

西双版纳冬季雾的微物理结构及演变过程^①

黄玉生 黄玉仁

(云南省气象局, 昆明, 650034)

李子华 陈宝君 黄建平 顾江新

(南京气象学院, 南京, 210044)

摘 要

云南省西双版纳地区是著名的热带雨林多雾区。1997 年 11 月 23 ~ 30 日, 实施了一项雾的外场试验计划。文中利用勐养站观测的宏、微观资料, 重点分析了雾的微物理结构及演变特征, 并结合雾的宏观发展, 讨论了雾的微物理过程。

关键词: 西双版纳, 冬季雾, 微结构, 雾滴谱。

1 引 言

西双版纳是中国著名的热带多雾区, 最多年份可达 208 个雾日。一方面, 浓雾严重影响交通; 另一方面, 雾对生态环境的变化又十分敏感。近年来, 随着国民经济和城市发展以及热带雨林的减少, 雾有明显减少、减弱的趋势。因此, 开展雾的研究既可弄清雾的生消规律, 建立雾的预警服务系统, 又可揭示生态环境变化对气候的影响, 为保护生态环境提供科学依据。

1997 年 11 月 23 ~ 30 日, 在国家自然科学基金支持下, 进行了西双版纳雾的外场试验。这期间, 勐养每天都有浓雾, 对其中 4 次(25, 26, 28 和 29 日) 雾生消过程进行连续观测。本文根据雾滴谱、含水量等微观实测资料, 着重分析雾的微物理结构特征。

雾的微物理结构的实际观测, 对研究雾的微物理过程及人工消雾至关重要。因此, 国内外有关雾的野外探测计划中, 大多含此项观测。如 1971 年英国在贝福德郡卡丁顿^[1]、1970 年美国在埃尔迈拉山谷^[2]、1979 年美国在阿尔巴尼^[3]以及 1989 年和 1994 年在意大利波河河谷^[4,5]等地试验, 对雾的微物理结构及其演变均进行了广泛的观测研究。1960 年代, 特别是 1980 年代以来, 中国在西南地区、长江流域和闽、皖、浙等省地也进行了雾的微物理结构的观测^[6]。以上工作不仅基本搞清了各类雾的微物理结构特征、微结构与凝结核的关系, 还研究了微结构与湍流、微滴化学特性与其尺度的变化关系。但将微物理结构与宏观发展过程结合起来研究的不多。本文主要目的是研究雾的微物理过程及与宏观物理

^① 初稿时间: 1998 年 9 月 7 日; 修改稿时间: 1999 年 1 月 12 日。
资助课题: 国家自然科学基金项目 49665012。

发展过程之间的关系。因此,这里除给出雾的微物理结构一般特征外,重点分析了雾在宏观发展过程中微结构和雾滴谱的演变,揭示了雾微物理过程迅猛发展与宏观过程爆发性发展之间的内在联系。

2 观测场地和仪器

西双版纳地处横断山系纵谷区的南段,东部为无量山的西部山地所控制,西部为怒山余脉所盘踞,中部有澜沧江及其支流小黑江、流沙河等造成的宽谷盆地。勐养位于西北-东南走向的三达山北坡脚下的河谷内,谷地北面是与三达山大体平行的官坪山,谷地两面山的海拔高度 1000 ~ 1200 m。观测点在勐养镇西边 2 km 处,海拔高度 771 m。在观测点西南约 2 km 处,建有水泥厂和复合化肥厂。西双版纳自治州首府景洪市位于勐养西南,两地直线距离约 1 km (图 1)。西双版纳山区覆盖原始热带雨林和种植的橡胶林,林冠高 10 m 左右。近些年来,城市发展,人口增加,但热带雨林明显减少。观测项目主要有大气边界层探测、微物理结构观测及雾水和气溶胶采样。边界层探测采用美国 AIR 公司生产的 ADAS (Automatic Data Acquisition System) 系统,它由系留气艇携带探空仪升空而测得不同高度上的温、压、湿、风等资料并传递给地面接受机,一般每升高 5 ~ 10 m 可得一组数据,气艇最大升高到 800 m 左右,一次观测约 20 ~ 30 min。每 2 h 观测一次,在雾生雾消时还要加密测一次。微结构观测用三用滴谱仪,它利用惯性使雾滴沉降在涂有油层的玻璃片上,显微照相后再读取雾滴大小和个数。可测最小尺度为 $3.2 \mu\text{m}$,资料处理时进行捕获系

