南岭大瑶山浓雾雾水的化学成分研究*

吴 兑

(中国气象局广州热带海洋气象研究所, 广州, 510080;
中山大学环境科学与工程学院大气科学系, 广州, 510275)

邓雪娇 叶燕翔 毛伟康

(中国气象局广州热带海洋气象研究所, 广州, 510080)

摘 要

文中利用 1998 年 12 月~ 1999 年 1 月和 2001 年 2~ 3 月在南岭山地采集的雾水样品资料, 分析了南岭山地浓雾雾水的化学成分; 对 3 次典型浓雾过程雾水的离子浓度及其可能的来源进行了分析; 发现酸雾的频率达 51%, 酸雾的危害不容忽视。南岭山地的浓雾雾水中的诸离子浓度远高于雨水。不同过程雾水的化学特征变化差异明显, 在雾水中浓度最高的阴离子是 SO_4^{2-}, 其次是 NO_3^-; 阳离子 Ca^{2+}, NH_4^+ 的浓度最高。雨水比雾水酸性更强, 说明虽然雾水中的离子浓度较雨水高得多, 但大量的离子成分中存在更多的缓冲物质, 比如说 NH_4^+ 和 Ca^{2+}。雾水中的 Ca^{2+}, SO_4^{2-}, Mg^{2+} 有明显的富集现象, 南岭大瑶山的雾水主要受大陆环境和人类活动的影响。

关键词: 南岭大瑶山, 浓雾, 雾水, 化学成分。

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气溶胶系统, 是近地层空气中水汽凝结(或凝华)的产物。雾粒子直径一般不超过 50 μm, 平均约为 10 μm。这些雾粒子对可见光有强烈的散射作用, 因而造成视程障碍。雾按形成机制可分为辐射雾、平流雾和锋面雾等。雾的存在会严重降低空气透明度, 使能见度变差, 危害交通安全[1]。人们对雾的迷惑由来已久, 即使在现代也是国际上研究的传统课题。

自 Taylor[2] 在 20 世纪初首次用科学方法进行辐射雾研究以来, 国际上在过去的 30 多年中, 曾进行过许多次雾的外场观测试验。1970 年美国在纽约附近的埃尔曼拉山谷[3] 和纽约州的阿尔巴尼[4], 1971 年英国在贝福德郡卡丁顿[5], 1989 年意大利在波河河谷[6] 等地都对雾进行了广泛的观测研究。

中国近 20 a 来曾有过几次较大规模的雾的研究项目, 如重庆雾的研究[7,8], 西双版纳雾的研究[9], 这些研究的对象均为辐射雾, 而南岭山地的浓雾是与高海拔山区和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。此外, 近年来中国对雾进行过一系列观测试验研究[10~15], 其中大多数以研究雾的宏观特征与微物理结构为主, 关于雾水化学特征的研究报告相对少些, 重庆、庐山、闽南雾的研究对雾水的化学成分进行了较深入的研究[7,8,15,16]。不同性质、不同地区雾的物理化学结构、发生发展过程和时空分布会有不同特点; 另外, 由于浓雾的发生频率一般不高, 雾水采集也有一定难度。本文利用在南岭大瑶山进行的浓雾综合研究的外场观测资料, 主要是利用收集到的丰富的雾水样品序列, 对发生在南岭山地大瑶山的浓雾雾水的化学特征进行了分析研究。

大瑶山是南岭的主脉, 而南岭山地是中国重要的气候分界线, 也是重要的植被、物种分界线, 山地两侧的物种差异比较大, 保存有较完整的亚热带常绿阔叶林、山顶矮林、针叶林等森林植被。区内动植物种类极其丰富, 孕育着许多以南岭为起源中心和分化中心的特有动植物群落。

京珠高速公路是中国纵贯南北的现代交通大动脉, 世界银行贷款项目粤境北段在粤北乐昌、乳源境内翻越南岭主脉大瑶山, 路面海拔高度自 200 余米

* 初稿时间: 2004 年 2 月 11 日; 修改稿时间: 2004 年 5 月 25 日。
资助课题: 国家自然科学基金(49975001)。

上升至 800 余米又下降到 200 余米, 地形复杂, 高程变化大, 浓雾发生频率非常高, 雾季平均达 42.8%, 在冬春季节能见度小于 500 m 的浓雾逐时统计平均超过 37% (表 1), 收集雾水的机会比较多, 而且可以获得时间分辨率较高的雾水资料序列。我们于 1998 年 12 月~ 1999 年 1 月和 2001 年 2~ 3 月在海拔 800 余米的云岩雾区对浓雾的宏微观物理结构进行了综合研究。本文介绍浓雾雾水的化学特征方面的研究结果。

表 1　南岭大瑶山 1998~ 2001 年逐时能见度频率(%)

Table 1　The hourly frequency of visibility from 1998 to 2001 in Nanling Dayaoshan Mountain

时间(月)	能见度距离(m)					
	≤50	≤100	≤200	≤500	≤1000	≥1000
10	6.6	17.4	22.4	34.7	41.0	59.0
11	6.2	17.8	25.4	38.6	43.7	56.3
12	5.3	17.3	22.6	29.4	32.9	67.1
1	6.3	22.6	30.2	45.9	50.7	49.3
2	6.2	20.8	30.5	43.2	48.7	51.3
3	4.2	13.1	21.1	38.2	44.7	55.3
4	4.2	12.5	18.1	30.2	37.6	62.4
平均	5.6	17.4	24.3	37.2	42.8	57.2

