

考虑政府补贴因素的宁波海铁联运腹地划分

陈晨¹,张向阳¹,陆丽丽^{1,2,3}

(1. 宁波大学 海运学院,浙江 宁波 315211;

2. 国家道路交通管理工程技术研究中心宁波大学分中心,浙江 宁波 315211;

3. 现代城市交通技术江苏高校协同创新中心,江苏 南京 211100)

[摘要]首先在宁波海铁联运已有研究基础上考虑政府补贴因素,通过量化综合效用值构建决策效用模型,并基于效用值范围提出了新的腹地划分标准。其次以与宁波已开展海铁联运业务的腹地城市合肥为例验证模型。结果表明,当政府补贴高于160元时,在与宁波已开展海铁联运业务的沿海港中,合肥的综合效用值最高,合肥属于宁波间接腹地;当补贴低于160元时,连云港成为宁波海铁联运首选港,合肥降级为宁波海铁联运可竞争腹地。同时模型也可为政府确定合理补贴范围提供理论支持。

[关键词]海铁联运;宁波港;腹地划分;政府补贴

[中图分类号]F259.27;F512.4

[文献标识码]A

[文章编号]1005-152X(2021)03-0001-06

Hinterland Division for Ningbo Sea-rail Multi-modal Transport with Government Subsidies Considered

CHEN Chen¹, ZHANG Xiangyang¹, LU Lili^{1,2,3}

(1. School of Maritime Transport, Ningbo University, Ningbo 315211;

2. Ningbo University Branch of National Road Traffic Management Engineering & Technology Research Center, Ningbo 315211;

3. Jiangsu University Collaborative Innovation Center of Modern Urban Transportation Technology, Nanjing 211100, China)

Abstract: In this paper, we first factored in government subsidy on the basis of existing researches on the sea-rail multi-modal transport system of Ningbo, constructed the decision utility model by quantifying the comprehensive utility value, and proposed a new hinterland division standard based on utility value range. Next, taking Hefei, a hinterland city of sea-rail transport ties with Ningbo as an example, we verified the effectiveness of the model. The result shows that with government subsidies over 160 CNY, Hefei has the highest comprehensive utility value among coastal ports that have developed sea-rail transport ties with Ningbo and in such case, Hefei is indirect hinterland to Ningbo; with the subsidy under 160 CNY, Lianyungang becomes the first choice for sea-rail multi-modal port for Ningbo, and Hefei is then ranked down to competitive hinterland to Ningbo. Meanwhile, the model could also provide theoretical support for determining the reasonable scope of government subsidization.

Keywords: sea-rail multi-modal transport; Ningbo Port; hinterland division; government subsidization

0 引言

海铁联运是进出口集装箱货物由铁路运到沿海港口直接由船舶运出,或是集装箱货物由船舶运输到达沿海港口之后由铁路运到目的城市的只需“一次申报、一次查验、一次放行”就可完成整个运输过

程的一种运输方式^[1]。由于海铁联运具有快速、安全、运能大、能耗小等优势,因此吸引了诸多专家学者对其展开研究,其中腹地相关研究是热点。Dinu,等^[2]考虑了货运仓储位置这个因素对海铁联运成本的影响,优化了腹地划分;Santos,等^[3]考虑了运输费用、处理费用和过境时间费用,构建内陆竞争力指数

[收稿日期]2020-11-22

[基金项目]国家自然科学基金(71701108);浙江省自然科学基金(LGF20E080010);国家重点研发计划项目(2018YFB1600900);宁波市自然科学基金(2017A610139)

[作者简介]陈晨(1997-),男,江苏宿迁人,硕士研究生,研究方向:交通运输与安全;张向阳(1974-),男,陕西人,高级讲师,工业工程博士,主要研究方向:供应链与物流管理、采购管理;陆丽丽(1987-),女,浙江绍兴人,副教授,硕士研究生导师,主要研究方向:行为建模与仿真。

