

基于遥感和 GIS 的上海城市空间 热环境研究

陈云浩,史培军,李晓兵

(北京师范大学 环境演变与自然灾害教育部重点实验室,北京 100875;北京师范大学 资源科学研究所,北京 100875)

Research on Spatial Thermal Environment in Shanghai City Based on Remote Sensing and GIS

CHEN Yur-hao, SHI Pei-jun, LI Xiao-bing

(Key Laboratory of Environmental Change and Natural Disaster, Ministry of Education of China, Beijing 100875, China;
Institute of Resources Science, Beijing Normal University, Beijing 100875, China)

Abstract: Spatial thermal environment has a full impact on microclimate and urban zoology. The aim for this paper is to seek a effective method to analyse spatial pattern of thermal environment. The concept of "thermodynamic landscape" was presented for first time in this paper. The viewpoint of "thermodynamic landscape" to analyse spatial pattern of urban heat environment was presented using the landscape ecosystem for reference. An estimation system for spatial pattern of "thermodynamic landscape" was developed with GIS, RS supporting. The authors studied the dynamic evolvement of "thermal landscape" & its change process based on change matrix of multi-temporal "thermal landscape" in Shanghai in 1990, 1995, 1998. The change intension and trend of "thermal landscape" was pointed out in the city during last decade in this paper.

Key words: thermal environment; thermodynamic landscape; spatial pattern; Shanghai; change matrix

摘 要: 城市热环境的空间格局对城市微气候、城市生态环境演变有重要影响。为探讨城市热环境空间格局的研究方法,借鉴景观生态学的研究方法,首次提出热力景观概念,以景观的观点来研究城市热环境的空间格局。在 RS, GIS 的支持下,创建了热力景观空间格局的评价指标体系。应用转移矩阵法对 1990 年, 1995 年和 1998 年上海城市多时相热力景观的转移概率进行计算,分析了热力景观的动态变化和热力景观类型的组分转移过程。通过分析,揭示了上海城市近 10 年热力景观类型的变化强度和趋势。

关键词: 热环境; 热力景观; 空间格局; 上海; 转移矩阵

1 前 言

城市热环境是城市空间环境在热力场中的综合表现,不同热环境格局对城市微气候、城市生态

环境、人居环境等有着深远影响。在不考虑太阳辐射的差异和气象因素影响条件下,造成城市热环境差异主要有以下 3 个方面原因^[1]: 下垫面要素物理性质的差异,导致对太阳辐射的吸收、

收稿日期: 2001-01-20; 修回日期: 2001-08-23

基金项目: 国家自然科学基金重大项目(39899374); 国家自然科学基金资助项目(30000027)

作者简介: 陈云浩(1974-),男,安徽固镇县人,北京师范大学资源科学研究所博士后,主要从事生态环境遥感研究。

反射差异,最终表现为物体辐射温度及温度变化梯度上的差异;城市景观的几何形态会直接影响热量辐射扩散的效率,同时城市景观的几何形态又会对局部气候产生影响,间接影响城市热环境;城市中人为热活动和能耗要素对热环境具有直接作用。正是上述多变因素决定了城市热力环境格局和过程的复杂性。近年来,遥感技术的发展为城市热环境格局和过程的研究提供了可能,已有一些学者对此进行了探讨^[2]。由于热环境的复杂性和动态性以及非可视性,使得对热环境格局和过程的研究较为困难。

目前国内外文献所反映出的有关热环境空间格局和过程的研究,仍然采用格局变化对比分析法和格局特征描述分析法^[2~4],尚未能形成完整的理论体系和评价方法。本文借鉴景观生态学的研究方法,引入了“热力景观”概念。在 GIS 和遥感技术的支持下,用景观的观点来研究城市热环境,建立了一套热环境空间格局与过程研究方法和评价指标体系,并对上海城市热环境的空间格局和动态演变特征进行了分析。