2　观测的基本情况与天气背景

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), 在现场设置了临时气象站, 并进行了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、气溶胶物理化学性质、雾水与雨水的化学特征等。第一期外场观测, 共观测到浓雾过程 3 次, 典型雾日 12 d, 收集雾水样品 21 份、雨水样品 25 份, 其中仅第 3 次浓雾过程收集到了雾水样品; 第二期外场观测, 共观测到浓雾过程 2 次, 典型雾日 7 d, 收集雾水样品 36 份、雨水样品 38 份。使用装有尼龙网的主动式雾水捕集器收集雾水样品, 采样前, 先用去离子亚沸蒸馏水反复冲洗雾水捕集器, 采样间隔 30~ 60 min, 现场测定 pH 值与电导率, 雾水样经现场过滤后装入用去离子水冲洗 3 次的聚乙稀塑料瓶中。雨水使用经去离子亚沸蒸馏水冲洗 3 次直径 31.5 cm 的塑料盆取样, 采样间隔 30 min, 现场测定 pH 值与电导率, 雨水样经现场过滤后装入用去离子水冲洗 3 次的聚乙稀塑料瓶中。使用 PHB- 29C 型酸度计测定 pH 值, 由 DDS-11A 型电导率仪测定电导率; F^-, Cl^-, NO_3^-, SO_4^{2-} 由离子色谱法测定, K^+, Na^+, Ca^{2+}, Mg^{2+} 由原子吸收分光光度法测定, NH_4^+ 由化学法(纳氏试剂比色法) 测定。

观测到的浓雾过程都与天气系统的活动密切相关(表 2), 南岭山地的浓雾是出现在大瑶山海拔较高的区域, 据实地观测和对当地的深入调研, 该区域出现的浓雾实质上是低云。在有天气系统影响期间,

表 2　南岭大瑶山浓雾的宏观特征

Table 2　The macro- features of heavy fog in Nanling Dayaoshan Mountain

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(℃)	平均气温(℃)	降水	过程降水量(mm)
Ⅰ	1998.12.31 ~ 1999.1.2	准静止锋云系	偏北	31 日 17 时 30 分	42	-1.0 ~ 3.0	1.6	无	0.0
Ⅱ	1999.1.11~ 15	冷锋降水云系	偏北	11 日 18 时	87	-4.3 ~ 0.3	-2.5	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	18 日 18 时	48	0.5 ~ 9.7	6.4	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、偏北	24 日 01 时 30 分	105	1.0 ~ 11.0	3.7	间歇性毛毛雨、小雨、阵雨	39.0
Ⅴ	2001.3.7~ 8	冷锋降水云系	偏南转偏北	7 日 02 时 30 分	37	4.2 ~ 13.6	7.0	连续性毛毛雨、小雨	13.9

大瑶山易发生浓雾过程,即雾的出现与天气系统(冷锋、切变线、西南急流等)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的北部,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,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(静或小风)、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并无明显的日变化特征,平均风速大,维持时间长,能见度差,并与前期降温(低温)和降水密切相关(表 2)。

3 雾水的化学特性

从 3 次浓雾过程的雾水化学特征(表 3),可以看到这些雾水的 pH 值均比较低,尤其是 2001 年的两个过程平均为 5.2,低于目前的酸雨标准(pH 值 ≤5.6),最小值为 3.46,最大值为 7.10,在 57 个样品中,pH 值< 5.6 的样品占 51%,pH 值< 5.0 的也占到 23%,而 pH 值< 4.5 的强酸雾还占到 18%,可见南岭地区不仅春季降水造成酸雨危害,酸雾的危害也十分严重。电导率平均为 12~ 490 μS/cm,表明雾水中的离子浓度总水平比较高。雾水离子浓度的分布显示过程间的差别比较大,平均来看,阴离子 SO_4^{2-} 的浓度最高,其次是 NO_3^-;阳离子 Ca^{2+}, NH_4^+ 的浓度高,其次是 K^+,而 F^-, Mg^{2+} 的浓度很低,雾水中 Cl^-, Na^+ 的浓度也不高(表 3)。上述情况与同时期采集的雨水样品的化学组分有较大差别(表 5)。

从表 4 来看,不同地域雾水离子成分的差别,无论是浓度水平还是优势离子成分,都是比较大的。南岭与庐山、闽南的情况较为接近,但南岭雾水的诸离子浓度还是较庐山高 3~ 10 倍(Ca^{2+}, Mg^{2+} 除外)。而重庆的情况就比较特殊,各种离子浓度都比南岭、庐山、闽南高 10~ 100 倍,这与重庆是重工业基地和较严重的空气污染,乃至于特殊的地形都不无关系[17]。而南岭地区临近湘桂河谷,也有一些重工业分布,因而雾水的离子浓度较相对清洁的庐山为高。1999 年南岭与闽南、庐山雾水中 SO_4^{2-}, NH_4^+ 是浓度最高的离子成分,2001 年南岭与重庆雾水中 SO_4^{2-}, Ca^{2+} 是浓度最高的离子成分。

表 3 南岭大瑶山雾水的化学特征(单位:μmol/L)与微物理特征[18,21]的对比

Table 3 The comparison between chemical feature (unit: μmol/L) and micro- feature of fog- water in Nanling Dayaoshan Mountain

