度; (2) 从规划角度提出了优化城市热环境的工作流程。

【关键词】:城市热岛;气候区;地表温度;局部尺度;热点

【中图分类号】: TU984 【文献标识码】: A 【文章编号】: 1004-8227 (2018) 02-0286-10

**[DOI]**: 10.11870/cjlyzyyhj201802007

全球气温持续上升的过程中,城市可能有比自然土地覆盖更高的变暖速度<sup>[1]</sup>。在城市区域中温度更高的现象称为城市热岛 (UHI, Urban Heat Island)。有研究表明,目前的城市气候中在无风和少云的天气条件下热岛的强度可达到 12 丈<sup>[2, 3]</sup>,而热 岛强度的增大很大程度上是由于地表覆盖要素的变化<sup>[4]</sup>。城市热岛形成的物理机制已经在很多文献中提到。城市建设的主要成分, 如沥青、水泥、屋顶的瓷砖瓦片等,相比于森林植被等其他自然地表要素有更高的热容量<sup>[5]</sup>。同时人为热排放的增加、蒸发降温 的减少、地表粗糙度的增加、表面反射率的降低、城市峡谷形态的缩小都导致了城市热岛的形成<sup>[6]</sup>。在城市冠层(UCL,Urban Canopy Layer)内大气较低层的温度是显著的受土地利用和土地覆盖变化的影响<sup>[7]</sup>。

<sup>&</sup>lt;sup>1</sup>[收稿日期]: 2017-04-14; [修回日期]: 2017-05-18

<sup>[</sup>基金项目]: 国家自然科学基金课题(51378399) "基于 GIS 和 RS 通风潜力分析的城市风道规划支持方法研究"

<sup>[</sup>作者简介]: 岳亚飞(1990~), 男,硕士研究生,主要研究方向为数字城乡规划与管理. E-mail: yfyue@whu. edu.

而地表温度(LST, Land Surface Temperature)具有重要的研究意义,其维持着城市区域大气最底层的能量平衡,同时控制着城市冠层内的空气温度<sup>[8]</sup>,直接影响着人体能感受到的热环境。同时,也能通过卫星影像数据获得精确、全面的 LST 变化。因此 LST 是城市热环境很好的指示指标。

城市极热事件导致的悲剧性后果最近才被意识到和强调。然而从调查来看大多数城市并没有从规划控制要素来缓解温度的规章制度<sup>(9)</sup>。即使在部分城市有一些关于气候行为的规划考虑了控制温室气体的排放,这不足以解决问题<sup>(1)</sup>。目前改善热环境的问题在 2 个方面有很大的欠缺:

(1) 微气候的研究缺少标准使得城市热环境问题缺乏量化的理论, 尤其在局部尺度范围内;

(2)同时也缺少从城市规划与实施角度缓解城市热环境问题的方法。

微气候的当前研究中一个显著的薄弱环节就是缺乏标准。这使得局部尺度下的气象研究缺乏量化手段<sup>[10]</sup>。大多数的规划设 计理念会受限于缺乏量化标准而不能有效缓解和改善城市气候<sup>[1]</sup>。尤其是在局部尺度下温度模式变化的研究中就受到了很大的限 制<sup>[11]</sup>。0KE 的研究团队在 2011 年开始建立城市气候区和局部气候区(LCZ,Local Climate Zone)的观念,同时将研究理念应用 于整个城市<sup>[12]</sup>。局部气候区的提出是为了使微气候的研究至于一个标准性的框架下。局部气候区框架是根据对气象的不同的反 应,将地表分为不同的区域,分类指标主要是具有气象属性的地表要素。从影响城市热环境的角度看,在自然和建成环境的地 表形态方面进一步的定义,分类指标可以有不透水面比例(ISF)或透水面比例(PSF)<sup>[13, 14]</sup>,反射率<sup>[15</sup>, 16]</sup>,天空视域因子(SVF) <sup>[17~19]</sup>,植被覆盖率<sup>[13, 20, 21]</sup>和建筑强度。依据这些分类指标对城市气候区划分,得到的单个局部气候区可以用来反映某一地区的 热环境气候模式。

LCZ 近来被作为一个框架提出,在一些城市几公里的范围内得到验证。在 2014 年,匈牙利的 Hungary 将 LCZ 的框架应用于整个城市<sup>[22]</sup>。目前对于这种理念的应用整体上还是偏少的,对局部尺度下局部气候的动态现象更深一步的理解还需要更多的针对 LCZ 框架的应用和试验。

