



全球国际移民网络模型构建与结构特征分析

邓传滨^{1,2}, 游 珍^{1,2**}, 封志明^{1,2}, 游世情^{1,2}

(1. 中国科学院 地理科学与资源研究所, 北京 100101; 2. 中国科学院大学 资源与环境学院, 北京 100049)

摘要:全球国际移民网络识别和结构特征分析是全球双边移民走廊的深层次研究. 移民网络既是人地关系地域系统演化的重要驱动因子, 也是双边移民走廊的重要表现形式. 以国别为基本研究单元, 基于2020—2024年国际移民存量数据估算了全球移民流量数据, 通过社区探测算法提取了全球移民网络空间范围, 基于主成分迭代分解算法构建了全球国际移民网络模型并探究了移民网络的结构特征. 研究表明: ①全球195个国家间共产生4 001.80万国际移民流量, 形成7 018条有效移民走廊; 超大流量和大流量走廊承载了70.08%的移民流量, 呈现显著的“核心—边缘”空间异质性. ②识别出7个具有显著内聚性的移民社区(模块度0.5037), 根据空间分布特征归纳为洲内国家组复合型、跨洲跳跃组复合型、跨洲邻近组复合型3种模式, 社区内移民流动(2 630.62万人)显著高于社区间流动(1 371.18万人). ③全球移民网络呈现清晰的层级化中心体系, 不同规模社区表现出差异化的网络模式: 大型社区采用多中心辐射状结构, 中型社区呈现双中心分布式结构, 小型社区表现为单核心星型结构. 研究揭示的移民网络模块化结构和层级化中心体系, 可以为构建多层次移民治理体系和提升移民网络韧性提供科学依据.

关键词:国际移民; 移民网络; 社区探测; PCA; 空间格局

中图分类号:K901; C922 **文献标志码:**A **文章编号:**0258-7971(2026)03-0508-14

当前, 极端气候变化、粮食安全问题以及日益严峻的地缘政治形势等因素正深刻影响全球移民活动^[1-2]. 截止2024年, 全球约有3.04亿国际移民^[3]. 随着移民数量逐年增多, 非法移民、气候难民、跨国犯罪、社会认同与文化冲突等移民问题已引起全球广泛关注^[4-5]. 准确估算不同国家之间的移民走廊流量, 厘清全球主要移民输出国和接收国的流动特征, 有助于精准定位移民流动的热点区域、方向和体量, 采取有针对性的措施应对移民问题^[6]. 通过深入研究移民网络, 识别移民流动的关键节点和集中区域的空间分布, 有助于为政策制定者提供科学依据, 进而推动区域或国家间的协同合作, 支撑有效的移民管理政策体系构建^[6]. 因此, 为促进有序、安全和负责任的移民和人员流动, 助力实现联合国2030年可持续发展目标(SDGs), 研究全球国际移民网络显得尤为迫切.

国际移民数据是研究国际移民网络的基础. 然

而当前仅有特定时间点的移民存量数据, 缺乏反映特定时间段移民流入流出状况的移民流量数据. 国际移民流量数据是指在特定时间间隔内(过去1年或5年)外国或外国出生人口的动态数据^[7]. 移民流量数据考虑了时间, 相比于移民存量数据仅考虑固定时间点的外国或外国出生人口, 更适合研究国际移民的全球化^[8]. 受不同国家发展水平差异的制约, 国际移民数据的整体覆盖面较窄, 加之许多国家缺乏可靠的移民流动监测与统计机制, 导致国际移民流量数据获取困难^[9]. 当前, 国际移民流量数据估算主要有2种方式: 基于联合国人口司发布的国际移民存量数据利用数学统计方法估算移民流量数据^[10-11], 依托社交媒体数据估算国际移民数量^[12]. 基于社交数据的流量估算, 仅能反映使用特定社交软件人群的近期流动情况; 而依托国际移民存量数据进行的估算, 则能全面地呈现全球各国间的移民流动状况. 然而, 受限于数据源质量和获得性较差,

收稿日期:2025-09-25; 接受日期:2026-01-20; 网络出版日期:2026-03-17

基金项目:国家自然科学基金(42130508).

作者简介:邓传滨(1999-),男,四川泸州人,硕士生,主要研究人口流动. E-mail: dengchuanbin3054@igsnr.ac.cn.

**通信作者:游 珍(1980-),女,湖北武汉人,博士,副研究员,主要研究区域人口-资源-环境耦合机制. E-mail: youz@igsnr.ac.cn.

当前的移民流量数据仍停留在 2020 年前,移民流量数据缺乏时效性。因此,整合最新的移民存量数据与成熟的移民流量估算方法所获取的移民流量数据,作为研究移民网络的基础数据,其科学性与可靠性将更为突出,这也为深入剖析移民网络的特征提供了坚实的数据支撑。

移民网络是在全球人地系统演化过程中,由各国双边移民走廊构成的集合^[13-14]。作为移民走廊的集合,移民网络的地理位置和内部结构特征近年来引起了广泛学者关注。从地理识别上看,已有研究表明全球移民走廊形成的移民网络并非随机分布,而是具有地理可识别性,内部迁移和国际移民网络都具有强烈的地理聚集特征^[15-17]。其次,从结构上看,早期关于移民网络结构的研究多基于内部等级,认为移民网络是单核结构,网络核心国家吸收大部分的迁移流,却不会向核心之外的国家进行反向输出^[14,18]。后来有学者认为移民网络更可能是“传递性三角形”结构(transitive triangles)^[14,19]。从研究方法上看,已有研究从社会网络分析^[20-21]、指数随机图模型^[14,19]、多层模型^[22]等方法。综合来看,多视角和多层次的移民网络研究正在成为认识全球各国间复杂空间关系的重要途径。然而,现有的研究视角较为单一,或选取某个特定区域,或聚焦网络核心,在分析中缺乏对全球不同网络的空间结构特征进行详细分析以及未充分发挥移民数据的解释性,研究覆盖面弱,内部层次结构划分不清晰。因此,通过对移民走廊分区,识别不同区域内部的移民网络空间结构,有助于厘清全球主要移民接收国和输出国的流动特征。

鉴于此,本文立足现有研究缺口,依托联合国 2020—2024 年最新国际移民存量数据,采用人口核算方法估算同期全球国际移民流量数据,填补了 2020 年后全球移民动态流量数据的空白,显著提升了研究数据的时效性与科学性。同时,创新性融合社区探测算法与主成分迭代分解算法,先精准识别全球主要移民区域及空间范围,再深度拆解各区域移民网络的层级结构与关联特征,突破了传统研究结构划分模糊、分析维度单一的局限。本研究通过量化统计与空间解析相结合的方式揭示全球移民流动本质特征,不仅为移民走廊流量估算和全球移民网络界定提供更精准的技术支撑,也为政策制定者应对移民问题、推动国家及区域协同合作提供科学依据,助力联合国 2030 年可持续发展目

标的实现。

1 研究数据与方法

1.1 研究数据与预处理 本文以全球 195 个主权国家为空间范围,其中包括 193 个联合国会员国和 2 个联合国观察员国(梵蒂冈、巴勒斯坦),因部分地区存在争议,故未包含非主权地区。移民流量关注的时间为 2020—2024 年,全球行政区划矢量数据源于中国科学院地理科学与资源研究所的资源环境科学数据平台,国际移民存量数据来自联合国经济和社会事务部人口司发布的 2024 年全球国际移民存量数据,包含各个国家 2020—2024 年人口总数、出生率、死亡率、净移民量数据。

由于每个国家涵盖的范围不同,为探究全球国际移民网络的空间结构,选择将每个国家行政中心的经纬度作为网络中节点的位置。基于国际移民存量数据,剔除国家内部的移民样本后,构建了 195×195 的 OD 矩阵和 18 915 条移民走廊。为统一研究时段,本研究将人口统计数据中 2020—2024 年各年份各国的出生率与死亡率分别乘以该时段末期的人口总数,再分别累加,将结果作为 2020—2024 年各国的出生人数与死亡人数;同时,对 2020—2024 年各年份的净移民数累加获得累计值。基于上述数据展开后续分析。

1.2 研究方法

1.2.1 分析框架 移民网络(migration network)是指在国际或国内迁移过程中,由先行移民及其在原居地与目的地的社会关系构成的网络体系^[23]。这种网络通过亲属、朋友、同乡等人际联系,为潜在移民提供迁移所需的信息、经济援助、住宿、就业机会和情感支持,从而降低迁移成本与风险,增加迁移的可行性与吸引力。国际移民网络结构是以移民走廊为基础构成的,通过网络分析,可以直观展示全球或区域的主要迁移通道和中心国家^[24-25]。基于上述理论基础,本研究由 3 部分组成,分别是移民流量估算、国际移民分区、移民网络空间结构(图 1)。

为弥补当前移民流量数据缺乏的问题,移民流量估算研究基于 2020—2024 年国际移民存量数据构建 OD 矩阵,矩阵单元值为各个国家有向移民走廊的流量,结合 2020—2024 年的出生人数、死亡人数以及迁移人数,利用封闭式和开放式的人口统计方法,运用 R 语言中的 migest 包处理数据后,得到 3 套国际移民流量数据集,然后基于人口统计中的

