

# 基于层次分析法的宁波城市脆弱性综合指数评价

王小可<sup>1</sup>, 吕思成<sup>1</sup>, 黄辉<sup>1,2\*</sup>, 李威<sup>3</sup>

<sup>1</sup>宁波工程学院材料与化学工程学院, 浙江 宁波

<sup>2</sup>天津大学浙江研究院, 浙江 宁波

<sup>3</sup>浙江华业电力工程股份有限公司, 浙江 宁波

收稿日期: 2022年10月18日; 录用日期: 2022年11月19日; 发布日期: 2022年11月28日

## 摘要

宁波作为东南沿海及其重要的港口城市, 对其脆弱性的成因以及动态变化趋势进行分析和评价, 能够为降低城市的脆弱性和促进城市的可持续发展提供科学依据。层次分析法是将与决策有关的元素分解成目标、准则、方案等层次并在此基础上进行定性和定量分析的决策方法。本文运用层次分析法确定评价指标的权重, 用综合指数评价法计算城市脆弱性指数。通过分析宁波市四个系统脆弱性和城市综合脆弱性的动态变化过程, 可以得出: 宁波市生态环境良好, 经济运行发展良好, 但社会基础设施投资与建设还有待提升; 宁波市综合脆弱性指数从2012年到2021年呈现下降态势, 表明宁波市的城市发展质量取得了极大的提高。

## 关键词

脆弱性, 评价, AHP

# Comprehensive Index Evaluation of Urban Vulnerability in Ningbo Based on Analytic Hierarchy Process

Xiaoke Wang<sup>1</sup>, Sicheng Lyu<sup>1</sup>, Hui Huang<sup>1,2\*</sup>, Wei Li<sup>3</sup>

<sup>1</sup>School of Materials and Chemical Engineering, Ningbo University of Technology, Ningbo Zhejiang

<sup>2</sup>Zhejiang Institute of Tianjin University, Ningbo Zhejiang

<sup>3</sup>Zhejiang Huaye Power Engineering Co., Ltd., Ningbo Zhejiang

Received: Oct. 18<sup>th</sup>, 2022; accepted: Nov. 19<sup>th</sup>, 2022; published: Nov. 28<sup>th</sup>, 2022

\*通讯作者。

文章引用: 王小可, 吕思成, 黄辉, 李威. 基于层次分析法的宁波城市脆弱性综合指数评价[J]. 自然科学, 2022, 10(6): 1148-1156. DOI: 10.12677/ojns.2022.106128

## Abstract

As a southeast coastal city and an important port city, Ningbo's vulnerability analysis and evaluation of the causes and dynamic trends can provide a scientific basis for reducing urban vulnerability and promoting urban sustainable development. The analytic hierarchy process is a decision-making method that decomposes the elements related to decision-making into levels such as goals, criteria, and schemes, and conducts qualitative and quantitative analysis on this basis. This paper uses the analytic hierarchy process to determine the weight of the evaluation index, and uses the comprehensive index evaluation method to calculate the urban vulnerability index. By analyzing the dynamic change process of four system vulnerability and urban comprehensive vulnerability in Ningbo, it can be concluded that Ningbo has a good ecological environment and good economic operation, but the investment and construction of social infrastructure still need to be improved. The comprehensive vulnerability index of Ningbo shows a downward trend from 2012 to 2021, indicating that the quality of urban development in Ningbo has been greatly improved.

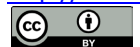
## Keywords

Vulnerability, Evaluation, AHP

Copyright © 2022 by author(s) and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY 4.0).

