

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

# 台风灾害综合等级评估模型及应用<sup>\* 1</sup>

王秀荣<sup>1</sup> 王维国<sup>1</sup> 马清云<sup>2</sup>

1 国家气象中心, 北京 100081

2 公共气象服务中心, 北京 100081

**提 要:** 选取全国范围内台风灾害中的农作物受灾面积、房屋倒塌数、死亡人数、直接经济损失 4 个常用灾害指标, 通过建立无量纲函数转换定义了全国范围内台风各个单项灾害指标的等级, 并利用灰色关联度理论确定了全国范围内台风灾害综合等级划分标准, 基于上述工作建立了台风灾害综合等级快速评估模型。利用此模型对 2000—2007 年登陆我国的台风灾害进行了评判与排序, 分析结果较为合理。

**关键词:** 函数转化, 无量纲, 灰色关联度, 综合灾害等级, 模型

## Model for General Grade Division of Typhoon Disasters and Application

WANG Xiurong<sup>1</sup> WANG Weiguo<sup>1</sup> MA Qingyun<sup>2</sup>

1 National Meteorological Center, China Meteorological Administration, Beijing 100081

2 Public Weather Service Center, China Meteorological Administration, Beijing 100081

**Abstract:** Grade division of each typhoon disaster item in China region is conducted by selecting areas of crop suffered disasters, quantity of house collapsed and damaged, amount of died people, direct economic loss and then establishing the non-dimension function transform. And by using the theory of grey association analysis, the general disaster grade division standard is confirmed. Based on the above study, a typhoon general disaster grade division model is put forward. In terms of this model, the disasters caused by typhoons landing China in 2000—2007 are compared each other, and the analysis results are reasonable.

**Key words:** function transform, non-dimension, grey association degree, general disaster grade division, model

## 引 言

我国是全球受台风影响严重的国家之一, 历年来我国东南沿海各省甚至内陆地区都会因台风灾害造成重大经济损失和人员伤亡<sup>[1-6]</sup>。随着社会经济的高速发展, 如何客观评价台风灾害影响等级, 给国家决策层面或者公众提供更有效更合理的灾害评估服务产品被日益提上日程。而目前气象服务等业务工作中, 对台风灾害的评估基本上还处于描述性或者半定量的分析阶段, 很少有严格的定量分析; 同时, 由于台风灾害表现为对各行各业的影响, 灾害指

标多样, 这也是台风灾害等级目前还没有统一的综合标准的重要因素之一。现有灾害等级划分研究中, 采用了不同数量的因子<sup>[7-19]</sup>, 所用计算方法有圆弧判别法<sup>[14]</sup>、对数函数法<sup>[9-11]</sup>、比率法<sup>[7-8]</sup>、物元分析法<sup>[12]</sup>、灰色聚类法<sup>[13]</sup>、模糊判别法<sup>[15]</sup>、灰色关联法<sup>[16]</sup>等等。由于灾害等级研究目的就是为了给公众一个灾情大小的概念, 以便更好地进行灾情评估和分级管理, 因此, 所建立的灾害等级必须首先具有良好的可操作性, 即选取的灾害指标能够较快、较易取得, 建立的灾害等级模型简单易记。灰色关联度分析方法的主要思想是: 首先计算比较序列与参考序列各因子之间的关联系数, 等权平均后得到关联

\* 国家质检总局公益性行业专项《全国气象服务规范》项目(项目编号 200810588)资助

2008 年 12 月 1 日收稿; 2009 年 10 月 21 日收修定稿

第一作者: 王秀荣, 主要从事决策气象服务与灾害影响评估研究. Email: wangxr@cma.gov.cn

度,并据此进行关联排序,从而得到灾害等级的比较情况<sup>[16]</sup>。基于易操作的基本原则,借鉴灰色关联度理论,选取易收集的常见台风灾害指标,通过对各个灾害指标的归一化和无量纲处理,建立了全国台风灾害综合等级快速评判模型,并利用该模型对 2000—2007 年登陆我国的台风灾害进行了评判和排序。

