

中国嵌入“21世纪海上丝绸之路”航运网络的关键节点识别

王 成¹, 王茂军^{1*}, 王 艺^{1,2}

(1. 首都师范大学 资源环境与旅游学院, 北京 100048; 2. 泛华集团, 北京 100067)

摘 要: 共建“21世纪海上丝绸之路”重大倡议的提出, 疏通了东西方经由航运往来, 实现全要素“流动”的海上通道, 拓展了中国连接世界经济的新型贸易之路。本文基于航运往来关系, 引入社会网络分析方法, 分析中外整体航运网络空间结构及核心—边缘格局, 结合嵌入广度、嵌入深度和网络中介功能, 类比不同地区航运网络嵌入模式差异; 综合考量中外港口节点的网络中心地位和现实航运能力, 识别航运网络中的功能节点。研究发现: ①沿线航运网络呈现以中国—东南亚地区紧密关联为重心的“镐头”状空间格局, 上海、深圳、新加坡、巴生港共同架构起沿线港口低耗高效的轴辐式关联网络结构; ②过滤得到关联骨干网络和核心网络, 并识别出关联广度和强度差异的海外港口特殊节点和核心节点; ③港口嵌入航运网络的方式大致可分为以中国和东南亚港口为代表的(广度、深度、中介功能)层级嵌入模式和以非洲、南西亚—中东、南亚和欧洲地区为代表的均质嵌入模式; ④中国港口外向关联强度层级特征明显, 识别出潜在复合型枢纽港、外向干线港、内向直挂港、中介支线港和边缘喂给港五种类型的港口节点, 并明确分工提出发展建议, 以期有效协调港口组织格局和节点功能互补共进, 强化“21世纪海上丝绸之路”的通道价值。

关键词: 21世纪海上丝绸之路; 航运网络; 对外关联; 网络格局; 关键节点

1 引言

由国务院授权, 国家发展和改革委员会等(2015)发布的《推动共建丝绸之路经济带和21世纪海上丝绸之路的愿景与行动》, 是中国践行包容性全球化机制的集中体现。2017年5月举办的“一带一路”首届国际合作高峰论坛, 再次彰显了中国就共同构建人类命运共同体所做出的努力和贡献。“一带一路”并非字面意义上的条带状封闭空间, 它是一个开放性的国际区域经济合作网络(刘卫东, 2015)。“21世纪海上丝绸之路”(简称“海上丝路”)作为建设“一带一路”的重要分支, 致力于助推中国与

沿线国家开展港口航运和经济贸易等重要领域的合作交流。其中, 港口对接和港口合作建设则是构筑“海上丝路”的有效切入点(付邵武, 2016)。

港口作为带动腹地经济社会发展的战略支点, 是衔接海向腹地和陆向腹地的重要节点(范斐等, 2015), 随着现代航运事业的发展, 港口逐步成为多元生产要素的整合平台, 其基本功能是经济腹地与其他区域尤其是国际区域之间“要素流”的集汇点(张梦天等, 2016), 而承载着多元生产要素流动的海上航运, 无疑是编织这张流通网络的重要经脉, 实现下水港和接卸港所在城市区域之间的传统货流和资金、技术、人才、信息等多要素的全面流通, 架

收稿日期: 2017-09-15; 修订日期: 2018-05-15。

基金项目: 国家自然科学基金项目(41771183); 中国科学院战略性先导科技专项(A类)项目(XDA20010101) [Foundation: National Natural Science Foundation of China, No.41771183; Strategic Priority Research Program of the Chinese Academy of Sciences, No.XDA20010101]。

作者简介: 王成(1989-), 女, 山东青岛人, 博士研究生, 主要研究方向为城市网络, E-mail: wangchengcnu@163.com。

通讯作者: 王茂军(1973-), 男, 山东临沂人, 教授, 主要从事城市地理研究, E-mail: maojunw@yeah.net。

引用格式: 王成, 王茂军, 王艺. 2018. 中国嵌入“21世纪海上丝绸之路”航运网络的关键节点识别[J]. 地理科学进展, 37(11): 1485-1498. [Wang C, Wang M J, Wang Y. 2018. Identification of Chinese key nodes in the shipping network of the 21st Century Maritime Silk Road[J]. Progress in Geography, 37(11): 1485-1498.]. DOI: 10.18306/dlkxjz.2018.11.005

构起港口城市区域的“流动空间”(Castells, 1989)。

港口城市作为区域向海洋谋生的门户,在推动城市/区域外向嵌入世界城市体系过程中发挥着重要的媒介作用,港口生产性服务活动的网络区位模式分析,则为我们提供了一个研究城市融入世界城市网络(WCN)框架的良好机会(Jacobs et al, 2010),而各港口节点在整体航运网络中的关联位置,则成为决定港口城市内外向枢纽功能发挥、影响港口城市嵌入世界城市网络效率、制约港口所在国家参与国际区域经济合作深度的重要变量。

但是,经济地理学者和区域经济学家针对港口的相关研究,多关注港口与陆向腹地的关系,研究船舶大型化对于港口城市拓展的影响(Bird, 1971),基于Huff模型(姜晓丽等, 2013)、烟羽模型(李振福等, 2014; 曹琳霞等, 2016)划分港口内向腹地范围,揭示腹地经济发展和组织结构对港口发展的空间响应(董晓菲等, 2016; 何丹等, 2016);或遵循垂直等级体系的组织格局研究范式,归纳出港口体系演化阶段模型(Taaffe et al, 1963; Hayuth, 1988),基于港口规模(孙世达等, 2016)、集装箱吞吐量(程佳佳等, 2015; 王绍卜, 2016)、港口航运产出(陈文巧等, 2013)等规模属性的时空变迁,探讨港口规模的区域差异和等级规模演化趋势及其动力机制,而忽视了海内外节点之间的横向航运关联结构及其赋予港口的网络功能地位,难以显示港口城市在对外航运网络格局中的关联位置,导致重属性等级而轻关联结构研究。

近年来,虽有研究基于复杂网络理论(王列辉等, 2016),构建以港口之间的航线连接(李振福等, 2014)、港口吸引度和海运距离(蹇令香等, 2016)为关联媒介的网络模型,开展港口关联网络拓扑结构及港口节点的网络地位研究,证明了航运网络对港口发展的重要意义,但相关研究主要是基于全球航运网络,探讨国家尺度的整体关联结构,并基于关联规模差异,划分网络凝聚子群及核心—边缘结构(邹嘉龄等, 2016),忽视了对航运活动承载主体即港口城市的网络地位的具体识别;同时也未能深入讨论港口附着的城市,作为航运关联行为主体的现实航运体量差异,未能将港口自身的运输能力与航运

网络关联中心地位进行有机结合,重关联结构而轻现实属性研究。

对于海洋航运线路组织结构的优化,是伴随着“一带一路”建设应运而生的地理学议题(刘卫东, 2015),而对于航运网络的整体关联特征和关键港口节点识别,则是网络优化的前提。“21世纪海上丝绸之路”沿线15个港口城市纵列于东部沿海地区,堪称中国的“蓝香蕉地带”^①,其海外航运关联组织格局,将在一定程度上关系到中国外向经济发展战略空间的合理展布。15个港口的承运规模与其在整体航运网络中的功能地位是否匹配,哪些港口属于要素“流空间”中“人小辈分大”^②而具有隐性影响力和控制力的节点,这都是值得我们深究的重要议题。本文将糅合上述两类研究的优点,同步关注港口节点的运量属性等级和航运网络关联结构赋予港口节点的中心性,综合考量中国港口节点的网络中心地位和现实航运体量,识别航运网络中的突出功能节点,解答上述疑惑。

