

不确定条件下超大型集装箱船舶经济性分析

陈丽芬^{1,2}, 王文¹, 陈红彬¹, 邵晓娴¹

(1. 集美大学航海学院, 福建 厦门 361021; 2. 大连海事大学交通运输管理学院, 辽宁 大连 116026)

[摘要] 为计算不同类型集装箱船的必要运费率, 并选出经济性最佳船型, 以亚欧航线为例, 应用正交试验法, 对最佳船型进行多因素敏感性分析, 利用方差分析给出各不确定因素对船舶经济性影响显著程度。结果表明, 载箱率、燃油价格、船舶价格三个因素显著性最强。班轮运输公司可通过提高载箱率、降低燃油成本、选择最佳造船时机等方式使得单船经济性最佳。

[关键词] 集装箱船舶; 必要运费率; 正交试验法; 方差分析

[中图分类号] F 550.5

Economic Analysis of Ultra-large Containership Subject to Fluctuating Market Factors

CHEN Lifan^{1,2}, WANG Wen¹, CHEN Hongbin¹, SHAO Xiaoxian¹

(1. Navigation College, Jimei University, Xiamen 361021, China;

2. Transportation Management College, Dalian Maritime University, Dalian 116026, China)

Abstract: The enlargement of containerships has been accelerated by the fierce competition in the shipping market. To calculate required freight rate (RFR) of different types of containerships and chooses the optimum in economy, the paper takes the route from Asia to Europe as an example, makes multi-factors sensitivity analysis of the optimal vessel by orthogonal experimental design(OED), and illustrates the influencing degree of each uncertain factor on economy through variance analysis. The result indicates that loading rate, oil price and ship prices have the most significant degree. Shipping companies can take measures to ensure the economy of containerships through increasing loading rates, reducing fuel cost and choosing the best shipbuilding time.

Keywords: containership; required freight rate; orthogonal experimental design; variance analysis

0 引言

自20世纪60年代中期第一代集装箱船问世以来, 经过50多年的发展, 国际集装箱运输日趋成熟。国际贸易量的持续增长, 以及运价的激烈竞争, 使得集装箱船舶大型化的趋势更加明显, 各大班轮公司也不惜重金订造超大型集装箱船。根据Alphaliner的统计, 截止2017年底全球正在运营的18 000 TEU以上的集装箱船舶共66艘, 2018年交付18 000 TEU以上型船28艘, 2019年将交付18 000 TEU以上型船19艘。集装箱船舶大型化使得运量大幅增加的同时, 也因其海上规模经济效益, 使单位运输成本得到有效降低。

[收稿日期] 2018-10-23

[基金项目] 福建省中青年教育科研项目(JAT180258); 福建省自然科学基金项目(2019J01060370)

[作者简介] 陈丽芬(1983—), 女, 讲师, 博士生, 从事交通运输规划与管理。E-mail: cllf2873340@163.com

文献 [1-6] 从必要运费率方面研究船舶经济性; 文献 [7] 从净现值角度研究船舶经济性, 考虑单因素变动对经济性影响。但集装箱运输市场的波动往往是多因素同时且不同比例变动, 单因素分析不能真实地反映外界因素变动对船舶经济性的影响。因此本文采用正交试验法, 计算多因素多水平变动下集装箱船舶必要运费率, 通过方差分析判断各因素间发生交互作用, 以及对必要运费率的影响, 区分出主要影响因素和次要影响因素, 对集装箱船舶经济性进行研究。

1 单船运输经济性计算模型

衡量船型优劣的经济指标有必要运费率、净现值、内部收益率、投资回收期等, 各指标从不同方面反映投资效果和船型差别。必要运费率 (required freight rate, RFR) 代表船舶最低运输成本, 可以更直观地反映出单船运输经济性, 本文选择必要运费率作为衡量指标。

必要运费率是一种动态成本计算方法, 考虑到不同集装箱船型的新船价格、航次载箱量、燃油消耗量、在港时间等因素, 计算出每单位集装箱的运费。

$$RFR = [TC - C_2 + P \cdot (A/P, i, n) - P \cdot r \cdot (A/F, i, n)] / TQ。$$
 (1)

