



研究论文

# 热带气旋暴雨增幅 造成北方特大暴雨的预报<sup>1)</sup>

曹钢锋 朱官忠 张善君<sup>2)</sup>

(山东省气象局, 济南 250031)

## 提 要

利用人工神经网络的非线性决策特性,采用前向多层的误差反向传输网络(即BP网络),研制了一个登陆北上热带气旋暴雨增幅造成北方特大暴雨的预报方法——能自动判别有无暴雨增幅及其出现地区的人工神经元分类预报网络。该方法简便客观,试用效果较好,即可投入业务使用。

**关键词:** 热带气旋 暴雨增幅 北方特大暴雨 人工神经元预报网络

## 引 言

从浙、闽沿海登陆经华东地区北上的热带气旋,其中心周围的雨区逐渐减弱,但当它绕过副热带高压西脊点与西风带低槽结合时,降雨再度加强增幅,在我国北方(华北、东北)地区造成特大暴雨,常酿成严重洪涝灾害<sup>[1]</sup>。

登陆北上热带气旋平均3—4年一遇,约占西北太平洋热带气旋总数的1%,预报此类小概率灾害性天气十分困难,迄今尚无有效的预报方法。为提高此类暴雨的预报服务水平,需要建立客观有效的业务预报方法,这对北方地区特别是黄、淮、海、松、辽五大江河的防汛抗灾工作具有重要意义。

### 1 暴雨增幅和预报对象

我们用北方地区(35°N以北)与淮河流域(32—34°N)最大过程雨量的差值 $\Delta R$ 表示暴雨增幅<sup>[2]</sup>:

$$\Delta R = R_{\max\text{北方}} - R_{\max\text{淮河}}$$

$\Delta R \geq 100\text{mm}$ ,有暴雨增幅; $\Delta R < 100\text{mm}$ ,无

暴雨增幅。

有无暴雨增幅与热带气旋路径有密切关系,可分三种类型:

A(西增幅)型,登陆北上热带气旋从泰山以西北上,低空东南气流可到达华北平原,暴雨区主要出现在辽河到黄河下游以西的华北地区,暴雨中心在燕山或太行山脉东南坡。

B(东增幅)型,登陆北上热带气旋从泰山以东北上,低空东南气流可到达黄淮地区,暴雨区主要出现在辽河到黄河下游以东的山东和(或)东北地区,暴雨中心在辽东或山东半岛的丘陵山区。

C(无增幅)型,热带气旋和低空东南气流都未到达35°N以北的内陆地区,北方不出现暴雨增幅。

### 2 起报条件和预报样本

1956—1990年35年间,登陆北上热带气旋共出现10次(表1),每次都有暴雨增幅,在北方地区造成特大暴雨,最大过程雨量达300—500mm。

1) 本研究得到国家科技攻关 85-906-07 课题经费资助。

2)

表1 1956—1990年登陆北上热带气旋个例

序号	台风编号	登陆		转向点		过35°N 经度 °E	北方地区降雨			
		时间 月.日.时	地点	纬度 °N	经度 °E		起止日期 月.日	地区分布	过程最大降雨 雨量 地点	增幅量
1	5612	8.1.24	浙江象山			113.7	8.2—5	鲁豫京津冀晋 陕宁辽内蒙	528 河北紫荆关	315
2	5622	9.3.23	福建长乐	31.0	117.8	121.1	9.4—5	鲁辽吉黑	273 山东荣城	102
3	6205	7.23.20	福建福鼎	32.6	116.6	117.1	7.24—25	鲁豫京津冀晋 辽吉内蒙	458 河北石庙子	138
4	6208	8.6.10	福建连江	33.0	117.5	119.0	8.6—7	鲁豫冀辽吉	461 辽宁石立子沟	314
5	6306	7.17.5	福建连江			117.2*	7.18—19	鲁辽吉黑内蒙	401 山东临朐九山	114
6	6510	7.26.21	福建泉州	28.0	117.1	120.0	7.27—28	鲁辽吉	454 山东文登江疃	279
7	7412	8.11.20	福建惠安	28.4	116.4	117.2*	8.13—14	鲁津辽	499 山东诸城石埠子	162
8	7805	7.23.8	浙江宁海	34.0	115.2	115.5	7.24—25	鲁豫京津冀	423 河北遵化	213
9	8108	7.23.13	浙江乐清	33.0	116.4	117.5	7.26—28	鲁豫辽吉内蒙	303 辽宁新金	130
10	8407	8.8.2	福建罗源	33.2	114.2	115.3	8.8—10	鲁豫京津冀晋 辽吉黑	379 河北青龙	153

