

基于成本最小的协调机场航线时刻配置策略研究

武丁杰, 孙 宏

(中国民航飞行学院, 四川 广汉 618307)

摘要:为有效配置协调机场时刻资源, 论文以航线网络运行成本最小为目标, 在满足机场容量和运量要求的约束, 同时符合航线机型比例的前提下, 提出一种时刻资源配置方法。该方法对航线进行简单分类以简化机型座级比例的确定, 并采用工程型成本函数确定各机型在不同航线上的成本。计算显示, 配置方案非常接近实际执行情况, 且该策略具有良好的扩展性。

关键词:时刻资源; 最小成本; 时刻配置

中图分类号: F240.0 **文献标志码:** A **文章编号:** 1671-1807(2013)06-0075-04

近几年, 随着民航的运输需求的高速增长, 我国的许多机场已达到保障容量的极限而成为航班时刻需要协调的协调机场。协调机场的时刻资源被航空公司和地方政府极力争夺, 很多航线面临着一刻难求的现状。将机场有限的时刻资源合理配置到各条航线, 使其最大限度地满足民航运输需求, 对于缓解目前的机场压力, 提高民航系统的运行效率, 降低运行成本有着重要意义。

在欧美国家, 由于航空运输的市场化程度高, 且空域限制小, 几乎不存在统一配置时刻资源的问题^[1]。但我国的政府主导体制下, 如何将协调机场的时刻资源合理配置到各条航线已成为时刻管理部门迫切需要解决的问题。

航线时刻资源配置分为宏观和微观两个层面^[2], 宏观配置是指时刻资源相对每条航线的配额, 微观配置是指航线时刻在一个机场具体使用的时间。以往的研究都集中在对机场时刻的优化, 即微观配置领域。

本文针对的是宏观配置问题, 在充分考虑航线运量需求、机场容量限制的前提下, 将时刻资源分配与机型等级匹配值结合考虑, 以航线网络总运行成本最小为目标提出一种时刻资源配置策略, 此处的运行成本都是指显性的、直接的成本。在时刻优化研究中采用的延误成本属于微观配置范畴, 不适用于本文的研究内容。

1 航线时刻配置模型的建立

1.1 选择优化指标

协调机场的航班时刻资源就其本质讲是一种公共资源^[3], 在现行时刻管理办法中, 航班时刻资源所有者是国家, 使用者是航空公司, 提供者是机场, 选择优化指标需要围绕着这三方的利益展开。

1) 对于国家, 需考虑资源使用的社会效益, 主要体现为社会公平性^[4]; 从运行成本的角度很难衡量社会公平性, 因为保障绝对的社会公平, 首先要从航线网络构建开始, 使有需求的地方都有通达的航线, 这已超出了本文的研究范围。本文是在现有航线网络的基础上进行时刻资源配置, 公平性体现在所分配的時刻数量必须满足该航线的运量需求;

2) 对于公司, 主要考虑资源使用的成本, 包括个别航线时刻的成本与航线网络的总体成本; 本文采用的成本概念与公司的运行成本还有一定区别, 它排除了公司经营策略差异, 只考虑各机型等级的固定成本和最基本的变动成本, 即未考虑公司效益, 以使配置模型具有更大的适用范围^[5]。

3) 对于机场, 主要考虑资源使用的效率, 要避免资源的浪费或过度使用^[6]。本文通过限定机场的時刻数量以保证机场的時刻使用效率。

本文中的时刻资源配置只是研究航班时刻在各航线上的投放数量, 不包含航班时刻的具体指派和分布, 故不涉及航班延误、公司或乘客满意度等问题。

收稿日期: 2013-03-26

资助项目: 国家自然科学基金项目(61179074)

作者简介: 武丁杰(1978—), 男, 内蒙古呼和浩特人, 中国民航飞行学院讲师, 硕士, 研究方向: 空中交通流量管理、航班时刻优化; 孙宏(1966—), 男, 河北深县人, 中国民航飞行学院教授, 博士, 研究方向: 航空公司运行管理。

