

胡跃文,秦杰,苏静文,等,2019.2016—2017年贵州大雾时空分布及气象要素演变分析[J].气象,45(5):659-666. Hu Y W, Qin J, Su J W, et al, 2019. Analysis of heavy fog spatio-temporal distribution and meteorological elements evolution in Guizhou from 2016 to 2017[J]. Meteor Mon, 45(5):659-666(in Chinese).

2016—2017年贵州大雾时空分布及 气象要素演变分析*

胡跃文¹ 秦杰² 苏静文³ 牛迪宇³ 吉廷艳³

1 贵州省气象学会, 贵阳 550002

2 贵州省清镇市气象局, 清镇 551400

3 贵州省气象服务中心, 贵阳 550002

提 要: 利用 2016—2017 年自动站逐小时观测资料, 统计分析贵州大雾天气的时空分布特征; 同时, 结合天气图资料分析筛选了锋面大雾个例 31 d 和辐射大雾个例 17 d, 对比分析大雾生消过程中风、温、湿等气象要素演变特点。结果表明: (1) 贵州大雾在秋末到初春较为频发; 一天中夜间 02—09 时是大雾频发时段, 07 时达到峰值。(2) 贵州自西向东有 4 个多雾区, 分别为西南部区域、中部区域、东部边缘区域和北部局部区域。(3) 锋面大雾主要出现在贵州中西部, 范围最广时可达 20 个县站左右, 持续时长可达 10~13 h, 单站可持续 60 h 以上。辐射大雾以贵州中东部地区出现较多, 范围最广时可接近 40 个县站, 远比锋面大雾范围广, 持续时间相对较短。(4) 大雾期间, 10 min 平均风速为 0~3 m·s⁻¹, 相对湿度为 97%~100%, 温度露点差为 0~0.5℃; 辐射大雾初期或形成前气温呈下降状态, 消散期升温较明显, 地气温差呈现由负到正或由低到高的变化趋势, 反映出近地层大气由较为稳定的逆温环境向不稳定环境变化的过程; 锋面大雾初期的降温 and 后期的升温现象并不突出, 地气温差也没有特定的变化规律, 仅有部分个例与锋面大雾情况一致。

关键词: 大雾, 自动观测, 时空分布, 气象要素, 锋面, 辐射

中图分类号: P49

文献标志码: A

DOI: 10.7519/j.issn.1000-0526.2019.05.007

Analysis of Heavy Fog Spatio-Temporal Distribution and Meteorological Element Evolution in Guizhou from 2016 to 2017

HU Yuewen¹ QIN Jie² SU Jingwen³ NIU Diyu³ JI Tingyan³

1 Guizhou Meteorological Society, Guiyang 550002

2 Qingzhen Meteorological Office of Guizhou, Qingzhen 551400

3 Meteorological Service Center of Guizhou Province, Guiyang 550002

Abstract: The hourly observation data of automatic station in Guizhou Province from 2016 to 2017 were used to analyze the spatio-temporal distribution characteristics of heavy fog. Meanwhile, 31 days of front fog and 17 days of radiation fog were screened out via analyzing the synoptic data, and the evolution characteristics of meteorological elements such as wind, temperature and humidity were compared and analyzed. The results are as follows. (1) Heavy fog happens frequently in late autumn and early spring in Guizhou. The occurrence time period of the highest frequency is from 02:00 to 09:00 BT, reaching the peak at 07:00 BT. (2) The southwest, central, eastern and northern parts of Guizhou are the foggy areas from west to east. (3) Frontal fog mainly appears in the central and western Guizhou. The most extensive

* 贵州省科技计划项目(黔科合支撑[2017]2812)、中国气象局预报员专项(CMAYBY2017-067)共同资助

2018年5月11日收稿; 2018年8月29日收修定稿

第一作者: 胡跃文, 主要从事应用气象业务及相关研究. Email: 1006537820@qq.com

range covers about 20 county stations, and the duration can be 10—13 h. Some single station can have fog more than 60 h. Radiation fog mainly appears in the central and eastern Guizhou. The widest range can be close to 40 county stations, far more than the frontal fog range, and the duration is relatively short. (4) The 10 min average wind speed is $0-3 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$, the relative humidity is $97\%-100\%$, and the difference between temperature and dew point is $0-0.5^\circ\text{C}$. Temperature is in a state of decline at the beginning or before the formation of fog. In the period of extinction, warming is more obvious. The difference in temperature between surface and atmosphere presents a trend from negative to positive or from low to high, which reflects the process in which the near-surface atmosphere changes from a more stable inversion temperature environment to an unstable environment. The early cooling and later heating up are not obvious in frontal fog, also the temperature has no regular distribution between ground surface and atmosphere, only some cases are in line with frontal fog.

