# 南京市冬季市区和郊区晴天大气边界层结构对比分析

张礼春'朱彬'牛生杰'李子华'

#### 摘要

应用 2008 年 12 月 24-31 日南京市 区和郊区同步大气边界层观测资料,对 晴天大气边界层结构进行对比分析.结 果表明:南京地区冬季晴天,市区近地面 层气温高于江北郊区近地面层的气温, 市区热岛效应明显,且热岛强度夜间大 于白天:市区逆温出现的时间滞后于郊 区,逆温层高度也大于郊区.夜间,市、郊 区风速随高度不断增大,并在一定的高 度出现一个8 m/s 的极值中心. 市区空 气相对干燥. 通过典型日分析, 市区 14:00千岛效应显著,相同高度上相对湿 度一直低于郊区.在市、郊区近地面层 中,愈近地面风速愈小;近地面层中白天 风速最大,夜间最小;白天,大气层结不 稳定,湍流混合作用强,上下层风速的差 别趋于减小. 市区风速在低层受建筑物 影响,相同高度上小于郊区风速.

#### 关键词

城市边界层;逆温层;城市热岛;相 对湿度

中图分类号 P401 文献标志码 A

#### 收稿日期 2009-09-28

**资助项目** 公益性行业(气象)科研专项(2007-06026);国家 973 项目(2009CB426313);江苏 省"六大人才高峰"计划(06/A/025) 作者简介

张礼春,男,硕士生,主要研究方向为云雾 物理及大气环境化学.zlc203@126.com

朱彬(通信作者),男,教授,博士,博士生 导师,主要从事大气化学与大气环境的研究. binzhu@nuist.edu.cn

## 0 引言

#### Introduction

大气边界层通常是指受地面直接影响、响应地面作用的时间尺 度约为1h或更短,与人类关系最为密切的低层大气<sup>[1]</sup>.南京城市人 口密集、工业发达、高楼林立、人为热排放较多使得城市热力状况远 比郊区复杂,进而形成了独特的城市边界层气象特征,例如"城市热 岛效应"、"城市干岛效应"、"污染岛"等.长期以来,国内外不少研究 工作都对城市边界层进行了大量的观测和理论研究<sup>[24]</sup>.季崇萍等<sup>[5]</sup> 利用1971-2000年北京20个气象观测站逐日4个时次(02:00、 08:00、14:00、20:00)的温度资料,选取具有代表性的城区和郊区多个 站点的平均值对北京城市化进程对城市热岛效应的影响等进行了研 究,发现城、郊不同环境对温度的影响非常显著,城市热岛强度夜间 明显大于日间. 卞林根等<sup>[6]</sup>利用北京市 2001 年冬季大气廓线观测资 料进行了分析,指出北京市冬季城、郊区的风速和风向随高度分布都 出现了明显的拐点,表明风廓线受城市覆盖层的影响.叶柯等[7]利用 不同时相的 MODIS 数据,反演出 4 幅南京市地表温度图像并做出对 比分析,结果表明南京市夏季热岛问题较为严重.赵小艳等[8]利用 ASTER 数据反演南京城市地表温度,表明南京城市夏季白天存在明 显"热岛效应". 刘红年等<sup>[9]</sup>利用南京大学大气科学系分别于 2005 年 7月17-31日,2006年2月18日-3月10日在南京市市区和郊区2 个观测点的资料进行冬夏季对比分析,发现南京市存在明显的热岛 特征,晴天条件下夏天热岛强度比冬季略高.邱新法等<sup>[10]</sup>利用4个气 象站 1961—2005 年气温资料,研究发现南京城市热岛在1 a 中出现 概率基本在80% 左右, 且随着城市规模的不断扩大, 南京的城市热岛 效应总体为增强趋势.但是,利用南京市区和郊区同步观测资料对 市、郊大气边界层结构进行对比分析的研究工作还未见报道.本文利 用 2008 年 12 月在南京市市区和郊区同步观测的大气边界层资料,重 点对比分析了南京市冬季市区和郊区晴天大气边界层结构,特别对 典型晴天日市、郊8个时次(02:00、05:00、08:00、11:00、14:00、 17:00、20:00、23:00)的观测资料进行了详细的对比分析,可为研究南 京地区城市环境对大气边界层的影响以及冬季雾形成所必须具备的 条件提供基础资料.

