

CHENGSHI QIHOUXUE DAOLUN

城市气候学导论

周淑贞 张 超 编著

华东师范大学出版社

56.444-4
7732

城市气候学导论

周淑贞 张超 编著

华东师范大学出版社

城市气候学导论

周淑贞 张超 编著

华东师范大学出版社出版

(上海中山北路3663号)

新华书店上海发行所发行 华东师大印刷厂印刷

开本: 787×1092 1/16 印张: 21 字数: 490千字

1985年6月第一版 1985年10月第一次印刷

印数: 1—4,000本

统一书号: 12135·011

定价: 4.30元

前 言

城市气候学是目前在气候科学中发展最快的分支之一。它不仅在论证人类活动如何影响气候这个理论问题上有着重要意义,而且对城市天气气候预报、城市规划、城市建设、城市环境保护和城市居民保健上均有实际应用的价值。

国外开展城市气候的研究已有一百六十多年的历史,特别是在近二十年来发展更快。我国城市气候的研究起步较晚,在六十年代初期,谢克宽曾将德人克拉特采尔(P. A. Kratzer)的专著《城市气候》译为中文,由中国工业出版社出版。这是我国最早介绍城市气候的书籍。党的十一届三中全会之后,我国城市气候的研究有了较快的发展。1980年夏,中国气象学会在江西庐山举行气候学术会议,作者应会议的邀请,曾作了《关于城市气候的若干问题》的学术报告。同年秋,中国地理学会又在杭州举行气候学术会议,在这次会议上宣读了六篇关于我国上海、杭州、芜湖等地城市气候的论文,并成立了《城市气候研究组》。不久,两次与会的同志曾提议由我和张超同志写一本城市气候书籍,以利于推动我国城市气候研究工作的开展。

为了促进我国城市气候的研究,作者认为及早撰写一本《城市气候学导论》是很有必要的。本书的内容作了如下的安排:第一章绪论,首先阐明城市气候学研究的对象、任务、简史和方法;再依次从第二章到第八章论述城市气候的各个主要方面,包括:城市大气污染、辐射和日照、热量平衡和水分平衡、城市热岛、城市的风、湿度、雾和能见度、城市的云和降水等。在掌握上述诸方面的主要特征、形成原因和有关理论的基础上,第九章中对城市气候与城市规划和城市建设的关系作了探讨,以便明确城市气候学也是一门应用科学,它的最终目的是应用城市气候学的理论和方法为四化建设服务。最后在第十章中介绍城市气象观测的目的要求和方法,以满足城市气候研究工作者们的迫切需要。

本书论述了国内外在城市气候研究方面的主要成果和研究动态,同时总结了我们近年来有关上海城市气候的研究工作。在各章之末附有参考文献目录,注明各部分内容的来源和出处,帮助读者对有关的问题作进一步的探索。

本书的撰稿工作是从1980年冬开始的。初稿的前五章由我和张超同志合写,于1981年初夏交华东师范大学出版社。当年8月我应《国际气象与大气物理学学会IAMAP》的邀请,在德意志联邦共和国汉堡参加其第三次科学大会,并在气候组宣读了我们的论文《On Some Features of The Shanghai Urban Climate》;会后又至美国参观访问,为期约4个月。在此期间我与美国学者兰兹葆(H. E. Landsberg)、克拉格(W. W. Kellogg),加拿大学者奥克(T. R. Oke)和日本学者吉野正敏(M. M. Yoshino)等人对城市气候的有关问题交流了看法,并承他们惠赠了一些论文和专著;在美国加州几所大学内又阅读了不少文献资料。回国后我又在1982—1983两年分别为华东师大地理系毕业班和城市气候专业的研究生讲授了《城市气候学》课程,感到原写的五章初稿需要修改和补

充，因此又从出版社取回，重新改写，并继续写了第六——第九章。张超同志写了第十章。全书于1983年秋才完稿。由于我们的教学和科研任务都比较重，写稿时间主要利用寒、暑假和其它节假日及业余时间进行，断断续续用了近三年的时间。书稿虽经几次修改，但鲁鱼亥豕，仍在所难免，希望读者批评指正。

