

文章编号:1004-4574(2009)01-0064-10

我国台风灾害成因分析及灾情预估

陈佩燕¹, 杨玉华¹, 雷小途², 钱燕珍³

(1. 中国气象局上海台风研究所/台风预报技术重点开放试验室, 上海 200030;
2. 上海市气候中心, 上海 200030; 3. 浙江省宁波市气象局, 浙江 宁波 315012)

摘要: 利用 1980-2004 年的台风基本资料, 对我国台风(包括热带气旋、热带风暴、强热带风暴、台风、强台风和超强台风)灾害的成因进行了初步分析, 结果表明: 台风引起的大风和降水以及登陆台风的强度和登陆点位置等都是我国台风致灾的重要因素。综合表征台风灾情的 ATDI 指数和台风造成的直接经济损失与台风大风、降水、登陆台风强度及移速关系密切, 而房屋倒塌则主要与台风引起的大风有关, 农田受淹则主要取决于台风降水。在此基础上, 建立了综合表征台风灾情的 ATDI 指数以及因台风而倒塌的房屋数、受淹的农田面积和造成的直接经济损失等的预估模型。对历史样本拟合和对 2005 年 6 个台风的独立样本回报表明: 模型具有较好的预估能力, 对台风灾害各等级的拟合和预估误差不大于 1 个等级的样本约占总样本数的 83%~96% (完全准确的样本在 50% 以上)。

关键词: 台风; 灾害; 成因分析; 灾情预估

中图分类号: TD713⁺2; N949 **文献标识码:** A

Cause analysis and preliminary hazard estimate of typhoon disaster in China

CHEN Pei-yan¹, YANG Yu-hua¹, LEI Xiao-tu², QIAN Yan-zhen³

(1. Shanghai Typhoon Institute/Key Open Laboratory of Typhoon Forecast Technique, CMA, Shanghai 200030, China;
2. Climate Center of Shanghai Meteorology Bureau, Shanghai 200030, China;
3. Ningbo Meteorology Bureau, Ningbo 315012, China)

Abstract: Main meteorological factors for disaster caused by landfalling tropical cyclones in China are analyzed based on samples formed during 1980-2004. It is shown that the degree of disaster has strong relation with precipitation, gale, and landfalling intensity and position point of typhoon, et al. In detail, ATDI, an index to describe the degree of disaster caused by typhoon, and economic lost are highly correlative with gale, precipitation, landfalling intensity, and moving speed of typhoon. Damaged and collapsed houses are mainly begot by gale. And flooded farmland is mostly begot by precipitation. A statistical prediction model for disaster, including ATDI, economic loss, damaged and collapsed houses and flooded farmland caused by typhoon is developed using regression technique. The fitting results for historical and independent samples show that the prediction model performs well for 83%~96% samples with errors less than one grade.

Key words: typhoon; disaster; cause analysis; disaster situation hazard estimate

台风(泛指热带气旋, 包括热带低压、热带风暴、强热带风暴、台风、强台风和超强台风, 下同)因其

收稿日期: 2007-06-21; 修订日期: 2007-09-15

基金项目: 中国气象局气象新技术推广项目(CMATG2005M16)和 2005 年上海台风研究所台风基金资助。

作者简介: 陈佩燕(1976-), 女, 助理研究员, 主要从事台风强度及灾害预报技术方面研究. E-mail: chenpy@mail.typhoon.gov.cn

灾害的严重性,而倍受人们的关注。沿海国家和地区,投入了大量的人力物力,建立了各种防御工事和预案,旨在减轻台风带来的灾害。台风领域的科学家长期致力于提高台风路径的预报精度,近年来取得了显著成效,而且还开展了台风强度变化机理及预报方法研究,为台风预报业务和防台减灾工作提供了强有力的支撑。

众所周知,防台减灾的最终目的是减轻台风的灾情。作者基于 1980 - 2004 年我国台风灾害特征的分析表明:除人员伤亡外,台风的灾情主要表现在房屋倒损、农田受淹及直接经济损失等方面。显然,台风灾情的预估,对于提高防台减灾策略的针对性和效率具有重要意义。

我国陈舜华^[1]、卢文芳^[2]、吴兴国^[3]、林继生等^[4]、梁必骥等^[5-6]、钱燕珍等^[7-8]和姚棣荣等^[9]先后研究并建立了上海、福建、广西、广东和浙江等地的台风灾情预估模型。然而,台风在影响我国时,往往几个省(自治区、直辖市,下同)同时受到同一台风的影响并造成灾害。如何预估台风对全国可能造成的灾情,目前尚缺乏有效的客观方法。本文将在对我国台风灾情成因分析的基础上,尝试建立我国的台风灾情预估方法。

1 资料说明

选用了灾情记录相对较全的 1980 - 2004 年的台风灾情资料。其中,1980 - 1992 年的台风灾情资料由 1990 年代初中国气象局组织收集、上海台风研究所主持整编,1993 - 2004 年的台风灾情资料由上海台风研究所汇同国家气象中心于 2005 年整编。本文使用了整编后的 1980 - 2004 年我国台风灾情资料中的伤亡人数、倒损房屋数、受淹农田面积和直接经济损失等资料。

台风位置、强度、登陆及台风影响时台站的风雨等资料均取自中国气象局整编的《台风年鉴》(1980 - 1988 年)和《热带气旋年鉴》(1989 - 2004 年)。

