

杭州市化工园区选址的气象环境与 评估的数值模拟研究

徐集云¹ 顾骏强¹ 陈燕² 吴润²

(1 浙江省气候中心, 杭州 350000; 2 南京大学大气科学系, 南京 210093)

摘要 城市化是国家社会发展的必然趋势, 为了在新一轮城市总体规划中能保证杭州市的大气环境质量, 优化不同空间尺度的城市规划, 协调城市发展与保护环境的关系, 本文利用一个三维非静力区域边界层数值模式, 对一些典型天气条件下杭州地区的风场和气温的空间分布特征进行模拟分析, 并以此为依据, 给出选取化工园区的位置的评估意见。模拟结果表明, 化工园区的选址宜考虑在杭州市的西南方向。

关键词 区域边界层模式 数值模拟 气象环境 工程环境影响评估与选址

引言

城市化是国家社会发展的必然趋势, 也是一个国家社会发展现代化的重要标志之一, 城市化的规模和水平体现了一个国家的综合国力。随着社会经济的发展, 我国城市化发展速度大幅度提高。现代城市化发展涉及到的首要问题是城市规划, 而城市规划的主要目标是保证城市社会、经济和环境协调一致地可持续发展, 规划出一个支撑社会经济发展战略目标的城市空间结构, 又要妥善处理城市发展中出现的各种矛盾, 保护城市居民的长远利益, 为全体居民创造一个具有现代高度文明的良好、舒适、安全的生活环境。

城市化会带来诸多的社会、环境问题, 如城市近地面风场多变复杂, 总体风速有所降低, 不利于大气污染物的输送与扩散; 城市热岛强度的增强, 范围扩大, 加大了夏季城市高温灾害; 城市热岛环流增强, 不利于污染物扩散等。

杭州市地处亚热带湿润气候区, 又处于钱塘江口, 具有良好的区域条件和优美的自然地理环境, 在其城市规划中必须定量分析杭州未来城市规划对杭州市大气环境将产生什么样的影响。

目前, 杭州市新一轮城市总体规划正紧锣密鼓的进行着, 杭州市未来城市规划对杭州市大气环境将产生什么样的影响, 如何为市民建立一个理想的城市气候和局地小气候, 为了保证杭州市大气环境质量, 又如何优化杭州市不同空间尺度的城市规划, 如何协调城市发展与保护环境的关系等都是急需回答的问题。

本研究采用一个三维非静力区域边界层数值模式 (RBLM: Regional Boundary Layer Numerical Model), 对一些典型天气条件下杭州地区风场和气温的空间分布特征进行模拟分析, 并给出关于建设化工园区的位置的评估意见。

1 数值模式简介

本文利用一个三维非静力区域边界层数值模式 (RBLM, 徐敏等^[1]) 是采用简化的大气动力方程组, 利用差分方法建立的一个区域边界层气象模式。RBLM 的基本控制方程组包括水平动量方程、垂直动量方程、位温方程、水汽、雨水、云水方程及湍流动能与湍流耗散率方程。

模式采用地形跟随坐标系。把在自然空间中曲线坐标系的不规则网格通过坐标变换转化为规则的

计算网格,并在计算空间中对模式方程组进行数值积分。模式采用 Arakawa-C 网格,大部分标量定义在格体的中央,速度分量 u 、 v 、 w 相互叉开,分别定义在格体表面中心,坐标 x 、 y 、 z 分别定义在速度分量 u 、 v 、 w 所在点上。在垂直方向使用网格拉伸方案。在上边界处,垂直速度为零,其他变量采用无梯度边界条件;在下边界处,应用无穿透边界条件,即垂直下边界的地形跟随坐标系的垂直速度等于零;在侧边界,则采用辐射边界条件。模式采用时间分裂方案,即将大的时间积分步长分为数个小的时间步长,用小时步对模式方程组中与声波有关的项进行积分,而其他项则在大时步中积分,提高运行效率。

