

# 2002年7~8月海河流域面雨量预报的误差分析

王新龙 胡欣 尤凤春

(河北省气象台, 石家庄 050021)

## 提 要

对天津市气象台和河北省气象台在2002年7~8月的海河流域面雨量24h、48h预报进行了误差对比分析,列举了几种预报误差,并利用模糊数学中的综合评判法,计算了它们的模糊评分。结果表明:海河流域的面雨量预报有一定的可信度,将其作为水文模式的初值,有较高的利用价值;对于各气象台各自辖区内的预报,范围越小,预报越准确;在对面雨量预报效果的评估上,80%(或80)这一数值是客观、可信的。

**关键词:** 海河流域 面雨量 预报 误差分析

## 引 言

由于流域面雨量能够较客观地反映流域的降水情况,因此在分析、预报水情变化时应用非常广泛,它是防汛部门在洪水与水库调度中一个非常重要的水文学参数。准确的流域面雨量预报,可为流域的防汛抗洪、水库调度、城市供水及水资源科学利用等提供可靠的决策依据。因此,制作面雨量预报已成为我国气象工作中一项新业务。2002年汛期全国七大江河流域面雨量的预报业务全面正式展开,海河流域的天津市气象台和河北省气象台7~8月开展了流域面雨量的预报工作。

海河流域处于特殊的气候地理位置。一是连年干旱、降水变率大、夏季降水集中,暴雨频次少、致灾严重。二是地理地貌多样,太行山、燕山与华北平原上有众多的河流、水库,北京、天津、石家庄等大中城市分布其中。1949年以来,曾发生过著名的“63.8”全流域的特大暴雨;“96.8”海河南系大暴雨曾给太行山区的大中型水库造成威胁,在河北南部发生了严重的洪涝灾害,并一度严重威胁到北京、天津等大中城市的安全。因而海河流域面雨量预报有着更重大的意义。为了解此项新业务的准确程度和可信度,本文计算了

2002年7~8月面雨量预报的各种误差,并利用模糊评分进行了模糊综合评判,为我们进一步开展面雨量预报的专项研究、提高面雨量的预报、服务水平提供了有价值的依据。

## 1 资料来源

本文所用资料分实况与预报资料。面雨量是一种“以点代面”经特殊方法计算得出的推算值,并不是真正意义上的实测值。因此,我们选取海河流域内169个气象站24h实测雨量(北京时08时为日界,下同),经泰森多边形法计算得出的数值作为面雨量实况资料。预报资料中的天津市气象台的面雨量预报由流域内7个省、市(内蒙古、山西、河北、河南、山东、北京、天津)的预报经算术平均得出。河北省气象台独立作海河全流域的站点预报,再利用泰森多边形法求得面雨量预报。

资料日期为2002年7月1日~8月31日,其中天津市气象台的资料从7月7日开始,由于7月上旬降水稀少,缺少的资料对整体分析结果影响很小。

## 2 分析方法

天津市气象台的面雨量是接收到流域内7个省、市发来的各自辖区内站点雨量预报后,经算术平均得来,此方法虽较简单,但经分析发现<sup>[1]</sup>误差较大,不适合海河流域面雨

量的计算。通过长江流域及中央气象台面雨量的对比试验表明<sup>[2,3]</sup>,流域内站网密度越大,面雨量的精度越高。对地形复杂、气象测站分布不均的流域,用泰森多边形法精度较高<sup>[4]</sup>,河北省气象台就采用了这一方法。为了计算泰森多边形法中面积与权重系数,我们借鉴中央气象台的做法,确定了海河流域各支流域的边界,把全流域共划分为7个支流域和一个区,即滦河、北三河、永定河、大清河、子牙河、南运河、徒骇马颊河和海河下游区(图1)。泰森多边形法在诸多文献<sup>[1~5]</sup>中已有较多讨论。下面着重介绍误差分析及模糊评分方法。