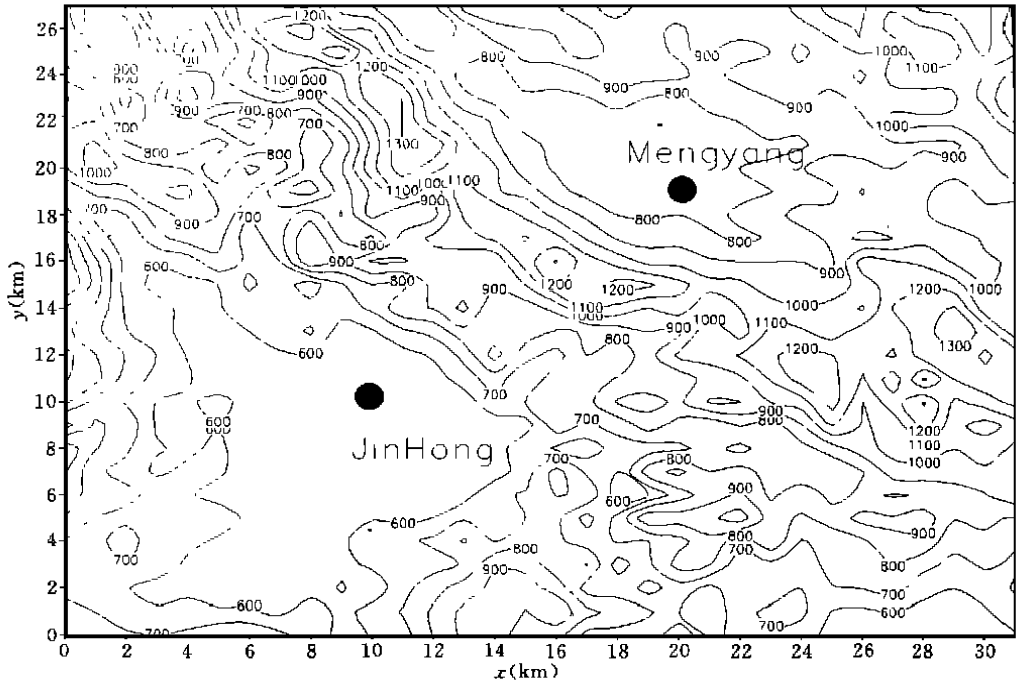


图 1 西双版纳地形图

(图中数值为等高线海拔高度)

数订正。当滴谱仪取样头换为涂有玫瑰精的吸水纸时, 可由吸水纸斑痕直接测得含水量。

表 1 勐养雾微物理结构参量

特征量		勐养 (1997. 11. 26)	勐养 (1997. 11. 28)	勐养 (1997. 11. 29)	勐养 ^[6] (1986. 12 ~ 1987. 2)	重庆石板坡 ^[7] (1989. 12 ~ 1990. 1)
数密度 (个·cm ⁻³)	平均值	81.7	313.0	315.2	94.8	529.0
	最大值	388.5	955.2	2437.7	270.2	2026.0
	最小值	10.9	2.2	16.4	2.1	35.0
平均直径	平均值	9.2	7.3	7.6	13.1	4.4
	最大值	27.2	17.6	16.5	22.8	7.5
	最小值	4.6	4.0	4.0	5.7	3.5
最大直径 (μm)	平均值	41.0	40.0	31.5	58.8	21.9
	最大值	78.4	80.0	60.8	66.5	35.0
	最小值	19.2	14.4	12.8	42.0	7.0
峰值直径 (μm)	平均值	5.3	3.8	5.4	6.8	3.5
	最大值	19.2	11.2	19.2	21.0	3.5
	最小值	3.2	3.2	3.2	3.5	3.5
计算含水量 (g·m ⁻³)	平均值	0.082	0.116	0.174	0.25	0.02
	最大值	0.258	0.568	0.667	0.74	0.12
	最小值	0.003	0.001	0.007	0.02	0.00
实测含水量 (g·m ⁻³)	平均值	0.039	0.037	0.034		0.029
	最大值	0.119	0.188	0.124		0.163
	最小值	0.001	0.001	0.001		0.001
能见距离 (m)	平均值	165	274	170		
	最大值	660	800	740		
	最小值	40	40	15		
样本数	40	44	18	14		

3 雾的宏观发展过程

每次雾生消过程的一般情况是: 17 时地面气温下降, 贴地逆温形成。从日落(18~20)至 20 时, 气温以 4~5 °C·h⁻¹ 的速率急剧下降, 相对湿度由 40% 左右猛增至 90% 以上。以后气温缓慢下降, 相对湿度逐渐增大, 午夜前后雾开始在低空形成, 而后很快及地。03 时前后, 雾在垂直方向爆发性发展, 雾层厚度突增, 雾顶高度迅猛发展到 300 m 以上。09 时起, 气温回升, 相对湿度减小, 地面能见距离逐渐增大。直到 11 时, 整层雾消散, 一次雾过程结束。雾形成时气温比较高, 地面气温多在 13~17 °C 之间; 整个雾层温度也较高, 一般都在 12 °C 以上。

图 2 上面给出了 1997 年 11 月 28 日雾层发展图。由图可见, 午夜 0 时雾在低空形成, 并有双层结构, 45 min 后地面开始实测到含水量。03~05 时雾层在垂直方向快速发展, 下层雾顶升高到 280 m, 雾层厚度剧增, 上层雾顶最高升到 380 m, 但厚度变化不大。此后下层雾顶变化不大, 处于相对稳定阶段。08 时以后地面雾明显减弱, 11 时以后整层雾消散。

4 雾的微物理结构

表 1 给出了勐养 3 次雾过程的主要微物理参数, 其中 26 日和 28 日资料是从雾生开始, 直至消亡的全过程观测得出的, 29 日仅是雾生成到发展阶段的情况。表 1 中计算含水

