

城市区域屋顶上与地上的风速 和温度特征分析^{*}

张 平^① 彭贵芬^② 张庆平^③

①(中国科学院昆明生态研究所 昆明 650223) ②(昆明气象局 昆明 650034)

③(云南省档案馆 昆明 650032)

提 要 以低纬高原城市昆明市为研究对象,利用城内外屋顶上和地上的风速和温度实测资料,分析了研究较少的,做为城市第二热力面的屋顶面附近的风速和温度特征、变化规律及其与地上的差异,得到了一些有益的结果。

关键词 城市 屋顶面 地面 热岛效应 风速 气温

分类号 中图法 P463.3

城市形成和发展改变了城市区域的地表面状态,城区大部分地域的表面已由植被变为不透水的道路面和屋顶面。在现代城市中,随着建筑物密度的加大,屋顶面已占城市总表面积的巨大比例。与附近地面相比,屋顶面受遮蔽较小,昼间基本上都受太阳的照射,形成了独特的热力特性。研究表明,屋顶面高度附近是城市覆盖层和城市边界层的分界面^[1,2],昼间屋顶面附近的气温高于近旁道路上相同高度的气温^[3,4],屋顶面是有别于地表面的、影响城市区域大气的第二热力面^[5]。

城市气候的研究中,热岛效应(城内外气温差)乃是研究最多的内容,但是,对城市第二热力面的屋顶面的城市气候效应研究则不多见。所以探讨城市内外屋顶上的风速和温度(以下简称风温)特征及其差异,对研究城市气候形成机制十分重要,并且对节约能源,减少热污染,以及城市建筑的规划、设计也有重要的意义。

本文以低纬高原城市——昆明市为例,利用城内小气候观测资料和城郊国家气象站(昆明气象站)的观测资料,分析了城区内外屋顶上和地上的风温特征和变化规律,探讨两者的异同以及形成原因。

1 研究方法

研究地概况 昆明市地处低纬(25°N, 103°E)、高海拔(1 892 m)地区,城建区面积由

^{*} “国家教委留学回国科研启动基金”(1996)和“中国科学院留学经费择优支持回国工作基金”(1995)项目。在写作过程中得到云南大学地球科学系据建华系主任、罗红明和王冰老师指导及张建忠、张秀琼、张小玲、邓崧、张浩翰同学帮助,在此表示衷心感谢。

第一作者简介:张一平,男,1957年生,副研究员(博士),环境计划科学专业。

收稿日期:1996-09-19;改回日期:1997-02-17

1950 年的 7.8 km^{2[6]}, 发展到 1994 年的 116 km^{2[7]}, 即 44 年来城区扩大约 15 倍, 并且建筑物不断向大型化、高层化发展, 使城区内的日射、风速、粗度及其它气象要素发生改变, 这必然引起城市区域的气候发生变化。

观测地点 城内的测点设置在云南大学北院内。其中屋顶测点在地球科学系教学楼屋顶(3 楼, 屋顶面高度为 12.1 m), 地上测点在教学楼南侧的道路上, 下垫面均为混凝土。屋顶测点除西侧受建筑物的影响遮蔽较大外, 其余各方向遮蔽均较小; 地上测点由于北侧有教学楼, 南侧有竹丛遮挡, 南北侧的遮蔽度很大, 约为 50°~ 75°, 东、西侧有实验中心大楼和数学系教学楼的遮挡, 遮蔽度也仅为 30°左右, 仅西南西侧由于有道路, 遮蔽稍小。城郊测点在盛行风的上风侧, 城区的西南边沿。其中屋顶测点在昆明气象局办公楼屋顶(2 楼, 屋顶面高度为 8.0 m), 地上测点使用昆明气象站的观测资料。屋顶表面为混凝土, 气象站下垫面为草地。测点周围高层建筑物较少, 遮蔽均较小。

所用资料及观测方法 本研究所用气温、风速资料为: 城郊地上为国家气象站的定时观测资料; 城郊屋顶为用计算机自动记录的长期观测资料; 城内屋顶为小气候观测, 观测期间为 1996 年 5 月 3 日 9 h 至 5 月 4 日 17 h。风速、风向使用三杯风速风向表(取 1 分钟平均)。气温是将电子温湿度传感器放在通风管内, 强制通风, 待温湿度值稳定后, 读取 3 个数据, 求平均值; 地上为百叶箱内的干湿球温度长期观测资料。