模型,该模型可识别某个港口的主要海铁联运腹地; Meng, 等^[4]考虑运输成本和运输时间及托运人感知时间价值因素,提出了一种基于蒙特卡罗模拟的概率港口腹地算法; Rodrigue, 等^[5]考虑地理、技术和市场因素,将中间枢纽与港口腹地进行整合,对港口腹地区域化进行了拓展; Bruno, 等^[6]利用成本效益规则,考虑腹地拥堵程度及投资因素,得出两者对于港口腹地划分的不同反作用; Yin, 等^[7]考虑货主运输成本因素,对宁波港、上海港、连云港港的腹地重新进行了划分;冯社苗^[8]考虑公路运输最优出口路径因素,基于蚁群算法提出新的港口腹地划分方法;谢双乐^[9]基于货主角度,以成本最小化为目标构建海铁联运路径优选模型,并利用改进的 Dijkstra 算法求解,重新划分了以海铁联运为轴的港口腹地范围; Li, 等^[10]通过引入羽流模型,提出了新的港口腹地划分方法—腹地羽流模型; Wang, 等^[11]选用牛顿模型建立港口重力评价体系,对港口腹地划分方式进行优化;杨家其^[12]结合引力模型与模糊综合评判模型确定了港口对腹地的吸引力及其服务范围,进一步提高港口腹地范围划分的科学性及其合理性;杨倩^[13]考虑货物到港过程中的广义运输成本因素,定量分析腹地货源运输方式及运输路径的选择,对港口腹地进行定量划分;黄萍萍^[14]结合贸易成本最优条件,运用因子分析法构建 SOFM 模型对宁波港海铁联运腹地进行等级细分,得到宁波港海铁联运的三类腹地类型;王刚^[15]考虑宁波港腹地经济及未来运输需求,结合 SWOT 分析方法对宁波舟山港开展海铁联运进行分析;徐莹, 等^[16]运用实证分析法分析了宁波港拓展中西部腹地的各种优势,提出加快建立海铁联运内陆无水港实施建议; Yu, 等^[17]考虑不同运输方式间的时间和成本因素,提出当前形势下宁波海铁联运的优势腹地划分方法;初良勇, 等^[18]考虑货主方成本和港口方收益因素,以宁波港经济腹地范围划分为例,提出划分港口腹地范围的新模型。

然而,结合宁波海铁联运已有相关研究,关于腹地划分方面的研究并不多,并且目前还缺少考虑政府补贴因素对腹地划分影响的相关研究。从货主角

度来看,政府补贴关乎运输成本,是影响货主选择一个港口城市开展海铁联运业务的重要条件之一;从政府角度来看,在腹地划分与合理补贴范围间获得平衡,有利于拓展宁波海铁联运辐射范围。因此,本文的研究一方面可以分析政府补贴变化对港口腹地划分的影响,另一方面又为政府如何确定合理补贴范围提供理论依据,具有现实意义。

1 宁波海铁联运决策效用模型

1.1 模型建模目的

模型首先是对某个城市所有可开展海铁联运城市进行费用、时间、安全和便捷四方面综合评价,划分某个宁波可开展海铁联运城市的腹地类型,然后考虑补贴因素对腹地类型划分的影响,从而在腹地类型不发生变动情况下反推最理想的补贴范围。建模的目的和结果主要围绕以下三点:

(1)判断宁波是否与某城市开展海铁联运业务。首先对某个城市的所有选择的效用值进行计算和排序。排序的最大值就是该城市选择其运输方式的依据。如果宁波的效用值最大,那么该城市选择宁波开展海铁联运业务,同时该城市属于宁波海铁联运腹地。

(2)判断该腹地城市属于宁波海铁联运的腹地类型。根据效用值的取值范围得到腹地类型划分标准,然后根据标准判断该城市属于哪个腹地类型。

(3)确定宁波与某城市开展海铁联运的合理补贴范围。判断该城市的腹地类型后,通过敏感性分析得到宁波与某城市开展海铁联运的合理补贴范围。

1.2 模型约束条件

为更好实现优化目标以及满足求解要求,本文首先对建模前提或约束条件进行申明,具体如下:

(1)运输费用构成方式简化为各种运输方式的运行费用和两端点的装卸费用,不考虑海运费用和出口目的港及进口启运港的装卸费。此外,海铁联运两端衔接的公路运输费用都归于两端装卸费用。

