

中国地质灾害风险评估集对态势分析方法

龚士良

(中国地质调查局 地面沉降研究中心,上海 200072)

摘要:地质灾害严重影响经济社会可持续发展,风险评估是灾害防治的重要环节。阐述了地质灾害的属性与特点,概要介绍了我国地质灾害灾情现状。根据集对态势分析,剖析了地质灾害孕育过程,确定了风险评估的分区原则以及集对分析同一度、差异度、对立度的指标选取与赋值标准,根据指标体系划分了我国地质灾害5个风险区,建立了不同区域代表性的集对分析联系度表达式,可为地质灾害预测预警和防治实践提供重要技术支持。

关键词:集对态势分析;地质灾害;风险评估

中图分类号:P642.26

文献标识码:A

文章编号:1673-2928(2009)02-0083-05

2008年5月12日四川汶川八级强震引发了崩塌、滑坡、泥石流等大量次生地质灾害,险情严重,危害巨大,不仅加剧了地震灾情,也严重影响抗震救灾工作。据震后调查,强震引发地质灾害15000多处;崩塌滑坡形成坝高超过10m的高危堰塞湖33座;潜在隐患点10000多处,仅四川极重灾区新增的地质灾害隐患点就达2782处,为震前的2.38倍;地震次生地质灾害直接造成的人员死亡估计约2万人^[1]。5.12地震引发的地质灾害数量与规模史无前例,基础设施损毁严重,人员伤亡极为惨痛。

我国幅员辽阔,气候多变,地形地貌千差万别,地质条件错综复杂,地质灾害类型繁多、分布广泛、易发高发,是世界上地质灾害最严重的国家之一。加强地质灾害防治,是保障人民生命与财产安全,确保经济社会可持续发展的重大国家战略和迫切的现实要求,也因此一直倍受政府的高度重视^[2,3]。

地质灾害的孕育与发展受多重因素制约,其过程具有诸多不确定性。本文根据我国学者赵克勤先生创立的处理系统不确定性问题的“集对分析”理论^[4],通过地质灾害特性的分析阐述,并借助集对态势分析方法,探讨地质灾害的风险评估,从全局和宏观的视野初步划分我国地质灾害风险区及危害等级,以助于地质灾害的预测预警,并籍此

提高地质灾害的综合防御能力与系统治理水平。

1 地质灾害的属性与特点

1.1 地质灾害内涵与属性

地质灾害是在地质应力或人为活动作用造成人类赖以生存与发展的资源及环境发生恶化和严重破坏的现象或过程。

地质灾害与其它自然灾害一样,具有致灾的动力条件和灾害后果两大特征,因此既有自然属性,也有社会经济属性。

自然属性是围绕地质灾害的动力过程表现出来的各种自然特征,如地质灾害的规模、强度、频次以及灾害活动的孕育条件、变化规律等;社会经济属性是与成灾活动密切相关的人类社会经济特征,如经济发展水平、资源开发强度、工程建设活动、防灾能力等。

地质灾害是自然动力活动与人类社会经济活动相互作用的结果,是两者对立统一的综合体现。

1.2 地质灾害类别与特性

地质灾害有30余种,其中崩塌、滑坡、泥石流、地面塌陷、地裂缝、地面沉降是主要的灾害类型,具有典型性和代表性^[5]。

根据灾害成因,可分为内动力地质灾害(如地震引发)、外动力地质灾害(如强降雨、冰冻等异常气候激发)、人为动力地质灾害(如矿山开发、地下采掘等诱发);根据灾害分布的区域自然地理条

收稿日期:2008-08-23

基金项目:国土资源部首批百名优秀青年科技人才计划(200218)

作者简介:龚士良(1965-),男,上海人,博士,教授级高级工程师,中国地质调查局地面沉降研究中心秘书长,主要从事资源与环境问题研究。

件,可分为山地地质灾害(如崩塌、滑坡、泥石流等)、平原地质灾害(如地面沉降等)。

地质灾害的孕育与发展是能量积聚与释放的过程,是灾变要素的量变转化为质变的过程,是由潜伏性向灾变性转化的过程。根据成灾特点,地质灾害分为突发型和缓变型两类。突发型地质灾害的基本特征是灾害的孕育过程相对较长,但成熟后的发生过程通常非常短暂,具有爆发性。而缓变型地质灾害的突出特点是发生时间相对漫长,其孕育发展与灾害过程基本一致,具有缓慢累进性质。