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



Open Access

## 1. 引言

城市作为一个耦合系统,其脆弱性研究在国内也愈发重视起来。建国初期,我国城市化率仅为 10.6%,但是经过几十年的发展,我国的城市化水平不断提升,到如今已经形成了较为发达的城市体系。截止 2021 年末,全国城市人口为 8.48 亿,城市化率为 60.6% [1]。城市的快速发展也导致了大量的问题,极大的凸显了城市的脆弱性。工业制造型城市作为现阶段我国能源资源安全保障的核心地区,正处于转型的最佳和关键时期,其脆弱性需密切关注;近年来,国内对城市脆弱性的概念、框架、评价等方面的研究比较多,而对其动态演变进行的研究则比较少。

脆弱性最早出现在工程领域,20 世纪 70 年代初被引用到自然灾害领域,如评估气候变化、地质灾害对城市脆弱性的影响[2]。随后又逐渐延伸到社会科学领域,如智慧城市下的脆弱性及其综合应对能力[3]。进入 21 世纪以来,随着人们对城市脆弱性的深入研究,研究领域也不断拓宽,研究重点向资源脆弱性和经济脆弱性倾斜,例如毕云龙、牛方曲等运用 TOPSIS 模型对资源型城市脆弱性进行评价,为建立预警机制提供理论支撑[4];张英魁、徐彩勤对自然与人力双重影响下特大城市脆弱性及其底线治理机制建构的研究[5]。层次分析法是进行决策分析与重要度评价的一种常用方法,国内大多利用此方法研究城市现状,比如张柏馨、张璐等利用层次分析法对安康旅游资源现状的模糊评价体系分析[6];罗娜通过层次分析法实现了对县域土地利用现状的评价[7]。

综上所述,目前国内学者对城市脆弱性的研究偏向于灾害频发地区和研究资源型城市,对沿海城市的参考价值不太明显。宁波市作为“海上丝绸之路”的始发港,承担着全球贸易重要的一环[8],它凭借独特的地理优势经济飞速发展,每年都会吞吐巨大的货物量。同时作为产业、人口、经济高度密集的开放互通空间,宁波市各子系统之间相互作用也极为强烈,各系统之间长期相互作用的结果影响了城市脆

弱性的演变结果。本文根据该市实际情况选取相应指标体系,采用层次分析法探讨宁波市近 10 年来的脆弱性及其动态,并提出相应的应对策略,以期为其发展提供理论依据。

## 2. 研究方法 with 指标体系建设

### 2.1. 研究方法

城市脆弱性是指城市各个系统对突发事件和遭受外来因素干扰时的可能性和遭受损害的程度,是否具有足够的抗干扰能力和敏感性,从而对城市系统的结构和功能造成变化的属性。脆弱性评价多采用多指标构建定量模型的方法,逐渐由单一系统分析向关注多重扰动和耦合系统脆弱性分析转变[9]。

由于宁波的城市系统较为复杂,故本文采用多因子综合评价法构建宁波市城市脆弱性评价指标体系,运用层次分析法计算指标权重,最终计算分系统脆弱性指数和城市综合脆弱性指数,从而进行脆弱性等等级划分。本文将城市评价指标体系分为三层,第一层为一级指标,是城市包含的四个子系统生态环境、经济、社会和资源;第二层为二级指标,是四个子系统所包含的要素方面;第三层为三级指标,是用于评价城市脆弱性的基本指标。

### 2.2. 评价指标选取

本文以宁波市作为研究对象,宁波市地表水资源丰富,土地和粮食产量供应充足,但平原土地资源较少,山地和丘陵土地利用率有限,因此需提高资源的利用率;宁波市也属于北亚热带季风气候,四季分明,生态环境是其生态功能抵抗能力的体现;宁波市拥有国内最优质的港口,货物吞吐量名列前茅,所以经济是衡量其发展不可或缺的一部分;完好的社会治安和社会保障是城市稳定运行和实现可持续发展的基础。结合以上的城市特点,本文从资源、生态环境、经济以及社会 4 个方面,选取相对应的 21 个指标,构建了宁波城市的脆弱性综合测度指标体系,所涉及的数据来源于《宁波市水资源公报》(2012~2021)、《宁波市统计局统计年鉴》(201~2021)、《宁波市环境状况公报》(2012~2021)、《宁波市国民经济和社会发展统计公报》(2012~2021)。本文在同一指标选取上采取统一数据来源,以保持数据一致性。