Key words: fog, automatic observation, spatio-temporal distribution, meteorological elements, frontal surface, radiation

引 言

贵州位于青藏高原东南侧斜坡面上,属于低纬高原山地,境内地势西高东低,自中部向北东南三面倾斜。特殊的地形地势是静止锋天气系统形成并长期维持的主要原因。静止锋系统的东西摆动常常造成贵州大范围大雾天气,高原山地的地形作用也是贵州大雾频发的重要原因,另外,夜间晴空辐射降温的作用也常导致大范围大雾发生。大雾对公路交通、水上运输、航空飞行的影响是显而易见的。随着交通运输行业的迅速发展,大雾对交通的影响将越来越严重。

根据实时观测数据分析雾的时空变化特征是做好雾预报工作的基础。关于全国或某个区域雾的时空分布和气候变化特征方面,许多学者开展过相关研究(周福等,2015;许爱华等,2016;王博妮等,2016;田小毅等,2018;王丽萍等,2006;林建等,2008;景学义等,2005;王正旺等,2009;田华和王亚伟,2008;黄治勇等,2012)。刘小宁等(2005)分析了全国雾的时空分布特征,并对雾日数的变化原因进行了初步解释;魏建苏等(2010)探讨了沿海地区雾的生成与风向、风速和海温的关系;崔驰潇等(2015)利用江苏省沿海高速公路2012年6月至2014年5月逐分钟AWMS实时监测数据,按能见度大小和物理成因对雾的发生过程进行分类统计,分析了它们的时空变化特征,探讨了造成各种时空分布差异的原因。针对贵州雾的时空特征和形成原因等方面

的分析,罗喜平等(2008;2012)、陈娟等(2013)、崔庭等(2012)、谢清霞等(2016)、夏晓玲和唐延婧(2015)开展过相关研究,但是已有的研究基本上都是基于人工观测的雾资料进行分析。2012年之前,贵州对雾的观测主要是通过人工目测获取,资料时间精度有限,大多数台站仅有08、14和20时观测数据。2013年后随着观测设备的更新换代,各地陆续实现了雾的自动观测,雾资料的时间精度大大提升,因此,有必要利用高精度的雾资料开展相关研究,有助于提升贵州大雾预报预警服务能力。

根据相关标准(中国气象局,2007),雾分为四个等级:能见度 $500\sim 1000 \text{ m}$ 为雾, $200\sim 500 \text{ m}$ 为大雾, $50\sim 200 \text{ m}$ 为浓雾,能见度 $\leq 50 \text{ m}$ 为重浓雾。一般而言,大雾、浓雾和重浓雾天气对高速公路的正常运行存在巨大威胁,因此,本文主要分析能见度在 500 m 及以下(统称为大雾)的贵州大雾天气特征,为高速公路大雾预报预警提供背景参考。

1 资料来源及分析方法

贵州能见度自动观测站的建设始于2013年,当年仅建18个县站,2014和2015年各建设28个县站和30个县站,因此,2016年后才有比较完整的能见度观测数据(共77个县站,尚有花溪、普定、贵定、丹寨、麻江、晴隆等县市未建站)。从观测站点范围和资料都比较完整的角度考虑,以2016和2017年的能见度为分析对象,利用CIMISS系统(全国综合气象信息共享平台)读取全省84个县站两年逐小时

能见度资料(其中,尚未建自动站的6个县站仅有08、14和20时3个时次的观测资料。另外,缺失2016年1月13日17时至14日10时和2016年3月4日20时至5日18时资料),并剔除重复的数据,统计全省能见度 $<500\text{ m}$ 的站点和时次。由于大雾和强降雨都可能造成低能见度天气,因此,同时也统计小时降水量 $>10\text{ mm}$ 且能见度 $<500\text{ m}$ 的站点和时次,由此排除强降雨造成的低能见度情况,分析贵州大雾天气的时空分布特点。

另外,选取2016—2017年贵州大雾天气个例,分析大雾天气的气象要素演变特征。首先,查阅逐日08、14、20时MICAPS(气象信息综合分析处理系统)地面天气图资料,分析选取有雾的日期,并判别是锋面雾还是辐射雾;同时,统计同一个时次能见度 $<500\text{ m}$ 的站点数达10个以上的时间信息,筛选出大雾天气个例48 d(31 d锋面大雾、17 d辐射大雾)。以大雾天气个例为分析对象,提取每次个例大雾对应站点的逐小时风、温、压、湿等相关气象要素资料,分析大雾生消过程中气象要素的变化特点。

锋面雾的归类处理:通常情况下,地面天气图上存在明显的风向切变线,且切变线前后两侧区域表现为不同的天气现象,即:切变线的前方受暖湿气流影响,表现为多云天气、偏南风、气温相对较高;切变线的后方受冷空气或变性冷空气影响,表现为阴雨天气、偏北风、气温相对较低。这种情况表明有静止锋存在,伴随出现的雾归类为锋面雾。

辐射雾的归类处理:不受静止锋影响,仅仅由于辐射降温作用产生的雾归类为辐射雾。

本文所选锋面雾个例中含有混合雾(锋面、夜间辐射降温等因素共同作用形成),原因主要是考虑了静止锋影响为主,夜间的辐射降温是次要因素。

2 大雾时空分布特征

2.1 全省大雾时空分布

2016—2017年全省共出现低能见度天气20386时次,其中,因强降雨造成的低能见度640时次(主要发生在4—9月),其余19746时次低能见度主要是大雾天气。

