

沪宁地区辐射雾的微物理结构 及其演变

黄建平 梅清银 靳永才 李子华

(南京气象学院, 南京 210044)

提 要

1996年12月27~31日沪宁地区连续5天出现了浓雾天气。利用三用滴谱仪和ADAS对辐射雾的微物理结构及温、压、湿、风等要素的垂直分布进行了探测。通过对这些观测资料的分析,揭示了该地区辐射雾的微物理结构特征及其演变过程。结果表明:雾的微物理结构与大气污染程度紧密相关,逆温层的长时间存在可以影响雾的微物理结构。此外,还观测到含水量、谱宽等存在周期为20~30分钟的振荡现象。

关键词: 沪宁地区 雾滴谱 大气污染 逆温层

引 言

1996年12月27~31日,由于受稳定高压系统的控制,加上9625号热带风暴的缓慢北上,阻碍了大陆高压东撤,沪宁及其周边地区连续5天出现了浓雾天气。我们分别在汤山、南京气象学院设置了观测点,对雾的宏、微观结构进行探测。利用三用滴谱仪对雾滴及雾中的含水量进行采样,利用ADAS对雾中温度、湿度、风场等要素的垂直分布进行探测。雾滴谱采样是每隔5~10分钟进行1次。它是利用惯性将雾滴收集在涂有油层的玻璃片上,在显微镜下直接读数或显微照相后再读取雾滴的大小和个数,共取得资料92份。资料处理时,对所有的读数都做了捕获系数订正。含水量可利用雾滴谱资料计算得到,也可采用滤纸斑痕法观测所得。本文通过对这些资料的详细分析,讨论了沪宁地区冬季辐射雾的微物理结构及其演变过程,特别对其演变过程中的一些物理机制进行了探讨,得到一些有益结论。

1 雾的微物理结构参量

云雾的微物理结构观测在云雾研究中占有重要的地位^[1]。恶劣能见度直接威胁交通运输安全,而雾中能见度与液态水含量、雾滴谱分布等微物理参量密切相关。因此,深入研究雾的微物理结构很有必要。

描述雾的微物理结构的参量主要有:雾滴数密度 N 、各种直径 D 、含水量 W 及谱分布等。

表1给出了沪宁地区冬季辐射雾的主要微物理结构参量,并与上海和重庆进行了比较。从表中可以发现:

① 雾滴数密度汤山最小(约为 48.4 个 $\cdot\text{cm}^{-3}$),南气院最大(平均为 1206 个 cm^{-3})。南气院甚至比重庆(606 个 $\cdot\text{cm}^{-3}$)^[2]还大。可见,雾滴数密度随着地区不同和过程不同变化很大,其差异甚至可以达到两个量级。造成这种差异的原因与大气中的气溶胶粒子数目有关。汤山地处南京市东郊,大气环境较清洁,因而气溶胶粒子少。南气院地处南

京市大厂区,该地区集中了几家大型电厂、钢铁厂和化工企业,空气污染较重,因而大气中可作为凝结核的粒子多。此外,由于连续几天

强逆温层的存在,使得大量的气溶胶粒子日益积聚在近地层,因此从27~30日,雾滴数密度急剧增加。

表1 雾的主要微物理结构参量

时间 年·月·日	地点	数密度 $N/\text{个}\cdot\text{cm}^{-3}$	含水量 $W/\text{g}\cdot\text{cm}^{-3}$	平均直径 $D/\mu\text{m}$	最大直径 $D_{\text{max}}/\mu\text{m}$	峰值直径 $D_p/\mu\text{m}$	样本 数
1996·12·27 5:20~11:15	汤山	48.4	0.14	12.4	57.5	7.3	31
12·29 7:50~10:40	南气院	152.6	0.09	6.0	39.5	4.9	12
21:40~0:20	南气院	1517.0	0.17	4.6	29.3	4.2	13
12·30 7:15~11:25	南气院	2047.7	0.25	4.5	32.4	3.5	31
1997·1·21 2:12~3:30	阳澄湖	268.6	0.04	4.8	31.7	4.4	7
1989·1	上海	173	0.26	5.0	54.8		
1989·12~1990·1	重庆	606	0.07	4.2	23.8		