观测期间天气状况 本次小气候观测期间, 城内(云南大学)测点和城郊(气象站)的低云量时间变化如图 1 所示。可见, 在 5 月 3 日昼间为多云天(低云量 4~ 8 成), 午前城内的低云量多于城郊; 5 月 3 日 18 h 后天气转晴(低云量在 2 成以下), 4 日为晴好天气, 午后城郊的低云量略多于城内。

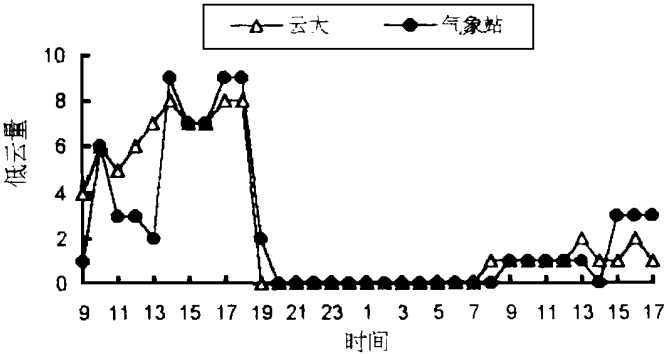


图 1 1996.05.03- 04 低云量的变化
Fig. 1 Variation of low cloud amount 3- 4 May 1996

2 结果分析

2.1 风速的城市效应

从城内外风速差值的时间变化(图 2a) 可看出, 与国内外的研究相似^[8], 城郊因位于盛行风的上风侧, 加之周围没有高大建筑物, 风速较强, 无论是屋顶上还是地上, 风速均是城郊大于城区, 差异以昼间为大。其中地上的城内外风速差最大可达- 6.3 m/s, 夜间风速差异减小, 在日出前后地上的差值接近于零。

屋顶上与地上的风速差值时间变化如图 2b 所示, 城郊屋顶上与地上的差值波动较大,

多数情况屋顶上的风速大于地上, 最大可达 2.9 m/s; 而城内屋顶测点因受西侧建筑物的影响, 风速略小于地上(差值为负), 且差异波动不大。这样的风速分布必然引起城内外热量传输状况的不同。

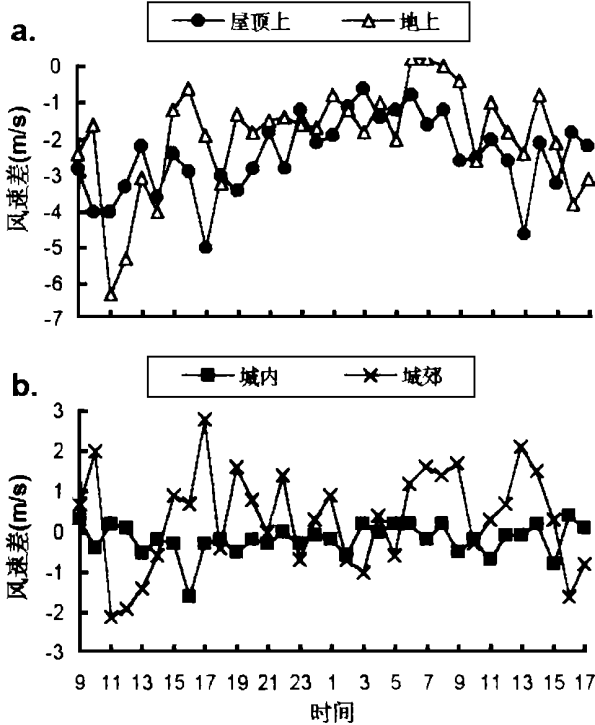


图2 1996. 05. 03- 04 风速差值的时间变化
a. 城内与城郊 b. 屋顶上与地上

Fig. 2 Variation of wind speed difference 3- 4 May 1996
a. urban and suburban b. rooftop and ground

2.2 气温的城市效应

城市内外气温差值的时间变化(图 3a)为: 地上的气温一般是城内高于城郊, 与国内外多数研究结果^[1~ 5, 8~ 13]相似, 且夜间城内外的气温差较大, 呈现了较强的城市热岛现象。其原因是日落后, 城郊周围高大建筑物较少, 辐射放热较多, 地上的气温降低较快; 而城内地上测点周围存在较高大的建筑物, 这不但减小了辐射放热, 而且所放热量还对地上产生影响, 加之风速较小, 热量交换弱, 使气温不易降低, 因而形成了夜间的城市热岛。但是本次观测中, 地上热岛强度的最大值出现在 7 h(1.7℃), 与国内外城市热岛的最大强度多出现在傍晚时分的结果^[1~ 5, 8~ 13]有所不同。

