·卫生政策与管理·

四川省市域医疗服务抵抗力时空演化研究

杨康[1],李艳[1],张圆[2],喻涛[1]
1.西南医科大学人文与管理学院,四川 泸州 646000;2.西南医科大学马克思主义学院,四川 泸州 646000

摘要:目的　探究四川省各市(州)医疗服务抵抗力水平现状,建设富有抵抗力的医疗服务体系提供参考。**方法**　基于四川省 21 个市（州)2013—2022 年的面板数据，构建四川省医疗服务抵抗力评估指标体系，采用 CRITIC- 熵值法和 TOPSIS 模型计算四川省各地区的抵抗力水平,借助核密度、莫兰指数和马尔科夫链模型,分析医疗服务抵抗力的时空演化特征和状态转移概率。**结果**　四川省医疗服务抵抗力呈上升趋势,由 0.431 升至 0.477,90.48%的地区呈正向增长;抵抗力等级由中等水平到较高水平,较高水平为主要类型;LISA 地图显示主要存在“高 - 低、低 - 高、低 - 低”集聚类型;状态转移概率呈梯度效应,表现出明显的“锁定”现象,跃升难度较大。**结论**　四川省医疗服务抵抗力整体水平不断提高,但地区之间存在明显差异,在空间上存在局部集聚特征,在状态转移概率上具有明显的“锁定”效应。

关键词:四川省;医疗服务;抵抗力;核密度估计;马尔可夫链
中图分类号:R197.3　　**文献标志码**:A　　**文章编号**:1003-8507(2026)07-1297-08
DOI:10.20043/j.cnki.MPM.202510014

Spatio-temporal evolution of municipal medical service resistance in Sichuan Province

YANG Kang*, LI Yan, ZHANG Yuan, YU Tao
School of Humanities and Management, Southwest Medical University, Luzhou, Sichuan 646000, China

Abstract: Objective To assess the current level of medical-service resistance across prefectures in Sichuan and to provide evidence for building a highly resilient healthcare system. **Methods** Using panel data for 21 prefectures from 2013 to 2022, an evaluation index system for medical service resistance in Sichuan Province was constructed. CRITIC-Entropy Weight Method and TOPSIS were applied to calculate resistance scores, while kernel density, Moran's *I* and Markov-chain models were employed to analyze spatiotemporal evolution and state-transition probabilities. **Results** Resistance rose from 0.431 to 0.477, with 90.48 % of prefectures recording positive growth. The resistance level shifted from medium to high, and the high level was the dominant category. LISA maps revealed "high-low", "low-high" and "low-low" clusters. Transition probabilities showed a gradient effect and a pronounced lock-in, making leapfrog upgrades difficult. **Conclusion** Overall resistance in Sichuan is improving, but significant regional disparities persist, local spatial clustering is evident, and a strong lock-in effect governs state transitions.

Keywords: Sichuan province; Medical service; Resistance; Kernel density estimation; Markov chain

在全球公共卫生突发事件日益频发背景下[1-3],构建韧性医疗卫生体系已成为世界各国面临的共同挑战。医疗服务抵抗力是医疗服务系统在面对各种危机和挑战冲击时,维持其正常运行、保障医疗服务供给的能力,是应对冲击的核心力量[2,4-5],主要体现在卫生资源、服务效率、区域经济和生态环境等。建设具有强大抵抗力的医疗服务体系,是保障公众福祉的必然要求,也是实现区域可持续发展的关键保障。

目前,国内外学者围绕“医疗服务抵抗力”展开了大量研究。主要关注其理论分析[4,6-7]、案例研究[8]以及将抵抗力作为医疗服务韧性的子系统进行研究[5],鲜有从医疗服务抵抗力的角度进行评价,且尚未形成统一的定义。因此,本研究将抵抗力作为医疗服务韧性的子系统，探究四川省医疗服务抵抗力发展水平,厘清时空演化格局,为建设富有韧性的医疗服务系统和提高医疗服务水平提供参考,为制定差异化区域发展政策提供实证依据。

1　资料与方法

1.1　资料来源　本研究中医疗卫生资源与社会环境基础指标来源于 2014—2023 年《四川统计年鉴》;医疗服务质量指标取自 2013—2022 年《四川卫生健康

基金项目: 川北医学院 2025 年度四川省基层卫生事业发展研究中心资助项目(SWFZ25-Y-09);西南医科大学:四川医院管理和发展研究中心资助项目(SCYG2025-8)
作者简介:杨康(1997—),男,硕士在读,研究方向:卫生管理与政策研究
通信作者:张圆,E-mail: 2286422429@qq.com;喻涛,E-mail: 23264316@qq.com;张圆与喻涛为共同通信作者

统计年鉴》;移动电话普及率来自各市(州)历年《国民经济与社会发展统计公报》;年平均 $PM_{2.5}$ 浓度数据源于韦晶等[9]发布于国家青藏高原科学数据中心的数据集。

1.2　指标选取　根据《医疗机构设置规划指导原则(2021—2025 年)》和《"十四五"国民健康规划》等政策要求,并借鉴既有研究[5,10-11],其中,医疗机构密度与路网密度是衡量卫生资源空间配置的主要指标,直接关系到服务可及性;而医疗服务劳动密集且需专业人员提供,充足的人力资源是缓解供需失衡的关键。医护比(理想区间 1:2-1:6)衡量人员结构合理性;医师数量固定时,护士比例越高,服务效率越高[12];年平均 $PM_{2.5}$ 作为负向指标,反映空气质量对人群健康的影响[13-14],见表 1。为避免主观赋权的指标权重偏差,本研究采用 CRITIC- 熵值法[15-17]组合赋权确定各指标权重,运用 TOPSIS 模型[18-20]测算抵抗力水平。