## 1 台风灾害单项指标分级标准和综合等级划分

### 1.1 单项指标选取及分级标准

建立灾害等级综合评判模型需要历史灾害数据做参考依据。查阅相关文献[20],对于台风灾害的统计指标主要是死亡人数、房屋倒损数、农作物受灾面积数以及直接经济损失数,故在评估模型建立中主要选取了这 4 个指标。

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了如下规定草案:特大型灾害:死亡 100 人以

上,或者伤亡 300 人以上,或者直接经济损失 10 亿元以上;大型灾害:死亡 30 人以上 100 人以下,或者伤亡总数 100 人以上 300 人以下,或者经济损失 1 亿到 10 亿;中型灾害:死亡 3 人以上 30 人以下,或者伤亡总数 30 人以上 100 人以下,或者经济损失 1000 万以上 1 亿元以下;小型灾害:死亡 1 到 3 人,或者伤亡总数 10 人以上或者 30 人以下,或者直接经济损失 100 万以上 1000 万元以下;较小型:没有人员伤亡,或者受伤 10 人以下,或者直接经济损失 100 万以下。

考虑到台风灾害基本特点是影响重,范围广,每次台风灾害造成人员伤亡比例大,灾害重,参照上述规定并结合台风灾害实际情况,在中型以下等级中的死亡人数有所修改,直接经济损失划分标准没有改。同时,根据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,结合社会经济发展状况,给出全国范围内台风灾情单项指标等级标准(见表 1)。

表 1 全国范围内台风灾害单项指标分级标准

Table 1 Graded standard of single disaster item of typhoon in China

指标	特大型	大型	中型	小型	微型
农作物受灾面积/hm <sup>2</sup>	(10 <sup>6</sup> , +∞)	(10 <sup>5</sup> , 10 <sup>6</sup> )	(10 <sup>4</sup> , 10 <sup>5</sup> )	(10 <sup>3</sup> , 10 <sup>4</sup> )	(10 <sup>2</sup> , 10 <sup>3</sup> )
死亡人数/人	(10 <sup>2</sup> , +∞)	(30, 100)	(10, 30)	(3, 10)	(1, 3)
倒损房屋/间	(2×10 <sup>5</sup> , +∞)	(10 <sup>5</sup> , 2×10 <sup>5</sup> )	(3×10 <sup>4</sup> , 10 <sup>5</sup> )	(3×10 <sup>3</sup> , 3×10 <sup>4</sup> )	(1, 3×10 <sup>3</sup> )
直接经济损失/元	(10 <sup>9</sup> , +∞)	(10 <sup>8</sup> , 10 <sup>9</sup> )	(10 <sup>7</sup> , 10 <sup>8</sup> )	(10 <sup>6</sup> , 10 <sup>7</sup> )	(10 <sup>5</sup> , 10 <sup>6</sup> )

### 1.2 建立单项指标转换函数

为了对台风灾害进行综合评判和历史比较,对于台风灾害案例历史序列需要有统一的评判标准。由于本研究中选取的各个灾害评判指标都为有量纲数,各个指标的差别较大,为此,首先对各个单项灾害指标进行函数转换,使各个转换后的单项指标的值域都为(0, 1)之间,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),这样可以缩小各个指标因为单位不同而在大致同一个灾害级别时的量纲差距,起到归一化的作用,将不同量纲实际数据变化范围很大的序列转换为 0~1 之间的范围内,以便于进行关联分析。根据这个基本原理,设计转换函数

$U(m, i) = F(x_{m,i})$ , 式中  $U(m, i)$  代表转换后的函数,  $F(x_{m,i})$  为转换函数表达式,  $m = 1, M, M$  表示所选取的灾害指标总数,  $i$  为单项灾害指标的个例序列,  $i = 1, I, I$  表示所选取的灾害个例总数;  $x_{m,i}$  代表第  $m$  个单项灾害指标的第  $i$  个灾害值。

根据表 1 中定义的 4 个单项灾害指标的等级范围,按照归一化的思路,设计了如下转换函数(LG 表示对数函数):

