

深圳特区表面温度空间分异特征

宋艳墩¹, 余世孝^{1,*}, 李楠², 龚友夫³

(1. 中山大学生命科学学院生态学系/有害生物控制与资源利用国家重点实验室, 广州 510275 2. 深圳仙湖植物园, 深圳 518004 ;
3. 深圳市城市管理科学研究所, 深圳 518036)

摘要 :快速城市化和人口急剧膨胀产生的热岛效应,强烈影响着城市居民生活工作的舒适度,是一种环境恶化的表现。它不仅造成城市上空污染物质的聚集、降雨量的减少等各种环境问题,而且导致城市区域内动植物行为特征的改变。因此,有必要定量分析城市的热岛效应,寻找出合理的植被配置状态减少负面影响。利用遥感数据,以我国第一个经济特区也是第一个在总体规划下创立的城市深圳特区为研究区域,采用曲面分形维数、空间自相关方法研究了深圳特区当前植被配置状态下的热岛效应空间特征表达、主要驱动力和方向性问题。结果表明:城市热岛效应显著,与道路主干道相一致,最高温度 312.97K,最低温度 285.80K,特区在东西向、南北向两个方向分别受到了城市扩展和地形约束的影响,呈现出明显的热岛效应梯度;存在 4 个主要的高温区块,冷岛的面积也较大;曲面分形、空间自相关和温度变幅揭示出福田区仍然是特区城市化和人工干扰最强烈的区域,土地利用破碎化严重,不同温度斑块呈离散分布,而盐田区由于区域发展政策和绿地建设不完善的原因呈现出较严重的连片高温区。表明城市植被分布位置在有效减少连片高温区域出现以及随之带来的巨大危害方面的效能要强于面积;各方向的剖面变化和样带的曲面与空间自相关分析揭示出不同方向的人工干扰和城市化影响,同时可以反映出一定的能流物流的通道。今后利用更高分辨率的红外遥感数据和地面物体高程数据可在城市表层不连续特征下更准确地计算表面温度,为城市能量流动和动态模拟提供支持。

关键词 :深圳经济特区,城市热岛效应,分形分析,空间自相关

文章编号 :1000-0933 (2007)01-1489-10 中图分类号 :X16 文献标识码 :A

Spatial structure of the surface temperature in Shenzhen , China

SONG Yan-Tun¹, YU Shi-Xiao^{1,*}, LI Nan², GONG You-Fu³

¹ Department of Ecology/State Key Laboratory of Biocontrol, School of Life Sciences, Sun Yat-sen University, Guangzhou 510275, China

² FairyLake Botanical Garden, Shenzhen 518004, China

³ Institute of Urban Management Sciences, Shenzhen 518004, China

Acta Ecologica Sinica 2007 27 (1) 1489 ~ 1498.

Abstract : World-wide urbanization and population expansion result in climatic changes, such as the urban heat island (UHI) effect. In UHIs, elevated temperatures negatively affect human live conditions and may induce deleterious effects on urban ecosystems. In this study, we quantitatively analyzed the spatial pattern and characteristics of the UHI in the Special Economical Zone (SEZ) of Shenzhen (Guangdong Province, China). Remote sensing technology and satellite thermal infrared images (band 6 of Landsat EMT+ images, year 2000) were used to estimate the surface radiant temperatures. The spatial distribution and characteristics of the UHI were calculated with the help of three-dimensional fractal analysis (triangular prism method), the spatial autocorrelation method (Moran's and Geary's index), and a profile and transect

基金项目 :深圳市城市管理局重点资助项目

收稿日期 :2006-03-27 ;修订日期 :2006-11-28

作者简介 :宋艳墩 (1976 ~) 男,山西太原人,博士生,主要从事景观生态学与遥感研究. E-mail :Songyt_gz@163.com

* 通讯作者 Corresponding author. E-mail :lssysx@mail.sysu.edu.cn

Foundation item :This work was financially supported by Key Project of Urban Management Bureau of Shenzhen City

Received date 2006-03-27 ;**Accepted date** 2006-11-28

Biography SONG Yan-Tun, Ph. D. candidate, mainly engaged in landscape ecology and remote sensing. E-mail :Songyt_gz@163.com

method. Distinct gradients of the temperature were observed from west to east and south to north of Shenzhen SEZ. Several high temperature zones were observed in traffic-related areas , e. g. Shenzhen North Freigh Station and Yantian Port in Yantian. The spatial distribution of the surface radiant temperature in Shenzhen SEZ was strongly affected by the altitude. Distribution and size of the urban vegetation significantly reduced the temperatures. For example , trees in green areas of Yantian showed high efficiency in reducing UHI effects. The obtained data provide the basis to reduce high temperature areas in future urban planning. With increasing resolution of thermal infrared remote sensing data and more precise digital elevation models , we will be able to predict temperatures and local winds in UHIs.

