

山东省城镇网络结构与城镇网络角色识别 ——基于民国时期土货/洋货流通网络的分析

王茂军, 田丽英, 杨雪春

(首都师范大学资源环境与旅游学院, 北京 100048)

摘要: 本文运用复杂网络分析方法, 基于1932年的山东省城镇间土洋货流通的基础数据, 建立了城镇间的关系矩阵, 讨论了1932年时山东省城镇间土洋货流通网络的全网结构特征, 并识别出网络中的城镇角色和关键链接。研究发现: 第一, 城镇度符合幂律分布, 绝大多数城镇度值较低, 少数几个城镇度值较高。网络连通性差, 城镇节点度与聚集系数为负相关关系。结构为树枝状是当时铁路网和公路网发育状况的真实写照。第二, 全网包括6大社团, 社团规模、自立性和地域性差异明显。第三, 全网结节城镇为济南、青岛、周村和济宁, 全网中介城镇为济南和青岛。社团结节城镇、中介城镇相同, 再次印证了山东省土洋货流通网络为多个星状社团组成的树状网络。第四, 青岛—济南、青岛—烟台、济南—济宁、济南—周村、青岛—周村、青岛—潍县为全网中最为重要的边。

关键词: 城镇网络; 网络结构; 网络角色; 山东省

文章编号: 1000-0585(2011)09-1621-16

1 引言

区域中的诸多城镇通过彼此联系形成了最为复杂的城镇体系网络, 城镇间关系及由此构成的城镇网络的重要性却直到20世纪90年代才引起学界的关注^[1]。城镇体系研究属于城镇第二性 (the second nature of cities) 的研究, 着眼于城镇与其他城镇的关系 (inter-city relations), 关注国家或地区城镇体系的结构及其演化、城镇间互动、系统内要素分布及其与系统结构间的相互影响等, 主要基于城镇属性数据尤其是人口数据进行讨论。实证结论分歧明显, 一种观点认为竞争范式下城镇体系中城镇按照层级体系组织起来, 另一观点则强调除层级关系外, 还有自下而上联系、水平联系等复杂形式^[2]。显然, 基于城镇属性的城镇体系研究虽着眼于城镇的外部关系, 但并非城镇间关系的直面分析, 仅能部分的描述城镇间关系, 无法揭示其本质^[3], 无法解释城镇间是如何联系起来的, 难以诠释城镇间的互动模式。城镇间关系只能通过关系数据 (relational data) 来挖掘。强调关系特征分析是世界城市网络研究给予城镇体系研究的最大贡献, 强调世界城市越来越从相互联系中得到其功能重要性, 而不是来自本身的腹地^[4], 即城市通过流过自身的各种流获得财富与权力^[5], 城市在这一流动空间中的位置重要性超过了传统层级结构。城市变化表现为在网络中位置重要性的变化, 嵌入网络的深度影响到其发展。虽然世界城市网络理论建构的对象是世界城市, 但这种方法对于研究国家/区域内的城镇关系具有极大的适用性^[6]。

收稿日期: 2011-02-21; 修订日期: 2011-06-16

基金项目: 国家自然科学基金项目 (41071112); 教育部人文社会科学研究规划基金项目 (09YJAZH057)

作者简介: 王茂军 (1973-), 男, 山东费县人, 博士, 副教授, 主要从事城市地理研究。E-mail: maojunw@yeah.net

从国内城镇体系的实证研究来看,主要关注城镇间结合形态与地域组合、嵌套层级结构及其变动,对于城镇网络的分析关注度较低。其中,部分研究利用城镇人口规模等属性数据,通过构建相应的模型进行了分析。比如,杜国庆^[7~9]、顾朝林等^[10]利用重力模型分析“网络联系”和“地区联系”层级嵌套结构。于涛方等^[11]在重力模型的基础上结合模糊数学,分析了中国城镇间的地域结合及其中心城镇的地位变化。王茂军等^[12]利用 Neg F 法(直接腹地法)和 Sum F 法(间接腹地法)讨论了山东省 1955 年、1982 年、2000 年的中心城镇、直接腹地和间接腹地的变动。另外有部分研究直接利用城镇间关系数据进行了讨论。比如,虞蔚^[13]、郭文炯等^[14]、金凤君^[15]、周一星等^[16]、薛俊菲^[17]、汪明峰等^[18]分别直接以信息流、航空客流、互联网的城镇间关系数据分析了城镇间的结合型态、结节城镇的层级分布。陈田^[19]、顾朝林^[20]、周一星等^[21]利用联系流的各种指标讨论了城镇影响区、城镇经济区的定量划分及其层级结构。王茂军等^[22]利用洋货流通数据讨论了山东省民国时期结节地域的空间组合、层级结构和自立性。

这些研究虽然注意到了城镇体系中社团的存在,但其重视城镇间的中心—从属关系,强调子系统的封闭性和彼此间的界限清晰性,重点讨论子系统间的规模、空间组合上的差异性等。子系统间的联系性受染于中心地理论,强调垂直联系和层级嵌套。事实上城镇体系是开放的,已经超越了传统的层级结构,逐渐被松散链接并具有半渗透边界的局部系统所代替。即城镇体系中子系统间的联系性与差异性并存且地位同等重要。仅仅关注差异性忽视联系性,并不符合城镇体系的真实状况,也不符合各子系统相互作用共同实现城镇体系功能的事实。因此,测度城镇体系中城镇间、社团间的联系性,进而考察不同城镇在城镇体系网络中的位置与角色非常有必要。而这一领域国内外的研究相对薄弱。

在城镇体系网络中,城镇间联系的紧密程度不同,城镇或者处于网络的中心、边缘,或者社团间的衔接位置,发挥着直接控制、间接控制等功效。城镇的这些功效存在有尺度的差异性和等级差异性,有些城镇在全网发挥效能,有些城镇在社团内部发挥效能。讨论这种城镇网络位置和网络角色的差异性,可以援用复杂网络的思想。复杂网络强调网络拓扑结构能够揭示真实系统的形成机制、演化规律和动力学过程,肇兴于 1998 年“小世界”(small-world)网络模型和 1999 年无标度网络的讨论,目前已经成为经济学、管理学、统计物理学等多学科的重要新研究领域^[23]。国内研究已经涉足到交通网络、产业网络等方面^[24~27]。

本文试图以民国时期山东省的土洋货流通联系为分析内容,首先构建城镇间有效链接矩阵,其次,从小世界性、无标度性和社团结构三个方面讨论该网络的基本特征,再次,识别城镇在网络中的角色。