2 研究数据

2.1 数据来源

本文数据来源于“中国港口网”,该网站拥有中国9万多个物流企业的详细信息、30多万条船舶基本概况、10多万条权威船舶的详细资料,是国内最全面的港航物流信息平台 and 口岸业务平台,也是CCTV《数说命运共同体》栏目航运数据的独家提供方。课题组从官方网站获取全球24条热门航线,共计377729次航运往来(表1),其中起始港和目的港是要素流动最主要的起迄点,是航运网络中的关键性门户节点,具有卸货或换装其他运输工具的现实中转功能,故而将其作为本文的主要关注对象;挂靠港仅仅是在航运中途挂靠补给的港口,并非真正意义上的中介转运港,故而将航线信息中的挂靠频次作为评价港口节点网络中介功能的现实参考。据此整理得到2014年中国主要港口节点与“21世纪海上丝绸之路”沿线主要港口的航运往来航次。需要注意的是,该数据仅标度各港口节点之间的关联密切程度,并未涉及船型信息及其对应的港口之

①1989年,法国地理学家布吕内(Roger Brunet)提出“蓝香蕉”的概念,指从英国经过荷兰、比利时、西德和瑞士,到意大利,欧洲中西部且经济发展强劲的地带。这里曾是欧洲人口、资金和工业最集中的地区。因该地带形似香蕉,故称“蓝香蕉地带”。

②樊杰, 2015年8月13-14日,第四届山地城镇可持续发展专家论坛,题为《“一带一路”战略对我国发展格局的影响及内陆对外通道体系建设策略》的大会学术报告

第 k 组的泰尔指数, \bar{Y}_k 表示第 k 组各港口对外航运次数的平均值, \bar{Y} 表示各组港口对外航运次数的总和的平均数。全局泰尔指数为东部、北部、南部沿海三大区域的内部差距及组间差距之和。

3.2 社会网络分析方法

不同港口城市提供的直接准入能力不同, 为其腹地地区提供的外向链接服务也有所差异, 高关联中心性的港口节点能够更便捷地接近网络中的信息或者资源。为识别国内外港口中的核心节点, 借助社会网络分析方法(SNA), 对中外港口 2-模航运关联网络进行中心性分析(表 3), 从港口节点的网络中心性和整体网络视角, 筛选中介枢纽地位突出的港口节点, 并通过分析关键港口节点的个网特征, 刻画整体网络的核心—边缘结构(表 3、表 4)。

4 结果与分析

4.1 板块国家层面整体关联展布

就板块国家层面的中外港口整体航运关联空间格局(图 1)而言, 总体遵循距离衰减规律, 与此同

时, 还有部分关联受到特殊地理位置、所在地区经济体量等区位因素的影响。其中, 与中国空间地域邻近的东南亚板块是中国航运关联最为频繁的地区, 板块内部的新加坡、马来西亚、越南、泰国都是“海上丝路”沿线与中国航运往来密切的国家。由于马六甲海峡位居中欧航运通道的咽喉之地, 极大程度上提升了该地区主要国家的航运功能。其中, 新加坡作为亚太地区最大的转口港, 扼太平洋及印度洋之间的航运要道, 是中国外向航运关联的首选之地; 马来西亚拥有巴生港、宾土卢、檳城、古晋四个重要港口, 与新加坡同为中国联通东南亚最主要的港口门户; 而另外一种类型的国家与中国发生密切的航运联系, 主要得益于其特殊的地理位置所赋予的突出的中介转运功能, 一定程度上克服了空间距离阻尼的影响。例如非洲板块中的埃及坐拥苏伊士运河这一连通红海和地中海的关键通道, 成为大型船舶换乘的重要节点, 并因此提升了埃及在“海上丝路”沿线航运中的咽喉地位, 其经由苏伊士港、塞得港、亚历山大港等航运活动繁盛的港口, 与中国的航运关联强度仅次于东南亚板块。

表3 中外港口节点2-模网络测度指标
Tab.3 Measurement index of 2-mode network of port nodes in China and foreign countries

指标	表征含义	测算原理	测算方式
度数中心度 (关联广度)	表征港口的实际航线数量, 直观反映某港口节点为其腹地提供的外向航运链接的广度和机会大小。	与港口节点 <i>i</i> 存在直接航运关联的节点 <i>j</i> 的数量总和。	$k_i = \sum_{j=1}^n a_{ij}$
关联频次 (关联强度)	港口之间的关联强度。	港口节点 <i>i</i> 和节点 <i>j</i> 之间的直接航运关联次数总和。	$Q_i = \sum_{j=1}^n q_{ij}$
接近中心度 (航运效率)	港口节点由于自身为数不多的直接链接对象拥有更多的直接链接对象, 从而获得较高的间接参与网络的机会。	港口节点 <i>n_i</i> 与同类节点、他类节点的最短路径长度之和。式中, <i>g</i> 、 <i>h</i> 是中、外港口数, 中国港口 <i>k</i> 与外国港口 <i>i</i> 邻接。	$C_c^{NM}(n_i) = \left[1 + \frac{\sum_{j=1}^{g+h} \min d(k, j)}{g+h-1} \right]^{-1}$
中间中心度 (中转功能)	某港口位于其他港口城市关系的捷径上, 这类港口作为高效中转站, 能在竞合过程中打破其他港口城市的共谋而获得额外利好。	如果给定的一对港口节点(<i>n_i</i> , <i>n_j</i>)仅与一个港口节点 <i>m_k</i> 发生关联(即 $X_{ij}^N = 1$), 则港口节点 <i>m_k</i> 的中介度增加 $1/X_{ij}^N$ 个单位。	$B_{n_i} = \frac{1}{2} \sum_{n_j, n_j \in m_k} \frac{1}{X_{ij}^N}$
核心—边缘 结构	综合考量个体港口节点的网络中心性, 定量计算各港口节点的核心度, 识别网络地位更高的核心关联对, 并合理设定阈值划分港口网络中的核心边缘结构。		块模型法

表4 中外港口块模型分析方法筛选
Tab.4 Screening of block model analysis of Chinese and international ports

关联强度过滤阈值	核心—边缘		分派分析	
	初始拟合优度	最终拟合优度	初始拟合优度	最终拟合优度
均值~78	0.696	0.904	0.274	0.414
前 10%~166	0.509	0.853	0.272	0.332
标准差~255	0.396	0.807	0.199	0.298

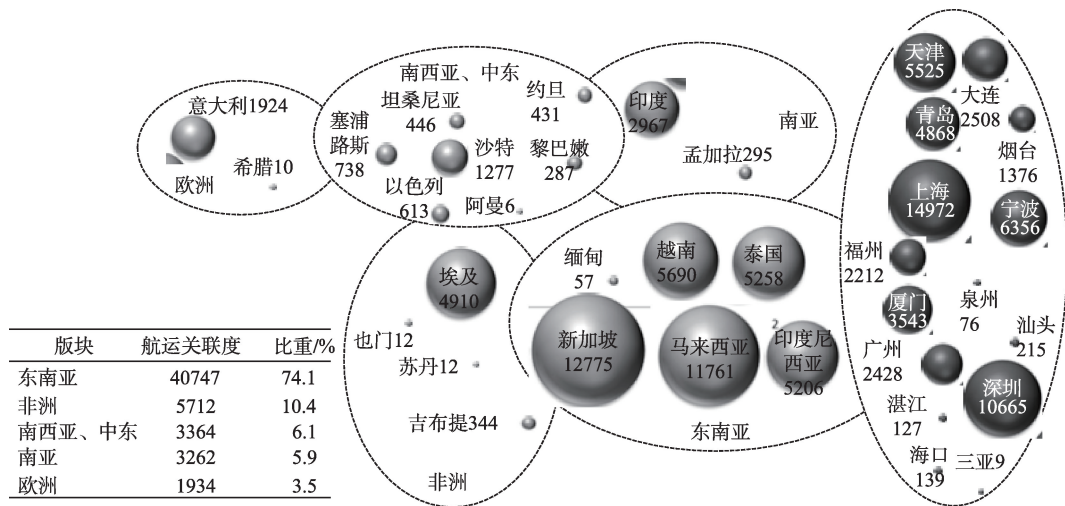


图 1 五大板块各国与中国航运关联强度简图

Fig.1 Shipping connection intensity between countries in five major region and China

