

# 全国及湖北省新冠肺炎综合风险指数分析及比较

袁宏永<sup>1</sup>, 陈涛<sup>1\*</sup>, 黄丽达<sup>1</sup>, 苏国锋<sup>1</sup>, 黄全义<sup>1</sup>, 戴佳昆<sup>2</sup>, 余水平<sup>2</sup>

1. 清华大学公共安全研究院, 北京 100084

2. 北京辰安科技股份有限公司, 北京 100094

**摘要** 新型冠状病毒肺炎综合风险评估是开展疫情风险管理和防控的关键途径, 而评估方法是其中的关键。以公共安全的“三角形”模型为指导, 考虑突发事件即病毒本身的危险性、承灾载体即易感人群的脆弱性、应急管理的有效性3个维度因素, 建立了综合多个维度的风险评估方法。评估结果显示, 当前数据显示综合风险最高的5个省(市)级地区分别为湖北、上海、香港、北京和广东; 在湖北省内, 综合风险最高的4个地级市分别为武汉、鄂州、孝感和黄冈。

**关键词** 新冠肺炎; 公共安全; 应急能力

2020年2月17日, 国务院联防联控机制印发《关于科学防治精准施策分区分级做好新冠肺炎疫情防控工作指导意见》, 要求各地依据人口、发病情况综合研判, 科学划分疫情风险等级, 明确分级分类的防控策略。浙江等地率先使用疫情风险“五色图”指导复工复产工作。

本文对全国各省(市、区)及湖北省各市的新发冠状病毒肺炎(简称“新冠肺炎”)疫情进行风险评

估, 对各地的疫情态势进行评价和排序, 为下一步疫情应对和资源配置提供帮助, 为科学认识各地的疫情风险提供一种有效的方法和视角。

## 1 综合风险评估方法

为了有效应对突发事件发生、发展及应对过程的不确定性, 现代应急管理普遍采用风险管理的原则,

收稿日期: 2020-02-05; 修回日期: 2020-02-25

基金项目: 十三五国家重点研发计划国家公共安全应急平台项目(2018YFC0807000)

作者简介: 袁宏永, 教授, 研究方向为公共安全的监测监控、预测预警、应急管理的理论与技术及其工程、火灾探测与控制工程, 电子信箱:

hy-yuan@tsinghua.edu.cn; 陈涛(通信作者), 副教授, 研究方向为公共安全应急理论、应急平台技术、城市灾害模拟、卫生应急、特种场所安全监测技术和应急管理, 电子信箱: chentao.b@tsinghua.edu.cn

引用格式: 袁宏永, 陈涛, 黄丽达, 等. 全国及湖北省新冠肺炎综合风险指数分析及比较[J]. 科技导报, 2020, 38(4): 21-28; doi: 10.3981/j.issn.1000-7857.2020.04.003

则,并将风险评估纳入风险管理和应急决策过程。中国针对传染病的风险评估研究主要关注传染病在国内爆发的风险。例如,肖庆昕等<sup>[1]</sup>对全球重要传染病进行排查,对各类传染病的风险性和危害性进行综合排序;卢钟山等<sup>[2]</sup>通过专家调查问卷形式,对国际邮轮传染病疫情事件开展风险识别与评估,确认高发疾病和风险程度的分类。这类风险评估的目的是明确需要重点关注的疫情,以做好监测和应对准备,并不适用于已经爆发的疫情。

随着新冠肺炎疫情数据的持续发布,每日都可以从国家卫生健康委员会和地方卫生健康委员会的渠道获得全国各地(至地市级)确诊、疑似、死亡、治愈等的累计人数。如何从现有发布数据中正确看待不同区域的疫情风险,成为公众经常关注的问题。通常分析地区风险时,会有直观的判断方法,分为累计确诊人数、新增确诊人数、累计死亡人数或死亡率、累计出院人数等几个维度。但这些方式都有一定的局限性。例如,有的地市新冠肺炎确诊人数相近,但各地人口基数差别很大,反映出来的风险不一样。从各地新冠肺炎确诊人数增长速度的数据来看,每天的增长速度都在变化,确诊人数基数大的增长高,每天的增长数也不稳定,忽高忽低的情况很常见,而且各地死亡率差异也较大。因此,本研究认为,从单一维度或简单维度无法反映综合的风险,应当考虑多个因素,建立一种更加综合性的新冠肺炎疫情风险指数,同时辅以各维度的风险进行分析,以对应急防控和资源准备情况的宏观综合研判提供参考。