昼间, 在晴好天气(4 日)的中午时分, 城内的地上因周围环境遮蔽对其影响最小, 日射较强, 表面温度升高, 所放出的热量增多, 风速较弱, 热量不易扩散, 而且下垫面为混凝土, 缺乏蒸发所需水分来源, 湿度降低, 蒸发耗热减小, 加之表面温度对气温影响的滞后性, 以及 16 h 后地上测点再次受到周围建筑物的遮蔽等的共同作用, 在 15 h 气温达最高值。而城郊地上虽然受日射较多, 但由于风速较强, 热量散失较多, 加之表面状况(草地)的影响, 湿度较

大,蒸发耗热较强等,直至午后 17 h 才出现气温最高值。所以,晴天昼间在午后(15 h)出现热岛强度的次极大值(1.2℃)。但值得注意的是,在晴天午前的 9 h、10 h,城内外气温差值为负值,呈现冷岛效应。其原因是城内地上测点因受周围遮蔽物的影响,9 时 19 分(北京时间)才受到日照,增温率低于受遮蔽较小、日照较早的城郊,使城内外的地上气温差为负值,出现冷岛效应。另外,在天空荫蔽较大、低云较多时,由于日射的影响,造成城内外气温差值的较大波动。可见,在各种因素的影响下,城市热岛效应的变化较复杂,在同一天中,既会出现热岛效应,也会出现冷岛效应。

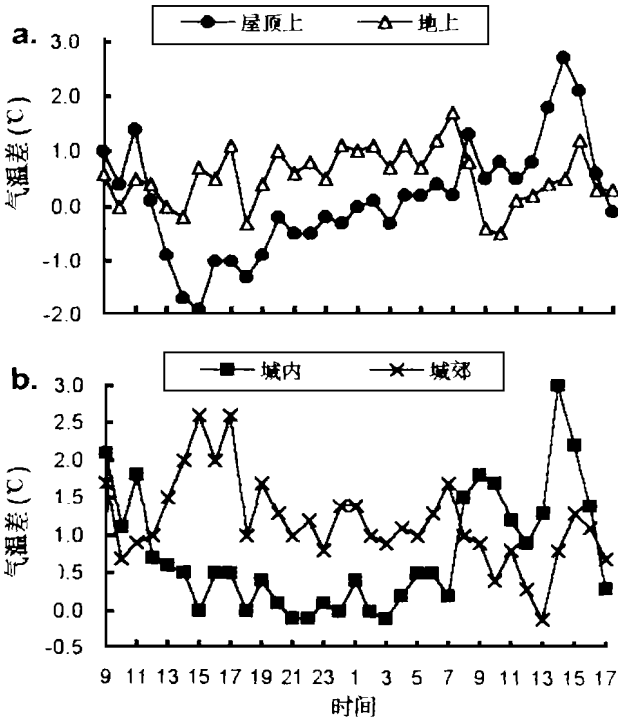


图 3 1996. 05. 03- 04 气温差值的时间变化

a. 城内与城郊 b. 屋顶上与地上

Fig. 3 Variation of air temperature difference 3- 4 May 1996

a. urban and suburban b. rooftop and ground

从图 3a 还可见,对于屋顶上,昼间,天空低云量状况对屋顶上的城内外气温差值(热岛强度)影响较大。在多云天(3 日) 12 h 以前,城内低云量在 6 成以下,城郊低云量变化也较大时(图 1),城内屋顶上的气温高于城郊。随着城内低云量的增加(> 6 成),影响了日射,而城郊(14 h 前)低云量仍较少(< 4 成),日射较多,加之城内的建筑物高于城郊,造成城内屋顶上的气温低于城郊,在 15 h 差异达最大(-1.9℃)。而在晴天(4 日),城内外低云量均较少,日照状况相近,城内屋顶面附近受周围环境的影响,风速小于城郊(图 2),减小了与周围的空气热量交换,平均增温率(1.63℃/h)大于城郊(1.30℃/h),造成城内屋顶上的气温较高。特别在午后,由于长时间受日光照射,表面温度较高,所放出的热量更多,气温进一步提高,形成城内外屋顶上的气温较大差异,14 h 达热岛强度最大值(2.7℃)。夜间,城内外屋

