

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. 气象, 42(3):372-381.

# 江西省区域性平流雾气象要素特征分析及预报思路<sup>\*</sup>

许爱华 陈翔翔 肖 安 许 彬

江西省气象台,南昌 330046

**提 要:** 利用江西省 2000—2012 年常规地面观测资料及探空资料,采用合成和统计方法,分析了 54 次区域性平流雾的天气形势及气象要素,得到了平流雾逆温层、温湿条件、低层风场及影响系统等统计特征。结果表明:(1)江西省区域性平流雾主要发生于 2—3 月,北部多于南部。(2)其形势特征为:江南地区低层有较明显的暖湿平流。850 hPa 上的切变线或辐合区位于长江流域到江淮一带,925 和 850 hPa 西南风速分别达 3~8 和 7~15  $\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$ 。地面形势多为弱低压倒槽和锋面前部的低压,其次为高压底部。(3)850 hPa 以下低层有相对湿度 $\geq 80\%$ 的湿层,500 hPa 中层多数有相对湿度 $\leq 50\%$ 的干层。地面气温和露点多在 10~16 $^{\circ}\text{C}$ ,且达到近饱和。(4)平流雾的逆温结构以单层逆温为主,多数比辐射雾逆温层高、厚度大。逆温强度主要在 1~3 $^{\circ}\text{C}$ 。最后给出了江西平流雾(我国南方)的预报着眼点或预报思路。

**关键词:** 平流雾,暖平流,逆温,相对湿度,预报着眼点

**中图分类号:** P457

**文献标志码:** A

**doi:** 10.7519/j.issn.1000-0526.2016.3.013

## Analysis on the Characteristics of Meteorological Factors and Forecast Ideas for Regional Advection Fog in Jiangxi

XU Aihua CHEN Xiangxiang XIAO An XU Bin

Jiangxi Meteorological Observatory, Nanchang 330046

**Abstract:** Based on the 2000—2012 conventional surface observations and sounding data in Jiangxi Province, this paper analyzed 54 regional advection fog weather events and meteorological factors by using the synthetic and statistical method, obtaining the statistical characteristics of the advection fog temperature inversion layer, temperature and humidity conditions, low-level wind field and the impact system. The results showed that: (1) The Jiangxi regional advection fog mainly occurs in February and March, seen more in the north than in the south. (2) The situation features are as follows: The low-level of Jiangnan Region has obvious warm and humidity advection, the shear line or convergence zone at 850 hPa is located in the region from Yangtze River to Jianghuai, the southwest wind speed at 925 hPa and 850 hPa is up to 3—8  $\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$  and 7—15  $\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$  respectively. Surface situation is mostly inverted trough and low pressure in the forefront of cold front, followed by the bottom of high pressure. (3) The relative humidity is  $\geq 80\%$  below 850 hPa, while it is  $\leq 50\%$  in the middle layer at 500 hPa. The surface air temperature and dew point range within 10—16 $^{\circ}\text{C}$ , and the air is nearly saturated. (4) The advection fog mostly has single temperature inversion layer, whose inversion layer is higher and thicker than radiation fog. The intensity of temperature inversion is mainly between 1 $^{\circ}\text{C}$  and 3 $^{\circ}\text{C}$ . Finally, the forecast focuses and forecast ideas of advection fog weather in Jiangxi (South China) are put forward.

**Key words:** advection fog, warm advection, temperature inversion, relative humidity, forecast focuses

<sup>\*</sup> 中国气象局气象关键技术集成与应用面上项目(CMAGJ2013M26)资助

2015 年 5 月 7 日收稿; 2016 年 1 月 5 日收修定稿

第一作者:许爱华,主要从事天气预报和预报技术方面研究. Email:767634540@qq.com

## 引言

大雾是一种灾害性天气,对飞行、公路及航运等的交通安全有较大影响,特别是随着近年来高速公路、航空的快速发展,大雾造成的损失加重。同时雾与污染物的结合使得空气质量下降,影响人们健康。因而,对大雾的预报预警越来越受到社会关注。

根据雾形成条件不同,分为辐射雾、平流雾、蒸发雾和上坡雾,辐射雾是大陆常见的雾,是空气因辐射冷却达到饱和而形成的,一般发生在晴朗微风、近地面水汽充足的夜间或早晨。平流雾是温暖潮湿的空气流经到冷的海面或陆面,空气的低层因接触冷却达到饱和而凝结而形成雾。蒸发雾是当水面是暖的,空气是冷的,冷暖温差较大时,水汽不断地从水面蒸发出来而形成的雾。上坡雾是潮湿空气沿山坡上升,绝热冷却使空气达到饱和而产生的雾。实际大雾天气有时会由上述不同原因共同作用形成。

近年来,气象工作者针对雾的不同领域开展了较多的研究。在大雾监测和诊断分析方面,马翠平等(2012)、何晖等(2009)、刘熙明等(2010)、严文莲等(2009)、张利娜等(2008)、曹治强等(2007)和王博妮等(2016)分别利用铁塔、微波辐射计、风廓线、高速公路专业气象自动监测站网等观测资料对大雾形成和消散过程中的边界层的逆温、风、湿度、稳定性和湍流进行详细分析,揭示了雾的物理和化学特性,加深对雾的生消的动力和热力过程的认识。沈澄等(2013)利用南京市200 m气象铁塔的梯度观测资料及常规气象资料,对比分析了两次秋季典型的辐射雾和平流雾过程。指出在两类大雾的发展过程中,对流层低层都存在较厚的逆温层,其中辐射雾存在多层辐射逆温和下沉逆温,而平流雾仅存在一层由暖平流形成的强逆温;边界层内辐射雾的贴地逆温强度明显强于平流雾。在地面气温出现突降、贴地逆温强度突增,边界层相对湿度显著上升,雾增强发展。王玮等(2009)研究发现雾区逆温层强度及高度与雾的浓度关系密切,逆温层高度在1000~900 hPa,强度越强,雾的浓度越大。

在大雾发生天气形势特征、形成机制以及预报方法等方面,气象工作者也开展了一些总结和研究,提出了方法和思路。李江波等(2010)对华北平原1999—2008年9次连续4 d以上的大雾天气过程进行了分析,给出了华北平原连续性大雾的统计特征、

