

黄治勇, 龙利民, 邵末兰, 等. 2011. 类比法在暴雨灾害损失定量预估中的应用[J]. 大气科学学报, 34(2): 246-250.

Huang Zhi-yong, Long Li-min, Shao Mo-lan, et al. 2011. Application of analogy method in quantitative preestimate of heavy rain disaster loss[J]. Trans Atmos Sci, 34(2): 246-250.

类比法在暴雨灾害损失定量预估中的应用

黄治勇^{1,2}, 龙利民³, 邵末兰³, 张宁⁴, 邓红³

(1. 南京信息工程大学, 江苏 南京 210044; 2. 中国气象局 武汉暴雨研究所, 湖北 武汉 430074;

3. 武汉中心气象台, 湖北 武汉 430074; 4. 湖北省气象局 科技与预报处, 湖北 武汉 430074)

摘要:从致灾因子角度, 通过系统分析暴雨与其造成的灾害损失之间的关系, 提取致灾关联度较高的暴雨因子, 采用正态分布概率密度函数和最小距离法, 建立区域性暴雨强度评价模型。在此基础上, 通过分析历史暴雨个例之间灾害损失的相似性, 采用类比法, 建立了湖北5—9月暴雨灾害损失定量预估模型。2008—2009年的试验结果表明, 类比法可作为暴雨灾害定量损失预估的实用方法。

关键词: 类比法; 暴雨强度; 相似性; 可比性; 预估

中图分类号: P426 **文献标识码:** A **文章编号:** 1674-7097(2011)02-0246-05

Application of analogy method in quantitative preestimate of heavy rain disaster loss

HUANG Zhi-yong^{1,2}, LONG Li-min³, SHAO Mo-lan³, ZHANG Ning⁴, DENG Hong³

(1. Nanjing University of Information Science & Technology, Nanjing 210044, China;

2. Wuhan Institute of Heavy Rain, CMA, Wuhan 430074, China;

3. Wuhan Central Meteorological Observatory, Wuhan 430074, China;

4. Technology Division of Hubei Meteorological Bureau, Wuhan 430074, China)

Abstract: From the factors leading to a disaster, those more directly related with heavy rain disasters can be collected by analyzing the relationship between the heavy rain and the subsequent disaster loss systematically. An evaluation model of regional heavy rain strength is established by using the methods of normal distribution probability density function and minimum distance. On that basis, by using the analogy method, a model for quantitative preestimate of heavy rain disaster loss from May to September in Hubei Province is established by analyzing the similarities in the disaster loss in some heavy rain cases in history. It shows that analogy method is practical in quantitative preestimate of heavy rain disaster loss according to the test results from 2008 to 2009.

Key words: analogy method; heavy rain strength; similarity; comparability; preestimate

0 引言

暴雨是湖北省最主要气象灾害, 平均每年因暴雨及其诱发的洪涝、山体滑坡和泥石流等次生灾害造成直接经济损失达50~70亿, 如何定量预估暴雨灾害损失是当前实际工作中面临的紧迫任务之一。

自20世纪80年代以来, 国内外对自然灾害评估的研究取得了很大进展。孙绍聘(2001)将灾害评估概括为灾害风险评估、损失评估、生态环境评估等几个类型, 认为灾害损失评估是对灾害造成的人员伤亡、经济损失等进行的评估。如任鲁川(1996a, 1996b)在灾度概念基础上, 通过建立模糊

灾度等级的隶属函数来判别灾害级别,给出了用于灾害损失定量评估的模糊综合评判方法;李祚泳和邓新民(1994)提出了基于物元分析的灾情评估模型;魏一鸣等(1996)、金菊良等(1998)引入遗传算法和神经网络模型方法用于灾情评估。

近年来,我国在气象灾害评估方面开展了大量研究工作。孙宁和李廉水(2008)将气象灾害损失评估归入为对承灾体的评估,建立了气象灾害评估模型层次理论框架,认为气象灾害损失评估的基本方法是,依据承灾体状况的记录,结合具体灾情,构建灾害影响模型,进行灾损评估。吕纯濂和陈舜华(1993)引入经济计量模式来估算和预测气象灾害经济损失。张永恒等(2009)采用模糊学原理和方法建立了浙江省台风灾害等级评估模型。吴慧等(2009)采用灰色关联分析法建立了海南省热带气旋灾害等级评估模型。

