

城市综合承灾能力评价研究

李晓娟^{1,2}

(1. 福建农林大学交通学院, 福建 福州 350002; 2. 福州大学土木工程学院, 福建 福州 350108)

摘要:运用突变级数理论,构建了城市综合承灾能力评价指标体系,建立城市承灾能力综合评价模型,并通过对29个城市实例进行分析,实例分析结果与各城市承灾能力实际状态基本一致,显示该方法能利用一个综合反映多因素之间复杂关系的特征指标给出相应的评价等级结果。最后对综合承灾能力进行比较,从中也获得了其承灾能力强或弱的原因。其结果表明该方法应用到城市综合承灾能力评价是可行的。该方法克服了模糊数学法、主成分分析法等主观性较大、计算较复杂的缺点,显得更适宜和准确。

关键词:城市承灾能力;突变级数法;评价方法

中图分类号:X913

文献标志码:A

文章编号:1006-7930(2012)04-0489-06

我国是世界上自然灾害最严重的国家之一^[1]。新中国成立以来,地质、地震、洪涝、气象、海洋及农林七大类自然灾害年平均损失约占GDP的3%~6%或国家财政收入的30%,成为社会发展的严重制约因素。尤其是,2008年1月的南方大雪影响17个省市的正常经济秩序,雪灾造成的实际损失超过300亿元;2008年5月的汶川8.0级大地震是新中国成立以来破坏性最强、涉及范围最广、救灾难度最大的一次地震,共造成四川、甘肃、重庆、陕西等10省(市)的400多个县(市、区)受灾,致使8万多人遇难或失踪、经济损失8000亿左右。由此可见,我国城市综合承灾能力有待进一步得到提高,而如何评估城市综合承灾能力的水平是当今社会对防灾减灾工程提出的一个需要急待解决的课题。

国际城市防灾减灾能力评价主要以多发展指标计划(Hotspots)、灾害风险指标计划(DRI)和美洲计划(American Program)等3个自然灾害风险评估作为评价指标^[2]。与此同时,国内谢立礼院士和张风华等^[3]对城市防震减灾能力进行定义,建立了评估指标体系以及相应综合指数评估方法;在此基础上,郑宇^[4]基于可持续发展观点,建立城市综合防震减灾能力评价指标体系和相应的加权平均评估方法;杨挺^[5]基于EDRI思想对城市地震危害性进行评价;黄崇福^[6]利用模糊数学对自然灾害风险进行深入研究;高庆华等^[7]按灾种、分区域对我国防灾减灾能力进行全面的研究;王威等^[8]应用云模型对城市抗震减灾能力做进一步分析探讨;刘智^[9]探讨了城市抗灾力的内涵、度量模型与评估策略。张明媛^[10]基于模糊评价方法对城市承灾能力进行了等级划分。

虽然国内外对城市防灾减灾能力的研究取得了一定的进展,但研究手段和方法尚处在一个不成熟的阶段,并且所选择的指标权重依赖于主观的判定。因此,本文从防灾能力、抗灾能力、救灾能力和恢复能力四个方面着手,在城市综合承灾能力评价中引入了定量、客观的突变级数法,建立城市综合承灾能力评价模型,对我国29个城市的综合承灾能力进行了探讨。

1 城市承灾能力的构成

1.1 防灾能力

防灾能力是指城市的防御灾害的能力^[11,12]。反映城市在灾害来临之前准备的充分程度。由于现在的监测预报技术还尚不能为人们提供灾害来临时间和破坏力度准确性的要求,现有只能通过增强防范意识,根据以往经验改善承灾环境,从而提高防灾能力。主要体现在防灾教育、防灾工程和防灾的经济投入上。

收稿日期:2012-03-12 修改稿日期:2012-07-08

基金项目:福建省教育厅资助科研项目(JB11046)

作者简介:李晓娟(1979-),女,福建古田人,博士生,讲师,主要从事工程防灾减灾、项目管理和安全工程学研究。

1.2 抗灾能力

抗灾能力,是灾害发生瞬间,承灾体在灾害破坏情况下保持原状或接近原状的能力^[13].抗灾能力与易损性同样是承灾体的属性,只不过是属性的正反相对的两方面.易损性是用来衡量一个结构在灾害活动下受破坏的量,它与地面运动没有关系,只由结构本身决定,一个城市的易损性是由其现代化程度的高低、建筑物的结构类型及质量、经济发展水平等等认为和社会因素所决定.这些因素是可以通过科学的规划和设计、采取加固和调整等措施来改变它们的特征.城市社会系统对抗灾能力没有什么贡献,它作为灾害侵袭破坏的对象,呈现的是脆弱性或易损性的一面.

