

上海浦西地区雾持续时间的统计释用预报^①

程戴晖 杨美川

(上海市气象科学研究所, 200030)

提 要

在上海浦西地区雾持续时间释用预报(PPM)的结果分析和中尺度数值预报资料基础上,应用模式输出统计(MOS)方法,构造了与上海地区成雾条件和雾的维持有一定关系的数值预报要素组成的预报因子,并进行逐步回归分析,建立了雾持续时间的统计释用预报方程。同时,提出了在小样本情况下应用交互验证分析法时克服因子不稳定的一种方法,研制了雾时业务预报的统计释用集成方案,并进行了对比分析。结果表明,统计释用预报集成方案较完全预报(PPM)的结果有明显改进,可供业务试用。

关键词: 雾持续时间 统计释用预报 PPM MOS

引 言

随着大都市经济和城市建设的发展,大雾对人民生活、交通运输和经济活动等的影响也愈益显著。而近年来上海出现的大雾天气也愈益频繁,上海市政府十分关注和重视气象业务部门对雾的监测预报工作。在90年代后期,为了加强上海中心气象台对雾的监测预报能力,在市政府支持下初步建立了具有国际先进水平的能见度自动监测站网,并研制了与其配套的预报服务系统,其中包括成雾概率,能见度和雾持续时间(以下简称雾时)的客观预报方案。在文献[1]中我们已按完全预报原理(PPM)研制了雾时的释用预报方程,但由于PPM方法未考虑数值预报的系统误差,在数值预报准确性不够稳定的情况下解释应用于雾时预报方程的性能也大受其影响。为此,我们在对1998年11月至1999年4月用PPM法作雾时业务预报过程中积累的中尺度数值预报输出产品基础上,用模式输出统计(MOS)方法建立了预报日17时(北京时,下同)至次日17时的雾时统计释用预报方案。

1 样本组成和因子构造

根据1998年11月至1999年4月(上海雾季)积累的上海中尺度数值预报系统^[2](以下简称SLAM5)输出的上海龙华(以下简称本站)数值预报资料,取79个样本。以雾时作预报量,既可用以预报雾的持续时间,同时亦可作成雾与否的定性预报,因此在79个样本中包括了35个无雾的样本。

基于形成和维持雾的物理因素,我们按照以下4种类别构造待选因子:

(1)根据SLAM5输出的各时次本站地面要素(如气温、气压、风向、风速、相对湿度、温度露点差、经/纬向风速分量等)组成104个待选预报因子;

(2)对模式输出各时次预报要素进行组合,构成本站气象要素的变化倾向值,如3h、12h、24h的变温、变压、风速分量变化值、相对湿度变化值、温度露点差变化值和24h累积雨量等组成的101个待选预报因子;

(3)近地层(925hPa和1000hPa层)各时次的气温、露点温度、 U 、 V 风速分量等组成104个待选预报因子;

^① 本文系“上海市雾的监测、预报、服务系统”建设项目的部分成果

(4) 应用因子组合计算的近地层 (925hPa 和 1000hPa 层) 各时次温度露点差、温度层结、近地层 U, V 风速分量垂直切变以及地面至 925hPa 层大气的湿度状况等组成 143 个待选预报因子。

由此可构造 452 个供相关分析的待选预报因子。对这些待选因子进行的相关分析表明, 与预报量相关最佳的是预报日 23 时全风速和预报日 20 时 1000hPa 东西向风速分量 U , 其单相关系数分别为 0.39 和 0.38。

经 t 显著性检验, 当样本数为 79, 信度为 0.05 的单相关系数显著性临界值为 0.16, 据此, 对上述待选因子进行筛选可得 144 个初选因子。

2 雾时 MOS 预报方程

对 144 个初选因子进行逐步回归筛选, 在取 $F=5.0$ 时, 可得含有 7 个因子、预报时效为 24h (预报日 17 时至次日 17 时) 的雾时预报方程, 方程的复相关系数为 0.7227。入选因子为: 预报日 23 时本站地面东西向风速分量 (U_{23t_0}) 的数值预报值 (X_1); 次日 14 时本站地面南北向风速分量 (V_{14t_1}) 的数值预报值 X_2 ; 次日 20 时本站地面温度露点差的 24h 变化 ($D_{24}(T-T_d)_{20t_1}$) 的数值预报值 X_3 ; 次日 02 时本站地面气压 12h 变化

