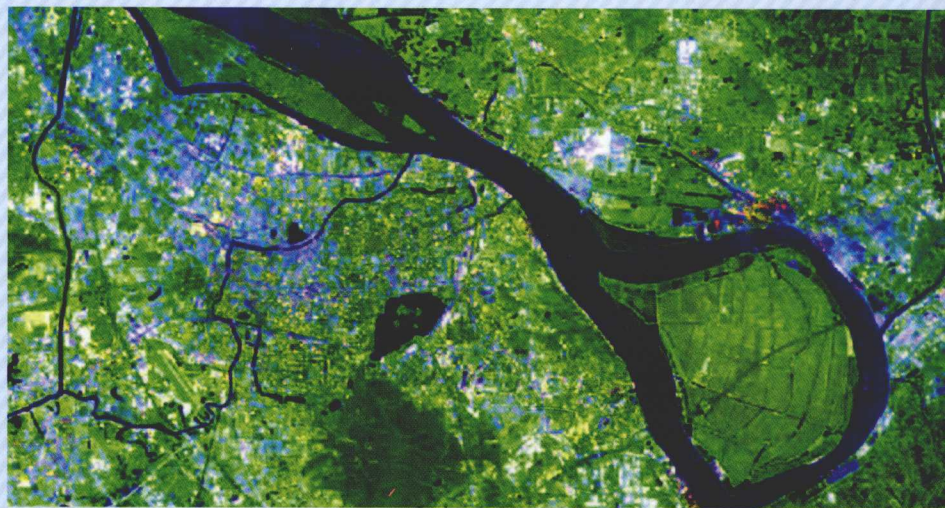




测·绘·科·学·与·技·术 著作系列

城市热环境的 遥感分析

杨英宝 著



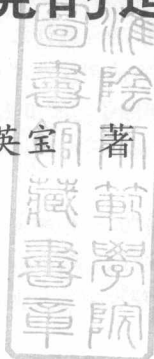
科学出版社

1507499

测绘科学与技术著作系列

城市热环境的遥感分析

杨英宝



馆藏



淮阴师范学院图书馆 1507499

科学出版社

北京

内 容 简 介

城镇化是国家现代化建设的基础与中心任务,国家中长期科技发展规划(2006~2020)把城市功能提升与空间节约利用作为重点领域与优先主题,其中要求重点研究城市热环境形成机制与人工调控技术等。本书从居住区、城市和区域三个尺度,融合统计资料、地面观测、遥感、超分辨率重建以及机载激光雷达等多种方法和技术,探讨人为热、城市不透水面、绿地、土地利用/覆被类型及变化等因子与城市热环境的关系,阐述城市热环境的时空格局、演变及机制,提出超分辨率重建和激光雷达技术在城市热环境中的应用框架。

本书立论新颖、观点鲜明、资料翔实、内容丰富,具有较高的参考价值和研究价值,可供从事全国地理学、城市科学、环境科学及城市规划、管理等领域工作的科研人员及高等院校相关专业的师生参考。

图书在版编目(CIP)数据

城市热环境的遥感分析 / 杨英宝著. —北京:科学出版社,2013

(测绘科学与技术著作系列)

ISBN 978-7-03-035951-3

I. ①城… II. ①杨… III. ①城市环境-热环境-环境遥感 IV. ①X21

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2012)第 260588 号

责任编辑:童安齐 王 钰 / 责任校对:王万红

责任印制:吕春珉 / 封面设计:耕者设计工作室

科学出版社出版

北京东黄城根北街 16 号

邮政编码:100717

<http://www.sciencep.com>

双青印刷厂印刷

科学出版社发行 各地新华书店经销

*

2012 年 12 月第 一 版 开本:B5 (720×1000)

2012 年 12 月第一次印刷 印张:9 3/4 插页:8

字数:183 000

定价:60.00 元

(如有印装质量问题,我社负责调换<双青>)

销售部电话 010-62134988 编辑部电话 010-62137026(BA08)

版权所有,侵权必究

举报电话:010-64030229; 010-64034315; 13501151303

前 言

20 世纪 70 年代以来,土地利用/覆被变化成为影响全球可持续发展的重要原因,随着城市规模的迅速扩大以及利用强度的不断增长,土地利用/覆盖组成、结构与空间格局的改变,致使城市与区域的热岛效应日趋显著,已经并在未来一段时期仍然影响着城市的可持续发展之路。在此背景下,从 2002 年我的博士论文选题开始至今,以城市化与土地利用/覆盖变化的热岛效应作为研究方向,刚好整整 10 年。本书的内容主要是对这 10 年研究与实践的梳理与总结,同时也对该领域的研究前景进行了展望。