#### 1.2.1 农作物受灾面积( $x_{1,i}$ , 单位: hm<sup>2</sup>) 转换函数

$$U(1, i) = \begin{cases} 1 & 10^7 < x_{1,i} \\ 0.2 \times LG \frac{x_{1,i}}{100} & 10^2 < x_{1,i} \leq 10^7 \\ 0 & x_{1,i} \leq 10^2 \end{cases} \quad (1)$$

#### 1.2.2 死亡人数( $x_{2,i}$ , 单位: 人) 转换函数

$$U(2,i) = \begin{cases} 1 & 1000 < x_{2,i} \\ 0.8 + \frac{1}{10}LG \frac{x_{2,i}}{10} & 100 < x_{2,i} \leq 1000 \\ 0.6 + \frac{1}{350}(x_{2,i} - 30) & 30 < x_{2,i} \leq 100 \\ 0.4 + \frac{1}{100}(x_{2,i} - 10) & 10 < x_{2,i} \leq 30 \\ 0.2 + \frac{1}{35}(x_{2,i} - 3) & 3 < x_{2,i} \leq 10 \\ 0.1(x_{2,i} - 1) & 1 < x_{2,i} \leq 3 \\ 0 & x_{2,i} \leq 1 \end{cases} \quad (2)$$

### 1.2.3 倒损房屋( $x_{3,i}$ 单位:间)转换函数

$$U(3,i) = \begin{cases} 1 & 1000000 < x_{3,i} \\ 0.8 + \frac{1}{4 \times 1000000}(x_{3,i} - 2 \times 100000) & 200000 < x_{3,i} \leq 1000000 \\ 0.6 + \frac{1}{5 \times 100000}(x_{3,i} - 100000) & 100000 < x_{3,i} \leq 200000 \\ 0.4 + \frac{1}{350000}(x_{3,i} - 30000) & 30000 < x_{3,i} \leq 100000 \\ 0.2 + 0.2LG \frac{x_{3,i}}{3000} & 3000 < x_{3,i} \leq 30000 \\ 0.2LG \frac{x_{3,i}}{300} & 1 < x_{3,i} \leq 3000 \\ 0 & x_{3,i} \leq 1 \end{cases} \quad (3)$$

### 1.2.4 直接经济损失( $x_{4,i}$ 单位:元)转换函数

$$U(4,i) = \begin{cases} 1 & 10000000000 < x_{4,i} \\ 0.2LG \frac{x_{4,i}}{100000} & 100000 < x_{4,i} \leq 10000000000 \\ 0 & x_{4,i} \leq 100000 \end{cases} \quad (4)$$

## 1.3 台风综合灾情等级评判模型

前面虽然对各个单项灾害进行了归一化处理,但各个指标序列仍然还是有量纲数,灰色关联分析法中关键技术就是对数据序列的无量纲化处理,只有进行正确的无量纲化,才会得到正确的关联排序。因此参照灰色关联分析方法,设参考序列为: $U_0(x_{0,i})$ , ( $i=1,2,\dots,I$ );比较序列为 $U(x_{m,i})$ , ( $m=1,2,\dots,M$ ;  $i=1,2,\dots,I$ )。参考序列 $U_0$ 的含义为:农作物受灾面积

大于1000万 $\text{hm}^2$ ,死亡人数大于1000人,房屋倒塌大于100万间,直接经济损失大于10亿元人民币,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。比较各次灾害的转换函数值序列 $U(x_{m,i})$ 与参考序列的关联度(接近)程度,计算出关联度,据此划分灾害等级和比较灾情。

模仿灰色关联系数的定义方法<sup>[16-17]</sup>,引入比较序列与参考序列各项指标间的关联系数为:

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

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

从式(5)得到了各比较序列与参考序列的各项指标的关联系数值。但因为有 $m$ 项指标,就有 $m$ 项结果,信息过于分散不便比较,因此有必要将每一比较序列各项指标的关联系数集中在一个值上,这个数值命名为关联度,采用等权处理的平均值法有:

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

该关联度的含义为:比较序列与参考序列中各项指标关联系数总和之平均值,它集中反映了比较序列与参考序列之间的接近程度。

显然, $\alpha_{oi}$ 的值域为 $[0.5,1]$ 。关联度越大,说明灾情越重,反之,越轻。故此,用关联度的取值来划分灾害等级(表2)。

表2 关联度与灾害等级的对应关系  
Table 2 Relationship between association degree and disaster grade

灾害等级	特大灾	大灾	中灾	小灾	微灾
关联度 $\alpha_{oi}$	(0.9,1)	(0.8,0.9)	(0.7,0.8)	(0.6,0.7)	(0.5,0.6)

将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。

## 2 用台风综合等级评判模型对2000—2007年登陆台风影响的判断

利用上述建立的综合评判等级模型,对2000—

2007 年登陆影响我国的台风灾害<sup>[20]</sup>进行比较分析。

表 3 中的第 1~6 列分别为 2000—2007 年登陆

**表 3 2000 年以来全国范围内台风灾害损失及综合等级评定和历史排序**  
**Table 3 The losses caused by typhoon disasters, general disaster grading and the influence sequence from 2000 to 2007**

编号	台风个 例序号	受灾面积 /10 <sup>3</sup> hm <sup>2</sup>	死亡/人	倒塌房屋 /万间	直接经济损 失/亿元	关联度	综合灾害 损失等级	历史排序
0004(启德)	1	44.46	2	0.14	6.75	0.652	小灾	41
0008(杰拉华)	2	10.51	0	0.21	3.65	0.631	小灾	43
0010(碧利斯)	3	293.48	57	49.58	45.96	0.824	大灾	7
0012(派比安)	4	701.4	24	5.05	44	0.755	中灾	22
0013(玛莉亚)	5	344.81	84	6.36	26.28	0.784	中灾	18
0014(桑美)	6	169.42	0	6	33.16	0.703	中灾	34
0016(悟空)	7	354.40	7	7.23	13.98	0.715	中灾	28
0102(飞燕)	8	216.26	144	32.75	46.1	0.861	大灾	4
0103(榴莲)	9	772.22	35	13.2	65.72	0.813	大灾	9
0104(尤特)	10	675.51	29	54.61	169.65	0.811	大灾	12
0107(玉兔)	11	97.71		0.43	8.82	0.654	小灾	40
0108(桃芝)	12	573.6	15	0.87	34.63	0.711	中灾	31
0114(菲特)	13	216.25	4	5.64	19.72	0.710	中灾	32
0205(威马逊)	14	255.74	6	0.5	14.74	0.690	小灾	36
0212(北冕)	15	505.21	114	13.61	57.03	0.854	大灾	5
0214(黄蜂)	16	441.13	33	10.53	29.09	0.782	中灾	19
0216(森拉克)	17	325.07	29	19.5	81.26	0.801	大灾	13
0218(黑格比)	18	45.61	29	2.00	3.47	0.696	小灾	35
0220(米克拉)	19	128.88	1	0.49	11.07	0.663	小灾	37
0307(伊布都)	20	521.9	28	23.31	33.00	0.792	中灾	15
0308(天鹅)	21	25.15		0.19	1.93	0.629	小灾	44
0311(环高)	22	6.83	5	0.59	0.71	0.617	小灾	46
0312(科罗旺)	23	395.77	3	12.7	31.84	0.747	中灾	25
0313(杜鹃)	24	260.00	44	5.98	24.90	0.762	中灾	21
0320(尼伯特)	25	63.97	2	0.08	16.31	0.660	小灾	39
0407(蒲公英)	26	123.16	7	0.49	4.08	0.662	小灾	38
0414(云娜)	27	755.67	169	29.72	202.95	0.836	大灾	6
0418(艾利)	28	127.9	2	7.06	32.31	0.709	中灾	33
0505(海棠)	29	451.00	16	3.00	107.80	0.714	中灾	29
0509(麦莎)	30	1535.00	29	7.30	180.40	0.786	中灾	17
0510(珊瑚)	31	167.00	15	2.70	30.10	0.751	中灾	23
0513(泰利)	32	1007.00	148	13.90	154.50	0.866	大灾	3
0515(卡努)	33	720.00	25	3.00	141.10	0.748	中灾	24
0516(韦森特)	34	19.00	12	0.0	1.10	0.623	小灾	45
0518(达维)	35	607.00	25	3.40	122.10	0.736	中灾	26
0519(龙王)	36	157.00	159	0.90	78.10	0.818	大灾	8
0601(珍珠)	37	320.90	36	1.56	83.86	0.790	中灾	16
0604(碧利斯)	38	1350.99	843	39.10	348.29	0.905	特大灾	1
0605(格美)	39	340.03	64	14.15	57.52	0.813	大灾	10
0606(派比安)	40	650.26	96	3.72	78.65	0.812	大灾	11
0608(桑美)	41	289.86	483	13.72	196.58	0.871	大灾	2
0703(桃芝)	42	12.40	0	0.44	0.87	0.605	小灾	47
0707(帕布)	43	127.94	4	1.56	22.89	0.712	中灾	30
0709(圣帕)	44	549.21	63	4.07	86.47	0.797	中灾	14
0713(韦帕)	45	733.09	11	1.61	83.39	0.777	中灾	20
0714(范斯高)	46	11.64	0	0.02	2.09	0.590	微灾	48
0715(利奇马)	47	117.09	0	0.09	6.78	0.648	小灾	42
0716(罗莎)	48	534.34	6	0.54	96.83	0.735	中灾	27