2 台风灾害的成因

与其他自然灾害类似^[10-11],台风本身所具有的破坏力、承载体的承灾能力、以及当地的人员和产业结构特征等决定了台风灾害的大小。台风的破坏力取决于与其伴随的强度、风、雨和风暴潮等因素,这是我国台风灾害的主要因素(徐良炎^[12];姚文广^[13];林炳荣^[14])。承载体的承灾能力以及台风影响地的人员和产业结构特征较为复杂,可用 GDP 进行粗略地表征。限于资料等原因,本文暂不讨论台风的风暴潮、承载体的承灾能力及受台风影响地的人员和产业结构特征等对台风灾害的影响。

2.1 台风大风引发灾情

大风是伴随台风的主要天气,也是造成台风拔树倒屋的主要原因,因此必定是台风灾害的重要成因之一。最大风速和极大风速及其出现的范围则是表征受台风影响时的风特征量,表 1 列出的是 1980 - 2004 年间,受台风影响地区的最大风速、极大风速以及台风登陆时的瞬时风速极值与房屋倒损等灾情要素之间的相关系数。其中“最大风速极值”是指受台风影响的各站在台风影响期间出现的最大风速的极大值;“极大风速极值”是指受台风影响的各站在台风影响期间出现的极大风速的极大值;“瞬时风速极值”是指受台风影响的各站在台风登陆时出现的瞬时风速的极大值;“ I_w 指数”和“ I_{w68} 指数”是表征受台风影响而出现大范围大风的物理量^[1-2,7,15],与指数 I_w 的计算^[3-4]不同,计算 I_{w68} 指数时要考虑 6 级和 8 级风出现的情况,并按下式计算:

$$\begin{cases} I_{w68} = (\sum W_i) / W_A \cdot [1 + (N_{w1} + N_{w2}) / N]^2, \\ I_w = (\sum W_i) / W_A, \end{cases} \quad (1)$$

式中, $\sum W_i$ 为受台风影响的各站在台风影响期间的风速之和、 W_A 为其多年平均值, N_{w1} 为出现 6 级(13.6 m/s)以上大风的日数、 N_{w2} 为出现 8 级(17.2 m/s)以上大风的日数、 N 为计算区域内历史上曾出现过 6 级以上台风大风的总测站数。

表 1 灾情要素与台风大风的相关系数

Table 1 Correlation coefficients between disaster elements and gale caused by typhoon.

	最大风速极值	极大风速极值	瞬时风速极值	最大风速的 I_w 指数累计值	最大风速的 I_{w05} 指数累计值	极大风速的 I_w 指数极值
I_{ATD} 指数	0.27	0.4	0.22	0.20	0.20	0.32
倒损房屋数	0.22	0.29	0.26	0.22	0.20	0.21
受淹农田面积	0.10	0.16	0.19	0.18	0.17	0.16
直接经济损失率(μ)	0.16	0.21	0.29	0.24	0.21	0.16

表 1 中的“ I_{ATD} 指数”是客观评估台风造成灾害大小的物理量^①, 定义为

$$I_{ATD} = I_d + I_h + I_e + I_m \quad (2)$$

其中, I_d, I_h, I_e, I_m 分别为规范化的人员伤亡指数、农田受淹指数、房屋倒损指数和直接经济损失指数。 I_d, I_h, I_e 和 I_m 分别按式(3), (4), (5)和(6), 计算:

$$I_d = \begin{cases} \log d - 1, & \text{当 } d \geq 100 \text{ 人} \\ \frac{d}{100}, & \text{当 } d < 100 \text{ 人} \end{cases} \quad (3)$$

$$I_h = \begin{cases} \log h - 2, & \text{当 } h \geq 10 \text{ 万亩}(1 \text{ 亩} = 1 \text{ hm}^2/15, \text{下同}) \\ \frac{h}{100000}, & \text{当 } h < 10 \text{ 万亩} \end{cases} \quad (4)$$

$$I_e = \begin{cases} \log e - 2, & \text{当 } e \geq 1 \text{ 万间} \\ \frac{e}{10000}, & \text{当 } e < 1 \text{ 万间} \end{cases} \quad (5)$$

$$I_m = \begin{cases} \log m, & \text{当 } m \geq 10 \text{ 亿元} \\ \frac{m}{10}, & \text{当 } m < 10 \text{ 亿元} \end{cases} \quad (6)$$

式中, m 为定基直接经济损失(单位:亿元)。定义为以某一年的物价为基准, 将其他各年的直接经济损失换算成以基准年物价为基准的直接经济损失, 按下式计算:

$$m = m_0 \cdot \beta, \quad (7)$$

其中, m_0 为直接经济损失, β 为定基物价比系数(基准年为 1.0, 本文将 2000 年设定为基准年)。引入定基直接经济损失的目的是要消除物价涨落等因素, 将各年的直接经济损失订正到基准年的物价水平, 从而使不同年份的经济损失间具有可比性、对不同年份台风灾害的评估更且可比性。