## 1、研究框架

因为 LCZ 的分类是基于一组指标,这些指标反映了研究区域的特定气象属性,这样 LCZ 就为区域的气候的属性提供了框架 结构,描述了局部区域的气候模式。调整 0KE 团队 LCZ 的研究使得其更加针对于地表温度,从地表要素中提取出 9 个对地表温 度产生显著影响的指标,作为武汉市气候区划分的依据。这样,从规划行业的角度来看,改进后的 LCZ 可以在两个方面作为缓 解城市热环境的框架:一方面是将局部高温限定在单个气候区内,而不是整个城市;另一方面,地表高温的缓解方法是基于 LCZ 的分类指标。

在 AreGIS 中利用空间叠加分析工具叠加分析地表温度分布图和局部气候分区图。通过比较某一 LCZ 内局部高温和周围区域 各指标参数的不同,找出局部尺度下造成高温的主要因素,对主要地表温度影响因素提出量化值的调整意见,确定规划改善措 施的优先级和分层结构,进而使规划从业者能够充分利用这些地表相关要素缓解和改善城市热环境问题。本文总体上提出了一 个优化城市热环境的工作流程(图1)。

## 2、理论

2.1 研究区域和数据



图 1 从规划角度缓解城市热问题的思路和方法

武汉市作为研究案例,位于中国的中部,是中国第五大人口的城市。武汉市地表覆盖的异质性是其显著的特征。武汉城市 内部和周边也分布了大量的水体,这也突出了其地表成分的多样性。研究区域的范围是 45kmx36km,覆盖了整个武汉市区和周边 的乡村。左上点和右下点相应的坐标是"30°43′53″比114°4′49″E"和"30°24′0″N,114°32′34″E"。覆盖范围充分展示了 城市的地表成分(图 2)。武汉市是典型的夏热冬冷地区,年日最高气温大于 35T 的天数为 10~30d<sup>[23]</sup>。



图 2 研究区域的假彩色影像:地球资源卫星 ETM +的红外、近红外、绿波波段组合,强调 建成区、植被和水体地表的异质性

获取 2015 年 7 月 29 日的 Landsat-7ETM+影像的 LIT 数据产品,量化测定研究区域地表温度。通过 60m 分辨率的热红外波段(波段 6)来反演地表温度。同时也利用 LIT 影像数据推导出部分地表指标,其主要是用来计算得出 PSF, ISF,反射率,植被指数(VI),水体指数(WI)等。通过 2015 年武汉市 shapefile 格式的建筑普查数据计算 SVF<sup>[24]</sup>,建筑密度(BD),建筑体密度(BVD),建筑高度(BH)。

为了分析地表温度与地表控制要素的关系,ETM+影像和 shapefile 格式的武汉市建筑数据统一定义为 GCS\_WGS\_1984 坐标系统。在 ENVI 中,分别对 ETM+影像进行几何校正和大气校正的预处理。

在武汉市的案例研究中,地表温度现象的空间自相关属性由经验半变异图得出,进一步地表温度的方差图表明现象的适宜操作尺度是500~650m。这表明了在这个研究区域检测地表温度的最佳尺度,同时经过地表温度与ISF关系的多尺度分析的验证,证实了这一操作尺度<sup>[25]</sup>。因此,在本文的研究中,将地表温度和气候分区的操作尺度确定为500m。

2.2 地表温度的反演

首先是对 Landsat7 ETM+影像的条带修复,这里主要采用了 Zeng 等<sup>[26]</sup>提出的加权线性回归法(The Weighted Liner Regression, WLR),该方法提高了影像修复的准确性,即使在边缘区也能得到较好的修复,并得到验证。地表温度的反演主要通过 Landsat ETM+热红外波段(10.4~12.5μm),这一过程的实现主要包含3个步骤: (1)计算地表辐射率; (2)计算亮温温度值;(3)将亮温度值转化为地表温度。关于详细的 ETM+影像反演出地表温度的过程可以从 Chen 等(2006)<sup>[27]</sup>、Li 等(2011)<sup>[28]</sup>、Weng 等(2004)<sup>[20]</sup>的研究中获得。