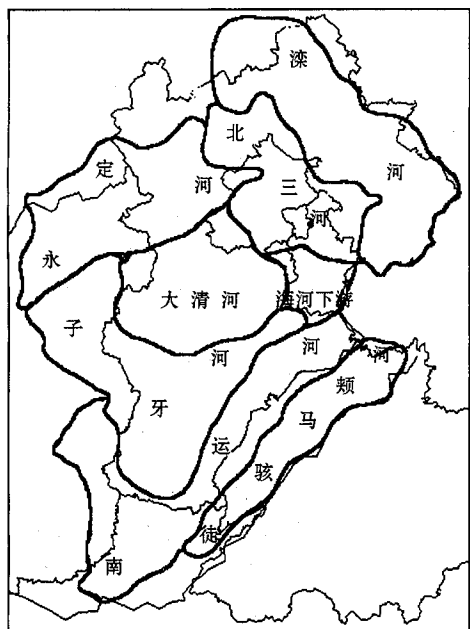


图1 海河流域各支流域分界图

### 2.1 误差分析方法

以下为本文计算误差的公式:

$$T_s = \frac{R}{R + M + L} \quad (1)$$

$$E_a = |R_f - R_o| \quad (2)$$

$$E_r = \frac{R_f - R_o}{R_o} \quad (3)$$

式中  $T_s$  为正确率,  $E_a$  为绝对误差,  $E_r$  为相对误差,  $R$ 、 $M$ 、 $L$  分别为正确、空报、漏报的次数,  $R_f$  为预报面雨量,  $R_o$  为实况面雨

量。面雨量作为一种推算值,  $R_o$  更不是实测的“真值”,不同的计算方法有各自的系统误差,因此预报误差中除包含量级误差外,还有一定的系统误差。本文为了简化分析,对系统误差不作过多分析,详见文献[1~5]。

### 2.2 模糊评分方法

为了较客观地评定面雨量预报,我们利用了模糊数学中的模糊综合评判的方法。

董官臣等<sup>[5]</sup>根据站点雨量等级乘以60%得出相应的面雨量等级(表1)。表中需要说明的是:在面雨量的预报中,小于0.5mm不发表,因此面雨量小雨的下限取为 $0.5 \times 0.6 = 0.3\text{mm}$ 。经研究表明<sup>[3]</sup>,当下垫面较湿润时,24小时的面雨量为20mm时应引起注意,故面雨量大到暴雨的下限不取23mm,而取20mm。我们在计算面雨量实况时未采取四舍五入,因此会出现0.5mm以下的面雨量实况。由于0级降水0.1~0.2mm微不足道,不能形成径流,故未预报0.1~0.2mm面雨量时,不统计为漏报。另外,天津市气象台的面雨量预报以1mm为单位,为使预报结果具有可比性,当出现小于0.5mm的面雨量而未预报时,本文不予评定。

表1 面雨量级与量级误差

编号	量级	单站下限/mm	面雨量下限/mm	面雨量级最大误差/mm
0	微量	0.1	0.1	0.2
1	小雨	0.2	0.3	2.7
2	小到中雨	5	3	7
3	中到大雨	17	10	10
4	大到暴雨	38	20	10
5	暴雨	50	30	30
6	大暴雨	100	60	60
7	特大暴雨	200	120	-

在制作天气预报过程中,我们总局限于一定范围内的天气系统,它是动态、变化的系统,通常把这种研究的系统称为论域,用  $U$  表示。由于天气预报是由多因素组成的,这些因素是  $U$  的元素,记为  $u_1, u_2, \dots, u_n$ 。对于天气预报中每一个具体要素,自然是  $U$  的子集合,记为  $A, B, C, \dots$ 。于是,任给某一个子集合  $A$ ,对于任意元素  $u_i \in U$ ,则要么  $u_i \in A$ ,要么  $u_i \notin A$ ,二者必居其一,不能出现模

棱两可的现象,这是按普通集合性质要求的,也是理想化的数学抽象。但是,涉及大气运动的诸多要素不是孤立存在的,它们之间有着错综复杂的联系。因此,必须将上述严格的“非此即彼”改造为符合实际的“亦此亦彼”的中介状态。

