

限硫令下超大集装箱船应对措施的经济性分析

陈红彬^{1,2}, 刘伟¹, 匡增杰³

(1. 集美大学航海学院, 厦门 361021; 2. 上海海事大学交通运输学院, 上海 201306;

3. 上海海关学院海关经济系, 上海 201306

[摘要] 为了分析限硫政策下, 超大型船经营时不同应对措施的经济成本效益, 研究不同措施下班轮企业的额外支出成本, 以亚欧航线上 20 000 TEU 型船为例, 以费用年值分析法和投资回收期分析法为主要分析方法, 计算超大型集装箱船主要应对措施的经济效益。计算结果发现: 1) 在当前经济环境下, 超大型集装箱船采取“加装脱硫设备”的措施较经济; 2) 通过对油价和 LNG 价格联动变化的敏感性分析得出, 能源价格持续上升时, 班轮企业采用 LNG 动力船舶将更为经济。该研究可为未来限硫规则下班轮企业的经营决策提供参考。

[关键词] 集装箱船; 技术经济学; 限硫; 应对措施; 经济性分析

[中图分类号] U 692.6

Economic Analysis of Countermeasures for Super Large Container Ships under Sulfur Emission Control

CHEN Hongbin^{1,2}, LIU Wei¹, KUANG Zengjie³

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

2. School of Transport & Communications, Shanghai Maritime University, Shanghai 201306, China;

3. Department of Customs Economy, Shanghai Customs College, Shanghai 201306, China)

Abstract: In order to analyze the economic cost-effectiveness of different countermeasures in the operation of super-large vessels under the sulfur-restriction policy, the additional costs of liner operators under different measures are studied. Taking the 20 000 TEU vessels on the Asia-Europe route as an example, the annual cost analysis method and payback period method are used as primary methods to calculate the economic benefits of the main countermeasures for ultra-large container ships. The results show that, 1) In the current economic environment, it is a main economical measure to install scrubbers” for ultra-large container ships; 2) Through sensitivity analysis of oil prices and LNG prices, with these prices rising liner companies using LNG-powered vessels will be more economical. This research can provide reference for liner companies to make operating decisions under the new sulfur emission controlling rules.

Keywords: engineering economics; sulfur emission control; countermeasures; economic analysis

0 引言

国际海事组织(IMO)海上环境保护委员会第72届会议(MEPC72)MARPOL Annex VI修正案

[收稿日期] 2018-10-22

[基金项目] 国家自然科学基金项目(71272219); 福建省中青年教师教育科研项目(JAT180257)

[作者简介] 陈红彬(1980—), 女, 讲师, 博士生, 从事交通运输规划与管理研究。E-mail:hongbin1129@126.com

中指出,2020 年在全球范围内所有未安装脱硫设备的船舶禁止携带硫含量超 0.5% 的燃油,但如果船舶已经安装有脱硫设备,也可以携带硫含量超标的燃油^[1]。中国航务周刊^[2]、信德海事^[1,3]等公众平台对限硫政策下主流班轮公司采取的措施作了相关报道;白玉峰等^[4,5]对脱硫主要措施的利弊作了分析;吕龙德^[6]分析了限硫令对修船市场的挑战与机遇。这些研究从定性角度研究了限硫措施的利弊及影响,并未全面的对各个措施进行详细的经济性比较。

本文从班轮企业运营成本角度出发,以 20 000 TEU 的超大型集装箱船为主要研究对象,利用技术经济学中相关分析模型分析各措施下的经济效果,量化分析经济效益和风险,以期在限硫政策下为班轮企业应对措施选择提供技术经济层面的指导。

1 限硫规则概述

2006 年起,国际海事组织(IMO)《国际防止船舶造成污染公约》(MARPOL)附则六“防止船舶造成空气污染”对船舶的硫氧化物排放设立了总体的限制。该附则促成了硫排放控制区(SECA)的建立。它规定区域内硫氧化物的硫含量上限是 0.1%。该硫排放控制区自 2015 年 1 月起在欧洲和北美实施,此后将陆续扩大至全球海域。^[7]

2015 年 7 月,交通运输部宣布对国内船舶的硫排放实施监管,并设立硫排放控制区,这部《珠三角、长三角、环渤海京津冀水域船舶排放控制区实施方案》已于 2016 年 1 月 1 日实施。方案规定船舶在排放控制区核心港口靠岸停泊期间使用硫含量不高于 0.5% 的燃油^[9];同时交通部拟自 2020 年起,国内特殊区域(海南沿海、琼州海峡、国内港口)将使用 0.1% 以下的燃油。^[10]