全省大雾时数的月分布表明(图1),各月均可能出现大雾天气。其中,秋末到初春是大雾频发的时期,11、12、1及3月大雾时数比例为11.5%~

18.7%(均在2000时次以上),尤其是1月出现大雾最多,两年共3702时次(占18.7%);7—9月大雾天气相对较少,各月占比都不到4%。大雾天气在秋末到初春频发的原因与这期间冷空气的频繁活动、静止锋在云贵高原的长时间维持关系较大。由于冷空气的影响,气温降低,空气中的水汽容易达到饱和,为大雾天气的产生提供了有利条件;静止锋的存在,暖湿空气与冷气团的交汇容易形成大雾天气。

从两年全省大雾时数的时间分布来看(图2),一天中的任何时刻都可能出现大雾天气,尤其以02—09时为大雾频发时段,该期间大雾时数占总数的58.8%,各时刻大雾均超过1000站次(占比5.3%~9.1%),07时达到峰值(占9.1%),16时为大雾天气的低谷点,仅占1.5%。大雾多发于夜间的原因一是与特定的天气系统(静止锋、冷高压等)相关,其次也因夜间辐射降温作用易使近地层水汽凝结,进一步促进了大雾形成。

贵州大雾的空间分布极不均匀,具有非常明显的地域性特点(图3)。总体来说,贵州大雾自西向东可以划分为4个多雾区域,一是以普安、贞丰为中

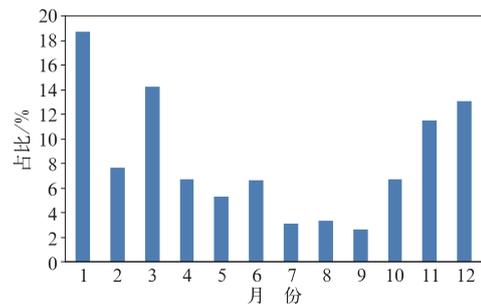


图1 全省大雾时数月分布

Fig. 1 Monthly distribution of heavy fog in the whole province

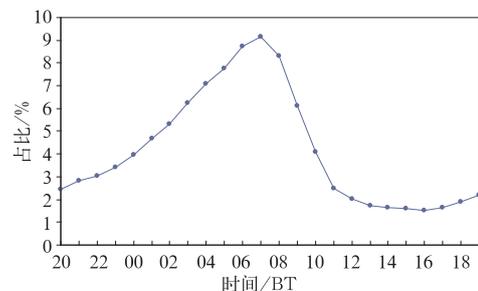


图2 全省大雾时数时间分布

Fig. 2 Time distribution of heavy fog in the whole province

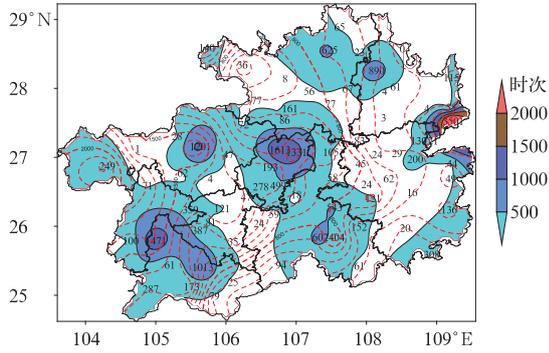


图 3 贵州大雾空间分布
(红色虚线: 台站等高线)

Fig. 3 Spatial distribution of heavy fog in Guizhou
(red dotted line: contour line of the station)

心的西南部区域, 包含威宁、六枝、关岭、安顺、兴义、安龙、盘县等地为大雾较多地点; 二是以息烽和开阳为中心, 大方为次中心, 都匀和平塘为第三中心的中部区域, 包含贵阳、清镇、修文、汇川、瓮安、独山、三都、雷山等县市为大雾较多地点; 三是以万山为中心的东部边缘区域, 包含松桃、三穗、岑巩、黎平、从江等县市为大雾较多地点; 四是以德江、务川为中心的北部局部区域, 包含赤水等地为大雾较多地点。

从两年各地大雾频数来看, 万山、息烽、开阳、普安、大方、贞丰等地是大雾频发中心, 大雾时数都超过 1000 时次(占总数的 5.1%~17.7%), 尤其是万山高达 3501 时次(占 17.7%)。其次, 德江、正安、平塘、都匀、贵阳也是大雾相对较多中心, 大雾时数接近或超过 500 时次(占比为 2.5%~4.5%)。

贵州大雾显著的区域性差异除与特定的天气系统(静止锋、冷空气活动)有关外, 更与贵州独特的高原山地相关(大雾中心点基本也是台站高度相对高点)。暖湿空气沿山体抬升的过程中, 因上升降温而容易促进水汽凝结成雾。

2.2 中心点大雾时间分布

进一步对比分析万山、息烽、开阳、大方、普安、贞丰等多雾中心点大雾的时间分布情况(图 4), 结果表明: 各中心点都表现出夜间大雾多于白天、峰值基本都出现在 07 时或 08 时的特点, 但是, 各中心点大雾低谷时间不尽相同, 出现在 12—17 时不等; 万山各时刻大雾均远多于其他中心点; 开阳和贞丰大雾从低谷到峰值和从峰值到低谷的变化都较平缓, 峰值与谷值的差值相对较小; 其他中心点的峰值与谷值差较大。

