

文章编号: 2095-2163(2019)05-0270-03

中图分类号: TP393.08

文献标志码: A

# 考虑低碳排放成本的航空成本优化

许 幸, 杨绪彪

(上海工程技术大学, 上海 201620)

**摘 要:** 如今, 随着环保观念的深入, 低碳运输逐渐成为主流趋势, 机场排放的环境成本研究也必逐步引起社会关注。实现低碳运输俨然成为了各个国家实现低碳节能、赢得低碳战争、进而保障可持续发展的必经之路。本文通过分析和航空网络有关的运输成本和碳排放成本, 参考国内外对碳排放环境成本的计算方法, 建立机场环境成本模型, 通过对污染物成分的分析达到了减少排放治理成本的目的, 以此降低运营成本。

**关键词:** 低碳成本; 航空运输; 航线优化; Matlab; SPSS

## Aviation cost optimization considering low carbon emission cost

XU Xing, YANG Xubiao

(Shanghai University of Engineering Science, Shanghai 201620, China)

**【Abstract】** Nowadays, with the deepening of the concept of environmental protection, low-carbon transport has gradually become the mainstream trend, and the research on the environmental cost of airport emissions will gradually attract social attention. Low-carbon transport has become the only way for all countries to achieve low-carbon energy conservation, win the low-carbon war and achieve sustainable development. By analyzing the transportation cost and carbon emission cost related to the aviation network and referring to the calculation methods of carbon emission environmental cost at home and abroad, this paper establishes an airport environmental cost model. Through the analysis of pollutant composition, the purpose of reducing emission control cost is achieved, so as to reduce operation cost.

**【Key words】** low carbon cost; air transportation; route optimization; Matlab; SPSS

## 0 引 言

航空运输作为高排放产业吸引了全球的关注。越来越多的学者将目光聚焦在航空运输业的碳排放总量上, 并已开始探讨航空运输的碳排放相关内容, 部分学者对低碳航空运输问题进行了深入研究, 迄今已取得了一定的成果。

中国航空业效率低、能耗高, 大致原因可以剖析为: 航空运输资源布局不合理; 航线发展和机场建设以及飞机的选型等匹配度不高; 干线和支线的功能划分不明显, 其中大中型飞机较多而支线飞机过少则尤为突出; 中国的航线网络结构仍然仅仅是城市对式或城市串式的网络结构, 目前为止仍然没有创建出具有实际应用意义的中枢航线结构等。

本文综合国际形势和我国航空业的现状, 在此基础上考虑航空运行总成本、包括运行成本和低碳成本, 以使综合运输成本达到最低。

## 1 低碳成本

低碳经济有“低碳排放”、“高碳生产力”和“阶

段性”三个核心特征。低碳成本效益分析是可以由经济损失来评估因为环境污染而引起的影响, 可以以价格或不同的经济计量方法来测度。低碳成本可以统一以经济价格度量, 各类成本包括人手、交易、时间、资金和资产投入。

民航飞机在运行过程中会产生  $\text{CO}_2$ 、HC、 $\text{SO}_2$ 、 $\text{NO}_x$ 、CO 等。根据帕累托最优理论, 航空运输只有在考虑了排放环境外部成本的情况下, 航空公司的产出才被认为是有效率的。目前测算航空运输的环境外部成本的方法主要有 2 种。其一, 测算航空运输的污染损害成本和避免污染损害成本之和, 即为航空运输的环境外部成本。其二, 测算航空运输的边际减污成本作为航空运输的边际环境外部成本。综合中国的实际情况, 第一种方法更适用。

通常用排放指数 (Emission Index, EI) 表征飞机发动机排出尾气成分的排放量。排放指数是每千克燃油燃烧后产生物质成分的克数, 即:

$$\varepsilon = \frac{G_g}{G_f} \quad (1)$$

其中,  $G_g$  表示排出每一种气态污染物的质量

(g);  $G_f$  表示燃烧质量 (Kg)。

通过研读文献, 查证得到利用专家打分法运算得出的污染物排放成本见表 1。

表 1 污染物排放成本

Tab. 1 Pollutant emission costs

污染物	平均单位环境外部成本/(元/Kg)
HC	47.50
CO	1.05
NO <sub>x</sub>	105.23
SO <sub>2</sub>	71.11
CO <sub>2</sub>	0.31

## 2 数据引入及说明

为测算民航机场中飞机排放污染物 (HC、CO、NO<sub>x</sub>、SO<sub>2</sub>) 数量, 结合中国民航机队资料、民航飞行数据以及国际民航组织 (ICAO) 标准中的起飞着陆 (LTO) 循环概念, 利用其发动机排放数据库 (Engine emission data bank) 通过计算全国机场一周内飞机 LTO 循环的气体污染物排放量, 拟合出民航机场飞机年 LTO 循环排放量, 研究运算结果详见表 2。