2 热力景观

景观是具有高度空间异质性的区域,它是由相互作用的景观元素或生态系统以一定的规律组成的^[5~6]。城市热环境也是一个具有高度空间异质性的系统,在外界影响和其自身作用下动态变化,具有景观的特征。运用景观的观点,则可以认为城市热环境是由不同的热力景观组成,其热力景观的动态变化反映了热环境的空间格局特征。将那些各种不同类型的热力景观之间呈连续岛块状镶嵌分布的格局称之为热力斑块^[1]。热力斑块是一个与包围它的斑块不同的镶嵌体,具有相对的匀质性,具体说就是热惯量、热耗等为相对匀质性,而导致温度的相对匀质性。

2.1 热力景观空间格局评价指标

设整个景观的面积为 A , 周长为 P 。任一类景观的面积为 A_i , 周长为 P_i 。任一斑块的面积为 a_{ij} , 周长为 P_{ij} 。为对热力景观空间格局进行描述, 选择以下评价指标:

1. 分维数。用来测定斑块的复杂程度, 根据面积与周长的关系, 将分维数定义如下。

总分维数

$$D = 2\log(P/4) / \log(A)$$

类分维数

$$D_i = 2\log(P_i/4) / \log(A_i)$$

块分维数

$$D_{ij} = 2\log(P_{ij}/4) / \log(a_{ij})$$

2. 形状指数。形状指数表征了斑块的形状特征, 值越大其形状越狭长。

总形状指数

$$G = P/A$$

类形状指数

$$G_i = P_i/A_i$$

块形状指数

$$G_{ij} = P_{ij}/a_{ij}$$

3. 优势度。用于测度景观结构中一种或几种景观类型支配景观的程度^[6]

$$D = \frac{(R_{di} + R_{fi})/2 + L_{pi}}{2} \times 100\%$$

其中, $R_{di} = \frac{N_i}{N} \times 100\%$; N 为总斑块数; N_i 为 i 类

斑块数; $R_{fi} = \frac{S_{N_i}}{S_N} \times 100\%$; S_N 为总采样数; S_{N_i} 为 i

类斑块数; $L_{pi} = \frac{A_i}{A} \times 100\%$; A_i 为 i 类斑块面积; A 为样地总面积。

4. 破碎度。表示景观被分割的破碎程度。

总破碎度

$$C = \frac{N}{A}$$

类破碎度

$$C_i = \frac{N_i}{A_i}$$

5. 分离度。分离度指缀块个体分离程度, 显然分离度与缀块个数及面积大小有关。

总分离度

$$K = \frac{D}{A}$$

其中, $D = \frac{1}{2} \sum \frac{P_i^2}{A_i}$, 为景观的距离指数; 类分离度

$K_i = \frac{D_i}{S_i}$, 其中 $S_i = \frac{A_i}{A}$, 为景观 i 的面积指数, $D_i = \frac{1}{2} \sum \frac{P_{ij}^2}{a_{ij}}$ 。

6. 多样性。根据信息论原理, 用 Shannon-weaner 指数来计算景观的多样性

$$H = - \sum_{i=1}^m C_i \times \log_2 C_i \quad (1)$$

其中, H 为多样性指数; C_i 为热力景观类型 i 所占面积的比例; m 为类的数目。

2.2 热力景观划分

根据上海城市的不同发展阶段和图像质量,选取研究区夏、冬季典型图像(本文选夏季:1990-07-13,1995-07-11,1998-08-04 和冬季:1990-03-07,1995-03-05,1998-02-06 的 Landsat-5 TM 6 波段影像)。为了消除不同月份卫星影像的初始地温和太阳辐射差异对热环境影响,将不同日期影像的归一化至某一标准状态(系统地温为 T_0 、辐射总量为 W_0),具体处理方法可参见文献[1]。

将进行热力景观划分的 3 个逻辑波段定义为温度差值、热耗和年均温度。差值波段:季节变化对热惯量差异反应敏感,热耗相当的情况下,夏季和冬季热图像的差异反映了下垫面物理性质。将夏季与冬季的温度差值信息称之为差值波段。