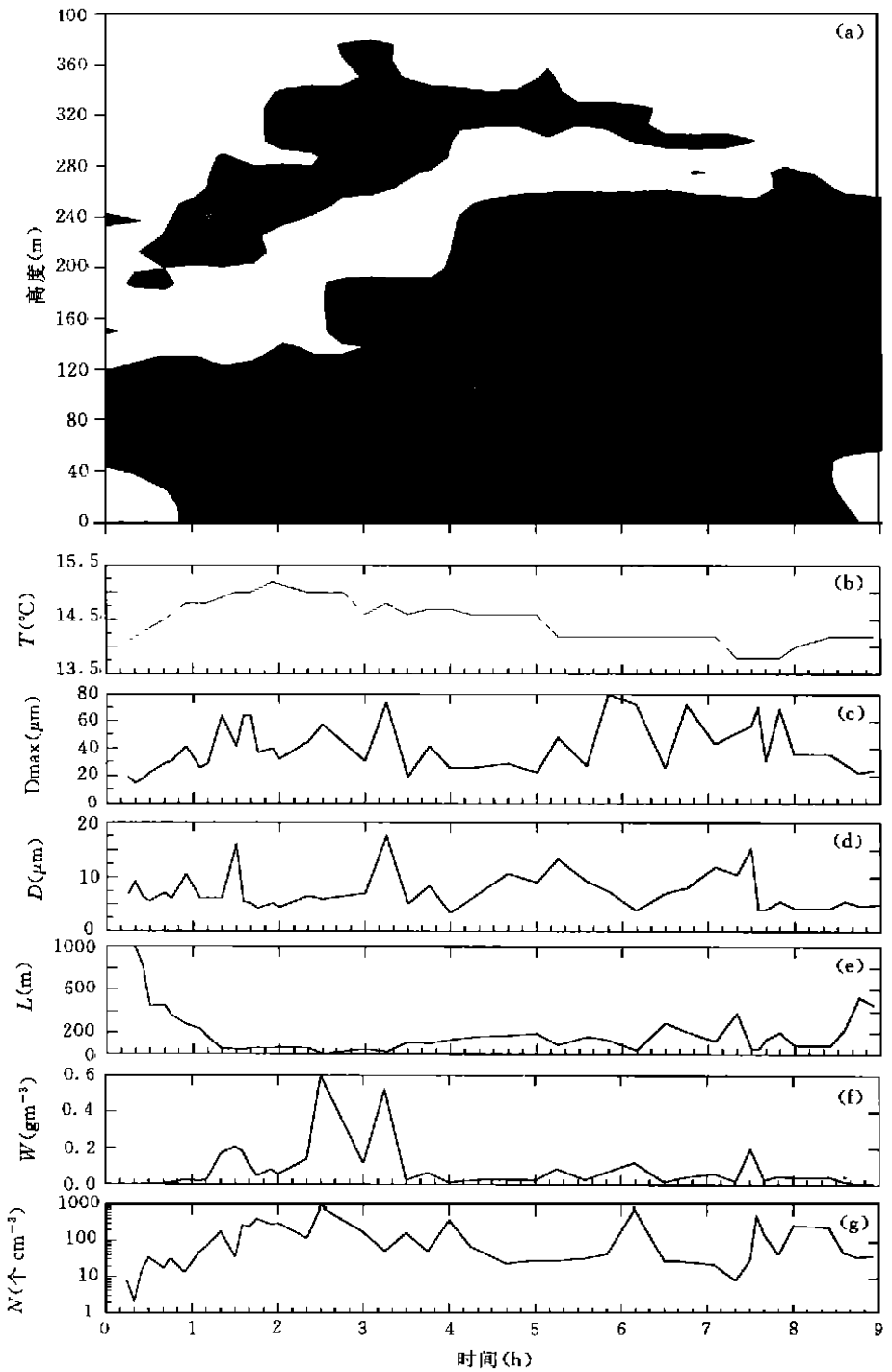


图2 11月28日雾层高度、地面气温及微结构参量随时间变化图

(a. 雾层高度; b. 地面温度; c. 最大直径; d. 平均直径; e. 能见度; f. 含水量; g. 数密度)

量是由雾滴谱计算得到的, 实测含水量是由滤纸斑痕求取的。计算含水量比实测含水量高出几倍, 在文献[8]中同样得到这种差别, 并认为其原因是计算法取样体积小, 且都在雾浓时取样, 而滤纸斑痕法取样体积大, 大体积内雾有微观涨落。其实对雾滴谱取样片照相选取雾滴多的视野也是一个重要原因。

表1中还给出了勐养1986年和重庆1989年冬天的观测结果。由表1可见, 勐养雾平均数密度在 $81 \sim 315$ 个 $\cdot \text{cm}^{-3}$ 之间, 平均直径为 $7.6 \sim 9.2 \mu\text{m}$, 计算的平均含水量变化范围为 $0.082 \sim 0.174 \cdot \text{m}^{-3}$ 。与11a前的观测结果比较, 数密度有所增大, 雾滴尺度明显减小, 含水量减小了3倍左右。这可能与热带雨林减少、城镇和工厂发展有关。热带雨林减少, 可减少蒸腾量, 从而使空中水汽减少; 城镇人口和工矿企业增多, 可使人工来源的气溶胶质粒增多, 从而使大气中凝结核增多。这两者综合影响, 可使雾滴数密度增大, 含水量减少。重庆雾也属山谷雾, 近些年来由于城市和国民经济迅猛发展, 因而雾滴数密度大, 尺度小, 含水量小, 雾明显减弱。

