

# 粤港澳大湾区城市群自然灾害综合承灾能力评价

王钧<sup>1,2</sup>, 宫清华<sup>1,2</sup>, 宇岩<sup>3</sup>, 袁少雄<sup>1,2</sup>, 陈军<sup>1,2</sup>, 黄光庆<sup>1,2</sup>

(1. 广州地理研究所 广东省地理空间信息技术与应用重点实验室, 广州 510070; 2. 南方海洋科学与工程广东省实验室, 广州 511458; 3. 广东省科技图书馆 广东省科技信息与发展战略研究所, 广州 510070)

**摘要:** 随着全球气候变化, 城市自然灾害日益频繁, 城市综合承灾能力越来越受到关注。基于城市人口、社会、经济、环境、交通等承灾体特征, 建立粤港澳大湾区城市群自然灾害综合承灾能力评价指标体系; 基于客观赋权的信息熵法, 建立城市综合承灾能力定量分析评价模型; 在此基础上, 计算得到粤港澳大湾区城市综合承灾能力指数, 分析各城市自然灾害综合承灾能力水平和影响因素。结果表明: 粤港澳大湾区城市综合承灾能力指数变化范围为0.1886~0.6615, 广州和深圳相对较高, 肇庆和惠州相对较低, 各城市自然灾害的承灾能力和影响因素存在显著差异, 造成大湾区城市群整体承灾能力的短板效应, 需要进一步加强城市综合承灾能力建设, 从整体上提升大湾区城市综合承灾能力水平。

**关键词:** 粤港澳大湾区; 综合承灾能力; 信息熵模型; 城市防灾

DOI: 10.11821/dlyj020200401

## 1 引言

粤港澳大湾区是台风、洪涝等自然灾害的多发地区, 对城市运行、交通运输、人民生命财产安全、国家战略的顺利实施等造成严重的威胁和危害; 同时大湾区人口数量分别是东京、旧金山、纽约三大湾区的1.5倍、9倍和3倍, 使得粤港澳大湾区城市更为脆弱<sup>[1]</sup>。全球变暖和人类活动持续加剧, 极端天气及其诱发的自然灾害发生频率越来越高、城市灾害风险进一步加大, 因此, 研究粤港澳大湾区城市群自然灾害综合承灾能力, 了解各城市综合承灾能力水平和短板所在, 从而整体提升大湾区城市群防御自然灾害的能力, 保障国家战略的顺利实施。

城市综合承灾能力目前已有研究<sup>[2-4]</sup>。国际上最有代表性的如灾害风险指标计划(DRI)、美洲计划(American programme)和多发展指标计划(Hotspots)<sup>[5]</sup>。Heri基于空间规划理念提出城市减灾的空间规划方法<sup>[6]</sup>。张风华等基于人员伤亡、经济损失和恢复时间, 建立了城市防震减灾能力模型<sup>[7]</sup>。王威等基于分形理论, 对中国29个城市的综合承灾能力开展分析研究<sup>[8]</sup>。李晓娟基于突变级数理论, 从防灾、抗灾、救灾和恢复能力出发, 构建了城市综合承灾能力评价指标体系和模型<sup>[9]</sup>。孙钰等人从防灾基础设施灾前预防、灾时抵御以及灾后应急救援能力出发, 研究了北京市防灾基础设施承灾能力<sup>[10]</sup>。陈

收稿日期: 2020-05-07; 修订日期: 2020-08-27

基金项目: 南方海洋科学与工程广东省实验室项目(GML2019ZD0301); 广东省科技计划项目(2018B030324002); 广东省科学院项目(2020GDASYL-20200301003, 2020GDASYL-040101); 国家自然科学基金项目(41671506, 41977413, 41771024)

作者简介: 王钧(1988-), 男, 甘肃会宁人, 博士, 副研究员, 主要从事地质灾害形成机理与风险评价研究。

E-mail: wangjun@gdas.ac.cn

通讯作者: 宫清华(1981-), 女, 内蒙古敖汉旗人, 博士, 研究员, 主要研究方向为地质灾害监测预警与防灾减灾。

E-mail: gongqh@gdas.ac.cn

涛和陈智超基于证据推理法,以网格为评价单元对华东某县级市综合承灾能力进行了评价<sup>[11]</sup>。王文和等建立能够量化城市综合应灾能力内部关联程度的耦合度模型<sup>[12]</sup>。综合分析,城市综合承灾能力的研究以多指标体系的综合评价为主,且所选择的指标权重依赖于主观的判定,缺乏对某一种或某一类对象的针对性指标体系和评价模型。因此,本文针对城市自然灾害综合承灾能力,从城市防灾能力、抗灾能力、救灾能力和恢复能力出发,基于客观赋权的信息熵法,提出城市自然灾害综合承灾能力评价指标体系及评价模型,对粤港澳大湾区城市群的自然灾害综合承灾能力进行科学分析,以期为大湾区城市群的综合防灾等提供依据。