环流背景、温湿场特征、成因及雾区分布天气概念模型和预报着眼点。黄继雄等(2011)总结提出了首都机场平流雾预报的着眼点:在符合大雾产生的弱天气形势下,机场风向转为偏东风或东南风,东南部(即上游)存在大片雾区时,通州及首都机场均在凌晨出现暖平流导致的地面异常增温或温度长时间维持不变,就可能有平流雾产生。王婷等(2010)对珠江口的持续性的雾总结了三种形势特征,一是低压或倒槽东侧,近地面偏南风输送南海的暖湿空气形成平流雾,二是高压底部和后部,近地层偏东风输送了西太平洋暖湿空气形成平流雾;三是均压场中,稳定层结形成辐射雾。康志明等(2005)、何立富等(2006)分别研究了2004年冬季华北平原一次连续大雾天气过程动力和热力、湿度特征,揭示大雾形成和维持的原因。毛冬艳等(2006)利用T106物理量资料,统计了华北地区雾发生时边界层内风、湿度、温度的不同区间与雾发生频率之间统计关系。周涛(2014)对上海市金山地区出现平流雾天气时的大尺度天气背景、三种地面形势、大雾过程的地面温度、湿度、风等要素特征、逆温垂直结构进行了分析总结,提出了沿海地区平流雾的预报思路和部分预报指标,同时探讨了风廓线仪和云高仪等非常规资料、周边岛屿的气象要素变化对平流雾监测和预报作用。蒋大凯等(2007)通过对近10年区域性大雾过程进行天气分型,分析辽宁省各种区域性大雾的成因及要素演变特征,从中提取预报指标,用PP法建立区域性大雾的客观预报方法。陈晓红等(2005)利用T106模式输出的地面相对湿度、925 hPa和地面逆温、925 hPa温度和925 hPa风速等4个因子建立了安徽省分县大雾预报方法。周福等(2015)统计分析宁波各种强度海雾特征并合成分析其出现的天气背景,发现浓雾(强浓雾)的形成需在稳定的大气层结下,长时间深厚的暖湿气流里,同时来自北方的冷海流不断注入宁波沿海。海雾的强度与暖平流及海表冷平流的强度有较大关系。包云轩等(2013)对一次复杂性大雾天气过程的精细化数值模拟结果表明,不同时段、不同区域强弱交替的辐射冷却和暖平流是大雾混合性、复杂性热力条件的具体表现。

然而,上述工作大部分是针对北方地区大雾和辐射雾开展的。对我国南方地区平流雾发生条件及成因的研究较少;尤其是缺乏清晰的预报思路和技术方法的研究。加上平流雾具有生成迅速、持续时间长、能见度较低等特点,大范围平流雾发生的天气

形势比辐射雾更为复杂,有时出现在降雨前后或降雨过程当中,预报难度也更大,造成实际预报业务中漏报较多。本文采用合成分析和统计方法,分析了江西省区域性平流雾的天气形势及气象要素,给出平流雾逆温层、温湿条件、低层风场及影响系统等统计特征和判识指标以及概念模型,以期提高对平流雾形成气象条件的认识,提升对平流雾的分析和预报水平。

## 1 江西省区域性平流雾统计标准及月变化特征

### 1.1 统计标准

研究区域为江西省,地处  $24^{\circ}29' \sim 30^{\circ}04' \text{N}$ 、 $113^{\circ}34' \sim 118^{\circ}28' \text{E}$ 。所用资料为中国气象局提供的常规地面观测资料及探空资料。

本文将江西省国家气象站 24 h 内出现 10 站及以上能见度低于 1 km 的大雾记录为 1 次区域性大雾过程。为了区别于辐射雾、平流辐射雾等其他雾种,根据平流雾的定义,本文选取江西省区域性大雾过程中,高空图上 925 hPa 有明显暖平流,且地面观

测图上显示平流雾发生前 12 h 内为阴天(中低云云量 7 成以上),没有明显的辐射作用的个例为区域性平流雾的研究对象。

为了更精细地分析江西省南部及北部的平流雾是否有着不同的形势特征和要素差异,本文将主要发生于江西省  $27^{\circ}\text{N}$  以北的平流雾定义为北部平流雾,主要发生于  $27^{\circ}\text{N}$  以南的平流雾定义为南部平流雾。

### 1.2 月变化特征

通过对 13 年来江西省 89 个观测站的大雾观测记录进行统计,并结合探空资料得到平流雾各月发生情况可得表 1,发现:2000—2012 年江西省发生区域性平流雾 54 例,且主要发生于 2—3 月,即冬末初春时节,其中 3 月达到了 19 例,占了 35.1%,而 5—9 月未出现区域性平流雾个例。这可能由于随着春季的到来,长江中下游地区逐渐回暖,低层暖湿空气不时北移至该地,遇到较冷的地面,在相对合适的大气环境中,易发平流雾;而夏季对流活动较频繁,静稳条件难于满足,秋季少雨干燥均限制了平流雾的发展。发生于江西北部部的平流雾次数略高于南部。

表 1 2000—2012 年江西省区域性平流雾月变化

Table 1 Monthly variation of regional advection fog in Jiangxi in 2000—2012

月份	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	总计
北部平流雾/例	1	8	10	4	0	0	0	0	0	1	3	4	31
南部平流雾/例	4	4	9	1	0	0	0	0	0	1	3	1	23
总计/例	5	12	19	5	0	0	0	0	0	2	6	5	54
所占比例/%	9.3	22.2	35.1	9.3	0	0	0	0	0	3.7	11.1	9.3	100

## 2 平流雾过程的形势场特征

众所周知,有利辐射雾形成的环境条件是夜间辐射降温、微风和边界层以下逆温,与这种环境条件相对应的天气形势主要是中低层受高压(脊)控制。平流雾发生的环境条件主要是暖湿空气流经下垫面比较冷的区域时两者间的热交换使得近地面层气温下降,相对湿度增加并达到饱和,从而形成平流雾。