“直接经济损失率(μ)”是指台风造成的直接经济损失(m_0)与当年国内生产总值(GDP), m_{GDP} 的比, 旨在消除由于物价等因素导致的不同年份之间经济损失的不可比问题, 其计算公式如下:

$$\mu = \frac{m_0}{m_{GDP}} \times 100. \quad (8)$$

由表 1 可见: 多种描述台风大风的物理量与 I_{ATD} 指数均具有显著的正相关(通过 99% 或 95% 的信度检验); 虽然大风与各灾情要素的相关均为正, 但不难发现, 大风与倒损房屋数的相关最为密切(均通过 95% 的信度检验); 受影响地区在台风登陆时出现的瞬时极值风速, 不仅与 I_{ATD} 指数和倒损房屋数的相关显著, 而且与受淹农田面积和直接经济损失(率)的相关也显著。这充分表明, 台风引起的大风是引发灾害的重要原因之一。

2.2 台风降水引发灾情

降水是与台风伴随的另一主要天气, 同时也是引发渍涝和山洪暴发从而形成灾害的主要原因, 因此必定是造成台风灾害的重要成因之一。表 2 给出的是受台风影响地区的降水特征量与台风灾情各要素(房屋倒损数、农田受淹面积等)之间的相关系数。

表 2 灾情要因与降水特征量的相关系数

Table 2 Correlation coefficients between typhoon disaster elements and precipitation character quantities

	最大日累计雨量	累计过程雨量	最大 I_R 指数	累计 I_R 指数	最大 I_{RP} 指数	累计 I_{RP} 指数
I_{ATD} 指数	0.37	0.23	0.3	0.16	0.3	0.16
倒损房屋数	0.31	0.18	0.23	0.15	0.23	0.15
受淹农田面积	0.44	0.26	0.38	0.22	0.38	0.22
直接经济损失率(μ)	0.44	0.29	0.32	0.22	0.31	0.22

表 2 中:“日累计雨量”是指受台风影响期间某日受台风影响各站的日雨量之和;“最大日累计雨量”则指“日累计雨量”的最大值;“累计过程雨量”是指受台风影响的各站在台风影响期间的总降雨量;“ I_R 指数”是表征受台风影响范围内的日面雨量的物理量,“ I_{RP} 指数”是考虑台风影响前 20d 内降水的“ I_R 指数”(由于前期充足的降水会放大台风的灾害);“最大 I_R 指数”和“最大 I_{RP} 指数”是指台风影响期间 I_R 指数和 I_{RP} 指数的最大值;“累计 I_R 指数”、“累计 I_{RP} 指数”分别是指受台风影响期间的 I_R 指数之和、 I_{RP} 指数之和。“ I_R 指数”(按林继生(1995)^[4]方法计算)和“ I_{RP} 指数”按下式计算:

$$\begin{cases} I_R = (\sum R_i)/R_A \cdot [1 + (N_{r1} + N_{r2})/N]^2, \\ I_{RP} = (\sum R_{ip})/R_A \cdot [1 + (N_{r1} + N_{r2})/N]^2, \\ R_{ip} = R_i + \sum_{t=1}^{20} (R_{it} * \omega_t), \end{cases}$$

式中, $\sum R_i$ 为当日受台风影响区域的面雨量(各站雨量之和), R_A 为该区域面雨量的多年平均值, N_{r1} 为暴雨(日雨量 ≥ 50 mm)以上的日数, N_{r2} 为大暴雨(日雨量 ≥ 100 mm)以上的日数; R_{it} 为受台风影响区域某站在台风影响前 20d 之内的逐日降水值; ω_t 为权重系数,前 1d 的降水权重取为 100%,前 2~4d 降水权重取为 60%,前 5~9d 降水权重取为 25%,前 10~20d 降水权重取为 10%。

由表 2 可见:多种表征台风降水的物理量与台风造成的农田受淹面积及直接经济损失率具有显著的正相关(通过 99% 或 95% 的信度检验),与倒损房屋数及 I_{ATD} 指数的相关也较为显著(大部分通过 99% 或 95% 的信度检验)。其中,最大日累计雨量、最大 I_R 指数和最大 I_{RP} 指数与表征台风灾害情的 I_{ATD} 指数及台风造成的倒损房屋数等灾情要素的相关均显著,并以最大日累计雨量与受淹农田面积和直接经济损失率的相关系数为最大(通过 99% 的信度检验)。

图 1 为最大日累计雨量(二次方)与受淹农田面积的散点图,最大日累计雨量二次方的 3 阶拟和曲线与受淹农田面积的负相关系数达到了 0.82。且当最大日累计降水在 13 000 mm(平方值约为 17 000 万 m^2) 以上时,受淹农田面积约在 200 万 hm^2 以上。

从表 2 还可以发现:不管是否考虑前期降水,也不管是降水量直接累加还是降水指数累加,只要是过程累加的量,与受淹农田面积或直接经济损失率都有很好的相关关系(通过 95% 的显著性检验)。这些均表明:除台风大风外,台风降水也是引发灾害的重要原因之一。

2.3 台风登陆与灾情关系

台风的灾情主要发生在近海及陆地上,因此台风的灾情势必与台风登陆及其在陆上的活动特征密不可分。台风登陆前后,由于下垫面等特征发生了显著变化,复杂的海-气、陆-气及台风与中纬度系统的相互作用,使台风的路径、强度变化以及风雨分布更具不确定性,其影响大小与台风登陆时自身的强度、登陆点位置、登陆前后的移速以及在陆上的维持时间等有关。

