

# 集装箱环球航线的枢纽区位优势

徐 骅<sup>1,2</sup>, 金凤君<sup>1</sup>, 王成金<sup>1</sup>

(1. 中国科学院地理科学与资源研究所, 北京 100101; 2. 中国科学院研究生院, 北京 100039)

**摘要:** 集装箱航运业中规模经济较为明显。集装箱船舶不断地大型化, 加上巴拿马运河的改造, 在不久的将来环球航线这种充分利用船舶规模经济的航线形式将会重新出现, 最终使世界集装箱航线形成一个全球范围的轴辐网络。以 Ashar 提出的赤道环球航线为基础, 通过分析航运成本来作一些修正, 寻找最佳的枢纽港口区位。优化的结果与 Ashar 的赤道环球航线略有出入, 例如中国台湾港口具有明显的区位优势。中国港口尤其是黄海、渤海沿岸港口地理位置条件相对较差, 因此急需加强港口建设以应对未来的挑战。

**关键词:** 集装箱航运; 环球航线; 区位优势; 枢纽港; 海运区; 贸易距离

## 1 引言

国际航运是由国际贸易派生的产业, 与国际贸易之间有着密切的联系。20 世纪 50 年代集装箱技术在国际航运中的开始应用后, 航运业的生产率迅速提高, 产生了明显的规模经济, 成为航运史上一次划时代的事件。到今天为止, 全球集装箱航线网络中形成了以欧洲、北美、东亚三个主要的贸易区域为基础的三大东西向干线: 跨太平洋航线、跨大西洋航线、亚欧航线。80 年代中期, 集装箱环球航线 (round-the-world service, RTW) 的出现, 成为集装箱航线形式的一个重要变化<sup>[1]</sup>。环球航线将三大干线连为一体, 覆盖了全球市场, 为航运公司带来丰厚的收益。80-90 年代北半球集装箱班轮公司的竞争激烈, 是东西干线上新航线形式出现的一个原因<sup>[2]</sup>。

1984 年, 长荣公司建立了第一条环球航线。几乎同时, 美国班轮公司 (USL) 也建立了类似的航线。由于受制于巴拿马运河船闸的宽度, 环球航线配置的船舶最大载箱量一般不超过 4500 TEU, 从而不能充分实现规模经济, 成为环球航线的一大先天不足。只有拓宽巴拿马运河, 利用这一高效航线的服务才能实现<sup>[3]</sup>。环球航线另一个显著的缺点是航向运量的不平衡<sup>[1]</sup>, 使环球航线在一些航段上箱位利用率严重不足, 浪费了运力。因此, 建立环球航线的班轮公司并不多。而服务于三个海运区 (maritime range) 的钟摆航线 (例如, 远东—欧洲—北美东岸—欧洲—远东), 由于不经过巴拿马运河, 较之于环球航线能运营更大的船型, 箱位利用率也更高, 而且同样具有覆盖全球市场的优点。因此 20 世纪 90 年代, 钟摆式航线更为常见<sup>[4]</sup>。

随着国际贸易的增长以及航运技术的不断发展, 集装箱船的大型化趋势日益明显<sup>[5]</sup>。20 世纪 80 年代后期, 在一些主要的国际干线上出现了超过巴拿马运河限制的集装箱船<sup>[1]</sup>, 被称作“超巴拿马型”船。新型装卸设备、信息技术的普遍应用, 使集装箱港口的生产率迅速提高, 船舶大型化的重要阻碍——港口中的船舶规模不经济在很大程度上被克服<sup>[6]</sup>。更重要的是, 巴拿马运河的扩建工程开工在即, 计划将于 2014 年竣工, 总投资预算大约 52.5 亿美元<sup>[7]</sup>。这意味着环球航线的最大瓶颈将被打破, 超大型船舶投入环球航

收稿日期: 2007-06-29; 修订日期: 2008-01-07

基金项目: 国家自然科学基金重点项目 (40635026); 国家自然科学基金项目 (40701045) [Foundation: National Natural Science Foundation of China, No.40635026; No.40701045]

作者简介: 徐骅 (1978-), 男, 博士生, 主要研究方向为交通运输地理学。E-mail: xuh.05b@igsrr.ac.cn

线将成为可能。在此背景下,一些学者认为,将来最有效率的航线网络是以东西向的环球航线与南北向支线组成的全球性网格状轴辐航线系统<sup>[8]</sup>,以充分利用超大型船舶的规模经济。

Hans G. Payer (1999) 构想了未来全球集装箱航运的轴辐式航线网络,认为全球航线网络由东西向环球干线和南北向支线组成。东西向环球干线上将营运4艘15000 TEU型集装箱船,仅挂靠4个枢纽港。G. De Monie (2001) 也提出了类似的设想<sup>[9]</sup>。

Asaf Ashar (2000) 提出了赤道环球航线的概念,认为环球航线最大的缺点是距离过长,挂靠港口数量太多,导致运行时间相对较长。最有效的环球航线之一是赤道环球航线,船舶可以直接在直布罗陀和巴拿马之间航行,以避免挂靠美洲和欧洲的北大西洋港口<sup>[2]</sup>。他认为赤道环球航线上应配置6艘15000 TEU型集装箱船,以7个纯转运港(PTP, pure transshipment port)作为枢纽港进行中转<sup>[9]</sup>,通过南北向支线与其他位于传统市场的港口(例如上海、鹿特丹、纽约等)连接。为适当减少转运次数,在端点港之间,也可保留一些直接航线(如南非—南美航线)。他将这次转变称为“第四次革命”,认为将“紧随2015年巴拿马运河扩建而到来,特点是配置巨型船舶、发展一体化网络和建设巨型码头(mega terminal)”<sup>[10]</sup>。