1.3 救灾能力

救灾能力的主要表现在于灾害的应急处理^[14,15].灾害发生紧后期,尽管城市各种状况还尚不能完全掌控,但迅速的应急救援可以减少和降低灾害造成的损失.抗灾与救灾的差别是,抗灾侧重点是抗御灾害,降低灾害的危害程度,而救灾则侧重在事故发生后开展救援.

1.4 恢复能力

灾难恢复能力指的是为了将信息系统从灾难造成的故障或瘫痪状态恢复到可正常运行状态,并将其支持的与功能从灾难造成的不正常状态恢复到可接受状态,而设计的活动和流程^[16,17].灾害恢复力评估在应急管理和减灾规划中的价值已得到足够重视.

2 突变理论评价法的基本原理及步骤

2.1 基本原理

突变理论是研究在连续发展过程中出现的突然变化的现象,以及突然变化与连续变化因素之间的关系.它根据势函数把临界点进行分类,用势函数的存在与消失判断事物的稳定性与不稳定性、渐变与突变过程,建立数学模型描述质量互变过程,从而可以更深刻地认识不连续现象的机理并作出预测^[18,19].

2.2 评价步骤

(1)评价指标确立.对评价总指标进行多层次分解,分解到可获得该层指标数据为止.将一个指标进行分解是为能获得更具体的指标从而便于量化,当分解到对某个子指标可以量化时,分解就可

(2)确定突变模型.运用突变理论进行评价一般涉及以下四种模型:

$$\text{折叠突变} \quad f(x) = x^3 + ux \quad (1)$$

$$\text{尖点突变} \quad f(x) = x^4 + ux^2 + vx \quad (2)$$

$$\text{燕尾突变} \quad f(x) = x^5 + ux^3 + vx^2 + wx \quad (3)$$

$$\text{蝴蝶突变} \quad f(x) = x^6 + ux^4 + vx^3 + wx^2 + tx \quad (4)$$

各式中 $f(x)$ 表示系统的状态变量 x 的势函数,状态变量 x 的系数 u, v, w, t 表示该状态变量的控制变量.当一个评价目标被分解为一个、两个、三个、四个指标时,分别运用折叠突变模型、尖点突变模型、燕尾突变模型、蝴蝶突变模型来计算评价目标值.

(3)由突变模型的分歧方程导出归一公式.归一公式是利用突变理论进行综合分析评价的基本运算公式,它将系统内部各控制变量不同的质态归化为可比较的同一种质态,从而对系统进行量化递归运算,求出表征系统状态特征的系统总突变隶属函数值,作为综合评价的依据,它可由突变模型的势函数和分歧方程导出.

突变系统的势函数 $f(x)$ 的所有临界点集成平衡曲面 M ,方程可通过对 $f(x)$ 求一阶导数得到,即 $f'(x) = 0$,它的奇点集通过对 $f(x)$ 求二阶导数得到,即 $f''(x) = 0$.由 $f'(x) = 0$ 和 $f''(x) = 0$ 消去 x ,则得到突变系统的分歧点集方程,分歧点集方程表明诸控制变量满足此方程时,系统就会发生突变.通过推导,四种常见模型的归一公式如下:

$$\text{折叠突变模型归一公式为:} \quad x_u = u^{\frac{1}{2}} \quad (5)$$

$$\text{尖点突变模型归一公式为:} \quad x_u = u^{\frac{1}{2}}, x_v = v^{\frac{1}{3}} \quad (6)$$

