

张庆奎, 项阳, 王莹, 等. 安徽阜阳市大雾天气的潜势预报方法[J]. 干旱气象, 2015, 33(6): 1045–1049. [ZHANG Qingkui, XIANG Yang, WANG Ying, et al. Research on the Method of Fog Potential Forecast in Fuyang of Anhui[J]. Journal of Arid Meteorology, 2015, 33(6): 1045–1049], doi: 10.11755/j.issn.1006-7639(2015)-06-1045

# 安徽阜阳市大雾天气的潜势预报方法

张庆奎, 项阳, 王莹, 王璐, 卢春婷

(安徽省阜阳市气象局, 安徽 阜阳 236000)

**摘要:** 利用2002~2011年安徽阜阳市逐日地面、高空观测资料和NCEP/NCAR FNL再分析资料, 分析大雾发生时各预报因子的分布特征, 确定预报因子的阈值及消空指标, 建立基于PP法思想和指标叠套方法的阜阳市大雾天气潜势预报模型。通过2013~2014年逐日业务化运行检验, 基于EC细网格数值预报产品的大雾天气潜势预报模型取得了较好的预报效果, 其TS评分为0.49、准确率为0.91, 说明该模型具有较好业务应用价值。

**关键词:** 大雾; PP法; 指标叠套法; 潜势预报

文章编号: 1006-7639(2015)-06-1045-05 doi: 10.11755/j.issn.1006-7639(2015)-06-1045

中图分类号: P456

文献标识码: A

## 引言

大雾是指大量微小水滴浮游空中, 使水平能见度 $<1\text{ km}$ 的灾害性天气<sup>[1]</sup>。大雾不仅对陆上、水面及空中交通产生极其严重的危害, 而且对生态环境、社会生产和人类健康都有不利影响<sup>[2-6]</sup>, 其造成的经济损失越来越大。因此, 如何更准确地预报大雾天气的发生、发展, 成为各级气象部门预报业务上的重点和难点。当前大雾预报在业务上主要有天气学方法、统计预报方法和数值预报统计释用方法, 大雾数值模式目前尚未达到业务应用阶段<sup>[7]</sup>。天气学方法主要依靠前期的天气状况、数值预报形势和要素预报结果以及预报员的预报经验, 综合研判未来是否有大雾, 其预报的准确性和稳定性较差<sup>[8-9]</sup>。统计预报方法主要依据大雾与前期实况因子之间的统计关系建立预报模型。随着一些新的统计方法的引入, 雾的预报准确率虽有所提高, 但该方法缺乏对大雾物理过程发展的描述, 因此预报时效较短<sup>[10-14]</sup>。数值预报统计释用方法是通过确定与大雾相关性较好的预报因子, 利用统计模型建立预报方程, 然后将数值预报输出的预报因子带入预报方程对大雾的发生开展预测。由于所用预报因子的物理意义明确, 且准确性较高, 因此成为当前业务应用

中最广泛采用的大雾客观预报方法<sup>[15-19]</sup>。近年来, 尽管数值预报精细化程度和准确性不断提升, 但由于数值模式本身更新或升级较为频繁, 如何有效、稳定地应用数值预报产品开展大雾天气统计释用工作, 目前一直是业务上迫切需要解决的问题。

阜阳市位于安徽省西北部, 属暖温带半湿润季风气候, 由大雾天气引发的交通事故和生态环境问题频繁发生, 故而大雾如同霾一样受到高度关注。以往关于此地区的大雾研究主要侧重于天气气候特征<sup>[20-22]</sup>, 而对于大雾天气预报方法的研究并不多见。为此, 本文首先给出与大雾关系较好的预报因子, 其次统计分析大雾发生时各预报因子的分布特征, 确定预报因子的阈值和消空指标, 最后基于PP法(Perfect Prognosis Method)建模思想, 采用指标叠套法, 利用EC(European Centre for Medium-Range Weather Forecasts)细网格数值预报产品开展未来24 h大雾天气预报研究, 旨在进一步提高大雾天气的预报预测水平, 为防御该地区大雾天气提供有效的技术手段。