## 2 研究区概况和研究方法

### 2.1 研究区概况

粤港澳大湾区由广州、佛山、肇庆、深圳、东莞、惠州、珠海、中山、江门九市和香港、澳门两个特别行政区组成的城市群,覆盖面积5.6万km<sup>2</sup>,人口6670万<sup>[13]</sup>,地理范围见图1。大湾区位于中国东南丘陵南缘,地势北高南低,以中低山丘陵为主,气候为亚热带季风气候,年平均气温为22℃,年平均降雨量为2300mm<sup>[14]</sup>。大湾区地质构造较为复杂,地势起伏较大,人类活动强烈,洪涝、台风、崩滑流、地面沉降等自然灾害频发,极易形成重大的城市公共事件,亟需开展城市自然灾害综合承灾能力评价。由于香港特别行政区和澳门特别行政区基准年统计数据的缺失,本次评价不包含香港和澳门两个特别行政区,但下文研究区仍称为粤港澳大湾区。



图1 粤港澳大湾区地理位置

Fig. 1 The geographic location of the Guangdong-Hong Kong-Macao Greater Bay Area

注:此图基于广东省自然资源厅标准地图(审图号:粤S(2018)012号)绘制,底图无修改。

### 2.2 研究方法

**2.2.1 城市自然灾害综合承灾能力评价指标体系** 城市包含了复杂的承灾对象,如人口、社会、经济、环境、交通、生命线工程、防灾设施等,本文从城市承灾对象出发,从定性和定量两个层面建立城市防灾能力、抗灾能力、救灾能力和恢复能力指标体系,在此基础上形成城市自然灾害综合承灾能力评价指标体系,见表1。

表 1 粤港澳大湾区城市综合承灾能力评价指标体系

Tab. 1 The evaluation index system of the urban integrated disaster-bearing capacity of the Guangdong-Hong Kong-Macao Greater Bay Area

总目 标层	一级 指标	二级 指标	指标	指标计算说明	
城市自然 灾害 综合承 灾能力 评价指 标体系	防灾 能力	社会 因素	人均教育费用支出 (元/人)	人均教育费用投入越高, 人们对自然灾害的整体认知能力和危机防范意识相对较高, 城市防灾能力也相对较高, 为正向指标	
			人均公共预算支出 (元/人)	人均公共预算支出越大, 人均医疗卫生、社会保障费用等的支出越多, 城市防范自然灾害的能力相对较强, 为正向指标	
		经济 因素	防灾经济投入力度	城市自然灾害监测预警预报、防治工程等防灾减灾的投入经济力度越大, 城市防范自然灾害能力越高, 为正向指标, 通过各市灾害防治规划的灾害防治资金得到	
		环境 因素	环境保护力度	环境保护力度越大, 城市的自然环境也相对越好, 用森林覆盖率间接反映城市环境保护力度指标, 其值越高, 本身的固土固沙、防止水土流失、抵御风沙的能力越好, 城市的防灾能力也越强, 为正向指标	
	抗灾 能力	人口 因素	人口密度 (人/km <sup>2</sup> )	人口密度越大, 自然灾害发生瞬间会有更多的人员失去生命或面临生命危险, 因此, 城市抵抗自然灾害的能力越弱, 为负向指标	
			空间布 局因素	公路密度 (km/百 km <sup>2</sup> )	反应城市交通发达程度和城市运输能力, 值越大, 说明道路运输、疏散能力相对较强, 城市的抗灾能力越大, 为正向指标
				建设用地密度 (km <sup>2</sup> /km <sup>2</sup> )	建设用地密度越大, 意味着承灾体越密集、承灾体破坏的概率也越大, 且建筑越集中, 疏散也越困难, 损坏和恢复成本也越大, 因此其值越大, 城市抵抗自然灾害的能力越小, 为负向指标
				耕地密度 (km <sup>2</sup> /km <sup>2</sup> )	耕地密度越大, 意味着更多的农田遭受损失, 因此, 抗灾能力也越弱, 为负向指标
	救灾 能力	经济 因素	人均GDP (万元/人)	人均GDP越高, 政府或个人可投入的救灾资金、各类社会、医疗保障或个人保险等也相对越多, 城市抗灾能力越大, 正向指标	
			社会 因素	人均床位数 (床/万人)	人均床位数和人均医生数量体现了城市医护救援的能力大小, 值越大意味着灾害发生后, 医生医护能力越大, 救援能力越强, 城市救灾能力越好, 为正向指标
				人均医生数量 (人/万人)	
交通 因素		公路铁路民航客 运总量 (万人)	灾后人员疏散、救灾人员和物资的运输主要通过公路、铁路、民航进行, 因此其总量越大, 说明城市的救援能力也越强, 为正向指标		
环境 因素		政府应急反应能力	政府应急反应能力越高, 城市救灾能力相对越强, 为定性指标和正向指标。通过指标赋值法得到: 强 (5)、较强 (4)、中等 (3)、较弱 (2)、弱 (1)		
恢复 能力	社会 因素	人均公园绿地面积 (人/km <sup>2</sup> )	人均公园绿地面积越大, 说明自然灾害来临时人员疏散场所也越开阔、面积越大, 城市的救灾能力也越大, 为正向指标		
		参加社会医疗保险 人数占比	指标数据越大, 则灾后该城市有越好的经济基础能够从受灾状态恢复到正常状态, 城市恢复能力也越快		
	经济 因素	第二、三产业生产 总值占比	相对来说第二、三产业比第一产业灾后更易恢复, 故而占比越高, 城市灾后恢复也越快, 为正向指标		
		人均年末储蓄余额 (万元/人)	反应城市地区个人和家庭的可支配资金状态, 人均储蓄余额越多, 城市地区可用于灾后恢复重建的资金相对丰富, 城市恢复能力也就相对越强, 为正向指标		
		人均保险额 (万元/人)	反应灾后人民的恢复能力, 保险额越多, 人民生命和财产损失得到的保险赔偿也越多, 人民和家庭也更能从灾害状态恢复到正常状态, 因此城市的恢复能力也越大, 为正向指标		
环境 因素	民众对政府满意 和信任度	当地民众对政府信任和满意程度越高, 在灾后恢复重建的过程中就越能够齐心协力, 城市恢复能力相对越好, 为定性和正向指标, 通过对当地民众的问卷调查得到, 分为5个等级: 满意 (5)、较满意 (4)、一般 (3)、较不满意 (2)、不满意 (1)			