顶上的气温差都较小。日落后,城郊测点周围高大建筑物较少,辐射损失的热量较多,加之风速较大,气温降低较快;而城内屋顶测点周围有较大高大的建筑物,减小了辐射放热损耗,且受周围建筑物所放热量的影响,气温降低较缓,形成屋顶上的气温差值由前半夜的负值逐渐变为后半夜的正值,即城内屋顶上的气温由低于城郊变为高于城郊。

另外,对比屋顶上和地上城内外气温差值可见,屋顶上的城市热岛特征与地上有着明显差异,并且与国内外地上的城市热岛效应的研究结果^[1~5,8~13](城市热岛最大强度多出现在日落后的傍晚或夜间)也不尽一致,但与作者在日本广岛观测得到的城内外屋顶面高度附近气温差异的最大值出现在午后 14 h 的结果^[4,5]相似。这显示了屋顶上与地上,由于所处位置和所受环境影响的不一致,造成了其热力特征和动力性质的差异,导致城市热岛形成机制的不同。屋顶上主要受天空低云量和风速影响;而地上除了上述影响之外,还受周围遮蔽物的遮蔽和放热影响,以及下垫面性质不同引起的蒸发状况差异的影响。

进一步探讨屋顶上与地上的气温差异(图 3b)可见,城内夜间屋顶上与地上的气温差异不大,且波动也较小。而昼间屋顶上的气温一般高于地上,差异波动较大,晴天大于多云天,在晴天午后最大可达 3.0°C (4 日 14 h)。这是由于城内屋顶受西侧建筑物的影响,风速较小,减小了与周围空气的热量交换,且屋顶面受遮蔽较小,长时间的日光照射,表面温度较高,使气温进一步增高,形成了屋顶上气温高于地上的现象。这与研究^[2,3~5]的结论一致。

城郊屋顶上气温一般高于地上,但波动较大,并且差值时间变化规律与城内不同,呈相反的趋势,即多云天大于晴天。在多云天的午后差值最大可达 2.7°C ,夜间次之;晴天的中午差值最小(趋于零)。其原因可认为是城郊屋顶的下垫面(混凝土)与地上测点的下垫面(草地)性质不同。昼间在日射作用下,屋顶的混凝土受热较快,表面温度易于升高,并且混凝土的下垫面缺乏蒸发所需的水分来源,蒸发耗热减小,所以,昼间屋顶上气温高于地上。在低云量较少时(图 1,3 日 14 h 前和 4 日),由于城郊遮蔽较小,日射较强,加之前述原因,使屋顶面的气温高于地上,所存储的热量也多于地面,但气温差异不大;且在晴天(4 日 13 h)屋顶上风速大于地上,屋顶上与地上的气温差值趋于零;在 3 日 14 h 后,随着低云量的增加(图 1),日射减弱,屋顶面由于混凝土下垫面所存储的热量较多,在其影响下温度减率小于地上,形成了较大的气温差异($> 2.0^{\circ}\text{C}$);夜间,由于混凝土下垫面放出昼间所储存的热量,使屋顶上的气温高于地上。

由以上分析可知,屋顶由于遮蔽较小,加之下垫面的热力性质,造成了屋顶上气温高于地上,显示了城市区域内的屋顶面是有别于地表面的城市第二热力面这一特性,并且在城内外,屋顶上与地上的气温差异(垂直分布)和时间变化不同,这也可认为是造成屋顶上和地上城市热岛效应不同的原因之一。同时,在不同时间、不同天气状况、城市不同地域,屋顶面和地面的热力作用是不相同的,这将造成城市区域的不同地域热量的传输和局地气候形成机制的差异。

2.3 平均状况

分别统计了城内外的多云天昼间(3 日 9 h~17 h)、晴天昼间(4 日 9 h~17 h)、夜间(3 日 19 h~4 日 7 h)的平均气温和平均风速(图 4)。

可见,平均气温为晴天昼间最高,多云天的昼间次之,夜间最低。在各时段,城郊地上气温最低,而最高在多云昼间和夜间的城郊屋顶和晴天昼间的城内屋顶。城内外差异(表 1),对于屋顶,在多云昼间城内低于城郊(冷岛效应);而晴天的昼间,则是城内高于城郊(热岛效

