

赵仙荣, 葛珏骏, 王宇鹏, 等. 西安城市热岛效应下的垂直气象观测与结果分析[J]. 灾害学, 2022, 37(3): 136 - 139. [ZHAO Xianrong, GE Juejun, WANG Yupeng, et al. Vertical Meteorological Observation Method and Analysis for Urban Heat Island Character in Xi'an[J]. Journal of Catastrophology, 2022, 37(3): 136 - 139. doi: 10.3969/j.issn.1000 - 811X.2022.03.022.]

西安城市热岛效应下的垂直气象观测与结果分析*

赵仙荣¹, 葛珏骏², 王宇鹏², 于春亮³

(1. 陕西大气探测技术保障中心, 陕西 西安 710014; 2. 西安交通大学 人居环境与建筑工程学院, 陕西 西安 710049; 3. 中铁九局集团有限公司大连分公司, 辽宁 大连 116011)

摘要: 诸多研究指出城市内部热环境变化造成的热岛效应加剧了一系列城市气象灾害。在目前针对热岛效应的研究中, 在垂直方向上的气象观测数据常难以获得。该文介绍了一项为期1年的城市热岛效应垂直方向特征观测工作。通过系留气球携带探空仪, 对城市和郊区不同高度的气象参数展开观测。观测结果显示: 夏季城市冠层热岛的影响高度在30 m以上; 冬季由于城市热岛的存在, 城市冠层夜间的逆温强度(0.8℃)小于郊区(1.8℃), 但逆温持续时间比郊区更长。通过分析城市冠层热岛垂直结构的时空变化特征可解析西安城市气象灾害的形成机制, 并提出了若干政策性防灾减灾建议。

关键词: 城市热岛; 垂直气象监测; 气象灾害; 西安市

中图分类号: X43; X915.5; P694 **文献标志码:** A **文章编号:** 1000 - 811X(2022)03 - 0136 - 04

doi: 10.3969/j.issn.1000 - 811X.2022.03.022

根据国家关于构建顶级城市群、枢纽城市群等规划意见, 我国的城市化进程中已明显出现人口从小城市向大城市集中的趋势。然而, 人口过度聚集在刺激流量经济的同时也可能引发城市内的局部气候环境变化, 并诱发雾霾天气、流行病传播等一系列城市灾害问题^[1]。因此, 充分探究城市设计与运营过程中所造成的中小尺度气候环境变化机理, 开展面向未来预测与管控的精细化气候环境测量与分析已成为城市气象领域的迫切任务。

城市下垫面由于错落的几何结构、高度的人为热排放和人工建材使用, 在相同的背景气象条件下会形成有别于自然下垫面的热力过程, 这一现象被称为城市热岛效应。诸多研究证实了热岛效应对建筑能耗、行人热舒适度和污染物扩散的负面影响^[2]; 《城市居住区热环境设计标准: JGJ 286—2013》^[3]提出城市居住区夏季热岛强度不应大于1.5℃。目前的热岛强度一般定义为城郊人行高度空气温度差。然而, 中国的城市形态与发达国家存在极大差异, 高层建筑普遍存在, 仅以人行高度热环境状况无法充分评价城市气象灾害风险或指导工程设计。

一般认为, 城市景观的下垫面材料在受到日间太阳直射辐射作用后能够储存更多的热量, 且由于建筑物的遮挡不易发散长波辐射, 下垫面温度高于自然景观构成的下垫面, 两者差异在夜间尤甚^[4]。LU等^[5]通过水箱试验阐述了下垫面温度

升高后上空的换热过程: 近地面空气受热后上升, 郊区冷空气从下方流入补充; 上升的热空气遇冷降温并下沉(图1)。上述热力循环使城市上空形成一个流场的边界, 即城市气候学中所称的城市边界层^[6]。边界层高度一般在城市冠层高度(即城市平均建筑高度)以上, 城市冠层内的热环境特征由大气环流和局地热力环流的协同作用决定。

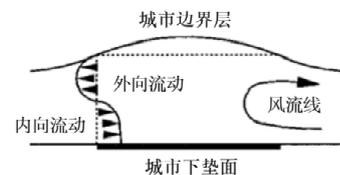


图1 城市上空热力环流^[5]

西安是中国西北枢纽城市, 近年来城市规模急剧扩张, 同时伴有交通拥堵、雾霾严重等一系列城市灾害问题出现, 在中国大城市中具有代表性。1977年, 街峡模型首次被提出(图2), 由于良好地代表了城市下垫面的典型特征, 针对街峡模型的热环境研究受到广泛认可^[7]。由于边界条件清晰, 街峡模拟也成为中尺度研究中成果转化能力最好的模型, 其内部的风、热环境时空变化特征及污染物扩散能力等, 均可由其内部的热力环流结构变化特征来说明。在城市高强度开发过程中, 西安市城区内的多层街峡逐渐由高层街峡替代, 街峡高度和宽度的绝对值均较大^[4], 如图2所示。

