

沈阳城市边界层气候的若干特征*

韩 玺 山

(辽宁省气象科学研究所, 沈阳)

关键词 边界层 泡状结构 声雷达

在城市气候学的研究中,城市边界层的研究占有重要地位。因为在城市中边界层受到城市下垫面性质、粗糙度、人为热释放量及功能分区等因素的影响,致使城市风场、温度场发生一系列复杂的变化。

本文就沈阳城市边界层中温度垂直结构、热岛环流及热岛混合层等边界层气候特征进行论述。对首次发现在城市边界层中存在的 SO_2 泡状结构、 SO_2 穿透逆温层、螺旋烟团等进行初步分析。并根据在沈阳大量野外观测资料及分析绘出城市边界层的物理模型。

一、沈阳城市边界层温度垂直结构

对于城市热岛的水平分布特征,国内外论述的较多,但对城市边界层温度的垂直结构研究的则较少。特别是在我国对一个重工业城市进行大规模的观测更为少见。我们于1984年2、8、12月在沈阳分别对 164km^2 城乡进行了较为全面的系统观测,这对城市热岛结构、热岛环流及城市边界层的分析是非常有益的。

1. 逆温层顶的分布

在夏季我们设了8部声雷达探测市区的逆温层变化¹⁾。重点分析了在主导风向SW时,全市逆温的分布。此时位于上风向的36中学和滑翔机场两点的逆温层顶为100m,而处于下风向的实验中学、冶金技校高度在150—190m,分别比上风向各站高50—90m。而位于市中心的医大为200多米,这样就形成了一个典型的城市热岛型的逆温空间结构—圆穹形场,即抛物面型。有时也形成倒抛物面型逆温,形成的原因尚待探讨。从逆温层顶的逐时变化看出倒抛物面型逆温一般在逆温层生成阶段出现,随着逆温的发展到21时以后多发生抛物面型逆温(图1)。

另外从位于市中心NE方的新光机械厂逆温层顶的逐时变化看出下风向站的逆温层顶在02—04时最高可达450m,然后出现骤降。此曲线具有缓升突降的特点。在傍晚逆温层顶在70m与用声雷达探测的下风向站的值基本一致,这是受城市热羽作用的结果。

2. 逆温层底结构

城乡温度层结比较 城市逆温在离地面一定高度形成,而下面有一个人为热释放形成的混合层。因而城市多悬浮逆温,城市近邻多贴地逆温。从观测得知郊区逆温厚度较薄但强度大,而城市大约有80m的热岛混合层。形成上述特点的直接原因主要是城市热

* 参加本职工作的还有刘万军、宫福久等。周淑贞先生、朱瑞兆先生、郑景春同志给予大量帮助,深表谢意。

1) 韩玺山等:用声雷达布阵探测城市逆温层的变化规律,1986年。

力因子的影响，因城市低层存在大量的人工热源而且空中存在较多的污染物，这些污染物能吸收地面的长波辐射，并以长波逆辐射的形式向地面输送热量，从而减少城市夜间的热量损失，因此城市气温总高于郊区（图2）。

逆温层底的变化 用声雷达布阵探测得知上风向的郊区逆温从地面直接形成。而市中心夏季要从50m，冬季要从80—100m生成逆温。处于下风站的逆温层底要比上风站的底要高，但比市中心要低，形成这一现象的原因是城市热羽尾流的影响。

二、沈阳地区热岛环流及热岛混合层

1. 热岛环流

由于城市热力因子和动力因子的影响，不仅温度层结市区有别于郊区，而且风场垂直结构也有明显不同。从城市上空的温度、风廓线看出，城市上空的逆温层结阻碍了高空动量下传，在热混合层顶部的逆温层上形成了较大的风层，风随时间的变化见表1。

城市上空第一个较大风速层出现的高度在300m左右。平稳天气加速了城市热岛的发展，不仅水平方向存在着向市中心的辐合气流，而且垂直方向也存在着垂直向的热岛环流¹⁾。图3给出了垂直向的热岛环流剖面。垂直热岛环流的转向高度大约在250—300m。50m高度的辐合量级为 $-4 \times 10^{-4} \text{秒}^{-1}$ 。