由热红外波段反演出的地表温度图分辨率是 60m,通过像元合并的方法降采样到 500m,像元合并法是尺寸增加的输出像元 值是该输出像元对应范围内原输入像元值的加权平均。图3是得到的研究区域下的地表温度分布结果 地表温度的平均值是 28.89 丈,标准差是 2.97。可以发现地表温度分布模式没有特殊的规律,从高温区向低温区的变化并不是对称的或者是中心分散的。 武汉市中热岛明显的区域主要分布在目前研究区的东北方和西南方,这是由于这两处有大量密集的工业,西侧的热岛强度次之, 城市中心区的热岛面积相对较小,分布比较分散;而城市中的低温区域主要是长江和城市中公园、湖泊周围。



图 3 在研究区域内由 Landsat-7 ETM+反演出的地表温度

2.3 局部气候分区

2.3.1 指标

选取的指标是根据之前的地表与地表温度的关系的研究中经验性总结得出的,指标也能够反映出地表的气象属性。选取的指标如表 1 所示。在这个研究中,九个要素作为气候区分类的指标,分别是 SVF<sup>[24]</sup>, BD, BVD<sup>[29]</sup>, BH<sup>[20]</sup>, PSF,反射率,VI, ISF

和 WI<sup>[27]</sup>。其中, SVF 是利用 Gai 的理论通过建筑矢量数据得出<sup>[24]</sup>, VI 和 WI 分别是植被和水体的覆盖率。将所有的指标值以 500m × 500m 的像元为单位进行统计。

北标	空々	<b>与免</b> 今义	本派粉捉	分辨	
3日小小	定义	(豕百久	<i>不切</i> 示 致 1/6	率	
王穴训试田子 (CVF)	左地圭甘一占的王穴可视苏国 取信[0 1]	反应大阳短射和勘执	2015年武汉市建筑数	500 m	
八王悦峨因」(341)	在地农禾 点的八王可忧抱固,坎值[0,1]	风应风阳抽剂和取然	据	500 III	
建筑密度 (BD)	单位地表建筑底面和低上比例[0_1]	后应丰而久运和水八	2015年武汉市建筑数	500 m	
	半位地衣建巩底面积所占比例[0,1]	<u> </u>	据		
建筑体密度 (BVD)	在有特定高度的三维空间内建筑体积所占	反应市区内的气流和	2015年武汉市建筑数	E00 m	
	总体积的比率[0, 1]	散热	据	900 III	
<b>油快空空</b> (PW)		反应市区内的气流和	2015年武汉市建筑数	E00 m	
连巩间/ 〔Dff/	构现初和日然初的尚度[0,1]	散热	据	500 m	
可渗透表面比例	比加水和桔神笙可涂透丰面的比例[0 1]	后应丰而久达和水八	Londoot FTM	500 m	
(PSF)	比如小种植被夺可渗透衣面的比例[0,1]	<u> </u>	Landsat EIM +	500 m	
反射率 (A)	各个方向上的反射集合,总体反射率	反应短波辐射的效能	Landsat ETM+	500 m	
枯油比粉 (VI)	持速的覆关索 取店[0 1]	与能量和水的转换有	Londoot FTM	500 m	
但恢1日致(11)	恒 <b>恢</b> 的復益平,取值[0,1]	关	Landsat EIM +	500 m	
不透水面的比例	不透水主面的比例[0_1]	后应丰而久运和水八	Londoot FTM	500 m	
(ISF)	小边小衣曲印记[7][0, 1]	<u> 风四</u> 衣田江孤阳小刀	Lanusat EIM T	500 III	
水体指数 (WI)	水体覆盖比例[0, 1]	反应表面径流和水分	Landsat ETM +	500 m	

表1 局部气候区分类指标

2.3.2 分类

上面的各类指标可以看作地表特定区域的不同属性,每个指标值是指像元的一个特性,这意味着对于每一个像元,其属性可以作为一个多维向量,这里就是九个维度的向量。在这种情况下,应用 k 均值聚类方法分类可以有效利用数据的内在结构而不是用经验值人为地分割。因此像元就被作为观察对象,对于每一个观察对象其属性都是一个多维向量。所有的像元都在 d 维空间内(P<sub>1</sub>, P<sub>2</sub>···P<sub>n</sub>)。K 均值聚类将像元分为 k 集,为集群内平方和的最小化。因此:

$$\arg\min\sum_{i=1}^{k} \sum \|p - \mu_i\|^2$$
 (1)

