

文章编号: 0258-2724(2010)01-0111-05 DOI: 10.3969/j.issn.0258-2724.2010.01.019

# 基于航线网络运力 优化分配的机队规划方法

孙宏, 张培文, 汪瑜

(中国民航飞行学院航空运输管理学院, 四川 广汉 618307)

**摘要:** 根据预测的航线运输生产指标,以利润最大化为优化目标,综合考虑机型的技术经济性能和市场需求、航班频率资源、机组的有效飞行实力等因素,确定各航线上航班频率与使用机型的最优组合,再根据机型的平均利用率确定相应的机队配置方案.对5种机型、60条航线的机队规划问题进行仿真,结果表明该方法对航线客流量的波动具有一定的鲁棒性.

**关键词:** 航空运输;机队规划;优化;鲁棒性

**中图分类号:** V355.2 **文献标识码:** A

## Fleet Planning Approach Based on Optimized Fleet Capacity Allocation in Airline Networks

SUN Hong, ZHANG Peiwen, WANG Yu

(School of Aviation Transportation Management, Civil Aviation Flight University of China, Guanghan 618307, China)

**Abstract:** The proposed approach was based on predicted statistics of airline transport production, and its optimization objective was to maximize the profit of airline companies. Fleet capacity allocation on each air route was optimized considering the technical and economic properties of each airplane type and traffic demand, flight frequency on each air route, and available flight time of airline flight crews. The optimal fleet composition was determined based on average utilization ratio of each fleet type. A simulation was made using LINGO software with input of 5 fleet types and 60 routes, and the result shows that the proposed approach is robust to the fluctuation of traffic demand of market.

**Key words:** air transportation; fleet planning; optimization; robustness

机队规划是航空公司最重要的战略决策之一,其核心在于确定未来一段时期内构成航空公司机队的机型种类和数量.机队规划主要分为自上而下的宏观机队规划和自下而上的微观机队规划<sup>[1]</sup>.传统的机队规划一般采用宏观规划法,分析预测企业宏观运输生产指标,如平均客座率、运量、航段平均长度等,确定不同机型的运能需求,然后,再根据运营市场的具体需求规模和特征、机型的技术经济性能指标确定具体机型.这种规划方法的优点是简

单易操作,决策依据是几项宏观运输生产指标,预测结果相对稳定可靠;其缺点是很难准确地反映拟运营的生产运营环境对机队规划的影响,如特殊航线运行对机型的适航限制、特定市场的需求环境对机型的特殊要求等;微观机队规划法的实质是,在对规划期内航空公司生产运营环境(航班计划、航班票价、航班预期订座需求、溢出率等)进行预测的基础上,通过进行航班机型分配仿真分析,确定最优机队配置方案,其优点是能够对规划期内航班

收稿日期: 2009-04-20

基金项目: 国家自然科学基金资助项目(60776820,60832012)

作者简介: 孙宏(1966-),男,教授,博士,研究方向为航空公司运行管理,E-mail:hanksun@263.net

通讯作者: 张培文(1985-),男,硕士研究生,研究方向为航空运输管理,E-mail:peiwen\_zhang@163.com;汪瑜(1983-),男,讲师,硕士,E-mail:wangyu2001.111@163.com

生产组织的细节进行精确、量化的分析仿真,但其困难是如何对未来航空公司的航班计划安排、每个航班的票价水平、订座需求及溢出率进行可靠的模拟. 因为对较为宏观的运输生产指标(如某一条航线上客流量、航班量等的统计平均值)进行预测较为容易而且可靠,而对微观经营状况(如某一特定航班的订座数据、票价水平、溢出率)的预测却困难得多.