本文以公共安全的“三角形”模型(图1)<sup>[3]</sup>为指导,考虑突发事件即病毒本身的危险性、承灾载体



图1 基于公共安全三角形模型的风险评估框架

即易感人群的脆弱性、应急管理的有效性等3个维度的因素,建立综合了多个维度的风险评估方法。

### 1.1 病毒的危险性

在医学微生物危险性分级标准中,危险性的衡量需要考虑对个体及对群体的危险性两个维度,其中对个体的危险性强调致死率,对群体的危险性强调传染性。在此基础上,本文从已发病情况、未来传播趋势和致死情况3个方面考虑新冠肺炎当前的危险性。其计算公式为:

病毒的危险性=万人患病率×(病毒致死率(%)+病毒传播率)

万人患病率、病毒致死率和病毒传播率的定义如下:

(1) 万人患病率:地区常住人口中发病人数所占万人比例(单位:10000<sup>-1</sup>),可理解为每一万个人中患病的人数,反映疫情发展的总体流行态势。

万人患病率 =  $\frac{\text{确诊病例数} - \text{死亡病例数} - \text{治愈病例数}}{\text{常住人口数(万人)}}$

(2) 病毒致死率:确诊病例中,累积死亡人数所占的比例(单位:1),反映疫情的严重程度。病毒致死率=累积死亡人数/确诊病例数。

(3) 病毒传播率:在流行病学相关理论中,基本再生数 $R_0$ 和有效再生数 $R_t$ (单位:人)是反映病毒传播能力的一个核心指标。基本再生数,指在自由传播的情况下,平均一个病人能传染给多少人。有效再生数指在有外力介入时,平均每个患者实际能传染的平均人数,可随时间变化,反应疫情的传播趋势。当 $R_t < 1$ 时,传染病会逐渐消失。病毒传播率一定程度反应了病毒在一个地区传播的速度和难易程度,本文选择有效再生数来反映各地防控措施下病毒传播率的变化。

考虑到2020年1月23日开始,全国陆续实施严格的“围追堵截”等干预措施,本研究假设有效再生数 $R_t$ 从2020年1月24日起开始呈指数衰减,计算公式<sup>[4]</sup>如下:

$$R_t = \begin{cases} R_0, & t < \tau \\ R_0 e^{-k(t-\tau)}, & t \geq \tau \end{cases}$$

其中 $\tau$ 指干预措施起效的时间(即1月24日), $k$ 表示疫情的传染能力随着时间的衰减系数。

本研究使用SEIR传播动力学模型对疫情进行建模<sup>[4]</sup>,根据各地区的每日病例数据采用广义最小二乘法对传播参数进行拟合,计算 $R_0$ 和 $R_t$ 。

### 1.2 易感人群的脆弱性

易感人群指暴露在外的易感染人群,其脆弱性与易感人群的空间密度及暴露程度有关。本文假设某一地区的GDP越高,国民生活越活跃,人群接触越多。易感人群的脆弱性为人口密度与GDP的乘积,单位为(万人×万亿元/ $\text{km}^2$ )。

$$\text{易感人群脆弱性} = \frac{\text{地区常住人口数} \times \text{GDP总值}}{\text{地区面积}}$$

### 1.3 应急管理的有效性

应急管理的有效性可用医疗资源相关的指标来衡量,因各地方医院的基础病床数等详细数据暂缺,本研究暂定使用累计治愈率的指标来代替。

$$\text{应急管理的有效性} = \frac{\text{治愈出院人数}}{\text{累计确诊人数}}$$

### 1.4 综合风险指数

在考虑以上维度情况下,综合风险与病毒的危险性成正比,与易感人群的脆弱性成正比,与应急管理的有效性成反比。为简化计算,本次新冠肺炎综合风险的计算考虑以上3个维度,采用如下计算公式:

$$\text{综合风险指数} = \frac{\text{病毒的危险性} \times \text{易感人群的脆弱性}}{\text{应急管理的有效性}}$$

## 2 全国各地区疫情综合风险评估

采用国家卫生健康委员会及各省卫生健康委员会公布数据(截至2020年2月18日24:00)进行计算,各省(市、区)人口和面积采用国家统计局2018年发布的数据。

### 2.1 维度1:病毒的危险性分析

1) 万人患病率。全国万人患病率较高省市为湖北、北京、浙江、安徽、黑龙江、海南,全国万人患病率较低省(市、区)为辽宁、重庆、甘肃、台湾、青海、西藏(图2)。湖北万人患病率较高地级市为武汉、鄂州、孝感、随州,湖北万人患病率较低地级市为神农架林区、恩施州(图3)。

2) 病毒致死率。全国病毒致死率较高省市、区为台湾、湖北、黑龙江、海南、天津,详见图4。致死率最高的台湾仅1例死亡(22例确诊),样本数太小不具有代表性。湖北省外综合死亡率仅0.66%。全国病毒致死率较低省市、区为内蒙古、宁夏、澳门、青海、西藏等。湖北省的病毒致死率较高城市为荆门、仙桃、武汉、潜江,湖北省的病毒致死率较低城市为咸宁、十堰、神农架林区(图5)。

3) 病毒传播率。全国病毒传播率较高省市为湖北、浙江、广东、河南、湖南,全国病毒传播率较低省市为香港、青海、台湾、澳门、西藏(图6)。湖北省的病毒传播率较高城市为武汉、黄冈、孝感,湖北病毒传播率较低城市为神农架林区(已降为0),如图7。

