

南岭大瑶山高速公路浓雾的宏微观结构与能见度研究^{①*}

吴兑^{1,2} 邓雪娇^{1,3} 毛节泰³ 毛伟康¹
叶燕翔¹ 毕雪岩¹ 唐浩华¹ 万齐林¹

1 中国气象局广州热带海洋气象研究所, 广州, 510080

2 中山大学环境科学与工程学院大气科学系, 广州, 510275

3 北京大学物理学院大气科学系, 北京, 100871

摘 要

南岭山地地处南亚热带湿润型季风气候区, 每年 9 月至次年 5 月有华南准静止锋活动时均会有浓雾发生, 每月浓雾日可高达 15—18 d, 尤其是中国目前最长的京珠高速公路通过南岭主脉大瑶山的乐昌—乳源段, 路面海拔高度从 200 m 增至 800 多米, 山地的抬升使雾害更加严重。在南岭大瑶山高速公路开展的两次多学科综合野外观测, 内容包括目测能见度、器测能见度、雾滴谱、雾含水量、系留探空、双参数低空探空、雾层湍流扩散、气溶胶粒子谱、气溶胶成分谱、雾水样品成分、雨水样品成分。对典型个例进行了天气学分析, 雾的宏观结构特征分析, 雾的微观物理特征分析。认识到南岭山地浓雾发生频率高, 雾害十分严重, 是典型的平流雾和上坡雾, 实质上是出现在相对较高海拔高度上的低云, 与华南锋面活动尤其是华南准静止峰的活动密切相关, 局地地形的作用也非常重要。其特点是浓雾持续时间长、能见度极其恶劣、团块结构明显、雾滴尺度大、浓度不高、含水量较大、雾层内的湍流扩散能力比晴空区强, 与中国过去研究较多的辐射雾差别较大。发现雾含水量与能见度呈明显的反相关关系, 含水量较大时能见度较小; 南岭山地雾含水量等微结构特征量的起伏变化, 除与雾体本身的结构不均匀有关外, 一个重要的原因是平流因素的影响, 南岭山地下垫面的不均匀性, 雾体随环境风的平移过程中, 不规则的爬坡、翻越山坡的运动是造成雾体结构不均匀、振荡起伏变化的另一个重要原因。该地气溶胶粒子谱是呈单调下降的幂函数谱, 次微米粒子浓度甚高, 南岭山地气溶胶中含有高浓度的硫酸盐粒子, 是优质凝结核, 有利于雾的形成。雾的存在可以清除大气中的微量成分, 雾滴可以包含浓度很高的污染物成分。同时, 较之云滴而言, 雾滴也很容易被地表物体(如植被、建筑物等)的垂直表面所截获, 构成另一类清除过程。在南岭这样的大面积森林地区, 这类清除过程可能是很重要的。研究本地区雾的特征变化, 对建立本地区雾的预警预报系统有很大的现实意义, 并为开展消雾试验提供了基本资料。

关键词: 南岭山地, 浓雾, 能见度, 宏微观物理特征, 气溶胶分布。

1 引 言

雾是由大量悬浮在近地面空气中的微小水滴或冰晶组成的, 雾的存在会严重降低空气透明度, 使能见度降低, 危害交通安全^[1]。浓雾是一种灾害性的天气现象, 严重的视程障碍威胁着城市道路系统、高速公路、航空港、海港航道的安全。随着国民经济的

快速发展, 现代化交通工具在中国日益普及, 高速公路、机场、航道对能见度的依赖日趋突出; 近年来高速公路的恶性交通事故时有发生; 机场连续大雾, 使得飞机被迫停飞, 滞留旅客的事件也频繁发生; 珠江口航道每年均会发生因浓雾造成的撞船事件; 雾和空气中的污染物质结合在一起还会对人的生命造成重大的威胁, 像世界上著名的伦敦烟雾事件就是一

* 初稿时间: 2006 年 3 月 28 日; 修改稿时间: 2006 年 8 月 2 日。

资助课题: 国家自然科学基金(49975001)。

作者简介: 吴兑, 男, 主要从事大气物理化学和大气环境研究。E-mail: wudui@grmc.gov.cn

① 参加此项研究工作的还有: 谢兴生、吕伟涛、张文煜、白延林、王美华、黄浩辉、李福娇、陶善昌、范绍佳、樊琦、王安宇。

个十分典型的例子。

自 Taylor 在 20 世纪初首次用科学方法进行辐射雾研究以来^[2],国际上过去的 30 多年中,曾进行过许多次雾的外场试验^[3-6],对雾进行了广泛的观测研究。但对平流雾的研究甚少,尤其在国。中国近 20 年来曾进行过较大规模雾的研究项目,如重庆雾的研究^[7-8],西双版纳雾的研究^[9],沪宁高速公路大雾的成因探讨^[10]、上海城市雾研究^[11]、南京市浓雾研究^[12]、成都双流机场雾的观测^[13]、浙江舟山海雾研究^[14]、庐山雾的研究^[15]等,这些研究的对象主要是辐射雾,大都以研究雾的宏观特征与微物理结构为主^[16],重庆、庐山、闽南对雾水的化学成分进行了研究^[7-8,15,17]。

南岭山地的浓雾是相对较高海拔山区与华南准静止锋活动密切相关的平流雾,其危害也比较严重,值得深入研究。我们曾经利用在南岭大瑶山进行的浓雾综合研究的外场观测资料,分析了南岭山地浓雾的气候背景^[18]、雾个例的微物理特征^[19-20]、雾水和雨水的化学特征^[21-22],探讨了浓雾形成的动力条