表 3 给出了登陆台风的特征量与台风灾情各要素(房屋倒损数、农田受淹面积等)之间的相关系数。可

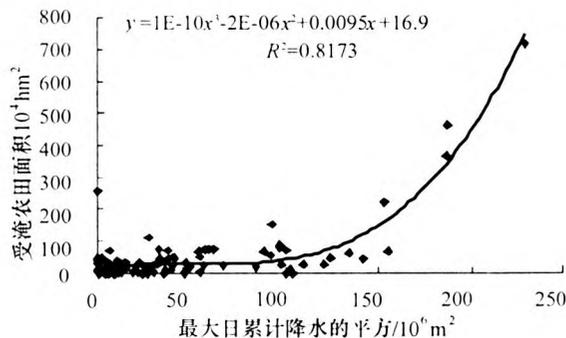


图 1 受淹农田面积与最大日累计雨量的散点
(黑实线为 3 阶拟合曲线)

Fig 1 Relationship between area of flooded farmland and maximum daily total precipitation (heavy line is a fitting curve of third degree)

见:台风登陆时的强度(以中心最低气压为例)与台风灾情密切相关,与台风灾情 I_{ATD} 指数、台风造成的倒损房屋数及直接经济损失率的相关较为显著(通过 99% 或 95% 的信度检验),且中心最低气压的(负)相关性略高于中心附近最大风速的(正)相关。

表 3 灾情要素与登陆台风的特征量的相关系数

Table 3 Correlation coefficients between disaster elements and character quantities of landing typhoon

	登陆时 最低气 压	登陆点 的纬度	登陆点 的经度	登陆前 12h 移速	登陆前 6h 移速	登陆时 移速	登陆后 6h 移速	登陆后 12h 移速	陆上平 均移速	陆上维 持时间
I_{ATD} 指数	-0.39	0.13	0.07	0.13	0.16	0.16	0.09	0.03	0.08	0.04
倒损房屋数	-0.46	0.09	0.06	0.24	0.22	0.27	0.16	0.15	0.17	-0.02
受淹农田面积	-0.17	0.26	0.24	0.19	0.12	0.2	0.19	0.02	0.23	0.07
直接经济损失率	-0.28	0.18	0.18	0.17	0.11	0.22	0.08	0.05	0.11	0.05

由表 3 可见,受淹农田面积与台风登陆点的位置关系密切,与台风登陆点的经、纬度的相关均通过 95% 的显著性检验。事实上,1980 - 2004 年间,造成 100 万 hm^2 以上农田受淹的台风,其登陆位置均在 $24 - 30^\circ N$ 区域,即主要在福建和浙江省登陆,其受灾范围都在 4 个省份以上(包括 4 个),如导致农田受淹面积最大和次大的 9608 号和 9406 号台风均在福建登陆,第 3 和第 4 的 9711 号和 9417 号台风则登陆浙江。这可能与在浙江、福建登陆台风维持时间长、影响省份多(受灾省份 5 个以上的台风集中在浙江和福建沿海登陆(图略))、影响区域为主要粮食产区有关。此外,登陆点的位置与台风造成的直接经济损失也有一定的相关,但不很显著(未通过 95% 的信度检验),与房屋倒损数等灾情要素则无甚相关。

由表 3 还可见,台风登陆前后的移动速度与台风的灾情要素具有正相关。其中,登陆时的移速与倒损房屋数、受淹农田面积和直接经济损失率的相关较为显著(通过 95% 的信度检验),倒损房屋数还与台风登陆前 12h,6h 内的移速具有显著的相关,受淹农田面积则与登陆前 12h 至登陆后 6h 的台风移速相关显著,台风登陆 12h 以后的移速便与台风灾情要素没有明显相关,但受淹农田面积与台风在陆上期间的平均移速仍然关系密切(具有通过 95% 信度检验的显著相关)。总体上看,台风登陆前后及在陆上期间的移速越快,相应的灾情则可能越重,李剑兵等^[16]在分析广东省的台风灾害特征时也发现移速很快的台风往往容易引发大灾的结论。但是,如果台风移速很慢甚至停滞(不足 $10km/d$)的台风,则易于产生局地洪涝^[16],也会引发大灾(如 7503 号台风登陆后的停滞造成的河南“75.8”大洪水灾害)。台风登陆前后移速与台风灾情要素的正相关关系,一定程度上可以用台风登陆前后移速与台风登陆强度间的关系来解释。图 2(a)为台风登陆时移速与台风登陆气压的散点图,由该图可以看出,台风登陆时强度与登陆时移速成正比,既强台风登陆,通常移其速也较快,这样灾害也相对比较严重。

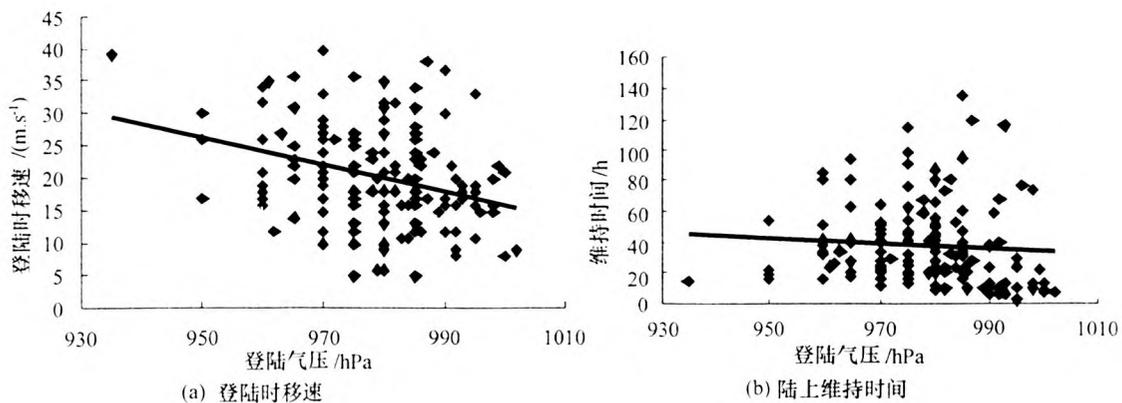


图 2 台风特性与登陆气压的散点图(黑色线为线性趋势线)

