

天气动力学组合因子 在 MOS 降水预报中的应用

孙永刚 李彰俊 孟雪峰

刘增良 孔令红

(内蒙古自治区气象台, 呼和浩特 010051)

(西安卫星测控中心)

提 要

利用我国的数值产品 HLAFS 格点场资料, 结合内蒙古地区降水系统的天气动力学演变特征, 构造出能反映降水系统的天气动力学发展机制的结构特征因子, 采用 MOS 方法建立预报方程。用较短的样本资料建立 MOS 预报方程, 提高了 MOS 预报方程的预报能力和适应性。试验结果表明, 该 MOS 预报方程计算稳定并具有很好的预报能力和效果, 易于业务化。

关键词: 数值产品 动力学 MOS 预报 组合因子

引 言

当前国家气象中心已开始下发 T106 数值预报产品, 其内容非常丰富, 分辨率明显提高, 已达到 $1.125^\circ \times 1.125^\circ$ 经纬度, HLAFS 产品已达到 $1^\circ \times 1^\circ$, 为更详细地描述天气系统的结构特征提供了可能。另一方面, 数值产品的变化比较频繁, 很不适合 MOS 预报方程的建立和使用, 给释用工作带来了不便。并且经典 MOS 方法本身也存在弱点: (1) 需要样本数多, 一般需数年资料, 这样长度的样本资料较难获得。(2) 建立方程时在做了大量统计分析后, 历史相关可以达到很高, 但在预报中相关明显下降, 而且预报失败的原因无从查找, 应用效果不理想。为了发挥我国数值产品优势, 同时又适应 MOS 方法的特点, 必须寻找新的释用技术。作者从内蒙古地区天气动力学演变特征出发, 应用数值产品建立起天气系统的动力学组合因子, 采用 MOS 方法定量分析, 用较短的样本建立起反映系统动力特征的 MOS 预报方程, 制作区域降水预报。

1 动力学组合因子的建立

1.1 资料选取

选用 1996 年 6 月 1 日至 8 月 15 日的 HLAFS 资料(范围: $64 \sim 15^\circ \text{N}$, $70 \sim 145^\circ \text{E}$; 分辨率: $1^\circ \times 1^\circ$ (经纬度); 08 时(北京时), 包括 19 类要素, 12 个层次, 5 个时效的格点资料)。1996 年 6 月 1 日至 8 月 20 日内蒙古地区 35 个站的 20 时到次日 20 时的 24 小时降水实况资料。

1.2 动力学组合因子的建立

1.2.1 特征项的建立

针对大型降水影响系统的辐合抬升、水汽条件和高低层配制等结构特征, 从降水的三要素入手, 构造出了多个具有经验性的动力结构特征项, 作为 MOS 方程的因子预选项, 这些项综合描述了实时系统的动力结构和发展机制。包括如: 上升运动项: $VO_{700} + DI_{200} - DI_{850}$ (高层辐散、低层辐合、中层正涡度, 反映整层抬升)、 $DI_{200} - WP_{850} - WP_{700}$ (中低层上升运动、高层辐散, 反映整层抬升), 中低层水汽项: $TH_{700} + TH_{850}$ (中低层温度露点差之和)、 $TB_{700} + TB_{850}$ (中低层假相当位温之和, 反映湿不稳定), 水汽垂

直输送项: $RH_{700} \times WP_{700}$ (700hPa 相对湿度与垂直速度乘积, 反映通过 700hPa 层的水汽垂直输送), 水汽通量散度项: $RA_{700} + RA_{850}$ (中低层水汽通量散度之和, 反映中低层水汽的辐合状态), 综合指数项: K 指数 KI (反映整层不稳定性), 相对辐散 RI (300~850hPa 的相对辐散, 反映整层对流和不稳定), 降水量预报 ET 等等, 这些预选特征项, 可以反映出天气系统的位置、强度及降水能力等特征。成为高效的 MOS 预报因子, 采用这样的预报因子建立的预报方程, 在预报试验或业务运行中一旦预报失败可以及时发现失败原因, 对方程的改进和进一步优化非常有利。另外, 这些因子符合动力学原理和系统发展机制, 因此在作统计时不需定性分析, 而只需作定量分析即可建立预报方程。所以不要过多的样本资料, 这也正是我们所希望的。

1.2.2 确定 MOS 预报因子项

计算所有预选项的值, 得到各预选项的 24、36 小时预报格点场, 对其 24、36 小时两个时效场逐点取贡献大的值, 然后将每个预选场的两个时效场合并为一个场。这个场反映了这一时段内预选项对降水系统的描述。(具体作法是: 以上升运动项 $VO_{700} + DI_{200} - DI_{850}$ 的 24、36 小时预报场值为例, 对其各格点值用正正取大, 正负取正, 负负取小的原则, 选择其一合并为一个场, 它反映了这一时段内上升运动最大值的分布情况)。用每个预选选项的场与同期的降水实况资料通过图形叠套、格点嵌套等分析方法, 反复对比和分析, 最终选取 5 个特征项作为 MOS 预报因子项。即: 上升运动项 $X_1: VO_{700} + DI_{200} - DI_{850}$, 中低层水汽项 $X_2: TH_{700} + TH_{850}$, 水汽垂直输送项 $X_3: RH_{700} \times WP_{700}$, 相对辐散项 $X_4: RI$, 降水预报项 $X_5: ET$ 。