件^[23],本文重点分析浓雾的能见度、宏微观特征、气溶胶的分布特点和雾中的湍流扩散能力。

2 观测的基本情况

外场观测是在粤北乐昌市云岩镇、梅花镇与乳源瑶族自治县红云镇进行的,其中核心观测点位于云岩镇开封桥小学,25°05'N,113°06'E,海拔 815 m,自 1998 年 11 月至 2001 年 4 月在现场设置了简易气象站,系留探空和双参数低空探空站设在大瑶山北坡的梅花镇,海拔 435 m,南距开封桥小学 13000 m。并组织进行了两次多学科的综合探测研究,内容包括雾的宏、微观物理结构、雾含水量的观测、能见度的目测与仪器观测、雾中湍流扩散能力的观测、大气气溶胶物理化学性质、雾水与雨水的化学特征等方面。其中使用的部分探测手段在国内较为先进,如显微数字摄像技术观测雾滴谱、数字摄像能见度仪、系留探空技术、双参数低空探空技术、热线含水量仪等(表 1)。1998 年 12 月至 1999 年 1 月第一期外场观测,共观测到浓雾过程 3 次,典型雾日

表 1 南岭大瑶山高速公路浓雾观测仪器一览表

观测要素	仪器	分辨率	观测频率	备注
雾含水量	三用滴谱仪,南京大学仪器工厂	0.001 g/m ³	10 min	滤纸色斑法
雾滴谱	三用滴谱仪,南京大学仪器工厂	4 μm (4 - 100 μm)	30 min	显微 CCD 图像处理
雾含水量	热线含水量仪,北京大学大气科学系	0.01 g/m ³	1 s	
器测能见度	数字摄像能见度仪,中国科技大学空间与地球科学系	5 m	1 min	标杆和白炽灯
目测能见度	标杆和白炽灯	10 m	1 h	
气溶胶粒子谱	PC-2 Quartz Crystal Microbalance Cascade Impactor, USA	0.01 μg/m ³	1 h	10 级 0.05—25 μm
气溶胶成分谱	Andersen 气溶胶分级采样器,FA-3 型。辽阳市应用技术研究所(仿 model 20-709, Andersen Samplers INC. Atlanta, Georgia, USA)	0.1 neq/m ³	2 d	9 级 0.08—10 μm 离子色谱、等离子耦合发射光谱分析离子成分
雾水成分	自制尼龙网主动式雾水捕集器,PHB-29C 型酸度计,DDS 11A 型电导率仪,上海雷磁仪器厂	0.01 μmol/l	30 min	离子色谱、等离子耦合发射光谱分析离子成分
雨水成分	聚乙烯塑料盆,PHB-29C 型酸度计,DDS 11A 型电导率仪,上海雷磁仪器厂	0.01 μmol/l	5 min	离子色谱、等离子耦合发射光谱分析离子成分
温度廓线	系留探空,TS-2A-1, AIR INC., USA	±0.2 °C	3 h	热敏电阻
湿度廓线	系留探空,TS-2A-1, AIR INC., USA	±0.2 °C	3 h	热敏电阻
气压	系留探空,TS-2A-1, AIR INC., USA	1 hPa	3 h	确定高度
温度廓线	双参数低空探空,上海无线电二十三厂	0.2 °C	3 h	热敏电阻,升速 100 m/min
湿度廓线	双参数低空探空,上海无线电二十三厂	5%	3 h	湿敏电容,升速 100 m/min
湍流扩散	三分量风速仪 Model 27005 Gill U. V. W. R. M. Yong. Company, USA	0.1 m/s	10 Hz	
温度	DWJ1 型双金属温度计,长春气象仪器厂	0.2 °C	10 min	
湿度	DHJ1 型毛发湿度计,长春气象仪器厂	1%	10 min	
气压	DYJ1 型空盒气压计,长春气象仪器厂	1 hPa	10 min	
风向	EL-2 型电接风向风速计,长春气象仪器厂	22.5°	10 min	
风速	EL-2 型电接风向风速计,长春气象仪器厂	0.3 m/s	10 min	

12 d, 收集到显微雾滴谱资料 83 份 1795 帧, 雾水含量资料 404 份、雾日目测能见度资料 286 份、仪器观测能见度资料每 5 min 一次 12 个雾日与 13 个对照日的资料、并保存了 9 个雾日与 3 个对照日每 15 min 一次的图像资料、大气气溶胶分级谱资料 3 组 30 份、大气气溶胶瞬时谱资料 15 组、系留探空资料 73 组、低空探空资料 38 组、雾层湍流结构资料 680 份, 并收集雾水样品 21 份、雨水样品 25 份; 2001 年 2—3 月第 2 期外场观测期间, 共观测到浓雾过程两次, 典型雾日 7 d, 收集到显微雾滴谱资料 97 份 1572 帧, 雾水含量资料 297 份、雾日目测能见度资料 168 份、仪器观测能见度资料每 5 min 一次 7 个雾日与 5 个对照日的资料、并保存了 7 个雾日与 3 个对照日每 15 min 一次的图像资料、大气气溶胶分级谱资料 3 组 30 份、低空探空资料 79 组, 并收集雾水样品 36 份、雨水样品 38 份。同时建立了自 1998 年 11 月至 2001 年 4 月的完整常规气象资料与目测能见度资料数据库。

3 主要结果

3.1 能见度的分布规律

南岭山地地处南亚热带湿润型季风气候区, 每年 9 月至次年 5 月每当有华南准静止锋活动时均会有浓雾发生, 每月 15—18 个浓雾日, 尤其是中国目前最长的高速公路京珠高速公路通过南岭主脉大瑶山的乐昌—乳源段, 路面海拔高度从 200 m 增至 800 多米, 山地的抬升使雾害更加严重。我们从 1998 年 11 月到 2001 年 4 月在南岭山地大瑶山海拔 800 余米的高速公路雾区观测了逐时能见度, 从表 2 可见, 以逐小时计算, 全年任何月份都可以出现能见度小于 50 m 的浓雾, 每年 10 月至次年 4 月能见度小于 1000 m 的频率为 32.9%—50.7%, 最严重的月份可达 60.5%, 能见度小于 200 m 的频率平均 18.1%—30.5%, 最严重的月份为 41.8%, 能见度小于 100 m 的频率仍有 12.5%—22.6%, 最严重的月份高达 29.6%, 雾害十分严重。高速公路运营