全书插图二百六十余幅由刘永瑜同志清绘。大部分书稿分别由郑景春、吴林两同志誊写，在此一并致谢。

周淑贞

1983年冬于华东师范大学

目 录

前 言	
第一章 绪论	1
§ 1.1 城市气候学研究的对象和任务	1
§ 1.2 城市气候研究简史	4
§ 1.3 城市气候研究方法	7
§ 1.4 城市气候的基本特征	11
第二章 城市的大气污染	15
§ 2.1 城市中大气污染物和污染源	15
§ 2.2 城市大气污染与气象条件	22
§ 2.3 城市大气污染实况	31
§ 2.4 城市大气污染的影响	35
第三章 城市的辐射和日照	40
§ 3.1 城市太阳总辐射的特征	40
§ 3.2 城市下垫面的反射辐射与郊区的差别	49
§ 3.3 城市与郊区地—气长波辐射能交换的差异	51
§ 3.4 城市的日照	55
第四章 城市热量平衡与水分平衡	63
§ 4.1 城市热量平衡与水分平衡方程	63
§ 4.2 城市中的人为热 Q_F	64
§ 4.3 城市下垫面热贮量 Q_s	67
§ 4.4 城市中的地—气显热交换 Q_H 与地—气潜热交换 Q_L	69
§ 4.5 城市热量平衡的日变化	71
§ 4.6 城市水分平衡的特征	78
第五章 城市热岛	85
§ 5.1 城市热岛效应	85
§ 5.2 城市热岛强度的周期性变化	97
§ 5.3 城市热岛强度的非周期性变化	106
§ 5.4 城市热岛强度的地区差异	115
§ 5.5 城市热岛的垂直结构	122
§ 5.6 城市热岛的形成条件和成因	128
§ 5.7 城市热岛的影响	132
第六章 城市的风	140
§ 6.1 城市热岛环流	140

§ 6.2	城市发展对盛行风的影响	147
§ 6.3	城市中风的垂直结构	154
§ 6.4	城市覆盖层内部风的局地差异	159
第七章	城市的湿度、雾和能见度	168
§ 7.1	城市的绝对湿度	168
§ 7.2	城市的相对湿度	178
§ 7.3	城市湿雾	182
§ 7.4	城市光化学烟雾	190
§ 7.5	城市中的能见度	196
第八章	城市的云和降水	206
§ 8.1	城市的云量	206
§ 8.2	城市对降水量的影响	211
§ 8.3	城市影响降水的机制	217
§ 8.4	城市对雷雨、暴雨、降雪和积雪的影响	226
§ 8.5	城市与酸雨	230
第九章	城市气候与城市规划和城市建设	239
§ 9.1	合理布局减轻居住区的大气污染	239
§ 9.2	城市风压与建筑设计	245
§ 9.3	城市总体规划与日照	252
§ 9.4	城市建筑中的防热和防冻设计	263
§ 9.5	城市居住区的自然通风	272
§ 9.6	城市绿化建设与气候	287
第十章	城市气象观测	301
§ 10.1	城市气象观测的目的要求	301
§ 10.2	城市辐射观测	306
§ 10.3	城市气温分布的观测	311
§ 10.4	城市风的观测	315
§ 10.5	城市大气稳定度的测定	316
§ 10.6	城市降水和酸雨的观测	321
§ 10.7	城市区域大气质量的测定	322

第一章 绪 论

§ 1.1 城市气候学研究的对象和任务

城市气候是在区域气候的背景上, 经过城市化后, 在人类活动影响下, 而形成的一种局地气候。

城市化的地区具有以下几个特点:

第一, 它是非农业人口高密度聚居的区域。据统计世界人口平均密度为 28 人/平方公里, 而城市人口每平方公里却有数千人乃至数万人。城市的划分, 世界上虽没有统一的标准, 但大都以人口的多少为依据: 例如英国规定人口在 3,500 人以上的居住区称作城市, 苏联规定居住 10,000 人以上, 其中非农业人口占 2/3 以上的地区为城市。法国和印度都规定为 5,000 人以上, 美国则规定为 2,500 人以上。国际统计学会提出 2,000 人以上的居民区可算作城市区。我国国务院曾于 1955 年和 1963 年先后作出规定: 凡聚居人口 10 万以上的城镇, 方可设“市”; 聚居人口在 3,000 以上, 其中非农业人口占 70% 以上, 可以设置“镇”的建制。世界各国的城市按人口分级也各有自己的规定。下面列举我国、朝鲜和苏联的分类标准如表 1.1 所示*。

第二, 它是高强度的经济活动地区。在人类历史上, 城市只是社会发展到一定阶段才能够出现的。它是生产力的发展、社会劳动分工加深, 生产资料所有制建立的结果。城市的突起, 大多数是由于交通发达, 工商业繁荣所致。它是非生物产地, 生产资料和生活资料都高度集中。以上海为例, 全市有九千多家工厂, 工业总产值占全国总值的 1/8 强, 商品出口值占全国 1/5 强(其中有 60% 是上海市产品)。交通运输频繁, 以公共车辆为例, 1980 年达 3,618 辆; 每天平均在港船舶达 227 艘。城市中的工业、商业和交通运输业的高强度经济活动, 使城市环境发生了巨大的改变。

表 1.1 城市按人口分级标准(表中数字示人口数以万计)

	特大城市	大城市	中等城市	小城市
我 国	>100	100—50	50—20	<20
朝 鲜	100—70	70—2	20—5	<5
苏 联	>50	50—10	10—2	<2

第三, 它具有特殊性质的下垫面。由于城市的发展, 城市下垫面与原有的自然环境发生了根本的变化。人工建筑物、构筑物高度集中。用陶瓦、金属板、砖石、沥青等这些坚硬密实、干燥而不透水的建筑材料, 代替了原来疏松和覆盖植物的潮湿土壤。高耸