* 收稿日期: 2022-04-21 修回日期: 2022-07-06

基金项目: 陕西省大气探测技术保障中心自立科研项目“城市精细化气象服务地表站网建设方法研究”(2020S-6)

第一作者简介: 赵仙荣(1969-), 女, 彝族, 云南蒙自人, 工程师, 主要从事气象监测技术研究。E-mail: 694439183@qq.com

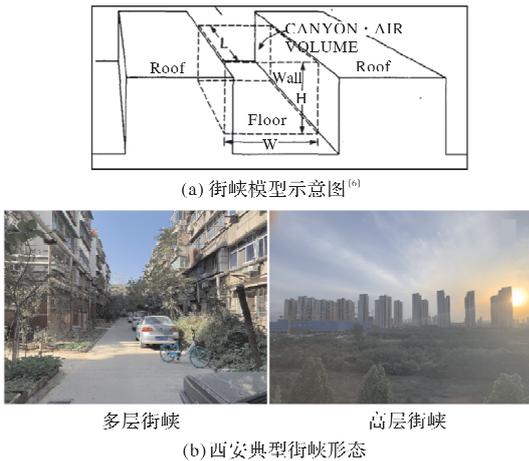


图2 大城市街峡形态的概念及其多样性

西安地处关中盆地, 属于寒冷地区城市。然而随着全球气候变暖, 西安尤其是市区范围内的气候特征在近年体现出明显的变化趋势。冬季寒冷天气的持续时间仍然较长, 11月15日至来年3月15日为集中采暖时段; 且冬季日平均温度越低的时段内风速越小, 越有利于雾霾的形成^[8]。而西安夏季高温天气也频频出现, 在2017年夏季连续出现40℃以上高温天气, 夏季平均热岛强度达0.8℃^[9]。有理由推测, 是城市高强度开发导致的区域热力环流变化引发或加剧了上述城市气象灾害的发生。

因此, 本文以西安市为例, 通过系留气球观测法获取城市和郊区不同高度的气象数据, 定量描述了城市热岛垂直结构特征, 并展开与各种气象灾害机制的关联分析。最终, 本文根据城市热岛效应的缓解提出了若干政策性的建议, 以降低西安遭受典型城市气象灾害的风险。

1 城市垂直气象观测方法

城市气候气候数据的采集方法主要包括遥感影像反演和气象观测。其中通过遥感影像反演方法难以获取气象参数在垂直方向上的变化特征; 传统的气象观测方法中则一般依赖气象塔^[10]固定观测设备, 难以满足城市环境测试中的机动性要求。针对上述既有方法的局限, 本研究提出以系留气球携带探空仪在城市范围内选点开展低空气象观测的方法获取基础数据。

具体方案为: 分别在西安市中心区域和郊区选取了具备系留气球放飞条件的典型下垫面。城市下垫面典型区域选择以西安交通大学兴庆校区为中心的城市中心区域; 同时为考虑到局部城市空间形态差异造成的观测结果偏差, 选择了西安交通大学兴庆校区(市内低强度开发区)、西安交通大学家属区二村(高层区)和西安交通大学家属区一村(中层区)三处观测地点。郊区下垫面典型区域则选择了涝渭湿地公园(郊区低强度开发区)和交大创新港校区(郊区低强度开发区)两处。理想的观测时间包含1 d中从日出前至日落后的典型时间段: 6:00—6:30(日出前), 8:00—8:30(日出时), 10:00—10:30(上午), 12:00—12:30(日中), 15:00—15:30(下午), 19:30—20:

00(日落后)。探空气球悬停高度分别距地表10 m、30 m、60 m、90 m、120 m和150 m, 测量的参数内容包括空气温度湿度、风速及风向。

测试人员于2021年的1月12—19日开展冬季观测, 于7月28日至8月5日开展夏季观测。观测设备为GTX-III型探空仪, 空气温度采集的误差<0.06℃, 空气湿度采集的相对误差<3%, 风速采集在10 m/s以下风速环境中的采集误差<0.3 m/s。同时在观测过程中, 探空仪数据经过地面的佐格HWS3000手持气象站校准以保证数据质量(图3)。