式中: TC 是集装箱船舶年总运营成本, $TC = C_1 + C_2 + C_3 + C_4 + C_5 + C_6 + C_7 + C_8 + C_9$, C_1 是船员年工资, C_2 是年折旧费, C_3 是年修理费, C_4 是年保险费, C_5 是年燃料费, C_6 是年润料费, C_7 是年物料费, C_8 是年港口使费, C_9 是年管理费; P 是单船价格, 假设在船舶运营期初一次性支付; r 是残值率; i 是折现率; n 是折旧年限; TQ 是单船年运箱量; A/P 表示资本回收系数; A/F 是偿债基金系数。

船舶各项参数与必要运费率之间的关系如图 1 所示:

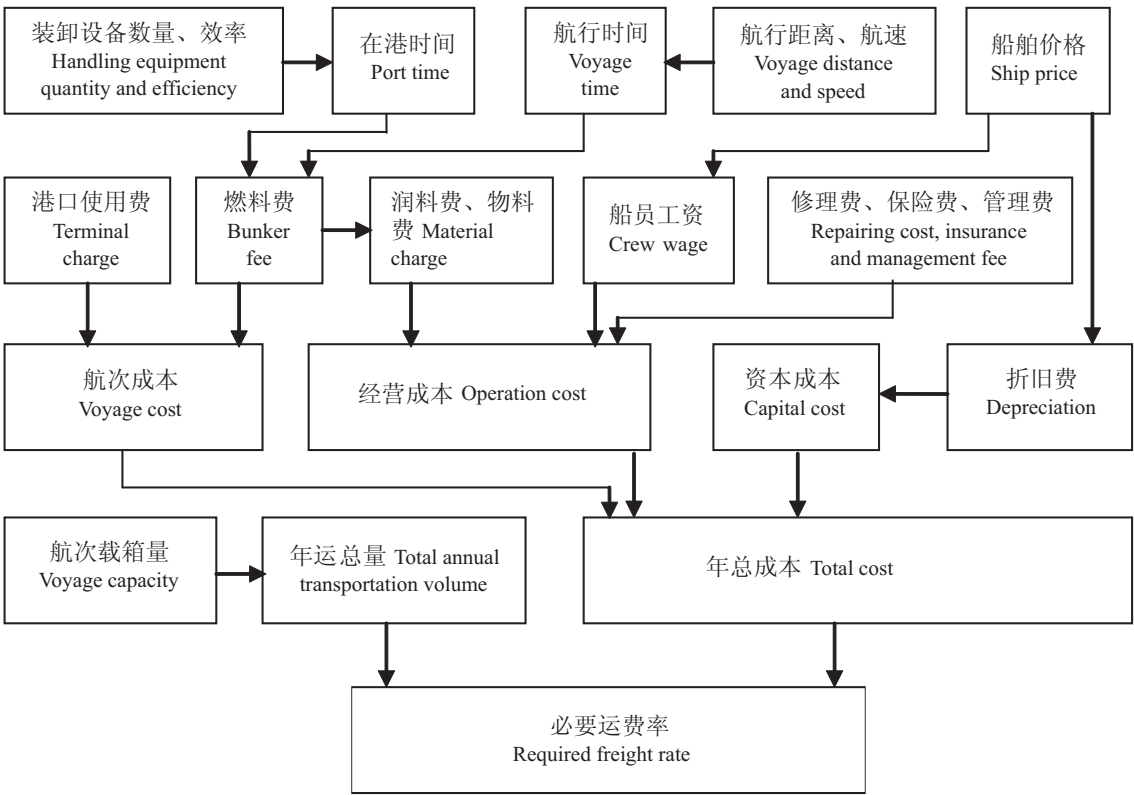


图 1 集装箱船舶必要运费率计算模型
Fig.1 Calculation model of Required freight rate of containerships

2 模型应用

2.1 参数取值说明

由于港口设施、水深以及航道条件的限制，且考虑货运量的需要，目前18 000 TEU以上型船全部投放于亚欧航线。为使不同类型集装箱船舶运营数据具有可比性，选择典型航线、典型港口进行分析，航线挂靠顺序为上海－宁波－盐田－丹绒帕拉帕斯－菲利克斯托－鹿特丹。