28日在三达山上(海拔1132m)用滤纸斑痕法观测雾体上层的含水量。结果表明, 含水量变化于 $0.014 \sim 0.333 \text{g} \cdot \text{m}^{-3}$ 之间, 平均值 $0.142 \text{g} \cdot \text{m}^{-3}$ 。与地面雾实测含水量比较, 约大2倍。可见上层雾含水量远大于底层, 这已为许多观测所证实。

平均雾滴谱反映出雾微物理结构的总体特征。对11月26日和28日两次雾从生到消完整的序列观测(时间间隔 $10 \sim 15 \text{min}$)进行平均, 求得平均谱, 如图3所示。由图3可见, 整个谱分布偏向小滴一端, 雾滴主要集中在 $3 \sim 10 \mu\text{m}$ 区段内, 峰值直径在 $3.2 \mu\text{m}$ 。在大滴一端虽然尾迹很长, 最大直径可以达到 $40 \mu\text{m}$, 但数密度都很小。拟合结果表明, 平均谱满足Deirmendjian分布, 即 $N(D) = 853.07D^{-3.8666} \exp(0.605D^{0.612})$, 拟合相对误差为0.6, 均方差为0.26。从图上可以看出, 实测值与拟合曲线十分接近, 表明该雾滴直径分布函数能反映勐养雾平均状况。

5 微结构参数的演变

观测发现, 在雾的发生发展过程中, 各微物理结构参量是不断变化的, 而且变化幅度都比较大。图2中给出了28日雾滴数密度(N)、含水量(W)、平均直径(D)、最大直径(D_{max})和能见距离(L)在整个雾过程中的演变情况。由图2可见, N, W, D, D_{max} 等参量在雾的发生、发展过程中时大时小, 起伏变化。可以用 $\delta(x) = \sigma(x) / \bar{x}$ 来描述参量 x 的起伏强度^[9]。式中, $\sigma(x)$ 、 \bar{x} 分别为参量 x 的均方差和平均值。求实际起伏量时减去了因取样体积有限性引起的起伏量。计算结果如表2所示。由表2可见, 除雾滴尺度起伏量较小外, N, W 的起伏量都很大, 与云的起伏量^[9]比较, 雾的起伏量要大1倍到几倍。起伏大可能是雾的微物理过程变化剧烈的表现, 也是环境因子(如贴地气层气溶胶质粒和过饱和度)的变化对其影响的结果。

表2 勐养雾的起伏量

日期	$\delta(N)$	$\delta(W)$	$\delta(D)$
11月26日	0.92	0.85	0.40
11月28日	0.94	0.83	0.43

各参量虽在不断变化, 但参量之间似存在着某种相关。如图2中数密度 N 和平均直径 D 多呈现反相关趋势, 即 N 大时 D 小, 而 D 大时则 N 小。这可能反映了核化、凝结和碰并等微物理过程的变化。一般核化和凝结过程占优势时, 小雾滴数将大量增加, 从而使总数密度增大, 平均直径减小; 而碰并过程占优势时, 小

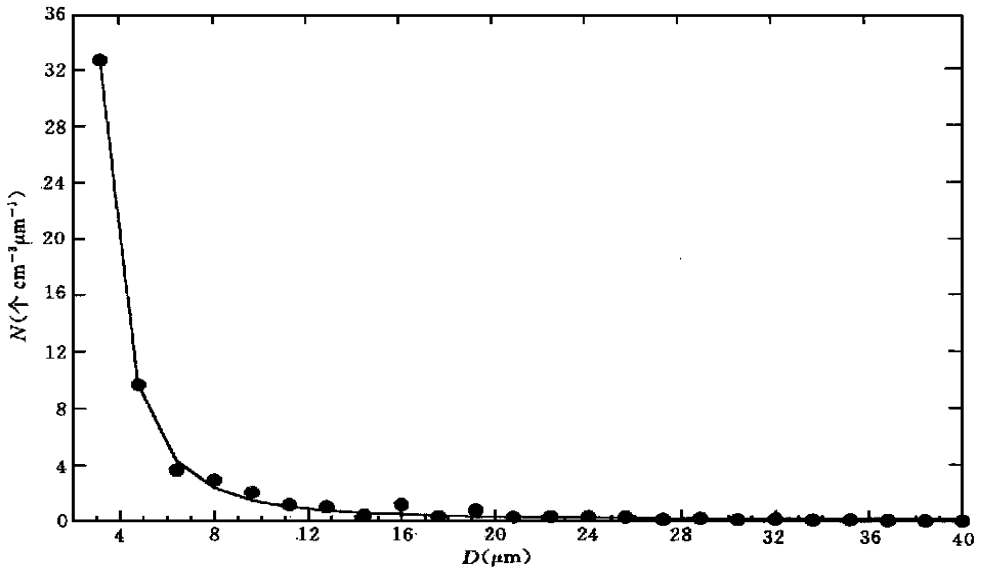


图3 平均雾滴谱

(实心圆点代表实测值, 实线为拟合曲线)

雾滴减少, 大滴将增加, 从而使总数密度减小, 平均直径增大。在图2中还可以看到, 含水量的起伏大体和雾滴尺度(特别是 D_{\max})的起伏一致, 即雾中含水量主要决定于雾滴大小。为研究小滴和大滴对数密度和含水量的贡献, 计算了直径小于 $10 \mu\text{m}$ 的雾滴数密度 N_1 和含水量 W_1 以及大于 $20 \mu\text{m}$ 的 N_2 和 W_2 。结果发现, 26, 28日两天中, 小滴对数密度的贡献分别为84%和91%, 而大滴的贡献仅为5%和3%; 但小滴对含水量的贡献很小, 仅为6%和7%, 而大滴的贡献分别达到73%和77%。

