

郑祚芳,任国玉,高华,2018.北京地区局地环流观测分析[J].气象,44(3):425-433.

## 北京地区局地环流观测分析<sup>\*</sup>

郑祚芳<sup>1</sup> 任国玉<sup>2</sup> 高 华<sup>1</sup>

1 中国气象局北京城市气象研究所,北京 100089

2 国家气候中心,北京 100081

**提 要:**应用 2008—2015 年逐时自动气象站观测资料,分析了北京地区局地风场的分布特点及季节性变化。结果表明:(1)北京地区局地风场受山谷风和城市热岛环流的共同影响,风速主要沿地形梯度分布。西部、北部高海拔山地风速较大,平原地带风速相对较小。平均而言,东西方向的局地风强度约为  $0.16 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ ,南北方向的局地风强度约为  $0.07 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ 。(2)局地风速在季节分布上以夏季为最大,冬季为最小。其日变化为双峰型结构,于每日 09 及 16 时左右达到峰值区。(3)局地风速的  $u$ 、 $v$  分量在正(负)距平的维持时长、日振幅值上存在较明显的差异。低层风场在午后到前半夜以东南风为主,后半夜开始到正午前则以西北风为主。

**关键词:**局地环流,时空分布,距平,北京地区

**中图分类号:** P49

**文献标志码:** A

**DOI:** 10.7519/j.issn.1000-0526.2018.03.009

## Analysis of the Local Circulation in Beijing Area

ZHENG Zuofang<sup>1</sup> REN Guoyu<sup>2</sup> GAO Hua<sup>1</sup>

1 Institute of Urban Meteorology, CMA, Beijing 100089

2 National Climate Centre, Beijing 100081

**Abstract:** Based on the hourly observation of automatic weather stations in Beijing area during 2008—2015, the fine spatio-temporal distribution characteristics of local circulation are studied. The analysis results are as follows. Firstly, the local wind pattern in Beijing is affected by the combined effect of the mountain-valley wind and the urban heat island. Wind speed is basically distributed along the topographic gradient. In the western and northern mountains, the wind speed is greater than that in the plains and urban areas. Local circulation in Beijing area occurs through the whole year, although it varies seasonally. Averagely, the strength of the local wind in east-west direction is  $0.16 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$  and in south-north direction is  $0.07 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ . Secondly, local wind speed has seasonal changes. In summer, it is the maximum, followed by winds in spring and autumn, and in winter, it is the minimum. Its diurnal variation shows a bimodal structure, with peak value appearing at about 09:00 BT and 16:00 BT. Finally, there are significant differences with diurnal amplitude and positive or negative duration of anomaly between zonal local circulation component and meridional local circulation component. Analyses of the wind and temperature in Beijing area show that the local circulation presents diurnal variation obviously due to the mountain-valley and urban temperature differences.

**Key words:** local circulation, spatio-temporal distribution, anomaly, Beijing area

<sup>\*</sup> 国家自然科学基金项目(41575010 和 41505102)及国家国际科技合作专项(2015DFA20870)共同资助

2016 年 10 月 26 日收稿; 2017 年 3 月 16 日收修定稿

第一作者:郑祚芳,主要从事区域气候及精细天气预报相关研究. Email:zfzheng@ium.cn

## 引 言

局地环流(包括山谷风、城市热岛环流等)主要由下垫面动力和热力的非均匀性强迫产生,它们是中尺度环流的重要组成部分,对局地天气以至大尺度天气都会产生明显的影响,有时甚至是支配性的(雷孝恩,1994;张美根等,2000;喻谦花等,2016)。城市热岛和山谷风造成的中尺度环流及其垂直结构还控制着中距离污染的日变化规律及复杂的垂直分布,对区域大气扩散、环境生态等均有重要影响(张强等,2003;刘香娥等,2016;俞科爱等,2015)。当地形对气流起阻挡作用时,由于气流中的污染物不能及时得到扩散,往往造成严重的大气污染(Lu and Turco,1995; Chen et al, 2009; 陈龙等,2016)。因此,研究局地环流特征,不仅对于认识局地气候特征和大气循环规律具有重要意义,亦是做好城市精细化天气预报及污染浓度预报的关键问题之一。

以往对局地环流的研究主要基于数值模拟及观测分析两个方面展开,其中数值模拟方面的工作相对较多。例如 Mannouji(1982)以及 McNider and Pielke(1984)先后用数值模拟的方法从理论上解释了地形山谷风的成因。Schmidli et al(2011)还对比分析了不同模式模拟的理想河谷平原的山谷风。国内邱崇践和蒲朝霞(1991)曾利用一个二维数值模式模拟发现,在山谷风环流控制下造成山谷内高污染浓度的重要因素有两个,一个是日出前和日落后的山谷风转换,另一个是在白天由于山谷风环流所造成的山谷上空较强的下沉气流。鞠丽霞等(2003)、席世平等(2007)的研究亦表明,地形及下垫面热力作用是导致局地环流的主要因素,并对天气系统有较明显的影响。王瑾等(2012)模拟了兰州附近山谷典型日环流特征,发现谷风能导致山坡对流边界层高度升高,山风则会使得山谷边界层高度降低。游春华等(2006)模拟了京津冀地区夏季边界层大气的背景流场,发现山谷风的最大影响范围可以覆盖整个平原地区,山风、谷风的转换过程会导致在山前出现一条汇聚带。刘树华等(2009)进一步模拟了弱天气系统下京津冀地区山谷风、海陆风、城市环流的耦合效应,发现城市热岛环流对海陆风、山谷风环流有削弱作用。观测分析方面,国内邓家铨等(1989)较早分析了山谷风效应对局地污染物传输影响的个例特征,认为边界层风场在其中起了重要作用。吴庆