过程	样本数	pH	电导率 (μS/cm)	F^-	Cl^-	NO_3^-	SO_4^{2-}	NH_4^+	K^+	Na^+	Ca^{2+}	Mg^{2+}	浓度 (个/cm³)	平均直径 (μm)	含水量 (g/m³)
Ⅲ	21	6.11	220	79	105	250	663	1300	187	65	255	11	78.7	11.1	0.113
Ⅳ	24	4.99	109	4	10	6	589	88	88	39	479	20	191.4	8.2	0.155
Ⅴ	12	5.61	164	14	7	13	886	70	132	89	1497	39	201.7	7.2	0.115
平均	57	5.53	162	34	44	97	679	531	134	59	611	21	176.8	8.3	0.133

表 4 雾水的化学特征(浓度单位:μmol/L)

Table 4 The chemical feature of fog- water (unit: μmol/L)

地区	时间	pH 值	F^-	Cl^-	NO_3^-	SO_4^{2-}	NH_4^+	K^+	Na^+	Ca^{2+}	Mg^{2+}
南岭	1999 年	6.1	79	105	250	663	1300	187	65	255	11
	2001 年	5.2	7	9	8	688	82	103	56	818	26
闽南[16]	1993 年	3.6	29	214	257	395	469	91	344	149	53
庐山[15]	1987 年	5.4	9	26	73	220	323	14	19	106	13
重庆[7,8]	1984~ 1990 年	4.4	1064	2062	992	6450	3307	1020	1486	3685	1483

4 雾水与雨水化学成分的对比分析

从表 5 的对比可见到,南岭与庐山有类似的现象,即雾水中的离子浓度远高于雨水中的浓度。南岭雾水的电导率是雨水的 6~ 10 倍,南岭雾水中的 SO_4^{2-}, NH_4^+, Na^+, Ca^{2+} 浓度远比雨水中的高,说明雾水中溶有大量的污染物质,这与当地的大气环境污染状况有直接关联。由于离子浓度高有利于雾滴

的形成和维持, 这种情况更加剧了该地雾害的严重程度。其中 1999 年雾水中 NH_4^+ 的浓度相当高, 同时 NO_3^-, Cl^-, F^- 的浓度也比较高, 而 Ca^{2+} 和 Mg^{2+} 的浓度较低, 与 2001 年的情况形成了鲜明对照, 反映了雾水中离子浓度的多样性分布, 与雾的生成和环境都有关系。另外, 无论是南岭的 3 个过程, 还是庐山的情况, 都是雨水比雾水酸性更强, 说明虽然雾水中的离子浓度较雨水高得多, 但大量的离子成分中存在更多的缓冲物质, 比如说 NH_4^+ 和 Ca^{2+}。

表 5　南岭山地雨水、雾水水溶性离子成分(μmol/L) 观测结果与庐山的比较

Table 5　The comparison of water- soluble ion constitutes (μmol/L) of Nanling Mountain with those of Lushan Mountain

地点		样品	pH	D(μS/cm)	F^-	Cl^-	NO_3^-	SO_4^{2-}	NH_4^+	K^+	Na^+	Ca^{2+}	Mg^{2+}
南岭	1999 年	雨水	5.3	22.6	6.8	26.5	15.6	79.2	47.8	15.8	12.5	35.4	3.1
		雾水	6.1	220.3	78.6	104.5	250.0	662.5	1299.8	186.8	65.1	255.0	10.7
	2001 年	雨水	4.5	20.8	0.4	4.8	2.7	46.2	43.9	20.0	16.3	53.4	3.7
		雾水	5.2	127.5	7.3	9.1	8.3	687.9	82.1	102.7	55.5	818.3	26.0
庐山[15]		雨水	4.9		0.9	11.6	11.7	33.2	66.9	19.8	4.4	10.7	1.4
		雾水	5.4		9.1	25.6	73.5	219.9	323.1	14.5	18.9	106.5	12.6

5　浓雾过程中的雾水化学组分变化

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吸收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。雾的形成可以清除大气中的微量成分, 雾滴可能包含浓度很高的污染物成分。同时, 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。在大面积森林地区, 这类清除过程可能是很重要的。

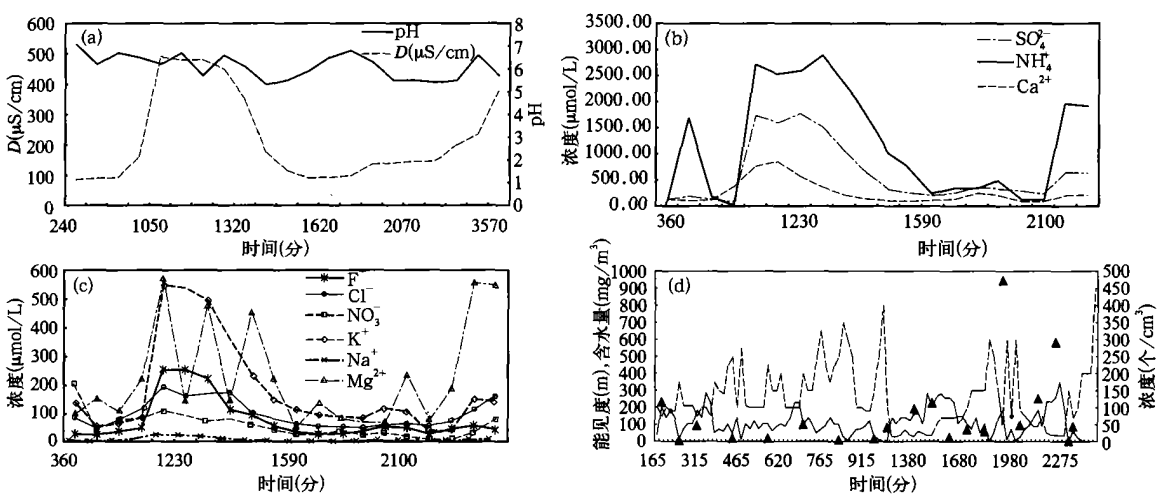

图 1　1999 年 1 月 18~ 20 日南岭雾水的化学特征

(a. pH 值与电导率, b. SO_4^{2-}, NH_4^+, Ca^{2+} 的浓度, c. F^-, Cl^-, O_3^-, K^+, Na^+, Mg^{2+} 的浓度, d. 能见度(实线)、雾含水量(虚线) 与雾滴浓度(▲))

