

# 基于 BP 神经网络的台风降雨量预测研究

封毅<sup>1</sup>, 武博强<sup>3</sup>, 崔灵周<sup>2</sup>

(1. 温州大学 学报编辑部, 浙江 温州 325035;

2. 温州大学生命与环境科学学院, 浙江 温州 325035; 3. 长安大学 地质工程学院, 西安 710054)

**摘要:**台风登陆所带来的强降雨可引发严重的灾害。依据 BP 神经网络基本原理, 结合台风及降雨特征, 建立了台风降雨量 BP 神经网络预测模型, 利用 200509 号台风“麦莎”期间温州地区 88 个雨量观测站的连续 6 h 雨量和台风特征参数, 对该模型进行了训练和检验。模型检验表明, 6 h 降雨量预测相对误差小于 30% 的数据组所占比例达到 71.1%。为台风期间降雨量时空分布快速预测提供了有益的尝试, 对于沿海地区台风灾害预警、损失评估和应急决策具有重要现实意义。

**关键词:**BP 神经网络; 台风; 降水量; 预测

中图分类号: P457.8

文献标识码: A

文章编号: 1005-3409(2012)03-0289-05

## Study on Forecasting Typhoon Rainfall Based on BP Neural Network

FENG Yi<sup>1</sup>, WU Bo-qiang<sup>3</sup>, CUI Ling-zhou<sup>2</sup>

(1. Editorial Department of Journal, Wenzhou University, Wenzhou, Zhejiang

325035, China; 2. College of Life and Environmental Science, Wenzhou University, Wenzhou,

Zhejiang 325035, China; 3. College of Geological Engineering, Chang'an University, Xi'an 710054, China)

**Abstract:** The heavy rainfall resulting from typhoon often caused severe disasters. Based on the principle of BP neural network and rainfall character of typhoon, the model of forecasting typhoon rainfall was set up. By using the rainfall of 6 hours from 88 rainfall observation stations during typhoon Matsa (No:200509) and parameter of typhoon character, the model was trained and validated. The results showed that the proportion of relative error lower than 30% of per 6 hours rainfall was 71.1%. The study tried rapid prediction of the temporal variation and spatial distribution of typhoon rainfall, which was more important for typhoon disaster forecast, the damage assessment and decision-making.

**Key words:** BP neural network; typhoon; rainfall; forecasting

台风作为影响我国东南沿海的强烈天气系统, 往往会引发持续性的特大暴雨降水过程, 造成洪涝突发、农田受淹、城市内涝和路毁车阻等灾害, 带来严重的经济和人员损失<sup>[1-2]</sup>。如何准确预报台风暴雨降水的空间分布, 成为近年来倍受关注的重点领域之一。黄永玉等<sup>[3]</sup>、钮学新<sup>[4]</sup>利用中尺度 MM5 模式分别对 0418 号“艾利”台风和 0216 号“森拉克”台风降水进行了数值模拟。曾欣欣等<sup>[5]</sup>对 0716 号“罗莎”台风造成的浙江大暴雨到特大暴雨过程中, 大环流天气形势演变、动力条件、水汽输送及物理量特征的影响进行了诊断研究。有些学者<sup>[6-9]</sup>建立了适用于登陆台风的

定量降水估计方法, 实现了登陆台风未来 0~3 h 的短时定量降水预报; 利用多普勒雷达体扫和自动雨量站资料, 结合概率配对法对“海棠”和“麦莎”两个台风的小时降水量进行了定量估测; 采用多种物理量综合诊断分析方法, 对登陆台风“云娜”在西进途中水汽来源和不稳定层结的维持等方面进行研究; 用综合多级相似预报技术, 对“浙东南沿海”台风过程所引发的暴雨天气进行研究。邵月红<sup>[10]</sup>、邵利民等<sup>[11]</sup>分别利用 BP 神经网络方法, 结合多普勒雷达体扫的回波强度及雨量计观测资料, 估测了临沂地区暴雨过程的小时降雨量, 对我国沿海的热带气旋的移动路径进行了预

收稿日期: 2011-10-17

修回日期: 2011-12-04

资助项目: 温州市科技局重大项目“温州台风暴雨预测预报及灾情模型研究”(S20080017); 浙江省教育厅项目“地貌形态多重分形特征与区域滑坡灾害空间分布关系研究”(20070527)