2 建立 MOS 预报方程

2.1 气候区域划分

在建立 MOS 预报方程时, 综合考虑了

内蒙古地区地域辽阔, 不同地区的气候影响系统的差异, 将全区分为 5 个气候区。它们分别为: 西部沙漠干旱地区 (44~39°N, 100~105°E), 阴山南部河套地区 (40~35°N, 106~117°E), 阴山北部山地地区 (45~41°N, 106~117°E), 东部旱原地区 (45~41°N, 118~125°E), 东北部高纬山地地区 (52~46°N, 116~125°E)。

2.2 MOS 预报方程的建立

2.2.1 样本资料处理

对每个气候区在总计 76 天的历史资料中选取了 15 天左右的中雨以上系统性降水天气、15 天左右的阴、雨不明显天气、10 天左右的晴好天气, 共计 40 天资料。选取原则是: 对小雨以上天气全部入选, 如多于 15 天则减少晴好天气日数, 如不足则用阴雨不明显天气补充, 尽量使样本中降雨天气偏多, 晴好天气较少(但不可少于 5 日)。这样做可以使样本中的小雨以上和大雨、暴雨这类小概率事件所占比例增大, 突出了降雨天气。建立的 MOS 方程能更好的反映出降雨天气特点和差异, 同时必须选取少量晴好天气, 这样可以增大因子的取值范围, 对 MOS 方程的计算稳定性有好处。

计算 5 个 MOS 预报因子项, 方法同 1.2.2 中采用的作法。将 24、36 小时时效场合为一个场, 选取与测站最近的格点数值与测站的实况降水量 (mm) 或降水量级 (无雨为 0, 小雨为 1, 中雨为 2, 大雨为 3, 暴雨为 4) 对应建立 MOS 样本资料: 一般情况每个区有 6 至 7 个测站, 选用了 40 天资料, 这样样本长度为 250 个左右, 对于 5 个因子的定量分析已足够。

2.2.2 建立 MOS 预报方程

在建立 MOS 预报方程时采用逐步回归分析方法, 入选因子控制在 4~5 个。得到降水量 (mm) MOS 预报方程及相关系数如下:

一区: 西部沙漠干旱地区

$$Y = 0.355 + 0.0463X_1 - 0.0768X_2 - 0.0898X_3 + 0.1030X_4 + 0.3721X_5$$

$$R = 0.8799$$

二区:阴山南部河套地区

$$Y = 1.4309 + 0.0526X_1 - 0.372X_2 - 0.1849X_3 + 0.1173X_4 + 0.5134X_5$$

$$R = 0.8260$$

三区:阴山北部山地地区

$$Y = -2.4657 + 0.1487X_1 - 0.1093X_2 - 0.0635X_3 + 0.0894X_4 + 0.3899X_5$$

$$R = 0.8274$$

四区:东部平原地区

$$Y = -1.1297 + 0.1073X_1 - 0.0855X_2 - 0.0535X_3 + 0.0306X_4 + 0.6667X_5$$

$$R = 0.7203$$

五区:东北部高纬山地地区

$$Y = -2.1035 + 0.1220X_1 - 0.1523X_3 + 0.1505X_4 + 0.5458X_5$$

$$R = 0.8388 (X_2 \text{ 未入选})$$

同样建立的降水量级 MOS 预报方程及其相关系数如下:

一区:

$$Y = 0.2432 + 0.0027X_1 - 0.0023X_2 - 0.0231X_3 + 0.0061X_4 + 0.0467X_5$$

$$R = 0.8625$$

二区:

$$Y = 0.5307 + 0.0018X_1 - 0.0357X_2 - 0.0222X_3 + 0.0040X_4 + 0.0404X_5$$

$$R = 0.8477$$

三区:

$$Y = 0.4257 + 0.0079X_1 - 0.0225X_2 - 0.0052X_3 + 0.0095X_4 + 0.0530X_5$$

$$R = 0.8484$$

四区:

$$Y = 0.5544 + 0.0090X_1 - 0.0437X_2 - 0.0120X_3 + 0.0106X_4 + 0.0562X_5$$

$$R = 0.7748$$

五区:

$$Y = 0.3076 + 0.0092X_1 - 0.0116X_2 - 0.0137X_3 + 0.0120X_4 + 0.0599X_5$$

$$R = 0.8366$$

预报判据:无雨 $Y < 0.6$, 小雨 $0.6 \leq Y < 1.6$, 中雨 $1.6 \leq Y < 2.6$, 大雨 $2.6 \leq Y < 3.9$, 暴雨 $Y \geq 3.9$ 。

