

暴雨站数预报在暴雨落点预报中的应用^①

李昌义 顾润源 张 珮 孙兴池 张少林 邹树峰

(山东省气象台, 济南 250031)

提 要

采用暴雨站数预报与站点降水量预报相结合的方法预报暴雨落点, 在 1998 年 7~8 月的暴雨落点预报中, TS 评分达到 22.4%, 超过了 HLAFS 和主观预报。进一步的研究分析表明: 这种方法可充分利用降水量预报的空间分布信息, 预报准确率还存在较大的可提高空间, 是一种较为有效的暴雨落点客观预报方法。

关键词: 暴雨站数 暴雨落点 客观预报

引 言

近年来, 随着我国预报业务体制改革的深入, 预报业务对暴雨客观指导预报的要求越来越高, 提出了将暴雨预报到站点的要求。虽然自“75.8”特大暴雨以来, 国内在暴雨发生的规律及预报方法方面开展了大量的研究工作, 取得了丰硕的成果, 但很多预报方法研究工作主要是针对区域或分片的暴雨, 这些方法具体预报到站点上准确率较低, 站点的暴雨预报在原理和方法上都仍然存很大难度, 主要表现在: ①暴雨天气具有明显的中尺度特征, 虽然我们对其物理机制已经有了较为明确的认识, 但因暴雨系统空间和时间尺度都较小, 采用常规资料和方法还难以准确地表征其发生发展。②暴雨与一些物理量场关系密切, 虽然数值模式已能提供大量物理量分析预报产品, 但不同模式的物理量客观分析场有很大差别, 预报场更是存在明显误差, 所以物理量诊断及完全预报方法受到限制; 暴雨又是小概率事件, 每个站点上暴雨发生频数较低, 可供分析的样本较少, MOS 方法同样受到限制。因此, 暴雨落点的客观预报方法研究应该探求新的思路。

1 暴雨站数和站点降水量相结合预报暴雨落点思路的建立

有效的因子是客观预报方法的基础, 我们在利用 HLAFS 产品初选与暴雨关系密切的物理量因子的过程中, 在资料年代短、站点暴雨样本很少的情况下, 计算了 HLAFS 1995~1996 年 6~8 月经过非线性处理后的资料与山东暴雨站数的相关场, 发现一些预报因子与山东暴雨站数有很高的相关系数 (115 个样本, 相关系数最大值为 0.592), 于是采用逐步回归方法建立了全省 6~8 月暴雨站数的 MOS 预报方程, 历史样本拟合表明该方程对暴雨站数有一定的预报能力。我们还对该方程历史样本的拟合结果作过这样的统计: 如果预报的站数落点能全部准确, 则暴雨落点 TS 评分将可达 44%, 5 站 (依实况) 以上过程可达 52%, 如果 1/3 准确, TS 评分也将有 15% 和 17%。这一结果启发我们: 可以选取预报降水量较大、数量与暴雨站数预报相等的站点确定为暴雨落点。在缺少降水量数值预报历史资料情况下, 我们利用 1995~1996 年 HLAFS 资料, 建立了 6~8 月全省 86 个站点的降水量 MOS 预报方程, 考

^① 本工作为中国气象局科学技术研究项目 (1997~2000) 预报逐级指导技术研究, 暴雨落区预报子专题资助

察了采用这种方法拟合预报暴雨点的情况,虽然降水量 MOS 方程预报质量不高,历史样本暴雨落点 TS 评分拟合率仍达到 18%,1997 年 6~8 月试报的 TS 评分为 14%,初步显示该方法对暴雨落点具备一定的预报能力,由此我们进一步建立了山东省暴雨落点的客观预报方法。

2 暴雨落点客观预报方法和应用检验

1998 年 6~8 月,我们采用这种客观方法并结合一些订正指标,制作了 86 个站点的 24 小时暴雨客观预报,预报员同时制作了主观预报以供对比。客观方法中,暴雨站数由 MOS 方程作出,站点降水量由 HLAFS 降水量预报插值得到。下面介绍使用的具体方法和对应用情况的总结与分析。

2.1 暴雨站数、降水量综合的暴雨落点预报方法

方法思路:在做出山东范围内暴雨站数和站点降水量的预报之后,从站点中选出与暴雨站数预报数量相同、降水量最大的一些站点确定为暴雨落点,再经指标订正作出最后的暴雨落点预报。具体步骤如下:

2.1.1 制作暴雨站数预报

暴雨站数预报由 MOS 方程作出,该方程利用 1995~1996 年 6~8 月 HLAFS 08 时预报场资料采用逐步回归方法建立(建立过程参见文献[1]),有 5 个经非线性处理的因子,可预报 HLAFS08 时起始场当日 20 时至次日 20 时山东 86 个站点中出现暴雨(降水量 $\geq 50\text{mm}$)的站数,因子内容和系数见表 1。方程如下:

$$Y = 1.4362 + b_1 \cdot X_1 + b_2 \cdot X_2 + b_3 \cdot X_3 + b_4 \cdot X_4 + b_5 \cdot X_5$$

Y < 0 时将 Y 处理为 0。

表 1 山东暴雨站数预报方程的因子和方程系数

因子	x_1	x_2	x_3	x_4	x_5
因子要素名称	南北风	南北风	散度	温度露点差	假相当位温
要素层次(hPa)	300	700	200	850	700
要素预报时效	24 小时	24 小时	12 小时	24 小时	12 小时
组合方式	南~北向	南~北向	原始格点	原始格点	东南~西北向
格点位置(N,E)	格点隔 2°差值	格点隔 2°差值	原始格点	原始格点	格点隔 2°差值
非线性处理方法	36°,119°	31°,116°	38°,112°	37°,120°	32°,119°
单位	>-56 处理为 0	>-36 处理为 0	<19	<35 处理为 0	>3.6
方程系数	开 3 次方	开 5 次方	处理为 0	开 5 次方	处理为 0
	0.1m·s ⁻¹	0.1m·s ⁻¹	10 ⁻⁶ m·s ⁻¹	0.1℃	K
	-0.1796	-0.7714	0.0127	-0.4870	-0.0312

方程建立时对暴雨站数进行了开 2 次方处理,所以预报站数 $Y_1 = Y \cdot Y$ 。

Y_1 的历史样本拟合数值比实况偏低,为了能使预报值更接近于实况数值,对 Y_1 进一步作如下处理:

$$Y_n = (Y_1 - Y_0) \cdot (M_0 - 1) / ((M_1 - Y_0) + 1)$$

其中: $Y_0 = 0.53$ 利用 Y_1 判断暴雨有无的最佳指标, $M_0 = 29$ 暴雨实况站数的最大值, $M_1 = 17.45Y_1$ 拟合的最大值, Y_n 为最后的暴雨站数预报值。

2.1.2 插值得到 86 个站点降水量预报

86 个站点降水量由 HLAFS08 时起始场的 20~20 时降水量 36 小时预报插值得到。插值方法采用了权重插值[2]:

$$R_z = \frac{\sum_{i=1}^N W_i R_i}{\sum_{i=1}^N W_i}$$

其中 R_z 为站点的降水量, R_i 为站点周围格点的降水量, N 为选取的格点数量, W_i 为权重系数。

我们选取了 HLAFS1° × 1° 经纬网格下站点周围的 4 个格点进行插值,即 $N = 4$,同

时取 $W_i = L_i^{-2}$ 以简化计算, L_i 为站点至格点的距离。

2.1.3 初定暴雨落点

选出与暴雨站数预报数量相同、降水量最大的一些站,初定为暴雨落点。

2.1.4 对前面结果进行补漏消空订正

订正指标:①站点降水量预报 $\geq 50.0\text{mm}$ 预报该站有暴雨(补漏),②站点降水量预报 $< 25.0\text{mm}$ 该站无暴雨(消空),③经前两项指标订正后的预报站数 ≤ 4 站,则全部站都不报暴雨(消空)。

指标①和②是根据使用 HLAFS 降水量预报的经验确定,③是因为考虑到对范围很小的暴雨过程很难确定落点,避免漏报情况下再增加空报。

2.2 实际应用效果检验

1998年6~8月,该方法进行了业务实验,每天下午利用 HLAFS08 时预报场资料制作山东省 86 个站点当日 20 时至次日 20 时暴雨客观预报,实际时效略大于 24 小时,预报员同时制作了主观预报以供对比。下面从评分和主要暴雨过程预报两个方面对实验的情况进行总结分析。7~8月有 3 天缺客观预报资料,但缺少的不是山东省的主要暴雨过程,不影响我们的总结分析。

2.2.1 评分检验

评分检验内容如下:

$TS = \text{正确站数} / (\text{正确站数} + \text{空报站数} + \text{漏报站数})$

$\text{预报成功率} = \text{正确站数} / (\text{正确站数} + \text{空报站数})$

$\text{空报率} = \text{空报站数} / (\text{正确站数} + \text{空报站数})$

$\text{漏报率} = \text{漏报站数} / (\text{正确站数} + \text{漏报站数})$

其中正确和空漏报的规定如下:

正确:预报某站有暴雨,该站实况降水量 $\geq 50.0\text{mm}$ 。

空报:预报某站有暴雨,该站实况降水量 $< 50.0\text{mm}$ 。

漏报:预报某站没有暴雨,该站实况降水量 $\geq 50.0\text{mm}$ 。

1998年6月山东无暴雨过程,预报也无,没有评分,对7~8月进行了评定。表2列出了7~8月主观预报、HLAFS 预报(降水量 $\geq 50\text{mm}$)和客观预报的评分检验情况。

表2 1998年7~8月山东省86站暴雨预报评分

预报方法	月份	正确站数	空报站数	漏报站数	TS 评分	预报成功率	空报率	漏报率
主观预报	7月	27	17	54	0.276	0.614	0.386	0.667
	8月	26	80	141	0.105	0.245	0.755	0.844
	合计	53	97	195	0.153	0.353	0.647	0.786
HLAFS	7月	12	3	69	0.143	0.800	0.200	0.852
	8月	22	29	145	0.112	0.431	0.569	0.868
	合计	34	32	214	0.121	0.515	0.485	0.863
客观预报	7月	30	5	51	0.349	0.857	0.143	0.630
	8月	39	55	128	0.176	0.414	0.586	0.766
	合计	69	60	179	0.224	0.535	0.465	0.722

评分统计表明:①客观预报质量最高,各项检验指标均好于主观预报和 HLAFS 的预报,其中 TS 评分达到 22.4%,比主观预报和 HLAFS 的预报分别高出 7.1%和 10.3%,其预报成功率也较高,可信度较好,效果令人满意。②客观预报漏报率较高,虽然比主观预报和 HLAFS 预报漏报的程度低,但也是需要加以改进的方面。

2.2.2 主要暴雨过程预报检验

表3列出了1998年7~8月山东暴雨实况站数 ≥ 10 站或客观预报 ≥ 10 站的几次过程的统计。这几次过程实况的暴雨站数占7~8月暴雨实况总站数的 77%,预报正确的站数占预报正确总站数的 90%,TS 评分达到 26.3%,预报成功率 58.4%,比全部统计(表2)的情况高,表明本方法对范围较大过程的预报效果好于小范围过程。

从表3中可看出,这几次过程预报的站数多数偏低,造成了漏报多于空报,漏报率高达 77.7%,这些漏报主要集中在8月4次 20

站以上的暴雨过程,4次过程共漏报99站,占表3统计过程的76.1%,占7~8月漏报总站数的55.3%,因此在预报强暴雨过程方面暴雨站数预报方法仍需要改进。

表3 1998年7~8月暴雨实况站数或
预报站数≥10站情况统计

日期 月日	实况 站数	方程预 报站数	订正后 预报站数	正确 站数	空报 站数	漏报 站数	TS 评分
07.02	13	9	9	8	1	5	0.571
07.09	13	11	11	10	1	3	0.714
07.24	13	7	0	0	0	13	0
07.31	9	4	10	8	2	1	0.727
08.04	49	34	34	22	12	27	0.361
08.07	22	1	0	0	0	22	0
08.10	8	13	13	1	12	7	0.050
08.15	23	7	7	3	4	20	0.111
08.22	42	5	22	10	12	32	0.185
合计	192	91	106	62	44	130	0.263

值得一提的是,客观方法对1998年山东省汛期两次重要暴雨过程作出了很多有参考价值的预报。7月2日山东省出现了汛期第一次暴雨过程,实况为有13个站出现暴雨,客观方法预报该日9站有暴雨,其中落点正确的有8站,预报成功率88.9%;8月4日实况暴雨站数49,是山东汛期最强的一次暴雨过程,客观预报站数34,超过了建立方程历史样本29站的极值,说明站数预报方程对这种特异情况有一定的预报能力,其中落点正确22站,成功率为64.7%。这两次过程客观预报基本正确,为我台准确预报主汛期开始和汛期最强的一次暴雨过程提供了重要客观参考依据。

HLAFS对1998年7~8月山东几次较大降水分布趋势预报较为准确,这也是客观方法质量较高的基础,初步的总结表明:1998年7~8月HLAFS在山东附近降水量中心趋势的预报准确程度水平超过了日本传真图,较前两年有了很大提高,因此如果该模式预报质量能保持1998年的水平或进一步提高,暴雨站数预报和站点降水量预报相结合的暴雨落点客观预报方法就能保持稳定的预

报效果。

3 对应用暴雨站数预报的进一步分析

虽然站数结合站点降水量确定暴雨落点的方法在实际应用中取得了很好的效果,但站数预报在其中发挥了多大程度的作用以及该方法的应用前景如何我们还不十分清楚。针对这两个问题,我们假设了一些条件,分析检验了这些条件下采用客观方法预报1998年7~8月山东暴雨落点的情况,从中得出了一些有益的结论。