近年机队规划方面的研究不多,文献[2~4]建立了以机队总运输成本最小为目标的机队规划模型. 文献[5]研究了市场结构以及生产技术变化对航空公司机队构成的影响,文献[6]通过对全球主要航空公司生产数据的统计分析,研究了机队构成对航空公司运行的影响,这些研究都是偏重于从宏观层面进行定性分析. 文献[7,8]利用随机规划方法研究了机队规划的优化、机队构成的鲁棒性对动态座位管理的影响,文献[9,10]研究了飞机选型、机队优化调度、以及利用机队优化调度技术评价机队配置方案的可行性问题,其本质属于对微观机队规划方法的讨论. 总体上看,目前广泛运用的是宏观机队规划法.

传统的机队规划方法都是以成本最小化为目标,这导致机队规划分析过于保守,无法实现利润最大化. 此外,传统的机队规划没有考虑航线对机型的适航限制和机组飞行实力的制约,并将机型在各条航线上的直接运营成本、航速和载运率视为不变的,忽略了不同航线间运营条件的差异,与实际运营有很大的差距. 为了弥补这一不足,本文在文献[2~4]构造机队规划模型的基础上,提出了一种基于航线网络运力优化分配的机队规划方法,其基本思想是:在对航线运输生产指标进行预测的基础上,以利润最大化为优化目标,通过对航线运力分配方案进行优化(即确定各条航线上航班频率与使用机型的最优组合),确定最优的机队配置方案.

## 1 模型构造

正确的机队规划应当满足航线网络运力分配优化对机队配置的要求. 基于航线网络运力优化分配的机队规划方法是,先求解一个航线网络运力优化分配问题,确定各条航线上的航班频率与所使用机型的最优组合,然后,根据每种机型的平均日利用率数据(根据运营经验确定),即可确定机队的最优配置方案.

### 1.1 航线网络运力分配问题

在确定航线网络运力分配方案时,借鉴传统机队规划理论,充分考虑机型航线的适航限制和航空公司每种机型飞行实力的制约. 除分析各种机型的技术经济性能外,还必须综合考虑未来规划期内的市场需求水平、航线和时刻资源、公司机组的有效飞行实力3个因素的制约.

#### (1) 机型的技术经济性能制约

主要反映为机型的可用座位数、机型航线直接运行成本 DOC(direct operating cost)、以及航线对机型的适航限制,其中机型航线直接运行成本是指某种机型在一条航线上运营直接发生的费用,主要包括所有权成本、机组成本、航路费、维修费、餐食费、起降费、燃油费、民航建设基金和地面服务费等<sup>[11]</sup>,至于航线对机型的适航限制可以通过引入“罚成本”概念表示.

#### (2) 规划期内的市场需求水平制约

具体体现为每个航空公司在各条航线上能够分配到的预计客流量(不考虑货运收益),以及各种座位级的机型在该航线上能够达到的平均客座率水平,两者决定了航空公司在各条航线上正常运力水平(即座位数).

#### (3) 规划期内航线和时刻资源制约

由于受各机场和空域飞行容量、中国民航总局航班计划审批管理规定的限制,每家航空公司能够分配到的航线、各条航线上的最高允许航班频率是有限的,这必然影响到航空公司在各条航线上的运力分配方案<sup>[12]</sup>,并间接地限制机队规划方案.

#### (4) 公司机组的有效飞行实力制约

飞行实力是指航空公司在计划期内可用于执行航班任务的飞行员的可用飞行时间,它是航空公司最重要的生产资源要素之一,由于受民航法规对飞行员飞行、执勤、休息时间的条款的限制,每种机型能够完成的最大航班任务时间必然受到该机型飞行机组实际能提供的飞行实力的制约. 对国内航空公司而言,机组飞行不足将是未来相当长时期内制约航空公司发展的瓶颈,因而限制航线网络运力的分配和构成.

### 1.2 航线网络运力优化分配模型构造

已知有  $n$  条可供运营的航线,  $m$  种可供选择的备选机型方案,根据上述分析,并以航线网络运营利润最大化为目标,可以构造出相应的航线网络运力优化分配模型.