常规的城市热环境监测采用线路观测和定点观测相结合的方法,但该方法不能详细分析城市热环境的空间结构特征,遥感以其资料的同步性、点位的密集性以及均匀性克服了常规方法的弱点,得到了广泛应用。本书利用多期 Landsat TM、MODIS 和多年气象资料,采用历史对比法、城郊对比法、城市内部不同下垫面对比法详细地分析了南京市地表热岛效应和大气热岛效应的日特征、季节特征以及自 1985 年以来的增长特征;通过 ETM+、中国资源二号卫星分析了南京市热环境的空间分布特征,从土地利用类型、下垫面介质、人口密度角度探讨了热环境空间分布的形成机制;采用 1985 年、2000 年两期 TM 图像研究了南京市热环境的空间格局演变,并从土地利用/覆被变化视角深入探讨了土地利用/覆被变化对城市热环境演变的影响机制与测度方法;以江苏省为例,分析了城市不透水面与城市热环境之间的相互关系;最后探讨了新技术在城市热环境中的应用。本书的创新之处在于:从多个尺度融合多种观测方法,深入探讨了城市热环境的形成机制;引入超分辨率重建和激光雷达(LiDAR)新技术应用于城市热环境研究,展望城市热环境的发展趋势及研究热点。

本书内容得到了国家自然科学基金(项目编号:40901286)的资助。慧永红、张晓平、潘萍、姚林参与了本书的部分研究工作,在此表示谢意。本书在撰写过程中引用了国内外一些文献和著作,在此对原作者表示衷心的感谢。

另外,限于作者的知识水平,书中不足之处在所难免,恳请广大读者批评指正。

作 者
2012 年 7 月

目 录

前言

第一章 城市热岛效应相关理论	1
1.1 城市热环境基本理论	2
1.1.1 城市热环境的定义与特征	2
1.1.2 城市热岛效应的时间特征	3
1.1.3 城市热岛的空间特征	5
1.1.4 城市热环境的形成原因	6
1.1.5 城市热岛效应的影响	9
1.2 城市热岛效应研究进展	10
1.2.1 地面观测法的研究进展	11
1.2.2 遥感监测方法研究进展	11
1.2.3 边界层数值模式模拟的研究进展	16
1.2.4 CFD 模拟的研究进展	16
1.3 城市热环境遥感研究存在问题及发展趋势	17
第二章 地表温度反演基本理论与方法	19
2.1 地表温度反演的物理基础	19
2.1.1 物体的波谱辐射能和大气窗口	19
2.1.2 热辐射传输方程	20
2.1.3 大气影响	21
2.1.4 比辐射率影响	23
2.2 地表温度反演方法	24
第三章 南京市热环境的时空特征	29
3.1 研究区概况	29
3.2 遥感数据选择	32
3.3 遥感数据预处理	33
3.3.1 Landsat TM 数据处理	33
3.3.2 MODIS 数据处理	42
3.4 南京市热环境的时间特征	45
3.4.1 南京市热环境的日变化	46
3.4.2 南京市热环境的年变化	47

3.5	南京市热环境的空间特征	50
3.5.1	南京市热环境空间分布特征	51
3.5.2	南京市热环境空间分布差异	53
3.6	城市热环境的尺度效应	58
第四章	南京市热岛效应形成机制	59
4.1	热岛分布和土地利用类型关系	59
4.2	热岛分布和不透水面、绿地的关系	62
4.2.1	不透水面提取	62
4.2.2	绿地提取和影像分类	63
4.2.3	不透水面和温度之间的关系	65
4.2.4	绿地和温度的关系	66
4.2.5	多元线性回归分析	68
4.3	热环境分布和下垫面介质结构关系	68
4.4	热环境分布和人口密度关系	71
第五章	南京市热环境时空演变及其土地利用变化的影响	73
5.1	南京市城市热环境的时空演变	73
5.1.1	南京市热环境的时间变化	73
5.1.2	南京市热环境的空间变化	79
5.1.3	南京市热环境空间分布演化	79
5.1.4	南京市热环境演化空间差异	82
5.2	南京市土地利用/覆被变化	83
5.2.1	南京市土地利用/覆被变化的时间过程分析	85
5.2.2	南京市土地利用/覆被变化的速度和幅度分析	85
5.2.3	南京市土地利用/覆被变化的变化率分析	87
5.2.4	南京市土地利用/覆被变化的转移矩阵分析	87
5.2.5	南京市土地利用变化的空间演化分析	89
5.3	土地利用/覆被变化对城市热岛效应的影响机制	91
5.3.1	土地利用/覆被变化对城市热岛效应影响的主要因子	91
5.3.2	土地利用/覆被类型的植被覆盖度和土壤含水量特征	92
5.4	土地利用/覆被变化对城市热岛效应的影响测度	97
第六章	江苏省热岛效应演变及其与不透水面的关系	99
6.1	研究区概况	99
6.2	遥感数据选择	100
6.3	线性混合光谱分解基本原理	100
6.4	影像预处理	102

