王秀荣，张立生，李维邦，2018. 台风灾害综合等级评判模型改进及应用分析[J]. 气象，44(2)：304-312.

台风灾害综合等级评判模型改进及应用分析*

王秀荣[1] 张立生[2] 李维邦[3]

1 中国气象局公共气象服务中心，北京 100081

2 国家气象中心，北京 100081

3 香港理工大学，香港 999077

提 要：本文首先对 2010 年王秀荣等建立的台风灾害综合等级评判模型进行了改进，主要基于以下三个方面：一是对倒损房屋数指标的转换函数进行重新定义，二是对直接经济损失指标的去通货膨胀化；三是对原模型综合关联度指数分析中“死亡人数、直接经济损失、倒损房屋数、农作物受淹面积”4 个指标的权重系数优化；然后，运用改进模型对 2000—2015 年登陆我国的历史台风灾害进行了综合等级评定与大小排序；同时，将评定结果与原模型的评定结果进行了比对。通过应用与检验分析，证明了改进后模型明显降低了通货膨胀对直接经济损失指数的影响，凸显了以人为本的防灾理念，较原模型具有更好的等级识别度，评定灾情等级结果更符合实际灾情，具备较好的评判功能，可以试用于气象服务等相关业务中快速对台风灾情进行综合等级或历史排序等评判。

关键词：台风灾害综合等级，评判模型，改进，应用分析

中图分类号：P456 **文献标志码**：A **DOI**：10.7519/j.issn.1000-0526.2018.02.010

Improvement and Application Analysis of the Comprehensive Grade Evaluation Model of Typhoon Disaster

WANG Xiurong[1] ZHANG Lisheng[2] LI Weibang[3]

1 Public Meteorological Service Centre, CMA, Beijing 100081

2 National Meteorological Centre, Beijing 100081

3 The Hong Kong Polytechnic University, Hongkong 999077

Abstract: This paper firstly discusses about the improvement of typhoon disaster comprehensive evaluating model established by Wang Xiurong et al. in 2010. First, the function optimization of damaged buildings index is redefined; second, the influence of inflation on the direct economic loss index is wiped off; third, the weight coefficient of four indicators is optimized, including the death toll of the original model, the direct economic loss, the number of damaged houses, and the flooded crops area. In the second part of this paper, the improved model is used to evaluate the historical typhoon disasters in China from 2000 to 2015 comprehensively and sort all the historical typhoon disasters from high to low based on the results. At the same time, the results are compared with the original model to evaluate the effectiveness of the improved model. Finally, the application and test analysis prove that the improved evaluation model highlights the people-oriented concept of disaster prevention, reducing the impact of inflation on the direct economic loss index. Compared with the original model, it has a better level of recognition, and its assessment of disaster grade results is more in line with the actual disaster, having a good evaluation function. Thus, it could be applied to relevant operations of meteorological services to quickly evaluate the typhoon disaster comprehensive grades or historical sorting.

Key words: typhoon disaster comprehensive grade, evaluation model, improvement, application analysis

* 中国气象局气象关键技术集成与应用(重点)项目(CMAGJ2015Z03)资助

2017 年 5 月 22 日收稿； 2017 年 12 月 29 日收修定稿

第一作者：王秀荣，主要从事气象服务及灾害评估技术研究. Email：wangxr@cma.gov.cn

引　言

众所周知,气象灾害是主要的自然灾害,约占我国自然灾害损失的 70%左右(章国材,2006),而台风灾害又是气象灾害中的重中之重。随着社会经济的高速发展,政府等相关部门在防灾减灾方针、政策方法研究方面一直做着巨大的努力。为寻求和制定合理的、恰如其分的防灾减灾措施,一方面需要及时掌握较为准确的天气或其灾害的预报、预估产品信息;另一方面也需借鉴和考证历史中相关气象灾害发生规律及特征,对其进行定量评价后将之作为政府等部门的防灾减灾决策依据。

为研究台风灾害特征,国外部分学者早在 20 世纪 70 年代(Saffir,1972;Simpson,1974)就开展了台风灾害风险评估工作。中国相对起步较晚,但近些年来,台风灾害及其影响评估工作受到越来越多的重视(叶雯,2002;孙峥等,2007;马清云等,2008;石蓉蓉等,2008;刘少军等,2010;于小龙等,2011;石先武等,2017);运用 GIS 技术或模糊数学等方法针对台风引发的风雨潮灾害预估或风险划分等方面进行了大量研究,对台风致灾因子风、雨、潮与灾害之间的关系等进行了大量研判,得出一些有益的结论,但大部分研究多集中于东南沿海地区,没有对中国整个区域的台风灾害特征进行分析研判,且多没有涉及到对已经发生的灾情强度大小的评判;部分学者(梁必骐等,1999;钱燕珍等,2001;姚棣荣和刘孝麟,2001)运用台风造成的人员伤亡、农田受淹面积、房屋倒损数目三个指标通过规范化无量纲处理建立了灾情指数大小评判模型,大致反映了台风灾害的综合强度大小,但其没有考虑台风中引发的直接经济损失这一重要灾害指标;王秀荣等(2010)运用台风灾害中死亡人数、直接经济损失、倒损房屋数、农作物受淹面积共 4 个指标,通过函数转换及关联度分析法建立了台风灾害综合等级评判模型。该模型初步解决了台风灾害综合等级评判问题,当台风灾情统计上报后,可以很快捷地给出历史台风灾害的综合等级和排序,但在随后的研究和应用分析过程中发现,一是原来模型中倒损房屋(倒塌和损坏)数据中的损坏房屋精确数据经常难以获取,二是原模型中对直接经济损失的比较没有考虑通货膨胀的因素,导致在纵向比较失真,三是原模型中的各个指标等值权重取法有所欠缺。

