

基于综合集成赋权法的集装箱港口集疏运绩效评价

胡玉洁, 王育红*

(宁波大学 海运学院, 浙江 宁波 315832)

摘要: 既有的交通运输行业绩效评价指标多是基于单种运输方式进行定义和统计, 不能满足未来以“协同”为典型特征的集装箱运输发展要求. 本文从运输能力、集疏运成本、服务质量和可持续性4个方面入手, 为集装箱港口3种集疏运方式建立统一的绩效评价指标体系. 为了充分反映客观信息和决策者的主观经验, 将层次分析法(主观赋权法)与熵值法(客观赋权法)相结合形成综合集成赋权法计算每个指标的复合权重, 并以宁波舟山港为研究对象, 对方法的合理性和有效性进行了案例验证和敏感性分析. 研究结果与宁波舟山港集疏运发展现状基本一致, 从而验证了指标体系的可行性, 为深入研究未来集装箱多式联运系统绩效评价提供了科学有效的指标依据.

关键词: 集装箱运输; 港口集疏运; 综合集成赋权法; 绩效评价

中图分类号: U169.62

文献标志码: A

文章编号: 1001-5132 (2021) 03-0084-07

集装箱等标准化运载单元的广泛应用, 信息技术的发展, 加之不同运输方式各具技术优势和局限性, 促使基于多方式协同的集装箱港口集疏运体系成为当代集装箱运输业发展的新趋势和新方向^[1]. 然而, 现有的集疏运统计评价指标框架还不够完善^[2]. 尽管交通部门每年定期公布我国集装箱运输行业发展指标情况, 但是这些指标都是基于公路、铁路、内河水路、民航等单种运输方式进行的定义和统计, 且每种运输方式的评价指标不尽相同^[2]. 因此, 现有的交通评价指标无法统筹考虑多种运输方式, 暂不能对集装箱港口集疏运发展水平进行科学评价. 鉴于此, 本文在现有文献的基础上结合集装箱运输的特点, 构建一个适用于公、铁、水3种集装箱港口集疏运方式的绩效评价指标框架, 结合层次分析法和熵值法计算各指标的复合权重, 并进行案例分析, 以验证指标体系的合理性.

1 集装箱港口集疏运绩效评价

绩效评价是一个监测和分析的过程, 以确定

系统在预期目标方面的表现^[3], 科学的绩效评价指标在协助决策、量化目标、衡量进展方面可发挥关键作用. 因此, 建立合理实用的绩效评价体系有利于推进港口集装箱集疏运的理论发展. 然而, 现有文献表明, 针对港口集装箱集疏运的绩效评价研究还十分有限. 目前该方面的相关研究主要分为3类: (1)货运方式选择研究; (2)路网评价研究; (3)多式联运效率评价研究.

货运方式选择研究通常以运输利益相关者的偏好和经验作为选择运输方式的依据^[4-6]. 而一个理想的集装箱港口集疏运绩效评价体系应满足承运人、货主和交通管理部门等利益相关者的需求, 这两种研究的目标在一定程度上是一致的. 统计调查表明, 在以往的文献中重复次数较多的指标分别是: (1)运输速度^[4,6-13]; (2)运输成本^[6-13]; (3)准时性^[4,7,9-10,13]; (4)可靠性^[4,6,8,13]; (5)服务频率^[7,9]; (6)灵活性^[6,8-9].

制定科学的路网规划和实施方案是提高路网运输能力、满足交通需求和充分发挥投资效益的基础, 而路网现状分析和评价是编制路网规划的重

收稿日期: 2020-11-16.

宁波大学学报(理工版)网址: <http://journal.lg.nbu.edu.cn/>

基金项目: 浙江省“钱江人才计划”D类资助项目(QJD1802022).

