

文章编号: 1000-0534(2002) 06-0604-06

昆明城市热岛效应立体分布特征

张一平, 何云玲, 马友鑫, 刘玉洪,
李佑荣, 窦军霞, 郭萍

(中国科学院 西双版纳热带植物园, 云南 昆明 650223)

摘要: 利用低纬高原城市昆明城内外垂直观测资料, 探讨了低纬高原城市的城市气候立体分布特征, 通过比较分析, 得出如下初步结果: 昆明城市热岛效应不仅在地面附近存在, 而且在城市上空也存在; 其城市热岛效应为夜间强, 影响高度高(> 50 m); 昼间弱, 影响高度低(< 50 m); 近地面强, 上空弱; 昆明城市区域的气温垂直分布昼间为随高度增高温度递减, 而夜间为逆温分布; 受昆明城市周边环境影响, 昆明城市热岛效应最大值中心呈现随高度增高而偏移现象。如此的气温立体空间分布, 将对城市污染扩散、建筑物的设计、城市节能等产生影响。

关键词: 热岛效应; 立体分布; 昆明

中图分类号: P463.3 **文献标识码:** A

1 引言

伴随城市化进程的加快及城市化后人口高度密集, 城市面积越来越大, 导致了下垫面性质的改变; 高强度的经济活动中消耗大量燃料, 释放出的有害气体和粉尘对人类生产和生活产生了影响。如此种种变化改变了原有的区域气候状况, 在城市区域形成了特有的小气候特征——城市热岛效应。而建筑物高度越来越高, 势必导致在城市立体空间上呈现城市热岛效应。对于热岛效应在城市地面附近的特征已有大量研究^[1], 而城市气候立体特征研究多是使用探空气球、飞机等进行观测, 观测高度在 100~ 7000 m 范围, 以 Duckworth 等^[2]的城市上空出现郊外气温高于城区的“交叉效应”(Cross-over effect) 为代表, 开展了大量研究。在 1976 年著名科学家 Oke 定义了从地表面到建筑物屋顶面附近为城市覆盖层(Urban canopy layer), 屋顶面附近到上空自由层为城市边界层(Urban boundary layer) 之后^[3], 屋顶面附近高度对城市边界层和城市覆盖层影响的研究及其相互能量交换研究, 以及城市气温、风速的立体分布等城市气候的立体构造等研究成为城市气候领域研究的重点。但是对于城市近地

层(100 m 以下) 立体空间的热岛效应研究尚为数不多。张一平等^[4]探讨了海陆风时城市内外气温、风速、湿度的垂直分布。高桥等^[5]利用平均风速的垂直分布曲线, 划分了广岛城市的边界层和覆盖层, 并指出两层的分界面在市街地中心最高, 约为建筑物高度的 70%~ 80%, 并探讨了城市热岛形成的热源。对日本广岛市城内外气温垂直分布的研究也表明, 昼间海风时城内外的气温差在平均建筑物高度附近最大^[6]。

我国的城市气候研究起步于 80 年代初, 在上海、北京等大中城市已开展研究, 并取得了不少研究成果^[7~ 11]。特别是以周淑贞教授为代表, 对上海的城市气候进行了较深入细致的研究^[12], 具有较大影响。但是研究内容多限于城市内外地面附近气象要素的比较。进入 80 年代后国内城市气候立体构造和数值模式的研究也逐步开展, 文献^[13~ 20] 分别对城市热岛环流进行了数值研究, 但模拟的垂直高度都在数百米乃至数千米, 而对城市气候环境影响程度最大的, 高度在 100 m 以下的城市覆盖层和城市边界层下部的分析研究较少。另外, 由于提供模拟起始边界条件和模拟验证的实际观测资料较少, 给数值模拟研究带来了一定的局限性。另

收稿日期: 2001-07-16; 改回日期: 2001-09-13

基金项目: 国家自然科学基金重点项目(59836250) 资助

作者简介: 张一平(1957-), 男, 云南昆明人, 博士, 研究员, 主要从事生态气候(城市气候、森林气象、农业气象) 等方面的研究。

E-mail: yipingzh@xtbg.ac.cn

一方面,许多作者^[21~25]对城市大气立体分布进行了实际观测,但在观测方法上都存在一些不足。如观测大多采用温度低空探空,小球测风,且测点较少。由于探空仪在近地层(高度 100 m)以下观测精度较差,测点较少(如 1~2 个测点),使数据的代表性减弱,给正确分析城市近地层气候的立体特征带来影响。