综上,课题组选择运行成本作为时刻配置的优化目标。

1.2 成本函数

2006 年,William M. Swan 和 Nicole Adler^[7]从工程应用的角度,通过对多年的运行成本数据的统计分析将各种细分的成本归纳到固定成本和变动成本,并且发现:在 1 000 到 5 000 km 的距离上,各种机型的航行成本与航程几乎是完全线性的关系,飞机的座级和成本也呈一定的线性相关。

对于短程,单通道飞机其成本函数为:
$$C=(D+722) \times (S+104) \times \$0.019^{(7)}$$
 (1)

对于远程、双通道飞机,其成本函数为:
$$C=(D+2200) \times (S+211) \times \$0.0115^{(7)}$$
 (2)

其中 C 为成本, D 为飞行距离, S 为座位数。

以上的成本函数既排除了公司经营的差异,也不限于某种飞机型号,可以作为衡量全局运行成本的函数。由于货币单位不同,计算结果会与实际数据有差距,但仍然可以准确反映出机型成本的相对大小,可以用于优化目标。

1.3 航线飞机型别等级组合的确定

根据上文的成本函数形式可知,在一条确定距离的航线上,只有一种座级的机型是成本最小的,如直接用该函数进行配置,则每条航线将只有一种机型,这与实际情况完全不符。原因是上文的成本函数是长期统计结果,未考虑出行需求在一天内的分布。实际上,不同航线的旅客选择出行时间有其相对固定的规律,处在机场“黄金时段”的航班往往可以获得更多

客源,公司需要调用更大的机型以满足需求,而在其它时段,公司则会使用较小的机型以保证上座率,即公司的效益。

本文的重点不是研究出行需求分布,故采用已执行航班的统计结果来确定航线各座级机型的比例。根据历史统计,按航线的航班数量将航线分为:

高密度航线:每天执行航班数 ≥ 10 ,班均人数在 180 以上,该类航线受需求波动影响最明显,一般至少有 4 种以上机型执飞;

中密度航线:每天执行航班数 > 2 ,且 < 10 ,班均人数小于 180,该类航线受需求波动的一定影响,通常由 3 种以上机型执飞;

低密度航线:每天执行航班数 ≤ 2 ,该类航线基本属于固定需求、垄断服务,通常只有一种机型执飞。

在以上分类的基础上,通过选取代表性航线,统计代表航线的飞机型别等级比例,以典型航线的组合情况表示该类航线的组合情况,以此简化繁复的统计工作,具体机型选择还要考虑飞行距离和各机型的保有数量^[8]。

通过对国内主要机场航线机型的统计,将目前经常使用的飞机分为表 1 中的 6 个型别等级^[9]。选取北京—广州,北京—上海为高密度航线的代表;北京—杭州,北京—西安为中密度航线的代表,重庆—厦门,重庆—青岛为低密度航线的代表。各航线上统计的飞机型别等级组合如表 1 所示:(如某一型别等级所占比例 $< 4\%$,则取 0,其它型别等级同时向上取整,以保证数据简洁及完整)

表 1 典型航线机型比例

航线 \ 座级	100~150	150~200	200~250	250~300	300~350	350~400
北京—广州	0	15%	0	5%	15%	65%
北京—上海	0	12%	6%	14%	64%	4%
北京—杭州	0	10%	20%	40%	30%	0
北京—西安	10%	75%	0	15%	0	0
重庆—厦门	0	100%	0	0	0	0
重庆—青岛	100%	0	0	0	0	0

1.4 优化配置模型

优化目标:
$$\min \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n \sum_{k=1}^m \text{Cost}_{ijk} X_{ijk}$$
 (3)
st:
航线时刻数小于等于机场时刻数; $\sum_{j=1}^n \sum_{k=1}^m X_{ijk} \leq C_i$ (4)

座位提供要满足运输需求的限制; $\sum_{k=1}^m X_{ijk} \text{Seat}_k \geq \frac{M_{ij}}{T_{ij}}$ (5)

在不同类型的航线上,各座级的机型呈一定比例进行分配;
$$X_{ijk} = \sum_{k=1}^m X_{ijk} \times \text{Scale}_{ijk}$$
 (6)