而同为非洲板块的其他港口所在地,并无明显的地理位置优势,对外经贸往来以腹地型贸易为主,但由于内向腹地经济相对欠发达,使得该地区的大部分港口与中国航运关联相对稀疏;南西亚—中东风板块与中国航运关联的参与节点数颇多,但各自体量较小,总体关联强度不及非洲,但少数港口节点由于其隶属区域突出的经济规模优势,而获得了广泛参与航运网络的机会。其中,沙特的吉达港、以色列的海法港、塞浦路斯的累梅索尔等港口节点,架构起中国与南西亚—中东地区航运关联的重要桥梁;南亚的印度和欧洲的意大利分别作为两大板块的门户,成为与中国航运连通的主要区域。

4.2 中外港口节点网络功能定位

4.2.1 中外港口关联整体网络格局

“海上丝路”力图将贸易从中国沿海港口经南海引向印度洋并延伸至欧洲。2014 年中国沿海 15 个港口到达“海上丝路”沿线重要港口的航运频次高达 55019 航次,并由此架构起港口所在国家和地区之间高密度的航运关联网络,疏通了地区间要素流动的多元通道,极大程度上提升了沿线国家的经济贸易和社会文化往来。

东南亚地区自古就是“海上丝路”的重要枢纽和组成部分,就整体关联空间格局(图 2)而言,沿线中外港口之间航运网络空间格局,以中国港口与东南亚地区港口的高频次密切关联为重心呈“镐头”状,关联频次占据整体网络关联强度的 74.06%;中非和中欧港口城市相对低强度的航运往来为“手

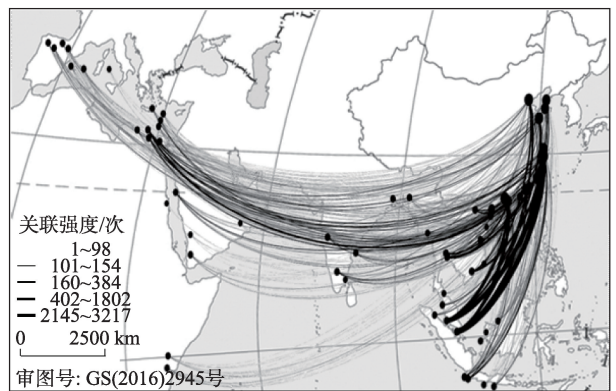


图 2 “海上丝绸之路”沿线 62 个主要港口航运关联

Fig.2 Shipping relationship between 62 ports along the Maritime Silk Road

柄”,占航运关联强度的 3 成。

过滤航运关联强度前 10%(≥166)的港口关联设为骨干网络(图 3),识别航运关系最为紧密的中外港口关联。结合网络拓扑结构发现,上海港作为全网首位关联节点,与沿线 97.4%的港口均有直接航运往来;宁波—青岛、深圳—天津、福州—大连—烟台—广州—厦门的外向关联共享节点较多,具有较强的关联同构性。上海—新加坡(3271)、上海—巴生港(2694)、深圳—新加坡(2145)、深圳—巴生港(1802)是全网强度最高的航运关联,架构起“海上丝路”沿线港口轴辐式关联网络格局,高效地组织全网货物集散从而产生网络集群效益。

进一步借助块模型法(block modeling)识别网络中的核心关联和关系组团,该方法包括核心一边

缘分析和分派分析。对比各种关联强度阈值设定下,两种块模型法的拟合优度(表4),最终选取拟合优度最佳(0.904)的关联强度平均值(78)为阈值,将中外关联矩阵进行二值化处理得到[0,1]布尔网络。若某外国港口城市b与中国港口城市a存在航运互动频次超过该阈值,则认为城市a、b间存在紧密关联,记为1,反之记为0。得到由多个交替P环($\rightarrow K-Cp$)架构而成的中外航运关联核心网络(图4)。此处的“核心”实为经常“共现”的中外港口聚类,可以反映出互动更为广泛且频繁的航运关联。

对比发现两个网络拓扑结构中所涉及的中国节点大致相当,共享节点包括上海、深圳、宁波、青岛、厦门等港区,天津港区的对外关联强度较大,且与其他港口关联对象的异质性较高。两个网络拓扑结构中共同涉及新加坡、巴生港、林查班等15个海外港口节点,此类节点不但参与了港口之间强度最高的航运网络关联,同时也是“共现”次数最多的节点,在全网中拥有紧密而从众的联系。槟城、海法、马德拉斯等6个港口仅出现在关联强度前10%的骨干网络中,与中国主要港口有密切的航运往来,同时具有较强的专属性。里窝那则是核心关联网络独有的港口节点,与海外港口广泛“共现”但与中国港口航运关联并不紧密(表5)。

比较中外港口节点中心性位序—规模分布规律(图5),发现均存在末位节点中心性骤降的情况。其中,中外港口度数中心度的递减速度分别为-0.127和-0.025,接近中心度递减速度分别为-0.053和-0.004,表明中外港口关联广度的差异

性高于港口航运沟通效率的差异;就中间中心度的变动而言,中国港口的中间中心度递减速度(-0.305)明显高于外国港口(-0.087),表明中国港口节点的中介转运功能的差异更为明显。

就各地区内部而言,中国作为航运关联的起迄点,港口的网络关联度存在较为显著的层级差异,而东南亚作为与中国航运关联最为密切的地区,主要港口的关联广度和强度同样表现出层级特征。由于非洲、南亚、南西亚—中东和欧洲地区参与“海上丝路”航运网络的港口数量有限,故而内部竞争压力较小,参与其中的港口节点均广泛与中国港口发生航运往来,嵌入网络的广度相差无几,但具体到不同地区港口的关联广度、强度和中介转运功能之间的匹配关系却存在差异(图6),具体表现为:

中国、东南亚、非洲的港口节点对外关联强度和关联广度呈对数相关,决定系数 R^2 分别为0.94、0.86和0.83,表明上述区域港口节点的度中心度随着对外关联频次的增长而快速提高,当度中心度达到一定水平之后增速明显放缓,处于高位均衡状态。就网络中间中心度(中转功能)而言,中国和非洲港口的变动趋势与关联广度和关联强度基本一致,港口节点广泛而紧密地嵌入航运网络,并赋予该地区港口节点网络中心优势;由于嵌入航线的被动性和周边同质港口的竞争性,致使东南亚港口部分节点存在网络中心度不匹配的情况,例如与泗水港和槟城发生直接关联的港口拥有较少的链接对象,从而使其少有间接参与航运网络的机会,与东南亚地区其他港口节点相比,网络中介转运功能相对较弱。

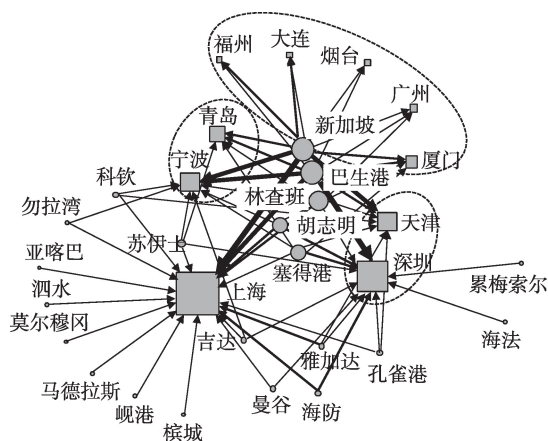


图3 关联强度前10%的中外港口网络关联格局
Fig.3 Connection network pattern of the top 10% ports of highest connection intensity