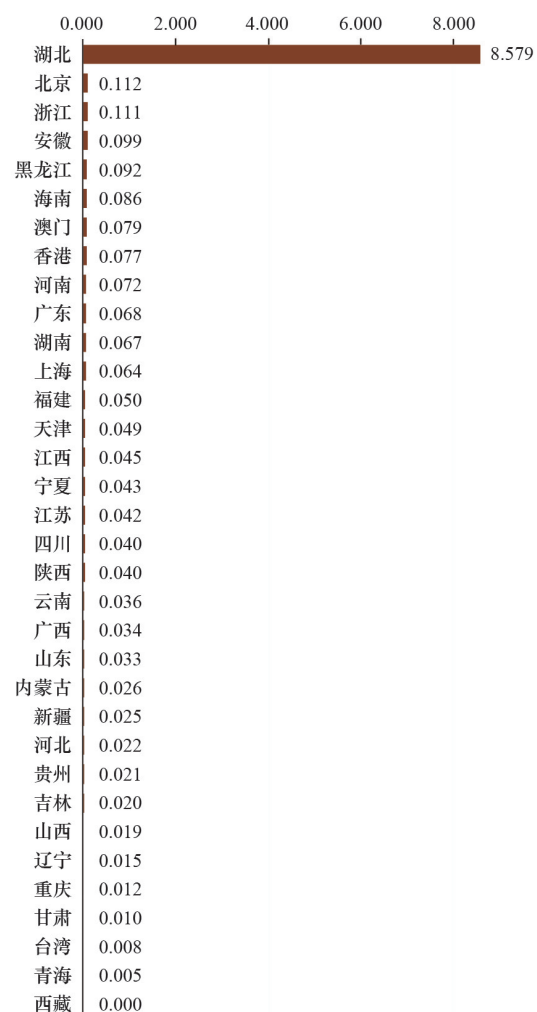


图2 全国各省(市、区)万人患病率排行

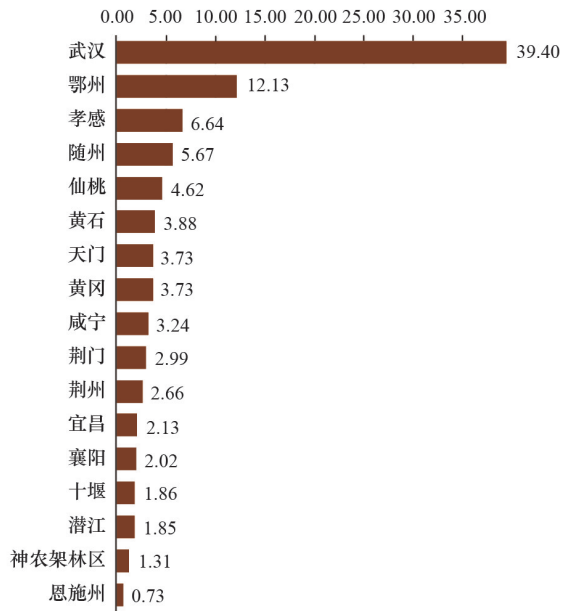


图3 湖北省万人患病率排行

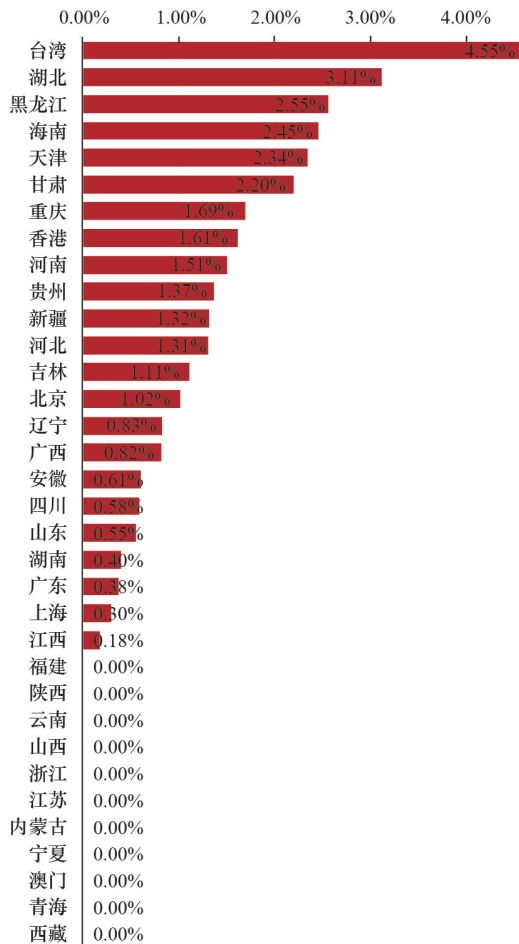


图4 全国各省(市、区)病毒致死率排行

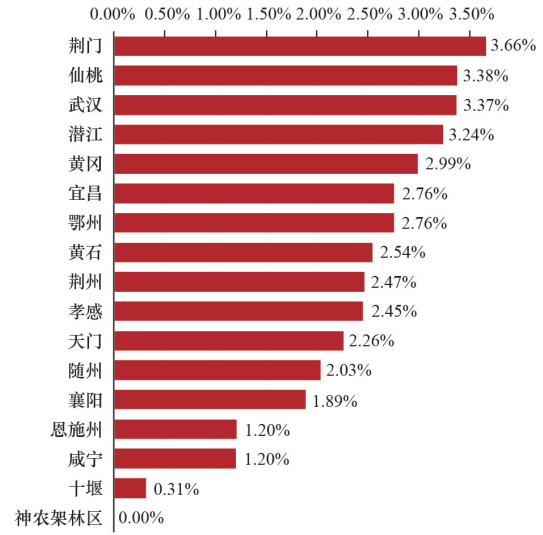


图5 湖北省的病毒致死率排行

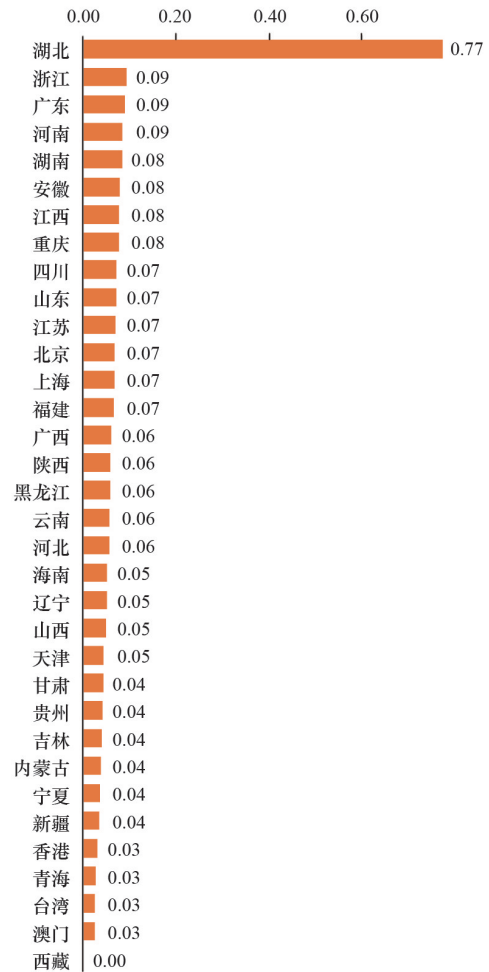


图6 全国各省(市、区)病毒传播率排行



图7 湖北省的病毒传播率排行

### 2.2 维度2:易感人群的脆弱性分析

全国易感人群脆弱性较高省市为香港、上海、江苏、澳门、广东,全国易感人群脆弱性较低省市(区)为甘肃、宁夏、内蒙古、新疆、青海、西藏,详见图8。湖北省易感人群脆弱性较高城市为武汉、襄阳、孝感、黄冈、荆州,湖北省易感人群脆弱性较低城市为恩施州、神农架林区(图9)。

### 2.3 维度3:应急管理的有效性分析

全国治愈率较低省(市、区)为云南、香港、台湾、内蒙古、湖北,全国治愈率较高省(市、区)为江西、甘肃、青海、重庆、西藏(图10)。由于湖北省内较多城市未公布治愈情况,本文未对湖北省治愈率进行排行。

### 2.4 地区综合风险指数分析

参考国务院联防联控机制印发《关于科学防治精准施策分区分级做好新冠肺炎疫情防控工作的指导意见》,结合地区(浙江等)风险等级划分实际应用情况,本文将风险等级划分为5级,从高到低分别为高风险、较高风险、中等风险、较低风险、低风险。通过综合风险指数公式计算所得的各个地区综合风险评估指数,采用基于 ArcGIS 中的自然间断点分级法(Jenks),风险分级各级间的中断值

