

# 德庆县雾的气候特征分析和预报方法研究

赵顺怡 吴松杰 李春贵

德庆县气象局

DOI:10.32629/eep.v2i9.421

**[摘要]** 本研究利用1965~2003年德庆国家气象观测站地面大雾日数资料,用线性趋势、滑动平均等统计方法对德庆地区大雾日数的气候特征进行分析,利用NCEP/NCAR逐6小时 $1^{\circ} \times 1^{\circ}$ 全球分析场资料,对德庆雾发生时的高低空天气形势进行分类,利用逐步回归和OSR方法建立各类型雾的预报方程。结果表明:德庆县雾日数总体呈上升趋势,雾日数在1970年出现突变;年平均雾日数24d;雾主要集中在10到12月和1月;雾主要在夜间和早晨出现;雾主要分为辐射雾、平流雾和锋面雾,天气形势大致可以分为大陆高压类、高压偏东类、均压场类、高压入海类、锋面类和低压前类;辐射雾发生时相对湿度较高,气温日较差较大,88%左右的辐射雾出现时气温日较差在 $7^{\circ}\text{C}$ 以上;雾多发生在风向为NW-NNE,成雾时风速在 $3\text{m/s}$ 以下的占96.89%;对德庆县24小时能见度进行预报,辐射雾预报准确率较高,平流雾预报效果不理想,但总体而言,具有一定的准确性和客观性,辐射雾预报方程可应用于实际业务中。

**[关键词]** 德庆县;雾;预报方法;气候特征;天气形势

雾是指空气中水汽凝结形成大量悬浮的水滴,造成水平能见度小于1000m的天气现象,是一种比较常见的灾害性天气。雾对交通运输的影响很大,能见度低影响视线,很容易造成交通事故。近年来,随着高速公路的发展,因为雾引起的交通事故比例直线上升,大雾几乎成了高速公路上的头号“杀手”。大雾引发的灾害已经得到越来越多的社会关注。对此,不少气象学者对雾的气候特征和生消机理进行系统的研究<sup>[1-5]</sup>,对雾的预报方法也进行了许多的研究。何立富等<sup>[6]</sup>利用台站加密观测资料和NCEP再分析资料,对华北平原一次持续性大雾天气过程的大尺度天气背景、大雾动力和热力结构特征及其演变、辐射冷却作用等进行了计算和分析,揭示了大雾的形成和维持机制;闫敬华等<sup>[7]</sup>探索华南地区降水与雾的关系发现,华南地区降水与雾有显著的关系,有无降水反映了不同过程和类型的雾,为雾的预报提供因子;赵玉广<sup>[8]</sup>和程戴晖等<sup>[9]</sup>分别利用PP法和MOS方法研究了河北和上海雾的预报,并在实际业务中进行了效果检验。这些研究对雾的预报有一定的借鉴作用。

德庆地处广东中西部、西江中下游,地处低纬地区。初春时节,暖湿的西南气流带来丰富的水汽,与北方南下的弱冷空气交汇,德庆地区很容易出现平流雾或锋面雾。冬季在冷高压控制下,夜间地面则晴朗、微风,若下垫面比较潮湿,在强烈的辐射冷却作用下,近地层的水汽就会达到饱和凝结产生辐射雾。研究雾的生消变化和雾发生前、发生时的气象要素特点,有利于做好雾的服务预报,对德庆地区人民生活出行有重要的意义。

## 1 资料与方法

本研究利用1965~2003年德庆国家气象观测站地面大雾日数资料,用线性趋势、滑动平均等统计方法对德庆地区大雾日数的气候特征进行分析,利用NCEP/NCAR逐6小时 $1^{\circ} \times 1^{\circ}$ 全球分析场资料,对德庆雾发生时的高低空天气形势进行分类,总结出不同类型雾发生时的主要天气地面天气形势,利用逐步回归和OSR方法建立各类型雾的预报方程。按照观测规定,20:00作为1天日界。最低能见度小于1km记录为雾日;大于等于10km的记无雾;在1km到10km之间的记为轻雾。

## 2 大雾气候特征分析

### 2.1 雾日数的年际变化特征

由德庆县雾日数年际变化曲线(图1)可以看到,雾日的年际变化较大,整体呈现波动性上升趋势,回归系数为0.24,反映近49年德庆年雾日数以2.4d/10a的速度递增,其相关系数 $r=0.31$ ,通过了0.05显著性水平检验,说