Ashar 认为赤道环球航线的枢纽港必须要具备良好的港口自然条件、基础设施条件,并且尽量缩短航线距离。他认为新加坡、科伦坡、阿尔赫西拉斯、弗里波特、巴拿马城、洛杉矶/长滩较符合这些条件,是作为纯转运港的首选港口。东亚地区则竞争激烈,香港、上海、釜山之中任何一个都可能发展为枢纽港。本文通过集装箱航运成本优化,以Ashar的赤道环球航线为基础,构想一条挂靠7个区位优势最优的枢纽港的东西向环球航线,并探讨Ashar提出的赤道环球航线所定位的7个枢纽港的区位合理性。

## 2 枢纽网络优化方法

### 2.1 枢纽网络优化理论回顾

Morton E. O'Kelly 和 Harvey J. Miller (1994) 认为枢纽网络(hub network)是一种特殊的运输网络<sup>[11]</sup>,又称“轴辐网络”(hub and spoke network),其特点是网络中具有一些起中转作用的枢纽,这些枢纽之间的运输因为流量较大而产生明显的规模经济。枢纽网络的优化是一个运筹学问题。虽然在航运、航空网络中对此有大量的研究,但是将其应用到全球范围的研究还为数甚少。本文将集装箱环球航线作为一种枢纽网络研究,就是借鉴了该方法。

许多运输系统可以看作枢纽网络。早期较为著名的研究有Bodin等(1980)对铁路编组站的研究<sup>[12]</sup>,Chestler(1985)对邮递包裹服务的研究<sup>[13]</sup>,Shaw(1993)对客运航空的研究<sup>[14]</sup>。虽然早期对枢纽网络的研究很多,但都具有较多的局限性而缺乏普遍意义。随着计算机技术的迅速发展,一些枢纽网络优化问题已经能得到精确解了<sup>[15]</sup>。

O'Kelly(1987)在研究美国航空网络枢纽的区位优势时,首次提出离散性枢纽区位问题,即在一个枢纽网络中,给定枢纽数量时,求得使网络总运输成本最小的连接方式<sup>[16]</sup>。O'Kelly和Miller(1994)将枢纽区位问题分为若干个原始模型。Skorin-Kapov等(1995)在网络规模较小的情况下,对其中的两种—单分配(single assignment)模型和多分配(multiple assignment)模型作为整数线性规划问题求解<sup>[17]</sup>。在此基础上,O'Kelly、D. Bryan、Skorin-Kapov等人(1996)对算法进行了简化,分单分配、多分配两种情况,分析了美国航空网络中各种枢纽数量下,和各种干线折扣因子(枢纽间运价与非枢纽间运价之比)下的最优枢纽区位<sup>[15]</sup>。

单分配枢纽网络是指所有节点都仅与一个枢纽连接的网络,多分配枢纽网络是指每

个节点可以与多个枢纽连接的网络(图1)。因此,多分配模式在一定程度上可以解决枢纽网络中存在的“回程飞行”问题,总成本较相同条件下单分配模式低。

环球航线按照地理位置,经过7个海运区:东亚、东南亚、西南亚、欧洲(包括地中海地区)、北美东岸、中南美、北美西岸,每个海运区确定一个枢纽港作为纯转运港。一般来说,各海运区枢纽港之间的距离,远大于海运区内各港口之间的距离,“回程航行”的问题不突出。因此区内所有港口可以仅与本区的枢纽连接,本文将环球航线视为一个单分配枢纽网络。

对于单分配网络的优化,可以在各个海运区内分别计算当不同的节点作为枢纽时的海运区总成本,然后将各种情况下各个海运区总成本相加,找到一组使整个网络成本最小的枢纽。

## 2.2 环球航线枢纽区位优化方法

Ashar (2000) 提出的赤道环球航线的枢纽港中,除了中南美的巴拿马城、东南亚的新加坡都位于交通要冲,具有不可取代的地位外,其他海运区的港口,都与同一海运区其他条件相近的港口之间存在竞争。例如,香港与上海、釜山、高雄的竞争;洛杉矶/长滩与奥克兰的竞争;科伦坡与塞拉莱的竞争等等。本文从航运成本的角度,判断 Ashar 构想的赤道环球航线所设立的枢纽港的合理性。

本文涉及的地域除了上述提到的赤道环球航线经过的7个海运区外,再加上航线不经过的其他3个外围区域:大洋洲、西非、东南非,一共10个海运区。东南亚、中南美的枢纽港已经分别确定为新加坡、巴拿马城;而其他5个海运区的港口群则通过枢纽网络优化,选择区位条件最好的港口作为枢纽港。

假设集装箱航线的单位周转量航运成本不变,则一个海运区的总航运成本与航行距离、运量成正比。因此,确定一个海运区中区位最优的枢纽港,就是使以该港为枢纽的海运区轴辐网络的航运成本最小化,即在每一个海运区内找到一个港口,满足目标函数:

$$\min \sum_i \sum_j (Q_{ij}^n + Q_{ji}^n) d_{ij}^n, \quad n = 1, 2, 3, \dots, 5 \quad (1)$$

