

兰州市城区夏季热场分布与热岛效应研究

李国栋^{1,2}, 王乃昂^{1,2}, 张俊华³, 赵力强^{1,2}

(1 兰州大学资源环境学院, 甘肃 兰州 730000 2 兰州大学西部环境教育部
重点实验室, 甘肃 兰州 730000 3 安徽师范大学环境科学学院, 安徽 芜湖 241000)

摘要: 对兰州市城区进行了早、午、晚 3 个时段各气候要素的流动观测, 模拟了兰州市城区夏季 3 个时段的地面热场。结果显示, 兰州市夏季地面热场分布存在明显的规律性和动态演变特征。2006~2007 年, 在城区和郊区利用两套自动气象站连续进行了气候定点对比观测, 结合兰州城区台站近 70 年和郊区台站近 40 年的常规气象观测资料, 分析兰州市气温、热岛效应及热岛强度的变化特征。热场的时空分布与兰州市城市化过程中土地利用类型、人口密度、城市能耗、建筑容积率和下垫面热力性质等因素的变化有着密切的联系。

关键词: 城市热场; 热岛效应; 流动观测; 空间插值

中图分类号: 文献标识码: A 文章编号: 1000-0690(2008)05-0709-06

随着城市化进程的加快, 城市气候诸要素发生显著变化。由国家环保总局公布的《中国城市环境保护》报告列举了城市环保工作面临的三大新问题, 其中城市热岛效应榜上有名。城市气候和热环境研究逐渐成为当前城市环境研究的热点, 这在生态城市的建设、城市规划、建筑设计、城市能源利用和居民生产生活等领域具有重要的现实意义。

自英国学者 Howard 发现伦敦市内的气温比郊区高, 此后有关城市气候的研究开始受到世界普遍重视。国内外大量研究表明, 世界上所有城市无论规模大小, 所处位置、地形、环境如何都存在城市热岛效应^[1]。Amfield 总结了近 20 年来国际上城市热岛研究的成果^[2]。目前, 城市热场的时空分布、微观特征研究和基于热红外遥感的城市热场研究逐渐兴起^[3,4]。周淑贞等人是中国城市气候和热环境研究的先行者^[5]。相关学者在国内一些大中城市相继开展了城市热场的形态结构、时空分布和形成机制方面的研究^[6-10]。

目前, 国内外在城市气候和热场监测方面的研究方法主要有城郊气象站点法、定点观测法、流动观测法、卫星遥感反演和模型模拟等方法^[11], 本文综合应用了 4 种方法。流动观测方法对监测局地范围的气候变化有十分明显的优势, 弥补了固定观测站点数量不足和遥感反演实际气温准确度不高

的缺点^[12]。近年一些学者^[13-16]利用流动观测方法, 研究了城市热岛效应和热场的空间结构特征。卫星遥感反演法受大气状况等复杂因素的影响, 准确反演实际气温存在困难, 且只能反演卫星过境时刻的地面热场, 时间分辨率低, 本文研究了 1 日之中 3 个时段的地面热场的动态变化。

1 研究区域与研究方法

1.1 研究区概况

兰州市位于 102°36'~104°34'E, 35°35'~37°7'N 之间, 地处西北黄土高原、蒙新高原和青藏高原的接壤地带, 黄河自西向东纵贯市区 38 km。城区被南北两山夹峙, 市中心海拔 1 520 m, 是一东西长、南北窄的带状河谷盆地城市。兰州市属温带半干旱大陆性季风气候, 降水少、日照多、蒸发量大、干燥、昼夜温差大。盆地内风速小、逆温强。兰州市是西北地区重要的交通枢纽、商贸中心、综合性工业基地, 城区面积目前 210 km², 人口 300 多万人。随着兰州城市规模的扩大, 城市下垫面性质和格局发生巨大变化^[17], 大量人为热进入大气, 城市的能量平衡和水分平衡发生改变, 深刻影响城市热环境分布格局。近年来, 随着全球变暖及城市热岛效应的增强, 兰州市夏季发布高温橙色警报、红色警报的日数较以往都有所增加。