梅和张胜军(2010)分析亦发现,北京地区山谷风对污染物浓度日变化有明显影响,并认为谷风有将城区重污染向郊区输送的作用。张人文等(2012)还对从化地区山谷风的厚度进行了探讨。孔海江(2014)进一步定量研究了局地环流对河南一次连阴雨过程的影响。薛笋笋等(2017)通过对比分析还发现,气象探测环境的变化对地面风观测具有较明显影响,这可能会在一定程度上影响到局地环流。相比于数值模拟研究,针对局地环流的观测分析仍显薄弱,且多以个例分析为主,这与现有常规观测站点稀少,观测时空精度有限,难以反映整体情况有关。

北京地处华北平原北端,其西侧、北侧背靠太行山脉和燕山山脉,地形条件复杂,且受城市化影响明显。以往受观测条件限制,有关北京地区局地环流的观测分析还不多见。近年来,北京市气象局进行了较大规模的自动气象站网建设。截止 2015 年底,已在市域内布设了 295 套自动站,显著提高了气象监测的时空精度。同时还建立和完善了用于数据实时质量监控的业务平台,实现了对所有自动站整点数据的实时质量监测(孙成云等,2013)。杨萍和刘伟东(2013)对北京地区自动气象站资料进行了系统的质量评估和分析,证实其具有较好的准确性和可靠性,为进一步开展逐小时自动站气象数据的分析应用提供了基础。本文将应用 2008—2015 年自动气象站观测资料,分析北京地区局地环流的分布特征。

## 1 资料和方法介绍

北京地处华北平原北端,地势西北高、东南低。其西部是太行山余脉的西山,北部为燕山山脉的军都山,两山相交形成一个向东南展开的半圆形大山弯,东南是缓缓向渤海倾斜的北京平原,地形条件复杂。山地海拔高度约在 1000~2300 m,山区面积约为 10072 km<sup>2</sup>,占北京全市国土面积的 61.4%。且自改革开放以来,北京城市化程度迅速提高,人口数量逐年递增,目前城市核心区人口密度高达每平方千米 2 万多人,五环路范围内基本为中、高密度城区所覆盖(图 1a)。因而,北京局地环流既有山谷风效应,也受城市热岛环流的影响。

北京市气象局自 20 世纪 90 年代中期开始布设自动气象站观测网,截至 2015 年末市域内共布设了 295 套自动站。为方便起见,本文研究范围选为

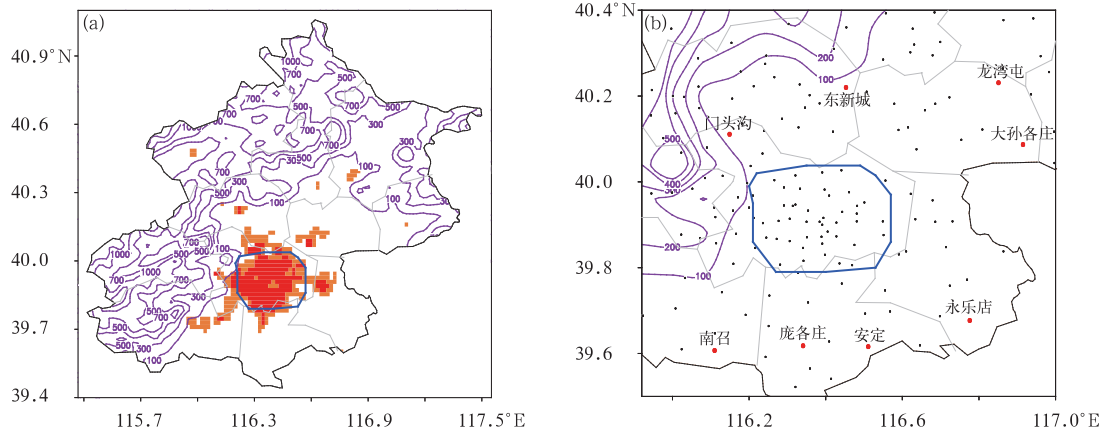


图 1 北京地区地形(a)及研究区域自动气象站点分布(b)

(等值线,单位:m;涂黄色为中密度城区、红色为高密度城区,蓝色线框为 5 环线范围,下同)

Fig. 1 The terrain in Beijing area (a) and distribution of automatic weather stations in study area (b)

(Yellow area indicates medium density urban, red area indicates high density urban, purple contour lines are the terrain height, unit: m, blue line indicates the 5th Ring Urban limits, same below)

39.5°~40.4°N,115.92°~117°E(图 1b),包含了主要的城市区域、近郊区及西部、北部的高海拔山地。区域内共布设有 175 套自动气象站,站点分布相对较均匀。考虑到部分站点在建站初期观测数据缺失较多,本文应用观测资料为较完整的近 8 年(2008—2015 年)逐时观测数据。数据统计过程中先对其中少量的观测错误进行了剔除。其次,统计时还剔除了缺测时次较多(超过总观测时次 10%)的站点观测数据,经过质量控制后,研究区域内有效观测站点为 149 站。