其中µ<sub>i</sub>是集群 i 的平均值。

#### 2.4 地表温度与地表指标的关系

从地表要素缓解城市热环境,就需要检验在每个局部气候区中地表温度与地表要素指标的关系。这种检验一方面验证了地 表温度与指标相互关系的存在,同时也表现出这种关系是如何在空间上变化的。它表明在像元尺度下调整具体的指标值如何潜 在的影响地表温度。检验是分为2个模块。首先研究 SVF、BD、BVD、BH、反射率、VI、WI 多变量对地表温度的影响,然后单独 考虑 ISF 与地表温度的关系,来避免 ISF 与其他指标相互干扰,造成多重共线性的问题<sup>[14]</sup>。PSF 为了避免与 ISF 的共线性问题, 也是单独分析与地表温度的关系。这里的检验是利用普通最小二乘法(OLS, Ordinary Least Square)分析地表要素指标与地表温度的关系。表达式为:

### $T_{LST} = X\beta + e \tag{2}$

式中: Tisr是作为因变量的地表温度; X 是作为自变量的多项解释性矢量; B 是表明 Tisr与 X 关系的回归系数; e 是内在残差。

## 3、结果

3.1 气候区的划分

充分重复利用 K 均值,发现对于研究区域最合适是分为 7 类,在这样的情况下可以解释 99%的数据变化信息,而当 K 大于 7 时,分类对于信息的解释没有明显的提升。图 4 展示了分类结果。气候区的形状勾勒出建成区的分布,表明地表的人工构筑对 气候产生了显著影响。地表指标的均值在表 2 中详细的列出,所有指标值归一化为百分值。从 1 区到 7 区,ISF,BD 和 BVD 的均 值增加,表明地表中人造要素成分增多。由于 5 区 6 区中居住和办公高层建筑成片出现,使得这两个区的建筑高度显著增大。 年代比较久的低矮稠密的居住区也增加了 6 区指标 BD 和 BVD 的值。这些高密度的建筑也遮挡了人看天空的视野,使得 6 区是唯 一一个 SVF 值低于 90%的区。VI,PSF 和 WI 指标描述了自然地表的特征,他们的值从 1 区到 7 区不断减小,除了 1 区是因为有 大量水体导致 VI 比较小。所有 LCZs 的反射率值大致都在 23%左右。6 区和 7 区因为旧厂房黑色的屋顶导致反射率比较低,为 20.34% 和 20.60%。



图 4 局部气候分区图

为了方便比较 LCZs 之间的指标差异,表 2 中的指标平均值通过柱状图表现出来(图 5)。LCZs 中每个指标的均值都与整体 区域的均值比较。BD, BVD, PSF, ISF,和 VI 的值在乡村和城市建成区是明显对立的。

#### 3.2 地表要素指标与地表温度的关系

表 3 列出了研究中每个局部气候区内在 500m 的像元水平下,地表指标对地表温度的影响,所有的相关性系数都有显著的统计学意义(P>0.01)。以 ISF 与地表温度的关系为例,相关性系数卢在气候区之间是不相同的,展现了这种关系是随空间而变化的。在之前的研究中已经发现 ISF 与地表温度的相关性系数在整个研究区是 0.21 左右<sup>[25]</sup>,表格中列出的单独的气候区内的相关性系数也是在这个值附近。1 区和 2 区的相关性是比较高的,这两个区的植被覆盖丰富而 ISF 偏低,这说明在这样的情况下地表温度对于 ISF 的变化更敏感。例如,在 1 区增加 1%的 ISF 会使得在像元内的地表温度上升 0.39T;而在 3 区至 7 区,相关性系数 0 整体变小,意味着在城市建成区,ISF 的变化对地表温度的影响相对不是那么显著。相反的,根据 R<sup>2</sup>的变化来看,处于建

成区的气候区中 ISF 变化相对可以解释更多的地表温度变化信息,因为从 2 区到 7 区,相应的从 0.33 增加到 0.78。这说明即使 是地表温度对 ISF 的变化相对不敏感,这种微弱的关系也是影响地表温度的主要因素,因为建成区的不透水面占很大比例。