第一作者: 胡玉洁(1995-), 女, 河南周口人, 在读硕士研究生, 主要研究方向: 多式联运. E-mail: 3087163985@qq.com

*通信作者: 王育红(1979-), 男, 英国籍, 博士/教授, 主要研究方向: 综合交通运输. Email: wangyuhong@nbu.edu.cn

要依据和步骤^[14]。因此,路网评价是充分发挥货运网络整体效率的前提,在建立港口集装箱集疏运绩效评价时应借鉴该方面的研究。对现有文献进行整理统计后发现,路网评价指标大致可以分为3类:(1)路网技术评价指标,如里程饱和率^[14-16]、路网密度^[14-17]等,该类指标主要用来揭示路网的使用质量,验证路网方案的合理性;(2)路网经济评价指标,如固定资产投资^[15]、运输成本^[15,18]等,该类指标主要用来评价路网的经济效益和经济适应性;(3)路网服务评价指标,如可得性^[19-20]、事故率^[21]等,该类指标主要用来评价路网提供的服务质量好坏。

多式联运一般以集装箱为运载单元,采用两种及以上运输方式共同完成运输过程。因此,多式联运效率评价指标往往与集装箱运输相关,例如安全性^[2,22]、可靠性^[2,22]、运输时间^[2,22-24]、环境因素^[2,24-25]、流动性^[23,26]和运输成本^[2,22-23,25-26]等,这为集装箱港口集疏运绩效评价研究提供了参考。

上述3类研究分别从运输决策者偏好、路网评价指标以及运营效率角度对集装箱港口集疏运涉及的3种不同运输方式进行分析评价,为本文建立绩效评价指标体系奠定了良好的基础。然而,货运方式选择研究往往以承运人和货主的偏好建立评价指标体系,因此在该类研究中更重视运输效率和效益而忽略各集疏运方式对社会环境造成的影响;路网绩效评价的研究对象多为公路和铁路,因此该类研究的评价指标大多不适合水路运输;多式联运效率评价研究常因较难搜集到实际数据而采用定性指标。另外,目前的经济社会对集装箱港口集疏运的需求不再局限于高附加值货物的运输,同时对其运输效率、运输成本、运输服务质量和可持续性发展等方面也提出了更高的要求,这使得现有的集装箱港口集疏运绩效评价指标亟需更新和补充。

2 研究方法

2.1 评价指标体系建立

本文在分析未来集装箱港口集疏运发展趋势的基础上,结合既有国内外研究成果,构建了一个适合3种集装箱港口集疏运方式的多标准评价指标框架,如图1所示。

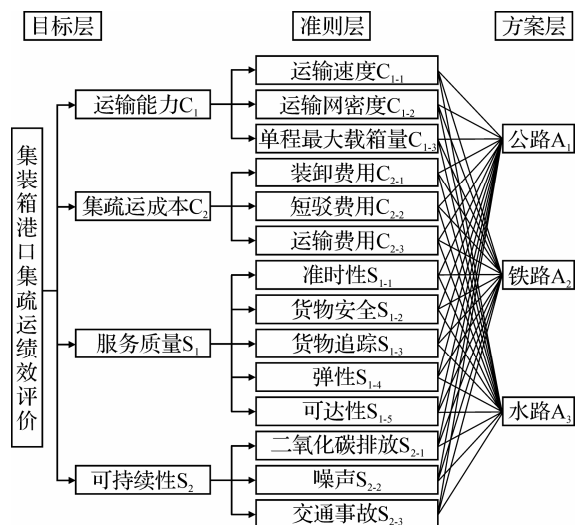


图1 集装箱港口集疏运绩效评价指标体系

集装箱港口集疏运绩效评价一级指标包括以下4个方面:

(1)运输能力。

集装箱港口集疏运的战略目标之一是最大程度地提高运力进而节省运输时间。3种集疏运方式的运输能力从运输速度、运输网密度和单程最大载箱量3个角度进行衡量。运输速度指运输集装箱时平均每小时行驶的公里数;运输网络密度可以反映不同区域的通达性,不少路网规划类文献都把运输网密度作为评价运输网合理发展的主要技术指标;单程最大载箱量指一辆载具每次最多可装载的标准集装箱数。