由于局地环流通常比较弱,且叠加在背景风场之上,当背景风较强时,是很难观测到局地环流的。因此,为了计算局地环流,首先要去掉大尺度的背景风场。本文参考曹渐华等(2015)的方案,首先对各时次的测站风分解为  $u$ 、 $v$  分量,分别代表东西方向和南北方向的风。计算出各站的各年各月逐时  $u$ 、 $v$  的月平均值,然后将 1—12 月的逐时月平均值进行年平均,得到各站的逐时年平均值  $\bar{u}$ 、 $\bar{v}$ 。之后将 24 h 的逐时年平均值  $\bar{u}$ 、 $\bar{v}$  相加求平均获得全日平均值  $\bar{U}$ 、 $\bar{V}$ 。利用逐时年平均值  $\bar{u}$ 、 $\bar{v}$  减去全日平均值得到逐时距平值  $u'$ 、 $v'$ 。全日平均值可以看作是系统风即背景风,逐时年平均值视作实际风,用实际风减去系统风得到局地风,可用于该区域局地环流研究。同理,用类似的方法可以获得各站不同季节逐时距平值  $u'$ 、 $v'$ 。通过分析逐时距平值  $u'$ 、 $v'$  的日变化特征,就可以了解到局地风场的分布情况及其

季节性特征。

## 2 结果分析

### 2.1 年平均风速分布

图 2 给出的是北京地区自动站观测的 2008—2015 年近地层(10 m 高度,下同)年平均风速值。可见,风速分布是很不均匀的,总体上看受地形影响很明显,海拔较高的地方平均风速也较大,地形起伏

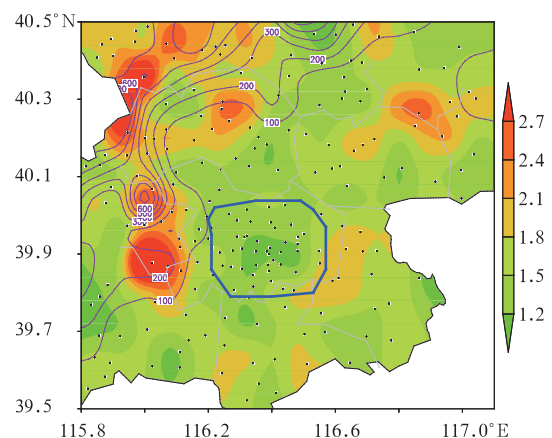


图 2 北京地区 2008—2015 年平均风速(阴影,单位:  $m \cdot s^{-1}$ )

Fig. 2 Spatial distribution of annual mean wind speed in Beijing area during 2008—2015 (shaded, unit:  $m \cdot s^{-1}$ )

大的地方风速的局地差异也更明显。在北京西部、北部某些高海拔山区站点的年平均风速可达到  $3.0 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$  左右,而平原地带的平均风速多为  $1.2 \sim 1.8 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ 。其次,在城市地带特别是中心城区为一个风速的低值区(图中蓝色线框所示),中心平均风速  $< 1.2 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ ,显示出高密度城市区域所具有的粗糙下垫面对气流的阻挡效应。

由研究区域内 149 个有效自动气象站资料统计的平均风速的月际及日变化分布可见(图 3),北京地区的平均风速在春季最强,为  $1.99 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ ,冬季( $1.76 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ )次之,夏季( $1.34 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ )和秋季

( $1.32 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ )的平均风速相对较小。风速的月际分布为双峰型结构,最大值出现在 4 月( $2.33 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ ),其次为 12 月( $1.93 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ ),10 月平均风速最小,仅为  $1.23 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ 。各个季节平均风速的日变化具有类似的分布形态,均为单峰型。表现在夜间风速较小,于凌晨达到最小值,白天风速则逐渐增大,至午后达到最大值,然后逐渐减弱。整体上来看,不同季节的风速差值在后半夜均小于白天和前半夜。

## 2.2 局地风的时空分布特征

图 4a 给出的是依照前文方法计算得到的北京

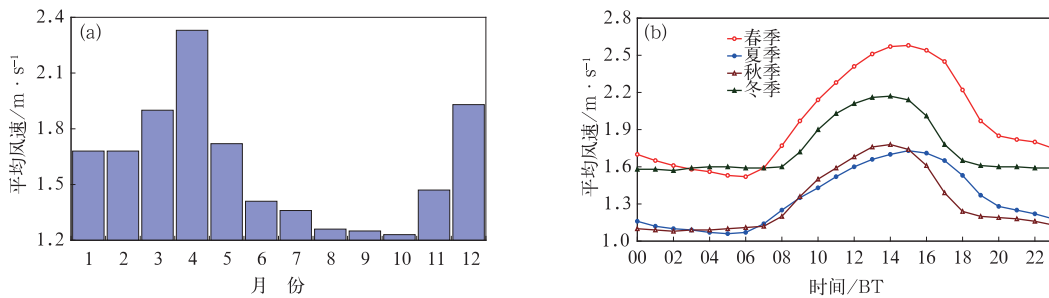


图 3 北京地区年平均实际风速的月际(a)及日变化(b)

Fig. 3 Distribution of monthly variation (a) and diurnal variation (b) of annual average wind speed in Beijing area

