

## 上海城市湿岛与城区雾

周淑贞 王行恒

(华东师范大学)

### 提 要

本文根据1984年上海城区11个气象站和郊区10个气象站的观测记录和天气图,分析上海城乡水汽压的差异及其与城区雾的关系,发现在气团雾出现前,上海在20时和02时常出现三种城市湿岛,即凝露湿岛、结霜湿岛和雨天湿岛(含雨中湿岛和雨后湿岛两型)。在辐射雾和平流辐射雾(主要出现在秋冬季节)中还有雾天城市湿岛。以上各类湿岛的形成都伴有城市热岛的存在。本文用大量观测事实论证了以上几种城市湿岛的存在及其形成过程,并指出城市湿岛的出现可以作为城市辐射雾、平流辐射雾和平流雾的先兆。

### 一、前 言

城市湿岛和城市雾是城市气候中两个重要现象。城市雾的研究较早,在19世纪早期就有人对伦敦的雾进行了研究,并创立了“城市雾”一词<sup>[1]</sup>。在伦敦经过空气净化措施后,城市大气污染减弱,又有人对雾进行了不同时期的对比分析<sup>[2]</sup>。在20世纪80年代有人专门从城市气候的特征来分析巴黎城市雾的变化<sup>[3]</sup>。我国对上海、重庆等城市曾作过城市雾的专题研究<sup>[4-6]</sup>。

城市湿岛的研究开展较晚。在美国 Leicester 城于1966年夏夜曾观测到明显的城市湿岛并绘出城市湿岛图。在加拿大的 Edmonton 城和美国的 St. Louis 城在70年代均先后观测到城市湿岛现象<sup>[7]</sup>。在80年代又有人对纽约城市湿岛效应作过研究<sup>[8]</sup>,奥克(Oke, T. R.)和兰兹葆(Landsberg, E. L.)分别在其专著《边界层气候》<sup>[9]</sup>和《城市气候》<sup>[10]</sup>中作了专门论述。在上述研究中都指出城市湿岛的形成是由于城市气温高于郊区,凝露量远比郊区为小的缘故,属于凝露湿岛一类。我国最早只在上海观测到城市湿岛并作了研究<sup>[11-12]</sup>,其后在北京亦作了这方面的观测和分析。

关于城市湿岛与城市雾的关系,国内外学者尚未进行过研究,为了弄清这两者的关系,我们应用下列资料:(1)上海气象局市区龙华观测站和郊区十个县站1984年各月月报表,(2)华东师大与上海气象局协作在上海市区建立的十个城市气象站的同年逐月月报表

本文1990年5月21日收到,7月30日收到修改稿。

本文为国家自然科学基金资助项目:《中国不同气候区域城市气候的研究》论文之一。

和(3)国家气象局 1984 年各月历史天气图,对 1984 年全年 27 个雾日的有关资料进行了普查,并从历次雾的形成上予以分类<sup>[13]</sup>。分析在雾前和在雾中上海城乡水汽压的分布,探讨城市湿岛形成的原因及其与各类雾的相互关系,这项工作在城市气候研究和实际应用上都有重要意义。

## 二、雾前城市湿岛

我们普查了上海城区和郊区各站多年逐月平均水汽压和相对湿度记录,发现城区站的值常小于郊区,呈现出“城市干岛”现象。但在一定的条件下,在某些时刻、特别是夜晚至清晨,城市水汽压却会出现大于郊区的现象,则为“城市湿岛”。图 1 所示为上海城市和郊区气象观测站点的分布及本文所用的上海城乡南北剖面的位置,图 2 为上海 1984 年各月历次雾出现时间和种类。我们对上海 1984 年全年 27 次雾日的气象记录进行普查,发现其中有 14 次在雾前出现城市湿岛,已标明在图 2 中。