Fig. 2 Scattering point plot between characters and landing intensity for typhoon(heavy line is linear trend)

此外,虽然历史上有不少造成很大灾害的台风,在陆上维持的时间较长,而且受淹农田面积在 100 万 hm^2 以上的台风,其陆上的维持时间都在 33h 以上,但是台风在陆上的维持时间与台风各灾情要素的相关并不显著,这可能与维持时间与登陆时强度没有显著的相关关系有关(图 2(b))。然而值得注意的是,维持时间在 75h 内的 TC,所有灾情因子的最大值及致灾省份的最大值与维持时间都有显著的正相关关系,TC 维持时间越长,倒塌房屋数、直接经济损失、伤亡人数、受淹农田面积等最大值越大(图略)。

3 台风灾情的预估

综上所述,台风引起的大风和降水以及登陆台风的强度和登陆点位置等都是台风致灾的重要原因,与综合表征台风灾情的 I_{ATD} 指数、房屋倒损、农田受淹及直接经济损失等之间存在较为显著的相关,即:

I_{ATD} 指数与台风引起的大风(最大风速极值、极大风速极值、瞬时风速极值、最大风速的 I_w 指数累计值、最大风速的 I_{w68} 指数累计值和极大风速的 I_w 指数极值)、降水(最大日累计雨量、累计过程雨量、最大 I_R 指数、最大 I_{RP} 指数)及登陆时台风的强度(中心最低气压和中心附近最大风速)具有显著的正相关;

房屋倒损主要与台风引起的大风(最大风速极值、极大风速极值、瞬时风速极值、最大风速的 I_w 指数累计值、最大风速的 I_{w68} 指数累计值和极大风速的 I_w 指数极值)、降水(最大日累计雨量、最大 I_R 指数和最大 I_{RP} 指数)、台风登陆时的强度(中心最低气压、中心附近最大风速)以及台风登陆时和登陆前 12h 及 6h 内的移速有关;

受淹农田面积则主要与台风引起的瞬时风速及台风引发的降水(最大日累计雨量、累计过程雨量、最大 I_R 指数、累计 I_R 指数、最大 I_{RP} 指数、累计 I_{RP} 指数)、台风登陆点位置、台风移速(登陆时的移速、登陆前 12h 和登陆后 6h 及陆上平均移速)相关显著;

直接经济损失(率)则与台风引起的大风(极大风速极值、瞬时风速极值、最大风速的 I_w 指数累计值和最大风速 I_{w68} 指数累计值)、降水(最大日累计雨量、累计过程雨量、最大 I_R 指数、累计 I_R 指数、最大 I_{RP} 指数、累计 I_{RP} 指数)、台风登陆时的强度(中心最低气压、中心附近最大风速)及登陆时台风的移速相关显著。

因此,不难在此基础上,建立 I_{ATD} 指数、房屋倒损、农田受淹及直接经济损失与台风引起的大风和降水以及登陆台风的强度和登陆点位置等之间的回归方程。显然,如果事先能对台风引发的大风和降水以及台风的登陆点位置和强度等做出预测,便可利用该回归方程对该台风可能给我国带来的灾情做出预估。

3.1 预估模型

基于完全预报方法(PP法)的思路,在上述相关分析的基础上,构造与台风引起的大风、降水以及登陆台风的强度和移速等有关的物理量,作为建立各类灾情要素回归方程的备选因子。表 4 列出了全部 116 个备选项中的 29 个(注:其余因子均由这 29 个基本因子通过平方、立方和取对数等的运算构成):

表 4 建立台风灾情预估模型的 29 个基本备选因子

Table 4 Standby factors for selection in setting up of typhoon disaster early estimate model

1 总过程雨量	16 最大风速极值
2 日累计降水极值	17 极大风速极值
3 测站最大降水量	18 瞬时风速极值
4 I_R 指数最大值	19 登陆点纬度
5 I_R 指数累计值	20 登陆点经度
6 I_{RP} 指数最大值	21 观测风速
7 I_{RP} 指数累计值	22 登陆时气压
8 最大风速的 I_w 指数最大值	23 登陆前 12h 移速
9 最大风速的 I_w 指数累计值	24 登陆前 6h 移速
10 最大风速的 I_{w68} 指数最大值	25 登陆时移速
11 最大风速的 I_{w68} 指数累计值	26 登陆后 6h 移速
12 极大风速的 I_w 指数最大值	27 登陆后 12h 移速
13 极大风速的 I_w 指数累计值	28 陆上平均移速/($\text{km} \cdot \text{h}^{-1}$)
14 极大风速的 I_{w810} 指数最大值	29 陆上维持时间/h
15 极大风速的 I_{w810} 指数累计值	

