

The Comprehensive Evaluation of Geological Disasters Based on Grey Correlation Analysis

Xin Zhang¹, Yi Zhu²

¹School of Geomatics, Liaoning Technical University, Fuxin Liaoning

²Chinese Academy of Surveying and Mapping, Beijing

Email: Xin_ang88052@163.com

Received: Apr. 24th, 2015; accepted: May 7th, 2015; published: May 13th, 2015

Copyright © 2015 by authors and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

Abstract

The paper is based on the data of national geological disasters in 2012 and 2000-2012. It uses the grey correlation analysis method to calculate the weight of each index, and then establishes the assessment model of grey correlation to evaluate geological disasters in 2012 comprehensively and analyzes the trend of disasters according to the time sequence. Results show that: the top three provinces suffering geological disasters were Sichuan, Liaoning and Hunan in 2012, of which Sichuan province was the most serious. In macro level, the geological hazards present the rule of cyclical interannual variation law, but from 2000 to 2012, the geological disasters declined steadily and slightly.

Keywords

Geological Disaster, Grey Correlation Analysis, Trend Analysis, Comprehensive Evaluation

基于灰色关联分析的地质灾害综合评价

张新¹, 朱翊²

¹辽宁工程技术大学测绘与地理科学学院, 辽宁 阜新

²中国测绘科学研究院, 北京

Email: Xin_ang88052@163.com

收稿日期：2015年4月24日；录用日期：2015年5月7日；发布日期：2015年5月13日

摘要

本文分别以2012年全国各省市地质灾害数据以及2000年~2012年全国地质灾害数据为基础，利用灰色关联分析法求取关联度，作为地质灾害综合评价中确定各项指标权重的依据，进而建立灰色关联灾情评估模型，对2012年中国各省市发生的地质灾害进行综合评价以及灾害等级划分，对2000~2012年地质灾害发生情况进行综合评价以及趋势分析。结果表明：2012年受地质灾害较严重的省份位居前三的依次是四川、辽宁、湖南，尤以四川省较为突出；地质灾害存在周期性年际变化规律，但是从2000~2012年的时间轴来看，地质灾害总体呈现平稳略微下降的趋势。

关键词

地质灾害，灰色关联分析，趋势分析，综合评价

1. 引言

2014年，我国先后发生了“6.30”云南福贡大型滑坡灾害、“7.16”湖南安化大型滑坡灾害等特大型地质灾害，专家认为这与我国山区较多、地形复杂、构造发育、地质灾害隐患分布广泛有直接的关联[1]。地质灾害制约经济可持续发展[2]的同时，给国家的防灾减灾工作带来严峻考验，因此，及时、客观、有效的灾情评估评价工作，是一切灾害管理工作的出发点[3]，也是制定防灾减灾决策的可靠依据[4]。

在地质灾害领域，众多专家学者做了大量的研究，尤其以区域性地质灾害或重大专题性地质灾害的研究居多，如陈丽等人采用主成分分析法对汶川地震36个严重受灾县市进行综合分析，找到主要灾情指标，并对36县市灾情严重程度进行排序[5]；邱海军以3S技术为手段，对区域滑坡崩塌地质灾害的易发性评价结果进行比较，指出人工神经网络模型模拟计算结果更客观，并探索了地质灾害事件的频率概率分布[6]，吕军、尹伟峰运用灰色关联分析模型，分析了湖北省矿山开发引起的地质灾害，指出湖北省各类地质灾害中泥石流对人的生命威胁最大，滑坡对直接经济损失影响最大，并分别从微观和宏观上提出防治的对策和建议[7]；崔鹏等人建立绝对评估和相对评估结果对比的灾情综合评估模式，将模型应用于雅安暴雨泥石流灾情评估[8]；唐川等针对城市突发性地质灾害应急系统进行探讨，为城市地质灾害快速应急响应与指挥决策提供依据[9]。