温度波段:将夏季与冬季的均值图像作为反映

年均温度的逻辑波段。热耗波段:在 GIS 支持下,应用热耗的统计信息生成上海市年热耗量的空间分布图,然后将该信息线性拉伸至 0~255 之间,生成表征热耗的逻辑波段。首先对上述波段进行监督分类和 GIS 分析,提取出水体()、绿化()和热中心()3 类。将水体、绿化和热中心 3 类别除后,按照夏冬季温差和热耗的不同,分为 4 种热力景观类型:低差低耗()、低差高耗()、高差低耗()、高差高耗()。

3 空间格局分析

按上述步骤对 1990,1995,1998 年热力景观类型进行划分,可得其热力景观斑块图,如图 1 所示。热力景观分类反映出热力景观的格局,可在 GIS 软件的支持下对其进行定量分析。

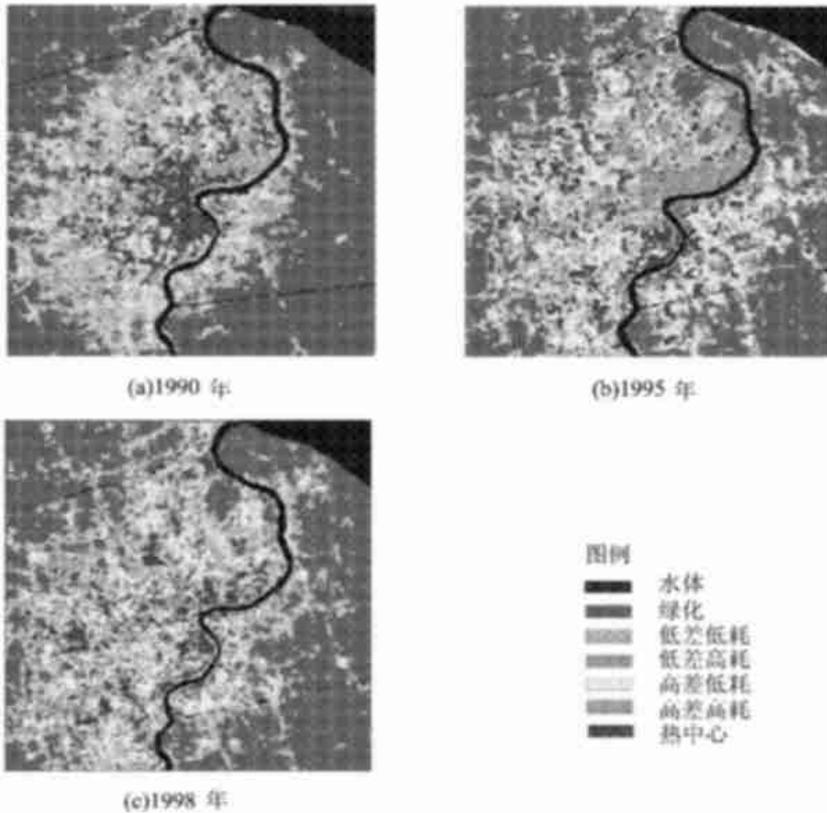


图 1 各时期上海城市热力景观斑块图

Fig. 1 The thermodynamic patch of Shanghai in 1990, 1995, 1998

3.1 1990 热力景观格局

从表 1 看出:绿化区的面积最大,面积最小的为低差高耗类。高差高耗斑块数多达 1 058 块,分布比较分散。平均斑块面积以水体和绿化区类型为最大,较城区的热力斑块面积大,更具有规模

效益,形成和城区不同的景观格局。水体和绿化区的分维值最低,高差低耗、高差高耗、低差低耗的分维值比较高。分维的计算结果反映了与之相应的自然背景、城郊结合和城区的发展状态。热中心的形状指数最大,表明了 1990 年上海市的热