我们在1984年8月11日12时58分放出一等容球，在Y轴方向只移动为1000m就突然上升到达了700m，而后又下沉几乎接近地面，然后再次升起，这种现象在这日

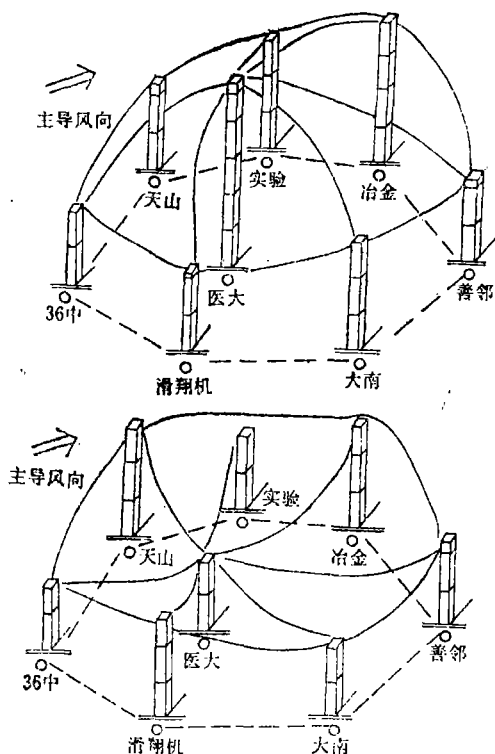


图1 声雷达布阵观测逆温结构

上图时间1984年8月20日，04h，下图为1984年8月11日，21h

Fig.1 Inversion structure obtained in matrix observation by means of sound radar

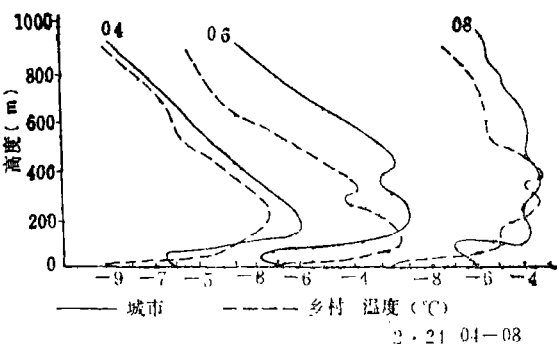


图2 城市乡村清晨温度廓线比较

1984年2月24日，04—08h

Fig.2 Comparison of temperature profile between city and village in the early morning

1) 刘万军等：沈阳地区热岛及热岛环流的分析，辽宁气象科研，1986年。

多次发生(图4)。

亥斯(Hass)于1967年中午时利用等容气球经过纽约市曼哈顿区所观测到的升降轨迹与沈阳很相似。当时在300m到800m高度的低空气温层结是不稳定的。当等容气球经过市区高层建筑气球突然上升到800m高度,而当其经过郊区胡德森河时有明显下沉气流。亥斯指出:在市区强烈增热的热岛中心好象焚化炉中喷出的烟一样,它能使一个气球升高几百米,

表1 较大风层出现高度及风速

Table 1 The height and speed of larger wind layer

时间(h)	较大风速 (m/s)	出现高度 (m)
20	6.6	316
22	4.6	325
24	5.2	250
02	5.0	250
04	5.0	266
06	4.5	300

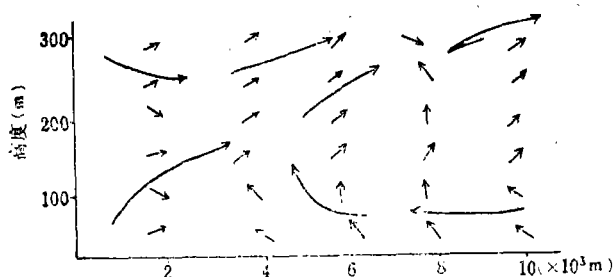


图3 热岛环流剖面

1984年12月19日, 10h

Fig.3 Profile of heat island circulation

这种热岛上升气流对城市气候影响很大。

2. 热岛混合层

城市热岛混合层的生消是随第一层逆温的演变而变化。现绘出市中心某点温度廓线的连续变化,可看出从傍晚到清晨一直存在热混合层,随时间而变化,一直抬升到100m。从全年看冬季比夏季明显,热岛混合层在冬季除维持时间长外,高度也高(图5)。

