

朱承瑛,朱毓颖,祖繁,等,2018.江苏省秋冬季强浓雾发展的一些特征[J].气象,44(9):1208-1219.

江苏省秋冬季强浓雾发展的一些特征^{*}

朱承瑛^{1,2} 朱毓颖^{1,2} 祖繁^{1,2} 严文莲^{1,3} 王宏斌^{1,2}

1 中国气象局交通气象重点开放实验室,南京 210009

2 江苏省气象科学研究所,南京 210009

3 江苏省气象台,南京 210009

提 要: 运用江苏省 72 个国家基本气象观测站和 339 个交通气象观测站资料,对 2013 年 12 月 1—9 日、2015 年 10 月 23 日、12 月 22 日及 2016 年 2 月 12 日出现的四次全省性的以辐射降温为主的强浓雾和特强浓雾过程进行分析,筛选出 194 个站例,对江苏省秋、冬季强浓雾生消的气候特征、雾爆发增强的微物理特征及雾爆发性增长的触发因子进行分析。结果表明:(1)雾爆发性增强的本质是雾在很短时间内雾滴增多增大,雾含水量呈几个数量级的增加,从而导致雾区能见度快速下降。(2)夜间辐射降温突然增强、底层弱冷空气入侵、日出后蒸发量加大及湖陆风效应是雾爆发性增长的触发因子。

关键词: 强浓雾,特征,爆发性,成因

中图分类号: X16

文献标志码: A

DOI: 10.7519/j.issn.1000-0526.2018.09.009

Some Characteristics of the Development of Heavy Fog in Autumn and Winter in Jiangsu Province

ZHU Chengying^{1,2} ZHU Yuying^{1,2} ZU Fan^{1,2} YAN Wenlian^{1,3} WANG Hongbin^{1,2}

1 Key Laboratory of Transportation Meteorology, CMA, Nanjing 210009

2 Jiangsu Institute of Meteorological Sciences, Nanjing 210009

3 Jiangsu Meteorological Observatory, Nanjing 210009

Abstract: Using the high spatio-temporal meteorological observation data from 339 traffic weather stations along highway, and 72 conventional observation stations, four heavy fog events during 1—9 December 2013, on 23 October 2015, 22 December 2015 and 12 February 2016 are analyzed. Based on 194 cases, climatic characteristics of extremely heavy fog in initiation and disappearance, microphysical characteristics of explosive enhancement and the triggering factors of heavy fogs are analyzed. The results show that visibility dropped sharply within very short time (in 30 min) because fog droplet number concentration, water content and droplet size increased remarkably, and fog droplet spectrum became broader. In addition, the sharp drop of temperature resulted from radiation reinforcement at night, the weak cold advection of underlying layer, the increase of evaporation after sunrise, and the lake-land wind effect made fog reinforce eruptively.

Key words: heavy fog, characteristics, outbreak, factor

^{*} 公益性行业(气象)科研专项(GYHY201406029)、国家科技支撑计划(2014BAG01B01)、国家自然科学基金项目(41575135)、江苏省自然科学基金(BK20161073)和江苏省气象局“北极阁”开放研究基金(BJG201503、BJG201701)共同资助

2017 年 6 月 19 日收稿; 2018 年 7 月 27 日收修定稿

第一作者:朱承瑛,主要从事交通气象预警预报方法研究. Email:cathyzyhu6@qq.com

引言

雾是悬浮于近地层大气中的大量微细乳白色水滴或冰晶的可见集合体。能见度在 50~200 m 时为强浓雾,当能见度 < 50 m 时被称为特强浓雾。由于能见度低,雾天对交通运输安全带来很大威胁,尤其是雾爆发性发展和增强,造成能见度在短时间内突降至 100 m 甚至 50 m 以下时,更易引发交通事故。据报道,2009 年 12 月 2 日宁连公路六合段因强浓雾造成 15 车连撞并致 3 死 26 伤。2012 年 11 月 17 日早上青新高速能见度陡降至不足 20 m,造成多车连环撞车事故,许多车辆严重受损且有人员受伤。因此,深入研究强浓雾的增长特征,做好强浓雾的预报,对于交通运输安全意义重大。

国内外已有大量研究揭示了雾的气候特征以及天气条件。吴洪等(2000)统计了北京市有利于辐射雾发生的气象条件。毛冬艳和杨贵名等(2006)统计了华北平原雾发生时大气低层部分气象要素的特征。王玮等(2009)对我国中部的一次大范围持续性大雾进行了诊断分析。吴彬贵等(2009)研究了一次持续性浓雾天气过程的水汽输送及逆温特征。马翠平等(2012)对冀中南连续 12 d 的大雾天气进行了动力、热力条件的分析。焦圣明等(2016)对 2013 年 11 月 30 日至 12 月 9 日江苏出现的持续 10 d 强浓雾天气的特点和形成、维持机制进行了研究。

为了进一步研究雾的物理化学特性,国内外很多学者开展雾的外场观测试验(Gultepe et al, 2006; 2009; Gultepe and Milbrandt, 2007; Haeffelin et al, 2010; 许爱华等, 2016; 严文莲等, 2018; 曾婷等, 2017)。李子华和彭中贵(1994)及李子华等(1996)对重庆、南京等城市雾的物理化学特征进行了综合观测研究。濮梅娟等(2001)等对西双版纳的雾微物理特征进行了观测分析。邓雪娇等(2002)研究了南岭山地平流雾的微物理结构及其演变特征。郭丽君和郭学良(2015)及郭丽君等(2015)对华北地区持续性大雾天气的微物理特征进行了观测分析。

近年来,随着对高速公路浓雾研究的深入,越来越多的学者发现,浓雾过程中,能见度的陡降对交通运输的威胁巨大。李子华等(1999)在沪宁高速公路观测雾时,揭示了辐射雾发展的爆发性特征。在对南京辐射雾的观测研究时进一步发现,特强浓雾爆发性发展时,会在很短的时间内(30 min 以内),雾滴数密度骤增,雾滴尺度增大,因而含水量明显增大,雾由浓雾变为特强浓雾(李子华等, 2011a)。李

子华等(2011b)还进一步研究了辐射雾雾滴谱拓宽的微物理过程和宏观条件。濮梅娟等(2008)通过对 2006 年 12 月在南京信息工程大学观测到的三次雾过程,对冬季雾爆发性增强的原因进行了总结。但这些研究均为个例分析,本研究通过对公路站网的观测,围绕强浓雾发生是否具有普遍性和形成是否存在爆发性特征开展研究。

2013 年 12 月 1—9 日、2015 年 10 月 23 日和 12 月 22 日及 2016 年 2 月 12 日江苏省出现四次全省性的以辐射降温为主的强浓雾和特强浓雾过程。本文对这些过程中的每个强浓雾个例进行分析,研究了爆发增强的各种时间特征及微物理特征,给出了爆发增强的本质及爆发增强的触发因子。

1 观测网

雾的观测网由分布江苏全省各县的 72 个国家基本气象观测站、分布于江苏 20 余条高速公路及长江江苏段沿线平均间隔 10 km 的 362 个自动气象观测站组成。在苏北东台站还设有雾滴谱观测。为保证观测资料的可靠性,江苏省气象科学研究所(中国气象局交通气象重点开放实验室)采取了严格的质量控制措施。本文对交通站和国家基本站资料做过对比分析。图 1 给出了吕泗站(国家基本气象观