表 1　医疗服务抵抗力评价指标体系

Table 1　Evaluation indicator system for medical service resistance

准则层	指标层	指标定义	属性	权重
医疗卫生资源(0.362)	每平方公里医院数(家)	医院密度	+	0.103
	每千人口医疗机构床位数(张)	医疗服务设施容量	+	0.057
	每平方公里等级公路里程数(km/km^2)	交通服务保障能力	+	0.083
	每千人口执业(助理)医师	救治能力	+	0.057
	每千人口注册护士数	护理人力资源充足度	+	0.061
医疗服务水平(0.256)	医护比	医疗服务效率	-	0.028
	急诊病死率(%)	急诊医疗救治能力	-	0.033
	出院者平均住院日(日)	医疗服务效率	-	0.037
	病床使用率(%)	床位利用效率	+	0.032
	医师人均每日担负诊疗人次(次)	救治能力适应性	+	0.044
	病床周转次数(%)	床位利用效率	+	0.038
	医生人均每日担负病床日	救治能力适应性	+	0.045
社会环境基础(0.382)	卫生健康支出占比(%)	政府支持度	+	0.029
	基本医保基金总收入占 GDP 比重(%)	医疗资金保障能力	+	0.066
	基本医疗保险覆盖率(%)	居民医疗压力	+	0.100
	城乡居民可支配收入比	居民生活水平	-	0.046
	城镇化率	人员组织管理	+	0.048
	年平均 $PM_{2.5}$ 浓度($\mu g/m^3$)	空气环境质量	-	0.044
	移动电话普及率(部/百人)	信息获取与共享效率	+	0.049

注:属性"+"为正向指标,"-"为负向指标。

1.3　研究方法

1.3.1　核密度估计　核密度估计是一种非参数统计方法,用于估计随机变量的概率密度函数。通过在每一个数据点处放置一个平滑的核函数并加以汇总,生成一条连续的概率密度曲线。本研究借助核密度曲线对不同年份医疗服务抵抗力的动态变化、集聚特征、区域差异和极化程度进行比较与分析。计算步骤见参考文献[21-22]。

1.3.2　空间自相关分析　空间自相关通过地理空间权重矩阵检验变量在不同位置的关联性。本研究用全局莫兰指数测度抵抗力的整体空间关联,用局部莫兰指数识别市州与其邻接地区的相似或相异集群,并采用邻近矩阵法。具体计算步骤见参考文献[5,23]。

1.3.3　马尔科夫链模型　本研究基于传统马尔可夫链模型,并引入空间滞后概念,将抵抗力划为 k 类,分析邻近地区间抵抗力变化趋势与转移概率,从而揭示区域内抵抗力演化的转移模式。具体方法见参考文献[24]。

1.4　统计学方法　本研究数据清洗与预处理在 Excel 2021 中完成,严格依据 CRITIC- 熵值法、TOPSIS、核密度估计和马尔可夫链计算公式,编写 MATLAB 脚本,用于计算指标权重、医疗服务抵抗力水平及状态转移概率,并绘制核密度曲线。运用 ArcMap 10.8 计算全局莫兰指数,并绘制空间分布图和 LISA 聚类图,保障计算精度与方法严谨性。

2　结　果

2.1　医疗服务抵抗力时间演化特征分析

2.1.1　医疗服务抵抗力综合分析　整体上看,四川省医疗服务抵抗力不断上升,由 0.431 上升至 0.477,见表 2。从区域分布看,2013—2022 年,除甘孜和凉山呈下降趋势,其余地区呈增长趋势。从市州看,2013—2022 年 90.48%的市州实现正向增长。

表 2　2013—2022 年四川省各市(州)医疗服务抵抗力测度结果

Table 2　Measurement results of medical service resistance in Sichuan prefectures from 2013 to 2022