收稿日期: 2007-11-23 修订日期: 2008-05-30

基金项目: 国家自然科学基金(40471138)、高等学校博士学科点专项科研基金(20050730030)资助。

作者简介: 李国栋(1978-), 男, 甘肃张掖人, 博士研究生, 主要从事城市气候与城市环境研究。E-mail: oklgt@163.com

1.2 实验方法与数据

为了详细调查兰州市城区热场的形态结构和时空演变规律,本文综合应用了流动观测法、定点观测法、城郊气象站点法和模型模拟法。分别于1999年1月、1999年4月、1999年10月、2000年7月、2006年7月、2006年10月、2007年1月、2007年4月在兰州市城关区进行了4季各气候要素的汽车流动观测和定点观测,共进行了24次观测。观测都选择在晴朗稳定的天气条件下进行,城市气候效应在这种天气条件下表现最明显(图1)。流动观测路线和测点考虑了不同的城市功能区,不同走向的街道,不同建筑密度和不同性质下垫面。每天用两部汽车携带美国产 Kestrel 4000多功能便携气象仪、天津产 DHM 2型通风干湿表、美国产 Marge llan 320 GPS卫星定位系统沿东西二线进行早、午、晚3次观测,每次观测持续约3~4h,主要集中在7:00~10:00,13:00~16:00,19:00~22:00这3个时间段。在流动观测的同时,在兰州大学利用自动气象站和人工同时进行定点观测,每5分钟记录一次。流动观测和定点观测的要素有经纬度坐标、气温、湿度、风速、酷热指数、风寒指数、气压、干球温度和湿球温度。观测结束后,对流动观测各测点在不同时刻的观测要素值进行时间差订正。对定点观测每5分钟的各要素值,应用最小二乘法分别拟合得到早、午、晚3个时间段的趋势方程,然后利用该方程中时间与各要素值的关系,订正流动观测各测点的观测要素值。将每天3个时段的流动观测要素值分别订正到3个观测时段的中间时刻08:30,14:30和20:30上。

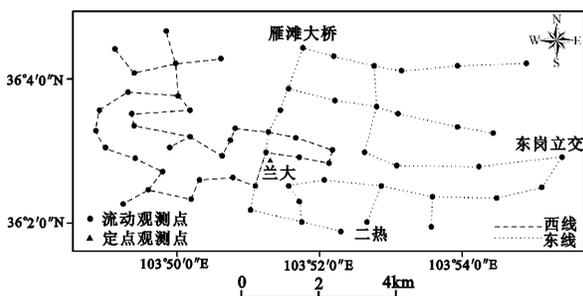


图1 兰州市城区气候流动观测线路和测点示意图

Fig. 1 Observation points and routes of mobile surveys of urban climate in Lanzhou City

为了研究兰州市城市气候及热环境的变化规律和形成机制,2006年5月至2007年7月在兰州

市中心和榆中县,利用两套澳大利亚 Monitor SL5 波文比、自动气象站观测系统同时对下垫面和大气各气象要素、水热通量进行不间断连续观测。在流动观测期间,利用该仪器对定点观测数据进行补充订正。利用兰州中心气象台自建站以来(1936~2005年)的气象常规观测资料,分析兰州市70年来年平均气温和夏季气温的年际变化特征。选取与兰州城区处于同一区域气候条件下的皋兰气象站代表郊区站,利用各台站1964~2004年的气象常规观测资料,应用城郊对比法,分析兰州城区热岛强度的变化规律。

1.3 GIS空间数据库的建立和空间插值

本文利用订正后的流动观测数据和测点的空间位置信息建立GIS空间数据库;对数据进行分析,包括检验数据分布、寻找数据离群值、进行全局趋势分析等;然后,选择合适的模型进行表面预测;最后,进行模型诊断和模型比较。空间插值是根据一定数量反映了空间分布的全部或部分特征的观测样本,来估计未知地理空间的特征,将离散点的测量数据转换为连续的数据曲面。常见的空间插值方法有距离权重法、多项式插值法、Kriging法、样条插值法等。具体到本文,经过插值效果的比较分析,主要应用反距离加权法和Kriging法。

1) 反距离加权法(inverse distance weighting, DW)。反距离加权法以插值点与样本点的距离为权重进行加权平均,离插值点越近的样本点赋予的权重越大,权重贡献与距离成反比。其表达式为:

$$Z = \sum_{i=1}^n \frac{1}{(D_i)^p} Z_i / \sum_{i=1}^n \frac{1}{(D_i)^p} Z_i \quad (1)$$

