

2011年秋冬我国中东部大雾结构特征分析

袁方¹,王雯燕²,翟园²,唐文哲²,徐军昶²,巩在武^{1*}

1. 南京信息工程大学, 江苏 南京 210044

2. 西安市气象局, 陕西 西安 710016

摘要: 对雾区相对湿度垂直结构分布变化的监测一直缺乏直观有效的方法, 探空观测能够填补观测不足并提供可靠的气象资料。本文利用2011年秋冬我国六次高空气象观测资料, 通过与卫星监测、地面观测雾区对比的方式, 分析中东部雾区垂直方向气象要素的变化情况。结果表明, (1) 雾区温度变化有等温、贴地逆温和低层逆温三种类型, 其中贴地逆温出现次数最多, 约占记录总数的52%; (2) 雾区相对湿度变化有两种类型: 等湿和相对湿度增大, 其中等湿记录出现次数最多, 约占记录总数的88%, 统计数据说明雾区水汽接近均匀分布; (3) 雾区风向随高度变化方式主要有顺时针偏转、相对静稳(风向不变、风速为零)和先顺后逆转等变化, 其中顺时针偏转和相对静稳出现次数约占记录总数的71%; 雾区风速变化低于 $1\text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ 的记录约占总数的77%, 研究时段内的雾区多为在暖平流控制的天气形势下生成, 层结稳定。雾区不同方式观测的存在差异的原因, 一是卫星监测的雾区容易受低云干扰造成误判, 二是高空气象探测无法剔除降水天气干扰, 雾区范围较大。

关键词: 大雾; 结构特征; 2011年

中图分类号: P412.23

文献标识码: A

文章编号: 1000-2324(2016)01-0072-05

Analysis on Structural Features of Heavy Fog in Middle and Eastern China during Winter 2011

YUAN Fang¹, WANG Wen-yan², ZHAI Yuan², TANG Wen-zhe², XU Jun-chang², GONG Zai-wu^{1*}

1. Nanjing University of information Science & Technology, Nanjing 210044, China

2. Xi'an Meteorological Bureau, Xi'an 710016, China

Abstract: There was lacking of an intuitive and effective monitoring method for a vertical structure change of relative humidity in the heavy fog area, however the radiosonde observation could make up to provide some reliable data for it. This paper analyzed the changes of meteorological elements in the vertical direction in the heavy fog area of the middle and eastern China in Autumn and Winter of 2011 through the contrast of data from the satellite monitoring and ground observation at six times. The results showed there were three types of temperature changes, including isotherm, surface inversion and low-level inversion, most of them was surface inversion accounting for 52% of the total number of records. There were two types of relative humidity changes in fog area, including constant humidity, which was observed most frequently accounting for 88% in all and relative humidity increased. This statistical data showed that a nearly uniform distribution of the water vapor mist existed. The types of wind direction changes with height included mainly clockwise deflection, relatively static stability (constant wind direction and wind speed is zero) and firstly clockwise and then reverse etc. Clockwise deflection and appear relatively stable accounted for nearly 71% of total; wind speed less than $1\text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ accounts for about 77%. A stable stratification of fog was achieved by weather situation under the control of the warm advection in study period. Moreover, the reasons of differences among observation methods was analyzed in this paper. There was erroneous judgement caused by interference of satellite monitoring fog zone due to low clouds and large fog area due to altitude meteorological detection could not reject interference of precipitation.

Keywords: Heavy fog; structural feature; 2011

雾是一种常见的天气现象, 全国各地都有出现, 水平能见度小于 $1.0\text{ km}^{[1]}$, 强浓雾时能见度只有几米。近年来随着城市化的快速进展, 大气气溶胶粒子增多, 雾与霾时常结合, 对城市交通、高速公路、铁路、船运、航空等安全及人体健康带来了很大危害, 成为一种严重的、频发的灾害性天气。吴兑等^[2]总结了我国大陆雾日地理分布基本气候特征和雾天气出现的季节特点, 王丽萍等^[3]分析

收稿日期: 2015-09-17

修回日期: 2015-12-07

基金项目: 国家自然科学基金(71171115)