## 1 资料与方法

### 1.1 资料来源

使用的资料主要包括: (1) 阜阳市2002~2011

收稿日期: 2015-01-04; 改回日期: 2015-02-03

基金项目: 安徽省气象局预报员专项(KY201306)和阜阳市社科规划课题(FSK2014023)共同资助

作者简介: 张庆奎, 工程师, 主要从事天气气候统计分析与预报. E-mail: zhangqk1981@qq.com

年逐日大雾、气温、相对湿度和风速的地面观测资料; (2) 阜阳市 2002 ~ 2011 年逐日气温和相对湿度的高空观测资料; (3) 每 6 h 一次的 NCEP/NCAR FNL 再分析资料(  $1^\circ \times 1^\circ$  ) 来弥补 02 时( 北京时, 下同) 无高空资料的空缺; (4) 逐日 20 时起报的 EC 细网格数值预报产品(  $0.25^\circ \times 0.25^\circ$  ), 时间间隔为 3 h。基于该产品建立的大雾天气潜势预报模型目前已实现业务化运行, 每日 06 时输出前日 20 时起报的 08 时至次日 08 时( 12 ~ 36 h ) 大雾天气潜势预报。

## 1.2 建模思想及方法

PP 法建模思想由美国气象学者克莱因 1950 年代末提出<sup>[23-24]</sup>, 该思想首先用历史资料中与预报对象同时的实际气象参量作预报因子, 建立统计方程, 之后在假定数值预报结果“完全正确”的前提下, 用数值预报输出值代入到上述统计方程中, 就可得到与预报时刻相对应的预报值, 这种建模思想称为完全预报法。它的优点在于, 统计分析结果基于很长的观测样本数据, 因此得出的统计规律一般比较稳定可靠, 可以分为很细的情况来建立方程, 同时方程不依赖模式, 模式更新换代后也不需要重新推导方程, 可长久使用。

指标叠套法是用来做灾害性天气落区预报的一种方法, 其物理意义清楚。它首先通过分析灾害性天气关联性好的预报因子, 然后确定预报因子的阈值得到预报指标, 最后将预报指标叠套, 预报指标共同围成的区域即为灾害性天气落区。此方法在强对流天气预报中已得到较多的应用, 并取得较好的预报效果<sup>[25-26]</sup>。该方法通过统计分析, 确定预报因子  $X_i$  阈值, 当某个预报因子超过阈值时, 潜势指数取 1, 若达不到阈值则取 0, 当有  $n$  个因子达到阈值时, 则  $Y = n$ , 其基本表达式为:

$$Y = X_1 + X_2 + X_3 + \cdots + X_{n-1} + X_n \quad (1)$$

大雾天气潜势预报的空报率(  $FAR$  )、漏报率(  $PO$  )、 $TS$  评分和准确率(  $PC$  ) 的计算如下:

$$\begin{cases} FAR = \frac{NB}{NA + NB} \times 100\% \\ PO = \frac{NC}{NA + NC} \times 100\% \\ TS = \frac{NA}{NA + NB + NC} \times 100\% \\ PC = \frac{NA + ND}{NA + NB + NC + ND} \times 100\% \end{cases} \quad (2)$$

式中,  $NA$  为有雾预报正确站( 次) 数,  $NB$  为空报站( 次) 数,  $NC$  为漏报站( 次) 数,  $ND$  为无大雾预报正确的站( 次) 数。