根据上海城市雾形成的机制,可以把 1984 年的城市雾分为四类:(1)锋面雾(含锋面降水雾和锋际混合雾两种),(2)辐射雾,(3)平流雾和(4)平流辐射雾。根据统计锋面雾出现 11 次,其在雾前均无湿岛出现;辐射雾出现 8 次,其中有 7 次在雾前有城市湿岛(占 87.5%);平流辐射雾出现 5 次,每次均有雾前城市湿岛(占 100%);平流雾出现 3 次,其中有 2 次出现雾前城市湿岛(占 66.7%)(见表 1)。我们从雾前城市湿岛的形成原因还可将它们划分为凝露湿岛、结霜湿岛和雨天湿岛(含雨中湿岛 I 型和雨后湿岛 II 型)三类。

(1)凝露湿岛:这是上海城市湿岛中最常见的一类。由表 1 可见,它占雾前城市湿岛的 77.3%,在辐射雾、平流辐射雾和平流雾前均可出现,且一年四季均有。它是在天气形势稳定,无风或风速甚小(绝大多数风速 $\leq 2\text{m/s}$ ),天空无云,城市和郊区都有凝露现象时出现。由于城市有热岛效应,气温比郊区高,城市夜晚和清晨的凝露量远小于郊区,因此留存于城市近地面层空气中的水汽量大于郊区。另外城市因工厂多,其化石燃料燃烧时所排放出的人为水汽量<sup>[7]</sup>亦比郊区多,这就使得城市近地面层空气中的水汽压高于郊区,形成城市湿岛。图 3(a)是春季辐射雾前凝露湿岛

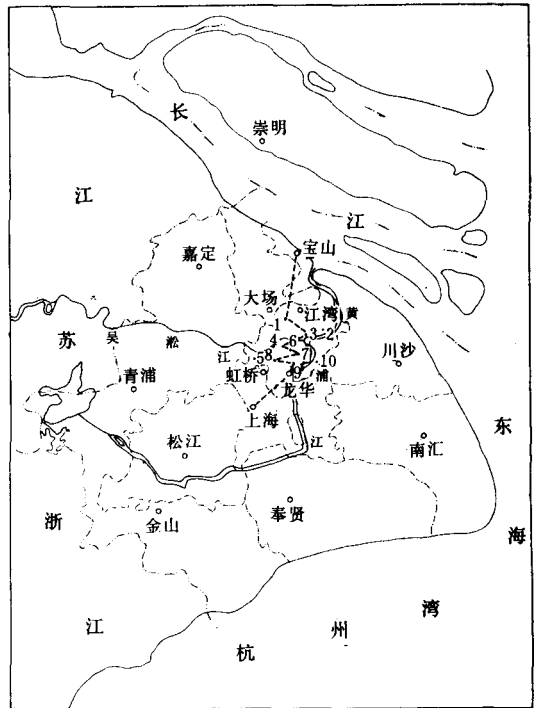


图 1 上海城市和郊区气象观测站点分布  
 (1. 风华中学 2. 继光中学 3. 杨浦站 4. 江宁中学  
 5. 长宁站 6. 62 中学 7. 黄浦站 8. 市卫站  
 9. 卢湾中学 10. 大同中学)  
 (虚线为南北剖面线)