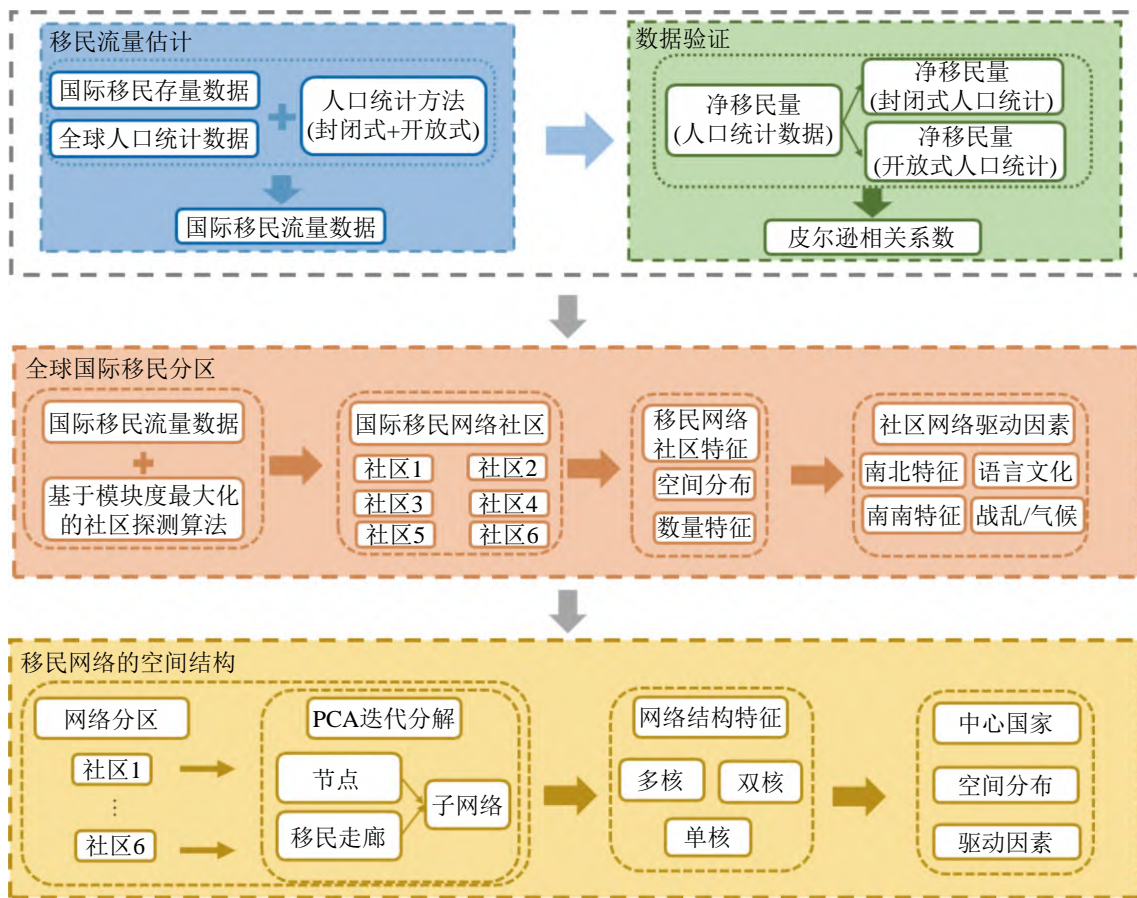


图 1 研究路线

Fig. 1 Research roadmap

净移民人数与 3 套数据集中的净移民数进行皮尔逊相关性分析, 根据皮尔逊相关性大小确定最终的 2020—2024 年国际移民流量数据集。

为探究国际移民热点区域, 国际移民分区研究将估算得到的 2020—2024 年国际移民流量数据集作为输入数据, 使用基于模块度最大化的社区探测方法对全球 195 个国家的国际移民流动状况划分社区, 然后分析不同社区的空间分布和数量特征, 并探究其驱动因素。

为进一步探究国际移民网络的核心节点和空间结构, 移民网络结构研究以各社区内部的移民流量数据为基础构建对应的 OD 矩阵, 该矩阵的单元值代表社区内部各国间无向移民走廊的流量规模。在此基础上, 采用主成分迭代分解法对网络进行子网络结构划分, 进而系统探究各社区内部的核心节点识别、子网络构成及空间结构特征。

1.2.2 研究方法与技术流程

(1) 基于人口核算方法估算移民流量数据

为解决全球国际移民流量数据缺失的问题, 本

研究使用 Abel 提出的 3 种基于国际移民存量数据推算国际移民流量的人口核算方法, 包括开放式最小化人口核算方法、封闭式最小化人口核算方法和封闭式伪贝叶斯法。该方法以联合国发布的移民存量数据为基础, 结合各国人口总量、出生率、死亡率、净移民率等指标, 估算得出国际移民流量数据^[26]。封闭式和开放式方法是根据人口是否流入或流出系统外的国家或地区划分^[10], 其核心公式如下:

$$\log m_{ijk} = \begin{cases} \log \alpha_{ik} + \log \beta_{jk} + \log \gamma_{ijk}, & i \neq j \\ \min \{ \log m_{i+k}, \log m_{+jk} \}, & i = j \end{cases}$$

$$m_{i+k} = \sum_j m_{ijk} m_{+jk} = \sum_i m_{ijk},$$

$$y_{ij} = \begin{cases} m_{ij}, & i \neq j \\ 0, & i = j \end{cases} \quad (1)$$

其中: y_{ij} 表示从起始地 i 到目的地 j 的迁移流量; m_{ijk} 表示出生地为 k 、从原籍地 i 迁至目的地 j 的移民流量; α_{ik} 、 β_{jk} 、 γ_{ijk} 分别代表与出生地和目的地

相关的迁移倾向系数,通过迭代比例拟合程序,在给定行列总和及对角线元素的条件下得出^[10,27].

封闭式伪贝叶斯法是在封闭式最小化人口核算方法的基础上,借鉴了贝叶斯推断的形式结构,将先验迁移倾向与观测到的边际数据相结合,构建了一个对数线性空间交互模型(log-linear spatial interaction model)来估算双边迁移流量^[28].其公式如下所示:

$$\begin{aligned} \log z_{ijk} &= \log \alpha_{ik} + \log \beta_{jk}, \\ m_{ij+} &= \sum_k m_{ijk} z_{ij+} = \sum_k z_{ijk}, \\ y_{ij} &= \begin{cases} m_{ij+} w + z_{ij+} (1-w), & i \neq j \\ 0, & i = j \end{cases} \end{aligned} \quad (2)$$

其中: y_{ij} 表示从起始地 i 到目的地 j 的迁移流量; m_{ijk} 表示出生地为 k 、从原籍地 i 迁至目的地 j 的移民流量; α_{ik} 、 β_{jk} 、 γ_{ijk} 分别代表与出生地和目的地相关的迁移倾向系数,通过迭代比例拟合程序,在给定行列总和及对角线元素的条件下得出^[10,27]. Azose 和 Raftery(2018)利用伪贝叶斯方法估计 $w = 0.87$ ^[28].

为确保估算数据的有效性,本研究首先对上述 3 种人口核算方法分别开展估算;随后采用皮尔逊相关系数,将估算数据与人口统计数据中的各国净移民量进行相关性分析.需说明的是,人口统计数据中的净移民量以年度为统计周期,因此需先汇总 2020—2024 年各国的累计净移民量,再与估算数据进行相关性检验.估算数据中净移民量的计算方法及皮尔逊相关系数的具体计算方法如下:

$$\begin{aligned} \eta &= \sum_i y_{ij} - \sum_j y_{ij}, \\ R &= \frac{\sum_{i=1}^n (\eta_i - \bar{\eta})(\sigma_i - \bar{\sigma})}{\sqrt{\sum_{i=1}^n (\eta_i - \bar{\eta})^2} \cdot \sqrt{\sum_{i=1}^n (\sigma_i - \bar{\sigma})^2}}, \end{aligned} \quad (3)$$

其中: η 表示估算数据中 2020—2024 年每个国家的净移民量; y_{ij} 表示从起始地 i 到目的地 j 的迁移流量; R 为皮尔逊相关系数,取值范围为 $[-1,1]$. $R > 0$ 时, R 越大说明正相关性越强, $R < 0$ 时, R 越小说明负相关性越强; σ 表示人口统计数据中 2020—2024 年每个国家的净移民量.