### 2.1 中低层温度、湿度、风的合成分析

从平流雾过程 925 和 850 hPa 合成分析图(图 1)可以看到,低层江南有较明显的暖湿平流,江西上空为弱的暖脊和湿舌;850 hPa 上,切变线(主

要辐合区)位于长江流域到江淮地区,广西北部至湖南南部、江西一带为西南风,风速达到  $10 \sim 12 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ 。北部平流雾过程中,南昌、长沙平均风速略大于南部平流雾,这表明江西北部发生平流雾时西南气流更强一些,使得产生降水的切变线位置偏北,而在降水区的南侧容易出现平流雾。在 925 hPa 上发生北部平流雾时,江西境内有弱风速辐合,发生南部平流雾时,江西中部有弱的切变线,切变线位置相对偏南,这种边界层弱辐合场有利于湿空气的垂直混合而形成雾。雾区处于 925 hPa 切变线以南 2 个纬距内的偏南暖湿气流中,925 hPa 江西及周边地区温度为  $12 \sim 16^{\circ}\text{C}$ ;850 hPa 平均温度在  $10 \sim 13^{\circ}\text{C}$ ;925 hPa 温度露点差在  $1 \sim 3^{\circ}\text{C}$ 。

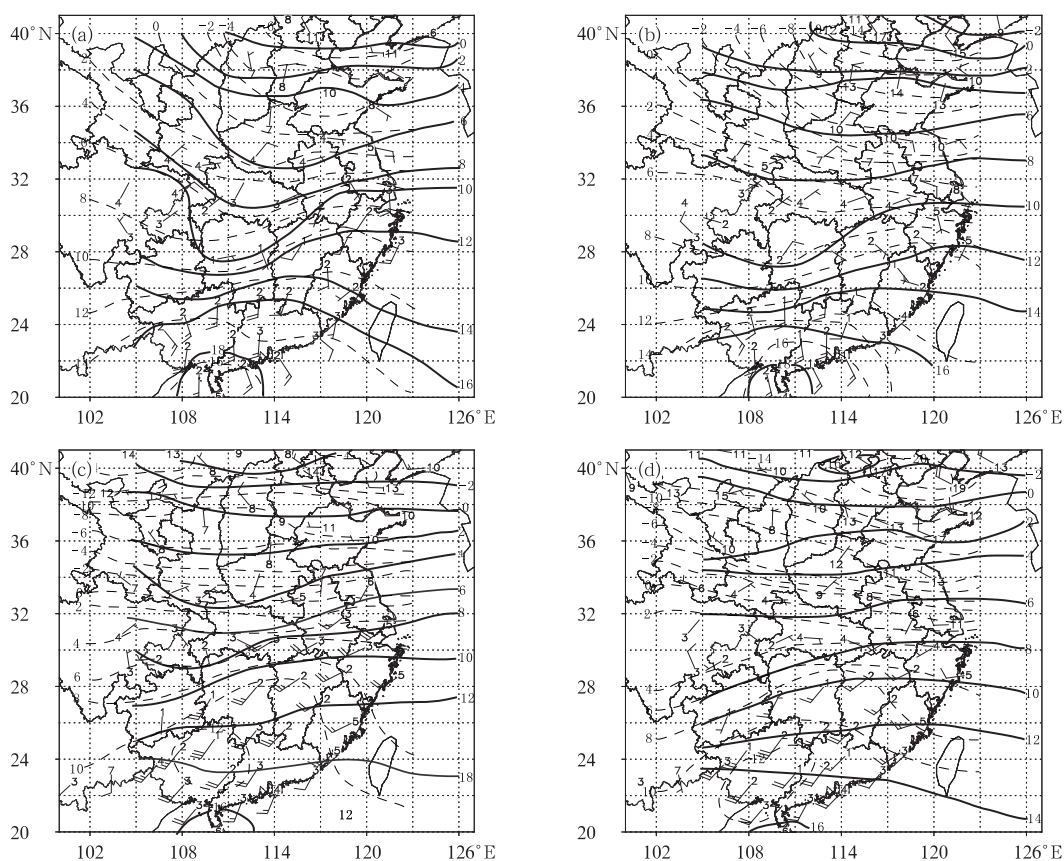


图1 江西省区域性北部平流雾(a,c)和南部平流雾(b,d)过程

08时925 hPa(a,b)和850 hPa(c,d)合成分析图

(实线为温度,虚线为露点温度,站点上的数值为温度露点差)

Fig.1 Synthetic analysis diagrams of regional advection fog at 925 hPa (a, b) and 850 hPa (c, d)

for northern part (a, c) and southern part (b, d) of Jiangxi at 08:00 BT

(Temperature is solid line, dew point temperature is dashed line, dew-point depression is number)

以南昌和赣州分别作为江西北部 and 南部平流雾代表站,对平流雾过程的低层风速进行统计分析(图2)发现,平流雾发生时,代表站探空图上925 hPa 风速主要在 $3\sim 8\text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ ,北、南部平流雾925 hPa 风速中位数均为 $5\text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ ;850 hPa 风速较大,主要在 $7\sim 15\text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ ,其中,北部平流雾风速中位数为 $12\text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ ,达到低空急流强度,高于南部平流雾( $9\text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ );而1000 hPa 风速较低,大部分为 $0\sim 3\text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ ,南部风速中位线为 $0\text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ ,基本达到了无风状态。可见,适中的低层风速为平流雾产生的重要条件之一,925 hPa 风速在 $3\sim 8\text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ 既不会大到影响该大气层的稳定性,也不至于小到影响暖湿空气的输送;而相对较大的850 hPa 风速则在一定程度上有利逆温的形成,加大了逆温层以下垂直混合,从而形成平流雾。

## 2.2 对流层低层变温场特征

平流雾的重要特征是低层的暖平流,在变温场上表征如何呢?从925 hPa 24 h 变温平均图(图3)可以看出,江西省出现区域性平流雾时,长江以北为负变温。江南、华南925 hPa 上空有 $1\sim 3^\circ\text{C}$ 增温,有一正变温舌自广西向东延伸至浙闽一带,南昌和赣州24 h 变温均超过 $1^\circ\text{C}$ ,广西有一正变温中心:北部平流雾时处于正变温中心的桂林24 h 变温为 $3.26^\circ\text{C}$ ,南昌的变温为 $1.81^\circ\text{C}$ ,而此时赣州24 h 变温已达 $2.65^\circ\text{C}$ ;南部平流雾时正变温中心数值相对较小,河池变温 $2.3^\circ\text{C}$ ,赣州变温为 $1.7^\circ\text{C}$ 。表2和表3显示了平流雾925和850 hPa 代表站变温分布情况,增温 $1^\circ\text{C}$ 及以上分别达到75.9%(41/54)和61.1%(33/54),增温 $2^\circ\text{C}$ 及以上分别达到59.3%(32/54)和42.6%(23/54),其中北部增温和 $2^\circ\text{C}$ 以