(2)集疏运成本。

如图2所示,港口集装箱集疏运成本主要包括3部分:①集疏运过程中产生的装卸费用;②水路和铁路集装箱运输链的两端由公路短驳运输,因此在计算二者运输成本时,需要将两端公路短驳费用考虑在内;③运往港口过程产生的运输费用。

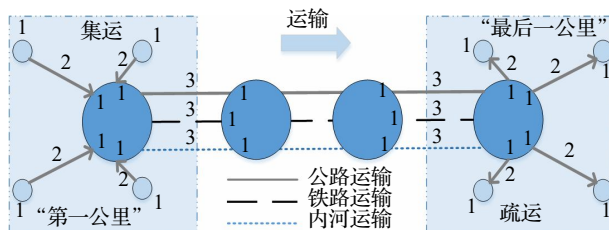


图2 集装箱港口集疏运成本构成

(3)服务质量。

先进的集疏运方式应当安全可靠且便利^[14]。

因此,本文主要对3种港口集装箱集疏运方式的准时性、货物安全、货物跟踪、弹性和可达性进行评价。准时性衡量某种运输方式能否在货主规定时间内将集装箱运至目的地;货物安全衡量集装箱在集疏运过程中的货损情况;货物跟踪指GIS、GPS、条码技术、射频技术等多种货物跟踪相关技术的应用程度;弹性指自我调节以应对外部变化的能力,外部变化包括客户需求和自然环境的变化。可达性用来反映3种集疏运方式与集装箱港口的衔接协调程度。在本文中,可达性由3种集疏运方式完成的吞吐量衡量。

(4)可持续性.

交通运输在促进经济快速发展的同时也带来一系列社会和环境问题,如交通量增加带来交通事故的增加、交通工具排放的污染物逐年增加、噪声污染的影响也逐年加剧。这些都会对人身健康和生命安全造成影响,因此应将每百万吨公里二氧化碳排放量、噪声和交通事故造成的平均经济损失纳入评价指标体系中。

2.2 权重计算

在评价体系中,每个指标对实现预期目标和功能的影响程度不同,因此,需要计算每个指标的权重来衡量其相对重要性。根据计算权重时原始数据的来源不同,可以将赋权方法分为3类^[27]:主观赋权法、客观赋权法、主客观综合集成赋权法(简称综合集成赋权法)。主观赋权法在根据属性本身含义确定权重方面具有优势,但客观性较差;而客观赋权法在不考虑属性实际含义的情况下确定权重具有优势,但不能体现决策者对不同属性的重视程度,有时会出现确定的权重与属性实际重要程度相悖的情况。基于此,本文采用综合集成赋权法,其计算方法为:

$$W = \alpha W_{\text{AHP}} + (1 - \alpha) W_{\text{Entropy}}, \quad (1)$$

式中: W 表示某一指标的组合权重; α 为比例系数 ($0 \leq \alpha \leq 1$), 根据 Lagrange 极值原理可以求出比例系数的值^[28-29], 通过计算得出 α 为 0.6^[29]; W_{AHP} 和 W_{Entropy} 分别表示某一指标的层次分析法权重和熵值法权重。

2.2.1 层次分析法权重计算

(1)构建判断矩阵.

选择在集疏运领域具有深厚造诣的多位专家,

包括港口企业高管、高校教授等,向他们发放“专家评分表”。专家使用1到9及其倒数的偏好等级(表1)确定同一层中两个指标之间的相对重要性,构造比较判断矩阵 B :

$$B = [b_{ij}] = \begin{bmatrix} 1 & b_{12} & \cdots & b_{1n} \\ \frac{1}{b_{12}} & 1 & \cdots & b_{2n} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ \frac{1}{b_{1n}} & \frac{1}{b_{2n}} & \cdots & 1 \end{bmatrix}. \quad (2)$$

表1 判断矩阵标度及其含义

标度	定义
1	两个评价指标相比, 重要性相同
3	两个评价指标相比, 前者比后者稍微重要
5	两个评价指标相比, 前者比后者明显重要
7	两个评价指标相比, 前者比后者强烈重要
9	两个评价指标相比, 前者比后者极端重要
2, 4, 6, 8	介于上述相应两相邻标度之间的程度
倒数	后者比前者重要性程度的对应描述

(2)计算层次分析法权重.