由于气象灾害涉及内容广,气象灾害损失评估技术尚待进一步充实和完善,而暴雨灾害损失定量预估技术研究更少。鉴于此,本文旨在基于国内灾害评估研究成果,进一步研究暴雨灾害损失定量预估方法,为其他种类气象灾害损失定量预估提供参考。

1 类比法简介

类比法是根据两个对象的已知相似性,把一个对象已知的属性或规律推介到另一个对象上,从而获得对另一个对象新认识的方法(叶影,2008)。目前,类比法在地质、环保、水利、矿产、医疗等领域被广泛应用。石玲等(2009)运用类比法研究了三峡引水工程秦巴段的主要工程地质问题。孙岩等(2009)采用类比法研究了圆明园防渗工程对生态影响的评价和预测。曲德双(2008)探讨了用类比法预测工程建设项目水土流失的问题。高金升(2008)采用类比法建立了新建矿井瓦斯涌出量预测模型。李君灵和孟紫强(2009)采用类比法研究了 SO_2 对Krebs液的影响及其与血管舒张的关系等。

潘献鸿等(2009)认为,类比法的使用主要考虑类比对象与预测对象的相似性、可比性及其自身的代表性。对于暴雨而言,如果发生在同一地区的两个对象,其月份相同、年份相近、强度相似,则上述三个条件完全满足,因此采用类比法定量预估暴雨灾害损失是可行的。问题的关键是,如何确定类比的暴雨过程强度是否相似。单站暴雨强度可以根据单

位时间内降水量大小进行比较,对于区域性暴雨强度的比较,目前国内没有统一方法。因此,区域性暴雨强度比较方法是使用类比法进行暴雨灾害损失定量预估的前提和基础。

2 区域性暴雨强度评价模型的建立

2.1 资料

本文采用的降水资料为湖北省1960—2006年共77个气象观测站逐日24 h、12 h、6 h和1 h降水量,暴雨灾害损失资料为对应77个县市因暴雨及其诱发的洪涝、山体滑坡和泥石流等次生灾害造成的受灾人口、农作物受灾面积及直接经济损失数据。

2.2 致灾暴雨因子选取

2.2.1 一个例选取

采用国家气象中心强降水和强对流入库标准及相关规定,以24 h降水量 R_{24} 满足如下7个标准之一作为一次区域性暴雨过程:

10站或10站以上 $R_{24} \geq 50 \text{ mm}$;7站或7站以上 $R_{24} \geq 100 \text{ mm}$;5站或5站以上 $R_{24} \geq 200 \text{ mm}$;4站或4站以上 $R_{24} \geq 300 \text{ mm}$;9站 $R_{24} \geq 50 \text{ mm}$,其中1站 $\geq 100 \text{ mm}$;8站 $R_{24} \geq 50 \text{ mm}$ 以上,其中2站 $\geq 100 \text{ mm}$ 或1站 $\geq 200 \text{ mm}$;7站 $R_{24} \geq 50 \text{ mm}$,其中1站 $\geq 300 \text{ mm}$ (或1站超过100 mm,1站超过200 mm;或2站超过200 mm)。

通过普查湖北省1971—2006年5—9月历史逐日逐站降水资料,共筛选出315个区域性暴雨个例。

2.2.2 相关性分析

由于社会经济、人口、环境等因素随时间变化而变化,根据现有资料难以建立暴雨因子与灾害损失之间的统计关系。但是农作物种植面积相对比较稳定,为简便起见,本文以暴雨因子与农作物受灾面积之间的统计关系作为暴雨与其灾害损失之间的关系。

从暴雨过程的持续时间、范围和强度3个方面选取了7个暴雨因子:1 h、6 h、12 h和24 h最大降水量、暴雨区平均降水量、暴雨区面积、暴雨持续日数。其中:最大降水量取所有测站中的最大值;平均降水量取 $R_{24} \geq 50 \text{ mm}$ 所有测站的算术平均;暴雨区面积取暴雨站数占全省站数的比例。对于暴雨持续日数的统计,允许连续3 d中有2 d暴雨1 d大雨、连续5 d中有3 d暴雨2 d中雨、连续7 d中有4 d暴雨3 d中雨,依此类推。根据历史统计,其最少为1 d,最多11 d。通过对所有历史个例统计分析,发现1 h、6 h和24 h最大降水量、平均降水量、暴雨