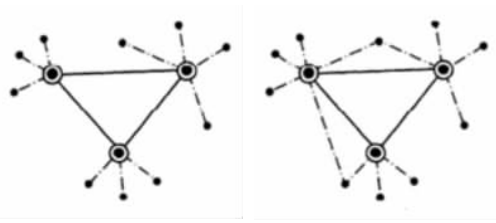
式中:  $Q_{ij}^n$  为海运区  $n$  的港口  $i$ , 到港口  $j$  (包括其他海运区的港口) 的集装箱运量 (TEU);  $Q_{ji}^n$  为港口  $j$  到海运区  $n$  的港口  $i$  的集装箱运量;  $d_{ij}^n$  为海运区  $n$  的港口  $i$ , 到港口  $j$  的距离。

本文中每一对港口之间的运量,是通过港口所在国家之间的商品贸易额(不包括煤炭、石油、金属/非金属矿产品等散货),以及2005年各个港口的集装箱吞吐量在该国集装箱吞吐量中的比例计算得到的估计值:

$$Q_{ij} = \alpha TR_{ij} = \alpha TRC_w \cdot \frac{H_i}{HC_u} \cdot \frac{H_j}{HC_v}, \quad i \in U, \quad j \in V \quad (2)$$

式中:  $\alpha$  为外贸集装箱生成系数 (TEU/\$);  $TR_{ij}$  为从港口  $i$  到港口  $j$  的商品贸易额;  $TRC_w$  为国家  $u$  到国家  $v$  的商品贸易额;  $H_i$  为港口  $i$  的集装箱吞吐量 (TEU);  $HC_u$  为国家  $u$  的港口集装箱吞吐量之和;  $U$  为国家  $u$  的港口集合;  $V$  为国家  $v$  的港口集合。由于国家港口集装箱吞吐量数据难以获取,本文中采用了各国主要港口集装箱吞吐量之和来代替。

将 (2) 代入 (1), 得:



(a) 单分配枢纽网络 (b) 多分配枢纽网络

图1 单分配枢纽网络和多分配枢纽网络

Fig. 1 Single assignment hub network and multiple assignment hub network

$$\min \alpha \sum_i \sum_j (TR_{ij}^n + TR_{ji}^n) d_{ij}^n \tag{3}$$

式中： $TR_{ij}^n$ 为海运区  $n$  的港口  $i$  到港口  $j$  的商品出口额； $TR_{ji}^n$ 为海运区  $n$  的港口  $i$  来自港口  $j$  的商品进口额。

假设各国之间外贸集装箱生成系数都相同，则  $\alpha$  对模型结果没有影响，(3) 可简化为：

$$\min \sum_i \sum_j (TR_{ij}^n + TR_{ji}^n) d_{ij}^n \tag{3'}$$

通过每个海运区的货流可以分为三部分：起点、终点都位于海运区外的货流；起点、终点一个位于海运区内，另一个位于海运区外的货流；起点、终点都位于海运区内的货流。本文将三者分别称为过境货流、区际货流和区内货流。

把海运区  $n$  的港口集合记为  $N$ ； $n$  的东行海运区（即  $n$  以东不超过地球半周的所有海运区，如东亚的东行海运区为北美西岸、中南美）集合为  $E$ ，其港口集合为  $NE$ ； $n$  的西行海运区集合为  $W$ ，其港口集合为  $NW$ ；相邻东行、西行海运区集合分别记为  $E'$ 、 $W'$ ，相应港口集合分别记为  $NE'$ 、 $NW'$ 。环球航线经过的各海运区的东行、西行海运区见表 1。

表 1 各海运区的东行、西行海运区

Tab. 1 East-bound and west-bound maritime ranges of each concerned maritime range

海运区	东行海运区	西行海运区
东亚	北美西、中南美	东南亚、大洋洲、西南亚、东南非、西非、欧洲
北美西	中南美	东亚、东南亚、大洋洲
中南美	北美东、欧洲、西非、东南非、西南亚	东南亚、大洋洲、东亚、北美西
北美东	欧洲、西非、东南非、西南亚	中南美
欧洲	西南亚、东南非、东南亚、东亚、大洋洲	北美东、中南美
西南亚	东南亚、大洋洲、东亚	欧洲、东南非、西非、北美东、中南美
东南亚	东亚、北美西、中南美	西南亚、大洋洲、欧洲、东南非、西非

### 2.3 贸易距离定义

海运区  $n$  中，当以港口  $k$  作为枢纽港，而相邻的东行、西行海运区分别以港口  $p$ 、 $q$  作为枢纽港时，海运区  $n$  内港口加上港口  $p$ 、 $q$  组成一个港口集合  $S$ 。将以  $S$  内的港口之间的贸易额作为权重的运输距离之和，定义为该海运区的贸易距离，记做  $M_{kpq}^n$ 。贸易距离可以用于衡量两个港口分别作为各自所在海运区的枢纽港时，整个系统的经济性。本文中贸易距离采用的单位为  $\$ \cdot n \text{ mile}$ 。此时，轴辐网络的航运成本最小化问题，就转化为贸易距离最小化问题。根据过境、区际、区内三种货流，将贸易距离分解成三个分量：

$$M_{kpq}^n = M1_{kpq}^n + M2_{kpq}^n + M3_k^n \tag{4}$$

$$M1_{kpq}^n = \sum_{a \in NE} \sum_{b \in NW} (TR_{ab}^{ew} + TR_{ba}^{we}) (d_{kp}^n + d_{kq}^n) \tag{5}$$

