

港口集疏运系统协调发展饱和度模型研究

杨 莎, 刘桂云*, 王智灵

(宁波大学 海运学院, 浙江 宁波 315211)

摘要: 为了研究港口集疏运系统的协调性, 以运输子系统为研究对象, 效用函数和饱和度理论为基础, 针对运输系统内部协调发展问题, 分别建立公路、铁路和水路协调发展饱和度模型. 通过实例计算对模型进行验证, 计算出各运输子系统内部协调发展的饱和系数. 结果显示: 公路运输系统的设计可通行交通流量与实际日交通流量不平衡现象较为明显; 铁路运输系统中主要货运站实际年到达量与设计供给量的饱和系数过大; 水路运输系统中沿海航道比内河航道的饱和系数大, 协调性差. 通过对各运输子系统服务水平进行评价, 对推动港口运输子系统协调发展具有较为重要的意义.

关键词: 港口集疏运系统; 效用函数; 饱和度理论; 运输子系统; 协调发展

中图分类号: U116.1

文献标志码: A

文章编号: 1001-5132 (2018) 01-0076-06

近几年我国港口货物吞吐量不断增长, 2015 年全国沿海规模以上港口完成货物吞吐量 7.84×10^9 t, 同比增长 1.0%, 其中外贸吞吐量完成 3.25×10^9 t, 增长 0.7%. 各运输方式之间以及内部要素之间的竞争加速了整个集疏运输系统的发展, 然而各运输方式结构失衡、缺乏协调等问题依然存在, 这些问题阻碍了整个集疏运系统的高效运转^[1].

港口集疏运系统的协调性问题即各运输方式之间的协调发展、内部要素饱和性等问题. 运输协调性主要包括运输系统与外界系统(经济、社会、环境等)的协调、运输系统内各运输方式(公路、铁路、水路等)之间的协调以及各运输方式内不同生产要素之间的协调 3 个层面.

针对 1、2 层面的研究较多, 例如 2012 年周青峰等^[2]采用了熵变耦合模型进行计算, 论证了我国近 10 多年的综合交通运输能耗与环境之间的协调关系. 2014 年蒋慧峰^[3]通过协调度模型和非线性自回归方法, 建立了综合交通运输与经济之间的协调性评价方法和预测模型. 2016 年李洁等^[4]利用协整

理论, 分析了区域交通运输和经济之间的协调发展情况. 谢奔一等^[5]运用系统科学理论和剪刀差方法构建了交通运输与经济系统的动态耦合协调模型. 李华等^[6]为探讨港口物流与城市经济的关系, 采用灰色关联模型对宁波市港口物流与经济指标相关数据进行了分析.

对于第 2 层面的研究主要集中在利用 DEA 等方法建立综合交通运输各子系统之间协调发展的评价模型^[7-10], 或者利用 AHP 分析法对各运输方式之间的发展水平进行评价^[11].

第 3 层面关于运输方式内不同生产要素之间的协调研究相对较少, 仅有张生瑞等^[12-13]在 2002 年和 2007 年应用系统学原理, 探讨了交通运输系统的内部协调性问题.

本文利用效用函数对运输系统内生产要素进行分析, 结合饱和度理论, 构建协调发展饱和度模型. 以宁波港为研究对象, 进行实证分析, 针对第 3 层面, 进行运输系统内部生产要素协调发展的评价分析.

收稿日期: 2017-03-23.

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

基金项目: 宁波市软科学项目 (2017A10077); 宁波市自然科学基金 (2016A610074); 宁波港口经济圈文化创新团队; 宁波大学大学生科技创新计划.