图2中能见距离的变化主要与数密度和含水量的变化有关。数密度或含水量的增大, 都可能使能见距离减小。

根据前述雾的宏观发展过程, 并结合地面雾的微观发展情况, 可将雾的生消过程分为4个阶段, 即形成、发展、成熟和消散阶段, 发展阶段又可分为前期(一)和后期(二)。表3中给出了雾过程各阶段的微结构特征量。由图2和表3可以看出, 在初生阶段, W 和 D 都比较小, N 逐渐增大, 能见距离逐渐减小到200 m。这个阶段时间很短, 1 h左右。

该阶段前半期, 显微镜可以看到小雾滴, 而滤纸上尚无明显痕迹, 因此若不小心, 这个阶段易被漏测。雾形成以后, 很快进入微物理迅猛发展阶段(一), N 和 D_{\max} 都很快增大, W 也增大到全过程中的最大值, L 减小到最低值。大滴(直径大于 $20 \mu\text{m}$)对数密度和含水量的贡献达到最大(表3)。

所以这个阶段应该是凝结核核化、凝结和碰并增长等微物理过程最活跃的阶段。雾滴增长最盛时, 出现了毛毛雨。由于雾滴凝结释放大量潜热, 地面气温一度升高 1.1 (见图2中0 15~1 55的温度), 同时雾顶辐射冷却作用增强, 雾顶温度约以 $0.5 \cdot \text{h}^{-1}$ 下降, 因而雾层稳定度减小, 有利于垂直运动的发展。所以紧接着就出现了前述宏观过程的爆发性发展阶段, 雾体在垂直方向上迅速发展, 雾层成倍增厚(见图2中2 00~5 00之

表 3 勐养 28 日雾过程各阶段的微结构参量

微物理结构 特征量	形成阶段	发展阶段(一)		发展阶段(二)		成熟阶段	消散阶段
	(00 15~ 01 10)	(01 20~03 15)	(03 30~04 50)	(05 00~07 40)	(08 00~08 55)		
数密度 N	27.13(0.74)	270.8(0.81)	141.28(1.03)	145.71(1.71)	119.82(0.98)		
(个· cm^{-3}) N_1/N (%)	90.6	86.7	58.4	57.5	59.7		
N_2/N (%)	2.0	7.5	0.6	1.4	0.6		
含水量 W (· m^{-3})	0.012(0.75)	0.241(1.15)	0.032(0.62)	0.069(0.8)	0.028(0.70)		
W_1/W (%)	19.4	3.2	13.4	5.0	13.1		
W_2/W (%)	42.0	89.4	27.2	45.6	35.2		
平均直径 D (μm)	7.18(0.23)	7.44(0.63)	6.8(0.42)	8.7(0.42)	4.94(0.11)		
均方根直径 D (μm)	8.28	9.74	7.96	10.77	6.26		
均立方根直径 D (μm)	9.55	12.33	9.24	13.27	8.25		
最大直径 D_{max} (μm)	25.42	47.92	28.16	49.86	35.73		
能见距离(m)	827.9	44.5	134.6	154.0	266.3		

(注: 表中括号内数字为该量的起伏强度)

间的雾层变化), 这就是雾的发展阶段(二)。在这一阶段, 由于大滴沉降和地面层大量水汽(甚至小雾滴)垂直向上输送, 地面雾滴数密度(尤其是小滴)和含水量明显减小(见表 3)。在图 2 上, N , W 和 D 曲线处于低凹区, 而能见距离明显增大, 含水量和平均直径起伏强度显著减小。这都表明地面层雾的核化、凝结和碰并等微物理过程相对减弱。进入成熟阶段, 雾顶高度相对稳定, 地面雾微物理过程起伏发展。在图 2 中看到, 6 00 和 7 30(日出)以后, N , D_{max} 和 W 两次明显增大, 这可能与早晨人类活动开始引起的气溶胶粒子增多和日出后地面蒸发增强、空中水汽增多有关。在表 3 中看到, 成熟阶段 N 和 W 都有所增大, D_{max} 也达到最大值。消散阶段的主要特征是, 由于雾滴蒸发增强, N , W 和 D_{max} 逐渐减小, 而 L 则迅速增大。

由以上分析得知, 雾的宏观和微观物理过程密切相联, 相互依赖、相互促进、相互影响。特别是在发展阶段, 当微物理过程得到强发展时, 促进了宏观过程的发展, 而当宏观过程爆发性发展时, 则又制约了地面雾微观过程的发展。由此看来, 研究雾一定要把宏、微观物理过程结合起来。

6 雾滴谱的变化

在雾的发生发展过程中, 雾滴谱是在不断变化的, 有时这种变化还相当猛烈。由于雾滴谱是各种微物理过程与动力过程影响的综合结果, 所以研究雾滴谱的变化对了解雾中发生的物理过程具有重要意义。