燕尾突变模型归一公式为：
$$x_u = u^{\frac{1}{2}}, x_v = v^{\frac{1}{3}}, x_w = w^{\frac{1}{4}} \tag{7}$$

蝴蝶突变模型归一公式为：
$$x_u = u^{\frac{1}{2}}, x_v = v^{\frac{1}{3}}, x_w = w^{\frac{1}{4}}, x_t = t^{\frac{1}{5}} \tag{8}$$

(4)选择用归一公式进行评价的原则. 如果系统的诸控制变量之间不可相互弥补不足,即不可相互替代,则要从诸控制变量对应的 x 值中,即 x_u 、 x_v 、 x_w 、 x_t 中选取最小的一个作为整个系统的 x 值,即为“非互补”原则;如果系统的各个控制变量之间可以相互补充其不足,以使 x 值达到较高的平均值,则取 x_u 、 x_v 、 x_w 、 x_t 的平均值,即为“互补”原则;如果诸控制变量必须达到某一阈值后才能互补,阈值的大小由决策者根据实际情况决定,即为“过阈互补”原则,只有遵循上述原则,才能满足突变模型中分歧方程的要求.

3 基于突变级数法的城市承灾能力评价体系

3.1 指标体系的建立

根据城市承灾能力来看,分别从防灾能力、抗灾能力、救灾能力和恢复能力 4 个方面选取 12 指标进行综合评价,根据空谈理论对指标体系进行分解,重要指标在前,次要指标在后,采用 Delphi 专家打分法最终确定各指标重要性的排序,结果见表 1.

由表 1 可以看出:第 3 级指标都是蝴蝶突变型,第 2 级指标为蝴蝶突变型,第 1 指标为总评价指标.

表 1 城市综合承灾能力评价指标

Tab.1 Evaluation indexes of urban disaster-bearing capability

总目标层	分目标层	指标层	影响因素	说 明
承灾能力 (A)	防灾能力 (B1)	社会因素(C1)	就业	就业人数/人口
			教育	人均教育费用支出
			医疗	人均医疗卫生费用支出
			社会保障	人均抚恤和社会福利救济费
		经济因素(C2)	防灾投入力度	
			监测预报设施	
	抗灾能力 (B2)	环境因素(C3)	环境保护力度	
		社会因素(C4)	人口密度	人/km ²
			人口状况	
		经济因素(C5)	固定基础财政密度	
		工程抗震功能(C6)	建构物抗灾能力	
			生命线各子系统抗灾能力	
承灾能力 (A)	救灾能力 (B3)	社会因素(C7)	生命线系统关联度	
			医疗救助能力	病床、医生/10 万人
		经济因素(C8)	政府应急反应能力	
			生命线恢复能力	
			内外交通发达度	公路网综合能力
			排水设施情况	排水管道网密度
	恢复能力 (B4)	环境因素(C9)	次生灾害	
			救灾临时集散中心	人均园林绿地面积
		社会因素(C10)	生产建设人力资源	中青年所占比重
			经济多样性	二、三产业构成比
		经济因素(C11)	财富储蓄	人均年末储蓄余额
			保险	保费收入
		环境因素(C12)	环境质量	环境质量参数

3.2 评价分级标准的制定

常规的等级标准是将安全水平由低到高依次分为 5 个等级,即弱、较弱、合格、较强和强,由于采用

突变级数法算出的评价值一般较高,需对照绝对意义下的常规等级标准制定出适应自身特点的等级标准,这使得突变级数法更具有实用价值.根据归一公式化特点,分为五个等级如表2所示.

表2 城市综合承灾能力评价等级标准

Tab.2 Standard assessment level of the urban disaster-carrying capability

等级	弱	较弱	中等	较强	强
常规标准	[0.00,0.20]	[0.20,0.40]	[0.40,0.60]	[0.60,0.80]	[0.80,1.00]

4 实例分析

4.1 确定评价指标评价值

以全国29个省会城市和直辖市为研究对象,分别分析了它们的防灾能力、抗灾能力、救灾能力和恢复能力.按照图1建立的评价指标体系,根据各城市所提供的各指标数值,聘请多位专家对其的第三级指标进行评分,专家给定的评分取平均值.由于指标间可替代性较小,所以采用“非互补”原则,数据经无量纲化处理得到的二级隶属度、总隶属度及评价结果见表2.最后对综合承灾能力进行比较,得出了各城市的排名,从中也获得了其承灾能力强或弱的原因.