第一作者: 杨莎 (1993-), 女, 湖南常德人, 在读硕士研究生, 主要研究方向: 港口现代化管理, 交通物流. E-mail: 924313291@qq.com

*通信作者: 刘桂云 (1972-), 女, 辽宁鞍山人, 教授, 主要研究方向: 港口物流管理. E-mail: liuguiyun@nbu.edu.cn

1 港口集疏运运输子系统内部协调发展机理

1.1 运输子系统内部生产要素协调发展理论

针对运输子系统内部的协调发展问题,本文从完成运输任务的过程和系统服务水平2个角度进行研究。通过实际运行得到的数据,能够较好地对其协调性进行检验,同时运行效率的高低也代表了运输系统的服务水平高低。

在完成运输任务的过程中,需要投入大量的生产要素,而不同生产要素的投入可能会导致实际效益增加或者减少,因此需要采用效用函数对不同的生产要素进行分类。要素的投入会对系统的服务水平产生影响,系统内部要素之间协调性越好,则系统的服务水平越高。在此基础上引入饱和度理论及完成运输任务的过程中动静态平衡原理(动态反映的是现状通行能力即现状需求,静态反映的是设计通行能力即设计供给)对系统服务水平及要素协调性进行评价分析。

1.2 运输子系统内部生产要素指标分类

港口集疏运运输子系统主要分为公路、铁路和水路3个运输子系统(这里不考虑航空和管道),不同运输方式的生产要素投入是不一样的。本文主要从技术指标角度进行考虑,例如:公路运输中主要的生产要素包括货车类型、公路等级、行驶速度、各类货车日均数量等;铁路运输当中的生产要素包括列车班列数、班列开行次数、开行周期、列车平均载重吨位、实际年发送量和实际年到达量等;水路运输当中的生产要素包括船舶载重吨位、船舶长度、船舶数量、内河航道等级和沿海航道通过能力等。设 F_{ij} 为第 i 个子系统第 j 个子目标值, $i=1,2,3$, $j=1,2,3,\dots,n_i$; D_{ij} 为第 i 个子系统第 j 个指标值; U_{ij} 为 D_{ij} 对运输系统的效用贡献大小; k_1, k_2 为常数。对运输子系统内部生产要素进行分类,主要分为以下两种:

产出型:表示为产出越多收益越好型,

$$U_{ij} = \frac{1 - e^{k_1(F_{ij} - D_{ij})}}{1 + e^{k_1(F_{ij} - D_{ij})}}; \quad (1)$$

投入型:表示为投入越少收益越好型,

$$U_{ij} = \frac{1 - e^{k_2(D_{ij} - F_{ij})}}{1 + e^{k_2(D_{ij} - F_{ij})}}. \quad (2)$$

根据效用函数理论,效用越大,所起的作用越大。在进行协调发展饱和度模型设计时应该以效用度为基础,要素效用度的大小反映该要素对整个系统的贡献度。

2 运输子系统内部协调发展的饱和度模型设计

饱和度表达式为 F/D ,式中: F 为实际最大通行能力; D 为设计最大通行能力。饱和度的大小反映了其服务水平的高低,服务水平则体现了系统内部要素之间协调性的好与坏。

2.1 公路运输系统协调发展饱和度模型设计

公路运输系统协调性研究即实际通行交通流与设计最大通行交通流之间的饱和度分析。根据道路交通流理论,不同道路路段上的交通流量由不同种类的车组成,但作为港口货流则主要针对货车流量进行研究。货车主要包括小型车、中型车、大型车及集装箱车。

公路运输系统饱和系数方程表示为:

$$R_g = \frac{F_g}{D_g}, \quad (3)$$

式中: R_g 为公路运输饱和系数; F_g 为实际年平均日混合当量; D_g 为设计年平均日适应交通量。

实际年平均日混合当量 F_g 表达式为:

$$F_g = F_j + F_t + F_d + F_z + F_s, \quad (4)$$

式中: F_j 为集装箱车年日均数量; F_t 为特大型货车年日均数量; F_d 为大型货车年日均数量; F_z 为中型货车年日均数量; F_s 为小型货车年日均数量。