明递增的趋势很显著。雾日数年平均值为24d,最高年份达50d(1995年),最少仅为3天(1969年),年最多与最少雾日数相差达16倍之多。德庆县年雾日数在20世纪60年代末明显上升,到70年代前期达到最高值,之后呈小幅波动状态,在90年代初急剧上升,在1990~2000年出现年雾日数高峰,2000年以后雾日数又呈小幅上升,2007年之后明显下降。

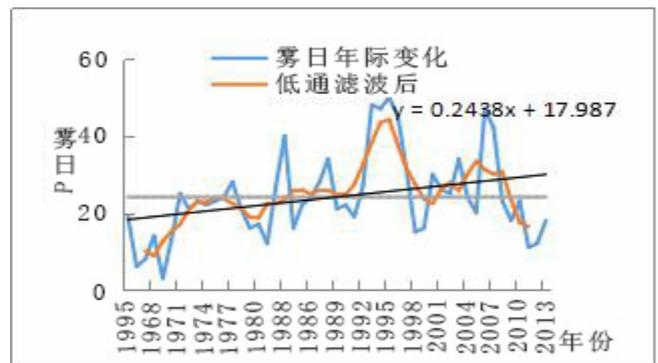


图1 德庆县雾日数年际变化曲线

### 2.2 雾日数的月和季节变化特征

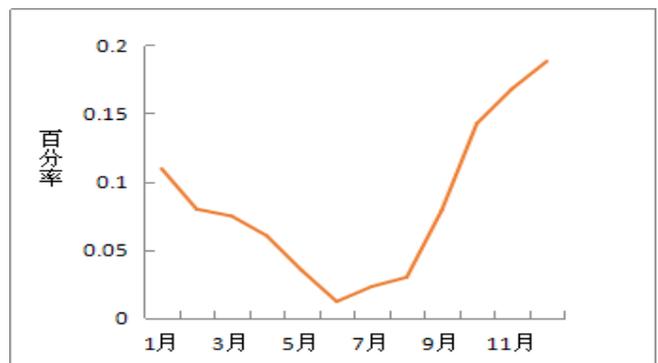


图2 德庆县1965~2003年平均各月雾日数占年平均雾日数百分率

由1965~2003年德庆县平均各月雾日数占年平均雾日数的百分率(图2)可以看出:德庆县雾在全年的分布状况是秋冬多,春夏少。每年的10-12月及1月,雾出现的频率比较高,5-8月出现一个明显的低谷,8月出现明显的上跳,进入4月后迅速减少。雾日数最多的是12月份,占全年的19%,其次是11月,占17%,6月雾日数最少,仅占1.2%。秋冬季节(9月到翌年2月)雾出

现的次数比较高,这两个季的雾日数占年雾日数的77%,而春夏两季出现的雾日数仅占年雾日数的23%。雾日数总体呈现为秋季>冬季>春季>夏季的特征。秋季(9-11月)雾发生的比例达39%,冬季(12月至翌年2月)雾发生的比例达38%,春季(3-5月)和夏季(6-8月)分别占17%和6%。

### 2.3 雾日数的日变化特征

由于德庆气象观测站夜间不记录雾的出现和结束时间,所以本文只研究白天时段(08-20h)雾的变化特征。选取2003-2013年272个白天雾日进行分析,如果一个雾日内某个小时出现雾现象,就记录该小时内雾出现一次,定义8:00-9:00为9时,以此类推。有图3可知,雾主要出现在早晨,以8:00-10:00最多,占88%。10:00以后雾明显减少,中午到傍晚时段(13:00-17:00)雾出现的概率为零,傍晚之后,雾出现的概率逐渐增加。主要原因是日出后,随着太阳高度角的升高,地面气温增温,辐射增强,蒸发加强以及湍流交换加剧,不利于雾的形成和维持;傍晚之后温度逐渐降低,湿度也逐渐变大,有利于雾的形成。