($D_{12}(P_{02})_{t_1}$) 的数值预报值 X_4 ; 次日 05 时本站地面气压 3h 变化值 ($D_3(P_{05})_{t_1}$) 的数值预报值 X_5 ; 次日 14 时本站 925hPa 东西向风速分量 (U_{14t_1}) 的数值预报值 X_6 ; 次日 08 时本站近地层大气的饱和程度 $(T - T_d)_{08t_1} + (T - T_d)_{08t_1}^*$ 的数值预报值。

以上要素 ($U, V, P, T - T_d$) 的下标二位数表示北京时, 其后的 t_0 和 t_1 分别表示预报日和次日, D_x (X 为 3, 12 或 24) 表示要素 D 的 X 小时变化, 上标 * 表示要素在 925hPa 层上。

由上述入选因子的含义可见, 与风有关的占 43%, 与饱和程度及其变化有关以及与气压变化有关的各占 29%, 这与我们对雾形成与维持的认识是一致的。为了更清晰起见, 表 1 给出了上述入选因子的统计特征量。由表 1 可见, 与近地层大气的饱和程度有关的因子与雾时均呈负相关, 相关系数绝对值大于 0.287, 其回归系数亦为负值。在 7 个因子中, 它们与雾时的相关程度占第二和第四位, 而回归系数和单相关系数最大的因子是预报次日晨 5 时本站地面气压 3h 倾向值, 气压上升有利于雾的维持, 这些都表明预报方程是具有物理基础的。

表 1 雾时 MOS 预报方程各因子的回归系数及其与雾时的单相关系数

预报因子	X_1	X_2	X_3	X_4	X_5	X_6	X_7
回归系数	0.4777	0.4088	-0.3614	0.3235	0.5739	0.3505	-0.5754
单相关系数	0.2706	0.1798	-0.3036	-0.1820	0.3053	0.2962	-0.2873

3 雾时 MOS 预报方程性能的检验和分析

首先我们用所建立的预报方程对 79 个样本进行拟合。35 个雾日的 24h 平均实际持续时间 1.07h^①, 而雾的 24h 平均预报持续时间为 1.12h, 平均绝对误差为 0.67h。从拟合情况看, 平均预报雾时与平均实际雾时相差不大, 但这毕竟是拟合, 需要经独立样本检验; 但由于积累的中尺度数值预报样本不足, 目前尚无多余的样本可供检验之用, 为此, 我们只能用“交互验证分析法”。然而, 应用此法的前提是在交替变换样本时, 所得预报方程的因子和系数相对稳定, 也就是说检验是针

对某一“确定”的方程而言, 在大样本情况下这种条件可近似满足, 而对于样本不足 100 的情况, 就必须对入选因子的稳定性 (选中百分率) 进行检验, 我们采用两种方法进行因子的稳定性试验。一是取 F 值为 5 时, 在 79 次 (样本数为 78) 逐步回归分析中统计主要因子被选入方程的百分比; 二是改变 F 值, 要求入选因子数 N 固定为 7 时, 类似地统计主要因子被选入方程的百分比, 结果列于表 2。

① 根据后述 6 个气象站能见度观测以及雾监测网中 13 个监测点的雾时 (>0) 实测记录, 求其持续时间的平均值作为浦西地区实际雾持续时间。

由表 2 可见,由于样本数不足,两种情况都表现出出入选因子不够稳定,仅有 4 个因子属上节所得 MOS 预报方程。

表 2 因子的稳定性试验统计结果

序号	因子	选中百分率 $F=5.0$	选中百分率 $N=7$	因子含义
1	$(T-T_d)_{20t_0}$	44%	60%	预报日 20 时地面温度露点差
2	V_{14t_1}	65%	81%	次日 14 时地面南北向风速分量
3	$D_{12}P_{02t_1}$	17%	56%	次日 02 时地面气压 12h 变化
4	$D_3ff_{05t_1}$	4%	44%	次日 05 时地面风速 3h 变化
5	$D_3P_{05t_1}$	81%	99%	次日 05 时地面气压 3h 变化
6	U_{20t_0}	51%	44%	预报日 20 时地面风速东西分量
7	$(T-T_d)_{08t_1} + (T-T_d)_{08t_1}^*$	63%	68%	次日 08 时贴地层大气的饱和程度