上分别达到 67.7%和 54.8%。可见北部平流雾由于有更明显的暖平流,对应有相对较高的正变温,增

温有利逆温结构的建立,因此,江南西部大范围 2℃ 以上的增温对江西平流雾预报有指示性。

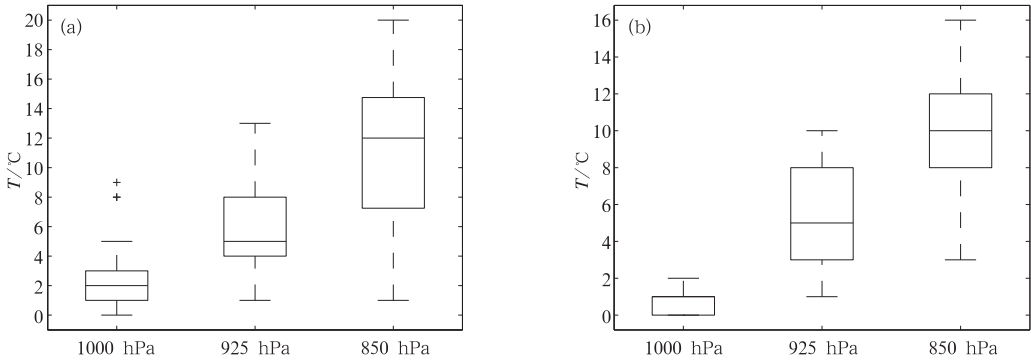


图 2 江西省区域性平流雾 08 时低层风速  
(a)北部平流雾,(b)南部平流雾

Fig. 2 Low-level wind speed of advection fog at 08:00 BT in Jiangxi  
(a) northern advection fog, (b) southern advection fog

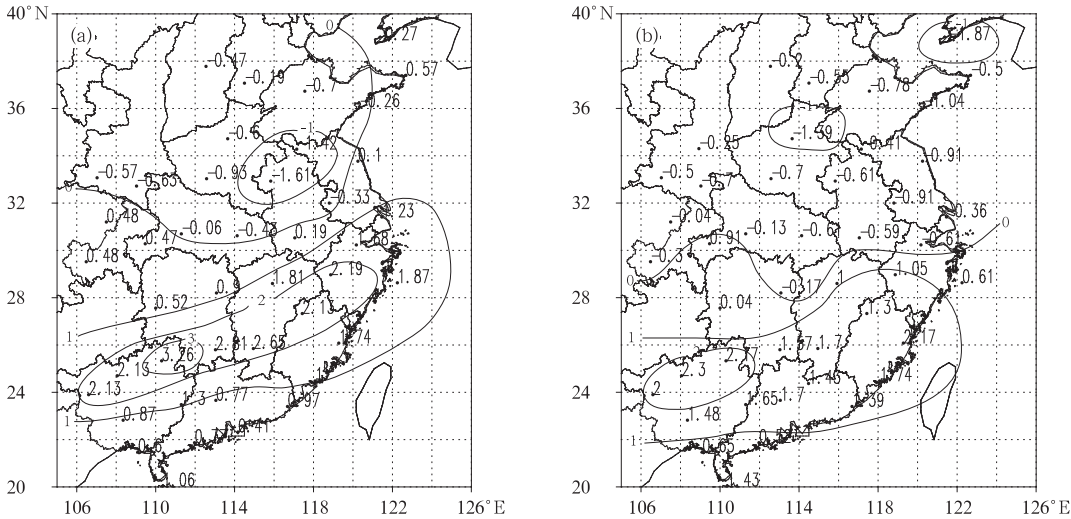


图 3 江西区域性平流雾 08 时 925 hPa 24 h 变温平均图  
(a)北部平流雾,(b)南部平流雾

Fig. 3 The 24 h average variable temperature at 925 hPa at 08:00 BT in Jiangxi  
(a) northern advection fog, (b) southern advection fog

表 2 江西省区域性平流雾代表站 08 时 925 hPa 24 h 变温

Table 2 The 24 h variable temperature of regional representative station for advection fog at 925 hPa at 08:00 BT in Jiangxi

24 h 变温/℃	≥3	2	1	0	-1	-2	≤-3	合计
北部平流雾(南昌)/例	15	6	3	2	1	3	1	31
南部平流雾(赣州)/例	7	4	6	3	1	2	0	23
所占比例/%	40.7	18.5	16.6	9.3	3.7	9.3	1.9	100

表 3 江西省区域性平流雾代表站 08 时 850 hPa 24 h 变温

Table 3 The 24 h variable temperature of regional representative station for advection fog at 850 hPa at 08:00 BT in Jiangxi

24 h 变温/℃	≥3	2	1	0	-1	-2	≤-3	合计
北部平流雾(南昌)/例	9	8	5	5	3	1	0	31
南部平流雾(赣州)/例	2	4	5	7	5	0	0	23
所占比例/%	20.4	22.2	18.5	22.2	14.8	1.9	0	100

## 2.3 地面气压场分析

王婷等(2010)对珠江口的持续性的雾提出三种地面形势特征:低压或倒槽东侧、高压底部和后部及均压场。本文利用地面观测资料对54次大雾过程的地面气压场进行合成后(图4)发现,江西省出现

区域性平流雾时,地面气压场表现为:云南—贵州一带为一低压中心,内蒙古中部为高压中心,气压场总体较弱,呈东北高西南低的形势,雾区大多处于倒槽南部,且地面气压低于1017.5 hPa,北部平流雾的倒槽位置稍偏北。