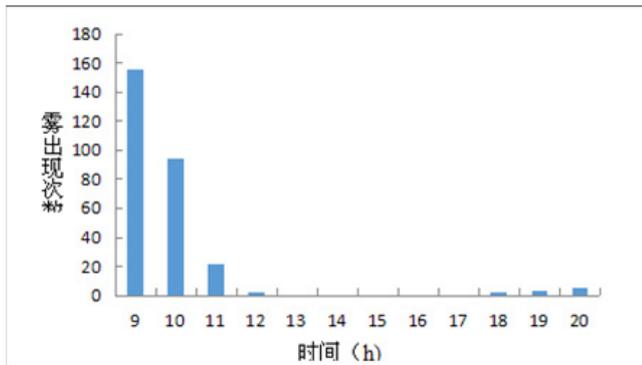


图3 德庆县1965-2003年各小时内雾出现次数

### 2.4 雾日数变化的突变检验

用Mann-Kendall对1965~2013年雾日数进行突变检验(图4),UF是雾日数顺序时间序列统计曲线,UB是雾日数逆序时间序列统计曲线,在给定显著性水平 $\alpha=0.05$ 下,临界值 $u_{0.05}=\pm 1.96$ 。由图4可以看出,雾日数的UF和UB曲线相交于1970年,交点在临界线之间,说明1970年前后出现一次突变。UF值1970年以前为负值或零,1970年以后都为正值,表明德庆年雾日数在20世纪70年代以前是呈下降趋势,但并没有超过临界值-1.96参考线,说明这种下降趋势是不明显的;70年代以后德庆年雾日数一直都是上升趋势,其中1975~1980年和1984年以后UF值 $>1.96$ ,说明在这两段时间里年雾日数的上升趋势明显。