* 清华大学建工系: 城市规划原理, P.20, 1979。

的屋顶和低平的路面,使城市的轮廓线忽升忽降。其几何形状又与郊区大不相同。又由于现代化的城市既是一个拥有工业、交通枢纽等的生产综合体,同时又是大量居民从事劳动生产、工作、居住和休息的场所。所以城市用地就分成不同的组成部分:

1. 工业用地:包括工厂企业的生产性用地和其附属设施用地。
2. 生活居住用地:包括居住建筑、街坊道路、庭院绿化用地等。
3. 对外交通用地:包括铁路、公路的线路和场站、港口码头、民用机场用地等。
4. 仓库用地。
5. 园林绿化用地。
6. 公共建筑用地。
7. 特殊用地:如军事用地、文物保护区、监狱和自然保护区等。
8. 公共事业用地:包括自来水厂、污水处理厂、煤气厂、变电站、消防站等。
9. 其它用地:包括公墓、火葬场、垃圾场等。
10. 水面:包括市区内河流、湖泊、池塘等。

由于上述各种用地的功能不同,其下垫面性质也相应的有很大差异。再加上城市的布局型式又是多种多样的:有的是生产性用地与生活用地集中布置的“集中型”,有的是生产性用地与生活用地分散布局的“分散型”。这就使得城市下垫面性质的改变更加复杂多样。

在城市化的地区,人类活动对气候的影响,首先是通过对于下垫面性质的改变来体现的。下垫面是气候形成的重要因素。它与空气间存在着复杂的物质交换、热量交换和水分交换,又是空气运动的边界面。它对空气温度、湿度、风向、风速等都有很大的影响。这是导致城市气候与郊区不同的重要原因之一。

其次,在城市高强度的经济活动中,要消耗大量能源。据统计百万人口的城市,每天要消耗煤 3,000 吨,石油 2,800 吨,瓦斯 2,700 吨,同时排放出的粉尘约 150 吨,二氧化硫 150 吨,一氧化碳 450 吨,一氧化氮 100 吨。当这些粉尘和有害气体进入空气后,如超过其自净能力,就会造成城市大气污染,改变大气的组成成分。影响城市空气的透明度和辐射热能收支,减弱能见度,为云、雾提供丰富的凝结核,从多方面影响城市气候。

第四,由于城市居民生活和生产活动如家庭炉灶、内燃机、汽车、人、畜的新陈代谢和各种能源所排放的热量,使城市比郊区增加了许多额外的热量收入,这种人为的热量在某些中纬度城市可以接近甚至超过太阳辐射热量。例如在德国汉堡每天从煤燃烧所产生的热量为 40 卡/厘米²,而冬天地面从太阳直接辐射和天空辐射一天中所得到的热量为 42 卡/厘米²[1]。在莫斯科,人为热竟超过太阳辐射热的 3 倍[2],对城市增温的影响十分显著。

此外,由于城市供水、排水的方式和农村不同,在燃烧和某些工业生产过程中还产生一定量的“人为水汽”进入大气,致使城市中的水分平衡与农村有明显的差异。

基于上述种种原因,使城市除了受当地纬度、大气环流、海陆位置、地形等区域气候因素的作用外,还在人类活动影响下,形成有别于附近郊区的局地气候。据奥克(O-ke)的意见,这种局地气候所涉及的范围如图 1·1 所示[3]。在城市建筑屋顶以下至地面