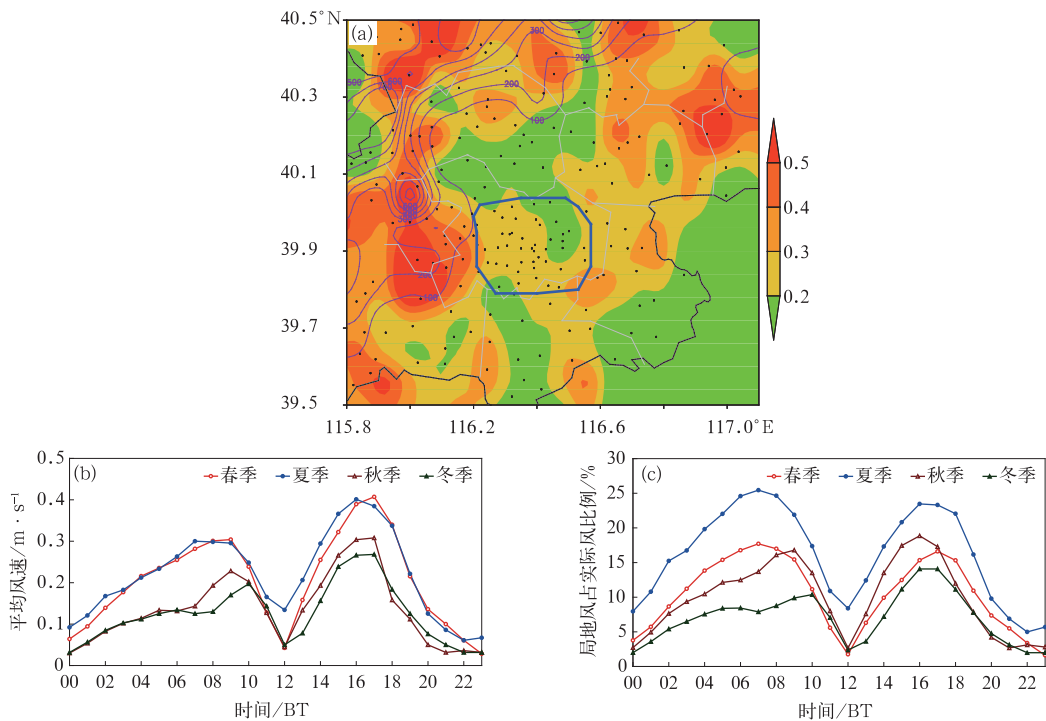


图 4 2008—2015 年北京局地平均风速的空间分布(a)、不同季节局地风速的日变化(b)及其占实际风的比例(c)

Fig. 4 Spatial distribution of local mean wind speed (a) and diurnal variation of local wind speed in different seasons (b) and its percentage in the actual wind speed in Beijing area (c) during 2008—2015

地区 2008—2015 年平均的近地层局地风速的空间分布。对照图 2 可见,在消除背景风的影响后,北京地区的局地风速比实际风速要小很多,且同样分布很不均匀。北京西部、北部地形起伏较大的地方局地风速也较大,平原地带局地风速相对较小,说明地形梯度是导致局地环流的主要因素。其次,北京城区不再是一个风速的低值区,其风速值略高于城区南、北两侧。

北京地区局地风速的年平均值约为  $0.17 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ , 季节分布上以夏季( $0.22 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ )为最大,春季( $0.20 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ )次之,秋季( $0.13 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ )、冬季( $0.12 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ )最弱。其日变化也与实际风不同,为双峰型结构(图 4b)。表现在夜间风速较小,并逐渐攀升至 09 时(北京时,下同)左右达到第一个峰值,之后逐渐下降并在 12 时左右达到谷底值,然后又迅速上升并在 16 时左右达到第二个峰值(全天最大值),至夜间又逐渐减弱。与图 3b 类似,不同季节间局地风速的差异同样是在白天比夜间表现更为明显。

各个季节局地风速占实际风速百分比的日变化如图 4c 所示,亦为双峰型结构,变化趋势与图 4b 类似。在所有时刻,夏季局地风速占实际风速的百分比均要明显高于其他季节,冬季则要明显低于其他季节。计算了各季节平均局地风速占实际风速的百分比,分别为 10.4%、16.2%、9.9%、7.0%,夏季占比明显高于其他季节,冬季占比最小。夏季相对较大的局地风,可能会对当季多发的中小尺度天气系统产生影响。而冬季相对较小的局地风速,也可能对取暖季的污染物扩散产生不利影响。

为了进一步分析北京地区局地风的整体特征,对研究区域内近 8 年来  $u$ 、 $v$  分量距平的日变化进行了统计。年均值统计表明,东西方向( $u$  分量)的局地风强度约为  $0.16 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ , 南北方向( $v$  分量)的局

地风强度约为  $0.07 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ 。图 5a 给出的是北京地区 2008—2015 年局地风分量距平,可以看到在  $u$  方向上,局地风速的日振幅为  $0.54 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ , 其中 00—11 时为正距平(西风),12—23 时为负距平(东风),最强正距平出现在 09 时,为  $0.22 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ , 最强负距平出现在 16 时,为  $-0.32 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ 。 $v$  方向上,风速逐时平均值的日振幅为  $0.25 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ , 其中 00—12 时为负距平(北风),13—23 时为正距平(南风),最强正距平出现在 16 时,为  $0.12 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ , 最强负距平出现在 10 时,为  $-0.13 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ 。从数值上看, $u$  方向的风速振幅明显要大于  $v$  方向的风速振幅,说明北京地区  $u$  方向的局地风速要比  $v$  方向的局地风影响更大。其次, $v$  分量由负距平转为正距平的时刻要比  $u$  分量正距平转为负距平推迟约 1 h。对照图 1b 可见,这可能主要是由于北京西部山区地形比北部起伏更大、且离城区更近,因而影响也更直接、更明显。