地区	2013 年	2014 年	2015 年	2016 年	2017 年	2018 年	2019 年	2020 年	2021 年	2022 年	mean
成都	0.539	0.570	0.572	0.574	0.622	0.619	0.635	0.588	0.617	0.632	0.597
自贡	0.444	0.483	0.483	0.451	0.445	0.463	0.483	0.496	0.515	0.539	0.480
攀枝花	0.480	0.510	0.499	0.508	0.527	0.503	0.529	0.515	0.532	0.529	0.513
泸州	0.426	0.444	0.446	0.410	0.418	0.444	0.457	0.456	0.475	0.487	0.446
德阳	0.451	0.464	0.467	0.487	0.438	0.457	0.475	0.448	0.472	0.479	0.464
绵阳	0.425	0.446	0.450	0.469	0.469	0.438	0.462	0.452	0.473	0.478	0.456
广元	0.436	0.452	0.462	0.507	0.456	0.468	0.487	0.487	0.501	0.494	0.475
遂宁	0.413	0.428	0.448	0.412	0.410	0.423	0.444	0.475	0.489	0.478	0.442
内江	0.401	0.439	0.446	0.462	0.408	0.427	0.463	0.474	0.490	0.499	0.451
乐山	0.409	0.442	0.435	0.390	0.405	0.426	0.441	0.438	0.451	0.467	0.430
南充	0.416	0.425	0.437	0.464	0.416	0.421	0.437	0.466	0.487	0.481	0.445
眉山	0.432	0.442	0.438	0.394	0.422	0.431	0.448	0.428	0.441	0.453	0.433
宜宾	0.421	0.449	0.441	0.392	0.420	0.447	0.458	0.460	0.469	0.482	0.444
广安	0.416	0.428	0.440	0.483	0.434	0.443	0.451	0.433	0.455	0.463	0.445
达州	0.386	0.404	0.400	0.411	0.351	0.346	0.374	0.396	0.409	0.425	0.390
雅安	0.445	0.478	0.488	0.496	0.448	0.456	0.477	0.467	0.486	0.493	0.473
巴中	0.407	0.432	0.438	0.395	0.405	0.425	0.437	0.458	0.476	0.482	0.435
资阳	0.458	0.476	0.486	0.470	0.413	0.429	0.450	0.462	0.472	0.473	0.459
阿坝	0.409	0.408	0.407	0.424	0.386	0.391	0.405	0.405	0.411	0.412	0.406
甘孜	0.422	0.421	0.419	0.376	0.377	0.375	0.377	0.354	0.368	0.379	0.387
凉山	0.416	0.439	0.443	0.397	0.413	0.400	0.414	0.403	0.408	0.398	0.413
mean	0.431	0.451	0.455	0.446	0.432	0.440	0.457	0.455	0.471	0.477	

2.1.2　医疗服务抵抗力各系统水平变化趋势　整体上看，医疗服务抵抗力和医疗卫生资源指数呈正向增长趋势，其中医疗服务抵抗力呈“增－降－增”的趋势，医疗资源指数则呈现快速增长的趋势，平均增长率为 8.231%。而医疗服务水平和社会环境基础呈现下降趋势，其中医疗服务水平下降变化较小，而社会环境基础指数在 2015—2017 年出现大幅下降后缓慢增长。以 2020 年为转折点，子系统指数差异化特征降低，且排序趋于稳定。见图 1。

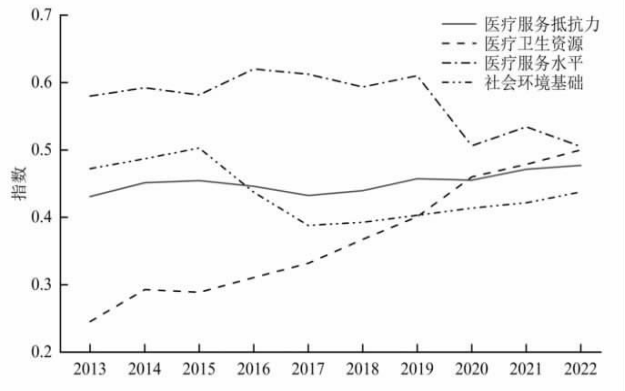


图 1　2013—2022 年四川省医疗服务抵抗力与准则层水平趋势图

Figure 1　Trend chart of medical service resistance and criterion layer levels in Sichuan Province from 2013 to 2022

2.1.3　核密度估计　结果显示，医疗服务抵抗力核密度曲线整体向右移，说明抵抗力水平呈上升趋势；核密度曲线峰值高度呈“上升－下降－上升”特征，且右侧拖尾增强，宽度增加，表明地区间差距增大，极化现象较强。从多峰分布看，2012—2022 年持续呈双峰特征，表明医疗服务抵抗力水平梯度效应明显。见图 2。

