

第三章 机队规划

机队是航空公司运输生产最重要的资源，机队管理是航空公司的一项重要管理职能，而机队规划是机队管理的关键内容。狭义的机队规划只包含机队规模和机队结构的规划；从广义上讲，可以将狭义的机队规划、机队置换计划、机队配置计划等都归纳为机队规划，本章的机队规划是广义的。

在我国，航空运输业正处在快速发展期，未来的几十年间我国机队规模将会迅速扩张，需要引进数量众多的飞机。对于航空公司，由于现代民用飞机价格昂贵、使用周期长，机队规模和结构是否合理将长期影响航空公司的运营成本，因此机队规划是航空公司的重要战略规划之一，是关系到航空公司生产效益的大型投资行为。原菲律宾航空公司投入巨资建成了当时亚洲最年轻最现代化的机队，但由于机队规划的失策，终因资不抵债，1998年在亚洲金融危机中黯然倒闭。

为降低运营成本，航空公司的机队规模应尽可能地与公司的运力需求相一致，机队结构要逐步与航空市场结构及航线网络结构适应。

第一节 机队规划概述

一、国内外机队规划现状

近年来世界民航业发展日新月异，而机队作为民航企业的核心资源也逐步发生着重要变化。截至 2014 年 8 月，国内外部分航空公司的机队规模及机型如表 3-1 所示。

表 3-1 国内外部分航空公司的机队规模及机型

航空公司	波音系列		空客系列		其他系列	总计 (架)
	机型	数量 (架)	机型	数量 (架)		
中国国际航空公司	B737	210	A320	190	公务机 12 架	512
	B747/747F	5/5	A330	45		
	B757/B757F	5/3	A340	4		
	B777/B777F	30/4				
	合计	262	合计	239		
中国南方航空公司	B737	256	A320	240	EMB-145 6 架 EMB-190 20 架	600
	B757-200	17	A330	31		
	B777-200F	4	A380	5		
	B787-8	12				
	合计	289	合计	276		
中国东方航空公司	B737	175	A320	205	CRJ-200 6 架 EMB-145 10 架	471
	B757/B757F	7/2	A300	4		
	B747-400ER	4	A330	40		
	B767	7	A340	5		
	B777F	6				
	总计	201	总计	254		
美国达美航空公司	B737	105	A319	57	MD-88 117 架 MD-90 65 架	760
	B747	16	A320	69		
	B757	150	A330	32		

	B767	95				
	B777	18				
	B717-200	36				
	合 计	420	合 计	158		
德国汉莎航空公司	B737	23	A320	203	EMB 43 架 CRJ 51 架	442
	B747	33	A330	19		
	B767	6	A340	43		
	B777	9	A380	12		
	合计	71	合计	277		
英国航空公司	B737	19	A318	2	EMB-170 6 架 EMB-190 7 架	266
	B747	57	A319	33		
	B757	3	A320	41		
	B767	21	A321	11		
	B777	52	A380	6		
	B787	8				
	合 计	160	合计	93		

二、机队与机队规划相关概念

(1) 机队：是指航空公司所拥有的飞机总称，包括飞机的数量和不同型号飞机构成比例关系。

(2) 机队规模：就是航空公司所拥有的飞机数量，体现了航空公司的运输能力（简称运力）。可用总座位数（客运运力）和总吨位数（货运运力）表示，它应当能与公司承担的市场总需求匹配。机队规模过大，飞机载运率和利用率低，会造成航空公司运力浪费，而增加运营成本；机队规模过小，运力无法实现航空公司的市场目标，意味着航空公司潜在收入的损失，将使航

空公司在激烈的市场竞争中处于不利地位。

(3) 机队结构：用以表示航空公司不同型号飞机构成的比例关系，直接影响航空公司的成本，任何一种机型有其最经济的飞行剖面（飞机从起飞到降落全过程航迹的垂直投影面），只有当飞机与其所运营的航线相匹配时，才能实现预期的成本和效益水平。如果机队结构与航线结构和市场需求不符，无法实现合理的载运率或客座率，将增加航空公司的运行成本。