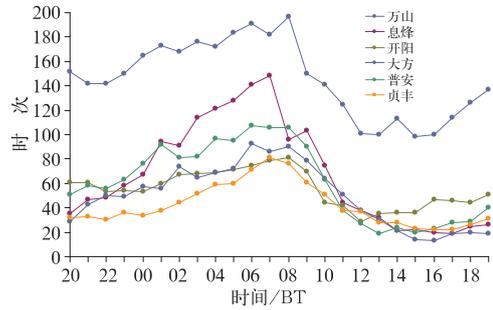


图 4 多雾中心大雾时间分布

Fig. 4 Time distribution of heavy fog in foggy area

3 锋面大雾与辐射大雾特征对比

贵州大雾主要与夜间辐射降温、静止锋活动及地形等因素相关, 因此, 贵州大雾可以分为辐射大雾、锋面大雾和地形大雾, 有时也表现为辐射、锋面及地形共同作用的结果。一般情况下, 地形大雾的局地性明显、范围有限, 以普安、大方、息烽、开阳和万山等地最为突出。这里仅对辐射大雾和锋面大雾的主要特点进行分析。根据所选个例, 分析同一时刻有 10 个以上站点大雾(称为大范围大雾)的持续时长、出现时段、单站大雾变化情况。

锋面大雾(含混合大雾)在贵州出现较多, 常发生在秋、冬和春季, 一般发生在冷空气影响过程中、静止锋附近或静止锋东退北抬过程中。统计发现(表 1), 一天中的任何时段均有可能发生大范围锋面大雾, 但以夜间到早晨较多, 主要出现在贵州中西部地区, 这与夜间降温和静止锋时常滞留贵州中西部关系较大。大范围锋面大雾一般持续 1~3 h, 最长可持续 10~13 h。单站锋面大雾一般可持续 1~10 h 不等, 最长可持续 60 h 以上。锋面大雾范围最广时可达 20 个县站左右。

辐射大雾在四季都可能发生, 但以秋、冬和春季出现较多, 夏季出现较少, 一般发生在冷高压控制时天气转晴的夜晚, 有时也发生在降雨过后水汽充足的夜间。统计表明(表 2), 大范围辐射大雾天气主要出现在后半夜到早晨(03—10 时), 以贵州中东部地区出现较多。持续时间相比锋面大雾较短, 一般可持续 1~3 h, 最长可持续 7~8 h。单站辐射大雾最长可持续 10~12 h。辐射大雾范围最广时可接近 40 个县站, 远比最广的锋面大雾范围大, 这与冷高压系统强度及影响区域尺度关系较大。

表 1 锋面大雾个例及主要特点
Table 1 Different cases and main characteristics of frontal fog

序号	日期	大范围大雾时段及主要区域			最大面积 站数/出现 时间/BT	持续时 长/h	单站情况			
		时段/BT	描述	主要区域			持续最 长站点	持续时段 /日.时	时长 /h	间断 时次
1	2016 年 1 月 2 日	04—10	夜间—早晨	中西部	15/06	7	贞丰	01.16—02.20	29	
2	2016 年 1 月 4 日	07	早晨	中部/西南边缘	11/07	1	大方	03.21—04.08	12	
3	2016 年 1 月 9 日	06—10	早晨	中西部	14/09	5	万山	08.14—11.08	64	3
4	2016 年 1 月 16 日	06—07	早晨	中西部	11/07	2	万山	16.04—17.08	29	1
5	2016 年 1 月 20 日	04	夜间	中西部	11/04	1	贞丰	19.05—20.09	29	1
6	2016 年 3 月 17 日	06	早晨	中西部	10/06	1	万山	16.16—17.11	20	
7	2016 年 3 月 18 日	07—08	早晨	中东部	11/07—08	2	从江	17.22—18.08	11	
8	2016 年 3 月 22 日	04—08	夜间—早晨	中西部	12/05	5	万山	21.20—22.22	27	1
9	2016 年 3 月 29 日	29 日 23 至 30 日 00/02	夜间	西南部中东部	12/02	2	三都	29.21—30.05	9	
10	2016 年 4 月 4 日	03—04	夜间	中西部	10/03—04	2	万山	03.17—04.07	15	
11	2016 年 4 月 9 日	07	早晨	中西部	12/07	1	开阳	09.07—10.00	18	1
12	2016 年 5 月 1 日	05	夜间	中西部	10/05	1	普安	30.16—01.05	14	1
13	2016 年 11 月 12 日	12 日 21/23;13 日 00—01/03—07	夜间—早晨	中西部	12/21	5	贞丰	12.18—13.11	18	
14	2016 年 11 月 14 日	02—04	夜间	中西部	11/02—04	3	大方	13.21—14.06	10	
15	2016 年 11 月 17 日	07	早晨	中部	11/07	1	万山	15.19—18.14	68	
16	2016 年 12 月 19 日	19 日 23 至 20 日 00/06—15	夜间,早晨到下午	中西部	14/08,15	10	万山	19.06—21.01	43	
17	2016 年 12 月 24 日	18—19	傍晚	中部	10/18—19	2	息烽	24.10—25.08	23	
18	2017 年 1 月 3 日	03—10/12—18/20/22; 4 日 00—01/03—04/07	夜间—白天—夜间	中西部	18/07,08	8	贵阳	03.03—04.08	30	3
19	2017 年 1 月 16 日	07	早晨	中西部	10/07	1	贞丰	16.03—20	18	
20	2017 年 1 月 18 日	02—03/19—20/22	夜间,傍晚	中西部	11/02,03	2	贞丰	17.21—19.02	30	
21	2017 年 2 月 2 日	08—10/12—19/21	上午,傍晚	中西部	15/15	8	万山	31.22—03.08	59	
22	2017 年 3 月 9 日	9 日 23 至 10 日 08	夜间—早晨	中西部	15/01—02	10	关岭	09.16—10.10	19	
23	2017 年 3 月 11 日	11 日 21 至 12 日 09	夜间—早晨	中西部/东北部	21/03—05	13	贞丰	11.07—12.11	29	
24	2017 年 3 月 15 日	07	早晨	中西部	11/07	1	开阳	14.23—15.11	13	1
25	2017 年 3 月 17 日	05—09	早晨	中西部	12/05,08	5	万山	17.03—18.03	25	
26	2017 年 3 月 19 日	01—10	夜间—早晨	中西部	18/08	10	万山	18.13—20.09	45	2
27	2017 年 3 月 21 日	21 日 21—23, 22 日 02—08	夜间—早晨	中西部	13/03	7	万山	21.10—22.11	26	
28	2017 年 6 月 4 日	07	早晨	东北部/中部	10/07	1	息烽	04.00—10	11	
29	2017 年 11 月 29 日	07—08	早晨	中部	11/08	2	大方	28.20—29.18	23	
30	2017 年 12 月 3 日	04—05/07—08	夜间—早晨	中西部	13/07	2	贞丰	02.02—03.15	38	1
31	2017 年 12 月 7 日	03—04	夜间	中西部	10/03—04	2	普安	06.19—07.12	18	

