

# 溢油-BL理论在港口经济腹地划分中的应用

初良勇<sup>1,2</sup>, 许小卫<sup>1</sup>, 李淑娟<sup>1</sup>

(1. 集美大学现代物流研究中心, 福建 厦门 361021; 2. 集美大学航海学院, 福建 厦门 361012)

**[摘要]** 为了更加准确地划分港口经济腹地的范围, 在总结影响腹地范围划分的各因素基础上, 结合港口腹地范围的地理分布特点, 构建了基于水面溢油及 BL (Binary Logit) 理论的港口经济腹地范围划分模型, 并具体分析了模型中各参量的意义及取值方法, 最后, 将厦门港的实际运行数据代入所建模型, 计算其腹地范围, 并用计算结果与厦门港传统经验腹地范围相比较, 以验证所构建模型具备的可信度。

**[关键词]** 水路运输; 划分模型; 溢油-BL理论; 港口腹地; 扩展模型

**[中图分类号]** F 252

**[文献标志码]** A

## The Application of Oil Spill and BL Theory on Port Economic Hinterland Division

CHU Liang-yong<sup>1,2</sup>, XU Xiao-wei<sup>1</sup>, LI Shu-juan<sup>1</sup>

(1. Modern Research Center of Logistics, Jimei University, Xiamen 361021, China;

2. Navigation Department, Jimei University. Xiamen 361021, China)

**Abstract:** In order to divide the scope of the port economic hinterland accurately, on the basis of summarizing the factors that affect the division of hinterland, and in combination with the characteristics of port hinterland range, this paper builds a port economic hinterland range division model based on the theory of surface oil spill and BL analyses in detail the meaning of each parameter in the model. Finally, the actual operational data of the Xiamen port are applied to the model in order to calculate the range of its hinterland. The viability of the model is then proved by comparing the results with those obtained in a traditional way.

**Keywords:** waterway transportation; classification model; oil Spill and BL theory; port Hinterland; spreading model

## 0 引言

随着全球经济一体化的发展, “以港兴城、港城互动”成为港口与城市发展的共同目标, 港口在城市经济的发展中占据着越来越重要的战略地位。腹地是港口货源的扩散地和来源地, 是港口生产的基础和保障。对于港口而言, 经济腹地的开发对于港口经济的发展至关重要, 而港口腹地的划分有助于港口清晰自身的定位, 以把握当前的腹地范围, 并更进一步去扩展腹地, 这对于港口的发展规划具有重要的指导意义。传统的港口腹地划分方法有图表法、行政法以及重心法等, 但随着港口的不断发展, 港口在腹地范围划分过程中受到了更多因素的影响。因此, 如何更为准确地划分港口腹地范围具有重要的现实意义。

**[收稿日期]** 2015-11-04

**[修回日期]** 2015-12-28

**[基金项目]** 福建省自然科学基金资助项目(2012J01302); 厦门市科技项目(3502Z20143022)

**[作者简介]** 初良勇(1973—), 男, 副教授, 博士, 从事航运物流系统研究。

对于港口腹地范围的划分问题，国内外学者均取得了丰富的研究成果，为港口经济腹地范围划分的进一步研究奠定了理论基础。Mayer<sup>[1-2]</sup>等人在研究不同港口之间的腹地竞争时，强调了劳动费用、港口集疏运通道的便利性及可达性等影响因素的作用；DORIGE M<sup>[3]</sup>等人在分析港口与经济腹地间的互动关系时，着重考虑了国家及区域政策因素；冯社苗<sup>[4]</sup>在针对港口间接腹地范围划分的研究中，设计蚁群算法对内陆城市到运输港口的线路进行优化，达到划分间接腹地并确定节点城市的目的；李晶、吕靖<sup>[5]</sup>等人重点考虑腹地货源、空间和服务等要素，从港口与区域经济互动的角度分析了港口与所在区域的互动关系；杨家其<sup>[6]</sup>、白煜超、季常熙<sup>[7]</sup>等人在研究港口对其经济腹地的影响力和吸引力时，分别运用了引力模型、模糊判断模型以及圈层划分法。本文对于港口腹地范围划分模型的研究建立在水面溢油理论的基础之上，构建港口经济腹地划分模型，并以厦门港为例进行实证分析。