(4) 飞机选型：是指为了适应航线的航程、航路空域环境、气象环境和机场终端区的地理环境，针对该航线选择具有最佳技术、经济性能机型的工作。

(5) 机队规划：是航空公司战略层次的决策，它不仅影响或左右着其他的决策，而且涉及航空公司数十亿甚至数百亿资产和收益的大问题，影响到航空公司今后相当长时间的生存和发展。机队规划一般划分为短期规划（1~2年）、中期规划（3~5年）和长期规划（5~15年）。规划期不同，所能获得的信息量不同，信息的准确程度不同。规划期越长，信息越少，信息越不准确，规划的结果越粗糙。因此对于长期规划，一般采用宏观规划方法；对于短期规划，可采用微观规划方法。机队规划的实质在于：在规划期内，机队的规模和结构应能保证经营战略的实现，使运力和运量基本保持均衡，不因飞机的闲置而造成运力浪费，也不因运力紧张而造成市场和收益的损失，

减少公司的经营风险。

(6) 机队规划的内容：包括飞机选型、机队规模发展计划、机队结构优化、飞机置换计划、飞机配置计划。

三、机队规划过程分析

1. 飞机选型

航线规定了自身的航程、航路空域环境和机场终端的地理环境，不同航线对飞机的性能有不同的要求，因此有其最适合的机型。为航线选择最适合机型的工作叫做飞机选型，它是机队规划工作的第一步。

2. 机队规模

航空公司的机队规模大小必须与市场目标相适应，可用三组指标来描述：一是反映航空运输市场规模大小的市场需求指标，由客运量、货邮运输量、航线距离和客流等要素构成；二是反映航空公司运力大小的运输能力指标，如飞机架数、机型系列和飞机的业载与平均座级；三是反映航空公司运营飞机绩效的“三率”指标，即平均日利用率、客座率和载运率。“三率”指标是反映运力供给与需求匹配的综合指标，当出现运力供不应求时，“三率”指标相对偏高，当运力供过于求时，“三率”指标走势偏低。

飞机日利用率还影响每小时飞机拥有成本，以 B737 飞机为例，在美国如果日利用率为 5 h，平均每小时的租金成本是 2 933 美元。如果日利用率提高到 7 h，则平均每小时的租金成本将降低为 2095 美元。在飞机架数不变的情况下，提高飞机日利用率可以完成更大的运输周转量；在满足同样运输需求的情况下，提高飞机日利用率可以减少飞机数量或改变机型，因而进一步降低运行成本。

机队规模决定了主要技术人员的规模，包括飞行员、乘务员、签派员和机务维修人员。例如，通常一架飞国际航线的飞机需要配备 10~12 名飞行员和 25~30 名空乘服务员，而国内航线一般配备 6~8 名飞行员和 12~16 名空乘服务员。机队规模还决定了航空公司所能经营的航线数量和能运行的航班量，因而也就决定了能完成的最大运输量（运输周转量）以及市场销售和管理人员的数量。可见机队规模反映了航空公司的规模。

3. 机队结构

机队结构即机队的机型构成，包括客货机比例、不同座级飞机的比例、不同航程飞机的比例等。机队规划应当谋求机队结构与航线结构相匹配。机队一般是由多种机型飞机所组成的，机队结构设计的关键是确定组成机队的机型和各种机型的配置比例。

如果机队结构不合理，机型种类繁多，将导致资金投入、航材储备、人员培训等方面的费用增加；机型种类的减少可以节省相应设施的投入，特别是航材的储备，因而可以节省成本。根据学习曲线，简单的机队结构也有利于机组和机务人员提高技术熟练程度，减少故障率及差错率，提高飞机的完好率和可用率，英航空公司的运行能力得到有效保障。所以低成本航空公司一般选择单一机型。但服务于多个目标市场的航空公司不可能选择一种机型去满足不同市场的需求，需要合理配置机队结构，才能既满足市场需求，又降低运行成本。

4. 飞机置换计划

飞机置换计划的质量对航空公司运行成本也有很大影响。目前，我国飞机及重要零部件主要靠进口，新飞机的价格不菲，1架空客 A320 的价格在 4 000 万美元以上，一架宽体 B777 的价格约 1.5 亿美元，一架 B747 货机在 1.6 亿美元以上，因此尽量少进或晚进一架飞机就可以为公司节省巨额投资。我国民航的行业会计准则规定：飞机、发动机的折旧期限是 10~15 年，远低于国际通行会计准则的 20~25 年，由此，国内航空公司飞机拥有成本比较高。退役一架旧飞机可以回收飞机残值，购买新飞机要花费巨资。何时购买飞机？购买什么飞机？购买多少飞机？何时退役旧飞机？退役什么飞机？这些问题