本文采用GIS技术作为支撑，以《中国统计年鉴2013》作为数据来源，通过灰色关联分析确定权重系数，建立综合评价模型，从宏观角度分析了2012年各省市地质灾害受灾情况、2000~2012年地质灾害发展趋势，为防灾减灾提供一定的参考。

2. 灰色关联分析模型

灰色系统理论是我国学者邓聚龙教授首创的一种系统科学理论，自其诞生以来，就广泛应用于地理学研究之中，其中，灰色关联分析是灰色系统理论中最重要的方法之一，它的产生克服了传统的统计分析只能定量分析的不足，为分析地理学中的灰色关系提供了一种新方法[10]。其主要原理如下：

1) 以原始数据为基础，确定参考序列 $U_0 = \{y(k) | k = 1, 2, 3, \dots, n\}$ ，以及比较序列 $U_i = \{x(k) | k = 1, 2, 3, \dots, N\}$ 。

2) 数据无量纲化：由于各指标存在单位差异、数量级不同等量纲性问题，无法进行准确的比较分析，

只有无量纲后才能得到统一的指标。数据无量纲化有初值化法、均值化法、平移化法、极大化法、极小化法、均值化后再平移法等多种方法，好的数据无量纲化方法应该保持原始数据的一致性和关联系数的一致性[11]，综合衡量后，本文采用最小值标准化法对数据序列进行归一化处理，即以单项参数值除以同类参数的最大值，得到归一到[0-1]之间的单项评价分数：

$$X'_i = \frac{x_i(k)}{\max(x_i(k))}, Y'_i = \frac{y_i(k)}{\max(y_i(k))} \quad (1)$$

3) 求关联系数的两极差：

① 求参考序列与比较序列的差序列： $\Delta_i(k) = |Y'_i(k) - X'_i(k)|$ ；

② 从差序列 $\Delta_i(k)$ 中找出最大值和最小值： $\max |Y'_i(k) - X'_i(k)|$ ， $\min |Y'_i(k) - X'_i(k)|$ ；

③ 从不同列的最值中分别找到最大值和最小值： $\text{Max} \max |Y'_i(k) - X'_i(k)|$ ， $\text{Min} \min |Y'_i(k) - X'_i(k)|$ 。

4) 求关联系数：

$$\mathcal{E}_i(k) = \frac{\min \min |Y'_i(k) - X'_i(k)| + p * \max \max |Y'_i(k) - X'_i(k)|}{|Y'_i(k) - X'_i(k)| + p * \max \max |Y'_i(k) - X'_i(k)|} \quad (0 \leq p \leq 1) \quad (2)$$

p 为界于0到1之间的分辨率系数，当 p 取值越小，分辨率就越大，一般认为 $p \leq 0.5463$ 即满足要求，本文 $p = 0.5$ 。

5) 计算关联度：关联度的大小反应参考序列与比较序列变化的趋势一致性，当关联度越大，说明该比较序列对参考序列的影响越大：

$$r_i = \frac{1}{N} \sum_{k=1}^N \mathcal{E}_i(k) \quad (3)$$

6) 计算权重系数：权重系数用相应指标的关联度与所有指标关联度的和做商得到：

$$a_i = \frac{r_i(k)}{\sum_{k=1}^N r_i(k)} \quad (4)$$

7) 综合评价分数：综合评价分数是相应指标的单项评价分数与其权重的乘积再累加得到，综合评价分数

$$(Q) = \sum_{i=1}^N (\text{单项评价分数} * a_i) \quad (5)$$

3. 实例分析

3.1. 2012年中国地质灾害综合评价

1) 源数据的选择与处理：

选取2012年中国各省市发生的地质灾害(滑坡、崩塌、泥石流、地面塌陷)以及人员伤亡、直接经济损失数据，如表1(部分数据从略)所示。在地质灾害评价过程中，通常以直接经济损失、人员伤亡作为评价地质灾害严重程度的重要参数，所以本文参照陈香等人的研究，将人员伤亡折算成经济损失数据，即死亡1人折合人民币10万元[12]，并采用层次分析法(AHP)，将死亡人数与直接经济损失合计成总损失(L)，总损失的计算功能如下：

$$L = \sum_{i=1}^2 A_i * P_i \quad (6)$$

Table 1. The Chinese geological disasters statistics in 2012
表 1. 2012 年中国地质灾害统计表