北京地区的局地风场主要受山谷风环流和城市热岛环流的共同影响,图 5a 中  $u$  分量距平与  $v$  分量距平呈现反位相分布,局地风环流在午后到前半夜以东南风为主,后半夜开始到正午前则以西北风为主,与山谷风的表现基本一致,表明北京地区山谷风比城市热岛环流影响更明显。作为一个对比,图 5b 给出的是 2015 年 11 月连续重污染期间北京几个主要观测站  $\text{PM}_{2.5}$  质量浓度的日变化,可见污染物浓度同样具有明显的日变化特征,白天浓度相对较弱,夜间则迅速增强,这种现象与图 5a 中局地风场的分布之间有着较好的对应关系。直观的解释可以认为,午后到前半夜,东南向的局地风容易将外地的污染物带到北京城区,并有可能将污染物从城区向郊区输送,西部、北部山地的阻挡将导致污染物的聚集。其结果是,污染物的浓度自午后开始一直呈增

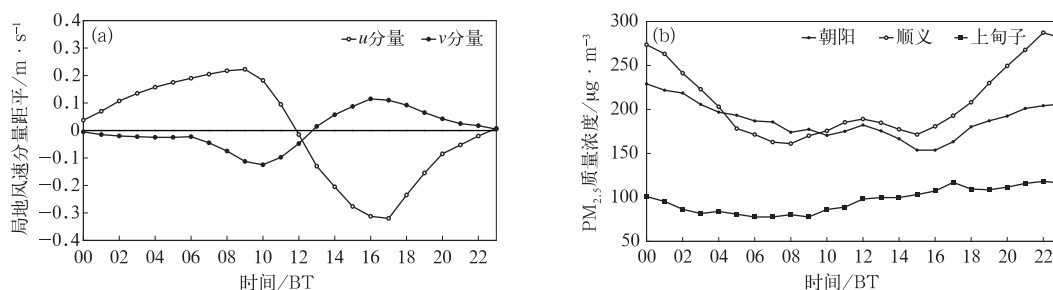


图 5 北京地区局地风分量距平(a)及  $\text{PM}_{2.5}$  质量浓度(b)的日变化  
Fig. 5 Diurnal variations of hourly wind component anomaly (a) and mass concentration of  $\text{PM}_{2.5}$  (b) in Beijing area

加的趋势。从后半夜开始,局地风开始转向为西北风向,污染物的浓度也开始有所回落。

图 6 给出的是研究区域内不同季节  $u$ 、 $v$  分量距平的日变化。可见在  $u$  方向,各季节正、负距平维持的时长基本一致,夏季平均风速的日振幅最大,为  $0.71 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ ,春、秋季次之,冬季日振幅最小,仅为  $0.41 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ 。最强正距平出现时间夏季最早,在 07 时,春、秋季稍后,冬季为 10 时。正距平向负距平转换的时间及最强负距平出现时间亦是夏季较靠前。在  $v$  方向上,不同季节正、负距平维持的时长差异较大,夏季正距平时长最大,达到 15 h,冬季正距平时长最短,仅 9 h。平均风速的日振幅以春季为最大,为  $0.33 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ ,夏、冬季次之,秋季日振幅最小( $0.20 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ )。最大正距平出现在春季(16 时),最大负距平出现在夏季(10 时)。局地风分量的这种季节性差异的存在,可能与城郊太阳辐射量及城市热岛强度的季节性差异有关。

由于山谷风环流主要因山坡与其附近谷地之间的热力差异而引起。白天,下层风由谷底吹向山坡,称为谷风。到了夜间,下层风由山坡吹向谷底,称为山风。山谷风环流具有明显的日变化特征,白天和夜间风向会发生转变。而由城市热岛效应引发的空气在城市上升,在郊区下沉的热岛环流则不同,虽然也有日变化,但主要表现在热岛强度的变化上(一般夜间热岛强度比白天大),但下层风向基本不变,保持由郊区吹向城市。因而,相对于城市与山地间不同位置,其所受到局地环流的影响也应有所不同。

下面来看相对北京中心城区不同方位站点局地风日变化的差异。借鉴 Ren and Ren(2011)的建议,选取分别位于北京城区南、北两侧的庞各庄站和东新城站来分析  $v$  方向上逐时距平值的日变化,选取分别位于北京城区东、西两侧的通州站和门头沟站来分析  $u$  方向上逐时距平值的日变化(图 7)。由图 7 中可见,在  $v$  方向上,位于城南的庞各庄站的距平日振幅为  $0.23 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ ,最强正距平出现在下午 17 时,最大负距平出现在上午 10 时。南风与北风的转变时间分别在 02 及 13 时,南、北风持续时间基本相当。位于城北的东新城站  $v$  方向的距平日振幅为  $0.15 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ ,小于城南的庞各庄站。其最强正距平出现在正午 13 时,最大负距平出现在午夜 00 时。南风与北风的转变时间分别在 05 及 18 时左右,两者之间表现出基本相反的位相特征。在  $u$  方向上,位于城东的通州站的距平日振幅为  $1.01 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ ,