模糊数学的创立者美国人查德(L. A. Zadeh),为了描述和处理事物的模糊关系,把“属于”关系进一步数量化,即集合  $A$  中的某个元素  $u_i$  对  $A$  不是要么“属于”要么“不属于”关系,而是可以不同程度的“属于”和不同程度的“不属于”,这个程度叫做隶属度。隶属度的范围在 0 与 1 之间,即  $u_i$  的隶属度值域是  $[0,1]$ (本文为分析方便,值域的下限设为 100)。“属于”关系用函数关系表示,将论域与值域相对应,故形成子集合  $A$  唯一确定的一个映射,它们一一对应。其特点是在众多的“属于”关系的评价指标基础上进行加权平均,得出一个无量纲的综合评价值,然后比较综合评价值的大小,对受到多个因素制约的事物或对象作出一个总的评价,这就是所谓的综合评判问题<sup>[6,7]</sup>。根据所给的条件,给每个对象赋予一个评判指标,称之为模糊评分。

根据模糊数学中的模糊综合评判的原理<sup>[6,7]</sup>,中央气象台给出了第  $i$  个流域第  $j$  级降雨预报的模糊评分  $MP(j, i)$  计算公式:

$$MP(j, i) = 60 + 40 \times \left( 1 - \frac{|F_i - O_i|}{\max(j)} \right) \quad (4)$$

式中  $F_i$  为预报等级,  $O_i$  为实况等级,  $\max(j)$  为  $j$  级降雨的最大误差,它由各等级降雨量的上下限相减得来。

从公式(4)可知,当空报和漏报时,模糊评分为 0,其它情况模糊评分的数值与三个因子有关:预报等级  $j$ , 等级误差  $|F_i - O_i|$  和该等级最大等级误差  $\max(j)$ 。该式包括两项:第一项“60”为有雨预报正确的基础分,第二项为强度(等级)预报的加权分。因空漏报在  $T_i$  评分中已有体现,因此,本文的模糊评分只对有雨预报正确的次数进行评定,且规定它的最低值为 60。

由于面雨量等级全国无统一的划分标准,我们在业务中预报的是面雨量的数值而非等级,因此在公式(4)中用公式(2)的绝对误差  $E_a$  代替等级误差  $|F_i - O_i|$ 。公式(4)可以写为:

$$MP(j, i) = 60 + 40 \times \left( 1 - \frac{|R_f - R_o|}{\max(j)} \right) \quad (5)$$

这样,模糊评分就有了更进一步的意义,当预报和实况等级一致而数值不等时也有误差,这样计算出来的模糊评分精度有所提高,即它表示某一等级预报贴近实况数值的程度,不再表示贴近等级的程度。根据误差大小计算的模糊评分,表征预报贴近实况的程度,分值越高,预报越接近于实况。我们规定,当绝对误差  $E_a$  大于最大等级误差  $\max(j)$  时,公式(5)中第二项为 0。为了评定面雨量级的预报,当预报的数值属于某个面雨量级时,我们就认为预报了该等级的面雨量。此外,为了误差的统计,还用到以下两个公式:

第  $i$  个流域模糊评分为( $N$  为降水等级数):

$$MP(i) = \frac{1}{N} \left[ \sum_{j=1}^N MP(j, i) \right] \quad (6)$$

第  $j$  级降水模糊评分为( $T$  为总流域数):

$$MP(j) = \frac{1}{T} \left[ \sum_{i=1}^T MP(j, i) \right] \quad (7)$$

### 3 计算结果与分析

根据误差分析公式(1)、(2)、(3)及模糊评分公式(5)、(6)、(7)我们计算了 2002 年 7~8 月天津市气象台、河北省气象台海河流域面雨量 24h 预报的各种误差和模糊评分(表 2、表 3)。