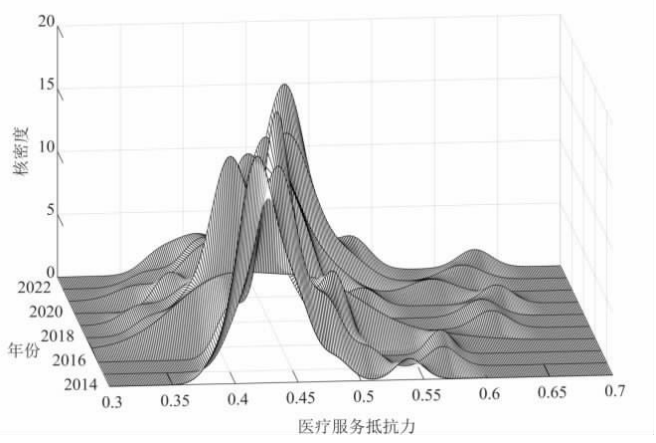


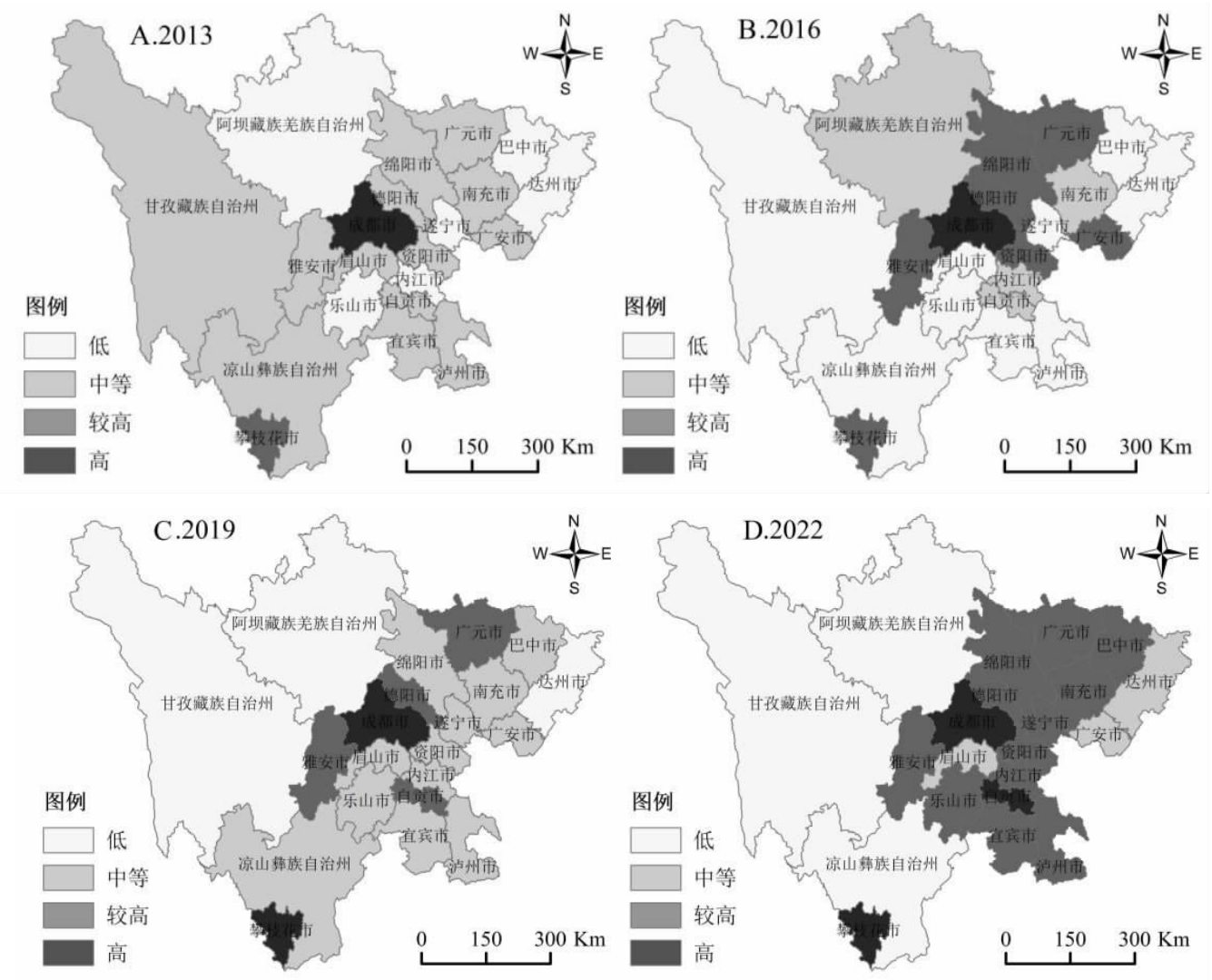
图 2　2013—2022 年四川省医疗服务抵抗力核密度曲线

Figure 2　Kernel density curves of medical service resistance in Sichuan Province from 2013 to 2022

2.2　医疗服务抵抗力空间演化特征分析

2.2.1　医疗服务抵抗力的空间异质性　为探究四川省医疗服务抵抗力的空间异质性，以 2013—2022 年抵抗力平均值为基准，运用自然断点法，将 21 个市州的抵抗力水平划分为低水平（<0.413）、中等水平（0.414 ~ 0.464）、较高水平（0.465 ~ 0.513）和高水平（>0.514）四个等级，选取 2013、2016、2019 和 2022 年抵抗力指数绘制空间分布图。见图 3。

由图 3A 可知，2013 年多数地区抵抗力等级处在中等水平以上，成都和攀枝花处于较高以上水平，川东北地区较其他地区偏低。由图 3B 可知，2016 年抵抗力水平整体有所提升，但在空间上呈两极分化，较高水平地区集中于成都平原，川西高原地区等级降低，呈现出“中部高四周低”的特征。由图 3C 可知，2019 年除阿坝、甘孜和达州处于低水平，其余地区均在中等水平以上，仅成都和攀枝花处于高水平。由图 3D 可知，2022 年医疗服务抵抗力等级有明显提升，除阿坝、甘孜、凉山和眉山分别处于低水平，其余地区均处于中等以上水平。



