



基于首位度和位序-规模法则的 长三角港口群发展演化分析

徐鹏飞, 陆禹翰

(中交第三航务工程勘察设计院有限公司, 上海 200032)

摘要: 为了深入剖析长三角港口群的等级规模分布及演化规律, 以货物吞吐量和集装箱吞吐量为衡量港口规模的指标, 运用港口首位度和位序-规模法则对长三角地区港口规模分布进行研究。结果表明: 长三角地区港口间差距不断缩小, 港口等级规模分布由首位分布向位序-规模分布演变; 江苏省港口等级规模结构比较松散, 高位序港口集聚效应不明显, 浙江省港口吞吐量分布则过于集中; 长三角港口群规模分布总体上呈分散化发展趋势, 未来需要加快推动内河港等小型港口的发展, 进一步优化港口体系结构; 长三角港口群的货物运输已形成比较稳定且分散的系统, 而新兴集装箱港口不断涌现, 集装箱运输发展迅速, 其等级体系仍在不断变化, 长三角集装箱港口的规模分布集聚程度更高。

关键词: 长三角港口群; 首位度; 位序-规模法则

中图分类号: U 651

文献标志码: A

文章编号: 1002-4972(2021)11-0038-06

Analysis on evolution of port group in the Yangtze River Delta based on primacy index and rank-size rule

XU Peng-fei, LU Yu-han

(CCCC Third Harbor Consultants Co., Ltd., Shanghai 200032, China)

Abstract: In order to deeply analyze the scale distribution and evolution process of the port group in the Yangtze River Delta, we apply cargo throughput and container throughput as the indicators to measure port scale, and use the port primacy index and the rank-size rule to study the port scale distribution in the Yangtze River Delta. The results show that the gap of ports in the Yangtze River Delta has been narrowing, and the port scale distribution has evolved from the primacy distribution to the rank-size distribution. The port scale structure of Jiangsu Province is relatively loose and the combined effect of high-ranking ports is not obvious, while the distribution of port throughput in Zhejiang Province is too concentrated. The scale distribution of the port group in the Yangtze River Delta is generally decentralized. In the future, it is necessary to accelerate the development of small ports such as inland river port and further optimize the port system structure. The port clusters in the Yangtze River Delta has formed a relatively stable and decentralized cargo transportation system, while container transportation is developing rapidly with new container ports keep emerging. The hierarchical system is still in constant change. The scale distribution of container port in the Yangtze River Delta has a higher degree of concentration.

Keywords: port group in the Yangtze River Delta; primacy index; rank-size rule

随着全球经济联系愈发紧密, 港口在区域发展中的地位不断增强, 由最初的交通节点、产业

基地逐步转变成为集国际物流中心、贸易中心、金融中心和工业中心为一体的综合性经济枢纽,

收稿日期: 2021-01-25

作者简介: 徐鹏飞(1993—), 男, 硕士, 工程师, 从事交通运输规划与咨询。

对促进城市、区域融入全球供应链的作用日益突出。长三角地区是我国经济最活跃的地区之一, 从其发展进程上看, 长三角港口群在其中发挥着重要的引擎作用, 以上海港为首, 浙江、江苏港口为两翼的上海国际航运中心“一体两翼”的格局已经成型。作为中国港口体系中港口最多、吞吐量最大的港口群, 长三角港口群一直是研究的重点和热点课题, 研究内容包含竞争力分析、功能定位与分工、一体化协同、时空演化等^[1-4], 但对长三角港口群的等级规模分布及演化规律的定量研究相对较少。

城市首位度和位序-规模法则最初是研究城市规模分布的重要方法, 进一步拓展后广泛应用于城市地理、社会经济等领域的研究^[5-8]。21 世纪以来, 我国沿海地区港口体系快速发展, 大中小港口建设进入热潮, 港口吞吐量在空间上的组织规律满足一定的层次分布模式。基于城市人口规模与港口吞吐量规模的相似性, 本文以长三角港口群为研究对象, 运用城市首位度与位序-规模法则研究区域港口群规模分布的发展演化规律, 为长三角区域港口体系分析与未来发展战略的制定等提供理论依据。

