

# 地球上的人工气候岛和大气污染源

## ——天气与城市水问题

林之光

(中国气象科学研究院,北京 100081)

### 提 要

文章探讨了城市对气温等气象要素的影响规律。指出了城市气候是个异于周围农村气候的人工气候岛。例如城市热岛(气温),雨岛(降水量),干岛(相对湿度)等。特殊的城市条件会给城市造成灾害,例如高温灾害,城市洪灾,城市风灾,酸雨,酸雾,光化学烟雾等。城市还有它自己特有的气象现象,如城市热岛环流(乡村风)。城市是地球上的主要大气污染源,在这个人工污染岛中居住,对居民的健康是不利的。

**关键词:** 城市 人工气候岛 大气污染

### 前 言

1950 年全世界人口只有 25 亿,其中约 1/3 住在城镇。但 2000 年世界人口预计要增加到 62 亿,且其中一半居住在城市里。到 2025 年这个比例预计还将由 50% 增加到 80%。城市中人口密集,工业发达,能耗巨大,绿地极少。城市化的迅速发展,使城市中大气环境严重污染,水文、气象条件发生改变,形成多种世界环境公害,以至南极臭氧洞和大气温室效应。世界气象组织秘书长奥巴西在庆祝 1997 世界气象日的文件中指出,鉴于城市人口的迅速增长,对我们地球的环境和有限资源的巨大压力,提出“城市中的天气和水”作为 1997 年世界气象日的主题,“确实是十分及时和适宜的”。

### 1 城市热岛与高温灾害

城市所发出的巨大热量,使得城区好比在冷凉郊区农村包围中的温暖岛屿,因此称为“城市热岛”。我国曾观测到的最大热岛强度(城乡温差),上海为 6.8℃(1979 年 11 月 13 日 20 时),北京 9.0℃(1966 年 2 月 22 日最低气温)。但世界上热岛最强的是中高纬度

的大城市,如加拿大温哥华 11℃(1972 年 7 月 4 日),德国柏林 13.3℃,位于北极圈附近的阿拉斯加费尔班克斯 14℃。

城市人为热量的组成,据对美国若干大城市的调查估计,来自工厂,家庭炉灶,冷气、采暖等固定热源约占 3/4,而汽车,摩托等移动热源约占 1/4。人体家畜新陈代谢热量一般仅占约 1%。

城市热岛强度与纬度有关。由于人为热与城市的辐射热量余额(太阳短波辐射热量收入与地球长波辐射热量支出之差)的比值,从赤道向高纬度增加,因而是随纬度升高而增强的。

在一年四季之中,太阳辐射热量以冬季最少,辐射热量余额冬季甚至为负,加上冬季中取暖热量最多,因此热岛效应以冬季最强。同样道理,一天之中热岛以夜间比白天为强。但是,在中高纬度城市的冬季情况就完全不同,因为城市还有早晚两个取暖时段的额外人为热。例如加拿大卡尔加里市在早 08 时附近和晚 20 时附近有两个煤气消耗高峰(取暖),从而城市热岛在 09 时和 21 时前后各出

现一个强变高峰。据报导北京冬季取暖期间城乡温差也有类似规律。此外,城乡温差还有周变化,这是因为有不少国家统一规定星期日为休息日,绝大多数工厂停工,机动车流量也比平时少得多。例如美国马里兰州巴尔的摩市冬季里星期一至五城乡温差平均为 $0.82^{\circ}\text{C}$ ,而星期六、日平均仅为 $0.30^{\circ}\text{C}$ 。

但是,人为热量并不是城市热岛的唯一热源,例如城乡吸收和储存太阳热量性能还有差异。即城市下垫面阳光热量的反射率比乡村小(一般小 $10\%—30\%$ ),而且城市下垫面的混凝土、砖瓦石料及钢材等热容量大,导热率也高(导热率约大3倍,热容量约大 $1/3$ ),大量储存了白天丰富的太阳热量。另外,城市下垫面建筑物密集,街道和庭院中的“天穹可见度”比开旷郊外小得多,地面长波辐射热量多次在墙壁地面间反射,大大减少了长波辐射散失的热量。这两种因子都造成了前述城区日落降温缓慢,因而夏季中傍晚和上半夜特别炎热。

城乡温差除了上述年变化,日变化和周变化等周期性变化规律外还有非周期性变化。这主要是风速和云量变化引起的。

风速对热岛强度影响至关重要。因为大风不仅引起上下对流把热量上传,而且直接把郊区新鲜冷凉空气迅速输进城区。有人研究了韩国4个不同规模城市的城乡温差与风速的关系,都指出了风速减小城乡温差的效应。而且,如果把城乡温差小于 $0.5^{\circ}\text{C}$ 作为热岛消失的指标,那末840万人口的汉城在 $11.1\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$ 时热岛始消失,广阳等13—15万人口城市在 $4—5\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$ 消失,人口6万的薪岛在 $3.9\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$ 时热岛就已不存在了。