#### 2.2.1. 生态环境脆弱性

城市生态环境脆弱性包括生态敏感度、生态弹性度、生态压力三方面。敏感性反映了生态环境对干扰的敏感程度;弹性刻画了生态系统的自我恢复、调节的特性;压力表征了内外部因素对生态环境产生的压力。研究宁波市的生态环境脆弱性,除了考虑常规的生态功能抵抗能力,还应考虑污染处理水平。

#### 2.2.2. 经济脆弱性

大体由经济效益、经济结构、经济总量、经济发展潜力四个部分构成,分别表示城市发展能力、发展基础、风险抵御能力和未来竞争力。在经济脆弱性评价指标的选取上,应结合宁波市经济系统的特点,从经济的结构、效益、和创新三个方面出发。

#### 2.2.3. 资源脆弱性

城市的生命力是由城市的土地资源、水资源以及原材料消耗情况来决定的[10]。宁波的资源丰富但影响因素较多,所以从资源的利用率和资源供应两方面入手。

#### 2.2.4. 社会脆弱性

城市社会系统由多方面组成,包括社会系统的敏感性与应对能力两方面[11]。城市系统的社会系统与人类活动息息相关,因此选取人类发展、基础设施、社会环境三个常规指标。

### 2.3. 数据处理

为求得指标层各项指标, 需要对指标层的各项指标数据进行标准化, 因此本文采用极值处理法对数据进行标准化。指标的性质不同, 对城市系统的作用也不同, 极值处理法的运算公式也就不同。正向指标的计算公式如下[12]:

$$x = \frac{x_{ij} - \min\{x_j\}}{\max\{x_j\} - \min\{x_j\}} \quad (1)$$

正向的评价指标值越大, 脆弱性越大。

逆向指标的计算公式如下:

$$x = \frac{\max\{x_j\} - x_{ij}}{\max\{x_j\} - \min\{x_j\}} \quad (2)$$

逆向的评价指标值越大, 脆弱性越小。其中,  $X$  为该项指标的评价值,  $x$  为指标样本数据的实测值。 $\max$  代表样本数据最大值,  $\min$  代表样本数据最小值。

### 2.4. 脆弱性指数的计算

将指标层的各项数据标准化后, 运用公式计算生态环境、经济、社会和资源的脆弱性指数以及宁波市城市综合脆弱性指数。计算公式为:

脆弱度指数 =  $\sum X \times Y$ 。其中,  $X$  为各列指标标准化后数值,  $Y$  为各指标权重。

建立完成评价指标体系后, 采用 AHP 法确定各指标权重, 因为层次分析法过度依赖于主观上的判断, 所以采用了问卷调查的形式, 选取 10 名了解宁波相关领域的行业专家, 对各级指标的重要性进行 1~7 分的赋值, 分数越大则重要性越高。统计问卷调查得到各级指标的分数得到各级重要性排序之后, 通过比例标度法构造判断矩阵, 利用 Excel 软件计算出各级指标的权重值, 得到的结果见表 1。

**Table 1.** Ningbo urban vulnerability comprehensive evaluation system

**表 1.** 宁波市城市脆弱性综合评价体系

一级指标层(权重)	二级指标层(权重)	三级指标层	权重	性质
生态环境脆弱性(0.4831)	生态功能抵抗能力(0.6340)	建成区绿化覆盖率	0.6667	逆向
		人均公园绿地面积	0.3333	逆向
	污染处理水平(0.3660)	污水集中处理率	0.5858	逆向
		工业固体废弃物处理率	0.4142	逆向
经济脆弱性(0.2717)	经济结构(0.1365)	第三产业占 GDP 比重	0.6340	逆向
		进出口总额占 GDP 比重	0.3660	正向
	经济效益(0.6250)	规模以上工业企业产品销售率	0.4142	逆向
		人均劳动生产总值	0.5858	逆向
	经济创新(0.2384)	研究与试验发展经费占 GDP 比重	0.5858	逆向
	科学技术支出占地方财政支出比例	0.4142	逆向	