## 2 阜阳市大雾天气潜势预报

### 2.1 预报因子选取

预报因子的选取是大雾预报的关键, 通过参考以往阜阳市大雾天气气候特征的研究成果, 结合数值预报产品类型, 最终确定地面相对湿度、1 000 hPa 相对湿度、500 hPa 相对湿度、地面与 1 000 hPa 温差、地面与 925 hPa 温差及地面风速共 6 个气象因子作为大雾预报因子。为获取上述各预报因子的阈值, 将对大雾发生时各预报因子累积频率的分布特征进行分析。地面饱和空气是大雾发生最重要的条件。通过统计大雾发生时地面相对湿度累积分布特征可知( 图 1a ), 阜阳市约 50% 的大雾发生在地面相对湿度  $\geq 95\%$  的情况下, 70% 的大雾发生时相对湿度  $\geq 93\%$ , 当相对湿度  $< 90\%$  时大雾分布频率明显减少, 而相对湿度  $< 85\%$  时大雾发生概率极小。因此, 地面相对湿度选取 0.1 分位为阈值, 即地面相对湿度阈值确定为  $\geq 90\%$ 。

从大雾发生时 1 000 hPa 相对湿度累积分布情况可以看出( 图 1b ), 二者的关系近乎线性。大雾发生时, 1 000 hPa 相对湿度也较高, 其中约 50% 的大雾发生时近地层 1 000 hPa 的相对湿度  $\geq 83\%$ , 约 70% 的大雾发生时的相对湿度  $\geq 75\%$ , 很少有大雾在相对湿度  $< 68\%$  时发生, 说明大雾发生时近地面层有一定厚度的高湿度层。所以, 确定 1 000 hPa 相对湿度的阈值在 0.1 分位, 为  $\geq 68\%$ 。

500 hPa 相对湿度的累积频率分布情况显示( 图 1c ), 大雾发生时 500 hPa 上的相对湿度较低。其中, 50% 的大雾发生时对流层中层 500 hPa 的相对湿度  $\leq 30\%$ , 70% 的大雾发生时的相对湿度  $\leq 55\%$ , 当相对湿度  $> 85\%$  时, 大雾很少发生。综合图 1b 和图 1c 可知, 这种相对“上干下湿”的大气结构不易造成高空云量的增加, 有利于地面的辐射降温, 进而促进逆温层结的建立。故同样确定 500 hPa 相对湿度阈值在 0.1 分位, 为  $\leq 85\%$ 。

从图 1d 和图 1e 统计情况来看, 大雾天气几乎必然伴随着地面至边界层逆温的出现, 且大多数逆温出现在地面至 1 000 hPa 之间。地面和 1 000 hPa 温差分布( 图 1d ) 显示, 逆温较集中地出现在  $-4 \sim 0^\circ\text{C}$  之间, 逆温  $< -4^\circ\text{C}$  仅占 20%, 而大雾发生时未出现逆温的概率  $< 10\%$ 。说明多数雾都是在较弱的逆温层结下产生的, 这也与大部分辐射雾持续时间较短的观测事实相符合, 即弱的逆温层结在日出后很容易打破, 随之大雾也很快消散, 因此取地面与 1 000 hPa 逆温的阈

值也在0.1分位,为 $\leq 0^{\circ}\text{C}$ 。另外还发现,当地面与1000 hPa温差 $< -2^{\circ}\text{C}$ 时(0.5分位),地面与925 hPa之间的逆温频率明显上升,因此地面与925 hPa逆温阈值取0.5分位处(图1e),即为 $\leq 0^{\circ}\text{C}$ ,说明有较明显逆温产生时,其逆温层的厚度会随之增厚。

风速也是影响大雾生成的一个重要因子。根据大雾发生时的风速累积频率分布可知(图1f),50%的大雾发生在风速 $\leq 1.7\text{ m/s}$ 的情况下,70%的大雾情况下风速 $\leq 2.2\text{ m/s}$ ,而当风速 $> 3.3\text{ m/s}$ 时出现大雾的频率极低。所以确定0.1分位,即风速 $\leq 3.3\text{ m/s}$ 为阈值。