通过公式(2)计算判断矩阵的特征值和特征向量。如果判断矩阵 B 为一致性矩阵, 满足

$$BX = \lambda X, \quad (3)$$

则每个指标关联的最大特征值 ($\lambda_{\max}$) 对应的特征向量即为权向量 W_{AHP} 。

(3)一致性检验.

判断矩阵的一致性由一致性比率(Consistency Ratio) R_C 进行判别。具体计算公式如下:

$$R_C = I_C / I_R, \quad (4)$$

$$I_C = \frac{\lambda_{\max} - k}{k - 1}, \quad (5)$$

式中: k 为判断矩阵阶数; I_R 为随机一致性指标。表2给出了与 k 阶矩阵对应的随机一致性指标值。

表2 随机一致性指标值

k	I_R	k	I_R	k	I_R	k	I_R
1	0	5	1.12	9	1.46	13	1.56
2	0	6	1.26	10	1.49	14	1.58
3	0.52	7	1.36	11	1.52		
4	0.89	8	1.41	12	1.54		

一般认为当一致性比率 $R_C < 0.1$ 时, 构造的判断矩阵具有较好的一致性, 可以通过检验; 反之则

表示构造的判断矩阵不符合一致性检验,应对矩阵加以修正。

2.2.2 熵值法权重计算

(1)数据归一化处理.

由于需要使指标原始数值与标准化之后的指标值呈线性关系,因此在使用熵值法计算权重时,一般选择阈值法中 Min-Max 的归一化(标准化)法消除指标量纲.假设评价框架中有 m 个备选方案, n 个评价指标.

当评价指标为效益型指标时,

$$y_{ij} = \frac{x_{ij} - x_j^{\min}}{x_j^{\max} - x_j^{\min}}, i = 1, \dots, m; j = 1, \dots, n. \quad (6)$$

当评价指标为成本型指标时,

$$y_{ij} = \frac{x_j^{\max} - x_{ij}}{x_j^{\max} - x_j^{\min}}, i = 1, \dots, m; j = 1, \dots, n. \quad (7)$$

效益型指标是属性值越大越好的指标,例如运输速度、准时性;成本型指标是属性值越小越好的指标,例如装卸费用、二氧化碳排放量. y_{ij} 是经过归一化处理的第 i 个样本中的第 j 项指标值, x_{ij} 为第 i 个样本中的第 j 项指标数据原始值, $x_j^{\max}$ 和 $x_j^{\min}$ 分别为当前处理的所有样本中第 j 项指标的最大值和最小值.

(2)计算各指标熵值 e_j .

$$e_j = -\frac{\sum_{i=1}^m p_{ij} \ln p_{ij}}{\ln m}, i = 1, \dots, m; j = 1, \dots, n, \quad (8)$$

$$p_{ij} = y_{ij} / \sum_{i=1}^m y_{ij},$$

$$i = 1, \dots, m; j = 1, \dots, n; 0 \leq p_{ij} \leq 1, \quad (9)$$

式中: e_j 为第 j 项指标的熵值; p_{ij} 为第 j 项指标下第 i 个指标值所占的比重.

(3)计算熵值法权重.