(2) 基于社区探测方法划分国际移民区域

为探究国际移民网络中内部紧密、外部联系稀疏的节点群体,将全球复杂的移民网络简化为“社区—社区”结构,更容易分析人口流动联系和移民网络的结构特征.为此,本文选用基于模块度最大化的社区探测算法处理国际走廊的流量数据,该方法通过迭代式地最大化模块度来划分社区,具有高效率、适用于大规模图等优势^[29-30].社区探测算法中的模块度(Modularity Q)是量社区划分质量的重要指标,一般认为模块度在 $0.3 \sim 0.7$ 之间,能够说明网络具有强大的社区结构,划分的结果具有说服力^[29].模块度通常用 Q 函数来表示,其公式如下:

$$\begin{aligned} Q &= \frac{1}{2m} \sum_{i,j} \left[w_{ij} - \frac{k_i k_j}{2m} \right] \delta(c_i, c_j), \\ k_i &= \sum_j w_{ij}, m = \frac{1}{2} \sum_i k_i, \end{aligned} \quad (4)$$

式中: Q 为模块度; w_{ij} 为国家节点 i 到 j 的权重; k_i 为节点 i 的度; c_i 和 c_j 分别表示国家节点 i 到 j 所处的网络; δ 是求同函数,如果 $c_i = c_j$, 那么 $\delta(c_i, c_j) = 1$, 否则 $\delta(c_i, c_j) = 0$.

(3) 基于 PCA 迭代分解探究移民网络结构

基于主成分(principal component analysis, PCA)迭代分解方法能通过网络递归筛选,分析不同社区网络的子网组成和空间结构^[31].本研究采用 You 等人的方法,将各社区内移民走廊的起点与终点分别作为变量和样本,代入网络矩阵后对数据开展逐层 PCA 分解^[32].分解过程中,剔除因子载荷小于 0.5 的边缘国家,并重复上述迭代操作.当出现 2 个及以上无法进一步分解的有效主成分,且无新的国家变量可剔除时,迭代过程终止.最终依据各主成分的有效因子载荷,确定子网络的国家组成.

$$\begin{cases} Z_1 = c_{11}X_1 + c_{12}X_2 + \cdots + c_{1n}X_n, \\ Z_2 = c_{21}X_1 + c_{22}X_2 + \cdots + c_{2n}X_n \\ \cdots \cdots \\ Z_m = c_{m1}X_1 + c_{m2}X_2 + \cdots + c_{mn}X_n, \end{cases} \quad (5)$$

式中: Z_i 表示第 i 个主成分; X_i 表示第 i 个变量; c_{ij} 为主成分中各变量的因子载荷,每个主成分满足 $c_{i1}^2 + c_{i2}^2 + \cdots + c_{in}^2 = 1$.

为探究子网络的结构特征,本研究根据移民网络各个国家的主成分综合得分[如公式(6)所示]开展分析.综合得分越高,表明对应国家对移民子网络的影响越强^[32],基于此将移民网络内部的国家分为 3 类.第 1 类是 1 级中心国家(综合得分 $IS \geq 1.5$),此类国家经济发展水平高、人均收入可观且

就业机会充足,在全球移民网络中占据核心节点地位——既可能是国际移民的主要接收国,也可能承担重要的移民中转功能.第2类是2级中心国家(综合得分 $0.5 \leq IS < 1.5$),此类国家多处于关键地理位置(区域中心或交通枢纽),在所属移民区域内发挥桥梁连接作用,往往同时具备移民来源国与目的地的双重属性.第3类为外围国家(综合得分 $IS < 0.5$),此类国家经济发展水平相对滞后,面临灾害频发、就业机会短缺、教育资源不足等现实挑战;其在全球移民网络中的连接度较低,主要参与双边或小范围移民流动,且多以单一角色(仅为移民来源国或目的地)融入移民网络.

$$IS_i = \gamma_1 y_1 + \gamma_2 y_2 + \dots + \gamma_p y_p, \quad (6)$$

式中: IS_i 表示国家 i 的综合得分; γ_j 和 y_j 分别为主成分 j 的方差解释量和成分得分.

2 结果与分析

2.1 全球国际移民流量 使用人口核算方法估算 2020—2024 年国际移民存量数据,得到 3 类不同的国际移民流量数据集,依据全球人口统计数据中的净移民量对估算数据集的净移民量进行皮尔逊相关系数分析(图 2).结果表明,开放式最小化人口核算方法的估算数据与人口统计数据的皮尔逊相关系数最大($R=0.81$).故将该数据集作为 2020—

2024 年国际移民流量数据集,用于后续探究国际移民分区及空间结构.

基于开放式最小化人口统计的移民流量数据构建 195×195 的 OD 矩阵,为减少图像的复杂度和噪音,本研究对流量数据进行归一化,保留 OD 矩阵中流量占比大于 1% 的数据,然后基于分位数将流量值分成 5 个等级,得到全球国际移民流量图[图 3(a)].根据 2020—2024 年的流量估算结果可知,全球 195 个国家之间发生国际移民流动达约有 4 001.80 万人,有效移民走廊有 7 018 条.总体上,全球移民走廊呈现显著的不均衡分布.超大流量和大流量走廊占据了总流量的 70.08%,而大多数走廊的流量处于较低水平,显示出典型的“核心—边缘”结构.2020—2024 年,全球国际移民流量最大的区域集中于欧洲东部,其中俄罗斯与乌克兰、德国与乌克兰之间的 2 条移民走廊规模达 256.69 万人.这 2 条走廊的形成,既体现了地理邻近性的影响,也反映了战争对国际移民的驱动作用.与少数高度集中的核心走廊不同,中等流量走廊呈现出更为广泛的空间分布,覆盖除南极洲以外的所有大洲.这类走廊不仅存在于发达国家与发展中国家之间,也普遍出现在区域内部与南南迁移联系中.低流量走廊数量庞大,占据有效移民走廊数量的 96.37%,但移民流量仅占总流量的 22.13%.这部分走廊更多体现为小规模家庭团聚、教育迁移或历史遗留的

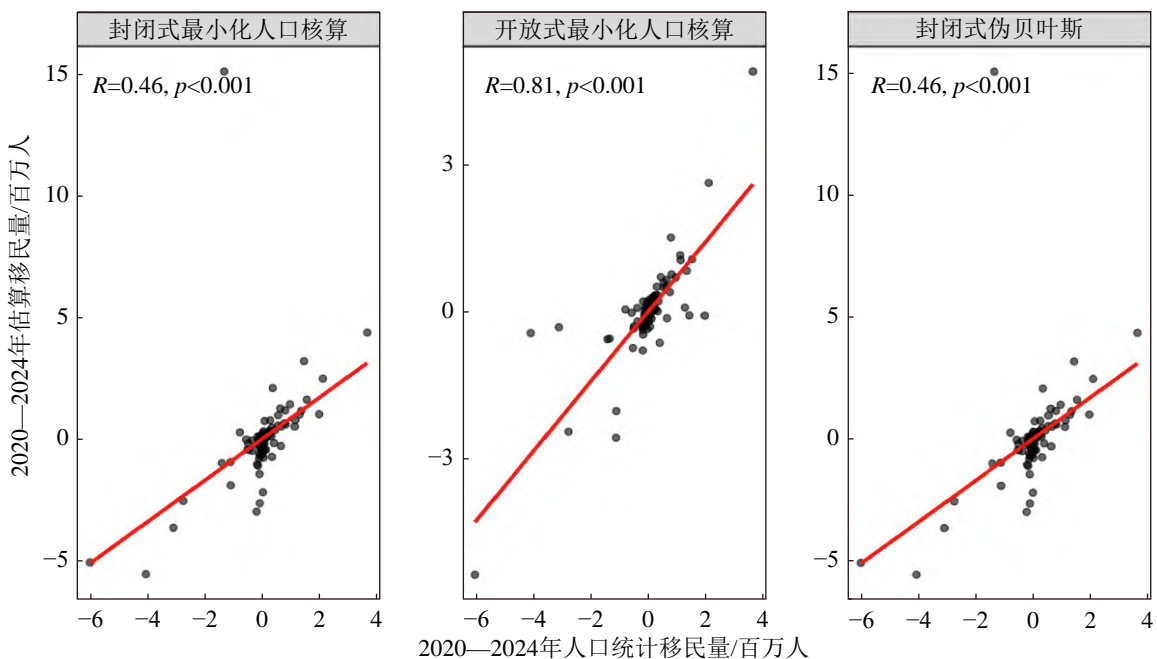
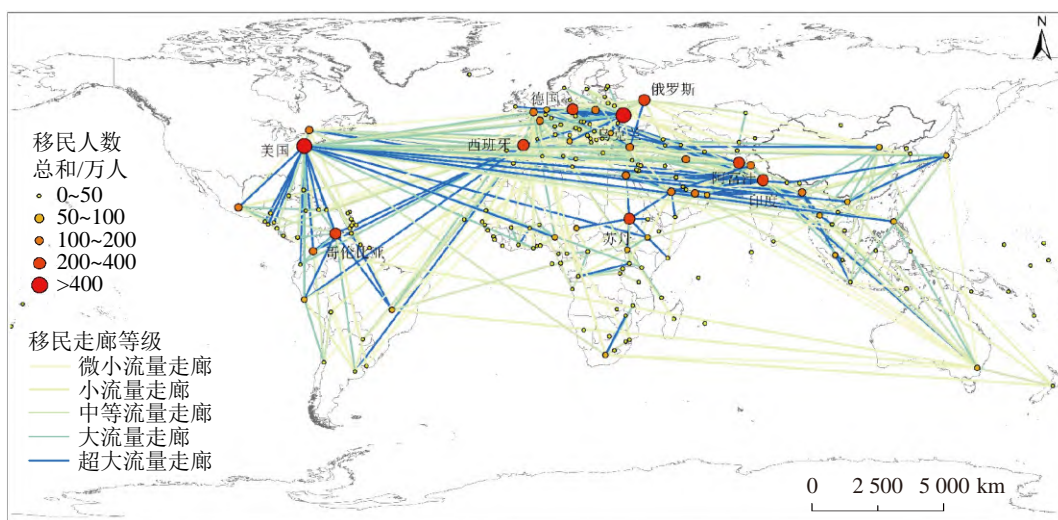
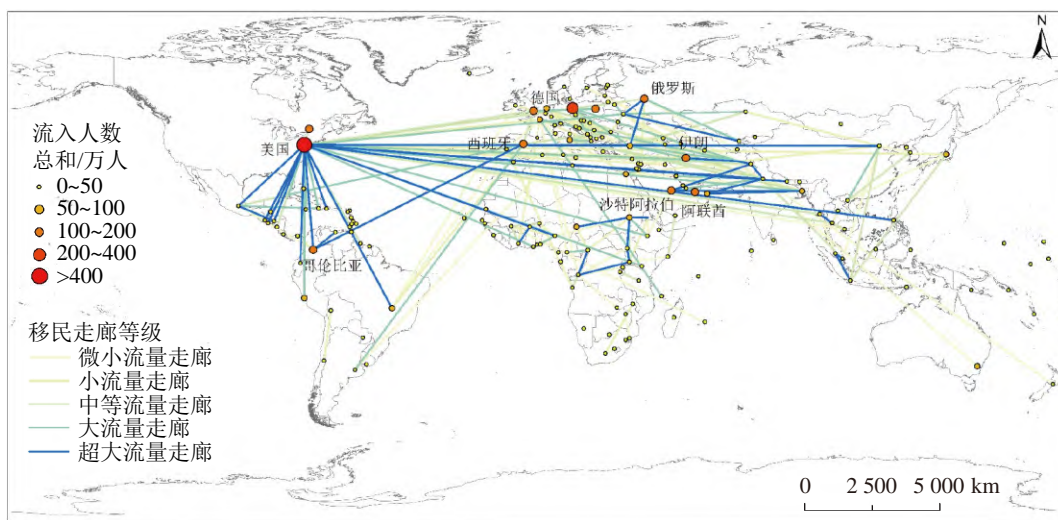