(2)对某一区域的判断主要基于该区域内货源集中城市的货主选择,而不对区域内所有货主进行

分析。只用代表性腹地城市推断其所在区域情况。

(3)集装箱货物品种差异与综合评价结果无关。一般货物品种对运输方式和运输质量、运输费用具有敏感性,但是实践中,铁路集装箱收费方式基本不区分货品,港口装卸费虽有影响,但比重不大可忽略。

(4)每个区域选一个标准集装箱运输作为评价对象。不考虑规模效益对运输费用和质的影响,也不考虑多种联合组织作业模式的影响。

(5)集装箱海铁联运的产能不做限制。因为当前集装箱海铁联运还处于发展初期,业务量普遍不大,本文假设不涉及产能问题。

(6)海铁联运补贴基于集装箱数量,补贴方式稳定。本文不考虑多样化、变动式的补贴方式。

(7)货主到港只考虑单一运输方式,且不考虑中转。

1.3 模型的建立

模型的建立基于运筹学线性规划理论,本质是最优值问题。由于货主在选择海铁联运时主要受到路线选择和政府补贴的影响,因而模型决策变量包含两方面,一是港口及线路的选择与否,二是补贴范围。而模型要解决的问题主要围绕在已有条件下,分析宁波可选哪些城市展开海铁联运业务,并分析补贴变动情况下,是否改变货主的决策,从而得到对政府来说最合适的补贴值。因此,在上文约束条件下,模型有两个求解目标,一是在某个城市各腹地城市港口中求得目标效用值 U 最大的港口;二是选取该港口作为首选港,并在保持其竞争力基础上,反推得到两个港口间政府补贴最小值 V 。其他腹地城市可用同样方式求解。

$$\text{决策变量: } x_{ij}^l = \begin{cases} 1 & \text{若 } i \text{ 选择带 } l \text{ 的 } j \\ 0 & \text{否则} \end{cases}$$

$$e_{ij}^l = \begin{cases} (0, a) & \text{若 } i \text{ 选择带 } l \text{ 的 } j \\ 0 & \text{否则} \end{cases}$$

$$\text{目标函数: } \max U = \sum_{l \in L} \sum_{i \in I} \sum_{j \in J} x_{ij}^l u_{ij}^l$$

$$\min V = \sum_{l \in L} \sum_{i \in I} \sum_{j \in J} x_{ij}^l e_{ij}^l$$

约束条件:

$$\sum_{l \in L} \sum_{j \in J} x_{ij}^l = 1 \quad i \in I$$

$$u_{ij}^l = (k_{ij}^1, k_{ij}^2, k_{ij}^3, k_{ij}^4) \otimes (c_{ij}^l, t_{ij}^l, s_{ij}^l, w_{ij}^l) \quad i \in I, j \in J, l \in L$$

$$c_{ij}^l = v_i^l + \alpha_{ij}^l d_{ij}^l + v_j^l + g_j^l - e_{ij}^l \quad i \in I, j \in J, l \in L$$

参数、变量含义:

$x_{ij}^l = 1$ 表示 i 城市货主选择 j 港口且用 l 运输方式, $x_{ij}^l = 0$ 表示不选或者不能选;

$e_{ij}^l = (0, a)$ 表示 i 城市货主选择 j 港口且用 l 运输方式的补贴范围值, $e_{ij}^l = 0$ 时表示无补贴;

u_{ij}^l 表示 i 城市货主选择 j 港口且用 l 运输方式效用;

$(c_{ij}^l, t_{ij}^l, s_{ij}^l, w_{ij}^l)$ 表示 i 城市货主选择 j 港口且用 l 运输方式的费用、时间、安全和便捷性;

$(k_{ij}^1, k_{ij}^2, k_{ij}^3, k_{ij}^4)$ 表示 i 城市货主选择 j 港口时的费用、时间、安全和便捷的权重系数;

$J = \{j | j = 0, 1, 2, \dots, m\}$ 表示共有 $m+1$ 个港口集合, 0 代表宁波舟山港;