南京信息工程大学中国气象局大气物理 与大气环境重点开放实验室,南京,210044

# 1 观测概况

## Survey of the observation

本次观测在南京市区和郊区分别设置1个观测 点,进行同步观测.市区观测点设在南京邮电大学新 模范马路校区,位于南京市繁华的鼓楼区,周围楼宇 林立、人口密集.郊区观测点选择在南京市北郊南京 信息工程大学(原南京气象学院)西苑田径场上,地 理位置处于长江大桥北面10 km,周围是树木和低矮 的房屋以及农田等,下垫面和周围环境具有南京郊 区的典型特征.



市区



本文利用芬兰 Vaisala 公司生产的 DigiCORA 系 留气球低空探测系统和中国科学院大气物理研究所 生产的系留气球低空探测系统进行大气边界层相关 数据的探测,2 套探空仪器在进行观测前都经过中 国科学院大气物理研究所专业技术人员的校准和比 较,确保误差达到最低限度. 观测时由飞艇携带传感 器升空后将不同高度上的数据传至地面接收系统, 在计算机上保存并显示各气象要素廓线. 一般而言, 1~3 s产生1组数据,包括气压、温度、相对湿度、海 拔高度、风速、风向等. 在风速等天气条件允许的情 况下,无雾日一般3h 观测1次,出现雾时加密观测, 间隔一般为1~1.5 h,每次探测时间40 min 左右,高 度一般在 600~1 000 m之间,只有在风速特别大达 到 10 m/s 的情况时,才收回系留气球,探测高度降 低.温度、相对湿度、气压、风速、风向传感器的分辨 率分别为 0.1 ℃、0.1%、0.1 hPa、0.1 m/s、1°.另外, 在市区观测点安置了美国 MSP 公司生产的宽范围 粒径谱仪(WPS),仪器放置的高度离地面约 8 m,可 以对粒径大于 0.011 µm 的气溶胶颗粒进行自动计 数和粒径分级,同时可以计算颗粒物的表面积浓度 和体积浓度.仪器包括微分迁移率分析仪(DMA)、 微型浓缩颗粒计数器(CPC)以及激光颗粒光谱仪 (LPS),前两者用来测量 0.01~0.5 µm 的气溶胶 粒径分布特征,后者用来测量 0.35~10 µm 的气溶胶 粒径分布特征.仪器的采样流量为 DMA 0.3 L/min、 LPS 0.70 L/min,观测中设定的时间分辨率为5 min.

本次对比观测从 2008 年 12 月 24 日开始到 12 月 31 日结束,其中 28 日下了一场雨.选择这期间晴天的 观测资料进行平均,对南京市冬季市区和郊区大气边 界层结构进行对比分析,并选择典型晴天日 12 月 30 日对市区和郊区大气边界层结构做了细致研究.

# 2 结果分析

Analysis of the result

#### 2.1 晴天资料平均结果分析

由于城市下垫面以水泥、混凝土为主,具有较小的热容量和较大的导热率,增温比郊区下垫面要快; 同时城市的立体建筑更增大了受热面积,造成城市 热储量比郊区大很多.日落后,下垫面释放的热量使 得夜间城区温度高于郊区,形成城市热岛<sup>[11-12]</sup>.