(1) 防灾能力。防灾能力是指城市承灾体防御自然灾害的能力，是一个城市备灾充分性的体现，主要表现在人民防范意识、防灾投入和承灾环境上。本文从社会、经济和环境因素三方面综合考虑，构建大湾区城市防灾能力指标体系。

(2) 抗灾能力。抗灾能力是自然灾害发生时城市承灾体本身的抵抗能力，主要由人口特征、建筑物结构与布局、社会经济等因素决定。本文主要从人口、承灾体空间布局和经济因素三方面综合考虑，构建大湾区城市抗灾能力指标体系。

(3) 救灾能力。救灾能力是自然灾害发生后城市救灾和应急能力的体现，由政府应急响应能力、应急资源、预案、交通、应急人员、应急避难场所等因素决定。本文基于上述因素，从社会、交通和环境因素三方面综合考虑，构建大湾区城市救灾能力指标体系。

(4) 恢复能力。恢复能力是灾后城市承灾体恢复正常的的能力，目前还没有建立较全面的城市恢复能力评价指标体系，本文主要从社会、经济和环境因素三方面综合考虑，构建大湾区城市恢复能力指标体系。

**2.2.2 城市自然灾害综合承灾能力评价模型** 在城市自然灾害综合承灾能力指标体系建立的基础上，对各评价因子的权重进行分析，从而构建评价模型。信息熵法是一种客观赋权法，主要根据各个评价指标的数值变化程度所刻画的信息量大小来确定权重，熵值越小，在综合评判中权重越大，排除了其他方法如AHP评价过程中的随机性和评价专家主观上的不确定性及认识上的模糊性，有效反应指标的非线性特征，使评价结果更加科学、合理<sup>[15-17]</sup>。本文基于信息熵法，计算各个评价指标的权重，分别得到城市自然灾害的防灾、抗灾、救灾和恢复能力指数；在此基础上，综合四方面的评价结果计算得到粤港澳大湾区各城市的综合承灾能力水平。本文构建城市自然灾害综合承灾能力评价模型的过程如下：

(1) 假设有  $m$  个待评价城市，每个待评价城市的综合承灾能力评价指标体系由  $n$  个评价因子组成，首先建立城市综合承灾能力评价指标矩阵  $A'$ ：

$$A' = (a'_{ij})_{m \times n} = \begin{pmatrix} a'_{11} & a'_{12} & \cdots & a'_{1n} \\ a'_{21} & a'_{22} & \cdots & a'_{2n} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ a'_{m1} & a'_{m2} & \cdots & a'_{mn} \end{pmatrix} \quad (1)$$

式中： $a'_{ij}$  为第  $i$  个城市的第  $j$  项评价指标值 ( $i=1, 2, \dots, m$ ； $j=1, 2, \dots, n$ )。

由于评价指标体系中的各个指标所表征对象的属性不同，其值的量纲也不同，因此需要对初始元素进行数据标准化，对于指标值越大，造成城市承灾能力越大的正向指标，归一化公式如下<sup>[18]</sup>：

$$a_{ij} = \frac{a'_{ij} - a'_{\min,j}}{a'_{\max,j} - a'_{\min,j}} \quad (2)$$

式中： $a_{ij}$  为第  $i$  个城市的第  $j$  项评价指标归一化值； $a'_{\max,j}$  和  $a'_{\min,j}$  分别为第  $j$  项指标在所有城市数据中的最大值和最小值 ( $i=1, 2, \dots, m$ ； $j=1, 2, \dots, n$ )。

对于指标数值越大，造成城市承灾能力越差的负向指标，归一化公式如下<sup>[18]</sup>：

$$a_{ij} = \frac{a'_{\max,j} - a'_{ij}}{a'_{\max,j} - a'_{\min,j}} \quad (3)$$

最终可以得到标准化的无量纲矩阵  $A$ ：

$$A = (a_{ij})_{m \times n} = \begin{pmatrix} a_{11} & a_{12} & \cdots & a_{1n} \\ a_{21} & a_{22} & \cdots & a_{2n} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ a_{m1} & a_{m2} & \cdots & a_{mn} \end{pmatrix} \quad (4)$$

