

文章编号: 1673-0062(2010)02-0057-04

## 基于灰色灾变理论的湖南洪涝灾害预测

龚日朝, 刘礼仁

(湖南科技大学 商学院, 湖南 湘潭 411201)

**摘要:** 洪涝灾害灾变系统是一个复杂的灰色系统. 根据湖南省 1980-2007 年洪涝灾害统计数据建立了灰色灾变预测模型 GM(1, 1), 发现湖南省洪涝灾害的发生呈现出周期波动性和损失越来越严重的特点, 在未来 10 年中, 2010 年和 2017 年将可能发生轻灾, 2012 年、2015 年和 2019 年将可能发生重大洪灾, 2013 年和 2016 年将可能发生特大洪涝灾害.

**关键词:** 洪涝灾害; 灰色系统; 灾变预测

**中图分类号:** X432.34      **文献标识码:** B

## Research on the Tendency of Hunan Flood Disasters Based on Gray System Theory

GONG Ri-zhao, LIU Li-ren

(School of Business, Hunan Science and Technology University, Xiangtan, Hunan 411201, China)

**Abstract** The flood disaster system is a complex gray system. Based on the flood statistical dates from 1980 to 2007 in Hunan Province to establish the gray catastrophe prediction model GM(1, 1), it found that the occurrence of floods in Hunan Province not only have the characteristics of cyclical fluctuations, but also in the next 10 years there will be light disasters in 2010 and 2017, major flood disasters in 2012, 2015 and 2019, Catastrophic floods in 2013 and 2016.

**Key words** flood disaster; gray system; disaster prediction

### 0 引言

湖南省为大陆型中亚热带季风湿润气候, 容

易导致季风进退的迟早和强度变化等气候异变, 而且山川交错, 地表复杂, 具有喀斯特地质特征, 致使降水具有明显的地区性、季节性和年际变化

收稿日期: 2010-03-24

基金项目: 国家社科基金资助项目(09BTJ012); 教育部人文社科规划课题基金资助项目(07JA790084-09YJC630065); 湖南省科技厅软科学重点基金资助项目(2008ZK2002); 湖南省社科基金资助项目(08YBB278); 湖南省大学生研究性学习和创新性实验计划基金资助项目(XXXCX0905)

作者简介: 龚日朝(1966-), 男, 湖南安化人, 湖南科技大学商学院教授, 博士. 主要研究方向: 金融风险与保险以及灾害管理.

特点,因此,湖南省洪涝灾害频发.很多学者等从灾害成因的视角<sup>[1-5]</sup>和洪涝灾害时空分布的视角<sup>[6-8]</sup>对湖南洪涝灾害开展了研究.随着灾害理论与方法的发展,最近几年一些学者开始了对灾害规律及其预测方面的研究,并成为了当今研究的重点和热点问题.运用灰色灾变理论、傅里叶级数理论等对我国水旱灾害、广东和湖南水旱灾害等分别进行了时间分布规律及重灾预测研究,取得了很多最新成果<sup>[9-15]</sup>.本文根据1980~2008年湖南省重大洪涝灾害的统计数据<sup>[16-17]</sup>,采用灰色系统建模方法,建立了湖南省洪涝灾害重大损失年份的灰色灾变GM(1,1)模型,预测未来10

年湖南省重大洪涝灾害发生的趋势.

## 1 数据来源与处理方法

### 1.1 湖南省洪涝灾害灾情统计

通常刻画洪灾强度及其对农业生态系统的危害程度是通过洪涝受灾面积、洪涝成灾面积、粮食播种面积、粮食灾损量和人员伤亡人数等指标以及各种衍生指标.本文采用《湖南统计年鉴》等权威资料提供的1980~2007年农作物总播种面积、洪涝灾害受灾面积和成灾面积等指标作为重灾年景预测的基础资料(见表1).

表1 湖南省1980~2007洪涝灾害统计数据

Table 1 The flood disaster loses in Hunan from 1980 to 2007

10<sup>4</sup> km<sup>2</sup>

年份	受灾面积	成灾面积	播种面积	年份	受灾面积	成灾面积	播种面积
1980	53.87	30.33	545.13	1994	134.60	84.40	511.56
1981	57.74	24.87	542.01	1995	111.96	74.82	513.39
1982	60.12	27.05	540.34	1996	123.67	77.26	515.53
1983	80.20	47.30	542.32	1997	75.16	46.21	507.48
1984	64.90	31.40	539.03	1998	213.40	146.83	513.52
1985	31.00	17.00	516.14	1999	137.48	86.84	502.99
1986	36.00	20.00	521.00	2000	29.28	12.81	480.28
1987	56.00	20.00	515.09	2001	42.68	20.70	465.26
1988	74.46	40.10	519.63	2002	171.19	95.23	452.98
1989	76.84	42.28	536.56	2003	91.15	53.06	508.22
1990	70.47	23.63	536.52	2004	132.56	85.84	521.52
1991	63.00	30.80	524.32	2005	59.41	38.02	529.58
1992	71.47	17.53	468.84	2006	93.90	62.10	529.59
1993	122.73	81.00	507.74	2007	117.33	81.44	529.59