图 2 国际移民流量估算数据与人口统计数据相关性分析

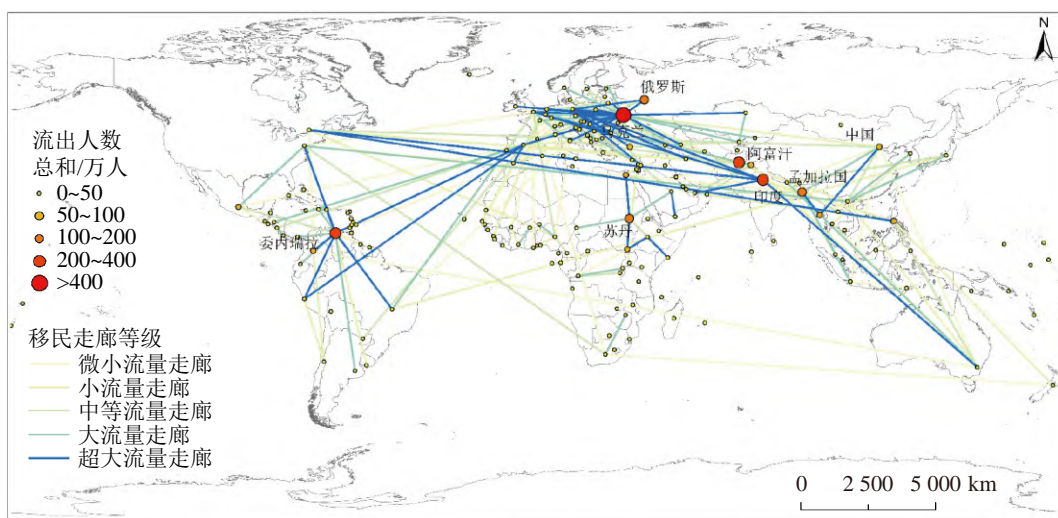
Fig. 2 Correlation analysis between estimated international migration flow data and demographic



(a) 移民流量



(b) 流入人数



(c) 流出人数

图 3 2020—2024 年全球 195 个国家国际移民流量图 (a), 国际移民流入人数图 (b), 国际移民流出人数图 (c)
Fig. 3 International migration flows among 195 countries worldwide (a), international immigration inflows (b), international emigration outflows (c) from 2020–2024.

链式迁移,反映出国际迁移网络的广泛性和复杂性。

全球移民输入与输出的空间格局呈现高度不均衡性,少数国家承担了大部分的移民输入或输出,而大多数国家的流量则相对有限。根据 2020—2024 年的流量估算结果,美国和德国 2 个发达国家依托其强劲的经济和社会吸引力在这期间吸纳了全球 811.98 万人,展现出其强大的吸纳能力 [图 3(b)]。同时,海湾国家(如阿联酋、沙特阿拉伯)也形成了庞大的劳工输入市场,吸纳了全球 456.81 万人,反映出能源经济与劳动力需求对迁移流动的驱动作用。在 2020—2024 年移民输出方面,乌克兰、委内瑞拉、阿富汗等国受战争与危机驱动,为主要的全球劳动力和难民输出国,输出人数达 1 022.85 万人。相比之下,印度、墨西哥等国则面临强大的人口压力且经济发展不均衡,在这 4 年间出现大规模的劳动力外流,外流人数达 324.81 万人 [图 3(c)]。

2.2 全球国际移民分区 为探究全球国际移民集聚区域的空间分布特征与数量特征,本研究采用基于模块度最大化的社区探测方法,对 2020—2024 年国际移民网络进行分区处理,最终划分出 7 个移民社区。结合各社区的地理位置与核心特征,对其命名如下:南部非洲发展共同体社区、太平洋岛屿社区、中北非难民流动社区、环太平洋发达经济体社区、海湾—南亚经济走廊社区、欧亚大陆桥社区、地中海—西非历史文化社区(图 4)。该社区探测结果的模块度值为 0.503 7,处于 0.3 ~ 0.7 的合理区间内,这表明划分得到的国家群体内部联系紧密,进

一步印证了全球国际移民网络具有显著的集聚属性。结果表明,各社区在国家数量、移民流量和空间分布上呈现明显差异。各个社区规模从 8 到 53 个国家不等,2020—2024 年移民流量在 37.36 ~ 999.34 万人之间,其中欧亚大陆桥社区规模最大且移民流量最多,而南部非洲发展共同体社区规模最小(表 1)。按照不同社区的空间分布特征,将社区划分为跨洲邻近组合型、跨洲跳跃组合型以及洲内国家组合型 3 大类。

洲内国家组合型包括南部非洲发展共同体社区、太平洋岛屿社区和中北非难民流动社区。其中,南部非洲发展共同体社区和中北非难民流动社区均集中在非洲,前者主要位于非洲南部,说明该地区存在较强的内部迁移循环;后者以非洲中部和北部为主,表现为区域内部的高频往来,受经济发展差异与局部冲突推动,是全球难民的主要来源地^[3]。太平洋岛屿社区则以东南亚为核心,包括中南半岛与马来群岛,典型走廊如菲律宾—马来西亚、泰国—柬埔寨,反映出区域内国家间紧密的劳动力流动关系。这类社区迁移范围局限于单一洲域,呈现出典型的“区域内部循环”特征。

跨洲跳跃组合型包括环太平洋发达经济体社区和海湾—南亚经济走廊社区。环太平洋发达经济体社区表现为东亚与美洲之间的跨太平洋联系,如中国—美国、日本—美国的移民通道,显示了远距离迁移在全球移民网络中的重要地位。这类社区的特征是迁移跨越大洲,空间跨度大,但联系紧密,体现出全球化格