阴天或多云天气使城乡白天阳光短波辐射热量收入和地面长波辐射热量支出都减小,因而也使城乡温差减小。这就是为什么北京以12月—1月,而上海则以10—11月为全年城乡温差最大月的原因,因为这几个月正是当地全年最少云的季节。

城市热岛的存在,使城区冬季缩短,霜雪减少(有时甚至发生郊外降雪城内降雨的情况,如上海1996年1月17—18日),冬季取暖能耗减少。但是城市热岛在夏季中低纬度城市造成的高温,不仅使工作效率降低,中暑和死亡人数增加,而且,夏季降温 $1^{\circ}\text{C}$ 所耗的电能要比冬季增温 $1^{\circ}\text{C}$ 所耗多得多。有人研究了美国洛杉矶市,指出数十年来城乡温差增加了 $2.8^{\circ}\text{C}$ ,全市因空调降温多耗10亿瓦电能,每小时约合15万美元。据此推算全美国因热岛效应每小时多耗空调电费100万美元之巨。另外,夏季高温还会加重城市供水紧张,火灾多发,以及加剧光化学烟雾的灾害。

## 2 城市水平衡和城市洪灾

城市中由于热岛效应增强上升气流,以及城市大气中吸湿性污染微粒(凝结核)多,加上工业生产燃烧化石燃料会产生一定的水汽,因此城市云量一般比郊外多。以上海为例,市区龙华1960—1979年年平均云量3.4成,比郊区9县平均多0.4成,但1980—1989年差值已增加到1.1成(龙华增至4.0成,9县平均减至2.9成)。这显然是城市发展的影响。但不论是热岛效应造成的上升气流还是城市建筑群引起的机械湍流,它们所及的高度都不大,因此所增加的云多是低云。据对德国汉堡地区的夏季观测,150—200m的散布积云区的东南边缘往往和城区东南部边缘大体重合。

城市中的热岛上升气流,多吸湿性凝结核,以及一定量的人为水汽等,同样也是增加城市降水的有利条件。但城市对降水也有不利一面。第一,城市空气干燥,相对湿度低。例如1984—1987年上海市城区11个站平均的年平均相对湿度比郊区4县平均偏低了5.8个百分点。因此有“城市干岛”之说。第二,有部分大气污染微粒直径很小,虽易于成云但却不能降水(云的胶性稳定)。不过,绝大多数工作还是证明城市可以增加城区和下行方向郊区的降水量。城市增雨率一般在 $5\%—$

11%，但个别报告夏季增30%的也有。因此又有“城市雨岛”之称。我国对上海市的研究，指出城市影响降水主要发生在汛期5—9月。30年平均对比，市区龙华汛期总雨量685.6mm，近郊为660—680mm，远郊仅620—640mm。但非汛期增雨作用不明显。城市增加降水的形式，除了通常数量上的增加以外，有时因热力作用触发对流性不稳定，偶而也有城外无雨而城内有雨的情况发生。

关于城市水量平衡问题。城市水量收入项目除了降水量(比郊外略多)、燃烧产生的人为水分(例如圣路易斯市每小时 $10.8 \times 10^8 \text{g}$ ，但比起蒸发量来还是小得很多)外，还有从城外用管道输入城内的城市(工业和居民生活等)用水量。例如据80年代资料，莫斯科市城外管道输入水总量达 $40 \text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ 以上。由上可见城市中的水量收入比郊外多得多。

城市水支出项目主要有蒸发量，径流量和城市贮水量的变化。城区蒸发量因城区土壤绿地极少，因而比郊外少得多(因此蒸发耗热也少得多，这也是城市热岛成因之一)。据美国东北部一个小流域的实验结果，当流域面积中不透水面积为25%时，其蒸发量减少19%；不透水面积增加到75%时(世界上多数城市不透水面积可达70%—80%)则可减少59%之多。城市水储量的增减值也很少，因为城市下垫面多不吸水。

城市中水量收入多而蒸发支出少，因此水量余额必然通过下水道等排出城外(径流)。径流量的大小在水文学中用径流系数来表示。例如据测定，城区公园中径流系数平均为0.10—0.25，即大约75%—90%的水分可暂时保存在公园的树木草地和土壤之中。而由草地和房屋建筑混合的住宅区中径流系数升为0.3—0.5，全由屋顶和不透水路面组成的市中心商业区，径流系数高达0.70—0.95，即大约70%—95%的水量需要及时排出城外。所以，与农村相比，不仅城区径流量