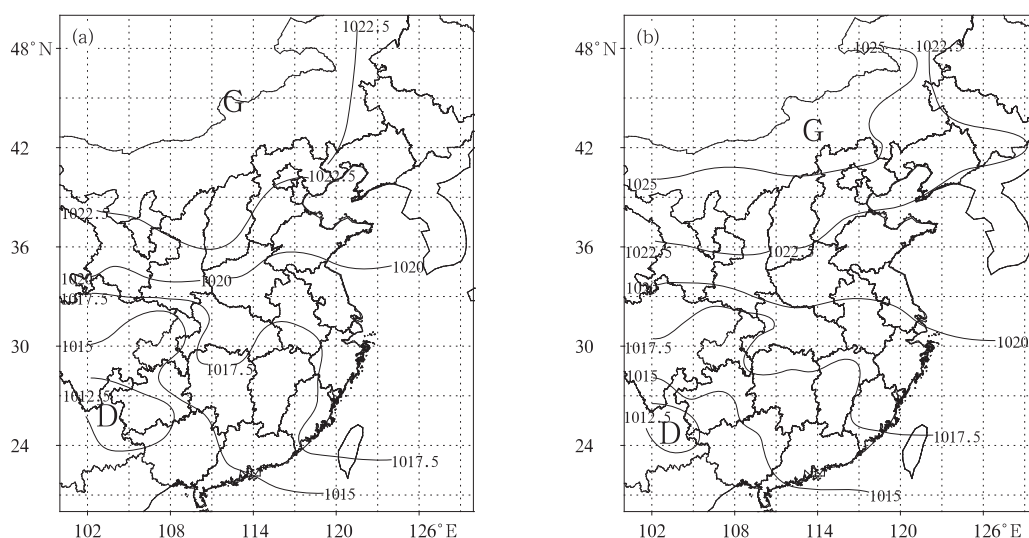


图4 江西省区域性平流雾08时地面气压场合成图(单位:hPa)

(a)北部平流雾, (b)南部平流雾

Fig. 4 Synthetic analysis diagrams of the surface pressure (unit: hPa) of advection fog at 08:00 BT in Jiangxi

(a) northern advection fog, (b) southern advection fog

分析54例平流雾发现有以下三种地面形势:地面倒槽或低压带36例(66.7%),高压底部10例(18.5%),高压后部8例(14.8%)。可见,平流雾多发生于地面倒槽或低压带形势中。其中地面倒槽有两种形式,一种是典型的低压倒槽(图5a)(25例),另一种是锋前弱低压带,在雾区北部有冷锋(图5b)(11例)。第二种形势是江西位于高压底部,在长江以北有高压,气压北高南低(图5c),925 hPa以下近地面已有冷空气南下,有时锋面逆温,但925 hPa以上表现为暖平流。第三种形势是高压后部,高压中心东移到浙江以东地区海面,长江北岸大部为低压区,江西受高压后部偏南气流影响(图5d)。

## 3 平流雾发生时要素场特征

### 3.1 逆温结构

大雾发生的一个重要条件是逆温的存在。逆温的出现可以阻止垂直湍流的发展将上部干空气卷入

雾顶部而导致雾层变薄消散,减少了边界层大气与其上层大气间的物质和能量的交换。对平流雾而言,由于水平方向的水汽平流,逆温层下部内的垂直湍流有利空气饱和层向上伸展,雾从地面向上发展。为更准确地分析平流雾发生时大气低层逆温情况,在54例平流雾中选取了08时南昌或赣州站(探空资料站)有平流雾的个例共16例,分析雾区上空逆温结构。分析发现:

(1)平流雾的逆温结构以单层逆温为主(11例),2例为多层逆温结构,1例为等温层,2次无逆温或等温层;逆温(含等温)比例达到87.5%,没有逆温的为12.5%。

(2)平流雾的逆温起始高度在1000 hPa及以下的个例有8例(50%),最低为1015 hPa,最高达到813 hPa;而逆温层顶在925 hPa及以上个例有8例(50%),最高达到799 hPa,而李玉芳等(1999)分析指出江西省辐射雾的逆温层的高度一般在100~800 m。可见,平流雾比辐射雾逆温层高、厚度大。

(3)把平流雾逆温层上下部温度差定义为逆温



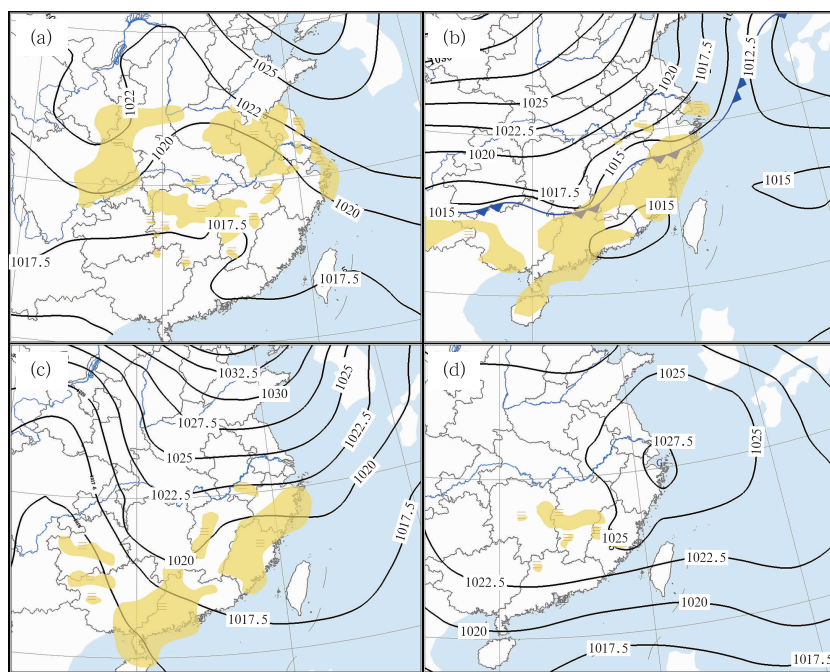


图 5 江西省区域性平流雾四种地面形势(单位:hPa)

(a)2006 年 3 月 8 日 08 时地面倒槽,(b)2002 年 1 月 16 日 08 时冷锋前部弱低压带,  
(c)2005 年 2 月 5 日 08 时高压底部,(d)2011 年 3 月 11 日 08 时高压后部

Fig. 5 Four surface weather situation of regional advection fog in Jiangxi (unit:hPa)

(a) surface inverted trough at 08:00 BT 8 March 2006, (b) low pressure in the forepart of cold front at 08:00 BT 16 January 2002  
(c) bottom of high pressure at 08:00 BT 5 February 2005, (d) rear of high pressure at 08:00 BT 11 March 2011