注:大部分数据来源于《湖南统计年鉴》(1980~2008),其中1981、1982、1988、1989年数据缺失,通过spss软件进行修补.

### 1.2 异常指数

由于每年农作物播种面积、受灾面积和成灾面积都不相同,仅用受灾或成灾面积的绝对值来分析灾害的时间规律和进行预测,不能准确反映灾害的严重程度.为此,定义受灾率为当年洪涝灾害中农作物的受灾面积与当年农作物的总播种面积的比值;成灾率为当年农作物的成灾面积与当年农作物的总播种面积的比值.为了更准确地把握灾害整体变化趋势,本文对受灾率和成灾率做标准化技术处理,并称标准化后的数据为异常指数.受灾率(成灾率)异常指数的表达式为:

$$\xi_i = \frac{M_i - M}{\delta} \quad (1)$$

式中, $\xi_i$ 为第*i*年农作物受灾率异常指数(AAI)或成灾率异常指数(AIS), $M_i$ 为第*i*年农作物受灾率或成灾率, $M$ 为农作物平均受灾率或成灾率, $\delta$ 为农作物受灾率或成灾率标准差.根据表1可计算得到受灾率、成灾率、受灾率异常指数、成灾率异常指数(见表2).

根据表2湖南省洪涝灾害受灾率异常指数和成灾率异常指数随时间的变化具有明显的同步性,它们的相关系数为0.970694,说明旱灾一旦发生,则很难抵御和防御.同时,运用移动平均方法,进行趋势分析,发现受灾异常指数和成灾异常指数都呈现上升趋势.

表 2 1980~ 2007年湖南洪涝灾害异常指数表  
Table 2 Hunan flood disaster anomalous indices in 1980- 2007

年份	受灾率	成灾率	受灾率 异常指数 $X^{sz}$	成灾率 异常指数 $X^{cz}$	年份	受灾率	成灾率	受灾率 异常指数 $X^{sz}$	成灾率 异常指数 $X^{cz}$
1980	0.10	0.06	-0.810611	-0.669811	1994	0.26	0.16	1.034266	1.027319
1981	0.11	0.05	-0.724066	-0.821205	1995	0.22	0.15	0.528551	0.728633
1982	0.11	0.05	-0.670704	-0.756526	1996	0.24	0.15	0.773361	0.792667
1983	0.15	0.09	-0.259640	-0.179743	1997	0.15	0.09	-0.257059	-0.120182
1984	0.12	0.06	-0.568199	-0.629322	1998	0.42	0.29	2.746049	2.904387
1985	0.06	0.03	-1.245753	-1.022261	1999	0.27	0.17	1.148873	1.146306
1986	0.07	0.04	-1.144344	-0.937701	2000	0.06	0.03	-1.235705	-1.119630
1987	0.10	0.04	-0.699398	-0.930819	2001	0.09	0.04	-0.890118	-0.842853
1988	0.14	0.08	-0.311275	-0.930819	2002	0.38	0.21	2.323261	1.729646
1989	0.14	0.08	-0.321066	-0.310485	2003	0.18	0.10	0.093681	0.086850
1990	0.13	0.04	-0.445392	-0.849781	2004	0.25	0.16	0.933942	1.021359
1991	0.12	0.06	-0.571083	-0.621787	2005	0.11	0.07	-0.660435	-0.419046
1992	0.15	0.04	-0.208552	-0.95303	2006	0.18	0.12	0.070747	0.286560
1993	0.24	0.16	0.794064	0.942649	2007	0.22	0.15	0.567603	0.853413