本研究通过在昆明城市区域的城市近郊—城郊结合部—城市中心—城郊结合部—城市近郊设置观测点,利用气球悬挂温度传感器,对城市环境影响最大的城市近地层(100 m 以下)温湿度垂直梯度进行多点观测,利用观测所得资料,对城市热岛效应的立体分布特征进行分析。

2 研究概况

昆明地处低纬(25°N, 103°E),高海拔(1892 m)地区,受大气环流、地理位置和海拔高度的共同影响,形成“四季如春”的气候环境。近年来城市发展较快,昆明城建区面积由 1950 年的 7.8 km²^[26]发展到 1994 年的 116.0 km²^[27],44 年来城区面积扩大了近 15 倍,平均每年增加 2.5 km²;1999 年城建区面积扩大到 141.0 km²^[28],5 年间扩大了 25.0 km²,平均每年净增 5 km²。

根据昆明气象站多年的探空和地面观测资料可知,昆明地区盛行风向为西南风。所以观测地点从西南城市近郊到东北城市近郊,设置 5 个观测点(图 1),分别为西南城市近郊的云南民族村公园(SW2)、西南城郊结合部的昆明气象台(SW1)、城中心的金碧广场(C)、东北城郊结合部的昆明市城乡建筑学校(NE1)和东北城市近郊的西南林学院



图 1 观测分布

Fig. 1 The distribution of observation station

表 1 观测站

Table 1 The observation station

观测地点	云南民族村	昆明气象台	金碧广场	昆明市城建学校	西南林学院
下垫面	草地	草地	混凝土	混凝土	草地
中心距离 / km	- 8.8	- 2.9	0	3.5	5.6
标识	SW2	SW1	C	NE1	NE2

(NE2)。其中,云南民族村公园处于滇池湖畔(距湖边约 500 m)。各观测点情况如表 1 所示。

将 2 通道自记温度计(TR-71 型,精度 ±0.3 °C,空气中灵敏度 75s,日本 T & D 株式会社)置于小型百叶箱内,悬挂在气球下方,通过拉动气球,观测 50、30、20、15、10 和 5 m 高度的干、湿球温度。观测时各测点按照事前约定,在同一时间将气球拉到相同高度,确保观测的一致性,在同一高度可有 4 min 左右的稳定时间,以确保自记温度计记录准确。另外,在地上 1.5 m 高度,设置了小百叶箱(内放置 TR-71 型 2 通道自记温度计,日本 T & D 株式会社)和风速仪(VF-1,启动风速 0.3 m·s⁻¹,长春气象仪器研究所)、风向仪,观测干、湿球温度,以及风速和风向,同时目测总云量和低云量;另外,在 SW2、SW1、C 和 NE1 处进行了太阳辐射观测。由于观测场地单位的要求以及其他各种条件限制,观测仅能在周六和周日(2000 年 11 月 4 日 09:00 至 5 日 18:00)进行,每小时观测 1 次,共观测 34 次。

观测期间天气状况为 11 月 4 日午后 13:00~17:00 为多云天(总云量 4~8 成),其余时间天气晴好(总云量 < 3 成),11 月 5 日为晴好天气。

本文为对不同高度气温观测资料的分析得出城市气候效应立体特征的初步结果。

3 结果分析

3.1 气温时空分布特征

图 2 给出城中心测点(C)和东北城郊测点(NE2)的气温时间分布。由图可见,在下午,城市中心和城郊均出现气温高值区,而夜间,呈现出气温低值区;城内和城市近郊的气温(特别是夜间)存在明显差异,城市中心气温高于 10 °C 的时间和区域均大于城市近郊。