6.4.1 掩膜处理	102
6.4.2 端元选择	102
6.4.3 决策树分类	104
6.5 不透水面和温度关系分析	104
6.5.1 不透水面与温度反演的结果图	104
6.5.2 结果分析	107
第七章 超分辨率及 LiDAR 新技术在城市热岛效应研究中的应用	108
7.1 超分辨率重建原理及应用	108
7.1.1 超分辨率重建原理	108
7.1.2 遥感图像超分辨率重建实验	112
7.1.3 插值算法与正则化算法比较分析	116
7.1.4 简析	119
7.2 机载 LiDAR 点云数据的建筑物提取	119
7.2.1 简况	119
7.2.2 LiDAR 点云数据特征	120
7.2.3 建筑物提取原理及方法	121
7.2.4 结论	138
参考文献	139
彩图	

第一章 城市热岛效应相关理论

城市是人口集聚中心、物资消费中心、耗能中心,也是生产中心和污染中心。大规模人口迁移与城市化过程不但有极其强大的社会影响,而且对自然界的影响也十分突出。因为每个城市都会形成一个巨大的建筑区域,区内的自然植被几乎被砍伐殆尽,城市失去植被也就失去维护环境的重要功能,气象灾害也随之增加。有人认为,全球增温现象是由于城市扩展致使气象站点周围的自然环境被破坏,以致温度记录失去代表性所造成的假象。城市热岛效应就是全球增温的基点,也是全球增温的主要起因;是夏季的酷热与对流暴雨灾害以及冬季逆温引起污染灾害的重要原因,同时也给城市生活带来相当大的经济负担。据美国能源部的报告,美国某些大城市市区的日常气温比周围郊区高 $3\sim 4.4^{\circ}\text{C}$,仅在洛杉矶市,约15%的耗电量被用于抵消热岛效应所带来的市区升温,而美国全国为抵消热岛效应而多耗费能源的成本每年竟达100亿美元之巨。

国际社会在积极研究治理和预防城市热岛效应问题的有效方法和措施,如美国自1996年以来相继开展了UHIPP(Urban Heat Island Pilot Project)计划、ATLANTA(Atlanta Land-use Analysis: Temperature and Air-quality)研究项目、UEM(Urban Environment Monitoring)计划等,分别研究了美国的洛杉矶、芝加哥、盐湖城、亚特兰大等城市的发展对城市环境的影响,分析了城市扩展、城市土地利用变化和城市热岛效应三者之间的关系,提出了减轻城市热岛效应负效应的措施,并将结果推广应用到美国其他城市。加拿大也启动了旨在缓解多伦多城市热岛效应的“Cool Toronto Project”计划,日本、西欧也在积极开展类似的研究(陈云浩等,2004)。未来20年,我国城市化将进入加速发展时期。据统计,2010年我国全国城镇人口已达到6.3亿左右,城市化水平达到45%,到2020年,城市化水平将达到58%左右(刘海滨,2002)。随着我国城市化进程的加快,城市热环境问题将日益加剧。

20世纪70年代以来,全球气候变暖、海面上升、云量分布变化和土地利用及覆盖变化等全球变化(global change)事件已经引起科技界和各国政府部门的一致重视,其中土地利用/覆被变化是影响全球变化的重要原因,这种影响已经有了相对肯定的结论。美国著名学者Vitousek甚至认为“这种影响几乎涉及所有的组织水平——从基因到全球”。在很多地方,人类已把天然的土地覆盖格局改变为受人类支配的土地利用镶嵌体。自然土地覆盖格局的改变影响了陆地生态系统的生物多样性、植物和动物的种群动态、初级生产力等;影响了全球生物化学循环和大气

中温室气体的含量;改变了区域大气化学性质及过程,对局地、区域及全球气候都产生了广泛而深刻的影响,其中,土地利用/覆被变化对气候影响的表现:一方面在于其是地球表面温室气体和痕量气体如 CO_2 、 CH_4 、 N_2O 等的重要来源;另一方面,土地利用/覆被变化(LUCC)通过改变下垫面^①的物理属性、地表特征(如粗糙度、反射率和影响水热通量的其他性质)来影响局地气候,改变海洋驱动的大气环流的基本格局,并使区域和局地的气候和天气复杂化。Changnon 和 Semonin 总结了大城市气象试验(METROMEX)、区域大气污染研究(RAPS)和其他有关城市气象研究的成果,发现土地利用/覆被变化极大地影响了城市气候和城市水资源的供给,在城市化的过程中,几乎所有地表天气环境都发生了变化,如地表的反照率、粗糙度、热容量、透水性、风速、风向、降雨等。

1.1 城市热环境基本理论

1.1.1 城市热环境的定义与特征

城市热环境,是指与热有关的、影响人类生存和发展的各种外部因素组成的一个物理条件的总体。借鉴气候系统的概念,城市热环境应该是以空气温度和下垫面表面温度为核心,即包括太阳辐射、人为热,及影响热量传输和大气状况的各种因素,如风速、大气浑浊度、空气湿度等,以及下垫面状况,如下垫面类型、反照率、发射率、热导率、热容等共同组成的一个影响人及人类活动的物理系统。