Continued

社会脆弱性(0.1568)	人类发展(0.5278)	人口自然增长率	0.3660	正向
		人均居住面积	0.6340	逆向
		人均拥有道路面积	0.1047	逆向
	基础设施(0.1396)	万人拥有病床数	0.6369	逆向
		万人拥有公交车辆	0.2582	逆向
		城镇登记失业率	0.4142	正向
社会环境(0.3325)	基本医疗保险参保率	0.5858	逆向	
	资源利用率(0.6910)	万元产值综合能耗	0.5858	正向
资源脆弱性(0.0882)	亿元 GDP 建设用地占用	0.4142	正向	
		单位面积粮食产量	0.6667	逆向
	资源供应(0.3090)	人均年水生产能力	0.3333	逆向

### 3. 结果与分析

#### 3.1. 宁波市四个子系统脆弱性动态分析

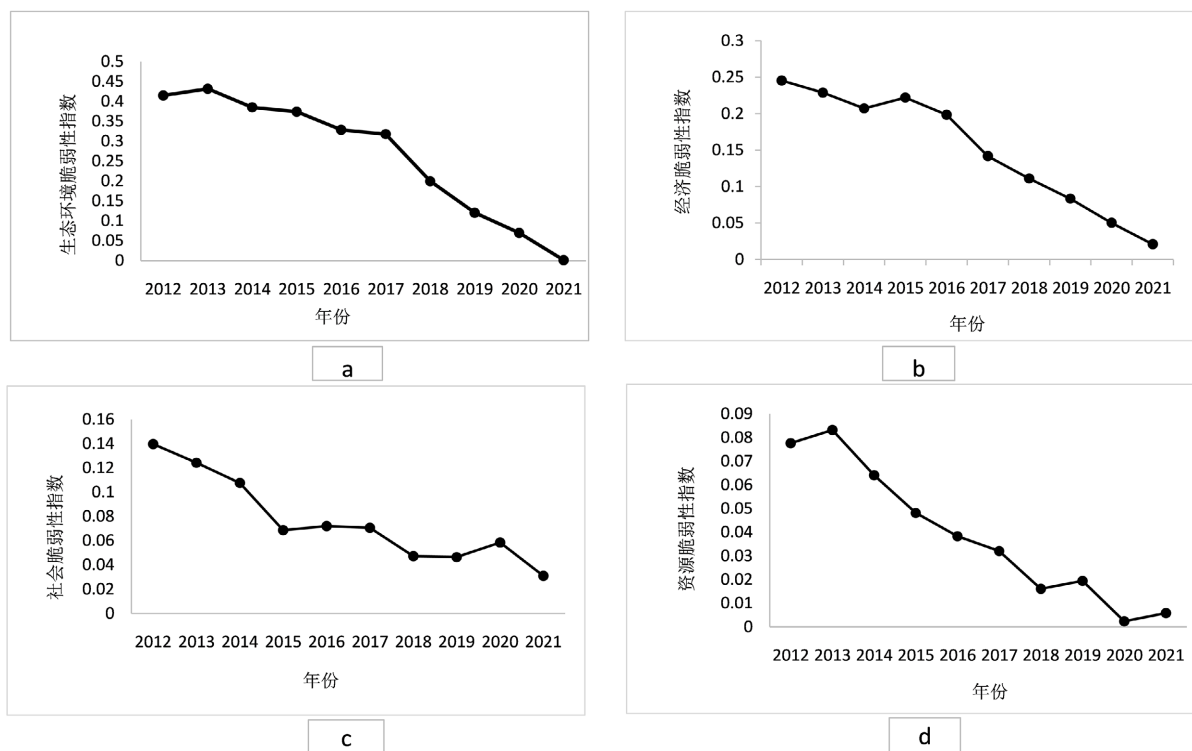
根据生态环境子系统收集到的数据,对所收集的各项数据进行数据标准化,再进行计算后,得到的结果见图 1(a):由下图可以分析出,在选取的 2012~2021 年的时间范围内,明显地看到折线整个趋势是向下的,表明这 10 年内生态环境脆弱性指数也是在不断减小的,宁波市的生态环境在不断变好,使得宁波市的生态环境的承载能力逐渐变强。仅在 2013 年,生态环境脆弱性指数相比于 2012 年略有上涨,宁波的工业快速发展,工业固体废弃物产生量增加,处理工业固体废弃物的相应设施没有增加,使工业固体废弃物处理率下降。随后,宁波新增了措施来控制工业固体废弃物处理率,如完成了北仑环保固废处置有限公司危废焚烧三期项目和宁波大地化工环保有限公司危废焚烧三期项目建设等,使固体废弃物处理率进一步上升。同时,宁波市在生态环境其他方面也在不断完善,人均公共绿地面积也由 2012 年的 10.8 平方米上升到 2021 年的 13.86 平方米,污水集中处理率更是由 2012 年的 % 84.16 升到 2021 年的 99.15%。因此说明单独治理生态环境是远远不够的,还需要其它系统在发展方面相协调,生态环境脆弱性指数才会下降,生态环境的承载能力不断上升[13]。