具体计算方法以哈尔滨为例,其中C1,C2,C3,C4,C5,C6,C7,C8,C9,C10,C11,C12分别为0.636,0.742,0.611,0.770,0.810,0.821,0.795,0.835,0.837,0.712,0.781,0.792,所以有:

$$x_{u1} = u^{\frac{1}{2}} = (0.636)^{1/2} = 0.797$$

$$x_{v1} = v^{\frac{1}{3}} = (0.742)^{1/3} = 0.905$$

$$x_{w1} = w^{\frac{1}{4}} = (0.611)^{1/4} = 0.884$$

按“非互补”原则,“大中取小”,即:

$$x = x_1 = \min(x_{u1}, x_{v1}, x_{w1}, t_1) = 0.797$$

同理求得

$$x_2 = 0.878, x_3 = 0.892, x_4 = 0.844$$

二级指标共4个,符合蝴蝶突变归一公式,有

$$x_u = u^{\frac{1}{2}} = (0.797)^{1/2} = 0.893$$

$$x_v = v^{\frac{1}{3}} = (0.812)^{1/3} = 0.932$$

$$x_w = w^{\frac{1}{4}} = (0.893)^{1/4} = 0.972$$

$$x_t = t^{\frac{1}{5}} = (0.835)^{1/5} = 0.964$$

同样按“非互补”原则,“大中取小”,即:

$$x = \min(x_u, x_v, x_w, x_t) = 0.892$$

笔者以全国29个省会城市和直辖市为研究对象,分别分析了它们的防灾能力、抗灾能力、救灾能力和恢复能力,最后对综合承灾能力进行比较,得出了各城市的排名,从中也获得了其承灾能力强或弱的原因.以表1中功能层的12个因素为例进行分析,利用式(1)~式(8)对原始数据进行标准化,再对标准化数据进行相关分析,消除其相关性,得到一个新的指标体系,计算结果见表3.

4.2 评价结果

将文中的计算结果按地区划分,可以得到相对承灾能力强弱的结果如下:从东部沿海至中部地区再到西部地区,城市的综合承灾能力逐渐降低,且中国的一些重点大城市如上海的综合承灾能力相对较强.

5 结论

通过以上分析和研究,可以得到如下结论:

1)利用突变级数的基本理论,建立了城市承灾能力评价模型,把定性的问题转化成定量的问题加以研究,相对减少主观性,使分析、决策或评判更趋于客观实际.从评价的过程和结果来看,突变级数法根据公式本身的内在作用机理实现的,吸取了层次分析法与模糊评价法的优点,按指标间的内在逻辑关系

表 3 城市承灾能力评价总隶属度和二级隶属度

Tab. 3 Total subjection and second grade subjection of different urban disaster-bearing capability