中心形状较狭长,这和当时的工业布局(工业区沿河道、沿江布置)及主要能耗区沿干道的分布有

关。形状指数最小的为绿化区,显然符合郊区绿化成片的分布特征。

表 1 热力景观指标计算结果(1990)

Tab.1 The parameters for thermodynamic landscape estimation in 1990

类 型	斑块数目	类面积 / m ²	平均斑块面积/ m ²	类周长 / m	平均周长/ m	类分维	平均形状指数	优势度
水 体	21	66 702 196	3 176 295	168 633	8 030.1	1.182	4.306	8.1
绿 化	428	435 178 120	1 016 771	1 144 922	2 675.1	1.263	2.653	45.3
热中心	142	51 501 774	362 689	426 797	3 005.6	1.304	4.991	10.6
低差低耗	657	67 823 724	103 232	758 156	1 195.1	1.352	3.719	11.9
低差高耗	282	34 573 375	122 601	283 242	1 004.4	1.287	2.869	8.2
高差低耗	1 218	151 670 785	124 524	1 817 344	1 492.1	1.383	4.228	29.2
高差高耗	1 058	92 548 530	87 475	1 381 758	1 306.0	1.390	4.416	21.1
汇总	3 806	899 999 504	236 468	6 007 852	1 578.5	1.380	3.246	

3.2 1995 热力景观格局

表 2 中分维计算的结果和 1990 年相仿,依然是水体、绿化最低,最高的为高差低耗、高差高耗类型。表明 1995 年高差低耗、高差高耗类型的边界较复杂,对应着城郊结合部景观边界的复杂性。然而低差低耗、低差高耗、热中心的类分维值居中,表明城市中热力景观较城郊结合部边界简单,

层次清晰。城郊结合部景观的多样性,再加上自身特殊能耗方式,使得其在热力景观呈现较中心城区更复杂的格局。热力景观格局中以绿化和高差低耗占据较大的优势度,表明在整个研究区范围内低温热力背景依然占有了相对的优势。和 1990 年相比,基本的热力景观格局没有受到破坏。

表 2 热力景观指标计算结果(1995)

Tab.2 The parameters for thermodynamic landscape estimation in 1995

类 型	斑块数目	类面积 / m ²	平均斑块面积/ m ²	类周长 / m	平均周长/ m	类分维	平均形状指数	优势度
水 体	85	51 223 758	602 632	242 694	2 855.2	1.241	3.678	7.8
绿 化	400	348 441 604	871 104	1 622 569	4 056.4	1.313	4.346	40.2
热中心	383	70 322 797	183 610	794 536	2 074.5	1.350	4.841	18.2
低差低耗	648	133 961 052	1 409 490	206 730	2 175.1	1.365	4.784	27.3
低差高耗	334	67 761 593	202 978	650 261	1 946.9	1.331	4.322	14.6
高差低耗	1 340	147 069 084	109 753	2 383 468	1 778.7	1.414	5.369	35.4
高差高耗	1 276	81 219 763	63 652	1 545 580	1 211.3	1.413	4.801	26.3
汇总	4 466	899 999 651	201 523	8 648 598	1 936.5	1.415	4.314	

3.3 1998 热力景观格局

表 3 中分维的计算结果是,高差高耗、高差低耗、低差高耗、低差低耗斑块分维值较大,反映了这些斑块的形状复杂,而且相互之间差距不大,表

明边界相互交错现象严重。由于城市功能区日益细化,使得热力景观间相互蚕食和分割、融合、归并,从而造成斑块边界形状日益复杂化。在热力景观格局中绿化、低差低耗、高差低耗这种低温热

力景观占据较大的优势度,而低差高耗、高差高耗、热中心这种高温热力景观在整个格局中不占主导地位,水体的景观优势度最低。

表 3 热力景观指标计算结果(1998)