区面积、暴雨持续日数与受灾面积之间相关系数均在 70% ~ 80%。

可见,湖北省致灾暴雨因子主要有最大降水量(1 h、6 h 和 24 h)、平均降水量、暴雨区面积和暴雨持续日数。

2.3 建立模型

先对历史个例的暴雨因子数据进行标准化和正态分布处理,然后采用正态概率密度函数法确定各因子的概率等级,最后使用欧氏距离函数法建立区域性暴雨强度评价模型。

2.3.1 致灾暴雨因子数据标准化处理

将历史个例致灾暴雨因子数据按如下公式进行标准化处理。

1) 平均降水量因子

$$I_{pre} = \left(\frac{1}{n} \sum_{j=1}^n P_j\right), j = 1, 2, \cdots, n。$$
 (1)

其中: n 为 $R_{24} \geq 50.0$ mm 的测站数; P_j 为其中第 j 个测站在该过程中的累计降水量。

2) 最大降水量因子

$$I_{pin} = \max\left(\frac{P_{max1}}{50}, \frac{P_{max6}}{80}, \frac{P_{max24}}{200}\right)。$$
 (2)

其中: P_{max24} 、 P_{max6} 、 P_{max1} 分别为暴雨过程中第 j 个测站 24 h、6 h、1 h 最大降水量。

3) 暴雨区面积因子

$$I_{cov} = \frac{n}{N}。$$
 (3)

其中: n 为暴雨站数; N 为区域内观测站总个数。

4) 暴雨持续日数因子

$$I_{dat} = m。$$
 (4)

其中: m 为暴雨过程中连续出现 10 站以上降水量大于等于 25 mm 的日数。

2.3.2 致灾暴雨因子数据正态分布处理

显然,标准化处理后暴雨因子数据集的频率呈偏态分布,需要进行正态分布处理,方法如下:

1) 平均降水量因子

采用公式 $Q_1 - 1.5R$ 、 $Q_2 + 1.5R$ 。其中: $R = Q_1 - Q_2$, R 为 4 分位极差, Q_1 、 Q_2 分别为下和上 4 分位数,其求法为

$$M_p = \begin{cases} x_{([np]+1)}, np \text{ 不是整数;} \\ (x_{(np)} + x_{(np+1)})/2, np \text{ 是整数。} \end{cases}$$
 (5)

其中: $p = 0.25$ 、 0.75 , n 为样本容量, $x_{(1)}$, $x_{(2)}$, $\cdots$, $x_{(n)}$ 为数据集按从小至大排列的次序统计量。于是可得, $Q_1 = M_{0.25}$, $Q_2 = M_{0.75}$ 。

通过上述公式计算出平均降水量因子数据集的

上下截断点。由于数据集的数据来源于实际观测值,所以没有小于下截断点的数值,因此数据中小于下截断点和大于上截断点的数据可定为异常值。将剔除异常值后数据集中的每一元素取自然对数,得到更接近正态分布的新数据集,进一步对其进行 Jarque-Bera 检验,在 0.05 信度的显著性检验下正态分布假设得到通过。计算上述数据集的逐月均值和标准差,其中 5 月分别为 4.52、0.26, 6 月为 2.16、0.08, 7 月为 5.0、0.39, 8 月为 4.63、0.18, 9 月为 4.57、0.28。

由于上述数据集通过 0.05 信度的显著性检验,可以认为正态总体的均值和方差与之相等。本文将区域性暴雨强度划分为 5 个等级,并利用上述结果,根据 315 个例中各月样本数确定平均降水量因子各等级的概率值(表 1)。

表 1 致灾暴雨因子分级概率值

Table 1 Ranked probability values of factors leading to heavy rain disasters

月份	等级	平均降水量	最大降水量	暴雨面积	暴雨持续日数
5 月	5 级	4.32	0.78	0.41	1
	4 级	4.78	0.97	0.54	2
	3 级	4.89	1.01	0.58	3
	2 级	4.98	1.05	0.60	4
	1 级	5.08	1.09	0.63	5
6 月	5 级	2.17	0.88	0.49	1
	4 级	2.27	1.01	0.57	2
	3 级	2.30	1.04	0.60	3
	2 级	2.32	1.08	0.62	5
	1 级	2.35	1.11	0.64	8
7 月	5 级	5.05	0.88	0.47	1
	4 级	5.53	1.00	0.55	2
	3 级	5.66	1.04	0.57	3
	2 级	5.78	1.07	0.59	5
	1 级	5.92	1.10	0.61	8
8 月	5 级	4.07	0.39	0.05	1
	4 级	4.75	0.93	0.26	2
	3 级	4.84	0.99	0.29	3
	2 级	4.91	1.05	0.32	4
	1 级	4.98	1.10	0.35	5
9 月	5 级	3.70	0.88	0.04	1
	4 级	4.66	0.83	0.26	2
	3 级	4.82	0.96	0.30	3
	2 级	4.94	1.05	0.34	4
	1 级	5.07	1.15	0.37	5

