

舟山群岛冬半年灾害性大风的成因与预报^{*1}

杨忠恩 陈淑琴 黄 辉

(浙江省舟山市气象局, 舟山 316004)

摘 要

利用舟山市 1994—2003 年的实测风资料分 5 类统计了舟山群岛冬半年大风的发生规律。对一次冷空气个例进行诊断分析结果表明:大风是强冷平流、高空急流、动量下传等共同作用的结果。对一次低气压引起的大风的分析认为涡度平流、温度平流、潜热释放对低压发展有重大贡献。根据大风的成因和预报经验选择有关物理量进行 t 统计分析,选择有异常表现的物理量作预报因子。最后用人工神经网络方法建立预报模型,并进行了试报,试报误差都在 4.5 m/s 以下。

关键词: 舟山群岛; 大风; 人工神经网络

引 言

舟山群岛地处中纬度的海上,年平均 8 级以上大风日数有 144 d,冬半年的冷空气大风、低气压大风突发性概率很大,往往对海上作业渔民、航运部门造成极大危害。因此,研究舟山群岛灾害性大风的发生规律、产生原因、建立预报方法,具有很重要的社会经济价值。关于冷空气大风的成因,曹美兰等^[1]、张晓慧等^[2]、孙建明等^[3]、胡春蕾^[4]认为是斜压大气能量转换、西北急流活动及动量下传等因素共同作用的结果。有关气旋发生发展的研究^[5-6]揭示了涡度平流、温度平流、潜热加热等物理因子对气旋爆发性发展的贡献。林良勋等^[7]用完全预报(PP)法制作了广东冬半年海面强风业务预报系统,有较强的预报能力。本文将通过个例诊断来分析舟山群岛大风的成因,并采用 PP 法的思想建立舟山群岛大风客观预报方法。

1 大风的发生规律

根据文献^[8]定义:起风时(阵风大于 14 m/s),地面低压中心在 130°E 以东为冷空气大风,130°E 以西为低压大风。冷空气大风分为两类:地面冷高压中心从河套以东南下的为东路冷空气大风,冷高压中心从河套以西南下的为中路冷空气大风。低压

大风地面图上不一定要有闭合等压线,只需要有闭合的低压环流,分为 3 类:大风发生前 12 h 内的地面图上,低压环流中心在 32°N 以南的为东海低压大风;大风发生前 12 h 内的地面图上,低压环流中心在 32°N 以北的为黄渤海低压大风;有低压时北方配合有冷空气的为冷空气与低压结合型大风。对一次过程可以先是东海低压大风,发展到后来转变成黄渤海低压大风。这样分类便于应用,做预报时,可以提前以此标准来分型。

统计舟山市嵊泗国家基准站 1994—2003 年的实测风资料。中路冷空气大风有 61 个样本,大部分都集中在 17 m/s 到 23 m/s 之间,也就是说主要以 8~9 级风为主,10~11 级的风各出现了一次。对中路冷空气有可能出现强风(10~11 级),虽然概率比较小。东路冷空气大风在 17 m/s 到 23 m/s 之间分布比较均匀。在这 10 年间东路冷空气大风产生的最大风速是 24.2 m/s,没有产生 10 级以上的大风,这说明东路冷空气产生的大风总体上偏小,发生强风的概率很小。东海低压大风 10 级以上大风占该类型总次数的 17%,但没有出现 11 级以上的大风。黄渤海低压大风 10 级以上大风占该类型总次数的 23%,也没有出现 11 级以上的大风。低气压相对冷空气更容易在舟山群岛造成 10 级以上的灾害性强风,但是低气压引起的大风很少达到 11~12 级。中路冷空气大风占的比重一直比较大,而且有比较大的年际变化。东海低压型大风每年比较均匀,一般

* 浙江省舟山市科委和浙江省气象局联合资助科研项目“海岛突发性大风研究”资助。

2005-10-08 收到,2006-06-26 收到再改稿。

为 4~6 次。黄渤海型比东海低压型少。从月际分布来看,冷空气型主要发生在 11 月到次年 3 月;低压型主要在 3—6 月。冷空气与低压结合型相对分布比较均匀,除了 6—9 月外,其他各月都有。