为了说明雾滴谱变化的主要特点, 选取了 11 月 28 日序列观测中部分有代表性的滴谱分布图(图 4)。观测是从午夜 0 时开始的。0 15 取样片出现雾滴, 滴少谱窄, 直径在 10 μm 以内。此后谱分布曲线不断上抬、加宽, 0 45 已拓宽到 20 μm , 而且还出现了个别较大的滴(30 μm), 但与主曲线分离。此时在实测含水量的滤纸上才出现明显的斑痕。以后主曲线进一步拓宽, 并向分离的大滴一端靠拢。与此同时雾滴数密度不断增大, 由 10^0 个

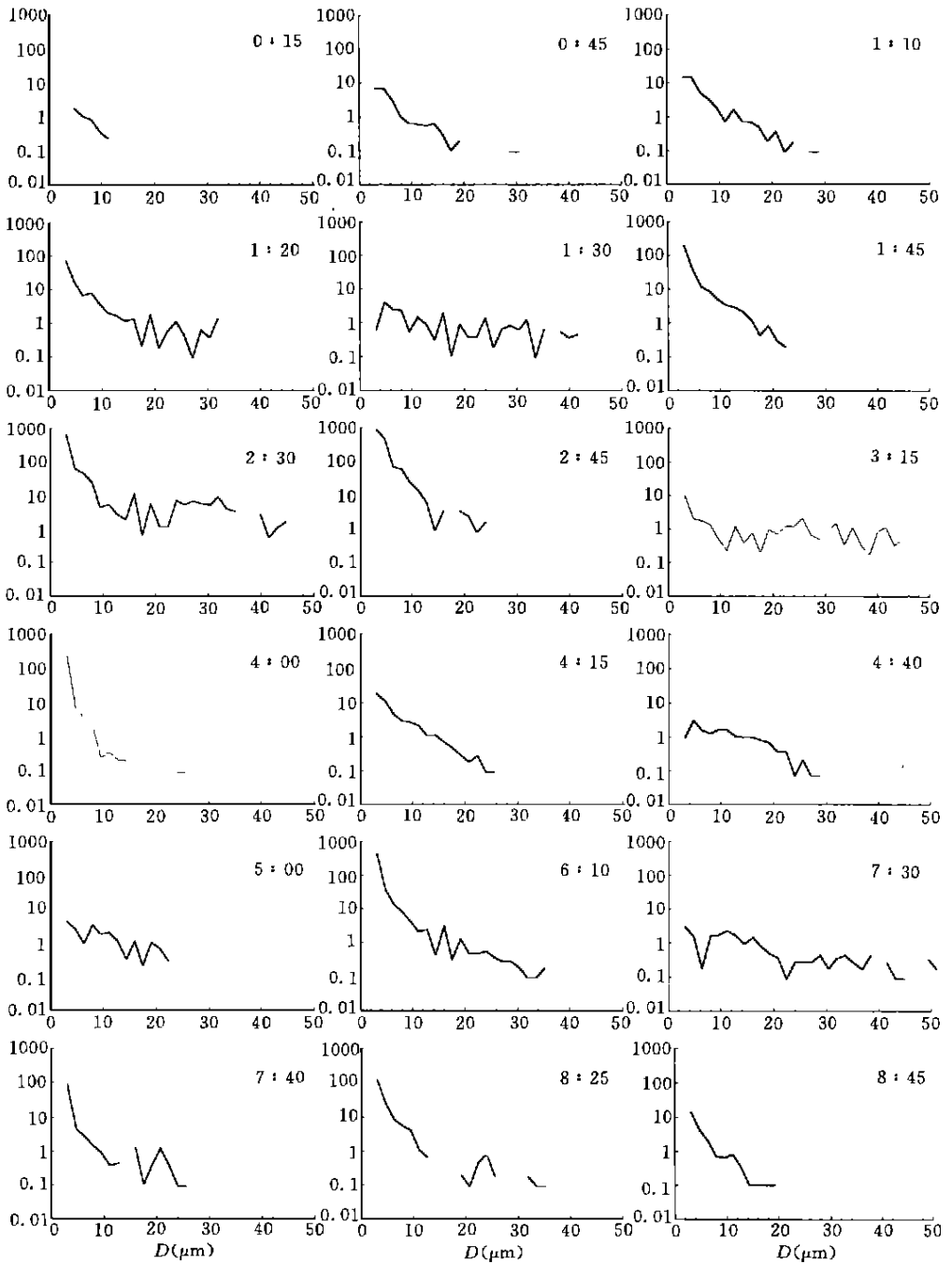


图4 雾滴谱演变图

(纵坐标为谱分布密度 dN/dD (个 \cdot $\text{cm}^{-3} \mu\text{m}^{-1}$), 横坐标为直径 (μm))

$\cdot \text{cm}^3$ 增大到 10^1 个 $\cdot \text{cm}^{-3}$ 。可见雾的形成阶段的特点是, 作为凝结核的气溶胶粒子不断