1) 船舶造价 新船价格随市场供求关系变化而变化，且远东－北欧航线运营船舶都是 10 000 TEU 以上的船型，因此本文选取 Clarksons 公布的 2011—2017 年 10 000 TEU、13 000 TEU、16 000 TEU 船型单船造价平均值作为新船价格。20 000 TEU 型船 2016 年刚投入运营，根据市场价进行估算。

2) 船员工资 随着船舶管理和船员管理系统化日趋成熟，班轮公司在不断精简人员的同时，对规模不一的集装箱船舶基本都配置相同数量的船员。根据航运信息网《2017 年 1—12 月船员工资行情参考》，将各种船员配置数量综合加权，取人均年工资 37 400 美元，每艘船配置 22 人。

3) 燃油费用 燃油成本分为航行时的燃油成本和 在港发生的燃油成本两个部分。船舶在航行时除非有特殊规定，一般燃烧重油；停泊港口时则需燃烧轻油。远东北欧航线船舶一般在新加坡补充燃料油，根据 Clarksons 公布的新加坡 IFO380 和 MDO 油料价格，取 2015—2017 年 IFO380 平均值 450 美元/t，MDO 平均值 683 美元/t。

4) 在港时间 船舶在港时间包括装卸时间及进出港时间。集装箱船舶运行时刻表一般把在港时间压缩到最低限度，在港时间的长短直接影响船期及船舶周转，这对超大型集装箱船尤为关键。集装箱码头不同等级泊位配备装卸机械的数量和性能不同，装卸效率也存在很大差异。此外船舶进出港时间容易受到一些不可控因素影响，难以进行准确计算。因此本文根据港口实际调研数据取值。

5) 燃油日消耗量 船舶在不同航速下油耗差异较大。近年来航运市场不景气，船公司为节省成本，一般采用经济航速，以减少燃油消耗。为便于比较，统一采用航速 20 kn 时各船型对应的燃油日消耗量。

6) 其他 根据交通运输部颁布的《海船船龄标准》，取集装箱船舶折旧年限 25 年，残值率 5%；根据当前央行发布的中长期利率，取折现率 6%；查询 Netpas 软件得知航线距离 10 878 n mile；根据该航线当前货源情况，假设船舶年营运时间 340 d，载箱率 80%。

中国上海至荷兰鹿特丹航线不同类型集装箱船技术经济参数见表 1。数据资料由船公司实地调研获得。

表 1 不同类型集装箱船技术经济参数

Tab. 1 Technical and economic parameters of different types of containerships

船舶类型 Types of containership /TEU	新船价格 New ship price 10 ⁷ 美元	经济航速 Economic speed/kn	重油日耗量 Daily consumption of fuel oil/t	轻油日耗量 Daily consumption of diesel oil/t	在港时间 Port time /d	航次载货量 Voyage load /TEU	航次港口使费 Voyage terminal charge/美元
10 000	95	20	120	6.3	6.0	8 000	160 000
13 000	110	20	140	9.0	7.5	10 400	240 000
16 000	126	20	156	11.8	9.0	12 800	300 000
20 000	150	20	168	14.0	11.0	16 000	340 000

2.2 模型计算结果

根据以上数据，得出不同类型集装箱船的 必要运费率（RFR），见表 2。

表 2 不同类型集装箱船必要运费率

Tab. 2 Required freight rate of different types of containerships

船舶类型 Types of containership/TEU	10 000	13 000	16 000	20 000
必要运费率 Required freight rate/(美元·TEU ⁻¹)	437.75	406.92	383.07	352.29

从表 2 可以看出: 随着集装箱船舶载箱量的增加, 船舶必要运费率 (RFR) 降低, 亚欧航线上 20 000 TEU 型集装箱船的运输成本最低。与 20 000 TEU 型船相比, 16 000 TEU 型船的必要运费率高 8.8%, 13 000 TEU 型船的必要运费率高 15.3%, 10 000 TEU 型船高 24.1%。因此该航线使用 20 000 TEU 型集装箱船经济性最优。