表 2 气体污染物排放量

Tab. 2 Emission of gas pollutants

年份	HC	CO	NO <sub>x</sub>	SO <sub>2</sub>
2014	919.62	8 708.19	14 023.68	1 029.05
2015	920.39	8 715.51	14 035.48	1 029.92
2016	1 158.23	10 967.73	17 662.52	1 296.07
2017	1 327.74	12 572.87	20 247.48	1 485.75
2018	1 514.48	14 341.16	23 095.19	1 694.71

计算 CO<sub>2</sub> 排放量时, 需要考虑碳排放因子和能源消耗量两个因素。研究推得的碳排放量  $M$  的计算公式可表示为:

$$M = A * F. \quad (2)$$

其中,  $M$  表示运输一吨货物每公里向大气中排放的 CO<sub>2</sub> 数量;  $A$  表示运输一吨货物每公里需要消耗的能源数量;  $F$  表示每消耗一单位能源所排放的 CO<sub>2</sub> 量, 即碳排放因子。

在国家拟定的相应指标下分析航空低碳的成本利益时, 基础性成本效益准则量化计算的一般模型需要做出深化调整。通过相应数据计算得到 CO<sub>2</sub> 排放数量见表 3。经计算, 可得各成分成本花费见表 4。

表 3 CO<sub>2</sub> 排放量

Tab. 3 CO<sub>2</sub> emissions

年份	燃料数量/百万吨	CO <sub>2</sub> 数量/万吨
2018	5.6	1 920
2017	4.2	1 440
2016	3.3	1 130
2015	3.4	1 170
2014	5.0	1 700

表 4 成本花费

Tab. 4 Cost

年份	HC	CO	NO <sub>x</sub>	SO <sub>2</sub>	CO <sub>2</sub>	污染物成本
2014	4 368.2	91.4	147 571.2	7 317.6	527 000	686 348.4
2015	4 371.9	91.5	147 695.4	7 323.8	362 700	522 182.6
2016	5 501.6	115.2	185 862.7	9 216.4	350 300	550 995.9
2017	6 306.8	132.0	213 064.2	10 565.2	446 400	676 468.2
2018	7 193.8	150.6	243 030.7	12 051.1	595 200	857 626.2

## 3 数据分析处理

### 3.1 SPSS 相关性分析

利用 SPSS 对污染物和成本进行线性回归, 研究运算结果详见图 1 ~ 图 3。

模型	平方和	自由度	均方	F	显著性
1 回归	70 888 941 930.000	2	35 444 470 970.000	14 819 286.800	0.000
残差	4 783.560	2	2 391.780		
总计	70 888 946 720.000	4			

图 1 方差分析

Fig. 1 Anova

模型	未标准化系数/万	标准化系数/万	t	显著性
	B	Beta	t	
1 (常量)	49.314	127.274	.387	.736
CO	1 741.146	1.086	.337	1 603.882
(万)	1.000	.000	.792	3 764.668

图 2 系数

Fig. 2 Coefficient

模型	输入 Beta/万	t	显著性	偏相关	共线性统计容差
1 HC	.333	77.743	.008	1.000	6.091E-7
NO <sub>x</sub>	.337	3 127.806	.000	1.000	5.933E-7
(万)	.338	706.068	.001	1.000	5.919E-7

图 3 显著性分析

Fig. 3 Significance analysis

通过 SPSS 对排放的污染物进行线性回归分析。针对“污染物”和“飞机排放污染物成本”的线性回归模型检验表, 可得 F 统计量值为 14 819 286.800, 对应的显著性概率  $p = 0.000$ , 小于显著性水平  $\alpha = 0.01$ , 即拒绝原假设, 认为自变量“污染物”对因变量“飞机污染物成本”的影响是显著的, 且建立的回归模型是显著的。

### 3.2 模型建立与 Matlab 处理分析

使用熵值法建立模型,利用 Matlab 对数据进行相应处理,得到各项权重见表 5。对权重进行加权计算得到各年份的综合得分见表 6。

表 5 权重表  
Tab. 5 Weight table

	HC	CO	NO <sub>x</sub>	SO <sub>2</sub>	CO <sub>2</sub>
权重	0.059 8	0.005 6	0.158 3	0.301 8	0.474 5

表 6 综合得分  
Tab. 6 Comprehensive scores

年份	2014	2015	2016	2017	2018
综合得分	0.205 8	0.205 3	0.205 8	0.205 8	0.177 3

依据 Matlab 权重分析表,CO<sub>2</sub>的权重为 0.4745,SO<sub>2</sub>权重为 0.301 8、仅次于 CO<sub>2</sub> 位居第二,CO<sub>2</sub> 和 SO<sub>2</sub>是航空公司考虑外部环境成本优化时的重点对象。依据综合得分表分析可知,2014~2017 年间综合得分较平稳,2018 年有下降的趋势。