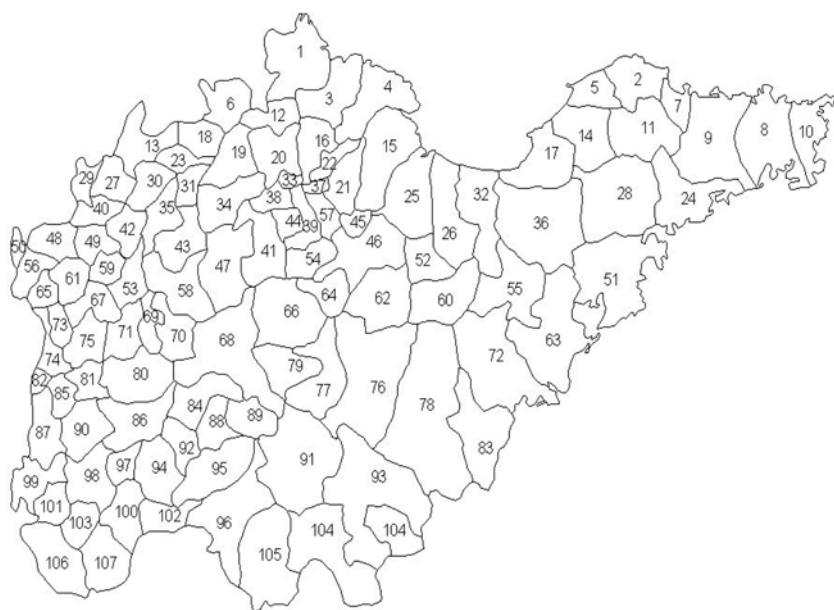
2 研究对象、数据整理与分析方法

2.1 研究对象

城镇体系网络的全网分析要求有翔实的城镇间关系数据,1934 年出版的《中国实业志·山东卷》提供的相应县份间土洋货的流通数据,可以用来标度城镇间的相互关系。《中国实业志·山东卷》虽 1934 年刊行,但基本上为 1932 年的数据,采用该数据可以有效规避 1933 年的世界经济危机影响。

虽然土洋货流通均以县为单位提供,但在当时的条件下,商品流通主要依托各级城镇进行,因此,以县份间的流通联系标度城镇间的关系是可行的。为了简化工作量,主要以

县城为最低一级的物资集散地，县城以下除周村、羊角口、龙口等个别非常重要的城镇外，大多不再考虑。另外，当时山东省的土洋货流通并非局限于省内，而是同省外有着密切的联系。尤其是津浦铁路通车后，天津和上海也是重要的土货输出地和洋货输入地。因此，在后文的研究中，将省外的上海和天津与不入县建制的济南市、青岛市、烟台市、威海市同时列为研究对象，以求更真实反映土洋货流通网络的全貌。图 1 为 1939 年的山东省行政区划。



- 1 无棣 2 蓬莱 3 沾化 4 利津 5 黄县 6 乐陵 7 福山 8 文登 9 牟平
 10 荣成 11 栖霞 12 阳信 13 德县 14 招远 15 广饶 16 滨县 17 掖县 18 德平
 19 商河 20 惠民 21 博兴 22 蒲台 23 陵县 24 海阳 25 寿光 26 潍县 27 恩县
 28 莱阳 29 武城 30 平原 31 临邑 32 昌邑 33 青城 34 济阳 35 禹城 36 平度
 37 高苑 38 齐东 39 长山 40 夏津 41 章丘 42 高唐 43 齐河 44 邹平 45 临淄
 46 益都 47 历城 48 临清 49 清平 50 邱县 51 即墨 52 昌乐 53 茌平 54 淄川
 55 高密 56 馆陶 57 桓台 58 长清 59 博平 60 安丘 61 堂邑 62 临朐 63 胶县
 64 博山 65 冠县 66 莱芜 67 聊城 68 泰安 69 平阴 70 肥城 71 东阿 72 诸城
 73 莘县 74 朝城 75 阳谷 76 沂水 77 蒙阴 78 莒县 79 新泰 80 东平 81 寿张
 82 观城 83 日照 84 宁阳 85 范县 86 汶上 87 濮县 88 曲阜 89 泗水 90 鄆城
 91 费县 92 滋阳 93 临沂 94 济宁 95 邹县 96 滕县 97 嘉祥 98 巨野 99 菏泽
 100 金乡 101 定陶 102 鱼台 103 城武 104 郯城 105 峄县 106 曹县 107 单县

图 1 1939 年山东省行政区划图

Fig. 1 Administrative map of Shandong Province in 1939

资料来源：南满州铁道株式会社調査部，支那に於ける聚落（人口）分布の研究

——山東省，大連：南滿州鉄道，1939.

2.2 数据处理

《中国实业志·山东卷》记载的进口洋货和出口土货的流通数据辑录了主要商品的货

名、数量、总值、来源（表 1）。流通商品的价值均有很强的可比性。但是，各县不同商品的总值与数量之间并没有很好的匹配关系，二者间或只有其中之一。对于只有商品数量，而并没有商品总值的县份 A，作如下处理：首先利用与 A 空间相邻县份 B 的同种商品 i 的数量、商品价值，计算 B 县商品 i 的单价，然后利用 B 县商品 i 的单价和 A 县商品 i 的数量，求算 A 县 i 商品的价值量。如此处理的前提是 A 县和 B 县的物价水平相差不大。虽然当时山东省绝大多数县份的进口洋货来源地和出口土货的集散地并不很多，但是，仍有相当部分县份的来源地和集散地并不唯一。针对这种情况，采用式（1）进行处理。

$$p_{jg} = \sum_i^n \frac{x_{ijk}}{k_{ijg}} \quad (1)$$

其中， k 为商品 i 的来源地或者集散地数量， n 商品种类， P_{jg} 为城镇 g 和城镇 j 间 i 商品的价值流。

基于上述处理后的数据，就建立起该时期城镇间土洋货流通的原始关系矩阵。

表 1 《中国实业志·山东卷》载山东省进口商品内容示例

Tab. 1 A typical example of input goods in Shandong Province from Zhongguo Shiye Zhi · Shandong

	蒲台				曲阜			莒县	
货名	洋布	茶叶	面粉	棉纱	煤油	纸烟	煤油	布匹	红白糖
数量	27000 匹	1200 斤	2700 袋	1000 件	10000 箱	100 箱	30000 筒	3000 匹	3200 包
总值（元）	26000	18000	71000	360000	90000	10000	100200	45000	76800
来源	周村	周村	济南	青岛济南	青岛济南	青岛济南	美俄	法俄日本	台湾

资料来源：何炳贤：《中国实业志·山东卷》，民国二十三年刊行。

2.3 分析方法

2.3.1 城镇有效链接识别 虽然进口洋货和出口土货的城镇间传递过程、传递规模量并不相同，但均在一定程度上反映了城镇间的联系紧密程度。论文旨在讨论城镇网络结构和城镇网络角色，可以一定程度上忽略洋货和土货的流通类别和实际规模的差异性。分别甄别各城镇，筛选有土货或者洋货流通的城镇对，生成城镇土货/洋货流通的 OD 矩阵。同时，忽略洋货或土货城镇间联系的方向差异性，将两 OD 矩阵合并运算，以土货/洋货的流通量之和作为两城镇间的联系量。

当然，矩阵中的城镇间联系量存在明显的规模差异，为真实再现城镇间的联系，考察所有城镇间的土洋货物流通量。以矩阵土洋货流量的中位数为判别城镇间有效联系的阈值，土洋货物流流量大于阈值的赋值为 1，小于中位数的流量赋值为 0，建立无向无权的一模两值（0，1）对称矩阵。