Tab.3 The parameters for thermodynamic landscape estimation in 1998

类 型	斑块数目	类面积 /m ²	平均斑块面积/m ²	类周长 /m	平均周长/m	类分维	平均形状指数	优势度
水 体	65	42 637 010	655 954	196 755	3 027.0	1.22	3.74	6.4
绿 化	615	302 912 715	492 541	1 463 024	2 378.9	1.31	3.39	38.2
热中心	317	71 427 074	225 322	566 004	1 785.5	1.31	3.76	14.3
低差低耗	1297	136 125 338	104 954	1 591 160	1 226.8	1.38	3.79	27.4
低差高耗	859	106 475 627	123 953	1 594 132	1 855.8	1.40	5.27	22.9
高差低耗	1 141	162 684 921	142 581	2 292 269	2 009.0	1.41	5.32	32.7
高差高耗	1 768	79 381 432	44 899	1 501 386	849.2	1.41	4.01	26.4
汇总	6 062	899 999 668	1 790 204	9 204 728	13 132.2	1.34	4.28	

4 热力景观格局动态演变研究

景观动态演变过程实质上是不同景观类型之间复杂的相互转化过程,是自然因素和人为活动双重作用的结果,景观组分转移的细节信息可灵敏地体现社会经济活动中景观管理的政策特点。由于转移矩阵直观和定量的反映出在特定时间内各类斑类型的演化过程,故选用转移矩阵法来分析城市热力景观的演变特征。

对任意 2 期热力景观类型图 $A_m^k \times n$ 和 $A_m^{k+1} \times n$,

按照下式的地图代数方法,可以求得

$$C_m \times n = A_m^k \times n \times 10 + A_m^{k+1} \times n \quad (\text{热力景观类型} < 10 \text{ 时适用}) \quad (2)$$

由 k 时期到 $k + 1$ 时期的热力景观类型变化图 $C_m \times n$,它表现了热力景观类型及其空间分布。

将 1990 年到 1995 年再到 1998 年不同热力景观类型间的转移状况,用 1990 ~ 1995 ~ 1998 年热力景观转移概率图进行表示,如图 2 所示。其中转移面积小于 5 km² 未在图 2 中列出。

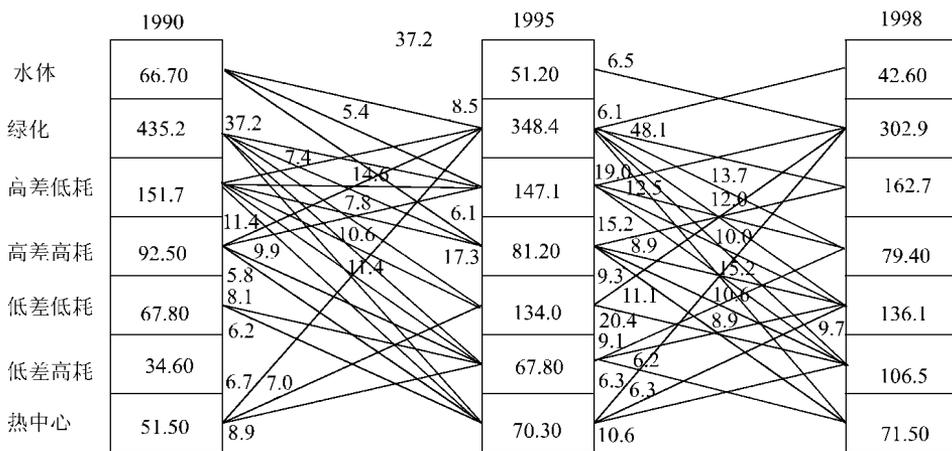


图 2 1990 ~ 1995 ~ 1998 年热力景观转移概率图 (km²)

Fig. 2 Thermodynamic patch change probability from 1990 to 1998 in Shanghai

从图 2 可发现其变化的总体规律是:水体和绿化区以及高差高耗类型呈逐年递减,而低差低耗、低差高耗和热中心区递增,高差低耗则保持了相对的稳定性。从 1990 年到 1995 年有 8.5 km²