本模式曾应用于一些地区气象与环境的数值模拟试验,取得良好效果。现进一步考虑水汽过程,较为细致地考虑下垫面特征对边界层结构的影响,引入大气的地表动量、热量和水汽通量等,参考采用 Businger^[2]和 Byun^[3]等人的计算方案,地表通量作为湍流动量扩散项、热量扩散项和水汽扩散项的下边界条件进入大气模式;并采用两层土壤-植被模式计算地表温度、土壤深层温度、地表含水量、植被含水量和土壤深层含水量。

2 数值模拟试验方案

以数值模拟分析以杭州为中心的 $100\text{ km} \times 100\text{ km}$ 范围内的气流特征和气温的空间分布。模拟区域包括安吉、德清、杭州、余杭、富阳、桐乡、萧山、绍兴和临安等地区。其东部和中部主要是平原地区,地势平坦,西北部和西南部为海拔 200 m 至 1000 m 的山地,钱塘江自西南向东北穿过模拟区域。模拟区域内有 8 个地面气象站,其中杭州气象站兼有探空站,分布详见图 1。模拟区域中心是 120.215°E ,北纬 30.226°N 。水平方向采用均匀网格,水平网格距为 2 km 。为了更好地反映低层流场特征及其变化规律,垂直方向采用不等距拉伸网格,垂直方向共分为 33 层,垂直最小格距为 10 m ,模式顶高为 6000 m 。

模拟区域内的基础信息资料,包括地形资料、土壤利用类型资料、植被类型、模拟范围内建筑物所占比例和平均高度、模拟区域中心经纬度、地面气象站的经纬度。算例所需的典型天气条件下的气象资料,包括探空观测资料、地面气象观测资料。

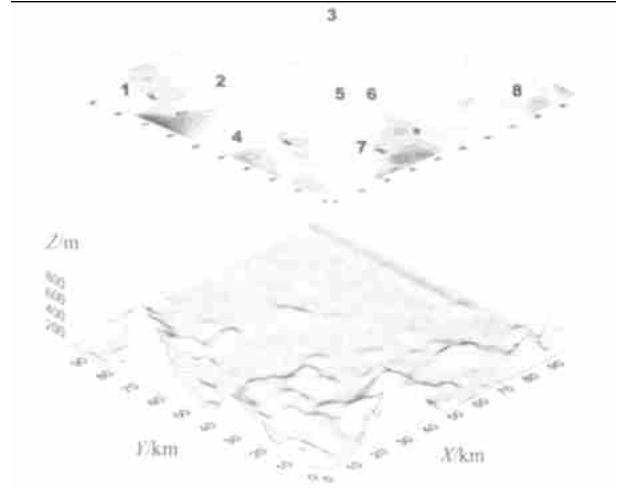


图1 模拟区域气象站位置及三维地形效果图

(1:安吉,2:德清,3:桐乡,4:临安,
5:杭州,6:萧山,7:富阳,8:绍兴)

模式计算除考虑地域热力因子,还需引入人为热源的作用。人为热源主要考虑各种工业能源消耗量、居民生活能耗以及交通能耗的分布情况。由杭州、嘉兴、湖州 1999 年的统计年鉴,利用土地面积、人口密度、人均国民生产总值、大型企业的主要能源消费量、社会机动车辆拥有量等资料进行分析估算,得到人为热源的分布情况。杭州地区的人为热源为 55 W/m^2 ,萧山地区的人为热源为 33 W/m^2 ,这些资料取自杭州、嘉兴等地政府部门发布的统计年鉴。

本项模拟计算利用 1998 年 4 月 8 日、1998 年 10 月 20 日、1999 年 1 月 6 日、1999 年 4 月 5 日、1999 年 7 月 10 日、2000 年 1 月 12 日、2000 年 1 月 26 日、2000 年 7 月 10 日、2000 年 7 月 17 日、2000 年 10 月 20 日的气象条件,应用 RBLM 进行一天 4 次,即 02:00、08:00、14:00、20:00(北京时,下同),诊断模拟。模式计算所需的三维初始场由 8 个测站的实测地面气象资料和探空站的探空资料经过质量连续风场调整客观分析后得到。