突发型地质灾害包括崩塌、滑坡、泥石流、地面塌陷等,缓变型地质灾害主要包括地面沉降等,地裂缝则视成因情况分属不同归类^[6,7]。

地质灾害通常具有相互伴生性,并与其它灾害形成灾害链,由此导致灾情加剧,其作用机制也呈现系统性和复杂化。

1.3 中国地质灾害灾情概况

我国是地质灾害高发的国家,人员伤亡严重,经济损失巨大。地质灾害易发区范围达 600 多万 km²,约占全国总面积的 65%。至 2005 年,全国共有地质灾害隐患点 22.92 万处,威胁 3500 多万民众,威胁财产安全超过万亿元,防灾形势严峻。近年的灾情概况与特点见表 1、表 2。

表 1 我国地质灾害经济损失与因灾伤亡人数

年份	死亡 (人)	失踪 (人)	受伤 (人)	直接经济损失 (亿元)
1998	1573	382		150.0
1999	864	160		24.5
2000	1000	63		49.5
2001	788	120		35.0
2002	907	109		51.0
2003	743	125		48.7
2004	697	172	443	20.9
2005	578	104	339	36.5
2006	663	111	453	43.16
2007	598	81	444	24.75
2008(上半年)	390	16	603	161.30

注:数据未含港澳台地区;汶川地震诱发地质灾害的伤亡未计入;空栏内无公布数据

表 2 我国近年地质灾害发生总量与类型构成

年份	地质灾害 (起)	滑坡 (起)	崩塌 (起)	泥石流 (起)	地面塌陷 (起)	地裂缝 (处)	地面沉降 (处)
2005	17751	9359	7654	566	137	20	15
2006	102804	88523	13160	417	398	271	35
2007	25364	15478	7722	1215	578	225	146
2008(上半年)	19201	9763	6374	484	466	2061	53

注:数据未含港澳台地区

我国以突发型的山地地质灾害为主,受局地暴雨和持续强降雨等天气影响显著,活跃的构造运动也是导致岩土体结构松散、易于失稳的重要因素^[8]。高强度、不合理的人类工程活动在缓变型地质灾害中作用明显^[9],其对突发型地质灾害的诱

发影响也已不容轻视。

2 地质灾害集对态势分析

2.1 基本原理

地质灾害制约因素众多,经济与社会影响广泛深远,在现有的认识水平和技术条件下,其内在机制与作用过程存在诸多不确定性,而地质灾害防治本身也是一项涉及面众多的系统工程。因此,集对分析理论与方法,是地质灾害研究新的重要途径和手段。

地质灾害的形成必须具备致灾体与承灾体两方面的条件,其不仅决定灾害是否发生,也决定成灾规模的大小,而其变化发展与相互作用通常又是难以精准确定的。致灾体与承灾体是地质灾害分析中的典型“集对”,而其中蕴涵的诸多不确定性又为“集对分析”的应用提供了充分而广阔的空间。

根据集对分析理论与方法,地质灾害集对分析联系度关系式为^[10]:

$$\mu = a + bi + cj$$

其中: μ 为联系度;

a 为承灾体状态标量;

b 为地质灾害状态标量;

c 为致灾体状态标量;

i 为不确定性标度;

j 为对立性标度。

承灾体状态标量 a 表征地质环境容量与灾害承载力等指标, a 值越大,地质灾害的防御与承受能力越强,稳定性较高;

地质灾害状态标量 b 表征孕灾过程的发展态势, b 值越大,灾害特性越趋明显, b 值越小则趋向稳定。 b 值可认为是地质灾害的过程状态量,其增长即是灾害的孕育与发展过程的刻画,其最大值即灾害的临界状态,在其附近则可视作灾害预警区间。因此, b 值也可作为地质灾害预警预报的阈值指标;

致灾体状态标量 c 表征灾变要素的活动强度, c 值越大,越促使地质灾害的形成与发展,破坏性和灾害后果也越强。

a 、 b 、 c 是描述和刻画系统状态与变化的三个重要指标,分别对应同一、差异、对立,简称同异反。客观事物呈现出多样性、层次性、变化性等特点,因此其状态标量可以充分扩展而显示丰富内涵,通过多元、递阶、矩阵以及随过程变化的时间函数,实现基于集对分析表达式 μ 的联系数学的理论体系的构建与完善,即可以根据同一度 a 与对