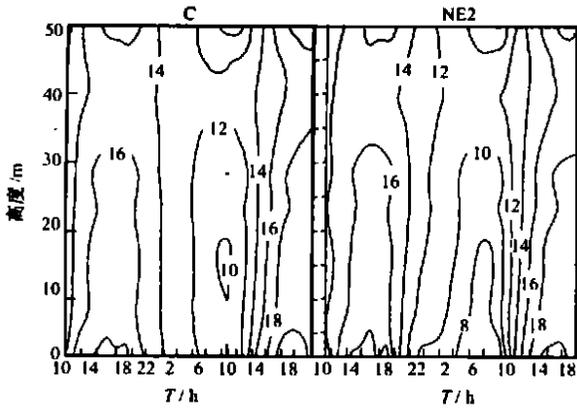


图2 城市内外气温时空分布
Fig. 2 Spatio-temporal distribution of urban and rural air temperature

3.2 城市气温垂直时空分布

由城市气温的垂直空间分布可见(图3),从垂直空间看,与Oke^[3]、张一平^[4,6]、高桥等^[5]的研究相同,在城市区域形成了明显的高温弯弯,近地层的最高气温(图3a)出现在城市中心至西南城郊结合部的昆明气象站之间,随高度增加最高值出现点向西南倾斜;另外,最高气温垂直分层较明显,约在7 m以下存在高温区域($T_{max} > 19.8^{\circ}\text{C}$),在高度30 m以上大部分站点间差异减小,因此可以初步认为昆明城市对最高气温的影响高度约在30 m以下。

最低气温(图3b)同样在城市区域呈现高值区,但是城市中心附近气温水平梯度较小(等温线较稀),而城市近郊区域(特别是NE侧)气温水平梯度较大(等温线较密),同样存在高值随高度增高向

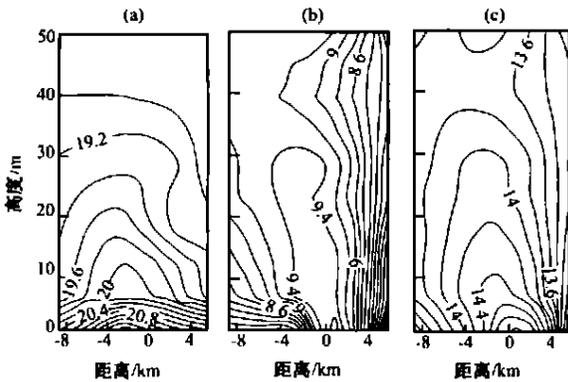


图3 气温的垂直空间分布

(a) 最高气温, (b) 最低气温, (c) 日平均气温

Fig. 3 Vertical spatial distribution of air temperature
(a) maximum temperature, (b) minimum temperature
(c) mean temperature

西南倾斜的趋势。另外,最低气温在50 m以上仍存在明显差异,显示了城市对最低气温的影响高度高于最高气温,可达50 m以上。

日平均气温(图3c)在城市区域也呈现了高值弯弯,在高度37 m以下较为显著,最大值在地面附近出现在城市中心偏东北侧,但随着高度增加,气温最高值区域向西南侧偏移,在35 m高度已到达-5 km处。

3.3 城市增温效应垂直时空分布

为进一步分析城市增温效应的垂直时空变化,取东北城市近郊(NE2)为基准,求算各测点与其的差值,得出城市增温效应的垂直时空分布(图4)。由图可见,地面附近城市增温效应显著,但与日本广岛^[4,5]观测所得的最大城市增温效应出现在中午的结果不同,最大值区域($\Delta T > 4.5^{\circ}\text{C}$)在夜间02:00~04:00时出现在城中心偏东北(0~2 km)处;随着高度增加,虽然最大城市温效出现时间变