3 模拟结果与分析

3.1 算例一

1999 年 4 月 5 日是春季维持时间较短的晴好天气的代表。华北有一气旋发展,浙江省处于其底部,由河套至江淮为“L”形高压,模拟区域处于其后部的西北气流之中。

该日 02:00 的地面初始气流以西风为主,在桐

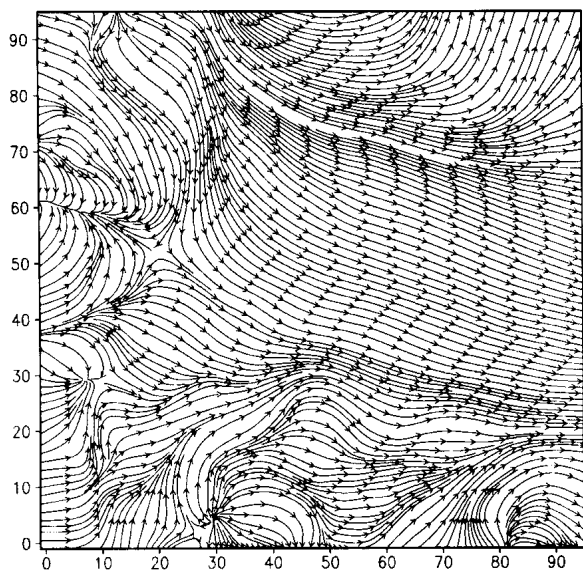


图2 1999年4月5日02:00地面流场
(横、纵轴标值为网格序号,下同)

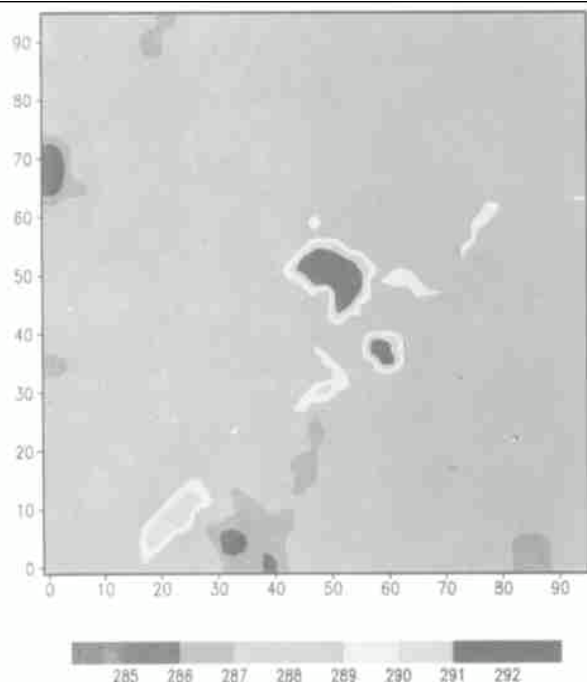


图3 1999年4月5日08:00地面气温(K)

乡则为西南气流。风速分布均匀,都在 $1.5 \sim 2.5$ m/s 之间。经过动力学诊断,其结果表明,模拟区域中心及东部的风向未发生大的变化,如杭州、萧山是西北气流,风速为 1.5 m/s ;桐乡是西南气流,风速为 1 m/s 。山区的风场发生了一定的变化,风速一般小于 1 m/s 。模拟区域西南部和西北部山区有辐合带出现,如图2所示。气温分布均匀,杭州、萧山地区