作者简介: 封毅(1978—), 女, 陕西宝鸡人, 硕士, 助理研究员, 研究方向为台风预报及灾情评估。E-mail: wanfe@126.com

通信作者: 崔灵周(1971—), 男, 陕西西安人, 博士, 副教授, 研究方向为环境灾害与 GIS 应用。E-mail: clingzhou@126.com

报。可以看出,台风暴雨降水的研究主要集中在中尺度 MM5 模式、基于多普勒雷达体扫资料的概率配对和多级相似预报等方面,但由于模式分辨率较低和雷达探测范围有限等原因,台风暴雨降水预报的准确性和实际应用受到明显限制。

BP 神经网络由于结构简单、自适应和自学习能力强等特点,在气象水文等领域得到了广泛应用<sup>[1,10-11]</sup>。本文以 200509 号台风“麦莎”在温州地区登陆所形成的降雨量为研究对象,利用雨量站实测降水数据,建立台风期间各雨量站 6 h 降水量 BP 神经网络预测模型,实现台风暴雨期间重点区域降水量空间分布快速、准确估算,为防台减灾预案制定及综合决策提供科学依据。

## 1 200509 号台风“麦莎”概况

### 1.1 台风路径及强度

200509 号“麦莎”台风于 7 月 31 日 20 时在菲律宾以东洋面上生成后向西北方向移动,8 月 2 日 8 时加强为强热带风暴,并继续向西北方向移动,于 8 月 3 日 2 时加强为台风。8 月 6 日 3 时 40 分在温州地区东侧的玉环县干江镇登陆,登陆后继续沿西北方向移动进入温州东北的乐清和永嘉等地区,8 月 6 日 17 时进入诸暨境内并减为强热带风暴。

### 1.2 台风中心气压、风力及风速

从表 1 可以看出,200509 号台风“麦莎”在登陆以前为超强台风,中心气压均保持在 950 hPa,最大风力和最大风速分别达到 14 级和 45 m/s。台风登陆后,其中心气压逐步升高,即从登陆前的 950 hPa 升高到 960 hPa,直至 8 月 6 号 17 时的 980 hPa;最大风力及风速均相应减小,分别从登陆前的 14 级和 45 m/s 降低到

13 级和 40 m/s,至 8 月 6 号 17 点分别降低到 11 级和 30 m/s,此时的台风减弱为强热带风暴。

表 1 2005 09 号台风“麦莎”中心气压、最大风力及风速变化表

时间/ 月-日	时间/时	中心气压/ hPa	最大风力/ 级	最大风速/ ( $\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$ )
08-05	14:00	950	14	45
08-05	20:00	950	14	45
08-06	04:00	950	14	45
08-06	05:00	960	13	40
08-06	08:00	970	12	35
08-06	11:00	975	12	33
08-06	14:00	975	12	33
08-06	17:00	980	11	30

注:数据来源于温州气象局

### 1.3 降水量时空变化

图 1—4 是 200509 号台风“麦莎”登陆前 8 月 5 日 8 时至登陆后 8 月 6 日 8 时温州地区 88 个雨量站 6 h 观测雨量空间分布图。可见,温州地区的 6 h 雨量随着台风逐步逼近和过境,其降水量呈现先增加后减小的变化趋势,其中 6 h 降水量峰值出现在台风登陆后的 8 月 6 日 3 时至 8 时,北部地区的李家山站达到单站 6 h 观测雨量最大值,为 213 mm;随着台风登陆各雨量站点的 6 h 观测雨量快速下降。从降雨量的空间分布来看,台风“麦莎”登陆前后温州地区的降水量主要分布于东北部的雁荡山区,中南部降水量显著偏少。由于台风“麦莎”移动路径一直在温州地区东侧沿向西北方向行进,在玉环县登陆后继续沿西北方向穿过温州地区东北部的永嘉和乐清两地,台风路径变化成为导致降雨量在温州地区分布严重不均衡的主要原因。