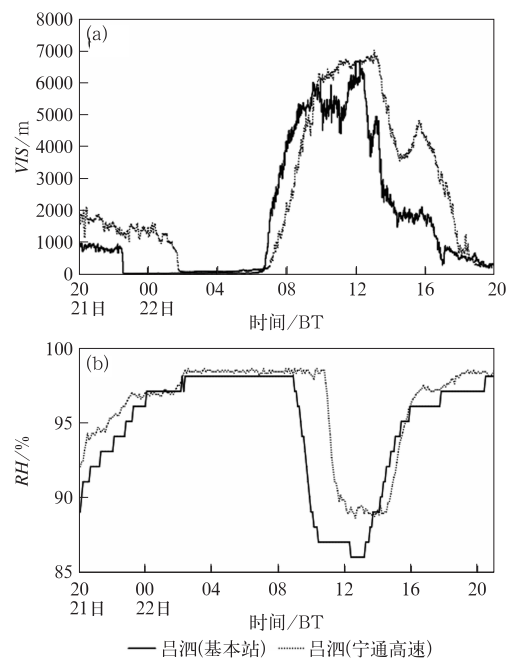


图 1 2015 年 12 月 21 日 20 时至 22 日 20 时交通气象观测站与基本气象观测站能见度(VIS, a)和相对湿度(RH, b)随时间的变化
Fig. 1 Visibility (VIS, a) and relative humidity (RH, b) curves of monitoring stations along the highway and basic weather stations from 20:00 BT 21 to 20:00 BT 22 December 2015

测站, 32.068°N 、 121.599°E)和吕泗站(宁通高速公路沿线交通气象观测站, 31.898°N 、 121.551°E) 2015年12月21日20时(北京时,下同)至22日20时的能见度和相对湿度随时间的变化。由图可见,两站的能见度和相对湿度的变化趋势基本一致,且能见度的低值和湿度高值均在同一范围内。但由于两站所处地点相差约20 km,且周边环境不尽相同,因此在具体数值上有所差异,也属正常。江苏省交通气象观测站自建站已有十余年,其数据也已经过多重数据质量控制,由此可见,本文所用交通气象观测站数据是可信的。

2 四次雾过程概况

在这四次过程中,共发生雾日13个。分布全省

的国家基本气象观测站和交通气象观测站对这几次过程进行了各气象要素的连续观测(每分钟一次),共获得194个强浓雾的站例。本文研究了每例雾过程特征并进行了统计分析,得到强浓雾生消的一些气候特征。

图2给出了这四次过程能见度最低时刻的全省分布图。2016年2月11日夜间至12日早晨(图2a),江苏出现一次大范围的强浓雾天气过程。10日至11日上午为全省性小雨天气,11日20时,江苏处于低压槽前均压场中,雾是在天空云消散后辐射降温增强时产生的。

2013年11月30日至12月9日,江苏出现了一次罕见的持续10 d的雾过程,其中有9 d出现了大范围的强浓雾,有7 d为特强浓雾。图2b为7日06时的能见度分布图。这次过程也出现在高压

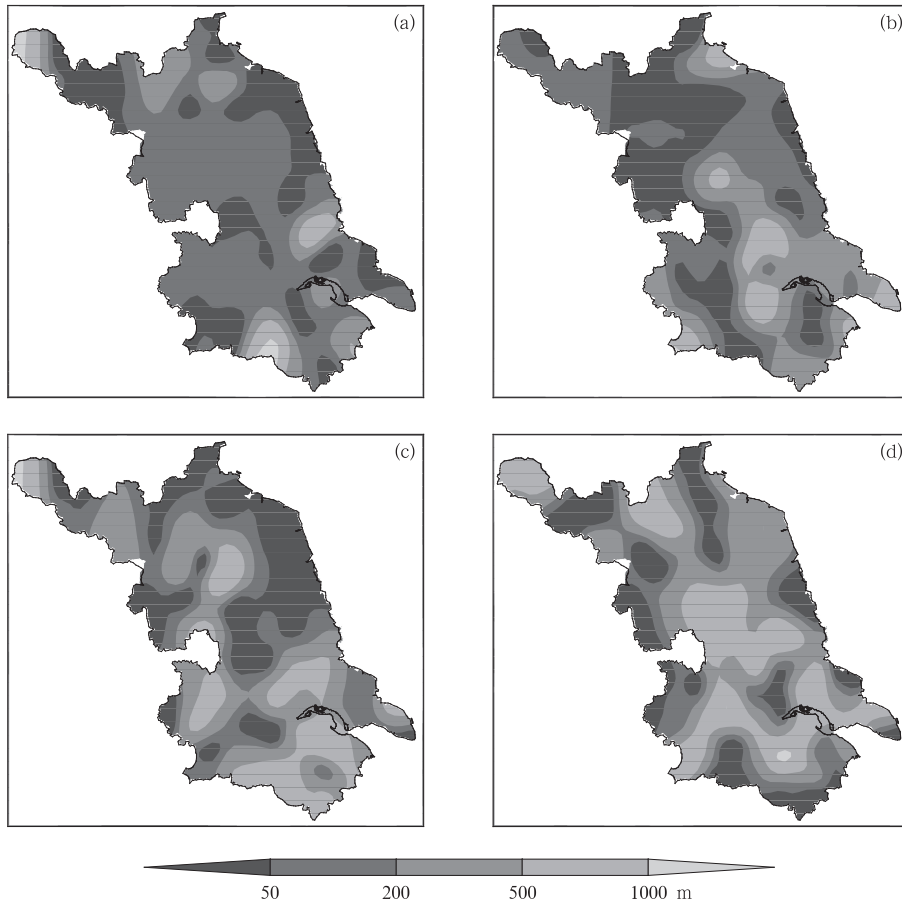


图2 四次过程浓雾最强时刻能见度分布

(a)2016年2月12日05时, (b)2013年12月7日06时,
(c)2015年10月23日06时, (d)2015年12月21日08时

Fig. 2 Spatial distribution of visibility at heaviest fog times during four fog processes in Jiangsu

(a) 05:00 BT 12 February 2016, (b) 06:00 BT 7 December 2013,
(c) 06:00 BT 23 October 2015, (d) 08:00 BT 21 December 2015

带的均压场中,而且这种天气形势一直维持至 9 日强冷空气过境。这次雾过程先是由辐射冷却形成的,然后在东南暖湿气流作用下加强为平流辐射雾过程。

2015 年 10 月 23 日凌晨(图 2c),苏北地区出现了大范围强浓雾过程。此次过程高空气流平直,低层 850 hPa 有偏南暖湿气流,地面处于入海高压后部的均压场中,天空晴朗无云,有利于夜间地面长波辐射。这次过程是在低层暖湿气流和地面辐射冷却的共同作用下形成的。

2015 年 12 月 21 日江苏出现了一次全省性浓雾过程(图 2d)。除江苏中部、东南角,其他大部分地区

均出现能见度 < 1000 m 的雾,很多站出现能见度 < 200 m 的强浓雾。这次过程前期全省大部分地区有弱降水,强浓雾是在夜间雨止天空放晴后而出现的。

3 爆发性增强特征

所谓爆发性增强,是指在很短时间内(一般 < 30 min)雾突变为强浓雾(能见度 < 200 m),或跃增为特强浓雾(能见度 < 50 m)。在江苏省秋、冬季雾中,有很多个例出现了爆发性增强特征,上述四次雾过程中至少有 194 个站例发生了强浓雾。