2) 最大降水量因子和暴雨区面积因子

采用上述方法,可得到最大降水量因子和暴雨区面积因子各月各等级的概率值。

3) 暴雨持续日数因子

按照公式(4)对历史个例进行统计,可得暴雨持续日数因子各月各等级的概率值。

2.3.3 致灾暴雨因子权重系数的确定

将前述所得概率值作为 5—9 月区域性暴雨强度评价因子的初步标准,并据此建立无量纲化标准矩阵 $A_i^* = (a_{ikt}^*) (i=5,6,7,8,9; k=1,2,3,4; t=1,2,3,4,5)$,其中 a_{ikt}^* 为第 k 个因子第 t 级的标准与 50 a 一遇标准的比值, i 表示月份。

$$A_5^* = \begin{pmatrix} 0.851 & 0.941 & 0.962 & 0.980 & 1 \\ 0.715 & 0.889 & 0.928 & 0.962 & 1 \\ 0.648 & 0.857 & 0.908 & 0.950 & 1 \\ 0.2 & 0.4 & 0.6 & 0.8 & 1 \end{pmatrix},$$

$$A_6^* = \begin{pmatrix} 0.924 & 0.965 & 0.977 & 0.987 & 1 \\ 0.792 & 0.904 & 0.937 & 0.966 & 1 \\ 0.752 & 0.887 & 0.926 & 0.960 & 1 \\ 0.125 & 0.25 & 0.375 & 0.625 & 1 \end{pmatrix},$$

$$A_7^* = \begin{pmatrix} 0.853 & 0.932 & 0.956 & 0.976 & 1 \\ 0.797 & 0.908 & 0.940 & 0.967 & 1 \\ 0.769 & 0.896 & 0.932 & 0.963 & 1 \\ 0.125 & 0.25 & 0.375 & 0.625 & 1 \end{pmatrix},$$

$$A_8^* = \begin{pmatrix} 0.817 & 0.953 & 0.970 & 0.984 & 1 \\ 0.357 & 0.840 & 0.899 & 0.946 & 1 \\ 0.135 & 0.746 & 0.839 & 0.915 & 1 \\ 0.2 & 0.4 & 0.6 & 0.8 & 1 \end{pmatrix},$$

$$A_9^* = \begin{pmatrix} 0.730 & 0.919 & 0.950 & 0.974 & 1 \\ 0.071 & 0.718 & 0.828 & 0.911 & 1 \\ 0.117 & 0.693 & 0.811 & 0.902 & 1 \\ 0.2 & 0.4 & 0.6 & 0.8 & 1 \end{pmatrix}。$$

计算矩阵 A_i^* 各行向量的标准差与均值,然后计算变异系数

$$w_i^* = s_i^* / \mu_i^*, i = 1, 2, 3, 4; \quad (6)$$

$$\mu_i^* = \frac{1}{5} \sum_{j=1}^5 a_{ij}, \quad s_i^* = \sqrt{\frac{\sum_{j=1}^5 (a_{ij} - \mu_i^*)^2}{5}}, \quad i = 1, 2, 3, 4. \quad (7)$$

其中: i 为第 i 个因子; j 为第 i 个因子第 j 级。

变异系数可代表各因子的权重。对变异系数归一化得到各因子的权向量。根据实际经验,权向量为 $w = [0.5, 0.2, 0.1, 0.2]$ (即平均降水量为 0.5、最大降水量为 0.2、暴雨区面积为 0.1、暴雨持续日数为 0.2)。