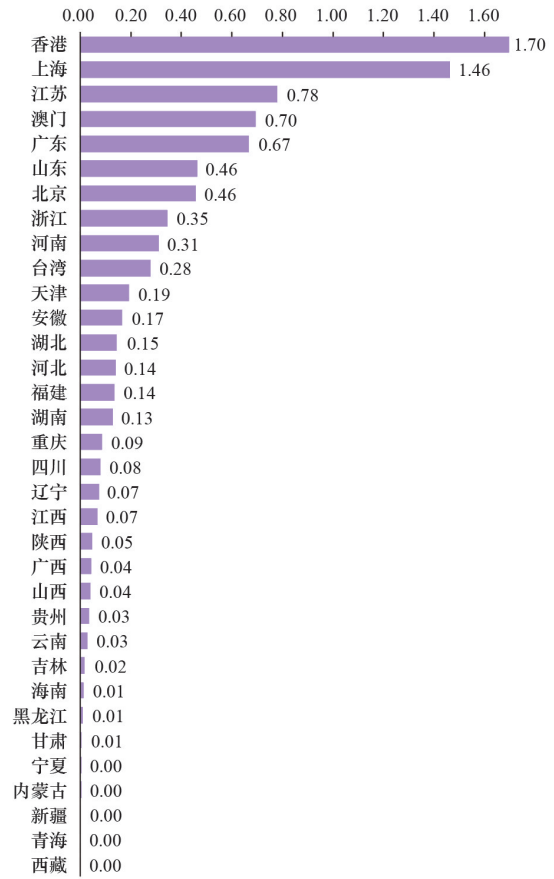


图8 全国各省(市、区)易感人群脆弱性排行

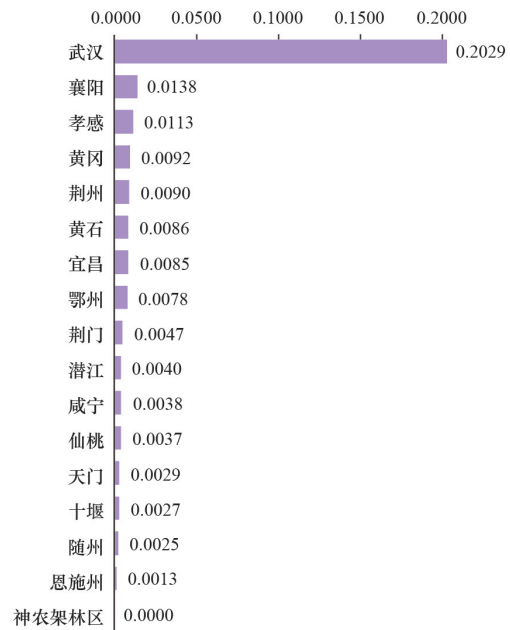


图9 湖北省易感人群脆弱性排行

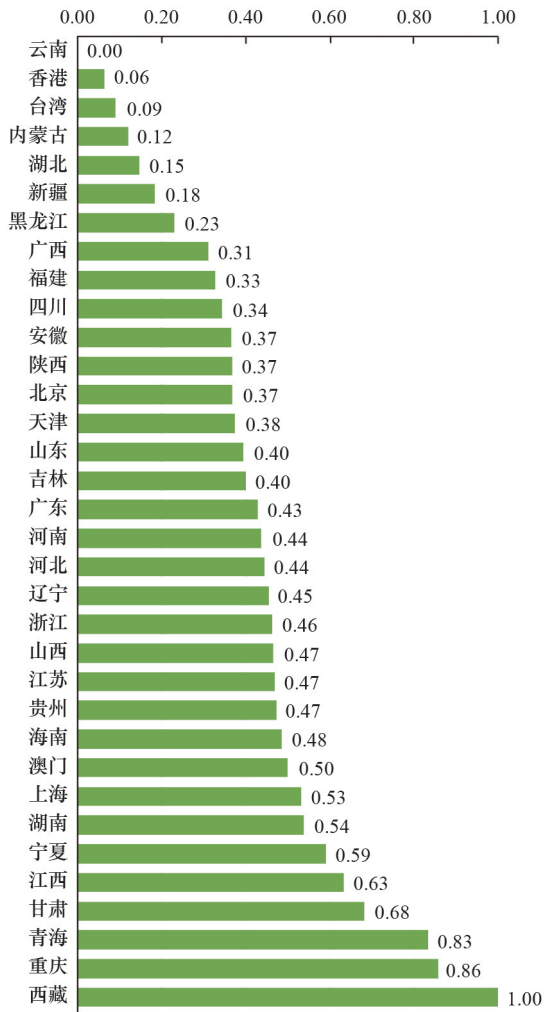


图10 全国各省(市、区)治愈率排行

从大到小分别为0.500、0.100、0.050、0.020。各级风险等级的综合风险指数值区间分别为为高风险(>0.501)、较高风险(0.101~0.500)、中等风险(0.051~0.100)、较低风险(0.021~0.050)和低风险( $\leq 0.020$ )。