2.3.2 城镇网络特征提取 基于复杂网络考察城镇体系网络特征，重点是考察网络内部的通达性、城镇间联系的强弱性、城镇网络的全网结构特征，包括无标度性（scale-free）、小世界性（small world）、社团结构（community structure）。其中，无标度性由度分布形态标度，小世界性由平均最短路径和聚集系数标度，社区结构由模块化指数测度。

（1）度分布：城镇节点 i 的度（degree）为与城镇 i 存在直接有效贸易联系的城镇数

量,反映了城镇 i 在区域城镇网络中链接的广度和结节地位的重要性。度分布用分布函数 $P(k)$ 来描述,表示随机一个城镇的度恰好为 k 的概率。已有研究^[28]表明,规则网络的度分布为单尖峰的 Delta 分布,完全随机网络的度分布近似为泊松分布,形态上表现为钟形曲线,所有节点的度均值可以表征度的分布。许多实际网络的度分布为幂律分布,也称无标度 (scale-free) 分布^①,即节点的度与度出现概率的累积分布曲线为右偏斜长尾分布,在双对数曲线中,表现为斜率为负数的直线。如果度分布为幂律分布,意味着城镇网络中各城镇的度差异悬殊,高度离散,难以选择其中的一个度值或者所有度值的均值来代表群体。

(2) 平均最短路径:区域城镇网络中城镇间的贸易联系构成了网络的边。最短路径长度 (shortest path length) 表示城镇 i 、 j 的所有链接中的最少链接边数,平均最短路径 (average shortest path length) 表示任意两个城镇链接的最短路径的平均值,又称为网络的特征路径长度,直接反映城镇网络中各城镇间的分离区隔程度,是用来表达网络连通凝聚性的重要指标。这种分离区隔程度取决于城镇间的城镇职能是否互补、城镇间的物理距离是否导致彼此联系的消失、以及城镇间交通链接的方便程度高低等。平均最短路径可以用式 (2) 标度。

$$L = \frac{2}{N(N-1)} \sum_{i \neq j} d_{ij} \quad (2)$$

其中: L 为平均最短路径长度, d_{ij} 为城镇 i 到城镇 j 的联接边数, N 为城镇体系网络的城镇数。

(3) 聚集系数:聚集系数是指与城镇 i 存在有效链接的城镇 j 、城镇 k 彼此也有效链接的概率,反映了城镇 i 组织全联通的小城镇群体的能力。区域城镇网络的平均聚集系数 C 是所有城镇节点 i 的聚集系数 C_i 的均值,表示有效链接的多少。其中, $0 \leq C \leq 1$, 全连通网络的聚集系数为 1, 当网络所有节点均为孤立点时,网络聚集系数为 0。含有 N 个节点的随机网络,当 N 很大时, $C=0$ (N^{-1})。许多大型网络的聚集系数远小于 1, 但比 O (N^{-1}) 大。通过式 (3) 测度。

$$C_i = 2E_i / (k_i(k_i - 1)) \quad (3)$$

其中: C_i 为平均聚集系数, k_i 为城镇 i 和其他城镇有效关联数, E_i 为 k_i 个城镇之间实际存在的有效关联数。

(4) 社团:城镇网络中部分城镇根据彼此间的联系紧密程度会形成若干社团,社团内部各成员间存在相对较强的、直接的、经常的或者积极的联系。本文采用 Guimerá 等^[29, 30]提出的基于模拟退火算法 (simulated annealing) 的复杂网络聚类算法 GA, 基于城镇有效联系,利用 netcarto 编程软件进行分类。分类效果的好坏利用模块化指数 Q 判断。其中, Q 的取值范围为 $0.3 \sim 0.7$ 。

$$Q = \sum_{s=1}^{N_M} \left[\frac{l_s}{L} - \left(\frac{d_s}{2L} \right)^2 \right] \quad (4)$$

其中, Q 为模块性指数, N_M 为模块数量, L 为城镇网络中有效链接数, l_s 为社团 s 内部城镇间有效链接数, d_s 为社团 s 内部所有城镇的度值总和。

①幂律分布:事件与事件出现概率的累积分布曲线表现为右偏斜长尾分布,即绝大多数事件的出现得概率很小,极少数事件出现得概率很高。双对数坐标下,幂律分布表现为一条斜率为幂指数的负数的直线。统计物理学家习惯于把服从幂律分布的现象称为无标度现象,即系统中个体的尺度相差悬殊,缺乏一个优选的规模。

2.3.3 城镇的网络角色识别 城镇的网络地位可以从城镇与其他城镇直接链接、对城镇间链接的控制方面来衡量。复杂网络中的度、介数中心性指标恰好能够满足上述要求。

(1) 度 (degree): 又称关联度, 分为节点度 (nodal degree)、网络平均节点度。区域城镇网络中节点度为与城镇 i 存在直接链接的其他城镇数量, 表达了城镇 i 在城镇网络中直接链接的广延范围, 反映了城镇 i 从网络中获得的支持力度或者控制力度, 是标度城镇 i 网络主导地位的重要指标。由此, 可以定义高度值的城镇为网络的结节城镇, 根据其直接联系的范围是否为全网或者子网, 分为全网结节城镇、子网结节城镇。

城镇 i 的全网度与子网度的差值反映城镇 i 的社团外向关联性倾向, 基于此可简单识别各社团外联城镇 (broker city)。

平均节点度是网络中所有城镇节点度的均值, 可以反映区域城镇网络的链接通达性高低, 与区域交通网络的结构特征密切相关。

$$\bar{d} = \frac{\sum_{i=1}^n n_i}{N} = \frac{2L}{N} \quad (5)$$

其中, L 为城镇间有效链接数, N 为城镇数。 L 、 N 的关系可以由欧拉定理说明, 在任何图中, 城镇数的总和等于有效关联数的 2 倍。

(2) 介数中心性 (betweenness centrality): 又称介数, 为多个非邻接城镇节点对之间通过城镇节点 i 的最短路径数, 介数越高, 表示城镇 i 很大程度上成为其他城镇两两链接的中介, 发挥着间接控制或者沟通其他城镇的作用, 占据着操纵资源流通的关键性位置。定义城镇 i 为城镇网络中的中介城镇 (betweenness city), 可以分为全网中介城镇和子网中介城镇。介数中心性的测度公式如式 (6) 所示。

$$B_i = \frac{1}{(n-1)(n-2)} \sum_{j \neq k} \frac{b_{ijk}}{b_{jk}} \quad (6)$$

其中: B_i 为介数中心性, b_{jk} 为城镇节点 j 和城镇节点 k 之间的最短路径数; b_{ijk} 表示城镇节点 j 和城镇节点 k 之间经过城镇节点 x 的最短路径数; n 为整个网络的城镇节点数。

某城镇的全网性介数反映了社团同外部联系的强弱程度, 可以判定社团外联城镇。

3 城镇网络全网结构特征

3.1 城镇链接度幂律分布, 分层现象明显

传统的城镇体系中城镇间链接的研究, 往往着眼于链接的紧密程度, 倾向于关心城镇链接对间的等级、职能、空间的结构, 忽视了城镇间链接城镇数量规律的讨论。将各城镇的网络节点度降序排列, 建立双对数坐标下城镇度值与城镇位序的回归方程, 有 $y=1.885x+2.170$, $R^2=0.828$, 绘制城镇度与城镇位序的关系图 (图 2)。发现民国时期山东省城镇网络的度分布符合幂律分布, 即绝大多数城镇度值较低, 少数几个城镇度值较高。其中, 度值 5 以下的城镇 81 座, 度值 6 以上的城镇 12 座, 分别占城镇总数的 78.67%、8.74%。