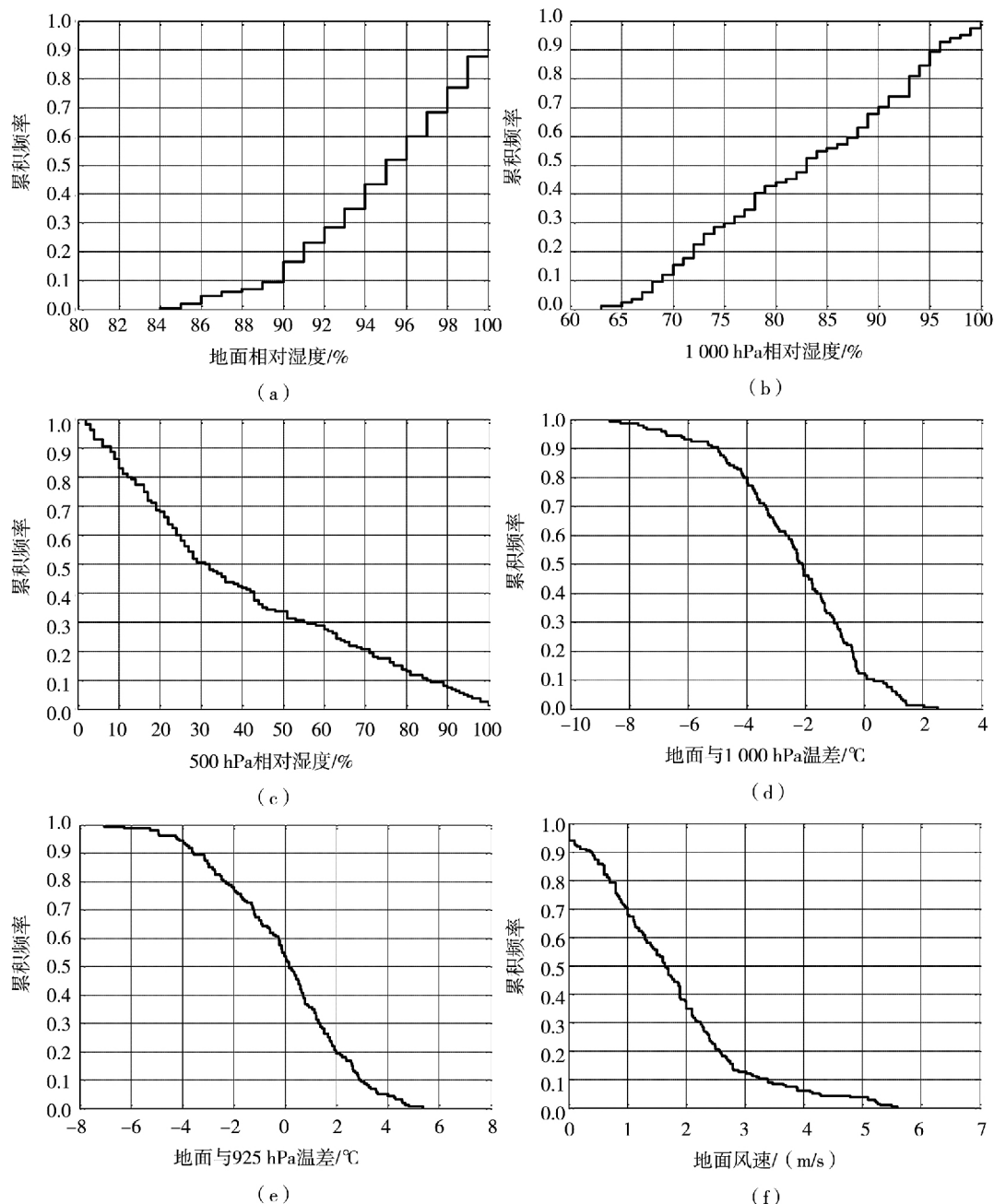


图1 2002~2011年大雾发生时各预报因子累积频率分布

(a) 地面相对湿度; (b) 1000 hPa 相对湿度; (c) 500 hPa 相对湿度;  
(d) 地面与1000 hPa 温差; (e) 地面与925 hPa 温差; (f) 地面风速

Fig. 1 The distribution of cumulative frequency of prediction factors during fog appearance from 2002 to 2011