于是,可得调整权重后的暴雨强度因子评价标准。采用同样方法,可以构建一个新的无量纲化标准矩阵。

2.3.4 区域性暴雨强度评价模型

上述无量纲标准矩阵,可以认为是在四维空间中的 5 个固定向量,将 4 个因子 P 、 I 、 C 和 M 分别除以各自对应级别的标准,组成被评估向量 $X = (x_1, x_2, x_3, x_4)$ 。于是对象等级的评估问题在此转化为计算被评估向量与各固定向量的距离问题。本文选用欧氏距离函数法来计算,其中, i 表示月份, k 和 j 分别表示第 k 个因子第 j 级的标准。

$$d_j = \sqrt{\sum_{k=1}^4 (x_{ik} - a_{ikj})^2}, \quad j = 1, 2, 3, 4, 5, i = 5, 6, 7, 8, 9. \quad (8)$$

若 $d_j = \min_{1 \leq j \leq 5} \{d_j\}$,则此暴雨属于第 $(6-j)$ 级,分别对应区域性暴雨过程的 5 个强度等级。

3 暴雨灾害损失定量预估模型

利用区域性暴雨强度评价模型,可得 315 历史个例的强度等级。对比分析相似强度暴雨个例间的灾害损失发现,由于区域人口总数、可耕地面积及经济总值在年代上差异较大,不同年代相似暴雨强度个例之间的灾害损失没有可比性。同一年中的不同月份,相似暴雨强度个例之间的灾害损失可比性也较小。但是同一月份、相邻年份相似暴雨强度个例之间的灾害损失具有较大可比性。

以 q_i 表示湖北省某月暴雨灾害损失,

$$q_i = \sum a_{i,j} q_{i,j}. \quad (9)$$

式中: $i = 1, 2, 3$ 表示受灾人口、受灾面积、经济损失; $j = 1, 2, \dots, 17$ 表示湖北省 17 个地市; $a_{i,j}$ 表示各地市灾害损失权重系数。

3.1 $q_{i,j}$ 的计算

$q_{i,j}$ 取值为—区间 $[q_{i,j}^1, q_{i,j}^2]$,对 $i = 1, 2, 3$ 分别进行计算。其中:

$$q_{i,j}^1 = \max(p_{i,j,m}), q_{i,j}^2 = \min(p_{i,j,m}). \quad (10)$$

其中: $p_{i,j,m}$ 表示第 m 个历史个例中某地暴雨灾害损失; i, j 的取值与公式(9)相同; $m = 1, 2, \dots, n$ 表示与预估对象强度相似的暴雨个例数。

在预估对象发生的前 3 a 中,如果存在 5 个强度相似的历史个例,则按时间倒序取 $m = 1, 2, 3, 4, 5$;如果少于 5 个,则 m 按实际个例数取值。

3.2 $a_{i,j}$ 的计算

将 2006 年湖北省各地市人口总数、可耕地面积及经济总值在全省中的比重,作为各地灾害损失权重系数 $a_{i,j}$ (表 2)。

表 2 各地区暴雨灾害损失权重系数

Table 2 Weight coefficient of heavy rain disaster loss in different areas

地区	人口	面积	经济损失	地区	人口	面积	经济损失
武汉	1.3	0.9	1.3	孝感	0.9	1.3	0.9
十堰	0.6	1.0	0.8	黄冈	1.2	1.5	0.9
襄樊	1.0	1.8	1.1	黄石	0.4	0.5	0.8
恩施	0.6	1.4	0.7	咸宁	0.5	0.8	0.7
宜昌	0.7	1.4	1.2	仙桃	0.2	0.4	0.6
荆州	1.0	2.9	1.0	潜江	0.2	0.3	0.5
荆门	0.5	1.1	0.8	天门	0.3	0.5	0.5
随州	0.4	0.9	0.7	鄂州	0.2	0.2	0.6
神农架	0.1	0.1	0.2				