基于以上,2016 年以来,在原模型建模基础上,对其进一步的修订与完善,并对改进后的模型输出结果等进行检验与分析。

1　原模型简介

1.1　单项指标选取及分级标准

首先参照 2006 年中国气象局预测减灾司在《气象灾情收集上报调查和评估试行规定》中对灾情的等级划分做的规定草案标准,选取台风灾害中死亡人数、房屋倒损数(倒塌房屋+损坏房屋)、农作物受灾面积数以及直接经济损失数 4 个指标;结合台风灾害历史数据中农作物受灾面积和倒损房屋数目的分布规律以及社会经济发展状况,给出全国范围内台风灾情单项指标灾害等级标准(王秀荣等,2010)。

1.2　建立单项指标转换函数

首先对各个单项灾害指标进行函数转换。将各单项灾害指标进行归一化处理;且引入转换函数后,单项指标灾害等级与单项转换函数值的对应关系为:特大灾(0.8,1)、大灾(0.6,0.8)、中灾(0.4,0.6)、小灾(0.2,0.4)、微灾(0,0.2)。按照以上思路,设计如下 4 个转换函数 U(式中 lg 表示对数函数):

1.2.1　对于死亡人数($X_{1,i}$,单位:人)的转换函数:

$$U(1,i)=\begin{cases}1 & 1000<X_{1,i}\\ 0.8+\dfrac{1}{10}\lg\dfrac{X_{1,i}}{10} & 100<X_{1,i}\leqslant 1000\\ 0.6+\dfrac{1}{350}(X_{1,i}-30) & 30<X_{1,i}\leqslant 100\\ 0.4+\dfrac{1}{100}(X_{1,i}-10) & 10<X_{1,i}\leqslant 30\\ 0.2+\dfrac{1}{35}(X_{1,i}-3) & 3<X_{1,i}\leqslant 10\\ 0.1(X_{1,i}-1) & 1<X_{1,i}\leqslant 3\\ 0 & X_{1,i}\leqslant 1\end{cases}\tag{1}$$

1.2.2 对于直接经济损失($X_{2,i}$,单位:万元)的转换函数:

$$U(2,i)=\begin{cases}1 & 1000000<X_{2,i}\\ 0.2\lg\dfrac{X_{2,i}}{10} & 10<X_{2,i}\leqslant 1000000\\ 0 & X_{2,i}\leqslant 10\end{cases}\quad(2)$$

1.2.3 对于农作物受灾面积($X_{3,i}$,单位:10^3 hm^2)的转换函数:

$$U(3,i)=\begin{cases}1 & 10000<X_{3,i}\\ 0.2\times\lg(10X_{3,i}) & 0.1<X_{3,i}\leqslant 10000\\ 0 & X_{3,i}\leqslant 0.1\end{cases}\quad(3)$$

1.2.4 倒损房屋($X_{4,i}$,单位:间)的转换函数:

$$U(4,i)=\begin{cases}1 & 1000000<X_{4,i}\\ 0.8+\dfrac{1}{40000000}(X_{4,i}-200000) & 200000<X_{4,i}\leqslant 1000000\\ 0.6+\dfrac{1}{500000}(X_{4,i}-10000) & 100000<X_{4,i}\leqslant 200000\\ 0.4+\dfrac{1}{350000}(X_{4,i}-30000) & 30000<X_{4,i}\leqslant 100000\\ 0.2+0.2\lg\dfrac{X_{4,i}}{3000} & 3000<X_{4,i}\leqslant 30000\\ 0.2\lg\dfrac{X_{4,i}}{300} & 1<X_{4,i}\leqslant 3000\\ 0 & X_{4,i}\leqslant 1\end{cases}\quad(4)$$

1.3 台风综合灾情等级评判模型

为将上述指标进行无量纲化处理,选取假定可能发生的最大台风灾情指标为参考序列U_0,该序列灾害的各单项指标的转换函数值皆为1,即假设其属于标准的巨灾。计算各灾害指标的转换函数值序列$U(X_{m,i})$与参考序列U_0的关联度(接近)系数,运用等权重法计算出综合关联度,据此划分灾害综合等级。

参照杨仕生(1997)提出的灰色关联系数的定义方法,引入比较序列与参考序列各项指标间的关联系数为:

$$\lambda_{0i}(i)=\frac{1}{1+\Delta_{0i}(i)}\quad(5)$$

式中,$\Delta_{0i}(i)=|U_0(x_{0i})-U(x_{mi})|$,$m=1,2,\cdots,M$;$i=1,2,\cdots,I$。$\Delta_{0i}(i)$表示参考序列$U_0$与比较序列$U$的第$m$项灾情指标的第$i$个绝对差值,绝对差值越大,说明该单项指标与参考序列中的同项指标的距离就大,则关联系数就小;反之,关联系数就越大。关联系数的取值区间为[0.5,1]。