核化而成为雾滴,小雾滴不断凝结增大。值得提出的是,从雾滴形成 15 min 起,谱分布曲线在 $13\ \mu\text{m}$ 处出现了第 2 峰,这种现象在以往平流雾和辐射雾中都观测到^[10]。双峰谱的出现可能反映了雾滴群生长过程中某种特有本质的意义,有待深入研究。1 10 以后,雾滴谱急剧变化。1 20 曲线明显上抬,数密度突增到 10^2 个 $\cdot\text{cm}^{-3}$ 量级,不仅小滴数突增,大滴数也明显增多,而且在大滴一端出现多峰结构,含水量明显增大。仅 10 min 后,即 1 30 小滴显著减少,谱分布明显变宽,平均直径由 $6\ \mu\text{m}$ 增大到 $16\ \mu\text{m}$ 。与此同时,数密度减小 4 倍,含水量进一步增大。其间还出现过个别 $64\ \mu\text{m}$ 的特大滴。这表明除核化和凝结增长外,此时存在明显的碰撞和碰并过程,只有这种过程才能在很短时间内使小滴减少,大滴增加,平均尺度增大。不久,小滴端曲线又开始上抬,1 45 数密度由 10^1 个 $\cdot\text{cm}^{-3}$ 增加到 210 个 $\cdot\text{cm}^{-3}$,谱分布曲线明显变窄,说明出现了凝结核化和大滴沉降过程。此后 35 min,又出现一次小滴减少、谱增宽、含水量加大过程。2 30 谱分布出现重大变化,整个曲线上抬近 1 个量级,即小滴、大滴同时明显增多,从而使数密度增大到 881 个 $\cdot\text{cm}^{-3}$,含水量达到 $0.57\ \text{g}\cdot\text{m}^{-3}$,成为本次雾过程的最大值。2 45 出现毛毛雨,大滴沉降,谱又变窄,最大直径仅 $27\ \mu\text{m}$ 。但 15 min 后,又出现小滴减少、谱增宽、平均直径增大现象,3 15 数密度减小到 $110\ \text{g}\cdot\text{cm}^{-3}$,平均直径增大到 $17\ \mu\text{m}$,还出现个别 $73\ \mu\text{m}$ 的大滴,因而含水量又增大到 $0.52\ \text{g}\cdot\text{m}^{-3}$ 。由以上分析可知,1 20 至 3 15 的近 2 h,是雾微物理过程的发展阶段。尤其是从 2 30 开始的 45 min 是雾微物理过程最活跃的时段。在这个阶段,以大量气溶胶粒子凝结核化开始,经历了凝结、碰并—沉降—凝结、碰并等过程,而且反复进行,起伏变化,从而使含水量、数密度和雾滴尺度发生巨大起伏变化。

上述雾生到发展不是缓慢或逐渐过渡的,而是带有“跃增”的特点,平均含水量由 $0.012\ \text{g}\cdot\text{m}^{-3}$ 爆发性增长到 $0.241\ \text{g}\cdot\text{m}^{-3}$,增长了 20 倍。这可能与宏观气象条件变化有关。观测表明,从 00 时至 01 时,地面层气温升高 $0.7\ ^\circ\text{C}$,比湿增大 $0.9\ \text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$ 。气温升高可使相对湿度减小,但空气中水汽增加又可使相对湿度增大。计算表明,净效果可使相对湿度增大 3.9%,这可使已饱和的空气进一步过饱和,促进微物理过程的发展。无疑,雾滴凝结及潜热的释放是影响地面温、湿度的一个因子,但此段时间温、湿度的升高,主要是雾层内湍流混合增强,致使低空暖湿空气与地面气层混合。低空探测表明,00 时低空温、湿度均高于地面,60 m 处和地面相比, $T = 1.0\ ^\circ\text{C}$, $q = 1.1\ \text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$ 。经过湍流垂直混合,01 时 $T = -0.3\ ^\circ\text{C}$, $q = -0.17\ \text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$ 。由上述可见,雾形成以后,湍流混合的增强,促进了地面雾层微物理过程的发展,如前所述,微物理过程的迅猛发展,又导致了宏观过程的爆发性发展。

3 30 至 5 00 这段期间,雾滴谱比较窄,雾滴数较少,能见距离较大。但滴谱曲线仍经历着上抬—拓宽—变窄等变化过程(如图 5 中 4 15~5 00 曲线),而且这种过程起伏 3 次,即仍存在着凝结核化—凝结增长—沉降等微物理过程,但总体来讲,过程进行得比较缓慢,起伏周期在 40~60 min 之间。这段时间正是雾层在垂直方向发展期,上升气流较强,地面水汽和小雾滴被带升到雾的中上层。从宏观气象条件来看,地面温度虽下降,但降温率小,仅 $0.1\ ^\circ\text{C}\cdot\text{h}^{-1}$ 左右,而比湿下降较快,2 h 减小了 $0.4\ \text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$ 。以上可见,雾体的快速上升又制约了地面雾层微物理过程的发展。

05 时以后,雾顶相对稳定,但仍有起伏。雾滴谱出现了 2 次起伏增长过程,一次是从 6

10 开始,地面出现大量凝结核化过程,雾滴数密度由 $44 \text{ 个} \cdot \text{cm}^{-3}$ 猛增到 $784 \text{ 个} \cdot \text{cm}^{-3}$,而后又通过凝结和碰并等微物理过程使谱分布曲线逐渐加宽,平均直径逐渐增大,使含水量于 7 30 出现小的峰值。第 2 次是日出(7 30)以后,又出现小滴一端曲线上抬,而后逐渐拓宽现象。总的看,在雾体相对稳定阶段,起伏增长周期较长,一般超过 1 h,谱比较宽,但在大滴一端有断档现象。8 00 以后,雾滴谱的变化趋势是雾滴减少、滴谱变窄、继而蒸发消亡。