图 3 给出 9 个站的能见度变化曲线,它们的共

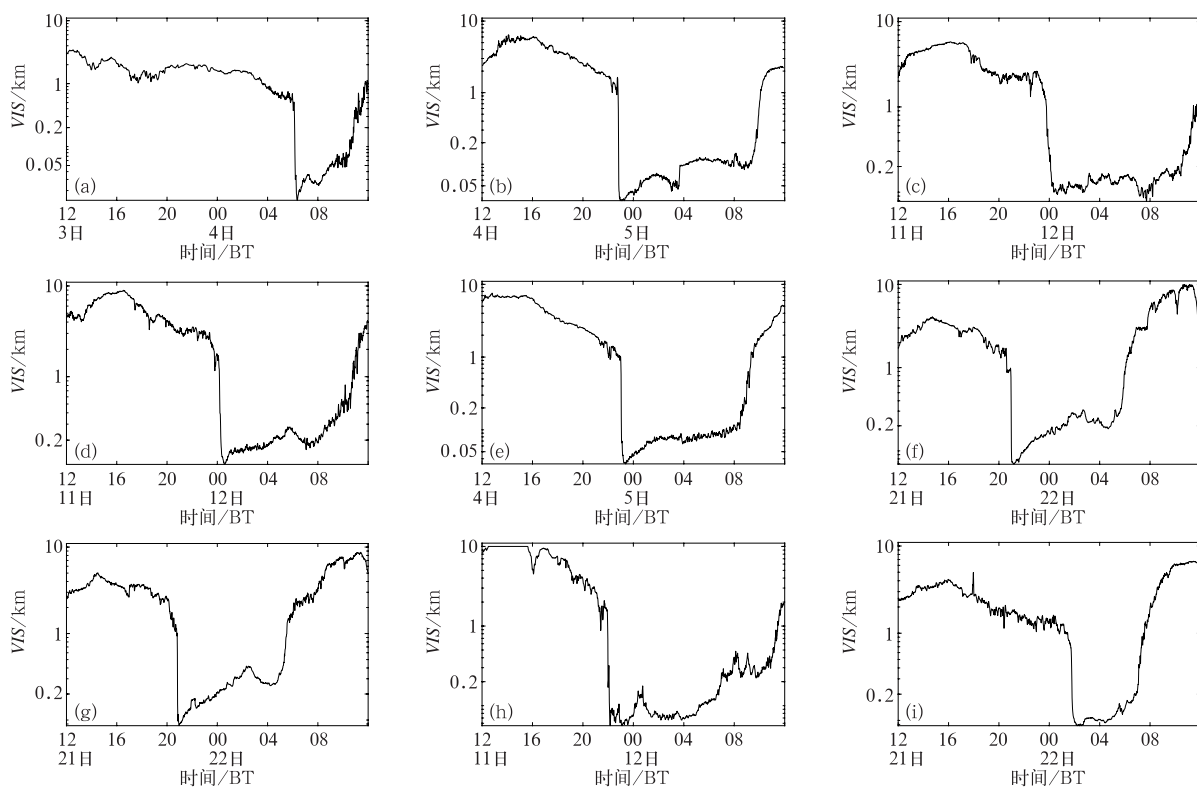


图 3 雾发展过程中高速公路沿线交通站能见度变化曲线

- (a) 2013 年 12 月 3—4 日洪泽湖站(宁连高速), (b) 2013 年 12 月 4—5 日射阳站(沿海高速),
- (c) 2016 年 2 月 11—12 日盐城东站(沿海高速), (d) 2016 年 2 月 11—12 日东台服务区站(沿海高速),
- (e) 2013 年 12 月 4—5 日刘桥互通站(沿海高速), (f) 2015 年 12 月 21—22 日射阳互通站(沿海高速),
- (g) 2015 年 12 月 21—22 日阜余站(沿海高速), (h) 2016 年 2 月 11—12 日和平站(宁连高速),
- (i) 2015 年 12 月 21—22 日吕泗站(宁通高速)

Fig. 3 Visibility curves of monitoring stations along the highway during the developing processes of fog
 (a) Hongzhu (Nanjing-Lianyungang Expressway, 3—4 December 2013), (b) Sheyang (Coastal Expressway, 4—5 December 2013), (c) Yancheng East (Coastal Expressway, 11—12 February 2016), (d) Dongtai (Coastal Expressway, 11—12 February 2016), (e) Liuqiao Hutong (Coastal Expressway, 4—5 December 2013), (f) Sheyang Hutong (Coastal Expressway, 21—22 December 2015), (g) Fuyu (Coastal Expressway, 21—22 December 2015), (h) Heping (Nanjing-Lianyungang Expressway, 11—12 February 2016), (i) Lüsi (Nanjing-Nantong Expressway, 21—22 December 2015)

同特征是,雾向强浓雾(或特强浓雾)发展时,能见度急剧下降。例如 2013 年 12 月 4—5 日射阳站(图 3b),能见度在 4 日 22 时之前均保持在 1000 m 以上,22:48 能见度为 1199 m,之后能见度陡降,22:52 降至 52 m,在短短 4 min 内,能见度下降了 1000 m,之后一直维持在 200 m 以内至 5 日 10 时,之后才逐渐消散。需要指出的是,图 3 仅是几个例子,实际上,全省许多站点(194 例)强浓雾的发展都有类似特征。

4 强浓雾特征时间的统计特征

为了了解爆发性增强的强浓雾的各种特征,本文对这类雾全过程的几个关键时间点给出定义(图 4)。爆发增强起始时间:能见度开始陡降的时间,爆发增强结束时间:能见度陡降成强浓雾的时间,爆发增强作用时间:上述两个时间点之间的间隔,强浓雾(特强浓雾)持续时间:能见度连续低于 200 m (50 m)的时间,雾消时间:能见度回升至 1000 m,并稳定于 1000 m 以上的时间,而开始回升的时间被称为雾消开始时间,这两者之间的时间间隔称为雾消作用时间。

运用江苏省气象观测网站分钟观测数据,对上述四次全省性强浓雾过程的资料进行分析总结,筛选出具有爆发性增长特性的站例 194 例,逐个分析了每个站例生消过程中的一些时间特征(统计时间

01 时为 00—01 时发生的个例,以此类推)。

大部分强浓雾的起雾时间集中在 18 时至次日 05 时,22—24 时为最多,共发生了 53 次,占总个例的 27.7%,08—14 时从未发生(图略)。

强浓雾爆发开始时间与起雾时间类似,集中在 20 时至次日 06 时,其中 22—24 时发生几率最大,占 24.7%,08—15 时发生的几率很低,一共只发生了 2 次,仅占 8.2%(如图 5a)。

形成特强浓雾最多的时间集中在 20 时至次日 07 时,占 84.2%,其中 20—21 时以及 06—07 时发生的次数最多,分别占总数的 11.3%和 12.0%。10—15 时无特强浓雾形成,其他时次均出现过特强浓雾(图 5b)。

特强浓雾的持续时间(图 5c)大多数在 3 h 以内,占总数的 67.2%,其中 1 h 以内的最多,占 27.6%,最长持续时间达 17 h 之久。

同时,我们也对强浓雾持续的时间进行了分析(图 5d),其规律和特强浓雾完全不同。强浓雾的持续时间多在 2~13 h,占总数的 88.3%,其中持续时间在 5~9 h 的个例最多,占 46.8%,最长持续时间可达 17 h 以上。