最强正距平出现在上午 09 时,最大负距平出现在下午 17 时。东风与西风的转变时间分别在 02 及 14 时,东、西风持续时长相当。位于城西的门头沟站距平日振幅为  $0.74 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ ,要小于城东的通州站。其最强正距平出现在上午 08 时,最大负距平出现在下午 16 时,东风与西风的转变时间分别在 11 及 21 时。两者位相基本一致,但城西的门头沟站在最大正、负距平出现时间及东、西风向转换时间上,均较城东的通州站有所提前。

由此可见,位于北京城区不同方位的站点,其表现出的局地风是有差异的。其主要原因在于,不同位置的站点,受到的局地热力差异影响是不同的。除了受热岛环流影响外,位于城市北部、西部的站点,较之位于城市南部、东部的站点,由于离西北部山体更近,因而受山谷风的影响会更加明显。在白天,来自东南方向的谷风叠加在城市热岛环流上,会使得城市东部(南部)在  $u(v)$  方向上的局地风分量得到增强,城市西部(北部)在  $u(v)$  方向上的局地风分量减弱。夜间则相反,来自西北方向的山风与热岛环流叠加,会使得城市西部(北部)在  $u(v)$  方向上的局地风分量增强,城市东部(南部)在  $u(v)$  方向上的局地风分量则会减弱。例如在图 7 中可见,夜间(20 时至第二日 06 时),位于城北的东新城站局地风  $v$  分量的平均值为  $-0.38 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ ,其绝对值要大于城南庞各庄站(平均值为  $0.01 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ ),而位于城西的门头沟站局地风  $u$  分量的平均值为  $1.79 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ ,其绝对值亦要明显大于城东通州站(平均值为  $-0.35 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ )。可见站点局地风的分布,取决于其所受山谷风和城市热岛环流的叠加效应。

从局地风风向的转换时间上看,由白天到夜间,东风向西风的转换过程中,位于城西的门头沟站比位于城东的通州站转向要早(分别为 21 和 02 时)。南风向北风的转换过程中,位于城北的东新城站亦比位于城南的庞各庄站转向要早(分别为 18 和 02 时)。这种风向转换上的时间差异,很可能与站点所处的具体位置有关。位于城西、城北的站点,在白天受到的热岛环流与谷风方向是相反的,表现出的局地风较城东、城南的站点弱,其风向的转换也相对较早。此外,由于文中选取的城东、城西代表站点较之城南、城北的代表站点离城区更近(图 1b),其受到城市热岛环流的影响也更明显,这可能导致站点间局地风向的东、西风转换时间要滞后于南、北风的转换时间。



局地环流主要由下垫面动力和热力的非均匀性强迫产生,其中热力强迫主要来自于不同下垫面的辐射差异。夏季是北京地区辐射最强的时段,局地风速也以夏季为最大(图 4b)。图 8 给出的是

2008—2015 年北京地区夏季平均气温距平及局地风场分布,这里气温距平为研究范围内各站点气温(已经按气温垂直递减率订正到同一海拔高度)与 Ren and Ren(2011)提出的 8 个郊区参考站(东新

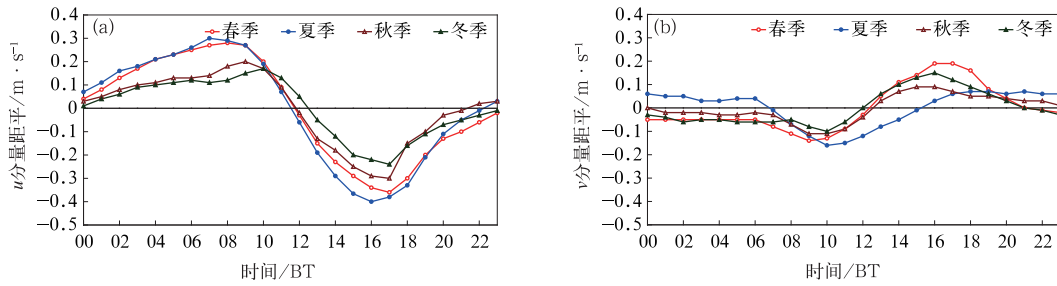


图 6 北京地区不同季节局地  $u$  分量(a)和  $v$  分量(b)距平的日变化

Fig. 6 Diurnal variations of hourly anomaly  $u$  (a) and  $v$  (b) in Beijing area in different seasons

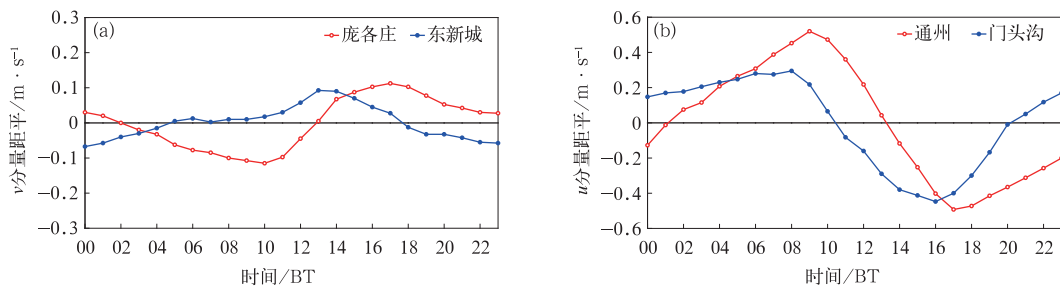


图 7 北京不同区域代表站点局地  $v$  分量(a)和  $u$  分量(b)逐时距平的日变化

Fig. 7 Diurnal variations of the hourly anomaly  $v$  at Panggezhuang and Dongxincheng Stations (a) and  $u$  at Tongzhou and Mentonggou Stations (b)