上空无明显的高温区。

08:00的地面初始气流略向南偏,为西南气流。风速沿下风向减小,在西南部山区的风速较大,中部和东南部的风速相对要小些。经过动力学诊断,其结果表明流场为西风,杭州地区风速 2 m/s 。临安处于山区辐合线的南边,为西南气流。富阳有较明显的西南绕山气流。风速由西南山区向东北平原逐渐减少。杭州上空由于受城市热岛效应的影响,在 5 m 高度处,出现了一个椭圆形的高温区,气温较周围高 2 K ,影响范围约有 $10\text{km} \times 10\text{km}$,萧山上空气温较周围高 1 K 左右,如图3所示。在 100 m 高度处,杭州和萧山上空则无明显的高温区。

14:00的地面初始气流由西部的西风向东逐渐变为西西南风,风速普遍较大。经过动力学诊断,其结果表明,在西南部为西南风,向东变为西风,风速为 $2 \sim 3$ m/s 。西北山区的辐合带向东北方向一直延伸到模拟区域中部,在该辐合带北面则是较大范围的西北气流。该辐合带中风速为 1 m/s 。西南部有绕山气流,对应风速较大,为 4 m/s (图略)。

20:00的地面初始风向是西西北,风速由西部山区的 7 m/s ,向东部平原地区逐步减小到 3 m/s 。通过动力学诊断,其结果表明气流基本保持了西西北方向。风速分布发生了一些变化,在山区的风速较大,安吉、富阳、临安的风速较小。杭州地区是西北气流,风速是 3 m/s 。

综合模拟结果可见,该日地面以偏西气流为主,在模拟区域西北部、西南部山区有不同程度的辐合辐散。在08:00时,杭州和萧山地区出现了较明显的城市热岛现象,其它时刻则无明显城市热岛现象。

3.2 算例二

2000年7月17日是典型的夏季副高控制之下的晴好天气。此时西伸的西太平洋副高位于浙江省上空,气压骤升,夏季副高的控制由此开始。

该日02:00的地面初始风向是东南风,平原地区风速为 2 m/s 左右,山区风速为 4 m/s 左右。经过动力学诊断,其结果表明,模拟区域东北部和中部仍然是平整的东南气流,模拟区域西南部和西北部受地形影响出现了较明显的局地扰动。杭州地区为东南风,风速为 2 m/s 。在西南山区的迎风面,出现了一条弱辐合带,同时有明显的绕流。西北山区有一较强的辐散带,临安和安吉位于其两侧,在它的影响下,分别为西北气流和东南气流。同时,这个辐散带

北侧的西南气流和模拟区域中部的东南气流在德清汇合,形成了一弱辐合带,德清在其影响下,为南风,如图 4 所示。风速在山区较小,一般为 1 m/s 左右,而在东北部和中部较大,在 2 ~ 3 m/s 之间。300 m 高空的气流分布(图略)和地面气流相比,模拟区域为平整的东南气流,地形引起的局地扰动在 300 m 高空已不明显。如安吉、德清、临安、富阳等地区,其地面流场受地形的影响,有明显的局地扰动,而在 300 m 高空,这 4 个地区均为西南风。