4 气象要素演变特征

4.1 总体特征

大雾的形成、维持及消散过程与环境气象要素场的变化密切相关,空气湿度、气温、风速等气象要素是大雾生消的重要影响因子。针对每一次大雾个

例,分析大雾范围最广时段对应观测站点的风、温、湿等气象要素特征。

风速的大小对大雾的形成和持续具有重要影响,风速过大不利于大雾形成和持续,统计大雾对应时段各站点的逐小时风速资料,可以看出,不论是锋面大雾还是辐射大雾,10 min 平均风速一般在 0~3 m·s⁻¹,少数情况为 4~5 m·s⁻¹。

充沛的水汽是大雾形成的必要条件,当空气中

表 2 辐射大雾个例及主要特点

Table 2 Different cases and main characteristics of radiation fog

序号	日期	大范围大雾时段及主要区域			最大面积 站数	出现时 间/BT	持续时 长/h	单站情况		
		时段/BT	描述	主要区域				持续最 长站点	持续时段 /日.时	时长/h
1	2016年2月27日	05/08—09	早晨	中东部	15	08	1/2	平塘	27.03—10	8
2	2016年3月31日	04—06	夜间	中东部	15	05	3	德江	31.02—08	7
3	2016年11月11日	03—09	夜间—早晨	全省大面积	20	07	7	德江	11.03—11	9
4	2016年11月27日	04—09	后半夜到早晨	中东部/北部	16	07—08	6	三穗	27.00—10	11
5	2016年12月1日	02—06	夜间	中东部/北部	12	04/06	5	三穗	01.00—08	9
6	2016年12月4日	04/06—09	后半夜到早晨	东部/北部	16	08	1/4	德江	04.02—11	10
7	2016年12月5日	03—10	后半夜到早晨	全省大面积	31	08	8	德江	05.00—11	12
8	2016年12月8日	05—10	后半夜到早晨	全省大面积	26	08	6	修文	08.03—11	9
9	2016年12月9日	03—10	后半夜到早晨	全省大面积	35	08	8	正安	08.23—09.09	11
10	2016年12月10日	05	夜间	东南部	10	05	1	从江	10.02—09	8
11	2017年2月5日	04—10	后半夜到早晨	全省大面积	39	08	7	平塘	04.23—05.10	12
12	2017年2月26日	07—08	早晨	东北部	11	07,08	2	正安	26.04—09	6
13	2017年6月4日	07	早晨	中部/东北部	10	07	1	息烽	04.00—10	11
14	2017年7月1日	07	早晨	中北部西南部	13	07	1	正安	01.01—08	8
15	2017年7月2日	06—07	早晨	中东部	13	07	2	安龙	02.01—08	8
16	2017年10月31日	08	早晨	北部/南部	11	08	1	平塘	31.04—10	7
17	2017年11月8日	06—08	早晨	北部/南部	12	07—08	3	正安	08.03—11	9