从高度值城镇的空间分布看, 度值 6 以上的城镇节点有 10 个 (表 2)。除临清、莱芜、临朐、烟台外, 其他城镇均分布在铁路沿线。其中, 潍县、周村、青岛、济南分布在胶济铁路沿线, 博山、泰安、济宁分别分布在张 (店) 博 (山) 支线、津浦铁路沿线、兖 (州) 济 (宁) 沿线。这一分布特征很好地反映了铁路网络结构对城镇网络的深刻影响。

3.2 网络链接疏散，效率不高

在中位数链接阈值水平下，共有有效链接城镇对 149 对，网络密度 0.02^①。全网平均度为 2.71，即平均每个城镇只与其他两个城镇发生有效链接。具体而言，拥有单一交易链接、两个交易链接对象的城镇分别有 41 座、29 座，占到了有交易链接对象城镇总数的 75.27%。另外，网络中的孤立城镇节点也高达 17 座，其中包括了鲁西北平原的 8 座、胶东半岛的 6 座城镇。

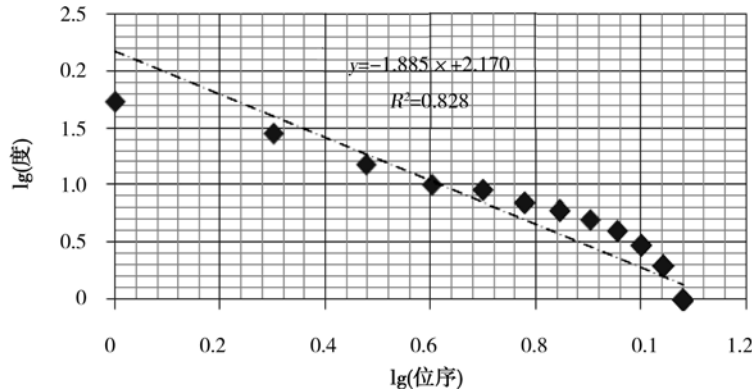


图 2 山东省城镇有效关联网络的城镇度与位序的关系

Fig. 2 The relationship between cities' degree and rank of effective connective network of Shandong Province

表 2 度值 5 以上城镇的全网度与聚集系数

Tab. 2 The degree and clustering coefficient of cities with degree above 5 in the whole network

城镇	度值	集聚系数	城镇	度值	集聚系数	城镇	度值	集聚系数
临清	6	0.333	济宁	9	0.194	烟台	6	0.133
莱芜	6	0.40	泰安	7	0.190	青岛	28	0.056
临朐	9	0.306	潍县	7	0.190	济南	53	0.029
博山	5	0.3	周村	10	0.200			

网络的平均最短路径、网络聚集系数分别为 3.53、0.25。相同城镇节点数的随机网络平均最小路径、聚集系数分别为 4.424、1.74。山东城镇网络的平均最短路径和聚集系数分别为相同节点数的随机网络的 79.79%、14.36%。显然，1932 年时山东省城镇间的土洋货流通不十分通畅，城镇网络的效率并不高。少数城镇对主宰了山东省的土洋货流通，有相当多的城镇间链接需要通过其他城镇中转传递完成，这些发挥中转效能的城镇实际上就是土洋货流通中的集散市场，与高度值的城镇具有较高的一致性，比如济南、青岛、周村、济宁等城镇。

山东城镇网络松散链接特征有其内在的必然性。第一，城镇间链接通过土洋货的跨城镇流通完成，有效链接的有无与城镇间的空间距离密切相关。距离衰减的效能在物资流通中体现的较为明显。第二，是当时铁路网和公路网稀疏的真实反映。城镇间的土洋货沟通主要通过铁路网和公路网承担。期间，山东省内仅有的铁路为胶济线（济南—青岛）、津浦线（天津—上海）、张博支线、兖济支线。公路建设刚刚起步（图 3），公路网络为树枝

①网络密度（densit）为 $\rho = \frac{2L}{N(N-1)}$ ，其中， ρ 为网络密度， L 为有效链接数， N 为城市节点数。

状结构,许多城镇间的交通链接不畅。

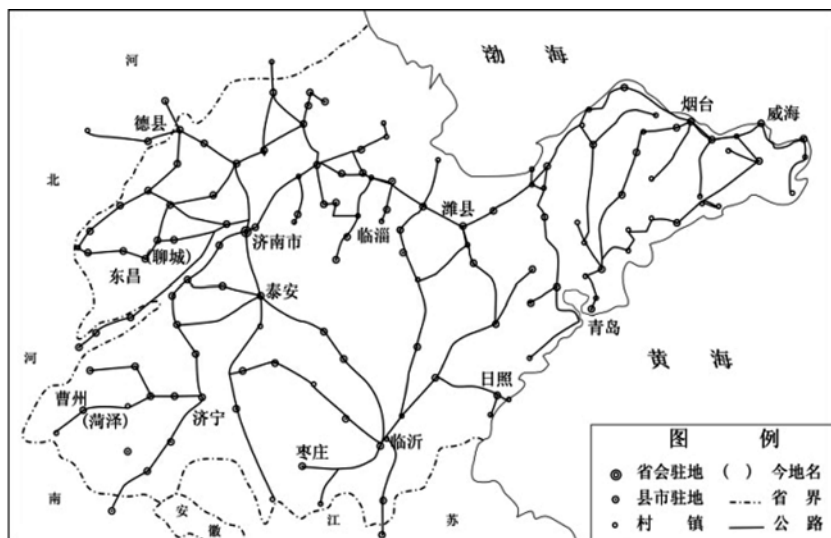


图 3 1937 年山东省汽车专用道建设图^[30]

Fig. 3 Automobile special access building of Shandong Province in 1937

3.3 城镇节点的度—聚集系数负相关

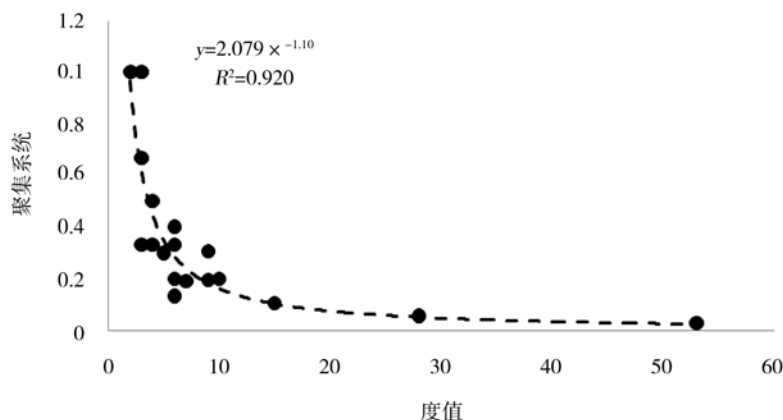


图 4 各城镇的聚集系数与度值的关系

Fig. 4 The relationship between the clustering coefficient and degree of each city