根据所得熵值 e_j 计算各项指标权重 W_j , 所得即为熵值法权重 W_{Entropy} .

$$W_j = \frac{1 - e_j}{n - \sum_{j=1}^n e_j}, \sum_{j=1}^n W_j = 1, j = 1, \dots, n. \quad (10)$$

3 案例验证

3.1 概况

2016年6月,“宁波舟山港-浙赣湘集装箱海铁

公多式联运示范工程”被交通运输部、国家发展与改革委员会列入全国第一批多式联运示范工程,该项目有效促进了宁波舟山港海、铁、公3种集装箱港口集疏运方式的发展和有机结合.2017年,浙江沿海港口集装箱吞吐量为2687万TEU,内河集装箱和铁路集装箱吞吐量增长迅猛,分别达到60万TEU和150万TEU,近年来均保持两位数以上增长^[30].2019年,浙江沿海港口集装箱吞吐量达到了3063万TEU,集装箱内河航线持续加密,集装箱班列陆续开行,不断挑战公路集疏运的主导地位.本文选取宁波舟山港-浙赣湘集装箱海铁公多式联运示范工程项目中宁波舟山港-绍兴段作为案例,验证指标体系的合理性.

3.2 数据收集与计算

通过搜索相关文献、政府和企业统计公报、行业分析公报以及发放专家调查表来收集数据,具体数据及来源见表3.收集的数据经过无量纲处理后作为输入项,以计算3种集装箱港口集疏运方式的绩效得分.运输能力和服务质量均属于效益型指标,集疏运成本和可持续性均属于成本型指标.分别根据公式(6)和(7),将各指标属性值进行无量纲处理,计算结果为:

$$A = (A_1 \quad A_2 \quad A_3) = \begin{pmatrix} 0.500 & 1.000 & 0 \\ 1.000 & 0 & 0.013 \\ 0 & 0.290 & 1.000 \\ 0 & 0.654 & 1.000 \\ 1.000 & 0 & 0 \\ 1.000 & 0.290 & 0 \\ 0.054 & 1.000 & 0 \\ 0 & 1.000 & 0.555 \\ 1.000 & 0 & 0.050 \\ 1.000 & 0.091 & 0 \\ 0 & 0.171 & 1.000 \\ 0.430 & 1.000 & 0 \\ 0 & 1.000 & 0.020 \end{pmatrix}. \quad (11)$$

根据公式(1)~(10),经过计算得到各指标的综合权重系数向量:

$$W = \{0.068 \quad 0.090 \quad 0.072 \quad 0.103 \quad 0.100 \rightarrow$$

$$\leftarrow 0.064 \quad 0.071 \quad 0.101 \quad 0.067 \rightarrow$$

$$\leftarrow 0.059 \quad 0.073 \quad 0.042 \quad 0.091\}. \quad (12)$$

表3 指标属性值及数据来源

一级指标	二级指标	公路	铁路	内河水路	数据来源
运输能力	运输速度/(km·h ⁻¹)	50	80	20	文献资料[31-34]
	运输网密度/(m·km ⁻²)	504.8	13.6	20	交通运输部 2019 年运输业发展统计公报[35]
集疏运成本	单程最大载箱量/TEU	2	82	278	公共信息统计、文献资料[36]
	装卸费用/(元·TEU ⁻¹ ·km ⁻¹)	60	195	250	文献资料[33,37-38]
	短驳费用/(元·TEU ⁻¹ ·km ⁻¹)	0	10	10	文献资料[37,39]
	运输费用/(元·TEU ⁻¹ ·km ⁻¹)	9.185	3.8	0.949	公开信息统计
服务质量	准时性	3.6	4.8	3.75	专家打分
	货物安全	3.4	4.6	4.25	专家打分
	货物跟踪	4.6	3.6	3	专家打分
	弹性	5	2.8	2.5	专家打分
	可达性/万 TEU	2 148.8	80.9	732	宁波舟山港股份有限公司 2019 年年度报告
可持续性	二氧化碳排放量/(t·(Mt·km) ⁻¹)	190	160	14	公开信息统计
	噪音污染平均经济损失/(元·(Mt·km) ⁻¹)	4 300	2 050	6 000	文献资料[40]
	交通事故平均经济损失/(元·(Mt·km) ⁻¹)	1 050	40	1 030	文献资料[40]

将各指标的权重乘以其无量纲化后的属性值,然后相加获得每种备选方案的绩效得分,具体计算公式为:

$$P = W \cdot A. \quad (13)$$

通过计算,宁波舟山港的公路、铁路和内河水路集疏运绩效评价得分分别为 0.46、0.51 和 0.32.