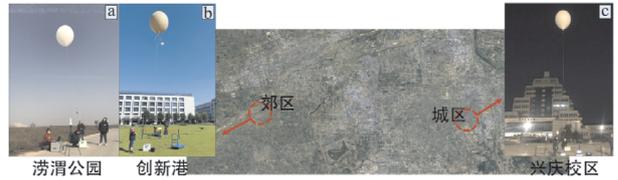


图3 典型垂直测量节点的实测照片

2 观测结果与分析

图4与图5分别展示了冬季与夏季各测试时刻温廓线的直接测试结果。总体而言无论在冬季还是夏季, 城市上空的空气温度变化梯度都要小于郊区。在10~30 m范围内, 空气温度基本保持一致; 较为明显的空气温度变化梯度经常在30~60 m范围内被观测到。

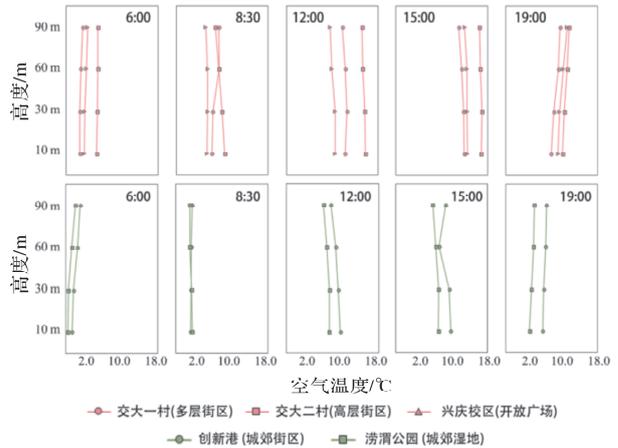


图4 冬季实测各时刻温廓线结果

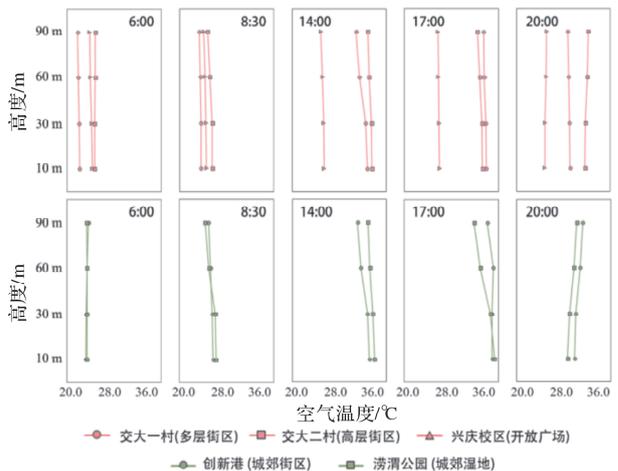


图5 夏季实测各时刻温廓线结果

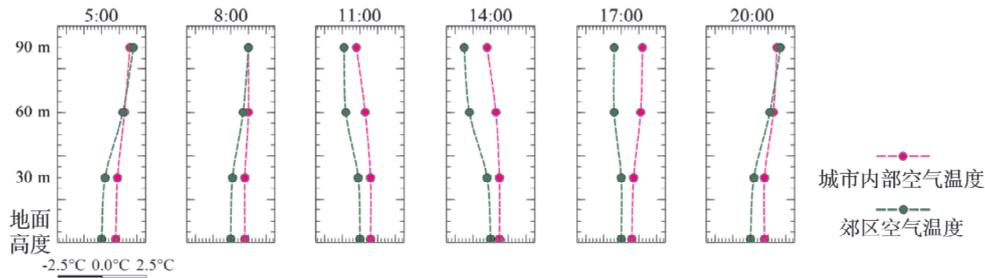


图6 冬季平滑与归一化处理后的城郊温廓线对比

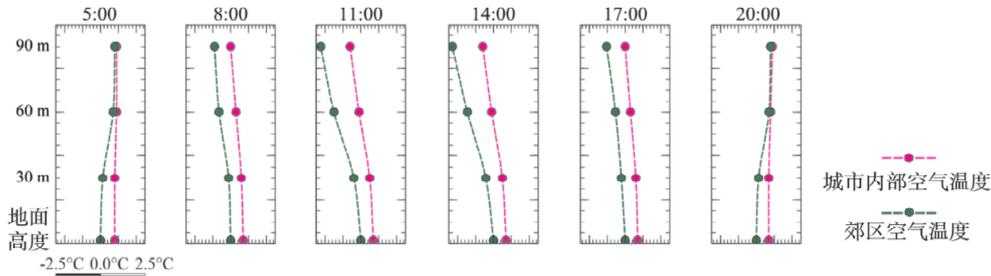


图7 夏季平滑与归一化处理后的城郊温廓线对比

由于观测结果数量有限,在实测过程中不可避免地会出现每日的背景气象条件不同,在1 d中也存在不适合放飞的天天气条件等问题。为进一步分析,本文将测试数据做了进一步资料同化与平滑处理。分别以城市观测点和郊区观测点各时刻、各高度的平均空气温度作为城市和郊区不同高度的代表温度。将不同高度温度变化按正弦函数回归的方法确定了不同高度逐时温度波动。城市逐时热岛强度则根据文献^[9]中的长时序测试结果获得。图6所示为西安冬季的温廓线变化情况。由图6可知,西安地区冬季夜间的逆温现象明显,城市与郊区上空60 m和90 m高度的空气温度基本相同;但由于夜间城市热岛的作用,城市的逆温强度为 0.8°C ,明显小于郊区的逆温强度 1.8°C 。日出后随着空气温度升高,城市和郊区的逆温现象均逐步消失,但城市上空的气温直减率小于郊区;而到了17:00,城市上空已经开始出现逆温,而郊区上空的气温直减率仍然为正。这种现象可能是冬季日落前和日出后建筑产生的阴影使这两个时段城市地表温度更低导致的。图7所示为西安夏季温廓线变化情况。夏季夜间郊区仍有逆温现象,而城市基本保持等温层结,日间城市上空的空气温度垂直递减率同样小于郊区。

