

# A Remote Sensing Study of the Urban Heat Island of Hong Kong

Lin Liu<sup>1</sup>, Xuemei Liu<sup>2,3\*</sup>, Yuanzhi Zhang<sup>4</sup>

<sup>1</sup>Department of Design and Planning in Complex Environment, Università IUAV di Venezia, Venice

<sup>2</sup>School of Civil Engineering and Built Environment, Queensland University of Technology, Brisbane

<sup>3</sup>School of Civil Engineering, Qingdao University of Technology, Qingdao Shandong

<sup>4</sup>Institute of Space and Earth Information Science, The Chinese University of Hong Kong, Hong Kong

Email: niceliulin@126.com, \*x51.liu@qut.edu.au, yuanzhizhang@cuhk.edu.hk

Received: Apr. 4<sup>th</sup>, 2017; accepted: Apr. 25<sup>th</sup>, 2017; published: Apr. 28<sup>th</sup>, 2017

---

## Abstract

As a hotspot issue of urban environment and climate, urban heat island effect has aroused wide public concern. In this paper, based on Landsat TM data of Hong Kong (HK) in 2005, a research of urban heat island effect will be implemented. The mono-window algorithm which is proposed by Qin and only requires 3 essential parameters without the use of *in situ* measurements is used to retrieve the land surface temperature (LST), and we give a detailed description of the algorithm in the paper. Then next, we could analyze the spatial pattern of LST in HK and get the distribution characteristics of urban heat island effect. On the other hand, we also do the correlation analysis between LST and NDVI, NDBI to explore the impacts of green land and build-up land on urban heat island and provide useful information for the urban development and environment protection. The results show that, the Hong Kong urban heat island effect is mainly located in Hong Kong international airport and Kowloon Island. Since the start of Hong Kong international airport in 1998, the construction land increases sharply. The change of land cover/use has conducted to the urban heat island effect in Chek Lao Kok. In the Kowloon area, the urban heat island has converted to regional heat island because the connected pieces of urban construction. Otherwise, the 9 dispersed satellite cities of HK have dispersed distribution of urban heat island effect. So in city layout, the establishment of satellite cities apart from the business center is reasonable to prevent the formation of large-scale regional urban heat island. Meanwhile, we get the correlation coefficient between LST and NDVI, NDBI through the correlation analysis. The negative correlation coefficient of LST and NDVI proves that the green land can weaken urban heat island effect; while the positive correlation coefficient of LST and NDBI demonstrates that the build-up land can contribute to the effect. Thus, in our future city planning and development, we should pay attention to the urban greening.

## Keywords

Landsat TM, Mono-Window Algorithm, Land Surface Temperature, Heat Island Effect, Hong Kong

---

\*通讯作者。

# 香港城市热岛效应的遥感反演分析

刘琳<sup>1</sup>, 刘雪梅<sup>2,3\*</sup>, 张渊智<sup>4</sup>

<sup>1</sup>威尼斯建筑大学复杂环境中的设计和规划系, 威尼斯

<sup>2</sup>昆士兰科技大学土木工程与建筑环境学院, 布里斯班

<sup>3</sup>青岛理工大学土木工程学院, 山东 青岛

<sup>4</sup>香港中文大学太空与地球信息科学研究所, 香港

Email: niceliulin@126.com, \*x51.liu@qut.edu.au, yuanzhizhang@cuhk.edu.hk

收稿日期: 2017年4月4日; 录用日期: 2017年4月25日; 发布日期: 2017年4月28日

## 摘要

城市热岛是当今社会的热点问题, 被认为是主导城市环境和气候的要素之一。本文将利用2005年的Landsat TM影像对香港的城市热岛效应进行研究。通过覃志豪的单窗算法反演地表温度, 进而分析香港地区地表温度的空间分布特征以及由此引起的热岛效应; 并利用地表温度与NDVI、NDBI指数的相关性分析, 探讨城市绿地和建筑用地对热岛效应的影响, 为城市的生态环境建设提供依据。结果表明, 香港的城市热岛效应主要集中于香港国际机场和九龙半岛附近。香港国际机场自1998年建成以来, 周围建筑用地急剧增加, 导致了热岛效应; 而在商贸集中的九龙地区, 由于建筑物大规模的连绵和扩展, 造成了区域大面积的温度升高, 城市热岛甚至发展成为区域热岛。同时, 地表温度与NDVI、NDBI指数的相关性分析显示, 城市绿地可有效的缓解建筑用地增加所导致的城市热岛效应, 因此在以后的城市规划和城市发展过程中, 应当重视城市绿化, 积极增加绿地覆盖度。

## 关键词

Landsat TM, 单窗算法, 地表温度, 热岛效应, 香港

Copyright © 2017 by authors and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