利用 1980-2004 年间的台风年鉴资料及台风灾情资料,建立了基于上述备选因子与各预报量(包括 I_{ATD} 指数、房屋倒塌数、农田受淹面积和直接经济损失率)之间的逐步回归方程。由于物理量的量级不同,在建立回归方程之前,因子先进行归一化处理。这样得到的各回归方程的复相关系数在 0.63~0.75 之间、残差在 0.67~0.87 之间(表 5)。最终进入各灾情要素(预报量)回归方程的因子(入选因子)及其方差贡献列于表 6。

表 5 台风灾情各要素的回归方程因子数、复相关系数及残差
Table 5 Numbers of selected factors, multiple correlation coefficients and residuals of regression forecast equations of typhoon disaster elements

预报量	因子数	复相关系数	残差
I_{ATD} 指数	8	0.69	0.67
倒塌房屋数	6	0.67	0.84
受淹农田面积	7	0.75	0.77
直接经济损失率(μ)	3	0.63	0.87

表 6 入选各台风灾情要素回归方程的因子及其方差贡献
Table 6 Factors selected in regression equation of typhoon disaster elements and their variance contribution

预报量	因子名称	方差贡献
I_{ATD} 指数	极大风速的 I_w 指数最大值的二次方	0.0672
	最大日累计降水的二次方	0.0577
	日最大降水的以 10 为底的对数	0.0527
	登陆后 6h 移速的以 10 为底的对数	0.0497
	登陆后 6h 移速的三次方	0.0297
	瞬时风速极值的三次方	0.0232
	最大日累计降水的三次方	0.0228
	登陆时 TC 近中心最大风速的以 10 为底的对数	0.0157
	倒塌房屋数最大日累计降水的三次方	0.0939
	登陆时气压的以 10 为底的对数	0.0672
	登陆时气压	0.0655
	最大风速的 I_w 指数累计值的以 10 为底的对数	0.0289
	瞬时风速极值的二次方	0.0271
	极大风速的 I_w 指数累计值的二次方	0.0152
	受淹农田面积最大日累计降水的三次方	0.1733
	I_R 指数最大值的三次方	0.0906IRP
	指数最大值的三次方	0.0841
	登陆后 6h 移速	0.069
	总过程雨量的以 10 为底的对数	0.0378
	极大风速的 I_w 指数最大值的三次方	0.0284
	极大风速的 I_w 指数累计值的三次方	0.0138
	直接经济损失率(μ)最大日累计降水的三次方	0.2693
	瞬时风速极值的三次方	0.0482
登陆时 TC 近中心最大风速的二次方	0.023	

由表 6 可见,入选“ I_{ATD} 指数”的回归方程的因子有:最大日累计降水、极大风速的 I_w 指数最大值、日最大降水、登陆时近中心最大风速、瞬时风速极值和登陆后 6h 移速等,其中极大风速的 I_w 指数最大值的二次方和最大日累计降水的二次方方差贡献较大,分别排在第 1 和 2 位;

入选“倒塌房屋数”的回归方程的因子有:最大日累计降水、极大风速和极大风速的 I_w 指数累计值、登陆时台风的强度及瞬时风速极值等因子,其中最大日累计降水三次方的方差贡献最大。

入选“受淹农田面积”回归方程的因子有:最大日累计降水的三次方、 I_R 指数最大值的三次方、 I_{RP} 指数的三次方、总过程雨量的以 10 为底的对数、极大风速的 I_w 指数最大值和累计值的三次方、登陆后 6h 移速等,其中最大日累计降水的三次方和 I_R 指数最大值的三次方的方差贡献排在第 1 和 2 位。

入选“直接经济损失率(μ)”回归方程的因子只有 3 个,它们分别是:最大日累计降水的三次方、瞬时风速极值的三次方和登陆时台风中心附近最大风速的二次方,其中最大日累计降水的三次方方差贡献最大。

此外,从表 6 可见,入选所有台风灾情要素回归方程的因子是最大日累计降水,说明其对我国的台风灾情有重要影响,也是预估台风灾情的重要依据之一。

3.2 拟合结果分析

利用上述回归方程,对 1980-2004 年间的历史样本进行了拟合,台风灾情各要素的历史拟合均较好,拟合值与历史实况的相关系数高达 0.63~0.76(表 7)。其中,以受淹农田面积的拟合效果最好,其回报值(拟合值)与历史实况值的相关系数高达 0.76、平均误差仅为均方差的 0.42 倍。 I_{ATD} 指数的拟合效果较好,拟合与历史实况的相关系数也较大,为 0.69。但是,当历史实况的 I_{ATD} 指数小于 8.0 时,拟合值往往大于历史实况;而当 I_{ATD} 指数大于 8.0 时,拟合值则通常明显低于历史实况。

表 7 台风各灾情要素回归方程的历史拟合(1980-2004 年)

Table 7 Historical fitting of regression equation for typhoon disaster elements(1980-2004)

	拟合值与历史实况值相关系数	平均误差
I_{ATD} 指数	0.69	0.51
倒损房屋数	0.68	0.49
受淹农田面积	0.76	0.42
直接经济损失率(μ)	0.63	0.46