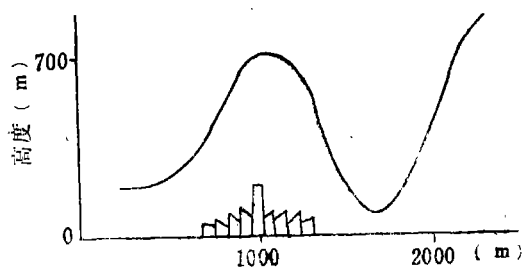


图4 等容球轨迹

1984年8月11日, 12时58分

Fig.4 The isovolume global locus

三、沈阳地区大气边界层中污染物分布特征

沈阳在对热岛垂直结构、热岛环流及热岛混合层分析基础上,又发现在主要污染物垂直浓度的分布上有下面几点突出事实:

1. 主要污染物在空中成泡状结构

在对空中污染物的航测中发现,在城市边界层的作用下城市污染物¹⁾在空中呈泡状

1) 辽宁省环保所: 沈阳地区大气污染航测研究, 1985年,

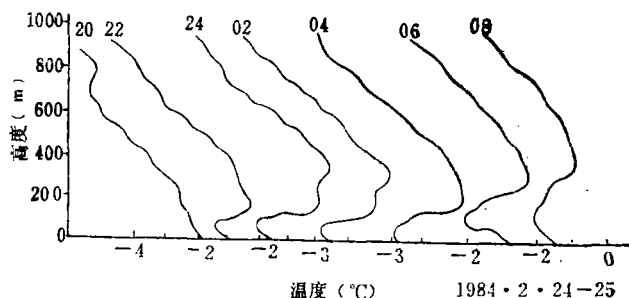


图5 热岛混合层随时间变化

1984年2月24—25日

Fig.5 The variance of the mixture layer of heat island with time

结构。这个泡随着逆温层的生消而变化,当逆温层在市中心某一高度生成时,它的下面就是泡状物的顶部图6、7。

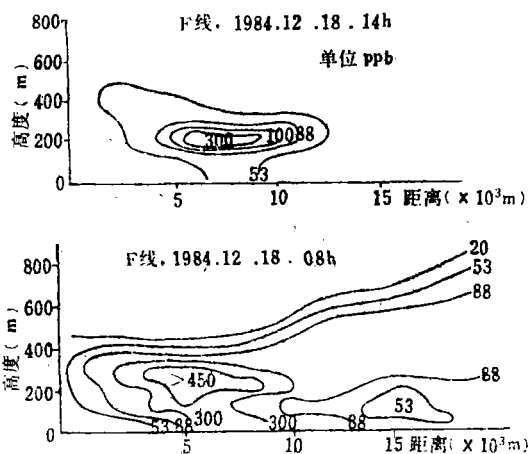
两个图证明了热岛混合层顶抑制了湍流的发展,使污染物在逆温层下面累积堆积,由于地面由郊区不断继续向市区辐合,这样就形成了泡状烟团。随着逆温层的逐渐抬高、混合层也在发展,泡状烟团也随着向外界膨胀,一旦逆温层消失,混合层整个占领了空域,那么泡状结构即刻破坏成通道式向上扩散,我们把它叫无形烟道或无形高架源。也正是这些无形高架源才把人们成年累月排放的污染物质输送到广大空间。

2. SO_2 穿透逆温层的分析

SO_2 穿透逆温层的个例: 过去在边界层的研究中,有关的扩散理论都是在假定污染物不能穿透逆温层,而在逆温层底大量堆积的情况下进行模拟计算的。这次发现 SO_2 在冬季不但在逆温层里面呈均匀分布而且还能穿透逆温层,这类例子在此次观测中并不罕见图 8。