## 1. 引言

城市化对我们的大气和气候产生了极大的影响, 城市热岛效应是城市气候最明显的特征之一, 是城市环境恶化的直接表现[1]。城市热岛效应是指城市中的气温明显高于外围郊区的现象; 城市的规模越大、都市化程度越高, 城市和郊区的温差就越大, 城市热岛效应就越明显。自1833年Lake Howard [2]在《伦敦气候》一书中提出“城市热岛”概念以来, 城市热岛效应就一直备受关注。尤其是近年来, 随着社会的发展, 城市化进程的加速, 城市热岛效应越来越显著并严重影响着人类的生活, 因此研究城市热岛效应具有重要的现实意义。

城市热岛效应主要表现在气温的空间分布上, 常规研究主要依靠地面气象站采集的温度数据, 但是由于气象站点的空间分布不均匀和观测条件的限制, 采集到的数据无法全面地反映整个地区的温度变化

状况[3]。20世纪70年代以来,随着高分辨率地球探测卫星的出现,主要采用遥感空间探测技术遥感地面温度的方法来研究城市的热岛效应;采用遥感方法研究分析热岛效应具有分辨率高、覆盖范围广、点位密集等优势,这在一定程度上弥补了常规气象观测方法的不足,并为大范围、大尺度的城市热岛效应研究提供了可能性。

由于热分辨率(120 m)较高,Landsat TM 遥感数据在城市热岛效应研究中得到了非常广泛的应用,对于要求精度的区域分析来说, TM 数据是比较好的选择;但是由于 TM 数据只有一个热波段,因此地表温度反演具有一定的难度。本文将以 Landsat TM 遥感影像作为数据源反演香港的地表温度,进而分析地表温度的空间分布特征,并探究城市绿地和建筑用地与城市热岛效应之间的关系,为城市发展的合理规划提供依据,为改善人民生活环境提供决策支持。

## 2. 数据源与数据预处理分析

实验数据为2005年11月23日的TM影像,已做过大气校正处理。同时选择2010年香港土地利用现状图作为辅助数据参与研究。

在进行地表温度反演前,先用Erdas软件对图像进行预处理,图像预处理主要分为以下几步:

- 1) 使用 Layer Stacking 工具将 TM 的 7 个单波段影像合成一个多波段影像。
- 2) 对 TM 影像进行几何校正,使其具有统一的地理坐标。
- 3) 使用 Image Subset 工具裁剪研究区域。

图1说明了图像预处理的基本过程。通过图像预处理我们得到了经过几何校正之后的研究区域遥感影像。

## 3. 香港城市热岛效应遥感反演

### 3.1. 地表温度的遥感反演方法

基于不同的遥感影像数据,多种地表温度反演方法被提出,主要有传统的辐射传输方程法,劈窗算法(1996)[4],温度/辐射率分离算法(1998)[5],单窗算法(2001)[6]以及普适性单通道算法(2003)[7]。其中辐射传输方程法,单窗算法和单通道算法这三种方法都适用于 Landsat TM 6 数据。

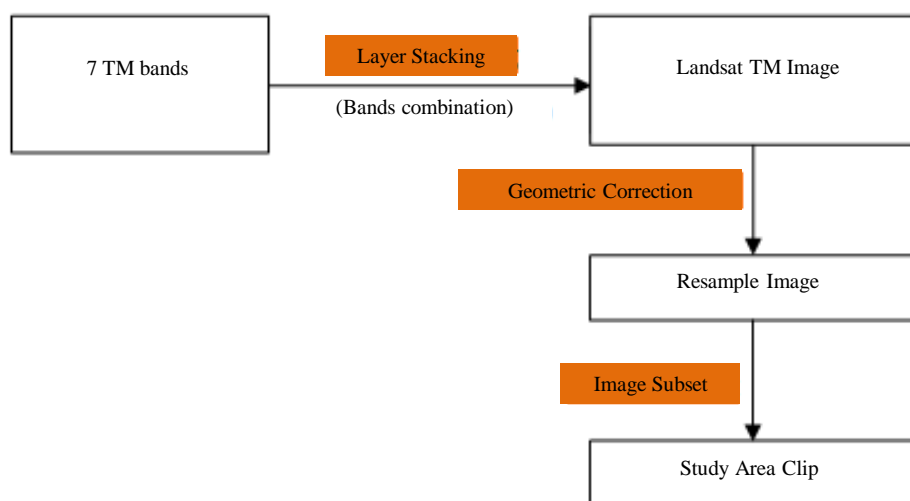


Figure 1. The procedure of Landsat TM data pre-processing

图1. Landsat TM 数据预处理过程

辐射传输方程法首先需要进行大气模拟,以便从卫星高度所观测到的热辐射中减去大气的辐射分量,从而得到地面实际的热红外辐射量,然后再考虑到地表辐射率的影响,反演出真实的地表温度;实时资料的缺乏限制了该方法的应用[8]。覃志豪根据地表热辐射传导方程,提出针对 Landsat TM 数据的单窗算法,该算法只需要地表辐射率、大气透射率和大气平均作用温度三个基本参数;当基本参数的估计没有误差时,演算绝对精度小于 0.4 K;当基本参数估计存在一定误差时,演算的平均误差约为 1.1 K [6]。Jimenez-Munoz 等提出的普适性单通道算法,该算法可用于不同的传感器资料,且不需要太多的实时资料。2004 年, Sobrino 等人通过对比发现与单通道算法相比,单窗算法精度更高[9]。