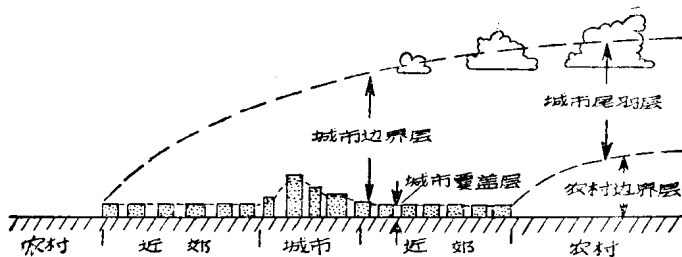


图 1.1 城市大气分层次示意图

这一层可称“城市覆盖层”(Urban Canopy)这一层气候变化受人类活动的影响最大。它与建筑物密度、高度、几何形状、街道宽度、走向、建筑材料、空气中污染物浓度以及“人为热”和“人为水汽”的排放量关系很大，属于“小尺度”的气候。由建筑屋顶向上到积云中部高度，这一层可称“城市边界层”(Urban Boundary Layer)。它受城市大气质量(污染物性质及其浓度)和参差不齐屋顶的热力和动力影响，与城市覆盖层间存在物质交换和能量交换，并受四周环境(区域气候因子)的影响，属于“中尺度”气候。在城市的下风方向还有一个“市尾烟气层”(Urban Plume)。这一层空气中的污染物、云、雾、降水和气温等方面都受到城市的影响。在“市尾烟气层”之下为“乡村边界层”(Rural Boundary Layer)。“城市气候”一词的含意有两种不同的说法，一种认为它是指在城市作为一个整体的影响下所形成的气候，属于中尺度范围，亦即相当于图 1.1 中“城市边界层”的气候。而“城市覆盖层”的气候则属于“城市小气候”。城市小气候属于小尺度范围。另一种说法则认为所谓“中尺度”和“小尺度”的含意比较模糊，其水平尺度与铅直尺度都不十分明确。城市气候似应用“局地气候”(Local Climate)^[4]一词为宜。它同时要研究“城市边界层”、“城市覆盖层”和“市尾烟气层”的气候。城市气候学的研究对象就是包括这几层在内的局地气候。

城市气候学者的任务如下：

一、进行城市内部气候和城、郊气候的对比观测(三度空间)，积累观测事实，分析城市气候的特征。

二、研究城市气候形成的过程和机制，特别是要研究人类活动如何影响气候这个理论问题。并预测城市气候未来变化的趋势，为城市气候预报提供依据。

三、分析城市气候变化给人类带来有利或不利的的影响，应用其规律为城市规划、工业布局、建筑设计和环境保护等方面服务。城市气候学实具有应用气候学的性质。

四、探讨改善城市气候条件的途径，保护和合理利用城市气候资源，提出必要的措施，使城市气候向有利于人民生活和生产的方向发展。

根据近百年来人口统计资料可知，城市人口集中的趋势愈来愈明显。按联合国有关方面的估计，到二十世纪末全世界总人口将超过 60 亿，其中有 50% 将集居在城市之中。在发达国家总人口将有 14 亿，其中有 80% 将集居在城市之中，如图 1.2 所示^[5]。在短期内许多大都市人口将增达二千万以上。城市人口的迅速增长必然导致：城市面积扩大，居民住宅增多，交通工具和燃料使用量加大，人为热与人为水汽的排放量增加，排放到城市空气中的污染物质会相应增多。这对环境生态系统的影响是十分巨大的，城市气候

对全球气候的影响将日益广泛和深入。城市气候学的研究无论从理论上和实际应用上都将愈益显示出它的重要意义。

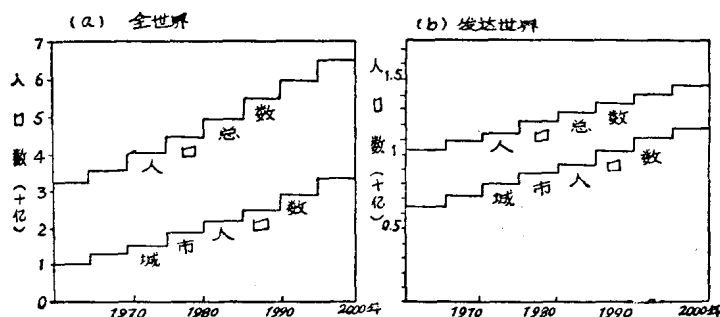


图 1.2 联合国人口规划
(a)全世界 (b)发达国家

§ 1.2 城市气候研究简史

自从人类社会有城市出现的时候开始,人们首先就感到城市空气混浊,与郊区空气清新形成鲜明的对比。在我国古籍中和宗教经典中,总是将人口密集的城市称为“人烟稠密”、“尘世”等等。说明我国古人早已凭直观感觉认识到城市气候的一个显著特点是多“烟”多“尘”。在国外古代文献中对于城市空气污染的记载亦很多,例如霍罗斯(Horace)^[6]在公元前24年就在诗歌中描写古罗马城中烟尘蔽日的景象。

到了中世纪,伦敦“雾都”更是远近驰名。在1661年英国皇族自然科学家约翰·埃立恩(John Evelyn)^[7]曾大声疾呼,反对在伦敦城中以大量劣质煤作为工业动力。他再三阐明燃烧煤是导致伦敦多雾的重要原因。

类似上述的关于城市气候某些特征的描述在中外文献中虽屡见不鲜,但真正系统地研究城市气候,却自英国的何华德(Luke Howard)开始。何华德是一位化学家和业余气象学者。他曾对伦敦市内和郊区的气象记录进行对比分析,从大量的资料中总结出伦敦城市气候的特点。他的巨著《伦敦气候》一书于1818年问世,接着在1820年和1833年陆续补充修订、再版,受到普遍的重视。在此书中他首先提出伦敦的大雾是城市的产物,创立了“城市雾”一词。他对1826年1月16日伦敦大雾作了如下描述:“昨日下午1时,伦敦城中大雾迷蒙,其浓度是我们从未见过的。所有的商店和办公室都点上了灯和蜡烛,街上的汽车不敢驶出一呎的距离。与此同时在距伦敦城5哩的郊区却天气晴朗无云,阳光灿烂”^[8]。