3 正交试验设计

由于航运市场存在明显的波动性, 不同市场情况下某些因素的波动会引起 RFR 的变化。由于单因素敏感性分析的局限性, 使其不能反映航运市场变动对必要运费率的真实影响, 结论可靠性差。因此为准确研究 RFR 受市场因素变化的影响, 本文引用正交试验设计方法 (orthogonal experimental design, OED), 具体步骤如下。

- 1) 选择评价指标、因素和水平。以必要运费率作为评价指标, 选用船舶价格 (A)、船员工资 (B)、燃油价格 (C)、载箱率 (D) 和在港时间 (E) 为分析因素, 根据船舶实际运输和市场因素变动的可能范围, 每个因素均取 5 水平 ($j = 1, 2, \cdots, 5$; 如 A_j 表示因素 A 的第 j 种水平), 分别为: 110%, 105%, 100%, 95%, 90%。
- 2) 选择正交表。由于各实验处理只有一种观测值, 且各因素的自由度之和为 $5 \times (5 - 1) = 20$, 故选取 $L_{25}(5^6)$ 正交表。为了更好地减少系统误差, 船舶价格因素水平值顺序采取随机排列, 其他因素水平值由高到低排列, 误差由空列来估计。
- 3) 计算正交表。将正交表各行对应的各因素水平值带入必要运费率计算公式, 结果见表 3。

表 3 基于正交试验法的试验计划表
Tab. 3 Arrangement of orthogonal experimental design

项目 Item	船舶价格 Ship price (A)	船员工资 Crew wages (B)	燃油价格 Bunker price (C)	载箱率 Loading rate (D)	在港时间 Port time (E)	空列 Null column
水平值 Level value	0.95	1.10	1.10	1.10	1.10	
	1.10	1.05	1.05	1.05	1.05	
	0.90	1.00	1.00	1.00	1.00	
	1.00	0.95	0.95	0.95	0.95	
	1.05	0.90	0.90	0.90	0.90	
T_1	1 734.09	1 770.48	1 867.50	1 601.42	1 793.27	1 768.83
T_2	1 831.27	1 778.63	1 818.07	1 676.77	1 780.33	1 770.37
T_3	1 712.13	1 771.46	1 769.99	1 761.01	1 774.19	1 772.53
T_4	1 772.93	1 769.42	1 724.96	1 854.83	1 754.92	1 772.74
T_5	1 801.46	1 761.90	1 671.36	1 957.84	1 749.18	1 767.42
AVG. T_1	346.82	354.10	373.50	320.28	358.65	353.77
AVG. T_2	366.25	355.73	363.61	335.35	356.07	354.07
AVG. T_3	342.43	354.29	354.00	352.20	354.84	354.51
AVG. T_4	354.59	353.88	344.99	370.97	350.98	354.55
AVG. T_5	360.29	352.38	334.27	391.57	349.84	353.48
Range	23.8286	3.3445	39.2285	71.2836	8.8189	1.0645

说明: T_1, \cdots, T_5 , 分别表示各因素同一水平试验指标之和; AVG. $T_1, \cdots, \text{AVG. } T_5$, 分别表示各因素同一水平试验指标平均数; 极差为各因素不同水平下试验指标平均数间的最大差值

Notes: T_1, \cdots, T_5 indicates the total number of test index of various factors at the same level; AVG. $T_1, \cdots, \text{AVG. } T_5$ indicates the average number of test index of various factors at the same level; Range is the maximum difference of test index average number at different levels

从表 3 可以看出, 空列极差值明显小于各因素极差值, 且很小, 说明空列各水平值下的 RFR 平均值接近常数。为分析各因素间发生交互作用的影响程度, 将 RFR 值序号与正交试验空列偏移值序号进行排序比较, 见图 2。

从图 2 可看出，正交试验计算的 RFR 由低到高的序号排列与空列偏移值由低到高的序号排列完全吻合，说明了因素间存在交互作用的影响极小，试验结果精确。虽然从各因素极差值可看出因素影响情况，但为了使分析结论更加严谨，引用方差值定量分析各因素对评价指标影响程度。