(2) 构建信息熵模型, 信息熵值越大, 则该因子对城市综合承灾能力的贡献越小<sup>[15]</sup>:

$$E_j = -\frac{\sum_{i=1}^m p_{ij} \ln p_{ij}}{\ln m} \quad (5)$$

$$p_{ij} = \frac{a_{ij}}{\sum_{j=1}^n a_{ij}} \quad (6)$$

式中:  $E_j$  为评价指标  $j$  的信息熵值;  $p_{ij}$  为评价指标  $j$  在第  $i$  个城市中出现的频率,  $0 \leq p_{ij} \leq 1$ ,  $m$  为评价城市数。

(3) 计算评价指标的权重, 评价指标的权重值越大, 表示该指标对城市综合承灾能力的贡献越大, 权重计算公式为:

$$w_{ij} = \frac{1 - E_j}{\sum_{j=1}^n (1 - E_j)} \quad (7)$$

式中:  $w_{ij}$  为评价指标  $j$  的权重值;  $E_j$  为评价指标  $j$  的信息熵值。

(4) 构建城市综合承灾能力指数模型, 根据指标权重和指标归一化值, 得到城市综合承灾能力指数模型:

$$C_i = \sum_{j=1}^n w_j \cdot a_{ij} \quad (8)$$

式中:  $C_i$  为第  $i$  个城市的综合承灾能力指数 ( $i=1, 2, \dots, m$ )。

### 2.3 数据来源和数据处理

表1中的各评价指标数据以2018年为基准年, 统计数据来源于2018年粤港澳大湾区各大城市的《国民经济和社会发展统计公报》, 建设用地密度和耕地密度通过基准年的土地利用类型统计得到, 防灾经济投入力度由各市灾害防治规划得到, 部分定性数据如政府应急反应能力通过专家赋值的方法确定, 民众对政府满意度主要通过当地民众的问卷调查得到, 各个指标的获取方法和指标获取说明具体见表1。在此基础上, 构建初始评价矩阵  $A$ , 对各指标值进行归一化, 得到城市综合承灾能力评价指标的标准化无量纲评价矩阵  $A$ , 然后根据建立的信息熵模型依次计算指标权重和城市综合承灾能力指数; 在此基础上, 分析大湾区各大城市综合承灾能力水平及影响承灾能力高低主要因素, 为大湾区各大城市综合承灾能力的提升提供依据。

## 3 结果分析

### 3.1 评价结果

首先, 通过本文建立的信息熵模型, 分别计算各城市的防灾能力指数、抗灾能力指数、救灾能力指数和恢复能力指数。以城市恢复能力指数计算为例: 首先构建9个城市恢复能力5个指标组成的初始矩阵  $A$  (公式(9)), 再进行标准化处理, 得到标准矩阵  $A$  (公式(10)), 如下所示:

$$A' = \begin{pmatrix} 0.84, 0.7712, 36.76, 0.78, 5 \\ 0.92, 0.6990, 55.69, 0.91, 4 \\ 1.00, 1.0020, 39.89, 0.68, 4 \\ 0.69, 1.3452, 19.45, 0.58, 4 \\ 0.85, 1.0899, 9.85, 0.41, 4 \\ 1.00, 1.3238, 6.01, 0.18, 3 \\ 0.58, 1.2256, 12.78, 0.33, 3 \\ 0.70, 0.9511, 16.87, 0.58, 5 \\ 0.84, 0.9939, 17.92, 0.58, 4 \end{pmatrix} \quad (9)$$

$$A = \begin{pmatrix} 0.6190, 0.1118, 0.6191, 0.8219, 1.0000 \\ 0.8095, 0.0000, 1.0000, 1.0000, 0.5000 \\ 1.0000, 0.4689, 0.6820, 0.6849, 0.5000 \\ 0.2619, 1.0000, 0.2705, 0.5479, 0.5000 \\ 0.6429, 0.6049, 0.0773, 0.3151, 0.5000 \\ 1.0000, 0.9669, 0.0000, 0.0000, 0.0000 \\ 0.0000, 0.8149, 0.1363, 0.2055, 0.0000 \\ 0.2857, 0.3901, 0.2186, 0.5479, 1.0000 \\ 0.6190, 0.4564, 0.2397, 0.5479, 0.5000 \end{pmatrix} \quad (10)$$

由公式 (5) 和公式 (6) 计算得出各个评价因子的信息熵值；然后，根据各个因子的信息熵值和公式 (7) 计算得到各个评价因子的权重向量为： $(W_1, W_2, W_3, W_4, W_5) = (0.1065, 0.1273, 0.2002, 0.1070, 0.4588)$ 。由公式 (8) 计算各个城市的恢复能力指数： $(广州, 深圳, 珠海, 佛山, 江门, 肇庆, 惠州, 东莞, 中山) = (0.7510, 0.6229, 0.6055, 0.4975, 0.4241, 0.2296, 0.1530, 0.6415, 0.4601)$ 。同上方法依次计算得到各大城市的防灾能力指数、抗灾能力指数、救灾能力指数和恢复能力指数，见图 2。