在参照以上灰色关联分析方法对台风灾害的各单项指标与单项巨灾指标的关联系数量化和排序的分析基础上,为将每一比较序列各项指标的关联系数集中在一个值上,采用等权处理的平均值法计算综合关联度:

$$a_{0i}=\frac{1}{M}\sum_{m=1}^{M}\lambda_{0i}(i)\quad(6)$$

故此,用综合关联度的取值来划分灾害等级(表1)。将综合关联度从大到小进行排序,即可以得到各次灾情轻或重的比较关系。

表1 关联度与灾害等级的对应关系

Table 1 Relationship between association degree and disaster grade

灾害等级	特大灾	大灾	中灾	小灾	微灾
综合关联度(a_{0i})	(0.9,1)	(0.8,0.9)	(0.7,0.8)	(0.6,0.7)	(0.5,0.6)

2 台风灾害综合等级评判模型改进

2.1 房屋受灾指数分级重新界定及转换函数替换

2012年,在运用上述模型对后续台风灾害进行综合等级评估工作中发现,房屋损坏数目在很多台风灾害案例中不再统计,而仅统计倒塌房屋数目,使得灾情数据获得出现短缺。因此,在原来该项指标转换函数基础上,根据相关专家建议,将原来模型中的倒损(倒塌+损坏)房屋指标改为纯粹的倒塌房屋数,并根据统计分析得出历史台风灾害中房屋倒塌数量约为损坏房屋数量四分之一的平均关系特征,重新界定了房屋倒塌指标的分级标准(表2),并重新设计了房屋倒塌指标的转换函数[式(7)],其他灾情指标转换函数仍沿用原来设定方法计算。

表 2　台风灾害中倒塌房屋数目分级标准

Table 2　Grade standard of number of houses collapsed by typhoon in China

倒塌房屋/间	$(5\times10^4,+\infty)$	$(2\times10^4,5\times10^4]$	$(5\times10^3,2\times10^4]$	$(5\times10^2,5\times10^3]$	$(1,5\times10^2]$

根据表 2 给出的分级标准,为将房屋倒塌灾害指标进行归一化处理,将式(4)进行改进如下($X_{4,i}$为倒塌房屋数,单位:间):

$$U(4,i)=\begin{cases}1 & 250000<X_{4,i}\\ 0.8+\dfrac{1}{4750000}(X_{4,i}-50000) & 50000<X_{4,i}\leqslant 250000\\ 0.6+\dfrac{1}{150000}(X_{4,i}-20000) & 20000<X_{4,i}\leqslant 50000\\ 0.4+\dfrac{1}{75000}(X_{4,i}-5000) & 5000<X_{4,i}\leqslant 20000\\ 0.2+\dfrac{1}{22500}(X_{4,i}-500) & 500<X_{4,i}\leqslant 5000\\ \dfrac{X_{4,i}}{2500} & 1<X_{4,i}\leqslant 500\\ 0 & X_{4,i}\leqslant 1\end{cases}\tag{7}$$

2.2　直接经济损失的去通货膨胀化

由于通货膨胀、物价上涨的原因,同等强度的台风损坏相同生产资料、产品、资产所造成的经济损失会有较大的差异。而这种差异,并不是由于台风自身的强度大小为主要影响因素造成的。因此,为削弱通货膨胀、物价上涨的影响,对直接经济损失进行去通货膨胀化处理。

居民消费价格指数(consumer price index, CPI)是反映与居民生活有关的产品及劳务价格统计出来的物价变动指标,通常作为观察通货膨胀水平的重要指标。全国 CPI 涵盖全国城乡居民生活消费的食品、烟酒及用品、衣着、家庭设备用品及维修服务、医疗保健和个人用品、交通和通信、娱乐教育文化用品及服务、居住等八大类,包括 262 个基本分类的商品与服务价格。

图 1 即为反映我国 2000—2015 年 CPI 变化水平的图(图中所示以 1978 年为定基的 CPI 与以上一年为 100 的 CPI 数据均摘录自中国统计局官网“2016 年中国统计年鉴”)。

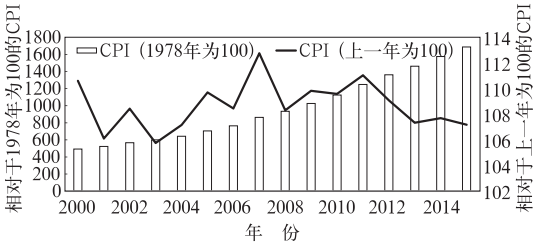

图 1　2000—2015 年中国 CPI 变化趋势

Fig. 1　Variation trend of CPI in China from 2000 to 2015

由图 1 可以看出,自 2000 年始,我国的物价水平在以不低于 6%的比率上升。2015 年的物价水平近似于 2000 年的 4 倍。其背后隐含的是人民的消费水平、收入水平均大幅上升,对灾害造成的经济损失的承受水平也水涨船高。可见,在通过经济损失来衡量台风灾害水平的时候,去除通货膨胀是十分必要的。此方法与雷小途等(2009)划分灾情等级时的研究思想一致。