3.1 假设不使用订正指标

实际应用的客观方法利用了站点降水量作为订正指标,这使我们不宜看出站数预报和降水量预报各自所起的作用,因此我们统计了不订正的情况,即从站点中选出与暴雨站数预报数量相同、降水量最大的一些站点确定为暴雨落点后,不进行任何订正,这种情况实际上仅利用了站点预报降水量大小的空间分布信息。

这种情况下确定暴雨落点TS评分为15.9%,与主观预报的水平相当,比HLAFS降水量≥50mm的评分高,这说明通过预报暴雨站数,可充分利用降水量大小空间分布的信息来制作暴雨落点预报。在实际预报暴雨过程时,预报员常常首先参考各类信息判断降水的强度是否会达到暴雨,然后再判断其落点。因此,先预报暴雨站数再确定暴雨落点的方法和预报员的思路是非常相似的,只不过其过程客观化定量了。

3.2 假设使用最佳订正指标

1.4中实际应用的订正指标是凭经验确定的,不一定是最佳。我们普查了1998年7~8月最佳的补漏和消空指标,结果表明:在HLAFS站点降水量预报≥39mm时补漏,预报降水量<31mm消空,订正后暴雨站数≤3站时全部消空最佳,客观方法的TS评分最高,达到24.0%,比我们实际应用的指标有所提高。

3.3 假设仅利用 HLAFS 降水量预报,采用最佳指标确定暴雨落点

表 2 中 HLAFS 降水量 $\geq 50\text{mm}$ 的评分虽然不高,但经验表明数值模式在预报较大降水的时候量值常常偏低,实际应用预报暴雨时应采用低的指标。我们针对 1998 年 7~8 月 HLAFS08 时 36 小时降水量预报,在 10~60mm 之间普查了最佳的指标,结果表明:37mm 为最佳指标,站点降水量 $\geq 37\text{mm}$ 时预报该站有暴雨,暴雨落点 TS 评分达到最高值 20.6%,大大超过表 2 中 HLAFS 站点降水量预报 $\geq 50\text{mm}$ 的情况,但比客观方法实际应用和 3.2 假设下的评分低,说明在暴雨落点预报中站数预报确实可以发挥作用。

3.4 假设站数预报全部准确

如果 1998 年 7~8 月站数预报全部准确,用实况站数代替预报站数结合 HLAFS 降水量预报确定暴雨落点,TS 评分可达 33.3%,站数 ≤ 3 站时消空订正后可达到 36.1%。与 3.1 假设相比,这个结果更能说明站数预报的作用。这也表明,对暴雨站数预报方程进行优化,结合降水量预报后暴雨落点预报准确率可进一步提高(1998 年 10 月我们对站数预报方程进行的优化工作将 3.2 假设下的 TS 评分提高到了 27%)。

3.5 假设预报的暴雨站数落点能全部准确

这种假设仅要求 1998 年 7~8 月站点降水量预报大小排序情况与实况完全相同,不一定要求数值绝对准确。在这种情况下,不使用订正指标 TS 评分为 29.4%,用 3.3 中的最佳指标订正 TS 后评分可达到 39.8%,说明降水量预报的质量提高后,站数预报将能够发挥更大的作用。暴雨从本质上讲是日降水量 $\geq 50\text{mm}$ 的天气现象,做好暴雨落点预报的根本手段还应是做好降水量的预报。

4 结语

以上分析表明,在目前数值产品的预报质量下,区域内暴雨站数预报结合站点降水量确定暴雨落点是一种非常有效的客观方法,该方法可充分利用降水量预报的空间分布信息,比单纯依赖站点降水量预报的数值预报暴雨落点有优势。提高暴雨站数预报和降水量预报的质量,可进一步提高该方法预报暴雨落点的准确率。深入开展这方面的研究工作,对建立省级暴雨客观指导预报业务系统,提高暴雨预报的准确率将起到促进作用。

参考文献

- 1 李昌义等.非线性因子预报山东暴雨站数初步研究.山东气象,1998,4:21~24.
- 2 张玉玲等.数值天气预报.北京:科学出版社,1987:392~421.

The Application of Rainstorm Station Number Forecast to Rainfall Area Forecast

Li Changyi Gu Runyuan Zhang Sa Sun Xingchi Zhang Shaolin Zou Shufeng

(Shandong Meteorological Observatory, Jinan 250031)

Abstract

The forecast of rainstorm fall area was done by the rainstorm station number prediction combined with the rainfall forecast of one station. The TS grade of a operational forecast for rainstorm fall area from July to August of 1998 was up to 22.4%, and more than both HLAFS and subjective forecast. Further, the analysis results show that the method is an effective forecast for rainstorm fall area, and makes the best use of the spatial distribution of rainfall forecast.

Key Words: rainstorm station number rainfall area rainfall forecast