的水汽达到饱和时,就会有水汽凝结悬浮于空中形成雾。黄治勇等(2012)指出地面水平能见度与相对湿度呈显著的反相关关系,雾含水量越大能见度越低。相对湿度是空气中的实际水汽压与饱和水汽压的比值,反映了空气距离饱和的程度。温度露点差是温度与露点的差值,也是一个表示空气干湿程度的物理量。分析锋面大雾和辐射大雾对应站点的相对湿度和温度露点差逐小时资料,结果发现,大雾发生期间空气中的相对湿度一般为97%~100%,极少数为94%~96%,温度露点差很小,一般为0~0.5℃,极少数为0.6~0.9℃。这一结果充分体现了大雾相比雾(能见度>500 m)来说对水汽条件的要求更高。

气温的变化状况对大雾的形成和持续具有重要影响作用。空气中水汽充沛的情况下,微弱的降温条件有利于水汽凝结聚集。统计大雾个例对应站点的逐小时变温资料发现,辐射大雾形成初期或形成前1~2 h内气温呈下降状态;大雾过程中气温变幅很小,处于弱降温或弱升温状态,小时升温一般低于1℃,一旦升温超过1℃后,大雾天气将很快结束;大雾消散期升温现象较明显,这与辐射大雾的天气状况有关,多数情况,辐射大雾是在晴朗少云、水汽丰富的夜间,由于晴空辐射降温水汽凝结而形成的天气现象,当日出后气温将迅速上升,水汽蒸发湿度降低致使大雾消散。对于锋面大雾来说,大雾初期的降温 and 后期的升温现象并不十分突出,部分锋面大

雾个例初期气温是处于恒温或微弱上升状态(升温幅度<0.5℃),大雾消散期表现为弱升温甚至是弱降温现象。

分析逐小时地气温差发现,辐射大雾的地气温差变化存在一定规律,从大雾的形成到结束过程,其呈现由负值到正值或由低到高的变化趋势,反映出近地层大气由较为稳定的逆温环境向不稳定环境变化的过程;大雾消散时地气温差会出现3~10℃以上不等的跳跃性增大现象,主要表现为地温的增长幅度较大。对锋面大雾来说地气温差的这个变化特点并不明显,只有部分个例存在这种变化趋势。

4.2 典型个例分析

锋面大雾:2016年1月2日04—10时贵州中西部出现大范围锋面大雾天气。大范围大雾形成前,静止锋位于云南省中东部,随着新一股冷空气于1日08时从西北路径影响贵州,处于静止锋后贵州西部地区的威宁、普安、晴隆、贞丰、关岭等县市产生大雾,并伴有降雨。冷空气东移速度较快,1日14时静止锋东退到云南与贵州交界,导致大雾范围扩大,1日夜间由于冷空气从偏东路径回流影响贵州,再次将静止锋推到云南中部,并造成贵州中西部大范围大雾天气,于2日04—10时持续有10个以上县站产生大雾,大雾范围于2日06时达到最广(15个县站)。贞丰县大雾持续时间最长,从1日16时到2日20时共29 h,这期间,贞丰空气湿度很大,一

直维持 99%，温度露点差维持 0.1℃；风速较小，10 min 平均风速在 0.2~2.8 m·s⁻¹；气温变化小，大雾初期处于恒温状态，大雾消散时的气温变化也不明显，能见度迅速增大超过 1000 m 时的气温与大雾期间的气温几乎一致；地气温差一直处于正变化状态，且大雾初期和后期的变幅较大(图 5)。

辐射大雾:2016 年 11 月 11 日夜间到早晨贵州出现大面积辐射大雾天气。10 日受冷高压控制，贵州大部地区天气由阴雨转为晴天，11 日 03 时在辐射降温的作用下大范围大雾迅速产生，有 15 个县站出现大雾，07 时大雾范围达到最广为 20 个县站，10—11 时由于气温的迅速上升，大雾很快消散。大范围大雾天气持续了 7 h，德江县大雾持续时间最长为 9 h(03—11 时)，这期间，德江空气湿度很大，持续为 99%~100%，温度露点差为 0~0.1℃；风速较小，10 min 平均风速在 0.4~1.6 m·s⁻¹；大雾初期气温呈下降状态，大雾消散时气温迅速上升；地气温差呈现由负到正的变化趋势，大雾消散时地气温差增幅较大(图 6)，反映了近地层大气由稳定到不

稳定的变化过程。

5 结 论

(1) 贵州全年各月均可能出现大雾天气，但以秋末到初春为频发时期，1 月是大雾最多的月份，7—9 月大雾天气相对较少。一天中的任何时刻都可能产生大雾，02—09 时是大雾频发时段，07 时达到峰值，16 时是大雾天气低谷点。各大雾中心点都表现出夜间大雾多于白天、峰值基本都出现在 07 时或 08 时的特点，但是，各中心点大雾低谷时间不尽相同，出现在 12—17 时不等；万山各时刻大雾均远多于其他中心点。

(2) 贵州大雾自西向东可以划分为 4 个多雾区：一是以普安、贞丰为中心的西南部区域；二是以息烽和开阳为中心，大方为次中心，都匀和平塘为第三中心的中部区域；三是以万山为中心的东部边缘区域；四是以德江、务川为中心的北部局部区域。