$I = \{i | i = m+1, m+2, \dots, m+n\}$ 表示共有 n 个内陆腹地城市的集合;

$L = \{l | l = 0, 1, 2\}$ 表示运输方式为铁路、公路和水路的集合;

$(v_i^l, \alpha_{ij}^l, d_{ij}^l, v_j^l, g_j^l)$ 分别表示 i 城市货主选择 j 港口用 l 运输方式时启运地装卸费、集装箱运价、运距、港口装卸费、港口费用。

1.4 模型的求解

港口及路线选择与补贴关联情况主要分为以下三种。第一,无补贴情况下,港口和线路的选择不发生改变,即无补贴情况下货主也会选择宁波海铁联运;第二,有补贴情况下,港口和线路的选择不发生改变,即补贴也不能改变货主选择;第三,有补贴情况下,货主选择发生改变,由原来港口改为宁波舟山港。对于第一种情况,即使政府给予补贴,也不会使现有情况发生改变,实际是一种让利补贴行为。第二种情况,补贴非但没有效果,反而还会产生一定的

沉没成本,因此,这块区域属于不可竞争腹地。而第三种情况下的补贴可以提升港口竞争力,因此也是本文分析的重点。

本文以求解第三种情况为例,模型最终通过补贴范围的变动,判断其是否改变货主的决策,从而优化腹地划分,最终得到更加有利于宁波海铁联运发展的决策指导。这样,两个目标的优化变为第一个目标的优化,进一步简化模型的求解。

因此,本文按如下步骤求解一个城市的货运选择:

(1)统计和估计获得运费、时间、安全和便捷参数值,形成目标值决策矩阵。本文首先枚举出该腹地城市到各港口可行的运输路线,然后通过统计得到费用和时间的参数值,同时通过专家估计得到安全性和便捷性的值。具体做法是先给定一个相应的分值范围和标准,然后由专家按照1-5评分法打分得到平均分。对费用数据统计时,本文将运费与装卸费、在港费等其它费用分开统计。由于考虑远距离集装箱海运费差别不大,所以忽略启运港到目的港之间的海运费及其一端的在港费,另外本文将海运费的差异费用计入港口费用以作简化处理,时间同样也做类似处理。之后模型以此为基础计算各路线的效用(参考第4步),最终选择具有最大效用值的港口。

(2)目标决策矩阵规范化。由于决策矩阵中各方案路线的量纲不同而不能直接比较,因此,本文首先对数据进行规范化处理:决策矩阵的元素 h_{ij}^l 表示第 i 个方案的第 j 个目标参数,按照 $v_{ij} = 1 - h_{ij}^l / h_{ij}^{\max}$ 对各元素处理得到新的决策矩阵 $V = (v)_{m \times 4}$,从而解决因量纲不同而无法比较的问题。