2 大风的形成机理分析

2.1 冷空气大风的成因分析

2001 年 1 月 28 日由于受北方强冷空气影响,舟山市出现了罕见的西北大风,过程风力达到 12 级。采用常规填图资料进行客观诊断分析。1 月 28 日 08:00(北京时,下同)500 hPa 在长江中下游一带有很强的冷平流,在安徽附近有一强度达 $-45\text{ }^{\circ}\text{C}\cdot\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$ 的负温度平流中心,舟山沿海地区都处于比较强的负温度平流区,而在华南地区有正温度平流,中心达 $20\text{ }^{\circ}\text{C}\cdot\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$ 。这使得南北温度梯度加大,黄海、东海沿海地区从 500 hPa 到 850 hPa 都有很强的温度梯度,低层温度梯度大,促使地面气压梯度加大,28 日 08:00 地面图上,地面冷锋已经过舟山,地面冷高压在内蒙古的西南和甘肃的中部,中心气压达到 1041.3 hPa,舟山附近气压梯度很大,大的气压梯度形成大的地转风。从 3 h 变压图看(图略),冷锋前后正负中心气压差为 5.4 hPa,变压风亦加强了地面风速。

但是这样强度的冷空气并不是经常出现 12 级的强风,可以通过计算垂直速度和全风速来分析是否存在动量下传。在 28 日 08:00 垂直速度和全风速沿 30°N 的剖面图上(图 1),在 200 hPa 附近有高

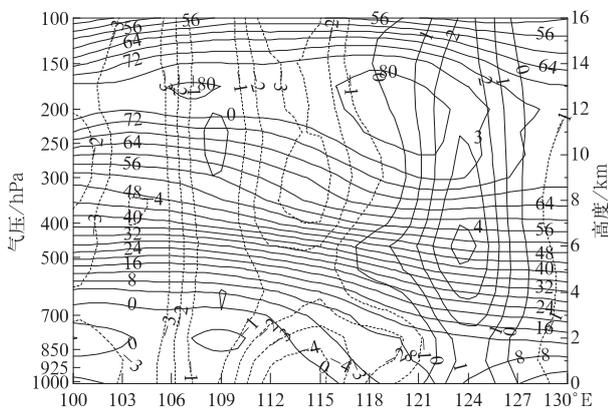


图 1 2001 年 1 月 28 日 08:00 风速与垂直速度沿 30°N 垂直剖面图

(粗实线:风速,单位:m/s;细线:垂直速度,单位: 10^{-1} Pa/s)

Fig. 1 Wind speed and vertical velocity distribution along the 30°N at 08:00 on Jan 28, 2001

(thick solid line denotes wind speed, units: m/s; thin line denotes vertical velocity distribution, unit: 10^{-1} Pa/s)

空急流,最大风速达 80 m/s,舟山大约位于 30°N , 122°E 附近,其上空西面为上升运动,东面为下沉运动,全风速的等值线向下伸展,这说明有下沉气流将高空的动量传递下来。同时 28 日天气晴朗,地面加热作用强,这使得高低空温差加大,致使大气层结变得不稳定,垂直交换加强,在 09:00—14:00 出现了罕见的强风。

经以上诊断分析认为:强的冷平流,形成中低层强的温度梯度和地面气压梯度,是大风产生的基本条件。同时高空有西风急流,配合适合的垂直环流,产生动量下传,是超出一般强度的突发性冷空气大风产生的原因。

2.2 低压大风成因分析

2005 年 4 月 9 日舟山群岛受低压影响产生了一次 10 级的大风过程。同样采用常规填图资料进行客观诊断分析。从地面图上看,8 日首先在四川形成倒槽波动,这个波动不断向东北方向发展,一直伸展到长江下游地区。然后在倒槽顶部生成一个气旋,这个气旋不断发展加深,在地面上形成大的气压梯度,是产生这次大风的直接原因。

