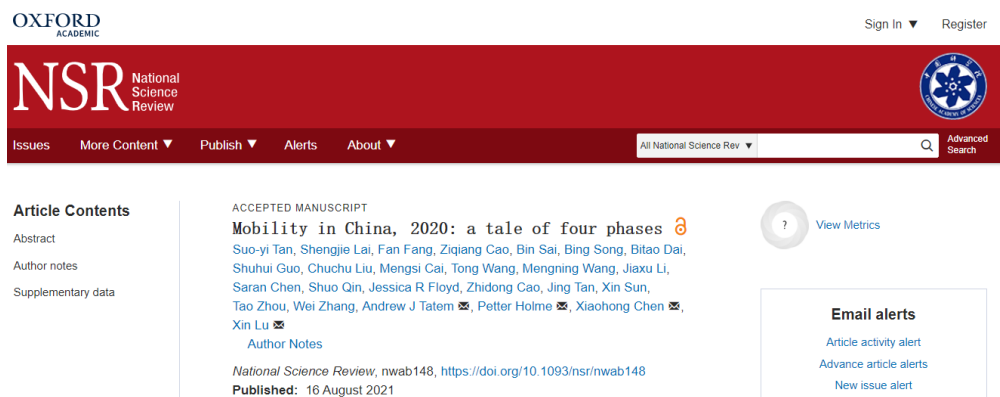


移动大数据揭示我国人口出行规律和城市群格局

论文题目：Mobility in China, 2020: a tale of four phases

论文地址：National Science Review, nwab148, <https://doi.org/10.1093/nsr/nwab148>



备用题目：人口流动大数据揭示我国新冠防疫政策持久有效

【导语】人口流动是由社会经济、资源环境、政策制度等综合影响产生的一类复杂社会现象。挖掘人口流动的时空规律和模式特征，对于国家和地区人力资源优化配置、社会经济均衡发展、交通系统优化等均具有重要意义。在新冠肺炎疫情全球大流行的背景下，利用大数据技术进行人口流动特征挖掘，理解人口出行模式规律，对于疫情应对的精准和智能化防控具有更加重要的科学意义。

国防科技大学吕欣教授与湖南工商大学陈晓红院士带领的科研团队最近的一项相关成果发表在《国家科学评论》(National Science Review)上，该研究使用经过匿名处理的手机信令数据，对2020年年初全国人口流动性的时空特征进行精确刻画，研究了从平时到春运，再到疫情期间出行管控直至全面复工复产期间全国各地区人口出行模式的演化。研究发现，我国人口通勤模式在不同阶段呈现剧烈变化，春运期间大规模增加的跨城市人口流动随着新冠疫情防控措施的实施被迅速有效的控制。人口流动性的低水平一直持续到2月中旬，这一史无前例的应急响应预计推迟了超过7千万人的返城进程，充分证明了我国疫情防控政策的有效性和持久性。此外，基于网络分析技术，研究团队揭示了我国人口和经济高度关联的城市群，如东北、成渝、京津冀、长三角、大湾区等城市群。大部分城市社区以一线、二线城市或省会城市为核心，具有强烈的区域集聚效应，形成了以核心城市为中心点向周边辐射的分布格局。这些研究结果以精细的分辨率提供了中国在各种情况下，人口流动性的最全面的描述，对未来公共卫生应急响应、交通规划和区域经济发展等方面的决策具有至关重要的意义。

【春运与疫情对全国人口流动的影响】

春运期间，跨城市人口流动显著增加，城市间的人口流向与城市等级有关。一、二线城市的流出远高于流入，呈现出人口净流出的态势；三、四、五线城市则呈现出人口净流入的趋势。