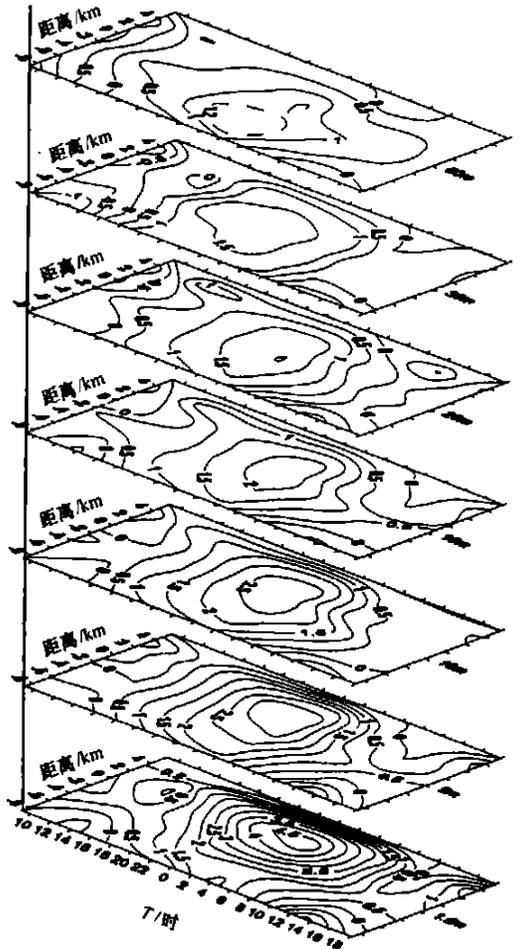


图4 城市增温效应的垂直时空分布

Fig. 4 Vertical spatio-temporal distribution of heat island effect

化较小, 但是其强度逐渐减弱, 而且最大值区域逐渐向西南侧偏移, 在 50 m 高度, 城市温效最大值区域强度 ($\Delta T > 1.2\text{ }^{\circ}\text{C}$) 仅为地面附近的 26.7%, 出现在城西南(- 6 km) 附近。

利用实际观测资料, 求算了不同高度的城市最大温效出现站点和温效值(图 5)。由图可见, 在 10 m 高度以下, 城市温效最大值较大 ($\Delta T > 3.0\text{ }^{\circ}\text{C}$), 随高度的变率也较大, 在 1.5 m 高度可达 $5.0\text{ }^{\circ}\text{C}$; 出现在城市中心的金碧广场(0 km)。在 15~ 30 m 高度, 城市温效逐渐减小 ($\Delta T = 2.3\sim 2.8\text{ }^{\circ}\text{C}$), 随高度的变率也减小, 出现在昆明气象站(- 2.9 km) 处。30 m 高度以上, 城市温效最大值变化较小 ($\Delta T \sim 2.3\text{ }^{\circ}\text{C}$), 到了 50 m 高度, 其位置出现在西南城市近郊(- 8.8 km) 处。

由以上分析可以看出, 对昆明城市其城市所引起增温效应可以达到 30 m 高度以上; 在 50 m 高度, 由于西南城郊的云南民族村就在较大水体旁, 在西南气流影响下, 受湖面上空暖气流的影响, 夜间 50 m 高度上对气温的影响已大于城市增温效应。即昆明城市热力效应具有立体分布特征, 而昆明城市立体空间的热力效应受到城市附近较大面积水体(滇池) 的影响, 其详细情况将另文分析。

3.4 昆明城市平均气温立体分布

根据观测资料求算了各测点昼间(08:00~ 18:00)、夜间(19:00~ 07:00)和日均气温的平均值, 其垂直分布如图 6 所示。由图 6a 可见, 昼间各测点的平均气温垂直分布均随高度增加气温呈现下降趋势, 近地层(20 m 以下) 的气温垂直递减率大于上层, 并且该特征城市内比城市近郊明显。另外, 昼间平均气温以 SW1 点最高, 而 SW2 点最低(同样显示了昆明滇池的水体效应)。

夜间(图 6b) 的平均气温垂直分布与昼间相反, 城市近郊的云南民族村(SW2) 和西南林学院(NE2) 呈现明显的逆温分布; 而城内的金碧广场(C) 和东北侧城郊结合部的昆明城建学校(NE1) 除 5 m 以下之外, 基本上为等温分布; 对于西南侧城郊结合部的昆明气象站(SW1) 虽然平均气温为逆温分布, 但是其强度小于城市近郊两站。

对于日平均气温(图 6c), NE2 和 SW2 站为弱逆温分布, 而 C 和 NE1 站基本上为常规分布。SW1 站 5 m 以下为弱逆温, 其上为常规分布。

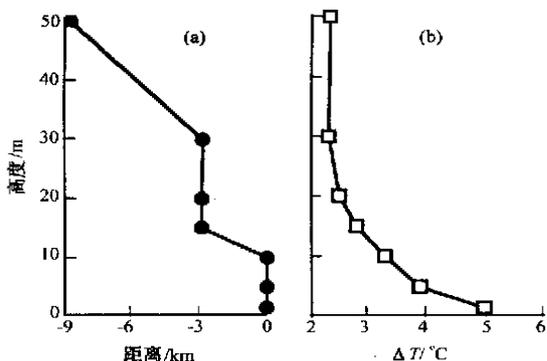


图 5 最大热岛效应出现位置(a) 及强度(b)
Fig. 5 The station(a) and the strength(b) of the maximum heat island effect