序号	城市	指标					评价等级	序号	城市	指标					评价等级
		B1	B2	B3	B4	A				B1	B2	B3	B4	A	
1	北京	0.489	0.346	0.303	0.675	0.699	较强	2	天津	0.477	0.345	0.213	0.675	0.690	较强
3	石家庄	0.187	0.133	0.235	0.320	0.434	中等	4	太原	0.112	0.131	0.223	0.310	0.335	较弱
5	呼和浩特	0.321	0.343	0.456	0.510	0.567	中等	6	沈阳	0.210	0.331	0.321	0.341	0.458	中等
7	长春	0.760	0.681	0.671	0.674	0.872	强	8	哈尔滨	0.797	0.812	0.893	0.835	0.892	强
9	上海	0.735	0.341	0.326	0.674	0.857	强	10	南京	0.489	0.367	0.293	0.685	0.699	较强
11	杭州	0.479	0.469	0.512	0.685	0.692	较强	12	合肥	0.356	0.681	0.331	0.510	0.596	中等
13	福州	0.779	0.356	0.367	0.681	0.882	强	14	南昌	0.267	0.131	0.331	0.378	0.517	中等
15	济南	0.396	0.616	0.356	0.510	0.629	较强	16	郑州	0.746	0.331	0.456	0.674	0.863	强
17	武汉	0.289	0.465	0.321	0.341	0.537	中等	18	长沙	0.241	0.594	0.331	0.341	0.490	中等
19	广州	0.356	0.681	0.331	0.510	0.596	中等	20	南宁	0.234	0.594	0.645	0.341	0.483	中等
21	海口	0.168	0.131	0.213	0.310	0.389	较弱	22	重庆	0.267	0.587	0.367	0.378	0.516	中等
23	成都	0.234	0.465	0.326	0.378	0.484	中等	24	贵阳	0.314	0.623	0.431	0.416	0.560	中等
25	西安	0.369	0.314	0.465	0.326	0.607	较强	26	兰州	0.124	0.594	0.671	0.310	0.352	较弱
27	西宁	0.248	0.567	0.531	0.256	0.497	中等	28	银川	0.415	0.457	0.566	0.676	0.644	较强
29	乌鲁木齐	0.235	0.681	0.467	0.341	0.484	中等								

对指标的重要程度进行排序,不存在主观地确定权重,避免多目标分析决策时指定各因素权重的主观性,并且相对计算量小、简单易行、便于掌握。

2)利用突变级数计算对 29 个城市综合承灾能力进行分析和等级划分,证明了该方法原理简单且评估结果合理可行,对于城市综合承灾能力评价具有一定的应用价值。

参考文献 References

[1] 张风华,谢礼立,范立础.城市防震减灾能力评估研究[J].地震学报,2004,26(3):319-329.
ZHANG Feng-hua,XIE Li-li,FAN Li-chu. Studies on evaluation of cities' ability reducing earthquake disasters[J]. Acta Seismologica Sinica, 2004,26(3):319-329.

[2] 颜峻,左哲.自然灾害风险评估指标体系及方法研究[J].中国安全科学学报,2010,20(11):61-65.
YAN Jun,ZUO Zhe. Research on natural disaster risk assessment index system and method[J]. China Safety Science Journal,2010,20(11):61-65.

[3] 王威,韩阳,赵月平.基于 AHP 的城市抗震防御能力二级模糊综合评判[J].建筑技术开发,2006,33(4):1-3.
WANG Wei,HAN Yang,ZHAO Yue-ping. Secondary fuzzy comprehensive evaluation about the ability of a city defending earthquake disasters by AHP[J]. Building Technique Development, 2006, 33(4):1-3.

[4] 郑宇.城市防震减灾能力评价指标与应急需求研究[D].南京:南京工业大学,2003.
ZHENG Yu. Research on the Evaluating Index of Ability for Urban Earthquake Disaster Reduction and Requirements for Emergent Rescue[D]. Nanjing: Nanjing University of Technology, 2003.

[5] 杨挺.城市局部地震灾害危害性指数及其在上海市的应用[J].国际地震动态,2002(2):4-7.
YANG Ting. Urban local earthquake disaster risk index and its application in Shanghai[J]. Recent Developments in World Seismology, 2002(2):4-7.

[6] 黄崇福.自然灾害风险评价理论与实践[M].北京:科学出版社,2005.
HUANG Chong-fu. Risk assessment of nature disaster theory & practice[M]. Beijing: Science Press, 2005.

[7] 高庆华.中国区域减灾基础能力初步研究[M].北京:气象出版社,2006.
GAO Qing-hua. Preliminary Study on the Basis of Regional Disaster Reduction Capacity in China[M]. Beijing: Meteorological Press, 2006.