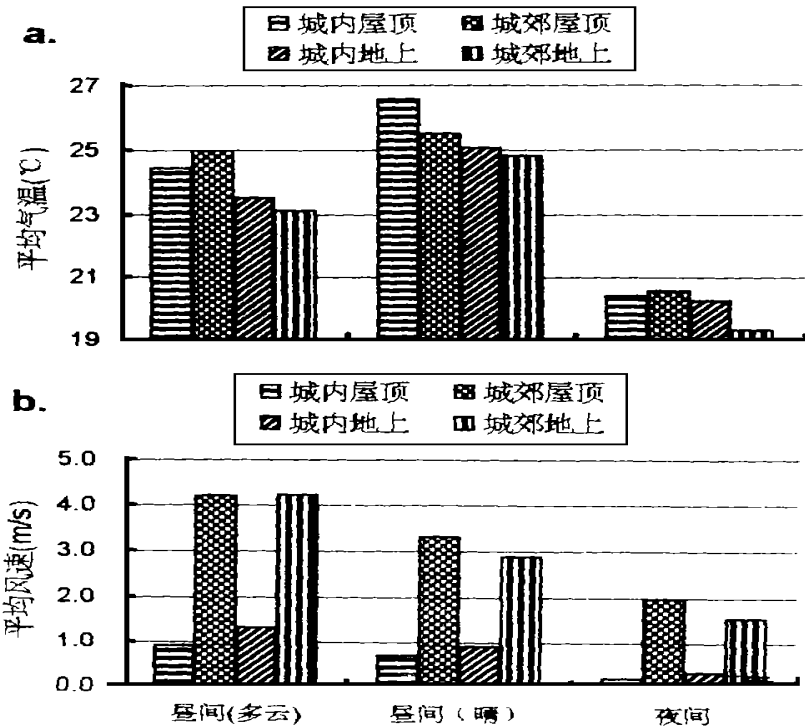


图 4 不同地域的平均气温和风速

a. 平均气温 b. 平均风速

Fig.4 Average air temperature and wind speed in different areas at daytime and night

a. average air temperature b. average wind speed

应), 其差异(绝对值)比多云昼间要大。夜间城内外的平均气温相近, 差异很小。而在地上, 各时段的平均气温均是城内高于城郊, 且以夜间差异最大。这显示了屋顶上与地上城市热岛效应的差异。另外, 对于屋顶上与地上的平均气温差异, 城内外均是屋顶高于地上, 但城内以晴天昼间差异最大, 夜间最小; 而城郊则是多云昼间最大, 晴天昼间最小, 同样显示了城市区域, 由于位置和下垫面的差异, 势必对小气候产生影响。

表 1 平均气温差值和平均风速差值

Table 1 The difference of average air temperature and the difference of average wind speed

项目	位置	平均气温差值(℃)			平均风速差值(m/s)		
		昼间(多云)	昼间(晴)	夜间	昼间(多云)	昼间(晴)	夜间
城内与城郊差	屋顶上	- 0.5	1.1	- 0.1	- 3.3	- 2.6	- 1.8
	地上	0.4	0.2	0.9	- 2.9	- 2.0	- 1.2
屋顶与地上差	城内	0.8	1.5	0.2	- 0.3	- 0.2	- 0.1
	城郊	1.6	0.7	1.2	0.2	0.4	0.4

对于平均风速(图 4), 则是多云天的昼间最强, 晴天昼间次之, 夜间最弱。由于城郊测点位于盛行风的上风侧, 加之周围高层建筑较少, 所以无论是多云天还是晴天, 是昼间还是

夜间, 是屋顶上还是地上, 城内的平均风速均小于城郊(表 1), 以屋顶上差异显著。对于屋顶上与地上的平均风速差异, 各时段城内外趋于相反, 即城内差值均为负值, 屋顶上的平均风速小于地上; 而城郊的差值均为正值, 屋顶上的平均风速大于地上, 但其差异小于城内外差。

由以上分析可知, 在不同时间、不同天气状况、不同地域, 由于周围环境和下垫面的影响不同, 造成了屋顶上和地上的热力特性和动力作用的差异, 这可认为是城市区域不同地区局地气候差异的形成原因。