1 研究方法

1.1 首位度指数

首位度最早是用于衡量城市规模分布状况的指标, 表明某国家或地区首位城市的集聚程度, 通常用区域内最大城市人口与第二位城市人口的比值进行表征, 即两城市指数。此后为提高首位度指数的准确性, 又提出四城市指数和十一城市指数。借鉴城市首位度指数的计算, 以港口吞吐量来度量港口规模, 港口首位度指数代表着最大港口对港口群的引领作用, 两港指数、四港指数、十一港指数的计算方法如下:

$$S_2 = T_1 / T_2 \tag{1}$$

$$S_4 = T_1 / (T_2 + T_3 + T_4) \tag{2}$$

$$S_{11} = 2T_1 / (T_2 + T_3 + \cdots + T_{11}) \tag{3}$$

式中: S_2 、 S_4 、 S_{11} 分别为两港指数、四港指数、十一港指数; T_i 为港口群中按规模大小降序排列后第 i 位港口的规模($i=1, \cdots, 11$), 计算时用货物吞吐量或集装箱吞吐量表示。根据位序-规模的原理, 两港口指数为 2 左右, 或者四港指数和十一港指数为 1 左右时, 港口群结构正常、集中适当; 首位度指数过大, 意味着首位港口规模过度集聚, 首位压力明显, 结构失衡; 首位度指数过小, 意味着集聚效应不明显, 首位港口的引领地位不突出。

1.2 位序-规模法则

位序-规模法则是从城市规模和城市规模位序的关系角度来研究一个城市体系的规模分布情况。位序-规模法则认为在城市等级和城市规模之间存在恒等式, 即:

$$P_i \cdot R_i^q = A \tag{4}$$

$$\ln P_i = \ln A - q \ln R_i \tag{5}$$

式中: R_i 为城市 i 的等级; P_i 为城市 i 的规模; A 为常数; q 为 Zipf 指数。借鉴式(4)(5), 将其引入到港口规模等级结构研究中:

$$T_k \cdot K^q = A \tag{6}$$

$$\ln T_k = \ln A - q \ln K \tag{7}$$

式中: T_k 为第 k 位港口规模, 用货物吞吐量或集装箱吞吐量表示; K 为港口的位序。Zipf 指数反映港口规模等级结构的空分布模式, 当 $q=1$ 时, 港口群处于自然状态下的理想分布, 各规模等级港口数量比例合理; 当 $q>1$ 时, 规模等级结构呈幂律分布, 港口规模分布差异程度较大, 港口吞吐量集中于高位序港口; 当 $q<1$ 时, 规模等级结构空分布呈现均衡化模式, 港口群规模分布比较分散, 高位序港口规模不突出。因此, 通过观察港口群不同年份 Zipf 指数的变化, 可以研究分析港口群的发展特点和演化特征。

2 研究对象与数据选择

以长三角地区上海市、江苏省和浙江省为研究区域, 选择长三角港口群中的 22 个主要港口作

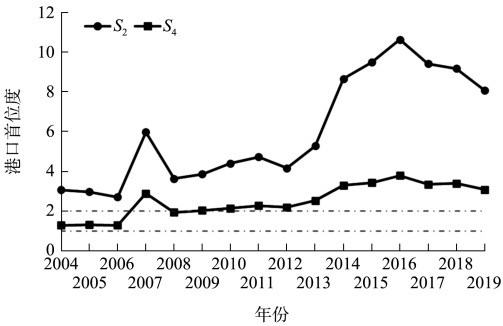
为研究对象，分别为上海、连云港、盐城、南通、苏州、南京、无锡、镇江、泰州、扬州、常州、徐州、淮安、宿迁、宁波、舟山、温州、嘉兴、台州、杭州、湖州和绍兴港。为更加全面地识别和分析长三角港口体系规模分布和内部结构的发展演化状况，本文选择以港口货物吞吐量与港口集装箱吞吐量两种数据分别测算。需要指出的是，2006 年宁波港与舟山港合并为宁波舟山港，因此本文从 2007 年开始将两港口数据合并统计。同时，由于部分港口的集装箱业务起步较晚，为更好地反映港口规模分布情况，集装箱吞吐量不足 1 万 TEU 的港口将不被纳入当年的计算，即不同时期的港口数量是不同的。

3 港口群规模分布演化分析

3.1 首位分布

3.1.1 基于港口货物吞吐量的首位分布

根据式(1)~(3)分别计算长三角港口、江苏省港口和浙江省港口群货物吞吐量的二港指数、四港指数和十一港指数，得到 2004—2019 年 3 个地区首位港口的集中程度与演变情况，见图 1。