此外,已有研究证实了风速与热岛强度高度相关^[2]。图8所示为根据西安冬夏两季风速测试结果所绘制的日平均风廓线图。由图可知西安夏季风速高于冬季;而城市上空的风速变化梯度在冬季和夏季都小于郊区。

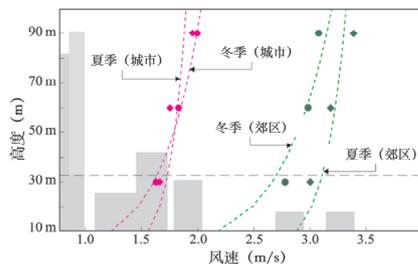


图8 冬夏两季城市内部与周边郊区风廓线实测结果

3 对策与建议

如前所述,西安典型的城市气象灾害为冬季雾霾天气和夏季热浪。由风温廓线的实测结果可推导城市热岛在西安冬季雾霾和夏季高温两种气象灾害中扮演的角色。一般认为,较大的气温直减率使空气的稳定度降低,有利于污染物扩散^[11]。在冬季,虽然城市热岛的作用使得夜间逆温程度降低,但逆温的时间更长;而在日间,城市上空的气温直减率小于郊区。这使得城市区域内的大气稳定度较高,污染物不易扩散。在夏季夜间,西安城市上空基本成等温层结;而日间城市上空的气温直减率小于郊区,使得大气湍流强度降低。根据图1所体现的原理,这会使郊区向城区输送冷风的驱动力减弱,而风速降低又进一步加剧了热岛效应。图8的风速观测结果也证明了这一趋势。

根据上述分析,本文认为以城市气象灾害风险降低为导向的城市规划应着力于满足以下两项条件:

(1) 保证冬季地表良好的日照条件。地表日出后升温过慢和日落前降温过快是造成大气稳定度较高的主要原因,而这两个时段均是居民通勤高峰期。夜间累计的污染物和交通排放污染物在早晨的累加作用会使空气质量急剧降低;

(2) 优化城市通风效果,降低夏季城市热岛效应。城市热岛强度高是引发图1所示循环的根本原因。近年来诸多研究在技术层面为城市热岛缓解提供了方法。常见的技术包括高反射材料、隔热材料和绿化屋面等,也有关于通过在混凝土中添加金属材料以减缓城市热岛效应的探讨^[12]。又比如在东京大手町和京桥地区的模拟研究显示,透水路面能有效减缓城市热岛效应,而绿化屋顶对人行高度的热舒适度影响微弱,尤其在大手町这样的高层建筑区域中;交通热排放对京桥这样的多层建筑区域负面影响更大^[13]。

4 总结与展望

本研究提出了城市冠层热岛垂直结构的观测方法, 并通过热岛垂直结构所反映出的趋势对西安典型气象灾害的形成机制做出了解释。本文的结果将为西安城市气候规划的编制提供实证依据。