年份	地质灾害(处)				死亡人数 M (人)	直接经济损失 A2 (万元)	总损失 L(万元)
	滑坡	崩塌	泥石流	地面塌陷			
湖南	3037	262	35	56	19	41,697	41,509
广东	101	103	7	20	21	4308	4117
广西	103	238	4	49	11	10,044	9936
海南	2	5	0	0	0	13	13
重庆	449	116	13	10	21	13,571	13,367
四川	2267	403	466	11	78	125,017	124,246
.....							

*2013 年中国统计年鉴(不包括港澳台数据)。

其中, $A_1 = M \times 10$ 万/人, $P_1 = \frac{A_1}{A_1 + A_2}$, $P_2 = \frac{A_1}{A_1 + A_2}$, M 代表死亡人数, A_2 代表直接经济损失。将总损失(L)数据作为参考序列 U_0 , 其它数据作为比较数据序列, 滑坡数据序列设为 U_1 , 崩塌数据序列设为 U_2 , 泥石流数据序列设为 U_3 , 地面塌陷数据序列设为 U_4 。

2) 数据无量纲化处理:

按照灰色关联分析公式(1), 对原始数据进行无量纲化处理, 依次得到 6 项指标的单项评价分数, 如表 2 所示。

3) 计算关联度与权重系数:

参照公式(2)、(3)、(4)计算比较序列与参考序列的关联度(r_i), 以及各项指标在地质灾害综合评价中的权重系数(a_i), 结果如表 3 所示。

4) 综合评价结果分析:

参照公式(5)计算各省市的综合评价分数(Q), 结果见表 4; 按照自然裂点法将地质灾害对综合得分划分为五个等级, 用 G(1~5)表示, 值越大说明灾害越严重, 分别对应较小灾、小灾、中灾、重灾、极重灾, 各省市所属等级(G)如表 4 所示。

由表 3 可以看出, 2012 年全国各省市发生的地质灾害中, 各单项指标与总损失的关联度序列为泥石流 > 滑坡 > 崩塌 > 地面塌陷, 权重系数序列为总损失 > 泥石流 > 滑坡 > 崩塌 > 地面塌陷, 可见泥石流、滑坡与总损失的关联度最大, 二者在数值上相差无几, 并且远高于崩塌和地面塌陷, 说明在各类地质灾害当中, 泥石流和滑坡与总损失的走势一致性最强, 并且远高于其他类地质灾害。

全国 31 个省市地质灾害综合评价的平均分为 0.125, 有九个省市超过了平均分, 其中综合评价分数最高的是四川省, 高达 0.699, 几乎是排名第二(辽宁 $Q = 0.559$)的 1.25 倍, 可见其遭受地质灾害的严重程度; 而上海市地质灾害综合评价得分均为 0, 这并不能说明完全没有发生地质灾害或地质灾害未带来损失, 只能说明受到地质灾害影响比较小甚至可以忽略不计; 全国灾害等级分布如图 1 所示, 颜色越深说明综合得分越高。

2012 年遭受地质灾害小灾或较小灾的省份占 61.3%, 受中灾或重灾的省份占 29.0%, 受极重灾的省市占 9.7%, 图 1 是基于 GIS 自然裂点图, 颜色越深说明地质灾害综合评价得分越高, 受灾越严重, 该图形象直观的展示出全国各省市地质灾害受灾严重程度的分布情况。

Table 2. The single evaluation score of geological disasters in 2012
表 2. 2012 年地质灾害单项评价得分

省市	地质灾害(处)				总损失(L)
	滑坡	崩塌	泥石流	地面塌陷	
湖南	1.000	0.650	0.075	1.000	0.176
广东	0.033	0.256	0.015	0.357	0.018
广西	0.034	0.591	0.009	0.875	0.042
海南	0.001	0.012	0.000	0.000	0.000
重庆	0.148	0.288	0.028	0.179	0.057
四川	0.746	1.000	1.000	0.196	0.528
.....					