注：底图源于国家地理信息公共服务平台，标准地图审图号为 GS (2024)0650 号。

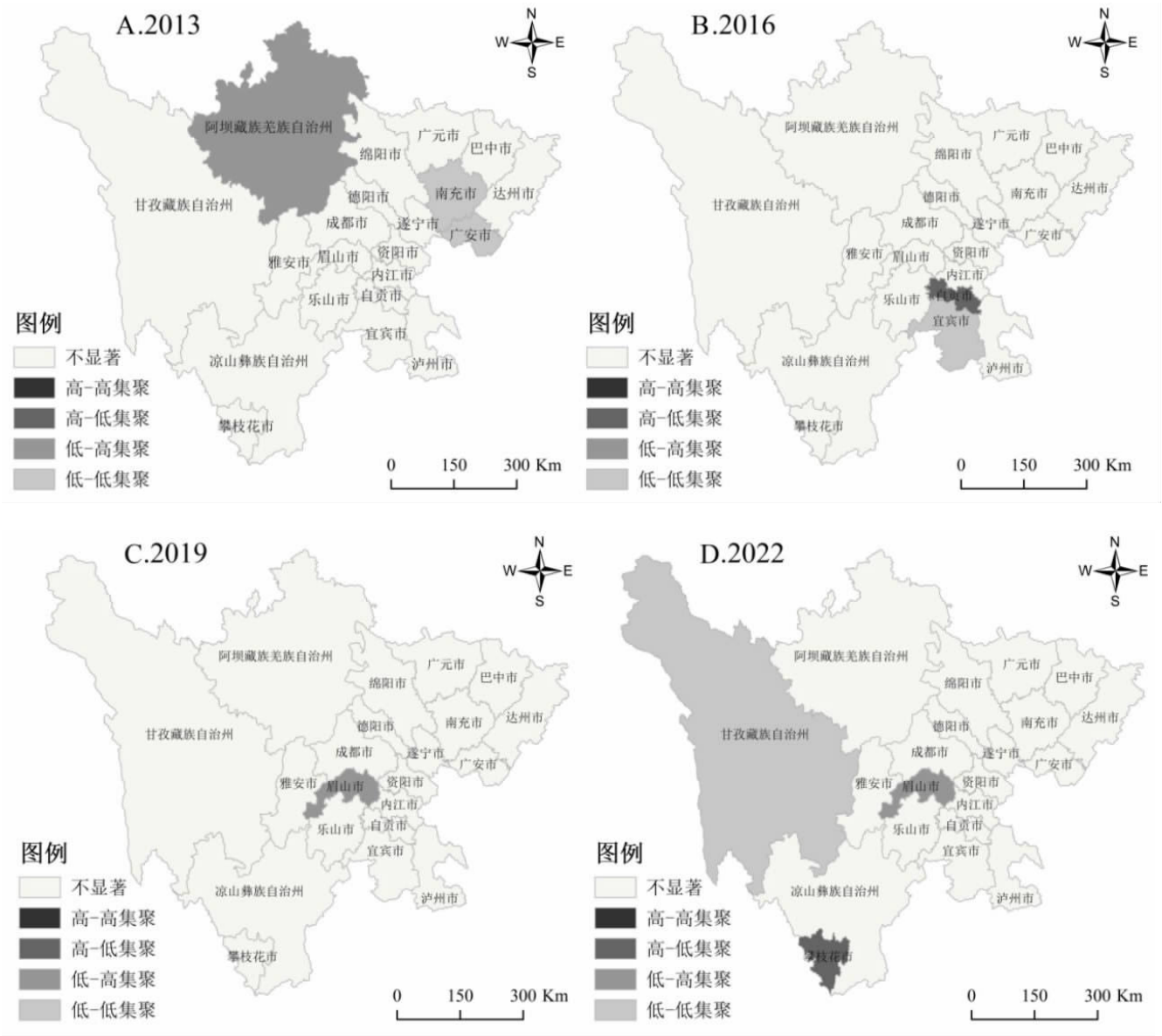
图 3　2013—2022 年四川省医疗服务抵抗力空间分布图

Figure 3　Spatial distribution map of medical service resistance in Sichuan Province from 2013 to 2022

2.2.2　医疗服务抵抗力的空间关联性　结果显示，2013—2022 年，医疗服务抵抗力莫兰指数在 2016 年以后为负值、*Z* 值除 2017 年外均大于 0、*P* 值均大于 0.05，无统计学意义，说明抵抗力整体在空间分布上不存在空间相关性。见表 3。

四川省各市州发展差异较大，可能存在的空间异质性现象，因此，采用局部空间自相关分析进一步探究四川省各地区空间异质性。结果显示，四川省医疗服务抵抗力局部呈现集聚现象，2016 年自贡和 2022 年攀枝花呈“高 – 低”集聚；2013 年阿坝和 2019、2022 年眉山呈现“低 – 高”集聚；2013 年南充与广安、2016 年宜宾和 2022 年甘孜呈“低 – 低”集聚；其

余市州集聚特征变化较大，不显著说明其与邻近地区不存在相关性。见图 4。



注：底图源于国家地理信息公共服务平台，标准地图审图号为 GS (2024)0650 号。

图 4　2013、2016、2019 和 2022 年四川省医疗服务抵抗力 LISA 图

Figure 4　LISA cluster maps of medical service resistance in Sichuan Province, 2013, 2016, 2019 and 2022

表 3　2013—2022 年四川省医疗服务抵抗力全局莫兰指数

Table 3　Global Moran's *I* of medical service resistance in Sichuan Province from 2013 to 2022

年份(年)	莫兰指数	*Z* 值	*P* 值
2013	0.110	1.416	0.157
2014	0.049	0.852	0.394
2015	0.002	0.451	0.652
2016	−0.001	0.380	0.704
2017	−0.060	−0.093	0.926
2018	−0.038	0.114	0.910
2019	−0.019	0.275	0.783
2020	−0.042	0.068	0.946
2021	−0.048	0.014	0.989
2022	−0.043	0.055	0.956

2.3　医疗服务抵抗力状态转移概率

2.3.1　传统马尔科夫链状态转移概率　为探究医疗服务抵抗力的状态转移概率，本文将指数四分位：低水平(<0.413)、中等水平(0.414～0.464)、较高水平(0.465～0.513)和高水平(>0.514)。低水平 80 个样本，维持原有状态概率 0.713，仅 0.238 升至中等、0.050 升至较高，向上流动受限；中等水平 41 个样本，保留概率 0.317，跃升至高概率达 0.488，跃升概率较大；较高水平 33 个样本，保留概率为 0.455，向上转移概率为 0.364，表较高水平也存在较大的跃升概率；高水平 35 个样，保留概率为 0.771，稳定性较高，但存在向下转移的可能性。总体呈显著层级结构：低、高水