现以1984年12月18日早08时10分至08时50分为例,航测飞行 F线,即从于洪区横穿铁西工业区、和平区一直到浑河结束,这次飞行观测了日出后逆温层开始抬升阶段的垂直浓度变化。此时市中心及郊区都有两层逆温,市中心第一层在100m,第二层在300—400m,而郊区相应抬高些。垂直浓度市中心从第一层的顶到第二层顶浓度都在450ppb,而郊区浓度最高值主要集中在第二层的底和顶其值为300—350ppb,在200m高度以下浓度只有100ppb。在逆温层以上 SO_2 的浓度还是3级标准的2—3倍。

分析: 为了证实这一结论的成立,我们从污染源、风场、温度场、航测照片及热对流混合层的高度变化等方面来分析。

图6 F线 SO_2 垂直浓度剖面

上图1984年12月18日, 14h

下图1984年12月18日, 08h

Fig.6 Profile of vertical concentrations of F-line SO_2

污染源经普查全市共有70m以上烟囱占全市总数的0.1%。全市年排硫量 $9.2 \times 10^4 \text{t}$ ，而冶炼厂两根110m烟囱排硫只占 $1.7 \times 10^4 \text{t}$ ，发电厂新建的210m高架源未投产。故高架源直穿逆温层的可能性应排出。

风场：从12月27日08时及19日10时的风场剖面图看出（图9），在全市区低空50m内由于城市热岛混合层的存在致使污染物在此层汇集。但到了市内即和平大街一带主要汇集在100—150m上空，这时经计算在市区从100m到500m这一层内多辐合区，即有大量的污染物随着上升气流被输送到高空。在08—10点随着逆温层的抬升，在250—300m处形成了一个SE向的水平输送带（19日流场图见图3）。

3. 螺旋状烟团的发现

从航测照片上发现，在早晨存在逆温时，高架源烟道成带状向下风向拉长可延伸到几至十几公里。这就证明在这种气象条件下高架烟气抬升的可能性很小。另又发现烟团成螺旋性扰动，并有一定的方向性。螺旋性烟团的发现对泡状污染烟云学说也是一有力证明。

综上所述笔者认为烟团本身在受一种爆发性湍流的影响，可在某一瞬间冲破逆温层顶向高空输送。

四、沈阳地区城市大气边界层的物理模型

为了能对沈阳城市大气边界层有一直观了解，笔者根据观测资料经分析绘出城市大气边界层物理模型。图10a为逆温层形成初期，因为沈阳地区在长白小高压控制下常出现一种固有的地方环流型，这时沈阳周围的气流由地面向中心辐合，在辐合气流影响下市中心才是垂直输送的主要通道。图10b随着逆温层抬升，污染物都向上汇集使泡状烟云不断在积累扩大。图10c随着逆温层的继续抬升，厚度也在变薄，这时烟团的动力作用，可形成爆发湍流，突破逆温层间隙，垂直向上扩散。因沈阳在400—500m高度有一向E的风带，至使突出来的烟雾随风向E漂散故形成烟羽状。