图 1 为 2008 年 12 月南京市市区和郊区晴天平 均温度、平均相对湿度随高度分布的廓线以及平均 风速时间-高度剖面图.由图 1 可见,市、郊区都存在 逆温现象,市区逆温出现的时间明显滞后于郊区. 02:00由于市区资料缺失,下面个例分析中再进行深 入探讨.对比市、郊温度廓线可见(图 1a),南京市区 存在热岛效应.热岛效应白天较弱,夜间加强,在 02:00发展到最大强度,14:00,热岛强度减弱;郊区 在低层大约 100 m 以下,温度递减率比较大,随后有 所减弱.14:00,市、郊区相对湿度都随着高度不断递 增(图 1b),这是由于近地面增温快,气温高所导致. 白天湍流的剧烈交换作用,风速随高度变化差异很 小,逐渐趋于混合;人夜,热岛强度渐渐增强.郊区近 地面出现逆温层,相对湿度先是递减,到达 165 m 高 度后随即递增;市区相对湿度仍然随高度增大,但递

前京信息工行大学学报:自然科学版,2009,1(4):329-337 Journal of Nanjing University of Information Science and Technology; Natural Science Edition,2009,1(4):329-337



图 1 2008 年冬季南京市市区和郊区晴天平均温度、平均相对湿度随高度的分布以及风速的时间-高度剖面图 Fig. 1 Vertical profile of the average temperature & relative humidity distribution varying with heights and cross-sectional view of wind speed time-height in urban and suburban areas of Nanjing on winter sunny days of 2008

增率明显减小.市、郊区风速随高度不断增大,并在 一定的高度出现一个8 m/s 的极值中心(图 1c).郊 区地面长波辐射降温迅速,但因大气层结稳定,缺少 湍流扰动,地面的冷却效应只波及到最贴近地面的 空气,所以易出现下冷上暖的逆温层.逆温在夜间发 展加强,抑制了近地层水汽向高层输送.逆温层的存 在削弱了湍流的发展,同时较弱的湍流运动又利于 辐射降温,从而利于逆温的维持和发展<sup>[13]</sup>.第2日 日出之后,由于太阳辐射作用,湍流运动发展,逆温 层削弱,并逐渐消散.

#### 2.2 典型个例结果分析

2.2.1 城郊温度和相对湿度随高度分布的对比 分析

在边界层大气中,热量、动量及水汽输送的基本

方式是湍流混合.为了定量地反映各气层的湍流状况,笔者计算了12月30日市、郊区梯度理查逊数*Ri*随高度的分布.计算公式为

$$Ri = \frac{g}{T_0} \frac{\partial \theta}{\partial z} \Big/ \left( \frac{\partial u}{\partial z} \right)^2 \approx \frac{g}{T_0} \frac{(z_2 - z_1) (\theta_2 - \theta_1)}{(u_2 - u_1)^2}.$$

其中:g 是重力加速度; $T_0$  是地面绝对温度; $\theta_2 \ (0, 1)$ 和  $u_2 \ (u_1 \ for hybrid)$ 为高度 $z_2 \ (z_1 \ for hybrid)$ 处的位温和风速. 计算结果 如图 2 所示.  $-1 \le Ri \le 1$  是笔者所关心的区域,图中  $Ri \$ 等于 1 或 -1 的气层,实际该气层的 $Ri \ge 1$ 或 $\le -1^{[13]}$ . Ri = 0.25为临界梯度理查逊数,当Ri < 0.25时,表示利于湍流的发展;Ri > 0.25,则说明湍 流运动受到抑制;当Ri = 0时,湍流的能源只有机械 运动做功,强度中等<sup>[14-15]</sup>.

12月30日,凌晨02:00天空多云,随后不久天





气一直晴朗,对这一天市、郊8个时次(02:00、05: 00、08:00、11:00、14:00、17:00、20:00、23:00)的观 测资料进行对比分析,作出温度、相对湿度以及各时 刻梯度理查逊数 *Ri*随高度的分布图(图2).由图2 可见,02:00市、郊区近地层湍流发展都很稳定.市 区温度廓线图上呈现许多小的波动,而郊区温度在 60 m高度以下没有变化,出现一个等温层,60 m以 上呈下降趋势.对比市、郊区温度随高度的分布,市 区热岛效应显著.市区地面覆盖着大面积沥青、混凝 土表面,它们干燥不透水,水分蒸散所消耗的潜热 少.市区大量的建筑物墙面对热量的吸收,使城市储 存一部分热量,另外,市区里存在许多人为的显热 源.诸多因素造成市区近地面层的空气温度高于江 北郊区近地面层的气温.在近地层100 m以下,郊区 相对湿度大于市区,100 m以上则相反.