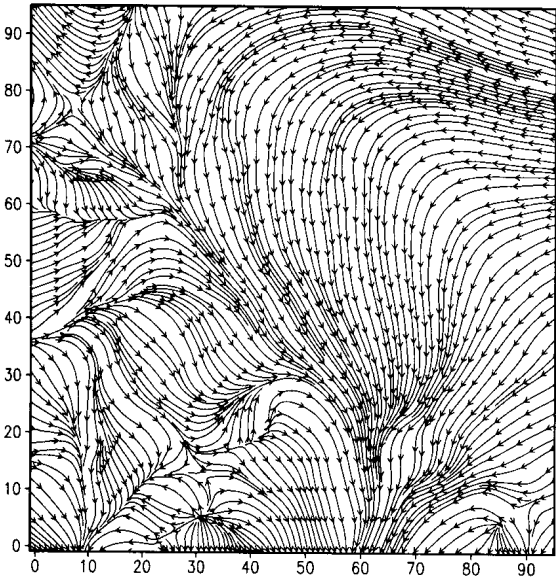


图 4 2000 年 7 月 17 日 02:00 地面流场

08:00 的地面初始气流在模拟区域东部和中部是东南气流,在西部是南东南气流。除山区外,风速在 2.5 ~ 3.5 m/s 之间。经过动力学诊断,其结果表明,大部分模拟区域的风向未变,是东南气流,在模拟区域的西北山区出现了南风气流,有不太明显的绕山气流(图略)。风速的分布基本不变,在 2 ~ 2.5 m/s 之间。杭州地区是南东南气流,风速为 2 m/s。在副热带高压的控制下,城市热岛现象十分明显。杭州地区 5 m 上空气温较周围地区高 5 K,影响范围约为 15 km × 15 km,萧山上空气温高 2 K(图略)。在 100 m 的高度,杭州上空同样存在高温区,气温较周围其它地区高 2 K 左右,如图 5 所示。

14:00 的地面初始气流是偏南风,在模拟区域中部风速较小,周围较大。动力学诊断结果表明,风向发生了一定的偏转,在模拟区域南部是西南气流,向北则逐渐变为南东南气流。西南部山区有一较强

的辐合带,并向东北方向延伸。西北部山区出现了较弱的绕山气流(图略)。在模拟区域中部和东部风速较小,约在 1 ~ 2 m/s 之间。杭州市上空气温比周围高,但和 08:00 相比,强度要弱,仅高出 1.5 K,且影响范围要小,萧山市上空气温比周围仅高出 0.5 K。在 100 m 高度,几乎看不出明显的高温区。

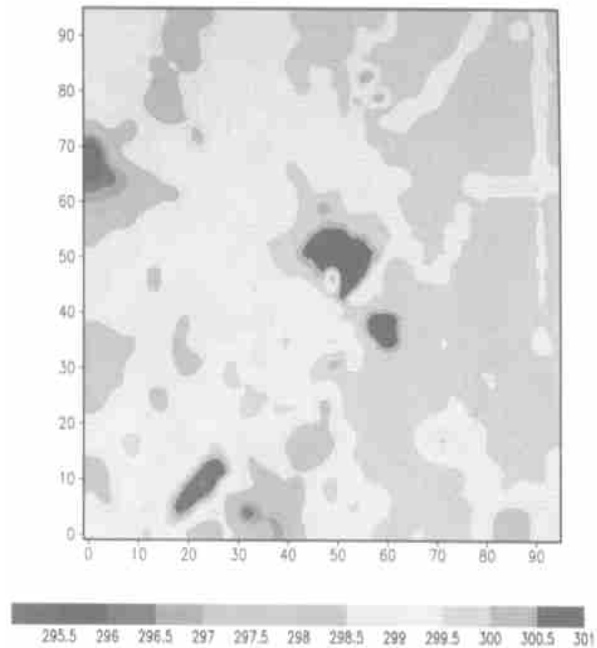


图 5 2000 年 7 月 17 日 08:00 100 m 气温(K)

20:00 的地面初始流场和 14:00 基本一样,为偏南气流。通过动力学诊断,其结果表明,大部分区域为南西南气流,安吉地区为小范围的西北气流。风速由西北部的 1 m/s 向东南部逐渐增大到 4 m/s。此时城市热岛现象较弱,杭州上空 5 m 高度处气温比周围地区高 0.5 K,萧山地区气温则和周围相等。

综合诊断分析结果可见,该日地面以偏南气流为主,02:00、08:00 为东南气流,14:00、20:00 为西南气流。风速为 2 m/s 左右。杭州和萧山地区,在早晨 08:00,出现了较明显的城市热岛现象,14:00 也出现了城市热岛现象,但没有 08:00 强,而其它时刻则无明显的城市热岛现象。