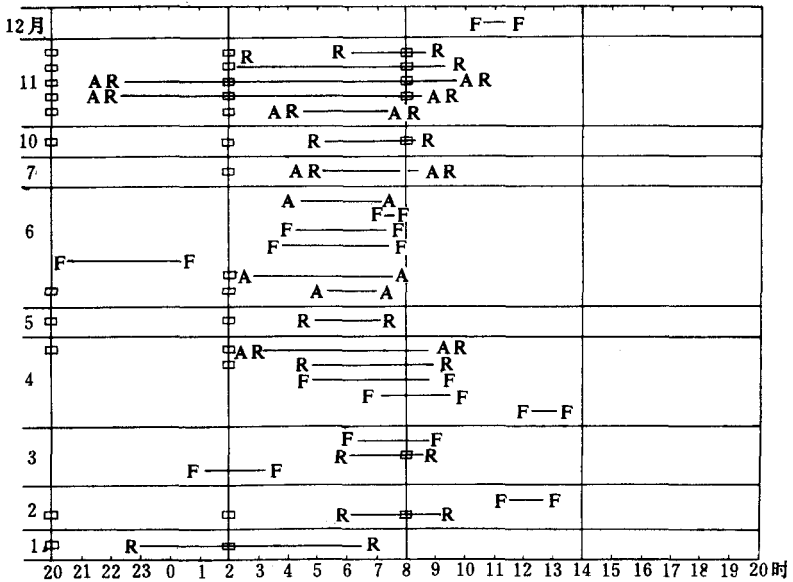


图2 上海1984年各月历次雾出现的时间和种类

(F 锋面雾, A 平流雾, R 辐射雾, AR 平流辐射雾, □ 雾前城市湿岛, ⊕ 雾中城市湿岛)

表1 上海1984年雾前城市湿岛出现时间和种类

雾类	雾出现时间		湿岛出现		湿岛类型	$\Delta e_{w-r}$	$\Delta t_{w-r}$	湿岛中心 (站号)	热岛中心 (站号)	风向 风速 (m/s)	云量		当天 天气
	月日	时间	月日	时刻		hPa	(°C)				总	低	
辐射雾	1 14	22:58—06:31	1 13	20	凝雾	1.1	4.2	4	3	C	0	0	露霜
	2 15	06:14—09:14	2 14	20	结霜	1.5	2.5	3	6	E 1	0	0	霜
			2 15	02	同上	1.1	3.7	6	7	C	0	0	霜
	4 23	03:58—07:35	4 23	02	凝露	2.0	3.4	6	6	C	0	0	露
	5 10	04:56—07:08	5 9	20	同上	2.2	4.6	4	4	ESE 2	0	0	同上
			5 10	02	同上	3.8	4.7	4	4	ESE 2	1	0	同上
	10 27	05:19—08:05	10 26	20	同上	1.5	2.3	2	4	ENE 2	0	0	同上
			10 27	02	同上	2.8	4.6	3	6	NW 2	0	0	同上
	11 16	02:22—09:18	11 15	20	雨后	1.3	2.3	9	6	C	0	0	雨
			11 16	02	凝露	2.3	3.3	7	6	NW 1	0	0	露
11 30	06:11—08:31	11 29	20	同上	1.3	3.4	8	8	C	0	0	同上	
		11 30	02	同上	1.8	4.9	8	5	C	0	0	同上	
平流辐射雾	4 26	03:10—08:49	4 25	20	同上	2.7	2.9	6	4	E 1	0	0	同上
			4 26	02	同上	2.1	2.9	7	9	C	0	0	同上
	7 29	05:12—07:48	7 29	02	同上	2.4	2.3	6	6	C	0	0	同上
	11 6	04:32—07:24	11 5	20	同上	1.4	2.1	6	7	ESE 2	0	0	同上
			11 6	02	同上	3.1	4.0	4	8	E 2	0	0	同上
11 7	22:26—08:30	11 6	20	同上	5.0	2.9	6	6	ESE 2	0	0	同上	
11 8	22:31—09:46	11 7	20	同上	3.8	3.4	6	4	E 1	0	0	同上	
平流雾	6 3	05:23—07:45	6 2	20	雨中	1.6	1.1	6	6	E 1	10	10	雨
			6 3	02	雨后	1.5	1.7	4	4	C	9	0	露
	6 11	02:51—07:36	6 11	02	凝露	3.0	2.3	10	9	SSE 2	10	10	露