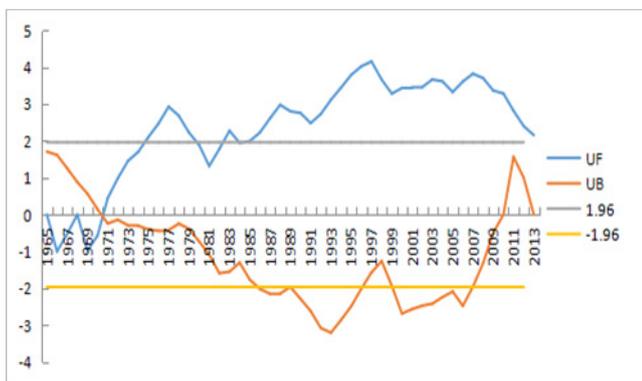


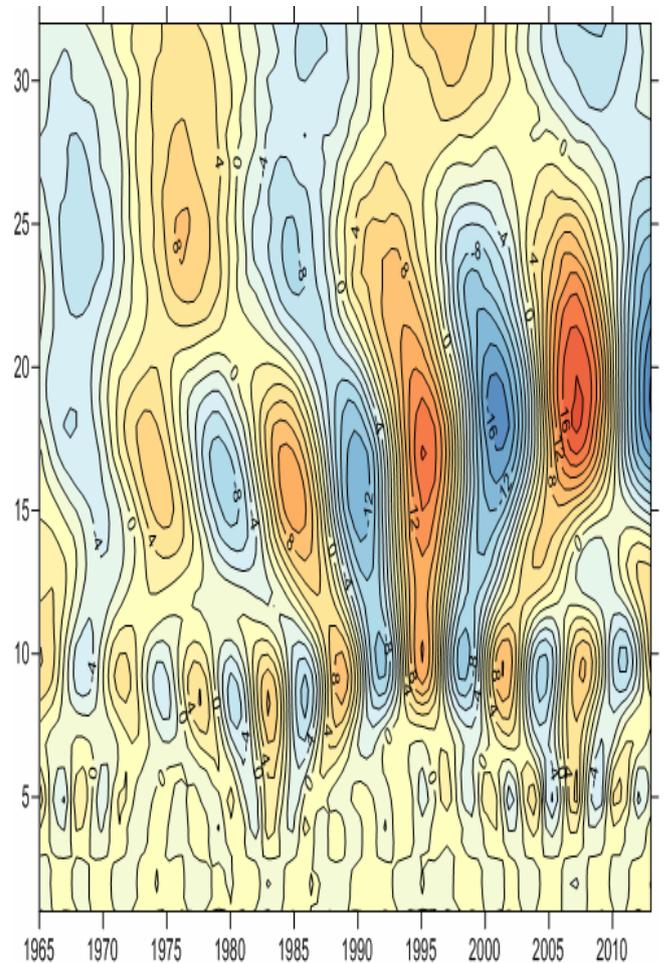
图4 德庆县雾日数Mann-Kendall检验

### 2.5 雾日数的周期变化特征

由Morlet小波系数实部分布图5可以知道,德庆雾日数正负等值线交

替出现,存在明显的年际和年代际的周期变化,即存在2~4年、4~6年、7~10年和16~20年的周期变化。

## 3 德庆雾形成的天气形势背景分析



### 3.1 德庆雾形成的天气形势背景分类

雾的产生与天气形势有密切的关系。根据天气图、地面观测站资料和雾的形成机制,对德庆2000~2013年之间的雾进行分类,主要分为辐射雾、平流雾和锋面雾。由于辐射雾的出现意味着天空状况晴好,而平流雾和锋面雾都伴有降水的产生,所以本文将锋面雾并入平流雾中一起研究。普查2000~2013年间,德庆共出现353个雾日,其中辐射雾270个,平流雾83个,由此可见德庆县雾的形成主要是辐射的原因造成的。据统计发现(图略),辐射雾和平流雾的出现有明显的季节性。辐射雾主要出现在秋冬季节,12月份以辐射雾为主,没有出现平流雾;平流雾主要出现在春夏季节。

利用NCEP/NCAR逐6小时 $1^{\circ}\times 1^{\circ}$ 全球分析场资料,对2000~2013年雾发生的前一天到当天08时地面天气形势图(用1000hpa代替)进行分析,选取雾发生的当日08时地面气压场形势进行系统背景分类,并结合高空形势进行总结。得到产生德庆县辐射雾的3种主要地面天气形势,即大陆高压类、高压偏东类、均压场类,得到产生德庆县平流雾的3种主要地面天气形势,即高压入海类、锋面类、低压前类。

## 4 德庆雾的地面气象要素特征

### 4.1 气温特征

刘小宁<sup>[10]</sup>等的研究发现大雾是局地特征十分明显的现象,其形成是由

多种天气条件 and 环境因素决定的。本研究选取2000~2013年353个德庆大雾个例资料来分析雾的气象要素特征。地面气温日较差能在一定程度上反映地面气温的辐射冷却程度,对雾的发生和维持有重要作用。通过计算德庆地区去发生雾时的地面气温日较差,结果见表1:

表1 2000~2013年德庆地区各类雾气温日较差统计

温度取值(°C)	≥10	9.0-9.9	8.0-8.9	7.0-7.9	6.0-6.9	5.0-5.9	<5
辐射雾次数	181	29	14	14	3	6	23
占辐射雾比例%	67%	10.70%	5.20%	5.20%	1.10%	2.20%	8.50%
平流雾次数	13	8	11	8	6	8	29
占平流雾比例%	15.80%	9.60%	13.30%	9.60%	7.20%	9.60%	34.90%

表1表明:绝大多数的辐射雾都是发生在地面气温日较差比较明显的情况下,也就是辐射冷却比较大的夜间到清晨,有67%的辐射雾出现在气温日较差10°C以上,88%左右的辐射雾出现时气温日较差在7°C以上。而35%左右的平流雾出现时日较差小于5°C,15%左右的平流雾出现时日较差大于10°C以上,总体地面冷却辐射作用不明显。由此可见,气温日较差对辐射雾有很好的表征作用,可以作为辐射雾出现的一个预报指标。

4.2 水汽特征

水汽是形成雾的必要条件,由于德庆地区没有高空探测站,只能研究近地层水汽,我们用地面相对湿度来表征近地层的水汽含量和饱和程度(见表2):

表2 2000~2013年德庆地区雾日相对湿度统计(表中为次数)

雾类型	时段	相对湿度(%)							合计
		≥95	90-95	85-90	80-85	75-80	70-75	<70	
辐射雾	20-08时平均	25	76	121	23	16	6	3	270
	02-08时平均	197	69	3	1	0	0	0	270
	08-14时平均	6	10	18	32	112	56	36	270
	14-20时平均	2	5	12	29	31	66	125	270
平流雾	20-08时平均	26	31	18	5	3	0	0	83
	02-08时平均	53	22	7	1	0	0	0	83
	08-14时平均	31	36	10	4	1	1	0	83
	14-20时平均	20	28	15	13	5	1	1	83

表2表明:辐射雾出现时,02时到08时的平均相对湿度在90%以上的占辐射雾出现总次数的99%。夜间到早晨(20时至08时)有明显的增湿过程,白天段(8时至20时)相对湿度明显减小。根据雾的日变化特征可以知道,最有利辐射雾消散的时间段是14时到20时,这个时段的平均相对湿度将至85%以下,占94%。一天中任意时段都可能出现平流雾,平流雾的出现没有相对固定的时段。统计表明平流雾出现时日平均相对湿度在80%以上的,占91%。