平被锁定，中等水平最具向上跃迁机会。见表 4。

2.3.2　空间马尔科夫链状态转移概率　结果显示，转移概率随邻区抵抗力水平显著变化，证实空间环境至关重要。在所有空间滞后类型中，除邻域为中等水平地区，对角线概率小于非对角线值，说明中等水平地区锁定效应较弱，有较大概率向上或向下转移。其余类型均为对角线概率大于非对角线值，显示出显著的“锁定”效应，大多数市州在下一年仍极可能维持原有抵抗力等级，难以实现跨越式跃迁。远离对角线的概率接近零，表明状态只能逐级递进，空间邻近性本身不足以打破医疗服务抵抗力转移的锁定格局。见表 5。

表 4　医疗服务抵抗力传统马尔可夫转移概率矩阵

Table 4　Traditional Markov transition probability matrix of medical service resistance

空间滞后类型	t/(t+1)	低	中等	较高	高	观测值
无滞后	低	0.713	0.238	0.050	0.000	80
	中等	0.195	0.317	0.439	0.049	41
	较高	0.091	0.091	0.455	0.364	33
	高	0.029	0.114	0.086	0.771	35

表 5　医疗服务抵抗力空间马尔可夫转移概率矩阵

Table 5　Spatial Markov transition probability matrix of medical service resistance

空间滞后类型	t/(t+1)	低	中等	较高	高	观测值
低	低	0.739	0.239	0.022	0.000	46
	中等	0.091	0.273	0.455	0.182	11
	较高	0.200	0.200	0.000	0.600	5
	高	0.100	0.100	0.000	0.800	10
中等	低	0.529	0.294	0.177	0.000	17
	中等	0.250	0.375	0.375	0.000	16
	较高	0.091	0.091	0.364	0.455	11
	高	0.000	0.125	0.000	0.875	16
较高	低	0.846	0.154	0.000	0.000	13
	中等	0.182	0.273	0.546	0.000	11
	较高	0.071	0.071	0.643	0.214	14
	高	0.000	0.111	0.333	0.556	9
高	低	0.750	0.250	0.000	0.000	4
	中等	0.333	0.333	0.333	0.000	3
	较高	0.000	0.000	0.667	0.333	3
	高	0.000	0.000	0.000	0.000	0

3　讨　论

3.1　*医疗服务抵抗力水平呈上升趋势*　2013—2022 年，四川省医疗服务抵抗力由 0.431 升至 0.477，呈逐步提升状态。说明医疗改革的深入推进，医疗卫生资源逐步向欠发达地区流动，促进资源分配的公平和均衡性取得明显效果。其原因在于，一是政府重视并支持医疗卫生事业发展，实现卫生资源均衡分布提供良好的政策环境；二是各市州医疗服务能力稳步提升。因此，各地区需持续深化医疗改革，进一步优化医疗卫生服务结构。充分发挥经济强市的经济和科技优势，加强人才队伍建设和基础设施建设。构建协同合作机制，促进医疗机构技术、经验和人才之间交流；发挥互联网作用，通过医疗资源共享平台，实现优质资源快速流动，破解低水平“锁定”。

3.2　*医疗服务抵抗力水平地区差距明显，呈现局部集聚效应*　四川省各地区医疗服务抵抗力水平差异明显，成都平原地区较其他地区领先，存在“高 – 低、低 – 高和低 – 低”集聚，说明地区间抵抗力差异明显且存在局部集聚特征。其原因在于，一是成都平原地区经济发达、医疗人才聚集，医疗服务水平较高，对医疗服务抵抗力影响较大；二是高水平地区会形成正向辐射影响，带动邻近地区正向增长，而欠发达地区则带动效应较弱，易于形成低水平集聚。因此，不同集聚区需根据地方特点，因地制宜制定发展策略。较高水平地区应充分发挥辐射作用，加强与周边地区合作，推动区域协调发展。发挥互联网优势，建立跨区

资源统筹，突破空间限制，实现优质医疗资源流动。

3.3　医疗服务抵抗力水平存在“锁定”效应，跃升概率较小　四川省医疗服务抵抗力保持原有状态概率较高，跃升概率较小，低水平、高水平存在锁定效应，中等水平有较高概率向上转移。其原因在于，一是地区经济限制医疗卫生事业发展；二是欠发达地区优质资源流失，引进人才难以留住人才。因此，需进一步优化人才引进方案，既能引进，也要能留住人才。同时，加大医疗卫生财政支持力度。对于川西高原地区，需进一步提高交通通达度，确保居民能够高效获取医疗资源，以及建立区域医疗中心、人才定向培养等方式，推动人才向欠发达地区流动。

综上所述，本研究仍存在不足：一是研究范围局限于四川省，未进行省域或县域范围研究；二是医疗服务抵抗力受多方因素影响，指标体系建立不全面。未来从省级或县级层面进行研究，并建立更全面的评价体系。