Table 3. The index weight and coefficients of correlation of the geological disasters in 2012
表 3. 2012 年地质灾害各指标关联度及权重系数

影响因素	滑坡	崩塌	泥石流	地面塌陷	总损失
关联度 r_i	0.915	0.806	0.919	0.782	1.00
权重 a_i	0.207	0.182	0.208	0.177	0.226

Table 4. The comprehensive evaluation and hierarchy of the provinces
表 4. 各省市综合评价得分及等级划分

省市	综合评价分数(Q)	灾害等级(G)	省市	综合评价分数(Q)	灾害等级(G)
北京	0.012	1	湖北	0.200	4
天津	0.005	1	湖南	0.558	5
河北	0.029	1	广东	0.124	3
山西	0.010	1	广西	0.281	4
内蒙古	0.004	1	海南	0.002	1
辽宁	0.559	5	重庆	0.133	3
吉林	0.011	1	四川	0.699	5
黑龙江	0.001	1	贵州	0.068	2
上海	0.000	1	云南	0.231	4
江苏	0.012	1	西藏	0.024	1
浙江	0.174	3	陕西	0.052	2
安徽	0.124	3	甘肃	0.064	2
福建	0.038	2	青海	0.007	1
江西	0.231	4	宁夏	0.001	1
山东	0.041	2	新疆	0.103	3
河南	0.088	2	平均分	0.125	

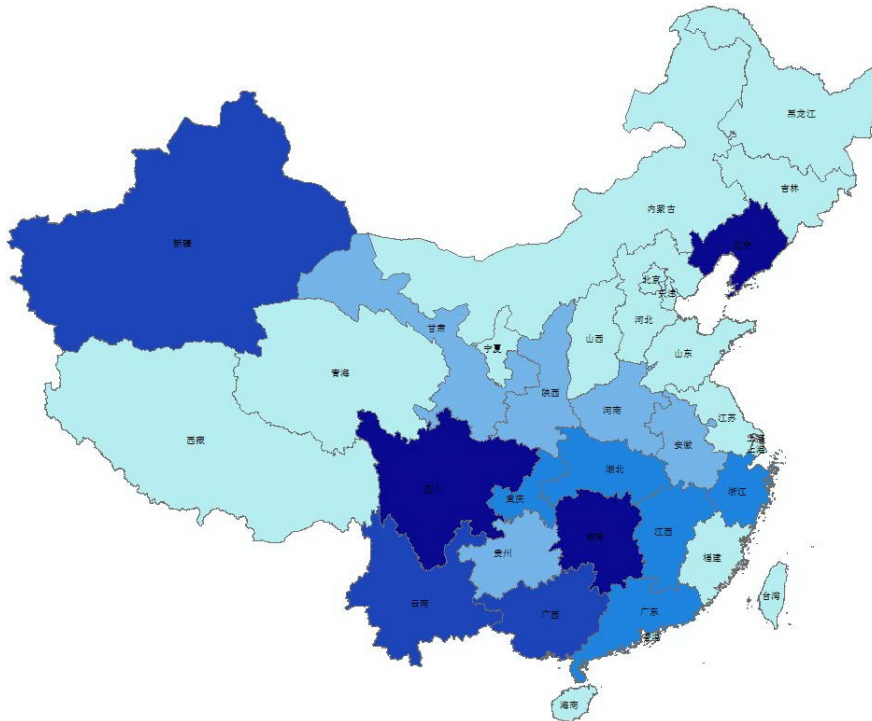


Figure 1. Curve: the classification figure of all cities in China
图 1. 2012 年全国各省市地质灾害综合评价分级图