② 平均直径。与数密度不同,雾滴的平均尺度随地区的变化要小得多。除了汤山的平均尺度稍大外(约 $12.0\mu\text{m}$),其它地区的平均尺度均在 $5.0\mu\text{m}$ 左右,小于典型的云滴大小($10.0\mu\text{m}$)^[3]。但从表中仍然可以发现,雾滴平均直径与数密度大致呈相反的关系,即雾滴数密度愈大,则其尺度愈小。

③ 峰值直径。峰值直径即为滴谱曲线上最大数密度所对应的直径。汤山最大(约为 $7.3\mu\text{m}$),而南气院的几次观测值与阳澄湖大致相当,大约为 $4.0\mu\text{m}$ 。可见,峰值直径小于平均直径,表明雾中的小滴较多。

④ 含水量。雾中的液态水含量是有关云雾动力学、热力学研究的重要因子之一。表中给出的是每次雾全过程的平均情况。由表可见,汤山为 $0.14\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$,与南京气象学院3次观测的平均值相当,比上海小,比重庆大。表中阳澄湖的值是在雾的消散阶段所观测的,故其值偏小。从汤山观测得到的结果(W 的范围为 $0.01\sim 0.58$,平均值为 $0.14\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$)可知,雾中含水量可以在很大的范围里变化。由南气院连续3场雾的观测表明,由于逆温层的连续存在,水汽在近地层的积累,雾

中含水量也是越来越大,即从 $0.09\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$ (27日)增至 $0.17\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$,再增至 $0.25\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$ 。这一点与雾滴数密度的变化相似。

⑤ 谱宽(即最大直径)。从表中可以看出,雾滴数密度越小,谱宽越宽;数密度越大,雾滴所能增长的直径就越小。因数密度与大气中的气溶胶粒子有关,所以,谱宽也与大气污染程度有关。

以上分析表明,大气中的污染程度严重影响雾的微物理结构,同时,逆温层连续存在可以使得数密度和含水量不断增加。

2 微物理结构演变

以上讨论的是沪宁地区辐射雾的微物理结构的平均状况。实际上,在雾的发生、发展过程中,各微物理结构是在不断变化的。本文着重讨论12月27日雾的微物理结构演变。雾的微物理结构与宏观物理过程相联,先简要描述一下雾的宏观结构及其发展过程(仅讨论温度场,其它要素略),详细的描述见文献[4]。

图1是根据ADAS观测资料绘出的27日辐射雾的温度层结曲线随时间的演变。雾形成前,强烈的地表长波辐射冷却使地面温

度迅速降低,并形成贴地逆温层(如 t_1 曲线代表 01 时的温度曲线,下同)。04 时,近地层湿空气达到饱和,雾开始形成。06 时以前,地面雾发展缓慢,雾顶高仅 13.0m。06 至 07 时,由于水汽凝结释放潜热的加热作用,湍流有了一定的发展,同时雾顶存在较强的辐射冷却,雾开始向上发展,07 时雾顶跃至 60.0m,这是雾的第一个发展阶段,即为日出前的发展阶段。07 时左右日出,地面吸收太阳辐射增温,湍流运动进一步增强,加上雾顶存在强烈的辐射冷却,雾层迅速向上发展,08 时,雾顶增至 180.0m 左右,这是雾的第二个发展阶段(即为日出后的发展)。09~11 时,为雾的成熟阶段。这期间,雾的发展相对稳定,雾顶在 170~200m 之间起伏,雾体变化不大。11 时以后,地面能见度转好,雾体开始脱离地面并抬升演变为层云,雾逐渐消散。