05:00,市、郊区近地层湍流发展比较弱,而下层 湍流发展呈中性状态.郊区地面气温比 02:00 略有 上升,200 m高度以上出现 3 个小的逆温,相对湿度 在 300 m以下大于市区,300 m以上相反.在 410 m 高度,市、郊区温差接近于 0,市区温度随着高度降 低达到一个极低值,相对湿度呈现一个最大值;而 410 m 为郊区逆温层顶,相对湿度廓线上对应着一 个最低值.温度和相对湿度呈现着相反的变化趋势, 气温升高,在水汽含量不变的条件下将使饱和水汽 压增加,从而相对湿度减小.

08:00,市、郊区近地层湍流发展稳定,郊区存在 明显的多层逆温层,而市区温度随高度变化在400 m 以上仍保持着明显的波动趋势.在300 m,市、郊温差 等于0,随后气温郊区高于市区.城市的增温效应具 有一定的高度,在此高度之下,城中心为暖空气所覆 盖,气温高于郊区;在此高度之上,郊区温度反比城 区高,出现"交叉效应",这个城乡温差等于0的高 度,称之为"热岛高度"<sup>[16]</sup>.此时 300 m 高度为热岛 高度,整层高度,郊区相对湿度几乎都高于市区,这 主要是由于郊区遍布许多树木及大量的农田,农作 物的蒸腾作用使得郊区水汽充沛.

11:00,市、郊区贴地层湍流发展已呈不稳定状态.市、郊区相对湿度随高度分布都是先增大,到300m左右,都变成随高度递减.随着太阳辐射的增强,近地面湍流加强,市、郊区逆温层都渐渐消失.湍流运动,使得水汽垂直向上传输.相对于郊区,市区更剧烈的湍流运动也使得近地面更多的水汽被带到上层空气中,从而在垂直高度超过300m后,市区相对

湿度变得大于郊区.

在白天,地表加热最强时即 14:00,近地面湍流 发展很强烈,市区温度廓线呈起伏状态,随高度的变 化出现几个小的逆温,郊区也在近 400 m 和 500 m 高度出现 2 个小的逆温层. 14:00,由于市、郊区湍流 发展旺盛,近地层热岛效应消失,郊区温度变成高于 市区. 相对湿度,市、郊区在近地层都较 11:00 降低, 随高度均递增,相同高度市区明显低于郊区,干岛效 应显著. 干岛效应是由于城市的主体为连片的钢筋 水泥筑就的不透水下垫面,水分蒸发量小;另外伴随 着热岛效应,市区气温上升,饱和水汽压增加,在水 汽含量不变的条件下将使市区相对湿度减小,形成 孤立于周围地区的"干岛". 干岛效应与热岛效应通 常是相伴存在的.

17:00,郊区近地层大气仍不稳定,而市区近地 面湍流的能源只有机械运动做功,强度中等.市、郊 区温度均随高度向上递减,相同高度温度差距极小, 热岛强度降低.这时,随着太阳辐射的减弱,湍流运 动逐渐削弱,郊区相对湿度在高度到达100 m前,呈 下降趋势,随后递增.郊区整层高度,相对湿度都低 于14:00.而市区无论温度还是相对湿度随高度变化 较14:00 均不明显.

入夜以后,下垫面开始向大气释放出长波辐射, 市、郊区近地层温度不断下降,20:00,市、郊区湍流 发展逐渐受到抑制,近地面相对湿度都增大,热岛增 强,热岛效应夜间明显大于白天.郊区有微弱的逆温 趋势.市区相对湿度随高度分布趋于混合,郊区仍是 在近地层先递减,到达170 m 后递增.