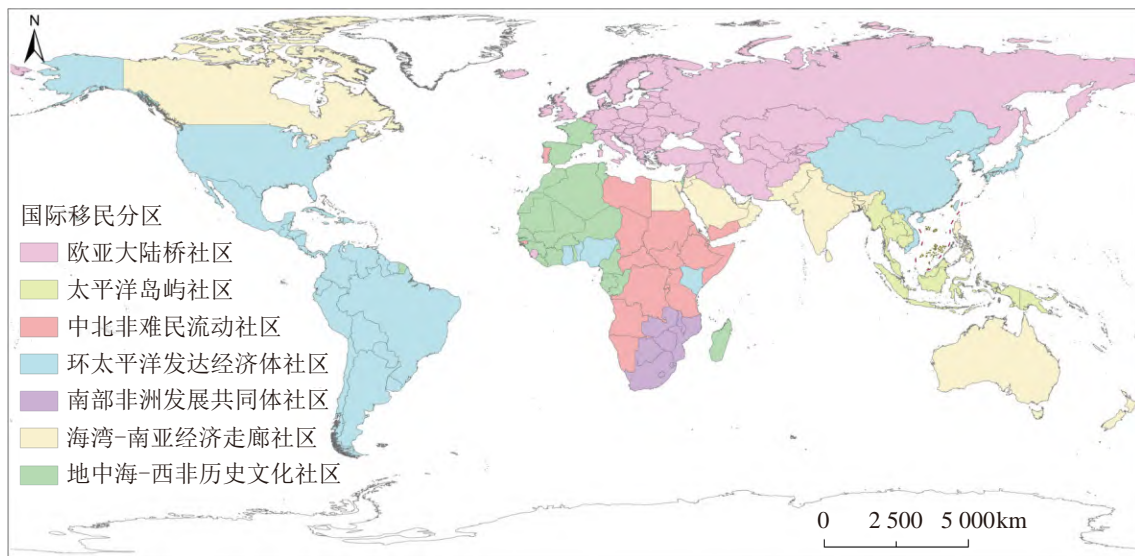


图 4 2020—2024 年全球国际移民流量的社区网络分布

Fig. 4 Community network distribution of global international migration flows from 2020 to 2024

表 1 全球国际移民分区及其国家数量和移民人数

Tab. 1 Global international migration communities: Number of countries and migrant populations

社区名称	国家数量/个	社区内部移民人数/万人
南部非洲发展共同体社区	8	37.36
太平洋岛屿社区	9	63.85
地中海—西非历史文化社区	24	132.60
中北非难民流动社区	23	279.55
海湾—南亚经济走廊社区	31	405.47
环太平洋发达经济体社区	45	710.33
欧亚大陆桥社区	55	999.34

局下的移民流动。海湾—南亚经济走廊社区的国家分布在北美、亚洲南部以及大洋洲。典型的移民走廊包括印度—美国、印度—澳大利亚。这类组合型反映了链式与长距离迁移特征，深受殖民历史、语言纽带以

及高技能劳动力市场需求驱动。

跨洲邻近组合型包括欧亚大陆桥社区和地中海—西非历史文化社区。欧亚大陆桥社区包括部分亚洲与欧洲国家，体现了欧亚大陆交界地区的紧密联系。这类组合型基于战争冲突、地缘相邻和经济差异而形成，典型的迁移走廊包括俄罗斯与乌克兰之间的战争、中亚与东欧之间的劳动力迁移。地中海—西非历史文化社区则表现为西非与南欧之间的跨地中海流动，摩洛哥—西班牙、突尼斯—法国等走廊构成了主要特征。这类迁移具有跨洲属性，但迁移距离相对较短，突出了区域邻近性与跨海交通通道的重要性。

本研究还对社区间及社区内迁移展开量化分析，图 5 呈现了 7 个社区内部与社区之间的迁移流量。数据显示，社区内移民人数显著高于社区间。社区内国际移民流量达 2 630.62 万人，为社区间迁移

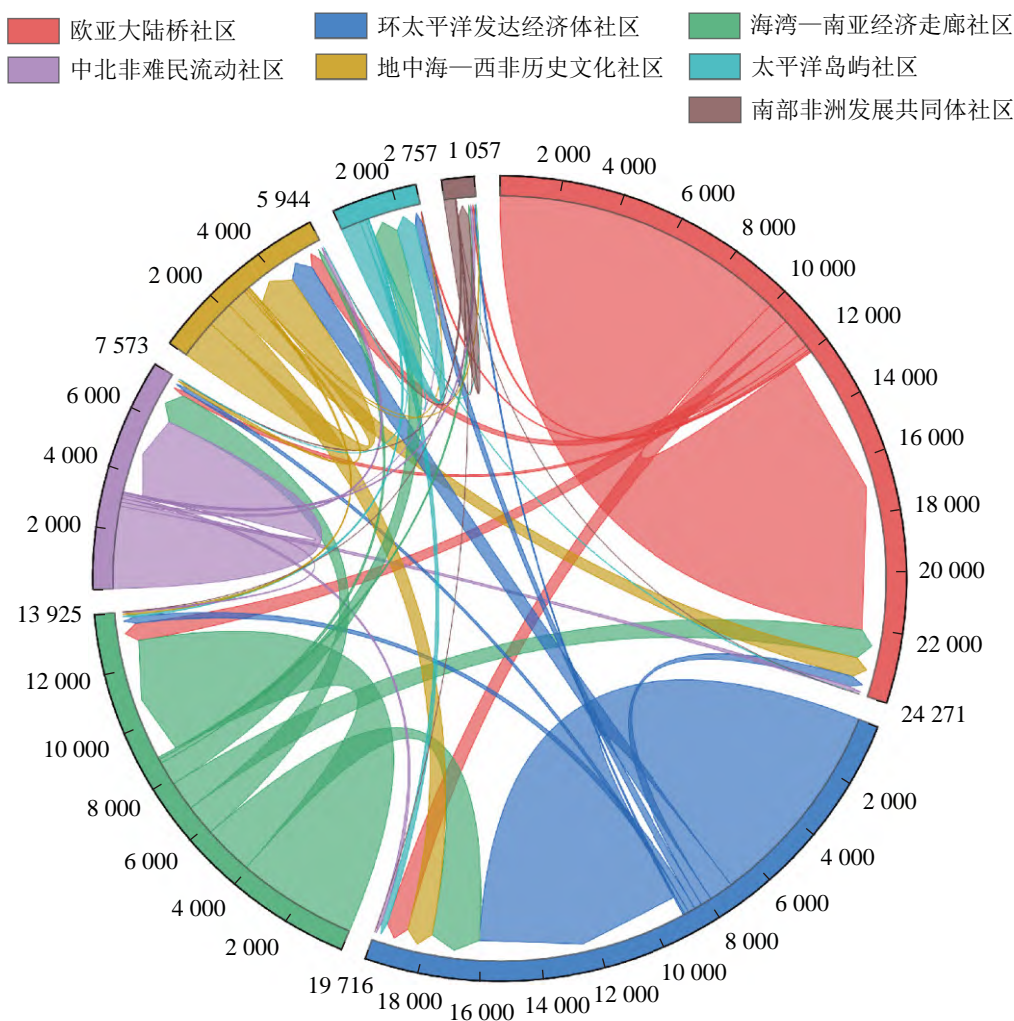


图 5 2020—2024 年按移民网络区域划分的国际移民数量

Fig. 5 Number of international migrants by migrant network region from 2020 to 2024

量的 1.98 倍, 凸显社区内移民流动的主导地位。其次, 从社区内流动来看, 欧亚大陆桥社区的国际移民流量约 999.34 万人, 是所有社区中国际移民人数最高的区域。最后, 在社区间流动中, 海湾—南亚经济走廊社区与环太平洋发达经济体社区的迁移量最大, 达 167.85 万人。其中, 海湾—南亚经济走廊社区展现出较强的国际移民流动性, 该社区内部南亚与东南亚各国不仅存在大量区内迁移, 还与以美国为核心的环太平洋发达经济体社区形成高频次迁移互动。

2.3 全球移民分区网络 基于全球国际移民分区的国际移民流量数据, 本研究运用主成分迭代分解算法对各社区的子网络及中心节点进行识别与分解, 结合各社区的主成分综合得分, 提取出各社区的 1、2 级中心国家(图 6)。网络拓扑分析显示(图 7), 各社区内部呈现清晰的层级化核心—边缘结构。基于主成分得分识别的核心国家(如美国、德国、俄罗斯)在网络中表现为红色大节点, 承担全球或区域枢纽功能; 多个重要国家形成支撑性骨架网络; 外围国家主要作为移民输出地。

不同规模社区展现出差异化网络模式。大型社区(环太平洋发达经济体社区、欧亚大陆桥社区、海湾—南亚经济走廊社区)呈现多中心辐射状结构; 中型社区(中北非难民流动社区、地中海—西非历史文化社区)表现为双中心分布式结构; 小型社区(南部非洲发展共同体社区和太平洋岛屿社区)表

现为典型的单核心星型结构。

环太平洋发达经济体社区以美国、日本和委内瑞拉为 1 级中心国家, 与其他 42 个国家相互连接形成。其中美国作为最主要的 1 级中心国家, 在所属移民网络及全球移民网络中均发挥核心作用。美国凭借强劲的经济吸引力与墨西哥、智利等美洲国家建立密集连接, 在 2020—2024 年间接收了约 517.94 万移民, 为全球移民净流入规模最大的国家。日本作为另一重要的 1 级中心国家, 全球在 2020—2024 流入日本约 52.31 万人, 与该社区内的 44 个国家均有连接, 在东亚地区发挥关键的区域枢纽作用。同时, 委内瑞拉亦为 1 级中心国家, 受国内持续经济危机影响, 2020—2024 年间累计移出约 256.86 万人, 其在南美地区承担关键移民集散功能, 与美国、日本共同构成多中心辐射型全球移民网络。