大大高于农村，而且径流洪峰出现时间也早得多。

所以，城市洪灾的关键是在下水管道直径大小设计得是否与当地暴雨量相匹配。实际上，局部地区短时距的暴雨往往突破设计标准。例如在我国省会级城市中，因下水道排水不足局部城区水深超过1.5m以上的，就有郑州、贵阳、西安、武汉、杭州、兰州和上海等地。

### 3 城市可以制造风灾

城市对风的影响是多方面的。主要表现在：第一，由于城市下垫面粗糙度大，因而城市普遍减小风速。但是，第二，城市也能制造局地大风，以致造成灾害。第三，城市还能产生它自己的特殊风场。

城市减小风速例子可举我国最大城市上海，据80年代中5年资料平均，上海市区年平均风速都在 $3 \text{m} \cdot \text{s}^{-1}$ 以下，其中风最小的杨浦区 and 徐汇区仅为 $2.3—2.4 \text{m} \cdot \text{s}^{-1}$ 。而近郊8县一般都在 $3—4 \text{m} \cdot \text{s}^{-1}$ 之间，远郊的崇明、南汇更大于 $4 \text{m} \cdot \text{s}^{-1}$ 。

但是城市减小风速的幅度因风速大小而有不同，即大风减小得多，小风减少得少。例如北京气象台在80年代末周围出现了高楼群，结果风级较高的大风大大减少，而风级较低的大风减少不多。再如，由于城区白天风速大于夜间，因此城乡风速差有夜间小于白天的规律。在夜间风速特小的地区，由于城区夜间热岛的上升气流把高空较大的风速动量带下来，因而城区夜间风速甚至可以比郊区大。例如马来西亚首都吉隆坡1971—1975年5年平均，气象台(市区)白天15时平均风速 $2.73 \text{m} \cdot \text{s}^{-1}$ ，比郊区(机场)小 $0.05 \text{m} \cdot \text{s}^{-1}$ ，但夜间01时城区气象台( $0.30 \text{m} \cdot \text{s}^{-1}$ )反比郊区机场大 $0.11 \text{m} \cdot \text{s}^{-1}$ 。

气流经过城市，除了风速减小外，风向也会有所变化。这是因为城区中风速减小时，其地转偏向力也同时减小，因而使气流发生气旋性弯曲，即微向左偏。

但是,城市也能制造大风。因为城市的粗糙下垫面好比地形复杂的山区一般,街道之中以及两幢大楼之间,就象山区中的风口,流线密集,风速加大,可以在本无大风的情况下制造出大风来。还有,据风洞实验,在一幢高层建筑物的周围也能出现大风区。即高层大楼前的涡旋流区和绕大楼两侧的角流区。这些地方风速都要比背景风速大130%左右。这是因为风速是随高度增加而迅速增大的,当高空大风在超高层建筑上部受阻而被迫急转直下时也把高空大风动量带了下来。如高楼底层有风道,则这个风道出口处附近的风速更可比背景风速大3倍左右。也就是说,当背景风速为3—4级时,这时穿流风速就可达到8级;当背景风速为6级时,穿流风就可以达到12级了。1993年4月9日上午11—12时,北京气象台瞬时极大风速也仅 $20\text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ ,由于狭管风和穿流风等的共同作用,使市内4个城区40多处广告牌和悬挂物刮倒损坏。

城市还有它自己特有的风系——城市热岛环流。这是因为城市热岛中气流不断上升,从周围农村来的气流遂不断流向城市补充。象风向的命名一样,因为它们来自乡村,因而被称为“乡村风”。上海是个特大城市,只要大范围气压场梯度很小,而城市热岛又很明显时,热岛环流也是很明显的,乡村风的风速一般是 $1\text{—}2\text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ 。

在城区的气温自记曲线中,常常有一个个好似冷锋过境似的气温陡降现象,这就是乡村风入侵城市的见证。由此亦可见热岛环流并不是连续存在,而是具有周期性振荡。即要等到城区把进入的乡村空气增温上升后,下一次的乡村风才再把新鲜凉爽空气送进城区。

城市中还有一种特殊的风叫“汽车风”。这是由于马路中线两侧连续地驶过相反方向车辆所形成。例如1988年1月15日,广州市风速很小,日平均风速仅 $0.69\text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ 。在南

北走向的人民南路上,东侧车辆从南向北行驶,西侧则相反。受车流影响,在3米高的测点上,除少数时间外,街道西侧盛行偏北风,西北风加上西西北风的频率和为79.1%;东侧则盛行偏南风,东南和东东南风的频率和更高达86.9%。这天“汽车风”共出现20—22小时之久。但这种汽车风会随离地高度增高而迅速减弱、消失。