[8] 王威,田杰.基于云模型的城市防震减灾能力综合评价方法研究[J].北京工业大学学报,2010,36(6):764-770.
WANG Wei,TIAN Jie, MA Dong-hui. Research on comprehensive evaluation for cities ability of reducing earth-

- quake disasters based on cloud model[J]. Journal of Beijing University of Technology, 2010, 36(6): 764-770.
- [9] 刘智. 城市抗灾力的内涵、度量模型与评估策略[J]. 中国安全科学学报, 2010, 20(4): 136-141.
LIU Zhi. A measurement model of urban disaster-fighting ability and its evaluation tactics [J], China Safety Science Journal, 2010, 20(4): 136-141.
- [10] 张明媛. 城市承灾能力及灾害综合风险评价研究[D]. 大连: 大连理工大学, 2008.
ZHANG Ming-yuan. Research on the Assessment of Disaster-carrying Capability and Disaster Comprehensive Risk in Urban Place[D]. Dalian: Dalian University of Technology, 2008.
- [11] Marco Antonio Torres-Vera, Jose Antonio Canas. A lifeline vulnerability study in Barcelona, Spain[J]. Reliability Engineering and System Safety, 2003(80): 205-210.
- [12] 冀萌新, 张文生. 中国自然灾害转移、安置的财政补助机制[J]. 自然灾害学报, 2006, 15(6): 67-71.
JIMeng-xin, ZHANG Wen-sheng. Research on mechanism of financial aids for transfer and resettlement in natural disaster emergency management [J]. Journal of natural disasters, 2006, 15(6): 67-71.
- [13] Zerger A, Smith D. I., Hunter G. J. Riding the storm: a comparison of uncertainty modeling techniques for storm surge risk management. Applied geography, 2002, (22): 307-330.
- [14] 史培军. 四论灾害系统研究的理论与实践[J]. 自然灾害学报, 2005, 14(6): 1-7.
- [15] 刘婧, 方伟华, 葛怡. 区域水灾恢复力及水灾风险管理研究[J]. 自然灾害学报, 2006, 15(6): 56-61.
- [16] Nazzareno Diodato, Michele Ceccarelli. Geographical Information Systems and Geo-statistics for Modeling Radioactively Contaminated Land Areas[J]. Natrnl Hazards, 2005, 35: 229-242.
- [17] Lorena Montoya, Ian Masser. Management of natural hazard risk in Cartago[J]. Costa Rica. Habit International, 2005, 29: 493-509.
- [18] 朱学平, 何东进, 丁福立. 基于突变级数法的福建省森林火灾评价分析[J]. 福建农林大学学报, 2011, 32(6): 295-299.
ZHU Xue-ping, HE Dong-jin, DING Fu-li. Evaluation and analysis of forest fires in Fujian Province based on catastrophe progression method[J]. College of Forestry, Journal of Fujian Agriculture and Forestry University, 2011, 32(6): 295-299.
- [19] 魏婷, 朱晓东, 李杨帆. 基于突变级数法的厦门城市生态系统健康评价[J]. 生态学报, 2008, 28(12): 6312-6320.
WEI Ting, ZHU Xiao-Dong, LI Yang-Fan. Ecosystem health assessment of Xia men City: the catastrophe progression method [J]. The journal of ecology, 2008, 28(12): 6312-6320.

Study on assessment of urban composite disaster-bearing capacity

LI Xiao-juan^{1,2}

(1. Traffic College of Fujian Agriculture—Forest University, Fuzhou 350002, China;

2. College of Civil Engineering, Fuzhou University, Fuzhou 350108, China)

Abstract: The index system of urban disaster-bearing capability was constructed by the method of catastrophe progression, and urban disaster-bearing capability were evaluated. The experimental results have shown that this method is feasible and reliable to evaluate the urban disaster-bearing capability. At the same time, twenty-nine cities are analyzed, result of which is basically the same. And the method can use a comprehensive reflection of many factors of the complicated relationship between characteristic indexes corresponding evaluation results. Finally, the urban disaster-bearing capability was compared, from which the strength or weakness of the disaster bearing capacity was judged. This method overcomes the shortcomings of AHP and fuzzy mathematics, being subjective and complicated in calculation. Therefore, it is more appropriate and accurate.

Key words: urban disaster-bearing capability; catastrophe progression method (CPM); evaluation method

Biography: LI Xiao-juan, Candidate for Ph. D., Fuzhou 350002, P. R. China, Tel: 0086-0135-99398953, E-mail: luckyxj2001@126.com.