欧亚大陆桥社区内, 乌克兰、俄罗斯、德国等多个 1 级中心国家构成网络核心, 彼此之间通过多条移民走廊连接, 形成了密集的核心网络团。同时, 这些核心国家还向外辐射, 连接大量的 2 级中心国家和外围国家, 整个网络呈现出“核心—边缘”的典型小世界网络特征, 连接密度居各社区之首, 凸显国家间的冲突、欧洲一体化进程与历史文化纽带与对移民网络形成的关键作用。其中, 受俄乌冲突的影响, 乌克兰 2020—2024 年间累计流出约 563.81 万人, 是该社区主要的移民输出国; 与乌克兰相反, 德国则为该社区

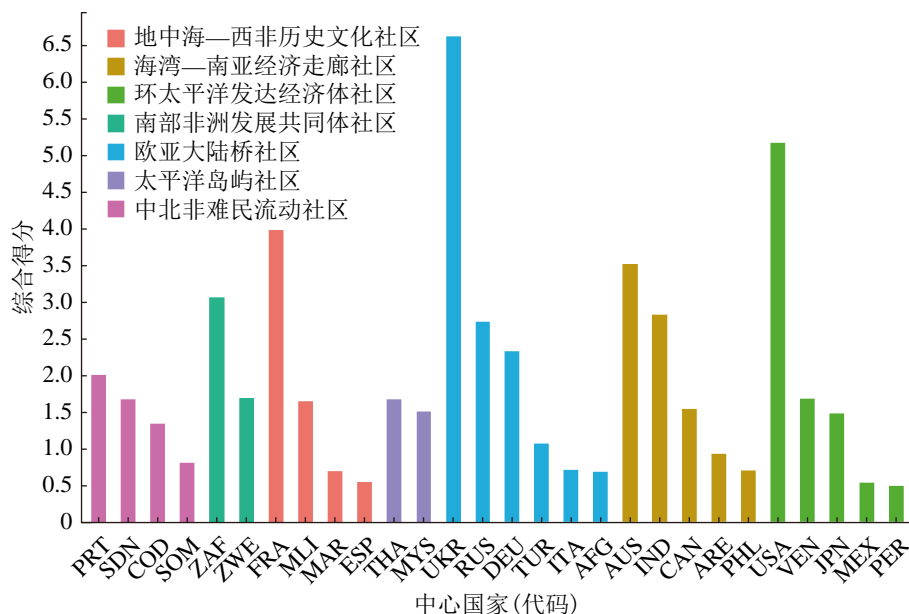


图 6 2020—2024 年各移民社区中心国家及其综合得分

Fig. 6 Central countries of each migration community and their comprehensive scores from 2020 to 2024

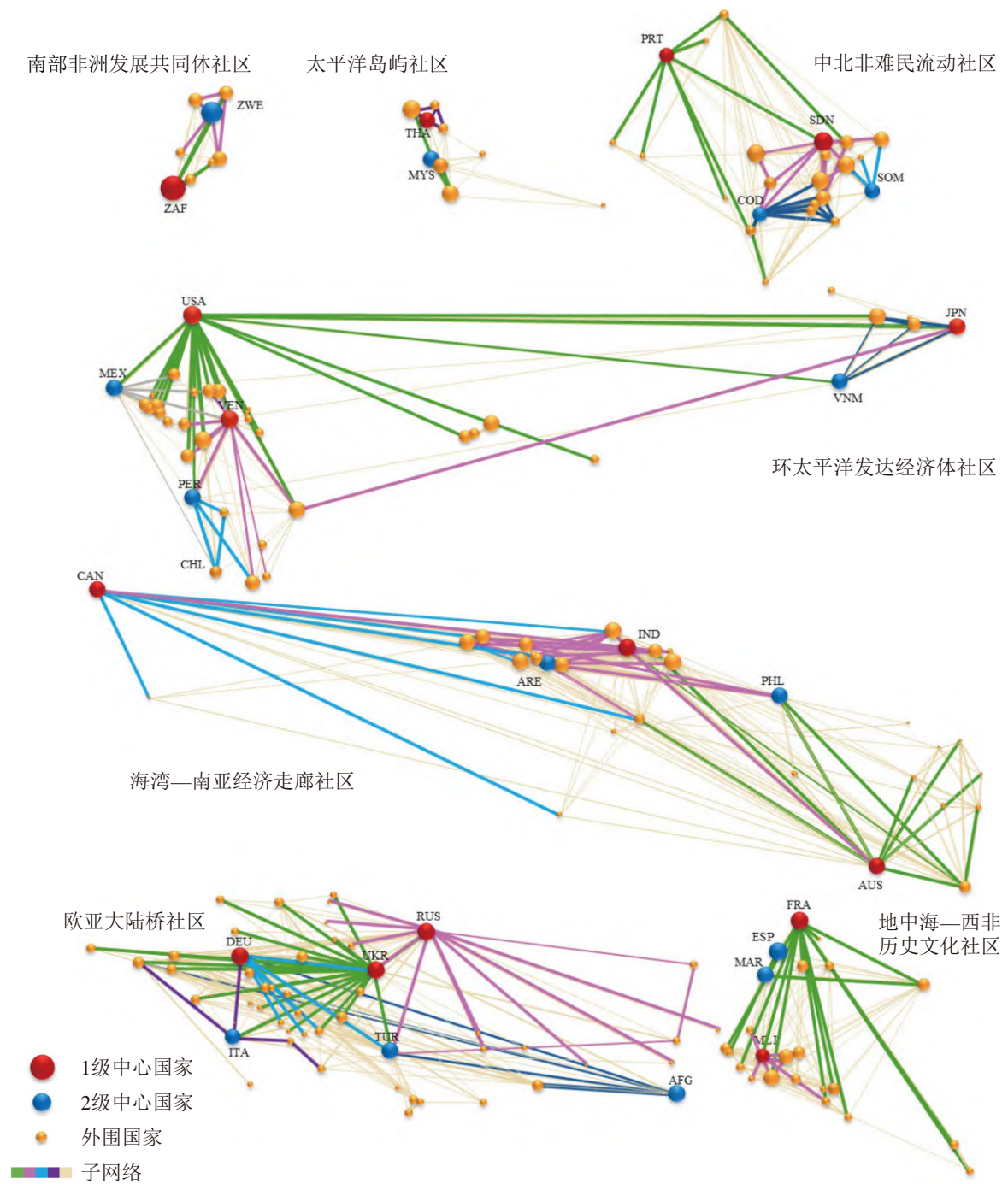


图 7 2020—2024 年国际移民网络分区结构图

Fig. 7 Community structure of the international migration network from 2020 to 2024

主要移民接收国,期间累计移入约 294.04 万人;俄罗斯同样受俄乌冲突影响,期间流出约 127.74 万人,流入约 120.76 万人,净流出约 7 万人。

海湾—南亚经济走廊社区中加拿大、印度、澳大利亚作为 3 个主要的 1 级中心国家,各自建立起相对独立的辐射网络。加拿大主要连接美洲地区,加拿大作为主要的移民接收国,在 2020—2024 年间累计流入 102.71 万人。印度则连接南亚和海湾

地区,在这期间累计流出 35.17 万人,是主要的移民输出国。澳大利亚辐射连接东南亚和太平洋地区的国家,在这期间累计约有 84.73 万人流入,是该社区第 2 大移民接收国。阿联酋、菲律宾等国家作为 2 级中心发挥中转作用,3 个核心国家分别在各自的地理区域内发挥主导作用,同时通过相互连接维持整个社区的网络连通性,形成了相对平衡的多极化移民网络格局。

地中海—西非历史文化社区中法国作为前殖民宗主国,在地中海北岸地区承担重要的移民接收和中转功能,与众多西非和北非国家保持密切的历史文化联系,在 2020—2024 年间净流入约 64.17 万人,是该社区主要的移民流入国;马里则作为西非地区的重要枢纽,在这期间共有 17.74 万人流出,有 8.71 万人流入,表明在撒哈拉以南非洲内部移民网络中发挥关键的集散作用。摩洛哥、西班牙等国家作为 2 个 2 级中心国家,进一步连接和完善了网络结构。

中北非难民流动社区以葡萄牙、苏丹作为 1 级中心国家,与乍得、中非共和国、刚果民主共和国、安哥拉等多个中心国家形成密集的网状连接,整体呈现出“蛛网状”的复杂拓扑结构,反映了该地区因冲突和资源分布不均导致的多向移民流动格局。其中葡萄牙流出约 10.17 万人,而流入约 17.99 万人,是该社区主要的移民流入国;而苏丹由于国家内部冲突,导致 4 年间共有 72.09 万人移出,是该社区中主要的移民流出国。