作者简介: 袁方(1975-),男,陕西西安人,高级工程师,从事气象服务工作. E-mail:305298939@qq.com

***通讯作者:** Author for correspondence. E-mail:zwgong26@163.com

了我国雾的地理分布,讨论了不同地区雾的月、年变化特征,刘小宁^[4]等分析了我国大雾的空间、时间分布;各地也纷纷开展雾的时空变化、趋势研究,龙先菊等^[5]分析了黔东南州大雾日数的分布特点、长期变化趋势、年代际变化特征,贺浩^[6]等分析了陕西大雾的气候特征和地域特征,郑玉萍等^[7]分析了乌鲁木齐大雾天气的气候特征,上述研究所用数据主要是地面台站气象观测资料,这些资料在研究雾的日、月、年气候特征、地域分布、趋势变化方面具有无可比拟的优越性,但利用这些数据很难深入分析雾的生消和垂直结构变化;近几年随着遥感技术发展,国家卫星气象中心利用红外云图、可见光云图和中红外云图等实现了对雾监测的业务化产品,蒋璐璐^[8]等依据FY-3A卫星的VIRR数据,探讨卫星数据检测雾的可行性;张树誉等^[9]运用EOS-MODIS资料,根据云雾的反射及辐射特征差异采用域值法监测雾区,在雾的形成、发展、消散监测上有一定特色,但在雾区垂直结构特征研究方面又有一定的局限性;我国新一代L波段雷达-电子探空仪观测系统获取的秒数据探测资料,时间分辨率、垂直分辨率都很高,可直接观测雾区垂直结构气象要素的分布变化^[10-12],数据客观真实,因此利用雾过程中的高空气象观测资料,研究雾区温度、相对湿度、风等要素随高度的变化情况,是对雾特征研究的有效补充手段,具有重要的理论和现实意义。

国内诸多研究表明:秋冬季节雾多在夜间发生持续到次日上午^[13-15]。2011年11月23日、25日、28日,12月3日、4日、5日中国中东部地区出现多次连续性、大范围的大雾天气。根据NOAA、FY-2、FY-3卫星遥感的图像和地面实况监测资料,对这六次大雾天气过程逐一分析,可以看出这几日的雾多产生于凌晨1时,消散于9时以后,大雾持续时段集中在6~8时之间。本文基于雾过程发生时,高空台站07:15观测的相对湿度资料分析雾区垂直方向温度、相对湿度、风场的变化特征,并对不同方式监测的差异雾区进行分析。

1 资料与方法

1.1 资料来源

2011年11月23日~12月5日全国探空温度、相对湿度、风向、风速等观测资料和地面相对湿度、能见度、天气资料源于中国气象局信息中心,卫星监测雾区分布图例源于国家卫星气象中心网站。

1.2 探空资料确定雾区的方法

雾是在大气中、地面上产生的水汽凝结现象^[1],是近地层相对湿度饱和区域,用探空数据可以表示为距地某高度范围内具有一定厚度的相对湿度最大值。首先需要确定高度区间,探空相对湿度观测是从地面开始的,经过对上述六次探空观测资料多个高度层次(距地20 m、30 m、40 m、50 m)相对湿度的统计分析,确定距地30 m是本文研究读取相对湿度最大值的合理高度(过程略);其次,由于较薄的饱和水汽层不可能形成雾区,区间相对湿度最大值读取时增加了湿层厚度条件,即秒数据必须连续两组(5~8 m/组)以上,持续厚度>10 m。以此为标准分别提取六次雾过程探空资料距地30 m高度内、持续厚度>10 m的相对湿度最大值,以5%为间隔,绘制全国相对湿度分布图,通过与卫星监测雾区和地面观测有雾的站点区域对比的方法,最后确定探空资料研究雾的相对湿度指标。图1为11月23日三种方式监测的雾区对比图(由于卫星监测雾区分布图例取自网站文档,只有大雾分布图,而地面和探空为人工制作,故为全国图,探空图例较多,取吻合程度较好的距地30 m等值线图)。图1(a)中雾区主要分布在云南中东部、四川东部、陕西南部、贵州、重庆,及长江中