Key Words : special economical zone (SEZ) of Shenzhen ; urban heat island (UHI) ; fractal analysis ; spatial autocorrelation

全球城市化是环境变化的主要形式之一^[1]。虽然城市发生区域只占地球表面很小的比例 ,但城市环境的物理状况几乎对一半的世界人口产生直接影响^[2]。因此对城市关键参数变化的定量研究可以更充分了解城市环境的物理动态 抵消或减小由于城市人为环境变化带来的不利影响。

城市热岛 (urban heat island ,UHI)是城市气候变化最显著的特征之一^[3] ,也是城市气候研究长期关注的焦点^[4]。城市根据测量的对象可分为 :城市表层 (urban canopy layer ,UCL)和城市边界层 (urban boundary layer ,UBL)^[5]。由于城市下垫面类型的复杂 ,各类下垫面的热惯性、热容量、热传导和热辐射性质的差异导致各处气温变化很大 ,仅通过有限的气象台站和流动观测站点的气温资料 ,很难对复杂的城市热环境进行准确深入的研究。遥感方法为中大尺度城市热环境分析提供了有效的支持。目前 ,主要在土地利用、植被覆盖与城市间的关系、不同城市间特征、城市时间序列的变化等方面开展了多方面的研究工作^[6~18]。过去的城市热岛研究大都是高温区域或单元的二维空间的分布位置或特征模拟 ,对于空间频率上的变化考虑较少。而温度空间频率变化的强烈程度对于城市动植物生活、感知影响要比单纯的二维空间分布大得多。

由于受到地形和非地形的各种影响 ,TIR 传感器记录的表面辐射值变化很大^[9] ,因此 TIR 图像数据所产生的空间表面就有一个分形特征 ,这个特征混合了地形和非地形的频率变化 ,将分形应用于 TIR 图像的分析可以深入了解不同土地利用行为、景观格局特征对热环境过程的影响。本研究以我国第一个经济特区和系统规划下建立的深圳经济特区为研究对象 ,目的在于 :① 揭示陆地表面辐射温度的空间分布特征 ;② 首次应用三角棱柱法的曲面三维分形方法、空间自相关方法和梯度分析方法研究表面辐射温度空间频率变化分异特征和方向特征 ;③ 探讨降低或减弱 UHI 的有效措施和途径。

1 研究区域与方法

1.1 研究区域

深圳市位于 113°46'E ~ 114°37'E , 22°27'N ~ 22°52'N。地处广东省南部珠江三角洲地区 ,经济特区背山面海 ,东西长 49km ,南北宽约 8km ,呈狭长形 ,总面积为 397.76km² ,其中山地丘陵 65.5% ,是城区背景的重要依托。全年气候温和 ,雨量充沛 ,日照时间长。夏无酷暑 ,春秋冬三季气候温暖。年平均气温为 22.3℃ ,最高气温 36.6℃ ,最低气温 1.4℃ ,无霜期为 355d。年均日照 2060h ,太阳年辐射量 5225MJ/ m²。每年 5 ~ 9 月份为雨季 ,平均降雨量为 1924.7mm。

1.2 研究方法

1.2.1 数据处理与表面辐射温度计算

将 TIR 波段的 DN 值利用公式 (1)转换成传感器物理辐射值 (L_{λ}) :

$$L_{\lambda} = gain \times DN + offset \tag{1}$$

式中 L_{λ} 是传感器辐射值 , $gain$ 是辐射值/DN 转换函数的斜率 ; DN 是特定像元的数字值 ; $offset$ 是辐射值/DN 转换函数的截距 ,再利用热能转换方程转换为表面辐射温度值。转换公式如下 (Landsat 6 波段) :

$$T_s = \frac{K_2}{\ln\left(\frac{K_1}{L_{\lambda}} + 1\right)} \tag{2}$$

式中 T_s 为表面辐射温度 (K) ; L_λ 为光谱辐射值 $W/(m^2 \cdot ster \cdot \mu m)$; 对于 Landsat-7 ETM + 图像 K_1 等于 666.09 (校正常数 1) K_2 等于 1282.71 (校正常数 2)。

通过以上的计算公式 遥感图像 TIR 波段的 DN 值就转化成为了表面辐射温度 (surface radiant temperature) , 或称为表面亮温 (surface brightness temperature) 。

1.2.2 分形分析

本文采用曲面分形维数三角棱柱法 (triangular prism) [20 21] , 通过比较在采用不同尺度观测图像表面时图像像元值构成的三角棱柱表面积与原始像元表面积的大小变化情况来计算三角棱柱分形维数。图 1 详细说明了这种方法结构。曲面的最终分形维数采用下式 :

$$D = 2 - B \tag{3}$$

曲面分维的三角棱柱法的值域范围 2 ~ 3。
ABCDF 代表三角棱柱表面积 , EFGH 代表原始像元面积。

1.2.3 空间自相关性分析

空间自相关性分析采用了 Moran 指数 (I) [22] :

$$I = \frac{n \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n w_{ij} (x_i - \bar{x})(x_j - \bar{x})}{\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n w_{ij} (x_i - \bar{x})^2} \tag{4}$$

以及 Geary 指数 (C) [23] :

$$C = \frac{(n-1) \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n w_{ij} (x_i - x_j)^2}{2 \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n w_{ij} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2} \tag{5}$$

式中 x_i 和 x_j 分别代表景观要素在相邻配对空间单元的取值 $\bar{x}$ 是变量的平均值 n 是空间单元总数 w_{ij} 是邻接权重。当空间单元 i 与 j 相邻时 , 取 $w_{ij} = 1$, 当空间单元 i 与 j 不相邻时 , 取 $w_{ij} = 0$ 。Moran (I) 指数反映的是空间邻接或空间邻近的区域单元属性值的相似程度 , 取值在 -1 ~ 1 之间。Geary 指数 (C) 与 Moran 指数 (I) 存在负相关关系 , 取值范围 0 ~ 2 之间。

1.2.4 剖面和样条设置

为了测试表面辐射温度空间格局的方向性特征 , 在整个特区范围内共设置 3 条剖面 , 包括东-西向 2 条 , W-E1 (26.5km 长) 和 W-E2 (37.5km 长) , 西南-东北向 1 条 , WS-EN (48.9km) , 分别反映地势较高区域 , 特区核心区 and 核心区向地势较高区域的变化特征 ; 在 4 个行政区内以水平方向为起点均匀分割 360° 为标准 , 分别设置 3 条剖面 , 包括 W-E (0°) , WS-EN (60°) 和 WN-ES (120°) (见图 2) 。为了量化这种变化频率特征 , 减少取样位置的主观性和小尺度或局部变化产生的噪声对结果的干扰 , 又在剖面的基础上设置 400m 宽样带 , 利用三角棱柱曲面分形方法进行了分析。