1 溢油及 BL 理论应用的适应性分析

1.1 港口经济腹地地理分布特点

港口经济腹地范围的分布取决于港口的综合影响力及其传播效率，二者都受运输政策、运输通道、货主偏好等多重因素影响，由于各影响因素相对稳定，因此港口的经济腹地范围在一定时期内也是固定的。考虑港口综合影响力在陆向范围是不断持续传播的，依照影响力递减的规律，从地理分布看，港口经济腹地总体呈以港口为圆心，从海岸线向内陆扩展的扇形。

目前，对港口腹地范围划分的定量研究，即划分模型的研究还未能充分考虑港口腹地的地理分布特点，学术界对此课题仍在不断地探索之中。尚姝<sup>[8]</sup>对港口腹地拓展机制进行了合理分析，提出了腹地拓展中的强源值的概念，并应用烟羽模型在强源值的确定上取得突破；杨倩<sup>[9]</sup>从交通工程理论中得到启发，应用非集计概率选择模型从微观层面研究货主对港口的选择方案，以进一步确定港口的经济腹地范围；李振福<sup>[10]</sup>等人采用电子云与断裂点组合模型尝试对港口腹地进行合理划分，并注意到腹地划分问题的复杂性，采用了组合模型方法。总体而言，对于腹地范围划分方法的研究日趋精细化和不断实用化。

1.2 溢油理论的适应性分析

水面溢油后油膜的物理变化通常包括水面的扩延输移、水下扩散和风化三个阶段。水面溢油模型是预测油在水面的扩展输移、向水下扩散以及风化和归宿问题，为治理石油污染提供依据。在理想的情况下，油滴在水面上形成油膜，经过第一阶段的扩延，形成了中间油层厚，边缘油层薄且形状稳定的圆形油膜。溢油在水面的扩延方程具体参见文献 [11-12]。若考虑风、水流等其他因素，油膜的形状和厚度都将发生不规则变化，要看具体情况而定。

港口通过综合影响力吸引来自腹地的货物，港口影响力的传播范围同样存在一个类似的“物理过程”，其作用原理与水面溢油扩延机制有相同之处。本文将结合港口腹地范围划分的特点，借鉴水面溢油的第一阶段，即油扩延的物理过程，研究港口经济腹地的划分及拓展问题，对港口腹地划分进行数学模型的构建。

1.3 BL 模型的适应性分析

BL (Binary Logit) 模型即二项 (式) 罗吉特模型<sup>[13]</sup>，是一种概率选择模型，常应用于微观二项式选择问题的研究中。在前文所确定的港口间接经济腹地范围内的不同方向，总存在着两个主要港口 (即本文研究的中心港和其竞争港) 之间的竞争，间接腹地的货物流量则可以利用 BL 模型进行划分。如图 1 所示。

应用 BL 模型的关键是备选方案的效用不相关性，即 IIA (Independence from Irrelevant Alternation)

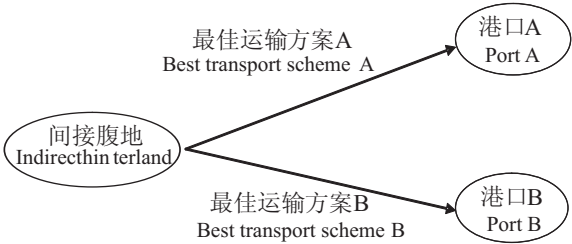


图 1 间接腹地货主选择运输港口示意图  
Fig.1 The choice of transport port diagram for owner of the goods in Indirect hinterland

特性,在本文中合理假设间接腹地的某货主在确定运输港口后即确定从间接腹地到港口的最佳运输线路及运输方式,通过此过程体现了两个不同港口的运输时间、运输费用等的不相关性。

2 港口经济腹地划分模型的构建

2.1 构建思路

设港口影响力为溢油的体积,港口与经济腹地之间的紧密度设定为油层厚度,考虑在传播过程中存在的" 阻尼",则可划分出所计算港口经济腹地的范围。进一步对联系紧密度进行划分,便可以得到直接腹地和间接腹地的划分范围。港口腹地的大小受自然环境、社会经济等诸多因素的影响,其中交通影响程度最为明显,若港口与内陆地区联系的交通干线网络越发达,港口腹地则会越大。