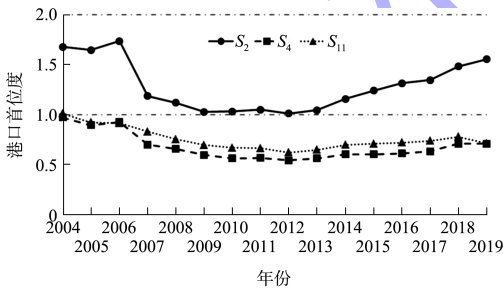
c) 浙江省港口群

图 1 2004—2019 年 3 个地区首位港口的集中程度与演变情况

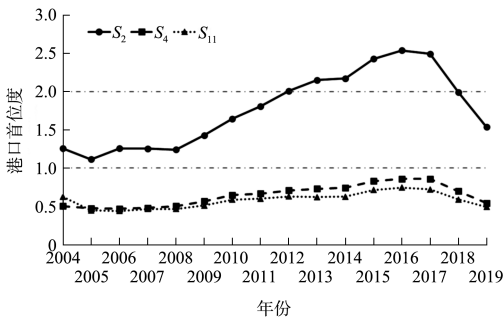
由图 1 可以看出，长三角港口群二港指数小于 2、四港指数和十一港指数小于 1，说明长三角地区的首位港口规模地位并不突出；结合港口首位度不同的计算方法，二港指数 2004—2012 年一直处于小于理论值的波动下降阶段，港口间的差距不断缩小；2007 年宁波舟山港超越上海港成为首位港口，2008 年开始二港指数在 1 附近波动。随着上海港重心向集装箱运输转移，吞吐量增速放缓，而宁波舟山港则发挥自身在油品、矿石等货种上优势，实现吞吐量规模的迅速扩大，首位港口的辐射带动作用逐渐凸显，二港指数从 2012 年开始朝理论值 2 的方向增长；四港指数和十一港指数保持在 0.5 附近波动，与理论值 1 有一定距离，主要原因在于 2008 年以来中位序港口的迅速发展，长三角地区中型港口的货物吞吐量规模分布趋于均衡。而江苏省港口群，2004—2016 年二港指数处于波动上升阶段，由 1.26 增长至 2.54，苏州港的领先地位不断增强；2018 年，随着长江水上过驳取消，南通港和镇江港的吞吐量大幅度上升，二港指数迅速下降。浙江省二港指数由 2004 年的 3.07 上升到 2016 年的 10.64，远高于理论值 2，宁波舟山港在浙江港口体系中处于绝对优势和垄断地位，并且领先优势越来越大；近几年随着杭嘉湖地区港口的发展，中位序港口与首位港口的差距才开始逐渐缩小，但由于中小型港口整体不发达，四港指数依然在 3 左右波动。