图 5 局部气候区之间的指标参数值的比较

多变量 0LS 回归模型参数	指标	1 🗵	$2 \boxtimes$	3 🗵	4 🗵	5 🗵	6区	7区
	SVF	-0.04	-0.032	-0.037	-0.015	-0.004	-0.001	-0.005
	BD	0.025	0.039	0.082	0.067	0.061	-0.064	0.148
	BVD	0.013	0.003	0.014	0.067	-0.023	-0.027	0.227
β	BH	0.064	0.017	0.002	0.036	0.001	-0.006	0.204
	Albedo	-0.325	-0.014	-0.019	-0.026	-0.107	-0.247	-0.226
	VI	-0.062	-0.082	-0.109	-0.093	-0.142	-0.097	-0.196
	WI	-0.116	-0.076	-0.11	-0.079	-0.033	-0.024	-0.023
$R^2$		0.761	0.566	0.494	0.708	0.667	0.778	0.583
Р		**	**	**	**	**	**	**
单变量 0LS 模型参数	指标	1 🗵	2 🗵	3 🗵	4 🗵	5区	6区	7区
β	ISF	0.39	0.44	0.227	0.185	0.188	0.19	0.192
$R^2$		0.577	0.326	0.381	0.687	0.704	0.752	0.78
Р		**	**	**	**	**	**	**

表 3 在每个局部气候区中地表要素指标与地表温度的关系

注: \*\*指 P>0.01, 达到 99%的置信水平, 相关性关系具有显著的统计学意义.

从多变量普通最小二乘法(0LS)回归模型结果可以看出,SVF、反射率、VI和WI与地表温度负相关,而BD、BVD、BH与地表温度的关系不明确。尤其是在建筑密集的气候区,BD、BVD、BH与LST出现负相关关系。这种现象在之前的文献中已有过分析,高而密集的建筑会给地表带来遮荫效果,减少太阳对地表的辐射,反而会使地表温度降低<sup>[29,30]</sup>。SVF整体上与地表温度负相关,而在5区、6区、7区相关性关系很微弱,低于0.01。在多变量的回归模型中,反射率和VI相对于其他几个指标与地表温度有

更高的相关性系数。单变量和多变量回归模型中,在2区和3区的R<sup>2</sup>都偏小,这是因为指标多是描述建成区环境,而对周边乡 村区域和自然覆盖区域的地表温度变化就解释很小了。

#### 3.3 热点的选取

将每个气候区中 LST 最高的单个 500m×500m 像元区域作为缓解措施优先级高的热点区域(图 6)。意味着在相似的地表温 度模式下,即同一个 LCZ 中,热点区域有相对严重的热环境问题。这就要求需要以 LCZ 为基准,从地表要素出发,对热点开展 优化措施。表 4 列出了热点的温度和 LCZ 的平均温度。



图 6 局部气候区中的热点分布

#### 表 4 热点的温度

热点编号	1	2	3	4	5	6	7
局部气候区 (LCZ)	7区	6区	5区	$4 \boxtimes$	3 🗵	2区	$1 \boxtimes$
热点温度(℃)	38.82	35.22	37.27	35.16	36.02	34.52	34.6
层部气候区的平均温度(℃)	32.65	32.24	31.07	29.27	28.77	28	26.45

### 3.4 规划改善策略

选取位于城市中心区,具有典型代表性的2号热点作为研究案例,热点位于气候区6区,临近长江。将整体研究区域的各指标平均值作为基准值。从图7中可以看出,此热点各指标的水平要差于所在的气候区,即根据之前的相关系分析有更大潜在可能性造成更高的地表温度。而6区的平均水平又要劣于整体研究区域。热点与气候区在指标BD上有最大的差异,是24.71%。 之前的相关性分析中,6区BVD、BH、BD与地表温度负相关,建筑对阳光的遮挡很大程度上影响了地表温度(详细见3.2),这 使得对建筑强度和形态方面的调整具有很大的不确定性。而其他指标如PSF、反射率、VI、ISF和WI都有很明确的调整方向。 根据图7和3.2部分的相关性研究。根据优先级和分层结构的思路,热点的地表指标值应该先调整到容易达到的气候区的水平 而不是整体研究区的平均水平,这样具有更实际的操作性。

以地表指标与地表温度的相关性关系为基础,在单个的像元水平下,6 区增加1%的反射率地表温度会降低0.25T。而2 号热 点,从表5 中可以看出,反射率增加5.65%达到6 区水平,地表温度会有潜在降低1.4 丈的可能性。同样的,分别调整指标 VI、 ISF 到所在气候区的平均水平,热点地表温度相应会潜在的降低1.08 和3.4T。总之,热点的指标值是通过调整为接近所在气候