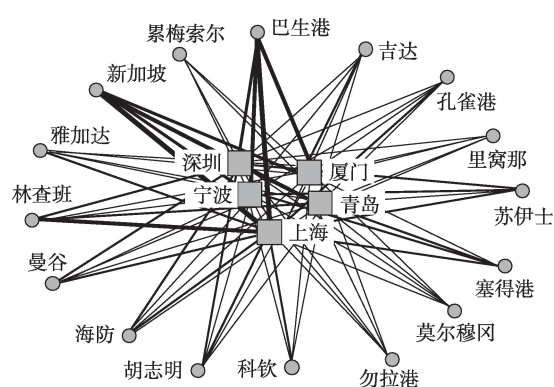


图4 中外港口核心关联网络格局
Fig.4 Core connection network pattern of Chinese and international ports

南亚、南西亚—中东和欧洲地区主要港口的关联广度与关联强度呈幂相关关系,其中,南西亚—中东地区关联广度随关联频次的增加其拓展速度稍快,且中介转运功能也随之提升;南亚和欧洲地区港口嵌入航运网络的广度并未随航运频次的增加而明显拓展,甚至略有下降,且中介转运功能也未呈线性提升。例如印度的马德拉斯、意大利的那不勒斯等,由于其重点链接网络中的少数节点,直接和间接关联对象相对有限,故而网络中转功能优势并不显著。综上,有必要跟进识别中介转运功能

和航运沟通效率较高的中外港口节点,“以重点港口为节点,建设通畅安全高效的运输大通道”。由于中国港口的度中心度与接近中心度有极高的线性相关性(图 7),在此仅讨论度中心度、中间中心度与港口属性变量的对应关系。

4.2.2 海外港口关键节点识别

将中外航运关联 2-模矩阵进行方阵转置和对称化处理,借由 core-periphery 测算中外港口节点在整体网络中的核心度。总体来看,“海上丝路”沿线中外港口网络中心性层级差异明显,表现出较强的

表 5 隶属于两个网络中的港口节点
Tab.5 Port nodes belonging to two networks

骨干网络独有节点	核心关联网络独有节点	两网共有节点
强而独专:天津(1);槟城、海法、马德拉斯、泗水、岷港、亚喀巴(6)	泛而不强:里窝那(1)	强而从众:上海、深圳、宁波、青岛、厦门(5);新加坡、巴生港、林查班、胡志明、塞得港、雅加达、海防、曼谷、苏伊士、科钦、孔雀港、吉达、莫尔穆冈、勿拉湾、累梅索尔(15)

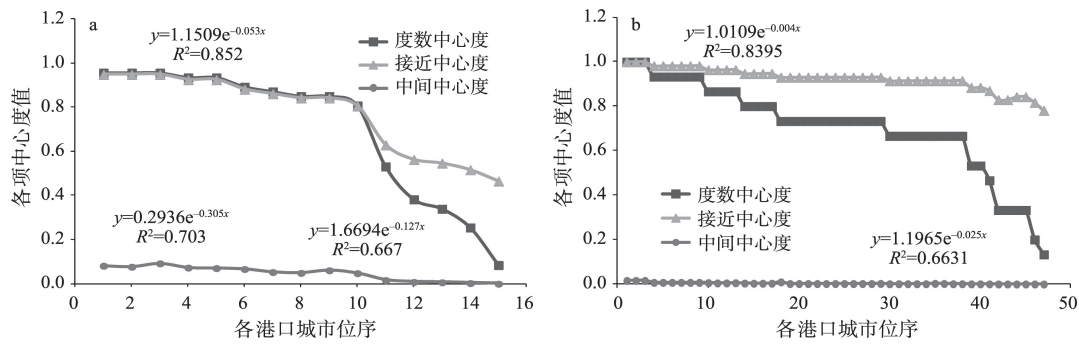


图 5 2014 年中(a)外(b)航运网络节点中心性位序—规模图
Fig.5 Network centrality rank-size map of port nodes in China and foreign countries, 2014

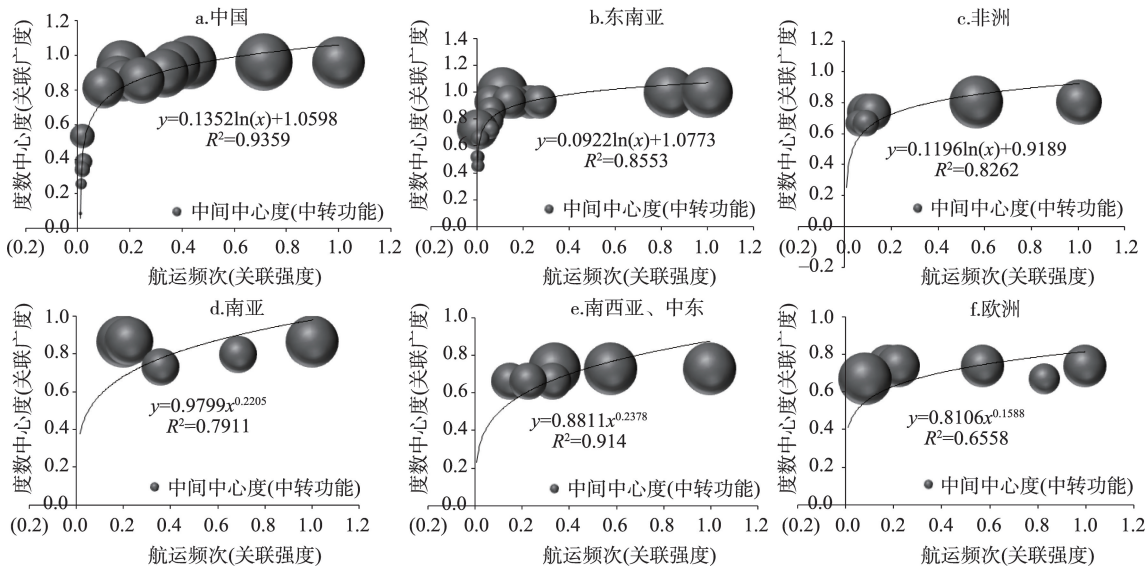


图 6 不同地区港口节点的网络中心度分布情况
Fig.6 Network centrality distribution of port nodes in different regions

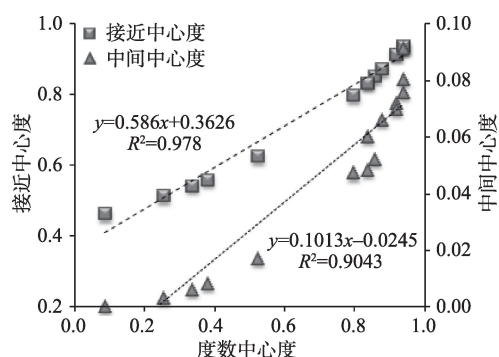


图7 中国港口中心度相关关系

Fig.7 Correlation between China's port centrality

首位港口集聚现象。上海(0.550)、深圳(0.285)、宁波(0.191)、天津(0.168)、青岛(0.141)、新加坡(0.552)、巴生港(0.375)、林查班(0.126)、胡志明港(0.111)、塞得港(0.086)分别列居中、外港口关联核心度前5位。结合港口节点的三类网络中心度,可以进一步识别各港口在网络中的功能地位。