$$\begin{aligned} M2_{kpq}^n &= \sum_{i \in N} \sum_{a \in NE} (TR_{ia}^n + TR_{ai}^n) d_{ip}^n + \sum_{i \in N} \sum_{b \in NW} (TR_{ib}^n + TR_{bi}^n) d_{iq}^n \\ &= \sum_{i \in N} \sum_{a \in NE} (TR_{ia}^n + TR_{ai}^n) (d_{ik}^n + d_{kp}^n) + \sum_{i \in N} \sum_{b \in NW} (TR_{ib}^n + TR_{bi}^n) (d_{ik}^n + d_{kq}^n) \end{aligned} \tag{6}$$

$$\begin{aligned} M3_k^n &= \sum_{i \in N} \sum_{j \in N} TR_{ij}^n d_{ij}^n = \sum_{i \in N} \sum_{j \in N} TR_{ij}^n (d_{ik}^n + d_{kj}^n), \\ \forall k \in N, \quad e \in E, \quad w \in W, \quad \forall p \in NE', \quad \forall q \in NW' \end{aligned} \tag{7}$$

(4) - (7) 式中,  $M1_{kpq}^n$ 、 $M2_{kpq}^n$ 、 $M3_k^n$  分别表示海运区  $n$  以港口  $k$  为枢纽港, 并且相邻东行、西行海运区 (即海运区  $e'$ 、 $w'$ ) 分别以港口  $p$ 、港口  $q$  作为枢纽港时, 海运区  $n$  的过境货流、区际货流、区内货流的贸易距离分量;  $TR_{ab}^{ew}$  为东行海运区港口  $a$  到西行海运区港口  $b$  的货流贸易额, 即贸易流;  $TR_{ba}^{we}$  为西行海运区港口  $b$  到东行海运区港口  $a$  的贸易流。

整个优化的步骤如下:

(1) 根据各个国家之间的贸易额、主要港口的集装箱吞吐量, 通过 (2) 式估计各个港口之间的贸易流;

(2) 计算每一海运区内, 以港口  $k$  为枢纽港, 并且相邻的东行、西行海运区分别以港口  $p$ 、 $q$  为枢纽港时的贸易距离;

(3) 将各种枢纽港组合下所有海运区的贸易距离相加, 找到使环球航线总贸易距离最小的一组枢纽港, 确定为环球航线枢纽港的最优方案。

### 3 环球航线枢纽区位优化

本研究计算了东亚、北美西岸、北美东岸、欧洲、东南亚 5 个海运区 (东南亚、中南美的枢纽港都已确定) 的贸易距离, 给各个海运区编号, 依次分别为  $n = 1、2、3、4、5$ 。现以东亚海运区为例, 对其轴辐网络进行优化。

#### 3.1 数据和假设

本文使用了大量国际贸易流数据和港口集装箱吞吐量数据, 分别来自于联合国贸易和发展会议 (UNCTAD) 2002 年的统计, 和集装箱航运界的权威刊物 "Containerisation International" 的对 2005 年世界前 100 位集装箱港口吞吐量的统计。本文在大体不影响结果的前提下, 为适当减小计算量, 对这些数据进行了取舍: 忽略了小于 1 亿美元的国家间贸易流, 对于中国大陆地区只选取前 8 位的港口。

研究涉及的港口数量为: 东亚 16 个, 北美西岸 6 个, 中南美 14 个, 北美东岸 15 个, 欧洲 53 个, 西非 3 个, 东南非 8 个, 东南亚 8 个, 东南亚 9 个, 大洋洲 7 个。其中, 大洋洲的港口与新加坡连接, 西非的港口与欧洲的枢纽港连接, 东南非的港口与东南亚的枢纽港连接。

上文中已经提出了 3 个假设: 集装箱航线的单位周转量航运成本不变、各国外贸集装箱生成系数相同、以港口吞吐量来分配港口间的货流。除此以外本文还给出了以下几个假设:

(1) 国家内部贸易、陆上相邻国家 / 地区之间、部分欧洲国家之间等的贸易完全不由海运承担;

(2) 忽略了小于 1 亿美元的国家间贸易流;

(3) 不计煤炭、石油、金属 / 非金属矿产品等散货的贸易;

(4) 考虑到北美发达的海陆联运, 东亚、东南亚、大洋洲与北美的航运, 完全通过北美西岸港口; 中南美与北美的航运, 完全通过巴拿马城中转; 其他海运区与北美的航运, 完全通过北美东岸;

(5) 俄罗斯与东亚 (不包括中国)、东南亚的贸易通过符拉迪沃斯托克 / 东方港, 与北美、东南亚、欧洲部分国家的贸易通过圣彼得堡和新罗西斯克;

(6) 内陆国的主要外贸通道有: 中欧内陆国—北美, 通过汉堡—勒阿弗尔港口群; 瑞士—东亚、东南亚, 通过意大利西北部港口群和马赛港; 奥地利、捷克、匈牙利等其他中欧内陆国—东亚、东南亚, 通过北亚得里亚海港口群。

(7) 有极少数港口,如火努鲁鲁、拉斯帕尔马斯等,是传统的转运港,因此以这些港口为起点、终点的货流设为0。

### 3.2 单海运区优化案例——东亚

东亚海运区选取了16个主要港口,包括中国(包括香港、台湾地区)、日本、韩国、菲律宾(马尼拉与香港、高雄等港口之间的距离,明显小于与新加坡之间的距离,因此算作东亚港口)、俄罗斯远东的港口。本研究中将一些距离较近的港口,看作一个

