

美国政策举措对人口流动性与病毒传播的影响研究动态

董昱菡^{1,2}

(1. 同济大学交通学院, 上海 201804; 2. 同济大学道路与交通工程教育部重点实验室, 上海 201804)

摘要: 选取来自国际学术期刊的论文, 以概述形式对城市交通理论方法、实证分析等学术研究成果进行总结性介绍, 旨在增强城市交通业界和学界对国际学术动向和研究热点的关注, 促进学术交流。《时空视角下美国政策举措对人口流动、COVID-19 病例及死亡率影响的研究》整合了美国 50 个州的面板数据, 构建了包含动态政策持续时间指标与非线性趋势项的固定效应事件研究框架。通过严格的计量经济学检验证实, 居家令和关闭工作场所在实施初期通过物理阻断机制显著降低了人口流动性及确诊病例增长率。研究发现, 公共信息宣传虽然未能改变空间流动轨迹, 却通过提升防疫意识使确诊率大幅下降, 从而证实了流动性与病毒传播之间存在解耦效应。此外, 该研究通过基于时间维度的动态分析, 揭示了强制性政策效力随时间衰减的疫情疲劳现象, 为后疫情时代城市韧性治理与公共卫生政策制定提供了理论支撑。

关键词: COVID-19; 事件研究法; 面板数据回归; 流动性; 时空异质性

Research Dynamics on the Impact of Policy Measures on Human Mobility, COVID-19 Cases, and Mortality in the US: A Spatiotemporal Perspective

Dong Yuhuan^{1,2}

(1. College of Transportation Engineering, Tongji University, Shanghai 201804, China; 2. The Key Laboratory of Road and Traffic Engineering, Ministry of Education, Shanghai 201804, China)

Abstract: Social distancing policies were the primary defense against the rapid spread of COVID-19 during the early stages of the pandemic, yet their net effects and underlying mechanisms across different spatiotemporal contexts remain debated. The paper "The Impact of Policy Measures on Human Mobility, COVID-19 Cases, and Mortality in the US: A Spatiotemporal Perspective", integrates panel data from 50 US states and develops a fixed-effects event study framework that include dynamic policy duration indicators and non-linear trend terms. Through rigorous econometric tests, the paper confirms that "stay-at-home orders" and "workplace closures" significantly reduced population mobility and the growth rate of confirmed cases in the early stage of implementation through physical blocking mechanisms. The results show that although "public information campaigns" did not change the spatial trajectory of population mobility, they substantially reduced the rate of confirmed cases by improving public awareness of epidemic prevention, thereby confirming a decoupling effect between mobility and virus transmission. In addition, through dynamic analysis based on the time dimension, the paper reveals an epidemic fatigue effect in which the effectiveness of mandatory policies declines over time. The paper provided theoretical support for urban resilience governance and public health policy making in the post-pandemic era.

Keywords: COVID-19; event study; panel data regression; mobility; spatiotemporal heterogeneity

收稿日期: 2025-12-19

作者简介: 董昱菡(2005—), 女, 贵州遵义人, 本科生, 研究方向为交通工程, 电子邮箱 2250505@tongji.edu.cn。

引用格式: 董昱菡. 美国政策举措对人口流动性与病毒传播的影响研究动态[J]. 城市交通, 2026, 24(2): 123-126.

Dong Yuhuan. Research dynamics on the impact of policy measures on human mobility, COVID-19 cases, and mortality in the US: a spatiotemporal perspective[J]. Urban Transport of China, 2026, 24(2): 123-126.

研究背景

2020年初,新型冠状病毒(COVID-19)凭借极高的基本传染数(R_0)迅速席卷全球。在疫苗尚未普及的背景下,各国政府实施了一系列非药物干预措施(Non-Pharmaceutical Interventions, NPIs)。从学校停课、企业停工到更为激进的居家令(Stay-at-Home Orders)和旅行禁令,这些政策在延缓病毒传播的同时,也使社会经济活动陷入停滞。面对高昂的社会成本,政策制定者和研究人员迫切需要回答:在众多政策工具中,究竟哪些措施最为有效,它们又是通过何种机制发挥作用?