#### 区的平均值来达到缓解地表温度的目的。



图 7 热点和 6 区的指标值(a)以研究区整体指标平均值为基准值,热点和气候区的指标值与基准值的差异(b) 2015 年 7 月 29 日热点和周围 8 个相邻像元的 QuickBird 影像图

#### 表 5 热点指标和 6 区指标平均值的统计

	SVF	BD	BVD	BH	PSF	Albedo	VI	ISF	WI
热点指标与基准值的差值	-19.42	42.56	55.43	7.07	-25.5	-7.05	-18.31	39.83	-4.36
6 区指标平均值与基准值的差值	-12.67	17.86	32.43	10.44	-16.44	-1.4	-7.23	21.98	-4.35
热点与气候区的指标差值	-6.75	24.71	22.99	-3.37	-9.06	-5.65	-11.08	17.85	-0.01
指标与 LST 的相关系数	-0.001	-0.064	-0.027	-0.006	_	-0.247	-0.097	0.190	-0.024
潜在优化温度(T)	_	-	_	_	_	1.4	1.08	3.4	_

其他热点的规划改善策略的思路框架与热点2相同,因此其他热点的规划策略就不再详细描述。

# 4、讨论

#### 4.1 指标的完整性和动态性

在城市局部气候分区中,指标的完整性意味着能够描述地表要素各种细节性的气候与气象属性。除了温度和气流模式,其他如湿度、水分和污染也是希望能够被指标捕捉到的气象属性。这意味着指标并不是真正意义上的完整,在后期的研究中可以 对指标进一步的丰富和优化。

#### 4.2规划实施的优先级

本文只是提出了改变地表要素指标值,而调整指标值有不同的具体措施。从规划实施角度看,不同的措施有不同的难易程 度和成本高低。比如通常情况下,降低建筑密度要比增加绿化的成本要高。同时,同样的改善措施对于不同性质的用地难易程 度也是不一样的,比如调整公共性质用地的植被覆盖相比于私人居住用地中的植被覆盖就要容易。进一步将地表温度分布和人 口密度叠加分析,可以优先考虑人口密度高的区域,尤其城市中心区。城市郊区以工业区为主、地表温度高的区域,由于其较 低的人口密度,可以作为次要考虑区域。这样看来,就需要综合考虑用地性质,人口密度及调整地表指标的难易程度来综合确 定规划措施与方案的优先级。

## 5、结论

总体上,本文提出了缓解城市热环境的一个流程。流程包括 LCZ 的划分、热点的选取和策略的提出。缓解方法是在分区框架下操作的,这与规划设计惯有的分区思维相一致。这样避免了地表结构大范围的变动,使得更有实用性和可行性。缓解措施达到效果是以一种分层结构和分步骤递进的方式。这种划分优先级方式体现在两方面,(1)问题的定义,如热点的选取;(2)策略的提出,如地表指标调整值建议。这样的方法流程体现了气候、规划、地理等专业的跨学科融合,这也是未来解决城市气候问题的重要方向。

#### [参考文献]:

[1]STONE B, VARGO J, HABEEB D. Managing climate change in cities: Will climate action plans work? [J].Landscape And Urban Planning, 2012, 107 (3) : 263-271.

[2]OKE T R. Canyon geometry and the nocturnal urban heat-island-comparison of scale model and field observations[J]. Journal of Climatology, 1981, 1 (3): 237-246.

[3]OKE T R. The energetic basis of the urban heat-is land[J]. Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society, 1982, 108 (455) : 1-24.

[4]KALNAY E, CAI M. Impact of urbanization and land-use change on climate[J]. Nature, 2003, 423 (6939) : 528-531.

[5]JR STONE B , RODGERSMO. Urban form and thermal efficiency : how the design of cities influences the urban heat island effect[J]. Journal of the American Planning Association, 2001, 67 (2) : 186-198.

[6]DEBBAGE N, SHEPHERD J M. The urban heat island effect and city contiguity[J].Computers , Environment and Urban Systems, 2015, 54: 181-194.

[7]OKE T R. The distinction between canopy and boundary-layer urban heat islands[J]. Atmosphere, 1976, 14.

[8]V00GT J A, OKE T R. Thermal remote sensing of urban climates[J].Remote Sensing of Environment, 2003, 86
(3): 370-384.

[9]WHEELER S. State and municipal climate change plans : the first generation[J]. Journal of the American Planning Association, 2008, 74 (4) : 481-496.

[10] STEWART I D. A systematic review and scientific critique of methodology in modem urban heat island literature[J]. International Journal of Climatology, 2011, 31 (2): 200-217.