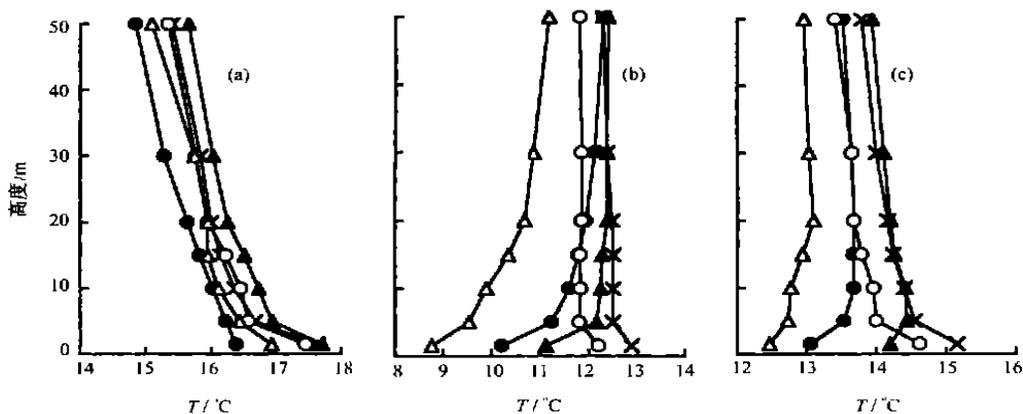


图 6 平均气温垂直分布
(a) 昼间, (b) 夜间, (c) 日平均

- ● - : SW2, - ▲ - : SW1, - × - : C, - ○ - : NE1, - △ - : NE2

Fig. 6 Vertical variation of mean air temperature. (a) daytime, (b) nighttime and (c) daily

4 小结与讨论

城市水平空间的城市热岛效应已成为人们所关心的问题,但是立体空间的城市热岛效应受重视的程度则相对较小。随着城市高层建筑的日益增加,城市立体空间的城市气候效应,将对城市环境、建筑设计、能源节约等产生不可忽视的作用。所以探讨城市气候的立体分布、变化规律和形成机制及其应用乃是我们所关注的问题。

利用低纬高原城市内外垂直观测资料,通过对昆明城市气候立体分布特征的比较分析,得出如下初步结果:

- (1) 昆明城市热岛效应不仅在地面附近存在,而且在城市上空也存在。
- (2) 昆明城市热岛效应为夜间强,影响高度高($> 50\text{ m}$);昼间弱,影响高度低($< 50\text{ m}$);近地强、上空弱。
- (3) 昆明城市区气温垂直分布昼、夜呈现相反分布特征,即昼间为随高度增高温度递减,而夜间为逆温分布,该特征城市近郊最为显著。
- (4) 受昆明城市周边环境影响,昆明城市热岛效应最大值中心呈现随高度增高而偏移现象。

如此的气温立体空间分布,将对城市污染扩散、建筑物的设计、城市节能等产生影响。

致谢:本次观测得到了昆明城乡建设学校、西南林学院、云南民族村和昆明市气象台等单位的大力支持,在观测实施中,昆明城乡建设学校的张力进老师,西南林学院的陈先刚老师给予了大力协助,昆明城乡建设学校的范正祥、禹志福、魏平、徐家隆、肖杰和张锐等同学;西南林学院的陈海、安木恒、张长弘等同学;昆明师专的刘茗、彭瑞、苏坤生、夏金友等同学参加了观测,在此表示感谢。

参考文献

- [1] 周淑贞,束炯编著.城市气候学[M].北京:气象出版社,1994.244-334
- [2] Duckworth FS, T S Sandberg. The effect of cities upon horizontal and vertical gradient[J]. Bulletin of the American Meteorological Society, 1954, 35: 198-207
- [3] Oke T R. The distinction between canopy and boundary layer urban heat islands[J]. Atmosphere, 1976, 14: 268-277
- [4] 张一平,福冈义隆,开发一郎.都市内外における气象要素の垂直分布の違い[J].中国・四国农业气象,1991,4:82-85
- [5] 高桥日出男,福冈义隆.都市域における风速の鉛直分布と