立度 c 相对确定的同态性原理,建立评估对象分析预测的同态模型,再根据差异度 b 所蕴涵的边界性原理,确定评估对象的边界条件,从而使模型具体化,并依此分析未来状态与现实状态之间评价目标的数量与转化关系,得出未来预测情况下的目标值与可能趋势。由此可对众多现实问题的认识与剖析既能在宏观上清晰把握,也能在微观层面透彻解析。

2.2 态势分析

根据地质灾害的调查分析,参照集对分析的同异反态势及其状态跃迁,可以看出:突发型地质灾害稳定性较差、破坏性更强,而缓变型地质灾害稳定性相对较高、破坏性不甚直观。因此,前者 a 值小、 c 值大,而后者 a 值大、 c 值小。突发型地质灾害属高潜势灾害,而缓变型地质灾害为低或中潜势灾害^[11]。

b 值可以认为是状态过程线,突发型地质灾害是具有峰值的成长—衰变曲线,而缓变型地质灾害则是平缓的逐步递进的发展曲线。因此,突发型地质灾害的 b 值变化区间大,并有拐点,存在临界状态和突变;而缓变型地质灾害的 b 值变幅小,但时间效应更长,其灾害过程较为隐蔽而易被忽视,而一旦致灾则后果已充分凸显,治理难度骤增。所以,隐性灾害比显性灾害更易使人麻痹,而地质灾害都是不可逆的,未雨绸缪、防患未然,才是地质灾害防治的关键。通过 b 值的阈值控制指标可以作出预警提示,从而为地质灾害的发展态势提供准确估价。

地质灾害防治是守业经济,减灾就是增效。其突出特点就是“以负换正、减负得正、负负得正”,通过防灾投入“负”效益的影响作用,来减少灾害损失,而减少的部分就是正效益。用集对分析理论来表述,就是减小对立度 c ,也即相应地增大了同一度 a ,从而使系统态势的同一性即稳定度得到了提高。而防灾措施的实施,也使不确定度 b 得以有效降低,并促进 a 值增加和 c 值减小,综合效益得到显现。

2.3 风险评估

综合而言,突发型地质灾害更易受环境要素的控制,如地貌形态、气候因素、地质条件等;而缓变型地质灾害则与人类经济工程活动及其开发利用地质环境的强度密切相关^[12,13]。地质环境具有资源属性,同时也有灾害属性^[14],伴随着大规模集中

开发和地下资源过度汲取,灾害也便如影随形不期而至。

由此,对地质灾害进行风险评估是地质灾害防治的重要环节,通过危害等级的确定以及不同风险区的划分,将对防灾工作起到战略与技术指导作用。

2.3.1 指标体系

基于集对态势分析,初步构建的地质灾害风险评估的指标体系如下:

1) 同一度 a

a 值界定为承灾体状态标量,根据不同地区地质环境容量与灾害承载能力,划分为 5 个等级,依由弱至强分别赋值 1、3、5、7、9。 a 值的界限指标及其具体取值与所在地区的经济发展水平、防灾基础设施、灾害抵御能力等相关。

以缓变型的地面沉降地质灾害为例,考虑城市地质环境安全与灾害承受能力等综合因素,则承灾体状态特征及其同一度 a 的取值标准如下:

地下水主要开采层水位下降小于 10m、地面沉降速率小于 5mm/a, a 取 9;

主采层允许水位降幅在 10~20m、允许地面沉降速率为 5~10mm/a, a 取 7;

主采层允许水位降幅在 20~30m、允许地面沉降速率为 10~15mm/a, a 取 5;

主采层允许水位降幅在 30~40m、允许地面沉降速率为 15~20mm/a, a 取 3;

主采层水位降幅大于 40m、地面沉降速率超过 20mm/a, a 取 1。

其它灾害类型也同理依实际情况予以赋值。

2) 差异度 b

b 值界定为地质灾害状态标量,反映孕灾过程的发展态势。其物理和现实意义可指代为地质环境条件的本体以及其在外界作用影响下的变化趋势。根据地质环境条件的脆弱性高低、内外应力作用下的稳定性强弱、可能发生地质灾害的难易与规模大小等,划分 5 个等级,并依稳定性由强至弱、灾害发生可能性由难到易、规模由小到大依次相应赋值 1、3、5、7、9。

以滑坡地质灾害为例,差异度 b 的取值标准如下:

覆盖层厚度大于 15m、山坡坡度大于 35°、相对高差大于 500m, b 取 9;

覆盖层厚度 10~15m、山坡坡度 30~35°、相对

高差 400~500m, b 取 7;

覆盖层厚度 5~10m、山坡坡度 25~30。、相对高差 300~400m, b 取 5;

覆盖层厚度 1~5m、山坡坡度 20~25。、相对高差 200~300m, b 取 3;

覆盖层厚度小于 1m、山坡坡度小于 20。、相对高差小于 200m, b 取 1。

其它灾害类型也同理予以赋值。

2.3.2 风险分区

1) 分区准则。我国地域辽阔, 东西横跨经度 62°, 南北纬度相差 50°; 高原、丘陵、山地约占大陆面积的 79%, 地貌形态有明显的多级台阶; 地质构造背景和格局复杂多变且活跃, 地质条件迥异, 河谷深切、山势陡峻, 岩土体稳定性差; 气候多变, 灾害性天气频发。这些都是导致地质灾害居高不下、险情不断的客观因素。

因此, 应善于在复杂的地质系统中^[5], 找寻规律, 抓住主线, 才能把握宏观脉络, 这是地质灾害风险评估分区的重要工作准则。

基于此, 以我国南北向基本呈条块状的地貌分级阶梯与东西向的条带状气候分带, 作为总的分区网格框架; 再结合不同地区的实际特点, 进一步细分单元; 同时, 将地质灾害的性质、伴生关系和可能等作为权重影响因素, 对单元体进行修正与合理归并, 从而形成综合的地质灾害风险分区图。

2) 划分标准。依照前述对同一度 a 、差异度 b 、对立度 c 的分级标准以及赋值, 将各种评估要素根据实际情况取值, 再考虑权重影响予以综合, 最后在 0~10 范围内确定用于风险性分区的指标界限区间(表 3)。

表 3 地质灾害风险分区同异反指标界限区间

风险分级	I	II	III	IV	V
同一度 a	<2	2~4	4~6	6~8	>8
差异度 b	>8	6~8	4~6	2~4	<2
对立度 c	>8	6~8	4~6	2~4	<2

由此将我国地质灾害风险性初步划分为 5 个区域, 即: 极重度分布区 (I 区)、重度分布区 (II 区)、中度分布区 (III 区)、轻度分布区 (IV 区)、微度分布区 (V 区)。

5 个区域的集对态势分析表达式经归一化处理具体为:

$$\mu_1(\text{极重度分布区})=0.056+0.444i+0.500j;$$

$$\mu_2(\text{重度分布区})=0.188+0.375i+0.437j;$$

$$\mu_3(\text{中度分布区})=0.303+0.333i+0.364j;$$

$$\mu_4(\text{轻度分布区})=0.500+0.286i+0.214j;$$

$$\mu_5(\text{微度分布区})=0.692+0.231i+0.077j。$$

从最终的综合表达式可以看出, 地质灾害风险等级越高, 灾害越严重, 其对立度也越高、同一度越小; 而风险性越低, 对立度越小、同一度越大。差异度也是随着风险等级的提高, 而呈增长态势, 反映出系统稳定性渐趋减弱。

3) 分区评价。基于集对态势分析形成的中国地质灾害风险分区见图 1。

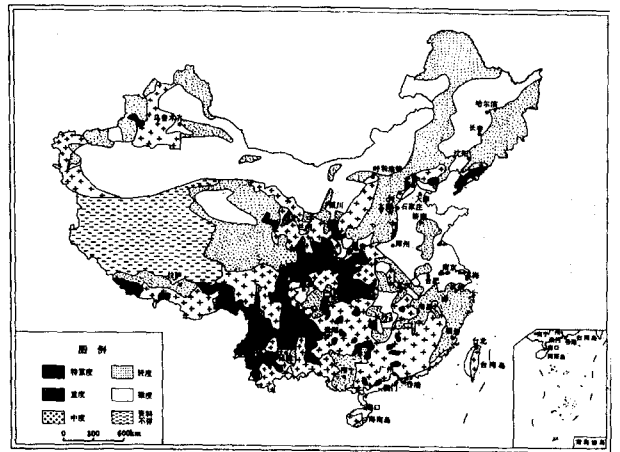


图 1 地质灾害风险分区

由此看出, 我国地质灾害风险性较高的地区大多集中在中西部的云贵高原和四川盆地等地区, 那里地质构造活跃、岩土体疏松, 地形差异显著, 山地地质灾害集中且高发; 且处冷暖气流交汇之地, 气候瞬息万变, 暴雨等灾害性天气频发, 从而也加剧了地质灾害发生的可能性与危险程度。其是地质灾害防治的重点区域。