城市热环境中的一个重要问题就是城市热岛效应。城市热岛效应(urban heat island)是指城市中的气温明显高于外围郊区的现象。在近地面大气等温线图上,郊区气温变化很小,如同一个平静的海面,而城区则是一个明显的高温区,如同突出海面的岛屿。这种岛屿代表着高温的城市区域,所以被形象地称为“城市热岛”。

城市热岛效应根据其发生的高度差异,可以分为城市边界层(urban boundary layer, UBL)热岛效应和城市覆盖层(urban canopy layer, UCL)热岛效应,前者也可称为大气热岛效应,后者可称为地表热岛效应。UCL 是城市大气从地表向上延伸至大约建筑物的平均高度处,而 UBL 则是位于 UCL 之上,并始终受城市地表影响的部分(Voogt, et al., 1997)。UCL 热岛效应主要由在标准气象高度上或绑定在交通工具上的传感器测量得到,UBL 热岛效应则是由更专业的传感器平台,例如高塔、声纳、探空气球或者空中设备测量得到。这些测量都要求有代表性,因

① 指与大气下层直接接触的地球表面。大气圈以地球的水陆表面为其下界,称为大气层的下垫面,其包括地形、地质、土壤和植被等,是影响气候的重要因素之一。

此测量仪器相对于周围环境的位置非常重要。同时,大气通量以及诸如空气温度等要素的测量都受到湍流或源区的影响,而源区的形状是由传感器高度和大气湍流及其稳定性特征所决定的,因此可由源区模型来估计测量的准确性。在晴天无云、无风的晚上,城市和周围郊区的辐射降温差异最大时,大气热岛效应的表现最明显(Voogt, et al., 2003)。

1.1.2 城市热岛效应的时间特征

城市热岛效应时间特征具有明显的周期性和非周期性变化。非周期性变化和当时的天气状况,如风速、云量、低空气温直减率等有密切的关系,其中城市热岛效应强度和风速的关系最大。当风速增加到一定数值时,城市热岛效应就不会形成,风速的大小不仅影响热岛效应强度的大小,热岛效应中心位置还会随风向向下风方向移动。周期性变化包括日变化、周变化、季节变化(周淑贞等,1985)。

1. 日特征

形成城市热岛效应日变化的因素主要有三个:一是太阳辐射变化导致的气温本身的日夜差距;二是城市下垫面介质和郊区下垫面介质热特征和生物特征的差异;三是大气质量的影响。

大气边界层的温度主要受增热与冷却作用的影响而发生变化,例如白天地表吸收了太阳辐射而逐渐增热,通过辐射、分子运动、湍流及对流运动和潜热输送等方式将热量传递给边界层大气,使之温度升高;夜间地表因放射长波辐射而冷却,使边界层大气温度也随之降低,从而引起边界层气温度的日变化。

早晨,郊区因太阳高度角小,反射率大,地面吸收的太阳辐射少,加上郊区地面的露水较多,一部分热量还要消耗在露水的蒸发上。但在城市,即使是太阳刚刚升起的时候,在太阳光照射下许多直立的墙壁几乎和太阳光线垂直,墙壁反射率小,吸收很多的太阳辐射,且导热率大,把大部分热量存在墙壁内部。另外,城市地表植被覆盖少、土壤较干燥,消耗于蒸发与蒸腾作用的热量少,通过湍流交换提供给周围空气的显热多,从而气温比郊区高。随着太阳高度角逐渐增大,郊区得到的太阳光热逐步增多,城市与郊区的温差逐渐缩小。中午,太阳高度角更大,郊区因土壤热容量小增温更快,城郊温差不大,热岛效应不明显。中午以后,太阳高度角又逐渐减小。黄昏,太阳高度角很小,郊区这时得到的光热少,但此时城市中建筑物的墙壁和阳光又近于垂直,能吸收很多太阳辐射能,城市下垫面向大气长波辐射量比郊区大,城郊温差又开始增大。日落后不久,郊区地面辐射冷却很快,降温迅速,形成近地逆温层,城市因白天积蓄的热量多,墙壁内部和马路下层的热量向大气传递,因此城市下垫面能给大气提供更多的热量,城市降温比郊区慢,所以黄昏后城市的下垫面温度和气温比郊区高(周淑贞等,1985)。大气污染在城市热岛效应中

起着相当复杂的作用。来自工业生产、交通运输以及日常生活中的大气污染物在城区浓度特别大,像一张厚厚的毯子覆盖在城市上空。白天它大大地削弱了太阳直接辐射,城区升温减缓,有时可在城市产生“冷岛效应”。夜间它将大大减少城区地表有效长波辐射所造成的热量损耗,起到保温作用,使城市比郊区冷却得慢一些,形成夜间热岛效应现象。