本文中,在缺乏实时资料的前提下,我们将采用精度较高的单窗算法进行香港的地表温度反演。

### 3.2. 香港地表温度的单窗算法计算反演

#### 3.2.1. 将像元灰度值转化成热辐射强度

一般而言,我们得到的 TM 6 数据是以灰度值来表示的;灰度值在 0 和 255 之间,数值越大,亮度越大,表示地表热辐射强度越大。为了将 TM 6 数据的像元灰度值转化成相对应的热辐射强度,我们可以使用公式(1) [6]进行计算。

$$L_{(\lambda)} = L_{\min(\lambda)} + (L_{\max(\lambda)} - L_{\min(\lambda)}) Q_{dn} / Q_{\max} \quad (1)$$

其中:  $L_{(\lambda)}$  为 TM 遥感器所接收到的热辐射强度;  $L_{\max(\lambda)}$  为 TM 遥感器所接收到的最大辐射强度;  $L_{\min(\lambda)}$  为 TM 遥感器所接收到的最小辐射强度;  $Q_{\max}$  为 TM 6 的最大像元灰度值;  $Q_{dn}$  为 TM 6 的实际像元灰度值。

卫星发射前,已预设 TM 6 的常量  $L_{\max(\lambda)}$ 、 $L_{\min(\lambda)}$  和  $Q_{\max}$  为:

$$L_{\max(\lambda)} = 1.56 \text{ m} \cdot \text{W} \cdot \text{cm}^{-2} \cdot \text{sr}^{-1} \cdot \mu\text{m}^{-1} \quad (2)$$

$$L_{\min(\lambda)} = 0.1238 \text{ m} \cdot \text{W} \cdot \text{cm}^{-2} \cdot \text{sr}^{-1} \cdot \mu\text{m}^{-1} \quad (3)$$

$$Q_{\max} = 255 \quad (4)$$

因此,公式(1)可以进一步简写成公式(5):

$$L_{(\lambda)} = 0.1238 + 0.005632156 Q_{dn} \quad (5)$$

其中:  $L_{(\lambda)}$  为 TM 遥感器所接收到的热辐射强度;  $Q_{dn}$  为 TM 6 的实际像元灰度值。

在 TM 6 数据中,像元灰度值已知,所以用上式可以很容易求解出相应的热辐射强度。

#### 3.2.2. 将热辐射强度转化成亮温

亮温是遥感器在卫星高度所观测到的热辐射强度相对应的温度。这一温度包含有大气和地表对热辐射传导的影响,因而并不是真正意义上的地表温度,但是地表温度是根据这一温度来演算而得。因此地表温度反演中,亮温计算是很重要的一步。根据上一已求得的像元热辐射强度,所对应的像元亮温可直接用 Planck 辐射函数计算,或者使用如下近似公式(6) [6]求算。

$$T_0 = K_2 / \ln(1 + K_1 / L_{(\lambda)}) \quad (6)$$

其中:  $T_0$  为像元亮温;  $K_1$  和  $K_2$  为发射前预设的常量;  $L_{(\lambda)}$  为 TM 遥感器所接收到的热辐射强度,它由公式(5)计算可得。

发射前预设常量  $K_1$  和  $K_2$  为:

$$K_1 = 60.776 \text{ m} \cdot \text{W} \cdot \text{cm}^{-2} \cdot \text{sr}^{-1} \cdot \mu\text{m}^{-1} \quad (7)$$

$$K_2 = 1260.56 \text{ K} \quad (8)$$

因此公式(6)可以进一步简写成公式(9):

$$T_6 = 1260.56 / \ln \left[ 1 + 60.776 / L_{(\lambda)} \right] = 1260.56 / \ln \left[ 1 + 60.776 / (0.1238 + 0.005632156 Q_{dn}) \right] \quad (9)$$

其中:  $T_6$  为像元亮温;  $L_{(\lambda)}$  为 TM 遥感器所接收到的热辐射强度;  $Q_{dn}$  为 TM 6 的实际像元灰度值。  
用公式(9)我们可以直接用 TM 6 数据的像元灰度值求得对应的像元亮温。