南部非洲发展共同体社区表现为典型的单核心星型结构,南非 4 年间约有 20.74 万人流出,但有 29.73 万人流入,作为唯一的 1 级中心国家,直接与津巴布韦、莫桑比克等 2 级中心国家形成放射状连接,网络密度相对较低但结构紧凑,体现了南非在南部非洲地区的绝对主导地位。太平洋岛屿社区同样呈现单核心结构,泰国作为核心节点,但整体连接强度较弱,4 年间仅有 43.36 万人流入或流出,反映出岛屿地理环境对移民流动的制约作用。

核心 1 级中心国家不仅在本社区内发挥核心作用,还通过长距离连接推动社区间整合。美国作为最重要的全球移民枢纽,与德国、俄罗斯、印度等其他社区的核心国家建立了直接连接;德国在欧洲的中心地位使其成为连接欧亚大陆与其他地区的重要桥梁;俄罗斯则通过其广阔的地缘政治影响力连接欧洲、亚洲和中亚地区。这些全球性枢纽国家的存在保证了整个移民网络的连通性和整合性,反映出全球国际移民流动既遵循区域集聚规律,又通过关键节点实现跨区域整合的复杂格局。

3 讨论

本研究运用多种方法对移民网络进行系统分析,首先,提出并验证了开放式最小化人口核算方法在国际移民流量估算中的优越性,该方法与人口

统计数据的相关系数为 0.81,为解决全球移民数据不完整性和不一致性问题提供了有效工具。其次,将复杂网络分析方法引入国际移民研究,通过社区探测和中心性分析系统性地揭示了全球移民的网络结构特征。最后,构建了多尺度、多维度的分析框架,实现了从流量估算到空间格局分析,再到网络结构解析的完整研究链条。移民网络的“核心—边缘”结构证实了世界系统理论在移民领域的适用性^[33],但同时发现的多中心格局又超越了单一核心的简化模型^[34]。社区内移民流动占主导地位的发现,支持了区域主义理论的观点,但跨社区连接的存在又体现了全球化理论的解释力^[35]。上述发现表明,全球移民系统的复杂性需要多理论整合的分析框架,单一理论难以完全解释其复杂性^[36]。

在政策实践方面,研究识别出的 7 个移民社区为构建多层次移民治理体系提供了科学依据。区域方法在更广泛的全球移民治理背景下的决定因素需要比较和综合分析^[37]。社区内移民流动的主导地位表明,区域性移民治理具有现实基础和紧迫必要性。建议在各移民社区内部建立常态化的政策协调机制,包括统一的数据共享平台、协调的政策标准、联合的管理执法行动。同时,应充分利用大型社区的多中心结构优势,建立多层次的治理体系,避免单一中心的系统性风险。不同类型移民社区的空间组织模式差异,要求采用差异化的治理策略。对于洲内国家组合型社区,应重点加强区域一体化建设,推进移民政策的协调统一;对于跨洲跳跃组合型社区,应建立远距离协调机制,利用现代通信技术加强政策沟通;对于跨洲邻近组合型社区,应充分利用地缘邻近优势,建立跨区域的移民管理合作机制。美国、德国、俄罗斯等关键枢纽国家在维系全球移民网络连通性方面发挥重要作用,其政策变化具有显著的全球溢出效应^[33]。建议建立全球移民治理的“核心国家协调机制”,定期就重大移民政策进行沟通协调,避免单一大国政策变化对全球移民网络造成系统性冲击。同时,应加强对这些枢纽国家移民政策的监测和评估,提高全球移民治理的预见性和主动性。俄乌冲突等地缘政治危机对移民网络的冲击,凸显了网络韧性建设的重要性^[38]。研究发现的网络结构特征为提升移民网络韧性提供了指导:多中心结构的社区具有更强的危机应对能力,单中心结构的社区则更为脆弱。建议在移民治理中注重韧性建设,包括培育备用的移民接收中

心、建立危机时期的移民分流机制、加强社区间的应急协调能力、完善移民危机的早期预警系统。

研究也存在一定局限性。首先,尽管采用了先进的人口核算方法,但全球移民数据的质量和完整性仍然存在局限。移民研究中的社会网络研究需要超越隐喻和认识论陷阱^[39]。部分国家移民统计数据的缺失或不准确,可能影响网络分析的精度。此外,对于非正规移民、短期移民等流动性较强群体的统计监测仍需加强。未来研究应进一步改进数据收集和处理方法,探索利用大数据、遥感数据等新兴数据源补充传统统计数据的不足。其次,本研究聚焦于 2020—2024 年,对移民网络长期演化趋势的把握有限。移民网络的形成和变化具有路径依赖特征,需要更长时间序列的数据来揭示其演化规律。未来研究应扩展时间跨度,构建移民网络的动态演化模型,探讨外部冲击(疫情、战争、政策变化等)对网络结构的影响机制和适应性调整过程。最后,虽然研究识别了移民网络的宏观结构特征,但对这些结构形成的微观机制解释仍需深化。不同类型移民(经济移民、难民、家庭团聚移民等)的网络特征可能存在显著差异,制度因素、文化因素、技术因素等对网络结构的具体影响机制也需要进一步探讨。

基于本研究的发现和局限,提出以下未来研究方向:①建移民网络的时间演化模型,探讨外部冲击(如疫情、战争、政策变化)对网络结构的影响机制和适应性调整过程。②将不同类型的移民流动(经济移民、难民、学生移民等)构建为多层网络,分析不同层次间的相互作用和影响。③基于网络结构特征和演化规律,开发移民流动的预测模型,为政策制定提供前瞻性支持。

4 结论

本文以 2020—2024 年间全球 195 个国家的国际移民存量数据作为研究对象,运用开放式的人口核算方法、社区探测模型和主成分迭代分解算法,构建了全球国际移民网络并揭示了全球移民流动的结构特征和空间格局,主要结论如下:

(1) 2020—2024 年间全球 4 001.80 万国际移民通过 7 018 条有效移民走廊构成的网络结构,展现出典型的复杂适应系统特征。网络同时具备“小世界”网络的高聚类系数和短平均路径长度,体现了移民流动的双重特性:既有基于地理邻近性、文化相似性的区域集聚,又有通过关键节点实现的全球

连通。移民流量分布遵循帕累托分布规律,超大流量和大流量走廊仅占走廊总数的 3.63%,却承载了 70.08% 的移民流量,形成显著的“核心—边缘”空间结构。

(2) 基于模块度最大化算法识别出的 7 个移民社区(模块度 0.503 7),验证了全球移民网络的模块化假设。社区内移民流动(2 630.62 万人)与社区间流动(1 371.18 万人)的比值达 1.92 : 1,表明移民流动具有强烈的区域集聚特征。根据空间组织特征,移民社区可归纳为 3 种典型模式:洲内国家组合型体现区域一体化效应,跨洲跳跃组合型反映全球化驱动的远距离连接,跨洲邻近组合型突出地缘政治和历史文化因素的持续影响。

(3) 全球移民网络呈现清晰的层级化“核心—边缘”结构,1 级中心国家承担全球或区域枢纽功能,2、3 级中心国家构成支撑性骨架网络。不同规模社区表现出差异化的网络模式:大型社区(>30 个国家)采用多中心辐射状结构,体现复杂系统的冗余性和稳健性;中型社区(15 ~ 30 个国家)呈现双中心分布式结构,实现权力平衡与功能互补;小型社区(<15 个国家)表现为单核心星型结构,效率高但系统脆弱性较大。美国、德国、俄罗斯等关键枢纽国家通过长距离连接实现不同社区间的整合,维系全球移民网络的连通性。

参考文献:

- [1] Daoust G, Selby J. Climate change and migration: A review and new framework for analysis[J]. *Wiley Interdisciplinary Reviews-Climate Change*, 2024, 15(4): 886. DOI: 10.1002/wcc.886.
- [2] Cattaneo C, Massetti E, Dasgupta S, et al. Climate variability and worldwide migration: empirical evidence and projections [M]. Washington: International Monetary Fund, 2024.
- [3] McAuliffe M, Oucho L A. Report overview: Migration continues to be part of the solution in a rapidly changing world, but key challenges remain[J]. *World Migration Report*, 2024(1): 33. DOI: 10.1002/wom3.33.
- [4] van der Geest K, de Sherbinin A, Gemenne F, et al. Climate migration research and policy connections: Progress since the foresight report[J]. *Frontiers in Climate*, 2023, 5: 1 231 679. DOI: 10.3389/fclim.2023.1231679.
- [5] Achilli L, Missbach A, Velasco S A. Migration and crime in a divided world: Strategies, perceptions, and struggles[J]. *Annals of the American Academy of Political and Social Science*, 2023, 709(1): 8-22. DOI: 10.