城镇节点的度和聚集系数间存在有正负相关两种关系。正相关表明高度值的城镇节点聚集系数高,城镇节点间的交易链接紧密,网络凝聚性强,倾向于全链通。负相关则表明高度值的城镇节点聚集系数小,关系城镇间链通性差,其组织的网络倾向于单核心的轴—辐结构。山东省土洋货的流通网络中各城镇的度和聚集系数彼此之间的差异十分明显。其中,济南度值最高(53)、集聚系数最低(0.029),青岛度值其次(28),集聚系数紧随济南其后稍高(0.056)。总体上,聚集系数随着城镇节点度值的升高而降低(表2、图4),二者间的皮尔逊相关系数为 -0.711 ($t=0.000$)。在一定程度上反映了高度值的城镇几乎是周边城镇唯一的土洋货交易链接对象,周边城镇相互间缺乏交易链接,在全省范围内有

多个单核心的轴—辐结构，这些轴辐结构通过交通网络链接起来，组成了树状的城镇网络结构形态。

网络中低度值的城镇与高度值的城镇链接，高度值城镇之间往往也有交易链接，故而聚集系数较高。网络中 22 个城镇的聚集系数为 1，度值为 2~3。这些城镇的链接对象城镇的度值均较高，比如，安丘（3）与济南（53）、临朐（9）、青岛（28）交易链接，曲阜（3）与济南、济宁（9）、青岛交易链接，博平（2）与济南、临清（6）交易链接，文登与烟台（6）、青岛交易链接。对于较高度值的城镇而言，除了与高度值城镇的相互链接外，交易链接对象的主体是低度值的城镇。比如，烟台与青岛（28）、牟平（1）、栖霞（1）、文登（2）链接，潍县与招远（2）、沂水（3）、掖县（1）、龙口（2）、莱芜（6）、临朐（9）、青岛（28）链接。

表 3 民国时期山东省城镇网络的社团结构

Tab. 3 The community structure of Shandong Province urban network in Republic of China							
社团	社团 内城 镇数	社团 总链 接数	社团 内链 接数	社团 间链 接数	社团自自 立性/%	社团中心 势①/%	社团成员（社团内的度）
社团 I	5	11	4	7	36.36	100	滕县（1）、夏津（1）、高唐（1）、徐州（1）、泰安（4）
社团 II	20	42	21	21	50.00	75.44	青岛（15）、高密（1）、诸城（1）、滋阳（1）、海阳（1）、章丘（1）、昌邑（1）、胶县（1）、安丘（1）、益都（1）、禹城（1）、广饶（1）、烟台（6）、招远（2）、文登（2）、牟平（1）、栖霞（1）、福山（1）、张店（1）、齐东（2）
社团 III	36	73	49	24	67.12	88.57	济南（32）、临清（5）、无棣（1）、邱县（1）、天津（15）、沾化（1）、阳信（2）、馆陶（2）、茌平（2）、德平（2）、德县（2）、冠县（2）、平原（2）、陵县（2）、乐陵（2）、武城（2）、惠民（2）、博平（2）、莘县（2）、郓城（1）、齐河（1）、聊城（1）、长清（1）、肥城（1）、清平（1）、平阴（1）、济阳（1）、堂邑（1）、寿张（1）、朝城（1）、恩县（1）、濮县（1）、观城（1）、东平（1）、范县（1）、阳谷（1）
社团 IV	10	21	10	11	47.62	69.44	上海（4）、峄县（2）、邹县（1）、日照（2）、汶上（1）、单县（1）、济宁（7）、鱼台（1）、定陶（1）、曲阜（1）
社团 V	19	41	22	19	53.66	29.08	周村（7）、新泰（1）、临淄（1）、莱芜（4）、博山（4）、蒲台（1）、邹平（1）、博兴（1）、临邑（1）、沂水（2）、临朐（6）、羊角沟（1）、青州（1）、潍县（5）、利津（1）、掖县（2）、平度（1）、龙口（3）、淄川（1）

①社团中心势的构造来源于以下思想，首先找出图中的最大中心度的值，然后计算该值与图中其他点的中心度之差，得到许多差值，计算这些差值的总和，利用这个总和除以各个差值总和的最大可能值。

3.4 社团结构、地域性差异明显

采用复杂网络聚类算法 GA, 基于有效链接, 利用 netcarto 编程软件分析土洋货流通的网络社团结构, 计算相应社团数下的模块化指数。试验表明, 模块性指数 0.454 时社团划分结果最佳。此时城镇网络划分为五大社团, 各社团的城镇节点、有效链接数如表 3、图 5 所示。

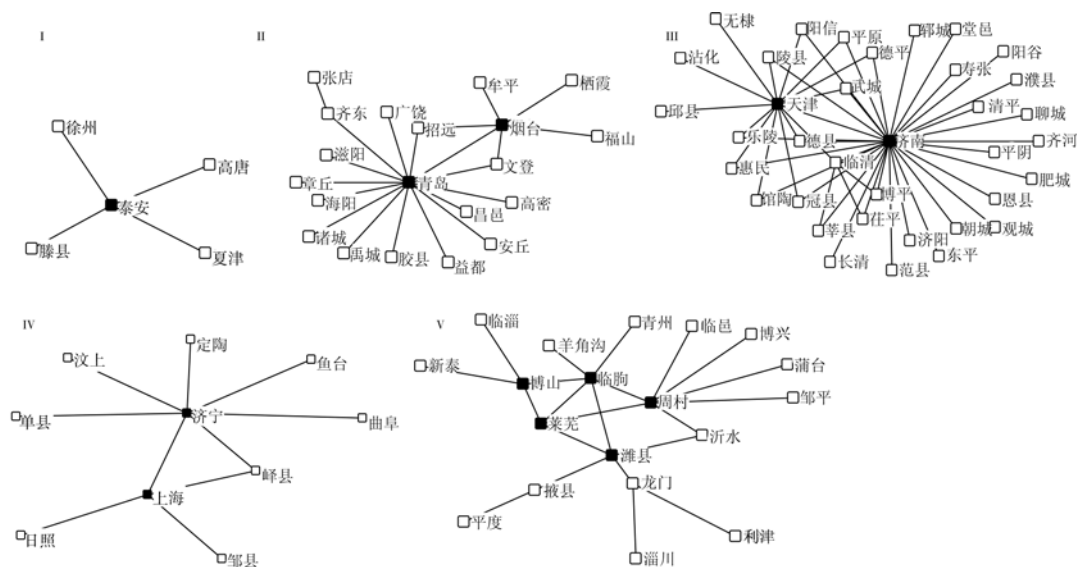


图 5 民国时期山东省城镇网络社团结构图

Fig. 5 Community structure of urban network in Shandong Province in the Republic of China

社团 I: 包括 5 个城镇节点、11 条链接。其中, 社团内联接 4 条, 社团间链接 7 条, 社团自立性 36.36%。社团中心势为 100%, 为典型的单核心轴辐结构, 泰安位于社团核心。交易链接城镇滕县、夏津、高唐、徐州主要位于津浦铁路以西。