但是由于在实际车辆行驶中,不同货车具有体积和行驶速度上的差异性,因此在计算其港口货物交通流量时需要引入换算系数 P 对其进行修正,见表1。

表1 混合交通货车车辆换算系数

车型	载重量范围/t	换算系数 P
小车型	0.6 以下	0.3
	0.6~3	0.5
中车型	3.1~9	1.0
	9.1~15	1.5
大车型	15 以上	2.0

注:资料来源于《城市道路工程设计规范(CJJ37-2012)》。

根据换算系数表最后得到实际年平均日混合当量关系式为:

$$F_g = P_j F_j + P_t F_t + P_d F_d + P_z F_z + P_s F_s. \quad (5)$$

将公式(5)代入(3)中得到实际年平均日混合当量与设计年平均日适应量饱和系数关系为:

$$R_g = \frac{P_j F_j + P_t F_t + P_d F_d + P_z F_z + P_s F_s}{D_g}. \quad (6)$$

公式(6)为最终构建的公路运输系统协调发展饱和度模型, 其中 D_g 表示设计年平均日适应量. 通过公式(6)可对公路集疏运每条道路货物流量的饱和度现状进行计算.

2.2 铁路运输系统协调发展饱和度模型设计

铁路运输系统协调性研究主要为货运站的内部饱和度分析, 即铁路货运站实际货物运量与设计所能提供货运供给量的分析, 两者之间的比值即为铁路运输系统饱和系数.

实际货物运量为货运站实际年发送量和实际年到达量的总和, 分别用 F_t 、 S_t 、 A_t 表示. 货运站设计所能提供的总运量主要与货运站列车班列数、班列开行次数、开行周期和列车平均载重吨位有关. 其中班列数分为 2 大类: 第 1 类为直达货物班列, 第 2 类则是快运(包括普快、快速和特快)货物班列. 普快班列数、快速班列数和特快班列数分别用 L_i^p 、 L_i^k 和 L_i^t 表示, 相对应的班列开行次数即每周开行的次数和分别用 C_i^p 、 C_i^k 和 C_i^t 表示, 开行周期即每日或者每周开行的列数用 Z_i 表示, 通常单位为列·d⁻¹, 文中将单位统一转换为列·周⁻¹, 1 a 按 48 周计算.

铁路运输系统饱和系数方程表示为:

$$R_t = \frac{F_t}{D_t}, \quad (7)$$

式中: R_t 为铁路运输系统饱和系数; F_t 为货运站实际货物运量; D_t 为设计所能提供货运供给量.

货运站实际货物运量 F_t 包括实际年发送量和实际年到达量, 则方程表示为:

$$F_t = S_t + A_t, \quad (8)$$

式中: S_t 为货运站实际年发送量; A_t 为实际年到达量.

货运站设计所能提供货运供给量 D_t 与列车班列数、班列开行次数、开行周期和列车平均载重吨位有关, 则方程表示为:

$$D_t = 48 \bar{D} \cdot \sum_i (L_i^p C_i^p Z_i^p + L_i^k C_i^k Z_i^k + L_i^t C_i^t Z_i^t), \quad (9)$$

式中: L_i 为列车班列数; C_i 为班列开行次数; Z_i 为开行周期; $\bar{D}$ 为列车平均载重吨位.

将公式(8)和(9)代入(7)中得到的方程表示为:

$$R_t = \frac{S_t + A_t}{48 \times \bar{D}} / \left(\sum_i L_i^p C_i^p Z_i^p + \sum_i L_i^k C_i^k Z_i^k + \sum_i L_i^t C_i^t Z_i^t \right). \quad (10)$$

公式(10)即为铁路运输系统协调发展饱和度模型, 通过该公式可对铁路集疏运每个货运站实际货物运量与设计所能提供货运供给量之间的饱和度现状进行计算.

2.3 水路运输系统协调发展饱和度模型设计

水路运输系统协调性研究主要为实际航道通行能力与设计航道通行能力之间的饱和度分析. 受航道通行能力、船舶大小、船舶载重吨位和航道等级等因素影响, 内河航道通行能力的设计与沿海航道通行能力的设计是不一样的. 同时由于船舶长度大小的不同, 在进行模型设计时需引入船舶长度换算系数(见表 2)^[14-15].