依据 I_{ATD} 指数,将台风灾情分为 4 个等级^①:轻灾($I_{ATD} \leq 8.3$)、中灾($8.3 < I_{ATD} \leq 11.1$)、大灾($11.1 < I_{ATD} \leq 12.60$)和重灾($I_{ATD} > 12.60$)。则从灾情等级的拟合情况来看:拟合偏差在一个等级以内的样本约占总样本的 96.3%,其中,50%的样本拟合完全正确、17.6%的样本拟合偏高一个等级、28.7%的拟合样本偏低一个等级;拟合等级偏差在 2 个或以上的,仅有 3 个样本(约占总样本数的 3.7%)。

3.3 独立样本检验

本文还利用 2005 年 6 个登陆我国的台风(0505,0508,0509,0510,0513 和 0515 号)资料(取自中国气象局整编的《热带气旋年鉴》)和相关测站的风雨资料(取自中国气象局通过 MICAPS 系统实时下发资料),对上述回归方程进行了回报,起报时间为台风登陆的当天和次日的 08 点(详见表 8,图 3 给出了这 6 个台风的路径)。

表 8 用于独立样本检验的 2005 年 6 个登陆台风的情况及回报的起报时间(北京时间)

Table 8 Detail information about 6 typhoons landing in 2005 for independent samples test and forecast time (Beijing time)

台风编号	0505	0508	0509	0510	0513	0515
台风名称	海棠	天鹰	麦莎	珊瑚	泰利	卡努
台风登陆地、时间及中心气压	第 1 次: 台湾宜兰,7 月 18 日 14 时 50 分,950hPa 第 2 次: 福建连江,7 月 19 日 17 时 10 分,975hPa	海南琼海,7 月 30 日 5 时 25 分,985hPa	第 1 次: 浙江玉环,8 月 6 日 3 时 40 分,950hPa 第 2 次: 辽宁大连,8 月 9 日 6 时 30 分,995hPa	广东澄海,8 月 13 日 12 时 45 分,982hPa	第 1 次: 台湾花莲,9 月 1 日 7 时 30 分,940hPa 第 2 次: 福建莆田,9 月 1 日 14 时 30 分,970hPa	浙江台州,9 月 11 日 14 时 50 分,945hPa
起报时间	7 月 20 日 08 时	7 月 30 日 08 时	8 月 6 日 08 时	8 月 14 日 08 时	9 月 2 日 08 时	9 月 12 日 08 时

图 4 给出了利用回归方程对上述 6 个登陆台风的灾情进行回报及观测实况的对比图。由图 4(a)可见:对于台风灾情等级的回报,3 个台风(0505、0508 和 0510 号)与实况一致、2 个台风(0513 和 0515 号)的灾情被低估了 1 个等级、1 个台风(0509 号)的灾情则被低估了 2 个等级。灾情预估误差不超过 1 个等级的样本数约占总独立样本数的 83%。

从 I_{ATD} 指数的数值来看(图 4(b)):对 0509 号和 0515 号台风的灾情预估误差较大, I_{ATD} 指数值分别低估了 5.06 和 4.15;而 0513 号台风的 I_{ATD} 指数预估误差并不大(仅为 0.98),不足 6 个台风预估误差平均(2.60)的 38%,造成该台风灾情等级误差的原因是其 I_{ATD} 指数正好接近大灾和重灾的分级界限($I_{ATD} = 12.6$),实况的 $I_{ATD} = 12.87$ 为重灾,而回报估算的 $I_{ATD} = 11.89$ 为大灾。此外, I_{ATD} 指数回报误差较大的是 0508 号台

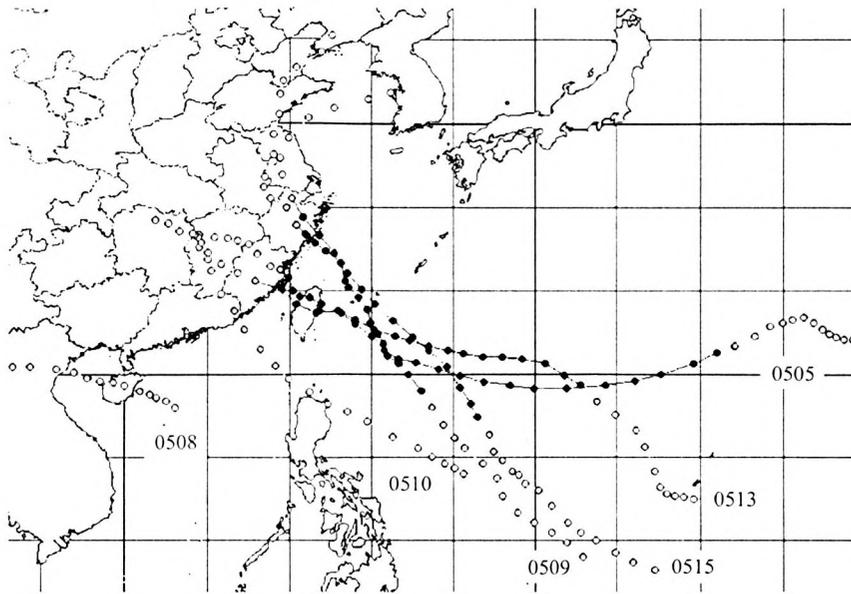


图 3 用于独立样本检验的 2005 年 6 个登陆台风的路径图
 Fig. 3 Tracks of 6 typhoons landing in 2005 used for independent samples test