23:00,市区和郊区都出现显著的逆温现象,但 由于南京城、郊结构的差别,市、郊区的逆温现象呈 现出不同的特征.市区逆温出现的时间滞后于郊区, 23:00 在近地面层 50 m 以下形成贴地逆温,郊区此 时已经形成显著的逆温层.市、郊区相对湿度在近地 层均递减,随后递增.

由于气溶胶粒子的日变化也能反映边界层结构 特征,本文对气溶胶粒子的日变化特征进行简要的 讨论.图3所示为2008年12月30日南京市市区近 地层气溶胶粒子数浓度日变化廓线.可以发现,大气 细颗粒物数浓度在12:30和18:30出现峰值.高健 等<sup>[17-18]</sup>,宋宇等<sup>[19]</sup>研究表明,强辐射、高温期间大气 光化学反应异常活跃,生成了更多的二次气溶胶粒 子(如硫酸盐粒子),大气细颗粒物浓度增大.日出 后,近地面温度升高,市区相对湿度较低,大气光化



urban areas of Nanjing on 30 December 2008

学反应及超细粒子前体物的均相成核反应开始发展,而这些条件都对新颗粒物的生成和超细颗粒物的生长十分有利,因此 0.01~0.05 μm 气溶胶粒子数浓度在 7:30 出现峰值.12:00,太阳辐射强烈,光化学反应形成的新粒子对大气细颗粒物数浓度有着较大贡献.而午后 0.05~0.5 μm 气溶胶粒子数浓度迅速下降,可能是由细颗粒物在大气已存颗粒物表面的沉积及混合层高度不断提高引起.17:00左右,交通增多,机动车发动机尾气排放的颗粒物对大气细颗粒物数浓度贡献逐渐增大,到 18:00 出现下班的高峰期,细颗粒物数浓度再次出现峰值.

表1给出了12月30日南京市市区和郊区地 面气温和相对湿度日变化参数对比.可见,近地面 气温最高值出现在午后14:00,最低值出现在清晨 08:00 日出前后. 相对湿度的日变化以02:00为最 高点,中午后17:00为最低点.观测发现南京地区 在早晨日出后和傍晚日落后郊区气温的升温率和 降温率都大于市区.这是因为:1)市区晴天受大气 污染影响,上空气溶胶质粒层形成一个"尘盖",白 天削弱太阳直接辐射,晚上阻止地面长波辐射,而 郊区空气比较清洁,白天太阳直接辐射地面气温升 温较大,晚上长波辐射较强,地面气温降温较快; 2)入夜,郊区迅速降温,市区受人为热量的释放和 地面长波辐射冷却率小等原因,气温下降缓慢;3) 郊区下垫面反射率比市区大,贮存的热量比城市 小,因而入夜降温率大.这也是热岛强度夜间大于 白天的原因.

2.2.2 城郊风速风向垂直分布特征

利用 2008 年 12 月 30 日 02、05、08、11、14、17、 20、23 时的观测资料,作出南京市市、郊区风的时间-高度剖面(图4).由图4 可见:1)在市、郊区近地面 层中,愈近地面风速愈小,这是由于愈近地面摩擦力 愈大和湍流涡旋作用的结果.近地面层中风速白天 最大,夜间最小,这是因为白天湍流交换系数 K 大, 上层动量更快地向下传输,使得低层风速变大,相应 地上层风速变小;夜间,由于 K 变小,动量传输变慢,

#### 表 1 2008年12月30日南京市市区和郊区地面大气温湿日变化

Table 1 Diurnal variations of the atmospheric temperature and relative humidity in urban and

suburban areas of Nanjing on 30 December 2008

北京时间	温度∕℃				相对湿度/%			
	市区	变化	郊区	变化	市区	变化	郊区	变化
02:00	3.6		1.0		57.2		67.5	
05:00	3.0	-0.6	1.3	+0.3	43.5	- 13. 7	59.2	-8.3
08:00	2.5	-0.5	0.5	-0.8	51.3	+ 7. 8	67.2	+8.0
11:00	5.2	+ 2. 7	4.1	+3.6	38.2	- 13. 1	47.0	- 20. 0
14:00	7.0	+ 1. 8	7.6	+3.5	28.8	-9.4	32.8	- 14. 2
17:00	6.6	-0.4	6. 8	-0.8	26.9	- 1. 9	31.8	-1.0
20:00	5.6	- 1.0	3.6	-3.2	32.9	+ 6. 0	41.0	+9.2
23:00	2.7	- 2. 9	1.3	-2.3	46.0	+13.9	51.3	+ 10. 3

注:表1中"+"和"-"分别表示温度和相对湿度在这一时刻相对于上一时刻增高和降低的具体数值.