对这些强浓雾个例的消散开始(图 5e)和消亡时间(图略),也做了详细的分析,由图可见,雾消开始的时间大多集中在 05—12 时,占总个例的 90.7%,其中 08—11 时为出现频率最高的时段,每小时出现的频率均达到 20%左右,雾消开始的最

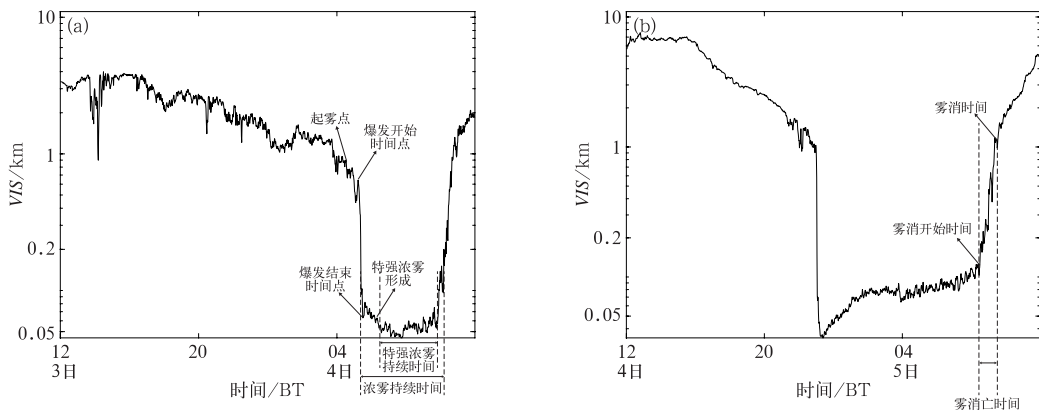


图 4 高速公路沿线交通站能见度变化曲线时间节点示意图:

以 2013 年 12 月 1—9 日持续性强浓雾过程为例

(a) 桥头(宁靖盐), (b) 刘桥互通(沿海)

Fig. 4 Time node definition diagram of visibility curves of monitoring stations along the highway:

take the continuous heavy fog from 1—9 December 2013 as an example

(a) Qiaotou Station (Nanjing-Yancheng Expressway),

(b) Liuqiao Hutong Station (Coastal Expressway)

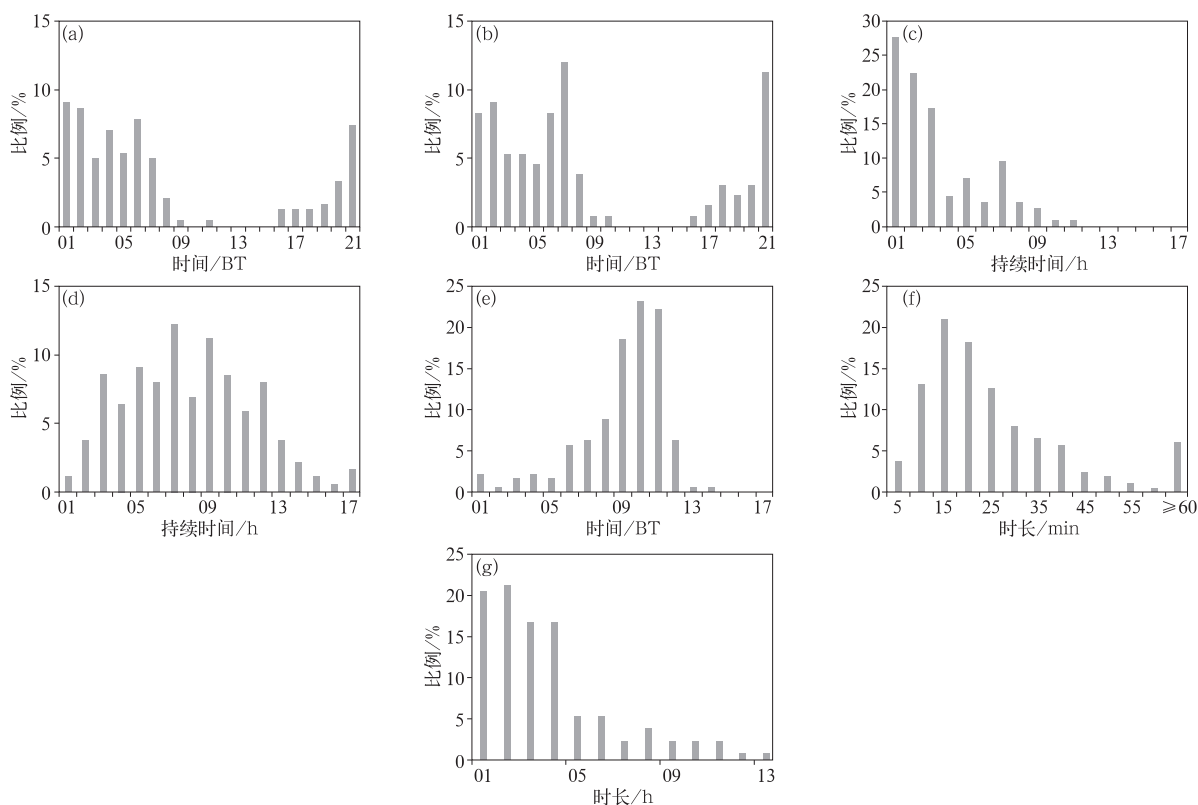


图 5 强浓雾特征时间统计图
 (a)爆发开始时间,(b)特强浓雾形成时间,(c)特强浓雾持续时间,
 (d)强浓雾持续时间,(e)雾消开始时间,(f)爆发增强作用时间,
 (g)起雾至特强浓雾时间

Fig. 5 Characteristic time statistics of heavy fog
 (a) time distribution of fog initiation, (b) time distribution of extremely dense fog formation,
 (c) duration distribution of extremely dense fog, (d) duration distribution of heavy fog,
 (e) beginning time distribution of fog elimination, (f) time distribution of heavy fog enhancement,
 (g) time distribution of fog-rising to extremely dense fog

早时间出现在 00—01 时,最晚时间出现在 18 时以后。雾消亡(能见度升至 1000 m 以上)的时间和雾消开始的时间分布趋势类似,分布区间向后推了 1 h,雾消亡的时间大多集中在 06—13 时,占总数的 88.5%,其中 09—12 时雾消亡的个例最多,雾消亡开始的最早时间出现在 00—01 时,最晚时间出现在 19 时以后。

雾消的平均作用时间为 1 h 17 min,雾消最短作用时间只有 12 min,例如 2016 年 2 月 12 日宁连高速公路丁集西站,12 日 09:59 能见度为 426 m,10:11 能见度就回升至 1100 m 左右;而雾消最长时间为 5 h 13 min。

强浓雾爆发的作用时间(图 5f)大部分在 30 min 以内,占总个例的 76.3%,其中 5~20 min

的个例最多,平均爆发时间为 26 min,最短仅 1 min,最长超过 1 h,但个例较少。

同时,也对起雾至特强浓雾所需时间进行了分析(图 5g),大部分个例从起雾到形成特强浓雾,在 4 h 以内,占总数的 75%,其中 2 h 以内占 41.7%,最长时间达 12 h 以上,但比较少见,只有一个个例。

5 雾爆发增强的微物理特征

江苏省气象科学研究所于 2015 年 10 月 21—26 日在江苏东海交通气象试验基地观测场(34.54°N、118.71°E,海拔 32.9 m)对苏北秋季雾过程进行了连续观测。观测项目除常规气象要素和能见度外,还使用美国 DMT 公司生产的 FM-120 型雾