2 结果与讨论

2.1 特区表面辐射温度一般特征

深圳特区表面辐射温度空间分布格局如图 3。表现出以下特征 深圳特区整体热岛效应空间变化特征显著。高温区域主体在深圳特区的分布与道路主干道方向一致 , 呈东西向 , 尤以福田区、南山区最为集中。特区表面辐射温度最大值 312.97K 出现在福田区 , 最小值 285.80K 出现在盐田区境内 , 温差为 27.17K (表 1) 。经

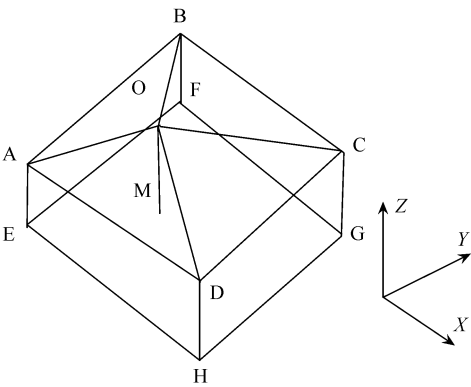


图 1 三角棱柱法示意图

Fig. 1 Triangular prism method sketch map

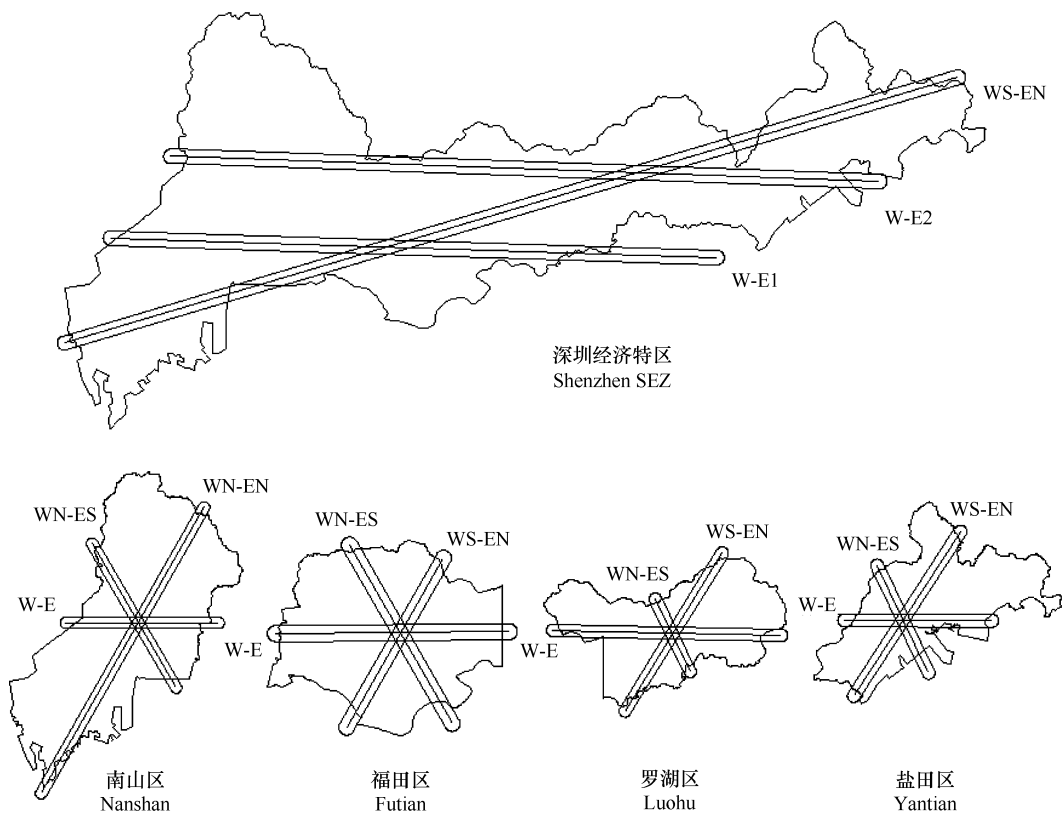


图2 深圳经济特区剖面 and 样带设置

Fig. 2 Profiles and transects in Shenzhen SEZ

W-E 是西-东剖面及样带 W-E is west to east profile and transect WS-EN 是西南-东北剖面及样带 WS-EN is west to east profile and transect
WN-ES 是西北-东南剖面及样带 WN-ES is west to east profile and transect ;W-E1 和 W-E2 分别是深圳经济特区西-东的两条剖面及样带 ,
W-E is west to east profile and transect

贸、交通运输和人类活动主要集中在南山区和福田区 ,人口和建筑物密度远远高于周边地区造成非渗水表面的累积和不断扩张导致下垫面温度显著高于周边地区。

表面辐射温度分布极不均匀 ,在特区内形成 4 个主要高温区域 : (1)南山区赤湾妈湾沿岸的蛇口集装箱码头和凯丰码头 ; (2)福田区的滨河皇岗立交东南面皇岗口岸皇岗海关为起点的南北向条带 ; (3)罗湖区洪湖公园西侧的深圳北站和笋岗新村 ; (4)盐田区盐田港区域 (如图 3)。上述区域都为货运集散、交通运输和物流配送等运输业 ,表明上述行业的场所对于特区热量环境影响巨大 ,成为城市热岛效应主要控制和治理区域。