式中, Z 为未知点处的预测值; Z_i 为第*i*点处的测量值; D_i 是预测点与各已知样点之间的距离; P 是距离的幂。

2) Kriging内插。Kriging插值最早由南非地质学家Krige提出,用于寻找金矿。法国统计学家Matheron随后将该方法理论化、系统化。其基本假设是建立在空间相关性的先验模型上,以变异函数理论和结构分析为基础,在有限区域内对区域化变量进行无偏最优估计的一种方法,一般公式为:

$$Z(x_0) = \sum_{i=1}^n \lambda_i Z(x_i) \quad (2)$$

式中, $Z(x_0)$ 为未知点 x_0 处的估计值, $Z(x_i)$ 为数据点 x_i 处的观测值, λ_i 为克里格权重。为了优化内插算法,克里格方法产生了多个变种,有普通克

里格、泛克里格、简单克里格、指示克里格、协同克里格等, 这些 Kriging 方法基本原理相同, 但适用条件有所不同, 经比较分析, 本文采用普通克里格法 (简写 OK) 和泛克里格法 (简写 UK)。

3) 模型检验方法。采用交叉验证法 (cross validation) 来验证插值效果。即分别假设每一测点的要素值未知, 用周围测点的观测值来估算, 然后根据所有采样点实际观测值与估算值的误差大小评判插值方法的优劣。本文在对不同的插值模型和不同的参数得到的模型比较时, 采用均方根误差 (root mean squared error 简写 RMSE)、平均绝对误差 (mean absolute error 简写 MAE) 作为评估几种插值效果的标准^[18]。MAE 反映估计值可能的误差范围; RMSE 衡量预测结果的有效性, 反映利用样点数据的估值灵敏度和极值效应。

2 结果与分析

2.1 近 70 年来兰州市年平均气温、夏季平均气温

分析图 2 可知: 在过去 70 年, 兰州市气温总体呈波动上升趋势, 整个过程中存在 3 个阶段。从 20 世纪 30 年代到 50 年代初期, 气温逐渐上升, 多年平均气温 9.6℃; 从 20 世纪 50 年代中期到 70 年代末, 气温逐渐下降, 多年平均气温 9.1℃, 气温距平值为负距平, 这一时期为偏冷期; 从 20 世纪 70 年代末到现在, 年均温和夏季气温快速增加, 近 20 年多年平均气温达到 10.1℃, 为偏暖期。从兰州市年气温距平分析来看, 1980 年以前以负距平为主, 以后以正距平为主。兰州夏季 7 月气温波动趋势和年均气温波动趋势基本吻合, 但其振荡幅度要大。这反映了在全球气候变暖的背景下, 兰州市夏季气候亦持续变暖, 特别表现在 20 世纪 80 年代以来这个阶段, 夏季高温日数和高温过程明显增多。相关学者研究了海平面气压、全球平均气温等要素的年代气候跃变, 认为在近百年中全球气候发生 3 次较大跃变, 分别在 20 世纪 20 50 70 年代末到 80 年代初。林学椿认为近百年来中国气温的变化也有 3 次全国性跃变, 分别在 1920 1955 1980 年^[19]。所以兰州近 70 年来的气温变化规律和近百年来全球和中国整体气温变化规律一致。

2.2 近 40 年来兰州市热岛效应及热岛强度的变化特征

图 3 是以兰州中心气象台代表城区站, 选取与之处于同一区域气候条件下的皋兰气象站代表郊

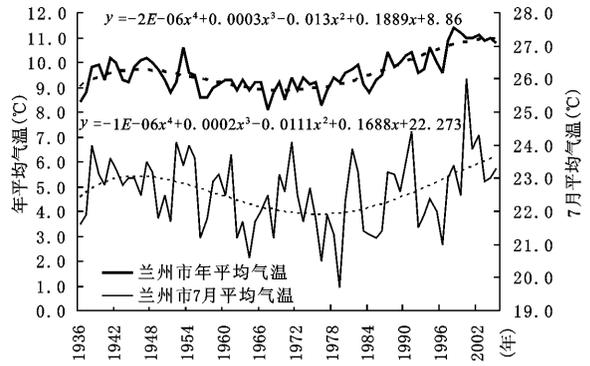


图 2 近 70 年兰州市年平均气温和夏季 7 月份平均气温变化

Fig 2 Variations of annual mean temperature and mean temperature in July in recent 70 years