从国内外的限硫规则看,未来 1~2 年内将普遍限制船舶燃油的硫含量在 0.5% 以下,未来 10 年左右最终限硫标准将提高到 0.1%。

2 主要措施及实施案例

对于航运企业来说,燃油成本在船舶运营总成本中占据相当大的比重,燃油成本巨大,改用低硫油,成本增幅巨大,目前全球航运企业采取的主要应对措施如下。

2.1 使用低硫油

船用燃油有重油和轻油之分,重油分为普通重油(如 IF0380CST)、低硫重油(LSFO380CST),轻油也分为普通轻油(Mgo)与低硫轻油(Lsmgo)。船舶航行时一般使用的是重油,在港时在低硫控制区内使用低硫重油,如果没有符合要求的低硫重油补给时才使用低硫轻油。轻油由于其粘性不足,不能长时间使用,否则会对船舶发动机产生不利影响^[11]。直接使用符合要求的低硫重油在技术上是简单可行的,但是成本上比普通重油贵,而且存在供应不足的问题,需要与供油商提前预定。船舶保税油,价格直接和国际原油挂钩,以新加坡价格为风向标,根据 2018 年 8 月新加坡某些油商的最新报价,普通重油与低硫轻油之间的价格差在 200 美元/t 左右,普通重油与低硫重油之间的价格差在 170 美元/t 左右,普通轻油与低硫轻油的价格差仅 6 美元左右。2020 年的全球限硫令主要的影响在于低硫重油与高硫重油的选择上,重油根据产区不同,硫含量不一,少量产区的重油硫含量是达标的,但是大部分需要再加工后才能达标,其中一个加工方式是将高硫重油与低硫轻油调和,价格介于高硫重油与低硫轻油之间。

2.2 加装船舶脱硫设备

船上加装洗涤器是相对较新的技术,需要船舶有一定的安装空间,成本可控。当前的洗涤塔主要有三种类型:开式、闭式和复合型。复合型脱硫装置可以在开环以及闭环模式间切换。开环模式时,该设备主要通过海水“清洗”尾气中的硫成分;而闭环模式时,则需要加入相应的化学试剂来达到脱硫的目的。由于闭环式脱硫系统要将废弃污水保留在船上,对长距离航行的船舶来说不切实际。开放式脱硫塔由于操作简单,容易被船员接受,目前约 63% 的船舶选择了安装开放式脱硫塔。但是硫排放物虽然没有

进入大气,却进入了海水中,约 70% 的污染物留在海上^[12]。随着环保规则的日趋严格,将来是否还允许污水排入大海是未知数。

从船公司及脱硫装置生产商的报价看,脱硫装置费用,加上安装费用,安装时间的消耗,对于超大型集装箱船舶来说,每个脱硫装置大约需要投入 800 万美元^[2-3]。

2.3 采用 LNG 燃料或其他清洁能源代替燃油

从环保方面看,采用清洁能源是最好的选择。目前船公司已经采用或计划采用的清洁能源包括 LNG、电力等,已经有约 100 多艘船使用 LNG 燃料,大型集装箱船使用 LNG 动力技术上是可行的,有新建和改造两种途径。环保性方面,LNG 不含硫,也不含颗粒物,氮氧化物排放将减少 85%;但是从经济上看,会牺牲一定的装载空间,同时 LNG 动力的大型集装箱船建造成本也较高。根据达飞公司订造的相关资料,每艘 20 000 TEU 的 LNG 动力船舶造价约 1.6 亿美元,而 22 000 TEU 的普通动力船舶造价约 1.4 亿美元^[3]。如果将现有普通燃油船舶改造为 LNG 动力船舶,改造费用不菲,而且需要耽误较长时间的船期。除了建造成本或改装成本偏高,LNG 资源补给上可能会存在困难,港口基础设施建设还未跟上,目前具有完善的港口设施及加注船的港口有鹿特丹、新加坡、舟山等。

3 经济性计算

3.1 基本模型构建

无论采取何种措施,班轮企业都需要付出额外的费用,目标是求出年度费用最小的经济措施。进行设备投资回收期比较时,以普通高硫重油为参照进行计算,取投资回收期短的方案。

在模型构建时,提出以下假设:

- 1) 燃油、LNG 价格不随市场波动,按当前市场价格计算;
- 2) 没有补贴措施支持;
- 3) 在港轻油消耗极少,忽略不计。

3.1.1 措施 1 的年费用

低硫油措施下的等额年费用为:

$$\text{EUA } C_1 = \bar{Q} \times \Delta P \times t_{\text{航}} \quad (1)$$

其中: EUA C_1 为使用低硫油措施下的等额年费用; \bar{Q} 表示船舶平均每天的耗油量; ΔP 为高、低硫重油之间的差价; $t_{\text{航}}$ 为年航行天数,取 300 d。

式 (1) 中船舶的燃油消耗与主机功率、运营速度有关系,主机功率越大、速度越快,每天消耗的燃油量越多,市场环境不好时,班轮企业会选择低速航行,以减少市场上的总运力供给,保持船舶的装载率,反之则会增加航速。在本算例中,通过对航运企业的调研,按照当前市场环境下,20 000 TEU 级的集装箱船,每天耗油量大约为 120 t。

3.1.2 措施 2 的年费用

加装脱硫装置的等额年费为:

$$\text{EUA } C_2 = C_{\text{固}} \times (A/P, i, n) - R \times (A/F, i, n) \quad (2)$$

其中: EUA C_2 为安装脱硫装置的等额年费用; $C_{\text{固}}$ 表示初期投入的固定成本; $(A/P, i, n)$ 为等额系列资金回收因子^[10]; R 为设备残值,取 5%; i 为企业基准收益率,此处取 8%; n 为设备的经济使用期,设为 10 年, $(A/F, i, n)$ 为等额系列偿债基金因子^[13]。

3.1.3 措施 3 的年费用

使用 LNG 动力的等额年费用为

$$\text{EUAC}_3 = \Delta C(A/P, i, n) - R \times (A/F, i, n) + Q_{\text{LNG}} \times P_{\text{LNG}} - Q_{\text{LSFO}} \times P_{\text{LSFO}} \quad (3)$$

式中: EUA C_3 为使用 LNG 动力的等额年费用; Q_{LNG} 表示目标船舶 LNG 的年消耗量; P_{LNG} 表示 LNG 单

价; Q_{LSFO} 表示船舶普通重油的年消耗量; P_{LSFO} 为普通重油的单价; ΔC 表示改造固定成本或者新建 LNG 动力船舶与普通动力船舶之间的价格差额。

3.1.4 投资回收期

这里的投资回收期分别指基于第一种措施的经济性 (高、低硫油间价格差产生的), 措施 2 与措施 3 的设备投资回收期可以用式 (4), 式 (5) 计算。

$$\text{EUAC}_4 = C_{\text{固}} \times (A/P, i, n_2)。$$
 (4)

$$\text{EUAC}_5 = \Delta C(A/P, i, n_3) + (Q_{\text{LNG}} \times P_{\text{LNG}} - Q_{\text{LSFO}} \times P_{\text{LSFO}})。$$
 (5)

通过式 (4)、式 (5) 求出的 n_2 、 n_3 分别为措施 2 和措施 3 的投资回收期。

3.2 算例分析

3.2.1 基本数据

以某班轮企业的 20 000 TEU 超大型集装箱船的运营为例, 目前该船型主要投放在亚欧航线上, 以图 1 的航线挂靠港为例, 挑选该航线上几个基本港口作为实例。

表 1 为图 1 中燃油补给港的高、低硫重油的最新价格 (油商 2018 年 8 月 24 日的报价)。中国港口的油价略高于其他港口, 鹿特丹的油价水平较低, 船用保税油经常波动, 价格受到供需、政治、战争、经济等因素的影响, 每年的平均水平都不相同, 2018 年油价与 2017 年相比涨幅较大, 但是高、低硫油之间的差价变化不大。考虑到在限硫规则下, 未来低硫重油的需求量会增加, 供给量受生产工艺调整的滞后而不足, 两者的差价也许会扩大。长期来看, 生产企业为满足海运巨大需求而采取高、低硫油调和和工艺生产, 价格将介于高硫重油与低硫轻油之间。在这里取三港的平均值进行估算。