根据图 1(b)的经济脆弱性动态折线图显示,宁波市 2012 年到 2021 年经济脆弱性指数是在波动下降的,表明这 10 年内宁波市的经济运行发展状况良好,经济水平不断提高。在 2012 年到 2021 年之间,宁波市的经济系统呈现出理想的稳定状态,宁波市的第三产业占 GDP 比重由 2012 年的 40.2% 增加到 2021 年的 49.1%,表明宁波市的产业结构正在向以第三产业为主的阶段过渡。同时宁波市在资源方面应大力发展高新技术产业,宁波市的科学技术支出占地方财政支出比例由 2012 年的 3.75% 增加到 2021 年的 9.05%,仅有 2015 年出现了下降,为 3.78%,但也充分展现了宁波市在经济创新上的重视。宁波市的经济稳定发展上升,说明宁波市的经济系统也处于稳定状态,能够在一定程度上稳定宁波市的城市巨系统,从而影响到其它系统。

根据社会子系统收集到的数据对所收集的各项数据进行数据标准化,再进行计算后,得到的结果见图 1(c):由图可以体现出,在 2012 年到 2021 年宁波市社会脆弱性指数整体上呈下降趋势,说明宁波市的社會大环境还是处于稳定状态,但在 2014 年至 2016 年之间呈现出一定的波动。万人拥有病床数从 2012

年的 47.06 个增加到 2014 年的 52.8 个,但在 2015 年又下降到了 42 个,城镇登记失业率由 2012 年的 3.44% 降低到 2015 年的 2.01%,基本医疗保险参保率由 2012 年的 39.98% 增加到 2015 年的 92.81%,因此 2012 年到 2015 年宁波市的社会脆弱性指数在不断下降。因此宁波市政府在 2015 年发布了《宁波市人民政府办公厅关于进一步加强和提升社会保障和公共就业基层服务能力的指导意见》(2015)人是社会的重要组成部分,人口增多会导致社会出现许多问题,因此城市在发展过程中必须要有与人口数量相匹配的基础设施建设,提高社会保障和就业支出,降低失业率只有人的基础问题得到了解决,社会才会稳定,社会脆弱性指数才会下降[14]。

