

文章编号:1674-2974(2016)07-0146-05

# 基于层次分析法的弹性城市评价体系研究\*

陈娜<sup>1,2†</sup>, 向辉<sup>1</sup>, 叶强<sup>1</sup>, 朱修涛<sup>3</sup>

(1. 湖南大学 建筑学院, 湖南 长沙 410082; 2. 德国魏玛包豪斯大学, 魏玛 99421;

3. 湖南大学 数学与计量经济学院, 湖南 长沙 410082)

**摘要:**以“社会、经济、城市体系与服务、城市管治”为框架,构建弹性城市评价体系.通过文献统计,获得指标因子群,将明显不符合我国国情和统计制度的指标剔除.通过频度分析,进行指标同类合并,并利用基于德尔菲法的专家问卷调查进行指标的评选,运用层次分析法将这些指标按照其关联和隶属关系构建成4个准则层、多个领域和因子层的三级层次结构,通过专家打分对指标之间的关系进行两两打分,最终得出各级指标的排序权重,为弹性城市的实证评价研究提供基础和参考.

**关键词:**弹性城市;评价指标体系;层次分析法

**中图分类号:**TU98

**文献标识码:**A

## An AHP-Based Approach for Evaluation Index System of Resilience City

CHEN Na<sup>1,2†</sup>, XIANG Hui<sup>1</sup>, YE Qiang<sup>1</sup>, ZHU Xiu-tao<sup>3</sup>

(1. College of Architecture, Hunan Univ, Changsha, Hunan 410082, China;

2. Bauhaus Univ Weimar, Weimar 99421, Germany;

3. College of Mathematics and Econometrics, Hunan Univ, Changsha, Hunan 410082, China)

**Abstract:** This study focuses on the evaluation index system of resilient city based on the framework of "society, economy, urban system and service, and urban management". Through literature statistics, a factor group is obtained, and non-conforming factors in the national condition and statistical system of our country are removed. By means of frequency analysis, the same typed indexes are merged, and expert questionnaire based on Delphi Method is used for index selection. Analytic hierarchy process method is used to build such indexes into a three-layered structure with four criterion layers and multiple filed and factor layers according to their correlation and subordination. Experts will score the relationship between every two indexes to finally work out the ranking weight for indexes at all levels, providing the basis and reference for empirical evaluation research of resilient cities.

**Key words:** resilient city; evaluation index system; analytic hierarchy process

城市化的快速发展 and 特大城市的不断增加要求城市具备更多的弹性来面对极端气候、自然灾害、经

济危机、人口快速流动,以及由此带来的城市发展过程中的动态性和不确定性.在这种背景下,弹性城市

\* 收稿日期:2015-08-28

基金项目:国家自然科学基金资助项目(51078126), National Natural Science Foundation of China(51078126);高等学校博士学科点专项科研基金资助项目(20130161110040);湖南省科技计划项目(2014GK3045)

作者简介:陈娜(1979-),女,湖南长沙人,湖南大学讲师,德国包豪斯大学博士研究生

† 通讯联系人, E-mail: chenna825@hnu.edu.cn

作为一种新的城市规划理论和理想城市发展模型被提出<sup>[1]</sup>. 城市弹性能力也成为当前评价城市发展和抵御危机能力的最新和最重要的视角. Cumming 总结了现代弹性城市的定义,即弹性城市是城市系统完整性、协作性、基于当地条件的自我发展性的体现,同时是城市系统各部分如城市要素、文脉和历史等之间的相互作用<sup>[2]</sup>. 还有学者认为城市弹性是指城市系统对灾害的应急反应、处理能力以及从灾难中自我恢复的能力<sup>[3-4]</sup>,而社会弹性、经济弹性、组织弹性和工程(技术)弹性是弹性城市框架中的4个不同方面<sup>[5]</sup>.

国际上从2010年开始进行弹性城市评价体系的研究,其中较为著名的有美国伯克利大学和洛克菲勒基金会提出的指标体系,这些指标体系都是基于发达国家的现状所提出的,虽然覆盖面较宽,通用性较强,但在地域适应性方面难以满足当前我国城市发展的需求. 基于此,本文针对中国城市化进程中所具有的特性问题,探讨我国城市弹性能力评价指标体系的构建.