(3)确定各目标权重系数。本文采取专家法对各目标权重系数进行量化。具体做法是邀请一批有经验的专家对权重系数的取法发表意见,然后将专家们的意见汇总,见表1。

k_{ij}^l 为 i 城市货主选择 j 港口时的费用权重系数。

(4)按第一步陈述,先计算各方案的效用值,然后将效用值由大到小排列。本文记宁波海铁联运的

表1 专家权重评分表

	目标值			
	K1	K2	K3	K4
专家1	6	5	5	6
专家2	4	8	4	5
专家3	5	4	8	4
专家4	5	6	6	6
专家5	5	5	5	5

效用为 u_{i0}^0 , 公路效用为 u_{i0}^1 , 其他的效用为 $\{u_{ij}^l\}$ 。最后按照图1确定 i 城市的腹地类型。

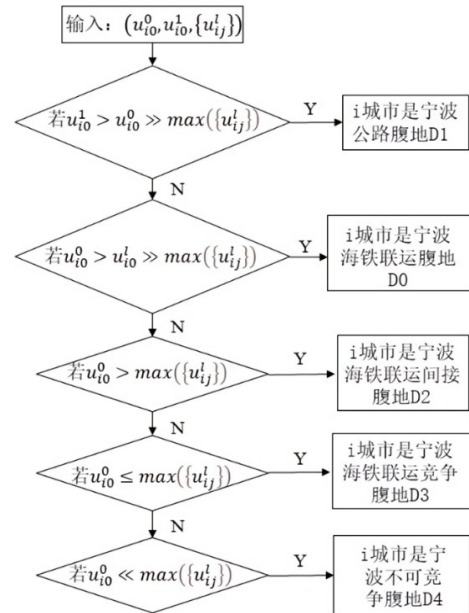


图1 宁波舟山港海铁联运腹地划分标准图

1.5 模型的仿真

本文模型的求解方法以特定的数据和判断准则做出确定性结果,因此仿真的本质也是基于更多组特定数据和判断规则做出的概率性判断,从而使问题决策具有现实性和可行性。

仿真基于以下三个方面:

(1)指标值的仿真。指标值包括了费用、时间、安全和便捷的值,本文采用的是测算或估计的平均值,而值的变动特征没有体现。因此,本文根据取得的样本数据 $(c_{ij}^l, t_{ij}^l, s_{ij}^l, w_{ij}^l)$ 进行 $N1 = 100$ 次模拟仿真。取每个指标值的上限和下限间 $[c_{ij}^l, c_{ij}^{l-}]$ 、 $[t_{ij}^l, t_{ij}^{l-}]$ 、 $[s_{ij}^l, s_{ij}^{l-}]$ 和 $[w_{ij}^l, w_{ij}^{l-}]$ 的均匀分布。

(2)权重值的仿真。先计算专家们的分数得到

各指标的权重值组合,然后由系统在专家所打最低值与最高值间随机生成一个分值,并将生成的分值用于计算权重。对于样本权重组合 (k_{1j}, \dots, k_{ij}) ,生成 $N_2 = 100$ 次专家打分,如第 i 个专家对第 j 个指标的第 k 次打分的指标值 $k_{ij}^k = rand(\min(k_{1j}, \dots, k_{ij}), \max(k_{1j}, \dots, k_{ij}))$, 计算得到表2所示的权重系数表。

表2 货主择港运输服务评价指标权重

货物品类	运输费用	运输质量		
		运输时间	安全性	服务便捷性
集装箱	0.300 8	0.292 3	0.237 1	0.169 9

(3)动态效用值仿真。仿真的结果根据不同的海铁联运路线和时间重复应用。若外部环境发生较大变化,对应导致评价的指标值及权重值发生变化,相应的目标效用值也将发生变化,是否再次实施仿真需经评价后确定。在 N_1 组指标值组合和 N_2 组权重值组合形成 $N = N_1 * N_2 = 10\ 000$ 个解中,本文选取占比最高的解所对应的腹地城市及其路线为模型的最优解。

2 模型应用案例

合肥是我国长三角城市群副中心,也是重要的铁路交通节点城市之一。近年来,合肥以战略性新兴产业为引领,对外进出口贸易发展势头迅猛,海铁联运运量逐年增加,目前已成为上海港、宁波港等港口城市开展海铁联运业务的主要竞争城市之一。加深与合肥的海铁联运业务往来有利于扩大宁波中部地区港口辐射范围,助推宁波成为更高效的多式联运枢纽港。因此,本文选择合肥作为腹地城市研究对象。

2.1 参数引入

以腹地城市合肥 i 为例,首先确定各参数值,建立一个参数表格,见表3。

2.2 计算过程

(1)根据表3前五列参数值计算各港口运输方式的运费 c_{ij}^l ,按照约束条件中公式计算得到的结果填入表3的 c_{ij}^l 列。转置后四列数据得到决策矩阵