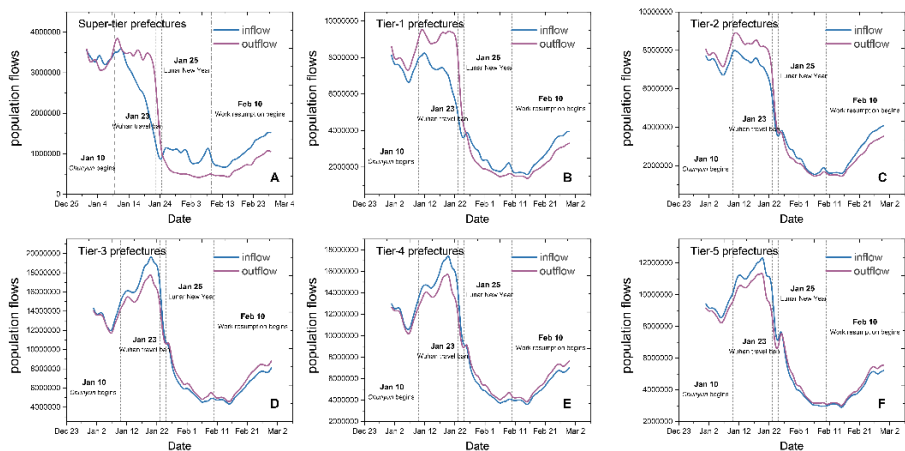


图 1. 2020 年 1 月 1 日至 2 月 29 日，全国不同地区人口流入、流出趋势，按城市等级划分：(A) 超一线城市，(B) 一线城市，(C) 二线城市，(D) 三线城市，(E) 四线城市，(F) 五线城市。

研究证明，全国范围内的出行管控措施在大幅减少人口流动方面非常有效。人口流动从 1 月 23 日武汉封城后开始急剧下降，随后，全国各地区陆续启动公共卫生事件一级响应，实施出行管控措施。与武汉封城前一周的全国人口流动量相比，农历新年假期后一周的全国人口流动减少超过 70%。人口流动持续减少约三周，在 2 月中旬降到最低水平，约为 1 月 22 日的四分之一。1 月 24 日至 2 月 29 日期间，日均跨城市人口流动量不到 1 月 22 日的二分之一。值得注意的是，一、二线城市的人口流出下降速度高于三、四、五线城市，其中北上广深的下降速度达到了 87.6%，远高于其他城市。相比之下，四、五线城市流入北上广深的人流量则几乎没有变化。

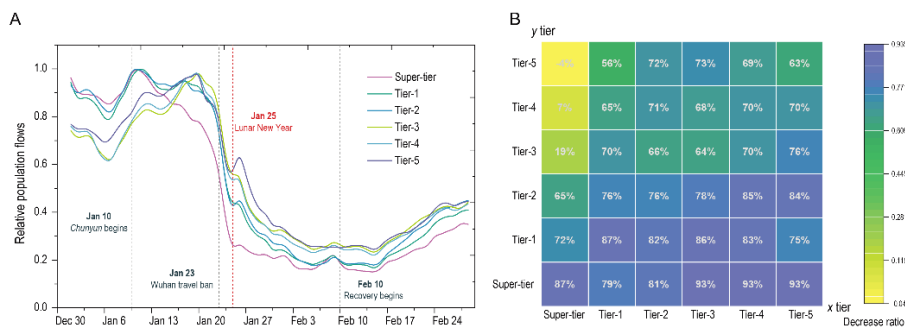


图 2. (A) 全国人口流动（流入量+流出量）60 天变化趋势。(B) 春节假期后的一周对比武汉封城前一周的人口流动下降速度。每个单元格 (x, y) 表示从 y 线城市流出到 x 线城市的人流量衰减率。

春运返岗潮被拉长，溢出春运期。为避免人员聚集，有关部门通过错峰复工、延迟开学等一系列措施控制人口流动。2020 年疫情期间春运返程人口流动规模远小于往年春运的返

程规模，未出现明显的节后返程高峰。到春运结束时（2月18日），仍有超过7200万人受疫情影响未能返程。虽然返程周期被拉长，但返程趋势与往年类似，无论往长三角、珠三角聚集，还是往中西部回流，人口总是在向京津冀、长三角、珠三角、成渝等城市群中的高等级城市靠拢。其中，约1700万人以北上广深为返程目的地，占比超过20%，表明超大城市仍是我国就业的主阵地。