滴谱仪测量雾的微物理结构。观测期间,10月21—23日连续3d出现了雾过程,本文选取10月23日发生的一次雾过程,分析雾爆发增强阶段的微物理特征。

图6给出了此次雾过程中观测到的微物理参量随时间演变,结合气象要素、能见度及微物理量的变化情况,对雾爆发性增强阶段的本质进行了分析。03:31观测站点风向由西南逐步转为偏北,与此同

时,空气温度快速下降,到04:00气温从16.3℃降到13.3℃,变温速率达到了 $-1^{\circ}\text{C}\cdot(10\text{min})^{-1}$ 。气温的急剧降低导致饱和水汽压减小,大量凝结核活化形成雾滴并继续凝结增长,雾体出现爆发性增强,能见度由04:05的893m陡降到04:11的45m,浓雾在6min内爆发性发展为特强浓雾。从图7和表1可以看出,在雾爆发性发展开始前,雾滴

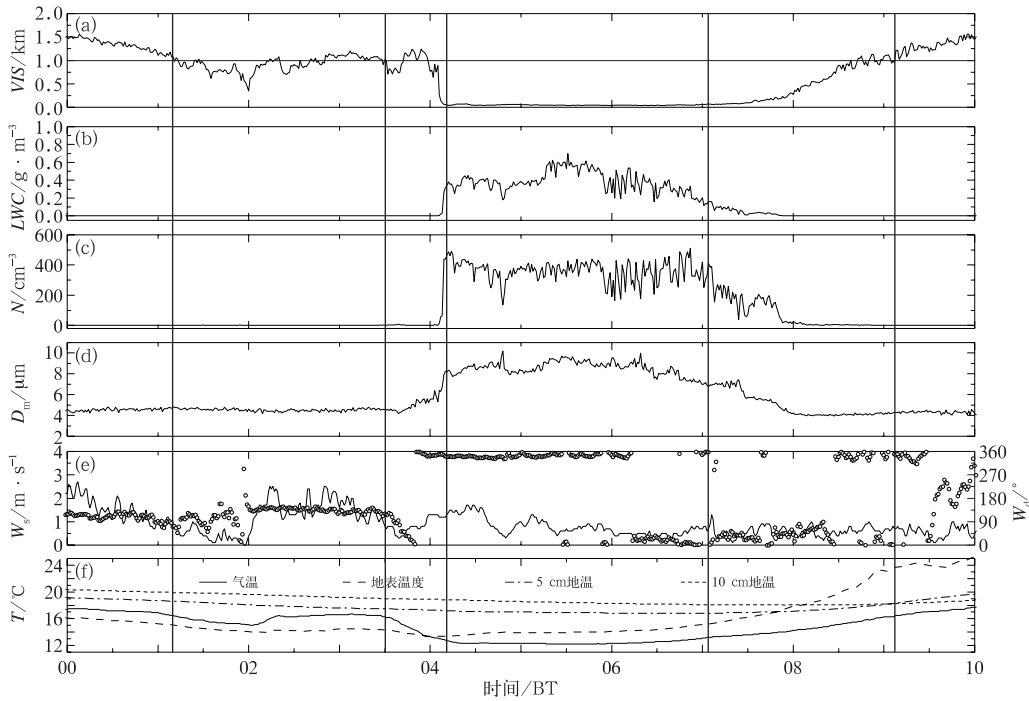


图6 2015年10月23日雾过程中能见度(VIS, a)、液态含水量(LWC, b)、雾滴数浓度(N, c)、雾滴平均直径(D_m, d)、风速(W_s)和风向(W_d, e)、温度(T, f)(气温、地表温度、5 cm地温、10 cm地温)随时间的变化

Fig. 6 Temporal variations of visibility (VIS, a), liquid water content (LWC, b), number concentration (N, c), mean diameter (D_m, d), wind speed (W_s) and wind direction (W_d, e), temperatures (T, f) of air, surface, 5 cm soil and 10 cm soil during the fog event on 23 October 2015

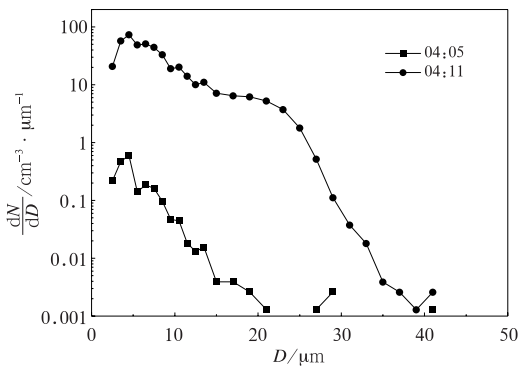


图7 爆发性发展前后的雾滴谱分布
Fig. 7 Droplet size distribution before and after the explosive development of fog

表1 2015年10月23日雾滴谱扩宽前后的能见度及微物理量变化的
Table 1 Changes in visibility and microphysical quantities before and after the widening of fog drop spectrum on 23 October 2015

爆发时间 /BT	VIS /m	N /cm ⁻³	LWC /g·m ⁻³	D _m /μm
04:05 开始	893	2.05	4.95×10 ⁻⁴	5.34
04:11 结束	45	464.12	0.34	8.19

谱为多峰型分布,谱型较狭窄但不连续,有个别大滴存在,这种个别大滴的产生,并不能用凝结增长来解释,可能是湍流碰并的结果(李子华等,2011a)。爆

发后雾滴谱明显上抬、拓宽,表明各档雾滴数猛增且尺度明显增大。谱分布曲线连续但仍呈多峰型分布,数密度增大 226 倍(图 6b 和 6c),增幅最大的是含水量(LWC),比爆发前增大了 685 倍。

可见雾爆发性增强的本质是,雾在很短时间内,雾滴谱拓宽,雾滴增多增大,雾含水量呈几个数量级的增加,从而导致雾区能见度快速下降。

6 雾爆发性增长的触发因子

是什么原因引起雾爆发性增强?这是人们最为关注的问题。为了搞清这个问题,对以上个例的温度、湿度、风向、风速等要素进行了详细的时空变化分析。总体来看,以下四种情况可导致雾爆发性增强。

6.1 夜间辐射降温突然增强

2016 年 2 月 11 日 20 时左右,江苏省中东部部分地区开始起雾,并迅速向周边蔓延,且强度加强。整个雾过程中,除了江苏西北部和西南部雾强度较

弱外,其他大部分地区都出现了强浓雾,许多地区还出现特强浓雾。

图 8 给出的是 2016 年 2 月 11 日 17 时至 12 日 13 时江海高速丁沟枢纽站(位于扬州南部)的多要素随时间变化图,从图可见,此站 22:30 的能见度为 1072 m,22:35 能见度下降至 94 m,短短 5 min 内能见度下降近 1000 m。从温度变化曲线看,22:30 之前,气温保持在 14.0~14.2℃,22:30 气温为 14.0℃,之后几分钟内气温开始明显下降,22:35 气温下降到 13.5℃,气温的快速下降,直接导致了能见度骤降。此后,对应雾体维持的时段,气温继续缓慢下降。造成气温下降的原因,主要是天空云系消散,从图 9 给出的云图时间变化可以看出,22 时前后扬州地区的云系较少,天空放晴,造成地面长波辐射增强,温度下降,使空气中原本就已接近饱和(相对湿度 95%左右)的水汽快速凝结成雾,造成能见度的陡降,雾体爆发性增强。图 10 给出的是扬州高邮站的净辐射通量随时间的变化图,也可以看出当日 21—24 时地面净辐射为负值,且 22 时最强。无疑强辐射造成了强降温,导致雾体爆发性增强。