区站, 分析近 40 年来兰州城郊年平均气温差、年平均最高气温差及年平均最低气温差的变化。这种城区与皋兰的气温差已消除了兰州地区气候本身变化的因素, 可反映同一大气候条件下两点间的小气候差别, 可反映由于城区建设、工业发展和下垫面性质改变等人为因素引起的气温变化^[20]。兰州市城郊年平均温差、最高气温差和最低气温差在近 40 年都呈逐渐增长的趋势。分时段来看, 兰州城区与皋兰 1960~1970 年平均温差 2.0℃, 1971~1980 年平均温差是 2.2℃, 1981~1990 年平均温差是 2.7℃, 1991~2000 年平均温差是 3.2℃。说明从 20 世纪 80 年代以来兰州城区热岛效应更加显著, 热岛强度越来越大。从其增长速度看, 城郊年平均最低气温差增长最快; 城郊年平均气温差次之, 城郊年平均最高气温差较前二者增长较慢, 这表明热岛强度在最低气温上的表现最突出。

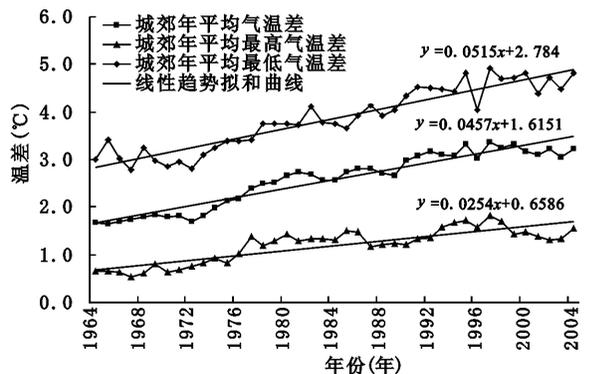


图 3 兰州城郊年平均气温、年平均最低气温及年平均最高气温的差值变化

Fig 3 Differences of annual mean temperature, mean minimum temperature and mean maximum temperature between city and suburb

与近 40 年来兰州城区热岛效应逐渐显著、热岛强度逐步增强相耦合的是, 20 世纪 50、60 年代的“一五”、“二五”和“三线”建设时期, 兰州被国家作为西部重要的工业基地重点建设以来, 兰州市城市化和工业化速度进入快速增长的时期, 全市工业生产总值由 1979 年的 38.7 亿元增长到 1998 年的 345.8 亿元, 20 年时间增长近 10 倍。城区面积由 1941 年设市时的 16 km² 迅速扩展到目前的 210 km²; 人口也由当初的 8.6 万人剧增到目前的 300 多万人; 目前, 城关区建成区面积达到 60 km², 人口密度达到 10 070 人 / km²; 城市道路面积由 1950 年的 65.75 × 10⁴ m² 增长到 1998 年的 913 × 10⁴ m²。相关学者研究表明, 城市热岛主要是在城市化的人为因素和局地天气气象条件共同作用下形成的, 在人为因素中以下垫面性质的改变和大量人为热的释放等最为重要^[5, 21~23]。目前在全球变暖的背景下, 兰州城市化水平的加快导致人工构筑的下垫面面积急剧增加, 城区人口密度和建筑容积率增大, 化石燃料大量消耗、机动车剧增、各种人为热大量释放。此外, 兰州是一高原河谷型城市, 河谷相对高差达 500~600 m, 城区是一个几乎封闭的盆地, 其特殊的地形和气象条件使得城市上空形成了深厚的逆温层, 在冬季表现尤为明显。周围山体的阻挡, 逆温层深厚及静风频率高, 这些因素阻碍了城市热量的扩散。人为和自然因素的综合作用使得兰州热岛强度逐渐增强, 使得城市热环境较其它城市表现更加突出。

2.3 基于 GIS 空间插值的兰州市夏季地面热场模拟

1) 验证结果。本文利用交叉验证法来验证插值效果时, 将均方根误差 (RMSE) 和平均绝对误差 (MAE) 作为检验空间插值精度的标准。在对不同参数得到的模型比较中, RMSE 和 MAE 最小的模型是最优的。表 1 可见, 在对 8:30 的热场模拟中, 3 种插值方法的 RSME 的排序是 OK > DW > UK, MAE 的排序是 OK > DW > UK, UK 法获得最小的 RSME 和 MAE。同理, 在对 14:30 的热场模拟中, DW 法获得最小的 RSME 和 MAE。在对 20:30 的热场模拟中, IDW 获得最小的 RSME 和 MAE。因此, 本文选择 IDW 和 UK 法作为精度和效果最优的空间插值方法, 分别模拟得到了兰州城关区夏季一日 3 个时段的地面热场分布。

