

文章编号: 1006-4354 (2003) 01-0007-04

# 陕西省高等级公路大雾的预报方法研究

贺 皓, 刘子臣, 徐 虹, 司益民, 秦惠丽, 张 宏, 吕 红

(陕西省专业气象服务台, 陕西西安 710014)

**摘 要:** 为了更好地做好大雾预报, 为日益发展的公路交通、航空运输等部门提供气象保障, 应用天气学方法、统计预报方法、数值预报释用技术方法和诊断分析方法对陕西省大雾作了研究, 实际工作中这些预报方法是可行的, 数值预报产品释用技术方法比统计预报方法效果好。

**关键词:** 大雾; 预报方法; 气象要素; 高等级公路

**中图分类号:** P457

**文献标识码:** A

大雾是一种灾害性天气。雾滴对光线的散射、漫射, 使能见度变坏, 给公路交通、航空、航运带来极大不便, 由此而发生的交通事件每年都有发生, 并造成巨大的经济损失。研究表明<sup>[1-2]</sup>, 大

雾形成时大气层结是稳定的, 常有逆温出现, 致使空气污染严重, 易形成酸雾等, 对人体健康不利, 对建筑物等设施有严重的腐蚀作用。近年来, 随着经济建设的发展, 公路、航运的快速增长, 人

**收稿日期:** 2002-11-15

**作者简介:** 贺 皓 (1953-), 男, 陕西合阳人, 高级工程师, 从事专业气象预报服务工作。

致。低空偏南风急流将暖湿空气从孟加拉湾输送至四川盆地, 直至陕西省内, 促使不稳定层结的形成, 为暴雨的发生提供了必要热力条件。

## 4 地形的抬升作用

陕西省位于青藏高原东侧, 地形南北长, 东西短, 中间又受东西走向的秦岭山脉阻挡, 气候差异大。陕南一带地形更是复杂, 地势高差大, 波状起伏, 沟谷深切, 谷坡陡峻, 汉中的佛坪、宁强和安康西部的宁陕、石泉等地在气候背景上是暴雨和大暴雨的多发地带。山区局地地形的强烈抬升作用增强了上升运动和水汽辐合, 对这次暴雨区产生了较强的增幅作用。

## 5 结论

5.1 此次区域性暴雨过程, 无副高和台风配合, 在降水前期却有明显的低空东风急流和南风急流存在。大形势场呈东高西低型, 河套高压脊的北伸西歪造成其西侧偏东南气流的加强; 巴湖低槽的东移南下, 与高原槽区叠加, 形成南北向竖槽, 是低空偏南急流加强和维持的另一重要条件。

5.2 低空的东风急流和南风急流是产生这次暴

雨的主要中尺度系统。最强降水中心对应于低层湿中心, 在低空急流轴附近。低空急流表征着暖湿空气的强度和活动, 其风场的辐合区与暴雨区又有较好的关系, 因此可把低空急流的位置、方向和移动作为未来暴雨落区的一个重要指标。

5.3 8日14时地面为鞍形场, 四川到陕北有西南倒槽出现, 蒙古南下冷空气使地面东路高压加强西伸, 生成了地面锢囚锋, 也是有利于产生暴雨的重要条件。

5.4 700 hPa 低槽前的西南气流与 850 hPa 的南风气流, 两股气流携带的水汽形成此次暴雨的主要水汽通道, 200、300 hPa 大范围稳定持续的湿中心东移于陕西上空, 从低层到高层有明显的湿柱, 为此次大暴雨提供了空中水源, 所以水汽的强输送是此次局地特大暴雨的关键。

## 参考文献:

[1] 陈静, 李川, 谌贵珣. 低空急流在四川“9.18”大暴雨中的触发作用[J]. 气象, 2002 (8): 24-29.