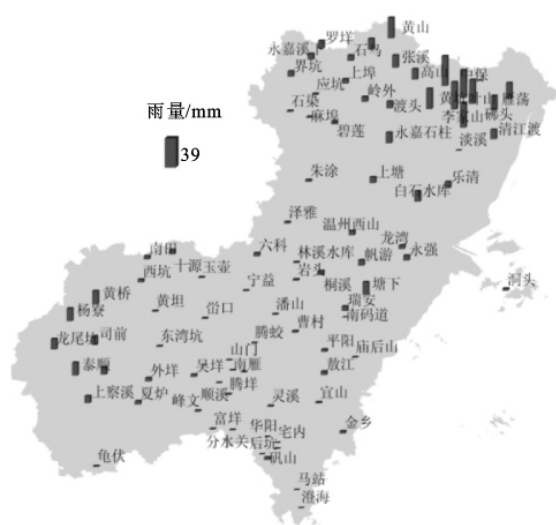


图 1 8 月 5 日 14:00—20:00 温州地区降水量分布

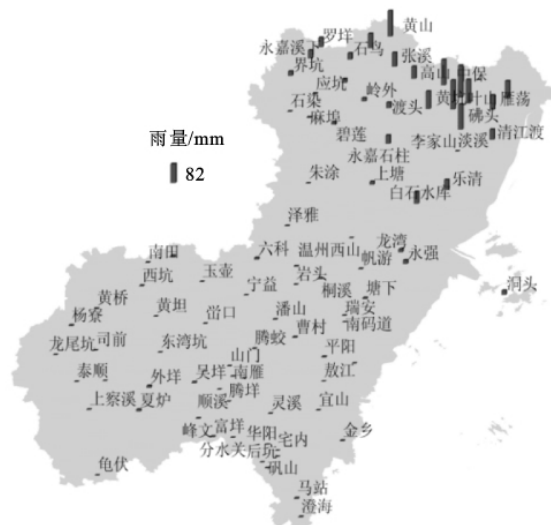


图 2 8 月 5 日 21:00—8 月 6 日 2:00 温州地区降水量分布

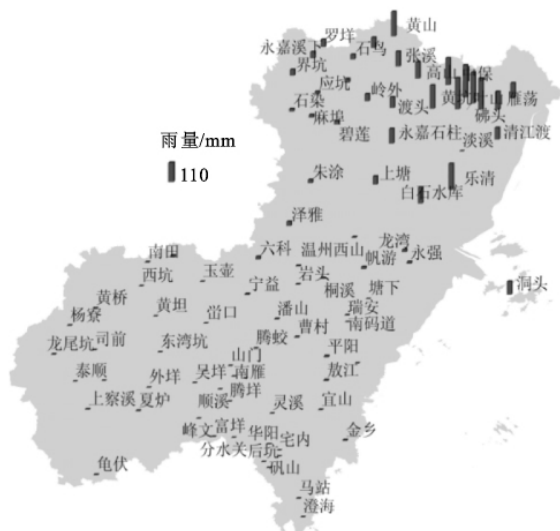


图 3 8 月 6 日 3:00—8:00 温州地区降水量分布

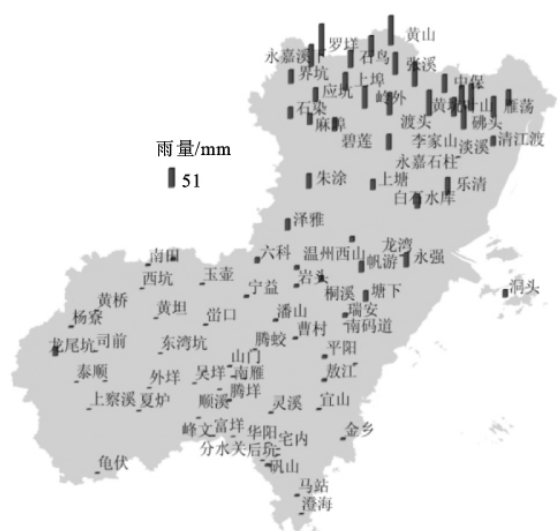


图 4 8 月 6 日 9:00—14:00 温州地区降水量分布

## 2 台风降雨量预测模型建立

BP 神经网络也称误差反传 (Error Back Propagation) 前向网络,一般由输入层、输出层和若干隐层组成。当信息输入网络时,先从输入层传至隐层节点,经激活函数作用和联接权重加权后,再传至下一隐层,然后经处理后由输出层产生计算结果。将输出层所得到的计算结果与期望输出进行比较,若二者相差较大,则将误差进行反向传播,通过调整连接权值进行反复训练,直到误差达到预设的允许范围之内或训练次数;否则,停止训练。完成训练后,该 BP 神经网络就可以进行预报等实际应用。