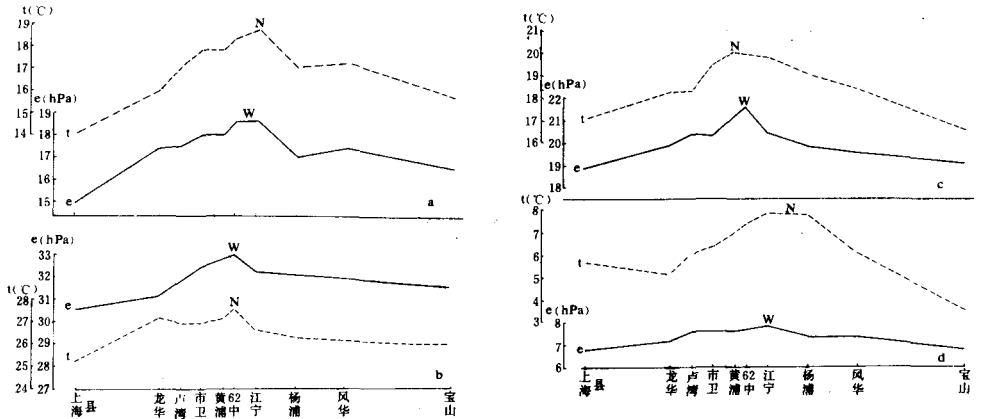


图3 上海各季雾前凝露湿岛实例

(a)春季辐射雾前 1984年5月10日02时 (b)夏季平流辐射雾前 1984年7月29日02时  
 (c)秋季平流辐射雾前 1984年11月6日20时 (d)冬季辐射雾前 1984年1月13日20时  
 (水汽压  $e$ (hPa), 气温  $t$ ( $^{\circ}$ C),  $W$  湿岛中心,  $N$  热岛中心)

实例。1984年5月10日04:56—07:08时上海城区出现辐射雾。在当天02时天气晴,总云量为1,无低云,吹SSE风,风速2m/s,老城市中心区水汽压普遍在18.0hPa以上,市中心区的62中学和江宁中学水汽压皆为18.6hPa,是湿岛中心所在,南郊上海县水汽压仅为14.9hPa,北郊宝山水汽压为16.5hPa,东郊川沙为15.8hPa,西郊嘉定为16.6hPa,湿岛中心水汽压( $e_w$ )与近郊最低水汽压( $e_n$ )之差值 $\Delta e_{w-n}$ (湿岛强度)达3.8hPa。

在图3(a)南北向水汽压剖面图上呈现出明显的城市湿岛,这时城区气温普遍高于郊区,热岛中心位于江宁中学,其气温( $t_w$ )为18.7 $^{\circ}$ C,而南郊上海县气温( $t_n$ )仅为14.0 $^{\circ}$ C,热岛强度 $\Delta t_{w-n}$ 达4.7 $^{\circ}$ C。

图3(b)是上海1984年夏季雾前凝露湿岛一个实例。在盛夏7月29日05:12—07:48时,上海出现一次平流辐射雾。在雾前有偏东风的水汽输送,夜晚无云,凌晨02时总云量虽为10,但低云量为零,有辐射降温作用,因此形成平流辐射雾,城市和郊区有凝露现象,城市热岛强度为2.3 $^{\circ}$ C(在夏季可算强热岛),郊区凝露量远大于市区,因此出现城市湿岛。从图4上可见湿岛中心位于62中学,其水汽压为32.9hPa,比南郊高出2.4hPa,热岛中心亦在62中学。

图3(c)为1984年11月6日20时凝露湿岛实例。当时龙华吹ESE风,风速2m/s,晴空无云,城乡均有凝露现象,城区气温普遍高于郊区,热岛中心位于黄浦站(20 $^{\circ}$ C),比南郊上海县气温(17.1 $^{\circ}$ C)高2.9 $^{\circ}$ C,凝露量城区比郊区小得多,水汽压则显著高于郊区,湿岛中心位于黄浦站附近的62中学,其水汽压为21.6hPa,比上海县高2.5hPa,在全地区水汽压分布图(图略)上要比西北郊嘉定高出5.0hPa,此强湿岛出现后两小时许,即出现持续10小时以上(22:26—08:30)的平流辐射雾。