2-ス イ ドの立体构造[J].地理学评论,1994,67A:

530-550

- [6] 张一平.都市气候の立体构造に与える屋上面の役割に関する研究(博士论文)[D].广岛大学大学院生物圏科学研究科,1995,180
- [7] 周淑贞.上海近数十年城市发展对气候的影响[J].华东师范大学学报(自然科学版)[J].1990,4(4):64-73
- [8] 周淑贞.上海城市发展对气温的影响[J].地理学报,1983,38(4):397-405
- [9] 陈沈斌,潘莉卿.城市化对平均气温的影响[J].地理学报,1997,52(1):27-36
- [10] 北京市气象局气候资料室编著.北京城市气候[M].北京:气象出版社,1992.110-120
- [11] 葛向东,赵咏梅.城市化对上海的增温效应[J].云南地理环境研究,1999,11(1):44-50
- [12] 周淑贞,张超,郑景春等编著.城市气候与区域气候[M].上海:华东师范大学出版社,1989.1-113
- [13] 叶卓佳,关虹.夜间城市边界层发展的数值研究[J].大气科学,1986,10(1):80-88
- [14] 桑建国.城市热岛效应的分析解[J].气象学报,1986,44(2):251-255
- [15] 桑建国.不稳定城市边界层中的垂直运动[J].大气科学,1988,12(3):320-328
- [16] 边海,铁学熙.天津市夜间城市热岛的数值模拟[J].地理学报,1988,43(2):150-158
- [17] 李小凡.热岛效应强迫下的中尺度环流的动力特征及极限风速的一种解析表达[J].气象学报,1990,48(3):327-335
- [18] 李兴生,朱翠娟,李乐泉.坡地对城市热岛影响的数值研究[J].气象学报,1990,48(3):293-301
- [19] 李乐泉,李兴生.城市大气边界层的数值研究[J].大气科学,1992,16(2):237-247
- [20] 孙旭东,孙孟伦,李兆元.西安市城市边界层热岛的数值模拟[J].地理研究,1994,13(2):49-54
- [21] 黄逸生,王霞斐,陈明森等.昆明城市热岛及大气质量探测报告[R].滇池地区生态环境与经济综合报告.昆明:云南科技出版社,1988.131-149
- [22] 孙奕敏,边海.天津市城市热岛效应的综合性研究[J].气象学报,1988,46(3):341-348
- [23] 桑建国,刘万军.冬季城市边界层风场和温度场结构分析[J].气象学报,1990,48(4):459-468
- [24] 李子华,唐斌,任启福.重庆市冬季热岛和湿岛效应的研究[J].地理学报,1993,48(4):358-366
- [25] 苏红兵,洪钟祥.北京城郊近地层湍流实验观测[J].大气科学,1994,18(6):739-750
- [26] 昆明市规划设计管理处.昆明市城市总体规划说明(1981-2000年)[Z].1992.7-10
- [27] 云南省统计局编.云南统计年鉴(1995)[Z].北京:中国统计出版社,1995.517-549
- [28] 云南省统计局编.云南统计年鉴(2000)[Z].北京:中国统计出版社,2000.397-399

Characteristics of Vertical Distribution of Urban Heat Island Effect in Kunming City

ZHANG Yiping, HE Yunling, MA Youxin, LIU Yuhong

LI Yorong, DOU Junxia, GUO Ping

(Xishuangbanna Tropical Botanical Garden, Chinese Academy of Science, Kunming 650223, China)

Abstract: Using the vertical measurement data of urban and suburb in Kunming which located at low-latitude plateau, the characteristics of vertical distribution of city climate at low-latitude plateau city were analyzed. Through comparing analyses, the primary results are as follows: The findings indicate that urban heat island lie in not only near the ground but also upper atmosphere, the intensity of night (influenced height > 50 m) go beyond daytime (influenced height < 50 m), near the ground exceed upper atmosphere. In urban area, the air temperature decrease with height increasing in daytime and temperature at night is inversion distribution, the center of urban heat island shifts with height increasing. This distribution would have an effect on the diffusion of urban contamination, architecture design and energy saving.

Key words: Heat island effect; Vertical distribution; Kunming city