根据资源子系统收集到的数据,对所收集的各项数据进行数据标准化,得到的结果见图 1(d): 不难看出,在 2012 年到 2021 年宁波市资源脆弱性指数整体出现波动,但依然处于下降趋势。这其中,宁波市的节能减耗的科学措施效果明显,万元产值综合能耗由 2012 年的 0.4236 吨/万元下降到 2021 年的 0.164 吨/万元,亿元 GDP 建设用地占用由 2012 年的 0.084 平方千米/亿元下降到 2021 年的 0.044 平方千米/亿元。宁波市地处东南沿海,资源受季风气候的影响非常大,2013 年台风“菲特”登陆宁波,引发不同程度的洪涝灾害,影响了当地水稻等作物的收获,粮食产量的降低使得社会脆弱性升高。但科技的快速发展使气候对人的影响逐渐降低,资源获取更加稳定,使得宁波市资源脆弱性指数在总体上处于下降趋势。



**Figure 1.** Dynamic change trend of vulnerability of four subsystems in Ningbo from 2012 to 2021, (a), (b), (c) and (d) are vulnerability of ecological environment, economy, society and resources respectively

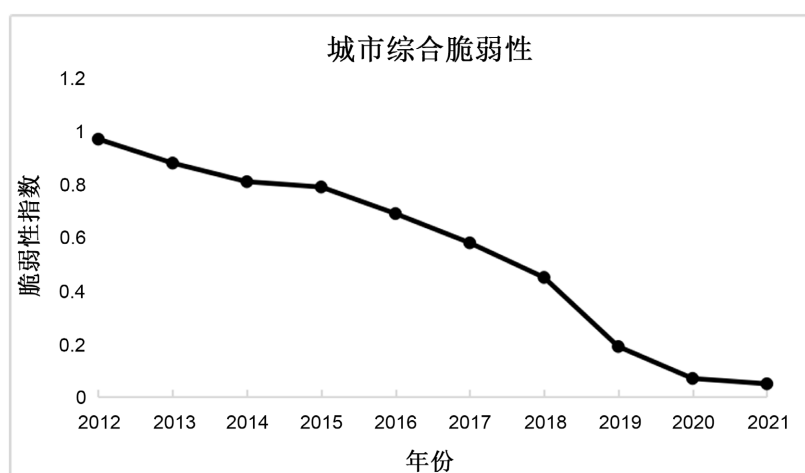
**图 1.** 宁波市 2012~2021 年四个子系统脆弱性动态变化趋势, (a)、(b)、(c)、(d)分别为生态环境、经济、社会、资源脆弱性

### 3.2. 宁波市城市综合脆弱性动态分析

根据生态环境、经济、社会、资源子系统收集到的数据进行计算,得到四个脆弱性指数数据见表 2。对所收集的各项数据进行数据标准化,再进行计算后,得到的结果如图 2 所示:

**Table 2.** Vulnerability index data of ecological environment, economy, society and resources  
**表 2.** 生态环境、经济、社会、资源脆弱性指数数据表

年份	生态环境脆弱性指数	经济脆弱性指数	社会脆弱性指数	资源脆弱性指数
2012	0.8438	0.6587	0.7008	0.7325
2013	0.7124	0.6724	0.5789	0.7000
2014	0.7403	0.6208	0.5227	0.7766
2015	0.6404	0.5284	0.4923	0.5594
2016	0.6058	0.6396	0.2577	0.4159
2017	0.4871	0.5488	0.3263	0.2924
2018	0.4640	0.2860	0.3106	0.2286
2019	0.1930	0.1470	0.1122	0.0425
2020	0.0152	0.0305	0.1250	0.0707
2021	0.0111	0.1367	0.1330	0.0334