3 结 论

1) 由于周围环境影响, 城内屋顶上和地上的风速均小于位于盛行风上风侧的城郊, 其差值昼间较大, 这必将引起城市内外热量传输的不同。

2) 城内的地上气温大多高于城郊(出现城市热岛), 以夜间较为明显, 其强度在 7 h 最大。但受各种因素的影响, 即使在出现城市热岛的同一天中, 也会有城市冷岛现象出现, 显示了城市区域热力状况的复杂性。

3) 屋顶上的城市热岛强度的变化规律与地面附近不同, 在晴天午后 14 h 为最大, 显示了城市区域不同高度的热岛强度形成机制存在差异。

4) 屋顶上的气温多高于地上, 显示了屋顶面作为城市第二热力作用面的特征。但是屋顶上与地上的气温差的时间变化趋势, 城内和城郊趋于相反。显示了城市的不同地域, 气温的垂直分布和变化存在差异, 这势必影响热量的传输和城市小气候的形成。

5) 城内外的屋顶上和地上, 由于所处位置、下垫面性质和天气状况不同, 气候效应也有较大差异, 充分显示了城市气候的复杂性。

参 考 文 献

- 1 Oke T R. The distinction between canopy and boundary layer urban heat island, *Atmosphere*, 1976, 14: 411– 437.
- 2 高桥日出男, 福岡义隆. 都市域における风速の鉛直分布と 2 次元風の立体构造. *地理学评论*, 1994, 67A: 530– 550.
- 3 Goward S N. Thermal behavior of urban landscapes and urban heat island. *Physical Geography*, 1981, 2: 19– 33.
- 4 张一平ほか. 都市内外における气象要素の垂直分布の違い. *中国・四国の农业气象*, 1992, 4: 82– 85.
- 5 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). 广岛: 广岛大学大学院生物圏科学研究科, 1995. 20– 25.
- 6 昆明市规划设计管理处. 昆明市城市总体规划说明(1981~ 2000 年). 1982. 7– 10
- 7 云南省统计局编. 云南统计年鉴(1995). 北京: 中国统计出版社, 1995. 517– 549
- 8 周淑贞, 束炯编著. 城市气候学. 北京: 气象出版社, 1994. 244– 334
- 9 Oke T R, Maxwell G B. Urban heat island dynamics in Montreal and Vancouver. 1975, 9: 191– 200.
- 10 Oke T R. The energetic basis of the urban heat island. *Quart. J. R. Met. Soc.* 1982, 108(455): 1– 24.
- 11 Chandler T J. *The Climate of London*, London: Hutchinson, 1965. 100– 118.
- 12 Hage K D. Urban-rural humidity differences. *J. Appl.* 1975, 14: 1277– 1283.
- 13 Oke T R, Maxwell G B. Urban heat island dynamics in Montreal and Vancouver. 1975, 9: 191– 200.

A STUDY ON THE CHARACTERISTIC OF WIND AND TEMPERATURE OVER THE ROOFTOP AND THE GROUND IN URBAN AREA

Zhang Yiping^{*} Peng Guifen^{**} Zhang Qingping^{***}

^{*} (*Kunming Institute of Ecology, Chinese Academy of Sciences, Kunming 650223*)

^{**} (*Kunming Meteorological Bureau, Kunming 650034*)

^{***} (*Yunnan Archives, Kunming 650032*)

ABSTRACT

The microclimatic observation was conducted over the rooftop and the ground in urban and suburban areas of Kunming City of P. R. China. The main results obtained in this paper are summarized as follows:

1. The wind speed over the rooftop and the ground in the suburban are larger than in the urban area, and in daytime the differences are markable.
2. The air temperatures over the ground in the urban area are higher than in the suburban area at majority times. At night the differences are larger, the maximum is 2.7°C (at 7:00). Because the influences of different factors, in the same day the urban heat island appear, the urban cold island may appear too.
3. The variation of the urban heat island in rooftop is different from that on the ground. The maximum appears 14:00 of fine day. The mechanism responsible for urban heat island is the differences in the rooftop and on the ground.
4. The air temperatures over the rooftop are larger than over the ground. That expressed that the rooftop is the second thermodynamic surface in the urban area. There exist differences of vertical variations of the air temperature in the urban and suburban areas.
5. Because the position and the character of surface and the sky condition are different over the rooftop and on the ground in the urban and the suburban areas, the characteristics of the urban climate are different.

Key Words: City, Rooftop, Ground, Urban heat island, Wind speed, Air temperature