“冷岛 ”在特区的分布也十分明显 ,排除海面区域 ,主要出现在外围郊野水源涵养林地和内部具有一定面积的郊野和主题公园区域。例如南山区南部的大小南山、深圳大学、欢乐谷、民俗村和西丽水库周边区域 ;福田区的梅林水库周边林地 ,莲花山和笔架山公园 ;罗湖区银湖水库周边 ,翠竹公园 ;盐田区的梧桐山和三洲田水库周边。分析结果也反映出具有一定面积的植被或水体才能产生有效的温度冷却效应。深圳特区最低温度出现在梧桐山主体部分。一方面由于植被覆盖率高 ,植被结构合理 ,另一个原因是地形高 ,热量扩散迅速。西丽水库 ,银湖水库和深圳水库等周边涵养林地 ,特别是上述区域周边 ,由于水库的维护管理以及人为干扰活动导致植被在结构上受到不同程度的破坏 ,因此 ,在表面辐射温度空间分布上能直观地反映出这种状况 ,植被受到破坏的区域表面辐射温度主要位于二级 (294. 71 ~ 294. 60K)和三级 (296. 11 ~ 297. 50K) ,温度冷却效果明显低于植被保存完好的区域。

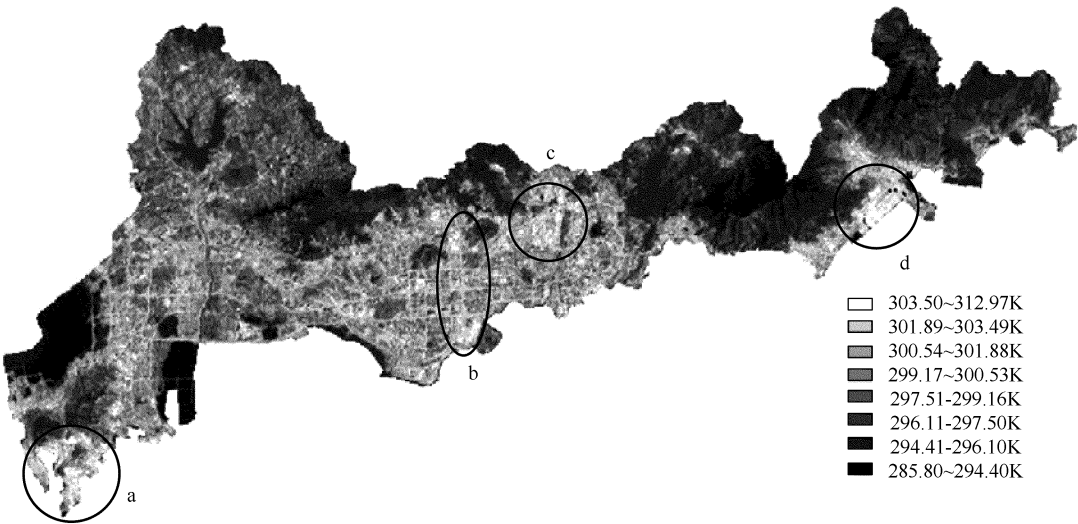


图 3 深圳经济特区表面辐射温度

Fig. 3 Land surface temperature in Shenzhen SEZ

a、b、c 和 d 分别是四个高温区域 a b c and d are four high temperature areas

表 1 深圳特区及各分区的表面辐射温度特征 (K)

Table 1 T_s in Shenzhen SEZ and four districts (K)

区域 Districts	最小值 Min	最大值 Max	平均值 Mean	中值 Median	众数 Mode	变幅 Range	标准误差 SD	变异系数 CV
南山区 Nanshan	287.94	310.47	298.64	298.34	297.13	22.53	2.532	0.85
福田区 Futian	293.54	312.97	299.93	300.22	301.28	19.43	2.361	0.79
罗湖区 Luohu	290.62	310.47	298.01	297.13	295.92	19.85	2.876	0.97
盐田区 Yantian	285.8	307.15	297.30	296.36	295.16	21.35	2.627	0.88
深圳特区 Shenzhen SEZ	285.8	312.97	298.50	298.53	295.78	27.17	2.723	0.91

2.2 表面辐射温度空间频率和方向性特征

2.2.1 表面辐射温度的曲面分维与空间自相关性

深圳经济特区 Moran 和 Geary 指数分别为 0.985 和 0.016 ,在表面辐射温度的整体表现上存在很强的空间正相关 ,表明特区中无论是高温还是低温单元多数成聚合状态分布 ;三角棱柱曲面分形维数 2.338 ,表明特区表面辐射温度曲面相对平滑 ,在三维空间 Z 轴方向变化强度较弱。

从 4 个行政区域的曲面分维数看 ,福田区 (2.561) > 罗湖区 (2.518) > 南山区 (2.406) > 盐田区 (2.352) ; Moran 指数 ,南山区 (0.998) > 盐田区 (0.971) > 罗湖区 (0.967) > 福田区 (0.956) (见表 2)。表明福田区表面辐射温度空间变化频率最剧烈 ,温度组成单元面积较小 ,破碎严重。从土地利用类型图 (图 4)上可以看出福田区主要以非渗水表面成分为主 ,土地利用类型缀块的严重破碎化使温度空间变化频率加剧 ,空间正相关程度最低也是这种现象的主要反映 ,特区最大表面辐射温度依次为福田区 (312.97K) > 南山区 (310.47K) > 罗湖区 (310.47K) > 盐田区 > (307.15K) ,温度变化幅度是南山区 (22.53) > 盐田区 (21.35) > 罗湖区 (19.85) >

