



## 基于 GIS 的港口腹地划分模型\*

王杰, 王晓斌, 张咪妮

(大连海事大学 交通运输管理学院, 辽宁 大连 116026)

**摘要:** 首次尝试运用地理信息系统 (GIS) 来划分港口腹地, 既为消除主观因素影响又考虑到货主选择港口的随机性, 在改进哈夫模型的基础上引入 GIS 中“栅格”的概念, 从而构建出度量港口对腹地吸引力的密度模型, 并首次运用 GIS 软件对模型进行求解。据此, 以中国东北地区的大连港和营口港为实例分析该模型, 分别划分两港腹地, 所得计算结果与实际情况基本相符, 表明基于 GIS 的密度模型具有实践意义。

**关键词:** GIS; 腹地划分; 港口腹地; 密度模型

中图分类号: C 691

文献标志码: A

文章编号: 1002-4972(2014)10-0091-06

### Port hinterland segmentation model based on GIS

WANG Jie, WANG Xiao-bin, ZHANG Mi-ni

(Transportation Management College, Dalian Maritime University, Dalian 116026, China)

**Abstract:** Technology of Geographic Information System (GIS) is used to segment port hinterland for the first time. To eliminate the influence of subjective factors and also considering randomness of shippers' choices for ports, a density model is developed based on improved Huff model to measure the attraction of port by introducing the concept of grid in GIS. GIS software is first applied to figure out the model. Then, port of Dalian and port of Yingkou in northeast China are taken as a case to analyze the model by segmenting hinterland of the two ports respectively. The results are in accordance with actual situation basically, which indicates that the density model based on GIS is practically significant.

**Keywords:** GIS; hinterland segmentation; port hinterland; density model

港口腹地指港口的客货吸引范围, 腹地范围内的客货通过港口集聚出口或进口。目前, 我国相邻港口腹地之争日益加剧, 为了避免其在腹地货源、集疏运设施等方面的无效甚至恶性竞争, 合理地进行港口建设, 减少社会资源浪费, 需要合理、科学地划分港口腹地。

在国外相关文献中, 学者的研究多集中于港口腹地分析方法上, 包括类比法、邻域法、重力法等<sup>[1-5]</sup>, 主要采用引力模型与哈夫模型。在国内相关研究中, 王文<sup>[6]</sup>构建出港口与腹地之间进出

口货物的运输成本最小化模型; 王杰<sup>[7]</sup>提出基于图表分析方法的圈层结构划分法和点轴结构划分法, 并以大连港为例开展腹地研究; 刘巍巍<sup>[8]</sup>运用空间经济学的区位商模式与方法, 针对温州港腹地进行了研究; 许云飞<sup>[9]</sup>采用 O-D 物流与图论相结合, 针对山东沿海港口腹地进行研究; 杨家其<sup>[10]</sup>采用引力模型与模糊综合评判模型相结合的方法, 确定港口对腹地的吸引力及其服务范围。

上述方法对港口腹地的划分均以寻找明确的边界为目标, 而实际情况并非如此, 亦即同一地

收稿日期: 2014-03-28

\*基金项目: 教育部哲学社会科学研究重大课题攻关项目 (13JZD040)

作者简介: 王杰 (1962—), 男, 博士, 教授, 主要研究方向为港口与航运经济。

点由于货物种类和数量以及时间的变化,货主对港口的选择具有随机性,同一地区未必会成为同一个港口的货源地。针对这一不足,本文在改进哈夫模型的基础上,引入GIS中“栅格”的概念,构建出密度模型来合理划分港口腹地,并运用GIS软件对密度模型进行求解。

## 1 港口腹地划分的相关模型

### 1.1 引力模型

引力模型考虑了港口吸引力和腹地距离港口的远近,综合了港口与腹地两方面的信息,且使用方便,因而成为常见的相邻港口腹地定量划分方法之一。

引力模型假设港口A和B的吸引力分别为 $S_A$ 和 $S_B$ ,腹地至港口A和港口B的距离分别为 $d_A$ 和 $d_B$ ,划分两港腹地就是寻找断裂点X(图1)。