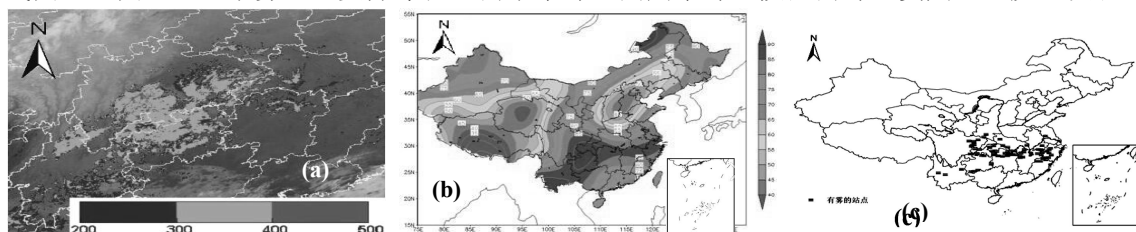


图1 2011年11月23日中国中东部不同方式监测的雾区

(a) 气象卫星监测; (b) 探空相对湿度等值线图; (c) 地面观测雾区

Fig.1 Monitored patterns of fog areas in middle and eastern China on 23 Nov 2011

(a)Fog area monitored by satellite; (b)Relative humidity distribution monitored by sounding; (c)Fog area monitored by ground observation

下游地区;图1 (b) 中, 华北及相邻区域相对湿度 $\leq 65\%$, 江淮、华南地区均 $\geq 75\%$, 相对湿度 $\geq 80\%$ 区域覆盖了西南及长江中下游地区的所有地区, 相对湿度 $\geq 85\%$ 的区域较为集中, 主要分布在云南中东部、四川东部、重庆、湖南北部、贵州、及长江中下游地区, 相对湿度 $\geq 90\%$ 的区域分布在重庆南部、贵州北部、及云南南部地区;图1 (c) 雾区主要集中在四川东部、重庆、湖南北部、云南、贵州部分地区, 及长江中下游地区, 福建北部也有少量分布。

11月25日(图略), 卫星监测显示雾区主要分布在云南中东部、四川东部、贵州大部、重庆、河南北部、山东南部、安徽及江苏北部等地区;探空相对湿度等值线显示相对湿度 $\geq 75\%$ 的区域覆盖了我国中东部的大部分地区, 相对湿度 $\geq 80\%$ 的区域分布在中部和长江中下游大部分地区, 相对湿度 $\geq 85\%$ 落区在云南中南部、四川东部、贵州大部、重庆、湖北西部、湖南南部部分地区, 及江西东南部、安徽、浙江、福建等四省交界区域;相对湿度 $\geq 90\%$ 的台站区域较小, 分布在重庆南部、及云南南部地区;地面观测雾区主要集中在云南中南部、湖南西部, 四川东部、及安徽、浙江、福建、江西等四省交界区域。

其余四个雾日分析结果近乎一致(图略), 对比后发现探空相对湿度等值线 $\geq 85\%$ 的区域与气象卫星监测、地面观测雾区有较好的一致性, 因此, 本文研究的探空雾区指标为30 m高度内、持续厚度 > 10 m的相对湿度秒数据观测最大值绘制的 $\geq 85\%$ 等值线区域。

2 结果分析

2.1 雾区气象要素随高度的分布

2.1.1 温度廓线 由表1可知, 雾区温度有相等(简称等温, 波动范围 ± 0.1 °C)、贴地逆温、低层逆温三种类型。其中, 等温约占记录总数的33%, 贴地逆温约占记录总数的57%, 其余为低层逆温。图2 (a) 给出了温度廓线变化的三种典型类型: 1205-58238(左边四位为月份日期, 右边五位为台站号)为贴地表等温46 m, 其上温度随高度升高而减小; 1203-57494为贴地逆温, 离地后温度随高度升高而升高, 逆温厚度268 m, 强度较大; 1205~57083离地后温度随着高度升高而减小, 距地340 m高度有低层逆温; 1128~58457为贴地等温79 m, 该高度以上再出现逆温。雾区中低层逆温较少单独出现, 统计资料表明低层逆温多与等温同时出现。