表 2 深圳特区分区分形维数和空间自相关指数

Table 2 Fractal dimension and spatial autocorrelation in Shenzhen SEZ and four districts

区域 Districts	三角棱柱法 Triangular prism method		Moran (I)	Geary (C)
	Value	R ²		
南山区 Nanshan	2.406	0.998	0.998	0.022
福田区 Futian	2.561	0.997	0.956	0.043
罗湖区 Luohu	2.518	0.979	0.967	0.034
盐田区 Yantian	2.352	0.984	0.971	0.031
深圳经济特区 Shenzhen SEZ	2.338	0.998	0.985	0.016

福田区 (19.43), 从而可以发现福田区仍然是城市化和人工干扰强度和幅度最强烈的区域。福田区作为特区的经济政治和文化中心, 特区政府、体育中心、通关口岸都集中分布在福田区, 证明人为干扰显著增加了表面辐射温度在空间频率域上的变化强度。盐田区的上述指标正好与福田区相反, 区内大面积的植被和大片高温区域同时出现, 较低的分形维数说明该区温度空间变化相对简单, 表明盐田区土地利用类型级块相对简单, 聚合程度较高从而产生温度空间变化曲面的起伏平滑。

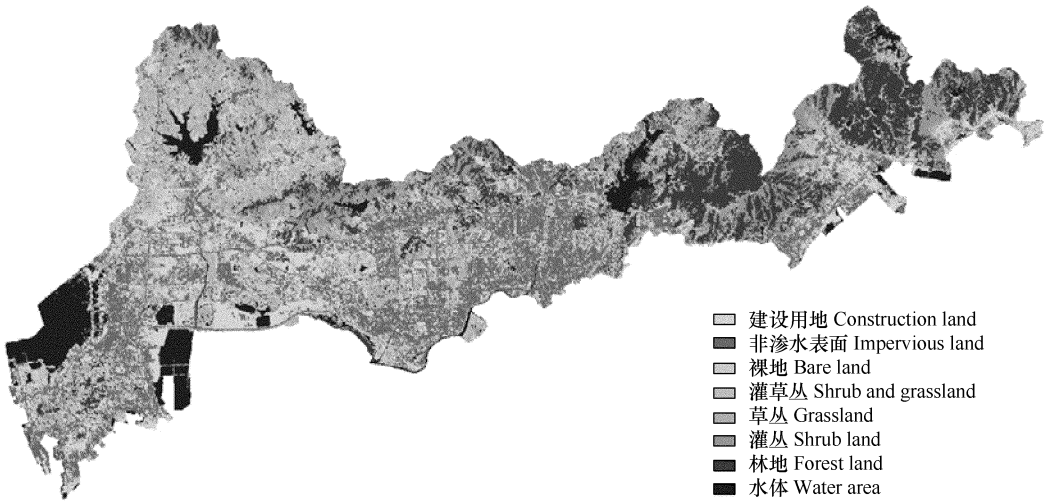


图4 深圳经济特区土地利用类型图
Fig. 4 Map of land use types in Shenzhen SEZ

2.2.2 表面辐射温度剖面 and 样条分异特征

深圳特区 W-E1, W-E2 和 WS-EN 方向上的取样长度分别为 26.5km, 37.5km 和 48.9km, 温度变化范围分别为 292.7 ~ 306.2K, 291.3 ~ 306.6K 和 292.3 ~ 309.8K。3 个方向的三角棱柱曲面分维数 WS-EN (2.715) > W-E2 (2.648) > W-E1 (2.447), Moran 指数为 WS-EN (0.9113) > W-E2 > (0.8007) > W-E1 (0.7235), 表明特区在 WS-EN 方向的表面辐射温度的变化强度剧烈, 空间复杂性较大, 而此方向的空间团聚结构相对较强 (见表 3)。

南山区 W-E, WN-ES 和 WS-EN 方向上的取样长度分别为 10.5km, 11.0km 和 22.9km, 温度变化区间分别为 294.1 ~ 306.3K, 294.4 ~ 305.2K 和 293.4 ~ 307.2K, 其中 WS-EN 方向从西南部的蛇口港通过区中心直至东北部的西丽水库附近, 基本与南山区的主干道南油大道相一致, 其间依次经过了蛇口港、大南山、南山区中心、西丽水库周边, 温度剖面总体表现逐步降低趋势 (图 5 NS WS-EN)。Moran 指数 WN-ES (0.9092) > WS-EN (0.9049) > W-E (0.8674), 三角棱柱曲面分维数 WS-EN (2.429) > W-E (2.356) > WN-ES (2.324), 表明 WS-EN 在表面辐射温度空间频率变化较大的同时, 具有较

表3 深圳特区和各行政区的分形维数和空间自相关指数
Table 3 Fractal dimension and spatial autocorrelation index in Shenzhen SEZ and administrative divisions

区域 Districts	样条 Transects	三角棱柱法 Triangular prism		Moran (I)
		Value	R ²	
南山区 Nanshan	W-E	2.356	0.983	0.8674
	WN-ES	2.324	0.907	0.9049
	WS-EN	2.429	0.863	0.9092
福田区 Futian	W-E	2.278	0.999	0.8628
	WN-ES	2.334	0.913	0.8938
	WS-EN	2.303	0.949	0.8999
罗湖区 Luohu	W-E	2.401	0.999	0.9077
	WN-ES	2.266	0.929	0.9050
	WS-EN	2.402	0.826	0.8845
盐田区 Yantian	W-E	2.162	0.999	0.6925
	WN-ES	2.313	0.849	0.9072
	WS-EN	2.422	0.733	0.9069
深圳经济特区 Shenzhen SEZ	W-E1	2.447	0.935	0.7235
	W-E2	2.648	0.915	0.8007
	WS-EN	2.715	0.937	0.9113