表3 合肥效用模型参数

港口 线路	参数值(单位:距离km,时间h,运价元,其它无)									
	v_i^l	α_{ij}^l	d_{ij}^l	v_j^l	g_0^l	e_{ij}^l	c_{ij}^l	t_{ij}^l	s_{ij}^l	w_{ij}^l
宁波0	600	5.025	572	500	600	500	4 074	18	1	2
宁波1	400	5.025	613	500	800	0	4 780	12	3	2
上海0	600	5.025	512	800	1 000	200	4 773	16	1	4
上海1	400	5.025	532	500	600	0	4 173	13	3	2
青岛0	600	5.025	798	500	500	500	5 110	20	1	2
青岛1	400	5.025	706	500	500	0	4 948	16	3	3
连云港0	600	5.025	535	600	400	100	4 188	18	1	3
连云港1	400	5.025	520	700	500	0	4 213	12	3	3

$$H = (h)_{8 \times 4}$$

(2)决策矩阵规范化,得到矩阵 $M = (h)_{8 \times 4}$ 。由于目标值越小效用越大,因此由公式 $h_{ij}^1 = 1 - h_{ij}^l / \max(\{h_{ij}^l\})$ 对矩阵M的元素进行规范化处理,计算结果见表4。

表4 合肥到各港口的决策矩阵规范化

港口线路	c_{ij}^l	t_{ij}^l	s_{ij}^l	w_{ij}^l
宁波0	0.12	0.10	0.67	0.50
宁波1	0.06	0.40	0.00	0.50
上海0	0.07	0.20	0.67	0.00
上海1	0.18	0.35	0.00	0.50
青岛0	0.00	0.00	0.67	0.50
青岛1	0.03	0.20	0.00	0.25
连云港0	0.18	0.10	0.67	0.25
连云港1	0.18	0.40	0.00	0.25

(3)求各港口线路的目标效用值。用规范化矩阵与表2指标体系权重矩阵向量相乘,得到各港口线路的目标效用值。如下:

$$U = \begin{bmatrix} 0.12 & 0.10 & 0.67 & 0.50 \\ 0.06 & 0.40 & 0.00 & 0.50 \\ 0.07 & 0.20 & 0.67 & 0.00 \\ 0.18 & 0.35 & 0.00 & 0.50 \\ 0.00 & 0.00 & 0.67 & 0.50 \\ 0.03 & 0.20 & 0.00 & 0.25 \\ 0.18 & 0.10 & 0.67 & 0.25 \\ 0.18 & 0.40 & 0.00 & 0.25 \end{bmatrix} \times \begin{bmatrix} 0.300\ 8 \\ 0.292\ 3 \\ 0.166\ 9 \\ 0.237\ 1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0.309\ 665 \\ 0.221\ 295 \\ 0.236\ 364 \\ 0.242\ 411 \\ 0.243\ 017 \\ 0.110\ 471 \\ 0.289\ 907 \\ 0.212\ 194 \end{bmatrix}$$

(4)对目标效用值排序,并选择最大值的港口作为货主选择。从结果可以看出,宁波海铁联运的效用值最大,其次是连云港。因此,货主选择宁波海铁联运。

(5)将腹地城市合肥划分腹地类型。根据图1可以看出效用值满足第三个判断条件,因此,合肥属于宁波间接腹地D2。

(6) 补贴范围确定。根据前面的模拟计算结果可知,虽然该方案综合效用值最大,但是从政府补贴角度分析,500 元并非最佳补贴值。因此,当补贴不断下降至 160 元时,重新带入步骤(1)–(5)计算。这时计算结果如下:

$$U = \begin{bmatrix} 0.12 & 0.10 & 0.67 & 0.50 \\ 0.06 & 0.40 & 0.00 & 0.50 \\ 0.07 & 0.20 & 0.67 & 0.00 \\ 0.18 & 0.35 & 0.00 & 0.50 \\ 0.00 & 0.00 & 0.67 & 0.50 \\ 0.03 & 0.20 & 0.00 & 0.25 \\ 0.18 & 0.10 & 0.67 & 0.25 \\ 0.18 & 0.40 & 0.00 & 0.25 \end{bmatrix} \times \begin{bmatrix} 0.3008 \\ 0.2923 \\ 0.1669 \\ 0.2371 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0.289650 \\ 0.221295 \\ 0.236364 \\ 0.242411 \\ 0.243017 \\ 0.110471 \\ 0.289907 \\ 0.212194 \end{bmatrix}$$