## 2 湖南重大洪涝灾害重灾年景预测

### 2.1 灰色灾变预测 $G(1, 1)$ 模型

洪涝灾害是一个灰色系统, 可以根据灰色系统理论与方法, 建立重灾年份灰色灾变  $GM(1, 1)$  预测模型. 设原始数据序列为  $X$ :

$$X = \{x(i)\}, i = 1, 2, \dots, n$$

给定一个阈值  $\xi$  将大于  $\xi$  的数据组成新的数据序列

$$X_\xi = \{x(k)\}, k = 1, 2, \dots, m \leq n$$

称为  $X$  的灾变序列. 相应地, 灾变日期序号序列  $Q^{(0)}$  及其依次累加  $1-AGO$  序列  $Q^{(1)}$  分别为

$$Q^{(0)} = \{q(k)\}, Q^{(1)} = \{q^{(1)}(k)\}$$

其中  $q^{(1)}(k) = \sum_{i=1}^k q(i), k = 1, 2, \dots, m$ . 则  $GM(1, 1)$  模型的白化形式为

$$\frac{dq^{(1)}(t)}{dt} + aq^{(1)}(t) = u \quad (2)$$

其中,  $a, u$  为待识别的灰参数,  $a$  为模型的发展系数.

式 (2) 的离散形式为

$$\hat{q}^{(1)}(k+1) = \left[ q(1) - \frac{u}{a} \right] e^{-ak} + \frac{u}{a} \quad (3)$$

其中  $\begin{bmatrix} a \\ u \end{bmatrix} = (B^T B)^{-1} B^T Y$

$$Y = \{q(2), q(3), \dots, q(m)\}^T$$

$$B = \begin{bmatrix} -\frac{1}{2}(q^{(1)}(2) + q^{(1)}(1)) & 1 \\ -\frac{1}{2}(q^{(1)}(3) + q^{(1)}(2)) & 1 \\ \dots & \dots \\ -\frac{1}{2}(q^{(1)}(m) + q^{(1)}(m-1)) & 1 \end{bmatrix}$$

设  $q^{(1)}(k)$  是由式 (3) 得到的模型计算值, 由  $\hat{q}^{(1)}(k)$  累减:

$$\hat{q}(k) = \hat{q}^{(1)}(k) - \hat{q}^{(1)}(k-1) \quad (4)$$

得变量  $\hat{q}(k)$  的  $GM(1, 1)$  模型计算值  $\hat{q}(k)$  即

$$\hat{q}(k) = \left[ \hat{q}(1) - \frac{u}{a} \right] (1 - e^{-a}) e^{-a(k-1)} \quad (5)$$

其中  $\hat{q}(1) = \hat{q}^{(1)}(1), k = 2, 3, \dots, m$ .

为保证模型的可行度, 对模型进行残差检验, 包括小误差概率  $p$  和残差的方差比  $c$ . 当  $c < 0.35$  且  $p > 0.95$  时, 模型预测精度高, 可用来进行预测.

### 2.2 湖南洪涝灾害灰色灾变预测模型及精度检验

根据本文计算了湖南省 1980-2007 年的异常指数值, 据此将湖南省洪涝灾害划分为一般灾害、轻灾、重灾、特大灾害四个等级. 划分标准如下: 取  $\xi \leq 0$  时为一般洪涝灾害;  $0 < \xi < 0.5$  时为轻洪涝灾害;  $0.5 \leq \xi < 1$  时为重大洪涝灾害;  $1 \leq \xi$  时为特大洪涝灾害.

根据  $G(1, 1)$  模型, 取阈值  $\xi = 0$  记受灾异常

指数值  $X_{\xi}^{sz} > 0$  的年份序号序列为  $Q_{sz}^{(0)}(0)$ , 成灾异常指数值  $X_{\xi}^{cz} > 0$  得年份序号序列为  $Q_{cz}^{(0)}(0)$ ; 取阈值  $\xi = 1$  记受灾异常指数值  $X_{\xi}^{sz} \geq 1$  得年份序号序列为  $Q_{sz}^{(1)}$ , 成灾异常指数值  $X_{\xi}^{cz} \geq 1$  得年份序号序列为  $Q_{cz}^{(1)}$ . 根据表 2 可得:

$$Q_{sz}^{(0)}(0) = \{14, 15, 16, 17, 19, 20, 23, 24, 25, 27, 28\},$$

$$Q_{sz}^{(0)}(1) = \{15, 19, 20, 23\}$$

$$Q_{cz}^{(0)}(0) = \{14, 15, 16, 17, 19, 20, 23, 24, 25, 27, 28\}$$

$$Q_{cz}^{(0)}(1) = \{15, 19, 20, 23, 25\}$$

依据上述方法, 对  $Q_{sz}^{(0)}(0)$ 、 $Q_{sz}^{(0)}(1)$ 、 $Q_{cz}^{(0)}(0)$ 、 $Q_{cz}^{(0)}(1)$  分别建立 GM(1, 1) 预测模型, 得:

$$\hat{q}_{sz}(k) = 207.757937(1 - e^{-0.070824})e^{0.070824(k-1)} \quad (6)$$

$$\hat{q}_{cz}(k) = 180.624999(1 - e^{-0.098276})e^{0.098276(k-1)} \quad (7)$$

$$\hat{q}_{cz}(k) = 207.757937(1 - e^{-0.070824})e^{0.070824(k-1)} \quad (8)$$

$$\hat{q}_{cz}(k) = 182.809524(1 - e^{-0.097235})e^{0.097235(k-1)} \quad (9)$$

模型经检验均符合标准, 而且, 各预测模型的发展系数  $-a$  均小于 0.3 可用于长期预测.

### 2.3 湖南省未来 10 年重灾年份预测

根据公式 (6) ~ 公式 (9), 计算得到未来 10 年湖南省洪涝灾害受灾年份和成灾年份的预测结果 (表 3 表 4). 模型预测表明, 湖南省洪涝灾害将出现 3 个重灾年份, 分别在 2012 年, 2015 年, 2019 年, 以及 2 个特大灾害年份, 分别是 2013 年, 2016 年. 这一数据与湖南省洪涝灾害的时间规律非常吻合.

表 3 湖南省洪涝灾害未来 10 年受灾年份预测表

Table 3 Prediction of flood-affected area in Hunan in the coming 10 years

阈值	预测年份	序号	预测值	残差	相对误差
$0 < \xi < 0.5$ (轻灾)	2010	31	30.959 334	-0.040 666	0.001 310
	2017	38	38.288 370	0.288 370	0.007 589
$0.5 \leq \xi < 1$ (重灾)	2012	33	33.106 145	0.106 145	0.003 217
	2015	36	36.321 858	0.321 858	0.008 941
	2019	40	39.849 924	-0.150 076	0.003 750
$1 \leq \xi$ (特大灾害)	2013	34	33.637 698	-0.362 302	0.010 660
	2016	37	37.111 378	0.111 378	0.003 010

表 4 湖南省洪涝灾害未来 10 年成灾年份预测表

Table 4 Prediction of flood-suffering area in Hunan in the coming 10 years

阈值	预测年份	序号	预测值	残差	相对误差
$0 < \xi < 0.5$ (轻灾)	2010	31	30.959 334	-0.040 666	0.001 312
	2017	38	38.288 370	0.288 370	0.007 589
$0.5 \leq \xi < 1$ (重灾)	2012	33	33.106 145	0.106 145	0.003 217
	2015	36	36.321 858	0.321 858	0.008 941
	2019	40	39.849 924	-0.150 076	0.003 750
$1 \leq \xi$ (特大灾害)	2013	34	33.456 439	-0.543 561	0.015 987
	2016	37	36.872 995	-0.127 005	0.003 433

## 3 结论

根据上述研究, 可以得出如下基本结论: 湖南省洪涝灾害的灰色灾变预测表明, 未来 10 年, 湖南省洪涝灾害将出现 3 个重灾年份, 分别 2012 年, 2015 年, 2019 年. 2 个特大灾害年份, 分别是 2013 年, 2016 年. 今后 10 年湖南省洪涝灾害较轻、重灾相隔 3~4 年左右. 湖南洪涝灾害依然比较严重.

针对湖南省的实际, 自然灾害综合防治应侧重以下几个方面: 一是加强区域自然灾害系统的综合研究, 进一步揭示洪涝灾害的形成和相互作用机制, 以及灾害对区域经济社会的深刻影响和综合作用特点, 加强灾害趋势分析和风险评估, 为区域规划和政府决策提供科学依据; 二是加强防灾减灾教育与培训, 提高社区居民减灾意识, 实现从面对自然灾害的被动防御向综合的灾害管理方

(下转第 73 页)

表 2 当  $c = 1/2$  在  $t = 1/2$  点处, 数值解与精确解的误差及收敛率

**Table 2 Error between numerical solutions and exact solutions as well as convergence rate of numerical solutions when letting  $c = 1/2$  and  $t = 1/2$**

$h$	$f^h(t)$	$\tilde{f}^h(t)$	$e^h(t)$	$r^h(t)$	$\tilde{e}^h(t)$	$\tilde{r}^h(t)$
0.1	0.607 267 130	0.606 530 212	0.000 736 470	4.007 294 285	0.000 000 446	16.01
0.05	0.606 714 442	0.606 530 631	0.000 183 782	4.001 823 236	0.000 000 027	
0.025	0.606 576 584		0.000 045 924			