传统的港口体系一般包括枢纽港、非枢纽港、直挂港、干线港、支线港、喂给港和小型港口等基本类型的港口(Wang et al, 2004; Komadina et al, 2006; 王成金, 2012)。结合各港口节点的对外关联强度和各项网络关联中心度,综合分析“海上丝路”沿线港口的网络地位,分别对中外港口节点进行系统聚类,并结合航运关联网络的中心性平均水平,将海外港口划分为核心枢纽港、中介直挂港、中介支线港、专向干线港和边缘喂给港5种主要类型。

就海外港口而言(图8),第一层级的新加坡是亚太地区最大的转口港,巴生港是马来西亚的最大港口和著名的国际转运港,两大海外港口与中国15个主要港口均保持高强度的关联,是中国外向航运关

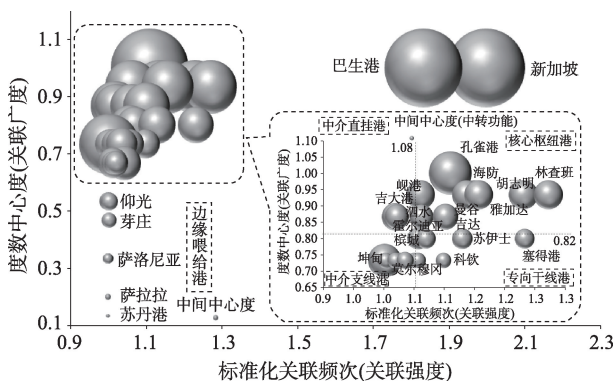


图8 外国港口节点中心性类型划分

Fig.8 Classification of centrality degree of international port nodes

联的海外首位节点。位于印尼连接爪哇岛与苏门达拉岛的孔雀港、越南北部的海防港和南方最大港口胡志明港、泰国最大的港口曼谷港及其早期的集装箱中转港区林查班港、沙特阿拉伯的最大集装箱港吉达港等,均为航运网络中的“三高”核心港口,与巴生港和新加坡同为核心枢纽港。

越南的第四大城市岘港、印度南部以散杂货物运输为主的霍尔迪亚港、孟加拉国最大的港口吉大港虽与中国港口关联频次有限,但其关联广度、网络中介转运功能明显高于同一关联频次层级的其他节点,是中外航运网络中重要的中介直挂港。值得注意的是,印度尼西亚的坤甸作为典型的华人社会,虽与中国航运关联强度极低,但其关联广度涉及国内11/15个主要港口,使其具备了同等级港口所没有的中介转运优势;印度最大的铁锰矿石输出港莫尔穆冈同为此类型港口,其在整个航运网络中的转运地位不容小觑。与之相反,素有“阿拉伯海皇后”之美誉的印度港口科钦、位于埃及苏伊士运河南端的苏伊士港和全国第二大港塞得港的航运关联相对较为集中,与中国港口虽有分别高达1314、1669、2975次的航运往来,却并未因此获得较为突出的网络结构优势,仅将其界定为专向干线港。

为避免低估现实航运关联中,发挥重要挂靠、转运功能的海外港口节点,统计表1中所示的377729次航运往来中,各主要节点的挂靠频次,发现除坤甸和孔雀港之外,各港口的网络中间中心度与现实的挂靠中转能力较为一致,而坤甸和孔雀港则作为网络中介地位较为突出,却并未在现实航运往来中发挥相应体量的挂靠/转运功能的港口节点而被识别(图9),并可作为后续航线调整,拓展多元中转渠道的重要对象。

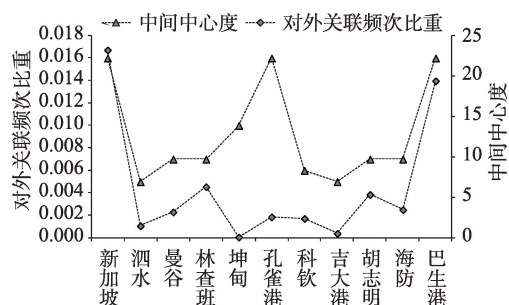


图9 主要海外港口网络中心性与挂靠频次

Fig.9 Network centrality and connection frequency of major international ports

4.2.3 中国港口功能节点判定

就中国港口而言(图 10),上海、深圳、宁波和天津对外关联的强度和广度以及中介转运功能均遥遥领先,是航运网络中的核心枢纽港。其中,深圳的中间中心度(0.093)最为突出,在中国对外航运网络中具有极高的航运效率,是与“海上丝路”沿线各港口物资交换的便捷转运通道;上海的中间中心度相对略低,需适时校正关联网络格局,以期改善航运沟通效率;宁波和天津作为次一级的港口,其对外关联频次略有下降,但仍保持着较高的关联广度和中转功能,同样也可承担对外航运的枢纽功能,而广州港区虽表现出广泛的外向链接和转运功能,但对外联系强度却略显薄弱,将其界定为中介直挂港;青岛的关联方向相对而言较为专一,将其定义为专向干线港。

厦门、大连、福州、烟台对外联系强度进一步减弱,但接近中心度仍保持在 0.8 以上,与海外节点的航运网络拓扑距离相对较短,能够有效降低转运成本。湛江、汕头、海口、泉州、三亚自身的港口规模相对较小,对外关联广度和强度都较为有限,上述两组港口可以充当对外关联的边缘喂给港,有效发挥补给分流的辅助作用。

上述分析结合系统聚类 and 中心度均值,已将各港口进行初步的层级划分,但仅依据网络关联广度、强度、便捷通达度等网络结构指标,尚无法有效结合港口现实航运能力,综合判断中国主要港口在对外航运活动中的实际功能发挥情况。故而本文将进一步综合考虑已有研究中得出的港口综合竞争力指数(阮红伟等, 2016),结合港口的货运吞吐量和外贸货物吞吐量,挖掘中国对外航运网络中的特殊节点。

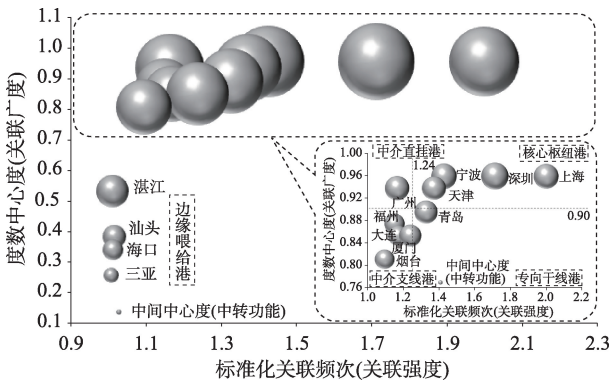


图 10 中国港口节点中心度类型划分

Fig.10 Classification of centrality degree of Chinese port nodes

对比中国 15 个港口对外关联频次、货物吞吐量和外贸货物吞吐量的泰尔指数(图 11)发现:就全局而言,航运对外关联频次存在较为突出的区域间不平衡性,THI 为 0.60;就各个空间单元内部而言,北部沿海地区外贸货物吞吐量相对而言更为集中,存在外向关联地位较为突出的门户节点;东部沿海地区虽然仅有两个港口,但对外航运关联却仍较为集中,THI 值为 0.08,高于北部沿海;南部沿海地区各项 THI 均较为突出,尤其是对外航运关联明显集中于少数港口节点。各空间单元内部不同属性指标的泰尔指数差异,佐证了综合港口网络关联度和航运实力进行关键节点识别的必要性。