强度,统计发现(表 4),平流雾的逆温强度主要在  $1 \sim 3^{\circ}\text{C}$ (占 11/16),中位数为  $2^{\circ}\text{C}$ ,13 例平流雾(13/16)逆温强度  $\geq 1^{\circ}\text{C}$ ,因此,可以将逆温层温差  $\geq 1^{\circ}\text{C}$  作为平流雾判据之一。

从探空资料和天气形势分析发现,平流雾的低

层逆温成因主要是低层 850 hPa 以下暖平流造成的,有少数为弱锋面逆温,在 850~700 hPa 层也有少数存在下沉逆温。另外,地面弱降水和扩散南下的弱冷空气也可以降低地面气温,有利于形成边界层逆温。

表 4 平流雾个例逆温强度统计

Table 4 The intensity of temperature inversion in cases of advection fog

逆温强度	$0^{\circ}\text{C}$	$1^{\circ}\text{C}$	$2^{\circ}\text{C}$	$3^{\circ}\text{C}$	$4^{\circ}\text{C}$	$5^{\circ}\text{C}$	$6^{\circ}\text{C}$	$\geq 7^{\circ}\text{C}$
次数	1	5	4	2	1	0	1	0

### 3.2 对流层中低层温度和湿度结构

对流层中低层温度和湿度条件是平流雾形成的重要条件,许彬等(2013)对一次典型的平流雾进行诊断分析,结果表明:平流雾发生前,在 900 hPa 附近比湿的增加与温度的升高是同位相变化的,雾发生时比湿达到最大值,为  $9 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$ 。由于暖平流作用,900 hPa 24 h 升温增幅达  $3^{\circ}\text{C}$ ,900 与 1000 hPa 形成逆温,温差达  $3^{\circ}\text{C}$ 。对江西区域性平流雾的 925~850 hPa 温度和湿度特征已在合成分析中讨论,这里对地面以及 500 hPa 的温度和湿度条件

做进一步分析。

#### 3.2.1 平流雾发生时地面气温和露点分布

对 54 例平流雾过程,我们统计了江西省 89 个国家气象站地面雾发生时气温及露点温度平均分布特征(图略),结果表明:北部平流雾时,该区域地面温度为  $13 \sim 16^{\circ}\text{C}$ ,在局部地区(萍乡、新余和抚州市的山区)  $11 \sim 12^{\circ}\text{C}$ ,而在鄱阳湖地区较高达到  $17 \sim 18^{\circ}\text{C}$ ;南部平流雾时气温为  $16 \sim 17^{\circ}\text{C}$ ,山区  $13 \sim 15^{\circ}\text{C}$ ,略高于北部平流雾。无论是北部平流雾还是南部平流雾露点温度均比气温低  $0 \sim 1^{\circ}\text{C}$ ,也就是地面达到近饱和。

平流雾发生时地面气温和露点概率分布显示,平流雾发生时地面气温呈单峰型分布(图略),在地面气温和露点 10~16℃时概率较高:分别为 62.1%(617/993)和 61.1%(607/993)。从箱线图(图略)上可以看到,平流雾地面气温和露点平均中位数为

13℃,25%的分位数分别为 11 和 10℃,75%的分位数均为 16℃。

3.2.2 平流雾发生时对流层中低层湿度

表 5 显示了 16 次南昌或赣州平流雾发生时,对流层低层 925~500 hPa 湿度大,尤其是 925 hPa 露

Table 5 The dew-point difference in 925—500 hPa in the time of advection fog in Nanchang/Ganzhou									
	0℃	1℃	2℃	3℃	4℃	5℃	6℃	7℃	≥8℃
925 hPa	3	5	5	3	0	0	0	0	0
850 hPa	0	3	4	5	2	1	0	1	0
700 hPa	0	2	3	2	1	3	0	0	5
500 hPa	0	0	0	0	1	1	0	0	14

点温度差均在 3℃ 以下(对应相对湿度在 80% 以上)。而 500 hPa 相对湿度≤50% 概率达 87.5%(14/16)(表略)。本文随机挑选了 15 次 1—3 月的小雨过程,计算了代表站 500 和 700 hPa 20—08 时相对湿度(表略),分析发现 500 hPa 相对湿度在 50% 以上的概率达 93.5%,与平流雾大部分为 50% 以下的相对湿度有明显不同,这也可能是区别降水的重要条件。

4 典型个例的动力场和湿度特征

平流雾是在低层有暖湿平流下产生的,那么平流雾容易发生在偏南气流中的哪个部位? 和低层的动力条件的可能有什么关联? 我们选取了 2012 年 2 月 22 日早晨赣北一次典型的区域性平流雾过程为例来进行初步分析。21 日夜间赣北为切变线降水,但随着切变线北抬,雨带随之北抬,22 日早晨赣北部分地方出现了降水间歇,江西在 04:46 至 20 时先后有 26 站出现了大雾。

图 6a 为北京时间 22 日 08 时 925 hPa 风场与散度图,此时切变线已北抬至长江,江西省为一致偏南风控制,雾区(图中的黑点)大部分处在气流辐合区中,江西境内辐合大值中心为  $-2.5 \times 10^{-5} \text{ s}^{-1}$ ;这与张礼春等(2013)指出的平流雾低层是水汽通量辐合区的结论是一致的。从沿南昌所在经度-垂直剖面图(图 6b)可发现,南昌地区(116°E 附近)900 hPa 以下有垂直速度为  $-0.1 \text{ Pa} \cdot \text{s}^{-1}$  的弱辐合上升气流,900~700 hPa 有垂直速度为  $0 \sim 0.2 \text{ Pa} \cdot \text{s}^{-1}$  的辐散下沉气流,两只气流汇合于 900 hPa 附近,边界层的弱辐合抬升和边界层上部的下沉有利于水汽在边界层内凝结成雾滴。可见,这次平流雾形成在低