4) 方差分析。从经济评价的角度，选取显著性水平 0.05 和 0.01，根据表 3 正交试验的计算结果，进行 RFR 方差分析，如表 4 所示。

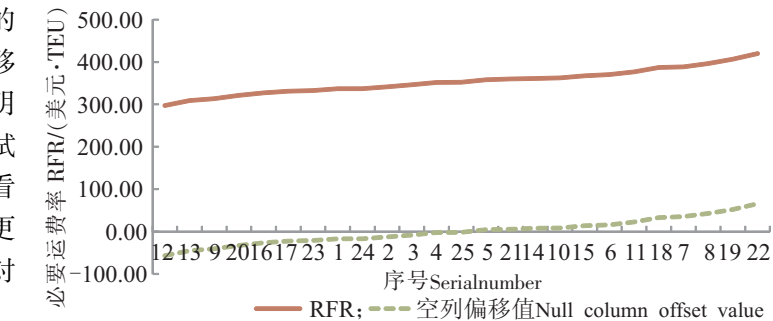


图 2 RFR 值序号与其正交试验空列偏移值序号对应关系
Fig.2 Correspondence of sequence number between RFR and null column offset value

表 4 必要运费率方差分析表

Tab.4 Variance analysis of required freight rate

差异项 Difference	方差 Variance	自由度 Freedom	均方差 Mean square deviation	<i>F</i>	<i>F</i> (0.05)	<i>F</i> (0.01)
船舶价格 Ship price	1 877.982 8	4	469.495 7	439.364 1	* *	* * *
船员工资 Crew wage	28.388 0	4	7.097 0	6.641 5	* *	
燃油价格 Bunker price	4 715.145 0	4	1 178.786 2	1 103.133 2	* *	* * *
载箱率 Loading rate	15 933.895 8	4	3 983.474 0	3 727.819 6	* *	* * *
在港时间 Port time	265.224 4	4	66.306 1	62.050 7	* *	* * *
误差 Error	4.274 3	4	1.068 6			
总变异 Total variation	22 824.910 4	24				

注： $F(0.05) = 6.390\ 0$ ； $F(0.01) = 16.000\ 0$

根据表 4 可以看出，载箱率在显著性水平 0.05 和 0.01 下显著性最强，说明 RFR 对载箱率变动最敏感，因为载箱率的较小变动可导致超大型集装箱船载箱量发生较大变化，而成本变动却很小；燃油价格显著性次之，因为船舶燃油成本在总成本中所占比例较高，达到 40% ~ 60%；船舶价格显著性适中，因为随着船价的上升，船舶折旧费、修理费、保险费等在总成本中的比例线性增加；在港时间显著性一般，由于亚欧航线的航程较长，航次时间约 55 d，在港时间相对航行时间比例较小，其变动对年总成本影响较低；船员工资仅在 0.05 显著性水平下接近显著，说明 RFR 对船员工资敏感性很低，因为船员工资并不随船舶载质量的增加而增加，随着船舶大型化，船员工资在总成本中比例减少，影响十分微弱。

5) 主要因素，不同水平的 LSR 分析。根据方差分析结果，采用最小显著极差法（least significant ranges, LSR）对载箱率、燃油价格 S_C 、船舶价格和 在港时间等 4 个主要因素的不同水平进行比较，

S_A , S_C , S_D , S_E 分别表示载箱率、燃油价格、船舶价格和 在港时间 4 个因素残差的方差值， $S_A = S_C = S_D = S_E = \sqrt{0.213\ 72} = 0.462\ 29$ ，根据自由度 = 24 和秩次距（即变量平均值个数）= 2, 3, 4, 5，查得最短显著极差（shortest significant ranges, SSR）值，并计算 LSR 值，如表 5 所示。

由表 4 和表 5 可知，燃油价格和载箱率两因素各水平间平均 RFR 差异极显著，船舶价格各水平间平均 RFR 基本都呈显著性。其中， A_2 , C_1 , D_5 , E_1 与各自水平间差异最显著，即船舶价格增加 10%，燃油价格增加 10%，载箱率减少 10%，在港时间