### 3.2.3. 地表辐射率的估算

地表辐射率直接与地表构成有关, 我们可由归一化植被指数 NDVI 来估算地表辐射率[10] [11]。

#### ① NDVI 的计算

归一化植被指数 NDVI (Normalized Difference Vegetation Index) 是应用最广泛的植被指数, 利用近红外波段和红光波段之间的比值运算增强显示植被信息。它的计算公式如下:

$$\text{NDVI} = \frac{\text{NIR} - \text{R}}{\text{NIR} + \text{R}} \quad (10)$$

#### ② 地表辐射率的估算

2006 年, Zhang [11] 提出了完整的 NDVI 估算地表辐射率的方法(表 1)。

通过表 1, 我们就可以利用归一化植被指数 NDVI 求得像元的地表辐射率。

### 3.2.4. 大气透射率的估算

大气透射率可以通过大气水分含量来估算[6] [12]。

#### ① 大气水分含量的计算

大气水分含量的计算公式[13]如下:

$$w = 0.0981 \times \left\{ 10 \times 0.6108 \times \exp \left[ \frac{17.27 \times (T_0 - 273.15)}{237.3 + (T_0 - 273.15)} \right] \times RH \right\} + 0.1697 \quad (11)$$

其中:  $w$  为大气水分含量( $\text{g}/\text{cm}^2$ );  $T_0$  为近地(一般为 2 m 处)平均气温(K);  $RH$  为相对空气湿度。

成像当日研究区域近地平均气温为 296.15 K (23°C), 相对空气湿度为 77%, 可据上式(11)求得大气水分含量为 2.29  $\text{g}/\text{cm}^2$ 。

#### ② 大气透射率的估算

如表 2 [6] [12] 所示, 大气透射率可由大气水分含量求得。

由于研究区域位于热带且成像时间为 11 月, 此时香港地区大气剖面仍处在高温时期, 且当日的大气水分含量较高, 因此采用表 2 中的公式(12)来计算大气透射率。

$$\tau_6 = 1.031412 - 0.11536 * w \quad (12)$$

其中:  $\tau_6$  为大气透射率;  $w$  为大气水分含量( $\text{g}/\text{cm}^2$ ), 可由公式(11)求得。

利用公式(11)和(12), 最终可求得成像当日研究区域的大气透射率为 0.77。

### 3.2.5. 大气平均作用温度的估算

如表 3 [6] [12] 所示, 大气平均作用温度可由近地气温求得。

由于研究区域位于热带, 因此采用表 3 中的公式(13)来计算大气平均作用温度。

$$T_a = 17.9769 + 0.91715 * T_0 \quad (13)$$

其中:  $T_0$  为近地(一般为 2 m 处)平均气温(K)。

**Table 1.** Estimation of emissivity using NDVI  
**表 1.** 估算地表辐射率的 NDVI 阈值法

NDVI	地表辐射率 ( $\varepsilon_6$ )
NDVI < -0.185	0.995
-0.185 ≤ NDVI < 0.157	0.970
0.157 ≤ NDVI ≤ 0.727	1.0094 + 0.047ln(NDVI)
NDVI > 0.727	0.990

**Table 2.** Estimation of atmospheric transmittance  
**表 2.** 大气透射率估算方程

大气剖面	大气水分含量 (w) (g/cm <sup>2</sup> )	大气透射率 ( $\tau_6$ )	标准差
高气温	0.4~1.6	0.974290 - 0.08007w	0.002368
	1.6~3.0	1.031412 - 0.11536w	0.002539
低气温	0.4~1.6	0.982007 - 0.09611w	0.003340
	1.6~3.0	1.053710 - 0.14142w	0.002375

**Table 3.** Estimation of mean atmospheric temperature  
**表 3.** 大气平均作用温度估算方程

区域	大气平均作用温度 ( $T_a$ )
美国	25.9396 + 0.88045 * $T_0$
热带	17.9769 + 0.91715 * $T_0$
中纬度夏季	16.0110 + 0.92621 * $T_0$
中纬度冬季	19.2704 + 0.91118 * $T_0$

成像当日研究区域近地平均气温为 296.15 K (23℃)，可据上式 13 求得大气平均作用温度为 289.59 K。

### 3.2.6. 香港城市地表温度反演

根据覃志豪的单窗算法[6]，可得到适用于 Landsat TM 6 数据的地表温度反演公式(14)。这一算法假定其 3 个基本参数地表辐射率、大气透射率和大气平均作用温度已知，才能进行地表温度的演算。

$$T_s = \{a_6(1 - C_6 - D_6) + [b_6(1 - C_6 - D_6) + C_6 + D_6]T_6 - D_6T_a\} / C_6 \quad (14)$$

$$a_6 = -67.355351 \quad (15)$$

$$b_6 = 0.458606 \quad (16)$$

$$C_6 = \varepsilon_6 \times \tau_6 \quad (17)$$

$$D_6 = (1 - \tau_6)[1 + (1 - \varepsilon_6) \times \tau_6] \quad (18)$$

$$T_6 = 1260.56 / \ln[1 + 60.776 / L_{(\lambda)}] = 1260.56 / \ln[1 + 60.776 / (0.1238 + 0.005632156Q_{dn})] \quad (9)$$