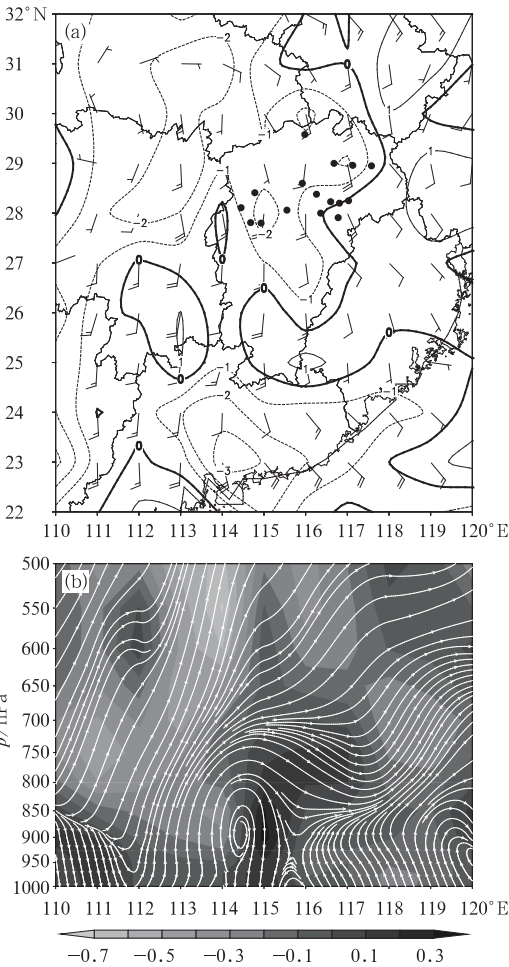


图 6 2012 年 2 月 22 日 08 时北部平流雾 925 hPa 风场与散度(a,等值线为散度,单位:10<sup>-5</sup> s<sup>-1</sup>;黑点为发生平流雾的站点),沿 29°N 流场与垂直速度经度-高度剖面(b,阴影区为垂直速度,单位:Pa·s<sup>-1</sup>)

Fig. 6 Wind and divergence at 925 hPa at 08:00 BT 22 February 2012 (a, the contour is divergence, unit: 10<sup>-5</sup> s<sup>-1</sup>; black spot is the site to have advection fog), longitude-height profile of the flow field and vertical velocity along 29°N (b, shaded area is vertical velocity, unit: Pa·s<sup>-1</sup>)



层切变线北抬时,雨带南缘的降水停止或间歇的区域,该区域水汽充沛,近地层有弱辐合上升气流,中低层有辐散下沉气流。

2007年12月12日凌晨前后,江西东北部出现了一次平流雾过程,这次平流雾是发生于冷锋前部。图7a为925 hPa风场与散度图,12日02时在冷锋前部有气流辐合,散度为 $-2 \times 10^{-5} \text{ s}^{-1}$ ;赣东北边界层湿度在11日傍晚到夜间有一个明显上升的过程,图7b显示,贵溪市11日13—15时地面相对湿度仅为63%,而在12日02时后已接近100%。离雾区最近的探空站绍武12日08时925 hPa 24 h增温 $5^\circ\text{C}$ ,且与地面逆温强度达到 $4^\circ\text{C}$ 。从NCEP再

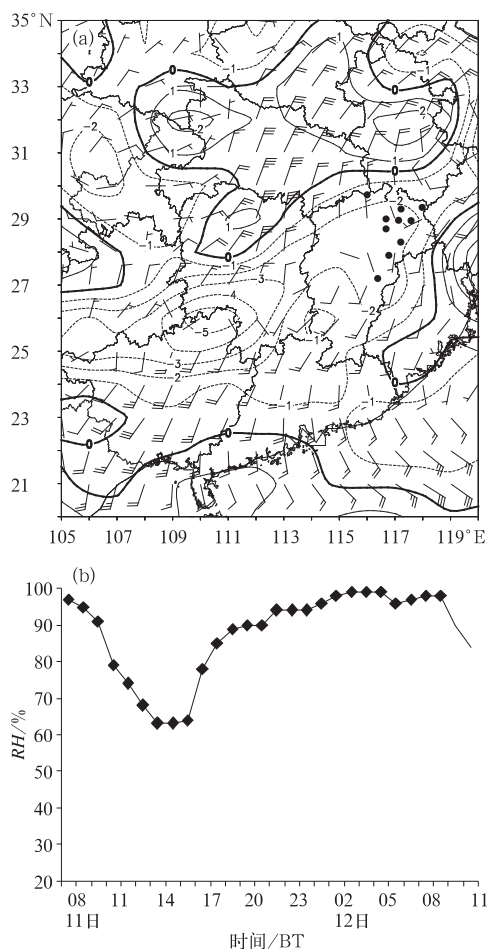


图7 2007年12月12日02时北部平流雾925 hPa

风场和散度(a,单位: $10^{-5} \text{ s}^{-1}$ )及11日08时至12日11时贵溪市地面相对湿度变化(b)

Fig. 7 Wind and divergence at 925 hPa at

(a, unit:  $10^{-5} \text{ s}^{-1}$ ), variation of

surface relative humidity from 08:00 BT 11

to 11:00 BT 12 December 2007 in Guixi

分析资料看雾区的925 hPa温度变化(图略)可发现,在11日傍晚过后气温仍有一个上升过程,11日20时气温上升至 $16^\circ\text{C}$ ,12日08时24 h增温 $2.5^\circ\text{C}$ ,此后,随着冷锋移过,冷空气影响导致温度快速下降。可见,冷锋前部平流雾发生在边界层湿度上升明显的地区和在低层回温明显的时段。

## 5 结论和讨论

通过上述气象要素和基于探空的925~500 hPa形势场的合成分析与统计分析,给出以下江西平流雾(我国南方)平流雾的预报着眼点或预报思路:

(1)江西省区域性平流雾主要发生于2—3月,北部多于南部。

(2)天气形势特征:925~850 hPa有暖湿平流,风和等温线、等露点线交角大,暖脊发展(大部分伴有增湿增温),特别是等温线向北推进过程或江西西部到湖南的暖脊东移过程中,发生平流雾的可能性较大,当增温 $2^\circ\text{C}$ 以上,出现平流雾的概率增大;在850 hPa上,广西北部至湖南南部、江西一带有 $7\sim 15 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ 西南风,925 hPa为 $3\sim 8 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ 。平流雾多发生在925~850 hPa弱切变线的南侧,少数处于宽广偏南气流中或暖式切变线以北的偏东南气流中。地面形势多为弱低压倒槽和锋面前部的低压,其次为高压底部。