3.2. 2000~2012 年中国地质灾害趋势分析

1) 源数据的选择与处理:

选取 2000~2012 年中国地质灾害(滑坡、崩塌、泥石流、地面塌陷)以及人员伤亡、直接经济损失数据,将地质灾害直接经济损失数据作为参考序列 U_0 , 其它数据作为比较数据序列,原始数据序列如表 5 所示。

2) 地质灾害综合评价得分:

利用灰色关联分析理论对 2000~2012 年发生的地质灾害进行灰色关联分析,其关联度以及权重系数如表 6 所示,各年份地质灾害综合评价得分如表 7 所示,历年地质灾害综合得分的柱状图如图 2 所示,柱状图的折线走势代表了历年地质灾害灾情走势。

3) 结果分析:

综合评价是对历年受灾程度的一个客观全面衡量,2000~2012 这 13 年地质灾害综合评价的平均分为 0.501,超过平均分的年份包括 2002, 2003, 2006, 2010, 2012 五个年份,占统计年份总数的近 40%;按得分对所有年份进行排序,位居前三的分别是 2002 年、2006 年、2010 年,受灾最轻的是 2009 年。

地质灾害综合评分趋势图显示,地质灾年际变化明显,存在“周期性”现象,即每经历一次灾害高峰年,在接下来的两三年内灾害的严重性存在明显的下降走势,然后又又会迎来下一个灾害高峰年,如 2002 年、2006 年、2010 年均受灾严重,但在随后的 2003~2005 年、2007~2009 年、2011~2012 年,受灾严重程度均明显下降。客观分析发现,这可能与地壳运动规律、国家以及地方的政策倾向、资金投入存在某种潜在联系。

由图 2 综合评分趋势图可以看出,灾害“高峰年”的综合评分排序为 2002 年 > 2006 年 > 2010 年,灾害“低谷年”综合排序为 2001 年 > 2005 年 > 2009 年,宏观看,灾害“高峰年”受灾程度呈平稳略微

Table 5. The national geological disaster statistics from 2000 to 2012

表 5. 2000~2012 年全国地质灾害统计表

年份	滑坡(处)	崩塌(处)	泥石流(处)	地面塌陷(处)	人员伤亡(人)	直接经济损失(万元)	总损失(万元)
2000	13,431	2945	1958	347	1179	494,201	482,960
2001	3034	583	1539	554	788	348,699	341,167
2002	31,247	3097	4976	521	853	509,740	501,491
2003	10,240	2604	1549	574	767	504,325	496,885
2004	9130	2593	1157	445	734	408,828	401,747
2005	9367	7654	566	137	578	357,678	352,082
2006	88,523	13,160	417	398	663	431,590	425,161
2007	15,478	7722	1215	578	598	247,528	241,831
2008	13,450	8080	843	454	656	326,936	320,634
2009	6310	2378	1442	326	331	190,109	186,913
2010	22,250	5688	1981	478	2244	638,509	617,592
2011	11,504	2445	1356	386	244	413,151	410,740
2012	11,112	2152	952	364	293	625,253	622,350

*2013 年中国统计年鉴。

Table 6. The correlation and weight of the geological disasters from 2000 to 2012

表 6. 2000~2012 年地质灾害数据关联度及权重系数表

影响因素	滑坡	崩塌	泥石流	地面塌陷	总损失
关联度 r_i	0.490	0.572	0.574	0.700	1.000
权重 a_i	0.147	0.171	0.172	0.210	0.300

Table 7. The comprehensive score of geological disasters from 2000 to 2012

表 7. 2000~2012 年地质灾害综合得分表

年份	得分	年份	得分
2000	0.487	2007	0.495
2001	0.431	2008	0.476
2002	0.695	2009	0.300
2003	0.552	2010	0.650
2004	0.444	2011	0.436
2005	0.354	2012	0.511
2006	0.682	平均分	0.501