表2 2005年东亚、北美西岸港口和新加坡集装箱吞吐量

Tab. 2 Container traffic of ports of East Asia, west coast of North America and Singapore, 2005

港口	东亚		相邻海运区	
	吞吐量 (万 TEU)	港口	吞吐量 (万 TEU)	港口
香港/深圳/广州	4348.2	横滨/东京	663.2	新加坡
上海	1808.4	大连	269.0	
釜山	1184.0	名古屋	249.1	洛杉矶/长滩
高雄	947.1	大阪/神户	435.6	奥克兰
青岛	630.7	基隆	209.1	西雅图/塔科马
宁波	520.8	光阳	143.9	火努鲁鲁
天津	480.1	东方港/符拉迪沃斯托克	40.6	温哥华
厦门	334.2	马尼拉	262.5	曼萨尼约港

数据来源: Containerisation International Yearbook, 2006.

港口(如香港/深圳/广州、横滨/东京、洛杉矶/长滩等)。东亚各港口2005年的吞吐量、相邻海运区的港口吞吐量如表2所示。

过境货流分为东行、西行两个方向。东行过境货流是从东南亚、大洋洲—北美西岸、中南美(除巴西、阿根廷、乌拉圭)的货流,西行过境货流的方向与之正好相反。经过计算,东行过境贸易流  $TRWE = \sum_{a \in NE} \sum_{b \in MW} TR_{ba}^{we} = 78.05 \times 10^9$  \$, 西行过境贸易流  $TREW =$

$$\sum_{a \in NE} \sum_{b \in NW} TR_{ab}^{ew} = 45.23 \times 10^9 \text{ $}.$$

区际贸易流的计算结果分别见表3。限于篇幅,区内贸易流计算结果不再详细列出。以东亚港口*i*为起点的西行(连接新加坡)、东行(连接北美西岸的枢纽港)区际贸易流分别记作  $TR_{iw}^1$ 、 $TR_{ie}^1$ , 以东亚港口*i*为终点的东行(连接新加坡)、西行(连接北美西岸的枢纽港)区际贸易流分别记作  $TR_{wi}^1$ 、 $TR_{ei}^1$ 。

将上述数据和东亚各港口、新加坡、北美西岸港口之间的距离数

表3 2002年东亚港口的区际贸易流 (10<sup>9</sup> \$)

Tab. 3 Inter-range trade flows of ports of East Asia, 2002 (10<sup>9</sup> \$)

港口 i	东亚-其他海运区		港口 i	其他海运区-东亚	
	$TR_{iw}^1$	$TR_{ie}^1$		$TR_{wi}^1$	$TR_{ei}^1$
香港/深圳/广州	112.07	86.26	香港/深圳/广州	75.69	22.42
上海	29.13	33.13	上海	22.41	9.16
釜山	41.16	36.95	釜山	29.71	21.58
高雄	29.93	25.90	高雄	20.96	15.60
港口 i	东亚-其他海运区		港口 i	其他海运区-东亚	
	$TR_{iw}^1$	$TR_{ie}^1$		$TR_{wi}^1$	$TR_{ei}^1$
青岛	10.16	11.55	青岛	7.82	3.19
宁波	8.39	9.54	宁波	6.45	2.64
天津	7.73	8.95	天津	5.95	2.43
厦门	5.38	6.12	厦门	4.14	1.69
横滨/东京	65.03	64.50	横滨/东京	46.29	28.23
大连	4.33	4.93	大连	3.33	1.36
名古屋	24.43	24.23	名古屋	17.39	10.60
大阪/神户	42.71	42.37	大阪/神户	30.40	18.54
基隆	6.61	5.72	基隆	4.63	3.44
光阳	5.00	4.49	光阳	3.61	2.62
东方港/符拉迪沃斯托克	0.00	0.00	东方港/符拉迪沃斯托克	0.19	0.00
马尼拉	12.71	9.70	马尼拉	7.75	7.46

注: 根据 UNCTAD 数据和表2中数据计算。

表 4 东亚海运区的贸易距离 ( $10^{15}$  \$·n mile)  
Tab. 4 Trade distance of East Asia ( $10^{15}$  \$·n mile)

东亚枢纽港	北美西岸枢纽港							
	考虑区内货流				不考虑区内货流			
	洛杉矶/长滩	奥克兰	西雅图/塔科马	火奴鲁鲁	洛杉矶/长滩	奥克兰	西雅图/塔科马	火奴鲁鲁
香港/深圳/广州	7.044	6.837	6.642	6.055	6.360	6.153	5.957	5.371
上海	6.941	6.740	6.544	6.032	6.393	6.192	5.996	5.485
釜山	6.786	6.586	6.383	6.062	6.266	6.066	5.863	5.542
高雄	6.789	6.588	6.390	5.765	6.211	6.010	5.812	5.188
青岛	7.400	7.207	7.008	6.560	6.744	6.550	6.351	5.903
宁波	6.816	6.614	6.421	5.884	6.277	6.075	5.881	5.345
天津	8.256	8.055	7.854	7.409	7.406	7.204	7.004	6.559
厦门	6.806	6.602	6.395	5.812	6.226	6.022	5.815	5.232
横滨/东京	7.282	7.091	6.895	6.340	6.573	6.382	6.187	5.632
大连	7.759	7.557	7.358	6.958	7.025	6.823	6.624	6.224
名古屋	7.173	6.975	6.787	6.231	6.514	6.316	6.128	5.572
大阪/神户	7.043	6.839	6.653	6.082	6.448	6.244	6.058	5.487
基隆	6.694	6.497	6.294	5.693	6.162	5.965	5.762	5.161
光阳	6.841	6.639	6.440	6.091	6.311	6.109	5.910	5.561
东亚枢纽港	北美西岸枢纽港							
	考虑区内货流				不考虑区内货流			
	洛杉矶/长滩	奥克兰	西雅图/塔科马	火奴鲁鲁	洛杉矶/长滩	奥克兰	西雅图/塔科马	火奴鲁鲁
东方港/ 符拉迪沃斯托克	7.874	7.668	7.470	7.130	6.996	6.791	6.592	6.252
马尼拉	7.632	7.431	7.242	6.483	6.738	6.537	6.348	5.589