以航线网络运营利润最大化为优化目标,构造

描述航线网络运力优化分配问题的整数规划模型:

$$\max \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n x_{ij} (S_{\text{cap } i} L_{F ij} P_j - C_{d ij} - \beta_{ij} C_p),$$

$$\text{s. t. } \sum_{i=1}^m x_{ij} \leq F_j, \quad \forall j = 1, 2, \dots, n, \quad (1)$$

$$\sum_{i=1}^m x_{ij} S_{\text{cap } i} L_{F ij} \leq D_{\text{max } j},$$

$$\forall j = 1, 2, \dots, n, \quad (2)$$

$$\sum_{j=1}^n x_{ij} t_{\text{eet } ij} \leq t_{\text{crew } i}, \quad \forall i = 1, 2, \dots, m, \quad (3)$$

$x_{ij}$  为整数,  $\forall i = 1, 2, \dots, n$ ,

式中:  $x_{ij}$  为机型  $i$  在航线  $j$  上的航班数量;

$S_{\text{cap } i}$  为机型  $i$  的座位数;

$L_{F ij}$  为预测载运率;

$P_j$  为航线  $j$  的平均票价, 元;

$C_{d ij}$  为机型  $i$  在航线  $j$  上的直接运行成本, 元;

$\beta_{ij}$  为机型与航线间的适航限制,

$\beta_{ij} = \begin{cases} 0, & \text{表示机型 } i \text{ 能在航线 } j \text{ 上运营,} \\ 1, & \text{表示机型 } i \text{ 不能在航线 } j \text{ 上运营;} \end{cases}$

$C_p$  为罚成本, 元;

$F_j$  为航线  $j$  上允许的最多航班数量, 次;

$D_{\text{max } j}$  为预计每月能够实现的客流量上限, 人次;

$t_{\text{fleet}}$  为月平均飞行时间, h;

$t_{\text{eet } ij}$  为机型  $i$  在航线  $j$  上的飞行时间, 元;

$t_{\text{crew } i}$  为受机型  $i$  的飞行机组实际能提供飞行实力限制的最大航班任务时间, h.

式(1)表示计划期(月)内每条航线上的总航班量小于等于该航线上所允许安排的最多航班量, 式(2)表示每条航线上的总客流量不得超过该航线上的预计客流量, 式(3)表示每种机型承担的航班总飞行时间不超过该机型飞行机组能够提供的飞行时间.

### 1.3 机队最优配置方案分析模型

求解上述整数规划问题, 可以得出最优的航线网络最优运力分配方案. 在此基础上, 根据每种机型的利用率  $R_{\text{fleet } i}$ , 可以进一步确定每种机型所需的飞机数量:

$$N_i = \text{ent} \left( \frac{\sum_{j=1}^n x_{ij} t_{\text{fleet } ij}}{R_{\text{fleet } i}} \right) + 1. \quad (4)$$

此外, 考虑到机队实际运营的需要, 航空公司在决策引进一种机型时, 对其最低机队数量  $N_{\text{min}}$  有

一定要求, 利用这一限制, 可以最终确定机队的最优配置方案. 具体步骤如下:

(1) 根据公式(1)~(3), 确定航线网络运力分配方案;

(2) 根据公式(4), 确定满足航线网络运力分配方案所需的机队配置方案;

(3) 判断是否存在机型  $i$ , 使

$$N_i < N_{\text{min}}.$$

如果是, 则取消一种  $N_i$  最小的备选机型, 并重复步骤(1)~(3)继续求解航线网络运力分配方案; 否则, 转步骤(4);

(4) 输出航线网络运力分配方案, 以及相应的机队配置方案.

## 2 算例分析

模拟航空公司的机队规划问题, 已知该公司可运营的航线有 60 条, 备选机型方案有 5 种, 每种机型的座位数、平均月利用率和受机组飞行实力限制的最大航班计划时间见表 1. 仿真时, 根据文献[11]中模型确定直接运行成本  $C_{dij}$ , 并假定该成本(主要是维修成本部分)不受机队规模影响, 且各种机型的平均月利用率数据不受航线机型分配方案的影响(取值见表 1), 罚成本

$$C_p = 10 \text{ 万元},$$

机型最低数量限制

$$N_{\text{min}} = 3,$$

其它模拟数据见文献[13].