根据沈阳大规模观测资料，初步推定出城市大气边界层的三条线（图11）。100m线为城市大气边界层下界，它是依着城市热岛混合层顶的高度决定的，此高度有年变

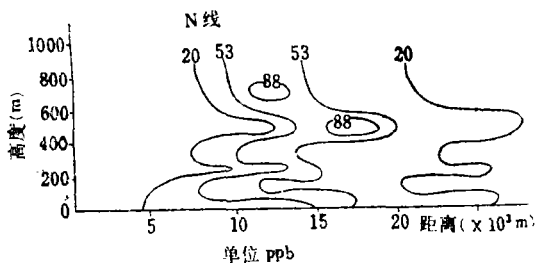


图7 N线SO₂垂直浓度剖面
Fig.7 Profile of vertical concentration of N-line SO₂

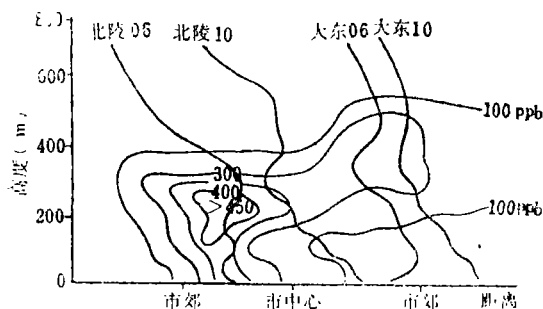
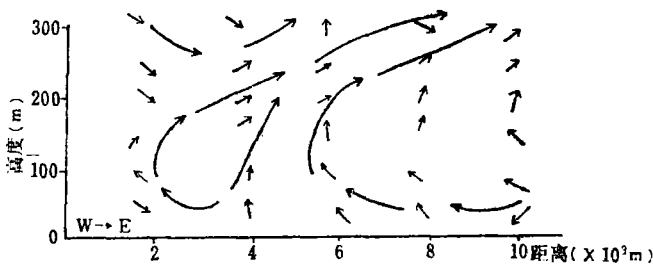


图8 SO₂垂直浓度与温度廓线比较
Fig.8 The vertical concentrations and temperature of SO₂

表2 全市烟囱数量

Table 2 The statistics of chimneys in the whole city

高度(m)	>200	100	70	20—50	<20
数量(%)		0.1		37.0	62.9



9 热岛环流剖面
1984年12月27日, 08h
Fig. 9 Profile of heat island circulation

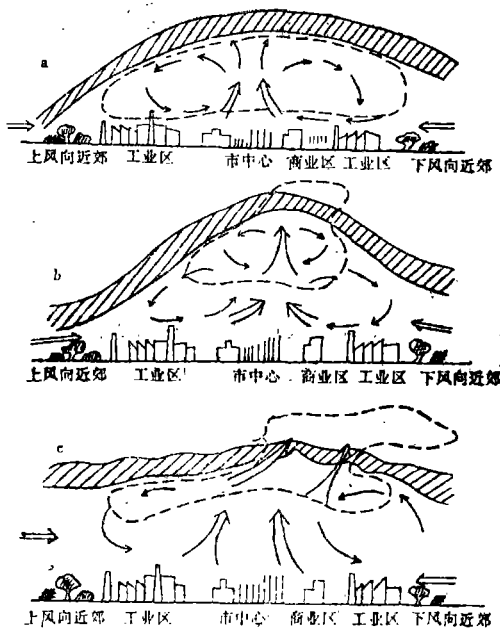


图10 城乡逆温层及热对流混合层模型
Fig. 10 Model of both the inversion layer in city and village, and the mixture thermal convection layer

化，冬季，在80—120m，夏季50—80m，全年平均约100m。500—700m线是根据航测得到的浓度垂直变化而定的，因工业区、居民区及郊区SO₂浓度在逆温消失后在500—700m都趋于零。1600m线根据风场的垂直结构分析得出在这一高度已不受城市下垫面、人为热释放等因素影响，基本与大气边界层相同。

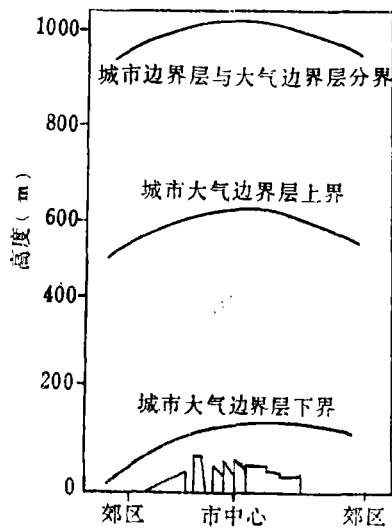


图11 城市大气边界层分界

Fig.11 The dividing line in the atmospheric boundary layer

五、结 语

1. 用声雷达布阵探测城市边界层是可行的。城市抛物面型逆温的发现及时间演变对城市边界层更有了新的认识。
2. 城市边界层中污染物的泡状结构及其演变更加证明大气边界层受城市下垫面、人为热释放及功能分区影响有关。
3. 污染物穿透逆温层的突破点在城市热岛中心的下风方。
4. 螺旋状烟团的发现证明了城市边界层的上界面具有较强的扰动力。
5. 沈阳城市大气边界层的最大输送高度为500—600m, 方向为SE、NE向。