本研究选取 2000 年为基准年,以 2000 年为基准的当年 CPI=以 1978 年为基准的当年 CPI/以 1978 年为基准的 2000 年 CPI。

那么,本研究中的去通货膨胀的可比较的台风直接经济损失数据计算公式为:$X_{2,i}$=直接经济损失/以 2000 年为基准的当年 CPI 指数。

将 2000—2015 年登陆我国的台风逐年造成的累计直接经济损失和逐年的去 CPI 的累计直接经济损失绘制成图2,通过图2的对比,可以明显发现

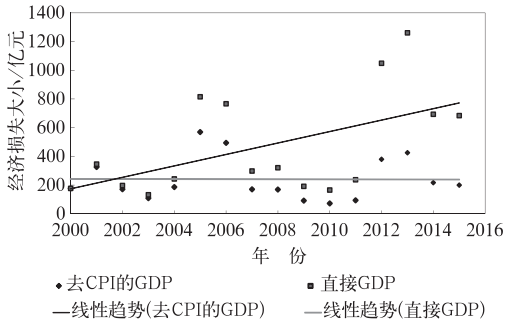

图 2　2000—2015 年逐年因台风造成的直接经济损失与去 CPI 的经济损失逐年比较

Fig. 2　Comparison between direct economic loss per year and economic loss without CPI per year from 2000 to 2015

去CPI的逐年经济损失趋势近似于一条水平线，而逐年直接经济损失的趋势线是一条向上的斜线，且离散度更高。因为目前没有研究表明台风强度有逐年加强的趋势，明显去CPI的经济损失数值更贴合实际，能更好地揭示经济损失与台风灾害级别间的关系。

2.3 综合关联度计算方法改进

考虑到死亡人数指标为灾害损失评价中的最重要指标，直接经济损失指标次之，而倒塌房屋指标以及农作物受灾面积指标与直接经济损失指标有交叉反应。因此，运用经验法以及专家咨询的方式，并经过多次计算调试，确定了综合关联度计算中死亡人数、直接经济损失、倒塌房屋、农作物受灾面积各项指标权重 K_m（$m=1\sim4$）分别为0.4、0.3、0.15、0.15。

根据以上分析，将式(6)中的综合关联度指数 a_{0i} 计算方法改进为：

$$a_{0i}=\frac{1}{4}\times\sum_{m=1}^{4}K_m\lambda_{0i} \tag{8}$$

3 改进后的台风综合等级评判模型应用与检验

3.1 2000—2015年登陆影响我国的台风灾害综合等级评估应用

用改进后的灾害综合等级评判模型对2000—2015年登陆我国的128个台风灾情[灾情数据来自中国气象灾害年鉴及全国气候影响评价(中国气象局，2000—2004；2005—2016)]进行分析。首先将登陆台风造成的死亡人数、去CPI的直接经济损失、农作物受淹面积、房屋倒塌数目4个灾害指标序列分别代入式(1)、式(2)、式(3)、式(7)进行函数转化，得到转换后的比较序列矩阵 $\boldsymbol{U}(X_{m,i})$；然后再运用式(5)计算其与参考序列的关联系数 $\lambda_{0,i}$；后将其代入式(8)，最后得到每一次台风的综合关联度指数，也即是台风灾害综合等级评判指数，然后依据表3评判出每个台风的灾害综合等级。

表3给出了分别运用改进模型和原模型对

表3 改进模型与原模型对2000—2015年登陆我国台风等级划分结果对比

Table 3 Comparison of the results about different typhoon disaster classification from 2000 to 2015 analyzed by improved model and original model

改进模型			排序	原模型		
台风序号及名称	关联度	灾害等级		台风序号及名称	关联度	灾害等级
0604 碧利斯	0.9748	特大灾	1	0604 碧利斯	0.9328	特大灾
0608 桑美	0.9325	特大灾	2	0513 泰利	0.8857	大灾
0513 泰利	0.9214	特大灾	3	0608 桑美	0.8854	大灾
0414 云娜	0.9209	特大灾	4	0414 云娜	0.8660	大灾
0212 北冕	0.8928	大灾	5	0212 北冕	0.8435	大灾
1409 威马逊	0.8735	大灾	6	1209 苏拉、1210 达维	0.8426	大灾
1311 尤特	0.8665	大灾	7	1409 威马逊	0.8379	大灾
0102 飞燕	0.8639	大灾	8	0605 格美	0.8351	大灾
0519 龙王	0.8626	大灾	9	1311 尤特	0.8339	大灾
1209 苏拉、1210 达维	0.8581	大灾	10	0509 麦莎	0.8316	大灾
0606 派比安	0.8513	大灾	11	0010 碧利斯	0.8282	大灾
1011 凡亚比	0.8474	大灾	12	0606 派比安	0.8258	大灾
0509 麦莎	0.8382	大灾	13	0519 龙王	0.8218	大灾
0104 尤特	0.8306	大灾	14	0104 尤特	0.8211	大灾
0814 黑格比	0.8300	大灾	15	0814 黑格比	0.8207	大灾
0010 碧利斯	0.8287	大灾	16	0709 圣帕	0.8170	大灾
0709 圣帕	0.8279	大灾	17	1011 凡亚比	0.8166	大灾
0103 榴莲	0.8265	大灾	18	0102 飞燕	0.8144	大灾
0605 格美	0.8262	大灾	19	0103 榴莲	0.8109	大灾
0216 森拉克	0.8157	大灾	20	0515 卡努	0.8078	大灾
0013 玛丽亚	0.8126	大灾	21	0518 达维	0.8072	大灾
0515 卡努	0.8101	大灾	22	0216 森拉克	0.8071	大灾
0518 达维	0.8072	大灾	23	1513 苏迪罗	0.8018	大灾
1319 天兔	0.8038	大灾	24	1319 天兔	0.8007	大灾