表 2 中国船舶长度换算系数

船长/m	换算系数
30 以下	0.25
30~50	0.50
50~90	1.00
90~115	1.18
115~135	1.41
135~155	1.70
155~170	2.00
170~195	2.25
195~215	2.50
215~246	3.00
246 以上	4.00

水路运输系统饱和系数方程表示为:

$$R_s = \begin{cases} R_{ns} = \frac{F_{ns}}{D_{ns}}, \\ R_{ys} = \frac{F_{ys}}{D_{ys}}. \end{cases} \quad (11)$$

式中: R_s 为水路运输系统饱和系数, 包括内河运输饱和系数 R_{ns} 和沿海运输饱和系数 R_{ys} ; F_{ns} 为内河实际航道通行能力; D_{ns} 为内河设计航道通行能力; F_{ys}

为沿海实际航道通行能力; D_{ys} 为沿海设计航道通行能力。

F_{ns} 和 F_{ys} 的取值大小与船舶的载重吨位、船舶长度和船舶数量有关, 需引入换算系数 P , 用方程表示为:

$$F_{ns} = \sum_j P_L^j T_{ns}^j Q_{ns}^j, \quad (12)$$

$$F_{ys} = \sum_j P_L^j T_{ys}^j Q_{ys}^j, \quad (13)$$

式中: P_L^j 为船舶长度为 L 的第 j 种船的换算系数; T_{ns}^j 、 T_{ys}^j 分别为内河航道和沿海航道第 j 种船的载重吨位; Q_{ns}^j 、 Q_{ys}^j 分别为第 j 种船内河和沿海日均船舶数。

D_{ns} 与航道等级有关, 根据闵朝斌公式^[15]、苏南运河公式^[16]和参考文献[17]及内河航道标准(GB 50139-2014), 理论航道通行能力取值如表 3 所示。

表 3 内河航道通过能力

航道等级	理想通过能力/($10^3 \text{ t} \cdot \text{d}^{-1}$)
1	-
2	11.80
3	5.90
4	3.60
5	2.72
6	-
7	-

D_{ys} 与船舶长度有关, 根据参考文献[15]来取值(见表 4)。

表 4 沿海航道通过能力

船长/m	可通过能力/($\text{t} \cdot \text{d}^{-1}$)
32.5	18 136.99
45.0	170 684.93
55.0	418 904.11
67.5	600 493.15
85.0	953 698.63
90.0	1 858 256.16
110.0	2 280 712.33

将公式(12)和(13)代入(11)中得到:

$$R_s = \begin{cases} R_{ns} = \frac{\sum_j P_L^j T_{ns}^j Q_{ns}^j}{D_{ns}}, \\ R_{ys} = \frac{\sum_j P_L^j T_{ys}^j Q_{ys}^j}{D_{ys}}. \end{cases} \quad (14)$$

公式(14)即为水路运输系统协调发展饱和度模型, 通过该公式可以对内河和沿海的实际航道通行能力与设计航道通行能力的饱和度现状进行计算。

3 案例分析

以宁波港作为案例分析, 文中所需数据分别来源于参考文献[17]、12306 官网货运服务板块、《宁波市交通统计年鉴》和《道路工程技术标准 JTGB01-2014》. 通过以上模型设计与分析, 利用现有的数据, 对宁波港口集疏运运输子系统内部协调发展饱和度模型进行验证, 计算结果见表 5、表 6 和表 7。

通过表 5、表 6 和表 7 的分析可知, 宁波港集疏运系统中公路运输系统、铁路运输系统及水路运输系统内部均存在供需不平衡的协调性问题. 目前宁波段 S320 骆霞线慈城至北仑段、S214 甬临线横涨至梅林段、大岚至横涨段和溪口至大桥段等成为主要的拥挤路段, G15 沈海高速跨海大桥段道路、G1501 绕城高速东钱湖段和高桥段饱和现状较为理想. 铁路运输系统中新宁波北饱和系数为 0.18, 供给远小于需求, 存在资源浪费的问题. 北仑站的饱和系数达到 1.3 以上, 存在着较为严重的供需不平衡, 易导致货物滞留. 水路运输系统中部分航道饱和系数过大, 供需不平衡现象较为明显, 易导致航道拥挤现象发生。