3.3 算例三

1998 年 10 月 20 日是秋季典型的晴好天气形势。大陆高压中心位于河套地区,其中心为 1025 hPa,模拟区域则处于稳定的大陆高压下沉气流中。

02:00 地面初始风主要是北风,在临安和杭州

之间有一个小风带,风速为 0.5 m/s 。经过动力学诊断,其结果表明,大部分区域为北西北风,风速为 $1.2\sim 2.1\text{ m/s}$ 。在模拟区域西北部山区出现了一条辐散带,在它的影响下,安吉出现了较弱的西南气流,临安出现了较弱的东北气流,风速都在 0.5 m/s 左右。富阳则有绕山气流出现。

08:00 地面初始风以西西北气流为主,气流较平整。经过动力学诊断,风向基本不变,大部分区域为偏西气流。风速比 02:00 略有增大,除山区外,风速一般为 $1.5\sim 2.1\text{ m/s}$ 。此时出现了较明显的城市热岛现象,杭州上空气温比周围要高 1.5 K ,范围约为 $10\text{ km}\times 10\text{ km}$ (图略)。

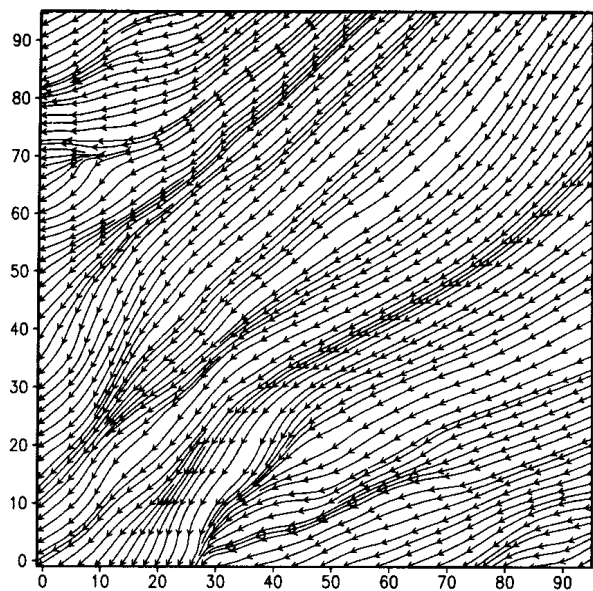


图6 1998年10月20日14:00地面流场

14:00 的初始地面流场与 08:00 相比,发生了转向,由西西北气流转向为东北气流。风速较大,桐乡地区风速为 2 m/s ,杭州、萧山、绍兴风速为 4 m/s 。经过动力学诊断的结果表明,整个区域气流场不变,为东北气流,如图6所示。300 m 高空流场形势基本和地面一样,为东北气流,几乎无明显波动。富阳地区的地面流场受地形影响,有局地小范围的绕山气流,为东北风,在 300 m 高空,则无明显的绕山气流,为平整的南东南风。

20:00 的地面流场形式和 14:00 类似,初始场和动力学诊断后都是东北气流。杭州地区是东北风,风速 2 m/s 。在德清、临安出现的较弱的绕山气流,且风速较其它地区要小,约在 $0.5\sim 1.0\text{ m/s}$ 左

右。综合诊断分析结果可见,该日地面 02:00、08:00 以西西北气流为主,14:00、20:00 以东北气流为主。风速在山区较小,一般小于 1 m/s ,其它地区风速在 2 m/s 左右。杭州地区在 08:00 出现了较明显的城市热岛现象,其它时刻则无明显热岛现象。

3.4 算例四

1999 年 1 月 6 日是一个冬季较典型的高空西北气流控制之下的连续晴天过程。此时浙江省处于 1056 hPa 的蒙古大陆高压前部和东亚大槽后部的西北气流之中,系统相对稳定,以下沉气流为主。