此时,宁波不再是合肥货主优先选择,而连云港成为合肥的首选。因此,合肥的补贴范围应在[160, 500]之间。低于 160 元,合肥就不会选择宁波港海铁联运,此时,合肥降级为宁波海铁联运的可竞争腹地 D3。

3 结论与展望

根据上述分析,可得出以下结论:(1)宁波可选择合肥作为开通海铁联运业务城市。(2)合肥根据综合效用评价对比,是宁波海铁联运的间接腹地。(3)160 元补贴是合肥选择宁波海铁联运的临界值,若政府补贴低于这个值,连云港成为合肥的首选,此时合肥属于宁波的可竞争腹地。

综上,本文在分析宁波海铁联运已有研究基础上,通过费用、时间、安全和便捷四个维度,基于运筹学理论构建了宁波海铁联运决策效用模型。通过量化综合效用值、政府补贴范围、腹地类型之间的关系,提出了新的腹地划分标准。模型除了可判断某个城市属于宁波海铁联运四种腹地类型中的哪一种腹地类型外,还可实现对某个海铁联运城市因补贴变动导致腹地变动情况的分析。最后,本文模型可为宁波未来拓展海铁联运腹地范围,优化腹地结构提供决策支持。

[参考文献]

[1] 林备战. 发展海铁联运贵在务实[J]. 港口经济,2016(8):1.
 [2] DINU O, DRAGU V, RUSCA F, et al. Intermodal transport

and distribution patterns in ports relationship to hinterland[J]. Iop Conference,2017,227(1).
 [3] SANTOS T A, SOARES C G. Container terminal potential hinterland delimitation in a multi-port system subject to a regionalization process[J]. Journal of Transport Geography, 2019,75:132–146.
 [4] MENG Q, WANG X. Utility-based estimation of probabilistic port hinterland for networks of intermodal freight transportation[J]. Transportation Research Record,2010,2168(1): 53–62.
 [5] RODRIGUE J P, NOTTEBOOM T. Foreland-based regionalization: Integrating intermediate hubs with port hinterlands[J]. Research in Transportation Economics,2010,27:19–29.
 [6] BORGER B D, PROOST S, DENDER K V. Private port pricing and public investment in port and hinterland capacity[J]. Journal of Transport Economics and Policy,2008,42(3):527–561.
 [7] YIN W W, MOU D G. Analysis of the Ningbo-zhoushan port hinterland and the meaning to port economy development[J]. Economic Geography,2011,31(3):447–452.
 [8] 冯社苗. 基于蚁群算法的港口间接腹地划分模型[J]. 水运工程,2009(5):47–50.
 [9] 谢双乐. 海铁联运对港口腹地的影响研究[D]. 成都:西南交通大学,2013.
 [10] LI Z F, TANG X W. The hinterland plume model of port hinterland segmentation[J]. Scientia Geographica Sinica,2014,34(10):1 169–1 175.
 [11] WANG J, LIU P. The study of port hinterland segmentation based on Newton Model[C]//The 2nd International Conference on Information Science and Engineering, 2010.IEEE, 2010:788–791.
 [12] 杨家其. 基于模糊综合评判的现代港口腹地划分引力模型[J]. 交通运输工程学报,2002,2(2):123–126.
 [13] 杨倩. 基于广义运输成本的港口腹地划分问题研究[D]. 大连:大连海事大学,2011.
 [14] 黄萍萍. 宁波港外贸集装箱海铁联运腹地生成研究[D]. 宁波:宁波大学,2015.
 [15] 王刚. 宁波舟山港海铁联运发展研究[D]. 兰州:兰州交通大学,2018.
 [16] 徐莹,董文娟,张雪梅. “一带一路”战略下宁波港拓展中西部腹地策略研究[J]. 华东交通大学学报,2015,146(6):147–156.
 [17] YU P, YE Y L. Yangtze River economy belt hinterland Ningbo port container sea-rail transport competitiveness analysis and countermeasure research[J]. Special Zone Economy,2015(5):17–21.
 [18] 初良勇,许小卫. 考虑货-港双方利益的港口经济腹地划分模型[J]. 中国航海,2015(3):116–120.