3.3 评价结果分析

作为宁波舟山港集疏运的绩效评价结果,铁路集疏运的得分高于其余两种集疏运方式符合目前的实际情况.原因在于:一方面,宁波舟山港至绍兴双层集装箱班列于 2018 年 12 月成功首发,该班列以每周 7 列的发车频率开行,双层集装箱班列相较普通的单层货运列车,运量可提高 30%以上,降低了物流成本,该班列的开行有效提升了宁波舟山港至绍兴的铁路集疏运效率和效益;另一方面,从可持续性的角度来看,铁路集疏运依然具有突出的优势,故而成为宁波舟山港集装箱的首选集疏运方式.

由公式(12)的权重计算结果可知,在 13 个指标中,运输费用(C_{2.3})、可达性(S_{1.5})、货物安全(S_{1.2})、短驳费用(C_{2.2})、交通事故平均经济损失(S_{2.3})这 5 个指标对集装箱港口集疏运绩效评价存在很大影响.因此,通过 20 组敏感性实验对这 5 个指标

进行敏感性分析,进而获得结果的鲁棒性和可行性^[41].图 3 显示了更改 5 个重要指标权重时对 3 种集疏运方式绩效得分排名的影响,径向距离坐标表示每种集疏运方式的绩效得分.更改指标 C_{2.3}的权重(-20%, -10%, +10%, +20%),并计算 3 种集疏运方式的绩效得分,其结果对应图 3 中的实验 1~4.采用同样的方法分别更改指标 S_{1.5}、S_{1.2}、C_{2.2}、S_{2.3}的权重,并计算 3 种集疏运方式的绩效得分,结果分别对应图 3 中的实验 5~8、9~12、13~16、17~20.由图 3 易看出,“铁路集疏运 A₂”在 20 组实验中均获得了最高分.因此,可得结论,本文建立的评价指标框架和计算方法为公、铁、水 3 种集装箱港口集疏运方式提供了精确而稳定的绩效评价排名.

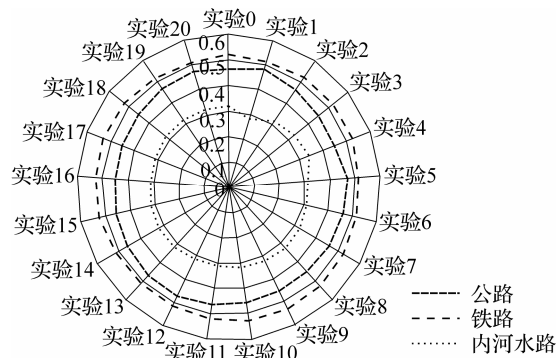


图3 敏感性分析结果

4 结语

集装箱运输具有高效便捷、安全可靠、经济集约等优点, 是物流研究和应用的趋势. 在对集装箱港口集疏运绩效影响因素进行综合分析的基础上, 本文从运输能力、集疏运成本、服务质量和可持续性4个角度构建了同时适合3种集装箱港口集疏运方式的绩效评价框架, 并计算了各指标的权重. 作为实例验证, 该方法适用于宁波舟山港集装箱集疏运系统, 20组敏感性实验验证了结果的鲁棒性和可行性. 本文建立的评价指标框架和计算方法将为后续多式联运系统绩效评价研究奠定基础.