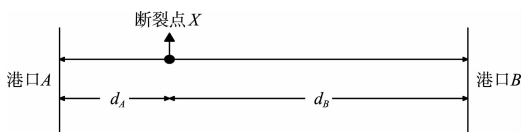


图1 断裂点X

模型的约束条件为断裂点处港口A和港口B对腹地的吸引力相同,即:

$$\frac{S_A}{d_A^2} = \frac{S_B}{d_B^2} \quad (1)$$

基于不同的假设,港口吸引力 $S$ 的计算公式也不同。一种广泛使用的方法是令港口吸引力等于港口“质量”与腹地“质量”的乘积,即:

$$S_A = M_A M \quad (2)$$

$$S_B = M_B M \quad (3)$$

式中: $M_A$ 、 $M_B$ 、 $M$ 分别为港口A、B和腹地的“质量”,可取为地区生产总值、工农业总产值、进出口贸易额等经济指标,或港口自然地理条件、交通便利条件等其他指标。然而,这些指标的选取大都带有主观成分,需通过模糊综合评价方法、粗糙集方法等处理,以尽量减少主观因素的影响。

### 1.2 哈夫模型

哈夫模型比引力模型更接近于实际,适用于

多目标选择。哈夫模型假设在某一区域所有可选港口中,货主选择某一港口的概率与选择该港口的效用成正比,即:

$$P_{ij} = \frac{U_j}{\sum_{k=1}^n U_k} \quad (4)$$

式中: $P_{ij}$ 为腹地 $i$ 选择港口 $j$ 的概率; $U_j$ 为货主选择港口 $j$ 时的效用; $U_k$ 为货主选择港口 $k$ 时的效用, $k$  ( $k=1, 2, \dots, n$ )代表所有可选港口。效用 $U$ 的计算方法与所做假设有关,通常用引力模型中的定义,即:

$$U = \frac{S}{d^{-\beta}} \quad (5)$$

式中: $\beta$ 为距离摩擦系数,其它参数同上。

然而,哈夫模型有以下几点不足:1)由于港口吸引力 $S$ 计算中的指标选取带有主观成分,因而采用该模型来确定港口腹地容易受到主观因素影响。2)港口腹地划分中的行政区域单位大小选取容易受到主观因素影响,亦即在模型求解过程中,一般先按照行政区域将腹地划分成面积较小的单位,再将此单位抽象为一个“点”,对多个以“点”形式出现的单位求和得出腹地范围。如果划分单位过大,会造成计算结果精确性不高;如果划分单位过小,会导致数据量过大而不具有实践意义。3)哈夫模型计算所得的港口腹地是有一条明确的分界线(即计算的最终结果由各行政区域的边界构成),其离散本质使其难以精确描述出港口腹地划分中的不确定性,亦即受行政区域划分方法的影响,过于绝对地认为一个区域只能单一成为某一港口的腹地,忽略了现实中货主选择港口的随机性。

## 2 港口腹地划分模型的构建

### 2.1 密度模型的构建原则

为了解决上述哈夫模型中存在的问题,1)针对港口吸引力 $S$ 计算过程中所带来的主观因素影响,本模型从货主的角度出发来划分港口腹地,假定货主是理性人且选择某一港口的概率只与运输成本有关,而货物从货源地到港口的运输成本

是客观的,这就避免了哈夫模型计算概率时需要计算港口吸引力  $S$  而产生的影响;同时,货主以理性人的身份选择运输成本最低的路径,以此作为货主选择港口的原则。2) 为消除行政区划方法所导致的主观因素影响以及其计算结果过于绝对,本模型引入了 GIS 中“栅格”的概念,每一栅格对应地球表面上长宽各为 1 km 的空间地理区域,这就对在哈夫模型计算中近似为一个点的特定地表区域尽可能缩小,这样一来就不涉及到行政区划划分单位选取的问题,也不会使得计算结果是一条明确的行政区域分界线。

## 2.2 密度模型的构建

首先对密度模型作如下假设:1) 处于任一栅格的货主仅从有限个数的港口中选择一个港口作为目的地;2) 不考虑距离摩擦系数  $\beta$  的影响,其取值参考引力模型,取为经验值 2;3) 以路网密度  $d_\omega$  的倒数作为某一栅格通行成本的近似指标,路网密度越大越易通行且通行成本越低;4) 货主是理性人,只选择路径成本最低的路线。