图 4 2008 年 12 月 30 日南京市市区和郊区风的时间-高度剖面图 Fig. 4 Time-height cross-section of wind in urban and suburban areas of Nanjing on 30 December 2008

于是低层风速变小,上层变大<sup>[20]</sup>.2)风速随高度的 变化与大气层的稳定度有很大关系.白天,大气层结 不稳定,湍流混合作用强,上下层风速的差别趋于减 小.3)近地面的风,风速时强时弱,风向也常变动不 定.特别是郊区,近地面风向在短时期内就会出现 显著的改变.风这种阵性变化的表现,主要是由于 下垫面性质不均一,而导致的大小不同的湍流交换 所引起的<sup>[21]</sup>.4)对比市、郊区风的时间-高度剖面 图,市区风速在低层受建筑物影响,相同高度上小 于郊区风速.地面愈是起伏不平,地面粗糙度愈大, 风速也愈减弱;另外,湍流愈强,对风速的减弱作用 也愈大.

# 3 结论

## Conclusion

结合南京地区冬季市区和郊区晴天平均资料和 典型晴天日的对比分析,本文得出以下结论:

 南京地区冬季晴天,市区近地面层的空气温 度高于江北郊区近地面层的气温,市区热岛效应明 显,且热岛强度夜间明显大于白天,但随着高度变化 热岛强度逐渐降低.一天中以02:00 热岛强度最高, 14:00 热岛强度最低.

2)南京地区冬季市区和郊区逆温层出现时间 是不同的,且逆温层高度也有差异.市区由于热岛效 应的作用比郊区出现逆温层的时间滞后,逆温层高 度也大于郊区.

3)南京地区由于市区特殊的下垫面性质以及 近地面温度高于郊区,近地面层相对湿度小于郊区, 空气相对干燥.通过典型日分析,市区14:00干岛效 应显著,相同高度上相对湿度一直低于郊区.

4)南京地区冬季市、郊区风速的垂直分布特征 有较大差异.在市、郊区近地面层中,愈近地面风速 愈小;近地面层中风速白天最大,夜间最小;白天,大 气层结不稳定,湍流混合作用强,上下层风速的差别 趋于减小.市区风速在低层受层次不齐的建筑物影 响,相同高度上小于郊区风速.

由于这次在南京市市、郊区同步观测的资料相 对较少,如要做出全面的阐述,还有待将来做更长时 间的观测和更细致的分析工作继续探讨.

**致谢:**感谢在这次野外观测中兢兢业业、付出辛勤劳 动的全体工作人员!

# 参考文献

#### References

[1] Roland B S. 边界层气象学导论[M]. 北京:气象出版社, 1991: 1-3

Roland B S. An introduction to boundary layer meteorology[M]. Beijing:China Meteorological Press,1991:1-3