气旋形成之初,8 日 500 hPa 有南北两支西风槽,在槽前形成了正涡度平流(图 2),正涡度平流区逐渐东移,到达长江下游地区,有利于地面气旋的发展。此次过程还有一个非常突出的特点就是中低层在华南到中南地区有很强的暖舌。8 日 20:00(图 2) 850 hPa 在黄河下游和长江中下游之间的区域有较强的正温度平流,中心达 $20\times 10^{-5}\text{ }^{\circ}\text{C}\cdot\text{s}^{-1}$,到 9 日 08:00,长江下游地区仍有较强的暖平流,暖平流也有利于地面气旋发展。9 日 08:00 在江苏、安徽一带出现强降水,湿静力能量在 $320\sim 330\text{ J/g}$ 之间,而且有明显增加的趋势,降水凝结释放热量也有利于气旋的发展。

在垂直速度和全风速沿 31°N 的剖面图上,9 日 08:00 高空 200 hPa 附近有一急流,最大风速达 50 m/s,低层 850 hPa 也有一低空急流,中心风速达 16 m/s,在地面低压的西面,有很强的上升运动,舟山地区上空是下沉气流,形成垂直环流,将高空的动量带下来。动量下传对地面大风的产生也起了一定的作用。

经过以上诊断分析,认为这次大风的产生机制是:地面倒槽的气旋性环流为地面低压形成打下了基础。高空北支槽前的涡度平流是地面低压能够形成并发展的关键。中低层的温度平流使地面低压能够进一步发展。降水凝结释放潜热维持上升运动,

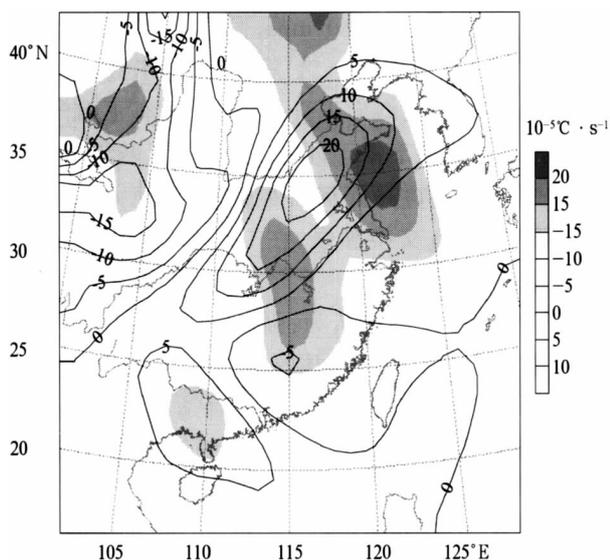


图2 2005年4月8日20:00 500 hPa 涡度平流(等值线, 单位: 10^{-10} s^{-2})和850 hPa 温度平流(阴影, 单位: $10^{-5} \text{ }^{\circ}\text{C} \cdot \text{s}^{-1}$)
Fig. 2 500 hPa vorticity advection (isoline, unit: 10^{-10} s^{-2}) and 850 hPa thermal advection (shaded area, unit: $10^{-5} \text{ }^{\circ}\text{C} \cdot \text{s}^{-1}$) at 20:00 April 8, 2005

是低压发展的又一有利条件。低压的发展,在地面形成大的气压梯度,是大风产生的根本原因,同时由于在低压西面和舟山之间存在垂直环流,下沉气流将高空的动量带下来,最终形成了地面的强风。

3 预报因子的选取

3.1 冷空气大风的预报因子

根据前面的研究,认为与冷空气大风关系密切的物理量主要有低层的温度梯度、地面的气压梯度、高低层风切变、高空风速等,为了进一步了解发生冷空气大风时哪些物理量有异常的表现、有预报指示意义,本研究计算了多种物理量有风和无风的 t 统计量。将1994—2003年有冷空气大风(8级以上)的66个样本为一组样本,另外把这10年中11月到次年3月中剔除掉有大风日及其前一天和后一天,这样得到752个没有大风的样本。物理量有500 hPa,700 hPa,850 hPa各层的高度、温度梯度、风、散度、涡度、地面气压梯度等。根据样本的数量,当 t 统计量的绝对值大于2.576时,就通过了0.01的信度检验,差异就是显著的。

统计结果表明:地面气压梯度的模在 $30^{\circ} \sim 36^{\circ}\text{N}$, $104^{\circ} \sim 112^{\circ}\text{E}$ 之间基本上 t 统计量大于5,对应冷锋后、冷高压前面气压梯度大。