采用本文所提出的观测方法可以开展更普及的城市气象观测工作, 为城市环境研究提供更丰富的数据。建议从城市下垫面结构类型出发, 根据建筑开发模式、绿地及水体规模和设计模式、交通系统规模等下垫面构成要素特征, 在西安市三环以内选取典型城市下垫面类型, 通过对不同高度的气象监测, 分析不同典型城市下垫面影响下的风温廓线特征, 并验证城市空间结构及材料特征与不同高度城市空间气象环境的相关性; 结合不同典型街区内构筑物高度特点, 研究可用于统一校对并能够支撑城市微观尺度立体气象监测的站点建设策略与方法。通过深入分析不同城市建成区的立体气候环境分布, 解析了在不同城市建设与运营背景下的热环境特征, 量化表征了城市内部与周边区域的能量交换, 为深度理解城市内部气候环境形成机理提供了具有价值的科学依据, 将为城市气象灾害的监测与预防、城市居民健康保障提供科学技术手段。

参考文献:

[1] 王勇, 俞海, 张永亮, 等. 城镇化演进对资源环境的需求和影

- 响预测分析[J]. 城市发展研究, 2017, 24(11): 1-5.
- [2] 周伟奇, 田钰钰. 城市三维空间形态的热环境效应研究进展[J]. 生态学报, 2020, 40(2): 1-12.
- [3] 城市居住区热环境设计标准: JGJ 286-2013[S]. 北京: 中国建筑工业出版社, 2013.
- [4] GE Juejun, WANG Yupeng, AKBARI Hashem, et al. The effects of sky view factor on ground surface temperature in cold regions - A case from Xi'an, China [J]. Building and Environment, 2022, 210: 108707.
- [5] LU Jie, ARYA S Pal. A Laboratory Study of the Urban Heat Island in a Calm and Stably Stratified Environment. Part I: Temperature Field [J]. Journal of applied meteorology, 1997, 10: 1377-1391.
- [6] NUNEZ M, OKE T R. The energy balance of an urban canyon [J]. Journal of Applied Meteorology, 1977, 16(1): 11-19.
- [7] OKE T R. Boundary Layer Climates[M]. University Press, Cambridge, 1987.
- [8] 王珊, 修天阳, 孙扬, 等. 1960—2012年西安地区雾霾日数与气象因素变化规律分析[J]. 环境科学学报, 2014, 34(1): 19-26.
- [9] 金丽娜, 李雄飞. 2014—2017年西安市城市热岛、冷岛精细化时空特征分析[J]. 沙漠与绿洲气象, 2021, 15(1): 97-102.
- [10] 王喜全, 王自发, 郭虎. 城市边界层温度廓线及特征的季节变化[J]. 科学通报, 2009, 54(7): 954-958.
- [11] DU Chuanli, LIU Shuyan, YU Xing, et al. Urban boundary layer height characteristics and relationship with particulate matter mass concentrations in Xi'an, Central China [J]. Aerosol and Air Quality Research, 2013, 13: 1598-1607.
- [12] CHEN Jiaqi, CHU Renxin, WANG Hao, et al. Alleviating urban heat island effect using high-conductivity permeable concrete pavement [J]. Journal of Cleaner Production, 2019, 237: 1-12.
- [13] CHEN Hong, OOKA Ryoza, HUANG Hong, et al. Study on mitigation measures for outdoor thermal environment on present urban blocks in Tokyo using coupled simulation [J]. Building and Environment, 2009, 44: 2290-2299.

Vertical Meteorological Observation Method and Analysis for Urban Heat Island Character in Xi'an

ZHAO Xianrong¹, GE Juejun², WANG Yupeng² and YU Chunliang³

(1. Atmospheric Detection Technology Support Center of Shaanxi Province, Xi'an 710014, China;

2. School of Human Settlements and Civil Engineering, Xi'an Jiaotong University, Xi'an 710049, China;

3. Dalian Branch, China Railway NO. 9 Group Co., LTD, Dalian 116011, China)

Abstract: Many studies certificated that the construction mode of cities in China, which led to a high urban heat island (UHI) intensity, has significantly increases the frequency of the urban climate disasters. Recent studies pointed that, the vertical meteorological observation data in urban areas was hard to be collected, which made the three dimensional analysis of UHI difficult. This study introduced a one-year lasted observation of the vertical pattern of the UHI in Xi'an city. The meteorological data of different heights in cities and suburbs were collected by radiosonde, which was equipped on a tethered balloons. Based on the measured data: the influence height of canopy UHI in summer is more than 30m; in winter, due to the existence of urban heat island, the inversion intensity of urban canopy at night (0.8 °C) is less than that of suburbs (1.8 °C), but the inversion duration is longer than that of suburbs. Combined with the observation results, this paper further analyzes the causes of urban meteorological disasters in Xi'an, and puts forward some policy suggestions for the urban meteorological disaster prevention and reduction.

Key words: urban heat island; vertical climate monitoring; meteorological disaster; Xi'an