台风编号、台风个例序号、台风受灾面积、死亡人数、倒损房屋、直接经济损失灾害数据。将 4 个灾害指标的历史序列利用公式(1)~(4)进行函数转化,得到转换后的比较序列矩阵  $U(X_{m,i})$ ,再运用公式(5)计算其与参考序列的关联系数,然后代入公式(6),得到每一个台风灾害的关联度,由此确定了每一个台风灾害的综合等级以及灾害轻重的历史排序。关联度、综合灾害等级以及历史排序的计算结果分别列于表 3 中的第 7、8、9 列。

对表 3 中的计算结果做简单分析总结,可以得出 2000—2007 年的全国范围内台风灾害损失等级和灾害轻重的历史排序如下:

特大灾害:0604(碧利斯)

大灾:0608(桑美)>0513(泰利)>0102(飞燕)>0212(北冕)>0414(云娜)>0010(碧利斯)>0519(龙王)>0103(榴莲)>0605(格美)>0606(派比安)>0104(龙特)>0216(森拉克)(共 12 个台风);

中灾:0709(圣帕)>0307(伊布都)>0601(珍珠)>0509(麦莎)>0013(玛利亚)>0214(黄蜂)>0713(韦帕)>0313(杜鹃)>0012(派比安)>0510(珊瑚)>0515(卡努)>0312(科罗旺)>0518(达维)>0716(罗莎)>0016(悟空)>0505(海棠)>0707(帕布)>0108(桃芝)>0114(菲特)>0418(艾利)>0014(桑美)(共 21 个台风);

小灾:0218(黑格比)>0205(威马逊)>0220(米克拉)>0407(蒲公英)>0320(尼伯特)>0107(玉兔)>0004(启德)>0715(利奇马)>0008(杰拉华)>0308(天鹅)>0516(韦森特)>0311(环高)>0703(桃芝)(共 13 个台风);

微灾:0714(范斯高)。

从以上分析结果可以看出,分析评估结果是比较合理的。如:2006 年是我国台风灾害损失严重的一年,0604 号台风碧利斯造成了 843 人死亡,  $13.51 \times 10^4 \text{ hm}^2$  农作物受灾,倒损房屋 39.10 万间,直接经济损失 348.29 亿元,模型评估结果为特大灾害;0608 号台风桑美造成 483 人死亡,  $28.99 \times 10^4 \text{ hm}^2$  农作物受灾,倒损房屋 13.72 万间,直接经济损失 13.72 亿,为 2000—2007 年中仅次于 0604 号台风碧利斯的大灾。至于 0605 号台风格美和 0606 号台风