的决策都直接关系到航空公司的营运成本。

5. 机队配置计划

如果航空公司有几个基地机场，则需要进一步根据各基地机场完成运输量的预测和各机型飞机在各基地机场的营运成本，决定在各基地机场应当投放何种机型，投放多少架飞机。此问题即机队配置问题。一般在不同的基地机场，由于航空公司服务市场的特点（如航线的长短、需求的大小和旅客类型等）不同、公司维修能力以及航材备件等方面的限制，航空公司在不同的基地机场对投放的机型有限制。如果某机型在一个基地机场投放的飞机过少，该机型的飞机将不能集中投放，造成维修和地面服务成本增加，飞机备件存放和管理困难，因此对同一机型可指定一个最少投放数。根据航空公司市场计划，已知各基地机场的机队承担的总运输量、各基地机场对机型的限制、不同机型的飞机架数以及不同机型飞机在不同基地机场的营运成本，可以确定一个使营运总成本最小的机队配置计划。

四、相关法规

《大型飞机公共航空运输承运人运行合格审定规则》(CCAR-121)要求航空承运人的飞机符合运营要求，其中涉及机队规划内容的条款有：

- 第 121.9 条 飞机的湿租
- 第 121.151 条 飞机的基本要求
- 第 121.153 条 飞机的审定和设备要求
- 第 121.155 条 禁止使用单台发动机飞机
- 第 121.157 条 飞机的航路类型限制
- 第 121.159 条 飞机的运行验证试飞
- 第 121.161 条 应急撤离程序的演示
- 第 121.375 条 飞机的适航性检查
- 第 121.717 条 飞机限制：航路类型
- 第 121.718 条 延程运行型号设计批准依据
- 第 121.375 条 飞机的适航性检查

第二节 机队规划数学模型与算法

一、机队规划影响因素

影响机队规划的因素是复杂的。机队的规模和结构必须和市场需求的规模和结构相适应，市场需求是影响机队规划最重要的因素，它不仅从总量上

影响机队的规模，而且从市场需求的结构上影响各种机型的数量以及结构比例。除了市场因素外，影响航空运输飞机总量和结构的还有其他因素。

本节从影响机队规划的因素、机队规划可靠评价和机队规划优化三方面对机队规划问题进行分析。

1. 航空运输行业内环境因素

行业内环境因素，是指在机队规模不变的情况下，影响“飞机日利用率”的行业内因素，这些因素包括人力资源的保障，特别是与飞行直接相关的空勤人员、机务维修人员、空管人员的技术水平和数量；以及相关的飞机维修能力、航材保障能力、机场服务能力、空中交通管制能力和行业内管理水平等。任何一个保障能力的不足，都会成为提高飞机日利用率的制约因素，从而影响机队的规模和结构。飞机的日利用率提高了，就能向社会、向市场提供更多的运力。

2. 飞机的技术经济因素

技术经济因素是指飞机本身的性能因素，包括飞机的航程适应性、机型的经济性、飞机的航速和最大业载，这些因素对机队规划都有影响。例如，飞机航程适应性应当与航线特点相一致，与市场需求相匹配。飞机的航速和最大业载决定了一架飞机所能提供的最大运能，最终影响机队的规模；飞机

的经济性影响公司的运行成本，因而影响决策者的取舍，最终影响机队结构。

3. 管理因素

管理因素对机队规划的影响表现在两个方面：

(1) 若管理水平较高，则可以降低管理成本，降低盈亏平衡载运率，使航空公司在比较低的载运率水平上也能够盈利。在制订机队规划的时候，可以引进较多的飞机，从而获得较多的优惠，而不至于因为运力过剩影响公司效益，为公司发展积蓄后劲。