利益冲突声明　本研究不存在任何利益冲突

参考文献

[1] 阮一帆，钟元佐. 习近平关于公共卫生安全重要论述的逻辑理路、科学内涵与时代价值[J]. 理论学刊，2024(4)：14-22.
Ruan YF, Zhong YZ. The logical reasoning, scientific connotation and epochal value of Xi Jinping's important statements on public health security[J]. Theory Journal, 2024(4): 14-22.(In Chinese)

[2] 宁宁，吴群红，孙宏，等. 用“韧性”化解灾难成为构建具有应变能力卫生系统的优先领域[J]. 中国急救复苏与灾害医学杂志，2019，14(2)：108-110.
Ning N, Wu QH, Sun H, et al. Using “Resilience” to mitigate disasters becomes a priority in building adaptive health systems[J]. China Journal of Emergency Resuscitation and Disaster Medicine, 2019, 14(2): 108-110.(In Chinese)

[3] United Nations. WHO Director-General: Strong and resilient health systems are the foundation for all countries to recover from the COVID-19 pandemic [EB/OL]. [2026-02-26]. https://news.un.org/zh/story/2020/05/1056732.

[4] Kieny MP, Dovlo D. Beyond Ebola: a new agenda for resilient health systems[J]. The Lancet, 2015, 385(9963): 91-92.

[5] 张学波，吴江楠，王振波，等. 中国地级以上城市医疗服务韧性的时空分异与驱动力分析 [J]. 地理科学进展，2024，43(7)：1273-1289.
Zhang XB, Wu JN, Wang ZB, et al. Spatial-temporal differentiation and driving forces of medical service resilience of prefecture-level cities in China[J]. Progress in Geography, 2024, 43(7): 1273-1289.(In Chinese)

[6] Meyer D, Bishai D, Ravi SJ, et al. A checklist to improve health system resilience to infectious disease outbreaks and natural hazards [J]. BMJ Glob Health, 2020, 5(8): e002429.

[7] Foroughi Z, Ebrahimi P, Aryankhesal A, et al. Toward a theory-led meta-framework for implementing health system resilience analysis studies: a systematic review and critical interpretive synthesis [J]. BMC Public Health, 2022, 22(1): 287.

[8] Roosmini D, Kanisha TF, Nastiti A, et al. Preliminary studies of Bandung City Health System Resilience (case study: Covid-19 pandemic) [J]. IOP Conference Series: Earth and Environmental Science, 2022, 1065(1): 12065.

[9] 韦晶，李占清. 中国高分辨率高质量 PM2.5 数据集(2000-2023) [EB/OL]. [2026-02-26]. https://doi.org/10.5281/zenodo.3539349.
Wei J, Li ZQ. China high PM2.5: High-resolution and high-quality ground-level PM2.5Dataset for China (2000-2023) [EB/OL]. [2026-02-26]. https://doi.org/10.5281/zenodo.3539349.(In Chinese)

[10] 夏盈盈，张正绵，李跃平，等. 福州市公共卫生韧性综合评价研究[J]. 福建医科大学学报:社会科学版，2021，22(6)：11-16.
Xia YY, Zhang ZM, Li YP, et al. Research on the comprehensive evaluation of public health resilience in Fuzhou city [J]. Journal of Fujian Medical University (Social Science Edition), 2021, 22 (6): 11-16.(In Chinese)

[11] 林锦慧，王冬. 基于熵权 -TOPSIS 法的市域公共卫生韧性评价研究[J]. 中国卫生事业管理，2025，42(3)：356-360.
Lin JH, Wang D. Evaluation of public health resilience in municipal areas based on the entropy Weight-TOPSIS method [J]. Chinese Health Service Management, 2025, 42(3): 356-360.(In Chinese)

[12] 刘太一，邱德超，陈诚，等. 传染病救治医院运行效率及影响因素分析[J]. 中国医院，2021，25(12)：15-17.
Liu TY, Qiu DC, Chen C, et al. Analysis of operating efficiency and influencing factors of infectious disease treatment hospitals [J]. Chinese Hospitals, 2021, 25(12): 15-17.(In Chinese)

[13] 藏媛，郝枫. 空气质量对流动人口城市留居意愿强度的影响[J]. 软科学，2022，36(8)：91-99.
Zang Y, Hao F. The influence of air quality on the intensity of migrants'urban residence intention [J]. Soft Science, 2022, 36 (8): 91-99.(In Chinese)

[14] Zhao KH, Yuan ZB, Wu YH, et al. Identification of synergistic control for ozone and PM2.5 pollution during a large-scale emission reduction in China[J]. Atmospheric Research, 2023, 295: 107025.

[15] 张悦倩，刘全龙，李新春. 长三角城市群城市韧性与新型城镇化的耦合协调研究[J]. 城市问题，2022，(5)：17-27.
Zhang YQ, Liu QL, Li XC. Coupling coordination between urban resilience and new-type urbanization in the Yangtze River Delta urban agglomeration [J]. Urban Problems, 2022, (5): 17-27. (In Chinese)

[16] 李奇峰，王艺洁，王浩阳，等. 新疆耕地多功能时空特征与权衡管理[J]. 水土保持研究，2025，32(1)：400-412.
Li QF, Wang YJ, Wang HY, et al. Multifunctional spatiotemporal characteristics of cultivated land and trade-off management in Xinjiang [J]. Research of Soil and Water Conservation, 2025, 32(1): 400-412.(In Chinese)

[17] 刘作友，张甜，何雨栗，等. 成渝城市群城市韧性时空演变及子系统耦合协调研究 [J]. 青海师范大学学报：自然科学版，2025，41(1)：1-18.
Liu ZY, Zhang T, He YL, et al. Spatiotemporal evolution and subsystem coupling coordination of urban resilience in Chengdu-Chongqing urban agglomeration [J]. Journal of Qinghai Normal University: Natural Science Edition, 2025, 41 (1): 1-18.(In Chinese)

[18] 张振，张以晨，张继权，等. 基于熵权法和 TOPSIS 模型的城市

（下转第 1344 页）

[22] Arciero PJ, Ives SJ, Mohr AE, et al. Morning exercise reduces abdominal fat and blood pressure in women; evening exercise increases muscular performance in women and lowers blood pressure in men[J]. Frontiers in Physiology, 2022, 13: 893783.