表 2 南岭大瑶山高速公路 1998—2001 年逐时能见度频率 (%)

Table 2 Hourly frequency of visibility on the freeway in the Nanling Dayaoshan Mt from 1998 to 2001 (%)

	能见距离 (m)					
	≤50	≤100	≤200	≤500	≤1000	≥1000
1 月	6.3	22.6	30.2	45.9	50.7	49.3
2 月	6.2	20.8	30.5	43.2	48.7	51.3
3 月	4.2	13.1	21.1	38.2	44.7	55.3
4 月	4.2	12.5	18.1	30.2	37.6	62.4
5 月	0.4	1.7	2.7	4.3	6.7	93.3
6 月	0.3	1.0	1.7	2.6	3.5	96.5
7 月	0.4	0.4	0.4	0.7	0.7	99.3
8 月	0.7	1.2	1.9	2.6	2.8	97.2
9 月	3.2	6.4	8.1	10.8	11.8	88.2
10 月	6.6	17.4	22.4	34.7	41.0	59.0
11 月	6.2	17.8	25.4	38.6	43.7	56.3
12 月	5.3	17.3	22.6	29.4	32.9	67.1

中面临安全行车和雾区行车监控问题, 而要解决这些问题, 就必须研究雾的宏、微观物理特征, 以及与能见度的关系, 这样才能为建立高速公路的安全行车预警监控系统, 即雾的预报、预测、监控系统提供基本的背景资料。

3.2 浓雾的宏观结构

观测到的浓雾过程都与天气系统的活动密切相关(表 3), 南岭山地的浓雾是出现在大瑶山海拔较高的区域, 在有天气系统影响期间, 大瑶山易发生浓雾

过程, 即雾与天气系统(冷空气、切变线、西南急流)相联系。雾的维持与天气系统的维持、当地的地形作用关系密切。南岭主脉大瑶山横贯在广东省北部的湘粤边境地区, 对天气系统起到明显的阻挡作用, 尤其是冬春季节, 天气系统活动频繁, 以华南准静止锋(或冷锋)为代表的天气系统往往在南岭山地摆动、停滞, 冷暖气流的交汇形成复杂的云系, 山峰、海拔较高的地方往往被低云笼罩, 形成当地的浓雾; 因而其属于平流雾或者爬坡雾类型, 与辐射雾明显不同。辐射雾

有较明显的日变化特征,雾往往起因于夜间的强辐射降温、逆温作用,有利的天气背景(静小风)、环境因素的配合使雾得到发展,次日太阳的加热作用使雾消散。而南岭大瑶山的浓雾从出现至消散期间无明显的日变化特征,平均风速大,过程平均风速均超过 2.0 m/s,除去第II个例因冻雨和雾凇,风杯不能转动,资料部分缺测外,最大风速都超过 6.0 m/s,雾维持时

间长,能见度持续恶劣,并与前期降温(低温)和降水密切相关。南岭山地出现雾的区域是高速公路海拔较高的区域,与当地的地理环境关系密切,据实地观测判断,该路段出现的雾实质上是低云。

两期外场观测的分析表明,较强而快速的冷空气过程不利于雾的形成和维持,也不是每次冷空气过程的影响都能出现雾,例如 1999 年 1 月 9 日、2001

表 3 南岭大瑶山高速公路浓雾的宏观特征

Table 3 Macro-features of heavy fogs on the freeway in the Nanling Dayaoshan Mt

浓雾过程	日期	主要影响系统	地面主导风向	起雾时间	雾持续时间(h)	气温范围(°C)	平均气温(°C)	平均风速(m/s)	最大风速(m/s)	降水	过程降水量(mm)
I	1998.12.31—1999.1.2	准静止锋云系	偏北风	31日 17:30	42	-1.0—3.0	1.6	2.2	6.7	无	0
II	1999.1.11—15	冷锋降水云系	偏北风	11日 18:00	87	-4.3—0.3	-2.5	2.6*	3.7*	连续性小雨、毛毛雨、冻雨	22.8
III	1999.1.18—20	冷锋前暖区降水云系	偏南风	18日 18:00	48	0.5—9.7	6.4	2.2	7.3	间歇性小雨、毛毛雨	16.7
IV	2001.2.24—28	准静止锋降水云系	间或偏南风、偏北风	24日 01:30	105	1.0—11.0	3.7	2.4	8.3	间歇性毛毛雨、小雨、阵雨	39.0
V	2001.3.7—8	冷锋降水云系	偏南风转偏北风	7日 02:30	37	4.2—13.6	7.0	2.0	6.0	连续性毛毛雨、小雨	13.9

注: * 因冻雨和雾凇,风杯不能转动,资料部分缺测。

年 3 月 2—3 日均有冷空气影响,但南岭观测现场未出现雾(为多云到阴天气)。通常在有天气系统(冷空气、切变线、高空槽、西南急流)影响时,往往出现多云到阴、阴天、甚至下雨(含小雨到暴雨)的天气,但在海拔较高的山地,云系在什么情况下下降及地,

从而形成浓雾是较难有规律可循的。

观测期间的 5 次浓雾过程,其持续时间都很长,尤其是第 II、IV 次雾过程,持续时间分别长达 87、105 h,在整个雾过程中,视程以小于 100 m 为主(图 1),夜间与白天的浓雾特征没有明显不同;据现场观