4 应用情况

2008—2009 年 5—9 月试验结果如表 3 所示。可见,受灾人口预估正确率为 64%,农作物受灾面

表 3 2008—2009 年暴雨灾害损失预估结果

Table 3 Results of heavy rain disaster loss preestimate from 2008 to 2009

时间段	区域性暴雨强度等级		受灾人口/万人		农作物受灾面积/(10 ³ hm ²)		直接经济损失/亿元	
	预估	实况	预估	实况	预估	实况	预估	实况
2008-05-02—03	5 级	5 级	88 ~ 150	150	69.4 ~ 138.8	144.4	1.7 ~ 3.6	3.6
2008-05-26—27	5 级	5 级	7 ~ 13		9.6 ~ 76.7	14.3	0.5 ~ 0.9	0.5
2008-06-07—09	3 级	5 级	133 ~ 216	34	111.6 ~ 326.7	99.0	3.2 ~ 5.9	0.5
2008-06-19—22	5 级	5 级	29 ~ 48	30	22.7 ~ 66.5	9.4	0.6 ~ 1.2	0.6
2008-07-04—06	5 级	5 级	15 ~ 35	52	7.9 ~ 117.1	40.5	1.0 ~ 2.4	2.7
2008-07-21—22	5 级	4 级	23 ~ 57	26	13.7 ~ 200.1	91.6	1.9 ~ 4.5	7.1
2008-08-15—17	5 级	4 级	20 ~ 33	226	11.9 ~ 137.9	187.5	1.3 ~ 1.4	8.3
2008-08-28—31	1 级	1 级	405 ~ 565	447	261.3 ~ 435.1	368.4	4.1 ~ 9.1	17.0
2009-06-27—30	2 级	2 级	172 ~ 467	503	100.2 ~ 378.7	315.7	3.9 ~ 8.5	9.1

参考文献:

高金升. 2008. 新建矿井瓦斯涌出量预测地质方法及其应用[J]. 煤, 36(5):21-25.

金菊良, 魏一鸣, 杨晓华. 1998. 基于遗传算法的洪水灾情评估神经网络模型探讨[J]. 自然灾害学报, 13(2):6-11.

李君灵, 孟紫强. 2009. 内源性气态 SO₂ 对血管的舒张作用及其机制Ⅲ:信号转导途径[J]. 生态毒理学报, 4(3):366-372.

李祚泳, 邓新民. 1994. 自然灾害的物元分析灾情评估模型初探[J]. 自然灾害学报, 13(2):28-33.

吕纯廉, 陈舜华. 1993. 气象灾害经济损失估算与预测的经济计量模式[J]. 南京气象学院学报, 16(3):67-72.

潘献鸿, 李海林, 高荣. 2009. 类比法预测建设项目水土流失量[J]. 水土保持应用技术(6):14-16.

曲德双. 2008. 类比法预测开发建设项目水土流失几个问题的探讨[J]. 黑龙江水利科技, 36(5):26-27.

任鲁川. 1996a. 灾害损失等级划分的模糊灰度判别法[J]. 自然灾害学报, 5(3):13-17.

任鲁川. 1996b. 灾害损失定量评估的模糊综合判别法[J]. 灾害学,

积预估正确率为 73%, 直接经济损失预估正确率为 55%。需要说明的是,暴雨因子预报的正确率直接影响到灾害损失预估结果。

5 结论

- 1)一般而言,暴雨灾害损失大的区域与暴雨多发区对应,但受自然资源和社会经济影响,暴雨多发区不一定是灾害损失大的区域。
- 2)暴雨过程的最大降水量、暴雨区平均降水量、暴雨区面积以及暴雨持续日数是暴雨致灾的关键因子,根据这个 4 个方面的因子能够较客观地对区域性暴雨强度进行评价。
- 3)应用类比法定量预估暴雨灾害损失简单、可行,但暴雨因子预报准确率的好坏直接影响灾害损失定量预估的结果。

11(4):5-10.

石玲, 张永双, 韩金良, 等. 2009. 三峡引水工程秦巴段的主要工程地质问题[J]. 地质通报, 28(5):651-658.

孙宁, 李廉水. 2008. 气象灾害层次评估理论框架研究[J]. 气象软科学(3):71-77.

孙绍聘. 2001. 灾害评估研究内容与方法探讨[J]. 地理科学进展, 20(2):122-130.

孙岩, 刘雪华, 杜桂森, 等. 2009. 类比法在圆明园防渗工程环评中的应用[J]. 环境科学与技术, 32(10):194-199.

魏一鸣, 万庆, 周成虎. 1996. 基于神经网络的自然灾害灾情评估模型[J]. 灾害学, 11(4):1-6.

吴慧, 陈德明, 吴胜安, 等. 2009. 灰色关联分析在热带气旋灾害等级评估中的应用[J]. 热带作物学报, 30(2):244-248.

叶影. 2008. 类比法在物理教学中的应用[J]. 中国科技信息(15):246-248.

张永恒, 范广洲, 马清云, 等. 2009. 浙江省台风灾害影响评估模型[J]. 应用气象学报, 20(6):773-776.

(责任编辑:刘菲)