## 1 弹性城市评价体系构建方法研究

### 1.1 国内外弹性城市评价体系研究现状

构建指标体系是为了使弹性城市这个抽象的复杂系统变得可以被理解和度量,为城市的规划、建设、管理和决策提供数据支持. Gunderson 和 Holling 提出,在系统的状态不发生改变、能吸收改变并保持不变的情况下,可以根据受干扰的程度来量化弹性<sup>[6]</sup>. 但是关于弹性系统,尤其是弹性城市的量化、评价及实证的研究从2010年后才逐渐开始,正处于从理论到实践的探索过程中,也将成为国内外今后研究的重点和难点. 表1归纳梳理了目前国内弹性城市指标的相关研究,主要包括基于城市系统、基于气候变化和灾害风险管理等两大类型. 由于不同国家和机构对弹性城市内涵的不同理解和弹性目标的差异性,指标体系的分类和指标的选取也是有区别的.

表1 弹性城市指标的相关研究总结  
Tab.1 Summary of resilient city evaluation index system

项目名称	机构	适用范围	时间	指标数量	目的
弹性城市指标研究 City Resilience Index	德国帕斯特研究中心	城市	2010	6个领域,18个指标	在危机中如何通过资源配置和社会间接资本保持一个区域或城市的较好执行能力
弹性城市指标 Resilience Capacity Index	美国伯克利大学布法罗区域研究所	大都会地区	2011	3个领域,每个领域4个指标	评估一个大都会地区对未来外部变化的适应性及自我调节能力,衡量一个区域的优势、劣势,使区域领导人能通过与其他区域的比较而发现差异
弹性城市指标研究 City Resilience Index	洛克菲勒基金会	城市	2014	4个领域,12个关键指标以及130~150个扩展指标	为城市提供一个全面、可操作的途径来更好地引导投资决策,指导城市规划实践,以确保市民(尤其是弱势群体)无论遭受到任何冲击或者压力时都能够生存和持续繁荣
应对气候变化和灾害的弹性城市计划 Climate and Disaster Resilience Initiative	城市网、京都大学等	城市	2010	5个领域,25个关键指标以及125个扩展指标	帮助政府更加了解城市未来面临的潜在风险
灾害弹性指标 Disaster Resilience Indicators	南卡罗来纳大学	国家	2010	5个关键指标,36个扩展指标	评估社区内抵御灾害能力的现状
弹性城市分析计划 City Resilience Profiling Programme	联合国人居署	城市	2012	项目目前正处于研究阶段	为国家和地方政府提供测量和提高应对多种灾害与气候变化弹性能力的工具
弹性城市的10个要点 10 Essentials of City Resilience	联合国国际减灾战略	城市	2012	10个领域,41项指标	在城市基础设施建设时留有余地,帮助当地政府和政策制定者制定公共政策与决策,降低灾害带来的风险,增强对灾害的应变能力

从现有评价指标中可得出以下结论:1)从目标来看,弹性城市评价指标可以衡量城市应对社会变

化、经济动荡以及自然灾害的能力. 体现在合理有效的资源配置、稳定安全的社会环境、多样化的经济构

成及稳健的财政管理、完善的基础设施建设和生态系统管理等方面。2)从结构上来看,指标体系一般采用2层或3层的结构,围绕相关专题或领域进行分类。绝大多数的指标体系都分为3~5个专题和领域,每个专题都有4~5项指标,每一项指标又有5~6个变量,也就是说,总的指标数在150个以内。3)从内容上来看,尽可能利用了国际上通用的衡量国家、区域和城市性能的指标,使指标的代表性可以被国际社会广泛认可。

我国目前对弹性城市理论与实践的研究仍处于起步阶段,主要是对国外弹性城市的研究进展进行归纳总结<sup>[7]</sup>,定量和实证研究尚未开始。

## 1.2 运用层次分析法(AHP)构建弹性城市指标体系

层次分析法(Analytic Hierarchy Process)可以将定性定量因子在同一尺度下进行评价与比较,是一种科学的系统工程决策方法,其主要思路是将复杂问题分成各个组成因素,并将这些因素按支配关系建立层次结构模型。通过每一层次各因素的两两比较,对其相对重要性做出判断,最后构建判断矩阵计算出各(级)指标的权重。

### 1.2.1 指标体系构建原则

弹性城市相对于其他相关的城市评价指标,应具有问题导向性和对风险的针对性,更关注城市系统能够抵抗多元压力,并具有多样化的吸收能力<sup>[8]</sup>,社会、经济、环境、人口健康、政策管理和基础设施等构成弹性城市系统主要的要素都应在指标体系中得到体现。其次,弹性城市作为一个完整的城市系统,是生态、社会、经济、文化以及城市物质空间系统等各方面相互作用的体现。城市系统正常运行依赖于系统内部各子系统以及各层次要素之间的相互协调,因此指标体系也要体现出系统性和层次性,即高层次指标是低层次指标的概括,低层次指标是高层次指标的分解和基础。