3.1.2 基于集装箱吞吐量的首位分布

根据式(1)~(3)分别计算长三角港口、江苏



a) 长三角港口群



b) 江苏省港口群

省港口和浙江省港口群集装箱吞吐量的二港指数、四港指数和十一港指数, 得到 2004—2019 年 3 个地区集装箱首位港口的集中程度与演变情况, 见图 2。

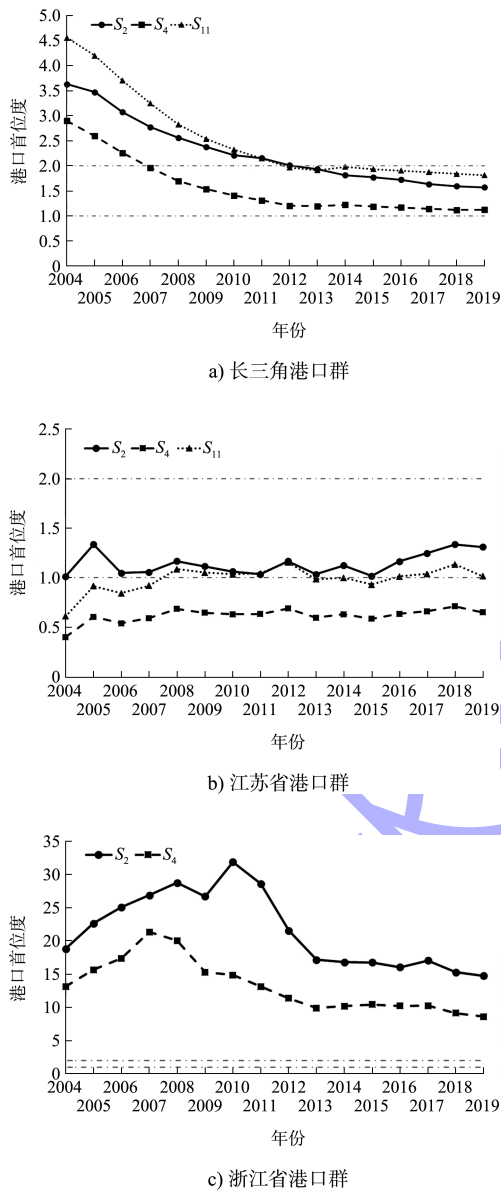


图 2 2004—2019 年 3 个地区集装箱首位港口的集中程度与演变情况

由图 2 的集装箱首位度的演化结果可知, 长三角地区集装箱港口间差距不断缩小, 港口等级规模分布由首位分布向位序-规模分布演变; 从二港指数看, 从 2004 年的 3.63 逐步下降到 2012 年的 2.01, 与理想值基本接近; 随后宁波舟山港继续缩小与上海港的集装箱规模差距, 二港指数持续下降到 1.57; 与此同时, 四港指数与十一港指

数不断向理想值 1 减小, 可见长三角地区集装箱吞吐量的规模分布趋于均衡。从江苏省港口看, 二港指数先降后升, 反映了苏州港集装箱吞吐量从第 2 名上升为第 1 名的过程; 四港指数在 0.6 左右波动, 十一港指数在理想值 1 左右波动, 说明江苏省集装箱港口规模结构比较稳定, 但高位序港口规模不很突出。浙江省集装箱港口体系呈现出极强的首位分布, 二港指数在 2010 年达到峰值 31.88; 尽管随着嘉兴、温州等港口的集装箱业务发展, 首位度指数逐步下降, 浙江集装箱港口体系依然存在首位港口规模过度集中的问题。

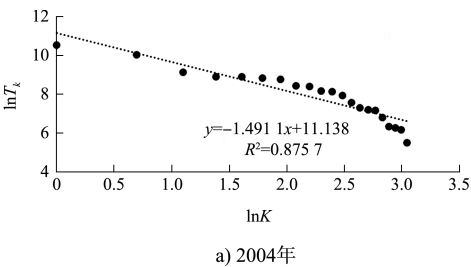
3.2 位序-规模分布

3.2.1 基于港口货物吞吐量的位序规模分布

依据式(6)(7), 将长三角港口群中的港口位序和货物吞吐量取对数落到坐标上, 并进行回归分析。汇总 2004—2019 年长三角港口位序-规模回归曲线参数, 见表 1。港口货物吞吐量位序-规模分布双对数坐标曲线见图 3。

表 1 2004—2019 年长三角港口群货物吞吐量位序-规模线性回归参数

年份	q	$\ln A$	R^2
2004	1.491 1	11.138	0.875 7
2005	1.208 3	11.055	0.868 8
2006	1.141 2	11.165	0.847 4
2007	1.218 6	11.370	0.897 2
2008	1.170 2	11.436	0.888 5
2009	1.149 4	11.494	0.883 1
2010	1.241 2	11.755	0.831 8
2011	1.214 7	11.828	0.856 5
2012	1.193 8	11.868	0.853 6
2013	1.149 3	11.862	0.857 2
2014	1.120 2	11.839	0.887 9
2015	1.163 5	11.904	0.835 8
2016	1.139 7	11.893	0.859 7
2017	1.137 2	11.971	0.833 9
2018	1.208 4	12.107	0.826 7
2019	1.248 8	12.258	0.851 9