社团 II: 包括 20 个城镇节点、42 条链接。其中, 社团内链接、社团间链接均为 21 条。社团中心势为 75.44%, 存在明显的社团核心。青岛的度值最高, 其次是烟台, 为一主一副双核心结构。城镇节点主要分布在胶东半岛、胶济铁路沿线。

社团 III: 包括 36 个城镇节点、73 条链接, 社团内链接 49 条、社团间链接 24 条, 社团内敛性强, 自立系数为 67.12%。社团中心势为 88.57%, 济南的度值最高, 其次是天津, 为一主一副的双核心结构。城镇节点主要分布在鲁西和鲁北。

社团 IV: 包括 10 个城镇节点、21 条链接。其中社团内链接 10 条、社团间链接 11 条, 社团内敛性较差。社团中心势为 69.44%, 城镇节点的社团内度值差异不大, 济宁、上海的度值较高, 为明显双核心结构。社团平均路径长度为 1.74。城镇节点主要分布在鲁西南地区。

社团 V: 包括 19 个城镇节点、41 条链接, 社团中心势为 29.08%, 城镇节点度值较为均衡, 周村、莱芜、博山、周村、临朐的度值较高, 为均衡多核心结构。城镇节点主要分布在鲁中山区。

各社团地域范围与文献 [22] 有很强的类似性。导致这种相似性的原因可能是城镇间的距离在发挥作用。

4 城镇的网络角色识别

4.1 结节—中介城镇

通过度和介数中心性定量判定各城镇在全网和社团中的网络角色。分别计算城镇在全网、各社团内的度和归一化介数，以介数、度大于均值+1 标准差为遴选门槛值，识别全网和社团的结节城镇、中介城镇，识别结果如表 4 所示。全网结节城镇为济南、青岛、周村、济宁，全网中介城镇为济南、青岛。

表 4 山东省土洋货流通网络的结节城镇和中介城镇

Tab. 4 Hub and betweenness cities of native products/foreign goods circulation network in Shandong Province

		结节城镇（度）	中介城镇（归一化介数）
全网类型		济南（53）、青岛（28）、 周村（10）、济宁（9）	济南（47.80）、青岛（25.09）
	社团 I	泰安（4）	泰安（5）
社团	社团 II	青岛（15）、烟台（6）	青岛（13.82）、烟台（4.58）
	社团 III	济南（32）	济南（28.47）
	社团 IV	济宁（7）	济宁（2.25）
	社团 V	潍县（5）、周村（7）	潍县（4.4）、周村（3.86）

4.1.1 社团 I 结节—中介城镇是泰安。泰安先前“交通不便，商业活动受到很大的限制，工商业活动基本处于封闭状态，直至 19 世纪初并无明显改变”^[31]。1911 年津浦铁路通车后，交通顿为改观，商业渐趋繁荣，“由过去的经济自给自足的一寒村，变为当地一大市场”。

4.1.2 社团 II 主结节—中介城镇是青岛，副结节—中介城镇是烟台。这种双核心结构体现了胶济铁路、津浦铁路通车后烟台、青岛的竞争结果。“铁路未建设以前，山东全省怠以烟台为惟一之贸易港，胶济铁路通，分一部分东走青岛，津浦路通，又分一部分北走天津。故烟台之贸易额，当光绪二十七八年间已经达到四千五六百万两，自光绪三十年胶济铁路全线通车，青岛日盛，烟台日衰……比及津浦铁路通车，烟台灌输范围愈狭”^[32]。到 1915 年，烟台的商业腹地已萎缩至东北端数县和沿海地区。青岛开埠，打破了烟台先前的垄断地位，加上其适中的地理区位、青岛大港及后方集输运系统建设等因素，取代烟台成为山东省最大的对外门户，1908 年青岛进出口贸易净额、直接对外贸易额均超过烟台，当年超过烟台不过 1/5，1913 年则约为 3 倍，1918 年约为 5 倍。此后，这一绝对优势就没有动摇过（图 6）。其直接腹地范围包括了以胶济铁路沿线为中心的山东地区。当然，越过津浦铁路，青岛竞争力明显减弱。

4.1.3 社团 III 主结节—中介城镇是济南。1904 年的胶济铁路与 1912 年津浦铁路全线通车、1906 年的济南正式辟为商埠，这三件事引发了济南地位的质变。集散范围“……北至德州、南抵徐州，东达博山、益都，西接黄河上游的河南、山西，包括济南以西 400 华里，以南 600 华里的广大地区”^[33]。其输出的土货、进口的洋货数量在省内没有其他城镇可以与之相提并论。1933 年济南的城镇人口已经增至 42.7 万人，成为山东省的经济中心之一。

4.1.4 社团 IV 主结节—中介城镇是济宁。20 年代初，济宁“出境货……每年不下千余

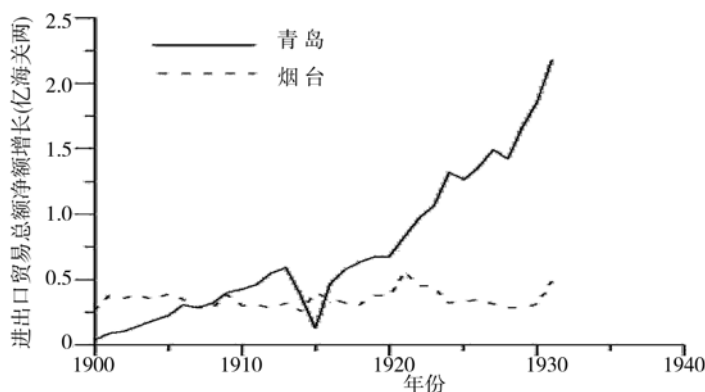


图6 1900~1931年青岛、烟台进出口贸易总额净额增长

Fig. 6 The net growth of import and export of Qingdao and Yantai from 1900 to 1931

①青岛1915年数据为1915年的9~12月份统计数据,并非全年进出口贸易净额。②单位:亿海关两

万元,入境货……每年亦不下数百万万元。区区一域,出入如此之巨,不可谓商务不繁盛”,鲁西南商品的“供给需用,皆握权本市场之商店”^①。主要原因在于民国初津兖济支线通车^②、20年代初单济(单县—济宁)、巨济(巨野—济宁)汽车路等相继兴建有关(图3)。

4.1.5 社团V 结节城镇有潍县、周村,反映了两城镇竞争的结果。其中,周村与济南铁路时间距离、经济距离过小(表5),张(店)博(山)支线开通,致使济南、博山袭夺周村的先前周边市场,集散地位下降,但迟至30年代,仍“握有长山、邹平、章丘、青城、高苑、齐东等若干县之商业枢纽”。潍县地位提升,与铁路区位相关,距离青岛、济南分别为183km、207km,火车行程均约6小时(表5),两城市袭夺能力尚不及此。

表5 民国二十四年胶济铁路部分城镇距离、价目及行车时刻表

Tab. 5 The distance, price and timetable along the Qingdao-Jinan Railway in some cities in 24th year of the Republic of China

城镇	上行				下行		离青岛 (km)	自青岛三等票价 (元)
	52次	22次	2次	51次	21次	1次		
青岛	18:00	22:15	7:35	7:00	11:30	21:40	0	0
潍县	12:45	17:16	3:01	12:15	16:30	2:18	181	2.55
周村	9:23	13:59	0:01	15:43	19:51	5:13	302	4.15
济南	7:00	11:40	22:00	18:00	22:12	7:15	393	5.35

资料来源:北方快览,民国二十四年度,第52页。

4.2 外联城镇与关键链接

4.2.1 外联城镇 外联城镇是主要承担社团间链接功能的城镇,在提高全网结构整体性方面具有重要作用。分别计算各城镇的全网与社团内度值的差值,梳理全网归一化介数在

①白眉初. 中华民国省区全志·山东省志. 中央地学社, 1925.