4.3 风场特征

从表3可以知道:德庆雾发生时日平均风力都在5m/s以下,说明风速过大时,湍流混合层增厚,促使上层空气的热量向下传输,妨碍近地层冷却,不利于雾的形成。风速在3m/s以下的占96.89%,风速在1~2m/s风速段出现次数较为稳定,说明了适宜的风力能使冷却作用扩展至适当的气层中去,同时又不阻碍下层空气的充分冷却和水汽的保存,因此有利于雾的形成。风速大于等于4m/s而形成的雾与热带气旋有关,在南海的东南海域上有热带气旋的存在。从风向(图12)分布图可以知道,雾发生时各个方向的风都

有,但无论是辐射雾还是平流雾都是以NW-NNE风为主。

表3 2000~2013年德庆地区雾日地面风速统计

日平均风力(m/s)	0~1	1~2	2~3	3~4	4~5	>5
出现次数(次)	95	171	76	8	3	0
频率(%)	26.92	48.44	21.53	2.26	0.85	0

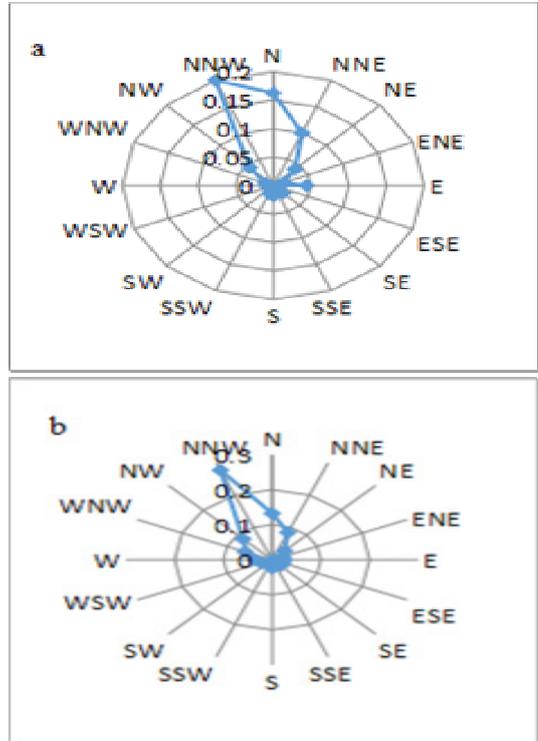


图12 德庆地区2000~2013年雾次频率与风向的关系 (a为辐射雾风向; b为平流雾风向)

5 德庆雾的预报方法

5.1 相关因子分析

雾形成的一般条件有水汽、稳定层结及冷却条件<sup>[11-12]</sup>。本文选取气温、相对湿度、海平面气压、温度露点差、露点、10分钟平均风速、水汽压等地面物理要素作为因子群,以日最小能见度作为预报对象。由于气象要素因子是雾生成的前提条件,所以因子的选取时间要比预报对象提前了24小时。采用‘两段筛选’的思路,先用逐步回归的方法对地面因子进行初步的筛选,取信度值为0.1时,辐射雾通过检验得到8个相关因子;平流雾得到6个相关因子。然后对用逐步回归方法筛选出来的因子用OSR方法进行再次筛选,得到雾与地面要素相关性明显的关键因子,其中辐射雾得到6个关键因子,平流雾得到3个关键因子。

5.2 预报方程的建立及效果检验

根据以上分析,用OSR筛选出来的因子建立雾的最优子集回归预报方程,辐射雾与平流雾的检验统计量及预报方程系数见表4和表5。辐射雾统计量 $F=7.32 > F_{0.05}=2.32$ ,因此,辐射雾最优子集回归方程在显著性水平 $=0.05$ 上具有显著性。平流雾统计量 $F=9.44 > F_{0.05}=2.81$ ,因此,平流雾最优子集回归方程在显著性水平 $=0.05$ 上具有显著性。

表4 雾最优子集回归方程的检验统计量

月份	复相关系数R	均方根误差 RMSE	回归平方和 U	残差平方和 Q	方差检验 F	F <sub>0.05</sub>
辐射雾	0.71	68.91	232838.3	227947.9	7.32	2.32
平流雾	0.62	69.08	140984.1	229090.2	9.44	2.81