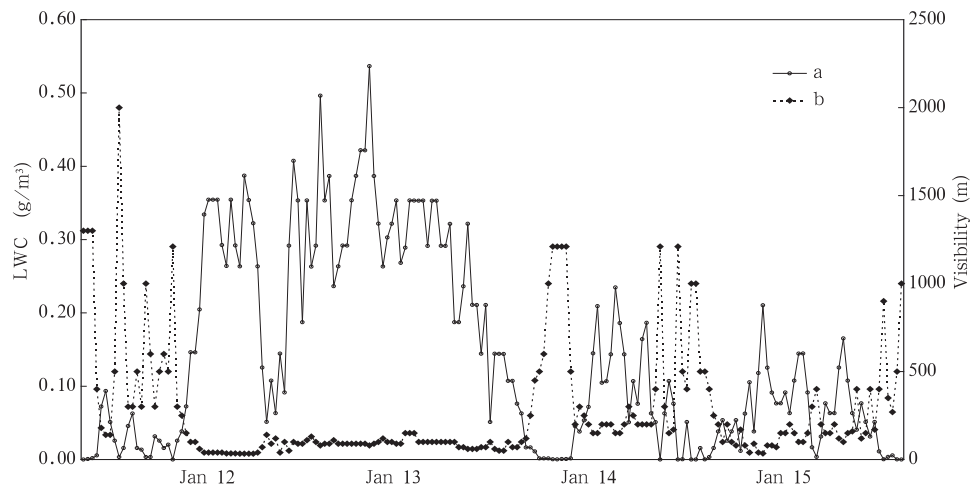


图 1 1999 年 1 月 11—15 日南岭大瑶山浓雾含水量(a)与能见度(b)随时间的变化

Fig. 1 Temporal variations of (a) the water content and (b) visibility of heavy fog during Jan. 11—15, 1999 in the Nanling Dayaoshan Mt

测发现,在浓雾过程中,有时不同方位的雾浓度不同,即不同方位的能见度有一定的差异。同时发现偶然、间断出现的能见度好转只是活动云系、云团、云块之间的缝隙。在现场观测过程中,发现即使在几分钟时间内(或瞬间)能见度变化都可能很大(图1),这些特征说明即使在同一云系、云团内雾的微观结构的分布也是很不均匀的,雾滴浓度和能见度存在明显起伏。

3.3 浓雾的微物理特征

表4是观测期的主要微物理特征,5次雾过程

表4 南岭山地浓雾的微物理结构参数

Table 4 Micro-physical structure parameters of heavy fogs in Nanling mountainous area

浓雾过程	时间	平均数密度 (个/cm ³)	($d > 25 \mu\text{m}$) 平均数密度	($d > 40 \mu\text{m}$) 平均数密度	算术平均 直径(μm)	均平方根 直径(μm)	均立方根 直径(μm)	实测含水 量(g/m ³)	计算含水 量(g/m ³)
I	1998.12.31— 1999.1.2	47	5.3	0.5	13.3	16.0	18.5	0.125	0.10
II	1999.1.11—15	170	7.8	0.8	7.5	9.7	12.1	0.148	0.19
III	1999.1.18—20	79	7.0	0.9	11.1	13.8	16.1	0.123	0.17
IV	2001.2.24—28	191	6.3	0.5	8.2	10.0	12.1	0.155	0.17
V	2001.3.7—8	202	4.8	0.2	7.2	8.8	10.7	0.115	0.14

5次雾过程均以小滴为主,滴谱大部分出现在滴直径小于 $16 \mu\text{m}$ 范围内,第II、V雾过程各谱段的数密度普遍比其他过程大,尤其是雾滴直径小于 $16 \mu\text{m}$ 的谱段更加明显。

结合图1可见,雾含水量与能见度呈明显的反相关关系,含水量较大时能见距离较小;图2给出了浓雾液态含水量与能见度的相关,我们看到,两者确有比较好的反相关关系,这里在双对数坐标中有线性关系是假定有效半径是常数,实际上不是很满足,表明有效半径有变化。含水量的起伏变化程度比能见度的变化要大得多,呈现宏观特征量与微观特征量变化不一致的情况。对于含水量起伏变化的振荡现象,Bott^[24]、黄玉生^[25]、李子华^[26]等的研究指出这是由于重力碰并、沉降与核化、凝结过程交叉作用引起的。南岭山地雾含水量等微结构特征量的起伏变化,除与雾体本身的结构不均匀有关外,一个重要的原因是平流因素的影响,南岭山地下垫面的不均匀性,雾体随环境风的平移过程中,不规则的爬坡、翻越山坡的运动是造成雾体结构不均匀、振荡起伏变化的另一个重要原因^[19]。

表5给出了南岭大瑶山浓雾的微物理特征与衡山、泰山、庐山的比较,我们发现,南岭山地浓雾的浓度较低,应该和较其他山地近海,使得雾滴谱较多具

的总数密度相差较大,如第I、II雾过程影响系统相似,但第II雾过程的总数密度是第I雾过程的3.6倍,雾滴平均直径比第I个雾过程的要小得多;第III雾过程是锋前暖区雾,其数密度比第I个雾过程要大将近一倍,比第II个雾过程要小一倍多,雾滴平均直径比第I雾过程小,比第II雾过程要大;5个雾过程的实测含水量相当;由雾滴谱计算的含水量与实测含水量差别不大;5次雾过程最明显的特征是平均数密度均不大,并且数密度较大的,平均滴直径就较小^[19-20]。