其中,假设 1) 与假设 4) 由实际情况推出;假设 2) 与假设 3) 中,针对  $\beta$  和  $d_\omega$  的估算有多种不同方法,鉴于这里旨在对密度模型进行描述,因此对这两个指标的取值与计算加以简化。

据此构建密度模型:

$$d_\omega = L_\omega S_\omega^{-1} \quad (6)$$

$$C_\omega = d_\omega^{-1} \quad (7)$$

$$C_\varepsilon = \min_{\omega \in \Omega_i} (d_\omega^{-1}) \quad (8)$$

$$U_i = \left\{ \min_{\omega \in \Omega_i} (d_\omega^{-1}) \right\}^{-\beta} \quad (9)$$

$$P_i = \frac{U_i}{\sum_{k=1}^m U_k} = \frac{\left\{ \min_{\omega \in \Omega_i} [ \sum_{\omega \in \varepsilon} (L_\omega S_\omega^{-1})^{-1} ] \right\}^{-\beta}}{\sum_{k=1}^m \left\{ \min_{\omega \in \Omega_k} [ \sum_{\omega \in \varepsilon} (L_\omega S_\omega^{-1})^{-1} ] \right\}^{-\beta}} \quad (10)$$

式中:  $\omega$  代表任一栅格;  $d_\omega$  为任一栅格的路网密度;  $L_\omega$  为任一栅格内路网的长度;  $S_\omega$  为栅格所代表的实际地理面积;  $C_\omega$  为任一栅格的通行成本;  $\Omega_i$  为任一栅格至港口  $i$  ( $i=1, 2, \dots, m$ ) 的路径集合;  $\varepsilon$  为任一栅格至港口  $i$  的一条路径(此路径

由若干个栅格组成);  $C_\varepsilon$  为任一栅格至港口  $i$  的最低路径成本;  $U_i$  为处于任一栅格的货主选择港口  $i$  的效用;  $\beta$  为距离摩擦系数;  $P_i$  为处于任一栅格的货主选择港口  $i$  的概率;  $m$  为港口数。

上述公式中,式(6)计算了任一栅格的路网密度;式(7)在式(6)的基础上计算出任一栅格的通行成本;式(8)在式(7)的基础上进一步计算任一栅格至港口  $i$  的最低路径成本;式(9)计算了港口  $i$  对处于任一栅格的货主所具有的效用,即最低路径成本越高,对货主的效用越低;式(10)计算了处于任一栅格的货主在所有  $m$  个港口中选择港口  $i$  的概率。

## 3 实证分析

我国的东北地区包括辽宁省、吉林省和黑龙江省。东北三省位于关外,在地理上相对独立,仅在南部辽宁地区有出海口。据统计,中国东北地区 95% 以上的海运货物和 90% 以上的外贸货物都要通过辽宁省沿海港口进出。故选择中国东北地区作为实证分析的研究对象。

### 3.1 大连港和营口港的腹地概况

目前,辽宁省形成了以大连、营口为主要港口,丹东、锦州为重要港口的分层次港口发展格局。2012 年,辽宁省沿海港口共完成货物吞吐量 8.8 亿 t (表 1), 其中大连港和营口港货物吞吐量占总量的 76%, 是东北地区最主要的两个港口。在此运用密度模型计算分析大连港和营口港的腹地范围。

表 1 2012 年辽宁省各港口吞吐量

港口	吞吐量/亿 t	占总量比例
大连港	3.74	0.42
营口港	3.01	0.34
丹东港	0.96	0.11
锦州港	0.74	0.08
葫芦岛港	0.23	0.03
盘锦港	0.18	0.02

注:数据来源为《中国港口年鉴(2013 版)》。

大连港和营口港陆地相邻。就两港的腹地而言,大连港的直接腹地以辽东半岛为主,吉

林省和黑龙江省是大连港的传统腹地；营口港的直接腹地以沈阳、鞍山、抚顺、本溪、营口、辽阳、铁岭等辽宁中部城市群为主，但其凭借陆域运输距离短的地理优势，截取流向大连港的货源，货物承揽量日益壮大，吉林省和黑龙江省正逐渐成为营口港的腹地。在此，通过密度模型来看两港共有腹地分别选择大连港和营口港的可能性。