(2) 若管理水平较高，还可以在载运率较高时，航空公司不仅自己盈利较好，也能为旅客、货主提供更好的服务。

总之，较高的管理水平会使载运率的有效范围增加，从而为机队决策提供更多的灵活性。

二、机队规划基本数学模型

机队规划问题可抽象为以下的数学模型进行描述。

令 T_i 为第 i 类飞机的利用率；

V_i 为第 i 类飞机的平均航速；

C_i 为第 i 类飞机的小时成本；

z_i 为第 i 类飞机的最大业载；

ZYL_i 为第 i 类飞机的期望载运率；

l_i 为第 i 类飞机的低限载运率；

L_i 为第 i 类飞机的高限载运率；

D_i 为第 i 类飞机需满足的市场需求；

X_i 为第 i 类飞机的架数。

综合以上各种主要影响因素，可以得到机队规划应当满足的基本方程：

$$v_i T_i z_i X Y L_i x_i = D_i \quad (3-1)$$

式中 $v_i T_i$ ——一架第 i 类飞机每天可以提供的运输距离，km；

$v_i T_i z_i$ ——一架第 i 类飞机每天可以提供的最大载运量，t·km；

$v_i T_i z_i Z Y L_i x_i$ ——第 i 类飞机机队的每天期望载运量，t·km。

因此基本方程表达的意思为

某类飞机机队的期望载运量 = 航空公司该类飞机的市场需求

值得注意的是，在基本方程中，计算需求 D_i 的时间区间与 T_i 的时间区间必须相同，同为一日、一周或一年。

在市场份额已经确定、飞机利用率可以估计、航速和最大业载已知的情

况下，对某类飞机的机队规模的规划取决于期望载运率的高低。若期望载运率高，则机队的飞机数量少；反之，则机队的飞机数量多。而期望载运率的可能范围受到上述管理水平因素的制约。作为决策者，应该决定期望载运率的取值。它的取值应该满足以下两个条件：

(1) 期望载运率应该大于盈亏平衡载运率。只有如此，公司才能盈利，得到健康发展。满足这个条件可以有两种政策取向：第一种，要求每种座级的机队在平均水平上盈利；第二种，各种座级的机队在整体上达到盈亏平衡，而个别座级的机队可以亏损。

(2) 期望载运率应该小于载运率的高限。若超过这一高限，则市场需求得不到很好的满足，服务水平下降，这将违背机队规划的基本原则。可以根据公司发展战略决定公司应当满足的市场需求，然后再根据市场需求决定这个高限载运率。

在考虑到以上因素或者条件后，机队的规模和结构还不是唯一的。也就是说，可以有多种机队组合来满足市场需求和期望载运率。因此，可以通过对各种机队组合的经济分析，寻找总运输成本最小的机队组合，即在最经济的水平上实现机队规划的目标，从而最终确定机队的规模和结构。

应用基本方程的经验方法，机队规模决策的经验方法如下：

第一步，评价现有载运率。分析现有机队总运力和完成的总运输量，计算现有载运率，分析它是否合理，是否符合公司发展战略，进而对现有载运率进行必要的调整，确定机队规划的载运率。

$$\text{平均载运率} = \text{总运输量} / \text{总运力} \quad (3-2)$$

第二步，评价现有飞机利用率。对公司运行现状进行经济分析，评估现有机队结构与现有航线结构是否匹配，分析评价现有飞机利用率是否合理。根据公司市场发展战略，包括航线调整和市场目标对现有机队结构作必要的调整，确定机队规划中各机型的分担比例。根据公司发展战略对各机型的飞机利用率进行调整，确定规划期限内的各机型飞机利用率。

第三步，确定机队总运力。根据市场需求增长的预测，确定规划期限内运输总需求，然后根据运输总需求和第一步确定的载运率，应用式(3-2)确定机队总运力(机队规模发展目标)。

第四步，确定各机型飞机架数。根据机队总运力和第二步确定的机型比例，计算各机型运力。然后根据各机型飞机的最大业载、利用率和航速，由机队规划基本方程式(3-1)计算各机型的飞机架数，即

$$\text{飞机架数} = \text{该类机型总运力} / (\text{该类飞机的航速} \times$$

最大业载×利用率)

(3-3)

以下举例说明某新飞航空公司准备为下个五年计划做机队规划，该航空公司现有的飞机机型如表 3-2 所示。

表 3-2 新飞航空公司现有的飞机机型和座级划分

50 座级	100 座级	150 座级	200 座级	250 座级	300 座级
CRJ200		B737-700	B757-200	B767-300	MD11
		B737-800	B757-231		