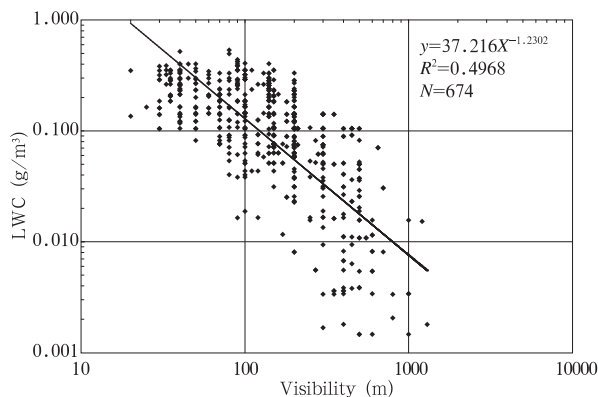


图2 1998—2001 南岭大瑶山浓雾含水量与能见度的相关

Fig. 2 Relationship between water content and visibility in heavy fog processes in the Nanling Dayaoshan Mt from 1998 to 2001

有海洋性特征有关。相对其他测点平均直径较小,液态含水量也比较小,主要是云型和季节的差异。

图3同时给出了目测能见度、器测能见度和根据实测含水量和雾滴谱计算的能见度,我们看到在总的趋势上有非常好的一致性,在小于500 m的低能见度时一致性更好,能见度超过1000 m时有差别,但波动的位相比较为一致,主要差异是器测能见度明显大于目测能见度,这与数字CCD能见度仪对低

表 5 南岭山地浓雾的微物理特征与其他山地云雾的比较
Table 5 Comparison of microphysics characteristics of heavy fogs in Nanling mountainous area and in other mountainous areas

观测地点	海拔高度 (m)	时间	云状	样本数	平均数密度 (个/cm ³)	算术平均直径 (μm)	峰值直径 (μm)	最大滴直径 (μm)	计算含水量 (g/m ³)
南岭大瑶山	815	1998.12—1999.1 2001.2—3	Ns, Sc	178	167.8	8.4	4.0	98.0	0.16
衡山 ^[27]	1266	1962.5	Sc	11	359.3	12.1	8.0	58.0	0.40
泰山 ^[27]	1500	1962.7—8	Cu	9	453.5	15.2	10.0	34.0	0.86
庐山 ^[28]	1100	1981.1—4	Sc	23	395.5	11.7	9.0	54.0	0.66

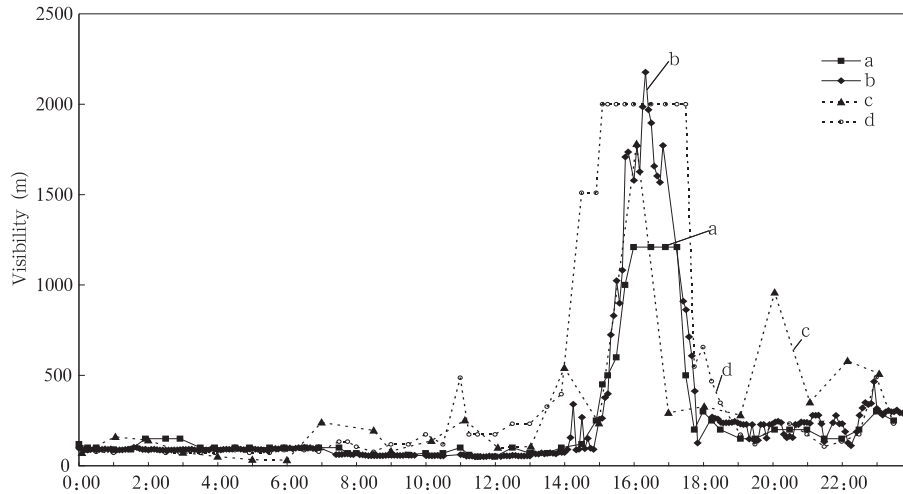


图 3 1999 年 1 月 13 日目测(线 a)、器测(线 b)、含水量计算(线 c)和雾滴谱计算(线 d)能见度对比图

Fig. 3 The comparison of visibilities obtained by bare eyes(line a), instrument(line b), calculated using water content(line c) and fog drop spectrum(line d) respectively on Jan. 13, 1999

能见度的探测较为准确,而对较大能见度的探测误差较大有关^[29];含水量计算的能见度较之雾滴谱计算的能见度更为平滑,这与取样代表性有关,含水量的取样体积可达 20—50 m³,而雾滴谱的取样体积通常只有 280 cm³,两者相差 10⁵ 倍,因而,雾滴谱计算的能见度会出现明显偏离的涨落现象与云雾中微物理参数的起伏有关。而目测能见度和数字 CCD 能见度仪所表达的能见度,都是在长光程上的雾滴总体消光造成的视程障碍。

3.4 雾区气溶胶的物理化学特征

大气气溶胶粒子是雾形成的凝结核心,从现场用美国气溶胶粒子谱仪观测的气溶胶谱资料来看(图 4、5),该地气溶胶粒子谱是呈单调下降的幂函数谱,次微米粒子浓度甚高,而质量谱表现为 3 峰分布,主峰在次微米粒子段,巨粒子段质量浓度也较高,有利于雾的形成。

从表 6 我们看到,南岭山地旱季低层大气中气溶胶总质量平均为 102.7 μg/m,略低于华南大陆乡村的测值。表中也给出了水溶性离子成分的主要结果,我们发现南岭山地以 SO₄²⁻ 为主要的阴离子成分,占阴离子含量的 78.9%, Ca²⁺ 为主要的阳离子成分,占到阳离子含量的 61.0%。与华南陆地测站相比,南岭的 SO₄²⁻ 浓度比华南城市的测值还高,而且其浓度占了阴离子含量的绝大部分,另外 NO₃⁻、NH₄⁺ 的含量比华南城市显著减少是其特点。

南岭山地气溶胶中的 SO₄²⁻ 含量相当高,甚至比华南大城市与工业区的浓度都高, Ca²⁺、Mg²⁺ 含量也较高,与湘南和粤北地区的煤矿、重工业基地、当地冬季燃煤、烧炭取暖的习惯有直接关系。