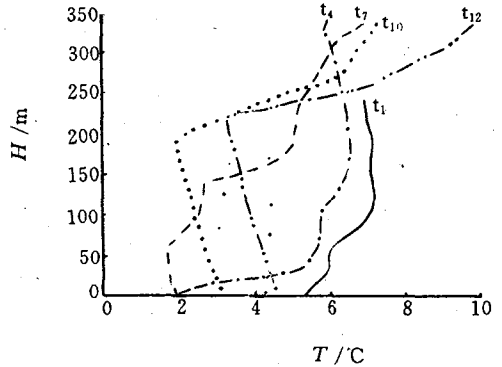


图1 12月27日辐射雾存在时温度层结曲线随时间的演变

根据以上各阶段的划分,表2列出了27日汤山地区辐射雾的各阶段微物理结构的演变情况。

表2 12月27日汤山雾的各阶段微物理结构

时间	阶段	N	W	D	D_{max}	D_p	T_0	样本
5:20~5:50	形成	142	0.38	12.3	41.6	4.8	0.6	2
5:50~7:00	发展(一)	24.4	0.09	12.9	52.8	7.4	0.6~2.6	5
7:00~9:00	发展(二)	54.7	0.16	11.4	54.0	5.2	2.8~3.2	11
9:00~11:00	成熟	39.7	0.11	12.8	52.4	9.5	3.2~5.0	12
11:00~	消散	11.6	0.04	12.6	59.2	8.0	5.7	1

2.1 雾滴数密度

雾滴数密度随雾的发展阶段不同变化很大。图2给出了12月27日汤山雾的数密度随时间的连续变化。从图2可以发现:雾生阶段,地表辐射冷却达到最强^[3],最利于近地面的水汽发生凝结,由于湍流运动很弱,雾的发展仅在近地面 13.0m 以内,因此,近地面的雾滴数密度很大(平均值为 142 个· cm^{-3})。雾滴的形成伴随着大量凝结潜热的释放,大气湍流得到一定发展,将低层的雾滴及水汽向垂直方向输送,从而使得低层的雾滴数密度又迅速减小。而后,雾滴数密度变化不大,直到 07 时太阳出来后,地面蒸发增强,贴地

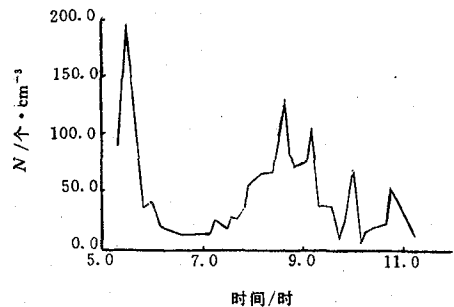


图2 雾滴数密度的时间变化图

层得到水汽补充,雾又再次发展,雾滴数密度逐渐增大,直到09时前后达到最大。09时以后,进入成熟阶段,湍流发展旺盛,近地面的雾滴数密度变化比较缓慢。11点以后,地面能见度逐渐转好,雾滴数密度迅速减小。

2.2 含水量

图3给出汤山地区辐射雾的液态水量的时间变化。从图3及表2可以看出:

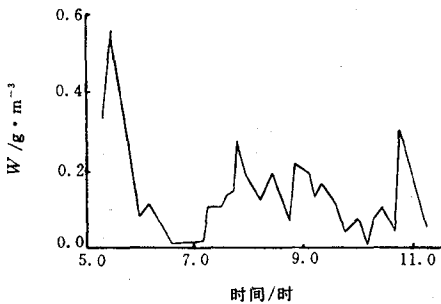


图3 含水量随时间变化图

①由图2和图3可知,含水量的大小与雾滴数密度具有非常好的对应关系。从观测发现,雾滴较小(平均直径仅为 $5.0\mu\text{m}$),分布均匀,特别是大滴(直径大于 $10.0\mu\text{m}$)个数很少,这是因为雾内温度(指暖雾)大于 0.0°C ,过饱和度很小,雾滴靠凝结增长非常有限,而且雾中碰并作用较小,雾滴长不大,因此大滴对含水量的贡献不大。