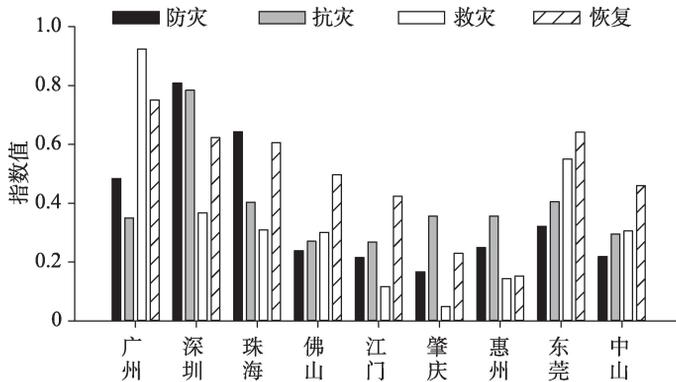


图2 各个城市防灾能力指数、抗灾能力指数、救灾能力指数和恢复能力指数对比  
 Fig. 2 The comparison of disaster prevention ability index, disaster resistance ability index, disaster relief ability index and recovery ability index

由图2可知，防灾能力指数排在前三的为深圳市、珠海市和广州市；抗灾能力指数最高为深圳市，其次为东莞市和珠海市，江门市抗灾能力最低；救灾能力指数中广州市、东莞市和深圳市最高，肇庆市最低；恢复能力指数中广州市最高，其次为深圳市、东莞市和珠海市。可以看出，各大城市的防灾能力、抗灾能力、救灾能力和恢复能力差异较大。

在计算各大城市的防灾能力指数、抗灾能力指数、救灾能力指数和恢复能力指数的基础上，计算各大城市的综合承灾能力指数，见图3。城市综合承灾能力指数的变化范

围为: 0.1886~0.6615。可以看出, 相对而言, 广州市、深圳市和东莞市排在前三位, 其次为珠海市、佛山市、中山市、江门市, 惠州市和肇庆市排在后二位。

城市综合承灾能力指数越大, 城市的综合承灾能力也越大, 遭受自然灾害损失的可能性也越低。对城市综合承灾力指数采用标准差等级划分方式, 进行城市综合承灾能力的划分, 划分分级见表2, 划分结果见图4。

可以看出, 粤港澳大湾区各个城市中, 广州市和深圳市的综合承灾能力等级相对较高, 东莞市和珠海市的综合承灾能力等级相对中等, 佛山市、中山市和江门市的综合承灾能力等级为相对较低, 惠州市和肇庆市的综合承灾能力等级相对为低。

### 3.2 结果讨论

以粤港澳大湾区各城市的地质灾害灾情数据为例, 开展了评价结果讨论。粤港澳大湾区地质灾害隐患点、威胁人数和潜在经济损失占比见图5。

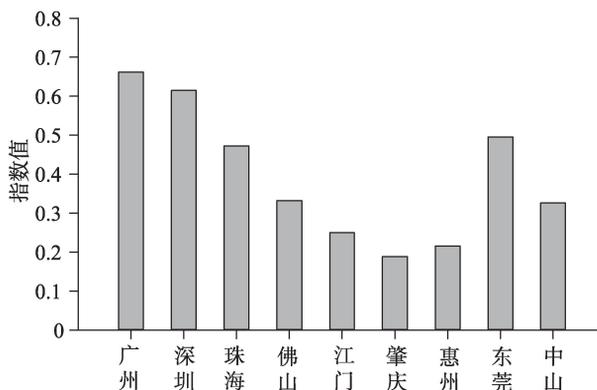


图3 粤港澳大湾区各个城市综合承灾能力指数对比  
Fig. 3 Comparison of urban integrated disaster-bearing capacity of the Guangdong-Hong Kong-Macao Greater Bay Area

表2 城市综合承灾能力指数分级

Tab. 2 The classified table of the urban integrated disaster-bearing capacity

等级编号	综合承灾能力指数范围	综合承灾能力等级
1	0.1886~0.2368	低
2	0.2368~0.4336	较低
3	0.4336~0.5763	中等
4	0.5763~0.6615	较高



图4 粤港澳大湾区自然灾害综合承灾能力分级

Fig. 4 The classified figure of the urban integrated disaster-bearing capacity of the Guangdong-Hong Kong-Macao Greater Bay Area

注: 此图基于广东省自然资源厅标准地图(审图号: 粤S(2018)012号)绘制, 底图无修改。

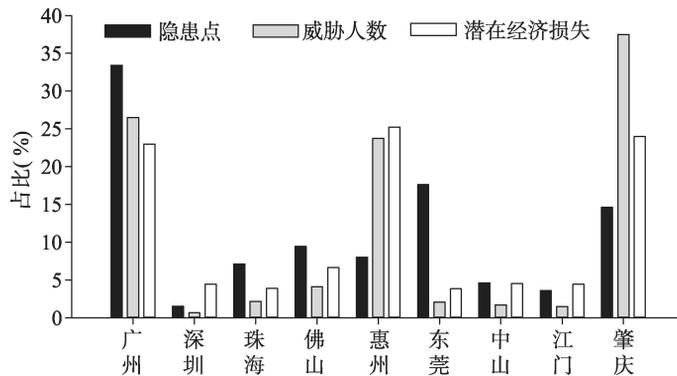


图5 粤港澳大湾区各个城市地质灾害灾情统计<sup>[19]</sup>

Fig. 5 Statistics of geological hazards information of the Guangdong-Hong Kong-Macao Greater Bay Area