我们曾经研究过南岭山地浓雾雾水和同期雨水的化学特征^[21-22],雾水中的离子浓度远高于雨水中的浓度,说明雾水中溶有大量的污染物质,这其中就

包括通过核化过程和云中过程对气溶胶的清除。雾滴形成的物理过程和云滴本质上没有差别,雾滴对大气微量气体和气溶胶粒子的清除机制也和云中的过程完全一样。所不同的是雾在近地层大气中形成,许多雾滴可因重力沉降和湍流输送作用到达地面而起到了对微量气体和气溶胶粒子的清除作用。

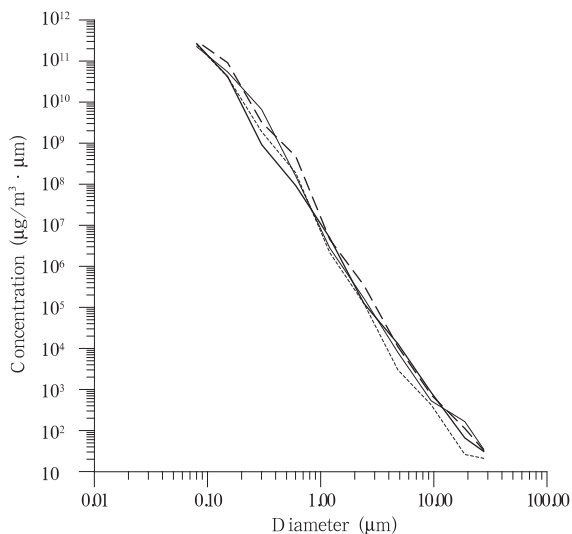


图4 南岭山地气溶胶粒子谱分布
Fig. 4 Size-distribution of aerosols in Nanling mountainous area

雾的存在可以清除大气中的微量成分,雾滴可以包含浓度很高的污染物成分。同时,较之云滴而言雾滴也很容易被地表物体(如植被、建筑物等)的垂直表面所截获,构成另一类清除过程。在南岭这样的大面积森林地区,这类清除过程可能是很重要的。

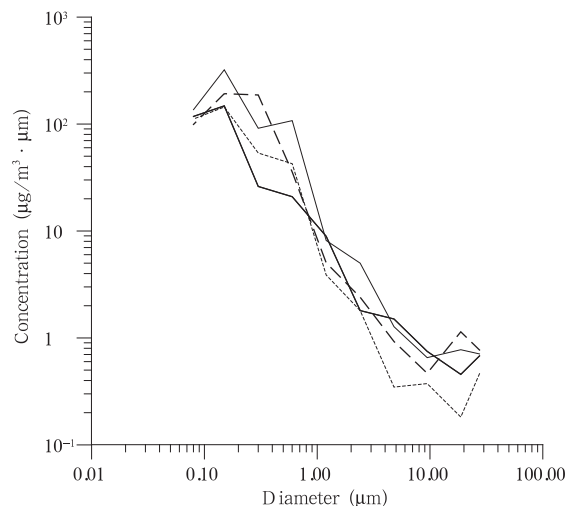


图5 南岭山地气溶胶质量谱分布
Fig. 5 Size-distribution of aerosol mass in Nanling mountainous area

表6 南岭山地旱季气溶胶总浓度($\mu\text{g}/\text{m}^3$)与水溶性离子成分(neq/m^3)观测结果
Table 6 Observational results of total aerosol concentration($\mu\text{g}/\text{m}^3$) and water-dissoluble ion components (neq/m^3) in Nanling Mountainous area in dry season

采样点	F^-	Cl^-	NO_3^-	SO_4^{2-}	Na^+	NH_4^+	K^+	Ca^{2+}	Mg^{2+}	总浓度
南岭	22.8	48.5	36.6	1834.7	204.8	38.5	34.6	1095.8	342.2	102.7
华南城市 ^[30]	44.5	290.3	50.7	1336.9	104.1	314.0	35.8	1261.6	368.9	190.2
华南乡村 ^[30]	29.2	431.8	56.9	402.1	84.4	114.9	16.1	783.2	276.6	113.5

3.5 雾中的湍流扩散能力

我们采用 U 、 V 、 W 三轴风速仪测定了欧拉系统的湍流脉动量,然后将所有资料分为在雾中和晴空得到的两类,根据泰勒公式,计算出该地区的大气扩散参数。三轴风速仪测定之大气扩散参数的计算结果列于表7,式中 R 是扩散距离(单位:m)。

表7 南岭山地大气中性稳定度时扩散参数的计算结果
Table 7 Calculated diffusion parameters for neutral stability in Nanling mountainous area

	水平扩散参数	垂直扩散参数
有雾	$\sigma_y(R) = 0.474R^{0.933}$	$\sigma_z(R) = 0.154R^{0.959}$
无雾	$\sigma_y(R) = 0.324R^{0.912}$	$\sigma_z(R) = 0.130R^{0.958}$

图6、7分别是水平大气扩散参数与垂直大气扩散参数随下风方距离变化的示意图。

由表7和图6、7可见,在中性条件下,有雾时的水平扩散参数和垂直扩散参数均大于无雾时的值,两者之间的差别随下风方距离的增加而增大,这种差别在水平大气扩散参数中更为明显。说明在雾中湍流扩散能力比没有雾时要强,雾中较强的扩散能力是雾滴能够维持的基本保证,水汽源源不断地向雾滴周围输送,以补充由于雾滴凝结消耗掉的过饱和和水汽,在雾滴周围维持着较高的过饱和度,使得雾滴能够持续长大和稳定存在较长时间。