(a) surface relative humidity, (b) 1000 hPa relative humidity, (c) 500 hPa relative humidity, (d) the temperature difference between surface and 1000 hPa, (e) the temperature difference between surface and 925 hPa, (f) 10 m wind speed

综上所述,除地面与 925 hPa 逆温取 0.5 分位值为阈值外,其他 5 个因子均取 0.1 分位值为阈值,即地面相对湿度  $\geq 90\%$ 、1 000 hPa 相对湿度  $\geq 68\%$ 、500 hPa 相对湿度  $\leq 85\%$ 、地面与 1 000 hPa 温差  $\leq 0^\circ\text{C}$ 、地面与 925 hPa 温差  $\leq 0^\circ\text{C}$ 、地面风速  $\leq 3.3\text{ m/s}$ 。消空指标方面,考虑最新观测规范的调整,确定当地面相对湿度  $< 85\%$  时不考虑大雾发生,同时为进一步区分雾与降水对能见度的影响,还确定当 500 hPa 相对湿度  $> 85\%$  时也不考虑大雾。

## 2.2 预报流程及模型建立

### 2.2.1 预报流程

利用程序读取数值预报产品,计算出上述 6 个预报因子,首先做消空指标判断,若满足消空指标即退出计算模型,若不满足则将预报因子带入大雾天气潜势预报模型进行计算,最终输出大雾天气潜势预报产品,预报流程见图 2。

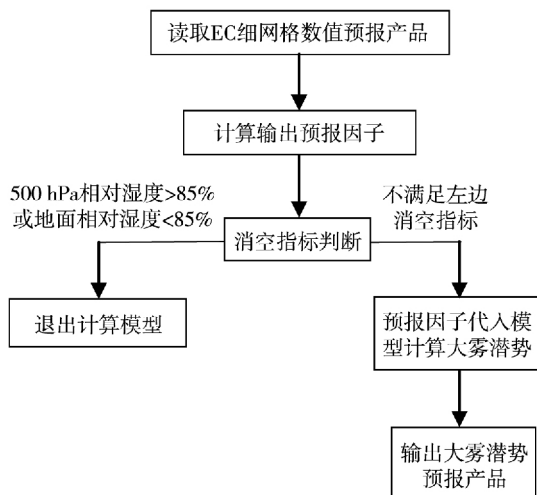


图2 阜阳市大雾天气潜势预报流程

Fig. 2 The flow chart of fog potential prediction in Fuyang of Anhui

### 2.2.2 模型建立

根据前面指标叠套计算方法,阜阳市大雾潜势预报模型可表示为:

$$Y = X_1 + X_2 + X_3 + X_4 + X_5 + X_6 \quad (3)$$

当 6 个预报因子均达到阈值时,  $Y$  值最大为 6, 说明 6 个预报因子都进入大雾发生时出现频率较高的区间, 大雾天气潜势预报  $Y$  最小值为 0。统计 2002 ~ 2011 年历史回报结果, 当 1 个时刻预报值  $Y \geq 4$  或连续 2 个时刻预报值  $Y \geq 3$  时, 认为会出现大雾。

## 2.3 效果检验及误差分析

### 2.3.1 效果检验

取 2002 ~ 2011 年和 2013 ~ 2014 年阜阳市逐日

20 时起报的 08 时至次日 08 时(12 ~ 36 h) 逐 3 h 间隔的大雾天气潜势预报产品, 若有 1 个时刻预报值  $Y \geq 4$  或连续 2 个时刻预报值  $Y \geq 3$  则确认为 1 个大雾日, 然后将大雾预报结果和与实况进行对比检验(表 1)。其中 2002 ~ 2011 年为回报检验, 2013 ~ 2014 年为实际业务化运行检验。由表 1 可以看出, 2002 ~ 2011 年回报的空报率为 0.28, 漏报率为 0.24,  $TS$  评分为 0.59, 准确率为 0.94, 说明该模型可以较好地地区分雾日和非雾日。2013 ~ 2014 年逐日业务化大雾天气潜势预报检验情况显示, 空报率为 0.38, 漏报率为 0.30,  $TS$  评分为 0.49, 准确率为 0.91。尽管实际业务检验的准确性较回报有所下降, 但总体来说大雾天气潜势预报产品在实际预报中仍具有较好参考和使用价值。