(3) 大范围锋面大雾主要出现在贵州中西部地区，一般持续 1~3 h，最长可持续 10~13 h；单站锋面大雾一般可持续 1~10 h 不等，最长可持续 60 h 以上；锋面大雾范围最广时可达 20 个县站左右。大范围辐射大雾以贵州中东部地区出现较多，持续时间相比锋面大雾较短，一般可持续 1~3 h，最长可持续 7~8 h；单站辐射大雾最长可持续 10~12 h；辐射大雾范围最广时可接近 40 个县站，远比最广的锋面大雾范围大。

(4) 锋面大雾和辐射大雾发生期间，空气湿度和风速特征基本一致，而气温和地气温差的演变过程不太相同。通常情况下，10 min 平均风速为 0~3 m·s⁻¹，相对湿度为 97%~100%，温度露点差为 0~0.5℃。辐射大雾初期或形成前气温呈下降状态，大雾中期处于弱降温或弱升温状态，大雾消散期升温现象较明显；锋面大雾初期的降温和后期的升温现象并不十分突出，部分个例初期气温是处于恒温或微弱上升状态(升温幅度<0.5℃)，大雾消散期表现为弱升温甚至是弱降温现象。辐射大雾的地气温差呈现由负值到正值或由低到高的变化趋势，反映出近地层大气由较为稳定的逆温环境向不稳定环境变化的过程，大雾消散时地气温差会出现 3~10℃以上不等的跳跃性增大现象；锋面大雾的地气温差没有特定的变化规律，仅有部分个例与锋面大雾情况一致。

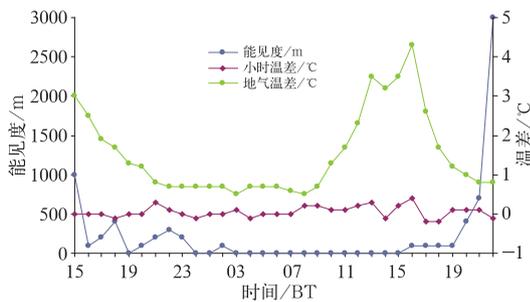


图 5 2016 年 1 月 1 日 15 时至 2 日 22 时贞丰能见度、小时变温及地气温差

Fig. 5 Evolution of visibility, hourly temperature and ground temperature difference in Zhenfeng from 15:00 BT 1 to 22:00 BT 2 January 2016