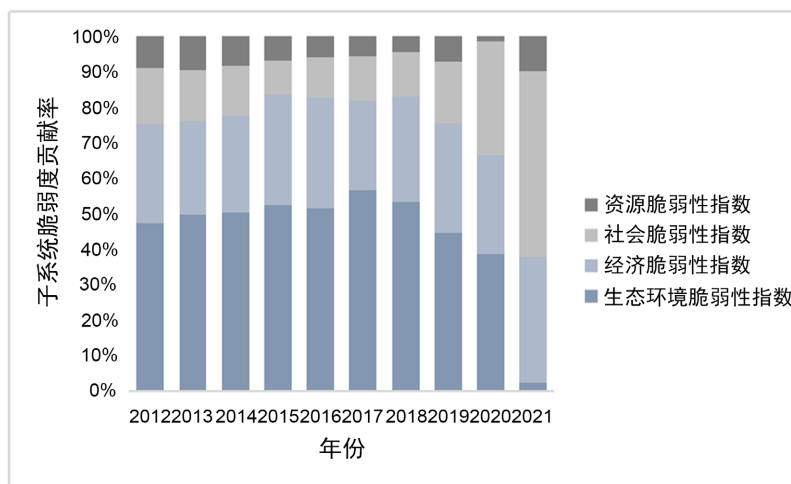


**Figure 2.** Dynamic change trend of urban comprehensive vulnerability in Ningbo from 2012 to 2021  
**图 2.** 宁波市 2012~2021 年城市综合脆弱性动态变化趋势

由图可看出在 2012 年到 2021 年宁波市城市综合脆弱性指数整体处于明显的下降趋势，城市综合脆弱性指数的下降是由于宁波市城市的四个子系统生态环境、经济、社会和资源都处于稳定发展的状态，使得城市对于突发事件和外界干扰有着较强的抵抗能力。宁波市通过 2012 年到 2021 年这 10 年的不断努力，实施有助于城市发展的各项措施，不断调整各项产业的结构，使其更符合当前社会发展的模式；也注重加强经济上的创新能力，使经济一直保持繁荣的状态；更是在科学技术上的发展不断突破，为经济的发展注入活力；经济的繁荣也保证了社会的稳定，科学技术的突破使资源的利用率更高[15]。以上这些不断地弥补着因为城市化而给宁波市带来的负面影响，使得宁波市的城市可持续发展能力得到了显著增强，最终使宁波市的城市综合脆弱性明显降低。

宁波市子系统脆弱度贡献率的变化趋势如图 3 所示，由下图可知，在 2012 年到 2019 年之间，宁波市的经济脆弱性和生态环境脆弱性对城市综合脆弱性的贡献率较大，基本占到 70%左右，两者均处于高和较高脆弱度。在 2020 年之后，社会脆弱性的贡献率明显增加，在 2021 年基本达到了 50%左右，而生

态环境脆弱性的贡献率降低了很多, 这些现象符合宁波的城市职能特点。综合以上分析, 宁波市综合脆弱性由经济和生态环境主导转为社会主导。



**Figure 3.** Trend of vulnerability contribution rate of Ningbo urban subsystem from 2012 to 2021  
**图 3.** 2012~2021 年宁波城市子系统脆弱度贡献率变化趋势

#### 4. 结论

通过对城市综合系统下的四个子系统生态环境、经济、社会 and 资源的脆弱性的研究, 可以对城市综合脆弱性进行评价, 得出了 2012 年至 2021 年的宁波市城市综合脆弱性动态变化过程, 总结后得出以下结论:

2012 年至 2021 年宁波市城市综合脆弱性整体呈现下降趋势, 城市发展状况良好, 生态环境脆弱性、经济脆弱性、社会脆弱性和资源脆弱性都有明显地下降趋势, 极大地影响了城市综合脆弱性的动态变化趋势。宁波市的经济脆弱性、社会脆弱性和资源脆弱性有一定波动。虽然宁波市的财政支出不断提高, 但在基础设施投资与建设中依然有不足的地方, 造成社会脆弱性波动。因此经济发展的同时, 宁波市也加大了对基础设施的投资与建设, 保障人民的基本生活, 逐渐改善社会环境, 提高教育医疗水平, 实施有效措施节能降耗。宁波市凭借优质的港口, 资源运输十分方便, 城市发展并未受到本地资源的限制。在各个系统的相互影响和协调过程中使城市在发展的道路上快步前进。宁波市靠着独特的地理优势经济飞速发展, 但也遭遇着巨大的挑战。通过系统性的城市脆弱性分析, 及时的找出城市发展中的问题, 得出城市的整体状况, 更好的反映出城市内各个子系统的协调发展情况。然而本文因个人能力有限, 并未在生态环境脆弱性、经济脆弱性、社会脆弱性和资源脆弱性的指标选取上并未过多选取, 同时由于研究选取的时间范围过小, 不能反映大范围时间尺度上城市脆弱性的变化特征。今后在研究上应更注重实际情况, 以便更好地提出对策和措施, 方便城市的建设和治理, 为城市的可持续发展打下良好的基础。