强的空间正相关性。此方向上的南山区下垫面差异导致的温度变化剧烈,同时温度的斑块单元显示出一定的团聚性,产生的原因是该方向人为干扰烈度较小使斑块面积保持了一定比例。蛇口港一定面积的高温区域、西丽水库没有全面破碎化的植被结构可以从曲面分维和 Moran 指数得以反映。W-E 方向的 Moran 指数最低,分维值较低表明该方向温度变化幅度较弱。福田区 W-E,WN-ES 和 WS-EN 方向上的取样长度分别为 11.0km 9.0km 和 8.5km,温度变化区间分别为 294.5 ~ 305.5K 295.1 ~ 305.4K 和 294.5 ~ 307.2K。Moran 指数 WS-EN (0.8999) > WN-ES (0.8938) > W-E (0.8628),三角棱柱曲面分形维数 WN-ES (2.334) > WS-EN (2.303) > W-E (2.278),可以看出 3 个方向的团聚程度相似,表明福田区在 3 个样带的方向上温度的团聚作用相当,而 WN-ES 的温度的空间变化频率和复杂性相对于其他两个方向的变化要强烈。罗湖区 W-E,WN-ES 和 WS-EN 方向上的取样长度分别为 13.2km 4.7km 和 11.5km,温度变化区间分别为 293.5 ~ 307.2K 295.0 ~ 302.4K 和 294.1 ~ 304.0K。W-E 方向剖面在 7500 ~ 9500m 位置上穿过深圳北站周围的高温区域,而在 11000 ~ 13000m 位置范围内穿过的是梧桐山区域。WS-EN 方向剖面也表现为总体趋势下降,末段 6000 ~ 10000m 位置范围内出现的一长段低值区域就是梧桐山所在区域。罗湖区 3 个方向的 Moran 指数呈现 W-E (0.9077) > WN-ES (0.9050) > WS-EN (0.8845) 的趋势,三角棱柱曲面分形维数呈现 WS-EN (2.402 0.826) > W-E (2.401 0.999) > WN-ES (2.266 0.929) 的趋势,表现出在 WS-EN 方向的空间正相关性较弱,而 WS-EN 方向的三角棱柱的分形维数最高,表明该方向的温度空间变化剧烈程度较大。盐田区 W-E,WN-ES 和 WS-EN 方向上的剖面及样条的长度分别为 8.0km 5.8km 和 11.4km,温度变化区间分别为 294.6 ~ 303.4K, 295.2 ~ 307.1K 和 292.1 ~ 304.6K。从盐田区的剖面图来看(图 5),W-E 表现出中间高两端低形态,WN-ES 表现出逐步走高的趋势,从温度空间分布图中可以看出这两个方向剖面的高值部分都是出现在盐田中部地段,且离盐田港越近温度越高。WS-EN 方向由于同时穿过了盐田核心居民生活区、梧桐山和盐田港区域,剖面表现出高低波动很大,该方向的分形维数是 2.422,也表明该方向的温度复杂性较大。3 个方向的 Moran 指数趋势为 WN-ES (0.9072) > WS-EN (0.9069) > W-E (0.6925),表明 3 个方向在温度上 WN-ES 和 WS-EN 两个方向的空间正相关较 W-E 方向强。无论是盐田港还是盐田区的主要商业居住区,高值和低值团聚分布的现象在整个特区内都十分显著,其中一个重要原因是盐田区是新建成区,除了梧桐山外,道路绿化植被和小区绿化树木大多是新近种植,树体偏小,绿地连通性差,没有发挥出应有的生态效应。

3 结论

3.1 表面辐射温度特征及其表现

城市热岛不仅反映单纯温度因子的特征,还与大气污染、生产活动、能源释放、高建筑容积率、水体分布、植被和下垫面类型等多种因素有关,所以城市热环境绝非单纯一个温度指标,而是以上多种因子的内涵^[24]。特区热岛效应分布特征表现为中间强两边弱,梯度明显。最主要的高温区域是城市中心区,同时大的港口、货运客运集散地也表现出强烈的热效应。无论是从市中心的福田区向两边的南山和盐田区方向,还是从位于特区东西横轴往南北扩展方向都表现出强烈的温度梯度。这反映了深圳特区的表面辐射温度特征主要受到人类干扰-城市扩展的影响,同时也具有强烈的地形梯度影响,往往地形高的区域植被保存较完好,温度扩散迅速,也相应较低,但温度随地形梯度的变化规律则有待进一步的研究。

3.2 人为干扰和植被配置对于表面辐射温度的影响

三维曲面分形维数方法和空间自相关方法主要应用于遥感图像不同土地利用类型纹理结构和类型特征空间复杂性方面,在城市表面辐射温度的研究还没有见报道。曲面分维方法可以有效揭示表面辐射温度在空间域上的频率变化强度信息,这种强度信息又反映出下垫面层在热量特征上的表现。表面辐射温度强度和密度最大的区域应该发生在城市商业中心区,但在本研究中发现高密度高温区域在特区核心福田区并没有大量出现,热特征的表现大都呈现离散分布。这主要是由于福田区道路绿化的面积、位置合理配置有效的分割非渗水表面,防止了大面积高温区的出现,同时绿色空间配置的合理性加强了空气温度的流动扩散,防止了由于大面积热岛特征的出现所带来的污染物质的凝聚现象的出现;反观盐田区由于道路绿地植被没有给予充分的