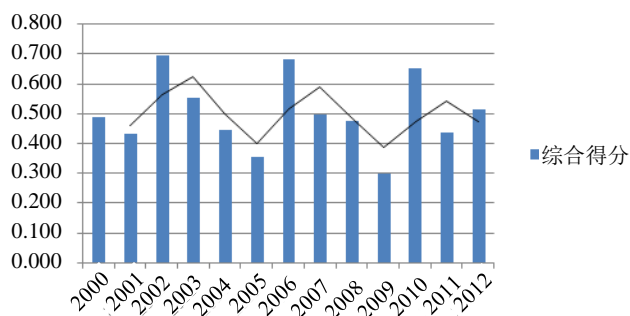


Figure 2. Curve: the trend chart of geological disasters from 2000 to 2012

图 2. 2000~2012 年地质灾害综合评分趋势图

下降的趋势,灾害“低谷年”受灾程度则呈现较明显的下降趋势,总体来说,在我国地质灾害受灾程度有降低的趋势。

4. 结论

本文在数据来源上,选取2013年中国统计年鉴数据中类地质灾害数据,包括地质灾害发生多少处、人员伤亡情况、直接经济损失等作为统计分析指标,运用灰色关联分析法确定指标的灰色关联度,进而确定各指标权重系数,最终建立地质灾害综合评价模型,评价结果采用GIS分级裂点图、表格、柱状图的形式显示。整个操作流程里,数据易于获取,权重系数确定具有客观性,评价模型具有说服力,评价方式简单易行,评价结果一目了然,满足灾情评价及时、客观、有效的需求,为地质灾害综合评价以及其他灾害评估提供经验,为防灾减灾提供辅助参考。

本文仍然存在不足之处:各类地质灾害数据采用“处”作为统计单元,忽略了每处地质灾害受灾面积,而受灾面积的大小则一定程度上决定着灾害的损失轻重;仅从宏观上对受灾的严重程度进行排序,并未从微观上具体分析是哪些因素(地势、地貌、坡度、植被等)在地质灾害中占主导地位,哪些因素(台风、洪涝等气象灾害)可能诱发或加剧地质灾害的爆发,以及如何在灾害发生前后进行防范和治理,才能将损失降到最低,这些问题也将是以后进一步分析研究的重点所在。

参考文献 (References)

- [1] 周勇刚 (2015) 2015年地质灾害防治形势严峻. 中华工商时报, 2015-01-07004.
- [2] 杨秀梅 (2008) 基于GIS的地质灾害危险性评价. 博士论文, 兰州大学, 兰州.
- [3] 袁艺 (2010) 自然灾害灾情评估研究与实践进展. 地球科学进展, 1, 22-32.
- [4] 王晓强 (2007) 滑坡地质灾害评价方法分析. 岩土工程界, 10, 78-80.
- [5] 陈丽, 张朝元 (2012) 基于主成分分析的汶川地震灾情的综合评价. 洛阳师范学院学报, 2, 7-10.
- [6] 邱海军 (2012) 区域滑坡崩塌地质灾害特征分析及其易发性和危险性评价研究. 博士论文, 西北大学, 西安.
- [7] 吕军, 尹伟锋 (2013) 湖北省矿山地质灾害损失的灰色关联分析. 安全与环境工程, 1, 16-20.
- [8] 崔鹏, 杨坤, 韦方强, 胡凯衡 (2002) 泥石流灾情综合评估模式. 自然灾害学报, 1, 20-27.
- [9] 唐川 (2005) 城市突发性地质灾害应急系统探讨. 中国地质灾害与防治学报, 3, 104-110.
- [10] 徐建华 (2009) 现代地理学中的数学方法. 高等教育出版社, 北京.
- [11] 魏海宁 (2011) 灰色关联度方法在灾害性天气评估中的应用研究. 博士论文, 南京信息工程大学, 南京.
- [12] 陈香, 沈金瑞, 陈静 (2007) 灾损度指数法在灾害经济损失评估中的应用——以福建台风灾害经济损失趋势分析为例. 灾害学, 2, 31-35.