表 1 2011年11月23日~12月25日中国中东部雾区温度、相对湿度廓线随高度变化的不同类型及其台站数
Table 1 Different types of temperature and correlative humidity profile changing with height in fog area of middle and eastern China and stations from 23 Nov to 25 Dec 2011

时次 Times	总站数 Total of stations	等温 Isothermy	贴地逆温 Ground inversion	低层逆温 Low-level inversion	等湿 Equal humid	相对湿度增大 Increasing humidity
11月23日	18	7	9	2	17	1
11月25日	16	3	11	2	13	3
11月28日	23	10	10	3	20	3
12月3日	26	4	13	9	24	2
12月4日	12	1	8	4	11	1
12月5日	9	1	4	4	7	2

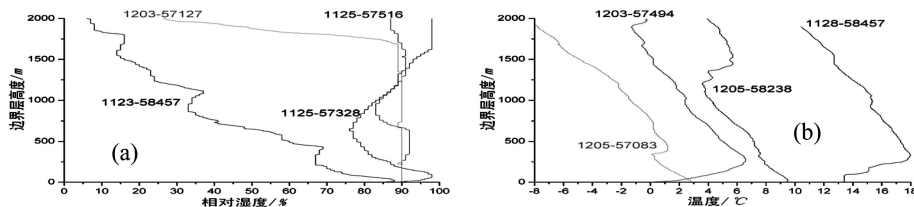


图 2 2011年11月23日~12月25日中国中东部雾区边界层气象要素随高度变化的廓线类型
(a) 温度 (b) 相对湿度

Fig.2 Different types of meteorological elements profiles changing with height in fog areas of middle and eastern China from 23 Nov to 25 Dec 2011

(a)Temperature profiles; (b) Relative humidity profiles

2.1.2 相对湿度廓线 雾区相对湿度垂直方向变化有两种类型: 等湿和相对湿度增大。等湿指离地后相对湿度在一定高度内保持不变或者有 $\pm 2\%$ 的波动, 约占记录总数的 88%, 如图 2(b)中 1125~57516

站;相对湿度增加型表现为离地后相对湿度随高度升高逐渐增大,如 1125~57328 站;少数台站地面相对湿度较大,但湿层厚度较薄,离地后相对湿度很快减小如 1123~58457 站;也有一些台站雾与低云连接起来,表现为边界层相对湿度保持不变或微小变化,如 1203~57127 站。

数据统计结果说明发生雾区内部水汽分布接近均匀。

2.1.3 风廓线 风场变化是研究雾形成、发展、持续、消亡的关键性因子^[16,17],统计探空雾区风向频率可知,11月23日到12月5日中东部雾区主导风为NE、E、ENE,次主导风为N、S、SW。随着高度升高,风向有:顺时针偏转、相对静稳(风向不变、风速为零)、先顺后逆偏转等变化,其中顺时针偏转的记录最多,为38%,保持相对静稳的记录为33%;统计时段内风速随高度变化较小,风速 $\leq 1 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ 的记录约占总数77%,也有个别记录风速随高度持续增大,如11月23日的57494站,雾区厚度290 m,地面风向 45° 、风速为 $2 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$,随着高度升高风向逆时针偏转,风速持续增大,到达雾顶时风向 32° ,风速为 $7 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ 。