续表 3

改进模型			排序	原模型		
台风序号及名称	关联度	灾害等级		台风序号及名称	关联度	灾害等级
1513 苏迪罗	0.7979	中灾	25	1522 彩虹	0.7983	中灾
0601 珍珠	0.7928	中灾	26	0808 凤凰	0.7983	中灾
1522 彩虹	0.7905	中灾	27	0505 海棠	0.7976	中灾
0214 黄蜂	0.7854	中灾	28	1117 纳沙	0.7967	中灾
0505 海棠	0.7832	中灾	29	0601 珍珠	0.7964	中灾
0307 伊布都	0.7825	中灾	30	0908 莫拉克	0.7914	中灾
0808 凤凰	0.7797	中灾	31	1211 海葵	0.7904	中灾
0012 派比安	0.7721	中灾	32	0713 韦帕	0.7886	中灾
0806 风神	0.7703	中灾	33	1323 菲特	0.7874	中灾
1323 菲特	0.7697	中灾	34	0013 玛丽亚	0.7863	中灾
0313 杜鹃	0.7678	中灾	35	0307 伊布都	0.7846	中灾
0809 北冕	0.7660	中灾	36	1415 海鸥	0.7841	中灾
0908 莫拉克	0.7635	中灾	37	0214 黄蜂	0.7829	中灾
1211 海葵	0.7620	中灾	38	0012 派比安	0.7791	中灾
0108 桃枝	0.7596	中灾	39	0809 北冕	0.7741	中灾
1117 纳沙	0.7592	中灾	40	0806 风神	0.7736	中灾
0713 韦帕	0.7529	中灾	41	1325 百合	0.7707	中灾
1415 海鸥	0.7495	中灾	42	0313 杜鹃	0.7680	中灾
0510 珊瑚	0.7438	中灾	43	1003 灿都	0.7679	中灾
1325 百合	0.7397	中灾	44	0716 罗莎	0.7675	中灾
1003 灿都	0.7199	中灾	45	1213 启德	0.7663	中灾
0915 巨爵	0.7193	中灾	46	0108 桃枝	0.7648	中灾
0312 科罗旺	0.7142	中灾	47	0510 珊瑚	0.7643	中灾
0218 黑格比	0.7122	中灾	48	1214 天秤、1215 布拉万	0.7617	中灾
1213 启德	0.7106	中灾	49	0312 科罗旺	0.7580	中灾
1410 麦德姆	0.7104	中灾	50	1410 麦德姆	0.7573	中灾
0907 天鹅	0.7078	中灾	51	1109 梅花	0.7502	中灾
0016 悟空	0.7051	中灾	52	1509 灿鸿	0.7501	中灾
0114 菲特	0.7006	中灾	53	0915 巨爵	0.7470	中灾
0716 罗莎	0.6995	小灾	54	0114 菲特	0.7446	中灾
1208 韦森特	0.6974	小灾	55	0707 帕布	0.7430	中灾
0707 帕布	0.6928	小灾	56	0418 艾利	0.7416	中灾
0205 威马逊	0.6882	小灾	57	0016 悟空	0.7401	中灾
0309 莫拉克	0.6858	小灾	58	1312 潭美	0.7401	中灾
0418 艾利	0.6856	小灾	59	1208 韦森特	0.7391	中灾
1307 苏力	0.6847	小灾	60	1307 苏力	0.7386	中灾
0801 浣熊	0.6841	小灾	61	0907 天鹅	0.7363	中灾
1214 天秤、1215 布拉万	0.6814	小灾	62	0014 桑美	0.7319	中灾
0903 莲花	0.6788	小灾	63	0812 鹦鹉	0.7301	中灾
1312 潭美	0.6772	小灾	64	0309 莫拉克	0.7285	中灾
1109 梅花	0.6735	小灾	65	0205 威马逊	0.7284	中灾
0014 桑美	0.6733	小灾	66	0903 莲花	0.7262	中灾
1111 南玛都	0.6693	小灾	67	0218 黑格比	0.7227	中灾
1509 灿鸿	0.6693	小灾	68	1111 南玛都	0.7157	中灾
0407 蒲公英	0.6692	小灾	69	0708 蝴蝶	0.7152	中灾
0807 海鸥	0.6676	小灾	70	1308 西马仑	0.7151	中灾
0812 鹦鹉	0.6589	小灾	71	1306 温比亚	0.7150	中灾
1308 西马仑	0.6532	小灾	72	0807 海鸥	0.7138	中灾
0220 米克拉	0.6494	小灾	73	0220 米克拉	0.7136	中灾
0411 未命名	0.6486	小灾	74	1330 海燕	0.7125	中灾
0320 尼伯特	0.6452	小灾	75	1013 鲇鱼	0.7110	中灾
0107 玉兔	0.64488	小灾	76	0801 浣熊	0.7108	中灾
0004 启德	0.6401	小灾	77	1223 山神	0.7098	中灾
1321 蝴蝶	0.6393	小灾	78	1521 杜鹃	0.7092	中灾
1013 鲇鱼	0.6380	小灾	79	0107 玉兔	0.7082	中灾