根据该公司的发展战略，综合考虑航线的长度和市场需求状况，计划未来在规划期限内只采用 100 座级、150 座级和 200 座级的飞机。

由各型飞机的技术数据可以给出各座级飞机的平均航速、最大业载，用航空公司的财务数据计算出各座级飞机的小时成本和盈亏平衡载运率（可用它作为低限载运率）。根据上述第一步和第二步的要求，通过对现有市场和生产数据的分析，发现现有的各型飞机的日利用率、载运率都比较低。根据公司的发展战略及综合专家的意见，对飞机日利用率、高限载运率和各型飞机的分担率作必要的调整。再根据第三步的要求，通过市场调查和市场预测获得 5 年后市场年运输量需求将达到 3.45 亿 t·km，并由各座级飞机的分担率得出各型飞机承担的市场需求。以上这些数据综合后列在表 3-3 中。

表 3-3 机队规划模型参数列表

参数	100 座级	150 座级	200 座级
小时成本 C_i / (元/h)	23 728	30 289	42 021
平均航速 v_i / (km/h)	566	633	664
最大业载 z_i /t	10.3	15.2	23.4
日利用率 T_i /h	7	7.5	7
低限载运率 l_i	0.51	0.5	0.52
高限载运率 L_i	0.74	0.7	0.65
市场需求 D_i /亿 t·km	0.169 6	1.301 82	1.979 04
已有飞机数量 N_i /架	0	5	5

应用式 (3-3) , 按高限载运率计算可得各座级所需飞机架数如下 :

$$100 \text{ 座级飞机架数} = 0.169 6 \times 10^8 / (10.3 \times 566 \times 7 \times 0.74 \times 365) = 1.56 \text{ (架)}$$

$$150 \text{ 座级飞机架数} = 1.301 82 \times 10^8 / (15.2 \times 633 \times 7.5 \times 0.7 \times 365)$$

$$= 7.06 \text{ (架)}$$

$$200 \text{ 座级飞机架数} = 1.979 04 \times 10^8 / (23.4 \times 664 \times 7 \times 0.65 \times 365)$$

$$= 7.67 \text{ (架)}$$

如果按照低限载运率来计算各座级的飞机架数 , 则

$$100 \text{ 座级飞机架数} = 0.169 6 \times 10^8 / (10.3 \times 566 \times 7 \times 0.51 \times 365) = 2.26 \text{ (架)}$$

$$150 \text{ 座级飞机架数} = 1.301 82 \times 10^8 / (15.2 \times 633 \times 7.5 \times 0.5 \times 365)$$

$$= 9.88 \text{ (架)}$$

$$200 \text{ 座级飞机架数} = 1.979 \ 04 \times 10^8 / (23.4 \times 664 \times 7 \times 0.52 \times 365)$$

$$= 9.59 \text{ (架)}$$

实际各座级飞机架数可取以上两个结果的中间某数值，例如取 100 座级飞机 2 架，150 座级和 200 座级飞机各 9 架，此时总成本为 183 376.82 万元。

三、具有约束条件下机队规划数学模型

在基本数学模型基础上，基于不同约束条件还可以构建基于总成本最小的机队规划模型与基于燃油成本最小化的机队规划模型。两者的区别在于前者没有考虑收益问题，而后者追求的是利润最大化。

1. 总成本最小的机队规划模型

式 (3-4) 至式 (3-8) 给出了一种简单的机队宏观规划数学模型。

$$\min C = 365 \sum_{i=1}^K T_i C_i x_i \quad (3-4)$$

$$\text{s.t. } 365 T_i z_i v_i l_i x_i \leq D_i (i=1, 2, \dots, K) \quad (3-5)$$

$$365 T_i z_i v_i L_i x_i \geq D_i (i=1, 2, \dots, K) \quad (3-6)$$

$$365 l \sum_{i=1}^K T_i v_i z_i x_i \leq \sum_{i=1}^K D_i \quad (3-7)$$

$$l = \frac{D}{\sum_{i=1}^K \frac{D_i}{l_i}} \quad (3-8)$$

$$L = \frac{D}{\sum_{i=1}^K \frac{D_i}{L_i}} \quad (3-9)$$

$$(x_i \geq N_i; \quad i=1,2,\dots,K) \quad (3-10)$$

式中 x_i ——第 i 类飞机的架数，取正整数，是决策变量；

N_i ——第 i 类飞机的现有架数；

K ——机型总数；

l 和 L ——平均低限载运率和平均高限载运率。

在上述数学模型中，“365”表示平均每架飞机一年工作 365 天。实际情况下，由于需要停场检修，飞机也许不能出满勤，做规划时应使用飞机平均出勤天数替换“365”。也可以将 $365T_i$ 用飞机年利用率替换。