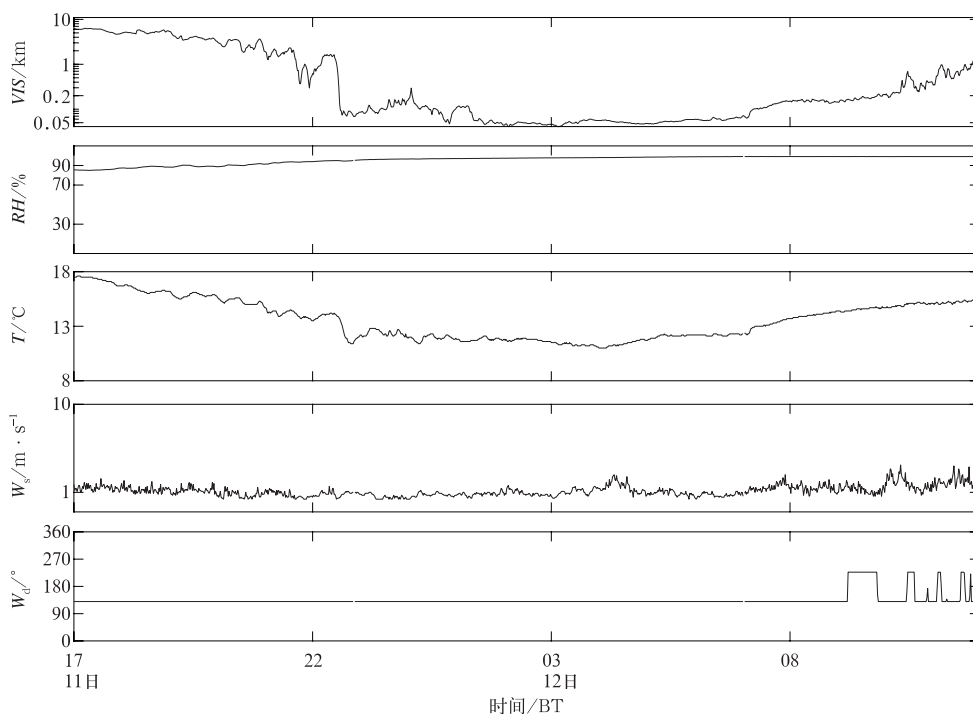


图 8 2016 年 2 月 11 日 17 时至 12 日 13 时丁沟枢纽站(江海高速)的能见度、相对湿度、温度、风速及风向随时间的变化

Fig. 8 Variations of visibility, relative humidity, temperature, wind speed and direction in Dinggou Junction Station from 17:00 BT 11 to 13:00 BT 12 February 2016

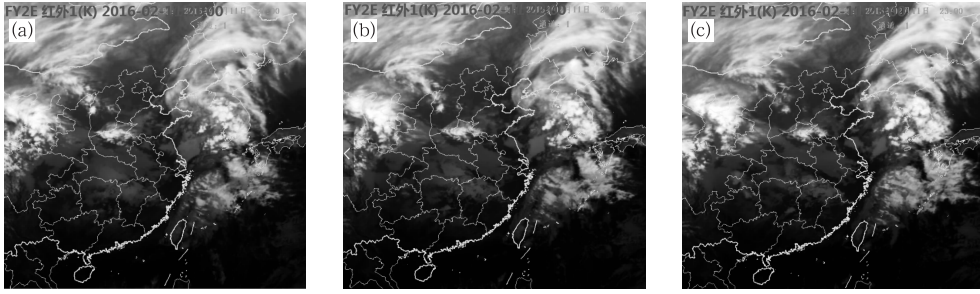


图 9 江苏省 2016 年 2 月 11 日 21 时(a)、22 时(b)和 23 时(c)的卫星云图
Fig. 9 Satellite images of Jiangsu Province at 21:00 BT (a), 22:00 BT (b),
23:00 BT (c) 11 February 2016

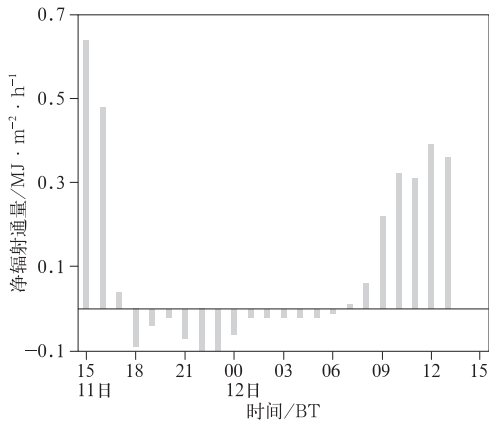


图 10 2016 年 2 月 11 日 15 时至 12 日 15 时
扬州高邮站净辐射通量
Fig. 10 Variation of net radiation flux
at Gaoyou Station from 15:00 BT 11
to 15:00 BT 12 February 2016

6.2 底层弱冷空气入侵

2013 年 11 月 30 日至 12 月 9 日,河北中南部、天津、山东南部、河南东部、江苏大部、安徽、浙江北部等地都出现了能见度不足 500 m 的浓雾,部分地区有特强浓雾。在这些区域之中,以江苏雾最为严重,不仅持续时间长、范围广,而且强度特别大。

图 11 给出了 2013 年 12 月 7 日 21 时至 8 日 16 时老山站(宁连高速)的能见度、风速及风向随时间的变化曲线,由图可见,由雾发展为强浓雾时,变化速度特别快。7 日 23:47 能见度为 972 m,至 00:01 能见度突变为 190 m。即强浓雾形成具有爆发性特征。雾爆发性增强前,地面风由西向北转变,风速 $1 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ 左右。也就是说,当浓雾区内有弱冷空气侵入后,雾体发生爆发性增强,使浓雾骤变为强浓雾。弱冷空气入侵,是雾体爆发增强的促发因子。

这与李子华等(2011b)的观测结果是一致的。弱冷空气入侵雾区后,可使雾区产生过饱和,促进凝结核化、凝结和碰并过程,从而使雾体发展增强。

6.3 日出后蒸发量加大

2015 年 12 月 20 日凌晨至 21 日 02 时江苏全省除西北角外均有不同程度的降水,均在小雨量级。长江以北地区 20 日傍晚以前降水逐渐停止,长江以南地区傍晚以后自西向东降水渐止,至 21 日 02 时降水过程结束。21 日 22 时以后,苏北地区能见度开始下降,随后西南角也陆续出现低能见度站点,并逐渐向周围扩散,至 22 日 09 时,除江苏中部和东南角,其他大部分地区均出现能见度低于 1000 m 的雾,多站出现强浓雾。

图 12 给出了 2015 年 12 月 20 日 12 时至 21 日 12 时黄栗墅站(沪宁高速南京段)的能见度、相对湿度、温度、风速、风向及蒸发量(南京站)随时间的变化曲线。由图可见,黄栗墅站的能见度在夜间一直位于 1000 m 上下波动,在 21 日 07 时之后有个能见度突变,然后出现了近 3 h 的强浓雾。具体来看,07:07 能见度为 997 m,之后能见度开始剧烈下降,07:15 降至 198 m,8 min 内能见度陡降了约 800 m,07:15—09:50 能见度维持在 200 m 以下,部分时段在 100 m 以下。从周边南京站的蒸发量资料来看,07:00 蒸发量增加 0.1 mm,同时段风向从偏南风转偏北风,有弱冷空气补充,导致当时温度明显下降,07:09—07:32 温度从 -0.4°C 降至 -0.8°C 。由此可以得知,此次雾过程的雾体在日出后爆发性增强,主要是由于日出后蒸发量加大,且近地层风向转为偏北风,有弱冷空气影响,温度降低,有利于空气中水汽过饱和,从而雾增强。09:50 之后随着太阳辐射的增强,气温升高,雾开始消散。