对于日特征,从国内外有关城市热岛效应的研究看,在天气晴朗的状况下,热岛效应夜晚强,白昼午间弱。Oke对加拿大的蒙特利尔和温哥华两城市的热岛效应日变化进行了较深入地分析,发现以上两个城市冬季的热岛效应在夜晚10点左右最强,夏季热岛效应强度最大值出现的时间比冬季早(Oke, et al., 1968)。Peterson(1973)认为夜晚热岛效应强度大,有的可以达到 11°C ,但白昼热岛效应在很多地区都很弱,有的地方还会出现郊区温度比城市高的现象。我国的周淑贞等(1982)分析了上海热岛效应强度的日变化;周明煜等(1980)对北京的热岛效应强度日变化也进行了分析,都发现夜晚比白天强。严平等于2000年发现合肥热岛效应日变化出现两个峰值,分别为上午8点和下午4点,与市中心人流、车流高峰一致。

2. 周特征

城市热岛周特征,主要是由于人为热的影响。一般在周末,许多工厂都停止开工,烟囱不冒烟,大气污染少,另外,人为热源也少,因此热岛效应强度小,非周末热岛效应强度大。例如,美国康涅狄格州纽黑文市1939~1943年5年间,星期一至星期六城乡平均温差高达 1.2°C ,而星期日只有 0.6°C 。美国把星期六也定为休息日后,马里兰州巴尔的摩市观测到冬季中星期一至星期五城乡温差平均 0.82°C ,而星期六、星期日两天平均温差仅为 0.30°C 。这种现象主要发生在欧美国家,我国各大城市工厂休息日并不都固定在星期日,因此周特征不明显。Lawerence研究了1949~1969年伦敦市每日最高和最低气温,结果表明伦敦和其郊区的最高气温差存在明显的周特征,每周平均日最高气温差大约是 0.5°C (周淑贞等,1985)。Mitchell(1953)曾对美国康涅狄格州的纽黑文(Nem Haven)市热岛效应的周特征进行分析,发现周末的热岛效应强度只是非周末的一半。Landsberg等(1981)分析了美国马里兰州巴尔的摩市(Baltimore)热岛效应周特征的季节变化,冬季周特征比夏季表现明显。我国还没有关于热岛效应周特征的研究,这主要是由于我国热岛效应的周特征不明显(周淑贞,1985)。

3. 季节特征

城市热岛效应首先受制于大尺度气候的影响,不同季节热环境的特征不同。城市热岛效应季节变化比较复杂,它因城市所在地区的气候条件(例如全年风速、

云量和天气的季节变化等)以及人为热释放情况等而不同(周淑贞,1985)。

一般来说,云量少、风速小、雨量少的季节热岛效应容易产生,热岛效应的强度和范围以及出现的频率大,相反,则热岛出现的强度、范围和频率小。例如,上海1984年进行过4次对比观测,在风速大体相同的情况下,两次晴天(5月8日和10月20日)城乡温差分别为2.5℃和2.2℃,而多云和阴天(5月28日和11月28日)城乡温差分别只有0.4℃和0.7℃。上海以10~11月为全年中城乡温差最大月份,正因为它们是上海全年云量最少的季节。休斯敦市最大的热岛效应发生在10月到来年的2月,该时期夜晚的热岛效应强度大于3°F^①,最小的是5~6月,热岛效应强度2°F。Nkedirim等(1981)分析了加拿大卡尔加里1974~1975年城市热岛效应强度的年变化:冬季强度最大,晚夏和初秋最小。Parry(1966)研究了英格兰的雷丁市最低气温热岛效应强度的季节变化表明,夏季和秋季最强。Landsberg等(1981)也得出类似的结论。我国研究者对上海、北京、天津、洛阳、焦作等城市热岛效应强度年变化的研究结论大多是秋冬季节强,夏季小(周淑贞等,1982;周明煜等,1980)。北京多发生在冬季,为7℃;天津多在秋季,为3.2℃;武汉在秋季,为5℃;沈阳在夏季,为7.92℃;昆明在秋季,为7.55℃;合肥6月和7月份最强,12月和1月最弱(严平等,2000);成都春季最强,秋季最弱,出现的频率以春季为大。

人为热不同季节也有差异。冬季取暖和夏季降温造成的人为热大于春秋两个季节,对于高纬度的城市,冬季取暖造成的人为热大于低纬度城市,而夏季用于降温的人为热则低于低纬度城市。