从表 2 中还可以看出,在 F 值固定情况下,选中百分率在 50% 以上的因子有 4 个(序号为 2、5、6、7),其中 3 个因子与上节 MOS 预报方程相同,而在因子数固定的情况下则有 5 个因子(序号为 1、2、3、5、7),其中有 4 个因子与上节 MOS 预报方程相同。二种方法选中率都达到 50% 以上者只有 3 个因子(序号为 2、5 和 7)。

4 雾时统计释用预报的集成方案

为了弥补因子不稳定影响 MOS 预报方程性能的缺陷,我们提出建立一系列雾时统计释用预报方程,而后集成其预报结果的雾时业务预报方案。

首先,根据以上对比分析,可见序号为 1、2、3、5、6 和 7 的 6 个因子相对较稳定,因此用“交互验证分析法”对这 6 个因子按全回归法(令 $F=0$)进行 79 个预报方程的检验。结果表明:预报雾时的平均绝对误差(0.75h)和预报平均雾时(1.11h)与 MOS 预报方程的拟合结果相当。

表 3 列出了在检验过程中得到的 79 个全回归预报方程的回归系数统计量,由极值的幅度和标准差可见,不稳定性虽还可以容许,但在实际应用时,我们取 79 个全回归预报方程的预报集成,即取 79 组回归系数的平均值构造全回归预报方程,称为“全回归预报方程”,作为集成预报方案中的一员。

这样,最终的雾时统计释用预报集成可

取为 MOS 预报方程和全回归预报方程预报结果的平均(如其中之一预报雾时为零,则取其中之非零值代之)。

表 3 79 个全回归预报方程的回归系数统计特征量

	回归系数 平均值	平均 标准差	回归系数 最大值	回归系数 最小值
B_0	1.0755	0.0136	1.0885	1.030
B_1	0.4755	0.0151	0.5656	0.3960
B_2	0.4697	0.0114	0.5559	0.3707
B_3	0.2934	0.0106	0.3396	0.2024
B_4	0.5625	0.0090	0.6111	0.5113
B_5	0.4610	0.0145	0.5140	0.2877
B_6	0.7374	0.0141	-0.8218	-0.6644

5 1999~2000 年雾季的业务预报结果

1999 年 10 月至 2000 年 4 月上海浦东地区(以闵行、嘉定、松江、青浦、金山和徐家汇气象站以及雾监测网的上粮七库、燃料公司、黄浦公园、青浦、高架道路管理所、虹口体育场、徐浦大桥、铁道医学院、沪杭松江、嘉定、徐家汇、南洋中学和六十二中学等能见度监测点为代表)共出现雾日(定义为凡两站或以上能见度 $< 1000m$ 者) 42 天,自 10 月下旬开始各月雾日的分布为:3、9、11、7、6 和 6 日,4 月无雾,12 月最频繁。

为了考察和对比上述方法和 1998 年建立的完全预报方程的性能,分别统计了各月预报雾时大于零的正确次数(即成雾定性预报)和平均 24h 预报雾时(预报雾时为零者未计,下同),列于表 4。

表 4 上海浦西各月雾时释用预报的统计(预报时段:17 时~17 时)

年/月	预报成雾正确次数				平均 24h 预报雾时			
	实况	PPM	MOS	全回归	实况	PPM	MOS	全回归
1999/10	3	0	2	2	2.07	—	1.11	1.71
1999/11	9	7	9	9	3.47	3.17	1.73	1.63
1999/12	11	7	10	9	3.32	3.57	1.30	1.34
2000/01	7	6	7	7	3.44	5.90	0.98	1.02
2000/02	6	6	6	6	1.96	5.65	1.41	1.13
2000/03	6	4	5	5	2.50	5.64	1.46	1.40
总计或总平均	42	30	39	38	2.93	4.63	1.37	1.35