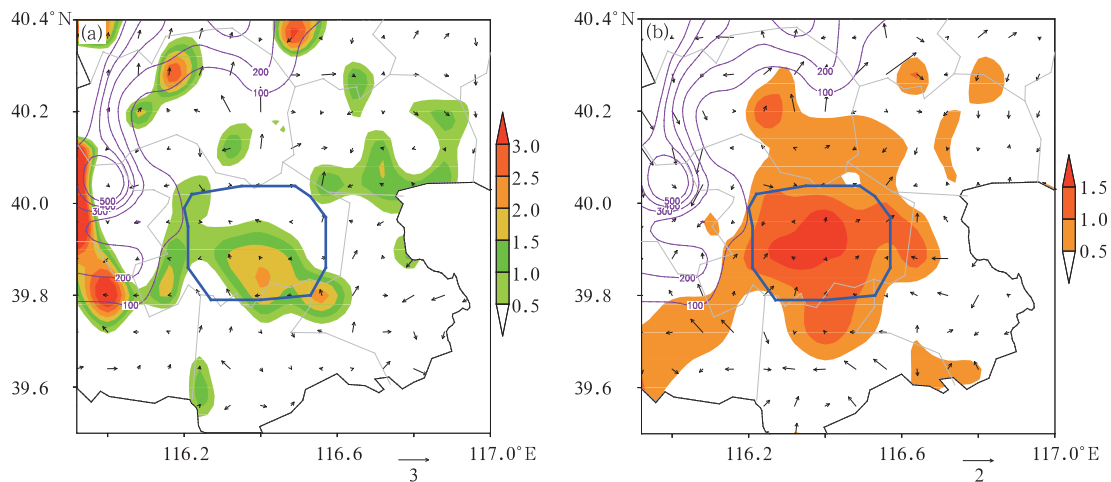


图 8 北京地区夏季平均气温距平(阴影,单位: °C)及局地风场(风矢)分布  
(a)16 时,(b)05 时

Fig. 8 Spatial distribution of average temperature anomalies (shaded, unit: °C) and local wind field (wind arrow) in Beijing area in summer  
(a) 16:00 BT, (b) 05:00 BT

城、凤凰岭、龙湾屯、大孙各庄、永乐店、安定、庞各庄和南召等,站点分布如图 1b 所示)的平均气温之差。考虑到一天中城、郊温差最大的时段多出现在 16 及 05 时左右,其也是局地环流表现最明显的时刻(如图 6),文中选取是 16 时代表白天、05 时代表夜间状况。由图 8a 可见,在白天,由于同一高度上的山坡接受太阳光热会较谷地更多,因而除了城市区域外,西部、北部山地亦表现为气温高值区,其强度比城市热岛更强。受热力作用影响,区域内近地面层风场总体表现为由平原地带吹向山坡的谷风(东南风),其中还包含有由城市周边汇向城区的热岛环流辐合区。而在夜间(图 8b),高海拔山地较同一高度上的大气辐射降温更快,导致城市及附近区域气温要明显高于郊区平原地带及西部、北部高海拔山区,区域内近地面层风场总体表现为山区吹向平原地带的山风(西北风)以及恒定的由郊区向城区辐合的热岛环流。其他季节的局地风场及气温距平分布总体上与夏季类似(图略),主要差异在于局地风场及城市热岛的强度上,局地风场在冬季最弱,热岛强度则在冬季最大,平均可达  $3^{\circ}\text{C}$  以上。

### 3 结论和讨论

北京地区的局地风场主要受山谷风环流和城市热岛环流的共同影响。本文应用 2008—2015 年高密度自动气象站观测资料,分析了北京地区局地风场分布的基本特征。主要结论如下:

(1) 北京地区局地风速主要沿地形梯度分布。西部、北部高海拔山地风速较大,平原地带风速相对较小。年平均而言,东西方向的局地风强度约为  $0.16 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ ,南北方向的局地风强度约为  $0.07 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ 。

(2) 局地风速在季节分布上以夏季为最大,春、秋季次之,冬季最小,其占实际风速的比重约为  $7.0\% \sim 16.2\%$ 。局地风的日变化为双峰型结构,于每日 09 及 16 时左右达到峰值区。不同季节间局地风速的差异在白天比夜间表现更为明显。

(3) 北京地区局地风速的  $u$ 、 $v$  分量在正(负)距平维持时长、日振幅值、最强正(负)距平出现时间上都存在较明显的差异。低层风场在白天以东南风为主,夜间则以西北风为主。山谷风效应是影响局地风场的主要因素。