其中，
 C_i : 机场 i 的容量，即该机场所能提供航班时刻数；
 $Seat_k$: 座级 k 的座位数；
 T_{ij} : 机场 i 和机场 j 之间的航线的平均上座率；
 $M_{i,j}$: 机场 i 和机场 j 之间的航线运输量需求；
 $Cost_{ijk}$: 机场 i 和机场 j 之间使用机型座级的成本系数；
 X_{ijk} : 机场 i 和机场 j 之间的由座级 k 执行的航班数；
 $Scale_{ijk}$: 机场 i 和机场 j 之间座级 k 执行的航班数占总班次的比例。

2 算例分析

为验证配置策略，选取 2010 年我国流量排名前 15 位的机场构建一个小型航线网络。采用 2010 年的运量统计数据作为一种预测值进行时刻配置，用本文的计算结果与 2010 年实际执行情况进行比较。
算例中协调机场的容量一般由跑道容量决定，按跑道每小时的最大起降能力运行 12 个小时的容量算作一天的容量，非协调机场的容量通常由停机位决定，计算中采用历史最大值为其容量。由于算例只是

实际网络的一部分，机场容量也按这 15 个机场运量占各自机场总运量的比例进行折算。
 T_{ij} : 由于公司的成本和机场班均人数要求，计算中全部取值 80%；
 $M_{i,j}$: 取 2010 年各航线的统计数据作为验证数据，认为是一种需求预测结果；
在综合多条典型航线的数据基础上，计算中的其它航线机型座级比例规定如表 2。

表 2 各类航线机型比例设置

座级	代表机型	高密度航线比例	中密度航线比例	低密度航线比例
100~150	A319		5%	50%
150~200	A320	10%	70%	50%
200~250	757-200		15%	
250~300	767-300	5%	5%	
300~350	A330-300	45%		
350~400	777-200	35%		
400 以上	747-400	5%		

在完成各项数据准备后，用 LINGO 对模型进行了求解。三条典型航线的配置结果如表 3。

表 3 计算结果

座级 航线	150~200		200~250		250~300		300~350		350~400		配置时刻 数合计	2010 年每 天执行航 班数
	配置结果	实际数量	配置结果	实际数量	配置结果	实际数量	配置结果	实际数量	配置结果	实际数量		
北京—广州	2	2			1	0	3	4	11	12	17	18
北京—上海	5	6	6	3	1	7	29	32	4	2	45	50
北京—杭州	2	2	3	3	6	5	5	4			16	14
北京—西安	2	2	17	16			3	3			22	21
重庆—厦门	2	2									2	2
重庆—青岛	2	3									2	3

3 结论分析

时刻配置问题是运筹学中典型的资源配置问题，在约束条件比较简单的情况下，用线性规划就可以获得满意的结果。本文以机场容量和运量需求为约束，以航线网络运行成本最小为优化目标，从计算结果可见，形成的配置结果与实际执行情况非常接近。如果能更加精确地获得各机型的成本函数，并对航线种类进行更加详细地划分以获得更加准确的机型比例，可以获得更加贴近实际的结果。
本文为配置策略研究提供了一种思路，计算中还可以加入各机型数量的约束和班均人数限制。由于航线客流特征和机型成本与时刻配置的相关性较小，

这两部分的变更对模型无影响^[10]。该模型适于时刻管理单位根据统计数字进行时刻配置，在选用其它优化目标后，该模型的约束条件仍然适用。

参考文献

[1] PHILIP MOESSNER. Slot allocation in the United States and Europe[D]. 2005.
[2] 金永利, 刘光才, 庄文武. 我国航班时刻管理机制及其改革方案研究[J]. 中国民用航空, 2008(10): 107—109.
[3] 都业富. 实用航班计划优化方法[J]. 系统工程理论与实践, 1995(2): 23—27.
[4] DAVID GILLEN. Demand Management: Options for Ensuring the Efficient Use of Scarce Airport Capacity[G]. Working paper, 2007(4).