2) 夏季地面热场动态特征分析。从图 4 可

表 1 三种空间插值方法的交叉验证结果 (°C)

		8:30	14:30	20:30
IDW	RSME	0.9617	1.0750	0.5229
	MAE	0.5071	0.6412	0.4103
OK	RSME	0.9657	1.1120	0.5580
	MAE	0.7284	0.8397	0.4362
UK	RSME	0.9358	1.2830	0.5425
	MAE	0.5016	0.9355	0.4288

以看出, 早上 8:30 城关区有 2 个热中心: 第一片是南到第二热电厂, 北到段家滩, 商学院的区域; 第二片次热中心是兰州钢厂到拱星墩的区域; 兰州一中至盘旋路周边区域也是一温度较高的区域。低温区主要集中在新港城以东, 刘家滩、均家滩以北广大的雁滩开发程度较低的区域。因此, 早上热场强度高的区域主要出现在能耗大、热源强度高的工业区, 热场强度较弱的区域主要出现在植被覆盖好、工业热耗少、建筑容积率低的区域。

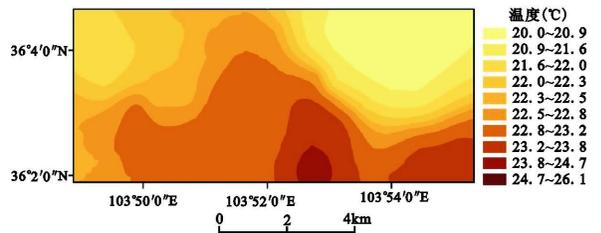


图 4 8:30 地面热场空间分布格局

Fig. 4 Spatial pattern of ground thermal field at 8:30

从图 5 可以看出, 下午 14:30 城关区主要有 3 个热中心: 第一个最强的高温区在西关什字、省政府、南关什字围成的三角区域, 最高温 39.1°C, 此区域为兰州商贸中心和政治中心, 建筑容积率最高, 人口密度最大; 第二个区域高温中心是第二热电厂周边, 释放的工业热量非常大, 气温达到了 39.3°C, 这是观测期间出现的极端最高气温, 接近出现在 2000 年的兰州市 50 年来月极端最高气温 39.8°C; 第三个弱高温区域出现在新港城和雁滩西部区域, 此区域是兰州新开发面积最大生活住宅区, 此外, 还有一系列热力缀块镶嵌其中。因此, 下午热场强度高区域主要出现在人口和建筑密集的商贸区、高能高耗工业区及大型生活住宅区。

图 6 看出, 晚 20:30 城关区有 2 个热中心: 第一是以火车站、汽修二厂、会宁路口围成的三角区域; 第二是兰州钢厂到焦家湾区域; 此外还有几个

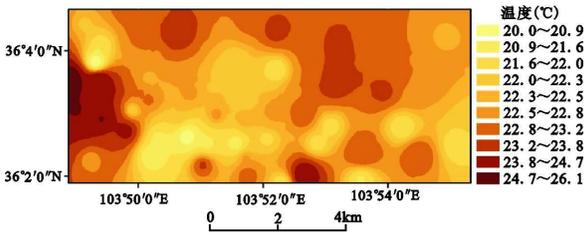


图 5 14:30 地面热场空间分布格局

Fig 5 Spatial pattern of ground thermal field at 14:30

零散高温区。低温区主要分布在城市周边植被覆盖较好的区域,如雁滩东部区域、五泉山、大沙坪、五一公园、花卉园。城区由于建筑和下垫面导热率和热储量,白天吸收大量的热量,夜间缓慢释放,导致温度下降较缓慢,形成相对高温区。此外,兰州夏季夜晚休闲烧烤和饮食摊点比较多,在流动观测的过程中发现,摊点密集区域气温要高。