[11]ARNFIELD A J. Two decades of urban climate research : a review of turbulence , exchanges of energy and water , and the urban heat island[J]. International Journal of Climatology, 2003, 23 (1) : 1-26.

[12]STEWART I D, OKE T R . Local climate zones for urban temperature studies[J].Bulletin of the American Meteorological Society, 2012, 93 (12) : 1879-1900.

[13]YUAN F, BAUER M E. Comparison of impervious surface area and normalized difference vegetation index as indicators of surface urban heat island effects in Landsat imagery[J]. Remote Sensing of Environment, 2007, 106 (3): 375-386.

[14]SONG J, DU S, FENG X , et al. The relationships between landscape compositions and land surface temperature : quantifying their resolution sensitivity with spatial regression models [J].Landscape And Urban Planning, 2014, 123: 145-157.

[15]MYNENI R B, MAGGION S, IAQUINTO J , et al. Optical remote-sensing of vegetation-modeling, caveats, and algorithms [J].Remote Sensing of Environment, 1995, 51 (1) : 169-188.

[16]SCHAAF C B, GAO F, STRAHLER A H , et al. First operational BRDF , albedo nadir reflectance products from MODIS[J].Remote Sensing of Environment, 2002, 83 (1-2) : 135-148.

[17]CHUDNOVSKY A, BEN-DOR E, SAARONI H. Diurnal thermal behavior of selected urban objects using remote sensing measurements[J]. Energy and Buildings, 2004, 36 (11) : 1063-1074.

[18]UNGER J. Intra-urban relationship between surface geometry and urban heat island : review and new approach[J].Climate Research, 2004, 27 (3) : 253-264.

[19]GIANNOPOULOU K, SANTAMOURIS M, LIVADA I , et al. The impact of canyon geometry on intra urban and urban: suburban night temperature differences under warm weather conditions[J].Pure and Applied Geophysics, 2010, 167 (11) : 1433-1449.

[20]WENG Q H, LU D S, SCHUBRING J. Estimation of land surface temperature-vegetation abundance relationship for urban heat island studies [J].Remote Sensing of Environment, 2004, 89 (4) : 467-483.

[21]WU H, YE L P, SHI W Z, et al. Assessing the effects of land use spatial structure on urban heat islands using HJ-1B remote sensing imagery in Wuhan, China [J]. International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation, 2014, 32: 67-78.

[22]LELOVICS E, UNGER J, GAL T, et al. Design of an urban monitoring network based on Local Climate Zone mapping and temperature pattern modelling[J]. Climate Research, 2014, 60 (1) : 51-62.

[23]何报寅丁,徐贵来.基于 MODIS 的武汉城市圈地表温度场特征[J].长江流域资源与环境,2010,19(12):1379-1385.

[24]GAL T, LINDBERG F, UNGER J. Computing continuous sky view factors using 3D urban raster and vector databases : comparison and application to urban climate[J]. Theoretical and Applied Climatology, 2008, 95 (1-2) : 111-123.

[25]WANG J, QINGMING Z, GUO H, et al. Characterizingn the spatial dynamics of land surface

temperature-impervious surface fraction relationship[J]. International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation, 2016, 45: 55-65.

[26]ZENG C, SHEN H, ZHANG L .Recovering missing pixels for Landsat ETM+SLC-off imagery using multi-temporal regression analysis and a regularization method[J].Remote Sensing of En-vironment, 2013, 131: 182-194.

[27]CHEN X L, ZHAO H M, LIP X , et al . Remote sensing image-based analysis of the relationship between urban heat island and land use/cover changes [J].Remote Sensing of Environment, 2006, 104 (2) : 133-146.

[28]LI J, SONG C, CAO L , et al. Impacts of landscape structure on surface urban heat islands : Acasestudy of Shanghai , China[J]. Remote Sensing of Environment, 2011, 115 (12) : 3249-3263.

[29]ZHAN Q, MENG F, XIAO Y. Exploring the relationships of between land surface temperature , ground coverage ratio and building volume density in an urbanized environment[J]. ISPRS-International Archives of the Photogrammetry , Remote Sensing and Spatial Information Sciences, 2015, XL-7/W3: 255-260.

[30]李雪松,陈 宏,张苏利.城市空间扩展与城市热环境的量化研究——以武汉市东南片区为例[J].城市规划学刊,2014,216(3):71-76.