2.2 腹地划分模型

港口影响力具备相对稳定性,且腹地所受影响力的大小与距离呈反比。由于运输条件、港口间的竞争等因素的影响,不同方向的影响力变化的速率也不同,由此导致了港口经济腹地形状的不规则,形成了直接腹地和间接腹地的区分。参考文献 [12 - 14] 建立的水上溢油模型,笔者根据港口腹地经济的特点,建立了港口腹地划分模型。

港口经济腹地范围的直径

$$D = 10^k [\alpha_1 (\beta g V)^{1/2} + \alpha_1 (\beta g V / 1/R)^{1/3} + \alpha_2 (\delta^2 R / \rho_w)^{1/2}]^{1/2}。$$
 (1)

间接经济腹地范围的直径

$$D' = 2\alpha_2 (\delta / \rho_w \sqrt{1/R})^{1/2}。$$
 (2)

受外界影响变化后的腹地范围直径

$$D_n = (1 + \lambda_i) D, i \in (1, 2, 3, \cdots, n)。$$
 (3)

其中:  $k$  为调整系数,取  $k = 3$  (即一般意义下溢油半径和腹地半径的数量级之差);  $\alpha_1$  和  $\alpha_2$  为港口经济腹地扩展系数,分别表示港口的腹地拓展能力和腹地竞争力;  $\alpha_2 = (\alpha_{21} + \alpha_{22}) / 2$ ,  $\alpha_{21}$ 、 $\alpha_{22}$  分别表示港口两侧竞争力值;  $\beta = 1 - \rho_0 / \rho_w$ , 为港口腹地吸引系数,  $\rho_0$  和  $\rho_w$  分别为单位货运边际成本和港口费用;  $V$  为港口的综合影响力;  $R$  表示港城紧密度;  $\delta$  为港口综合影响力在间接腹地的扩散因子,取值为  $1/\alpha_2$ ;  $\lambda$  为港口不同方向腹地半径变化加权系数。

2.3 基于 BL 模型的间接腹地的调整

影响间接腹地货主选择运输方式及运输港的主要因素有运输时间及费用。因此在建立腹地至港口的运输效用模型时仅考虑运输时间和费用两个固定项。同时,本文不展开对同一腹地至同一港口的不同运输方式和路径的比较,仅选择效用值最大的一种运输组合方案,即合理的假设存在时间和费用都等效的运输方式。将  $X_i$  作为效用函数的固定项,包括运输时间、运输费用,  $\varepsilon_i$  为概率项,那么某间接腹地的货主选择运输方式的效用函数为:  $X_i = \theta_0 + \theta_1 C_{1i} + \theta_2 C_{2i} + \theta_3 C_{3i}$ 。式中:  $\theta_0$ 、 $\theta_1$ 、 $\theta_2$ 、 $\theta_3$  为待定参量;  $C_{1i}$ 、 $C_{2i}$ 、 $C_{3i}$  分别表示选择第  $i$  种运输方式的时间成本、运输费用和政策变量,  $i = 1, 2, 3$ 。

3 实例验证

本文采用厦门港 2014 年基础运营数据,结合厦门港传统经验腹地范围,验证划分模型的有效性,在确定港口综合影响力  $V$  值时采用因子分析法。

3.1 基本参数

根据厦门港口管理局统计年鉴和厦门市统计年鉴,获取到厦门港的基本运营数据。其中,港口泊位 ( $X_1$ ) 为 153 个,岸线长度 ( $X_2$ ) 为 159 km,港口航线 ( $X_3$ ) 为 160 条,货物吞吐量 ( $X_4$ ) 为 2.05 亿 t,港口城市 GDP ( $X_5$ ) 为 3 270 亿元,港口从业人员数 ( $X_6$ ) 为 10 270 人,港航企业数 ( $X_7$ ) 为 2 700 家,港口铁路里程 ( $X_8$ ) 为 11 km,公路里程 ( $X_9$ ) 为 2 004 km。

港口运营指标  $X_p$ ,  $F_j$  为影响因子,因子变量得分  $F_j$  的计算公式为  $F_j = \beta_{j1} X_1 + \cdots + \beta_{jp} X_p, j = 1,$