何华德的另一著名发现是:伦敦城市中心的气温比郊区高。在1820年版的《伦敦气候》一书中,他就根据1807—1816年伦敦市区和其郊区气温记录,得出市区各月平均气温比郊区高。其差值以秋季11月为最大,为 2.15°F (1.2°C),以春季5月为最小,为 0.49°F (0.27°C)。他还指出城市比郊区暖的现象夜间最显著(可高出 3.7°F 即 2°C),白天城市气温有时反而比郊区低(可低 0.19°C)。除了论述上述诸现象外,他还阐明了城市比郊区温度高的原因。这些研究成果到现在还是适用的。

继何华德之后,法人瑞纳(E. Renou)对法国巴黎的城市气候作了有价值的研究,在他1855年发表的论著^[9]中汇编了巴黎的气象资料,并指出巴黎城中平均气温比郊区高1—2℃。城市中风速经常比郊区小。1860年德国气象学家威特威尔(Wittwer)对德国慕尼黑(Munich)城市气候进行了研究,并认为造成慕尼黑城郊气温差异的原因是城市石砌建筑群的作用^[10]。

在十九世纪城市气候研究的内容以温度为最普遍,只有少数文献涉及雾和降水。例如在英国除前述的何华德《伦敦气候》专著以外,英人拉谢尔(F. A. Russel)^[11]、法人安戈(A. Angot)^[12]等分别对伦敦和巴黎的雾作了比较深入的研究。德人赫尔曼(G. Hellmann)首先在柏林研究了城市对降水的影响^[13]。

到了二十世纪,城市气候研究的要素越来越多,研究的地区也愈益扩大。奥人施密特(Wilhelm Schmidt)于1917年开始对城市内部不同景观地区的小气候进行研究^[14],他于1927年首创利用汽车装备气象观测仪器做流动观测^[15]。在一个或几个观测地点利用自记记录,与流动观测点的观测值进行对比订正,并绘制订正到同一时刻的气象要素等值线图。利用这个方法可在短时间内收集到很多点的资料,对城市气候的研究贡献很大。直到现在,这种仪器仍然作为一种重要的使用工具。

与此同时,德人施茂斯(Angust Schmass)在1927年研究慕尼黑城市对降水的影响,认识到城市下风方向降水有增多的现象^[16],并发现城市与郊区间有微弱的“城市微风”环流。

第一次世界大战后,德人克拉采尔(A. Kratzer)对二十世纪30年代以前城市气候的研究工作进行了总结,写出《城市气候》^[17]一书。当时他引征了225篇关于城市气候的文献,是世界上第一本通论性城市气候著作。在30年代以前世界上关于城市气候的研究,以描述城市气候的特征和现象为主,很少阐述产生这些现象的原因;而所研究的城市以英、法、德等欧洲及北美国家的城市为多。30年代以后,城市气候的研究有了迅速的发展。例如1956年克拉采尔在修订再版的《城市气候》一书中增添了大量内容,这时他引用的文献就已达533篇之多。

第二次世界大战之后,由于都市规模的扩大,工业化高速度的发展,城市空气污染日益严重,在世界上引起广泛的重视。再加上观测手段的愈益现代化,促使城市气候研究的广度、深度和方法都有显著的发展。到60年代末,其进展的速度更快,除欧洲、北美外,亚洲、大洋洲、南美及非洲等都陆续发表了不少关于城市气候研究的论著。1968年联合国世界气象组织气候学委员会在比利时首都布鲁塞尔召开了第一次国际性的城市气候会议“城市气候和建筑气候学讨论会”。在此次讨论会上交流了各地城市气候研究的成果,总结经验,并指出当时城市气候研究的不足之处和今后应注意加强的三个方面:(一)加强城市气候形成过程和机制的研究;(二)加强城市气候的数字模式研究;(三)扩大城市气候研究的范围。大会呼吁全世界气候学者广泛开展城市气候的研究。

这次会议之后,美国几个高等学校和研究机构于1969—1970年共同拟定一项为期5年(1971—1975年)的大规模城市气象观测计划,称为“METROMEX”(Metropolitan Meteorological Experiment,大都市气象观测计划)。进行观测和试验的地点选择在美国中部平原地区密苏里州的圣路易斯(St. Louis, Missouri)。在半径为42公里的面积范围

内,每24平方公里就安置一个雨量筒,主要目的在研究城市对降水的影响。为了研究的需要,还同时进行与降水有关的各个气象要素的观测。METROMEX计划是世界上第一次集中许多单位,对一个地形平坦、自然环境比较单纯的城市,用先进的技术和方法进行连续5年长期的多项目观测。它标志着城市气候研究的新发展。通过这项观测和大规模模拟试验,其研究成果陆续发表了很多有价值的论著^[19-21],其中有不少发表在美国《应用气象杂志》(Journal of Applied Meteorology)上。