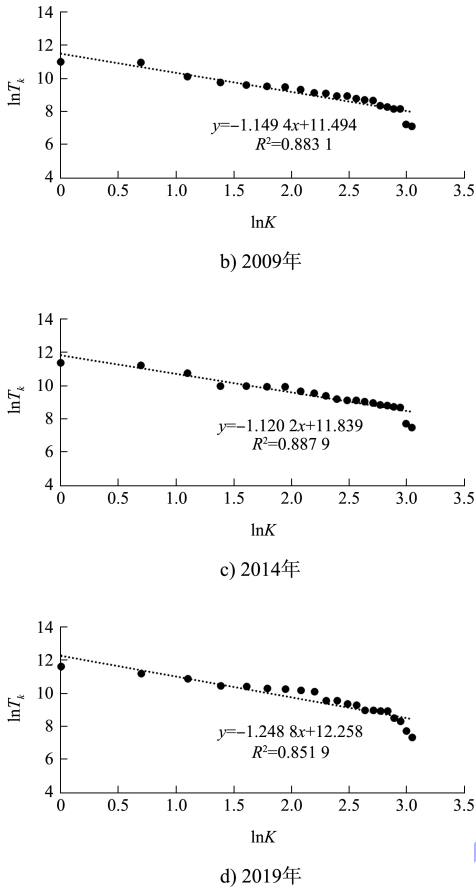


图 3 港口货物吞吐量位序-规模分布双对数坐标曲线

对 2004—2019 年长三角港口货物吞吐量位序-规模回归曲线的计算结果进行分析可知：港口货物吞吐量与港口位序间的拟合效果较好，相关系数均在 0.83 以上，属于高度相关，说明长三角港口体系的位序-规模分布符合 Zipf 法则。从 Zipf 指数看，2004—2019 年均均有 $q > 1$ ，长三角港口群规模分布集中于高位序港口，大型港口发展速度较快。Zipf 指数从 2004 年的 1.49 逐步下降，后在 1.10~1.25 间波动，表明长三角货物运输集中度逐渐降低，港口规模等级结构趋于稳定，港口体系向最优分布发展。Zipf 指数在 2004—2014 年间呈波动下降趋势，随后进入上升阶段，显示受自然条件、环保政策等多方面因素影响，长江港口群发展速度差异增大，小型内河港口发展面临瓶颈。末位港口如绍兴港、宿迁港等近年发展陷入停滞，徐州港 2018 吞吐量下降至 3 140 万 t，仅为最高年份的 1/3。长三角港口群规模结构的优化需要加强对内河港口发展的支持力度，如积极完

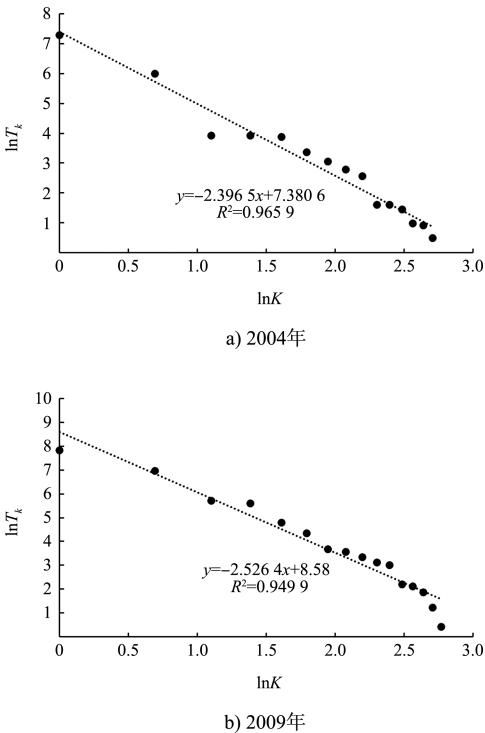
善内河航道网、发展海河联运等。

3.2.2 基于港口集装箱吞吐量的位序规模分布

依据式(6)(7)，将长三角港口群中的港口位序和集装箱吞吐量取对数落到坐标上，并进行回归分析。汇总 2004—2019 年长三角港口位序-规模回归曲线参数，见表 2。港口集装箱吞吐量位序-规模分布双对数坐标曲线见图 4。

表 2 2004—2019 年长三角港口群集装箱吞吐量位序-规模线性回归参数

年份	q	$\ln A$	R^2
2004	2.396 5	7.380 6	0.965 9
2005	2.558 3	7.860 3	0.965 8
2006	2.469 0	8.030 4	0.966 8
2007	2.572 0	8.421 1	0.945 3
2008	2.770 8	8.861 7	0.930 8
2009	2.526 4	8.580 0	0.949 9
2010	2.438 8	8.696 0	0.954 4
2011	2.614 3	9.090 9	0.908 7
2012	2.518 3	9.069 9	0.937 2
2013	2.369 4	8.962 5	0.956 4
2014	2.239 8	8.782 5	0.974 4
2015	2.308 4	8.930 4	0.934 7
2016	2.305 5	8.950 4	0.927 3
2017	2.425 6	9.219 2	0.912 1
2018	2.452 2	9.304 5	0.946 5
2019	2.209 5	9.064 8	0.957 7