02:00 的地面初始风向是偏西气流,在模拟区域中部风速较小。动力学诊断结果表明,在模拟区域中部和东部以西北气流为主,风速在 1.5 m/s 左右。在模拟区域西北和西南部,受地形的影响,风速变小,一般为 0.6 m/s 。杭州地区是西北风,风速 2 m/s 。气温分布均匀。

08:00 的地面初始时刻以偏西气流为主导,大范围风速较低,安吉、杭州、绍兴、桐乡这 4 个地面观测站出现了静风的情况。动力学诊断结果表明,大部分地区的流场未变,仍是偏西气流,在山区出现了一定的波动,风速一般小于 1 m/s 左右。在杭州上空出现了高温区,比周围地区高 2 K ,高温区形状、影响范围和 1999 年 4 月 5 日 08:00 时基本类似。

14:00 的地面初始风场以北西北气流为主,大范围风速较大,一般为 $2.5\sim 4\text{ m/s}$ 。动力学诊断结果表明,流场为平整的北风气流,风速为 $3.5\sim 5.5\text{ m/s}$ 。在较大风速的情况下,地形对流场的机械作用很弱,流场几乎看不出地形的影响。气温的分布在东北和西北处较低,在西南处则较高。杭州、萧山上空的气温较周围略高 0.5 K ,且影响范围也较 08:00 要小。

20:00 的地面初始风场和 14:00 基本一样,是北西北气流,风速较 14:00 要大。经过动力学诊断,北部地区除山区外,是西北气流,向南部则逐渐变为北风,且出现了一定范围的绕山气流,如图7所示。杭州地区是北风,风速为 3.5 m/s ,气温较周围高 1 K 左右。高空流场形势基本和地面一样,在模拟区域的北部为西北气流,向南逐渐变为北西北气流,在整个模拟区域内,气流较平整。

综合诊断分析结果可见,该日地面以偏西气流为主,02:00 为西北气流,08:00 为偏西气流,14:00 转换为北风,20:00 则以北西北气流为主。02:00 和

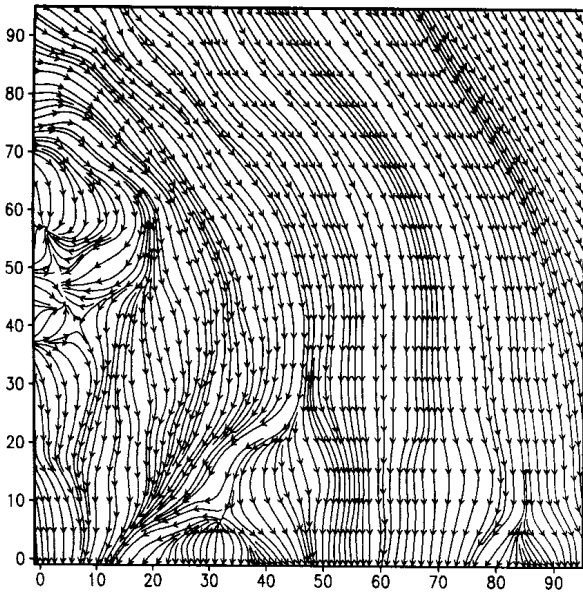


图7 1999年1月6日20:00地面流场

08:00 风速较小,一般为 $1.5 \sim 2 \text{ m/s}$,14:00 和20:00 风速增大,一般为 $3 \sim 5 \text{ m/s}$ 。杭州地区在 08:00 出现了较明显的城市热岛现象,14:00 的热岛强度变弱,其它时刻则无明显热岛现象。

3.5 模拟区域气流场特征及变化规律

由10个算例,一天4次的模拟分析总结出模拟区域气流场特征及变化规律:

在春季、冬季和秋季,模拟区域内地面以偏西和偏北气流为主。在40个模拟个例中,偏西和偏北气流共出现了30次,占75%。具体说来,西北风出现了15次,占37.5%;西风出现了7次,占17.5%;偏北气流出现了8次,占20%。在夏季,模拟区域内地面以偏东和偏南气流为主。在40个个例中,偏东和偏南气流共出现了7次,占17.5%。其中,东风出现了3次,占7.5%;南风出现了4次,占10%。特别值得注意的是,虽然在40个个例中,偏东和偏南气流所占的比例不太大,但这是夏季副高控制之下的典型情况。同时在梅雨季节,也易出现该种气流。

一般来说,模拟区域内的高空流场形势(以300 m高度为例)基本和地面流场一致,由于地形所引起的绕流、爬越、辐合、辐散等局地效应在高空不明显,高空流场较平整,无明显的局地波动。

在模拟区域的西北部和西南部山区,由于地形的阻碍作用,易出现辐合辐散带、小风区、绕山气流等地形支配的气流特征,且会发生一定程度的风向

转变。尤其当地面气流为西北气流或西风气流时,西北部山区和西南部山区一般会出现很明显的小风区,如安吉、临安、德清的风速一般都较小。伴随着小风区,低层的流场较复杂。

此外,海陆风和山谷风是中尺度系统常见的环流现象。杭州地区向东约100 km即为杭州湾,安吉、临安向西还有较大范围的天目山区。杭州地区在一定的程度上还可能会受到局地海陆风和山谷风环流的影响,需作进一步的模拟研究。本项研究模拟区域不包括杭州湾,仅在西北部和西南部包括较小范围的天目山区,所以在我们的模拟结果中未能涉及海陆风和山谷风对杭州地区的影响。

4 结论与讨论

从气流分布规律的分析角度,杭州化工园区的选址宜考虑在杭州市的西南方向,此处为常年多见风向的下风方向,化工园区产生的可能污染对杭州市区较小。值得注意的是,该地区有一定范围的山地地形,由于地形的阻碍作用,易出现辐合辐散带、小风区、绕山气流,低层的流场较复杂,局地产生的污染在小风情况下不易扩散出去,易对化工厂周围地区产生局地污染。

杭州地区存在较明显的城市热岛现象。城市热岛对局地风场会产生一定的影响,一般在城市上空形成局地闭合环流。热岛环流的发生,有可能使市区受到多次污染,因为气流在下沉过程中,从城区输送出去的污染物随着气流运回到近地层,然后由流向市区的空气携带,再次进入市区,并在市中心(热岛中心)处辐合,加大地面浓度,而上升气流又将污染物带到空中向四周辐散。考虑到热岛环流对城市污染的影响,化工园区要尽量远离杭州市,以免在热岛环流的影响下对杭州市造成多次污染。

参考文献

- 1 徐敏,蒋维楣,季崇萍,等. 北京地区气象环境数值实验. 应用气象学报,2002,13(特刊):61-68
- 2 Businger J A, Wyngaard J C, Izumi Y, et al. Flux-profile relationships in the atmospheric surface layer. *Journal of Atmospheric Science*, 1971, 28: 181-189
- 3 Byun D W. On the analytical solutions of flux-profile relationships for the atmospheric surface layer. *Journal of Applied Meteorology*, 1990, 29: 652-657

(下转第344页)

Numerical Simulation of Meteorological Environment and Its Evaluation in Hangzhou for Location Selecting of Chemical Industry Area

Xu Jiyun¹ Gu Junqiang¹ Chen Yan² Wu Jian²

(1 Climate Center of Zhejiang , Hangzhou 350000 , China ; 2 Department of Atmospheric Science ,
Nanjing University , Nanjing 210093 , China)

Abstract : A 3- D non-hydrostatic Regional Boundary Layer Model (RBL M) is used to simulate the spatial wind and temperature distributions over Hangzhou under typical meteorological conditions . Based on these simulation results , an evaluation is made for the location selecting of the chemical industry area . It is suggested that chemical industry plants should be built in the direction of southwest to Hangzhou City .

Key words : RBL M , numerical simulation , meteorological environment , location selecting , chemical plant