#### 基金项目

宁波工程学院大学生创新计划训练项目(2022004)。

#### 参考文献

- [1] 尹春侠. 城市脆弱性评估及子系统耦合协调性分析[D]: [硕士学位论文]. 天津: 天津理工大学, 2019.
- [2] 俞雅乖, 潘汉青. 气候变化、地质灾害与城市减灾防灾体系构建——基于宁波城市脆弱性的视角[J]. 西南民族大学



- 学报(人文社会科学版), 2012, 33(12): 146-149.
- [3] 吴璟. 智慧城市的脆弱性及其综合应对[J]. 天津社会科学, 2020(2): 106-110.
- [4] 毕云龙, 牛方曲, 李伟, 齐瑞, 杨壮壮. 资源型城市脆弱性评价和预警机制研究: 以山西省为例[J]. 中国矿业, 2021, 30(6): 65-73.
- [5] 张英魁, 徐彩勤. 自然与人力双重影响下特大城市脆弱性及其底线治理机制建构[J]. 行政论坛, 2022, 29(2): 110-120.
- [6] 张柏馨, 张璐, 陈佳怡. 基于层次分析法的安康旅游资源现状的模糊评价体系分析[J]. 产业与科技论坛, 2021, 20(9): 37-38.
- [7] 罗娜. 基于层次分析法的县域土地利用现状评价——以资阳市乐至县为例[J]. 房地产世界, 2021(12): 1-5.
- [8] Angarita Uscategui, P.N., Gallardo Amaya, R.J. and Oliva Gonzalez, A.O. (2019) Analysis of Urban Vulnerability before Natural and Anthropogenic Hazards: Case Study, Human Settlement Colinas de la Provincia, Municipality of Ocaña, Colombia. *Journal of Physics: Conference Series*, **1257**, Article ID: 012020. <https://doi.org/10.1088/1742-6596/1257/1/012020>
- [9] 陈晓红, 许晓庆, 刘艳军, 等. 基于三生空间质量的哈长城市群城市脆弱性时空演变格局及驱动力研究[J]. 生态学报, 2022, 42(15): 6395-6405.
- [10] 梁保平, 梁诗婷. 桂林市脆弱性综合评价与动态演变研究[J]. 国土资源科技管理, 2020, 37(4): 1-11.
- [11] 陈志端, 仇保兴, 陈鸿. 韧性城市系统韧健水平提升与强健模型研究——基于复杂适应系统理论(CAS) [J]. 城市发展研究, 2021, 28(8): 1-9.
- [12] 刘超. 城市脆弱性风险评估模型优化探讨[D]: [硕士学位论文]. 大庆: 东北石油大学, 2021.
- [13] 李燕喃. 基于“压力-敏感-适应”模型的城市脆弱性时空格局演变研究[D]: [硕士学位论文]. 重庆: 重庆大学, 2021.
- [14] 乔青, 高吉喜, 王维, 等. 生态脆弱性综合评价方法与应用[J]. 环境科学研究, 2008, 21(5): 117-123.
- [15] 赵领娣, 隋晓童. 气候变化背景下沿海城市脆弱-协调性时空演化趋势分析——以山东沿海地区为例[J]. 中国海洋经济, 2020(2): 77-95.