Fig. 1　The chemical features of Nanling fog- water on January 18~ 20 1999

(a. pH (real line) and conductance(dashed line), b. concentration of SO_4^{2-}, NH_4^+, Ca^{2+} c. concentration of F^-, Cl^-, NO_3^-, K^+, Na^+, Mg^{2+}, d. visibility (real line), water content of fog (dashed line) and concentration of fog- drop (▲))

结合表 3 和图 1~ 3, 分析这 3 次雾过程雾水离子成分的特征。第 III 次雾过程发生于 1999 年 1 月 18~ 20 日, 雾维持时间为 48 h。雾滴浓度比较低, 平均 78 个/cm^3, 雾滴尺度比较大, 平均直径达 11.1

μm。所测正负离子平均当量比为 1.19。雾形成时,pH 值最高,离子浓度不高,15 h 后,pH 值降至最低水平,伴随出现高离子浓度时段,持续时间 5~6 h,这时能见度最差,雾滴浓度明显增加,雾含水量也较高;雾将消散时,pH 值有起伏变化,离子浓度略有增大,与蒸发浓缩过程有关,此时能见度快速好转,雾滴浓度与雾含水量迅速减少。在诸离子中,SO_4^{2-},NH_4^+,Ca^{2+} 的浓度很高,而且变化趋势较为类似;NO_3^-,K^+ 的浓度较高,也有类似的变化趋势;F^-,Cl^- 浓度不高,也有相似的变化趋势;Na^+ 和 Mg^{2+} 的含量很低。

第Ⅳ次雾过程发生于 2001 年 2 月 24~28 日,雾维持时间为 105 h。雾滴浓度比较高,平均191 个/cm^3,雾滴尺度比较小,平均直径 8.2 μm。所测正负离子平均当量比为 1.01。与前一过程的离子浓度演变特征有明显差异,雾生成时,pH 值先升后降,离子浓度很高,而后出现两次起伏,高浓度时段均能持续 10~14 h,pH 值降至相当低的水平,最低达 3.46,此时雾滴浓度较大,雾含水量也比较高,能见度比较差。而后 pH 值起伏上升,离子浓度也起伏上升,与前期变化差异明显。其中 SO_4^{2-},Ca^{2+} 的浓度很高,而且变化趋势相似;NH_4^+,K^+ 的浓度较高,变化趋势也相近;Na^+ 和 Mg^{2+} 浓度不高,也有相似的变化趋势;F^-,Cl^-,NO_3^- 的含量很低。

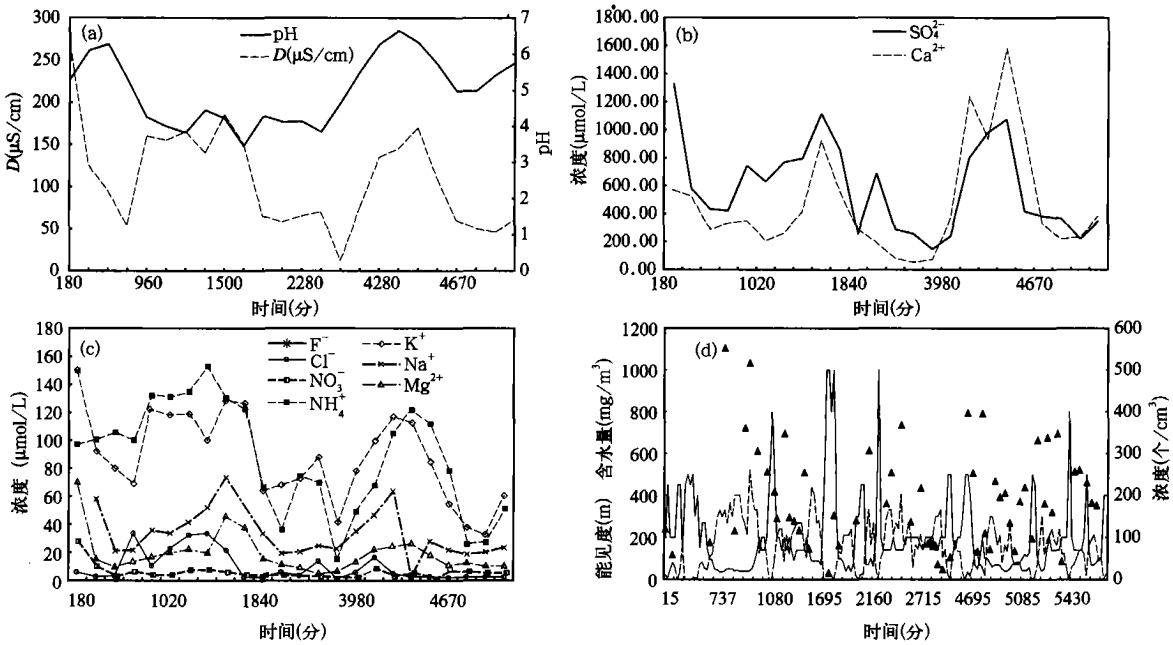

图 2 2001 年 2 月 24 日至 28 日南岭雾水的化学特征

(a. pH 值与电导率, b. SO_4^{2-}, Ca^{2+} 的浓度, c. F^-, Cl^-, NO_3^-, K^+, NH_4^+ Na^+, Mg^{2+} 的浓度, d. 能见度(实线)、雾含水量(虚线)与雾滴浓度(▲))

Fig. 2 The chemical features of Nanling fog-water on February 24~28 2001.