具体到各个港口,结合图 12a 对比港口节点货物吞吐总量和外贸货物吞吐量发现,位于第一象限的宁波、上海、青岛、天津的综合航运功能优势明显,第二象限的广州和大连内向货运服务功能较为突出,深圳港的外贸货运功能占主导。综合外贸吞吐规模与港口对外关联频次的关系(图 12b),发现上海、深圳、宁波、天津、青岛的对外关联频次较高,结合港口综合竞争力指数可见,青岛港和宁波港外向运输能力载荷超越其综合竞争力水平,广阔的陆向腹地激发了港口的外向关联活力;广州港则与之对比鲜明,其外贸货物吞吐量及其对外关联频次均相对较低,与港口的综合竞争力水平不相匹配,外向关联仍有较大的拓展空间,其中一个重要原因是广州与香港的航运往来占据其航运活动的较高份额。

厦门港的对外关联强度较高,而外贸货物吞吐量却相对较低,从侧面反映出这一时期厦门港着力推进腹地发展战略,纵深拓展粤东腹地,致使外贸运输效率相对较低;此外,该地区内贸煤炭进口量

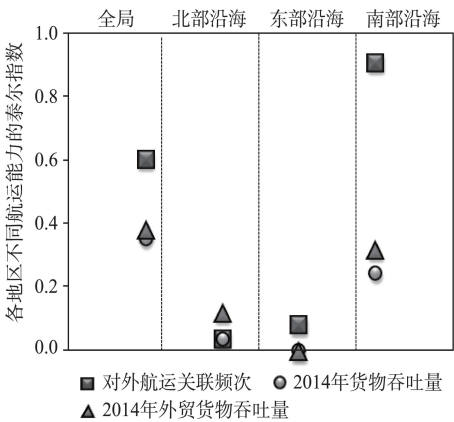


图 11 全局及各空间单元内部泰尔指数

Fig.11 Theil index of global and individual spatial unit

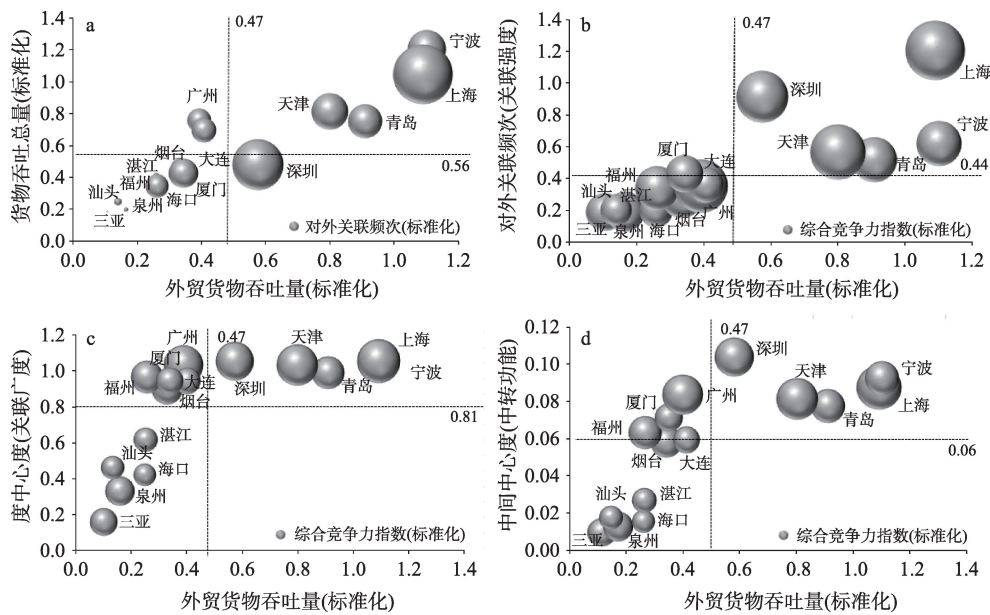


图12 网络中心度与港口运输能力的相关关系

Fig.12 Relationship between network centrality degree and port transportation capacity

的增加,一定程度上挤压了外贸货物吞吐量。除厦门港之外,“海上丝路”沿线的其他14个港口的外贸货物吞吐量与对外关联频次基本遵循高一高、低一低的正相关组合模式,隐藏了部分“人小辈分大”的港口,难以全面识别中外航运网络中,对外关联频次相对较少,却承担着广域关联和中介功能的关键节点。

进一步结合港口对外关联广度和中间中心度绘制图12c,发现位于第二象限的广州、福州、厦门、大连、烟台等港口连接了全网绝大多数海外港口节点,但外贸货物吞吐量相对较少,单次外向关联效率较低,主要开展支线航路的广域关联。最终结合港口节点的中间中心度(图12d)发现,上述节点虽广泛嵌入“海上丝路”沿线航运网络,但部分节点并未因广泛的网络连接而获得相应体量的中介效应。其中,烟台、大连虽有较高的外向关联广度,但其所在的网络位置,一定程度上削弱了其衔接国内外航

运关联的中介转运能力。深圳、宁波、广州的中间中心度相对较高,在航运网络中的中介地位较为突出,但图12b和12c已印证广州港存在外向关联强度相对薄弱、单次外向关联效率较低的情况,发展成为国际中转港的条件尚未成熟,后续应充分发挥其现实区位禀赋,拓展外向关联功能。

综上,结合港口节点的网络中心地位和内外向实际货运量,参照传统港口的基本类型,将15个中国港口节点划分为五种主要类型(表6)。其中,上海、深圳、宁波网络中心地位突出,对外航运关联广泛且关联强度较高,实际外贸货运量也位居前列,能同时获得陆向腹地和海向腹地的货箱喂给,具备大规模国际航运业务并已发展成为复合型枢纽港。

青岛和天津港区的外向货运服务体量较大,且在航运网络中同样占据优势中心地位,属于外向关联干线港口,并具有打造外向航运枢纽的可能。广州和大连港区航运关联广泛,但关联强度相对较弱

表6 中国15个主要港口类型划分

Tab.6 Classification of 15 major ports in China

类型	港口	对外关联频次/次	比重/%
复合型枢纽港(3)	上海、深圳、宁波	31993	58.15
外向干线港(2)	青岛、天津	10393	18.89
内向直挂港(2)	广州、大连	4936	8.97
中介支线港(3)	厦门、福州、烟台	7131	12.96
边缘喂给港(5)	湛江、汕头、海口、泉州、三亚	566	1.03

且外贸货运量占比较低,故而将其界定为内向直挂港;厦门、福州和烟台港区的现实航运规模相对较小,但其对外关联度相对较高,具有网络结构优势所赋予的中介地位,将其界定为中介支线港。湛江、汕头、海口、泉州和三亚港区由于受自身外运规模和网络结构功能地位的限制,货运量和网络中心地位优势不显,可作为边缘喂给港,发挥航运分流、挂靠和补给等辅助功能。

5 结论与讨论

5.1 结论

“海上丝路”作为共建“一带一路”的重要组成部分,疏通了沿线国家和地区政治、经济、社会、文化要素“流动”的海上通道。本文基于航运往来关系,引介SNA方法,模拟映射沿线中外港口关联网络格局,研究发现:

第一,就整体关联网络而言,“海上丝路”沿线航运往来集中分布在东南亚和非洲东岸,形成“镐头”状关联结构;上海—新加坡、上海—巴生港、深圳—新加坡、深圳—巴生港之间高效联通,架构起“海上丝路”沿线港口轴辐式关联网络格局,在后续建设“海上丝路”过程中需重点巩固强化,确保航线稳定畅通。由于受空间邻近性和内部同质竞争性影响,不同地区港口嵌入航运网络的模式有所差异,其中,中国和东南亚地区港口节点网络中心性层级结构明显,其他地区由于参与网络的港口数量有限且多为地区性首位节点,广泛且深入地嵌入航运网络,但受网络关联结构影响,其中不乏中转功能与关联广度和深度不匹配的奇异节点。