注: 东南亚以新加坡为枢纽港; 北美西岸没有考虑加拿大温哥华和墨西哥的曼萨尼约港作为枢纽港的情况。

据, 代入 (4) - (7) 式中, 计算出东亚海运区的贸易距离 (表 4)。本文还考虑了环球航线的轴辐网络不承担区内货物运输的情况, 区内贸易完全由地方的区域航线网络承担。因此, 在这种情况下, 只需对  $M1_{kpq}^n = M1_{kpq}^n + M2_{kpq}^n$  最小化。

根据以上计算得出结论: 北美西岸以任何港口为枢纽港时, 东亚海运区以基隆为枢纽港时贸易距离最小, 即基隆的区位条件最佳。另外当釜山、高雄、厦门为枢纽港时贸易距离也较小。当北美西岸以火努鲁鲁为枢纽港时, 宁波较具优势, 而釜山则区位较差。从计算结果中还可以看出, 北美西岸以火努鲁鲁为枢纽港时的贸易距离较小, 而传统的北美—亚洲航线的主要港口——洛杉矶/长滩则由于航线距离较长而出于劣势, 距离较近的西雅图/塔科马则显示出区位优势。

将上述运算结果加上北美西岸的贸易距离后, 发现火努鲁鲁的优势消失了。这是因为火努鲁鲁虽然在北美西岸港口中离东亚最近, 但是与其他北美港口、巴拿马运河之间的距离较远。如果北美西岸海运区以火努鲁鲁作为枢纽港, 将会导致支线航运成本过高。

### 3.3 环球航线优化结果

由于环球航线被马六甲海峡、巴拿马运河、苏伊士运河分割为 3 个独立的航段, 可以将东亚、北美西岸的总贸易距离  $M_{abc}^1 + M_{bda}^2$  (注意太平洋航段不能重复计算, 且  $a$ 、 $b$ 、 $c$ 、 $d$  分别为东亚枢纽港、北美西岸枢纽港、新加坡、巴拿马城), 北美东岸、欧洲的总贸易距离  $M_{efd}^3 + M_{fge}^4$  (注意大西洋航段不能重复计算, 且  $e$ 、 $f$ 、 $g$  分别为北美东岸枢纽港、欧洲枢纽港、塞得港), 西南亚的贸易距离  $M_{hcg}^5$  ( $h$  为西南亚枢纽港) 分开计算, 选取较优的几个结果列于表 5—表 7。

一般来说, 环球航线只承担海运区之间的运输, 因此不考虑区内货流时得到的最优枢纽区位更为合理。运算结果表明, 不考虑区内货流时, 环球航线最优的枢纽港组合是

表 5 东亚、北美西岸总贸易距离 ( $10^{15}$  \$·n mile)Tab. 5 Trade distance of East Asia plus west coast of North America ( $10^{15}$  \$·n mile)

北美西	不考虑区内货流			考虑区内货流		
	东亚	洛杉矶/长滩	奥克兰	西雅图/塔科马	洛杉矶/长滩	奥克兰
香港/深圳/广州	6.748	6.639	6.747	7.442	7.332	7.440
上海	6.781	6.677	6.785	7.339	7.235	7.343
釜山	6.654	6.552	6.653	7.184	7.081	7.182
高雄	6.599	6.495	6.601	7.186	7.082	7.189
厦门	6.614	6.507	6.604	7.203	7.097	7.194
基隆	6.551	*6.450	6.552	7.092	*6.991	7.093

注: \*为最小贸易距离。

表 6 北美东岸、欧洲总贸易距离 ( $10^{15}$  \$·n mile)Tab. 6 Trade distance of east coast of North America plus Europe ( $10^{15}$  \$·n mile)

北美东	欧洲	不考虑区内货流			考虑区内货流			
		南安普敦	勒阿弗尔	阿尔赫西拉斯	里斯本	南安普敦	勒阿弗尔	阿尔赫西拉斯
纽约	4.566	4.595	4.545	*4.436	*5.960	6.001	6.491	6.220
查尔斯顿	4.726	4.755	4.690	4.581	6.115	6.156	6.631	6.360
弗吉尼亚港	4.615	4.644	4.590	4.476	6.006	6.047	6.533	6.258
萨凡纳	4.805	4.835	4.744	4.636	6.195	6.236	6.685	6.415
迈阿密/大沼泽地港	4.924	4.954	4.852	4.753	6.311	6.352	6.791	6.529
杰克逊维尔	4.863	4.893	4.800	4.694	6.253	6.294	6.741	6.473
弗里波特	4.895	4.925	4.814	4.718	6.282	6.323	6.753	6.495