### 3.2 实例求解过程

为了划分出大连港和营口港的腹地范围，首先需要计算东北地区内所有栅格的通行成本，其次需要计算出所有栅格的最低路径成本，最终分别计算出处于任一栅格的货主选择大连港和营口港的概率。

#### 1) 计算腹地内任一栅格的通行成本。

东北地区面积为 78.73 万 km<sup>2</sup>，而 GIS 中一个栅格的面积仅为 1 km<sup>2</sup>，若将东北地区划分成一个个栅格，那么栅格数将有近 80 万个，计算量庞大，为了便于计算，假设县内各栅格通行成本相同。本文采用 ArcGIS10.0 对模型进行求解。

依据式(6)和(7)可以分别计算出任一栅格的路网密度和通行成本。这里假设货物仅通过铁路运输至港口(图2)，据此可计算得到东北地区所有栅格的通行成本(图3)。图3中颜色较深的栅格表示其路网密度较小，通行成本比较高；颜色较浅的栅格则刚好相反。此外，图3中画圈处的颜色比周围颜色深，对比图2和图3可以发现，在图2中尚未通铁路的地区恰好与图3中颜色较深的栅格一一对应，这些地区由于交通基础设施较为落后而导致货物的通行成本比较高。

#### 2) 计算腹地内任一栅格至港口的最低路径成本。

任一栅格至某一港口都存在一条路径成本最低的路线。根据式(8)即可分别计算出腹地内任一栅格至大连港和营口港的最低路径成本。腹地内所有栅格至大连港的路径成本如图4所示，腹地内所有栅格至营口港的路径成本如图5所示，其中颜色较深的栅格表示至港口的路径成本比较高。可以看出，图4和图5均是从南向北颜色逐

渐加深，表明距离港口越远路径成本越高，与实际情况相符合。然而，图4中画圈处的颜色并不是渐变的而是比周围颜色深(图5的相同地方亦是如此)，主要也是这些地区的交通运输基础设施较为落后的原因。



图2 东北地区铁路网



图3 各栅格通行成本



图4 至大连港最低路径成本



图 5 至营口港最低路径成本



图 6 选择大连港概率

3) 计算处于腹地内任一栅格的货主选择某港口的概率。

依据式(9)和式(10), 可以分别计算出各栅格选择大连港和营口港的概率。腹地内所有栅格选择大连港的概率如图 6 所示, 腹地内所有栅格选择营口港的概率如图 7 所示, 图中颜色越深的栅格表明处于这些栅格的货主选择对应港口的概率越大, 其中隐含着一个地区并不单一成为某一港口的腹地而是为多个港口所共同拥有的意思。

### 3.3 腹地划分结果分析

由图 6 和图 7 可以看出: 1) 辽南地区对大连港的依赖程度非常高, 货物主要经由大连港进出口, 是大连港最主要的经济腹地。2) 辽中地区、辽西地区(葫芦岛、锦州、盘锦)、辽东地区(丹东)对营口港的依赖程度很高, 是其主要经济腹地。3) 辽宁以北地区(包括辽宁北部、吉林省和黑龙江省)对大连港的依赖程度随着距离的增加而增加, 而对营口港的依赖程度则是随着距离的增加而降低。

在以上结论中, 1) 和 3) 基本上与实际情况相符合, 2) 却与实际情况有所出入, 营口港的腹地以辽中城市群为主, 但是图 7 中却显示出辽西、辽东地区对营口港的依赖程度高, 究其原因, 主要是由于辽西地区和辽东地区有各自的港口, 即葫芦岛港、锦州港、盘锦港和丹东港, 而本实例中未考虑这些港口。总的来说, 实证分析的结果基本上与实际情况相符合。



图 7 选择营口港概率

## 4 结语

本文在改进哈夫模型的基础上, 引入 GIS 中“栅格”的概念, 构建出密度模型来合理地划分港口腹地, 并运用 GIS 软件对密度模型进行求解, 且实证分析的结果表明模型具有实践意义。本文主要有以下创新: 1) 从货主的角度出发来划分港口腹地, 货主选择某一港口的概率只与运输成本有关, 而货物从货源地到港口的运输成本是客观的, 消除了哈夫模型在港口吸引力计算过程中所带来的主观因素影响; 2) 密度模型中引入了 GIS 中“栅格”的概念, 消除了行政区域划分方法所带来的选取划分单位时受到的主观因素影响, 解决了一个区域只能单一成为某一港口腹地的问题。