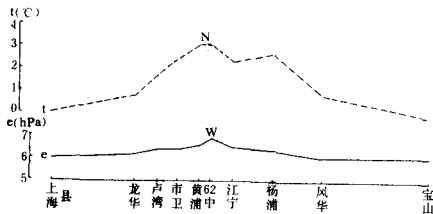


图4 上海冬季辐射雾前结霜湿岛实例  
(1984年2月15日02时)  
(说明同图3)

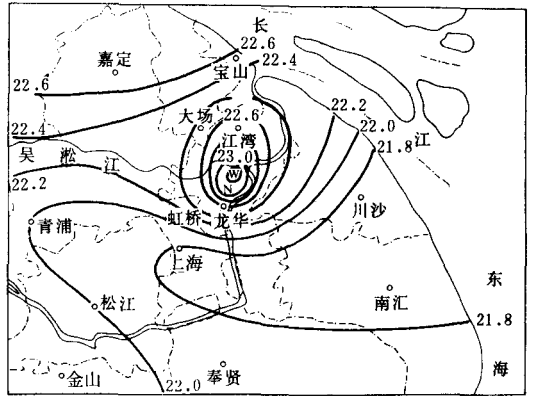


图5 上海夏季平流雾前雨天湿岛(I型)实例  
(1984年6月2日20时)(说明同图3)

图3(d)为1984年1月13日20时凝露湿岛实例,当时天气晴稳无风,城市凝露量小于郊区,热岛中心位于江宁中学至杨浦站一带,气温皆为7.8℃,宝山气温只有3.6℃,热岛强度为4.2℃,湿岛中心位于江宁中学,湿岛强度为1.1hPa。

(2)结霜湿岛:上海冬季有一霜期,在晴寒无风或小风天气,城乡地面有冰冻和结霜现象出现。城市有热岛效应,其结霜量比郊区小,城区近地面空气层中的水汽压大于郊区,形成城市结霜湿岛。由于上海冬季盛行大陆季风,空气中水汽压不高,再加上低温时气温每差1℃其饱和水汽压的差值比高温时小,因此结霜湿岛的强度不大,只有在城市热岛强度十分显著时,才能出现此种湿岛。图4便是冬季辐射雾前结霜湿岛的一例,在1984年2月15日02时,上海有结霜和冰冻现象,老城区水汽压在6.4hPa以上。湿岛中心位于62中学,其水汽压为6.9hPa。而东郊川沙水汽压仅5.8hPa,湿岛强度为1.1hPa,此时城乡气温差别很显著,市中心黄浦站为3.1℃,而东郊川沙气温为-0.6℃,热岛强度达3.7℃,此湿岛出现后,在当天06:14—09:14时即出现城市辐射雾。

(3)雨天湿岛:上海在降雨时或骤雨初歇后,伴有城市热岛而风速又甚小时可有城市湿岛出现,我们称雨中湿岛为雨天湿岛I型,雨后湿岛为雨天湿岛II型。上海在1984年6月3日05:23—07:45时出现一次平流雾,在雾前6月2日20时和6月3日02时均出现雨天湿岛。图5所示为雨中湿岛实例,当时吹东风,风速1m/s,市区62中学气温为20.7℃,南郊上海县为19.6℃,热岛强度为1.1℃(这在夏季雨中是罕见的强热岛)。由于气温比郊区高,雨水蒸发量比郊区大,因此出现城市湿岛,此时62中学水汽压为23.3hPa,而南郊上海县和东郊川沙县的水汽压仅各为21.7hPa,湿岛强度为1.6hPa,此次降水从20时起断断续续降至22时04分止。在次日(6月3日)02时水汽压的分布图(图略)上仍呈现出雨后城市湿岛。此时城市热岛中心和湿岛中心都稍有北移至江宁中学,热岛强度为1.7℃,湿岛强度为1.5hPa。