数值结果表明递推公式在数值求解中的有效应用。

参考文献:

[1] Dismen W, Kunoth A. Multilevel preconditioning [J]. Numer Math, 1992, 63(1): 315-344  
 [2] Jaffard S. Wavelet methods for fast resolution of elliptic problems [J]. SIAM Journal on Numerical Analysis, 1992, 29(4): 965-986  
 [3] Albert B K. Wavelets and other bases for fast numerical

linear algebra [M]. Wavelets: A tutorial in theory and applications, New York: Academic, 1992.

[4] Jürgens M. A Semigroup Approach to the Numerical Solution of Parabolic Differential Equations [D]. Nordrhein-Westfälischer RWTH Aachen (Aachen Institut für Geometrie und Praktische Mathematik), 2005.  
 [5] Jürgens M. Adaptive application of the operator exponential [J]. Journal of Numerical Mathematics, 2006, 14(3): 217-246

(上接第 60 页)

向的转变; 三是建立和完善区域灾害信息系统、预警系统和应急救助系统, 借助先进科技手段, 将灾害监测、数据收集整理、评估、预测、管理、应急救助有机结合起来, 以提高区域的综合防灾减灾能力; 四是加强山、河、湖、库的综合治理, 改善和优化生态环境, 从根本上优化生态环境, 促进生态平衡, 将洪涝灾害控制在最低限度。

参考文献:

[1] 毛德华. 湖南省主要自然灾害及减灾策略 [J]. 灾害学, 1991, 6(4): 38-42  
 [2] 李晓青. 湖南主要自然灾害及防治对策 [J]. 经济地理, 1991, 11(1): 70-75  
 [3] 谷太, 焦启运. 湖南省的自然灾害与防治对策 [J]. 科技进步与对策, 1999(2): 147-150  
 [4] 谢炼, 郭元勋. 湖南省洪涝灾害成因及防治对策 [J]. 中国减灾, 1992, 2(3): 43-46  
 [5] 李吉顺, 杨秀英, 陈家田. 湖南省强降雨过程的时间变化与洪涝灾害 [J]. 中国减灾, 1998, 8(4): 33-35  
 [6] 杨燕, 彭迪刚. 90 年代湖南水灾特征及其成因剖析 [J]. 长沙电力学院学报, 2000, 15(3): 91-93  
 [7] 杨志荣, 邓兴. 湖南省近 500 年洪涝灾害时空分布规律 [J]. 湖南师范大学自然科学学报, 1994, 17(4): 76-83

[8] 贺建林. 近五十年来湖南省洪涝灾害及其时空分布 [J]. 衡阳师范学院学报, 1999, 20(60): 83-87.  
 [9] 贺建林. 湖南省水旱灾害及其时空分布 [J]. 长江流域资源与环境, 1997, 6(2): 187-192  
 [10] 刘会平, 梁红梅, 倪研贤, 等. 广东农业水灾的年份分布规律及重灾年份预测 [J]. 热带地理, 2007, 27(3): 203-206  
 [11] 梁红梅, 刘会平, 宋建阳, 等. 广东农业旱灾的时间分布规律及重灾年份预测 [J]. 自然灾害学报, 2006, 15(4): 79-83  
 [12] 傅泽强, 蔡运农, 李军. 我国农业水旱灾害的时间分布及重灾年景趋势预测 [J]. 自然灾害学报, 2002, 11(2): 7-13  
 [13] 王铮. 近 40 年来中国自然灾害的时空统计特征 [J]. 自然灾害学报, 1994, 3(2): 16-21.  
 [14] 周长锋, 龚日朝. 基于傅里叶级数的自然灾害损失预测模型研究——以湖南省自然灾害经济损失预测为例 [J]. 中国安全科学学报, 2009, 19(8): 5-9.  
 [15] 龚日朝, 罗钰婕, 王芳, 等. 湖南旱灾灰色灾变预测模型与实证研究 [J]. 湖南科技大学学报 (社会科学版), 2010, 13(1): 86-90  
 [16] 湖南统计局. 湖南统计年鉴: 1980-2008 年 [M]. 北京: 中国统计出版社, 1980-2008  
 [17] 中国统计局. 中国统计年鉴: 1984-1989 年 [M]. 北京: 中国统计出版社, 1984-1989.