### 1.2.2 确定指标体系层次结构

综合参考以往文献,并根据对现有指标体系的分析,从构成城市系统的社会、经济、生态、物质空间、政府治理相互促进、相互制约的复杂关系视角出发,确定我国弹性城市指标体系按社会、经济、城市

体系与服务、城市管治4大类,准则层、领域层及因子层3个层次构建框架。

### 1.2.3 指标的选择

指标选取一方面要与国际接轨,其代表性要被国际社会广泛认可;另一方面,评价指标要适应中国国情和统计制度。根据分类框架,在指标的初选过程中,参考国外较有权威性的如“弹性城市指标研究”等9个指标数据库,结合我国相关4个城市指标体系(见表2),将明显不符合我国国情和统计制度的指标剔除。通过频度分析,将指标进行同类合并,优选出一定数量的备选指标。

利用基于德尔菲法的专家问卷进行指标的评选,邀请城市规划领域专家学者、政府管理者、房地产开发行业代表等共30名,其中高级和中级职称专家所占比例分别为29%和36%,通过专家对备选指标的选择,确定最终的人选指标。

表2 指标选取参考的国内外指标体系  
Tab. 2 Index systems at home and abroad as selected by the index

分类	指标体系	机构
国际参考 指标体系	弹性城市指标研究	德国帕斯特研究中心
	弹性城市指标	美国伯克利大学
	弹性城市指标研究	洛克菲勒基金会
	城市繁荣指数	联合国人居署
	城市繁荣-世界城市状况报告	联合国人居署
	可持续发展指标	联合国可持续发展委员会
	全球城市指标体系	GCIF
	城市数据库	亚洲开发银行
	城市审计	欧盟统计局
	中国城市发展战略绩效指标手册	城市联盟
国内参考 指标体系	中国可持续发展科技纲要	中国科学技术部
	低碳城市标准体系	中国社会科学院
	人居环境奖评价体系	住建部

### 1.2.4 各级指标权重确定

专家问卷调查包括两方面的内容:一方面是指标的评选,另一方面是对指标之间的关系进行两两打分。为定量区分各层级指标的重要程度,需用数字1~9及其倒数作为标度(见表3),构造AHP判断矩阵。

表3 因子相对重要性1~9评判标度  
Tab. 3 The relative importance of factor 1~9

标度	1	3	5	7	9	2,4,6,8
含义	两个因子具有同样重要性	一个因子比另一个因子稍微重要	一个因子比另一个因子明显重要	一个因子比另一个因子强烈重要	一个因子比另一个因子极端重要	上述两相邻判断的中间值
倒数	因子 <i>i</i> 与因子 <i>j</i> 比较的判断为 $\alpha_{ij}$ ,则因子 <i>j</i> 与 <i>i</i> 比较的判断为 $\alpha_{ji}=1/\alpha_{ij}$					

## 2 指标体系构建的结果

### 2.1 指标体系层级结构

根据问卷调查反馈的结果,运用层次分析法将所选取的指标按照其关联和隶属关系构建 4 个准则层、多个领域和因子层的 3 级层次结构.其中第一层次表示弹性城市评价中的一级评价指标(准则层 B),包括社会、经济、城市基础设施与服务、城市管

治 4 个方面;第二层次表示弹性城市评价中的 12 个二级评价指标(领域层 C),包括教育、劳动力和贫困、区域吸引力等;第三层次为由 35 个同级评价指标构成的表示弹性城市评价的 3 级评价指标(因子层).

### 2.2 确定各级指标权重

运用 MATLAB 软件针对专家的打分结果计算出各判断矩阵的最大特征值和特征向量,进行归一化处理得到各级指标的总排序权重(见表 4).

