

人工神经网络技术在台风浪预报中的应用*

陈 希¹ 李 妍¹ 沙文钰¹ 闵景忠²

(¹ 解放军理工大学气象学院军事气象系 南京 211101)

(² 南京气象学院 KLME 南京 210044)

摘要 利用神经网络中的 BP 算法, 结合南海碓洲岛海区近 30 年的台风及台风浪资料, 经预报因子的选择并作对比试验, 建立了本海区较为理想的台风浪神经网络预报模型。结果表明: 神经网络方法在台风浪的预报上, 有较好的拟合历史台风浪高的能力, 利用该模型对台风浪高的预报也达到了一定的精度。为实际台风海浪的预报增加了新方法、新思路。

关键词 人工神经网络技术, 台风浪, 预报模型

中图分类号 P731.33 **文献标识码** A **文章编号** 1000-3096(2003)02-0063-05

台风浪的预报, 一直是海洋科学中的热点和难点, 它巨大的破坏力常常给国民经济和国防现代化建设带来极大的影响。据统计, 热带风暴是破坏力最大的自然灾害之一, 它所带来的强风、暴雨以及风暴潮和随之而来的巨浪是造成灾害的主要原因。如 1970 年 11 月 13 日孟加拉湾气旋引起的强风暴潮造成 30 万人丧生^[1], 因此对于台风浪的预报, 极为引人关注。海浪预报的难点在于产生浪的风本身具有很大的随机性和复杂性, 造成浪的预报十分困难。关于海浪生成的物理机制, 至今尚未得到十分圆满的解决。因此, 积极探索台风浪预报的新方法、新思路就显得很有必要。人工神经网络技术近年来在国际上掀起了一股研究热潮, 其特有的拓扑结构和处理信息的方法, 使它在许多应用领域中都取得了巨大的成果, 并且能够有效地解决一些传统方法难以解决的问题。该方法近年来在我国的地球科学上也得到了积极的开发和利用^[2-5], 这些研究都表明人工神经网络技术在地球科学的应用方面有广泛的前景。它明显的优点是具有较好的自适应学习和非线性映射能力, 比较适合处理那些物理机制复杂, 因果关系和推理规则难以确定的非线性问题^[4], 因此它的这些特点都为运用到台风浪预报中提供了可能。湛江港位于雷州半岛东侧, 是我国东南沿海重要海港和军用码头。由于该港地处台风高频活动区域的下游, 是台风登陆袭击的重要地点之一, 因此, 在该海区, 由台风造成的巨浪对我国海军潜艇、军舰的巨大危害, 倍受人们关注。本文利用湛江港附近碓洲岛海区 30 年逐日(每日 4 次)海浪观测资料

及相应时段台风资料, 利用人工神经网络技术, 建立本海区台风浪的定量预报模型, 对该海区台风浪进行预报。

1 资料来源及网络模型

本文所用海浪资料为南海碓洲岛近 30 年(1965~1998)逐日(每日 4 次)海浪观测资料, 该岛西临雷州湾, 北靠湛江港, 测站位于 20°54' N, 110°37' E。观测要素有风向、风速、海况、波型、风浪向、涌浪向、周期、波高, 最大波高及水深等要素(其中从 1996 年以后风向、风速用风的级数来记录, 为统一起见, 未用这段资料)。台风资料来源于相应时段的台风年鉴资料, 其要素为台风所在的经、纬度、台风中心气压、移速、移向、7 级大风半径等。

本文采用神经网络中的 BP 网建立该海区台风浪预报模型。标准的 BP 网由三个神经元层次组成, 即输入层、隐含层、输出层, 各层次的神经元之间形成全交互连接, 各层次内的神经元之间彼此独立^[6], BP 网中因为训练样本的信息经过特定的传递函数逐步向前传播, 如果输出结果不能达到预先设定

* 南京气象学院 KLME 资助项目: 台湾海峡灾害性风浪的模拟研究。

第一作者: 陈希, 出生于 1974 年, 博士, 主要研究方向: 海洋环境及海气相互作用, 电话: 025-2641722

收稿日期: 2001-09-09; 修改日期: 2002-04-19

的阈值,那么输出信号与阈值之间的误差将返回到输入层,然后再修改其权重函数,因此也称其为误差反传算法。通过样本反复训练学习,并达到设定的误差后,权重系数矩阵和阈值矩阵得以最终确定,并以此权值、阈值矩阵系数进行预报, BP 模型的具体算法和计算过程可参见文献^[6]。