1.1.3 城市热岛的空间特征

城市热岛效应强度不仅在时间上存在差异,在空间分布上也存在差异。空间分布的差异主要表现为同一城市内部分布的不均匀和不同城市热岛效应分布的差异。对于某一城市而言,城市热岛效应分布的空间格局主要和下垫面特征及人为热有关,高温区常出现在人口密度和建筑物密度大、绿地分布较少的商业区或人为热释放量很大的工业区,其空间分布特征可用剖面图进行描述(图1.1)。从图中能清楚看出,由农村至城市边缘的近郊时,气温陡然升高,Oke称之为“陡崖”,到了市区气温梯度较小,但因城市内部下垫面性质差异和建筑物密度、高度的不同而稍有起伏,Oke称之为“高原”,到了市中心商业区或工业区因人口密度和建筑密度或大量人为热的释放,气温更高,Oke称之为“山峰”。此山峰与郊区农村的温差称为“热岛效应强度”。在同一时间,同样的天气条件下,城市热岛效应强度还因地区而异。据诸多学者的研究,它与所处的地理位置、气候背景、地形条件、城市规模、城

^① $K = \frac{5}{9} (^{\circ}\text{F} + 459.67)$,下同。

市性质、城市布局等条件有关。

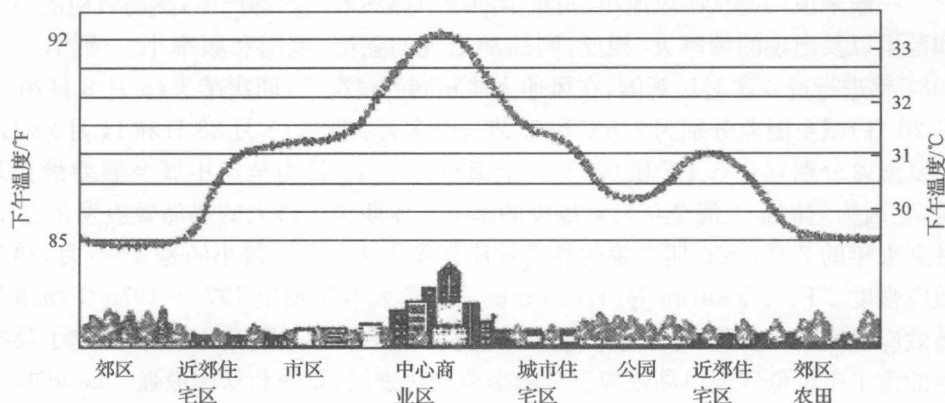


图 1.1 城市温度分布剖面图

1.1.4 城市热环境的形成原因

世界上大大小小的城市,无论其地理位置、地形状况、城市规模等有何差异,都能观测到城市热岛效应的存在,说明热岛效应是由城市本身造成的,其根本原因是人类活动导致的城市与郊区热量平衡存在的差异。

城市化后的地面,人为热 Q_F 、地-气显热交换 Q_H 、地-气潜热交换 Q_E 、下垫面储热量 Q_S 等项在城市与郊区间存在明显的差异。城市下垫面吸收了太阳的净辐射和人为热后,一部分储存在下垫面内部,其余的部分则通过湍流交换方式将显热输送给空气,另一部分则通过蒸发地面的水分将潜热输送给空气。白天城市下垫面吸收的太阳辐射能,储存在下垫面的 Q_S 比郊区多。据 Oke 等的估算,城市中 Q_S 约占净辐射 Q_n 的 27%,近郊 Q_S/Q_n 为 22%,而远郊该比值只有 15%。城市中因不透水面积大,降水之后雨水很快从人工排水管道流失,地面湿度小,蒸发量小,植被覆盖比郊区少,植物蒸腾消耗的热量也少,因此城市下垫面消耗于蒸散的潜热通量 Q_E 远较郊区为小,而通过湍流输送给空气的显热 Q_H 却比郊区大。据 Oke 等的研究,在波文比 Q_H/Q_E 、 Q_H/Q_n 等方面,城市和郊区的差别很显著,导致城市与郊区地-气显热交换 Q_H 、地-气潜热交换 Q_E 、下垫面储热量 Q_S 不同,其原因可以从以下几个方面来说明。

1. 气候因素

气候是大气及其要素在时空上的分布与变化,与热环境有关的要素是太阳辐射、温度、湿度和风。气候特别是全球性、地区性气候,甚至局地气候主要决定于自然气候,即使是对人的活动影响最大的微气候;春、夏、秋、冬的气候变化的大趋势

也决定于自然气候。但人们通过各种途径,在自然气候的大趋势下,对微气候范围内的空气温度进行调节,可使空气在几度($6\sim 8^{\circ}\text{C}$)范围内变化,这对人的生存,健康、学习和工作都有重要的作用。

2. 太阳辐射

太阳辐射是影响空气温度的主要因素。影响太阳辐射的因素,除地理位置、地形外,还有城市街道走向、宽度,地面材料,建筑物高低,绿地和水体等。同时太阳辐射还因大气中空气,水气、污染物和臭氧等的散射和吸收而减弱。上述因素都可以经过人为调整而影响热环境。