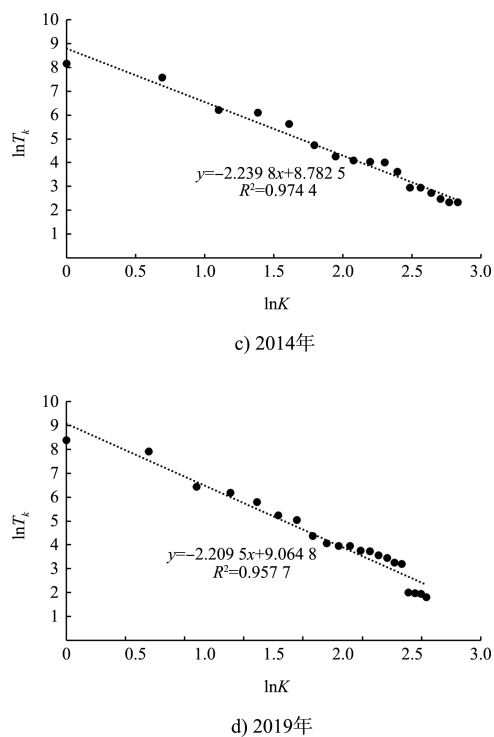


图 4 港口集装箱吞吐量位序-规模分布双对数坐标曲线

对 2004—2019 年长三角港口货物吞吐量位序-规模回归曲线的计算结果进行分析可知：港口集装箱吞吐量与港口位序间的拟合效果较好，相关系数均在 0.91 以上，属于高度相关，说明长三角集装箱港口体系的位序-规模分布同样符合 Zipf 法则。从 Zipf 指数看，2004—2019 年均有 $q > 2$ ，长三角港口群集装箱吞吐量分布集中于高位序港口，尽管上海港的市场占有率从 69% 下降至 46%，上海国际航运中心在长三角集装箱运输体系中的枢纽地位依然十分突出。Zipf 指数在 2004—2019 年波动发展，说明长三角地区港口体系内部结构较不稳定，新兴集装箱港不断涌现，吞吐量大于 1 万 TEU 的港口从 2007 年的 14 个增长至 2019 年的 21 个，每次增加新港口都会导致 Zipf 指数阶段性上升。Zipf 指数从 2004 年的 2.4 下降到 2019 年的 2.2，总体呈下降态势，说明长三角集装箱港口间竞争加剧，集装箱运输集中程度逐渐降低。此外，同一年份的集装箱吞吐量 Zipf 指数均大于货物吞吐量的 Zipf 指数，可见长三角集装箱港口的规模等级结构更加集中，集装箱运输市场的繁荣一定程度上更加依赖枢纽港的发展。

4 结语

- 1) 长三角地区港口间差距不断缩小，港口等级规模分布由首位分布向位序-规模分布演变。一方面，长三角地区大型港口众多，宁波舟山港的首位度不够突出；另一方面，集装箱首位度接近理想值，上海港可以充分发挥龙头引领作用。
- 2) 分地区来看，江苏省港口等级规模结构比较松散，高位序港口集聚效应不明显，需要进一步明确龙头，提升首位度；浙江省港口吞吐量分布则过于集中，需要加快宁波舟山港以外港口的发展速度，改善失衡的港口等级规模结构。
- 3) 长三角港口体系基本满足位序-规模法则，随着港口群发展，规模分布逐步优化，等级结构不断趋于合理，但还没有达到理想状态。无论是货物吞吐量还是集装箱吞吐量，长三角港口群规模分布总体上呈分散化发展趋势，未来需要加快推动内河港等小型港口的发展，进一步优化港口体系结构。
- 4) 长三角港口群的货物运输已形成比较稳定且分散的系统，而新兴集装箱港口不断涌现，集装箱运输发展迅速，其等级体系仍处于不断变化之中。从 Zipf 指数看，长三角集装箱港口的规模分布集聚程度更高，考虑到货物集装箱化是势不可挡的趋势，长三角港口群需要加快支线港、喂给港等中小型集装箱港口发展，对未来长三角港口体系形成合理的规模分布具有积极作用。
- 5) 本文仅以吞吐量为指标衡量长三角港口规模分布和发展演化规律，在今后须进一步研究自然资源、港口功能定位等因素对港口群发展演化规律的影响。

参考文献：

[1] 章强, 颜凯. 基于全局主成分和聚类分析的长三角港口群综合竞争力研究[J]. 大连海事大学学报(社会科学版), 2020, 19(6): 66-72.

[2] 葛浩然, 傅海威, 朱占峰, 等. 长三角港口货运职能多样性时空格局[J]. 中国航海, 2020, 43(3): 112-117.

[3] 蒋自然, 金环环, 皮春芳. 长三角港口群时空演化的驱动机制研究[J]. 物流科技, 2020, 43(6): 81-83.