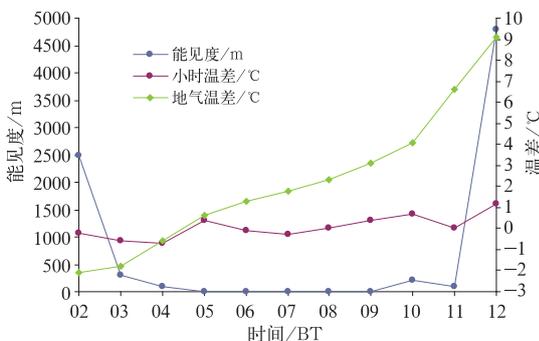


图 6 同图 5, 但为 2016 年 11 月 11 日 02—13 时德江

Fig. 6 Same as Fig. 5, but in Dejiang from 02:00 BT to 13:00 BT 11 November 2016

参考文献

- 陈娟,罗宇翔,郑小波,2013.近50年贵州雾的时空分布及变化[J].高原山地气象研究,33(2):46-50. Chen J, Luo Y X, Zheng X B, 2013. Spatial and temporal distribution and variation of fog in Guizhou Province in recent 50 years[J]. Plateau Mountain Meteor Res, 33(2):46-50(in Chinese).
- 崔驰潇,包云轩,袁成松,等,2015.江苏省沿海高速公路雾的时空变化特征研究[J].科学技术与工程,15(12):6-20. Cui C X, Bao Y X, Yuan C S, et al, 2015. Study on temporal and spatial occurrence pattern of fog on the coastal expressway of Jiangsu Province[J]. Sci Technol Engin, 15(12):6-20(in Chinese).
- 崔庭,吴古会,赵玉金,等,2012.滇黔准静止锋锋面雾的结构及成因分析[J].干旱气象,30(1):114-118. Cui T, Wu G H, Zhao Y J, et al, 2012. Analysis on structure and formation reason of frontal fogs occurred in Yunnan and Guizhou[J]. J Arid Meteor, 30(1):114-118(in Chinese).
- 黄治勇,牛奔,杨军,等,2012.湖北西南山地一次辐射雾和雨雾气象要素特征的对比分析[J].气候与环境研究,17(5):532-540. Huang Z Y, Niu B, Yang J, et al, 2012. Analysis of characteristics of meteorological elements of radiation fog and rain fog in southwestern Hubei[J]. Climatic Environ Res, 17(5):532-540(in Chinese).
- 景学义,张雪梅,兰博文,2005.哈尔滨市雾的特征分析及预报指标研究[J].自然灾害学报,14(2):47-49. Jing X Y, Zhang X M, Lan B W, 2005. Characteristic analysis and prediction index study of fog in urban area of Harbin City[J]. J Nat Dis, 14(2):47-49(in Chinese).
- 林建,杨贵名,毛冬艳,2008.我国大雾的时空分布特征及其发生的环流形势[J].气候与环境研究,13(2):171-181. Lin J, Yang G M, Mao D Y, 2008. Spatial and temporal characteristics of fog in China and associated circulation patterns[J]. Climatic Environ Res, 13(2):171-181(in Chinese).
- 刘小宁,张洪政,李庆祥,等,2005.我国大雾的气候特征及变化初步解释[J].应用气象学报,16(2):220-230. Liu X N, Zhang H Z, Li Q X, et al, 2005. Preliminary research on climatic characteristics and change of fog in China[J]. J Appl Meteor Sci, 16(2):220-230(in Chinese).
- 罗喜平,杨静,周成霞,2008.贵州省雾的气候特征研究[J].北京大学学报(自然科学版),44(5):765-772. Luo X P, Yang J, Zhou C X, 2008. Climatology of fog in Guizhou Province[J]. Acta Scientiarum Naturalium Universitatis Pekinensis, 44(5):765-772(in Chinese).
- 罗喜平,周明飞,汪超,等,2012.贵州区域性辐射大雾特征与形成条件[J].气象科技,40(5):799-806. Luo X P, Zhou M F, Wang C, et al, 2012. Characteristics and formation conditions of regional radiation fogs in Guizhou[J]. Meteor Sci Technol, 40(5):799-806(in Chinese).
- 田华,王亚伟,2008.京津塘高速公路雾气候特征与气象条件分析[J].气象,34(1):66-71. Tian H, Wang Y W, 2008. Analysis of climatic characteristics and weather conditions for fog over the Jing-Jin-Tang Expressway[J]. 34(1):66-71(in Chinese).
- 田小毅,朱承瑛,张振东,等,2018.长江江苏段江面雾的特征和预报着眼点[J].气象,44(3):408-415. Tian X Y, Zhu C Y, Zhang Z D, et al, 2018. Characteristics and forecasting focus for river fog in Jiangsu section of Yangtze River[J]. Meteor Mon, 44(3):408-415(in Chinese).
- 王博妮,濮梅娟,田力,等,2016.江苏沿海高速公路低能见度浓雾的气候特征和影响因子研究[J].气象,42(2):192-202. Wang B N, Pu M J, Tian L, et al, 2016. Climate characteristics and impact factors of low-visibility heavy fog on Jiangsu Coast Expressway[J]. Meteor Mon, 42(2):192-202(in Chinese).
- 王丽萍,陈少勇,董安祥,2006.气候变化对中国大雾的影响[J].地理学报,61(5):527-536. Wang L P, Chen S Y, Dong A X, 2006. Impact of climate warming on fog in China[J]. Acta Geograph Sin, 61(5):527-536(in Chinese).
- 王正旺,庞转棠,张磊,等,2009.长治市大雾气候特征及预报研究[J].自然灾害学报,18(3):79-86. Wang Z W, Pang Z T, Zhang L, et al, 2009. Characteristics and prediction of heavy fog weather in Changzhi City[J]. J Nat Dis, 18(3):79-86(in Chinese).
- 魏建苏,朱伟军,严文莲,等,2010.江苏沿海地区雾的气候特征及相关影响因子[J].大气科学学报,33(6):680-687. Wei J S, Zhu W J, Yan W L, et al, 2010. Climatic characteristics of fog and its relevant influencing factors over the coastal areas of Jiangsu[J]. Trans Atmos Sci, 33(6):680-687(in Chinese).
- 夏晓玲,唐延娟,2015.贵州山区地形雾5a气象要素特征分析[J].贵州气象,39(1):50-54. Xia X L, Tang Y J, 2015. Analysis on the characteristics of meteorological factors for terrain fog 5a in Guizhou[J]. J Guizhou Meteor, 39(1):50-54(in Chinese).
- 谢清霞,唐延娟,庞庆兵,等,2016.贵州辐射雾的时空变化特征及其气象要素分析[J].气象与环境科学,39(2):119-125. Xie Q X, Tang Y J, Pang Q B, et al, 2016. Analysis of temporal and spatial variation and meteorological elements of Guizhou radiation fog[J]. Meteor Environ Sci, 39(2):119-125(in Chinese).
- 许爱华,陈翔翔,肖安,等,2016.江西省区域性平流雾气象要素特征分析及预报思路[J].气象,42(3):372-381. Xu A H, Chen X X, Xiao A, et al, 2016. Analysis on the characteristics of meteorological factors and forecast ideas for regional advection fog in Jiangxi[J]. Meteor Mon, 42(3):372-381(in Chinese).
- 中国气象局,2007. QX/T 76-2007 高速公路能见度监测及浓雾的预警预报[S].北京:中国标准出版社. China Meteorological Administration, 2007. QX/T 76-2007 Highway Visibility Monitoring and Fog Forecasting[S]. Beijing: Standards Press of China(in Chinese).
- 周福,钱燕珍,金靛,等,2015.宁波海雾特征和预报着眼点[J].气象,41(4):438-446. Zhou F, Qian Y Z, Jin L, et al, 2015. Characteristics and forecasting focus of sea fog in Ningbo[J]. Meteor Mon, 41(4):438-446(in Chinese).