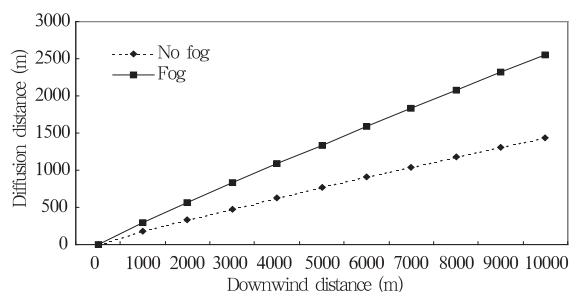


图 6 水平大气扩散参数随下风方距离的变化

Fig. 6 Variation of horizontal atmospheric diffusion parameter with the downstream distance

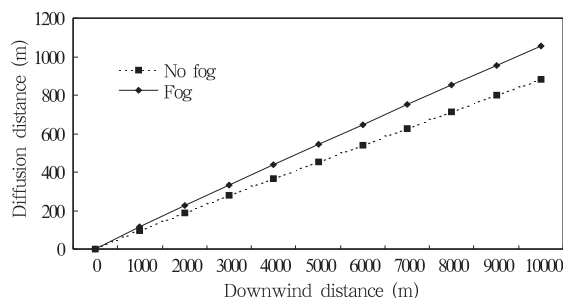


图 7 垂直大气扩散参数随下风方距离的变化

Fig. 7 Variation of vertical atmospheric diffusion parameter with the downstream distance

4 总 结

通过对在南岭大瑶山高速公路开展的两次多学科综合野外观测资料的分析,认识到南岭山地高速公路浓雾现象是复杂的大气物理过程与局地地形相互作用的结果,南岭山区的地理环境独特,地势较高,局地地形复杂,是中国重要的气候分界带。浓雾的出现与天气系统的维持、当地的地形作用关系密切。南岭山脉横贯在广东省北部的湘粤边境地区,对天气系统起到明显的阻挡作用,尤其在冬春季节,天气系统活动频繁,天气系统(如锋面)往往在南岭山脉摆动、停滞,冷暖气流的交汇形成复杂的云系,在山峰、海拔较高的地方往往被低云笼罩,形成当地的浓雾;南岭地区冬春季节出现的浓雾属于平流雾、爬坡雾类型,与辐射雾明显不同。

对于南岭大瑶山浓雾的宏微观特征以及气溶胶物理化学特征有如下主要印象:

(1) 南岭山地的浓雾过程与天气系统关系密切,当有天气系统影响本地区时,可能发生浓雾过程;雾的维持与天气系统的维持以及局地地形有密切关系。本地区浓雾属于平流雾(或爬坡雾),实质

上是出现在相对较高海拔高度上的低云。与冷空气活动(锋面)密切相关,具有浓雾出现的频率高、持续时间长、无日变化规律、能见度非常恶劣和团块结构明显等特征。

(2) 南岭山地的浓雾滴谱以小滴为主,数密度比其他山地雾小;雾含水量与能见度呈明显的反相关关系。

(3) 该地气溶胶粒子谱是呈单调下降的幂函数谱,次微米粒子浓度甚高,南岭山地区气溶胶中含有高浓度的硫酸盐粒子,是优质凝结核,有利于雾的形成。

(4) 雾中湍流扩散能力比没有雾时要强,虽然这与高空不受下垫面影响的云中的情况有差异,但可以供人工播云时计算催化剂的扩散提供参考。

(5) 研究南岭山地高速公路浓雾的特征及其变化,对建立本地区雾的预测预报预警系统有很大的现实意义。

参考文献

- [1] 吴兑,邓雪娇. 环境气象学与特种气象预报. 北京:气象出版社,2001:23-65
- [2] Taylor G I. The formation of fog and mist. *Quart J Roy Meteor Soc*,1917,XLIII:2416-2468
- [3] Pilie R J, Mack E J, Kocmond W C, et al. The life cycle of valley fog. Part I: Micrometeorological characteristics. *J App Meteor*, 1975,14:347-363
- [4] Jiusto J E, Lala Grieser J G G. Radiation fog field programs, recent studies. ASRC SUNY, 1983, Publ, No: 869
- [5] Roach W T, Brown R, Caughey S J, et al. The physics of radiation fog I: A field study. *Quart J Roy Meteor Soc*, 1976, 102:313-333
- [6] Fuzzi S, Facchini M C. The po valley fog experiment 1989, An overview. *Tellus*, 1992,44B:448-468
- [7] 李子华,彭中贵. 重庆市冬季雾的物理化学特性. *气象学报*, 1994,52(4):477-483
- [8] 李子华,董韶宁,彭中贵. 重庆雾水化学组分的时空变化特征. *南京气象学院学报*,1996,19(1):63-68
- [9] 黄玉生,许文荣,李子华. 西双版纳地区冬季辐射雾的初步研究. *气象学报*,1992,50(1):112-117
- [10] 黄建平,梅清银,靳永才等. 沪宁地区辐射雾的微物理结构及其演变. *气象*,1998,24(5):3-8
- [11] 鲍宝堂,束家鑫,朱炳权. 上海城市雾理化特征的研究. *南京气象学院学报*,1995,18(1):114-118
- [12] 李子华,黄建平,彭虎. 1996年南京连续5天浓雾的物理结构特征. *气象学报*,1999,57(5):622-631