2 台风浪预报模型的建立

2.1 模型因子选取

海浪可细分为风浪、涌浪和混合浪。本文只讨论台风风浪预报模型。台风风浪的浪高和浪向与很多因素有关。针对确定预报地点,它与该地点的风区、风时、风速、风向、底摩擦及研究海区海水深、浅等有关。但是,对于某一确定地点,除风场外,其它因素与风浪的关系尽管我们对其物理过程了解得不是十分清楚,但它对风浪的影响可近似地认为是相同的。风速对风浪有明显的影 响;在开阔海域,风向对风浪浪高的影响具有各向同性的效果,但是在近岸海域,风向的作用则有所不同。风向不仅对风浪的波向有重要影响,对风浪的浪高也同样作用显著;一般来讲,台风的风速从台风中心向外减小,在最大风区,风向外减小的速度最快,对于成熟台风中最大风速半径之外,切向风的径向变化可由下列经验公式表示^[7]:

$$u(r) = V_0 (R_{00}) \left(\frac{R_{00}}{r}\right)^x, R_{00} \leq r \leq r_0 \quad (1)$$

其中, $u(r)$ 表示半径为 r , 方向角为 θ 地区的切向风大小; R_{00} 是最大风半径,一般为 40 km, r_0 是台风最外围半径,一般为 1 000 km, 由(1)式可知,台风风速与台风中心离预报点的距离、台风的大风半径等关系密切。另外,台风的移向、移速也是影响台风浪的重要因素。因此影响台风海浪的因素众多,要做好台风浪的预报就要研究这些因素对台风浪的影响。通过以上物理过程分析,作者从 30 年逐日风浪观测资料中选取影响南海碓洲岛海区台风风浪的个例(由(1)式可知台风最外围的半径,一般为 1 000 km,因此,选取台风中心与碓洲岛的距离小于 1 000 km 的台风作为影响该海区的台风),建立风向、风速、台风中心与预报海区的距离等要素与台风浪高的非线性 BP 网络预报模型。

2.2 预报模型建立和结果分析

在台风海浪预报模型中,选取台风中心距碓洲岛测站的距离小于 1 000 km 时的风向、风速以及碓洲岛与台风中心距离、台风中心气压、台风移向、移速、台

风 7 级大风半径等作为输入因子,而把台风风浪的浪高作为预报输出因子。按照这种要求,共选出 170 个个例,用前 150 个个例作为学习样本参与学习训练,后 20 个个例作为后报效果检验。

BP 网络模型中,选取恰当的传递函数至关重要,经过试验、比较,确定选取 $\text{tansig}(n) = 2/[1 + \exp(-2n)] - 1$ 作为传递函数,为加快计算及收敛速度,预报因子作了归一化处理。

由于影响台风浪的因素较为复杂,作者首先选用台风中心与碓洲岛的距离、碓洲岛海区的风向、风速及台风中心气压、台风移向、移速、台风 7 级大风半径等 7 个要素作为预报输入因子,而把台风浪的浪高作为预报输出因子建立人工神经网络预报模型。

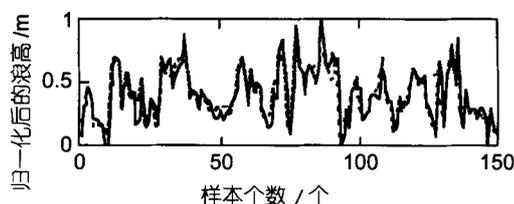


图 1 归一化后的实际浪高(实线)和归一化后拟合浪高(虚线)

Fig.1 The comparison of unitary actual wave height (real line) with unitary fitting wave height value (broken line)

图 1 是所建 BP 神经网络利用 150 个样本学习训练并拟合 1 000 步后,浪高的实际值与模型拟合值的比较。可以看出,该模型具有较强的拟合历史样本的能力。至于拟合值上周期性小波的存在和由此带来的拟合误差是由于训练样本中有的预报因子与预报输出结果相关性较差造成,为了检验实际预报效果,取了 170 个样本中的后 20 个个例进行预报检验。

图 2 是台风浪独立预报结果与实际值的比较,其

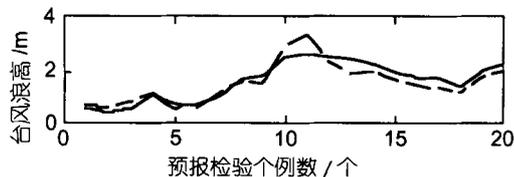


图 2 台风浪高预报效果比较
实际浪高(实线);预报浪高(虚线)

Fig.2 The comparison of predictive effect of typhoon wave height actual wave height (real line); predictive wave height (broken line)

中实线代表实际浪高值,虚线是浪高预报值,可以看出,20个预报结果与实际值基本接近,只是个例10、11的预报结果与实际值相差较大,这可能与预报因子的选取有关,这个问题下面将进行详细的讨论。但从整体上看,预报效果是较为理想的,这说明所建BP网络预报模型对实际风浪的描述和预报是可行、可用的。