(a. pH (real line) and conductance(dashed line), b. concentration of SO_4^{2-}, NH_4^+, Ca^{2+}, c. concentration of F^-, Cl^-, NO_3^-, K^+, Na^+, Mg^{2+}, d. visibility (real line), water content of fog (dashed line) and concentration of fog-drop (▲))

第Ⅴ次雾过程发生于 2001 年 3 月 7~8 日,雾维持时间为 37 h。雾滴浓度高,平均达201 个/cm^3,雾滴尺度小,平均直径仅 7.2 μm。所测正负离子当量比为 1.89,说明雾水中可能存在较多未测的有机酸。与前两个例子有显著不同,雾形成时,pH 值较低,离子浓度非常高;而后 pH 值略有升高后维持在较低水平,离子浓度下降,并长期维持在较低水平;雾消散前,离子浓度略有上升,pH 值也略有上升。在整个浓雾过程中,能见度与雾含水量出现多次起伏,而雾滴浓度是起伏上升的。在诸离子中,SO_4^{2-},Ca^{2+} 的浓度很高,且变化趋势较为类似;NH_4^+,K^+ 的浓度较高,也有类似的变化趋势;F^-,Cl^-,NO_3^-,Mg^{2+} 的含量非常低,Na^+ 的变化比较特殊,雾发生初期的浓度很高,而后迅速下降,变化趋势接近

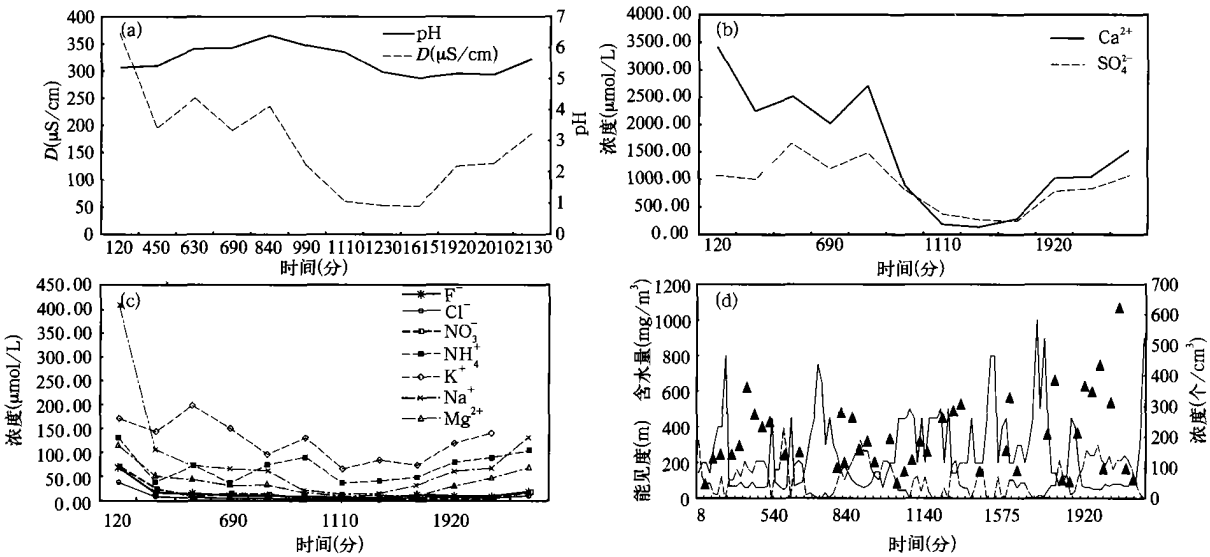

图 3　2001 年 3 月 7~ 8 日南岭雾水的化学特征

(a. pH 值与电导率, b. SO_4^{2-}, Ca^{2+} 的浓度, c. F^-, Cl^-, NO_3^-, K^+, NH_4^+, Na^+, Mg^{2+} 的浓度, d. 能见度(实线)、雾含水量(虚线) 与雾滴浓度(▲))

Fig. 3　The chemical features of Nanling fog- water on March 7~ 8 2001.