近年来城市气候研究文献在量和质两方面都有很大的提高。50年代布鲁克(C. E. P. Brooks)曾选辑城市气候文献^[22],那时(1952年)他只提出249篇有价值的论著。在1970年钱德勒(T. J. Chandler)^[23]编辑的、由“世界气象组织”出版的城市气候文献目录就增加到1,800篇。奥克(T. R. Oke)^[24]在1974年又评述了自1968—1973年发表的城市气候文献,他在钱德勒之后又搜集了377篇论文。接着奥克又继续编辑1973—1976年发表的城市气候文献集^[25],比1973年又增加了434篇有价值的论文。最近单就澳大利亚这一地区的城市气候文献而论,就有554篇之多^[26]。兰兹葆(Landsberg)在1981年撰写了一本新的通论性《城市气候》专著问世^[4]。

1981年8月在联邦德国汉堡举行的国际气象与大气物理协会(简称IAMAP,系International Association of Meteorology and Atmospheric Physics的简称)第三次科学大会,有一个“人类活动对城市和区域气候的影响”(CL-3)专题组。在这个专题组上有关城市气候的论文,有以下几个显著的特点^[36]:

一、涉及地区的面比较广。不仅有欧洲、北美等发达地区的城市气候研究报告,还有东亚季风气候区的上海,热带非洲尼日利尔的拉各斯和伊丹巴,南非的约翰内斯堡,中美的墨西哥城等不发达地区城市气候的研究成果。

二、城市气候形成的理论研究有显著的进展。例如人类活动对城市地表能量平衡和水分平衡的影响,气溶胶的辐射效应,人为污染物对云的影响,人为热的产生及其与热岛形成的影响等。

三、新技术、新方法的应用取得良好效果。例如应用人造卫星观测地表反射率的变化,在飞机上利用红外辐射仪探测火力发电厂烟气对辐射平衡的影响。利用遥感仪器(激光雷达、摄影经纬仪等)探测具有1,000兆瓦的热源对城市边界层的热力学效应。利用大气环流模式估计人为热排放气候效应的数值试验等。

我国城市气候的研究开展较迟。1980年夏中国气象学会气候学术会议在庐山举行,会上曾有《关于城市气候的若干问题》^[27]的专题报告,呼吁我国气候学者积极开展城市气候的研究。接着在同年秋,中国地理学会气候学术会议在杭州召开。在会议的144篇论文中有6篇是涉及上海、杭州、芜湖、武汉等地的城市气候的文章,引起与会代表的重视^[28]。在地理学会气候专业委员会上,讨论并通过成立我国的城市气候研究组。这次会议对推动我国城市气候的研究起了重要的作用。1981年在前述的IAMAP第三次科学大会上,我国代表周淑贞宣读了她和张超合写的《上海城市气候的若干特征》(On Some Feature of The Shanghai Urban Climate)^[29]一文,受到气候组(CL-3)各国代表们的重视。

1982年9月中国地理学会在福建厦门召开了第一次我国城市气候学术会议,这是

继上次杭州会议《城市气候研究组》成立后,按原计划进行的。会议共收到城市气候论文四十七篇,从数量上讲,相当于1980年杭州会议的8倍;从地区而论,涉及我国北京、上海、南京、广州、杭州、武汉、西安、兰州、沈阳、福州、厦门、重庆、芜湖、呼和浩特、洛阳、焦作、乌鲁木齐、吉林、赣州、哈尔滨、佳木斯、黑河、青岛等23个城市。其内容除论述城市气候总的特征外,探讨城市气候要素的面比较广,有气温、大气污染、日照辐射、降水、湿度、雾、能见度及风等。在大会上还介绍了国外城市气候研究动态、城市气象观测以及城市气候研究中如何理论联系实际等问题。这次会议除交流有关城市气候研究成果外,还对今后如何开展我国城市气候的研究工作问题进行了讨论,并决定在1985年再举行第二次城市气候学术会议。这对进一步推动我国城市气候的研究必将发挥巨大的作用。相信今后我国城市气候的研究,必将如旭日东升,蓬勃发展。

§ 1.3 城市气候研究方法

进行城市气候的研究,首先要有正确而充分的观测资料(观测方法详见本书第十章)。取得了大量的观测资料后,要进行城市气候的研究,一般采取以下一些方法。

一、历史对比法:为了研究城市对气候的影响,对某些发展得比较快的城市,可以对比其多年气候资料,分析它在城市化前后和发展过程中气候变化的情况。美国城市气候学者兰兹葆(Landsberg)就经常应用这种历史对比法,研究城市热岛效应和城市对降水影响等问题。在应用此种历史对比法时必须注意以下两个问题:

一是某一城市气候资料来源,最好是出自同一气象站,或前后两站地理环境相差不大,这样历史资料才具有对比性。象上海市气象台就有这样良好的条件^[30]。

二是在研究某一城市气候的历史变化时,还必须考虑在这段历史时间内,由区域气候因子(如太阳黑子、大气环流的变化等)所引起的气候的自然变化。例如从上海近105年气温的变化看来,自十九世纪末期到二十世纪40年代,各个连续5年年平均气温值是上升的,1945—1949这5年年平均气温达最高值,此后开始下降,并时有起伏。这种气温升降趋势是区域气候因子所造成的。从全世界和全国逐个5年年平均气温变化曲线以及近二十年上海郊县的气温变化看来,它们的升降趋势基本上是相似的。但是,上海在升温时期其温度增高幅度比郊县大,而当降温时期,上海降温幅度却比郊县小。特别是在年平均最低温度的变化上,这种差异表现得更为明显。这就说明上海受城市影响,热岛效应显著,其年平均气温和年平均最低气温与同时期郊县的差距,有随着历史的发展而愈来愈大的现象^[30]。

由此可见,应用历史对比法进行城市气候的研究,必须避免气候资料的误差,同时还要滤掉区域气候因子的影响,才能找出其正确的规律。

二、周末与工作日对比法:在欧美大城市中工厂、机关、学校及其他企业皆在周末(星期六及星期日)休假。人类活动对城市气候的影响周末要比其他工作日(星期一到星期五)小些。有人研究城市气候的某些特征(例如城市热岛效应,城市大气污染浓度、降水等问题)时,常利用同一气象站某些气象要素周末平均记录(M_1)与工作日平均记录

(M_w)进行比较, 求出两者差别 ΔM ;

$$\Delta M = M_w - M_n \quad (1.1)$$

据许多大城市观测结果表明: 城市热岛效应在工作日确比周末为显著。大气污染浓度亦有类似情况。我国工厂休息日不全在周末, 这种方法显然在我国是不适用的。

三、城郊对比法: 应用城市气象资料(M_u)与郊区同时观测资料(M_r)进行比较, 两者的差值 U 可作为城市对气候影响的重要的标志;

$$U = M_u - M_r \quad (1.2)$$

在分析时必须注意 M_u 与 M_r 的同步性, 对主要气候要素的年际变化、季节变化和日变化都要进行对比, 俾使掌握城市和郊区气候周期性变化的异同。许多大城市和郊区的多年观测资料证明: 城市下垫面与郊区下垫面温度日变化和年变化所播及的深度是大不相同的。如在有浅色植被覆盖下的郊区下垫面温度日变化所及的深度为20—40厘米, 而在附近的城市中坚实的铺砌路面温度日变化所及的深度为80—100厘米。相应地有温度年变化所及的深度, 在草地覆盖着的农村下垫面为4—8米, 而附近城市道路上却为15—19米。这就必然导致城市气温的周期性变化与郊区不同。

城市和郊区气候还因不同的地面覆盖状况而有所差异。例如当地面有积雪覆盖时, 城市与郊区皆是一片白雪皑皑, 下垫面的性质差异就大大缩小, 市区气候与郊区的差别因此也就不明显。

四、城市内部不同性质下垫面对比法: 城市内部具有多种不同性质的下垫面, 在进行城市覆盖层气候研究时, 最好先将城市内部下垫面按其不同功能、土地利用类型、建筑密度、植物覆盖度等进行分类。在不同类型的下垫面上设置观测点(定点长期观测与短时期流动观测相结合), 观测其地表和城市覆盖层内不同高度的气象要素的分布和变化。分析其时空分布的规律及其形成机制。这对弄清城市覆盖层的气候特征和形成原因是十分必要的。在进行城市覆盖层的辐射、温度、湿度和风速等方面的研究时, 尤其需要应用这个方法。

从本书的有关章节中可以看到: 在同一城市内部, 在同一季节, 同样的天气类型下, 由于下垫面性质不同, 其辐射热能的收支, 温度、湿度和风速的差异都是相当大的。

五、大小尺度因素相结合的方法: 城市气候的形成不是孤立的, 它本身的尺度虽是局地性的, 但任何局地情况都受大尺度天气型式的影响。局地因素和天气尺度因素是同时存在的。其各自所起作用的强弱, 是此起彼伏的。当大型天气比较平稳, 气压梯度小, 无风或仅有微风、昼有日射, 夜空无云时, 则局地因素起主要作用, 城市气候与郊区的差别显著。相反地, 当大型天气气压梯度大, 风力较强, 阴云密布或有降水时, 则天气尺度的因素占优势, 局地因素就被掩盖而不起主要作用, 城郊气候差别即不明显。

各不同尺度要素之间存在着一定的相互关系和反馈作用, 其详如图1.3所示^[31]。图中箭头所指表示受影响的要素。有的要素对另一要素的影响以单方面表现明显, 有的则是双方相互影响的。在大尺度天气中, 风是控制局地要素的主要因子。局地因素对大尺度天气最重要的反馈作用是影响当地的云量和降水。

在局地要素之间, 亦有许多要素是相互影响的。例如局地的垂直温度分布和水平温度分布影响局地风的结构, 风的结构又影响空气污染物浓度的分布等。

基于上述原因,在进行城市气候的研究时,应该就多种不同的天气型式,分别进行典型个例分析。积累大量的典型个例,才能真正掌握在各种天气型式下,城市和郊区天气气候的差异。