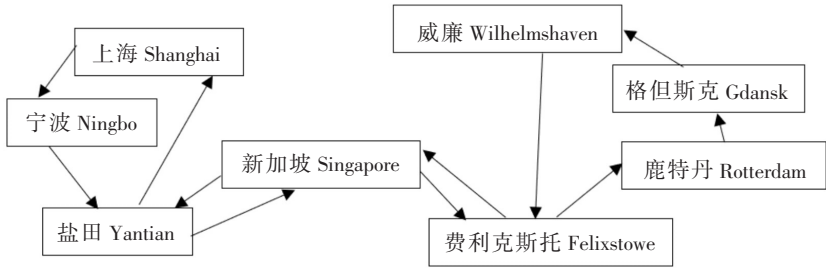


图 1 亚欧航线示意图
Fig.1 Sketch map of the Asia–Europe line

表 1 主要加油港 8 月份报价
Tab.1 Quotation of main refueling ports in August 2018

港口 Port	油品类型 The variety of oil		
	380CST	LSFO380CST	Lsmgo
上海 Shanghai	478	665	770
新加坡 Singapore	457/462	590/625	665/660
鹿特丹 Rotterdam	428/421	610/597	650/631
三港平均值 Averageof threeport oilprices	454	629	687

通过对船厂、航运企业的调研, 估算该类船型安装脱硫设备需要的总成本为 7×10^6 美元, 包括改装工期的时间消耗成本, 日常维护费用较少, 假定为 0, 实际运营成本核算时可将日常维护成本作为年费用考虑进去。

根据对船厂和航运企业的调查, LNG 动力的集装箱船能耗及成本基本信息如表 2 所示。

表 2 20 000 TEU 级 LNG 动力集装箱船相关成本数据
Tab.2 Cost data of 20 000 TEU LNG container ship

建造成本差额或改造成本	年消耗 LNG	LNG 价格
Construction cost difference or renovation cost/ 10^7 美元	Annual consumption of LNG/ 10^4 m^3	LNG price/(美元 \cdot (mmbtu) $^{-1}$)
2	8.82	10

如果将具备双动力的发动机安装 LNG 燃料罐及管道设备，一艘大型集装箱船的花费为 $2.0 \times 10^7 \sim 2.5 \times 10^7$ 美元。LNG 动力集装箱船占用船舶的空间较大，大概会耗费 1% 的运力，因此用 22 000 TEU 的普通动力集装箱船与 20 000 TEU 的 LNG 动力集装箱船的新造成本差额约为 2×10^7 美元。将新造成本差额或改造成本作为增量成本，定为 2×10^7 美元。20 000 TEU 级的集装箱船每个航次消耗 $18\,000\,m^3$ ^[14]，按图 1 航线挂靠计划，全年营运 340 d，一个航次 70 d，则全年可以跑 4.9 个航次，所以 20 000 TEU 级的集装箱船每年消耗的 LNG 大概为 $8.82 \times 10^4\,m^3$ 。

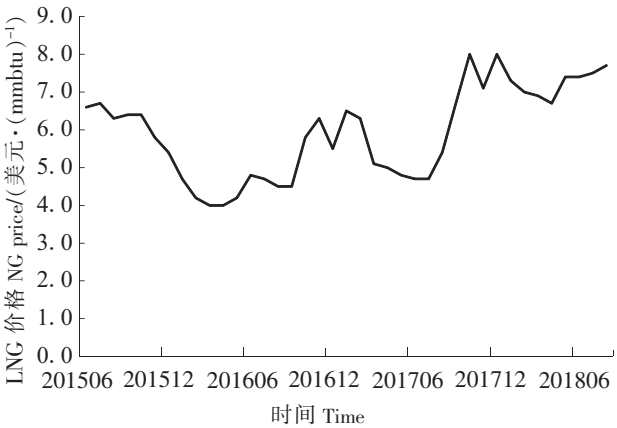


图 2 欧洲地区 LNG 价格变化图
Fig.2 LNG price changes in Europe

由于 LNG 国际价格亚洲地区高于欧洲地区，亚欧航线上船舶多在鹿特丹补给 LNG，所以取欧洲地区国际 LNG 价格为参照，从近三年的国际 LNG 价格变化情况看^①（如图 2 所示），2016 年 4 月份达到最低值 4 美元/mmbtu，之后波动上升，至 2018 年 8 月份接近 8 美元/mmbtu，假设补给 LNG 的船舶设备及管理费用约 2 美元/mmbtu，因此补给 LNG 的价格在此算例中取 10 美元/mmbtu。

3.2.2 计算结果

根据 3.2.1 的基本数据计算限硫规则下三种措施班轮企业运营 20 000 TEU 级集装箱船增加的年费用，如表 3 所示。

表 3 三种措施下的等额年费用及投资回收期
Tab.3 Equal annual costs and payback periods under the three measures

方案 Measures	等额年费用 Equal annual costs(ten thousand usd)/ 10^4 美元	投资回收期 Payback periods/a
措施 1 Measure No. 1	630.0	—
措施 2 Measure No. 2	102.0	1.2
措施 3 Measure No. 3	120.7	2.9