全国疫情综合风险最高省显然是湖北,其他省(市、区)疫情风险已降至较低水平。即便如此,上海、香港、北京、广东等人群密集度较高的省市,在复工中不能掉以轻心,防控措施的下落会导致病毒传播率(有效再生数)反弹,其他综合风险较低省市(区)为吉林、甘肃、宁夏、新疆、内蒙古、青海、西藏。全国的地区综合风险指数地图见图11,全国各省市(区)综合风险排行如图12所示。

湖北省综合风险较高城市为武汉、鄂州、孝感、

黄冈,湖北省综合风险较低城市为神农架林区、十堰、恩施州(图13、图14)。目前大众主要关注武汉和黄冈的疫情,经风险分析发现,鄂州的风险排在武汉之后,位列第2。鄂州作为湖北省面积最小的市,地处武汉和黄冈两大疫情重灾区之间,常住人

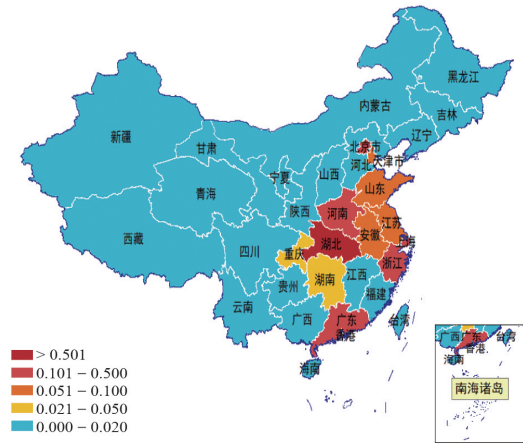


图11 全国新冠肺炎疫情风险分布

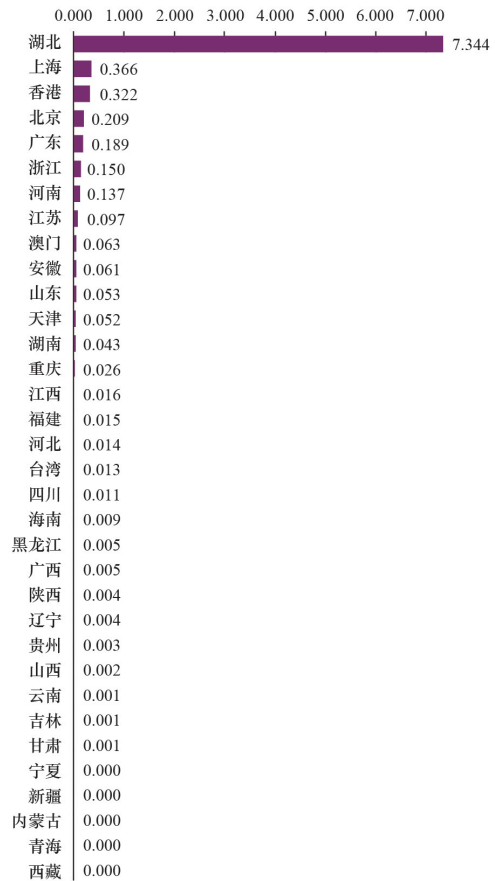


图12 全国各省(市、区)综合风险排名

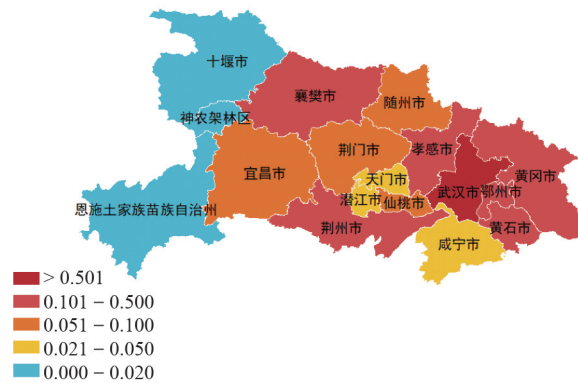


图13 湖北省新冠肺炎疫情风险分布



图14 湖北省综合风险排名

口数仅100万左右,该市的万人发病率和患病密度都很高,需要引起注意。另外,值得注意的是,湖北省的神农架、恩施州、十堰的风险级别已降为蓝色,有可能优先推动有序复工复产。