4 结论

本文主要对港口集疏运运输子系统内部生产要素之间协调发展的有关问题进行研究, 设计了公路运输系统协调发展饱和度模型、铁路运输系统协调发展饱和度模型和水路运输系统协调发展饱和度模型. 其中公路运输协调发展饱和度模型主要与年平均日混合当量和年平均日适应交通量有关; 铁路运输系统协调发展饱和度模型主要与货运站实际货物运量和设计所能提供货运供给量有关; 水路运输系统协调发展饱和度模型中分内河和沿海两部分, 主要与实际航道通行能力和设计航道通行能力有关. 通过对宁波港进行实例分析, 进一步验证协调发展饱和度模型在系统内部协调发展研究中具有较强的可行性. 构建的协调发

表 5 公路集疏运主要路道饱和现状

观测点 (站)	观测点(站) 名称	观测点(站) 名称	线路名称	车道	货车交通 量/(pch·d ⁻¹)	其他交通 量/(pch·d ⁻¹)	混合当量/ (pch·d ⁻¹)	适应交量/ (pch·d ⁻¹)	饱和 系数
1	跨海大桥	跨海大桥	G15 沈海高速	6	19 675.5	19 296.0	38 971.5	80 000	0.49
2	奉化	奉化	G15 沈海高速	6	20 092.5	21 081.0	41 173.5	55 000	0.75
3	东钱湖	东钱湖	G1501 绕城高速	6/8	18 586.0	5 445.5	24 031.5	80 000	0.23
4	高桥	高桥	G1501 绕城高速	6/8	15 556.0	21 914.5	37 470.5	80 000	0.47
5	甬金	甬金	G1512 甬金高速	4	21 825.5	8 061.0	29 886.5	55 000	0.54
6	杭甬高速	杭甬高速	G92 杭州湾环线高速	8	26 165.0	20 082.5	46 247.5	80 000	0.58
7	邱隘	邱隘	S1 甬台温高速	6	38 717.5	16 778.0	55 495.5	55 000	1.01
8	陈华	陈华	G329 杭朱线	4	22 593.0	23 368.5	45 961.5	35 000	1.31
9	大岚	横涨	S214 甬临线	4	15 588.0	25 361.5	40 949.5	25 000	1.64
10	溪口	大桥	S214 甬临线	4	9 970.5	24 594.0	34 564.5	25 000	1.38
11	横涨	梅林	S214 甬临线	4	11 462.5	30 340.0	41 802.5	25 000	1.67
12	陆埠	后施	S320 骆霞线	6	8 398.5	14 699.0	23 097.5	25 000	0.92
13	慈城	北仑	S320 骆霞线	6	35 474.0	11 798.5	47 272.5	25 000	1.89

表 6 铁路集疏运主要货运站饱和现状

铁路货运站	实际货物发送量/t	实际货物到达量/t	实际货物运量/t	设计货物供给能力/t	饱和系数
新宁波北	432 699	1 129 515	1 562 214	8 726 400	0.18
北仑	7 870 346	372 891	8 243 237	6 048 000	1.36

表 7 水路集疏运主要航道饱和现状

航道	航道等级	船舶数量/艘	实际通过能力/t	设计通过能力/t	饱和系数
甬江(内河)	3	158	54 200	59 000	0.92
奉化江(内河)	5	41	14 100	27 200	0.52
石浦港	-	174	1 930 008	2 280 713	0.85
甬江(外航道)	-	295	3 272 022	2 280 713	1.44
进甬江口	-	266	2 950 354	2 280 713	1.30
佛渡水航道	-	273	3 027 998	2 280 713	1.33