[23] Wu X, Mealli F, Kioumourtzoglou MA, et al. Matching on generalized propensity scores with continuous exposures [J]. Journal of the American Statistical Association, 2024, 119(545): 757–772.

[24] Morales–Palomo F, Moreno–Cabañas A, Alvarez–Jimenez L, et al. Efficacy of morning versus afternoon aerobic exercise training on reducing metabolic syndrome components: A randomized controlled trial[J]. The Journal of Physiology, 2024, 602(23): 6463–6477.

[25] Shen BY, Zheng HW, Liu HB, et al. Differential benefits of 12–week morning vs. evening aerobic exercise on sleep and cardiometabolic health: a randomized controlled trial [J]. Scientific Reports, 2025, 15 (1): 18298.

[26] Carrasco–Benso MP, Rivero–Gutierrez B, Lopez–Minguez J, et al. Human adipose tissue expresses intrinsic circadian rhythm in insulin sensitivity[J]. FASEB Journal, 2016, 30(9): 3117–3123.

[27] Mancilla R, Krook A, Schrauwen P, et al. Diurnal regulation of peripheral glucose metabolism: potential effects of exercise timing[J]. Obesity (Silver Spring, Md.), 2020(Suppl 1): S38–S45.

[28] Kim HK, Radak Z, Takahashi M, et al. Chrono–exercise: Time–of–day–dependent physiological responses to exercise [J]. Sports Medicine and Health Science, 2023, 5(1): 50–58.

[29] Brito LC, Marin TC, Azev ê do L, et al. Chronobiology of exercise: evaluating the best time to exercise for greater cardiovascular and metabolic benefits [J]. Comprehensive Physiology, 2022, 12 (3): 3621–3639.

[30] Abo SMC, Casella E, Layton AT. Sexual dimorphism in substrate metabolism during exercise [J]. Bulletin of Mathematical Biology, 2024, 86(2): 17.

[31] Henderson GC. Sexual dimorphism in the effects of exercise on metabolism of lipids to support resting metabolism [J]. Frontiers in Endocrinology, 2014, 5: 162.

[32] Moholdt T, Parr EB, Devlin BL, et al. The effect of morning vs evening exercise training on glycaemic control and serum metabolites in overweight/obese men: a randomised trial [J]. Diabetologia, 2021, 64(9): 2061–2076.

[33] Zabuliene LN, Milionis C, Koukkou E, et al. Exposure to artificial lighting at night: from an ecological challenge to a risk factor for glucose dysmetabolism and gestational diabetes? Narrative review[J]. Annals of Medicine, 2025, 57(1): 2477304.

收稿日期:2025–10–26

(上接第 1303 页)

韧性评估 -- 以长春市为例 [J]. 灾害学,2023,38(1):213–219.
Zhang Z, Zhang YC, Zhang JQ, et al. Urban resilience assessment based on entropy weight method and TOPSIS model–take Changchun city as an example [J]. Journal of Catastrophology, 2023, 38(1): 213–219.(In Chinese)

[19] 周洁,胡凌娟,怀晴雨. 基于主成分分析和 TOPSIS 模型的我国各省份医疗水平评价研究 [J]. 中国全科医学,2023,26(34):4254–4260, 4268.
Zhou J, Hu LJ, Huai QY. Evaluation of medical level in China by provinces based on principal component analysis and TOPSIS Model [J]. Chinese General Practice, 2023, 26 (34): 4254–4260, 4268.(In Chinese)

[20] 张轲. 基于熵权法 –TOPSIS 的城市医疗系统韧性评价研究[D]. 北京:北京建筑大学,2022.
Zhang K. Research on resilience evaluation of urban medical system based on entropy weight method–TOPSIS [D]. Beijing: Beijing University of Civil Engineering and Architecture, 2022.(In Chinese)

[21] Parzen E. On estimation of a probability density function and mode [J]. The Annals of Mathematical Statistics, 1962, 33(3): 1065–1076.

[22] Deng J, Song QW, Liu H, et al. The coupling coordination between health service supply and regional economy in China: spatio–temporal evolution and convergence [J]. Front Public Health, 2024, 12: 1352141.

[23] Moran PAP. Notes on continuous stochastic phenomena[J]. Biometrika, 1950, 37(1/2): 17–23.

[24] 薛亮,任志远. 基于空间马尔科夫链的关中地区生态安全时空演变分析[J]. 生态环境学报,2011,20(1):114–118.
Xue L, Ren ZY. The spatial–temporal dynamics of Guanzhong eco–security based on spatial Malcov Chains [J]. Ecology and Environment, 2011, 20(1): 114–118.(In Chinese)

收稿日期:2025–10–02