### 3 结论

目前,湖北省综合风险最高,除湖北省外各省(市、区)综合风险处于较低水平,复工应更关注局

部区域差异。湖北省内,武汉的综合风险最高,其累计病例数与其他地市相比差异很大,但第2梯队鄂州、孝感、黄冈等周边城市的风险也需要引起重视,而神农架、恩施州、十堰3市的综合风险较低,有可能未来成为湖北省率先复工的地区。

在湖北省外,综合风险较高的地区分别是上海、香港、北京、广东,不难看出这些地区都是经济社会高度发达的地区,人员密度大,人口流动性强,加强风险控制十分重要。

因此,为关于做好疫情防控和复工复产两件大事,需精细化的区域风险计算,根据风险采取差异化的复工政策,提升精细化、有序防控的计划能力。

从风险的多个维度来看,需要注意的是:

1) 反映病毒传播率的有效再生数 $R_t$ 下降是一个缓慢的过程,即便数值处于1以下,也可能持续数周时间才能降为0。在这期间,管控措施的放松可能会引起波动。

2) GDP较高的区域复工过程中人群活跃度变化程度较大,其中的风险尤其需要警惕,推进复工必须有序,按一定风险评估的程序和结果开展。

3) 治愈率是一个缓慢变化的过程,由于平均住院周期或长达10天左右(湖北省更长),此方面的正面影响难以短期显现,需要医疗体系持续努力。

本研究具有一定的普适性,由于区县级的疫情数据没有公开,本研究只做到省市级区域。如果有区县级的疫情数据,本方法可以进一步以区县为单位,缩小计算区域,做出更为精细的区域风险评估,更好地为复工提供数据分析支撑。

### 参考文献(References)

- [1] 肖庆昕, 吕志军, 秦军, 等. 世界重要传染病传入我国的风险性与危害性分析[J]. 口岸卫生控制, 2002, 7(4): 19-24.
- [2] 卢钟山, 李平, 田楨干, 等. 国际邮轮传染病疫情事件风险识别与评估报告[J]. 中国国境卫生检疫杂志, 2013, 36(1): 60-64.
- [3] 范维澄, 刘奕, 翁文国. 公共安全科技的“三角形”框架与“4+1”方法学[J]. 科技导报, 2009, 27(6): 3.

- [4] Chowell G, Hengartner N W, Castillo-Chavez C, et al. da[J]. Journal of theoretical biology, 2004, 229(1): 119-126.  
The basic reproductive number of Ebola and the effects of public health measures: The cases of Congo and Ugan-

## Analysis and comparison of comprehensive risk index of COVID-19 in China and Hubei province

YUAN Hongyong<sup>1</sup>, CHEN Tao<sup>1\*</sup>, HUANG Lida<sup>1</sup>, SU Guofeng<sup>1</sup>, HUANG Quanyi<sup>1</sup>, DAI Jiakun<sup>2</sup>, YU Shuiping<sup>2</sup>

1. Institute of Public Safety Research, Tsinghua University, Beijing 100084, China

2. Beijing Global Safety Technology Co., Ltd, Beijing 100094, China

**Abstract** The comprehensive risk assessment of COVID-19 is a key approach to the comprehensive epidemic risk management while the assessment method is the key to the epidemic risk assessment. This paper uses the public security “triangular model” and considers the three factors, i.e., the incident(the hazard of the virus itself), the vulnerability of hazard-affected carriers(the vulnerability of vulnerable groups), and the effectiveness of emergency management to establish a multidimensional risk assessment method, which can help to provide effective method for the next epidemic response and plans of resource allocation. According to the assessment results, the top five provinces with highest comprehensive risk are respectively Hubei, Shanghai, Hong Kong, Beijing and Guangdong. Within Hubei province, the top four cities are Wuhan, E'zhou, Xiaogan and Huanggang.

**Keywords** COVID-19; public security; emergency ability ●



(责任编辑 王丽娜)