第二,就关键港口节点而言,新加坡、巴生港、孔雀港等海外核心枢纽港和上海、宁波、深圳等潜在复合型枢纽港占据网络中心位置,应择优扶植重点建设,并发挥关联网络核心节点的地域邻近优势,重视坤甸(马来西亚)、莫尔穆冈(印度)等中介功能较为突出的港口的航线建设,确保开展高效低耗的海外航运往来。

5.2 讨论

5.2.1 政策建议

中国作为世界港口、航运和集装箱运输大国,近年来港口与航运业务迅猛发展,成为中国沟通国内外的桥梁和融入经济全球化的战略通道。

为全面落实《推动共建丝绸之路经济带和21世纪海上丝绸之路的愿景与行动》,探寻“海上丝路”沿线航运组织结构优化的关键切入点,本文综合考量主要海外港口和中国15个港口节点的网络地位和航运体量,识别关键功能节点,并建议后续航运网络完善的过程中应当拓展多元化中介转运通道,明确国内港口分工。具体而言:

(1) 以新加坡、巴生港、孔雀港等主要的国际转口港为切入点,完善海上丝绸之路沿线航运网络建设,为加强中国与东盟、南亚国家各国发挥各自要素禀赋优势,促进“海上丝路”沿线地区产业合理分工与布局,搭建安全、畅通、高效的海上要素流动渠道。

(2) 以上海港区为龙头,渐次打造国际性复合型枢纽港。长期以来,由于受金融自由度等因素的限制,中国尚未建成像新加坡那样能够满足期货交易的国际中转港。研究发现上海、深圳、宁波网络中心地位和现实货运规模优势凸显,具备开展大规模国际航运业务的基础条件,在国际贸易和中国深化对外开放及中转港谋划建设的过程中,应加快推进中国(上海)自由贸易试验区、沿海综合保税区和通关口岸建设,逐步将该类港口节点打造成为能够满足大宗期货交易的国际中转港,面向南亚、非洲、欧洲市场,承接日韩进出口货物的海上转运业务,逐步建设成为复合型枢纽港。

(3) 突出中国主要港口的航运功能特征,沟通协调各港口有所侧重地融入海上丝绸之路建设。其中,青岛、天津外向航运能力突出,应充分发挥其在海外航运干线上的门户作用;广州、大连外贸货运占比较低,但却是诸多海外港口的直挂港,应借力陆向腹地的货箱喂给能力和港口发展基础,纵深拓展与海向腹地的关联强度,搭建稳定的航运往来关系,提高航运效率;厦门、福州和烟台港区是货运规模较小但网络转运功能突出的中介支线港,应借助中介转运的契机加快港口建设;湛江、汕头、海口、泉州和三亚港区的货运体量和网络地位优势不显,可在补给和辅助枢纽港和干线港的过程中寻找机会谋求自身发展,其中,泉州作为中国古代“海上丝路”的重要起点,网络中转能力相对薄弱,尚未充分发挥中外航运关联枢纽作用,将其建设成为“21世纪海上丝绸之路核心区”任重而道远。

(4) 加快完善“海上丝路”沿线港口城市基础设

施建设。港口城市是21世纪海上丝绸之路建设中的重要节点,应逐步加强沿线港口城市提升内外向物资集疏能力的基础设施建设,构建区域性的国家航运中心,并以关键航运节点为辐射点,推动海上互联互通;与此同时,加强对沿线国家港口设施的投资力度,促进物流信息平台的无缝链接,积极参与周边国家航运网络建设。

5.2.2 研究展望

上述研究主要是基于中外港口的航运频次,开展关联网络拓扑结构及其赋予的港口节点的功能地位研究,虽有港口现实航运规模层面的考量,但由于数据信息中的挂靠港仅仅是在航运中途挂靠补给的港口,并非真正意义上的中介转运港,因此并不能完全精确地反映港口节点的现实转运功能,受数据可得性的限制,仅能以此作为评介港口节点网络中介功能的现实参考。此外,数据本身并未涉及港口的货物类型等重要属性信息,未能讨论港口运输功能与其腹地产业结构和产业集聚所反映的经济社会职能之间的互动关系。后续研究将进一步探索各港口节点所承担的中介转运功能,并结合货物运输类型,探究港口节点作为航运关联行为主体的内在职能差异。

自2002年港口体制改革以来,中国港口成为独立的市场主体,成为自负盈亏的法人实体,港口之间的竞争态势也日趋激烈,而港口竞争的主要内容是争夺内向腹地货源和外向市场。后续将结合中国港口节点的货源市场及货物结构,跟进对于节点之间竞合机制及其关系型、结构型影响因素的探索,以期在完善港口网络关联结构的基础上,实现港城功能结构的优化,减少港口之间低效率的恶性竞争。

参考文献(References)

曹琳霞, 陆玉麒, 马颖忆. 2016. 基于烟羽模型的江苏港口腹地范围划分[J]. 地域研究与开发, 35(5): 41-46. [Cao L X, Lu Y Q, Ma Y Y. 2016. Research on Jiangsu ports hinterland segmentation based on the plume model[J]. Areal Research and Development, 35(5): 41-46.]

陈文巧, 栾贵勤, 欧东旭. 2013. 聚类分析上海在国内港口城市中的功能定位[J]. 资源开发与市场, 29(10): 1049-1051. [Chen W Q, Luan G Q, Ou D X. 2013. Using cluster analysis to position of Shanghai in domestic port cities[J]. Resource Development & Market, 29(10): 1049-1051.]

程佳佳, 王成金. 2015. 珠江三角洲集装箱港口体系演化及动力机制[J]. 地理学报, 70(8): 1256-1270. [Cheng J J, Wang C J. 2015. Evolution and dynamic mechanism of container port system in the Pearl River Delta[J]. Acta Geographica Sinica, 70(8): 1256-1270.]

董晓菲, 韩增林. 2016. 东北沿海港口群腹地空间格局及驱动机理[J]. 经济地理, 36(5): 33-39. [Dong X F, Han Z L. 2016. The Northeast coastal ports group of hinterland space structure and drive mechanism analysis[J]. Economic Geography, 36(5): 33-39.]

范斐, 刘承良, 游小珺, 等. 2015. 全球港口间集装箱运输贸易网络的时空分异[J]. 经济地理, 35(6): 109-115. [Fan F, Liu C L, You X J, et al. 2015. The spatial-temporal differentiation and of global trade of container transportation network between ports[J]. Economic Geography, 35(6): 109-115.]

付邵武. 2016. 21世纪海上丝绸之路建设与我国沿海港口发展[J]. 智富时代, 33(1): 18-19. [Fu S W. 2016. 21 Shiji Haishang Sichou Zhilu jianshe yu woguo yanhai gangkou fazhan[J]. The Future Time, 33(1): 18-19.]

国家发展和改革委员会, 外交部, 商务部. 2015. 推动共建丝绸之路经济带和21世纪海上丝绸之路的愿景与行动[EB/OL]. <http://www.mofcom.gov.cn/article/resume/n/201504/20150400929655.shtml>. [The National Development and Reform Commission, Ministry of Foreign Affairs, Ministry of Commerce of the People's Republic of China. 2015. Vision and actions on jointly building Silk Road Economic Belt and 21st-century Maritime Silk Road [EB/OL]. 2015-04-01 [2018-09-13]. <http://www.mofcom.gov.cn/article/resume/n/201504/20150400929655.shtml>.]

何丹, 高鹏. 2016. 长江中游港口腹地演变及港口-腹地经济协调发展研究[J]. 地理科学, 36(12): 1811-1821. [He D, Gao P. 2016. Hinterland evolution of ports in midstream of the Yangtze River and coordination development of port-hinterland economy[J]. Scientia Geographica Sinica, 36(12): 1811-1821.]