们对雾越来越重视了。因此,大雾的监测和预报已列为陕西省专业预报服务项目。大雾的产生是在一定的环流背景下形成的,陕西大雾形成主要是辐射和平流作用<sup>[3-5]</sup>,各地雾的产生与地形、地理条件和气象要素有关。应用天气学方法、统计预报方法、数值预报释用技术方法和诊断分析方法对陕西省大雾特别是高等级公路大雾预报深入研究很有必要。

## 1 陕西省大雾预报的天气学方法

### 1.1 天气学形势消空

应用 1991—1995 年 10—4 月 500 hPa 天气图,把不出现大雾的天气形势分为 5 种,即西北气流型,高原低槽型,西西伯利亚低槽型,蒙古低槽型和东北低槽型。消空形势分型主要考虑大雾形成的物理机制在天气形势上的具体反映,冷高压控制下的干冷平流,湿度小,风力大,破坏了大雾形成的边界层条件和地面条件。以高原低槽型为例,给出未来 2~3 d 内无雾的条件。

1.1.1 500 hPa 乌拉尔山有较强的高压脊或阻塞高压建立或发展,西西伯利亚有长波槽建立,槽线有时呈东北—西南向,槽后有强冷中心,陕西到河西为西南气流控制,即 70~95°E、30~50°N 范围内为槽区;40~60°E、40~60°N 为长波槽。

1.1.2 地面 60~100°E、35~50°N 为冷高压,并有高压中心存在,中心气压  $p \geq 1.030$  hPa。冷锋位于 85~105°E、35~45°N 范围内。

1.1.3 消空指标为:地面 85~105°E、35~45°N 范围内有冷锋;500 hPa  $t_{(51463-29634)} \geq 14$  °C;  
 $\Delta p_{14}(\text{酒泉}-\text{西安}) \geq 15$  hPa。

### 1.2 单站气象要素消空

1.2.1 雾的形成与相对湿度  $f$ 、气温  $t$ 、风  $v$  等气象要素有关,经过统计发现产生雾的各种气象要素有一临界值,即:

$$p(y^{-1}) = f(x_i) \quad i = f, t, v$$

应用完全预报 (PP) 方法思路,  $p(y^{-1}) = f(x_i) \leq A$ , 该事件即不出现,由此确定这个值  $A$  为预报该类事件(大雾)的指标,即消空指标,称作 PPI 方法。

1.2.2 消空指标  $A$  的确定 设有  $N$  个样本资料  $x_i$  ( $i=1, 2, 3, \dots, n$ ) 且  $N$  是足够大,对应有  $N$  个预报对象  $y_i$  ( $i=1, 2, 3, \dots, n$ ),当确定出  $x_i$  的极值后,就可分段统计出  $y$  的频率

$$p(y) = \frac{y_i}{x_{i(a-b)}}$$

下标  $a, b$  分别代表每一段的上限和下限,当  $p(y) = 0$  时,就可确定出  $x_{i(b)}$  即

$$p(y^{-1}) \leq x_{i(b)} = A.$$

此项工作也为统计方程中提高天气预报对象的气候概率作了准备工作,  $p(y)$  值大者也可作为预报指标应用。表 1 给出了各地大雾形成与各种气象要素的关系,这些临界值可以作为预报大雾的指标。

表 1 各地大雾形成时各气象要素的临界值

站名	风速 $v / (\text{m/s})$	相对湿度 $f / \%$	温度 $t / \text{C}$	气压 $p / \text{hPa}$	盛行风向	静风概率
西安	$v \leq 5.0$	$f \geq 80$	$t \leq 19$	$p \leq 957$	SSE-SSW-NW	89/142
咸阳	$v \leq 5.0$	$f \geq 67$	$t \leq 20$	$950 \leq p \leq 984$	S-NE	51/203
武功	$v \leq 4.0$	$f \geq 73$	$-2.8 \leq t \leq 16$	$p \leq 952$	WSW-NNW	62/111
宝鸡	$v \leq 4.0$	$f \geq 66$	$t \leq 19$	$937 \leq p \leq 968$	E	21/35
临潼	$v \leq 5.0$	$f \geq 66$	$t \leq 21$	$954 \leq p \leq 989$	ENE-SSE	61/122
渭南	$v \leq 3.2$	$f \geq 76$	$t \leq 20$	$961 \leq p \leq 998$	SSW-NW	90/143
潼关	$v \leq 3.2$	$f \geq 75$	$t \leq 20$	$947 \leq p \leq 973$	W-NW	11/61
铜川	$v \leq 3.3$	$f \geq 45$	$-10.0 \leq t \leq 17$	$986 \leq p \leq 923$	NE SW	55/123
宜君	$v \leq 10.0$	$f \geq 23$	$-13.1 \leq t \leq 19$	$p \leq 874$	E-SE SW-NNW	30/237
洛川	$v \leq 10.0$	$f \geq 41$	$-13.1 \leq t \leq 15$	$876 \leq p \leq 902$	N E-S	73/164
延安	$v \leq 5.0$	$f \geq 84$	$-4.6 \leq t \leq 16$	$898 \leq p \leq 918$	SW-WSW	13/35
柞水	$v \leq 2.0$	$f \geq 93$	$-3.5 \leq t \leq 17$	$915 \leq p \leq 941$	SW-WSW	21/30
石泉	$v \leq 6.0$	$f \geq 62$	$t \leq 20$	$p \leq 947$	W-N	273/333
安康	$v \leq 2.0$	$f \geq 80$	$t \leq 20$	$p \leq 974$	NE-E	99/176