从表 2 可以看出,河北省气象台对全流域预报的  $T_i$  评分较高。在对支流域的预报上,河北省气象台对滦河、南运河和下游区有较高的  $T_i$  得分,分别都达到了 71%。在空报次数上,河北省气象台比天津市气象台多 39%。在漏报方面,天津市气象台较多。通过分析绝对误差发现,天津市气象台对自己

所辖区域——下游区的预报误差较小,这除有预报方面的原因外,与下游区地势平坦、站点分布均匀,而且适合算术平均法计算面雨量有关。河北省气象台平均绝对误差较大,其中下游区的误差最小,永定河的误差最大。

模糊评分表明,在有雨时对雨量预报的准确程度上,天津市气象台大部分在80分以上;河北省气象台的模糊评分一般,但也接近80分。说明天津市气象台在预报雨量上与实况较贴近。

表2 2002年7~8月海河流域24小时面雨量预报误差与模糊评分

流域名称	空报次数		漏报次数		正确次数		$T_s/\%$		绝对误差/mm		模糊评分	
	天津	河北	天津	河北	天津	河北	天津	河北	天津	河北	天津	河北
滦河	—	10	—	2	—	29	—	71	—	4.1	—	78
北三河	13	13	4	4	24	27	59	61	3.2	4.0	82	78
永定河	9	9	7	8	16	17	50	50	7.8	9.5	75	71
大清河	7	13	6	3	9	16	41	50	4.2	4.2	75	76
子牙河	10	13	3	2	23	24	64	62	3.7	4.2	76	74
南运河	5	10	10	3	21	32	58	71	2.5	3.4	82	77
徒骇马颊河	13	12	5	3	19	22	51	60	3.7	4.7	82	78
下游区	7	9	9	3	17	29	52	71	2.6	2.4	87	78
海河全流域	64	89	44	28	129	196	54	63	3.8	4.4	80	77

注:因通信的原因,天津市滦河流域的面雨量计算有误,本文略去未用。

通过表3可以看到海河流域面雨量级预报的分布情况。天津市气象台(不预报0级降雨)和河北省气象台的1、2级降水预报占总数的89%、83%。随着面雨量级的增加,每一量级的预报次数迅速减小。随着量级差的加大,绝对误差也加大。模糊评分随面雨级的增加而减小,特别是大到暴雨(4级)的预报,河北省气象台几乎没有技巧可言,而天津市气象台达到了80分,天津市气象台与之对应的绝对误差也较小,说明天津市气象台对较大降水有一定的预报能力。

表3 2002年7~8月海河流域24小时面雨量级预报误差与模糊评分

面雨量级	正确次数		绝对误差/mm		模糊评分	
	天津	河北	天津	河北	天津	河北
0	—	7	—	1.1	—	72
1	57	78	2.4	2.3	83	79
2	58	85	4.0	4.5	79	79
3	12	22	8.5	9.4	71	68
4	2	3	8.7	19.3	80	60
5	—	1	—	23.0	—	69

我们同时还分析了两个气象台的48h预报的各种误差(表略),并与24h预报作了对比,发现他们的空报次数有所减少,但漏报次数显著增加;天津市气象台和河北省气象台的 $T_s$ 评分分别降低了12%、5%。由此可见,随着预报时效的延长,各气象台的预报准

确率有明显的下降趋势。

#### 4 降雨天气过程面雨量预报能力分析

为了弄清各气象台对天气过程的预报能力,我们选取了2002年7月27~29日的全流域降雨和8月2~4日局地暴雨过程,分析预报的相对误差,希望对以后的预报有所启示。

7月27~29日的全流域性降水是由减弱的0209号(风神)台风与高空槽及副高相互作用产生,28日还造成了河北省东北部地区的暴雨,但滦河的面雨量仅为19mm,接近大到暴雨的下限。天津市气象台和河北省气象台对这次过程都作出了预报。河北省气象台对这次过程除滦河预报偏小40%外,其它支流大多预报偏大几倍到十几倍。天津市气象台对下游区的预报较准确,相对误差在50%以下。