## 4 结束语

综合前文数据分析,研究提出优化设计方案,对此可做阐释分述如下。

(1)促进航空生物燃料的研发与节油飞机的引进,CO<sub>2</sub>和 SO<sub>2</sub>占据权重分别为 0.474 5 和 0.301 8,占据总权重的 0.776 3。因此研发航空生物燃料时需要注意 S 和 C 元素的比重平衡与处理。

(2)民航飞机可以通过使用生物燃油减低污染物排放,达到节能减排的目的。随着科技的进步,废弃动植物油脂(地沟油)、农林废弃物、油藻等已成

功转化为生物航煤的原料,在此基础上科研人员通过降低油脂粘度、沸点等将其再生为生物燃油。利用地沟油等提炼的生物燃油在提供动力方面与传统航空燃料相比并无明显区别,但在此同时却可降低所使用燃油的总体碳强度。

## 参考文献

- [1] 杨蓓,汪方军,黄侃. 适应低碳经济的企业碳排放成本模型[J]. 西安交通大学学报(社会科学版),2011,31(1):44-47.
  - [2] 杨珺姝. 考虑碳成本的大宗干散货多级水运网络优化[D]. 大连:大连海事大学,2013.
  - [3] 褚艳玲. 航空货运网络空间模式分析及布局优化[D]. 大连:大连海事大学,2017.
  - [4] 邹明. 我国航空公司低成本运营模式研究[D]. 哈尔滨:哈尔滨工程大学,2009.
  - [5] 罗月蕾. 低碳视角下集装箱港口内陆集疏运网络优化的研究[D]. 大连:大连海事大学,2014.
  - [6] 王苗苗. 联盟环境下航空公司航线网络优化研究[D]. 南京:南京航空航天大学,2016.
  - [7] LIN Jingyi. Network analysis of China's aviation system, statistical and spatial structure [J]. Journal of Transport Geography, 2012 (22):109-117.
  - [8] BROUER B D, DESAULNIERS G, KARSTEN C V, et al. A matheuristic for the liner shipping network design problem with transit time restrictions [M]//CORMAN F, VOß S, NEGENBORN R. Computational Logistics. ICCL 2015. Lecture Notes in Computer Science. Cham: Springer, 2015, 9335: 195-208.
  - [9] PERKINS M. A drink that might just cost you the earth [N]. Sunday Age News, 2007-04-08.
  - [10] 庄贵阳,潘家华,朱守先. 低碳经济的内涵及综合评价指标体系构建[D]. 经济学动态,2011(1):132-136.
  - [11] 王岩,颜孟. 低碳城市规划建设:成本效益分析[J]. 工程技术(全文版),2017(3):243.
- (上接第 269 页)
- 术进行海上舰艇编队攻击路径自动规划的线路自动筛选和寻优控制处理。研究得知,本文方法进行舰艇编队攻击规划的自适应能力较好,收敛性较强,可靠性较高。
- ## 参考文献
- [1] 傅冰,杨华东,肖玉杰. 舰艇编队跨平台武器射命中前火力兼容判断研究[J]. 海军工程大学学报,2018,30(6):69-73.
  - [2] 黄金才,陈洒然,程光权. 舰艇编队防空过程建模及分析[J]. 国防科技大学学报,2014,36(3):184-190.
  - [3] 童继进,刘忠,徐丽琴,等. 多属性决策在舰艇编队防空目标选择决策中的应用研究[J]. 武汉理工大学学报(交通科学与工程版),2013,37(5):960-964.
  - [4] 赵晶,虞志刚,冯旭,等. 无线传感器网络多路径传输时延优化调度算法研究[J]. 中国电子科学研究院学报,2018,13(3):264-271.
  - [5] 徐飞. 基于改进人工势场法的机器人避障及路径规划研究[J]. 计算机科学,2016,43(12):293-296.
  - [6] CHEN Yushi, LIN Zhouhan, ZHAO Xing, et al. Deep learning-based classification of hyperspectral data [J]. IEEE Journal of Selected Topics in Applied Earth Observations and Remote Sensing, 2014, 7(6):2094-2107.
  - [7] 何力,丁兆云,贾焰,等. 大规模层次分类中的候选类别搜索[J]. 计算机学报,2014,37(1):41-49.
  - [8] DENG Zhaohong, CAO Longbin, JIANG Yizhang, et al. Minimax probability TSK fuzzy system classifier: A more transparent and highly interpretable classification model [J]. IEEE Transactions on Fuzzy Systems, 2015, 23(4): 813-826.
  - [9] 赵威. 强海水混响背景下水中兵器攻击目标检测研究[J]. 智能计算机与应用,2016,6(2):51-54.
  - [10] 罗朝晖,秦芙蓉,余鹏. 基于模拟退火算法的舰艇编队海上补给规划[J]. 海军工程大学学报,2018,30(4):81-86.