### 2.1 BP 神经网络结构设计

本文采用典型的三层 BP 神经网络结构 (图 5),由输入层、隐层和输出层构成,每个数据层包括若干数据节点。输入数据层主要为台风降量影响因子层,具体包括雨量观测站点的经度 (°)、纬度 (°)、高程 (m)、某时刻站点距台风中心距离 (km) 和台风中心气压 5 个输入数据节点,输出层仅包括相应时刻前 6 小时该站点的降雨量观测值 (mm) 1 个输出数据节点,隐层的数据节点主要根据经验公式和网络训练效果进行调整,最后节点数确定为 17 个。

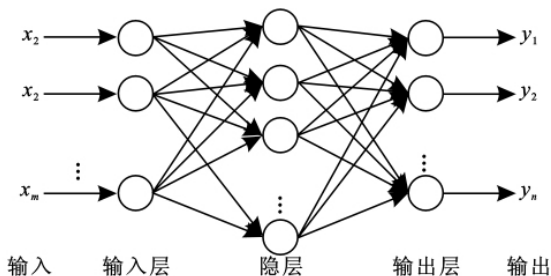


图 5 三层神经网络结构

### 2.2 隐层激活函数和网络训练参数选取

由于 S 型函数具有非线性放大系数功能,可把  $(-\infty, +\infty)$  变化范围的数据变换到  $(-1, +1)$  间输出,常被用作隐层的激活函数,本文 BP 神经网络隐层的激活函数选取 Sigmoid 函数,即:

$$f(x) = \frac{e^x - e^{-x}}{e^x + e^{-x}} \quad (1)$$

该函数是连续可微的,便于误差反向传播过程节点权值的调节。

期望误差 (训练目标)、学习速率、最大训练次数、初次权值和阈值等参数值设置对于 BP 网络训练和模型精度控制具有重要影响。通过反复调整和比较,确定所建立的 BP 神经网络训练目标为 0.01、学习速率为 0.1、最大训练次数为 1 000、初始输入层至隐层及隐层至输出层的权值均设为 0.5、隐层节点及输出节点阈值分别设为 0.75 和 0。

### 2.3 输入层样本数据预处理

BP 神经网络输入层节点的数据由于量纲、数量级和单位等具有较大差别,在网络训练前须对原始数据进行归一化处理,以提高 BP 神经网络训练速度和灵敏性,同时可有效避开 Sigmoid 函数的饱和区。本文采用的归一化公式如下,即:

$$X' = \frac{2(X - X_{\min})}{X_{\max} - X_{\min}} - 1 \quad (2)$$

式中:  $X'$ ——归一化后的数值;  $X$ ——处理前的数值;  $X_{\max}$ ,  $X_{\min}$ ——该样本数据的最大值和最小值,归一化后的样本数据输出范围变为  $[-1, 1]$ 。

### 2.4 BP 神经网络的 MATLAB 实现

MATLAB 是美国 MathWorks 公司开发的商业数学软件,主要用于算法开发、数据可视化、数据分析以及数值计算。该软件提供了神经网络工具箱,利用

该工具箱,通过编写程序和相关函数调用,实现了该 BP 神经网络建立、网络训练参数设定与调整、输入层样本数据预处理、网络训练和模型应用。

3 模型应用

利用 200509 号台风“麦莎”期间温州地区的黄山、张溪、碧莲、上塘、潘山、曹村、垵头、泰顺等 74 个雨量站(见图 6)连续 6 h 观测总雨量和相应台风信息为训练数据,对本文所建立的台风降雨量 BP 神经网络预测模型进行训练,然后利用该场台风期间温州地区的雁荡、叶山、应坑、永嘉石柱、中保和朱涂等 14 个雨量站点(见图 6)连续 6 h 降雨总量进行了检验。