850 hPa 散度的 t 统计量在锋面附近显著偏小,在锋面前显著偏大。700 hPa 温度梯度的模在 32°N 附近江南大部分地区 t 统计量大于3,中心大于9。850 hPa 温度梯度的模在整个江南地区内基本上大于4,中心在 34°N 附近,大于8。500 hPa,700 hPa 有明显的西北风,850 hPa 偏北风显著偏大。500 hPa 与850 hPa 风切变模的 t 统计量在 $30^{\circ} \sim 38^{\circ}\text{N}$, $110^{\circ} \sim 122^{\circ}\text{E}$ 之间大范围偏大,有比较大的高低空风切变(图3)。

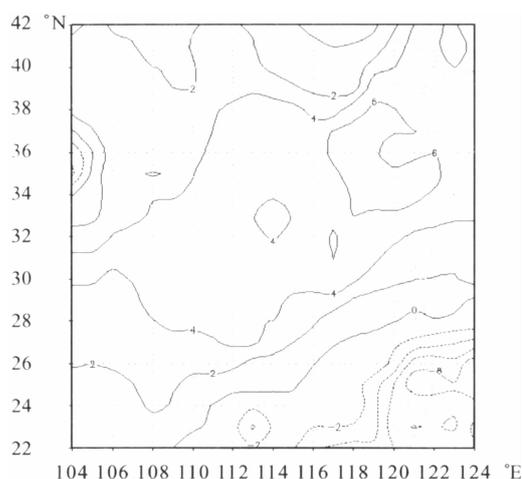


图3 有冷空气大风(8级以上)与无大风样本
500 hPa 与850 hPa 风切变模的 t 统计量
Fig. 3 The t statistics of the wind shear modulus from 500 hPa to 850 hPa between the samples which have cold air gales (above 8 Beaufort scale) and no gale

分析结果表明:为地面气压梯度、低层温度梯度、各层的风、低层的散度、高低空风切变等都有显著的差异,所以主要从这些物理量中选取预报因子。时次包括当前时刻(即做预报时,也是大风发生前的一个整点时刻)、前一时刻(即做预报的前一个整点时刻)、后一时刻(即大风发生后的一个整点时刻),这里的整点时刻主要是指08:00和20:00,除了地面因子的前一时刻是02:00或14:00,其他都是指08:00,20:00。当前时刻和后一时刻的资料在建立统计模型时都用实况填图资料,预报时用T213资料代替。由于选取因子数应与样本长度相匹配,这里确定因子数为15个。对冷空气引起的大风的两种类型都选用相似的预报因子,在计算因子时选取的地理位置略有不同。

3.2 低压大风的预报因子

同样,用低压大风的35个样本为一组样本,752个没有大风的样本为另一组样本,计算各物理量的 t

统计量。根据前面的研究,认为与低压大风关系密切的物理量主要有地面的气压梯度、低层的温度平流、温度梯度、高空涡度平流等,由于低压的发展与潜热释放的能量密切相关,所以增加了湿度等物理量。在普查历史资料中发现,低压强烈发展时,高空往往处于槽前,而且槽前对应的是暖舌,暖舌越强,低压发展得越强,500 hPa 温度值与高度值的偏差反映了这种温度场和高度场的配置情况,所以把它作为一个物理量。

统计结果表明:地面气压梯度的模在 $28^{\circ}\sim 30^{\circ}\text{N}$, $119^{\circ}\sim 121^{\circ}\text{E}$ 之间偏大;850 hPa 温度梯度的模在 $30^{\circ}\sim 34^{\circ}\text{N}$, $112^{\circ}\sim 118^{\circ}\text{E}$ 之间大范围偏大;850 hPa 风速 u 分量在 32°N 以北 t 统计量显著偏小,在 32°N 以南 t 统计量显著偏大,而且有对称的中心,反映了存在气旋性的环流。850 hPa 风速 v 分量在 114°E 以东基本上是显著偏大的南风;500 hPa 与 850 hPa 风切变的模的 t 统计量在 32°N , 114°E 附近以及东南沿海地区都是显著偏小,这与冷空气大风相反,冷空气大风发生时一般有强的垂直风切变,而低压大风发生时一般是弱的垂直风切变;700 hPa 涡度在 $30^{\circ}\sim 36^{\circ}\text{N}$, $110^{\circ}\sim 120^{\circ}\text{E}$ 之间的 t 统计量都大于 5;700 hPa 温度露点差在 $30^{\circ}\sim 40^{\circ}\text{N}$, $114^{\circ}\sim 120^{\circ}\text{E}$ 之间大范围的 t 统计量都小于 -4,也就是说湿度比较大。850 hPa 温度露点差在 $32^{\circ}\sim 34^{\circ}\text{N}$, 114°E 附近有一小中心。500 hPa 温度减高度差值的 t 统计量在所有的物理量中差异是最大的,所计算的整个范围内都在 24 左右(图 4)。