(a. pH(real line) and conductance(dashed line), b. concentration of SO_4^{2-}, Ca^{2+}, c. concentration of F^-, Cl^-, NO_3^-, K^+, NH_4^+, Na^+, Mg^{2+}, d. visibility (real line), water content of fog (dashed line) and concentration of fog- drop (▲))

NH_4^+ 和 K^+。

这 3 个例子说明不同过程其雾水的化学特征差异明显, 与雾的形成机制和环境因子都有关系。雾与污染物关系的研究主要包括: 污染物对雾生成发展的影响, 雾水在污染大气中的酸化, 雾水对污染物的清除, 雾层内大气边界层的结构变化对污染物扩散的影响[19]等。

以第 V 次浓雾过程为例, 从图 4 可见, 雾形成之前, 温度随高度递减(3 月 6 日 23 时)。23 时地面温度开始下降, 温度廓线在近地层 700 m 处发生调整, 可以认为这段时间为雾形成的前期阶段; 7 日凌晨 2 时 30 分, 冷空气(锋面) 过境前(地面常规观测资料分析表明锋面过境时间约为 04 时) 已出现雾, 能见度为 140 m; 7 日 07 时至 8 日 11 时为雾不断发展的过程, 7 日 07 时, 955 m 处出现明显的逆温层, 厚度超过 400 m, 强度为 1 ℃/ 100 m, 其中 955~ 1375 m 逆温强度达 2 ℃/ 100 m, 浓雾在这个时段得到充分的发展, 能见度减小到 69 m。11 时, 温度廓线又发生调整, 原来的单层逆温结构受到破坏, 分别在 935 和 1705 m 处出现两个逆温层, 逆温强度明显减小, 雾层在这个时刻抬升离地, 能见度好转, 超过 1000 m。同时地面温度回升, 这与冷空气补充不足有关。17 时, 冷空气补充影响导致地面温度继续下降, 温度廓线再次调整, 重新出现单层逆温结构, 在 1025 m 处出现 365 m 厚的逆温层, 逆温强度明显增大, 此时雾发展旺盛, 能见度只有 70 m。20 时, 逆温层抬高增厚, 逆温层底高度位于 1645 m 处, 逆温强度达到整个浓雾过程的峰值 2.8 ℃/ 100 m, 观测现场保持浓雾天气, 下毛毛雨。8 日 11 时, 温度廓线变化较大, 单层逆温结构再次受到破坏, 出现多层逆温结构, 逆温强度明显减小。雾在这个时刻发展仍然非常旺盛, 能见度保持在 100 m 以下; 8 日 14 时, 冷空气开始减弱, 地面温度回升, 风势逐渐增大, 温度廓线呈多层逆温结构, 强度不大, 雾开始抬升离地, 能见度转好, 可以认为该段时间为雾发展的最后阶段。8 日 14 时 45 分, 雾就消散。

综上所述, 逆温层的存在是雾形成与发展的标志之一, 其实质是冷空气影响期间的锋面逆温, 它的增强和减弱影响着雾的发展; 反过来, 雾的发展又改变了逆温层的结构。分析表明, 温度廓线的变化, 尤其是强逆温层结构的出现及其调整, 对雾的形成与发展有重要的意义。一般来说, 低空强逆温层(锋面逆温) 的出现是该地发生浓雾的重要标志之一, 单层强逆温结构有利于雾的发展, 多层(双层) 弱逆温结构容易使雾消散。