表 1 机队配置相关数据  
Tab. 1 Basic data of fleet composition

参数	机型 $i$				
	1	2	3	4	5
$S_{\text{cap } i}/\text{个}$	90	124	165	180	192
$t_{\text{fleet } i}/\text{h}$	255	276	285	270	315
$t_{\text{crew } i}/\text{h}$	900	1 200	1 300	1 350	1 350

应用 LINGO 软件对上述机队规划问题进行仿真分析. LINGO 是专门求解大规模规划问题的专业工具软件, 其特色在于可以处理整数规划、非线性规划问题, 方便灵活, 而且执行速度快. 一般地, 使用 LINGO 求解运筹学问题可以分为以下两个步骤完成:

(1) 根据实际问题, 建立数学模型;

(2) 根据优化模型, 利用 LINGO 求解模型.

得出的航线网络最优运力分配方案见表 2, 目

标函数值为76 870 080元,相应的机队配置方案见表3,其中,备选机型方案*i* = 1因不满足机型最低数量限制  $N_{\min} = 3$  而被放弃.

表2 航线网络机型优化分配方案  
Tab.2 Optimized scheme for air route-fleet type allocation

航线 <i>j</i>	机型 <i>i</i>					航线 <i>j</i>	机型 <i>i</i>					航线 <i>j</i>	机型 <i>i</i>				
	1	2	3	4	5		1	2	3	4	5		1	2	3	4	5
1				183		21		11	14	5	41			118			
2			25			22			16	1	42		90				
3			92			23		59		34	43			7	1		
4			1	9		24			34		44		1	25			
5		1		53		25		2	14		45		13	1	2		
6			15		2	26			6	21	46		10				
7					28	27		1	6		47	1	2	25	1		
8		1	1	12		28		1	27	1	48		3		9		
9		1	4	1		29			21	2	49			34	1		
10		156				30			34	2	50	2	1	2	69		
11			1	1	99	31				183	51	2	1	3	3		
12		90				32			16		52		13				
13			1	5	2	33			2	85	53		2		78		
14			1	24		34	1	1	7		54		1	27	1		
15			9	4		35		2	53	3	55		8	9			
16			13		21	36		17		2	56			2	25		
17			3	23	2	37			30	1	57		4	5			
18		1	4		10	38		1	14		58		1	27	3		
19		1	1	35	4	39			7		59			23			
20					91	40		133			60		1	36			

注:空格表示没有分配相应机型的飞机.

表3 市场需求波动对机队最优配置的影响  
Tab.3 Influences of traffic demand fluctuation on optimal fleet composition

客流量	机型 <i>i</i>				
	1	2	3	4	5
60% $D_{\max j}$		3		3	5
80% $D_{\max j}$		3	3	4	5
$D_{\max j}$		3	3	5	5
120% $D_{\max j}$		3	4	5	5
140% $D_{\max j}$		3	5	5	5

进行市场需求波动对机队规划方案影响的仿真分析.在假定其它市场环境参数(平均票价、客座率等)不随旅客需求量变化的前提下,以表2对应的航线客流量  $D_{\max j}$  预测水平为基准,对其在  $\pm 40\%$  范围内波动时的机队最优配置方案分别进行了仿真(见表3).

结果表明:当航线客流量预测水平在80%  $D_{\max j}$  ~ 140%  $D_{\max j}$  范围内波动时,该方法得到的机队配置方案能够较好地适应航线客运需求量的波动,因

而具有一定的鲁棒性.

最后需要说明的是,利用该方法得出的每种机型的配置数量为保障航线网络运力分配需求的最少飞机数量,考虑到备份运力需要、飞机维修所需的周转运力、特别是航班计划安排对飞机衔接的特殊需要,实际运营需要的飞机数量可能会高于由模型得出的理论值.