风,达 3.95(实况的 $I_{ATD} = 0.03$ 、回报预估的 $I_{ATD} = 3.98$),只是因为 $I_{ATD} < 8.3$ 时都是轻灾,因而对灾情等级的预估没有偏差。

进一步的分析可以发现,对农田受淹面积的低估是造成低估 I_{ATD} 指数的主要原因,而对直接经济损失的高估则是高估 I_{ATD} 指数的主要原因。

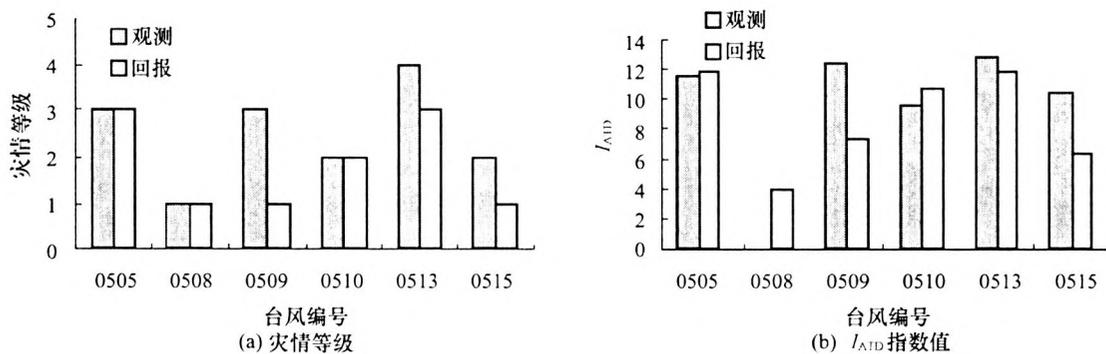


图 4 对 2005 年 6 个台风的综合灾情指数 I_{ATD} 的预估与实况比较

Fig. 4 Comparison between early estimate and actuality for ATDIindex of 6 typhoons Landing in 2005

4 结语

利用 1980 - 2004 年间的台风路径、强度及风雨及我国的台风灾情等资料,初步分析了造成台风灾情的主要成因,并在此基础上建立了台风灾情的预估方程,对历史台风的拟合和对 2005 年 6 个台风独立样本的回报均具有较好的效果。

然而,由于资料不全等原因,对台风灾害成因的分析仍局限在台风引起的大风、降水以及登陆台风本身的强度和移速等方面,对于受台风影响地区的人文地理环境(包括人口、产业结构及经济发展状况、地形地貌等)等反映承载能力的因素影响、以及台风的风暴潮对近海台风灾害的影响均未涉及。在此基础上建立起来的台风灾情预估方程,对灾情较轻的台风常常高估其灾情,而灾情严重的台风又往往会低估其灾情。因而,台风灾害的成因分析以及灾情的预估模型研制工作均有待进一步深化。

参考文献:

- [1] 陈舜华、吕纯廉、李吉顺. 福建省台风灾害评估试验[J]. 中国减灾, 1994, 4(3): 31 - 34.
- [2] 卢文方. 上海地区热带气旋灾情的评估和灾年预测[J]. 自然灾害学报, 1995, 4(3): 40 - 45.
- [3] 吴兴国. 热带气旋灾级预报的探索, 广西气象[J]. 1995, 6(2): 1 - 2.
- [4] 林继生、罗金铃. 登陆广东的热带气旋灾害评估和预测模式[J]. 自然灾害学报, 1995, 4(1): 92 - 97.
- [5] 梁必骐、樊琦、杨洁、王同美. 热带气旋灾害的模糊数学评价[J]. 热带气象学报, 1999, 15(4): 305 - 311.
- [6] 樊琦、梁必骐. 热带气旋灾害经济损失的模糊数学评测[J]. 气象科学, 2000, 20(3): 360 - 366.
- [7] 钱燕珍、何彩芬、杨元琴、王继志. 热带气旋灾害指数的估算与应用方法[J]. 气象, 2001, 27(1): 14 - 18.
- [8] 何彩芬、钱燕珍. 2000年浙江省热带气旋灾情评估[J]. 浙江气象, 2002, 23(2): 4 - 6.
- [9] 姚棣荣、刘孝麟. 浙江省热带气旋灾情的评估[J]. 浙江大学学报(理学版), 2001, 28(3): 344 - 348.
- [10] 高桥浩一郎. 气象灾害论[M]. 东京: 地人图书馆, 1968, 5 - 9.
- [11] 中国科协工作部. 中国减轻自然灾害研究[M]. 北京: 气象出版社, 1992, 1 - 51.
- [12] 徐良炎. 我国台风灾害的初步分析[J]. 气象, 1994, 10(20): 50 - 55.
- [13] 姚文广. 浅析我国台风灾害及防范措施[J]. 人民珠江, 1995, 3: 13 - 14.
- [14] 林炳荣. 近10年福建台风灾害分析[J]. 福建地理, 1999, 14(2): 21 - 28.
- [15] 刘玉函、唐晓春、宋丽莉. 广东台风灾情评估探讨[J]. 热带地理, 2003, 23(2): 199 - 222.
- [16] 李剑兵、侯雪梅. 台风临近环境预兆与台风灾害[J]. 广东气象, 2001, 3: 34 - 35.