根据高空风变化规律^[18]可知,研究时段内的雾多为在暖平流控制的天气形势下生成,风向、风速变化较小,层结稳定。

2.2 不同方式观测的部分差异雾区相对湿度垂直分布的对比

卫星监测、地面观测雾区与探空雾区有较好的一致性,但也存在部分差异,利用探空边界层资料统计,分析不同方式监测的部分差异雾区相对湿度随高度的垂直分布。

2.2.1 卫星监测 卫星和探空同时观测的雾区其对应台站相对湿度垂直分布变化特征基本相同,差异部分则略有区别。

2011年11月23日云南北部、陕西、河南南部和11月25日河南中北部、江苏北部等地卫星监测有雾,选取对应探空台站的边界层相对湿度资料进行分析,如图3(a)所示。57083、58027站地面相对湿度分别为65%、61%,56651站地面相对湿度稍大,为85%,离地后,58027站相对湿度没有太大变化,57083站相对湿度虽有增大趋势但距地200 m范围内也还是 $\leq 70\%$,56651站离地后相对湿度很快减小;随着高度变化在距地较高位置处,三站都有相对湿度较大的湿层存在,56651站在1700 m高度上有厚度为150 m、相对湿度 $>95\%$ 的湿空气层,58027站在1500 m高度上,有厚度 $>500 \text{ m}$ 、相对湿度 $\geq 89\%$ 的湿空气层;57083站在950 m高度上有厚度大于1020 m,相对湿度 $\geq 90\%$ 的湿空气层。图3中3个台站相对湿度廓线表现出共同特征,即近地层相对湿度较小,在边界层中上层存在湿层,由此可知,这些台站近地面相对湿度小,水汽含量少,不可能达到饱和状态凝结成雾,卫星监测的雾区受到距地一定高度的低云干扰。

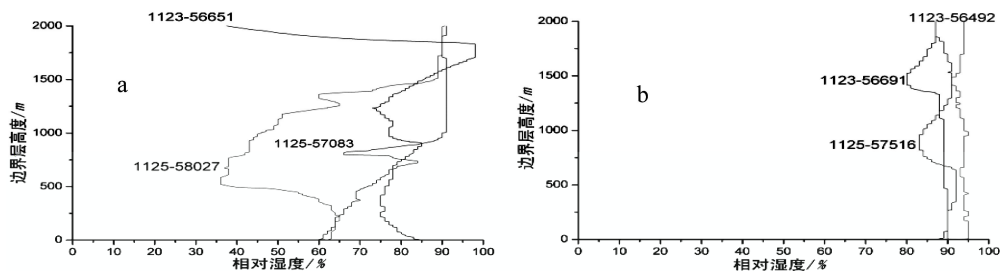


图 3 2011年11月23日~12月25日中国中东部不同方式观测的部分差异雾区边界层相对湿度垂直分布

(a) 卫星监测;(b) 地面观测

Fig.3 The vertical distribution of relative humidity in the boundary layer of partial differences in fog area of middle and eastern China from 23 Nov to 25 Dec 2011

(a) Monitored by satellite; (b) Monitored by ground observation

2.2.2 地面观测 对比六次过程探空和地面雾区发现,探空相对湿度等值线 $\geq 85\%$ 范围略大于地面观测雾区,详细分析超出区域对应台站的观测资料,如11月23日的云南东部、四川南部、贵州西部地区 and 11月25日的重庆、贵州西部等地,探空相对湿度等值线 $\geq 85\%$,但是对应的地面观测站点没有大雾现象,查看记录的地面相对湿度、能见度、天气现象等,典型情况如表2所示,56691站及周边(贵州西部地区)有降水过程,56492(四川东部)与57516(重庆)有轻雾现象,都会导致近地

面空气层相对湿度较大。如长江上游重庆段记录轻雾现象的站点较多,统计其不同能见度范围的台站数,69%的站点能见度 ≤ 3.0 km,而探空边界层相对湿度廓线数据显示此三站距地 500 m 高度内相对湿度均 $\geq 85\%$ 。

上述分析可知,雾过程监测方式各有优缺点,卫星监测易受低云干扰造成误判,高空气象探测无法剔除降水等天气干扰,雾区范围较大。

表 2 2011 年 11 月 23 日~12 月 25 日中国中东部地面观测差异雾区部分站点相对湿度、能见度、天气现象
Table 2 Humidity, visibility and weather phenomena observed by partial stations in fog area of middle and eastern China from 23 Nov to 25 Dec 2011