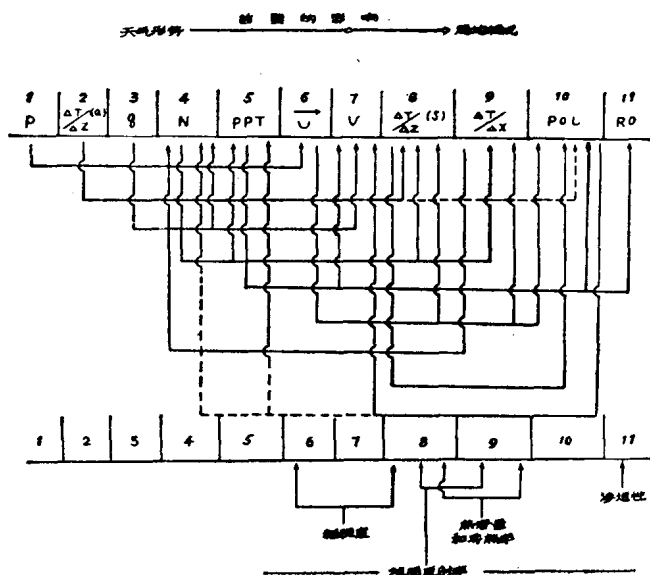


图 1-3 天气尺度与局地尺度诸因素的相互关系

图例: 1. P 气压, 2. $\frac{\Delta T}{\Delta z}(a)$ 上层气温直减率, 3. q 水汽含量, 4. 云量, 5. PPT 降水量, 6. U 风速, 7. V 能见度, 8. $\frac{\Delta T}{\Delta z}(s)$ 低层气温直减率, 9. $\frac{\Delta T}{\Delta X}$ 局地气温水平分布, 10. POL 空气污染物浓度, 11. RO 径流。

六、模拟试验法: 为了确知城市化对气候的影响, 现在还采用模拟试验法。最常用的是将城市实况按比例做一模型, 采用风洞试验, 使带烟气流通过此城市模型, 利用烟气活动观察上风方向、下风方向气流变化的情况。并用拍摄电影的方法把它录象, 也可用离子示踪器进行观测。为了观测城市对不同风向的影响, 可将城市模型安装在一个大的转盘上, 便于转动, 以适应不同的风向。塞尔麦克(J. E. Cermak) [32] 曾用风洞试验研究城市气压的分布与风的结构变化以及城市风场中污染物散布的情况(见图 1.4)。这种方法能够直观地表现出城市这个特殊下垫面对气候的影响, 但亦有缺点。主要表现在城市模型的制做, 只能在几何外形上与实况相似, 但城市的真实热力状况和动力状况是很难模拟出来的。

七、建立数学模型法: 为了从热力、动力等方面对城市气候作定量的分析研究, 根据有关的热力学方程、动力学方程, 建立城市热岛、城市热岛环流、城市大气污染物的扩散和城市逆温层分布等数学模型, 并将城市中实测的有关数据代入, 用电子计算机进行计算, 以求得其数值解。例如密茹甫(Myrup) [33] 根据能量交换方程, 建立了一个城市热岛的静力学模式, 德莱支和泰勒(Delage & Taylor) 应用运动方程和绝热方程, 建立了二维的城市热岛环流的动力学模式 [34]。李亥(Leahey) 根据空气中污染物扩散方程建立了空气污染浓度的模式 [35] 等等。目前这方面的研究, 正在大力开展, 它对城市气候



图 1-4 城市对气流影响的风洞试验

学走向量化起着十分重要的作用。

八、应用气候学的研究方法：城市气候学是一门应用科学。如前所述，它和城市规划、城市建设、城市环境保护、城市医疗保健等方面关系十分密切。城市气候的研究，必须针对上述各方面的有关问题进行研究。这就需要深入实践，学习这些方面的实际知识，了解问题的关键，带着这些问题，进行观测、调查和分析研究，再在实践中进行验证，以其研究成果为城市规划等提供科学依据。例如在城市规划中如何合理布局，安排好工业区与居住区的位置，尽可能减少居住区受到大气污染。这就要求城市气候工作者提供该城市的风象、大气稳定度、混合层高度和降水等方面的综合研究资料，找出造成污染的风向频率，来决定工业区和居住区的布局方案。又例如城市建筑设计，需要城市风压数据作为设计时的依据，又需要根据城市的日照和风象来确定城市建筑物的最佳和适宜的朝向及建筑间距，城市绿化建设如何取得最佳气候效应等。这都需要城市气候工作者密切结合实际，有针对性地进行研究。

截至目前为止，城市气候的应用还是一个十分薄弱的环节。这方面的研究工作必须加强，才能发挥其在这一领域中的作用，也才能推动城市气候学的发展。

此外，在研究城市气候的成因时，除考虑城市本身的因素外，还要运用一般研究“区域