表5 最优子集回归方程系数

回归项	辐射雾	平流雾
a0	410.36	326.11
a1	1.986	6.16
a2	-5.1	22.314
a3	7.65	-2.114
a4	3.077	/
a5	-12.78	/
a6	2.447	/

因子意义: 辐射雾x1: 地面风速; x2: 气温; x3: 相对湿度; x4: 低云量; x5: 高温; x6: 露点。平流雾: x1: 相对湿度; x2: 风向; x3: 气温。

根据以上建立的最优子集回归方程, 对2013年共365天进行雾的预报检验效果。检验结果表明(表略): 2013年出现了14天辐射雾, 出现了8次准确预报, 2次基本准确预报, 2次漏报, 2次空报。4天平流雾中的预报中, 2次基本准确预报, 1次漏报, 1次空报。就出现的雾日来看, 辐射雾的预报准确率达71.4%。平流雾的沿霸准确率达50%。根据预报公式算出来的能见度数值相对偏大, 对实况能见度小于10km可以考虑为轻雾进行检验。2013年除去雾日, 一共有201天轻雾, 用辐射雾公式进行检验, 得到结果: 166次准确预报出轻雾, 16次出现空报, 15次出现漏报, 准确率达82.5%; 用平流雾公式检验, 得到结果: 112次准确预报, 36次空报, 52次漏报, 准确率达55.7%。有可见, 辐射雾公式比平流雾公式预报轻雾效果好。

## 6 结束语

(1) 1965~2003年德庆县雾日数总体呈上升趋势, 雾日数在1970年出现突变; 年平均雾日数24d; 雾多发生在秋季, 其次是冬季和春季; 出现雾日数最多的是12月份, 最少的是6月份; 雾主要在夜间和早晨出现, 白天随着辐射加强雾逐渐消散。

(2) 德庆县主要分为辐射雾、平流雾和锋面雾, 天气形势大致可以分为大陆高压类、高压偏东类、均压场类、高压入海类、锋面类和低压前类。

(3) 德庆县辐射雾发生在气温日较差比较明显的情况下, 88%左右的辐

射雾出现时气温日较差在7℃以上, 冷却辐射条件对平流雾没有明显的作用; 雾多发生在风向为NW-NNE, 成雾时风速在3m/s以下的占96.89%; 雾出现时, 地面层相对湿度都较高。

(4) 利用逐步回归和OSR方法对德庆县24小时能见度进行预报, 辐射雾准确率较高, 平流雾预报效果不理想, 但总体而言, 具有一定的准确性和客观性, 辐射雾预报方程可应用于实际业务中。

## [参考文献]

- [1]高红燕, 贺音, 王丹, 等. 近50年西安市雾时间的变化趋势及可能原因[J]. 高原气象, 2013, 32(6): 1739-1746.
- [2]陈慧闲. 近10年佛山市大气能见度变化特征及气象影响因子[J]. 广东气象, 2011, 33(1): 32-34.
- [3]朱云凤, 刘杰, 陈雄飞, 等. 海州湾雾的天气分型及其消散预报[C]//第九届长三角气象科技论坛论文集, 2012.
- [4]叶树春, 梁域, 胡淑娟, 等. 云浮地区大雾天气的成因分析及预报[J]. 广东气象, 2012, 34(3): 29-31.
- [5]何友江, 朱彬, 马力. 重庆市冬季雾生消的物理特征[J]. 南京气象学院学报, 2003, 26(2): 821-828.
- [6]何立富, 陈涛, 毛卫星, 等. 华北平原一次持续性大雾过程的成因分析[J]. 热带气象学报, 2006, 22(4): 340-350.
- [7]闫敬华, 徐建平. 华南地区降水与雾的关系初探[J]. 广东气象, 2011, 23(2): 19-20.
- [8]赵玉广, 李江波, 康锡言. 用PP方法做河北省雾的分县预报[J]. 气象, 2004, 30(6): 43-47.
- [9]程戴晖, 杨美川. 上海浦西地区雾持续时间的统计释用预报[J]. 气象, 2001, 27(7): 16-20.
- [10]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.
- [11]杨凤群, 林苗青, 翁武坤, 等. 近35年南澳岛大雾气候特征和地面要素分析[J]. 广东气象, 2011, 33(5): 33-35.
- [12]陈荣泉, 彭端, 赖燕冰, 等. 基于Logistic回归的肇庆市区雾天气的预报模型[J]. 广东气象, 2019, 41(2): 19-23.