时间-台站号 Time-stations	相对湿度/(%) Relative humidity/(%)	能见度/(km) Visibility/(km)	天气现象 Weather phenomena
1123-56691	87	11.0	雨
1123-56492	92	2.0	轻雾
1125-57516	92	1.5	轻雾

3 结论与讨论

利用雾过程中的高空气象观测资料,分析雾区垂直方向气象要素的变化情况,结论如下:

(1) 雾区温度变化有等温、贴地逆温和低层逆温三种类型,其中贴地逆温出现次数最多,约占记录总数的52%。

(2) 雾区相对湿度变化有两种类型:等湿和相对湿度增大,其中等湿记录出现次数最多,约占记录总数的88%,统计数据说明出现雾区水汽接近均匀分布。

(3) 雾区风向随高度变化的方式主要有顺时针偏转、相对静稳(风向不变、风速为零)和先顺后逆变化,其中顺时针偏转和相对静稳出现次数约占记录总数的71%;雾区风速变化低于 $1 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ 的记录约占总数的77%,说明研究时段内的雾区多为在暖平流控制的天气形势下生成,层结稳定。

(4) 造成不同方式观测的雾区存在差异的原因:一是卫星监测的雾区容易受低云干扰造成误判,二是高空气象探测无法剔除降水等天气干扰,雾区范围过大。

文章用距地30 m的探空秒数据资料作为读取相对湿度最大值的高度范围,是在综合考虑雾区基本定义、做了大量对比分析工作的基础上用比较方法确定的,结论客观,但是否有普遍性,还有待于进一步的验证和深入研究。

参考文献

- [1] 中央气象局.地面气象观测规范[S].北京:气象出版社,2003:23-23
- [2] 吴 兑,吴晓京,李 菲,等.中国大陆1951~2005雾与轻雾的长期变化[J].热带气象学报,2011,27(2):145-151
- [3] 王丽萍,陈少勇,董安祥,等.中国雾区的分布及其季节变化[J].地理学报:英文版,2006,16(3):346-354
- [4] 刘小宁,张洪政,李庆祥,等.我国大雾的气候特征及变化初步解释[J].应用气象学报,2005,16(2):220-230
- [5] 龙先菊,梁 平,田菊萍,等.黔东南大雾气候特征[J].气象科技,2010,38(3):321-324
- [6] 贺 浩,吕 红,徐 虹.陕西省大雾的气候特征[J].高原气象,2004,23(3):407-411
- [7] 张燕光.华南沿海春季大雾的分析和预报[J].气象,1999,25(2):53-55
- [8] 蒋璐璐,魏 鸣.FY-3A卫星资料在雾监测中的应用研究[J].遥感技术与应用,2011,26(4):489-494
- [9] 张树誉.EOS-MODIS资料在陕西大雾监测中的应用[J].灾害学,2003,17(2):23-26
- [10] 杨红梅,葛润生,徐宝祥.用单站探空资料分析对流层气柱水汽总量[J].气象,1998,24(9):8-11
- [11] 周毓荃,欧建军.利用探空数据分析云垂直结构的方法及其应用研究[J].气象,2010,36(11):50-58
- [12] 李子华,黄建平,周毓荃,等.1996年南京连续五天浓雾的物理结构特征[J].气象学报,1999,57(5):622-630
- [13] 常 军,黄玉超,李素萍.鲁西南雾的统计特征[J].气象,2007,33(11):82-86
- [14] 常 军,黄玉超,李素萍,等.河南省大雾的时空分布特征及500hPa环流特点分析[J].气象,2007,33(6):82-88
- [15] 高 瑜,林巧燕.缙云大雾的时间分布特征及一次连续性大雾的分析[J].浙江气象,2011,32(3):21-23
- [16] 张宗灏,王永青.河南省大雾的时空分布特征及500hPa环流特点分析[J].气象,2007,3(6):83-87
- [17] 贺 浩,吕 红,徐 虹.陕西省大雾的气候特征[J].高原气象,2004,23(3):407-411
- [18] 卢雪琴,黄 荟,卢 雅,等.浅谈高空气象探测与天气变化规律[J].气象研究与应用,2009,30(4):97-98