4 敏感性分析

上述结果是在现有经济环境下得出的，而船舶的使用年限高达二三十年，在这些年中，能源价格、设备价格变化等不稳定因素会导致相关成本费用产生波动，其中油价、LNG 价格波动最为频繁，假定两者关联，油价与 LNG 价格以相同幅度变化，等额年费用的变化情况如表 4 所示。能源价格上升的幅度越大，班轮企业的措施将会倾向于选择 LNG 动力船舶，当能源价格浮动 10% 以上时，则选择 LNG 动力船舶更经济。

① 数据来源：国际燃气网。

表 4 能源价格同幅度变化时的年费用表
Tab.4 Annual cost table for energy prices varying in magnitude

10⁴ 美元

方案 Measure	高硫重油、低硫重油、LNG 价格变化幅度 Price range of HSFO/LSFO/LNG				
	5%	10%	15%	20%	30%
措施 1 Measure No. 1	661.50	693.00	724.50	756.00	819.00
措施 2 Measure No. 2	102.00	102.00	102.00	102.00	102.00
措施 3 Measure No. 3	112.18	103.66	95.14	86.62	69.58

5 结论与建议

对比三种措施的等额年费用, 措施 2 为较优方案; 对比措施 2 和措施 3 的投资回收期, 措施 2 可以较快地回收资金, 说明在当前市场环境下, 采取措施 2 可以应对限硫令, 并很快回收资金。通过敏感性分析, 长期来看, 随着各行各业对于油气等能源需求的增多, 油气价格同时上扬时, 使用 LNG 动力对于班轮企业来说经营成本更少, 而且 LNG 动力船舶更具有环境友好性。

[参 考 文 献]

[1] 信德海事. IMO: 2020 年船舶将禁止携带硫含量超标燃油 [EB/OL]. (2018-04-16). http://www.eworldship.com/html/2018/ship_inside_and_outside_0416/138192.html.

[2] 中国航务周刊. 700 艘船舶已安装脱硫塔, 这会成为更多船公司的选择吗? [EB/OL]. (2018-06-26). http://www.eworldship.com/html/2018/ship_inside_and_outside_0416/138192.html.

[3] 信德海事编辑部. 11 艘, 15 亿美元, MSC 也要订造 22000TEU 集装箱船! [EB/OL]. (2017-08-25). http://www.sohu.com/a/167173271_606774.

[4] 白玉峰. 船舶限硫分析及方案优化研究[J]. 科学技术创新, 2018(23): 47-48.

[5] 周海锋. IMO2020 限硫令, 我们如何应对?: 埃克森美孚 IMO 2020 限硫决议应对措施媒体沟通会[J]. 船舶工程, 2018(10): 3-5.

[6] 吕龙德. 限硫令迫近, 修造船机遇与挑战并存[J]. 广东造船, 2018(5): 5-10.

[7] 财网. “船舶排放控制区”辟出新市场 低硫油供应乏力[EB/OL]. (2016-05-12). <http://www.tanpaifang.com/jieneng-jianpai/2016/0512/53044.html>.

[8] 特钢 100 秒. 《MARPOL》公约给全球航运船舶尾气脱硫的商机 [EB/OL]. (2018-06-03). https://www.sohu.com/a/233888409_100142156.

[9] 金银岛. 航运业迈入“船舶限硫时代”[J]. 珠江水运, 2016(9): 31.

[10] 信德海事网. 我国沿海或将全面限硫, 2020 后停靠船舶燃油硫含量低于 0.1% [EB/OL]. (2018-07-10)[2018-08-23]. <http://www.xindemarinenews.com/china/5575.html>.

[11] 岳宏. 航运“限硫令”出台背景及应对措施 [J]. 船舶物资与市场, 2017(4): 46-49.

[12] ABADIELM, GOICOECHEN N, GALARRAGA I. Adapting the shipping sector to stricter emissions regulations: fuel switching or installing a scrubber? [J]. Transportation Research Part Transport & Environment, 2017, 57: 237-250.

[13] 吕靖, 梁晶. 技术经济学 [M]. 北京: 化学工业出版社, 2013: 15-16.

[14] 李珂影, 徐剑华. 液化天然气动力集装箱船的实用性和经济性分析 [EB/OL]. (2018-3-23). <http://www.xinde-marinenews.com/columnist/xujianhua/3112.html>.

(责任编辑 陈 敏 英文审校 周云龙)