3.1 模型训练

表 2 和表 3 分别是用于前文所建立的台风降雨量 BP 神经网络预测模型训练的部分雨量站(黄山站和碧莲站)及相关数据和模型训练结果误差分析。从表 2 可见,模型训练的输入数据包括雨量站的经纬度、雨量站高程、初始时刻雨量站距台风中心距离及台风中心气压,输出数据为初始时刻后 6 h 观测雨量。受台风“麦莎”影响,黄山站和碧莲站均从 8 月 5 日 3:00 出现 17.2 mm 和 19.9 mm 的降雨,降雨分别持续至 8 月 7 日 2:00 和 8 月 6 日 20:00。以 6 h 为

时间单元,黄山站和碧莲站共有 15 组数据参与模型训练,其中黄山站 8 组数据、碧莲站 7 组数据。全部参与模型训练的数据共 74 个雨量站的 152 组。模型训练结果显示(见表 3),不同雨量站各时段 6 h 雨量预测相对误差均值为 28.4%、最大相对误差值为 90%、相对误差小于 30% 的数据组所占比例达到 75%,各雨量站总雨量、最大雨量预测相对误差和平均雨量预测相对误差分别为 10.2%、11.7%、0.9%。本次模型训练精度较好。



图 6 BP 模型训练和检验雨量站点分布

表 2 台风降雨量 BP 神经网络预测模型训练部分数据表

雨量站名称 及经纬度/(°)	日期 (月-日)	时间	训练输入值			训练输出值
			雨量站 高程/m	距台风中心 距离/km	台风中心 气压/hPa	6 h 降雨量/ mm
黄山 (120.7510E, 28.5654N)	08-05	03:00—08:00	540	490	950	17.2
		09:00—14:00	540	434	950	68.6
		15:00—20:00	540	349	950	53.7
	08-05—08-06	21:00—02:00	540	216	950	131.8
		03:00—08:00	540	111	950	168.8
		09:00—14:00	540	34	970	95.4
	08-06	15:00—20:00	540	54	975	21.8
		21:00—02:00	540	191	985	4.0
碧莲 (120.5830E, 28.3182N)	08-05	03:00—08:00	80	482	950	19.9
		09:00—14:00	80	428	950	36.8
		15:00—20:00	80	348	950	8.1
		21:00—02:00	80	217	950	12.6
	08-05—08-06	03:00—08:00	80	112	950	23.4
		09:00—14:00	80	35	970	42.6
		15:00—20:00	80	68	975	5.8

表 3 台风降雨量 BP 神经网络预测模型训练结果及误差分析

雨量站 数/个	数据 量/组	6 h 雨量相对误 差均值/%	6 h 雨量最大 相对误差/%	6 h 雨量相对误 差≤30%比例/%	单站总雨量相 对误差均值/%	单站最大雨量 相对误差均值/%	站点平均雨量 相对误差/%
74	152	28.4	90	75	10.2	11.7	0.9

3.2 模型检验

由表 4 可见,模型检验输入输出数据同模型训练,即雨量站经纬度、雨量站高程、雨量站距台风中心距

离、台风中心气压和 6 h 降雨量。雁荡山站从 8 月 5 日 3:00 至 8 月 7 日 2:00,以 6 h 为时间单元,共有 8 组数据参与模型检验;同样,叶山站从 8 月 4 日 21:00 至 8

月 6 日 14:00,以 6 h 为时间单元,有 9 组数据参与模型检验;全部参与模型检验共计 14 个雨量站的 56 组数据。模型检验结果表明(表 5),各雨量站不同时段 6 h 降雨量预测相对误差均值、最大相对误差和相对误差小于 30%比例分别为 38.2%,95%,71.1%,分

别比模型训练提高 9.8%,5%和降低 4.9%。各雨量站总雨量预测相对误差均值、最大雨量预测相对误差均值和平均雨量相对误差分别为 29.5%,33.3%和 29.9%,分别比模型训练提高 19.3%,21.6%和 29%。总体来看,模型检验结果可以接受。