- [2] Grimmond C S B, Oke T R. Turbulent heat fluxes in urban areas: observations and local-scale urban meteorological parameterization scheme(LUMPS) [J]. Journal of Applied meteorology, 2002, 41: 792-810
- [3] Piringer M. Investigating the surface energy balance in urban areas-recent advances and future needs[J]. Water, Air and soil Pollution; Focus, 2002, 2(5/6); 1-16
- [4] Xue X, Tao W, Qin W S, et al. Field and wind-tunnel studies of aerodynamics roughness length [J]. Boundary Layer Meteorology, 2002,104:151-163
- [5] 季崇萍,刘伟东,轩春怡.北京城市化进程对城市热岛的影响 研究[J].地球物理学报,2006,49(1):69-77
   JI Chongping, LIU Weidong, XUAN Chunyi. Impact of urbanization course on the heat island in Beijing[J]. Chinese Journal of Geophysics,2006,49(1):69-77
- [6] 卞林根,程彦杰,王欣,等.北京大气边界层中风和温度廓线的 观测研究[J].应用气象学报,2002,13(特刊):13-25
   BIAN Lingen, CHENG Yanjie, WANG Xin, et al. Observational study of wind and temperature profiles of urban boundary layer in Beijing[J]. Journal of Applied Meteorological Science,2002,13 (Special issue):13-25
- [7] 叶柯,覃志豪. 基于 MODIS 数据的南京市夏季城市热岛分析
   [J]. 遥感技术与应用,2006,21(5):426-431
   YE Ke,QIN Zhihao. A study of urban heat island in summer of Nanjing based on MODIS data[J]. Remote Sensing Technology and Application,2006,21(5):426-431
- [8] 赵小艳,申双和,杨沈斌,等.利用 ASTER 数据反演南京城市 地表温度[J].南京气象学院学报,2009,32(1):128-133
   ZHAO Xiaoyan, SHEN Shuanghe, YANG Shenbin, et al. Ground surface temperature of Nanjing retrieved from ASTER data[J]. Journal of Nanjing Institute of Meteorology,2009,32(1):128-133
- [9] 刘红年,蒋维楣,孙鉴泞,等.南京城市边界层微气象特征观测 与分析[J].南京大学学报:自然科学,2008,44(1):99-106 LIU Hongnian,JIANG Weimei,SUN Jianning, et al. An observation and analysis of the micrometeorological characteristics of the Nanjing urban boundary layer[J]. Journal of Nanjing University: Natural Sciences,2008,44(1):99-106
- [10] 邱新法,顾丽华,曾燕,等. 南京城市热岛效应研究[J]. 气候 与环境研究,2008,13(6):807-814
   QIU Xinfa,GU Lihua,ZENG Yan, et al. Study on urban heat island effect of Nanjing[J]. Climatic and Environmental Research, 2008,13(6):807-814
- [11] 周淑贞, 束炯. 城市气候学[M]. 北京: 气象出版社, 1994: 244-404
   ZHOU Shuzhen, SHU Jiong. City climatology[M]. Beijing; China Meteorological Press, 1994; 244-404

[12] 王欣,卞林根,逯昌贵,等.北京市秋季城区和郊区大气边界层 参数观测分析[J].气候与环境研究,2003,8(4):673-484 WANG Xin, BIAN Lingen, LU Changgui, et al. A study of characteristic parameters of atmosphere boundary layer over Beijing urban and suburban areas in autumn[J]. Climatic and Environmental Research, 2003, 8(4):673-484

- [13] 陆春松.南京冬季雾的边界层结构及生消机制[D].南京:南京信息工程大学,2008
   LU Chunsong. Studies on boundary layer structure and physical mechanism of winter fog in Nanjing[D]. Nanjing: Nanjing University of Information Science & Technology,2008
- [14] 黄建平,朱诗武,朱彬. 辐射雾的大气边界层特征[J]. 南京气象学院学报,1998,21(2):258-265
   HUANG Jianping,ZHU Shiwu,ZHU Bin. Characteristics of the atmospheric boundary layer in radiation fog[J]. Journal of Nanjing Institute of Meteorology,1998,21(2):258-265
- [15] 赵德山,洪钟祥.典型辐射逆温生消过程中的爆发性特征
  [J].大气科学,1981,5(4):407-414
  ZHAO Deshan,HONG Zhongxiang. Some burst characteristics during the process of occurring and dissipating of typical radiation inversion
  [J]. Chinese Journal of Atmospheric Sciences, 1981,5 (4):407-414
- [16] 李子华,唐斌,任启福,等.重庆市区冬季热岛和湿岛效应的研究[J].地理学报,1993,48(4);358-366
   LI Zihua, TANG Bin, REN Qifu. A study on the effects of the heat and wet islands in the city of Chongqing during winter time[J]. Acta Geographica Sinica,1993,48(4);358-366
- [17] 高健,王韬,王文兴.中国城市大气超细颗粒物浓度及粒径分 布研究[C]//中国气象学会2006年年会"大气成分与气候、 环境变化"分会场论文集.成都:中国气象学会,2006: 879-885