## 2 统计预报方法

统计样本为 1991—2000 年 10—4 月共 1 698 d 资料, 统计发现, 各地雾出现与该站或上游要素有较好的关系, 因此, 应用气温  $t$ , 相对湿度  $f$ , 风速  $v$  等 7 个因子建立回归方程。为了提高大雾的气候概率, 应用表 1 中相对湿度的消空指标, 从整体样本中去掉消空样本, 经处理后, 各站大雾的气候概率不同程度地提高了 5%~8%。在显著性水平  $\alpha=0.01$  的条件下建立回归方程

$$y_k = b_0 + \sum_{i=1}^n b_i x_i$$

( $i=1, 2, 3, \dots, n$ , 为因子数,  $k=1, 2, 3, \dots, 13$ , 为站名序号),

各站引进和剔除的因子不一 (见表 2)。实际应用时, 各站的临界值  $y_a$  为: 西安—0.1, 延安 0.3, 洛川 0.3, 宜君 0.3, 铜川 0.3, 宝鸡 0.1, 武功—1.2, 临潼 0.1, 咸阳 0.1, 渭南—0.1, 潼关 0.1,

石泉 0.1, 安康—3.45。

若  $y \geq y_a$  预报有雾, 否则无雾。

## 3 数值预报产品释用技术方法

利用 MM5 中尺度非静力模式输出产品进行深加工, 对陕西省高等级公路大雾进行预报, 模式输出产品有每小时的湿度场  $f$ , 风场  $v$  和气温预报场  $t$ , 这些要素场和雾形成关系密切, 主要研究 MOM 和 MEC 数值预报产品释用技术方法, 并对陕西省 4 条高等级公路 14 个站点大雾进行预报, 经过业务使用该方法是可行的。

### 3.1 模式输出模式方法 (MOM)

大雾是在一定湿度条件下, 且风速不宜过大时形成的, 气温要求并不严格。对 MM5 模式每小时输出的预报产品统计分析发现, 只要  $\Delta f / \Delta t > 0$  且  $v < \beta$  即湿度随时间变化是增大的, 且风速在一定临界值范围内, 就有大雾出现的可能。根据