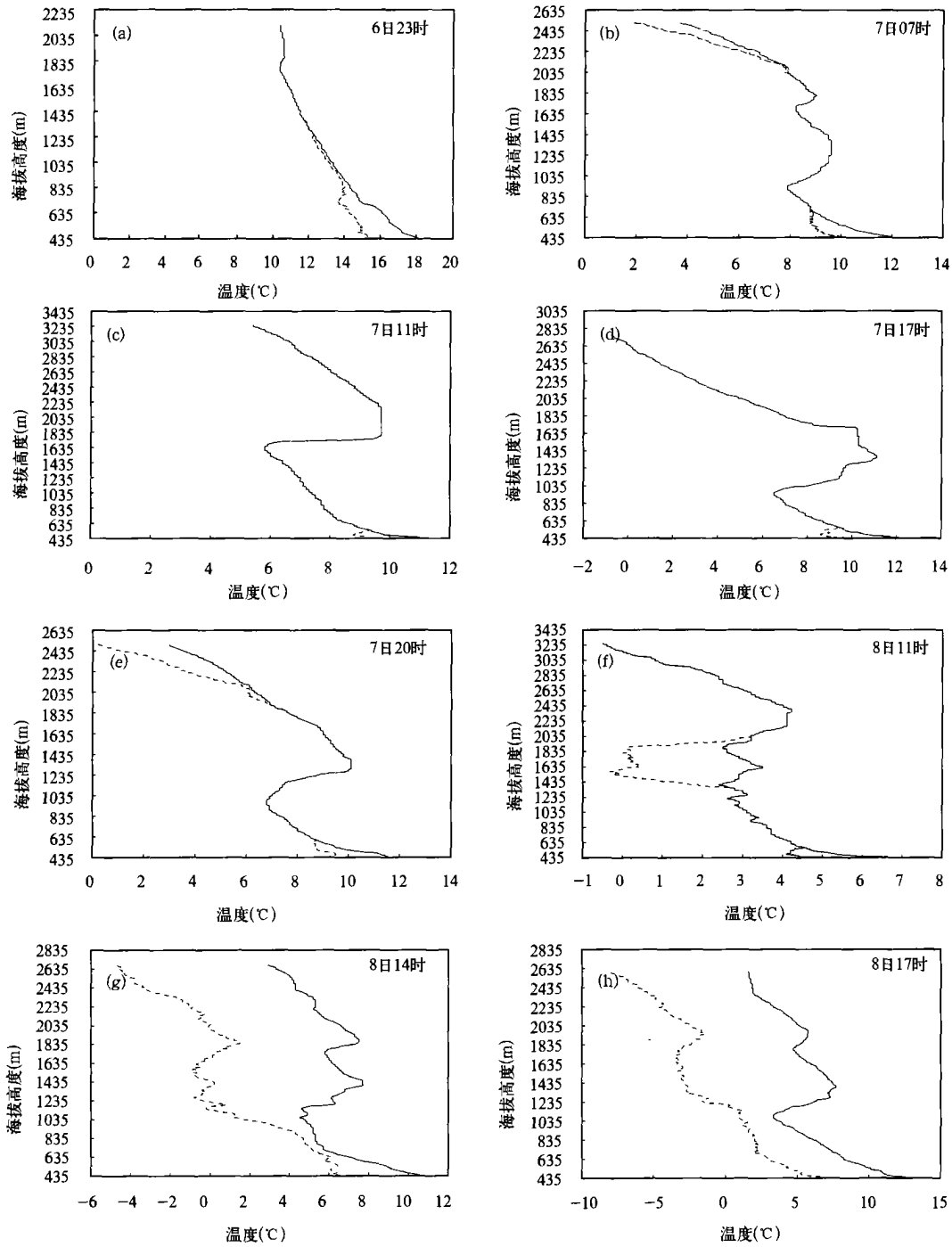

图4 2001年3月6~8日南岭大瑶山浓雾过程的边界层温湿廓线演变

(实线是干球温度,虚线是露点温度,单位均为:℃;低探空观测点乐昌县梅花镇位于大瑶山北麓海拔435 m,浓雾观测点乐昌县云岩镇开封桥小学位于大瑶山腹地海拔815 m,两地相距13 km)

Fig.4 The evolution of boundary temperature and humidity profiles of heavy fog process on March 6~8 2001 in Nanling Dayaoshan

(bold real line denote dry air temperature, thin dashed line is dew temperature, unit is Celsius degree. The station of boundary sounding, Meihua town of Lechang county, sea level 435 m, locates in the north of Dayaoshan, while the observational station of heavy fog, Kaifeng primary school at Yunyan town of Lechang county, sea level 815 m, locates in the hinterland of Dayaoshan, the distance between two stations is 13 km)

充足水汽是雾形成与发展不可缺少的重要条件之一, 因此雾必然是与水汽饱和区, 即相对湿度高值区相对应的。当温度露点差等于零的时候, 水汽达饱和状态。图 4 也给出了第 V 次雾过程的整个生消阶段湿度层结曲线随时间的演变情况。

从图中可见, 在雾形成之前, 低层空气尚未达到饱和, 3 月 6 日 17, 20 和 23 时近地面的相对湿度都未超过 85%。从 20 时开始, 1135 m 以上空气相对湿度超过 95%。23 时, 800 m 以上的空气相对湿度超过了 98%。可以认为这个时段是雾的酝酿阶段, 充足的水汽为雾的形成提供了条件。7 日 02 时 38 分, 云底及地形成浓雾; 3 月 7 日 07 时~ 8 日 11 时是雾发展旺盛的阶段, 近地层空气始终保持饱和状态。需要注意的是, 8 日 11 时, 由于冷空气的补充不足, 地面温度暂时回升, 致使靠近地面的薄层空气水汽蒸发, 相对湿度有所下降。在这个时刻, 温度廓线也有相应的调整, 使得能见距离一度好转。14 时, 雾进入发展的最后阶段, 地面温度回升, 上层空气变得干燥, 相对湿度只有 60% 左右, 低层空气只存在 300 m 厚的水汽准饱和区。虽然在这个时刻雾依然保持很浓, 能见度为 90 m, 但是从地面温度的回升、水汽含量的减少以及风势的加大等方面, 可以表明雾已经进入了消散的阶段。14 时 30 分, 能见度转好; 14 时 45 分, 雾就消散了。

从整个浓雾过程湿度廓线分析, 空气饱和层的存在是雾形成和发展的必要条件之一。此次雾过程为平流雾和爬坡雾的锋面云系, 其云底的位置, 通过廓线的分析可以判断浓雾出现的区域。考虑到雾有可能在不完全饱和的情况下形成, 以近地层空气相对湿度大于 97% 的地方定为云底高度, 由图可见, 第 V 次浓雾过程的云底高度大概位于海拔 515~ 625 m, 因此在开封桥小学的观测现场(海拔 815 m) 始终保持浓雾天气。

水汽充沛是该地浓雾形成与发展的重要条件之一。空气饱和层的出现是浓雾形成的一个重要标志, 饱和层出现则雾形成, 饱和层破坏则雾消散。其他雾过程的分析结果也证明上述边界层特征是非常相似的。

表 6 是以华南赤红壤表层土壤为参照系的富集度因子[20], 可以看到, 在第 III次过程中被雾水富集的主要是 NH_4^+; 在第 IV次过程雾水中 Ca^{2+}, SO_4^{2-}, Mg^{2+}, NH_4^+, K^+ 都有明显的富集, Na^+ 也有微弱的富集; 第 V 次过程雾水中 Ca^{2+} 有明显的富集, SO_4^{2-}, Mg^{2+} 有一定的富集现象, NH_4^+, K^+, Na^+ 都有微弱的富集。说明雾的不同过程间离子浓度的富集存在差异。

表 6　南岭雾水中离子成分的富集度因子(相对于土壤)

Table 6　The enrichment factor (compared to soil) of ion constitutes of Nanling fog- water

过程	Cl^-	NO_3^-	SO_4^{2-}	NH_4^+	K^+	Na^+	Ca^{2+}	Mg^{2+}
III	0.24	0.83	1.18	10.04	1.23	0.38	1.11	0.42
IV	0.44	0.38	20.12	13.02	11.08	4.39	39.87	14.87
V	0.10	0.25	9.07	3.12	4.98	2.98	37.35	8.74