②形成阶段,即06时以前,雾顶高仅为 13.0m ,雾水主要积聚在近地面几米处,因此,观测的含水量值特别大;发展阶段,由于雾层向上发展,低层含水量明显减小。

③07时以后,含水量有一明显的、周期为 $20\sim 30$ 分钟的振荡现象,Bott等^[5]在1990年也发现类似现象。这主要是当雾滴增长到一定大小时,由于重力沉降,可在近地面观测到较大的雾水含量;而小滴通过凝结和碰并增长变为大滴时需要一定时间,这期间近地面观测的含水量较小;长大的雾滴再次

发生重力沉降,近地面处的含水量又出现一个峰值;接着小滴再次长大。如此反复,近地面的含水量必然出现一振荡现象,其周期大约为 $20\sim 30$ 分钟。

④消散阶段,雾滴蒸发加强,数密度迅速下降,谱宽变窄,导致雾中含水量急剧减小。

2.3 谱宽、峰值直径

图4给出了谱宽时间剖面图。雾滴经过凝结增长和碰并增长以后,谱宽不断拓宽并在成熟阶段达到最大。而且谱宽也存在着类似于含水量的准周期振荡现象。

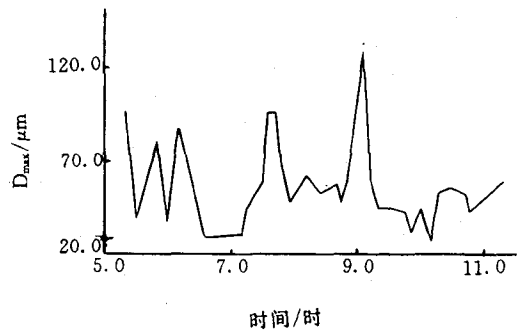


图4 谱宽的时间剖面图

图5给出了峰值直径随时间的变化情况。从图5可以看出,发展阶段(一)和成熟阶段的峰值直径较大,说明这两个阶段经过凝结增长和碰并增长后大滴较多,特别是成熟阶段,峰值直径甚至达到 $24\mu\text{m}$ 。而在初生阶段和发展阶段(二),峰值直径较小,仅为 $3\sim 5\mu\text{m}$,小滴占多数。

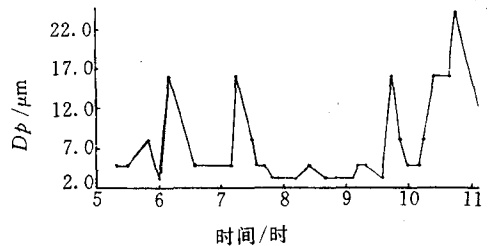


图5 峰值直径的时间变化图

结合图3可知,含水量与峰值直径关系不大。但是,象含水量的变化一样,峰值直径 D_p 的变化也存在振荡现象,但周期要长。

3 雾滴谱分布

雾滴谱分布是反映雾的微物理特征的重要参数之一。图6给出了12月27日05~11时30分在汤山近地面1.0m处观测的雾滴谱的平均分布。可以发现:谱型为“单峰”,整个谱分布偏向小滴一端;雾滴主要出现在2~30 μm 之间,峰值直径大约5 μm ,且绝大多数位于(3~8 μm)之间,与层云云滴很相似。