表 2 大雾预报站点的回归方程系数和因子

站名	方程系数							因子					
	$b_0$	$b_1$	$b_2$	$b_3$	$b_4$	$b_5$	$b_6$	$x_1$	$x_2$	$x_3$	$x_4$	$x_5$	$x_6$
西安	-2.615	-0.033	0.027	0.026	0.005	-0.037		$(t_{08}, f_{08})_{\text{西安}}, (t_{02}, f_{02}, v_{02})_{\text{宝鸡}}$					
延安	-2.135	-0.003	0.025	0.003	0.004	-0.002		$(t_{02}, f_{02}, v_{02})_{\text{延安}}, (t_{02}, v_{02})_{\text{洛川}}$					
洛川	-0.539	-0.001	0.01	-0.001				$(f_{02})_{\text{宜君}}, (f_{02}, v_{02})_{\text{洛川}}$					
宜君	-0.402	0.009	0.001					$(f_{02}, v_{02})_{\text{宜君}}$					
铜川	-0.175	0.003	-0.004	0.002	-0.001			$(f_{02}, v_{02})_{\text{铜川}}, (f_{02}, v_{02})_{\text{宜君}}$					
宝鸡	-0.27	0.001	0.004	-0.001	-0.001			$(t_{02}, f_{02})_{\text{宝鸡}}, (t_{02}, t_{08})_{\text{武功}}$					
武功	-1.753	-0.003	0.016	0.006	0.006	-0.004	-0.003	$(t_{02}, f_{02})_{\text{武功}}, (t_{02}, f_{02}, v_{02})_{\text{宝鸡}}, (t_{08})_{\text{西安}}$					
咸阳	-0.982	0.007	0.003	0.006	-0.002	-0.004		$(t_{02})_{\text{咸阳}}, (t_{02}, f_{02}, v_{02})_{\text{武功}}, (t_{08})_{\text{西安}}$					
临潼	-0.939	0.007	0.003	0.006	-0.002	-0.004		$(t_{02})_{\text{临潼}}, (t_{02}, f_{02}, v_{02}, t_{08})_{\text{西安}}$					
渭南	-1.532	-0.002	0.009	0.006	0.009	-0.002	-0.004	$(t_{02}, f_{02})_{\text{渭南}}, (t_{02}, f_{02}, v_{02}, t_{08})_{\text{西安}}$					
潼关	-0.509	0.004	-0.001	0.003	0.001	0.001		$(f_{02})_{\text{潼关}}, (t_{02}, f_{02}, v_{02}, t_{08})_{\text{西安}}$					
石泉	-1.551	0.017	-0.002	0.004				$(f_{02}, v_{02})_{\text{石泉}}, (f_{02})_{\text{安康}}$					
安康	-4.059	0.049	-0.003	-0.002	-0.002			$(f_{02}, v_{02})_{\text{安康}}, (t_{02}, v_{02})_{\text{镇安}}$					

这个思路, 也为了实际业务需要, 采用了以下做法:

设  $f_{i+1,j} - f_{i,j} = \Delta f_j$

若  $\Delta f_j \geq 0$  记为  $b_k = 1$ , 否则  $b_k = 0$ ,

$$\sum_{k=1}^n b_k = \Delta f_{\text{sum}}$$

$i=18, 19, 20, \dots, 24$ , 为预报时间步长;

$j=1, 2, 3, \dots, 14$ , 为测站序号;

$k=1, 2, 3, \dots, 6$ , 为时间间隔。

则预报规则为:

若  $\Delta f_{\text{sum}} \geq 3$  且  $v \leq P_A$ , 预报有雾形成; 若  $\Delta f_{\text{sum}} \geq 3$  且  $v > P_A$ , 预报有雾形成, 但消散较快; 若  $\Delta f_{\text{sum}} < 3$  且  $v \leq P_A$ , 预报湿度在减小, 不易形成雾; 若  $\Delta f_{\text{sum}} < 3$  且  $v > P_A$ , 预报没有雾。  $P_A$  值一般参照表 1 中风速的消空值  $v_A$ 。

### 3.2 模式误差订正方法 (MEC)

实际上数值预报输出产品的误差是不可避免

的,就是说,预报值并不能完全代替实测值,但怎样把此误差减小到最小程度,是该方法考虑的主要因素。

设:  $(A_S)_j^t$  为第  $j$  站  $t$  时刻的实况场,为了分析方便,取  $t=0$  即为客观分析场。 $(A_F)_j^t$  为  $t$  时刻第  $j$  站预报值。则  $t$  时刻的预报误差 ( $E_j^t$ ) 为

$$(E_j^t) = (A_S)_j^t - (A_F)_j^t,$$

这时  $(A_F)_j^{t+\Delta t} = (A_F)_j^{t+\Delta t} + E_j^t$ ,

用  $t$  时刻的预报误差订正  $t+\Delta t$  时刻的预报值。

只要  $(A_F)_j^{t+\Delta t} \geq P_1$  有大雾;

$$P_2 \leq (A_F)_j^{t+\Delta t} < P_1 \quad \text{有轻雾};$$

$$(A_F)_j^{t+\Delta t} < P_1 \quad \text{无雾}。$$

实际使用中,不同的大雾预报站点有不同的阈值  $P_1$  和  $P_2$ 。

#### 4 诊断分析方法

$T_{213}L_{31}$  数值产品 (原为  $T_{106}L_{19}$ ), 模式输出格距为  $1^\circ \times 1^\circ$ , 应用时内插到  $0.5^\circ \times 0.5^\circ$  格距, 选取 500 hPa 12 h 预报散度场, 850 hPa 和地面的温度差 (计算逆温), 700 hPa 12 h 预报  $T-T_d$  场, 华山与西安 14 时的温度差、14 时的风速、温度和露点, 08 时的温度等组成预报因子, 满足以下条件, 预报有雾出现:

$$14 \text{ 时风速 } v_j < 3 \text{ m/s};$$

$$14 \text{ 时 } T-T_d \leq 6 \text{ }^\circ\text{C};$$

$$\text{格点逆温 } T_{(850-\text{地面})} \geq 0 \text{ }^\circ\text{C};$$

$$\text{或 } 14 \text{ 时 } T-T_d \leq 6 \text{ }^\circ\text{C};$$

$$\text{格点逆温 } T_{(850-\text{地面})} \geq 0 \text{ }^\circ\text{C};$$

$$500 \text{ hPa 散度为正};$$

或 14 时风速  $v_i < 3 \text{ m/s};$

$$14 \text{ 时 } T-T_d \leq 6 \text{ }^\circ\text{C};$$

$$T_{(\text{华山}-\text{西安})} \geq 0 \text{ }^\circ\text{C}。$$

#### 5 业务使用效果分析

在投入准业务试用后, 采用  $TS$  评分, 检验了 2001-10-16—11-18 共 33 d 数值预报产品释用方法的使用情况。从表 3 可以看到, 2 种方法都有一定的预报能力, 但第 1 种方法 MOM 比第 2 种方法 MEC 预报效果要好。西安—渭南线路预报效果差不多; 西安—宝鸡线路西段好于东段; 西安—延安线路北段预报效果差, 这可能与气候概率有关; 西安—安康线路预报效果都处于中上水平,

可投入业务使用。2002-11-20—11-23, 4 条高速公路和机场出现了大雾, 致使航班延点、路段关停, 省专业气象服务台应用此方法提前预报出大雾, 在新闻媒体 (报纸、交通电台、广播、传呼) 和“121”中播发, 收到了良好的社会效果。

表 3 MOM 和 MEC 方法对大雾预报结果

站名	预报次数		出现次数	正确次数		TS	
	MOM	MEC		MOM	MEC	MOM	MEC
西安	28	13	20	19	9	0.66	0.38
延安	18	15	10	8	8	0.40	0.56
宝鸡	26	6	19	16	5	0.90	0.25
铜川	21	18	11	11	10	0.52	0.53
安康	27	9	28	24	8	0.77	0.28
渭南	28	9	16	15	6	0.52	0.53

#### 6 结论和讨论

大雾的产生, 遵从一定的天气学规律, 与温度, 湿度, 风等气象要素密切相关, 应用天气学原理和方法预报大雾, 在实际工作中是可行的。数值预报产品释用技术方法比统计预报方法效果好, 主要是考虑了气象要素场连续变化。由于雾的出现和湿度相联系, 湿度也是降雨的必要条件, 湿度大意味降雨还是雾, 需要预报员根据天气形势和预报经验判断。多种预报方法有时预报结果不太吻合, 今后需要集成预报解决。大雾和能见度的关系, 实际工作中也是需要考虑的。

#### 参考文献:

- [1] 秦莹, 刘贵华, 梁谷. 西安雾的规律分析 [J]. 陕西气象, 1996 (2): 21-22.
- [2] 范建忠, 孙孟伦. 西安边界层温度场特征的分析 [J]. 陕西气象, 1989 (2): 42-46.
- [3] 朱乾根, 林锦瑞, 寿绍文. 天气学原理和方法 [M]. 北京: 气象出版社, 1992, 410-414.
- [4] 董爱民. 咸阳机场雾的成因分析与预报 [J]. 陕西气象, 1998 (6): 9-11.
- [5] 公宽平. 渭河河谷冷气垫的形成及其对咸阳机场能见度的影响 [J]. 陕西气象, 1998 (6): 25-26.
- [6] 方乾, 路红英, 邓华君, 等. 宁沪高速公路大雾气候特征分析和预报 [J]. 大气科学研究与应用, 2001 (2): 32-37.
- [7] 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 (9): 41-43.