早期研究多存在明显局限性。首先,空间尺度往往局限于单一城市或国家,缺乏对美国这种联邦体制下政策响应碎片化特征的系统考察。其次,研究方法多依赖SIR或SEIR等经典的传染病动力学模型。这类模型虽然理论严谨,但往往基于同质性假设,难以捕捉现实世界中各州人口密度、医疗资源及公众行为模式的巨大差异。更重要的是,既有研究往往将人口流动性与流行病学结果割裂分析,未能在一个统一的分析框架下厘清“政策—流动性—病毒传播”之间的因果链条。

《时空视角下美国政策举措对人口流动、COVID-19病例及死亡率影响的研究》一文正是在此背景下展开。该研究利用大数据的优势,尝试突破传统流行病学模型的限制,采用计量经济学中的事件研究法(event study)。这一方法论的转变,使研究者能够在准实验设计下,利用美国50个州在政策实施时间上的先后差异,精准识别各项政策的动态因果效应,并进一步探讨公众行为随时间演变的心理机制。

研究方法

该研究构建了包括数据整合—变量重构—模型构建—反事实分析的综合评估框架,通过引入时空异质性控制和非线性趋势项,实现对政策净效应的精准识别。

1) 多源时空数据整合与变量重构。

研究团队构建了覆盖2020年3月1日至7月13日、包含美国50个州的面板数据(panel data,即包含多个个体在连续时间点上观测值的数据结构),体现了典型的时空数据特征,即同时包含时间维度和空间维度的变化信息。

在政策变量的处理上,该研究并未采用简单的二值变量,而是基于牛津大学的COVID-19政府响应追踪项目(OxCGRT),选取了关闭学校、关闭工作场所、取消公共活动、停运公共交通、公共信息宣传、居家令及旅行控制等7类关键政策。为了捕捉政策效果的滞后性与动态演变,该研究设计了一套细化的持续时间指标体系。具体而言,模型不仅记录政策是否实施,还通过一系列哑变量标记了政策实施第1周、第2周直至2个月后的时间窗口。这种编码策略为后续分析政策的短期冲击与长期衰减提供了数据基础。

流动性数据来源于Google社区流动报告,该数据基于海量手机定位信息,能够反映各州每日相对于疫情前基线的人口流动变化。为深入剖析人类行为的微观机理,该研究并未笼统使用总移动量,而是将其解构为常规活动(涵盖零售、工作等场景)、公共交通、居住3个子维度。这种分类能够观察到政策实施后,人们在不同生活场景下的行为替代效应。

在流行病学数据方面,针对确诊和死亡病例累计数据呈指数增长的非平稳特性,该研究采用对数差分近似法计算每日增长率。确诊病例增长率

$$ConfirmedGR_{sd} = \left[\ln(confirms_{sd}) - \ln(confirms_{s,d-1}) \right]$$

式中: $ConfirmedGR_{sd}$ 为 s 州在 d 天的确诊病例增长率,以百分点表示; $confirms_{sd}$ 为 s 州在 d 天的累计确诊数/例; $confirms_{s,d-1}$ 为 s 州在 $d-1$ 天的累计确诊数/例。

对数差分法是计算增长率的一种广泛使用的近似方法。为了使回归系数具有直观的解释性(即直接反映百分点的变化),在实际回归分析中,该增长率数值进一步乘以100。

2) 基于回归的事件研究框架:模型构建。

该研究的核心贡献在于构建了严谨的因果推断框架,以解决观测数据中常见的内生性问题。具体而言,采用包含固定效应和非线性趋势项的面板数据回归模型,模型设计逻辑较为严谨。其核心回归方程定义如下:

$$ConfirmedGR_{sd} = \alpha + state_s + \sum_{policy, i \neq 0} \beta_{policy, i} I_{policy, s, d, i} + \gamma TestGR_{sd} + \zeta_s me^{-m} + \epsilon_{sd}$$

式中: α 为常数项; $state_s$ 为 s 州固定效应; $\beta_{policy, i}$ 为该项政策在实施后第 i 个时间

窗口的回归系数； $I_{policy,s,d,i}$ 为政策持续时间哑变量； γ 为检测数量增长率的回归系数； $TestGR_{sd}$ 为 s 州在 d 天的每日检测总数增长率，以百分点表示； ζ_s 为 s 州的非线性时间趋势系数； m 为时间变量(月份序号)； ϵ_{sd} 为 s 州在 d 天的随机误差项。