可以看出,广州市地质灾害隐患点占比为33.40%,由于其综合承灾能力相对较高,使得其威胁人口和潜在经济损失占比均较小,分别为26.50%和22%;东莞市的地质灾害占比为17.56%,其综合承灾能力相对中等,使得威胁人口和潜在损失较小,占比分别为2.1%和3.84%;珠海市地质灾害隐患点占比为7.5%,由于其综合承灾能力相对中等,使得其威胁人口和潜在经济损失占比为2.18%和3.9%;佛山市承灾能力较低,比珠海市弱0.1457,使得其地质灾害隐患点、威胁人数和潜在经济损失占比均比珠海高2.32%、1.94和2.34%;中山市和江门市的综合承灾能力为较低,灾害隐患点和潜在经济损失占比相差不大;惠州市和肇庆市综合承灾能力相对低,使得其地质灾害隐患点虽然占比较小,分别为8.02%和14.62%,但是其威胁人数和潜在经济损失占比均较高,分别达到了23.76%、25.22%以及37.47%和23.98%。综合可以看出,上述城市的实际情况和本文评价的结果基本吻合。深圳市灾害占比较小,但是潜在经济损失占比反而大,与承灾能力较高的评价结果不一致。深圳市地质灾害隐患点少,但是相对而言,其经济密度、人口密度均较高,人均园林面积不足,第二、三产业生产总值占比较低,使得城市综合承灾能力相对不足,一旦发生灾害,承灾体损失较大,如2018年深圳光明滑坡。

进一步分析其他城市综合承灾能力高低的原因,肇庆市救灾能力指数和防灾能力指数较低,主要制约因素为人均床位数量和人均医生数量、以及人均教育费用支出和人均公共预算支出。惠州市的救灾能力和恢复能力较弱,主要原因为人均床位数量、人均医生数量以及参加社会医疗保险人数占比相对不足。江门市的救灾能力指数和防灾能力指数较低,主要影响因素为人均床位数量和人均医生数量、以及人均教育费用支出和人均公共预算支出。中山市的防灾能力和抗灾能力相对较弱,影响因素主要为森林覆盖率、建设用地密度和耕地密度。佛山市的防灾能力和抗灾能力相对较弱,主要制约因素为人均教育费用支出、人均公共预算支出、建设用地密度。珠海市救灾能力最弱,主要是公路民航客运总量和人均医生数量、人均床位数量较低。东莞市的恢复能力相对最弱,主要原因为民众对政府满意度和人均年末储蓄余额相对较低。广州市的抗灾能力相对防灾、救灾和恢复能力较弱,主要影响因素为人口密度和耕地密度。综上,各个城市制约其综合承灾能力的因素差异显著,从而造成大湾区城市群整体承灾能力的短板效应,需要进一步有针对性地加强城市综合承灾能力建设,从整体上提升大湾区城市综合承灾能力水平,保障粤港澳大湾区国家级重大战略的顺利实施。

## 4 结论与讨论

(1) 本文评价的粤港澳大湾区城市群综合承灾能力水平, 是大湾区内的一个相对水平, 而不是绝对水平。主要从城市防灾、抗灾、救灾和恢复能力四个方面, 建立了评价指标体系和评价模型。

(2) 评价的防灾能力指数排在前三的为深圳市、珠海市和广州市; 抗灾能力指数最高为深圳市, 其次为东莞市和珠海市, 江门市抗灾能力最低; 救灾能力指数中广州市、东莞市和深圳市排在前三位, 肇庆市最低; 恢复能力指数中广州市最高, 其次为深圳市、东莞市和珠海市。综合承灾能力评价结果从高到低为广州市、深圳市、东莞市、珠海市、佛山市、中山市、江门市、惠州市和肇庆市。各大城市的综合承灾能力以及影响因素均存在较大差异性, 从而造成大湾区城市群的整体短板效应, 建议加强统一规划和管理, 以提升大湾区城市群综合承灾能力水平, 保障粤港澳大湾区国家重大战略的顺利实施。

(3) 本文的城市综合承灾能力的研究基于城市尺度, 评价单元精度稍显粗糙, 下一步将开展基于网格尺度或者社区尺度的城市综合承灾能力评价; 同时, 开展不同年份的综合承灾能力横向对比, 分析较长时间尺度大湾区城市群综合成灾能力的演变过程, 为大湾区大湾区城市群的综合防灾提供依据。