2,⋯,m, 其中 $\beta_{jp}$  是各系数计算因子。通过分析上海港、宁波港、厦门港三个典型港口数据, 确定了 $\beta_{jp}$  值, 以增强其值的可靠性, 因子分析计算过程参见文献 [15], 各系数的计算因子如表 1 所示。

表 1 综合影响力因子值表  
Tab. 1 Factors value of port

影响因子 Influential factors	$\beta_1$	$\beta_2$	$\beta_3$	$\beta_4$	$\beta_5$	$\beta_6$	$\beta_7$	$\beta_8$	$\beta_9$
$F_1$	0.223	0.029	0.069	0.212	0.114	0.075	0.115	0.205	0.274
$F_2$	-0.469	-0.295	0.151	-0.111	0.077	0.142	0.074	-0.095	-0.26

注: 表中 $F_1$ 、 $F_2$  分别表示双因子变量得分。  
Note:  $F_1$ 、 $F_2$  expressed the value of two factor variable respectively.

港口影响力  $V$  的计算方程为:

$$V = 0.811\ 32F_1 + 0.188\ 68F_2,$$

(4)

由式 (4) 可计算得到厦门港综合影响力  $V$  值为 1 666.46。

3.2 厦门港腹地的计算

在进行厦门港腹地范围半径计算时, 所涉及计算方法均在前文叙述, 具体数值及计算结果见表 2。

表 2 厦门港各参量取值表  
Tab. 2 Factors value of Xiamen port

$\alpha_1$	$\alpha_2$	$\beta$	$g$	$V$	$R$	$\rho_w / (\overline{\text{元}} \cdot \text{km}^{-1})$	$\rho_o / (\overline{\text{元}} \cdot \text{km}^{-1})$	$\delta$
0.025	0.5	0.867	9.8	1 666.46	80	3	0.4	30.3

注: 表中陆运用费和港口费用来自于市场调研。  
Note: Transportation costs and port charges come from market research in the table.

计算得出腹地范围划分半径为:  $D = 469.87\text{ km}$ ,  $D' = 146.059\text{ km}$ 。这里的  $D'$  是间接腹地的范围, 进一步可以得到厦门港直接经济腹地范围半径为 323.81 km。

经式 (1)、式 (2)、式 (4) 计算得到厦门港腹地范围是为以厦门港为圆心, 以 469.87 km 为半径的半圆, 其中厦门港直接经济腹地范围直径达 320 km 以上。

具体到地图上, 厦门港整体陆向腹地范围包括惠州、梅州、潮州等粤东大部分地区, 吉安、鹰潭、上饶等江西中南部地区, 浙江西部以及湖南南部部分地区。这与港口市场上比较一致认可的厦门港传统经济腹地范围大致相同, 从而证明了模型的可行性。同时得出, 厦门港直接腹地范围的计算结果超出了传统意义上所认为的闽南地区 (厦、漳、泉), 厦门港在粤东、闽中部及北部等地区有较强的影响力, 厦门港腹地拓展仍有较大的空间。

3.3 厦门港间接腹地的调整

本文基于港口区位及吞吐量规模, 选取宁波港为厦门港的主要竞争港。同时, 为了计算方便且能达到检验模型的目的, 选取鹰潭市作为厦门港与宁波港交叉腹地, 具体数据见表 3。其中优惠政策参数中, 0 表示无, 1 表示有。

按参考文献 [13] 的步骤计算得到鹰潭至厦门港、宁波港效用函数参量值, 如表 4 所示。

表 3 鹰潭市至厦门港、宁波港数据  
Tab. 3 Data of Yingtan to Xiamen and Ningbo port

变量 Variable	运输时间 Transportation time /d	运输费用 Transportation cost / (元 · km <sup>-1</sup> )	优惠政策 Preferential policies
厦门港 Xiamen Port	3	1.90	1
宁波港 Ningbo Port	2	2.23	1



表 4 鹰潭至厦门港、宁波港效用函数参量值  
Tab. 4 The utility function parameter value of Yingtan to Xiamen and Ningbo port

	$\theta_0$	$\theta_1$	$\theta_2$	$\theta_3$
鹰潭—厦门港( $i$ ) Yingtan-Xiamen	0.237	0.154	-0.053	0.184
鹰潭—宁波港( $j$ ) Yingtan-Ningbo	0.233	0.374	-0.112	0.469