续表 3

改进模型			排序	原模型		
台风序号及名称	关联度	灾害等级		台风序号及名称	关联度	灾害等级
1010 莫兰蒂	0.6374	小灾	80	1119 尼格	0.7054	中灾
0516 韦森特	0.6361	小灾	81	0407 蒲公英	0.7038	中灾
1306 温比亚	0.6343	小灾	82	1510 莲花	0.7029	中灾
1330 海燕	0.6312	小灾	83	0320 尼伯特	0.7022	中灾
1223 山神	0.6309	小灾	84	1010 莫兰蒂	0.6984	小灾
1119 尼格	0.6278	小灾	85	1006 狮子山	0.6975	小灾
1521 杜鹃	0.6266	小灾	86	0004 启德	0.6936	小灾
0715 利奇马	0.6224	小灾	87	0715 利奇马	0.6930	小灾
1006 狮子山	0.6218	小灾	88	1407 海贝思	0.6909	小灾
1510 莲花	0.6202	小灾	89	1416 凤凰	0.6901	小灾
0909 莫拉菲	0.6169	小灾	90	0909 莫拉菲	0.6900	小灾
0917 芭玛	0.6167	小灾	91	1309 飞燕	0.6849	小灾
1103 莎莉嘉	0.6107	小灾	92	1105 米雷	0.6788	小灾
0008 杰拉华	0.6091	小灾	93	0008 杰拉华	0.6754	小灾
1407 海贝思	0.6091	小灾	94	0917 芭玛	0.6752	小灾
1416 凤凰	0.6084	小灾	95	0308 天鹅	0.67511	小灾
1309 飞燕	0.6063	小灾	96	0516 韦森特	0.6724	小灾
0308 天鹅	0.6056	小灾	97	1002 康森	0.6681	小灾
0116 百合	0.6016	小灾	98	0703 桃芝	0.6676	小灾
1105 米雷	0.6000	微灾	99	1108 洛坦	0.6671	小灾
1002 康森	0.5973	微灾	100	0421 海马	0.6654	小灾
0421 海马	0.5950	微灾	101	1103 莎莉嘉	0.6651	小灾
1108 洛坦	0.5946	微灾	102	0411 未命名	0.6649	小灾
0703 桃芝	0.5917	微灾	103	0813 森拉克	0.6624	小灾
0813 森拉克	0.5863	微灾	104	1205 泰利	0.6621	小灾
0714 范斯高	0.5860	微灾	105	0815 蔷薇	0.6613	小灾
0815 蔷薇	0.5852	微灾	106	0714 范斯高	0.6611	小灾
0311 环高	0.5835	微灾	107	0817 海高斯	0.6566	小灾
1205 泰利	0.5810	微灾	108	1321 蝴蝶	0.6563	小灾
0817 海高斯	0.5799	微灾	109	0116 百合	0.6563	小灾
0602 杰拉华	0.5743	微灾	110	0311 环高	0.6535	小灾
0913 彩虹	0.5700	微灾	111	0913 彩虹	0.6486	小灾
1508 鲸鱼	0.5609	微灾	112	0602 杰拉华	0.6481	小灾
1104 海马	0.5598	微灾	113	1508 鲸鱼	0.6460	小灾
1315 康妮	0.5591	微灾	114	1315 康妮	0.6433	小灾
0904 浪卡	0.5574	微灾	115	1104 海马	0.6401	小灾
0905 苏迪罗	0.5552	微灾	116	0904 浪卡	0.6375	小灾
0105 潭美	0.5521	微灾	117	0905 苏迪罗	0.6360	小灾
0508 天鹰	0.5486	微灾	118	0105 潭美	0.6273	小灾
1305 贝碧嘉	0.5271	微灾	119	0508 天鹰	0.6273	小灾
0119 利奇马	0.5170	微灾	120	1305 贝碧嘉	0.6146	小灾
0708 蝴蝶	0.5094	微灾	121	0119 利奇马	0.5969	微灾
0208 娜基莉	0.5000	微灾	122	0208 娜基莉	0.5833	微灾
0409 圆规	0.5000	微灾	123	0409 圆规	0.5833	微灾
0425 洛坦	0.5000	微灾	124	0425 洛坦	0.5833	微灾
0428 南玛都	0.5000	微灾	125	0428 南玛都	0.5833	微灾
0609 宝霞	0.5000	微灾	126	0609 宝霞	0.5833	微灾
1008 南川	0.5000	微灾	127	1008 南川	0.5833	微灾
未编号命名	0.5000	微灾	128	未编号命名	0.5833	微灾

注：对于1214号台风天秤和1215号台风布拉万，由于两个台风在很短时间内相继登陆我国并共同造成灾害影响，故本研究中将其记为一次台风灾害过程。

Note: For No. 1214 Typhoon Tiancheng and No. 1215 Typhoon Bulawan, they land in China one after another in a very short time, and their destruction effects were connected, so in this study they will be regarded as one typhoon process.