[5] GRETHER DAVID, R ISAAC, CHARLES PLOTT. The Allocation of Scarce Resources: Experimental economics and the Problem of Allocating Airport Slots [M]. Westview Press: Boulder,1989.

[6] RUWANTISSA I R ABEYRATNE. Management of Airport Congestion Through Slot Allocation [J]. Journal of Air Transport Management,2000(6): 29—411.

[7] WILLIAM M SWAN,NICOLE ADLER. Aircraft trip cost parameters: A function of stage length and seat capacity[J]. Transportation Research Part E,2006,42(2):105—115.

[8] 中国民航局. 中国航空运输发展报告(2010/2011)[EB/OL].

[9] 中国民用航空总局计划司. 从统计看民航[M]. 北京:中国民航出版社,2011.

[10] FAA. DOT Subpart B - Congestion and Delay Reduction at Chicago O H' are International Airport [EB/OL]. 71 FR 51400,2006—08—29.

A Research of the Strategy of Slot Allocation for Coordinated Airport Based on Minimum Cost

WU Ding-jie, SUN Hong

(Civil Aviation Flight University of China,Guanghan Sichuan 618307,China)

Abstract: In this article, a strategy has been made to allocate slot resource in coordinated airport in an efficient way. The strategy take the minimum cost of the air line net as the objective, restricted by the airport capacity and transportation requirement, and accord with the proportion of aircraft type on each air line. To simplify the decision of the proportion of the aircrafts, the air lines have been classified. The costs of each aircraft on different air lines are calculated by an engineering cost function. As the result shown, the strategy is close to the reality, and has a well expansibility.

Key words: slot resource; minimum cost; slot allocation

(上接第 39 页)

土地的利用要最大限度的满足公众需要,人地关系是影响城市土地集约利用的重要因素^[5]。随着城市规模不断扩大,城市人口密度也逐渐增加,规模效益随之增大,土地利用能力较强。城市用地弹性系数反映城市用地利用的合理程度和城市土地承载力的趋势^[6]。生态环境是城市土地利用程度的重要限制因素,城市环境容量在一定程度上决定了城市土地集约利用的最高强度,是土地集约利用的上线控制标准。由表 3 可以看出,土地利用程度和土地持续状态评价价值较高,土地利用程度评价平均值为 0. 185 6,土地持续状态评价平均值为 2. 356 3,两者均高于土地投入程度和土地利用效果评价价值,这说明社会、生态因素作为城市土地集约利用的主要限制因素,对周口市城市土地集约水平的影响不可忽视。

参考文献

[1] 洪增林,薛惠峰. 城市土地集约利用潜力评价指标体系[J]. 地球科学与环境学报,2006(1):106—110.

[2] 杨伟. 渝北区城镇土地集约利用评价研究[D]. 重庆:西南大学,2007.

[3] 谢正峰. 浅议土地的集约利用和可持续利用[J]. 国土与自然资源研究,2002 (4) :31—32.

[4] 刘俊燕,李晓东,邓虎子. 乌鲁木齐市城市土地集约利用评价研究[J]. 新疆农业科学,2009 (1) :167—173.

[5] 毕宝德. 土地经济学[M]. 北京:中国人民大学出版社,2001:98—112.

[6] 杨树海. 实现城市土地集约利用的影响因素及对策研究[J]. 生产力研究,2007 (9) :54—57.

Study on Evaluation of Urban Land Intensified Utilization in Zhoukou City

ZHAO Hai-ge, MA Ying, LIU Zhi-you

(School of Management,Xinjiang Agricultural University,Urumqi 830052,China)

Abstract: This paper is based on the analysis of Zhoukou city's urban land utilization characteristics. Established including a target layer, four criteria layer, the 10 indicators of urban land intensive utilization evaluation index system. Using the analytic hierarchy process (AHP) to determine the weight of each evaluation factor. And dealing the index of original data with standardization process. After Using multi-factor comprehensive evaluation method. It can get Zhoukou city land intensive use of comprehensive score. Then the level of intensive utilization of urban land can be determined ,and the evaluation results is learned . At last the evaluation results were analyzed.

Key words: urban land; intensified utilization; evaluation; Zhoukou city