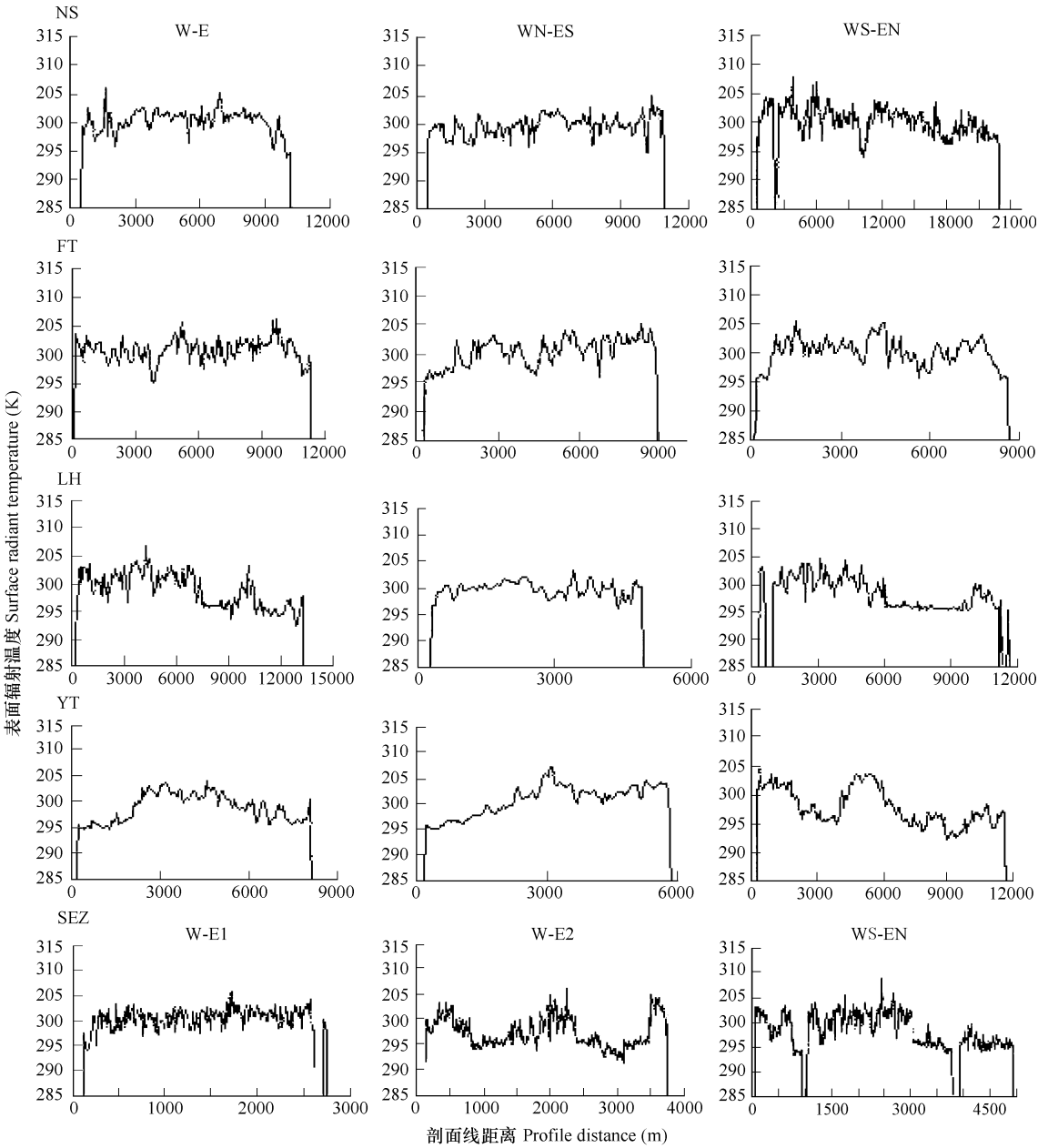


图5 深圳特区和4个行政区域表面辐射温度剖面图

Fig. 5 Three profiles across surface temperature in four districts and Shenzhen SEZ

NS是南山区,NS is Nanshan district;FT是福田区,FT is Futian district;LH是罗湖区,LH is Luohu district;YT是盐田区,YT is Yantian district;SEZ是深圳经济特区,SEZ is Shenzhen SEZ;W-E是从西向东剖面,W-E is west to east profile;WN-ES是从西北向东南剖面,WN-ES is northwest to southeast profile;WS-EN是从西南向东北剖面,WS-EN is southwest to northeast profile;W-E1是深圳经济特区从西向东剖面1,W-E2是深圳经济特区从西向东剖面,W-E1 and W-E2 are west to east profile 1 and west to east profile 2 in Shenzhen SEZ respectively

重视,普遍存在树体树冠偏小的缺点,无法发挥出个体和整体应有的生态效应,导致高温区域不断增加。另外保护和完善大面积森林和植被的结构以及水体有利于使生态效应最大化发挥。

受到深圳运输业和香港毗邻区位优势影响,特区热岛效应的方向性明显。城市表面热量特征是多种因素共同作用的结果,但人为的各种活动的干扰无疑是最大的,因此热岛效应不仅反映城市热岛效应及其造成的各种环境问题,更能从其空间分布特征上发现整个城市系统能流、物流主要运输方向。南山区的3个方向中,WS-EN的分形维数最高,W-E方向次之,间接表明各种各种人为活动在南山区的的通道是WS-EN方向,其次才

是沿 W-E 方向。而其他 3 个区的分形维数最高的方向特征都明显的指向香港 ,可表明香港和深圳所处的地理位置对于特区下垫面和表面辐射温度分布空间的深刻影响。

利用遥感计算的表面辐射温度可以称为表面辐射温度热岛^[15]。虽然在表面辐射温度和近地面空气温度之间的转换公式不是十分精确 ,但相对于 UBL 热岛 ,表面辐射温度被认为与 UCL 热岛有着更为紧密的关系^[6]。由于城市结构中表层结构的不连续性 ,要精确计算城市表面温度还需要更高分辨率的红外遥感卫星数据^[6]和地面物体的高程数据 ,这样才能有效地揭示出建筑物等城市元素的高度、密度和分布以及由此产生的局地风对于表面辐射温度的影响 ,同时也可以为城市能量流动和动态模型提供必要和有效的数据支持。

References :

[1] Small C. Multitemporal analysis of urban reflectance. *Remote Sensing of Environment* 2002 81 427 – 442.