展饱和度模型为港口集疏运运输系统协调性问题的研究提供了借鉴意义,但同时由于港口集疏运系统的复杂性,很难将运输系统内部所有生产要素考虑进去,因此有待进一步研究。

参考文献:

- [1] 杨莎,刘桂云,王桐菲.基于SEM的港口集疏运系统影响因素研究[J].水道港口,2017(1):103-108.
- [2] 周青峰,马骊,罗媛媛.综合交通运输发展中的能耗协调关系研究[J].交通运输系统工程与信息,2012(4):11-16;21.
- [3] 蒋慧峰.交通运输与经济系统协调性评价与预测模型[J].系统工程,2014,32(1):133-138.
- [4] 李洁,杨宇翔,庞子帅.基于协整分析的区域交通运输与经济发展协调性研究[J].交通运输工程与信息学报,2016(2):83-91.
- [5] 谢奔一,黄永燊.交通运输与经济系统耦合协调的研究[J].铁道运输与经济,2016(6):29-34.
- [6] 李华,姜桂艳,吴磊,等.宁波港口物流与宁波经济发展的灰色关联分析[J].宁波大学学报(理工版),2016,29(2):99-103.
- [7] 熊崇俊,宁宣熙,潘颖莉.中国综合交通各运输方式协调发展评价研究[J].系统工程,2006(6):1-7.
- [8] 刘旷,马良,范炳全.综合交通运输方式协调发展评价实例研究[J].上海理工大学学报,2009(4):392-395.
- [9] 傅成红,刘国买,段爱华.综合运输协调发展的DEA评价[J].系统工程,2012(7):99-104.

- [10] 彭语冰, 韦霞. 基于 DEA 的区域交通运输协调发展研究[J]. 中国民航大学学报, 2014(1):60-63.
- [11] 邹海波, 吴群琪. 交通运输方式协调发展的状态评价[J]. 交通运输工程学报, 2007(6):113-118.
- [12] 张生瑞, 严宝杰. 交通运输系统协调发展的理论分析[J]. 长安大学学报(自然科学版), 2002(2):51-53.
- [13] 张生瑞, 邵春福. 交通运输系统协调发展理论与模型研究[J]. 数学的实践与认识, 2007(6):1-6.
- [14] 董宇, 姜晔, 何良德, 等. 内河航道通过能力计算方法研究[J]. 水运工程, 2007(1):59-65.
- [15] 闵朝斌. 水资源综合利用与航运现代化[M]. 北京: 中国水利水电出版社, 2005:28-30.
- [16] 长江航道局. 航道工程手册[M]. 北京: 人民交通出版, 2005:88-89.
- [17] 朱俊, 张玮. 基于跟驰理论的内河航道通过能力计算模型[J]. 交通运输工程学报, 2009(5):83-87.

Research on coordinated development saturation model of port collection and distribution system

YANG Sha, LIU Gui-yun^{*}, WANG Zhi-ling

(Faculty of Maritime and Transportation, Ningbo University, Ningbo 315211, China)

Abstract: In order to study the coordination of port collection and distribution system, this paper studied the transportation subsystem based on the utility function and saturation theory. It aimed at the coordination development within the transport system, for which the saturation models of the coordinated development of road, railway and waterway are established respectively. To verify these models through case analysis, the saturated coefficient of coordination development for each internal transportation subsystem is calculated. The results indicate that the design of traffic flow and the actual traffic imbalance phenomenon are more obvious in highway transportation system; the saturation coefficient between the actual arrival quantity and the designed supply is too large in main depot of railway transportation system; and, for the channel of coastal water transportation system, the saturation coefficient is larger than inland waterway and the coordination is also poorer. It is of great significance to promote the coordinated development of port distribution subsystem by evaluating the service level of each transport subsystem.

Key words: port collection and distribution system; utility function; saturation theory; transportation subsystem; coordinated development

(责任编辑 韩 超)