表1 阜阳市大雾天气潜势回报  
及实际业务预报检验

Tab. 1 The test of potential re - prediction  
and prediction of fog in Fuyang of Anhui

	空报率	漏报率	$TS$ 评分	准确率
2002 ~ 2011 年回报	0.28	0.24	0.59	0.94
2013 年	0.38	0.29	0.49	0.91
2014 年	0.39	0.31	0.48	0.90
2013 ~ 2014 年平均	0.38	0.30	0.49	0.91

### 2.3.2 误差分析

通过对检验情况的进一步分析发现, 大雾空报时往往该日前期能见度较好, 尽管后期气象条件有利于大雾的发生, 但能见度都维持在 1 km 以上; 而大多数漏报主要发生在降水间歇期, 由于降水期间地面湿度条件好, 能见度往往较差, 一旦降水停止, 在适当条件下将会发生大雾。所以, 在实际预报中应综合考虑前期实况和模型预测结果之间的协同情况。总体而言, 无论是空报或是漏报, 其核心原因是预报因子中缺乏反映大雾微物理过程的因子, 而这需要大雾数值模式产品的支持, 因此随着未来大雾数值模式的业务化, 基于大雾数值模式的统计释用模型将会取得更好的预报效果。

## 3 结论与讨论

(1) 随着数值预报精细化程度和准确性不断提升, 为避免数值模式本身更新或升级给建模所带来的不利影响, 基于 PP 法思想和指标叠套法的大雾天气潜势预报模型是可行的, 且该模型逻辑清楚、计

算简单, 具有较好的适用性。

(2) 应用累积频率方法, 确定大雾发生时各预报因子累积分布频率0.1分位值(除地面与925 hPa温差预报因子外)为预报因子的判定阈值, 并给定消空指标。

(3) 2013~2014年逐日实际业务运行检验显示, 基于EC细网格数值预报的大雾天气潜势预报产品有较好的预报效果, 其TS评分为0.49, 准确率则为0.91, 具有较高业务应用价值。

(4) 误差分析显示, 造成空报和漏报的核心原因是缺乏反映大雾微物理过程的预报因子; 另外在分析夜间因子时部分使用NCEP/NCAR FNL再分析资料, 其数值和实况有一定的差异, 这对模型的准确性也有一定影响。因此, 随着方案的改进和数值预报产品准确性的提高, 尤其是在未来大雾数值模式的业务化应用, 预期大雾预报的准确性将会进一步提升。