注: \*为最小贸易距离。

基隆—奥克兰—巴拿马城—纽约—里斯本—塞拉莱—新加坡(图 2), 总贸易距离为  $15.139 \times 10^{15}$  \$·n mile, 而 Ashar 提出的赤道环球航线如果东亚以香港为枢纽港, 总贸易距离为  $15.942 \times 10^{15}$  \$·n mile; 如果以釜山为枢纽港, 总贸易距离为  $15.847 \times 10^{15}$  \$·n mile, 均大于本文优化的结果。

## 4 结论

由于本文仅考虑贸易流、航行距离的因素, 而不考虑港口设施条件和自然条件, 因此通过区位优势化的枢纽港, 与 Ashar 提出的赤道环球航线略有不同。不同之处在于:

第一, 在东亚海运区中, 基隆、高雄、厦门的区位较为优越。因为要兼顾与东行海运区和西行海运区之间的货流, 所以在东亚中部沿海形成一个贸易距离最小的中心, 包括中国东南部、韩国的港口, 比南北两侧的港口(如香港、青岛)和偏东的日本港口更为有利。一般认为釜山距国际航线最近, 位置最为优越。上海、宁波位于中国海岸线中部, 一般认为区位优势也较突出。但由于与西行海运区之间的贸易流(包括东亚与东南亚、大洋洲、西南亚、欧洲、非洲等之间的贸易流)比东行海运区大 1/3 左右, 对贸易距离有很大影响, 因此这一贸易距离最小中心的位置比传统的观点偏南, 基隆成为东亚区位优势最优的港口。

第二, 在北美西岸海运区中, 美国沿岸从北到南有 3 个具有一定区位优势港口: 西雅图/塔科马、奥克兰、洛杉矶/长滩。当以位置居中的奥克兰为枢纽港时, 与该海运区其他港口, 以及与东亚各港口、与巴拿马运河之间的距离适中, 因此奥克兰的区位优势优于该海运区最大的港口—洛杉矶/长滩。

表 7 西南亚贸易距离 ( $10^{15}$  \$·n mile)Tab. 7 Trade distance of West and South Asia ( $10^{15}$  \$·n mile)

	不考虑区内货流	考虑区内货流
科伦坡	3.380	3.381
塞拉莱	*3.254	*3.257

注: \*为最小贸易距离。



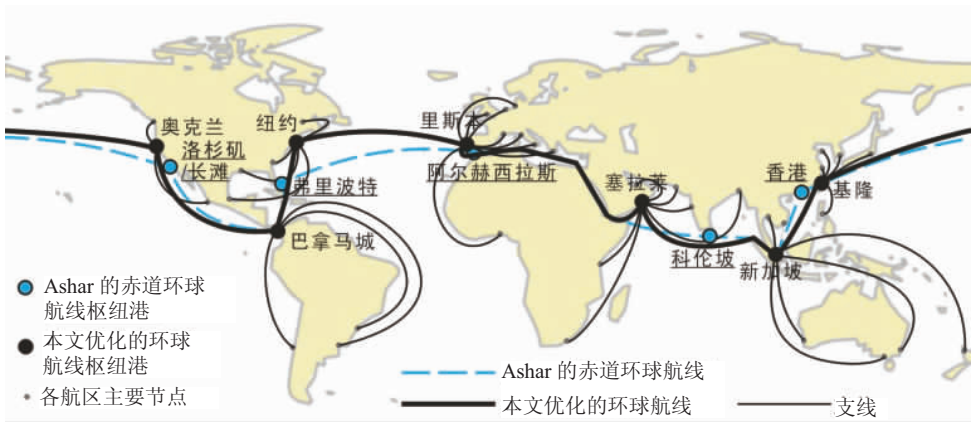


图 2 经优化的环球航线

Fig. 2 The optimized round-the-world service

第三,在北美东岸海运区中,与东行海运区(包括欧洲、西南亚、非洲)的贸易流远远大于与西行海运区(中南美)的贸易流,并且纽约在与东行海运区的贸易流中占了近30%,北部港口群(纽约、弗吉尼亚港、蒙特利尔)占了近50%,因此贸易距离最小中心明显比弗里波特靠北,纽约为区位最优的港口。

最后,经过枢纽区位优化的环球航线,位置比赤道环球航线偏北,总航程为23026海里,赤道环球航线为22750海里,前者比后者长1.2%,而总贸易距离反而小4.5-5%,这是因为考虑了贸易流分布的因素后进行修正的结果。两者之间最大的偏离出现在跨大西洋航段。Ashar的赤道环球航线突出纯转运港的作用,巴哈马的弗里波特目前集装箱转运比例接近100%,符合纯转运港的特征。而经过优化的环球航线在该航段接近传统的北美东岸—地中海航线,这是因为纽约作为巨大的北美东北部消费市场和制造业中心的门户港,与世界另一个经济中心—欧洲之间距离较近,因此区位比弗里波特等北美东岸南部港口更为优越。

从以上分析中可以看出,如果仅从贸易距离优化的角度看,赤道环球航线的并非最佳线路。但是充分考虑到其他各个方面的因素后,可能赤道环球航线较为符合。例如,纽约由于受较高的劳动力成本、土地租金等因素影响,综合区位条件可能不如实行宽松的航运政策的巴哈马的弗里波特。又例如,考虑到政局的稳定性、腹地整体经济的发展潜力等因素,高雄、基隆的综合区位条件很可能不如香港、上海等港口。