由表 4 可见,完全预报有 12 次漏报(预报雾时为零),而 MOS 预报和全回归预报的漏报次数则分别减少为 3 和 4 次,从预报成雾与否的定性评估看,统计释用预报(MOS 和全回归)有明显改进效果,也就是完全预报的报有雾正确率为 80%,而 MOS 预报和全回归预报的报有雾正确率分别提高为 93%

和 90%;42 次雾日的日平均实况雾时近 3h,完全预报的日平均雾时偏长,而 MOS 和全回归的日平均雾时预报则偏短,但与实况的偏差小,与完全预报相比有改进。为了对比,还统计了逐月的平均绝对误差及统计特征量(预报偏小的百分比和绝对误差 < 2 小时的百分比),列于表 5。

表 5 上海浦西三种雾时预报逐月平均绝对误差及统计特征量(预报时段:17 时~17 时)

年/月	绝对误差/h			预报偏小/%			绝对误差<2 小时/%		
	PPM	MOS	全回归	PPM	MOS	全回归	PPM	MOS	全回归
1999/10	—	1.11	1.00	—	100	50	—	100	100
1999/11	2.06	1.95	2.02	71	78	89	57	67	67
1999/12	1.42	1.96	1.95	71	100	100	71	36	36
2000/01	2.70	2.29	2.28	33	86	86	33	57	57
2000/02	3.84	1.15	1.09	17	50	50	33	67	67
2000/03	3.44	0.83	0.89	0	100	100	0	100	100
总平均	2.58	1.703	1.702	43.3	84.6	84.2	43.3	64.1	65.8

比较表 5 逐月的统计释用预报(MOS, 全回归)与完全预报(PPM)雾时平均绝对误差可见,除 12 月份外,前者均小于后者,而由总平均可见,统计释用预报的改进是十分明显的。此外,对比雾时平均绝对误差小于 2h 的百分比也可看到其改进效果。最后,我们将雾时统计释用预报集成方案的计算结果统计值列于表 6。由表可见,集成方案的预报

分比也略有下降。

由于制约雾维持的因素十分复杂,目前的中尺度数值预报的分辨率和边界层物理过程的描述均难以正确反映雾的变化过程,在国内外也尚未见有类似工作可供借鉴,因此本文给出的雾时统计释用预报在现时也只能是一种有益的尝试,但从以上试用结果看,还是令人鼓舞的。

表 6 雾时统计释用集成方案预报月平均统计量

年/月	预报雾时/h	预报雾时绝对误差/h	预报雾时偏小百分比	绝对误差<2 小时百分比
1999/10	1.41	0.81	50	100
1999/11	1.68	1.98	78	67
1999/12	1.28	1.97	100	40
2000/01	1.00	2.28	86	57
2000/02	1.28	1.12	50	67
2000/03	1.43	0.86	100	100
总平均	1.35	1.696	79.5	64.1

雾时绝对误差略有改进,预报雾时偏短的百

致谢:本文得到朱永提研究员指导和帮助,在此深表谢意!

参考文献

- 程戴晖,杨美川. 雾持续时间的统计释用预报方案,大气科学研究与应用. 北京:气象出版社,2001.
- 顾建峰等. MM5 在上海区域气象中心数值预报中的改进和应用. 应用气象学报,2000,11(2):189~198.

A Study of Fog Continued Time Forecast for Puxi Area in Shanghai Using Statistic Interpretation Technique

Cheng Daihui Yang Meichuan

(Shanghai Meteorological Institute, 200030)

Abstract

Based on the analysis of fog continued time forecasting results calculated by interpretation equations obtained with PPM technique, a large number of forecasting factors constructed by output products of numerical prediction and related to fog maintenance are designed and then analyzed by a step-wise regression method in order to found a set of MOS (interpretation) equations for prediction of fog continued time. Finally, an integrated forecasting scheme is established for operational use. A comparison between forecasting results by PPM interpretation equations and those by MOS integrated forecasting scheme shows that the forecasting performance is improved obviously by the latter.

Key Words: fog continued time MOS forecasting interpretation technique