表 7　南岭雾水中的非海盐成分所占比重(nss/total)

Table 7　The ratio (nss/total) of non- sea salt constitutes of Nanling fog- water

过程	F^-	Cl^-	NO_3^-	SO_4^{2-}	NH_4^+	K^+	Ca^{2+}	Mg^{2+}
III	99.99	- 12.05	100.00	99.59	100.00	98.75	99.52	63.26
IV	99.87	- 598.10	99.94	99.72	100.00	98.41	99.85	88.09
V	99.91	- 2071.50	99.94	99.58	99.99	97.59	99.89	86.19

从表 7 看到, 通过非海盐成分的分析, 发现南岭雾水中几乎 100% 的 NH_4^+, NO_3^+, F^-, 超过 99% 的 SO_4^{2-} 和 Ca^{2+}, 超过 97% 的 K^+ 和超过 63% 的 Mg^{2+} 均不是来自于海洋环境, 仅有 12%~ 37% 的 Mg^{2+} 可能与海洋环境有关; 而 Cl^- 有明显损耗。说明南岭山地的雾水主要受大陆环境和人类活动的影响。

6　小　结

通过分析, 南岭大瑶山雾水的主要化学特征是:

(1) 酸雾的频率达51%, 酸雾的危害不容忽视。

(2) 在雾水中浓度最高的阴离子是 SO_4^{2-}, 其次是 NO_3^-; 阳离子中 Ca^{2+}, NH_4^+ 的浓度最高。

(3) 雾水中的离子浓度远高于雨水中的浓度。雨水比雾水酸性更强, 说明虽然雾水中的离子浓度较雨水高得多, 但大量的离子成分中存在更多的缓冲物质, 比如说 NH_4^+ 和 Ca^{2+} 。

(4) 不同过程雾水的化学特征变化差异明显, 与雾的边界层结构、形成机制与环境因子都有关系。

(5) 雾水中的 Ca^{2+} , SO_4^{2-} , Mg^{2+} 有明显的富集现象, 南岭山地的雾水主要受大陆环境和人类活动的影响。

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 R 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 Appl 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 R 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. 双流机场雾宏微观结构研究. 见:《全国云物理和人工影响天气会议文集》编辑组编. 全国云物理和人工影响天气会议文集. 北京: 气象出版社, 1989. 246pp

14 杨中秋, 许绍祖, 耿骠. 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 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

17 李子华, 仲良喜, 余香仁. 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

18 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

19 郝为峰, 苏晓冰, 王庆安等. 山地边界层急流的观测特性及其成因分析. 气象学报, 2001, 59(1): 120~ 128

20 吴兑, 陈位超. 广州气溶胶质量谱与水溶性成分谱的年变化特征. 气象学报, 1994, 52(4): 499~ 505

21 唐浩华, 范绍佳, 吴兑等. 南岭山地浓雾的微物理结构及演变过程. 中山大学学报(自然科学版), 2002, 41(4): 92~ 96

THE STUDY ON FOG-WATER CHEMICAL COMPOSITION IN DAYAOSHAN OF NANLING MOUNTAIN

Wu Dui

(Institute of Tropical and Marine Meteorology, CMA, Guangzhou, 510080;
Department of Atmospheric Science, Sun Yai- sen University, Guangzhou 510275)

Deng Xuejiao　Ye Yanxiang　Mao Weikang

(Institute of Tropical and Marine Meteorology, CMA, Guangzhou 510080)

Abstract

Fog is an aerosol system composed of plenty suspended tiny water or ice crystal which have severe scatter effect on visible light causing obstacle to visibility. There are radiative fog, advection fog and frontal fog according to the formation reasons of fog. Dayaoshan is a main mountain in Nanling Mountain area where is the important interface of climates in China. The highway from Peking to Zhuhai cross the Dayaoshan, the height above sea level of road surface ascend from 200 m to 800 m, and then descend to 200 m, the topogranphy is very complicated, heavy fog occurs frequently. In Winter and Spring, the visibility less 500 m is over 37% according to hourly statistics, so there are good chances to collect fog water and analyse it's chemical compositions.

Based on the fog-water data from December 1998 to January 1999, and February, March 2001, the chemical compositions of fog-water in heavy fog processes have been analyzed, especially for the ion concentration of fog-water and their sources in three typical heavy fog processes. The analyses show the frequency of acid fog reach 50%, and the harms caused by acid fog should not be neglected. All ion concentrations of fog-water in heavy fog processes are far higher than those in rainwater. Therefore, fog not only cause bad visibility, but also harm people's health due to its highly polluted particles. When fog occurs, the high concentration polluted ion compositions will stimulate mucous membrane of respiratory tract, causing respiratory disease. The chemical features are obviously different from different fog processes. The highest negative ion concentration in fog-water is SO_4^{2-}; following NO_3^-, while the Ca^{2+} and NH_4^+ are highest positiveion concentrations. Rain-water is more acid than fog-water, showing although ion concentrations of fog-water are far higher than those in rain-water, there are more cushioning substances in the large ion compositions of fog-water like NH_4^+ and Ca^{2+}. The Ca^{2+}, SO_4^{2-} and Mg^{2+} are obviously enriched. The fog-water in Nanling Mountain is mainly influenced by mainland environment and human activities.

Key words: Nanling Mountain, Heavy fog, Fog-water, Chemical composition.