上述三种雾前城市湿岛以凝露湿岛为最多约占77.3%,其次为雨天湿岛占13.7%,上海冬季结霜时间不多,结霜湿岛仅占9%左右。

### 三、雾天城市湿岛

上海市在大雾弥漫时，亦发现有城市湿岛出现，此类湿岛称为雾天湿岛，经普查上海 1984 年全年出现雾天湿岛的时次如表 2 所示。上海在 1984 年共出现 8 次辐射雾，除 4 月 23 日(03:58—07:35)和 5 月 10 日(04:56—07:08)两次辐射雾不在定点观测时刻出现无从考查外，其余 6 次均有雾天湿岛。由表 2 可见，出现雾天湿岛时，风速都很小，并伴有强热岛。

表 2 上海 1984 年各类城市雾天湿岛实例

雾 类	雾出现时间				湿岛出现		$\Delta e_{u-r}$	$\Delta t_{u-r}$	湿岛中心 (站号)	热岛中心 (站号)	风向风速 (m/s)	云量	
	月	日	时	间	月	日						时	刻
辐射雾	1	14	22:58—06:31	1	14	02	1.6	3.4	4	6	SE 2	10	10
	2	15	06:14—09:14	2	15	08	1.6	5.1	4	7	C	0	0
	3	28	06:07—08:35	3	28	08	0.9	3.8	5	2	NW 1	0	0
	10	27	05:19—08:05	10	27	08	1.2	4.4	9	8	NW 1	0	0
	11	16	02:20—09:18	11	16	08	2.0	3.8	2	9	C	0	0
	11	30	06:11—08:39	11	30	08	1.2	4.7	8	7	C	0	0
平流辐射雾	11	7	22:26—08:30	11	9	02	3.3	3.5	6	6	SE 1	0	0
						08	1.0	1.7	4	4	SE 1	0	0
	11	8	22:23—09:46	11	8	02	1.9	2.3	8	4	SE 1	0	0
						08	1.4	2.8	4	8	SE 1	0	0

图 6 为上海冬季辐射雾中雾天湿岛的一个实例。1984 年 2 月 15 日 08 时上海亦在大陆冷高压楔控制下，晴寒无风，郊区气温在 0°C 以下，南郊上海县最冷，08 时气温为 -2.0°C，市区站气温多在 0°C 以上，市中心的市卫站为 3.0°C，黄浦站和 62 中学皆为 3.1°C，热岛强度高达 5.1°C，这在雾中是极少有的。由于城乡气温差异大，雾中水汽压的城乡差值因此亦甚明显。由图 6 可见，南郊上海县水汽压  $e$  仅为 5.2hPa，而市卫站、黄浦站和江宁中学水汽压皆为 6.8hPa，湿岛强度为 1.6hPa。

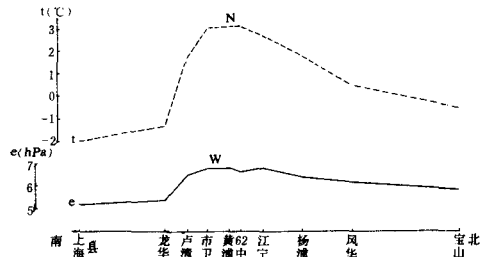


图 6 上海冬季辐射雾，城市雾天湿岛实例 (1984 年 2 月 15 日 08 时)(说明同图 3)

上海在 1984 年出现 5 次平流辐射雾，其中除了 7 月 29 日(05:12—07:48)和 11 月 6 日(04:32—07:24)两次因雾的出现时间不在定点观测时刻，无从考察，4 月 26 日(03:10—08:49)08 时因城乡气温差别不显著，故无雾天湿岛外，11 月 7 日和 8 日上海在入海高压后部的高压楔中，连续出现两天各长达 10 小时以上的平流辐射雾，在这两天的 02 时和 08 时皆有雾天城市湿岛。如表 2 所示，在这些时刻风速都只有 1m/s，云量为零，都有