根据效用函数<sup>[13]</sup>, 货主选择鹰潭市分别至厦门港、宁波港的概率计算方程为:

$$P_i = 1 / (1 + \exp(\theta_{0i} - \theta_{0j} + \theta_{1i} / 3 - \theta_{1j} / 2 + \theta_{2i} / 1.9 - \theta_{2j} / 2.23 + \theta_{3i} - \theta_{3j})),$$
$$P_j = 1 - P_i。$$

其中:  $i$  表示厦门港;  $j$  表示宁波港。计算得出鹰潭的货主选择厦门港和宁波港的概率分别为:  $P_i = 0.532$ ,  $P_j = 0.468$ 。

在现实当中, 港口腹地范围会随着交通运输条件、港口集疏运体系建设、腹地陆地港建设以及港口物流发展政策等因素变化而发生一定的变化, 本文在式 (3) 中将其化为  $\lambda_i$  倍,  $\lambda_i$  大小不同且有正负之分, 导致在不同方向上腹地范围半径并不相同。此外, 本文仅讨论了间接腹地中的鹰潭市选择厦门港的概率, 而其他间接腹地城市也可以在采取分片划区的方法后确定, 因为不是本文的研究重点, 故  $\lambda$  及其他间接腹地城市选择概率具体值的确定亦不展开讨论。

4 结论

本文在研究港口腹地划分问题时充分考虑了港口腹地分布特点, 结合分析水面溢油的物理过程, 在溢油模型的基础上构建港口腹地范围划分模型, 应用 BL 选择模型对间接腹地进行深入分析, 并运用厦门港实际运行数据做实例验证, 模型计算结果表明文中所建模型具备可行性, 对于港口腹地的进一步扩展具有现实意义。同时, 港口腹地在其形成和发展过程中往往受到经济、市场、企业等各方面因素的综合影响, 因此文中  $\lambda$  值的确定问题也是十分值得探讨, 这也将是笔者以后重点研究的方向之一。

[ 参 考 文 献 ]

[1] MAYERH M. Current trends in Great Lakers shipping. Geo journal, 1978(2): 117-122.

[2] HAYUTH Y. Inter-modality: concept and practice. London: Lloyd's of London Press, 1987: 173-182.

[3] DORIGE M. Optimization, learning and natural algorithms (in Italian). Milan: Dipartimento di Elettronica, Politecnico di Milano, 1992.

[4] 冯社苗. 基于蚁群算法的港口间接腹地划分模型. 水运工程, 2009(5): 47-50.

[5] 李晶, 吕靖. 港口与区域经济互动的的影响机理. 大连海事大学学报 (社会科学版), 2008(3): 60-62.

[6] 杨家其. 基于模糊综合评判的现代港口腹地划分引力模型. 交通运输工程学报, 2002(2): 123-126.

[7] 白煜超. 基于吸引力模型的港口腹地划分方法研究. 北京: 北京交通大学, 2008.

[8] 尚姝. 基于烟羽模型的港口交叉腹地划分研究. 大连: 大连海事大学, 2013.

[9] 杨倩. 基于广义运输成本的港口腹地划分问题研究. 大连: 大连海事大学, 2011.

[10] 李振福, 苑庆庆, 闵德权. 港口腹地划分的断电模型研究. 水运工程, 2011(2): 71-76.

[11] JAMES A F. The spread of oil slick on a calm sea. New York: Plenum Press, 1969: 53-63.

[12] HOULT D P, FAY J A. The spreading and containment of oil slick//ALAA3rd fluid and plasma dynamics conference. Los Angeles: American Institute of Aeronautic and Astronautic, 1970: 52-60.

[13] 关宏志. 非集计模型交通行为分析的工具. 北京: 人民交通出版社, 2004.

[14] FAY J A. Physical process in spread of oil on a water surface//Proceedings of the joint conference on prevention and control of oil spills. Washington: American petroleum institute, 1971: 463-467.

[15] 邓维斌, 唐兴艳. SPSS19 统计分析实用教程. 北京: 电子工业出版社, 2012.

(责任编辑 陈 敏 英文审校 周云龙)