的水体转化成了绿化区,从 1995 到 1998 年又转化 6.5 km²。而 1995 至 1998 年有 6.1 km² 从绿化区转向水体。可见,绿化和水体有着一定规模的相互转化。转入绿化区和转出绿化区一直存在巨

大的差距,因而绿化区从 1990 年至 1995 年至 1998 年一直处递减状态。

高差低耗保持相对稳定,1990 年至 1998 年高差低耗主要向绿化区、高差高耗、低差低耗和低差高耗转化,转向高差低耗类的主要是绿化区和高差高耗区。无论是因转入和转出及转移量方面都保持了稳定性。高差高耗、低差低耗、低差高耗类在 1990 年至 1998 年,均呈现出较复杂的转化趋势。热中心在 1990 至 1998 年的主要转出类型都是绿化区,低差低耗区和低差高耗类型,而转入类型 1990 至 1995 年以绿化区、高差低耗、高差高耗和低差低耗类为主,1995 至 1998 年以高差高耗和低差高耗为主。

5 小 结

1. 本文借鉴景观生态学的研究方法,引入了“热力景观”概念。在 GIS 和遥感技术的支持下,用景观的观点来研究城市热环境,提出了热力景观空间景观格局的评价体系。

2. 定义了进行热力景观划分的 3 个逻辑波段(差值波段、温度波段和热耗波段),将上海城市热力景观划分为水体、绿化、热中心、低差低耗、低差高耗、高差低耗、高差高耗 7 种热力景观类型,通过对热力景观格局指标的计算,再现了当时上海城市热力景观的空间格局。

3. 在 GIS 支持下,对 1990,1995 和 1998 年上海城市多时相热力景观转移概率进行计算,分析热力景观的动态变化和热力景观类型的组分转移

过程。通过分析,揭示了上海城市近 10 年热力景观类型的变化强度和发展趋势。热力景观斑块数目不断增加,反映了热力景观随城市发展而日趋破碎、细化,以及人类活动对热力斑块的巨大影响。

参考文献:

- [1] CHEN Yur-hao. Analysis and Application of Spatial Heat Environment in Shanghai City Using Remote Sensing Image [D]. Beijing: China University of Mining & Technology, 1999. (in Chinese)
- [2] BEN-DOR E, SAARON H. Airborne Video Thermal Radiometry as a Tool for Monitoring Microscale Structures of the Urban Heat Island[J]. Int J Remote Sensing, 1997, 18(4): 3 039-3 053.
- [3] LO C P, QUATTROCHI D A, LUVALI J C. Application of High-resolution Thermal Remote Sensing and GIS to Assess the Urban Heat Island Effect[J]. Int J Remote Sensing, 1997, 18(2): 287-304.
- [4] GOWARD S N. Thermal Behavior of Urban Landscapes and the Urban Heat Island [J]. Physical Geography, 1981, 2(1): 19-33.
- [5] FO Bo-jie. Landscape Diversity Analysis and Mapping [J]. Acta Ecologica Sinica, 1995, 15(4): 345-350. (in Chinese)
- [6] XIAO Du-ning, ZHAO Yi, SUN Zhong-wei, et al. Study of the Variation of Landscape Pattern in the West Suburbs of Shenyang[J]. Journal of Applied Ecology, 1990, 1(1): 75-84. (in Chinese)

《地图》2002 年第 3 期目录

(双月刊 邮发代号 2-912 2002 年 5 月 15 日出版)

我国大陆陆地南升北降

西气东输工程正式启动

50 年后图瓦卢群岛将举国移民新西兰

中国地图绘“龙马文图”

我国 21 块湿地列入国际重要湿地名录

20 世纪中国科学地图编制和出版

科技生活新魔法

天下名山僧占多

利玛窦和他的世界地图

克什米尔——解不开的结

政治气候的晴雨表——前苏联地名更名纵横谈

追踪北国杜鹃

九转黄河一壶收

旅俄随笔

《中华人民共和国自然景观图》介绍

“六一”好礼物——儿童地图

地图收藏,离春天还有多远

东洋南洋海道图