登陆北上热带气旋到达浙、闽沿海时,其中心都通过 24°N、118°E—29°N、123°E 之间,所以将该两点之间的连线作为警戒线。根据登陆北上热带气旋到达警戒线的日期、强度、移动方向和环流形势特征,得出北方地区出现热带气旋暴雨增幅必须具备的起报条件:

(1)热带气旋在7月11日—9月5日期间到达警戒线,其中心海平面气压 ≤ 995hPa,前12小时向西北方向(WNW—NNW)移动;

(2)热带气旋到达警戒线时的500hPa起始场上,西太平洋副高位置偏北,其脊西伸控制黄海及我国北方沿海地区,脊线与120°E交点在30°N以北(≥31°N),其外围588线西脊点在113°E以东(≥113°E);银川—济南之间有较深的西风槽,槽线与40°N交点在108—117°E之间,槽底伸至36°N以南。

经普查,1956—1990年符合起报条件作为预报样本的热带气旋共24次(表2),其中10次登陆北上热带气旋都影响北方地区,出现暴雨增幅(西增幅型4次、东增幅型6次),其余14次(登陆填塞、江南填塞、沿海北上各4次,登陆转向2次)都未出现暴雨增幅,属无增幅型。

### 3 起始场和预报因子

符合起报条件的热带气旋到达警戒线时(选在08或20时)的气象要素和物理量场作为起始场。分析发现,三种有无增幅类型的起始场具有不同特征。例如,在850hPa起始场上(图1),西增幅型有一个K指数 > 30°C、 $\theta_{se} > 345K$ 的高能舌伸到华北地区;东增幅型的高能舌经华北伸向东北地区,其位置比西增幅型偏东;无增幅型没有高能舌伸到北方地区,但在黄淮地区有一条纬向湿斜压锋区( $\theta_{se}$ 等值线密集带)。

在850和500hPa起始场上,挑选能反映有无增幅的三种类型的差异的指标站气象要素和物理量,经过相关分析筛选,最后确定以下6个预报因子:

$$x_1 = \bar{K} =$$

$$(K_{北京} + K_{太原} + K_{济南} + K_{郑州})/4 \quad (1)$$

$\bar{K}$ 为华北地区中南部的K指数平均值,其数值越大,表示气团越暖湿而不稳定, $\bar{K} \geq 30^\circ C$ 时,有利于出现暴雨增幅(9/10)。

$$x_2 = \Delta K = K_{郑州} - K_{max}(沈阳、大连、青岛) \quad (2)$$

$\Delta K$ 为郑州K指数与沈阳、大连、青岛三站K指数最大值的差值。当 $\Delta K > 0$ 时,表明高能舌在黄河下游以西地区,则出现西增幅型(4/4);当 $\Delta K \leq 0$ 时,表明高能舌在黄河下

表2 1956—1990年符合起报条件的样本个例

序号	台风编号	台风路径	增幅类型	起报时间			500百帕			预报因子					
				月	日	时	西风槽 °E	副高脊 °N	西脊点 °E	$x_1$	$x_2$	$x_3$	$x_4$	$x_5$	$x_6$
1	5612	登陆北上	A	8	1	23	108	38	125	38	8	12	575	13	353
2	5622	登陆北上	B	9	3	23	108	32	120	32	-18	15	586	-2	341
3	5822	登陆转向	C	9	4	08	113	33	121	24	0	28	587	-9	330
4	5901	沿海北上	C	7	16	08	114	33	123	29	-1	26	587	-3	340
5	5904	登陆转向	C	8	30	08	112	34	116	26	-9	18	588	-5	340
6	6120	江南填塞	C	8	26	08	114	32	117	20	-6	15	588	-7	323
7	6205	登陆北上	A	7	23	20	113	33	126	32	5	12	585	-1	346
8	6208	登陆北上	B	8	6	08	115	35	119	30	-2	4	586	1	338
9	6306	登陆北上	B	7	17	08	117	31	125	27	-16	7	585	-6	336
10	6510	登陆北上	B	7	26	20	115	32	114	31	-12	26	589	-5	352
11	7204	登陆填塞	C	7	15	08	108	35	127	24	-15	17	587	3	338
12	7412	登陆北上	B	8	11	20	117	32	128	32	-2	11	582	-1	334
13	7503	登陆填塞	C	8	3	20	113	35	116	24	1	15	588	0	349
14	7504	登陆填塞	C	8	12	08	112	37	117	23	-31	10	587	2	324
15	7805	登陆北上	A	7	23	08	111	36	116	35	3	4	586	1	352
16	7811	江南填塞	C	8	13	20	108	33	114	23	-13	25	590	-11	334
17	8108	登陆北上	B	7	23	08	112	38	113	31	-6	6	588	7	348
18	8209	登陆填塞	C	7	29	20	108	34	118	35	2	14	585	-4	345
19	8212	江南填塞	C	8	15	20	109	31	114	35	-1	8	519	-7	348
20	8407	登陆北上	A	8	8	08	108	35	117	32	6	7	586	8	348
21	8506	沿海北上	C	7	30	20	115	34	130	33	-4	2	586	-1	340
22	8707	沿海北上	C	7	27	20	110	32	118	31	-2	14	588	-7	347
23	9015	沿海北上	C	8	31	08	117	35	127	19	-22	31	583	-1	326
24	9017	江南填塞	C	9	4	08	115	31	113	30	-2	6	588	-12	337