强度不等的城市热岛,其中以 1984 年 11 月 7 日 02 时热岛强度最大。

#### 四、结束语

过去国内外关于城市湿岛的研究只涉及凝露湿岛一类,本文通过对上海城乡各站 1984 年全年的普查,发现城市湿岛形成的机制中还有结霜湿岛、雨天湿岛(含 I 型雨中湿岛和 II 型雨后湿岛)和雾天湿岛三类。上海城市湿岛和城市雾的关系十分密切,在辐射雾、平流辐射雾和平流雾前基本上都有城市湿岛出现。在夜晚 20 时或 02 时若有城市湿岛,同时参照其他条件(如辐射冷却、平流水汽输送、大气层结稳定、气温与露点差距小等),则可以作为预报未来数小时出现气团雾(含上述三种雾类)的先兆。只有在锋面雾和与锋面有联系的平流雾前没有发现有城市湿岛的存在。在辐射雾和平流辐射雾中如伴有显著城市热岛时,则会出现雾天湿岛。

必须指出,城市热岛与城市湿岛有极其明显的相互制约相互联系的关系。城市热岛的存在会导致城市的凝露量和结霜量小于郊区,会使雨天和雾天城市的水汽压大于郊区,因此就上海而言,没有城市热岛就不会有城市湿岛。上海城市有干岛和湿岛的昼夜交替,白昼城市干岛强,有利于太阳辐射透过大气层使地面增温,从而增强地面长波辐射,使近地面的空气增温。夜间有城市湿岛存在,可以增强城市低层空气对地面长波辐射的吸收能力,减少地面长波辐射逸入宇宙空间,并能加强大气逆辐射和温室效应,有利于城市热岛的增强。此二者是相辅相成的。

#### 参 考 文 献

- [1] Howard, L., "Climate of London, Deduced from Meteorological Observation" 3rd ed. in 3 Vols., Harvey & Darton, London, 1833.
- [2] Jenkins, I., "Decrease in the frequency of fog in Central London, *Meteorol. Mag.* 100(1192), 317—322, 1971.
- [3] Escourron, P. et al., "The effect of urban area on fog ICCL, IAMAP, 1981.
- [4] 周淑贞等, 上海的雾, 地理学报, 36 卷, 1 期, 1981。
- [5] 周淑贞等, 上海城市对雾的影响, 气象学报, 45 卷, 3 期, 1987。
- [6] 蒋国碧, 重庆的雾, 西南师范学院学报, 4 期, 1983 年。
- [7] 周淑贞等, 城市气候学导论, 第七章, 华东师大出版社, 1985 年。
- [8] Clark, E. C. et al., "Current and potential anthropogenic moisture effects on New York City plantatary boundary layer, *JAPCA* 35, 831—835, 1985.
- [9] Oke, T. R., *Boundary Layer Climate*, Methuen & co. Ltd., 259—260, 1978.
- [10] Landsberg, E. L., *The Urban Climate*, Academic Press, New York, 178—182, 1981.
- [11] 周淑贞等, 上海城市对湿度和降水分布的影响, 华东师大学报(自然科学版), 1 期, 1983 年。
- [12] 周淑贞, 上海城市气候中的五岛效应, 中国科学, 11 期, 1988 年。
- [13] 周淑贞, 上海城市雾的形成与特征, 应用气象学报, 2 卷, 2 期, 1991 年。

## THE URBAN MOISTURE ISLAND AND URBAN FOG OF SHANGHAI

Zhou Shuzhen Wang Xingheng

(*East China Normal University*)

### Abstract

By making use of the simultaneous observational meteorological data in 1984 in Shanghai urban and its suburbs, we discussed the formation of urban moisture island and its relationship with urban fog. Three major conclusions are as follows:

(1) There are four types of urban moisture island according to their formation; a) with less dew deposits in the nighttime, b) with less frost deposits in the nighttime, c) more water evaporation in or after the rain, d) more water evaporation in the fog time. All the above processes are accompanied by the urban heat island.

(2) The urban moisture island is a very good indication of radiation fog and advection radiation fog, but there is little relationship with frontal fog.

(3) During the radiation fog and advection radiation fog period of autumn or winter, there always exists an urban moisture island.