该方程设计包含3个关键层面的考量：

首先，模型采用动态政策持续时间指标。式中 $I_{policy,s,d,i}$ 是0~1指示变量。当 s 州在 d 天处于某项政策实施后的第 i 个时间窗口时，该变量取值为1，否则为0。与传统的静态分析(仅使用单一哑变量表示政策实施与否)不同，这一设计通过时间下标 i 将政策影响细分为实施前1周、实施第1周、第2周直至两个月后等多个阶段。这使得模型不仅能识别政策的即时冲击($\beta_{policy,1}$)，还能精准捕捉政策效果的滞后性以及随时间推移的衰减特征(如疫情疲劳)。

其次，模型引入了州固定效应。在美国，各州的人口密度、医疗基础设施水平、政治倾向乃至文化传统都存在显著差异，这些不随时间变化的固有特征往往是导致横截面回归产生偏差的根源。通过引入固定效应，模型剔除了这些混杂因素的干扰，使分析更聚焦于各州内部随时间的变化。

最后，关键的创新在于非线性时间趋势项 $\zeta_s me^{-m}$ 的引入。众所周知，传染病的传播具有其内在的自然规律，通常呈现“爆发—达峰—自然衰减”的单峰形态。即便没有政策干预，随着易感人群的减少和公众风险意识的提升，传播速度也会自然放缓。如果模型不能控制这一自然趋势，就很容易将病毒的自然衰退错误地归因于政策效果。为此，该研究并未采用简单的线性时间趋势，而是构造了基于时间 m 的指数衰减函数 e^{-m} 。该函数在数学形态上较好地拟合了疫情发展的自然周期，从而充当了精密的“过滤器”，将病毒传播的自然背景趋势剔除，确保模型中的回归系数 $\beta_{policy,i}$ 捕捉到的是纯粹由政策带来的净效应。

3) 反事实分析。

在此基础上，该研究进一步进行了反事实分析(counterfactual analysis)。利用训练好的模型参数，研究者在计算机模拟中强行将所有政策系数 β 置零，构建了一个“未实施任何干预”的反事实情景，表达式如下：

$$\widehat{ConfirmedGR}_{sd}^{without_policy} = \hat{\alpha} + \widehat{state}_s + \hat{\gamma}TestGR_{sd} + \hat{\zeta}_s me^{-m}$$

式中： $\widehat{ConfirmedGR}_{sd}^{without_policy}$ 为无政策干预时 s 州在 d 天的预测确诊病例增长率，以百分点表示； $\hat{\alpha}$ 为常数项的估计值； \widehat{state}_s 为 s 州固定效应的估计值； $\hat{\gamma}$ 为检测数量增长率的回归系数估计值； $TestGR_{sd}$ 为 s 州在 d 天的每日检测总数增长率，以百分点表示； $\hat{\zeta}_s$ 为 s 州的非线性时间趋势系数估计值； m 为时间变量(月份序号)。

通过对比真实观测曲线与这条反事实预测曲线，两者之间的垂直距离便可直观地量化政策对确诊病例增长率的真实影响。这种对比分析以可视化方式呈现，有效增强了复杂统计结果的可解释性与说服力。

研究结果

为了量化各项政策在不同阶段的实施效果，该研究通过回归模型估算得到各项非药物干预措施在不同时间窗口下的边际影响系数 β ，统计显著性通过 p 值判断。在分析中，常规活动流动性代表零售、工作场所等的访问量变化，病例增长率系数代表每日增长率的变化幅度(负值表示增长率下降)，二者均以百分点表示。不同政策工具在抑制流动性与控制病毒传播方面的表现存在显著差异。这些系数不仅证实了行政强制力的物理阻断效果，也为解耦效应和疫情疲劳提供了直接的实证证据。

1) 物理阻断与行为替代：流动性的响应机制。

回归结果首先证实了行政强制措施在物理层面的有效性。数据显示，停运公共交通和关闭工作场所是对流动性抑制作用最强的政策工具。以停运公共交通为例，在政策实施的第1周，常规活动的流动性指数即下降了约10.47个百分点。与此同时，居住地活动呈现与之镜像对称的上升趋势($\beta \approx 3.256$)。这种此消彼长的数据模式有力地证明了政策的强制力迫使居民将活动空间从公共领域压缩至家庭内部。

值得注意的是，居家令在实施初期也展现了显著的约束力。其对常规活动的回归系数在第1周显著为负($\beta \approx -2.915$ ， $p < 0.05$)，表明该政策成功地在初期将人们