GAO Jian, WANG Tao, WANG Wenxing. Investigation of the concentration of the superfine particles and its size distribution in the atmosphere in Chinese cities [C] // Chinese Meteorological Society 2006 Annual Conference "The Atmospheric Components, Climate and Environmental Change" Sub-vanue Papers. Chengdu; Chinese Meteorological Society, 2006;879-885

 [18] 高健,王进,程淑会,等.济南夏季大气颗粒物粒径分布特征及 来源机理分析[J].中国科学院研究生院学报,2007,24(5): 680-687

> GAO Jian, WANG Jin, CHENG Shuhui, et al. Studies on characteristics of size distribution and formation mechanism of fine particles in summer of Jinan [J]. Journal of Graduate School of Chinese Academy of Sciences, 2007, 24(5):680-687

- [19] 宋宇,唐孝炎,张远航,等.夏季持续高温天气对北京市大气细 粒子 PM2.5 的影响[J].环境科学,2002,23(4):33-36
   SONG Yu, TANG Xiaoyan, ZHANG Yuanhang. Effects on fine particles by the continued high temperature weather in Beijing
   [J]. Environmental Science,2002,23(4):33-36
- [20] 赵鸣.大气边界层动力学[M].北京:高等教育出版社,2006: 310-311
   ZHAO Ming. Dynamics of atmospheric boundary layer[M]. Beijing:Higher Education Press,2006:310-311
- [21] 周淑贞,张如一,张超. 气象学与气候学[M].2版. 北京:高等 教育出版社,1984:257-260
   ZHOU Shuzhen, ZHANG Ruyi, ZHANG Chao. Meteorology and climatology[M]. 2nd ed. Beijing: Higher Education Press, 1984: 257-260

# Contrastive analysis of atmospheric boundary layer structures in fair weather of winter between urban and suburban areas of Nanjing

ZHANG Lichun<sup>1</sup> ZHU Bin<sup>1</sup> NIU Shengjie<sup>1</sup> LI Zihua<sup>1</sup>

 Key Laboratory for Atmospheric Physics & Environment of China Meteorological Administration, Nanjing University of Information Science and Technology, Nanjing 210044

**Abstract** Based on the simultaneous observations of atmospheric boundary layer in the urban and suburban areas of Nanjing in the period of 24th to 31st of December in 2008, A contrastive analysis is made of the atmospheric boundary layer structure on fair days of winter. The results show that in the fair weather of winter, the air temperature near the surface layer in the urban area is higher than that in the suburban area located in the north of Nanjing. Besides, the urban area has very evident heat island effect, the intensity of which in daytime is stronger than that in nighttime. The time that temperature inversion layer appears in the urban area lags behind that in the suburbs, and the inversion layer height in the urban area is also higher than that in the suburbs. During the night, the wind speed in urban and suburban areas is constantly increasing with different heights and an extreme value center of 8 m/s will occur at a certain height. The relative humidity(RH) in the urban area is relatively low. Based on the analysis of a typical day, the urban heat effect is evident at 14:00 and the RH at the same height in the urban area keeps lower than that in the suburbs. The nearer the wind is to the ground surface, the smaller its speed is; and the wind speed in the near surface layer is the highest in the daytime and smallest in the night. During the daytime, the atmospheric layers are unstable, and the turbulent mixing is strong. Therefore, the difference between the wind speeds in the upper and lower layers tend to decrease. The speed wind at the same height in urban area is smaller than that in the suburbs under the effect of the buildings near the surface.

Key words atmospheric boundary layer of city; temperature inversion; urban heat island; relative humidity