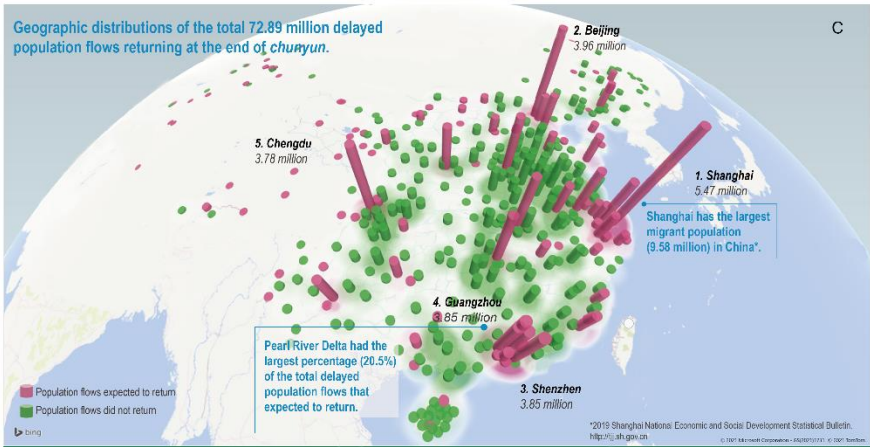


图 3.受疫情影响，本该在春运结束时返程的全国人口地理位置分布。

【数学模型揭示人口流动的反流现象】

定义每天的人口流动矩阵 A^k ， a_{ij} 和 a_{ji} 分别表示城市 i 与城市 j 之间的每天流出和流入的人口流量。定义单向净流动矩阵 E^k ，其中 $e_{ij} = a_{ij} - a_{ji}$ ， $e_{ji} = a_{ji} - a_{ij}$ 。通过人口流动矩阵 A^k 可以计算得到单向净流动矩阵 E^k 。对第 k 天和第 l 天的单向净流动矩阵做异或运算，得到 $S_{ij}^{kl} = \text{xor}(E_i^k, E_j^l)$ 。如果 $e_{ij} \in E_i^k$ 和 $e_{ji} \in E_j^l$ 符号相同，则 $S_{ij}^{kl} = 0$ 。否则， $S_{ij}^{kl} = 1$ ，表明在第 k 天和第 l 天，城市 i 与城市 j 之间的人口净流动的方向发生改变。实验结果表明，相比于春运期间，返岗复工期间超过 55% 的城市间人口流动方向发生了改变。

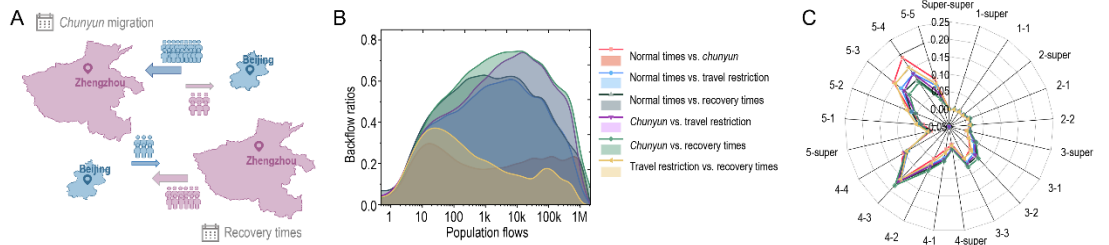


图 4. (A) 城市间人口流动的反流现象示意图。(B) 人口流动发生反流现象的比例随总人口流量的变化趋势。(C) 不同等级城市之间发生反流现象的比例。

【人口流动大数据揭示我国城市群格局】

尽管全国范围内的人口流动波动很大，人口流动网络保持了相对稳定的社团结构，全国城市群格局并未发生大规模分离。人口流动规律背后体现了城市群形成的地理位置毗邻、区域经济往来以及资源优势互补等原因。这些因素不会因为突发性公共卫生事件而消失。基于人口流动大数据，研究发现，社区分布随人口流动而呈现出区域集聚的城市群耦合特征，大部分城市社区以一线、二线城市或省会城市为核心，具有强烈的区域集聚效应，形成了以核心城市为中心点向周边辐射的分布格局。如东北、成渝、京津冀、长三角、大湾区等。