3 预报效果对比研究

图2的预报结果中个例10、11预报结果尚不十分理想,原因之一是因为BP网络所需输入因子中,有的输入因子与输出因子之间的相关关系不十分明显而带来干扰所致。台风浪高与上述7个预报因子都有相关关系,但它们的密切程度则不尽相同。为了看出预报输入因子与台风浪的关系,下面对它们进行简单分析。

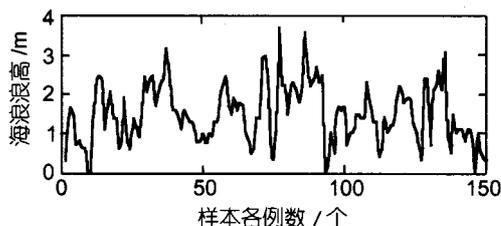


图3 样本浪高的分布与样本个数的关系
Fig.3 Relationship between the wave height distribution of samples and their numbers

图3、图4、图5分别是所选个例台风浪高、碓洲岛海区风速分布、台风中心气压与个例数的关系图。从图3、图4可以看出,风速与浪高有较好的相关关系,一般来讲风速越大所对应的台风浪就越高;从图3、图5可知:台风浪高与台风中心气压的对应关系则不十分明显。台风浪高与台风中心距预报海区的距离关系图(图略)显示出台风浪高与台风距预报海区的距离关系显著,台风中心距预报海区的距离越近,所对应的浪高越高。为方便,其它的预报因子与台风浪高的关系不再一一列出。经过对比分析知,在7个预报因子中,台风中心距预报海区距离、台风移速、预报海区的风速、台风7级大风半径与台风浪的关系最为密切,其它3个因子与台风浪的关系则较差一些。

为了检验预报因子对预报结果的影响,作了以下对比研究,在神经网络模型、网络传递函数、拟合步数、拟合误差等都相同的情况下,改变预报因子的个

数来检验它对预报结果的影响。

从前面的分析可知,风速对台风浪的影响显著,因此,首先选取风速作为预报因子,台风浪作为预报输出因子,采用前面提到的BP网络模型进行预报检验(为方便起见只给出预报结果图)。

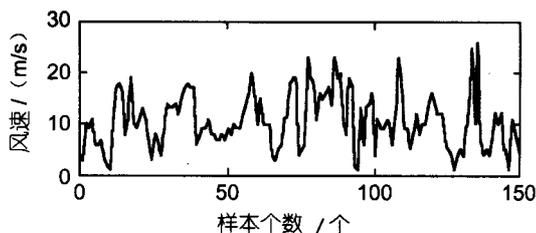


图4 样本风速分布与样本数的关系
Fig.4 Relationship between the wind speed distribution of samples and their numbers

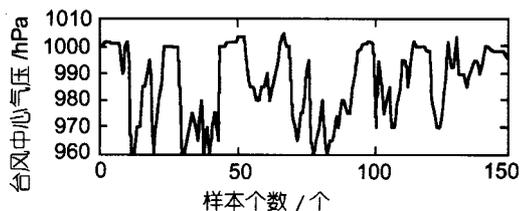


图5 台风中心气压与台风个例数的关系
Fig.5 Relationship between the center air pressure and their numbers of typhoon

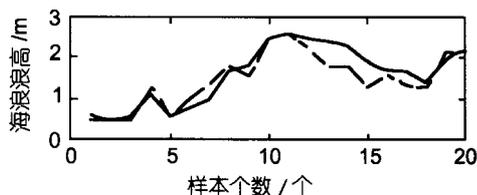


图6 预报台风浪高(虚线)和实际台风浪高(实线)
Fig.6 The predictive typhoon wave height(broken line) and actual typhoon wave height(real line)

图6是利用预报海区的风速作为预报输入因子,台风浪作为预报输出因子的BP网络预报结果,从图中可以清楚地看出,预报海区的风速对台风浪的影响巨大,其预报值与真实值之间的差别较小,但是个例6、13、14、15、17的预报结果较差,对比图2(7个预报输入因子的情况),该种情况只有个例10、11的预报效果不甚理想,因此可以得出结论:预报海区的风速

是影响台风浪的关键因子但不是唯一因子,在神经网络的学习过程中,也不是预报输入因子越多越好,相关性不好的预报输入因子的引入反而会降低预报效果。

预报输入因子是台风移速、移向、7级风半径、预报海区的风速的预报结果(图7)显示出,这4个预报输入因子的组合对台风浪的预报并不理想,从前面的分析可知,台风的移向与台风浪的相关关系不好,因此,不好的预报输入因子加入神经网络模型的学习中,必然会导致预报结果的“失败”。