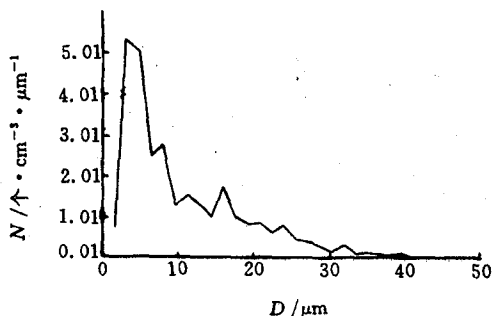


图6 12月27日汤山雾滴谱的平均分布

为了更好的了解雾滴谱的演变情况,图7描述了不同发展阶段的雾滴谱图。从图可

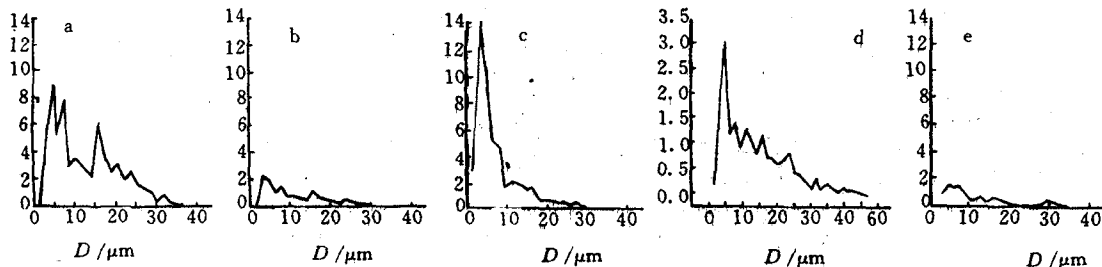


图7 不同发展阶段的雾滴谱

a. 形成阶段(后期); b. 发展阶段(一); c. 发展阶段(二); d. 成熟阶段; e. 消亡阶段

参考文献

- 1 Eldridge, R. G., A new fog distributions, J. Meteor, 1961, 18(5): 671~676.
- 2 李子华. 重庆市冬季雾滴谱特征. 南京气象学院学报, 1995, 18(1): 46~51.
- 3 王鹏飞, 李子华. 微观云物理学. 北京: 气象出版社, 1989.

以看出,各阶段的雾滴谱分布差异较大。初生阶段(图7a给出了初生阶段后期的谱分布),雾的发展仅在近地面,雾滴数密度很大,谱也较宽,说明该阶段地面雾的凝结、碰并过程进行得很快。而后各种尺度雾滴数密度都减小,尤其是小滴减小更为明显,这是地面雾突发向上输送,而使雾顶跃增的结果(见图7b)。日出后,地表吸收太阳辐射增温,地面蒸发作用明显加强,近地层的水汽得到补充,而此时雾层气温变化不大,使得雾中出现过饱和,因此近地面雾滴的数密度特别是小滴增加较为迅猛(见图7c)。成熟阶段(9:00~11:00),湍流发展旺盛,垂直交换作用比较大,近地面的雾滴数密度逐渐减小(如图7d)。11点以后雾体开始抬高消散,雾滴数进一步减小。

4 结论

- 4.1 逆温层的长时间维持,导致辐射雾的连续出现,使得雾中数密度和含水量不断增加,平均直径减小。
- 4.2 大气污染程度严重影响雾的微物理结构。大气受污染越重,可凝结核就越多,雾滴数密度就越大,雾滴的峰值直径越小,谱宽越窄。
- 4.3 由于重力沉降,含水量、谱宽等存在着20~30分钟的准周期振荡现象。

- 4 黄建平. 辐射雾的边界层特征. 南京气象学院学报, 1998, 待发表
- 5 A. Bott et al. A radiation fog model with a detailed treatment of the interaction between radiative transfer and fog microphysics, J. Atmos. Sci., 1990, 47(18): 2153~2166.

Microphysical Structure Features and Evolution processes of Radiation Fog in Huning Region

Huang Jianping Mei Qingyin Jin Yongcai Li Zihua

(Nanjing Institute of Meteorology, Nanjing, 210044)

Abstract

Heavy fog occurred for five successive days from Dec. 27 to 31, 1996. Using a drop-size meter and ADAS, soundings of microphysical structures of radiation fog and soundings of vertical distributions of some related meteorological elements, such as temperature, pressure, moisture, wind and so on were conducted. By analysing these data thoroughly, the microphysical structure characteristics and evolution processes of radiation fog in Huning region were discovered. Results suggest that there is a close connection between the microphysical structures of fog and the degree of air pollution, and a long-lived inversion has an effect on the former. Furthermore, quasi-periodic oscillations with periods of 20~30 minutes are observed in liquid water content, spectrum width, and peak diameter etc..

Key Words: Huning area fog droplet-spectrum atmospheric pollution inversion

① 本文得到中国气象局“96.8”特大暴雨分析研究课题的资助。

② 杜青文、刘素恩、史凤兰、尤凤春、张迎新、景华、李莉、张国华等同志参加了部分工作。