表 4 台风降雨量 BP 神经网络预测模型检验部分数据表

雨量站 名称及经纬度/ (°)	日期 (月-日)	时间	检验输入值			检验输出值
			雨量站 高程/m	距台风中心 距离/km	台风中心 气压/hPa	6 h 降雨量/ mm
雁荡 (121.0570E, 28.3593N)	08-05	03:00—08:00	70	451	950	14.3
	08-05	09:00—14:00	70	394	950	35.7
	08-05	15:00—20:00	70	308	950	51.7
	08-05—08-06	21:00—02:00	70	175	950	76.4
	08-06	03:00—08:00	70	71	950	55.1
	08-06	09:00—14:00	70	19	970	44.5
	08-06	15:00—20:00	70	95	975	60.2
	08-06—08-07	21:00—02:00	70	230	985	3.5
	08-04—08-05	21:00—02:00	490	561	950	12.4
叶山 (120.9390E, 28.3608N)		03:00—08:00	490	459	950	24.0
	08-05	09:00—14:00	490	403	950	46.6
		15:00—20:00	490	319	950	61.7
	08-05—08-06	21:00—02:00	490	185	950	113.0
		03:00—08:00	490	81	950	115.7
	08-06	9:00—14:00	490	8	970	69.2
		15:00—20:00	490	85	975	15.8
	08-06—08-07	21:00—02:00	490	222	985	3.8

表 5 台风降雨量 BP 神经网络预测模型检验结果及误差分析

雨量站 数/个	数据 量/组	6 h 雨量相对 误差均值/%	6 h 雨量最大 相对误差/%	6 h 雨量相对误 差≤30%比例/%	单站总雨量相 对误差均值/%	单站最大雨量 相对误差均值/%	站点平均雨量 相对误差/%
14	56	38.2	95	71.1	29.5	33.3	29.9

4 结 论

(1) 基于 BP 神经网络的台风降雨量预测模型可通过台风中心距离、气压、空间点经纬度及高程信息快速实现台风影响区域 6 h 降雨量空间分布预测,该模型经过 200509 号台风“麦莎”期间温州地区 14 个雨量站的 56 组数据的检验,6 h 降雨量预测相对误差小于 30%的比例达到 71.1%。

(2) 模型检验仅采用了同场次台风未参与模型训练的 14 个雨量站 56 组数据,使模型的适用性受到一定影响;同时,由于数据限制,本模型没有考虑局地环流特征对台风降雨空间分布的影响,导致模型训练及检验精度不高。

参考文献:

[1] 程正泉,陈联寿,徐祥德,等.近年中国台风暴雨研究进展[J].气象,2005,31(12):3-9.  
[2] 李江南,龚志鹏,王安宇,等.近十年来台风暴雨研究的若干进展与讨论[J].热带地理,2004,42(2):113-117.

[3] 黄永玉,沈桐立,沈新勇,等.0418 号“艾利”台风暴雨过程数值模拟[J].台湾海峡,2006,25(1):102-109.  
[4] 钮学新,杜惠良,刘建勇.0216 号台风降水及其影响降水机制的数值模拟试验[J].气象学报,2005,63(1):58-69.  
[5] 曾欣欣,黄新晴,滕代高.罗莎台风造成浙江特大暴雨的过程分析[J].海洋学研究,2010,28(1):63-72.  
[6] 岳彩军,陈佩燕,雷小途,等.登陆台风短时定量降水预报方法初探[J].气象科技,2006,34(1):7-11.  
[7] 冀春晓,陈联寿,徐祥德,等.多普勒雷达资料动态定量估测台风小时降水量的研究[J].热带气象学报,2008,42(2):147-155.  
[8] 施望芝,毛以伟,王建生,等.台风降水云区中单站强降水诊断分析和预报[J].气象科学,2006,26(6):668-75.  
[9] 李博,赵思雄.用 SMAT 建立台风暴雨预报模型的试验研究[J].气象,2009,35(6):3-12.  
[10] 邵月红,张万昌,刘永和,等. BP 神经网络在多普勒雷达降水量的估测中的应用[J].高原气象,2009,28(4):846-853.  
[11] 邵利民,傅刚,曹祥村,等. BP 神经网络在台风路径预报中的应用[J].自然灾害学报,2009,18(6):104-111.