- 1177/00027162241251625.
- [6] Gou W S, Huang S Y, Chen Q H, et al. Structure and dynamic of global population migration network[J]. *Complexity*, 2020, 2020: 4 359 023. DOI: 10.1155/2020/4359023.
- [7] Yildiz D, Abel G. *Research handbook on international migration and digital technology* [M]. Cheltenham: Edward Elgar Publishing, 2021: 29–41.
- [8] Ha J T, DeWaard J, Abel G, et al. The globalization of international migration? A conceptual and data-driven synthesis[J]. *Population Development Review*, 2025, 51(1): 421-448. DOI: 10.1111/padr.12686.
- [9] Willekens F. *International handbook of migration and population distribution* [M]. Dordrecht: Springer, 2016: 225–241.
- [10] Abel G J, Cohen J E. Bilateral international migration flow estimates for 200 countries[J]. *Scientific Data*, 2019, 6(1): 82. DOI: 10.1038/s41597-019-0089-3.
- [11] Abel G J, Sander N. Quantifying global international migration flows[J]. *Science*, 2014, 343(6178): 1 520-1 522. DOI: 10.1126/science.1248676.
- [12] Yildiz D, Wiśniowski A, Abel G J, et al. Integrating traditional and social media data to predict bilateral migrant stocks in the European Union[J]. *International Migration Review*, 2025, 59(1): 90-118. DOI: 10.1177/01979183241249969.
- [13] DeWaard J, Ha J T. Resituating relaunched migration systems as emergent entities manifested in geographic structures[J]. *Migration Studies*, 2019, 7(1): 39-58. DOI: 10.1093/migration/mnx066.
- [14] Leal D F. Network inequalities and international migration in the Americas[J]. *American Journal of Sociology*, 2021, 126(5): 1 067-1 126. DOI: 10.1086/713877.
- [15] Leal D F, Harder N L. Migration networks and the intensity of global migration flows, 1990–2015[J]. *Journal of Ethnic Migration Studies*, 2023, 49(2): 445-464. DOI: 10.1080/1369183X.2022.2100547.
- [16] Hauer M E. Migration induced by sea-level rise could reshape the US population landscape[J]. *Nature Climate Change*, 2017, 7(5): 321-325. DOI: 10.3886/E100413V3.
- [17] Windzio M, Teney C, Lenkewitz S. A network analysis of intra-EU migration flows: How regulatory policies, economic inequalities and the network-topology shape the intra-EU migration space[J]. *Journal of Ethnic Migration Studies*, 2021, 47(5): 951-969. DOI: 10.1080/1369183X.2019.1643229.
- [18] Fawcett J T. Networks, linkages, and migration systems[J]. *The International Migration Review*, 1989, 23(3): 671-680. DOI: 10.2307/2546434.
- [19] Windzio M. The network of global migration 1990–2013: Using ERGMs to test theories of migration between countries[J]. *Social Networks*, 2018, 53: 20-29. DOI: 10.1016/j.socnet.2017.08.006.
- [20] Abel G J, DeWaard J, Ha J T, et al. The form and evolution of international migration networks, 1990-2015 [J]. *Population Space and Place*, 2021, 27(3): 2 432. DOI: 10.1002/psp.2432.
- [21] Barnett G A A, Nam Y. A network analysis of international migration: Longitudinal trends and antecedent factors predicting migration[J]. *Global Networks-a Journal of Transnational Affairs*, 2024, 24(2): 12 455. DOI: 10.1111/glob.12455.
- [22] Pitoski D, Mestrovic A, Schmeets H. The complex network patterns of human migration at different geographical scales: Network science meets regression analysis[J]. *Applied Network Science*, 2024, 9(1): 35. DOI: 10.1007/s41109-024-00635-1.
- [23] Massey D S, Arango J, Hugo G, et al. Theories of international migration: A review and appraisal[J]. *Population development review*, 1993, 19(3): 431-466. DOI: 10.2307/2938462.
- [24] Fagiolo G, Mastrorillo M. International migration network: Topology and modeling[J]. *Physical Review E*, 2013, 88(1): 012 812. DOI: 10.1103/PhysRevE.88.012812.
- [25] Tranos E, Gheasi M, Nijkamp P. International migration: A global complex network[J]. *Environment and Planning B-Planning & Design*, 2015, 42(1): 4-22. DOI: 10.1068/b39042.
- [26] Abel G J. Estimating global migration flow tables using place of birth data[J]. *Demographic Research*, 2013, 28: 505-546. DOI: 10.4054/DemRes.2013.28.18.
- [27] Fienberg S E. An iterative procedure for estimation in contingency tables[J]. *Annals of Mathematical Statistics*, 1970, 41(3): 907-917. DOI: 10.1214/aoms/1177696968.
- [28] Azose J J, Raftery A E. Estimation of emigration, return migration, and transit migration between all pairs of countries[J]. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 2019, 116(1): 116-122. DOI: 10.1073/pnas.1722334116.
- [29] Newman M E J, Girvan M. Finding and evaluating community structure in networks[J]. *Physical Review E*, 2004, 69(2): 26 113. DOI: 10.1103/PhysRevE.69.026113.
- [30] Traag V A, Waltman L, van Eck N J. From Louvain to Leiden: Guaranteeing well-connected communities[J]. *Scientific Reports*, 2019, 9(1): 5 233. DOI: 10.1038/s41598-019-41695-z.
- [31] Li B, Gao S, Liang Y, et al. Estimation of regional economic development indicator from transportation network analytics[J]. *Scientific Reports*, 2020, 10(1): 2 647. DOI: 10.1038/s41598-020-59505-2.
- [32] You S, Feng Z, You Z, et al. Identification and structural characteristics of urban agglomerations in China

- based on Baidu migration data[J]. *Applied Geography*, 2023, 156: 102 999. DOI: 10.1016/j.apgeog.2023.102999.
- [33] Czaika M, De Haas H. The globalization of migration: Has the world become more migratory?[J]. *International migration review*, 2014, 48(2): 283-323. DOI: 10.1111/imre.12095.
- [34] Leal D F, Harder N L. Global dynamics of international migration systems across South-South, North-North, and North-South flows, 1990-2015[J]. *Applied Network Science*, 2021, 6(1): 8. DOI: 10.1007/s41109-020-00322-x.
- [35] Lavenex S. Multilevelling EU external governance: The role of international organizations in the diffusion of EU migration policies[J]. *Journal of Ethnic and Migration Studies*, 2016, 42(4): 554-570. DOI: 10.1080/1369183x.2015.1102047.
- [36] VandenBelt K. A Call for a unified theoretical approach to the study of migration: Network analysis of international migration systems[J]. *Uluslararası İlişkiler-International Relations*, 2020, 17(68): 129-143. DOI: 10.33458/uidergisi.856875.
- [37] Lavenex S, Piper N. Regions and global migration governance: Perspectives 'from above', 'from below' and 'from beyond' introduction[J]. *Journal of Ethnic and Migration Studies*, 2022, 48(12): 2 837-2 854. DOI: 10.1080/1369183x.2021.1972564.
- [38] Tagliacozzo S, Pisacane L, Kilkey M. A system-thinking approach for migration studies: An introduction[J]. *Journal of Ethnic and Migration Studies*, 2024, 50(5): 1 099-1 117. DOI: 10.1080/1369183x.2023.2279708.
- [39] Ryan L, Dahinden J. Qualitative network analysis for migration studies: Beyond metaphors and epistemological pitfalls[J]. *Global Networks-a Journal of Transnational Affairs*, 2021, 21(3): 459-469. DOI: 10.1111/glob.12319.

Construction and structural analysis of the global international migration network model

DENG Chuanbin^{1,2}, YOU Zhen^{1,2**}, FENG Zhiming^{1,2}, YOU Shiqing^{1,2}

(1. Institute of Geographic Sciences and Natural Resources Research,

Chinese Academy of Sciences, Beijing 100101, China;

2. College of Resources and Environment, University of Chinese Academy of Sciences, Beijing 100049, China)

Abstract: The identification and structural analysis of global international migration networks constitutes an in-depth investigation of bilateral migration corridors worldwide. Migration networks function both as a key driving force in the evolution of human-land relationship systems and as a significant manifestation of bilateral migration corridors. Using countries as the basic research unit, this study estimates global migration flow data based on international migrant stock data from 2020 to 2024, delineates the spatial scope of the global migration network through community detection algorithms, and explores the structural characteristics of the network using the principal component iterative decomposition algorithm. The findings indicate that: ① A total of 40.018 million international migrants moved among 195 countries, forming 7 018 effective migration corridors; super-large and large-flow corridors together carry 70.08% of the total flows, revealing pronounced “core-periphery” spatial heterogeneity. ② Seven cohesive migration communities were identified. Based on their spatial distribution characteristics, they can be categorized into three types: intra-continental combinations, intercontinental leapfrogging combinations, and intercontinental adjacency combinations. Migration flows within communities (26.306 2 million) are significantly higher than those between communities (13.711 8 million). ③ The global migration network exhibits a distinct hierarchical central system. Communities of different sizes display differentiated network patterns: large communities adopt multi-center radial structures, medium-sized communities exhibit dual-center distributed structures, and small communities present single-core star-shaped structures. The modularized structure and hierarchical central system revealed in this study provide a scientific foundation for constructing a multi-level migration governance framework and enhancing network resilience.

Key words: international migration; migration network; community detection; PCA; spatial pattern