#### 4 城市大气污染与“雾”害

城市中的大气污染源,主要有工业生产,民用炉灶(包括取暖),焚烧废物以及交通运输。污染物按其在大气中存在的状态,可分为气溶胶(固体及液体微粒)和污染气体两类。

气溶胶污染物按其物理性质又可以分为粉尘类,烟尘类以及雾滴类3种。大气气溶胶中直径大于 $10\mu\text{m}$ 者称为降尘,大部份降落在污染源附近;小于 $10\mu\text{m}$ 者称为飘尘,它们能较长期停留在大气之中,可通过呼吸进入人体肺泡以至血液淋巴危害人体健康。更麻烦的是,这种气溶胶粒子上常吸附有污染气体和致癌性很强的大分子有机物。因此,近数十年来,随着城市工业的发展,肺癌的死亡率也在迅速上升。雾滴类中最多见的是水滴类雾(此外还有油雾,碱雾等)。但城市中的雾有其特殊性并常引起灾害。一是雾中相对湿度一般不到100%,例如上海曾发现雾中相对湿度最低曾达72%(1979年10月11日08时)和67%(1965年10月17日08时)。在重庆也多次发现80%—84%的低湿度雾。这是因为吸湿性大气污染微粒能强烈吸收水汽的结果。城市多雾(因此有人称为城市雾岛)有时会严重影响交通,例如市内汽车速度和机场飞机起降等,重庆白市驿机场就是因为多雾而迁移。二是由于这种雾中空气里二氧化硫浓度一般较高,因而雾滴常呈不同程度的酸性(酸雾)。由于酸雾的pH值一般比酸雨高得多,因此它与其他腐蚀性污染气体对城市建筑物,金属,文物古迹和各种物品的腐蚀作用十分严重。

气体污染物可分为硫氧化物,氮氧化物,碳氢化合物和碳的氧化物等。硫氧化物中主要是二氧化硫,是目前城市大气污染的“大户”,其中约90%来自燃烧矿物燃料。死亡4000余人的1952年冬伦敦烟雾事件主要就是由二氧化硫(包括酸雾)和大量烟尘所造成。氮氧化物中以二氧化氮危害最大,它对眼睛和呼吸道有强烈的刺激作用,能引起急性哮喘等症,以至发展为肺水肿而死亡。更为严重的是,在阳光紫外线的作用下,二氧化氮分解为一氧化氮和氧原子。不稳定的氧原子和氧分子结合成为臭氧。而光化学烟雾中的主要成份正是臭氧。光化学烟雾受害者的症状类似二氧化氮,但毒性比二氧化氮要大得多,因而也是世界上一大环境公害。光化学烟雾对植物也有严重影响。例如著名的1952年洛杉矶光化学烟雾,蔬菜受害后一夜间由绿变褐,不能食用。二氧化氮主要是汽车尾气排出的,例如东京汽车排出的二氧化氮占总排放量的约70%。此外,二氧化硫(为主)和二氧化氮还是生成全球另一主要公害酸雨的主

要原因。碳氢化物主要来自燃烧和汽车尾气,其中含有苯并芘等致癌力强的物质,并参与光化学反应,生成光化学烟雾。碳的氧化物主要有一氧化碳和二氧化碳,主要是燃烧所产生。一氧化碳是一种窒息性气体,二氧化碳虽然无毒,但它能引起全球性温室效应和海平面升高等全球性重大社会问题。

大气污染及其造成的危害是可以治理的。归纳起来大体有以下3个方面。一是控制大气污染源的排放量,例如改善能源结构,如使用低硫煤和天然气等;采取技术措施削减污染排放量以至变废为宝,调整城市产业结构。二是全面规划城市功能和布局,使污染对居民影响达到最小;以及发展城市绿化,以调节气候和减轻城市污染等等。三是大力发展清洁能源,如风能,太阳能,水能等,以及不受地理气候条件限制的核能。

#### 参考文献

1. 周淑贞, 束炯. 城市气候学. 北京: 气象出版社, 1994.
2. 林之光. 地形降水气候学. 北京: 科学出版社, 1995.

## The Artificial Climate Island and the Most Main Origin of Air Pollution on the Earth

Lin Zhiguang

(Chinese Academy of Meteorological Sciences, Beijing 100081)

#### Abstract

The effect of city on meteorological elements (for example, temperature) are investigated. As the urban climates is quite different from countryside, the shape of urban area in meteorological map is like a island clearly. So it is called artificial climate island. For example, they are: heat island (to temperature), rain island (precipitation), dry island (relative humidity) and so on. Urban climate is so special that it can cause many disasters, such as high temperature disaster, rural flood, city gale, acid rain, acid fog, and photochemical smog, etc. The city has also its own meteorological phenomenon, like city heatland circulation (country breeze). Cities are the most main origins in the world, and therefore, it is harmful to health of inhabitant living in the artificial air pollution islands.

**Key Words:** city artificial climate island air pollution