派比安,虽然“派比安”造成的死亡人数、受灾面积、直接经济损失等都大于“格美”,但由于“格美”造成的房屋倒塌数目为“派比安”造成的房屋倒塌数目的 3.8 倍,因此,二者经过模型评估后综合灾害指数仅差 0.001,属于比较接近的台风灾害。以上分析结果也与公众对这些台风造成的灾害影响认知度是基本吻合的。

### 3 讨论

利用建立的台风灾害等级综合评估模型,将台风灾害损失指标通过函数转换和关联度分析后,很容易快速得到灾害等级划分结果,也便于不同台风灾害个例的历史排序比较(包括同一等级内的比较和不同等级的比较);运用该模型的综合评估思路,可以建立不同灾种、不同地区范围的灾害综合等级评估模型。

本模型中的每个单项指标选取以及单项指标的灾害等级确定都是建立在经验基础之上,同时,在选取灾害指标方面没有考虑防灾减灾力度对灾害等级的影响,因为防灾得力、恰当,将降低灾害损失,反之,如果防灾过度则可能增加灾害损失;另外,由于社会经济和人口的不断发展变化,受灾直接经济损失以及死亡人口等指标中如果使用考虑了物价指数、人口增长率等的相对量应该更为客观,但是在现有我国的台风灾害评估现状下,本模型的灾害评估结果对于决策气象服务中的灾害评估材料撰写或是口头汇报等都能提供更有力的参考依据,尤其对于在各个灾害指标损失大小相类似的情况下,此模型能够快速提出量化的综合评估结果。

### 参考文献

- [1] 姜允迪. 强台风韦帕登陆浙江,滇桂局地遭暴雨洪涝[J]. 气象,2007,33(12): 126-128.
- [2] 姜允迪. 渭河汉江流域秋雨成灾,台风龙王造成福建严重损失[J]. 气象,2006,32(1): 126-128.
- [3] 梁潇云,任福民. 2005 年全球重大天气气候事件概述[J]. 气象,2006,32(4): 74-77.
- [4] 顾华. 华北中南部出现强降水,“麦莎”、“珊瑚”登陆我国[J]. 气象,31(11): 89-94.
- [5] 郭艳君,任福民. 2004 年全球重大天气气候事件概述[J]. 气象,

- 2005,31(4): 32-34.
- [6] 王小玲,郭艳君. 2008 年全球重大天气气候事件概述[J]. 2009,35(4):108-111.
- [7] 赵阿兴,马宗晋. 自然灾害损失评估指标体系的研究[J]. 自然灾害学报,1993,2(3): 1-6.
- [8] 孙卫东. 相对灾度的提出及实际意义[J]. 灾害学,1993,8(3): 88-99.
- [9] 冯志泽,胡政,何骏. 地震灾害损失评估及灾害等级划分[J]. 灾害学,1994,9(1): 13-16.
- [10] 冯利华. 灾害损失的定量计算[J]. 灾害学,1993,8(2): 17-19.
- [11] 冯利华,骆高远. 洪水等级和灾情划分问题[J]. 自然灾害学报,1996,5(3): 89-91.
- [12] 李祚泳,邓新民. 自然灾害的物元分析灾情评估模型初探[J]. 自然灾害学报,1994,3(2): 28-33.
- [13] 冯利华. 灾害等级的灰色聚类分析[J]. 自然灾害学报,1997,6(1): 14-18.
- [14] 于庆东. 灾度等级判别方法的局限性及其改进[J]. 自然灾害学报,1993,2(2): 8-10.
- [15] 任鲁川. 灾害损失定量评估的模糊综合评判方法[J]. 灾害学,1996,11(4): 5-10.
- [16] 杨仕升. 自然灾害等级划分及灾情比较模型探讨[J]. 自然灾害学报,1997,6(1): 8-13.
- [17] 傅立. 灰色系统理论及其应用[M]. 北京:科学技术出版社,1992: 191-199.
- [18] 郑永胜. 效果测度灰色关联分析[J]. 数学的实践与认识,1994,(2): 14-20.
- [19] 于庆东,沈荣芳. 自然灾害绝对灾情分级模型及应用[J]. 系统工程理论方法应用,1995,4(3): 47-52.
- [20] 全国气候影响评价[G]. 北京:气象出版社,2000-2007.