2000—2015年登陆我国的台风灾害等级评判结果。改进模型评判结果可见,2000—2015 年这 16 年间,共有 4 个特大灾、20 个大灾、29 个中灾、45 个小灾、30 个微灾,其中特大灾分别为 0604 号台风碧利斯、0608 号台风桑美、0513 号台风泰利、0414 号台风云娜;原模型评判得出的特大灾 1 个(0604 号台风碧利斯),大灾 23 个、中灾 59 个、小灾 37 个、微灾 8 个。

3.2　评判结果检验分析

通过表 3 的评判结果综合分析可见,模型改进后明显消弱了经济通货膨胀的影响,并在灾害评估过程中突出了以人为本的防灾减灾理念。

选取 4 个特大台风灾害以及 2 个比较典型的灾情较轻的台风案例来进行分析。从表 4 可见,之所以改进后的模型将 0604 号台风碧利斯、0608 号台风桑美、0513 号台风泰利以及 0414 号台风云娜均被评判为特大灾,是因为此 4 个台风除了造成较为严重的直接经济损失和其他灾害以外,均造成了严重的人员死亡,分别为 843、583、148、186 人;而在原模型评判结果中,将“泰利”、“桑美”、“云娜”均化成大灾,且原模型中将“泰利”综合灾情等级排序为第二,而将“桑美”排序为第三(改进后“桑美”综合灾情等级排序第二,“泰利”为第三),显然也没有突出人员伤亡在灾情评判中的权重。再分析 1321 号台风蝴蝶和 1521 号台风杜鹃的各项灾情指标可见,“蝴蝶”虽然在原模型和改进模型输出结果中灾害等级均为小灾,但在原模型中历史排序为第 108 位,改进模型后历史排序上升为第 78 位,这是由于台风蝴蝶造成了 62 人死亡;对于 1521 号台风杜鹃,其造成了 7.8 万间房屋倒塌,但没有其他灾害损失,因此原模型评定为中灾,排序第 78 位,改进后模型评定为小灾,排序下降为第 86 位。

为进一步分析改进模型的优越性以及与原模型所得等级系数间的异、同,将两种模型输出的综合关联度指数(即等级指数)进行趋势比对(图 3)。

表 4　台风灾害典型案例及等级评判比对

Table 4　Comparison of typical typhoon disasters and their classification

台风名称	死亡人数	直接经济损失/亿元	农作物受灾面积/10^4 hm^2	倒塌房屋/万间	改进模型强度排名	灾害等级	原模型强度排名	灾害等级
0604 碧利斯	843	349.4	134.3	39.1	1	特大灾	1	特大灾
0608 桑美	583	196.6	29.1	13.7	2	特大灾	3	大灾
0513 泰利	148	153.6	100.7	13.9	3	特大灾	2	大灾
0414 云娜	186	203	75.6	7.7	4	特大灾	4	大灾
1321 蝴蝶	62	0		0	78	小灾	108	小灾
1521 杜鹃	0	0		7.8	86	小灾	78	中灾

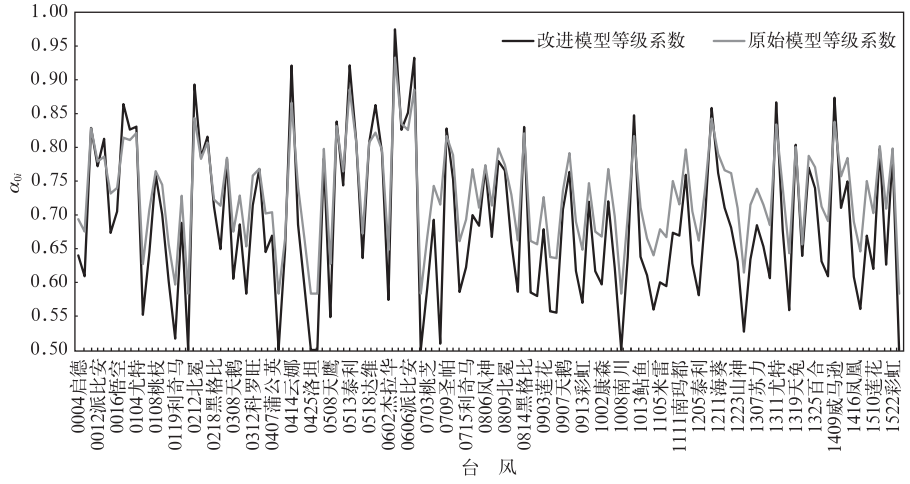

图 3　改进模型关联度指数与原模型关联度指数比较

(横坐标中由于空间限制,没有列出全部台风名称)