(3)平流雾发生的温度、湿度特征:850 hPa以下低层有相对湿度 $\geq 80\%$ 湿层,500 hPa中层有明显的相对湿度 $\leq 50\%$ 的干层,概率达90%,这种湿度分布多数可以判断为无雨或降水间歇,少数有零星小雨。地面气温和露点为 $10\sim 16^\circ\text{C}$ 时,出现平流雾的概率较大。

(4)逆温层形成的判断:一是925 hPa以上暖平流(暖脊发展),二是近地面降温条件,这里包括降雨作用和云层短时打开时造成的地面辐射降温以及地面弱冷空气扩散作用(锋前)。

(5)平流雾最可能形成的区域:一是在低层切变线北抬时,雨带南缘的降水停止或间歇区域,该区域水汽充沛,近地层往往有弱辐合上升气流,中低层有辐散下沉气流;二是冷锋前部,边界层湿度上升明显的地区。平流雾易形成在低层回温最明显且与地面逆温强度最大的时段。

综合以上分析,我们给出了江西省平流雾最典

型的一种天气概念模型(图8),此模型对我国南方地区平流雾预报有较好的参考作用。

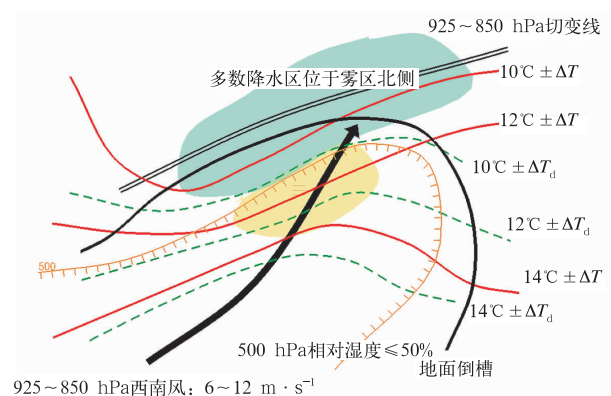


图8 江西平流雾天气概念模型

Fig. 8 The weather conceptual model of advection fog in Jiangxi

我们利用上述讨论的思路和主要气象要素指标,结合欧洲中心 $0.25^{\circ} \times 0.25^{\circ}$ 分辨率模式资料,对2014年2月22日至3月31日资料进行客观预报试验,并做了一个定性评定,时间空间上都较一致的和正确的有3次,时间空间范围有一定偏差的视为基本正确有7次,预报了有雾,但实况一站没有出算作空报,有3次,按过程评定正确或基本正确率达76.9%,空报占了23.1%。对平流雾发生地集中的过程预报效果较好只有3次(正确率50%)。这可能与以下几个方面因素有关:一是平流雾是大气中一种弱热力和动力强迫天气过程,尤其平流雾过程是与暖区分散性小雨或阴天的天气形势、气象要素特征很相似,因而造成空报较多;二是数值模式对近地面的温度、湿度的预报误差较大,边界层逆温预报的次数较多,近地面温度、湿度误差较大;三是由于资料的缺乏,对平流雾发生时的气象要素垂直结构还有待做更精细的分析。因此,平流雾的实用预报技术和判据也还待进一步研究和开发,同时在业务预报中也需要预报员根据天气形势分析做订正。

## 参考文献

包云轩,丁秋冀,袁成松,等.2013.沪宁高速公路一次复杂性大雾过程的数值模拟试验.大气科学,37(1):124-136.

- 曹治强,方翔,吴晓京,等.2007.2007年初一次雪后大雾天气过程分析.气象,33(9):52-58.
- 陈晓红,方翀.2005.安徽省县级大雾预报业务系统.气象,31(4):61-64.
- 何晖,郭学良,刘建忠.2009.北京一次大雾天气边界层结构特征及生消机理观测与数值模拟研究.大气科学,33(6):1174-1186.
- 何立富,李峰,李泽椿.2006.华北平原一次持续性大雾过程的动力和热力特征.应用气象学报,17(2):160-168.
- 黄继雄,窦利军,阿利曼.2011.首都机场平流雾特征分析与预报.气象科技,39(1):50-55.
- 蒋大凯,闵锦忠,陈传雷,等.2007.辽宁省区域性大雾预报研究.气象科学,27(5):578-583.
- 康志明,尤红,郭文华,等.2005.2004年冬季华北平原持续大雾天气的诊断分析.气象,31(12):51-56.
- 李江波,赵玉广,孔凡超,等.2010.华北平原连续性大雾的特征分析.中国海洋大学学报(自然科学版),40(7):15-23.
- 李玉芳,许彬,张安云,等.1999.江西大雾的天气条件和形势特征分析.气象与减灾研究,22(1):9-10.
- 刘熙明,胡非,邹海波,等.2010.北京地区一次典型大雾天气过程的边界层特征分析.高原气象,29(5):1174-1182.
- 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.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.气象,32(1):78-83.
- 沈澄,姜有山,刘冬晴.2013.南京秋季辐射雾与平流雾边界层气象要素特征比较.气象科技,41(3):552-557.
- 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.气象,42(2):192-202.
- 王婷,潘蔚娟,谌志刚,等.2010.珠江口持续性雾生消的环流特征和成因分析.气象,36(6):13-20.
- 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.气象,35(9):84-90.
- 许彬,许爱华,陈翔翔.2013.2012年2月22日江西平流雾过程的环流特征与诊断分析.气象与减灾研究,36(4):8-13.
- 严文莲,濮梅娟,王巍巍,等.2009.一次罕见的辐射-平流雾研究(I)——生消物理过程分析.气象科学,29(1):9-16.
- 张利娜,张朝林,王必正.2008.北京高速公路大气能见度演变特征及其物理分析.大气科学,32(6):1229-1240.
- 张礼春,朱彬,耿慧,等.2013.南京一次持续性浓雾天气过程的边界层特征及水汽来源分析.气象,39(10):1284-1292.
- 周福,钱燕珍,金靓,等.2015.宁波海雾特征和预报着眼点.气象,41(4):438-446.
- 周涛.2014.上海市金山区平流雾特征分析.大气科学研究与应用,45(1):13-30.