参考文献:

- [1] 原方方. 试论我国多式联运的发展现状及应对对策[J]. 科技视界, 2020(24):140-141.
- [2] 朱吉双. 沿海港口集装箱集疏运结构评价指标及其测算方法研究[J]. 综合运输, 2020, 42(8):1-7; 34.
- [3] 杨磊. 基于系统工程的多式联运绩效评价指标体系构建研究[J]. 铁道运输与经济, 2019, 41(8):64-67; 76.
- [4] Litman T. A good example of bad transportation performance evaluation[R]. Victoria, Canada: Institute of the Transportation Engineers, 2008.
- [5] Jeffs V P, Hills P J. Determinants of modal choice in freight transport[J]. Transportation, 1990, 17(1):29-47.
- [6] Simchi-Levi D, Kaminsky P, Simchi-Levi E. Designing and Managing the Supply Chain: Concepts, Strategies, and Case Studies[M]. 2nd ed. New York: McGraw-Hill, 2003:23-41.
- [7] Feo M, Espino R, García L. A stated preference analysis of Spanish freight forwarders modal choice on the south-west Europe Motorway of the Sea[J]. Transport Policy, 2011, 18(1):60-67.
- [8] Reis V. Analysis of mode choice variables in short distance intermodal freight transport using an agent-based model[J]. Transportation Research Part A: Policy and Practice, 2014, 61:100-120.
- [9] Arencibia A I, Feo-Valero M, García-Menéndez L, et al. Modelling mode choice for freight transport using advanced choice experiments[J]. Transportation Research Part A: Policy and Practice, 2015, 75:252-267.
- [10] Larranaga A M, Arellana J, Senna L A. Encouraging intermodality: A stated preference analysis of freight mode choice in Rio Grande do Sul[J]. Transportation Research Part A: Policy and Practice, 2017, 102:202-211.
- [11] Mohri S, Haghshenas H, Salehi V. Two levels modelling of container choosing and mode choice between road and rail for increasing the containerized rail modal share[C]. 15th World Conference on Transport Research, Mumbai, 2019.
- [12] Nugroho M T, Whiteing A, de Jong G. Port and inland mode choice from the exporters' and forwarders' perspectives: Case study — Java, Indonesia[J]. Research in Transportation Business & Management, 2016, 19:73-82.
- [13] 宋力. 考虑碳税的集装箱货运方式选择模型研究[D]. 哈尔滨: 哈尔滨工业大学, 2019.
- [14] 卢星儒, 杨菊花, 温永瑞. 基于最优组合赋权的货运方式选择可变模糊模型研究[J]. 铁道货运, 2017, 35(1):16-22.
- [15] 李哲契. 对路网评价技术指标选用的探讨[J]. 上海公路, 1995(2):6-8.
- [16] 张生瑞, 邵春福, 严海. 公路交通可持续发展评价指标及评价方法研究[J]. 中国公路学报, 2005, 18(2):74-78.
- [17] 朱兴琳. 新疆公路网现状分析与综合评价[J]. 交通标准化, 2008(10):189-193.
- [18] 聂英杰. 中长期铁路网规划技术评价指标体系的研究[J]. 铁道勘察, 2011(2):86-89.
- [19] 刘新民, 王琪, 孙秋霞. 基于云物元模型的城市道路级配评价研究[J]. 数学的实践与认识, 2018, 48(4):34-41.
- [20] Hu W, Wu C. Urban road network accessibility evaluation method based on GIS spatial analysis techniques[J]. The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences, 2011, 38:114-117.
- [21] Feng T, Zhang J. Multicriteria evaluation on accessibility-based transportation equity in road network design problem[J]. Journal of advanced transportation, 2014, 48(6):526-541.
- [22] Lazda Z, Smirnovs J. Evaluation of road traffic safety level in the state main road network of Latvia[J]. The Baltic Journal of Road and Bridge Engineering, 2009, 4(4):156-160.
- [23] Hanaoka S, Kunadhamraks P. Multiple criteria and fuzzy based evaluation of logistics performance for intermodal transportation[J]. Journal of Advanced Transportation, 2009, 43(2):123-153.
- [24] 张雯. 我国集装箱海铁联运的效率评价研究[D]. 福州: 福州大学, 2014.
- [25] 朱汉民, 姚华, 刘斌. 集装箱多式联运效率评价指标体系构建研究[J]. 铁道运输与经济, 2018, 40(5):8-14.
- [26] Janic M. An assessment of the performance of the European long intermodal freight trains (LIFTS)[J].