其中： $T_s$  为地表温度(K)； $T_6$  为亮温(K)； $\varepsilon_6$  为地表辐射率，可由 NDVI 阈值法估算； $\tau_6$  为大气透射率，

可由公式(12)估算;  $T_a$  为大气平均作用温度, 可由公式(13)估算。

利用 Erdas 软件空间建模功能, 我们可以利用模型实现香港的地表温度反演, 所需全部建模参数列于表 4。最终我们得到 2005 年香港地表温度分布图(图 2)及各像元地表温度统计信息表(表 5)。

## 4. 香港城市热岛效应反演结果与分析

### 4.1. 香港城市热岛效应反演结果

由香港城市热岛分布图(图 3), 可以看出香港的城市热岛效应十分明显, 城区的地面温度明显高于周边郊区的温度, 形成岛屿状的高温区域。这些高温的城市热岛区域主要分布于其商业中心城市和机场附近。

香港的商业中心城市主要位于九龙(Kowloon)和香港岛(Hong Kong Island)北部, 主要包括旺角(Mong Kok)、尖沙咀(Tsim Sha Tsui)和铜锣湾(Causeway Bay)等; 这些区域地表温度高于 29℃, 存在显著的城市热岛现象。九龙和香港岛北部是香港最繁华的商业中心, 人口集中、建筑物密集、下垫面热力属性的改变、大气污染和大量的人工热源导致了显著的城市热岛效应。

九龙半岛在大规模的商业化进程下, 由于建筑物的密集分布及不断扩展, 使得周边区域地表温度也相应升高, 从而造成了区域性大面积的温度升高现象, 城市热岛连绵成片, 甚至已经形成区域热岛。

香港国际机场(International Airport)地处的赤蜡角(Chek Lap Kok)温度也在 29℃以上, 城市热岛现象同样显著。自 1998 年香港国际机场建成以来, 机场及附近区域建筑用地大量增加。土地利用/覆盖的改变导致并加剧了赤蜡角的城市热岛效应。

香港有 9 个卫星城(新城镇), 分别为: ① 荃湾(Tsuen Wan), 包括葵涌(Kwai Chung)和青衣(Tsing Yi); ② 沙田(Sha Tin), 包括大围(Tai Wai)和马鞍山(Ma On Shan); ③ 屯门(Tuen Mun); ④ 大埔(Tai Po); ⑤ 元朗(Yuen Long); ⑥ 粉岭-上水(Fanling-Sheung Shui); ⑦ 将军澳(Tseung Kwan O); ⑧ 天水围(Tin Shui Wai); ⑨ 北大屿山(North Lantau), 包括东涌(Tung Chung)。从图 3 可以看出, 这 9 个卫星城市也存在城市热岛效应, 但是热岛效应不如九龙半岛、香港岛北部及香港国际机场显著。这 9 个卫星城市的地表温度为 26℃~29℃, 大量的居民建筑物是其热岛效应的主导因素。

同时, 还可以看出由于这 9 个卫星城市分散分布, 因此其城市热岛效应分布较均匀, 没有像九龙半岛那样形成大规模连续分布的区域热岛。这说明城市的城镇布局对热岛效应的强度和空间形态具有十分明显的影响。这就要求我们在城市发展规划中要充分考虑城市布局对城市热环境的影响, 通过合理的城市布局来削弱城市热岛效应。在城市布局上, 在远离商业中心处建立多个卫星城镇是十分合理的。

### 4.2. 香港城市热岛效应与 NDVI、NDBI 的相关性分析

归一化植被指数 NDVI (Normalized Difference Vegetation Index)是应用最广泛的植被指数, 利用近红外波段和红光波段之间的比值运算增强显示植被信息。