- [13] 郭恩铭,余香仁,李炎辉等. 双流机场雾宏观结构研究//《全国云物理和人工影响天气会议文集》编辑组. 全国云物理和人工影响天气会议文集. 北京:气象出版社,1989:35-38
- [14] 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
- [15] 丁国安,纪湘明,房秀梅等. 庐山云雾水化学组分的某些特征. 气象学报,1991,49(2):190-197
- [16] 李子华. 中国近 40 年来雾的研究. 气象学报,2001,59(5):616-624
- [17] 刘红杰,王玮,高金和等. 闽南地区酸性雾水特征初探. 环境科学研究,1996,9(5):30-32
- [18] 万齐林,吴兑,叶燕翔. 南岭局地小地形对背风坡增雾作用的分析. 高原气象,2004,23(5):709-713
- [19] 邓雪娇,吴兑,叶燕翔. 南岭山地浓雾的物理特征. 热带气象学报,2002,18(3):227-236
- [20] 唐浩华,范绍佳,吴兑等. 南岭山地浓雾物理结构及演变过程. 中山大学学报,2002,41(4):92-97
- [21] 吴兑,邓雪娇,毛伟康等. 南岭大瑶山浓雾雾水的化学成分研究. 气象学报,2004,62(4):476-485
- [22] 吴兑,邓雪娇,范绍佳等. 南岭大瑶山雾区锋面降水的雨水化学成分研究. 中山大学学报,2005,44(6):105-109
- [23] Fan Qi, Wang Anyu, Fan Shaojia, et al. Numerical prediction experiment of an advection fog in Nanling mountain area. Acta Meteor Sinica, 2003, 17(3):337-349
- [24] Bott A, Sievers U, Zdunkowski W. A radiation fog model with a detailed treatment of the interaction between radiate transfer and fog microphysics. J Atmos Sci, 1990, 147:2153-2166
- [25] 黄玉生,黄玉仁,李子华等. 西双版纳冬季雾微物理结构及演变过程. 气象学报,2000,58(6):715-725
- [26] 李子华,仲良喜,俞香仁. 西南地区 and 长江下游雾的时空分布和物理结构. 地理学报,1992,47(3):242-251
- [27] 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//朱珍华. 我国云雾降水微物理特征的研究. 北京:科学出版社,1965:30-40
- [28] 俞香仁. 云雾对激光传播及能见度的影响. 气象,1982,8(5):24-26
- [29] 谢兴生,吴兑,邓雪娇. 用 CCD 摄像机动态估算测量云雾含水量的初步试验. 光学技术,2001,27(4):321-323
- [30] 吴兑. 南海北部大气气溶胶水溶性成分谱分布特征. 大气科学, 1995, 19(5): 615-622

A STUDY ON MACRO-AND MICRO-STRUCTURES OF HEAVY FOG AND VISIBILITY AT FREEWAY IN THE NANLING DAYAOSHAN MOUNTAIN

Wu Dui^{1,2} Deng Xuejiao^{1,3} Mao Jietai³ Mao Weikang¹
Ye Yanxiang¹ Bi Xueyan¹ Tang Haohua² Wan Qilin¹

1 *Guangzhou Institute of Tropical and Marine Meteorology, China Meteorological Administration, Guangzhou 510080*

2 *Department of Atmospheric Sciences, Environmental Science and Engineering College, Sun Yat-sen University, Guangzhou 510275*

3 *Department of Atmospheric Sciences, Physics College, Peking University, Beijing 100871*

Abstract

Belonging to the southern subtropical moist type of monsoon climate, the Nanling mountainous area experiences heavy fogs whenever quasi-stationary fronts appear from September to next May, with heavy fog-day as many as 15—18 days per month. In particular, Fogs become more severe in the Lechang-Ruyuan section of the Beijing-Zhuhai Expressway (the longest of its kind in China) which passes through the main part of the Nanling Mts, where the road elevates from 200 m to more than 800 m a. s. l. Two multidisciplinary integrated field observations were carried out at the freeway located in the Nanling Dayaoshan Mt to measure visibility by both the bare eye and instrument, spectrum of fog droplet, water content of fog, T and H profiles using tethered sounding and dual-parameter low-level sounding respectively, turbulence dispersion parameters within fog layers, aerosol size and component spectra, fog water compositions, and rainwater compositions. Typical cases of fog processes were analyzed for their synoptic,

macro structures and microphysics. Analyses results show that heavy fogs occur at high frequency in the freeway and bring about serious consequences to the traffic. Being typical advection and upslope fogs, they are in essence low clouds appearing at high altitude area, and closely related to the activity of fronts, especially, of quasi-stationary fronts over South China, as well as the local terrain. The heavy fogs are characteristic of long duration, extremely low visibility, well-organized lump structure, large droplet size, medium number concentration, high water content and stronger turbulent dissipation within the fog layers than outside. Those characteristics are much different from radiation fogs that have been previously investigated more in China. It is found that moisture content of fog is significantly inversely proportional to visibility so that large moisture content is always associated with small visual range. It is also noted that one of the reasons for the fluctuation of characteristic quantities of micro structure such as the moisture content of fog in the area is, in addition to the inhomogeneous structure of the fog itself, the effect of fog advection on inhomogeneous underlying surface; during the translation of fog with the ambient wind, irregular uphill and cross-over movement is another reason for the inhomogeneous structure and oscillation of fog. The spectrum of the aerosol particles displays itself as a power function of monotonous descent. The concentration of submicrometer particles is even higher. The high-concentration sulfate particles found in the aerosols of the Nanling Mts are actually good nuclei for condensation, which are favorable for the formation of fog. The presence of fog can help cleanse the trace compositions in the atmosphere since fog droplets contain high levels of polluting elements. In the meantime, compared to cloud droplets, fog droplets are easier to be captured by the vertical surfaces of objects on the land surface, such as vegetation and buildings, which constitutes another kind of cleansing process. In vast stretches of forests like the Nanling Mts, this kind of cleansing may be quite important. Studying the characteristic variation of fogs in the area actually assists in setting up a pre-warning system for local fogs and provides basic information for fog dispersal experiments.

Key words: Nanling mountainous area, Heavy fog, Visibility, Microphysical character, Turbulence dissipation capabilities, Distribution of aerosols.