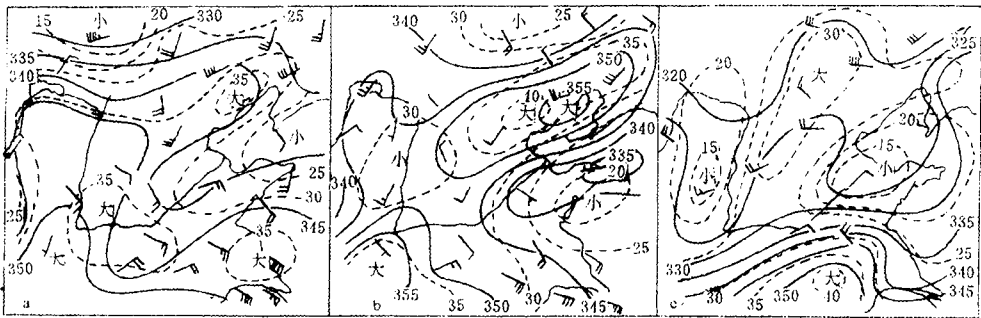


图1 850hPa 起始场  $\theta_{se}$ (实线)和  $K$  指数(虚线)分布

- a. 西增幅型(1984年8月8日08时)
- b. 东增幅型(1981年7月23日08时)
- c. 无增幅型(1958年9月4日08时)

游以东地区,有利于出现东增幅或无增幅型(18/20)。

$$x_3 = \Delta\theta_{se}^{850} = \theta_{se_{max}}^{850}(\text{上海,射阳}) - \theta_{se_{min}}^{850}(\text{北京,济南})$$

(3)

$\Delta\theta_{se}^{850}$  为上海、射阳 850hPa  $\theta_{se}$  最大值与北京、济南 850hPa  $\theta_{se}$  最小值之差值。当  $\Delta\theta_{se}^{850} \geq 13$  时,表示黄淮地区湿斜压锋区较强,北方地区处在其北侧的干冷稳定的气团控制

下,不利于暴雨增幅(10/14);反之,当  $\Delta\theta_{se}^{850} < 13$  时,则有利于暴雨增幅(8/10)。

$$x_4 = H_{南京}^{500} \quad (4)$$

$H_{南京}^{500}$  为南京 500hPa 高度,其数值愈小,愈有利于热带气旋登陆北上。当  $H_{南京}^{500} \leq 5860\text{gpm}$  时,有利于暴雨增幅(8/10);当  $H_{南京}^{500} > 5860\text{gpm}$  时,不利于暴雨增幅(11/14)。

$$x_5 = \Delta H^{500} = H_{丹东}^{500} - H_{安庆}^{500} \quad (5)$$

$\Delta H^{500}$  为丹东与安庆 500hPa 高度差,反映西太平洋副高特征。当  $\Delta H^{500} \leq 0$  时,不利于暴雨增幅(12/14)。

$$x_6 = \theta_{se}^{850} \quad (6)$$

$\theta_{se}^{850}$  为郑州 850hPa 假相当位温,反映高能舌。当  $\theta_{se}^{850} > 340\text{K}$  时,有利于暴雨增幅(7/10); $\leq 340\text{K}$  时,不利于暴雨增幅(10/14)。

上述 6 个预报因子反映了登陆北上热带气旋的环流形势特征及其影响北方地区产生特大暴雨的温、湿、稳定度等条件,为暴雨增幅预报提供了物理基础。

#### 4 逐步回归预报方程

根据 24 个样本资料,求得各预报因子与预报对象的单相关系数分别为

$$r_1 = 0.5617 \quad r_2 = 0.3978 \quad r_3 = -0.3799$$

$$r_4 = -0.5034 \quad r_5 = 0.5965 \quad r_6 = 0.5204$$

应用逐步回归运算建立了两个预报方程

$$\hat{y}_1 = 0.583333 + 0.062553x_1$$

$$+ 0.060168x_5 (F = 6.0, R = 0.711651)$$

$$\hat{y}_2 = 38.463190 - 0.017224x_3$$

$$- 0.082803x_4 + 0.026292x_5 + 0.032194x_6$$

$$(F = 0.5, R = 0.740542)$$

$\hat{y}_1 > 1.0$  为西增幅型,  $0.5 \leq \hat{y}_1 \leq 1.0$  为东增幅型,  $\hat{y}_1 < 0.5$  为无增幅型。