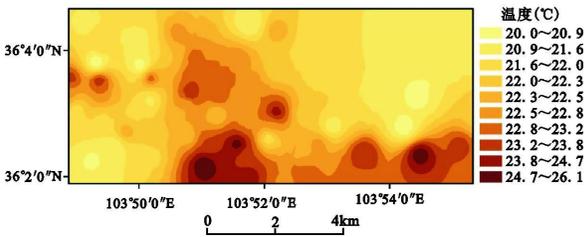


图 6 20:30 地面热场空间分布格局

Fig 6 Spatial pattern of ground thermal field at 20:30

陈云浩等引入景观生态学的理论,提出了热力景观的评价体系^[10]。具体到本研究,从3个时段的热场分布可看出:在部分区域热中心呈相互镶嵌状,形成热力缀块;部分区域热中心呈弥散状;在部分区域形成热中心连片发展的态势。城市热能耗、人口、建筑、下垫面热性质的差异是影响不同的热力景观格局形成的主要原因。

3 结论与讨论

兰州市近70年年平均气温和夏季平均气温的变化过程为:20世纪30年代到50年代初期,气温变化趋势上升的;从20世纪50年代中期到70年代末,气温逐渐下降,为一偏冷期;从20世纪70年代末到现在,气温快速增加,为一偏暖期。1980年前后存在明显的跃变。这和近百年来全球和中国大尺度的气候变化相一致。近40年兰州城郊年平均气温差、年平均最高气温差及年平均最低气温差都呈逐渐增长的趋势,特别是自20世纪80年代以

来,兰州城区热岛效应更加显著,热岛强度越来越大。与之相耦合的是自20世纪50年代以来,随着兰州城市化和工业化速度的加快,兰州市城区下垫面类型和下垫面热力性质发生了巨大的变化,人为热和能耗急剧增加。近半个世纪兰州城市气温快速增加是否由城市化等人类活动引起,尚需更多同类分析加以证明,需要结合全国其它典型城市,就城市人类活动引起的增温与全球变暖大背景下的自然增温各自对城市热环境的影响程度和贡献率问题深入分析。

兰州市夏季地面热场在一日之中存在明显的动态演变特征,热场分布格局在早、午、晚3个时段有很强的规律性。热场强度高的区域主要出现在能耗大、热源强度高的工业区,人口密度大、建筑容积率高的商贸区和大型住宅区。热场强度较低的区域主要出现在植被覆盖好、工业热耗少、建筑容积率低的城市周边区域,黄河对其周边区域有着明显的降温、增湿的作用。从目前的研究来看,不同热力景观格局的形成与土地利用、土地覆盖变化、建筑、人口分布、城市能源消耗量、大气环境状况存在一定的关系,它们的空间分布和热场分布存在什么样的耦合关系,各自对热环境有多大影响,需要作进一步的定量研究。在兰州生态城市的建设中,绿地、水体、道路和功能区的合理规划对优化地表能量平衡和动力学效应,减轻夏季热场强度和改善区域微热环境有重要的作用,尤其要参考目前兰州城区地面热场空间分布规律,科学规划绿地建设,实现“热岛”变“绿岛”,实现绿地生态效益最大化。利用遥感反演地面热场有空间分辨率高、覆盖面广的优势,如果将定点观测、流动观测、空间插值模拟和遥感反演结合,相互补充和验证,将得到时间分辨率和空间分辨率更高的夏季地面热场分布。

参考文献:

[1] 徐祥德, 汤 绪. 城市化环境气象学引论[M]. 北京: 气象出版社, 2002 62~ 77.

[2] Amfield 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, 26(1): 15-18.

[3] Voogt J A, Oke T R. Thermal remote sensing of urban climates[J]. Remote Sensing of Environment, 2003, 86: 370-384.

[4] Hadas S, Eyal B D, Ariei, et al. Spatial distribution and microscale characteristics of the urban heat island in Tel-Aviv, Israel[J]. Landscape And Urban planning, 2000, 48: 1-18.