参 考 文 献

- [1] 周淑贞等:《城市气候学导论》, 华东师范大学出版社, 1985。
- [2] 中央气象局研究所编:《全国应用气候会议论文集》, 科学出版社, 1977。
- [3] 韩玺山等:沈阳地区空气污染对太阳辐射的影响,《环境科学》, 1(6), 1980, 9—13。
- [4] 林之光、张家诚:《中国的气候》, 陕西人民出版社, 1985。

SOME CLIMATIC CHARACTERISTICS OF URBAN BOUNDARY LAYER IN SHENYANG

Han Xishan

(*Institute of Meteorology, Liaoning Province, Shenyang*)

Key words: *Boundary layer; Bubble structure; Sound radar*

ABSTRACT

This paper discusses some climatic characteristics of the vertical structure of temperature field, heat island circulation and heat island mixture layer in the urban boundary layer in Shenyang.

The bubble structure of SO_2 , the penetrating inversion layer of SO_2 , and spiral smoke mass are analyzed. The model of an urban boundary layer is plotted based on a large amount of observed data in Shenyang and analytical results. Finally, five conclusions are given.

三江平原自然条件与农业综合开发的研究

刘兴土

(中国科学院长春地理研究所)

地理科学 8(3), P201, 参31, 1988.

长春地理所自1958年建所以来,一直把三江平原作为主要研究区域,研究内容包括:平原的形成演化和自然地理条件;沼泽的类型、成因、特性和利用保护;应用遥感技术和地面调查结合,编制资源图件,分析各类农业自然区域的数量、类型、分布、质量及其开发利用;区域农业综合开发的若干建议等。其成果丰富发展了有关地理分支的学科理论,为国家经济发展战略决策和地理学制定总体开发规划提供了科学依据。

* * *

广州市城区零售商业企业区位布局的探讨

吴郁文 谢彬

(华南师范大学地理系)

地理科学 8(3), P208, 图5, 表2, 参5, 1988

本文探讨了经济中心商业企业区位选择的要求,分析了广州市区商业布局的区位特征及形成原因,并对进一步改善商业布局提出意见。

* * *

沈阳城市边界层气候的若干特征

韩玺山

(辽宁省气象科学研究所)

地理科学 8(3), P218, 图11, 表2, 参4, 1988

本文主要就沈阳城市边界层的温度垂直结构、热岛环流等进行气候分析。并对首次发现的污染物的泡状结构,穿透逆温层及螺旋烟团进行探讨。最后笔者根据大量野外观测资料绘出了城市边界层的模型。

* * *

黄土中的有机质

刁桂仪 文启忠

(中国科学院地球化学研究所, 贵阳)

地理科学 8(3), P226, 图3, 表3, 参8, 1988

据110块样品的分析结果,黄河中游黄土的有机质含量范围是0.179—0.883%,平均值为0.39%,频率分布主要集中在0.200—0.600%范围。区域上的分布,由西北向东南含量增加。剖面上的分布随深度的增加而降低。黄土层和黄土壤层的有机质在埋藏过程中都有被“丢失”的现象,而这一现象可能主要发生在距今约80万年前。

* * *

试论新疆农业国土开发的若干基本原则

李久成

(新疆大学地理系)

地理科学 8(3), P232, 表2, 参3, 1988

本文从新疆特殊干旱区大农业生产环境问题研究出发,提出干旱区农业国土开发中若干具有普遍意义的基本原则问题。

* * *

三江平原12000年以来植物群发展和气候变化的初步研究

夏玉梅

(中国科学院长春地理研究所)

地理科学 8(3), P240, 图8, 表1, 参5, 1988

在三江平原六个泥炭剖面孢粉分析和¹⁴C测年数据基础上,提出勤得利和抚远创业泥炭剖面是该区全新世泥炭沉积的标准剖面。划分五个孢粉组合带。12000年以来木本植物群和气候变化经历四个发展阶段,其中8000—5000年是最佳气候期。泥炭发育北部早于南部。

* * *