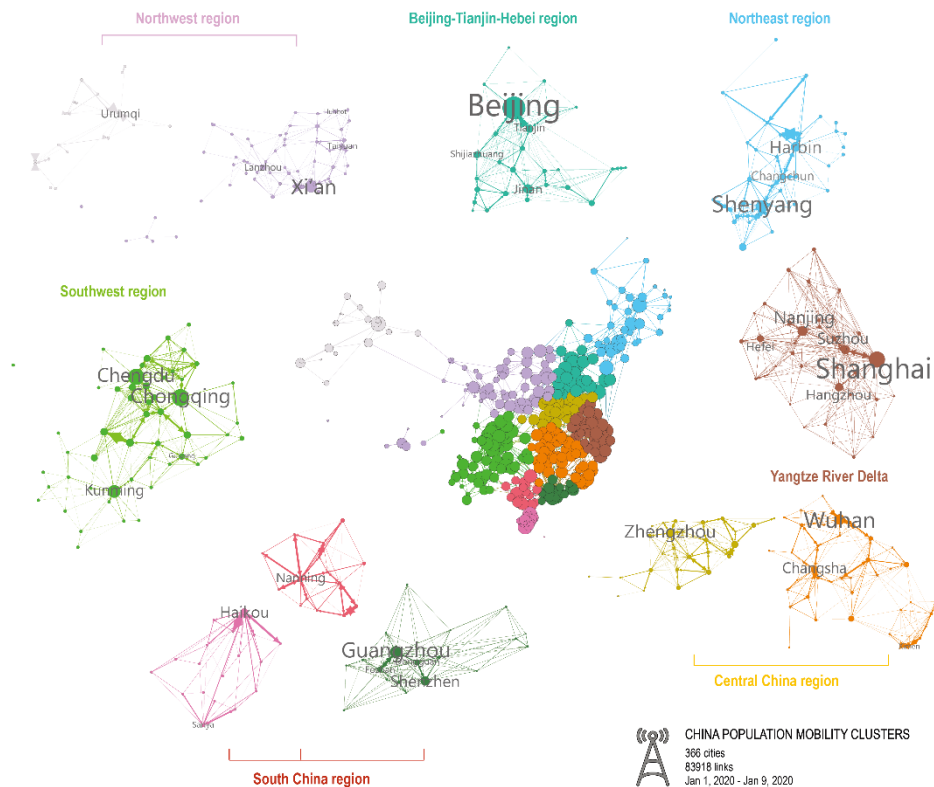


图 5 基于人口流动大数据的全国城市群格局，链路权重表示城市间的互动强度。

【人口流动研究的意义和应用】

人口流动是由社会经济、资源环境、政策制度等综合影响产生的一类复杂社会现象。挖掘人口流动的时空规律和模式特征,对于国家和地区人力资源优化配置、社会经济均衡发展、交通系统优化等均具有重要意义。论文研究结果以精细的分辨率提供了中国在各种情况下,人口流动性的最全面的描述,对未来公共卫生应急响应、交通规划和区域经济发展等方面提供了一种新的分析范式。在新冠肺炎疫情全球大流行的背景下,研究验证了疫情暴发早期,在短时间内无法完成医学突破的情况下,我国采取出行管控措施控制人口流动是最有效的非药物干预手段,对疫情防控起到至关重要的作用。目前,我国处于常态化疫情防控阶段,防控的难点在于提高防控对策的精准性。基于实时、准确的人口流动信息,可以及时评估和调整现有的疫情防控政策。为疫情防控的精准分析、精准施策等工作提供决策支持,减少对百姓生活和社会经济的影响。

注：新冠肺炎疫情暴发以来，吕欣教授团队积极响应国家号召，投身新冠肺炎疫情的战“疫”中。在流行病学基础特征分析、传播建模与预测、防控策略优化、防疫效果评估等方面建立了系统、完整的技术框架，多个学术成果在理论和应用上走在领域前沿。团队承担国家“新型冠状病毒溯源、致病及防治的基础研究”专项项目、某省应急专项“基于人群动态定位大数据平台、多种时空网络、动力学模型对新型冠状病毒肺炎传播及流行趋势的评估与预测”，向中央和地方相关部门提供决策建议和数据分析报告 20 余份，研究成果发表在 *Nature*、*National Science Review*、*Nature Communications*、*New Journal of Physics*、《物理学报》、《中国循证医学杂志》、《中华流行病学杂志》等国内外高水平期刊上，多次得到外交部、国防部、人民日报、新华社、解放军报、科技日报、纽约时报、*Science Daily* 等的广泛报道，产生了重要的学术和社会影响。