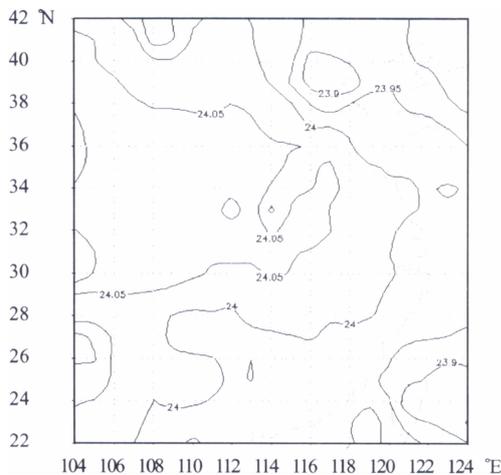


图 4 有低压大风(8 级以上)与无大风样本 500 hPa 温度值与高度值偏差的 t 统计量
Fig. 4 The t statistics of the difference between temperature and height of 500 hPa between the samples which have depression gales (above 8 Beaufort scale) and no gale

根据以上的研究结果,认为与低压大风关系密切的物理量主要有低层 850 hPa 的锋区、地面的气压梯度、高低层风切变、中低层的温度露点差和涡度、500 hPa 温度值与高度值偏差等,所以主要从这些物理量中选取预报因子,包括 3 个时次,总共 13 个预报因子。3 种低压类型的预报因子也是相似的,只是在计算因子时选取的地理位置略有不同。

4 预报模型的建立

建立预报模型,传统较多采用逐步回归方法建立预报模型,但该方法只能拟合线性关系。支持向量机方法是一种新的统计预报方法,它能很巧妙地解决非线性问题,本文也尝试了用其作回归,但该方法对极值的拟合很不理想,而预报大风最重要的是要报出极大值。而人工神经网络能拟合非线性问题,对样本的要求也较低,不需要很多的样本,不要求正态分布,而且它可以不断学习,不断提高。目前用人工神经网络作天气预报已经有了很多尝试^[9-16],取得了不错的效果,所以最终采用人工神经网络来建立预报模型。

用 MATLAB 语言建立人工神经网络,非常方便快捷,只需要短短的几行代码,调节层数、节点个数等参数,只需改动几个参数,但也有缺点,就是网络结构是一个暗箱,无法了解得很清楚。

用 70% 的样本训练网络,15% 用来确证,也就是把握训练方向,当确证样本的误差最小时,训练停止,这 85% 的样本都参加了建模,剩下的 15% 的样本完全没有参加建模,可以用来做检验。最后根据训练样本、确证样本、检验样本拟合的效果,综合决定一个最优的网络,以检验样本拟合的效果为最主要的参考,这样才能尽量减少过度拟合。

预报因子包括大风发生前的,也包括大风发生后的,训练网络时都采用实况资料计算,把实况填图资料用逐步订正法进行客观分析转换为 $1^{\circ}\times 1^{\circ}$ 的网格点资料来计算预报因子。训练前先将其归一化,归一化的公式:

$$x_i' = (x_i - \min(x_i)) / (\max(x_i) - \min(x_i)) \quad (1)$$

式(1)中, x_i 是一个因子序列, x_i' 是归一化后的因子序列。

采用两层的 BP 神经网络,第 1 层用双曲正切 S 型传递函数,第 2 层用线性传递函数,这是 BP 神经

网络最常用的一种设置。

1994—2003年中路冷空气一共有61个样本,但只有43个样本有完整资料,用31个样本训练,6个确证,6个检验。经过多次的试验,对中路冷空气型15个预报因子,节点数为11的时候拟合的效果最好,节点减少,模拟不出理想的效果,节点增多,模拟可以更好,但推广不好,确证和检验样本模拟都不好。最后建模拟合的结果虽然也有误差,但它对突出的极值能够拟合出来。用拟合的结果与实际的风速作一元回归,复相关系数为0.971。用6个检验样本进行检验,误差控制在3 m/s以内。