表 5 极差分析表

Tab.5 Range analysis

自由度 Freedom	秩次距(K) Rank	SSR		LSR	
		0.05	0.01	0.05	0.01
24	2	2.92	3.96	1.35	1.83
	3	3.07	4.13	1.42	1.91
	4	3.16	4.24	1.46	1.96
	5	3.23	4.32	1.49	2.00

增加10%对RFR影响最明显。因此船公司应着力提高船舶装载率,节省燃油成本,控制运营成本,并尽可能在船价合理的时候购入新船,减少船舶在港时间,加快船舶周转速度,提高企业经济效益。

4 结论

本文通过单船经济性计算模型和正交分析法,分析了亚欧航线集装箱船的经济性,得出以下结论和建议。

1) 亚欧航线上20 000 TEU型超大集装箱船的单位运输成本最低,经济性最佳,受利益驱动,越来越多的班轮公司计划将超大型集装箱船投入到亚欧航线上,船舶大型化趋势无法避免。

2) 载箱率是影响班轮公司成本的关键因素。超大型集装箱船规模经济的实现是以高载箱率为基础的,货源不足会造成超大型集装箱船较大程度的亏载,降低船舶的规模经济,因此班轮公司需努力开拓适箱货源量。

3) 在燃油价格保持高位的今天,面对国际海事组织(IMO)对船舶硫氧化物和碳排放的严格限制,航运企业可通过采用更加节能环保的新设备,提高技术水平等方法提高燃油使用率,降低燃油成本,使超大型船舶的经济性得到更好地发挥,这也切合当前低碳环保可持续发展的经济模式。

4) 船价也会影响船舶的经济性。航运企业应洞悉市场变化,选择最佳的船舶投资时机,在航运市场衰退而船价也衰减的时候以优惠的价格订造新船,既能节省投资费用,又能提高自身竞争力。

5) 由于船舶越大,在港时间越长,成本也随之增加,因此超大型集装箱船舶的规模经济效益能否实现主要取决于海上航行时间与在港停泊时间的比例。船公司应合理进行配积载,港口应加强现场管理,制定有效的作业计划,全面提高装卸效率,缩短船舶在港停泊时间,使船舶的规模经济得以正常发挥。

[参考文献]

- [1] KEVIN CULLINANE, MAHIM KHANNA. Economies of scale in large container ships [J]. *Journal of Transport Economics and Policy*, 1999, 33(2): 185-208.
- [2] KEVIN CULLINANE, MAHIM KHANNA. Economies of scale in large container ships: optimal size and geographical implications [J]. *Journal of Transport Geography*, 2000, 8: 181-195.
- [3] 吴冲. 集装箱船舶大型化规模经济研究 [D]. 上海: 上海海事大学, 2005.
- [4] 王学锋. 基于枢纽港的大型集装箱船营运经济性研究 [D]. 上海: 上海交通大学, 2007.
- [5] 陈飞儿, 张仁颐. 基于水运系统的超大型集装箱船经济可行性论证 [J]. *船舶工程*, 2008, 30(1): 78-81.
- [6] 吴洪高. 集装箱船日趋大型化的经济性与安全性探讨 [J]. *中国航海*, 2012, 35(2): 114-118.
- [7] 朱墨, 章强. 不确定环境下超大型集装箱船营运经济性分析 [J]. *中国航海*, 2015, 38(3): 121-125.
- [8] 林瑜, 杨晓光, 马莹莹. 交通阻塞影响因素分析的正交试验设计方法 [J]. *系统工程*, 2005, 23:(100): 39-44.
- [9] 赵秀光. 引用正交试验设计方法进行经济评价的多因素敏感分析 [J]. *中国海上油气(工程)*, 1992, 4(2): 37-43.
- [10] 陈丽芬, 刘芳, 谢新连. 基于正交试验法的进口矿石船经济性分析 [J]. *中国航海*, 2016, 39(2): 129-130.

(责任编辑 陈 敏 英文审校 周云龙)