华南地区岩溶广布, 岩溶塌陷是主要的地质灾害类型。而滨海平原地区以地面沉降等缓变型地质灾害为主。

地质灾害风险分区及其各个区域的集对态势量化表达式, 将有助于地质灾害的分析研究, 可为地质灾害防治提供技术支持, 并为灾害风险管理^[16]提供重要借鉴。

3 结语

地质灾害严重威胁人民生命与财产安全, 直接影响社会经济的可持续发展。地质灾害的孕育与发展, 受多重因素的制约与控制, 存在诸多矛盾的对立统一及系统的不确定性。集对分析对于剖析地质灾害的现象与本质以及过程分析, 都是重要

的理论武器和技术手段。本文借助集对态势分析,对我国地质灾害进行了初步的风险评估与危害等级分区,为集对分析理论在关乎国计民生的地学重大研究领域中的开拓与应用作初步尝试,深入系统的研究还有待进一步深化。

参考文献:

- [1] 殷跃平. 汶川八级地震地质灾害研究[J]. 工程地质学报, 2008,16(4): 433-444.
- [2] 国务院. 地质灾害防治条例[Z]. 国务院令 2003 年第 394 号, 2003.11.24.
- [3] 国土资源部地质环境司, 国务院法制办公室农业资源环保法制司, 国土资源部政策法规司. 地质灾害防治条例释义[M]. 北京:中国大地出版社, 2004.
- [4] 赵克勤. 集对论——一种新的不确定性理论、方法与应用[J]. 系统工程, 1996,14(1):18-23,72.
- [5] 段永侯, 罗元华, 柳源. 中国地质灾害[M]. 北京:中国建筑工业出版社, 1993.
- [6] 李永善. 西安地裂缝[M]. 北京:地震出版社, 1986.
- [7] 刘聪, 袁晓军, 朱锦旗. 苏锡常地裂缝[M]. 武汉:中国地质大学出版社, 2004.
- [8] 龚士良. 台湾的地震灾害及其环境地质问题[J]. 灾害学, 2002,17(4):76-81.
- [9] 龚士良. 上海城市建设对地面沉降的影响[J]. 中国地质灾害与防治学报, 1998,9(2): 108-111.
- [10] 赵克勤. 集对分析及其初步应用[M]. 杭州:浙江科学技术出版社, 2000.
- [11] 龚士良. 集对分析及在城市地面沉降研究中的应用[J]. 水文地质工程地质, 1998,25(5): 33-35,40.
- [12] 龚士良. 上海地区地质灾害危险性评估关键技术问题研究[J]. 中国地质灾害与防治学报, 2007,18(3): 92-96.
- [13] 龚士良. 上海地面沉降层次分析法研究[J]. 系统工程, 1996,(14)3: 30-34.
- [14] 龚士良. 地质环境合理开发利用集对论准则[J]. 地质灾害与环境保护, 2003,14(2): 34-38.
- [15] 於崇文. 地质系统的复杂性[M]. 北京:地质出版社, 2003.
- [16] 王绍玉. 中国构建和谐社会的综合灾害风险管理研究[J]. 中国人口资源与环境, 2008,18(4):1-9.

Risk Evaluation of Geological Disasters in China on Set Pair Situation Analysis Method

GONG Shi-liang

(Center for Land Subsidence of China Geological Survey, Shanghai 200072, China)

Abstract: The geological disasters gravely influence the sustainable development of economy and society, and the risk evaluation is important for disasters prevention and control. The paper expatiates on attributes and characteristics of geological disasters and introduces the actuality of geological disasters in China. Based on set pair situation analysis, the paper also analyzes the gestation process of geological disasters, determines the principles of risk evaluation subarea and standard of set pair analysis index as identity degree and discrepancy degree with oppose degree. So according to the index system, five risk zones of geological disasters are partitioned in China and set pair analysis connection mathematics expression of dissimilarity zone are established. This research may afford important technical support for forecast and alarm of geological disasters and its prevention and control.

Key words: set pair situation analysis; geological disasters; risk evaluation