Fig. 3　Comparison of correlation indices of improved model and original model

(Since the space on abscissa is limited, the typhoon names are not shown completely)

从图3可明显看出，改进后模型和原模型两者之间具有非常相似的走势和分布状态。因此，改进模型可以有效地沿用原模型的“关联度与灾害等级对应关系”；同时，从图中观察可以发现改进模型结果具有更高的离散度。通过对原始模型得出的关联度序列与改进模型得出的关联度序列进一步数据分析得出，原始模型128个关联度数据方差为0.0054，改进模型128个关联度数据方差为0.0119，验证了观察结果。这表明，在同样能满足不同台风强弱程度的对比需要下，改进模型具有更好的分辨度，有益于台风灾害影响的分级划分。

另外，从前面表3可见，改进后的模型较原模型输出结果增加了3个特大灾害、8个小灾和22个微灾，减少了3个大灾和30个中灾，既在灾害等级强度大、小两头增加了，而位于中间的灾害等级减少，也从另一角度验证了以上所说的改进后模型较原模型具有更好的灾害等级分辨度这一结论。

4 结 论

本研究中对原模型进行了如下改进，一是将倒损房屋指标替换为倒塌房屋指标，重新设计该项指标归一化处理的转化函数；二是在直接经济损失灾害指标中去除了通货膨胀因素，三是重新设计四个灾情指标在台风灾害综合等级计算时的权重系数。

利用改进的台风灾害综合等级评定模型，对2000—2015年登陆我国的历史台风灾害进行综合等级评定及历史排序，并结合原模型输出结果及实际台风灾情信息等对改进模型进行了检验分析。

通过检验证明，改善后的模型较原模型具备以下优点：一是改进模型明显消弱了经济通货膨胀，从而降低了原模型中直接经济损失比重过高对灾情综合等级评判的影响；二是改进后模型在灾害评估过程中通过调节各个灾情指标的权重系数更突出了以人为本的防灾减灾理念；三是改进后模型较原模型对灾害大小具备了更高的分辨度。

从上述分析可以看出，改进后模型较原模型能对历史台风灾害综合等级做出更客观、合理的评判；利用该模型，根据统计得到的各单项台风灾情指标，可快速分析输出某次台风灾害的综合等级划分结果，并能和历史上不同台风灾害个例进行排序比较（包括同一等级内的比较和不同等级内的比较）。

基于目前的业务需求，该模型可以用于历史台风灾害案例分析入库存档；模型输出结果可以试用于国家级台风气象服务业务中制作台风灾害综合等级的定量评价产品。另外，参照该模型的灾害综合评估的思路，也可以建立其他不同气象灾种、不同地区范围的灾害综合等级评估模型。

参考文献

雷小途，陈佩燕，杨玉华，等，2009. 中国台风灾情特征及其灾害客观评估方法[J]. 气象学报，67(5)：875-883.

梁必骐，樊琦，杨洁，等，1999. 热带气旋灾害的模糊数学评价[J]. 热带气象学报，15(4)：305-311.

刘少军，张京红，何政伟，等，2010. 基于GIS的台风灾害损失评估模型研究[J]. 灾害学，25(2)：64-67.

马清云，李佳英，王秀荣，等，2008. 基于模糊综合评价法的登陆台风灾害影响评估模型[J]. 气象，34(5)：20-25.

钱燕珍，何彩芬，杨元琴，等，2001. 热带气旋灾害指数的估算与应用方法[J]. 气象，27(1)：14-18，24.

石蓉蓉，雷媛，王东法，等，2008. 1949—2007年影响浙江热带气旋灾情分析及评估研究[J]. 科技通报，24(5)：612-616.

石先武，国志兴，林国斌，等，2017. 河北省风暴潮灾害风险评估研究[J]. 灾害学，32(2)：85-89.

孙峥，庄丽，冯启民，2007. 风暴潮灾情等级识别的模糊聚类分析方法研究[J]. 自然灾害学报，16(4)：49-54.

王秀荣，王维国，马清云，2010. 台风灾害综合等级评估模型及应用[J]. 气象，36(1)：66-71.

杨仕升，1997. 自然灾害等级划分及灾情比较模型探讨[J]. 自然灾害学报，6(1)：8-13.

姚棣荣，刘孝麟，2001. 浙江省热带气旋灾情的评估[J]. 浙江大学学报(理学版)，28(3)：344-348.

叶雯，2002. 广东省台风灾害特点及减灾对策[J]. 灾害学，17(3)：54-59.

于小龙，潘伟然，张国荣，等，2011. 福建省台风灾害直接经济损失预评估模型[J]. 厦门大学学报(自然科学版)，50(6)：1047-1052.

章国材，2006. 防御和减轻气象灾害——2006年世界气象日主题[J]. 气象，32(3)：3-5.

中国气象局，2000—2004. 全国气候影响评价[M]. 北京：气象出版社.

中国气象局，2005—2016. 中国气象灾害年鉴[M]. 北京：气象出版社.

Saffir H S，1972. The Nature and Extent of Structural Damage Caused by Hurricane Camille[M]. Washington，D C：National Oceanic and Atmospheric Administration.

Simpson R H，1974. The hurricane disaster-potential scale[J]. Weatherwise，27(4)：169-186.