3. 下垫面的改变

下垫面物质的热特征可以用导热率、热容量等指标反映。城市下垫面对阳光的反射率比乡村小(一般小 $10\%\sim 30\%$),而且城市下垫面的混凝土、砖瓦、石料及钢材的热容量小,热导率也高(表 1.1 和表 1.2),白天储存了大量的太阳热量。另外,城市下垫面建筑密集,街道和庭院中的“天穹可见度”比开旷郊外小,地面长波辐射热量在墙壁地面间多次反射,从而使得地面向宇宙空间散失的热量大大减少。这两种原因都造成日落后降温缓慢,使城区夏季傍晚和上半夜显得特别炎热,如夏天,草坪温度 32°C 、树冠温度 30°C 的时候,水泥地面的温度可以达到 57°C ,柏油马路的温度更高达 63°C ,这些高温物体形成巨大的热源,烘烤着周围的大气和我们的生活环境。

表 1.1 用于建筑物和城市下垫面的物质热特征(周淑贞,1985)

物质 (干状态)	特征	比热 $/(\times 10^3 \text{J} \cdot \text{kg}^{-1})$	热容量 $/(\times 10^3 \text{J} \cdot \text{m}^3 \cdot \text{K}^{-1})$	热导率 $/(\text{W} \cdot \text{m}^{-1} \cdot \text{K}^{-1})$
混凝土	暴露于空气中	0.88	0.28	0.08
	致密的	0.88	2.11	1.51
石料	平均	0.84	2.25	2.19
砖瓦	平均	0.75	1.373	0.83
木材	轻质的	1.42	0.45	0.09
	致密的	1.88	1.52	0.19
钢材	—	0.50	3.93	53.3
玻璃	—	0.67	1.66	0.74
灰泥板(宽的)	平均	1.05	1.49	0.27
绝热物质	聚苯乙烯	0.88	0.02	0.03

表 1.2 自然物质的热特征(周淑贞等,1985)

物质	特征	比热	热容量	热导率
		$/(\times 10^3 \text{J} \cdot \text{kg}^{-1})$	$/(\times 10^3 \text{J} \cdot \text{m}^3 \cdot \text{K}^{-1})$	$/(\text{W} \cdot \text{m}^{-1} \cdot \text{K}^{-1})$
沙土(40%孔隙)	干	0.80	1.28	0.30
	饱和湿度	1.48	2.96	2.20
黏土(40%孔隙)	干	0.89	1.42	0.25
	饱和湿度	1.55	3.16	1.58
泥炭土(80%孔隙)	干	1.92	0.58	0.06
	饱和湿度	3.65	4.02	0.50
雪	新雪	2.09	0.21	0.08
	陈雪	2.09	0.84	0.42
冰	0℃纯冰	2.10	1.93	2.24
水	4℃平静	4.18	4.18	0.57
空气	10℃平静	1.01	0.0012	0.025
	扰动的	1.01	0.0012	~125

4. 人为热

城市中由于人口密度大,工业生产、家庭炉灶和内燃机等燃烧化石燃料时所释放的人为热,以及空调及汽车、摩托车等所排放的热量,远比郊区大,这是城市地表中特有的一项热量来源。城市中人为热源的比例,据对美国一些大城市的调查估计,来自工厂、家庭炉灶、冷气、采暖等的固定热源约占 3/4,而汽车、摩托、电车等移动热源约占 1/4,人体和家畜等新陈代谢热量一般还不到 1%。有关研究发现,一个人就像一个小发电厂,散发出相当于一个 100W 灯泡的热量。美国的一项研究表明,城市人口增加 9 倍,可使城市中心平均气温增加 1℃。据杨士弘等(1996)的估算,由于能源消耗和人体新陈代谢作用,广州市城区每天每平方米面积的人为排放热量相当于太阳辐射能量的 60%以上。人为热排放的能量在热岛效应形成过程中起了很重要的作用。人为热在城市热量平衡中占有的比例,因城市所在的纬度、城市的规模、人口密度、人均能耗、城市性质等而异。

5. 大气污染

随着城市发展,机动车辆、工业生产及人为活动等产生了大量的氮氧化物、二氧化碳、煤灰和粉尘等,其中对城市热环境影响最显著的是大气中悬浮颗粒和温室气体,这些污染物吸收大气长波辐射,尤以二氧化碳吸收大气长波辐射的能力最强,如同保温层一样包围在城市上空,阻止城市上空长波辐射的逸出,增加了大气

的逆辐射,使城市温度增加,夜间尤为突出。

1.1.5 城市热岛效应的影响

在天气条件适宜时,经常会出现城市热岛效应现象,直接或间接对城市气候、城市居民生活和健康、经济发展、大气污染等带来不利影响。

1. 对人居环境的影响

热岛效应导致城市温度升高,降低了城市人居环境的舒适度,影响市民的身心健康。酷热的天气给人们的生活和工作带来严重影响,甚至造成一些人因中暑而死亡。在美国,每年由于高温导致的死亡人数有 1000 多人,远远高于其他天气灾害(Changnon, et al., 1996)。美国圣路易斯市 1966 年 7 月 9~14 日,最高气温 38.1~41.1℃,比热浪前后高出 5.0~7.5℃。此时,城区死亡人数由原来正常情况的 35 人/日陡增到 152 人/日。1980 年 7 月,热浪再袭圣路易斯市和堪萨斯市,两市商业区死亡率分别增加 57% 和 64%,而附近郊区只增加约 10%。