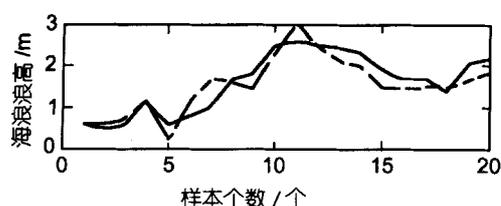


图7 预报台风浪高(虚线)和实际台风浪高(实线)
Fig.7 The predictive typhoon wave height(broken line) and actual typhoon wave height(real line)

从预报因子与台风浪相关关系分析中可知,台风中心离预报海区的距离、7级大风半径、台风移速、预报海区的风速关系密切,图8是选用上述的4个要素作为预报输入因子的台风浪预报结果,从中可以清楚地看出,以这4个因子学习训练后的BP网络模型对台风浪的预报效果理想。其它因子的组合也作过对比实验,其效果不如图8的情况(图略)。

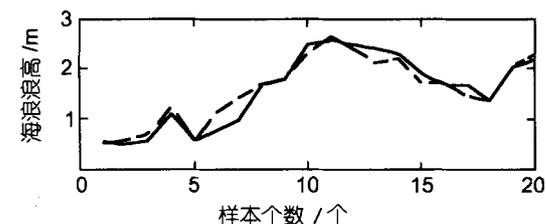


图8 预报台风浪高(虚线)和实际台风浪高(实线)
Fig.8 The predictive typhoon wave height(broken line) and actual typhoon wave height(real line)

因此,通过以上的比较可知,在利用神经网络台风浪预报模型进行台风浪的预报时,预报输入因

子的选取是重要的,它直接影响着预报效果的好坏,针对南海碓洲岛海区,台风中心离预报海区的距离、7级大风半径、台风移速、预报海区的风速是预报台风浪的关键因子,把它们作为预报输入因子来进行人工神经网络的台风海浪预报,效果较好。

需指出的是上述人工神经网络台风浪预报模型,还不能算真正意义上的预报模型,因为输入因子风速等与输出因子浪高之间是同时效的。但是只要结合气象上的数值预报结果,预报出将来时刻该海区的气象要素场,加上该预报模型,即可作出实际台风浪的预报。

4 结束语

本文通过南海碓洲岛近30年的台风浪资料,利用人工神经网络方法,对台风浪的预报进行了探索性研究,结果表明:人工神经网络技术对台风浪的预报,效果较好,能有效解决或改进常规预报方法难以处理的问题,同时对影响碓洲岛海区台风浪的预报输入因子也作了对比研究,找出了与之关系最为密切的因子,并利用该预报输入因子,建立了碓洲岛海区较为理想的台风浪人工神经网络预报模型。需要说明的是,作为一种探索,本文预报因子的选取、模型的建立以及预报个例的检验等方面还有许多值得完善、改进之处,还有待于进一步探索、研究。

参考文献

- 1 王继志. 近百年西北太平洋台风活动. 北京:海洋出版社,1991. 1 - 85
- 2 金龙. 定性和定量长期预报模型的综合分析. 气象学报,2000,58(4):479 - 483
- 3 金龙. 多步预测的小波神经网络预报模型. 大气科学,2000,24(1):79 - 86
- 4 张韧. 用MATLAB中的Neural Network toolbox仿真赤道东太平洋SST的预报模型. 海洋科学,2001,25(2):38 - 41
- 5 冯利华. ANN在海洋预报中的应用. 海洋预报,2000,17(2):49 - 55
- 6 胡守仁主编. 神经网络导论. 北京:国防科技大学出版社,1993. 113 - 119
- 7 丁一汇编著. 高等天气学. 北京:气象出版社,1991. 352 - 382

研究报告 *REPORTS*

APPLICATION OF THE NEURAL NETWORK IN OCEAN WAVE FORECAST OF TYPHOON

CHEN Xi¹ LI Yan¹ SHA Wen Yu¹ MIN Jing Zhong²

(¹ *The College of Meteorology , the Institute of Science and Engineering of the P.L.A , Nanjing , 211101*)

(² *The Nanjing Institute of Meteorology KLME , Nanjing , 210044*)

Received : Sep . , 9 , 2001

Key Words : The neural network , Sea wave , Forecast model

ABSRTACT

Use BP net of the neural network to establish the quantitative sea wave forecast model of typhoon in the sea area of Zhan Jiang harbor. The result indicated: The neural network forecast model can simulate the historical wave high and use the wind etc. as a forecast factors to forecast the wave high of typhoon. As the BP net easily product oscillation , we select different kinds of wave forecast factors to test the results and we get four factors which can ideally forecast the real sea wave .

(本文编辑 :张培新)