东路冷空气一共20个样本有完整资料,15个预报因子,节点数为9的时候拟合效果最好,拟合结果与实际风速的复相关系数为0.959,3个检验样本的误差分别为1.72, -1.91, 0.48 m/s。

东海低压型一共有34个样本,13个预报因子,节点数为7的时候拟合的效果最好,拟合的结果与实际风速的复相关系数为0.934,5个检验样本的误差分别为-0.79, 1.08, 1.88, -1.42, -0.59 m/s。

黄渤海低压型一共有45个样本,13个预报因子,节点数为7的时候拟合的效果最好,拟合的结果与实况风速的复相关系数为0.964,7个检验样本的误差控制在4.0 m/s以下。

冷空气与低压结合型一共有51个样本,13个预报因子,节点数为11的时候拟合的效果最好,拟合的结果与实况风速的复相关系数为0.822,8个检验样本的误差控制在3.5 m/s以下。

做预报时,根据当时的天气形势用第1章介绍的标准人工分型,计算各预报因子,一部分预报因子用实况资料计算,一部分预报因子采用T213资料计算。归一化时采用历史样本的最大值和最小值进行计算,然后采用相应的神经网络计算结果。本方法于2004年10月在舟山市气象台投入试运行,对2004年10月—2005年3月舟山海域出现的大风过程进行了试报,具体试报结果如下:中路冷空气大风共做了8次预报,平均绝对误差为2.0 m/s,最大误差为3.6 m/s,偏大的情况比较多。分析其原因主要是由于用T213的资料计算出来的预报因子值比用填图资料计算的偏大,导致了预报结果偏大。东路冷空气大风共做了10次预报,平均绝对误差为1.5 m/s,最大误差为-3.2 m/s。东海低压大风共做了8次预报,平均绝对误差为2.6 m/s,最大误差为3.9 m/s,总的来说预报偏大。冷空气和低压结合型大风共做了7

次预报,平均绝对误差为2.2 m/s,最大误差为-4.3 m/s,系统性地偏小。

5 小结

1) 本文对2001年1月发生在舟山市的一次突发性冷空气大风过程进行诊断分析,结果表明:快速移动的高空槽,产生强的冷平流,形成中低层的强的温度梯度和地面气压梯度,高空强的冷平流与地面加热共同作用,形成大的温度层结递减率,产生不稳定层结,引起垂直动量交换,就是突发性冷空气大风产生的原因。

2) 通过对2005年4月舟山市一次低压大风个例的诊断分析认为:高空的北支槽前的涡度平流、中低层的温度平流、充足的水汽供应使地面低压能够进一步发展。同时由于在低压和舟山之间存在一个垂直环流,下沉气流将高空的动量带下来,最终形成了地面的强风。

3) 通过 t 统计,认为与冷空气大风关系密切的物理量有地面气压梯度、低层温度梯度、各层的风、低层的散度、高低空风切变等,与低压大风关系密切的物理量主要有低层850 hPa的锋区、地面的气压梯度、高低层风切变、中低层的温度露点差和涡度、500 hPa温度减高度差值等,可以从这些物理量中选取预报因子。

4) 用BP神经网络方法分5类分别建立舟山沿海灾害性大风的预报模型,拟合结果与实际风速的复相关系数除了冷空气与低压结合型为0.822外,其他都在0.90以上,检验样本的绝对误差均在4.0 m/s以下。对2004年10月—2005年3月舟山海域出现的大风过程进行了试报,预报误差都在4.5 m/s以下。说明对本文选定的预报因子来讲,用BP神经网络方法建立的预报模型具有一定的预报能力。

参考文献

- [1] 曹美兰,项素清. “晴天暴”的物理成因及预报. 气象, 2002, 28(5):22-26.
- [2] 张晓慧,盛立芳,张红岩. 渤海秋末初冬一次强寒潮天气过程分析. 海洋预报, 2004, 21(3):51-56.
- [3] 孙建明,陈卫锋. 一次动量下传大风过程分析及预报着眼点. 浙江气象科技, 2001, 22(4):1-4.
- [4] 胡春蕾. 95.11.7晴天暴过程分析. 浙江气象科技, 1997, 18(1):9-12.