②津浦铁路的修筑,以德人在山东享有沿路矿权为由,济南以下舍济宁而就曲阜、滋阳、邹县,即因其地多丘陵,富煤矿。济宁绅商以修路之目的在于发展商业,济宁为鲁西南商业中心,津浦路不经济宁,实是屈从德人目的,忽视中国经济利益,自1907年,不断力争。后邮传部以修筑兖济支线为补救之方。

各社团中的分布，以介数、度大于均值+1 标准差为外联城镇的遴选门槛值，识别结果如表 6 所示。发现青岛、济南、济宁、潍县、周村为全网尺度上的外联城镇，分别隶属于社团Ⅱ、Ⅲ、Ⅳ、Ⅴ。比较表 6 和表 4，外联城镇全部属于中介城镇，这是可以理解的，因为中介城镇同时包括了社团内链接、社团间链接，而外联城镇仅仅局限于后者。

表 6 山东省土洋货流通网络外联城镇

Tab. 6 External connection cities of native products/foreign goods circulation network in Shandong Province

城镇名称	所属社团	度差	全局介数
青岛	Ⅱ	13	25.09
济南	Ⅲ	21	47.80
济宁	Ⅳ	2	4.92
周村	Ⅴ	3	4.14
潍县	Ⅴ	2	2.40

4.2.2 关键链接 仅识别全网的外联城镇并不能完整的解析城镇间链接的全貌，还需要讨论城镇间链接在全网中的重要性差异。分别计算城镇间链接的边介数，并降序排列，选择归一化边介数 1.5 以上的链接为关键链接（表 7）。

表 7 山东省土洋货流通网络外联城镇

Tab. 7 The edge betweenness of important edges in urban network of Shandong Province

城镇间链接	介数	归一化边介数	城镇间链接	介数	归一化边介数
青岛（Ⅱ）—济南（Ⅲ）	725.83	10.43	济南（Ⅲ）—周村（Ⅴ）	159.68	2.30
青岛（Ⅱ）—烟台（Ⅱ）	322.76	4.64	青岛（Ⅱ）—周村（Ⅴ）	106.42	1.53
济南（Ⅲ）—济宁（Ⅳ）	204.68	2.94	青岛（Ⅱ）—潍县（Ⅴ）	113.25	1.63

（1）青岛—济南链接。这是最重要的链接，归一化介数为 10.43，沟通社团Ⅱ、社团Ⅲ，路网依托为胶济铁路。“凡山东西部及山西、河南等省土货，欲输往外洋者，先集中于济南，再运集青岛……洋货进口欲运入我国中部者，先集于青岛而后集于济南”^[34]。济南也对省内各类市场间的商品流通发挥着间接转运职能。比如，济宁、潍县、临清、德州的皮货，绝大部分要由济南转运至青岛等。济南花生集散额为 2 万吨，55% 运往青岛。

（2）青岛—烟台链接。重要性仅次于青岛—济南链接，归一化边介数为 4.64，是社团Ⅱ的沟通之桥，链接基于海运。青岛、烟台的紧密程度可以通过彼此间的交易量看出来（表 8），二者交易量为 2194999 元，占青岛、烟台、威海、龙口四口岸总交易量的 48.66%。其中，青岛输往烟台的有 2013513 元，占二者交易量的 91.73%，烟台输往青岛的 181486 元，占烟台外输量的 44.01%。

（3）济南—济宁链接。连通社团Ⅲ、社团Ⅳ，归一化边介数为 2.94。津浦铁路、兖（州）济（宁）支线为链接的依托。“1932 年虽然输入商品的大部分来自上海……但通过津浦线兖济支线、历济（济南—济宁）公路经济南从青岛、芝罘输入货物亦为不少”。

（4）济南—周村链接。连通社团Ⅲ、社团Ⅴ，归一化边介数为 2.30，依托胶济铁路，两地相距 100km，火车运行不足两小时（表 5）。

(5) 青岛—潍县链接、青岛—周村链接。沟通社团 II、社团 V，归一化边介数分别为 1.53、1.63。“胶济铁路开通后，潍县当之中点……1928~1931 年县境内五处货运车站平均每年自青岛输入货物 116729 吨，输出货物 77272 吨”，“20 年代前后，潍县每年输出花生 91 万担，约占青岛、烟台出口量的 70%，猪鬃 4000 担，占青岛出口量的 80%”^[35]。周村每年向青岛运送棉花 2 万担、牛皮 10 万斤、羊毛 150 万斤、黄丝 3500 担，占青岛出口项目很大的比重，如棉花占 29%、黄丝占 72%。从青岛每年纱布输入额达 200 万两、杂货输入额达到 40 万两。

5 结论与讨论

论文基于 1932 年土洋货流通的基础数据，建立了城镇间的关系矩阵，讨论了 1932 年时山东省城镇间土洋货流通网络的全网特征，识别出网络中的不同城镇角色和关键链接。

(1) 城镇链接度符合幂律分布。网络连通性差，城镇节点度与聚集系数为负相关关系，结构表现为树枝状，是当时铁路网和公路网发育状况的真实反映。

(2) 全网包括 5 大社团，社团规模、自立性和地域性差异明显。其中，社团 I 为典型的单核心轴—辐结构，泰安为核心，链接城镇滕县、夏津、高唐、徐州主要位于津浦铁路以西；社团 II 为一主一副双核心结构，青岛为主核心，烟台为副核心，城镇节点主要分布在胶东半岛、胶济铁路沿线；社团 III 也为一主一副双核心，主核心为济南，副核心为天津。城镇节点主要分布在鲁西和鲁北。社团 IV 为济宁、上海的双核心结构，城镇节点主要分布在鲁西南地区。社团 V 为多核心结构，周村、莱芜、博山、周村、临朐的度值较高，城镇节点主要分布在鲁中山区。

(3) 全网结节城镇为济南、青岛、周村和济宁，全网中介城镇为济南和青岛。社团结节城镇、中介城镇相同，印证了山东省土洋货流通网络为多个星状社团组成的树状网络。

(4) 青岛—济南、青岛—烟台、济南—济宁、济南—周村、青岛—周村、青岛—潍县为全网中最为重要的链接。

本文仅是对城镇体系网络结构的初步分析。在分析过程中，仅仅考虑了城镇间土货、洋货的流通规模，没有考虑到土货和洋货流通的方向。虽然在建立有效联系矩阵时，提供了中位数方法界定有效联系，进行了 $[0, 1]$ 的二值化，但这种方法过于简单，并没有考虑联系权重的问题。另外，本文已经发现了网络中主要城市的链接网络结构的差异性，但对这种差异性的原因及外部效应并没有展开系统的讨论。这是后续研究需要关心的问题。

表 8 1936 年山东省四个开放口岸的埠际贸易额 (国币元)

Tab. 8 The internal trade volume of four open ports of Shandong Province in 1936 (National currency, yuan)

	龙口	烟台	威海	青岛
龙口	—	1340052	—	18297
烟台	174198	48	56647	181486
威海	102735	15570	—	181486
青岛	60919	2013513	360814	4953

资料来源：韩启桐. 中国埠际贸易统计 (1936~1940).