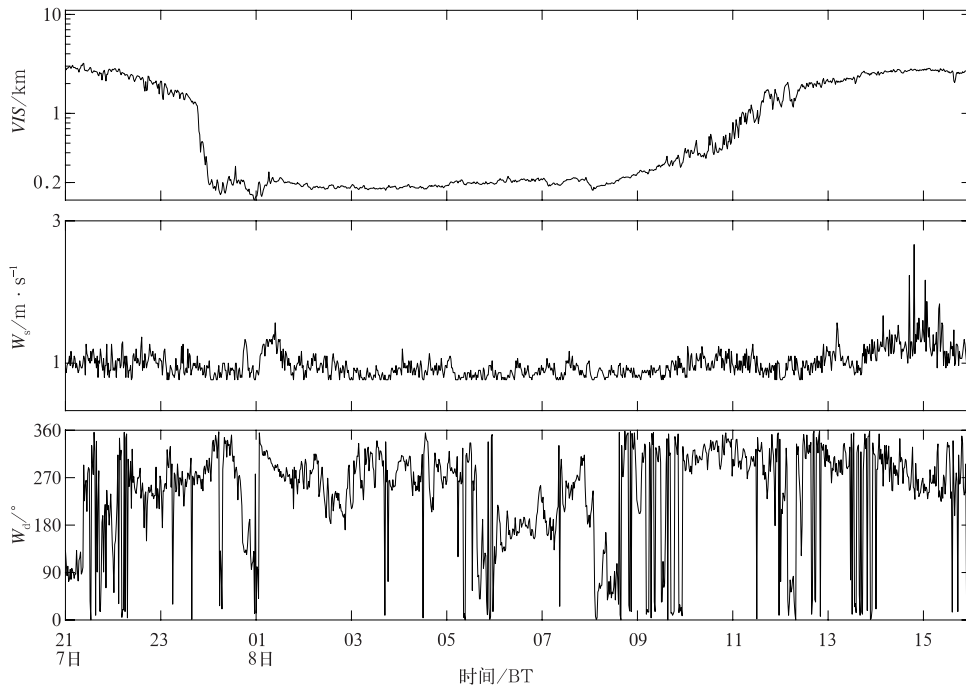


图 11 2013 年 12 月 7 日 21 时至 8 日 16 时老山站(宁连高速)的能见度、
风速及风向随时间的变化(焦圣明等,2016)

Fig. 11 Variations of visibility, wind speed and direction at Laoshan Station from
21:00 BT 7 to 16:00 BT 8 December 2013 (焦圣明等,2016)

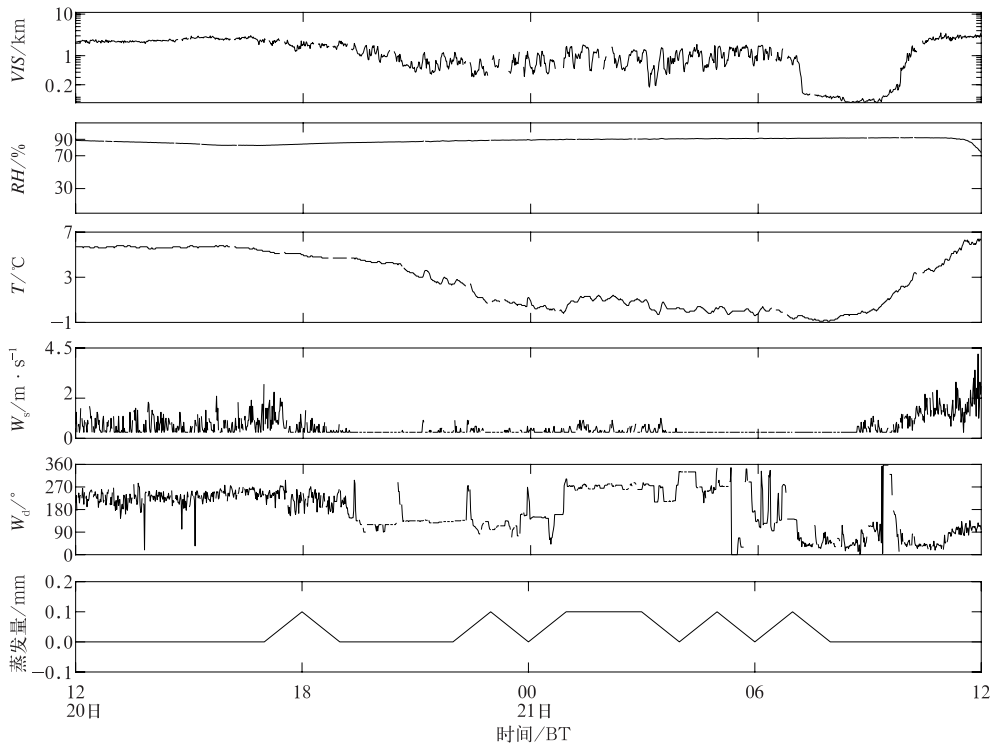


图 12 2015 年 12 月 20 日 12 时至 21 日 12 时黄栗墅站(沪宁高速)的能见度、
相对湿度、温度、风速、风向及蒸发量(南京站)随时间的变化

Fig. 12 Variations of visibility, relative humidity, temperature, wind speed
and direction at Huanglishu Station and evaporation at Nanjing Station
from 12:00 BT 20 to 12:00 BT 21 December 2015

6.4 湖陆风效应

在 2013 年 12 月 4—5 日的浓雾过程中,有一些站在 4 日 16 时前后出现强浓雾现象,这是极为罕见的。对这些站进行了详细分析发现,它们分布在洪泽湖的四周,午后的强浓雾是在湖陆风影响下形成的。图 13 给出了位于洪泽湖西侧的双沟站 4 日 07—19 时的各要素随时间的变化图。由图可见,该站早晨出现强浓雾,午后逐渐消散,15:35 能见度为 1104 m,但在 15:47 能见度陡降至 48 m,12 min 内能见度下降了 1056 m;15:33 起,风向由西南风转为东风;在这 12 min 内,温度从 11.5℃ 降至 9.3℃,趋势非常同步。由于太阳辐射的作用,气温不断上升,陆面较湖面升温速率高,湖陆温差逐渐拉大,造成风向由陆湖风(偏西风)转变为湖陆风(偏东风),将湖面的湿冷空气传输至陆面,不仅使陆面空气湿度增大,气温还明显下降,因而能见度陡降。应该指出,当天环境风很小,所以通过日照以后,湖陆风显得强盛,而且双沟站早上出现过强浓雾,空气湿度原本就比较大。