[2] United Nations. Prospects for urbanization-1999 revision. In :New York , USA :United Nation ,1999. 2 – 8.

[3] Xiao R B ,Ouyang Z Y ,Li W F *et al.* A review of the eco-environmental consequences of urban heat islands. *Acta Ecologica Sinica* 2005 25 (8) : 2055 – 2060.

[4] Landberg H E. The urban climate. In :New York :Academic Press ,1981. 11 – 34.

[5] Oke T R. Review of urban climatology. In :Geneva , Switzerland :World Meteorological Organization ,1979. 43 – 55.

[6] Nichol J E. A gis-based approach to microclimate monitoring in singapore’s high-rise housing estates. . *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing* ,1994 60 :1225 – 1232.

[7] Weng Q. A remote sensing-gis evaluation of urban expansion and its impact on surface temperature in the Zhujiang Delta , China. *International Journal of Remote Sensing* 2001 22 :1999 – 2014.

[8] Kim H H. Urban heat island. *International Journal of Remote Sensing* ,1992 13 2319 – 2336.

[9] Carnahan W H ,Larson R C. An analysis of an urban heat sink. *Remote Sensing of Environment* ,1990 33 65 – 71.

[10] Jiang Z Y ,Chen Y H ,Li J. Heat island effect of beijing based on landsat tm data. *Editorial Board of Geomatics and Information Science of Wuhan University* 2006 31 (2) :120 – 123.

[11] Su W Z ,Yang Y B ,Yang G S. Distributional characteristics of urban thermal space and relations with land use/cover of nanjing. *Scientia Geographica Sinica* 2005 25 (6) 697 – 703.

[12] Han L J ,Wang P X ,Wang J D *et al.* A study of character spatial of vegetation index-land surface temperature. *Science in China Ser. D* 2005 35 (4) 371 – 377.

[13] Du H Q ,Zhao X W ,Fan W Y. Fractal characterization for relationship between tempature distribution and ground spatial structure in beijing areas. *Journal of Remote Sensing* 2005 9 (6) 697 – 707.

[14] Streutker D R. Satellite-measured growth of the urban heat island of houston , texas. . *Remote Sensing of Environment* 2003 85 282 – 289.

[15] Streutker D R. A remote sensing study of the urban heat island of houston , texas. *International Journal of Remote Sensing* 2002 85 2595 – 2608.

[16] Jiang T H ,Su J ,Deng L T. Wavelet characteristics of urban heat island in shanghai city. *Journal of Tropical Meteorology* 2004 20 (5) 515 – 522.

[17] Xu H ,Chen B. Remote sensing of the urban heat island and its changes in xiamen city of se china. *Journal of Environmental Sciences* 2004 16 (2) : 276 – 281.

[18] Tran H ,Uchihamada D ,Ochi S *et al.* Assessment with satellite data of the urban heat island effects in asian mega cities. *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation* 2006 8 (1) 34 – 48.

[19] Lam N S N. Description and measurement of landsat tm images using fractals. *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing* ,1990 56 :187 – 195.

[20] Jaggi S ,Quattrochi D ,Lam N S. Implementation of operation of three fractal measurement algorithms for analysis of remote sensing data. *Computers & Geosciences* ,1993 19 (6) 745 – 767.

[21] Lam N S N ,De Cola L. Fractal measurement. In :Englewood Cliffs , New Jersey :Prentice Hall ,1993. 23 – 35.

[22] Moran P A P. The interpretation of statistical maps. *Journal of the Royal Statistical Society Series B* ,1948 10 243 – 251.

[23] Geary R C. The contiguity ratio and statistical mapping. *Incorporated Statistician* ,1954 5 :115 – 141.

[24] Wu K J ,Wang X R ,Wang S X *et al.* An analysis of urban heat island effect for air temperature using noaa satellite data. *Acta Meteorologica Sinica* , 1993 51 (2) 203 – 208.

参考文献：

[3] 肖荣波 欧阳志云 李伟峰 ,等. 城市热岛的生态环境效应. 生态学报 2005 25 (8) 2055 ~2060.

[10] 江樟焰 陈云浩 李京. 基于 landsat tm 数据的北京城市热岛研究. 武汉大学学报 (信息科学版) 2006 31 (2) :120 ~123.

[11] 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.

[12] 韩丽娟 王鹏新 王锦地. 植被指数-地表温度构成的特征空间研究. 中国科学 D 辑 2005 35 (4) 371 ~377.

[13] 杜华强 赵宪文 范文义. 北京地区温度场分布与地面空间结构关系的分形描述. 遥感学报 2005 9 (6) 697 ~707.

[16] 江田汉 束炯 邓莲堂. 上海城市热岛的小波特征. 热带气象学报 2004 20 (5) 515 ~522.

[24] 吴可军 王兴荣 王善型. 利用 NOAA 卫星资料分析气象的城市热岛效应. 气象学报 1993 51 (2) 203 ~208.