#### 5 人工神经网络预报系统

利用人工神经网络的非线性决策特性,采用前向多层的误差反向传输网络(即 BP 网络)<sup>[3]</sup>,设计了由 1 个输入层、1 个输出层、3 个隐层、30 个隐节点组成的 BP 网络。

将 24 个样本的 6 个预报因子和实际出现的暴雨增幅类型输入 BP 网络,进行分类训练到一百多步时,由网络输出层权值最大节点判定的暴雨增幅类型与实际出现的类型已全部拟合,至此终止训练,得到一个能自动判别有无暴雨增幅及其出现地区的人工神经元分类预报网络。另外,在 BP 网络前增加一个预处理层,先将指标站气象要素换算成预报因子。

最后,用 C 语言编制了“热带气旋造成北方暴雨增幅的人工神经网络预报系统”(图 2)。使用时,先键入文件名,屏幕即显示起报条件;若起报条件全部满足,再按顺序依次输入 12 个指标站的 35 项气象要素值(用 NED 程序作一个  $x$  数据文件存盘),系统便自动完成因子值计算,最后输出回归方程和人工神经网络的预报结论。从读取资料输入网络到输出预报结论,整个操作运行过程只需几分钟即可完成。若将本系统与省台实时业务系统(STYS)联机后,可自动从实时资料库调取指标站资料,实现全自动化。

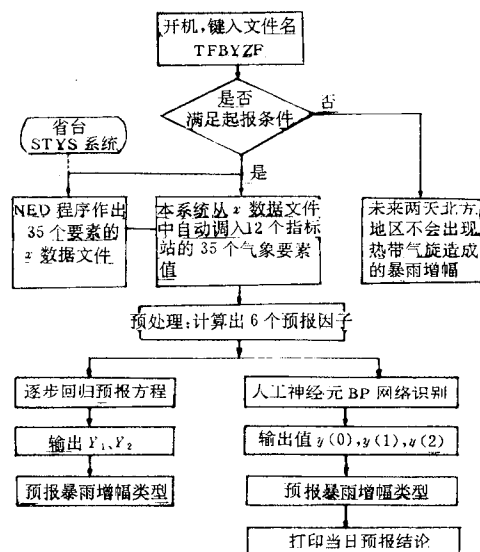


图 2 热带气旋造成北方暴雨增幅的预报系统框图

自1991年以来满足起报条件的9216和9406两个热带气旋,造成北方暴雨增幅,本预报系统能准确判别其暴雨增幅类型(表

3)。存在的问题是:历史样本少,对异常路径的热带气旋不适用。

表3 预报与实况对照

热带气旋 编号	起报时间		人工神经元预报			结论	逐步回归预报		实际增幅情况	
	日期	时间	$\hat{Y}(0)$ 无增幅	$\hat{Y}(1)$ 东增幅	$\hat{Y}(2)$ 西增幅		$\hat{Y}_1$	$\hat{Y}_2$	类型	增幅量
9216	8月31日	08时	0.106014	0.857851	0.004912	东增幅	0.722148	0.673516	东增幅	215mm
9406	7月11日	20时	0.000175	0.000124	0.997726	西增幅	1.103721	1.416004	西增幅	174mm

参考文献

1 曹钢锋,朱官忠,朱君鉴. 登陆北上热带气旋倒槽造成的北方特大暴雨. 大气科学研究与应用, 1992, (3): 44--51.  
 2 张善君,朱官忠,曹钢锋. 华北地区登陆北上热带气旋的

暴雨增幅研究. 南京气象学院学报, 1995, 18(3): 197--200.  
 3 朱晓冬,朱官忠. 用人工神经网络预报鲁西北雷雨冰雹天气. 气象, 1993, 19(4): 20--23.

## Study and Forecasting of North China Heavy Rainfall Caused by Rain Increment of Tropical Cyclone

Cao Gangfeng Zhu Guanzhong Zhang Shanjun

(Meteorological Bureau of Shandong Province, Jinan 250031)

### Abstract

The BP network with nonlinear decision feature of artificial neural network is used, a forecasting method of heavy rainfall increment that makes the North China heavy rainfall caused by tropical cyclone is developed. The method is easy and objective, and the results are good in use.

**Key Words:** tropical cyclone increment of rainfall the North China heavy rainfall artificial neural network