蹇令香, 李东兵, 赵诗晨. 2016. 我国沿海港口复杂网络演化特征[J]. 经济地理, 36(12): 96-103. [Jian L X, Li D B, Zhao S C. 2016. China's coastal port complex network evolution[J]. Economic Geography, 36(12): 96-103.]

姜晓丽, 张平宇. 2013. 基于Huff模型的辽宁沿海港口腹地演变分析[J]. 地理科学, 33(3): 282-290. [Jiang X L, Zhang P Y. 2013. The hinterland evolution of Liaoning coastal ports based on the huff model[J]. Scientia Geographica Sinica, 33(3): 282-290.]

- 李善同, 侯永志. 2003. 中国(大陆)区域社会经济发展特征分析[J]. 中国发展评论: 中文版, (2): 27-39. [Li S T, Hou Y Z. 2003. Zhongguo (dalu) quyu shehui jingji fazhan tezheng fenxi[J]. China Development Review: Chinese Version, (2): 27-39.]
- 李振福, 汤晓雯. 2014. 港口腹地划分的腹地烟羽模型研究[J]. 地理科学, 34(10): 1169-1175. [Li Z F, Tang X W. 2014. The hinterland plume model of port hinterland segmentation[J]. Scientia Geographica Sinica, 34(10): 1169-1175.]
- 刘卫东. 2015. “一带一路”战略的科学内涵与科学问题[J]. 地理科学进展, 34(5): 538-544. [Liu W D. 2015. Scientific understanding of the Belt and Road Initiative of China and related research themes[J]. Progress in Geography, 34(5): 538-544.]
- 阮红伟, 李晓静, 赖秀云. 2016. “一带一路”沿线15个沿海港口城市竞争力比较研究[J]. 东方论坛, 30(5): 77-84. [Ruan H W, Li X J, Lai X Y. 2016. An analysis on competitiveness of fifteen port cities along "Belt and Road Initiative" areas[J]. Eastern Forum, 30(5): 77-84.]
- 孙世达, 姜巍, 高卫东. 2016. 中国港口时空格局演变及影响因素分析[J]. 世界地理研究, 25(2): 62-71. [Sun S D, Jiang W, Gao W D. 2016. Spatio-temporal pattern evolution and factorial analysis on ports in China[J]. World Regional Studies, 25(2): 62-71.]
- 王成金. 2012. 集装箱港口网络形成演化与发展机制[M]. 北京: 科学出版社. [Wang C J. 2012. The evolution and development mechanisms of container ports network[M]. Beijing, China: Science Press.]
- 王列辉, 洪彦. 2016. 直航背景下海峡两岸集装箱港口体系空间结构: 基于复杂网络的视角[J]. 地理学报, 71(4): 605-620. [Wang L H, Hong Y. 2016. Spatial structure of container port systems across the Taiwan Straits under the direct shipping policy: A complex network system approach[J]. Acta Geographica Sinica, 71(4): 605-620.]
- 王列辉, 朱艳. 2017. 基于“21世纪海上丝绸之路”的中国国际航运网络演化[J]. 地理学报, 72(12): 1-16. [Wang L H, Zhu Y. 2017. The evolution of China's international maritime network based on the "21st Century Maritime Silk Road"[J]. Acta Geographica Sinica, 72(12): 1-16.]
- 王绍卜. 2016. 我国沿海集装箱港口体系的空间结构及演化[J]. 经济地理, 36(8): 93-98. [Wang S B. 2016. The spatial structure and evolution of China's coastal container port system[J]. Economic Geography, 36(8): 93-98.]
- 张梦天, 王成金, 王成龙. 2016. 中国港口铁矿石运输的空间格局及演化[J]. 经济地理, 36(8): 99-105. [Zhang M T, Wang C J, Wang C L. 2016. Distribution characteristics and evolution of port's iron ore transport in China[J]. Economic Geography, 36(8): 99-105.]
- 邹嘉龄, 刘卫东. 2016. 2001-2013年中国与“一带一路”沿线国家贸易网络分析[J]. 地理科学, 36(11): 1629-1636. [Zou J L, Liu W D. 2016. Trade network of China and countries along "Belt and Road Initiative" areas from 2001 to 2013[J]. Scientia Geographica Sinica, 36(11): 1629-1636.]
- Bird J H. 1971. Seaports and Seaport Terminals[M]. London: Hutchinson University Library.
- Castells M. 1989. The informational city: Information technology, economic restructuring, and the urban-regional process[M]. Oxford, UK: Basil Blackwell.
- Hayuth Y. 1988. Rationalization and concentration of the U. S. container port system[J]. The Professional Geographer, 40(3): 279-288.
- Jacobs W, Ducruet C, De Langen P. 2010. Integrating world cities into production networks: The case of port cities[J]. Global Networks, 10(1): 92-113.
- Komadina P, Cisic D, Hlaca B. 2006. Globalization in maritime transport industry[J]. Nase More, 53(5/6): 183.
- Pflieger G, Rozenblat C. 2010. Urban networks and network theory: The city as the connector of multiple networks[J]. Urban Studies, 47(13): 2723-2735.
- Taaffe E J, Morrill R L, Gould P R. 1963. Transport expansion in underdeveloped countries: A comparative analysis[J]. Geographical Review, 53(4): 503-529.
- Wang J J, Ng K Y, Olivier D. 2004. Port governance in China: A review of policies in an era of internationalizing port management practices[J]. Transport Policy, 11(3): 237-250.

Identification of Chinese key nodes in the shipping network of the 21st Century Maritime Silk Road

WANG Cheng¹, WANG Maojun^{1*}, WANG Yi^{1,2}

(1. College of Resource Environment and Tourism, Capital Normal University, Beijing 100048, China;

2. Pan-China Group, Beijing 100067, China)

Abstract: In May 2017, The Belt and Road Initiative First International Cooperation Forum, which once again highlighted China's efforts and contributions in the construction of the "community of human destiny," was held in Beijing. We have drawn up the strategic conception of building the 21st Century Maritime Silk Road, thus paving the maritime passage of elements flow in Eastern and Western countries, and expanding the new trade route for China to connect the world economy. Based on the relationship of shipping between the Chinese and international ports and social network analysis (SNA), this study mapped the connection network of Chinese and international ports along the 21st Century Maritime Silk Road. The study also used the SNA method to analyze the overall network spatial structure and its core-periphery structure. We considered the network centrality and the actual shipping capability of the Chinese and international port nodes, thus identifying the functional nodes in the shipping network. The main conclusions are as follows. (1) The 21st Century Maritime Silk Road shipping network presents a spatial pattern of the pickaxe shape, and the close connection between the Chinese and Southeast Asian ports is the core of this pattern. Shanghai, Shenzhen, Singapore, and Port Klang constitute the hub and spoke network structure of the port of high efficiency and low consumption. (2) We derived the backbone network and core network through filtering, and identified special nodes and core nodes of international ports with different breadth and intensity. (3) There are two ways for ports to enter the shipping network. One is the hierarchical embedding mode (breadth, depth, intermediary function), such as China and Southeast Asia, and the other is homogeneous embedding mode, such as Africa, south West Asia-Middle East, South Asia, and Europe. (4) We identified five types of Chinese port nodes: potential composite hub port, export-oriented trunk port, inward direct port, intermediary branch port, and marginal feeder port. Then, the development proposals for these five types of ports are put forward, in order to effectively coordinate the port organization pattern and node functions so that ports can complement each other and enhance the value of the 21st Century Maritime Silk Road.

Key words: 21st Century Maritime Silk Road; shipping network; external connection; network pattern; key nodes