本文只是从航运成本的视角出发,探讨环球航线枢纽区位优化问题的,难免会得出略显片面的结论。但是,本文的目的主要是提供一种方法,来尝试探寻集装箱航线形成背后的经济因素。对于中国的港口来说,为了应对未来巴拿马运河拓宽工程以后可能到来的航运业“第四次革命”,更需要加强港口的基础设施建设,以营造更好的港口条件,吸引国际班轮公司的环球航线挂靠。这一点对于深居内海的中国黄海、渤海沿岸港口尤为重要,必须要加强港口的硬件设施和管理水平,未雨绸缪,准备应对即将到来的集装箱航运业新形势的挑战。

## 参考文献 (References)

- [1] Slack S. Across the pond: Container shipping on the North Atlantic in the era of globalisation. *GeoJournal*, 1999, 48: 9-14.
- [2] Trace K. Globalisation of container shipping: Implications for the north-south liner shipping trades. *The 8th World Congress of Economic History*, July, 2002.
- [3] Peng Chuansheng. The long-term development perspective of container liner shipping system. *Containerization*, 2000, (7): 9-12. [彭传圣. 集装箱班轮运输系统的远期发展前景. *集装箱化*, 2000, (7): 9-12.]

- [4] Slack B, Comtois C, Sletmo G. Shipping lines as agents of change in the port industry. *Maritime Policy and Management*, 1996, 23: 289-300.
- [5] Li Weiguo, Li Chao, Zhou Honghai. The trend of enlargement of container carriers and its effects. *Containerization*, 2005, 1: 10-12. [李卫国, 李超, 周洪海. 集装箱船大型化趋势及其影响. *集装箱化*, 2005, 1: 10-12.]
- [6] Cullinane K, Khanna M. Economies of scale in large container ships: Optimal size and geographical implications. *Journal of Transport Geography*, 2000, 8: 181-195.
- [7] Zhang Rongzhong. The expansion of Panama Canal for very large container carriers. *Container Transport*, 2006, 11: 22-24. [张荣忠. 为超大型、巨无霸型集装箱船开道: 扩建巴拿马运河. *集装箱运输*, 2006, 11: 22-24.]
- [8] Notteboom T E. Container shipping and ports: An overview. *Review of Network Economics*, 2004, 3: 86-106.
- [9] Chang H Y. The impact of bigger vessels on shipping and ports. Workshop on Shipping and Port Development Policy: A course of Koran Maritime Institute. April 13, 2004.
- [10] Ashar A. Revolution #4. *Containerisation International*. 2006, 12: 46-49.
- [11] O'Kelly M E, Miller H J. The hub network design problem. *Journal of Transport Geography*, 1994, 2(1): 31-40.
- [12] Bodin L D, Golden B I, Schuster A D et al. A model for the blocking of trains. *Transportation Research B*, 1980, 1/2: 115-120.
- [13] Chestler L. Overnight air express: Spatial pattern, competition and the future in small package delivery services. *Transportation Quarterly*, 1985, 39: 59-71.
- [14] Shaw S L. Hub structures of major US passenger airlines. *Journal of Transport Geography*, 1993, 1: 47-58.
- [15] O'Kelly M E, Bryan D, Skorin-Kapov D et al. Hub network design with single and multiple allocation: A computational study. *Location Science*, 1996, 4: 125-138.
- [16] O'Kelly M E. A quadratic integer program for the location of interacting hub facilities. *European Journal of Operational Research*, 1987, 3: 393-404.
- [17] O'Kelly M E, Skorin-Kapov D, Skorin-Kapov J. Lower bounds for the hub location problem. *Management Science*, 1995, 41: 713-721.

## Optimization of the Locations of Hub-ports in Round-the-world Container Service

XU Hua<sup>1,2</sup>, JIN Fengjun<sup>1</sup>, WANG Chengjin<sup>1</sup>

(1. *Institute of Geographic Sciences and Natural Resources Research, CAS, Beijing 100101, China;*

2. *Graduate University of Chinese Academy of Sciences, Beijing 100039, China)*

**Abstract:** Under the background of economic globalization, container shipping, which has the character of pronounced scale economy, is an indispensable link of a modern economy. Since the container ships become larger and larger, the expansion of Panama Canal has been put to agenda, therefore "round-the-world service", which can exploit economy of scale most, will reappear soon, hence forming a world-wide hub-spoke network eventually. This study analyses shipping cost to find the best locations of hub-ports of the container service which is based on Ashar's Equatorial Round-The-World Service (ERTW Service).

How to choosing hub-ports en route will affect the world regional economic development in the future, so this study is quite meaningful. The result of this study differs slightly from Ashar's ERTW Service, for example, the locations of ports of Chinese Taiwan are quite superior, while those of Chinese Mainland, especially those along the coast of Yellow Sea and Bohai Sea, are not so good comparatively.

Although this study is from a new aspect which is pure economical and makes the result somewhat deviate from the status quo, it introduces a new quantitative method to analyse transportation geography. The result of this study reveals the disadvantages of the locations of ports of Chinese Mainland. The emergency is to reinforce the construction and management of these ports to attract more container services to meet the future challenges.

**Key words:** container shipping; round-the-world service; optimization of the location; hub-port; maritime range; trade distance