“按”在了家里。这验证了在疫情暴发初期,通过高强度的行政手段切断物理连接是降低人口流动最直接的方式。

2) 解耦效应:非流动性干预的惊人潜力。

该研究最具启发性的发现在于揭示了流动性与病毒传播之间的非线性关系,即解耦效应。模型显示,居家令在第1周使确诊病例增长率下降了约5个百分点,这符合传统的“减少接触即减少传播”的防疫逻辑。

然而,公共信息宣传政策展现出了截然不同的作用路径。统计结果表明,该政策在实施的第1周对人口流动性(常规活动)的影响在统计上并不显著($p>0.1$),意味着单纯的宣传在初期未能促使公众足不出户。值得注意的是,该政策同期对确诊病例增长率的抑制作用却高度显著($\beta\approx-10.331$, $p<0.01$),甚至超过了同期的居家令。这一现象揭示了重要的道理:控制病毒传播并不必然依赖于牺牲流动性。在不完全限制居民出行的前提下,高强度的信息投放能够提高公众的风险感知,促使公众采纳佩戴口罩、保持社交距离、勤洗手等个人防护行为,从而同样切断病毒的传播路径。

3) 死亡率的刚性与政策滞后。

与确诊病例的敏感反应不同,该研究发现,各类政策对死亡率的抑制效果表现出明显的低弹性和滞后性。大部分政策(如关闭工作场所、停运公共交通)在实施的所有观测窗口内,对死亡率的回归系数均不显著。仅有居家令等少数政策在实施1~2个月后才显示出微弱的抑制效果($\beta\approx-5.065$, $p<0.1$)。这一结果表明,死亡率是一个存在多重刚性约束的滞后指标——一旦感染发生,患者的临床转归更多取决于当地医疗资源承载力及人口年龄结构,而非当下的社交距离政策。

4) 疫情疲劳:公众行为的动态演变。

通过对时间窗口*i*的纵向考察,该研究敏锐地捕捉到了疫情疲劳的量化证据。观察居家令对常规活动流动性的回归系数可以发现,其约束力并非恒定不变:在实施第1周,系数显著为负($\beta\approx-2.915$, $p<0.05$);第2周,系数虽仍为负,但统计上不显著($\beta\approx-2.286$, $p>0.1$);第3周,系数再次显著为负($\beta\approx-3.780$, $p<0.05$);而到了第4周,系数减弱至 -0.957 且统计上不再显著

($p>0.1$)。这种显著性与非显著性交替、整体约束力逐渐减弱的趋势,直观反映了公众对强制政策的适应性疲劳。模型中代表自然趋势 ζ 系数也佐证了这一点:随着时间的推移,该系数在常规活动和公共交通维度上普遍为正,意味着在排除政策干预后,公众外出的意愿随时间推移而自然回升。这一发现向政策制定者发出了警示:静态的强制措施存在“保质期”,其实际约束力会因公众的心理疲劳而随时间衰减。

研究总结

该研究通过严谨的实证分析,在统一的时空框架下揭示了非药物干预措施、人口流动与疫情传播之间的复杂关系。其理论贡献在于成功引入非线性趋势项的事件研究框架,解决了传统流行病学研究中内生性和时空自相关难以有效处理的问题,为后续相关研究提供了可借鉴的范式。

研究结果为公共卫生治理提供了重要启示:治理策略应从早期的应急反应转向更为精细化和适应性的治理模式。鉴于物理隔离措施的短期有效性和长期不可持续性,以及解耦效应的存在,政府应更加重视公共信息宣传等软性干预手段,通过重塑公众行为习惯,以较低成本实现长期防疫目标。同时,面对疫情疲劳的客观规律,政策强度应根据疫情阶段和社会心理承受力进行动态调整,避免因长期高压管控导致社会韧性下降。

尽管该研究逻辑严密,但仍存在一定局限性。例如,数据范围主要集中于美国,鉴于其独特的联邦体制和文化背景,结论的普适性有待通过跨国比较进一步验证。此外,政策变量在模型中被处理为离散变量,未能完全捕捉政策执行力度的细微变化。未来研究可尝试利用模型蒸馏技术构建连续的政策严格度指数,并结合更长周期的面板数据,探索公众行为疲劳的阈值,为应对未来可能发生的公共卫生危机提供更具前瞻性的指导。

资料来源:Li Yun, Li Moming, Rice M., et al. The impact of policy measures on human mobility, COVID-19 cases, and mortality in the US: a spatiotemporal perspective[J]. International Journal of Environmental Research and Public Health, 2021, 18(3): 996.