#### 参考文献:

- [1] 中国气象局. 地面气象观测规范[M]. 北京: 气象出版社, 2003. 21-23.
- [2] 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.
- [3] 钱莉, 安颖颖, 赵德强. 乌鞘岭高速公路路段多发交通事故的气象条件分析[J]. 干旱气象, 2014, 32(2): 286-291.
- [4] 孙奕敏. 灾害性浓雾[M]. 北京: 气象出版社, 1994. 67-71.
- [5] 苗爱梅, 李苗, 王洪霞. 一次持续性雾霾天气过程的阶段性特征及影响因子分析[J]. 干旱气象, 2014, 32(6): 947-953.
- [6] 邵振平. 郑州机场能见度变化特征及雾的成因分析[J]. 气象与环境科学, 2014, 37(1): 75-82.
- [7] 冯蕾, 田华. 国内外雾预报技术研究进展[J]. 南京信息工程大学学报(自然科学版), 2014, 6(1): 74-81.
- [8] 马晓刚, 罗思维, 舒海燕, 等. 中国典型大雾落区基本概念模型的研究与建立[J]. 气象与环境学报, 2013, 29(1): 62-67.
- [9] 景学义, 张雪梅, 兰博文. 哈尔滨市雾的特征分析及预报指标研究[J]. 自然灾害学报, 2005, 14(2): 47-49.
- [10] 黄健, 黄辉军, 黄敏辉, 等. 广东沿海海雾决策树预报模型[J]. 应用气象学报, 2011, 22(1): 107-114.
- [11] 李才媛, 韦惠红, 邓红. SVM方法在武汉市大雾预警预报中的应用[J]. 暴雨灾害, 2008, 27(3): 264-267.
- [12] 常军, 李素萍, 李祯, 等. CAR和SVM方法在郑州冬半年大雾气候趋势预测中的试用[J]. 气象与环境科学, 2008, 31(1): 16-19.
- [13] 陈贝, 徐洪刚, 王明天, 等. 成乐高速公路大雾预报方法研究[J]. 高原山地气象研究, 2012, 32(2): 70-76.
- [14] 王彦磊, 曹炳伟, 黄兵, 等. 基于神经网络的单站雾预报试验[J]. 应用气象学报, 2010, 21(1): 110-114.
- [15] 黄辉军, 黄健, 刘春霞, 等. 用GRAPES模式输出变量因子作广东沿海海雾预报[J]. 热带气象学报, 2010, 26(1): 31-39.
- [16] 李法然, 周之栩, 陈卫锋. 湖州市大雾天气的成因分析及预报研究[J]. 应用气象学报, 2005, 16(6): 794-803.
- [17] 陈晓红, 方翀. 安徽省县级大雾预报业务系统[J]. 气象, 2005, 31(4): 61-64.
- [18] 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.
- [19] 贺皓, 姜创业, 徐旭然. 利用MM5模式输出产品制作雾的客观预报[J]. 气象, 2002, 28(9): 41-43.
- [20] 卢春婷, 张庆奎, 张录军, 等. 阜阳市雾日气候特征及变化趋势分析[J]. 自然灾害学报, 2014, 23(3): 144-151.
- [21] 路传彬, 陈娟, 尉传阳, 等. 一次皖北大雾的高空气象特征分析[J]. 中国农学通报, 2013, 29(29): 195-200.
- [22] 陶寅, 王胜, 田红, 等. 安徽省大雾时空分布特征及其发生的气象条件[J]. 地理科学, 2012, 32(3): 374-379.
- [23] Klein W H, Lewis F. Computer forecasts of maximum and minimum temperatures[J]. Appl Meteor, 1970, 9(9): 350-359.
- [24] 薛志磊, 张书余. 气温预报方法研究及其应用进展综述[J]. 干旱气象, 2012, 30(3): 451-459.
- [25] 翟菁, 周后福, 张建军, 等. 基于指标叠套法的安徽省强对流天气潜势预警研究[J]. 气象与环境学报, 2011, 27(2): 1-7.
- [26] 郝莹, 姚叶青, 陈焱, 等. 基于对流参数的雷暴潜势预报研究[J]. 气象, 2007, 33(1): 51-56.

## Research on the Method of Fog Potential Forecast in Fuyang of Anhui

ZHANG Qingkui, XIANG Yang, WANG Ying, WANG Lu, LU Chunting

(Fuyang Meteorological Bureau of Anhui, Fuyang 236000, China)

**Abstract:** Based on the daily surface observation data, sounding data and NCEP/NCAR FNL reanalysis data during 2002-2014, the distribution characteristics of meteorological factors during fog appearance were analyzed in Fuyang of Anhui. Then the six forecast factors were selected, and their thresholds and negative indexes were determined by the cumulative frequency method. On this basis that the potential forecast model of fog in Fuyang of Anhui was built by Perfect Prognosis and index overlap methods based on the fine mesh numerical products of European Centre for Medium-Range Weather Forecasts (EC). The assessment of fog potential forecast during 2013-2014 showed that the forecast model had obtained a good forecast effect with the threat score rate of 0.49, the accuracy rate of 0.91, the false rate of 0.38 and the fail rate of 0.30. Therefore, this model was worthy of application in fog potential forecast.

**Key words:** fog; Perfect Prognosis method; index overlap method; potential forecast