由以上雾滴谱演变可以看出:在雾形成阶段,主要是凝结核化和凝结增长;在雾的消亡期,则以蒸发过程为主;在雾发展和成熟时期,同时存在着核化、凝结、碰并和沉降等微物理过程,由于它们先后起主导作用,从而表现出起伏增长的特点。在雾发展前期,微物理过程发展很快,起伏周期短(半小时左右),起伏强度大;在雾发展后期和相对稳定阶段,起伏强度相对较小,起伏时间长(1 h 左右)。

7 结论

由以上分析可以得出以下几点主要结论:

- (1) 西双版纳地区勐养雾数密度在 $81 \sim 315 \text{ 个} \cdot \text{cm}^{-3}$ 之间,平均直径 $7.6 \sim 9.2 \mu\text{m}$,计算含水量 $0.082 \sim 0.174 \text{g} \cdot \text{m}^{-3}$,与 11 a 前比较,数密度有所增大,尺度和含水量明显减小。
- (2) 雾层内含水量随高度增大。雾层上部含水量为雾底层的 3 倍。
- (3) 平均雾滴谱曲线偏向小滴一端,集中在 $3 \sim 10 \mu\text{m}$ 区段内,最大直径虽达 $40 \mu\text{m}$,但其数密度很小。
- (4) 微结构特征量随时间变化很大,起伏量除直径为 30% ~ 40% 外,数密度和含水都在 100% 左右,远远超过云的起伏。
- (5) 地面雾形成约 1 h 后,微物理过程迅猛发展,从而导致宏观过程爆发性发展,而雾层在垂直方向增厚、升高又制约了地面雾微物理过程的发展。
- (6) 在雾的发展和相对稳定阶段,雾滴谱表现出起伏增长的特点。

参考文献

- 1 Roach W T, et al. The physics of radiation fog I: A field study. *Quart J Roy Meteor Soc*, 1976, 102, 313– 333
- 2 Pili R J, et al. The life cycle of valley fog. Part I: Micrometeorological characteristics. *J Appl. Meteor.* 1975, 14, 347– 363
- 3 Jiusto J E, Lara G G. Radiation fog field programs, recent studies. ASRC– SUNY, 1983, Publ. No. 869
- 4 Noone K J, et al. Changes in aerosol size and phase distributions due to physical and chemical processes in fog. *Tellus*, 1992, 44B, 489– 504
- 5 Wendisch M, et al. Drop size distribution and LWC in Po valley fog. *Contril Atmos Phys*, 1998, 71, 87– 100
- 6 李子华, 仲良喜, 俞香仁. 西南地区和长江下游雾的时空分布和物理结构. *地理学报*, 1992, 47(3): 242 ~ 251
- 7 李子华, 吴君. 重庆市区冬季雾滴谱特征. *南京气象学院学报*, 1995, 18(1): 46 ~ 51
- 8 杨中秋, 许绍祖, 耿骝. 舟山地区春季海雾的形成和微物理结构. *海洋学报*, 1989, 11(4): 431 ~ 438
- 9 詹丽珊, 陈万奎, 黄美元. 南岳和泰山云中微结构起伏资料的初步分析. 我国云雾降水微物理特征的研究, 北京: 科学出版社, 1965. 30 ~ 40
- 10 顾震潮. 云雾降水物理基础. 北京: 科学出版社, 1980. 68 ~ 74

THE MICROPHYSICAL STRUCTURE AND EVOLUTION OF WINTER FOG IN XISHUANGBANNA

Huang Yusheng Huang Yuren

(Yunnan Meteorological Bureau, Kunming, 650034)

Li Zihua Chen Baojun Huang Jianping Gu Jiangxin

(Nanjing Institute of Meteorology, Nanjing, 210044)

Abstract

Xishuangbanna in Yunnan province is a tropical rainforest climate, where, fog is frequent. The field observation of fog is conducted in the winter of 1997. Using the data of Mengyang, the microphysical structure and evolution are analysed. The microphysical process is also studied with macro-feature.

Key Words: Xishuangbanna, Winter fog, Microstructure, Fog droplet spectrum.

WR 型人工增雨防雹火箭推广讨论会在陕召开

2000年11月6~11日,WR型人工增雨防雹火箭推广讨论会在西安航天四院41所召开,会议由41所民用火箭厂召集召开,与会代表50余人,航天四院副院长夏选长、41所所长王晓君等有关领导参加了开幕式及学术讨论会,会上民用火箭厂厂长就WR型人工增雨防雹火箭近年来在全国各地的使用情况,使用中发现问题及对发现问题的研究情况和解决办法向与会代表作了介绍。并发布了两款新型火箭,一款是针对青海西藏等高地区的低成本射程4000米的防雹火箭,另一款是加入致导装置的针对层状云结构的高射程增雨火箭。前一款火箭已研究成功,可投产批量生产,后一款还处于研究阶段,预计两年内可投放市场。据悉这两款火箭在安全性、弹道稳定性等方面都比以前各款有所改进,特别是低高度火箭使用可收放旋转尾翼,解决了火箭的运输和弹道一致性问题。与会代表也交流了近年来使用WR型增雨防雹火箭的经验和使用中发现问题及改进意见,厂家表示要将所提意见认真研究,使人工增雨火箭能更好地服务于人工影响天气事业。

(王祥国)