2.3 MOS 预报方程的计算

在实时预报中,将 HALFS 的物理量场代入各因子项中求出各 MOS 预报因子场。再将这些因子场代入 MOS 预报方程得到降雨量或量级的预报场。这样得到了全区 $1^\circ \times 1^\circ$ (经纬度)的降雨预报场,即降雨落区预报。

3 预报结果检验

应用动力 MOS 方法在 1997 年主汛期期间共计 35 天(1997 年 7 月 13 日~8 月 17 日)进行了试用。从晴雨预报准确率 PC、降雨成功界限指数 CSI、海特克三分类预报得分 HS 三方面做了检验。检验过程中,在 MOS 预报场小雨区内的站点其预报定为有小雨,中雨区内的站点为有中雨等等,检验以站点为单位。其中预报准确率 PC 和降雨成功界限指数 CSI 都是对晴、雨的检验。检验结果如下:

3.1 晴雨预报准确率 PC

$PC = C/T \times 100\%$ 其中 C 是预报准确次数, T 是总预报次数。

表 1 各分区 MOS 预报与 HLAFS 预报 PC 值对比

类别	一区	二区	三区	四区	五区	全区
MOS	0.829	0.886	0.814	0.857	0.824	0.838
HLAFS	0.762	0.703	0.657	0.678	0.686	0.691

3.2 降雨成功界限指数 CSI

$CSI = A/(A + B + C)$, 其中 A 是预报正确次数, B 是空报次数, C 是漏报次数。

表 2 各分区 MOS 预报与 HLAFS 预报 CIS 值对比

类别	一区	二区	三区	四区	五区	全区
MOS	0.500	0.737	0.539	0.653	0.664	0.616
HLAFS	0.505	0.509	0.470	0.518	0.533	0.504

3.3 海特克得分(技巧得分)

$HS = (C - P)/(T - P)$ 其中 C 为报对

次数, T 是预报总次数, P 是随机概率样本数。

表3 晴, 小雨, 中雨, 大雨, 暴雨五分类对照表

实况/预报	无雨	小雨	中雨	大雨	暴雨	Σ
无雨	703	58	16	0	0	777
小雨	106	194	35	3	0	338
中雨	23	28	20	6	2	79
大雨	1	10	5	5	3	24
暴雨	0	1	2	2	2	7
Σ	833	291	78	16	7	1225

$$HS = (924 - 614) / (1225 - 614) = 0.507$$

上述的结果表明该动力 MOS 预报具有很好的预报能力, 尤其是晴雨预报较好, 与 HLAFS 降水预报比较有了明显的提高 (PC 提高 15% 左右, CSI 提高 10% 左右), 空报次数明显减少。对小雨、中雨的落区预报能力较强, 偏差小。对大雨、暴雨的落区有一定的预报能力 ($CSI = 0.293$), 但不如小雨、中雨的落区预报好。

由于只是对主汛期的 35 天做了检验, 对其预报能力的更精确的评价还需作进一步长时间的检验。

4 结束语

应用和检验证明, 此方程具有较好的预报

能力, 达到了我们所设计的采用较短的历史资料样本建立高效的 MOS 预报方程的目的。而且采用动力学原理来建立天气系统的动力学组合因子, 使统计方法、诊断分析、模式预报有机的结合起来, 更合理的描述了天气系统的发展机制。这种释用方法原理简单、直观, 易于实现, 是极具推广价值的释用技术。

这种方法采用的数值产品资料的时效如果增加到 3~4 个 (本文只用了 24、36 小时两个时效), 可能会有更好的效果。但这将使所用资料量成倍增加, 而过多的资料则存在传输和缺报问题, 这与系统的业务化产生了矛盾。如何选择最佳的时效配置, 这还需要我们做进一步的探讨和研究。

参考文献

- 1 朱盛明等. 数值预报产品统计解释技术的进展. 北京: 气象出版社, 1988: 33~45, 159~166.
- 2 数值预报产品评价公报. 国家气象中心, 1997 年 3~4 期: 31~43.
- 3 丁一汇. 天气动力学中的诊断分析方法. 北京: 科学出版社, 1989: 145~192.
- 4 罗积玉等. 经济统计分析方法及预测. 北京: 清华大学出版社, 1987: 24~37.

The Application of Composite Factors of Synoptic Dynamics to the MOS Precipitation Forecasting Method

Sun Yonggang Li Zhangjun Meng Xuefeng

(Inner Mongolia Meteorological Observatory, Huhhot 010051)

Liu Zengliang Kong Linghong

(Xi'an Satellite Test and Control Center)

Abstract

A predictive equation was built by using MOS method, after making up the structural characteristic factors which can reflect the mechanism of the synoptic dynamic development of precipitation systems. During research, the HLAFS grid point data of the numerical forecast products by our country is used to formulate the synoptic dynamic development characteristic in Inner Mongolia region. The experiment results show that this MOS equation can improve the prediction accuracy, be put into the routine meteorological operation easily and thereby have a good application and popularization value

Key Words: NWP product synoptic dynamics MOS equation composite factor