2. 对城市区域的降水量和空气湿度的影响

热岛效应的出现,加强了城市区域大气的热力对流,再加上城市大气中的许多污染物本身就是凝结核,使得城市区域的云量和降水量比郊区明显增多。1973 年 Fitzgerald 等在做低空飞行并对云进行观测时发现,从美国圣路易斯城区的上风向到下风向云的凝结核数目增加 54%,空气的过饱和程度亦有所增加,出现相对湿度 101% 的区域,且下风方向是上风方向的两倍。由于下风向云的凝结核数目较多,它们吸水性能强,更容易成云。城市区域的降水量虽比郊区多,但市区空气的相对湿度却比郊区低,其原因除了市区大部分降水被排走、市区蒸发到空气中的水分少外,城市热岛效应(气温高于郊区)也是主要原因之一。

3. 酷热天气日数增多,寒冷天气日数减少

城市气温高于郊区引起市区一系列气候反常现象。一是夏季城市区域酷热天气日(35.1~40.0℃)数量多于郊区;二是使得城市中的无霜期比郊区长;三是降低了城市的降雪频率和积雪时间;四是冬季寒冷天气日(小于-5.0℃)数量城市少于郊区,使得市区春来早,秋去晚。这种气候变化的结果使得冬季城市区域采暖热负荷减少,从某种意义上说节约了能量,但同时又使得夏季空调冷负荷增加,又多消耗了能量。

4. 对经济发展的影响

由于城市温度升高,在人民生活水平不断提高的条件下,建筑空调制冷不断扩

展。高温期间,建筑空调制冷负荷一般占到该地区全部电力负荷的 30%~40%。在空调规模急剧扩展的情况下,多年来,我国华北、华东、华中、川渝、广东、福建等电网谷峰差持续快速增大。2002 年夏季降温最大负荷,京津唐电网为近 530 万 kW,河北电网 230 万 kW,华东电网 1430 万 kW,华中电网 600 万~700 万 kW,其他电网共约 1650 万 kW。也就是说,2002 年全国电网空调制冷负荷共达 4500kW,相当于 2.5 个三峡电站的满负荷出力。在高温天气情况下,成千上万幢建筑的空调同时使用,室外气温越高,空调能耗越大,这就是夏季空调用电高峰的根源。实际上,建筑空调制冷,是使室内降温,也就是把从室外进入室内的热量再排出室外,再加上空调运行时的电耗转化为热能,就更加剧了城市的热岛效应,使城市热环境加重,而炎热的城市环境又增加了建筑空调能耗,造成恶性循环。

5. 对大气环境的影响

城市热岛效应加剧了大气污染。城市地面散发的热气形成近地面暖气团,将城市烟尘罩在下面流通不得,形成对人体有害的“烟尘穹隆”。同时,热岛效应造成局部地区水灾。城市产生的上升热气流与潮湿的海陆气流相遇,会在局部地区上空形成乱积云,而后降下暴雨,每小时降水量可达 100mm 以上,从而在某些地区引发洪水,造成山体滑坡和道路塌陷等。此外,热岛效应还会导致气候、物候失常。日本大城市近年出现樱花早开、红叶迟红、气候亚热带化等现象就是热岛效应所致(周淑贞等,1985)。

城市热岛产生的热岛环流是由于市区与郊区气温形成热压差而产生的局地风,故其风速一般都比较小,如上海为 1~3m/s,北京为 1~2m/s。热岛环流的出现,影响了整个正式风场的分布。在背景风速很弱的条件下,会将城市边缘地区工厂排放的污染物带进市区,使得愈靠近市中心区,污染浓度越高,加大了城市区域的大气污染。

1.2 城市热岛效应研究进展

城市热岛效应主要研究内容可总结为三个方面,即城市热环境的形态与结构、过程与变化、机制与模拟(田国良,2006)。从监测方法看,城市热岛效应的研究方法主要有四种,即地面气象资料观测法、遥感观测法、边界层数值模式模拟法(白杨等,2011)及新出现的集成遥感和气象数据的计算机流体力学(computational fluid dynamics,CFD)技术模拟方法。地面观测方法主要以固定气象台站为基础,配合流动观测资料进行气温及地表温度对比研究。遥感监测是利用航空航天传感器,反演地表温度,分析热环境的时空分布。边界层模式模拟是利用从一维到三维模式对特定高度下区域的温度、湿度和风场进行空间数值模拟。基于遥感和