归一化建筑指数 NDBI (Normalized Difference Build-up Index)是应用较为广泛的指数之一, 用以增强显示建筑信息并可用来提取建筑用地[14] [15]。该指数基于城市建筑用地在 TM 5 的反射率高于 TM 4 波段而创建[14]。其计算公式如下:

$$NDBI = \frac{MIR - NIR}{MIR + NIR} \quad (19)$$

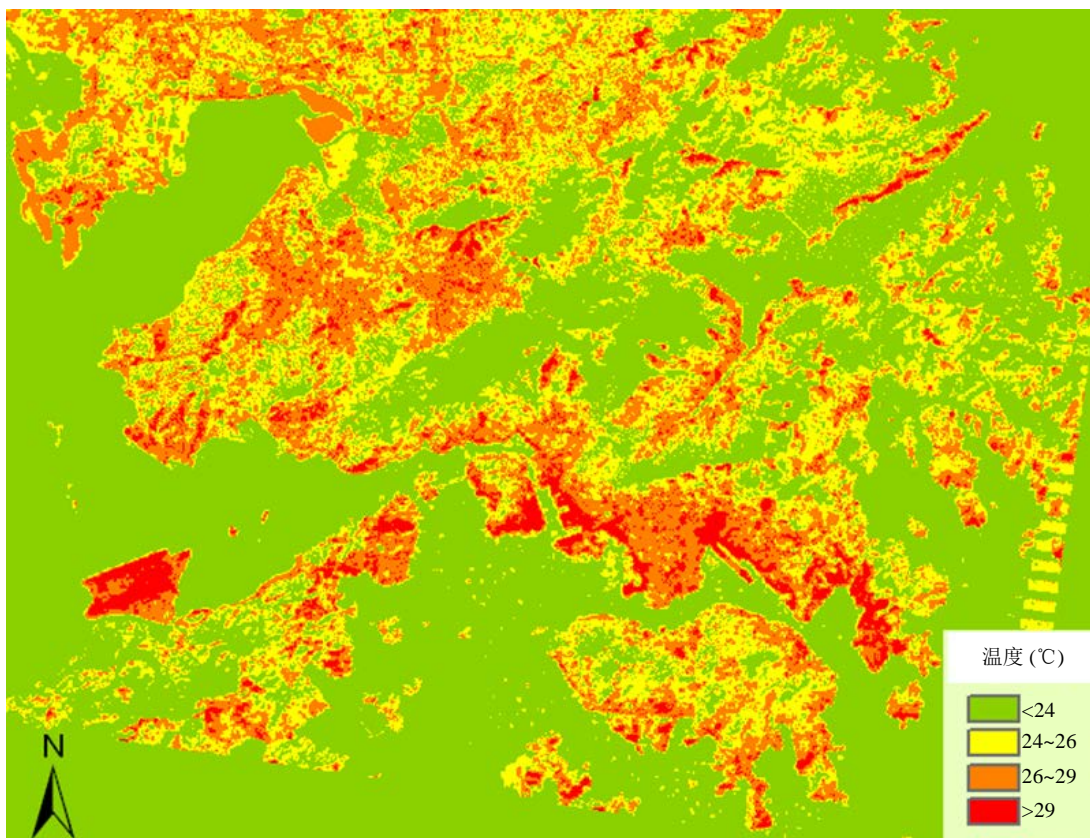
热岛效应与城市绿地、建筑用地之间的相关性研究可以为我们的城市发展和环境保护提供重要的信息。为了研究城市绿地、建筑用地对城市热岛效应的影响, 我们可以将反演出的地表温度与 NDVI、NDBI 进行相关性分析; 该相关性分析可以客观反映出城市绿地、建筑用地与城市地表温度分布的相关趋势。5 即为地表温度与 NDVI、NDBI 的相关系数表。

**Table 4.** Parameters used for retrieving LST of HK  
**表 4.** 香港的地表温度反演模型所需参数列表

参数	值			
地表反射率 ( $\epsilon_s$ )	<-0.185	[-0.185,0.157]	[0.157,0.727]	>0.727
	0.995	0.970	$1.0094 + 0.047\ln(\text{NDVI})$	0.990
大气透射率 ( $\tau_s$ )	$T_0$		$w$	
	296.15 K		2.29 g/cm <sup>2</sup>	
大气平均作用温度 ( $T_a$ )	0.77			
	$T_0$			
	296.15 K			
	289.59 K			

**Table 5.** The statistical information of LST of HK in 2005  
**表 5.** 2005 年香港地表温度统计信息表

像元地表温度 统计信息	最小值	最大值	平均值	中值	众数	标准差
温度(°C)	16.845	38.503	21.570	23.312	22.711	7.833