表 4 弹性城市评价指标综合权重表  
Tab. 4 The weight of resilient city evaluation indicators

目标层	准则层	权重	领域层	权重	因子层	权重	
弹性城市评价指标体系(A)	社会弹性(B1)	0.338 6	教育(C1)	0.221 4	大专及以上学历文化程度的人口占 15 岁及以上人口比重	0.097 2	
						教师与学生比	0.051 7
						教育事业支出占地方政府支出比例	0.072 5
		经济活力和繁荣(C4)	0.088 2	劳动力和贫困(C2)	0.032 9	城市登记失业率	0.017 6
						城市贫困人口百分比	0.015 3
						医生数/每千人	0.052 8
		经济弹性(B2)	0.237 0	区域吸引力(C3)	0.084 3	病床数/每千人	0.022 5
						城市人均避难场所面积	0.009 0
						人均 GDP	0.028 5
		城市基础设施与服务(B3)	0.225 0	经济灵活性(C5)	0.036 2	人均可支配收入	0.041 3
						固定资产投资总额	0.018 4
						第二产业对 GDP 贡献率	0.020 0
	城市管治(B4)	0.199 4	创新潜力(C6)	0.112 6	第三产业对 GDP 贡献率	0.016 2	
					每年新专利数/每千人	0.044 1	
					高等教育学位数/每千人	0.042 6	
			关键基础设施(C7)	0.075 6	人才培训基地建设	0.025 9	
			环境管理(C8)	0.053 9	人均公共交通公里数	0.022 4	
			资源节约(C9)	0.095 5	城镇移动电话普及率	0.006 1	
					国际互联网用户普及率	0.007 5	
					排水管网密度	0.039 6	
					空气质量优良天数	0.019 4	
					集中式饮用水水质达标率	0.024 8	
					公园绿地 500 m 服务半径覆盖率	0.004 7	
					综合物种指数	0.005 0	
					平均通勤时间	0.006 5	
					再生水利用率	0.037 2	
					单位 GDP 能耗	0.014 6	
					绿色建筑比例	0.037 2	
			社会整合(C10)	0.100 3	公众参与度	0.077 6	
			应急管理(C11)	0.053 2	居民组织与政府、企业、社会团体等利益相关者联盟数量	0.022 7	
			综合发展规划(C12)	0.045 9	应急指挥信息平台建设	0.026 8	
					自然灾害预警平台建设	0.012 6	
					数字城市管理系统覆盖率	0.013 8	
					专家咨询机构建设	0.028 7	
					基于风险的土地利用规划编制	0.017 2	

### 2.3 一致性检验

由于实际评价中客观事物的复杂性和人的认识多样性,可能出现判断结果不一致的情况,因此需要进行判断矩阵的一致性检验.根据 AHP 原理将一致性比率定义为:  $CR = \frac{CI}{RI}$ ,其中 CI 为一致性指标,与具体的判断矩阵有关,假设判断矩阵的最大特征

值为  $\lambda_{max}$ ,该判断矩阵的阶数为  $n$ ,则  $CI = \frac{\lambda_{max} - n}{n - 1}$ .

RI 为随机一致性指标,仅与该判断矩阵的阶数有关,其取值范围见表 5<sup>[9]</sup>.

表 5 平均随机一致性指标 RI 的取值  
Tab. 5 The values of average random consistency index RI

n	1	2	3	4	5	6	7	8	9
RI	0.00	0.00	0.58	0.90	1.12	1.24	1.32	1.41	1.45

当一致性比率  $CR < 0.1$  时,则认为判断矩阵的一致性是可以接受的.从计算结果来看(见表6),

各级矩阵的一致性比率均小于 0.1,具有较为令人满意的一致性.

表6 一致性比率表  
Tab.6 The consistency rate table

矩阵	A	B1	B2	B3	B4	C1	C2	C3	C4
N	4	3	3	3	3	3	2	3	3
CI	0.063 6	0.009 5	0.004 5	0.016 2	0.021 8	0.012 1	0.000 0	0.015 9	0.003 4
CR	0.070 7	0.016 3	0.007 8	0.031 2	0.037 6	0.020 9	0.000 0	0.027 4	0.005 9
矩阵	C5	C6	C7	C8	C9	C10	C11	C12	
N	2	3	4	4	4	2	3	2	
CI	0.000 0	0.014 8	0.035 7	0.014 6	0.014 5	0.000 0	0.001 1	0.000 0	
CR	0.000 0	0.025 5	0.040 1	0.016 4	0.016 3	0.000 0	0.001 9	0.000 0	

## 2.4 指标体系结果分析

从表4的指标权重可知,专家普遍认为城市弹性能力首先应表现在社会应对变化的能力(0.338 6),人口的受教育程度、社会资本与资源的可获得性等方面的差异将会直接影响不同社会群体的脆弱性程度.其次,灾害发生时城市经济系统运行和自给自足的能力(0.237 0)也很重要,表现为经济稳健和结构多样性,另外还有自我学习和创新能力方面.同时,在城市基础设施与服务(0.225 0)方面,弹性城市强调综合应对外部力量对交通、通讯等关键基础设施、资源循环、生态系统、能源等社会-环境系统造成冲击的能力.最后,政府机构的管治能力(0.199 4)已成为城市处理突发事件,引导城市社会、经济、生态向可持续与更富弹性方向发展的重要手段<sup>[10]</sup>.城市政府作为地方社会组织与管理的主体,可以通过高效的领导,保证信息通达,完善灾难发生前的预警能力,发生时和发生后组织、管理、规划和行动的能力.