运用本模型所划分的港口腹地打破了行政区划的限制。虽然在目前情况下, 一般按行政区划对相关经济数据进行统计, 但实际上货物通过四

通八达的路网运输至港口，故在以后的经济数据统计中可以考虑对运输网络进行经济数据的统计，而不单单依赖于行政区划。

此外，由于本文着重对 GIS 在港口腹地划分中的应用进行探讨，所构建的模型难免粗糙。

1) 模型中仅以运输成本最低作为货主选择港口的原则，但在实际情况中，货主可能有其他偏好，如更短的运输时间、更便利的运输方式等，在今后的研究中对货主的偏好应当更加具体地进行分析；2) 模型中未考虑交通运输基础设施的容量限制，虽然在实证分析中，由于大连港和营口港共用运输线路，并未对计算结果产生影响，但在在今后的研究中应当进一步完善。

参考文献：

[1] Applebaum W. Methods for determining store trade areas, market penetration and potential sales [J]. Journal of Marketing Research, 1966(2) 127-141.

[2] Reilly W J. The Law of Retail Gravitation[M]. New York:

The Knickerbocker Press, 1931.

[3] Ghosh A, McLafferty S L. Location Strategies for Retail and Service Firms[M]. Virginia: Lexington Books, 1987.

[4] Huff D L. A probabilistic analysis of shopping center trade areas[J]. Land Economics, 1963, 39: 81-90.

[5] Niedercorn J H, Bechdolt B V. An economic derivation of the “gravity law” of spatial interaction [J]. Journal of Regional Science, 1969(2) : 273-282.

[6] 王文. 港口经济腹地及其分析方法探讨[J]. 港口经济, 2006(1) : 23-26.

[7] 王杰. 港口腹地划分的两种新方法探讨[J]. 中国航海, 2005(3) : 57-62.

[8] 刘巍巍. 港口腹地分析的定量模式及实证研究[J]. 水运工程, 2005(11) : 25-29.

[9] 许云飞. 山东省港口经济腹地计算方法的研究[J]. 山东交通学院学报, 2003(3) : 39-44.

[10] 杨家其. 基于模糊综合判断的现代港口腹地划分引力模型[J]. 交通运输工程报, 2002(2) : 123-126.

(本文编辑 武亚庆)

(上接第 84 页)

3 结语

1) 割桩引起的局部破损对桩身位移影响非常小。

2) 割桩对整根桩桩身应力整体影响非常小，但在割桩破损处桩身应力影响较大，出现应力集中现象；在割桩平面处的变化比割桩顶角处的变化更为剧烈；越远离割桩处，桩身应力变化越小；割桩导致的破损对桩身应力的轴向影响半径约为 3 倍切割尺寸，环向影响半径约为 2 倍切割尺寸。

3) 完好桩的最大拉、压应力小于设计值，割桩后最大拉应力可能会大于设计值、桩身出现破坏、桩基水平承载能力下降。

4) 无论水平力多大，割桩处均会出现应力集中现象；且桩顶施加水平力越大，切割处的应力变化值也越大，应力集中现象越明显。

5) 无论是否施加预应力，割桩处均会出现应力集中现象；无预应力时，最大拉应力位置在 2# 切割处，有预压应力时，最大拉应力位置在 1# 切

割处。

6) 无预应力时，割桩引起桩基承载力降低；施加预应力能够大幅提高完好桩承载力，但割桩后预应力桩承载力下降也更为显著。

7) 切割对桩体局部应力影响较大，将低应变检测法应用于在役高桩码头时，应该尽量减少切割桩体的数量；对于已经切割的桩体，为减小切割带来的不利影响，应尽快修补，消除局部应力集中对桩基乃至码头产生的安全隐患。

参考文献：

[1] 徐攸在. 桩的动测新技术[M]. 2 版. 北京: 中国建筑工业出版社, 2003.

[2] 费康, 刘汉龙, 张霆. PCC 桩低应变监测中的三位效应[J]. 岩土力学, 2007, 28(6) : 1 095-1 102.

[3] JTJ 249—2001 港口工程桩基动力检测规程[S].

[4] JTS 151—2011 水运工程混凝土结构设计规范[S].

(本文编辑 武亚庆)