**Figure 2.** The distribution of LST of HK in 2005  
**图 2.** 2005 年香港地表温度分布图



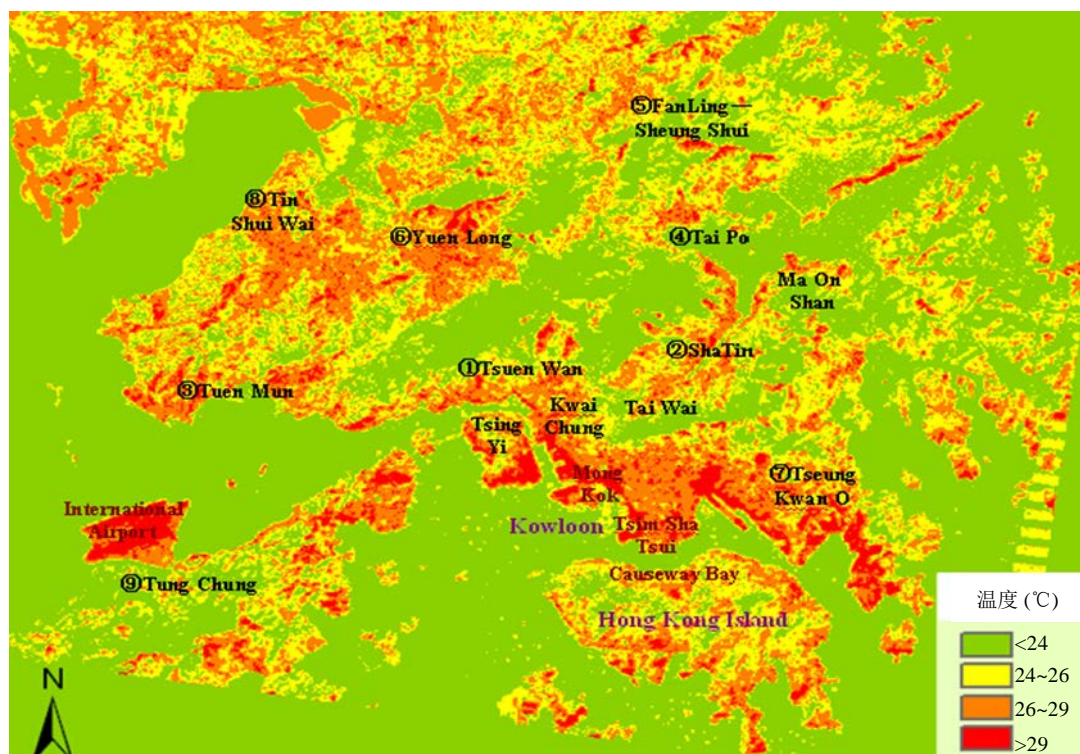


Figure 3. The distribution of urban heat island of HK in 2005

图 3. 2005 年香港城市热岛分布图

在表 6 中, NDVI 与地表温度的相关系数为 $-0.40673$ ; NDBI 与地表温度的相关系数为 $0.70962$ , 这说明城市绿地与地表温度分布呈显著的负相关关系, 即城市绿地对城市热岛的影响是消极的, 也就是说绿地可以削弱城市热岛效应; 这是由于城市绿地中的园林植物, 可以通过蒸腾作用不断地吸收热量, 降低周围环境的温度。而城市建筑用地与地表温度分布呈显著的正相关关系, 即城市建筑用地对城市热岛的影响是积极的, 也就是说建筑用地可以增强城市热岛效应; 这是由于城市建筑物下垫面的储水能力较弱、湿度较小, 湿度的减小使得地表的蒸腾作用降低, 促使建筑用地的地表温度升高。

因此, 在城市建筑用地中有效的安排绿地面积, 增加城市绿地覆盖度对于抑制城市热岛效应是十分有效的。

## 5. 结语

1) 本文利用 Landsat TM 6 数据, 基于覃志豪单窗算法对香港地表温度进行反演。通过地表温度反演结果, 我们可以发现香港的城市热岛效应主要集中于九龙半岛和国际机场附近。

2) 通过地表温度与 NDVI、NDBI 的相关性分析, 我们可以看出城市绿地会缓解城市热岛效应, 相反建筑用地会加速城市热岛效应。因此, 在将来的城市规划和发展过程中, 有关部门应当重视城市绿化建设, 积极增加城市绿地覆盖度。

3) 在九龙地区, 城市热岛甚至已经发展成为区域热岛, 这是由于建筑物的大规模连绵和扩展, 从而造成了区域大面积的温度升高。相反, 在 9 个散落分布的卫星城市中, 城市热岛分布较为分散均匀。所以在城市布局上, 在远离商业中心处建立多个卫星城镇是十分合理的, 这样可以有效的避免大规模区域热岛的产生。

4) 另外, 地表温度反演的误差往往较大, 因此文中地表温度反演结果有待实地解译和实测数据的验证。

**Table 6.** The correlation matrix of LST and NDVI, NDBI  
**表 6.** 地表温度与 NDVI、NDBI 相关系数矩阵

	LST	NDVI	NDBI
LST	1		
NDVI	-0.40673	1	
NDBI	0.70962	-0.56275	1

## 6. 未来工作展望

本文采用 2005 的 Landsat TM 影像数据进行遥感反演分析, 最终推演结果充分验证了采用单窗算法 [6] 对香港的城市热岛效应进行研究的可行性。未来将采用近期影像数据(2016 年或者 2017 年)进行遥感反演, 并与 2005 年的反演结果进行对比分析。从而获取近 10 年以来香港城市热岛效应改变的监测结果, 并进一步分析促使其改变的驱动因素。