**致谢:** 真诚感谢二位匿名审稿专家在论文评审中提出的宝贵意见和建议, 评审专家对本文城市综合承灾能力指标选取、结果分析、结论梳理方面的修改意见, 使本文获益匪浅。

## 参考文献(References)

- [1] 刘钊, 孙楠, 王亮, 等. 勾勒粤港澳大湾区蓝图的气象底色. 中国气象报, 2019-03-20. [Liu Zhao, Sun Nan, Wang Liang, et al. Outline the meteorological background of the blueprint of the Guangdong-Hong Kong-Macao Greater Bay Area. China Meteorological News, 2019-03-20.]
- [2] 王威, 苏经宇, 马东辉, 等. 城市综合承灾能力评价的粒子群优化投影寻踪模型. 北京工业大学学报, 2012, 38(8): 1174-1179. [Wang Wei, Sui Jingyu, Ma Donghui, et al. Evaluation method of urban comprehensive disaster-carrying capability based on PSO-PPE. Journal of Beijing University of Technology, 2012, 38(8): 1174-1179.]
- [3] 刘硕, 王志强, 王陶陶, 等. 韧性视角下城市综合应灾能力评估与优化. 防灾科技学院学报, 2020, 22(2): 18-25. [Liu Shuo, Wang Zhiqiang, Wang Taotao, et al. Assessment and optimization strategies of urban comprehensive disaster response capacity from the perspective of resilience. Journal of Institute of Disaster Prevention, 2020, 22(2): 18-25.]
- [4] 杨龙江, 苏经宇, 王威, 等. 城市综合防灾减灾能力评价的可变模糊集理论. 土木工程学报, 2013, 46(S2): 287-293. [Yang Longjiang, Su Jingyu, Wang Wei, et al. Variable fuzzy sets theory for assessment of urban comprehensive disaster prevention and mitigation capability. China Civil Engineering Journal, 2013, 46(S2): 287-293.]
- [5] 陈智超. 典型城市承灾能力分析方法与技术研究. 北京: 清华大学硕士学位论文, 2018: 2-3. [Chen Zhichao. Research on the methodology and technology of typical city disaster-bearing capacity analysis. Beijing: Master Dissertation of Tsinghua University, 2018: 2-3.]
- [6] Heri S, Abbas R, Ian D B. Disaster risk reduction using acceptable risk measures for spatial planning. Journal of Environmental Planning and Management, 2013, 56(6): 761-785.
- [7] 张风华, 谢礼立, 范立础. 城市防震减灾能力评估研究. 地震学报, 2004, 26(3): 318-330. [Zhang Fenghua, Xie Lili, Fan Lichu. Research on the evaluation of urban earthquake protection and disaster mitigation. Acta Seismologica Sinica, 2004, 26(3): 318-330.]
- [8] 王威, 田杰, 王志涛, 等. 城市综合承灾能力评价的分形模型. 中国安全科学学报, 2011, 21(5): 171-176. [Wang Wei, Tian Jie, Wang Zhitao, et al. Fractal model for evaluating urban comprehensive disaster-carrying capability. China Safety Science Journal, 2011, 21(5): 171-176.]

- [9] 李晓娟. 城市综合承灾能力评价研究. 西安建筑科技大学学报(自然科学版), 2012, 44(4): 489-494. [Li Xiaojuan. Study on assessment of urban composite disaster-bearing capacity. Journal of Xi'an University of Architecture & Technology (Natural Science Edition), 2012, 44(4): 489-494.]
- [10] 孙钰, 许琦, 崔寅. 基于改进灰色关联模型的北京市防灾基础设施承灾能力研究. 城市观察, 2019, (1): 120-131. [Sun Yu, Xu Qi, Cui Yin. Study on hazard-affected ability of Beijing disaster prevention infrastructure based on improved grey relational model. Urban Insight, 2019, (1): 120-131.]
- [11] 陈涛, 陈智超. 基于证据推理法的城镇综合承灾能力网格化评价方法. 清华大学学报(自然科学版), 2018, 58(6): 570-575. [Chen Tao, Chen Zhichao. Comprehensive disaster-bearing capacity assessment of the urban area using grid cells based on a nevidential reasoning method. Journal of Tsinghua University(Science and Technology), 2018, 58(6): 570-575.]
- [12] 王文和, 刘林精, 张爽, 等. 城市综合应急能力的耦合协调度评估. 安全与环境工程, 2019, 26(6): 79-84+93. [Wang Wenhe, Liu Linjing, Zhang Shuang, et al. Evaluation of coupling coordination degree of urban comprehensive disaster research capability. Safety and Environmental Engineering, 2019, 26(6): 79-94+93.]
- [13] 吴志才, 张凌媛, 黄诗卉. 粤港澳大湾区旅游经济联系的空间结构及协同合作模式. 地理研究, 2020, 39(6): 1370-1385. [Wu Zhicai, Zhang Lingyuan, Huang Shihui. Spatial structure and characteristics of tourism economic connections in Guangdong-Hong Kong-Macao Greater Bay Area. Geographical Research, 2020, 39(6): 1370-1385.]
- [14] 谢和平, 杨仲康, 邓建辉. 粤港澳大湾区地热资源潜力评估. 工程科学与技术, 2019, 51(1): 1-8. [Xie Heping, Yang Zhongkang, Deng Jianhui. Assessment of geothermal resource potential in the Guangdong-Hong Kong-Macao Greater Bay Area. Advanced Engineering Sciences, 2019, 51(1): 1-8.]
- [15] 宇岩, 欧国强, 王钧, 等. 信息熵在震后深溪沟流域泥石流危险度评价中的应用. 防灾减灾工程学报, 2017, 37(2): 264-272. [Yu Yan, Ou Guoqiang, Wang Jun. Application of Information entropy in post-earthquake Shenxi gully basin hazard assessment. Journal of Disaster Prevention and Mitigation Engineering, 2017, 37(2): 264-272.]
- [16] 高立兵, 苏军德. 基于信息熵与AHP模型的小区域泥石流危险性评价方法. 水土保持研究, 2017, 24(1): 376-380. [Gao Libing, Su Junde. Risk assessment method of debris flow in residential area based on information entropy and AHP model. Research of Soil and Water Conservation, 2017, 24(1): 376-380.]
- [17] 王英杰, 王磊, 荣起国. 基于最小熵分析的泥石流危险度可拓学评价. 吉林大学学报(工学版), 2013, 43(S1): 547-551. [Wang Yingjie, Wang Lei, Rong Qiguo. Extensics in debris flow risk evaluation based on minimum entropy analysis. Journal of Jilin University(Engineering and Technology), 2013, 43(S1): 547-551.]
- [18] 张明媛, 袁永博, 周晶. 城市综合承灾能力评价. 自然灾害学报, 2010, 19(1): 90-96. [Zhang Mingyuan, Yuan Yongbo, Zhou Jing. Assessment of urban integrated disaster-bearing capacity. Journal of Natural Disasters, 2010, 19(1): 90-96.]
- [19] 广东省地质局. 广东省2019年度地质灾害防治数据发布. [http://dzj.gd.gov.cn/ywlc/content/post\\_2725543.html](http://dzj.gd.gov.cn/ywlc/content/post_2725543.html), 2019-12-23. [Guangdong Geological Bureau. Guangdong Province's 2019 geological disaster prevention and control data released. [http://dzj.gd.gov.cn/ywlc/content/post\\_2725543.html](http://dzj.gd.gov.cn/ywlc/content/post_2725543.html), 2019-12-23.]