- [5] 周淑贞, 束 炯. 城市气候学 [M]. 北京: 气象出版社, 1994: 1~ 600.
- [6] 赵云升, 杜 嘉, 宋开山, 等. 基于卫星遥感的夏季长春市城区热场分析 [J]. 地理科学, 2006, 26(1): 70~ 74
- [7] 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 [J]. 地理科学, 2005, 25(6): 697~ 703
- [8] 何云玲, 张一平, 刘玉洪, 等. 昆明城市气候水平空间分别特征 [J]. 地理科学, 2002, 22(6): 724~ 729.
- [9] 张一平. 昆明城市发展对室内外平均气温影响的研究 [J]. 地理科学, 2001, 21(3): 271~ 277
- [10] 陈云浩, 李晓兵, 史培军, 等. 上海城市热环境的空间格局分析 [J]. 地理科学, 2002, 22(3): 317~ 323
- [11] 肖荣波, 欧阳志云, 张兆明, 等. 城市热岛效应监测方法研究进展 [J]. 气象, 2005, 31(11): 3~ 6
- [12] 郭 勇, 龙步菊, 刘伟东. 北京城市热岛效应的流动观测和初步研究 [J]. 气象科技, 2006, 34(6): 656~ 661.
- [13] Saiboh T S, Shimada T, Hoshi H. Modeling and simulation of the Tokyo urban heat island [J]. Atmospheric Environment, 1996, 30(20): 3431~ 3442
- [14] Kazimierz K, Krzysztof F. Temporal and spatial characteristics of the urban heat island of Łódź Poland [J]. Atmospheric Environment, 1999, 33: 3885~ 3895
- [15] Wong N H, Yu C. Study of green areas and urban heat island in a tropical city [J]. Habitat International, 2005, 29: 557~ 558.
- [16] Unger J, Sümeghy Z, Zoboki J. Temperature cross-section features in an urban area [J]. Atmospheric Research, 2001, 58: 117~ 127
- [17] 杨永春, 曾尊固. 兰州市地域结构分析 [J]. 地理科学, 2002, 22(4): 469~ 474.
- [18] 林忠辉, 莫兴国, 李宏轩, 等. 中国陆地区域气象要素的空间插值 [J]. 地理学报, 2002, 57(1): 47~ 54
- [19] 林学椿, 于淑秋. 北京地区气温变化和热岛效应 [C]. / 秦大河. 气候变化与生态环境研讨会文集. 北京: 气象出版社, 2004: 156~ 161.
- [20] 杨德保, 王式功, 王玉玺. 兰州城市气候变化及热岛效应分析 [J]. 兰州大学学报 (自然科学版), 1994, 30(4): 161~ 167.
- [21] 刘 宇, 匡耀求, 吴质峰, 等. 不同土地利用类型对城市地表温度的影响 [J]. 地理科学, 2006, 26(5): 597~ 602
- [22] 岳文泽, 徐丽华. 城市土地利用类型及格局的热环境效应研究——以上海市中心城区为例 [J]. 地理科学, 2007, 27(2): 243~ 248
- [23] 何云玲, 张一平, 杨小波. 中国内陆热带地区近 40 年气候变化特征 [J]. 地理科学, 2007, 27(4): 499~ 505

Urban Thermal Field and Heat Island Effect of Lanzhou City in Summer

LI Guo-Dong^{1,2}, WANG Na-ran^{1,2}, ZHANG Jun-Hua³, ZHAO Li-Qiang^{1,2}

(1. College of Earth & Environment Sciences, Lanzhou University, Lanzhou, Gansu 730000; 2. Key Laboratory of Western China's Environmental System of Ministry of Education, Lanzhou University, Lanzhou, Gansu 730000;

3. College of Environmental Science, Anhui Normal University, Wuhu, Anhui 241000)

Abstract The mobile surveys were conducted by vehicles equipped with meteorological instruments and GPS in Lanzhou. With the corrected data and the method of spatial interpolation, this paper model urban thermal field in three periods of Lanzhou in summer and analyzed the cause of formation. Results show that the thermal field of Lanzhou presents regular distribution. The thermal space distribution characters have directly relations with land use type, urban energy consumption, population density, building volume rate, and thermodynamic properties of underlying surface. Two automatic meteorological stations were used to observe meteorological elements contrastively at urban area and suburb from 2006 to 2007, combining with the routine meteorological data of urban meteorological station in recent 70 years and the routine meteorological data of suburb station in recent 40 years, large time scale temperature variation, heat island effect, and change of heat island intensity. Results show that inter-annual variation characteristics of temperature are consistent with the large scale oscillation characteristics in last century, urban heat island effect is more remarkable, and urban heat island intensity has become strong gradually from the 1980s, these characteristics have close relations with development of urbanization and industrialization in Lanzhou.

Key words urban thermal field; heat island effect; mobile measurement; spatial interpolation