教育(0.221 4)、创新潜力(0.112 6)、社会整合(0.100 3)、资源节约(0.095 5)依次排在领域层指标的前4位,并且从问卷调研反馈成果来看,专家打分保持较高的一致性.而在因子层中,大专及以上学历的人口占15岁及以上人口比重(0.097 2)、每年新专利数/每千人(0.044 1)、排水管网密度(0.039 6)、公众参与度(0.077 6)等都分别是上级领域层下得分较高的指标.

## 3 结论

建立弹性城市指标体系的意义在于更加科学、准确、全面地衡量一个城市的优势和劣势,评估一个城市对未来外部变化的适应性及自我调节能力,使规划决策更为科学化.但事实上,城市规划研究中的量化分析也具有一定的局限性.其局限性首先表现在对人口、社会经济状况、环境、基础设施和服务水平等基础统计数据的积累、准确程度的依赖,而当前处于快速城市化时期的中国城市都存在数据缺乏或很难收集的问题.因此在选择指标时,应尽量考虑纳

入政府监测范围内的指标,引进部分具有前瞻性和创新性的指标.其次,弹性城市的根本内涵直接决定了评价指标的地域性.由于我国不同地区城镇化进程存在较大的差距,很难用统一的标准去评价差异较大的城市.因此,本文设计了一套适用于弹性城市评价的一般性指标体系,但在实施评价时,要根据具体实证城市的特点进行指标体系的筛选或扩展,确定具体的评价指标体系.

运用层次分析法建立城市弹性能力评价指标体系,可以客观和形象地反映出城市现状、存在的问题以及预测未来的发展趋势.这种研究思路和方法可以在实际评价过程中进一步地完善和修改,使城市弹性能力的量化评价具有可操作性,以推动弹性城市规划和建设.

## 参考文献

- [1] NEWMAN P W G, BEATLEY T, BOYER H. Resilient cities: responding to peak oil and climate change[J]. *Journal of Urban Design*, 2012, 46(1):301-303.
- [2] CUMMING G S. Spatial resilience: integrating landscape ecology, resilience, and sustainability[J]. *Landscape Ecology*, 2011, 26(7): 899-909.
- [3] TURNER B L, KASPERSON R E, MATSON P A, *et al.* A framework for vulnerability analysis in sustainability science[J]. *Proceedings of the National Academy of Sciences, USA*, 2003, 100(14): 8074-8079.
- [4] MCENTIRE D A. Triggering agents, vulnerabilities and disaster reduction: towards a holistic paradigm[J]. *Disaster Prevention and Management*, 2001, 10(3): 189-196.
- [5] BRUNEAU M, CHANG S E. A framework to quantitatively assess and enhance the seismic resilience of communities[J]. *Earthquake Spectra*, 2003, 19(4): 733-752.
- [6] GUNDERSON L, HOLLING C S. *Panarchy: understanding transformations in human and natural systems*[M]. Washington, DC: Island Press, 2001.
- [7] 蔡建明, 郭华, 汪德根. 国外弹性城市研究述评[J]. *地理科学进展*, 2012, 31(10): 1245-1255.  
CAI Jian-ming, GUO Hua, WANG De-gen. Review on the resilient city research overseas [J]. *Progress in Geography*, 2012, 31(10): 1245-1255. (In Chinese)
- [8] 李彤羽, 牛品一, 顾朝林. 弹性城市研究框架综述[J]. *城市规划学刊*, 2014(5):23-31.  
LI Tong-yue, NIU Pin-yi, GU Chao-lin. A review on research frameworks of resilient cities[J]. *Urban Planning Forum*, 2014(5): 23-31. (In Chinese)
- [9] ALEXANDER J, SAATY T L. The forward and backward processes of conflict analysis[J]. *Behavioral Science*, 1997, 22(2): 87-98.
- [10] 黄晓军, 黄馨. 弹性城市及其规划框架初探[J]. *城市规划*, 2015, 39(2):50-56.  
HUANG Xiao-jun, HUANG Xin. Resilient city and its planning framework[J]. *City Planning Review*, 2015, 39(2):50-56. (In Chinese)