### 3 结束语

提出了一种基于航线网络运力优化分配的机队规划方法,其实质是根据航线网络运力优化分配的需要确定机队的最优配置方案.综合考虑机型的技术经济性能、市场需求水平、航线和时刻资源、公司机组的有效飞行实力等要素间的平衡,本文方法是对两种传统机队规划方法的折中.

仿真结果表明,模型较好地弥补了传统机队规划方法的不足,利用该模型可定量分析航空公司生产运营环境变化对机队配置方案的影响,即研究机队规划问题的鲁棒性.

## 参考文献:

- [1] 朱金福. 航空运输规划[M]. 西安:西北工业大学出版社,2008: 268-294.  
ZHU Jinfu. Air transportation programming[M]. Xi'an: Northwestern Polytechnical University, 2008: 268-294.
- [2] 都业富. 机队规划的优化[J]. 系统工程理论与实践,1997(7): 136-138.  
DU Yefu. Optimization of fleet planning[J]. Systems Engineering—Theory & Practice, 1997(7): 136-138.
- [3] 彭语冰,张永莉,张晓全. 机队规划模型的建立及其应用[J]. 系统工程理论与实践,2001(6): 100-103.  
PENG Yubing, ZHANG Yongli, ZHANG Xiaoquan. Fleet planning modeling and its applications[J]. Systems Engineering—Theory & Practice, 2001(6): 100-103.
- [4] 李福娟,王鲁平,刘仲英. 优化理论与技术在航空领域的应用[J]. 计算机应用与软件,2004,21(4): 45-47.  
LI Fujuan, WANG Luping, LIU Zhongying. Application of the optimization theory and technology in airline industry[J]. Computer Applications and Software, 2004, 21(5): 45-47.
- [5] ADRANGL B, CHOW G, RAFFIEE K. The effects of market structure and technology on airline fleet composition after deregulation[J]. Review of Industrial Organization, 1999, 15: 77-88.
- [6] SERISTÖ H, VEPSÄLÄINEN A P J. Airline cost drivers: cost implications of fleet, routes, and personnel policies[J]. Journal of Air Transport Management, 1997, 3: 11-22.
- [7] OVIDIU L O, ROMMERT D. A scenario aggregation-based approach for determining a robust airline fleet composition for dynamic capacity allocation [J]. Transportation Science, 2005, 39(3): 367-382.
- [8] ANBIL R F, LADANYI L, RUSHMEIER R, et al. Airline operation[J]. ORMS Today, 1999, 26(6): 26-29.
- [9] 闫克斌,孙宏,史虹圣. 飞机选型问题数学模型的建立[J]. 飞行力学,2005, 23(4): 84-87.  
YAN Kebin, SUN Hong, SHI Hongsheng. Mathematical model of civil aviation aircraft type selection[J]. Flight Dynamics, 2005, 23(4): 84-87.
- [10] SUN Hong, ZHAO Liyuan, ZHANG Xiang, et al. A method of evaluating airline fleet composition [C] // The 4rd International Conference on Natural Computation (ICNC'08). Washington D. C.: IEEE Computer Society, 2008: 332-336.
- [11] 孙宏,李锋,黎青松. 民用航空航班直接运行成本测算分析[J]. 交通运输信息工程学报,2007,5(1): 5-9.  
SUN Hong, LI Feng, LI Qingsong. Research of civil aviation flight direct operating cost [J]. Journal of Transportation Engineering and Information, 2007, 5(1): 5-9.
- [12] 孙宏,文军. 航空公司生产组织与计划[M]. 成都:西南交通大学出版社,2008: 97-103.
- [13] 孙宏. 国家自然科学基金项目《基于航班机型分配的航空公司机队规划方法研究》(60776820)年度进展报告[R]. 北京:国家自然科学基金委员会,2009.

(中文编辑:秦萍玲 英文编辑:刘斌)