- [5] 仪清菊,丁一汇. 黄、渤海气旋爆发性发展的个例分析. 应用气象学报,1996, 7(4):483-490.
- [6] 林明智,李修芳,余鹤书. 预报爆发性气旋的一个综合判据. 应用气象学报,1993, 4(1):112-116.
- [7] 林良勋,程正泉,张兵,等. 完全预报方法在广东冬半年海面强风业务预报中的应用. 应用气象学报,2004, 15(4):485-490.
- [8] 祝启桓,张淑云,顾强民. 浙江省灾害性天气预报. 北京:气象出版社,1992.
- [9] 王耀生. 人工智能、模式识别在气象领域应用的现状与展望. 气象,1994, 20(6): 9-14.
- [10] 张承福. 神经网络在天气预报中的应用研究. 气象,1994, 20(6): 43-67.
- [11] 王繁强,徐文金,陈杰伦,等. B-P算法在青海省降雨分区分级预报中的应用. 高原气象,1997, 16(1):105-111.
- [12] 汤子东,郑世芳,奚秀芬. BP人工神经网络在春季降水量预报中的应用. 气象,1997, 23(8):34-37.
- [13] 白慧卿,方宗义,吴蓉璋. 基于人工神经网络的GMS云图四类云系的识别. 应用气象学报,1998, 9(4):402-409.
- [14] 王成刚,吴宝俊,朱官忠. BP网络在鲁西南地区西南涡降水量级预报中的应用试验. 气象科学,1999, 19(1):158-165.
- [15] 王雷,黄培强. 利用人工神经网络预报芜湖的雾. 气象科学,2001, 21(2):200-205.
- [16] 施丹平. 神经网络方法在降水量级中期预报中的应用. 气象,2001, 27(6):40-42.

The Causes of Catastrophic Gales in Zhoushan Islands with Their Forecasting

Yang Zhong'en Chen Shuqin Huang Hui

(Zhoushan Meteorological Bureau, Zhoushan 316004)

Abstract

The Zhoushan islands see strong gales all the year round, which bring great dangers to sea operations. So it is very important to study the rules with the causes of strong gales, and set up methods to forecast strong gales. First the occurrence rules of strong gales of five kinds by ten years data of Shengsi station in Zhoushan city and the weather charts are studied. The results show that the gales caused by cold airs from the central area are more than the others, and the numbers have annual variation. The cold airs from the eastern areas are a little less than that from the central areas. The numbers of strong gales caused by depression in the East China Sea are much more homogeneous in each year. Diagnosis of a case of gales caused by cold airs shows that the causes are the combination of strong cold advection, upper air jet stream and momentum downward transport. Studies about gales caused by depression show that the vorticity advection, thermal advection and latent heat release make great contribution to the development of the depression. Some physical elements are selected to calculate the t statistic according to the types of strong gales and the forecast experiences. Then forecasting factors are selected based on the abnormal physical elements when gales occur. Forecasting factors are calculated by data interpolated from real station data. Then these factors are used to establish forecast models. For forecasting, the numerical production of T213 is used to calculate forecasting factors. The forecasting models are established by artificial neural networks, which have two layers of pass. The first transfer function is tangent, and the second is linear transfer function. 70% of the samples are used to train a neural network, 15% of which are used to verify the network, and the other 15% are used to test. Finally the best neural network is selected according to the results of imitation. The correlation coefficients between real gales and imitations are all above 0.80. Otherwise, absolute errors of the test samples are all less than 4 m/s. The forecasting models have been used since October 2004. Up to March 2005, all the absolute errors of the forecast samples are less than 4.5 m/s. So it can be concluded that this method has some capability to forecast the gales in Zhoushan sea area.

Key words: Zhoushan islands; gale; neural network