中国科学院印行，中国科学院社会研究所丛刊第 1 种，1951.

参考文献：

- [1] Smith D A, Timberlake M. 'Conceptualizing and mapping the structure of the world system's city system'. *Urban Studies*, 1995, 32:287~302.
- [2] Esparza X, Adrian, Andrew J K. Large City Interaction in the US Urban System. *Urban Studies*, 2000, 37(4): 691~709.
- [3] Taylor P J. *World City Network: A Global Urban Analysis*. New York: Routledge, 2004.
- [4] Derudder B, Witlox F. Mapping world city networks through airline flows: Context, relevance, and problems. *Journal of Transport Geography*, 2008, 16:305~312.
- [5] Derudder B, Witlox F. An appraisal of the use of airline data in assessing the world city network: A research note on data. *Urban Studies*, 2005, 42: 2371~2388.
- [6] Rossi E, Beaverstock J V, Taylor P J. Transaction links through cities: 'Decision cities' and 'service cities' in outsourcing by leading Brazilian firms. *Geoforum*, 2007, 38:628~642.
- [7] 杜国庆. 中国における都市化の地域格差とその要因. *歴史と地理*, 2003, 568:59~70.
- [8] 杜国庆. 发展中国家的城镇体系空间结构研究——以中国为例. *南京大学学报*, 2006, 42(3):225~241.
- [9] Du Guoqing. Using GIS for analysis of urban system. *GeoJournal*, 2001, 52 :213~221.
- [11] 顾朝林, 庞海峰. 基于重力模型的中国城镇体系空间联系与层域划分. *地理研究*, 2008, 27(1): 1~12.
- [12] 于涛方, 顾朝林, 李志刚. 1995 年以来中国城镇体系格局与演变——基于航空流视角. *地理研究*, 2008, 27(6): 1407~1408.
- [13] 王茂军, 张学霞, 齐元静. 近 50 年来山东城镇体系的演化过程研究——基于城镇中心性的分析. *地理研究*, 2005, 24(3):432~442.
- [13] 虞蔚. 我国重要城镇间信息作用的系统分析. *地理学报*, 1988, 43(2): 141~149.
- [14] 郭文炯, 白明英. 中国城镇航空运输职能等级及航空联系特征的实证研究. *人文地理*, 1999, 14(1): 27~31.
- [15] 金凤君. 我国航空客流网络发展及其地域系统研究. *地理研究*, 2001, 20(1): 31~39.
- [16] 周一星, 胡智勇. 从航空运输看中国城镇体系的空间网络结构. *地理研究*, 2003, 21 (3):276~286.
- [17] 薛俊菲. 基于航空网络的中国城镇体系等级结构与分布格局. *地理研究*, 2008, 27(1):23~32.
- [18] 汪明峰, 宁越敏. 城镇的网络优势——中国互联网骨干网络结构与节点可达性分析. *地理研究*, 2006, 25(2):193~203.
- [19] 陈田. 我国城镇经济影响区域系统的初步分析. *地理学报*, 1987, 42(4): 308~318.
- [20] 顾朝林. 中国城镇经济区划分的初步研究. *地理学报*, 1991, 46(2):129~141.
- [21] 周一星, 张莉. 改革开放下的中国城镇经济区. *地理学报*, 2003, 58(2):271~284.
- [22] 王茂军, 申玉铭, 高宜程. 民国时期山东城镇体系的空间组织——基于洋货空间流通的分析. *地理研究*, 2007, 26 (6): 1221~1232.
- [23] Strogatz S H. Exploring complex networks. *Nature*, 2001, 410:268~276.
- [24] 刘刚, 郭敏. 中国宏观经济多部门网络及其性质的实证研究. *经济问题*, 2009, 21(2): 31~34.
- [25] 刘宏鲲, 张效莉, 曹崑, 等. 中国城镇航空网络航线链接机制分析. *中国科学: G 辑*, 2009, 39(7):935~942.
- [26] 刘宏鲲, 周涛. 中国城镇航空网络的实证研究与分析. *物理学报*, 2007, 56(1):106~112.
- [27] 王姣娥, 莫辉辉, 金凤君. 中国航空网络空间结构的复杂性. *地理学报*, 2009, 64(8):899~910.
- [28] Guimerà R, Mossa S, Turtschi A, *et al.* The worldwide air transportation network anomalous centrality, community structure, and cities global roles. *Pnas*, 2005, 102(22): 7794~7799.
- [29] Guimerà R, Amaral L A N. Modeling the world-wide airport network. *The European Physical Journal B*, 2004, 38: 381~385.
- [30] 安作璋. 山东通史现代卷(上、下). 济南: 山东人民出版社, 1994.
- [31] 東亞同文書院大學, 東亞同文會, 東亞同文會 (Japan) 編纂局. 支那經濟全書, 1908.
- [32] 杨天宏. 口岸开放与社会变革——近代中国自开商埠研究. 北京: 中华书局, 2002.
- [33] 何炳贤. 中国实业志·山东卷, 实业部国际贸易局出版, 1934.
- [34] 庄维民. 论山东沿海城镇与内地商业的关系——以烟台、青岛与内地商业的关系为例. *中国经济史研究*, 1987, 2 (2):83-96.

Study on structure of urban network in Shandong Province and on identifying city-roles in the network: Based on the analysis of circulation network of native products/foreign goods in the Republic of China

WANG Mao-jun, TIAN Li-ying, YANG Xue-chun

(College of Resource Environment and Tourism, Capital Normal University, Beijing 100048, China)

Abstract: Through complex network analysis and based on the data of circulation of native products and foreign goods between cities and towns of Shandong Province, the relation matrixes between cities are established in the paper, the whole network structure characteristics of circulation network in the province in 1932 are explored, and roles of cities and key links are identified in the network. Four findings are obtained in this paper. First, the degree of cities followed power-law distribution, which means most cities had low degrees and only a few had high degrees. The connectivity of this network was poor. The correlation between degree and clustering coefficient of city nodes was negative. The dendritic structure was the true portrayal of the development situation of railway network and road network at that time. Second, the whole network had six communities. The scale, independence and regionalism of each community had obvious differences. Third, the hub nodes of the whole network were Jinan, Qingdao, Zhoucun and Jining. The betweenness cities of the whole network were Jinan and Qingdao. The sameness of hub cities and betweenness cities confirms again that the Shandong circulation network of native products and foreign goods was a dendritic network that contained several star-shaped communities. Fourthly, the most important edges were Qingdao-Jinan, Qingdao-Yantai, Jinan-Jining, Jinan-Zhoucun, Qingdao-Weixian in the whole network.

Key words: urban network; network structure; network role; Shandong Province