(4) 位于北京城区不同方位的站点,其表现出的局地风是有差异的。站点局地风的分布,取决于

其所受山谷风和城市热岛环流的叠加效应。

研究局地环流特征,对于认识大气循环规律、做好城市精细化天气预报及污染物浓度预报具有重要意义。本文分析亦表明,北京地区重污染期间污染物浓度的日变化特征与局地环流的日变化有着良好的对应关系,这意味着局地环流很可能在污染物的日变化中起到了某种作用,在特定时段这种作用有加速污染物扩散的正面效应,但某些时段亦存在有利于污染物积累及传输的负面影响。其中的细节还有待于进一步的深入研究。其次,基于本文分析可知,北京地区的局地环流以山谷风环流为主,其影响效应比城市热岛环流要大。由于山谷风的结构很复杂,它与山谷的形状、坡度大小、山谷的走向及深度等因素有关,也与太阳的照射情况有关(席世平等, 2007)。应用现有的观测资料来研究局地环流的精细化空间结构,以及定量探讨山谷风环流与城市热岛环流的贡献,仍有一定的难度。随着数值模拟技术的逐步改进及计算能力的不断提高,今后有必要借助现代精细化的数值模拟手段,进一步揭示局地环流的精细化结构及其影响局地天气气候的物理机制。

### 参考文献

- 曹渐华,刘熙明,李国平,等,2015. 鄱阳湖地区湖陆风特征及成因分析[J]. 高原气象,34(2):426-435.
- 陈龙,智协飞,覃军,等,2016. 影响武汉市空气污染的地面环流形势及其与污染物浓度的关系[J]. 气象,42(7):819-826.
- 邓家铨,朱赛霞,郑敏,1989. 不同地形边界层风场特征性及山谷风污染气象个例分析[J]. 热带地理,9(4):346-353.
- 鞠丽霞,王勤耕,张美根,等,2003. 济南市城市热岛和山谷风环流的模拟研究[J]. 气候与环境研究,8(4):467-474.
- 孔海江,2014. 利用局地经向环流对河南一次连阴雨过程的定量诊断[J]. 气象,40(12):1481-1490.
- 雷孝恩,1994. 污染气象学[J]. 地球科学进展,9(1):71-72.
- 刘树华,刘振鑫,李炬,等,2009. 京津冀地区大气局地环流耦合效应的数值模拟[J]. 中国科学 D 辑:地球科学,39(1):88-98.
- 刘香娥,何晖,贾星灿,等,2016. 北京一次污染天气过程特征的数值模拟[J]. 气象,42(9):1096-1104.
- 邱崇践,蒲朝霞,1991. 山谷风环流控制下的大气污染物输送和扩散过程:二维数值模拟研究[J]. 高原气象,10(4):362-370.
- 孙成云,宋巧云,梁丰,等,2013. 北京自动站数据流程及业务应用情况分析[J]. 气象水文海洋仪器,30(3):98-101.
- 王瑾,张镭,王腾蛟,等,2012. 兰州附近山谷典型日环流特征对比分析[J]. 干旱气象,30(2):169-177.
- 吴庆梅,张胜军,2010. 一次雾霾天气过程的污染影响因子分析[J]. 气象与环境科学,33(1):12-16.
- 席世平,寿绍文,郑世林,等,2007. 复杂地形下山谷风的数值模拟



- [J]. 气象与环境科学, 30(3):41-44.
- 薛箐箐, 高英育, 郭建侠, 等, 2017. 探测环境变化对密云气象站地面风观测的影响[J]. 气象, 43(1):84-90.
- 杨萍, 刘伟东, 2013. 北京地区加密自动气象站数据的质量分析[J]. 气象科技进展, 3(6):27-34.
- 游春华, 蔡旭晖, 宋宇, 等, 2006. 京津地区夏季大气局地环流背景研究[J]. 北京大学学报(自然科学版), 42(6):778-783.
- 俞科爱, 胡晓, 黄旋旋, 等, 2015. 宁波区域霾过程的天气分型及环流场特征[J]. 气象, 41(12):1514-1524.
- 喻谦花, 郑士林, 吴秦, 等, 2016. 局部大暴雨形成的机理与中尺度分析[J]. 气象, 42(6):686-695.
- 张美根, 韩志伟, 雷孝恩, 2000. 地形性中尺度环流的数值模拟及验证[J]. 大气科学, 24(1):122-130.
- 张强, 吕世化, 张广庶, 2003. 山谷城市大气边界层结构及输送能力[J]. 高原气象, 22(4):346-353.
- 张人文, 范绍佳, 李颖敏, 2012. 2008年秋季从化山谷风观测研究[J]. 热带气象学报, 28(1):134-139.
- Chen Ying, Zhao Chunsheng, Zhang Qiang, et al, 2009. Aircraft study of mountain chimney effect of Beijing, China[J]. J Geophys Res, 114(D8):D08306, DOI:10.1029/2008JD010610.
- Lu Rong, Turco R P, 1995. Air pollutant transport in a coastal environment-II. Three-dimensional simulations over Los Angeles basin[J]. Atmospheric Environment, 29(13):1499-1518.
- Mannouji N, 1982. A numerical experiment on the mountain and valley winds[J]. J Meteor Soc Japan, 60(5):1085-1105.
- McNider R T, Pielke R A, 1984. Numerical simulation of slope and mountain flows[J]. J Climate Appl Meteor, 23(10):1441-1453.
- Ren Yuyu, Ren Guoyu, 2011. A remote-sensing method of selecting reference stations for evaluating urbanization effect on surface air temperature trends[J]. J Climate, 24(13):3179-3189.
- Schmidli J, Billings B, Chow F K, et al, 2011. Intercomparison of mesoscale model simulations of the daytime valley wind system[J]. Mon Wea Rev, 139(5):1389-1409.