## Evaluation of comprehensive disaster-bearing capacity of urban natural disasters in the Guangdong-Hong Kong-Macao Greater Bay Area

WANG Jun<sup>1,2</sup>, GONG Qinghua<sup>1,2</sup>, YU Yan<sup>3</sup>, YUAN Shaoxiong<sup>1,2</sup>,  
CHEN Jun<sup>1,2</sup>, HUANG Guangqing<sup>1,2</sup>

(1. Guangzhou Institute of Geography, Guangdong Open Laboratory of Geospatial Information Technology and Application, Guangzhou 510070, China; 2. Southern Marine Science and Engineering Guangdong Laboratory, Guangzhou 511458, China; 3. Science and Technology Library of Guangdong Province Guangdong Institute of Scientific & Technical Information and Development Strategy, Guangzhou 510070, China)

**Abstract:** With the global climate change, urban natural disasters are becoming more frequent, and the comprehensive disaster-bearing capacity of cities has attracted more and more attention. Based on the characteristics of urban population, society, economy, environment, transportation and other disaster-bearing bodies, a comprehensive evaluation index system of disaster-bearing capacity for urban natural disasters in the Guangdong-Hong Kong-Macao Greater Bay Area was established. Then, based on objective weighted information entropy model, a quantitative evaluation model of urban comprehensive disaster-bearing capacity was put forward. Finally, the comprehensive disaster-bearing capacity value of cities in the Greater Bay Area was calculated, and the comprehensive disaster-bearing capacity level and the influencing factors were analyzed. The evaluation result indicates that Shenzhen, Zhuhai and Guangzhou rank the top three in disaster prevention ability index, and Shenzhen has the highest disaster resistance ability index, followed by Dongguan and Zhuhai. Guangzhou, Dongguan and Shenzhen are the top three in the disaster relief ability index and Zhaoqing has the lowest index. Guangzhou has the highest recovery ability index, followed by Shenzhen, Dongguan and Zhuhai. The disaster prevention, resilience, relief and recovery capabilities of cities in the study area vary greatly. The study result also shows that the comprehensive disaster-bearing capacity value in the Greater Bay Area ranges from 0.1886 to 0.6615. The comprehensive disaster-bearing capacity evaluation values from high to low are Guangzhou, Shenzhen, Dongguan, Zhuhai, Foshan, Zhongshan, Jiangmen, Huizhou and Zhaoqing. Taking the geological disaster data of various cities in the Greater Bay Area as an example, we discussed the evaluation result of this paper. The evaluation results of this paper are well consistent with the actual conditions of cities except Shenzhen. The comprehensive disaster-bearing capacity and the influencing factors of cities are quite diffident, resulting in the short-board effect of the overall disaster-bearing capacity in the Greater Bay Area. It is recommended to strengthen unified planning and management of the comprehensive disaster-bearing capacity in the Greater Bay Area, so as to improve the overall disaster-bearing capacity of the city and ensure the smooth implementation of major national strategy in the Greater Bay Area.

**Keywords:** the Guangdong-Hong Kong-Macao Greater Bay Area; comprehensive disaster-bearing capacity; information entropy model; urban disaster prevention