- Transportation Research Part A: Policy and Practice, 2008, 42(10):1326-1339.
- [27] 王伟, 李锐, 王书培. 基于 DEAHP 的港口集装箱海陆联运效率评价[J]. 现代交通技术, 2017, 14(2):72-74; 80.
- [28] 杨非, 张建平, 谢方泉, 等. 基于变异系数的 EWM-G1 管制运行效率主客观综合赋权评价方法[J]. 交通运输工程与信息学报, 2020, 18(3):126-132.
- [29] 陈芳, 罗云. 管制员安全能力模型研究[J]. 中国安全科学学报, 2012, 22(1):17-23.
- [30] 付强. 煤巷围岩稳定性评价指标权重确定方法[J]. 煤矿安全, 2019, 50(3):199-202; 207.
- [31] 付旻, 祝诗蓓, 楼小明, 等. 浙江集装箱运输物流发展的问题与对策[J]. 浙江经济, 2020(2):66-67.
- [32] 曾庆成, 于婷. 基于码头集卡共享的运输任务分配优化模型[J]. 上海海事大学学报, 2020(1):64-70; 79.
- [33] 杜启文. “丝绸之路经济带”下的中欧集装箱运输系统优化研究[D]. 北京: 北京交通大学, 2018.
- [34] 刘铁鑫. 面向复杂货流的综合运输组织方式优化研究[D]. 武汉: 武汉理工大学, 2010.
- [35] 黄一展, 马江浩, 朱道立, 等. 上海港内河水-水中转集疏运模式研究[J]. 上海管理科学, 2019, 41(2):23-30.
- [36] 交通运输部. 2019 年交通运输行业发展统计公报[J]. 交通财会, 2020(6):86-91.
- [37] 金曦. 长江中下游江海直达集装箱班轮航线优化研究[D]. 武汉: 武汉理工大学, 2016.
- [38] 张戎, 诸立超, 陶学宗. 基于混合 Logit 模型的饶甬运输链选择行为分析[J]. 交通运输系统工程与信息, 2014, 14(1):138-143.
- [39] 尚欢. 集装箱公铁联运成本模型的构建与应用[D]. 西安: 长安大学, 2015.
- [40] 董岗. 外部成本下成都—洋山港区集装箱集疏运体系的均衡研究[J]. 上海海事大学学报, 2011, 32(3):38-42; 63.
- [41] Tyagi M, Kumar P, Kumar D. Assessment of CSR based supply chain performance system using an integrated fuzzy AHP-TOPSIS approach[J]. International Journal of Logistics Research and Applications, 2018, 21(4):378-406.

Performance evaluation of container port collecting and distributing system based on combination weighting method

HU Yujie, WANG Yuhong*

(Faculty of Maritime and Transportation, Ningbo University, Ningbo 315832, China)

Abstract: The existing indicators for transportation performance evaluation are mostly defined and calculated based on a single transportation mode, which cannot meet requirements of container transportation development characterized by “collaboration” in the future. A unified performance evaluation index system is established for the container port collecting and distributing system from the perspectives of transportation capacity, costs of collecting and distributing, service quality and sustainability. In order to fully reflect the objective information and the subjective experience of decision-makers, the combination weighting method is applied in this study to calculate combination weight of each indicator. Beilun Port Area of Ningbo Zhoushan is taken as the research object to prove rationality and effectiveness of the proposed method. Research results are basically consistent with development status in quo of Beilun Port Area’s container collection and distribution. Therefore, the indicator system established in this research is considered feasible. This article provides a scientific and effective indicator basis for in-depth study of the performance evaluation on container multimodal transport system in the future.

Key words: container transportation; collecting and distributing; performance evaluation indicators; combination weighting; performance evaluation

(责任编辑 韩 超)