通过以上分析可以发现,雾爆发性增强主要是在两种情况下发生的,一是雾体突然降温,二是雾体

突然增湿,两者同时发生时更易爆发性增强。本文分析的雾体爆发性增强例子,以弱冷空气入侵为最多。

总体来说,这四次过程都是以辐射降温为主的雾过程,都具有雾区范围广、低能见度持续时间长、出现爆发性增强的站点比较多的特点。出现强浓雾爆发性增强的时间却不尽相同,受弱冷空气入侵影响的爆发性增强现象易在风向转为西北后出现;受湖陆风效应影响的过程能见度的爆发性增强一般在 15 时之后出现;受日出后蒸发量加大影响的爆发性增强过程,一般在日出之后;且很多站例都有夜间和日出前后出现两次强浓雾爆发性增强的现象。

7 结 论

2013 年 12 月 1—9 日、2015 年 10 月 23 日和 12 月 22 日及 2016 年 2 月 12 日,江苏出现了四次全省性的以辐射降温为主的强浓雾和特强浓雾过程,对全省气象观测网内站点的分钟气象要素数据进行分析,得出以下结论:

(1) 江苏省秋、冬季由雾发展为强浓雾(特强浓雾)的作用时间在 30 min 以内的占 76.3%,可见大

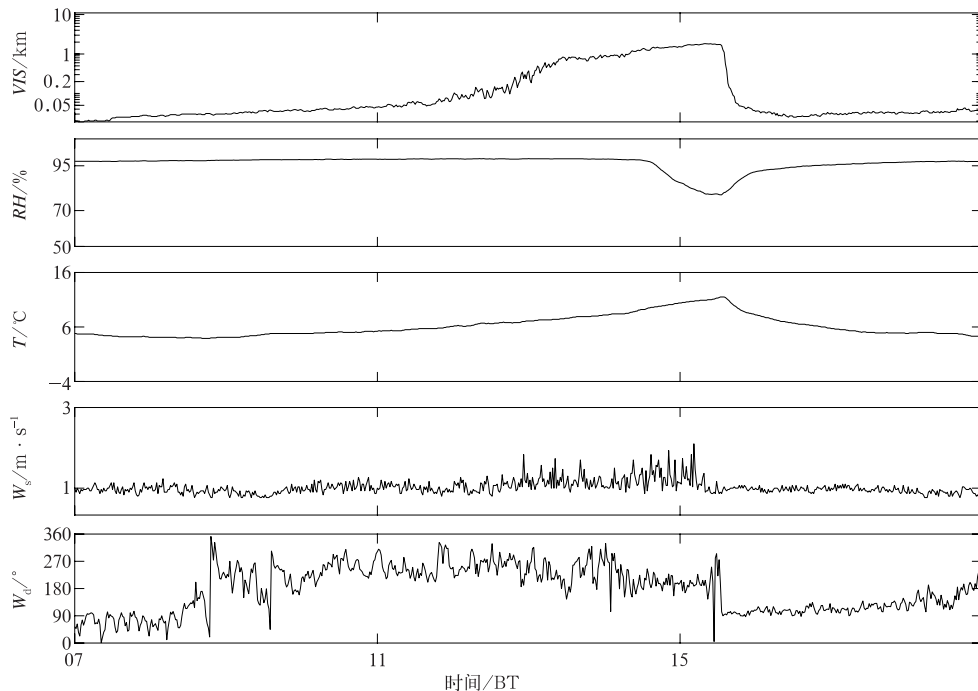


图 13 同图 8,但为 2013 年 12 月 4 日 07—19 时双沟站(宁宿徐高速)

Fig. 13 Same as Fig. 8, but for Shuanggou Station in 07:00—19:00 BT 4 December 2013

多数强浓雾具有明显的爆发性增强特征。

(2) 特强浓雾的持续时间大多在 3 h 以内,最长的可达 17 h。

(3) 雾爆发性增强的本质是在很短时间内雾滴增多增大,雾含水量呈几个数量级的增加,从而导致雾区能见度快速下降。

(4) 夜间辐射降温突然增强、底层弱冷空气入侵、日出后蒸发量加大及湖陆风效应都是雾爆发性增长的触发因子。

参考文献

- 邓雪娇,吴兑,叶燕翔,2002. 南岭山地浓雾的物理特征[J]. 热带气象学报,18(3):227-236.
- 郭丽君,郭学良,2015. 利用地基多通道微波辐射计遥感反演华北持续性大雾天气温、湿度廓线的检验研究[J]. 气象学报,73(2):368-381.
- 郭丽君,郭学良,方春刚,等,2015. 华北一次持续性重度雾霾天气的产生、演变与转化特征观测分析[J]. 中国科学:地球科学,45(4):427-443.
- 焦圣明,朱承瑛,朱毓颖,等,2016. 江苏地区一次罕见持续性强浓雾过程的成因分析[J]. 气象学报,74(2):200-212.
- 李子华,董韶宁,彭中贵,1996. 重庆雾水化学组分的时空变化特征[J]. 南京气象学院学报,19(1):63-68.
- 李子华,黄建平,孙博阳,等,1999. 辐射雾发展的爆发性特征[J]. 大气科学,23(5):623-631.
- 李子华,刘端阳,杨军,等,2011a. 南京市冬季雾的物理化学特征[J]. 气象学报,69(4):706-718.
- 李子华,刘端阳,杨军,2011b. 辐射雾雾滴谱拓宽的微物理过程和宏观条件[J]. 大气科学,35(1):41-54.
- 李子华,彭中贵,1994. 重庆市冬季雾的物理化学特性[J]. 气象学报,52(4):477-483.
- 马翠平,吴彬贵,李云川,等,2012. 冀中南连续 12 天大雾天气的形成及维持机制[J]. 高原气象,31(6):1663-1674.
- 毛冬艳,杨贵名,2006. 华北平原雾发生的气象条件[J]. 气象,2006,32(1):78-83.
- 濮梅娟,李良福,李子华,等,2001. 西双版纳地区雾的物理过程研究[J]. 气象科学,21(4):425-432.
- 濮梅娟,严文莲,商兆堂,等,2008. 南京冬季雾爆发性增强的物理特征研究[J]. 高原气象,27(5):1111-1118.
- 王玮,黄玉芳,孔凡忠,等,2009. 中国东部一场持续性大雾的诊断分析[J]. 气象,2009,35(9):84-90.
- 吴彬贵,张宏升,汪靖,等,2009. 一次持续性浓雾天气过程的水汽输送及逆温特征分析[J]. 高原气象,28(2):258-267.
- 吴洪,柳崇健,邵洁,等,2000. 北京地区大雾形成的分析和预报[J]. 应用气象学报,11(1):123-127.
- 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.
- 严文莲,朱承瑛,朱毓颖,等,2018. 江苏一次大范围的爆发性强浓雾过程研究[J]. 气象,44(7):892-901.
- 曾婷,李岩瑛,张强,等,2017. 民勤干旱区冬季浓雾形成的边界层条件分析[J]. 气象,43(8):936-942.
- Gultepe I, Milbrandt J A, 2007. Microphysical observations and mesoscale model simulation of a warm fog case during FRAM project[J]. Pure Appl Geophys, 164(6/7):1161-1178.
- Gultepe I, Müller M D, Boybeyi Z, 2006. A new visibility parameterization for warm-fog applications in numerical weather prediction models[J]. J Appl Meteor Climatol, 45(11):1469-1480.
- Gultepe I, Pearson G, Milbrandt J A, et al, 2009. The fog remote sensing and modeling field project[J]. Bull Am Meteor Soc, 90(3):341-359.
- Haeffelin M, Bergot T, Elias T, et al, 2010. PARISFOG: shedding new light on fog physical processes[J]. Bull Am Meteor Soc, 91(6):767-783.