## 基金项目

中国国家自然科学基金项目(项目编号: 51508294)。

## 参考文献 (References)

- [1] Landsberg, H.E. (1981) *The Urban Climate*. Academic Press, New York, 84-89.
- [2] Howard, L. (1833) *The Climate of London*. London Harvey and Dorton, London, 1818-1820.
- [3] Streutker, D.R. (2002) A Remote Sensing Study of the Urban Heat Island of Houston, Texas. *International Journal of Remote Sensing*, **23**, 2595-2608. <https://doi.org/10.1080/01431160110115023>
- [4] Sobrino, J.A., Li, Z.L., Stoll, M.P., et al. (1996) Multi-Channel and Multi-Angle Algorithms for Estimating Sea and Land Surface Temperature with ATSR Data. *International Journal of Remote Sensing*, **17**, 2089-2114. <https://doi.org/10.1080/01431169608948760>
- [5] Gillespie, A.R., Rokugawa, S., Matsunaga, T., et al. (1998) A Temperature and Emissivity Separation Algorithm for Advanced Spaceborne Thermal Emission and Reflection Radiometer (ASTER) Images. *IEEE Transaction on Geoscience and Remote Sensing*, **36**, 1113-1126. <https://doi.org/10.1109/36.700995>
- [6] Qin, Z., Kamieli, A. and Berliner, P. (2001) A Mono-Window Algorithm for Retrieving Land Surface Temperature from Landsat TM Data and Its Application to the Israel-Egypt Border Region. *International Journal of Remote Sensing*, **22**, 3719-3746. <https://doi.org/10.1080/01431160010006971>
- [7] Jimenez-Munoz, J.C. and Sobrino, J.A. (2003) A Generalized Single-Channel Method for Retrieving Land Surface Temperature from Remote Sensing Data. *Journal of Geophysical Research*, **108**, 4688-4694. <https://doi.org/10.1029/2003JD003480>
- [8] 张兆明, 何国金, 肖荣波. 基于 MODIS 和 TM 数据的陆面温度反演[J]. 中国图象图形学报, 2007, 12(2): 366-370.
- [9] Sobrino, J.A., Jimenez-Munoz, J.C. and Paolini, L. (2004) Land Surface Temperature Retrieval from Landsat TM 5. *Remote Sensing of Environment*, **90**, 434-440. <https://doi.org/10.1016/j.rse.2004.02.003>
- [10] Vande Griend, A.A. and Owe, M. (2003) On the Relationship between Thermal Emissivity and the Normalized Difference Vegetation Index for Natural Surfaces. *International Journal of Remote Sensing*, **14**, 1119-1131. <https://doi.org/10.1080/01431169308904400>
- [11] Zhang, J., Wang, Y. and Li, Y. (2006) A C++ Program for Retrieving Land Surface Temperature from the Data of Landsat TM/ETM Band 6. *Computer and Geosciences*, **32**, 1796-1805. <https://doi.org/10.1016/j.cageo.2006.05.001>
- [12] Sun, Q., Tan, J. and Xu, Y. (2010) An ERDAS Image Processing Method for Retrieving LST and Describing Urban Heat Evolution: A Case Study in the Pearl River Delta Region in South China. *Environmental Earth Sciences*, **59**, 1047-1055. <https://doi.org/10.1007/s12665-009-0096-3>
- [13] 李净. 基于 Landsat-5 TM 估算地表温度[J]. 遥感技术与应用, 2006, 21(4): 322-326.
- [14] Lu, Y., Feng, P., Shen, C., et al. (2009) Urban Heat Island in Summer of Nanjing Based on TM Data. *IEEE Xplore*.

---

<https://doi.org/10.1109/urs.2009.5137628>

- [15] Zeng, Y., Huang, W., Zhan, F.B., *et al.* (2010) Study on the Urban Heat Island Effect and Its Relationship with Surface Biophysical Characteristics Using MODIS Imageries. *Geo-Spatial Information Science*, **13**, 1-7.  
<https://doi.org/10.1007/s11806-010-0204-2>

**期刊投稿者将享受如下服务：**

1. 投稿前咨询服务 (QQ、微信、邮箱皆可)
2. 为您匹配最合适的期刊
3. 24 小时以内解答您的所有疑问
4. 友好的在线投稿界面
5. 专业的同行评审
6. 知网检索
7. 全网络覆盖式推广您的研究

投稿请点击：<http://www.hanspub.org/Submission.aspx>

期刊邮箱：[gst@hanspub.org](mailto:gst@hanspub.org)