8月2~4日的局地暴雨产生在副高边沿高温高湿的不稳定区里,特别是4日夜间的中尺度对流云团(MCC)给南运河、子牙河和大清河三个支流的下游与天津下游区造成了局部暴雨到大暴雨,由于下游区的范围小、雨量均匀,面雨量达到了暴雨级的38mm。河北省气象台的预报偏小七成以上,但天津市气象台对下游区的预报相对误差只有50%。可见,对于夏季的局地性降雨,预报区

域越小,预报越准确。

## 5 小结

(1)降雨过程除与天气形势直接相关外,它与本地的地形有密切关系。预报范围越大时,地形的影响越容易忽略,预报效果就越差,责任区越小,准确程度越高。分析表明,河北省气象台有较多的空报次数,而天津市气象台有较多的漏报次数。河北省气象台对滦河、南运河和下游区的的预报较好。天津市气象台对自己辖区——下游区的预报较好,但对全流域的预报效果不好,这其中除有计算方法上的误差外,在文件的传输上有过多的环节,从而造成数据文件有误有关。

(2)由于海河流域地形复杂、雨量站点分布不均,在计算面雨量时采用泰森多边形法效果较好。由于预报准确率与预报责任区的大小成反比,在作面雨量的预报时,截取各气象台所作的各自辖区内的站点雨量预报,用泰森多边形法计算结果较好。

(3)在对面雨量预报、服务方面的评估上,80%(或80分)的准确率是一个客观、可信的数值。面雨量预报比常规的天气预报具有更强的可操作性,因此,把面雨量预报作为水文模式的初值对水文部门有较高的利用价值。

(4)2002年的天气反常,海河流域7~8

月的降水偏少,大范围降水不多,多局地阵性降雨,属偏旱年,由于我们分析的资料长度有限,分析结果也许有失偏颇,有待今后积累更多资料作进一步分析、验证。另外,为了客观评分,对模糊评分、面雨级的划分应作更仔细的研究。

(5)海河流域面雨量预报是一项新的预报业务,今后在利用加密观测资料、各种数值预报产品、卫星、雷达、水文等资料方面还需做大量工作,要加强面雨量预报的专项研究,从而提高我们对海河流域面雨量的预报、服务水平。

## 参考文献

- 1 王新龙,尤凤春,杨海龙.海河流域面雨量计算方法及应用.河北气象,2002,21(4):9~14.
- 2 徐晶,林建,姚学祥等.七大江河流域面雨量计算方法及应用.气象,2001,27(11):13~16.
- 3 孟遂珍,彭治班等.流域平均降水量的一种算法.新一代气象服务体系研究文集(二).1999:112~118.
- 4 马鹤年.气象服务学基础.北京:气象出版社,2000:278~283.
- 5 董官臣,冷林茂,符长锋.面雨量在气象预报中的应用.气象,2000,26(1):9~13.
- 6 李安贵,张志宏,段凤英.模糊数学及其应用.北京:冶金工业出版社,1994:254~268.
- 7 李洪兴,汪培庄.模糊数学.北京:国防工业出版社,1994:116~139.

## Error Analysis of Area Rainfall Forecast in the Haihe River Basin from July to August 2002

Wang Xinlong Hu Xin You Fengchun  
(Hebei Meteorological Observatory, Shijiazhuang 050021)

### Abstract

The errors of 24 hour and 48 hour area rainfall forecast of Tianjin Meteorological Observatory and Hebei Meteorological Observatory in the Haihe river basin from July to August 2002 are analyzed. Based on fuzzy comprehensive judgment method, the two observatories' fuzzy grades are calculated. The results show that area rainfall forecasts in the Haihe river basin have much more reliability, which are much more useful as a initial values of hydrologic model. The results also show that in the observatories' forecast regions, the less the area, the higher the forecast accuracy, and the number 80% (or 80) is an objective and believable value for evaluating the forecast effects of area rainfall.

**Key Words:** the Haihe river basin area rainfall forecast error analysis