目标函数式 (3-4) 表示优化的目标是使总成本最小。各约束条件的意思是：式 (3-5) 表示第 i 类机队对应低限载运率的载运量应该不大于该类机型的市场需求量；式 (3-6) 表示第 i 类机队对应高限载运率的载运量应该不小于该类机型的市场需求量；式 (3-7) 表示对应平均低限载运率的总载运量应该不大于市场总需求量；式 (3-8) 表示对应平均高限载运率的总载运量应该不小于市场总需求量；式 (3-9) 表示规划的该类飞机的数量应该不小于该类飞机的现有数量。该约束条件不是所有情况下都需要，在不必要时可以删除。

2. 基于燃油成本最小化的机队规划模型^[1]

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。定义：机型 i 的座位数为 $seat_i$ ，平均月利用率为 fl_i ，航线 j 上最高允许安排的航班量为 F_j ，预计每月能够实现客流量的上限为 $Demand_j$ ；机型 i 在航线 j 上的燃油成本为 $cost_oil_{ij}$ ，航路飞行时间为 $time_block_{ij}$ ，预测载运率为 LF_{ij} ； x_{ij} 为机型 i 在航线 j 上执行航班的数量。航线网络运营燃油成本最少为优化目标，可以构造一个描述航线网络运力优化分配问题的整数规划模型：

$$\min = \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n x_{ij} \times LF_{ij} \times cost_oil_{ij} \quad (3-11)$$

$$\text{s.t.} \sum_{i=1}^m x_{ij} \leq F_j \quad (3-12)$$

$$\sum_{i=1}^m x_{ij} \times Capacity_i \times LF_{ij} \geq Demand_j \quad (3-13)$$

$$x_{ij} \text{ 为整数}, \forall i=1,2,\dots,n; \forall j=1,2,\dots,n \quad (3-14)$$

式 (3-12) 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 (3-13) 表示每条航线上的总客流量不得超过该航线上预计实现客流量，其中 $Capacity_i$ 表示某机型 i 的座位数，式 (3-14) 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实际时间。求解上述模型可以得出最优方案，并根据机型的利用率，可以进一步确定每种机型所需的飞机数量：

$$N_{fleet_i} = \frac{\sum_{j=1}^n x_{ij} \times time_block_{ij}}{fl_i} \text{ (向上取整)} \quad (3-15)$$

四、机队规划的优化

机队规划需要考虑公司的航线网络规划、航班计划、飞行实力等限制因素。此外，旅客流量随着市场、季节等的变化情况是不同的，所以需要分析旅客季节的变化情况，机队优化的结果既要能满足最大月份的客流量，又要在客流量少的时候减少或避免运力的浪费。航空公司机队优化的主要目的是获得更多的利润并使运行成本最小。

1. 优化模型

航空公司和其他商业机构一样，运营的主要目的就是盈利。当公司以追求利润最大化优化配置机队的时候，考虑公司现有的各机型的飞行实力、管制条件下对航班频率的限制因素等，建立利润最大化机队优化配置模型如下：

已知有 n 条航线， m 种候选机型，优化目标为

$$\max \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n x_{ij} \times (cap_i \times LF_{ij} \times P_j - cost_{ij}) \quad (3-16)$$

$$\begin{cases} \sum_{i=1}^m x_{ij} \leq F_j \\ DMIN_j \leq \sum_{i=1}^m x_{ij} \times cap_i \times LF_{ij} \leq DMAX_j \\ \sum_{j=1}^n x_{ij} \times EET_{ij} \leq FH_i \\ x_{ij} \geq 0, \quad \forall i=1,2,\dots,n; \quad \forall j=1,2,\dots,n \end{cases} \quad (3-17)$$

按下式可求出每种机型的计划数量 NUM_i :

$$NUM_i = \frac{\sum_{j=1}^n x_{ij} \times EET_{ij}}{AFH_i} \quad (\text{向上取整})$$

上式中各项的意义如下 :

x_{ij} 为某机型 i 在航线 j 上每月的航班数量, 所建模型的目标函数是使总收益最大。其约束条件为

(1) 某机型 i 的座位数为 cap_i , 平均日利用率为 AFH_i , 可用于机型 i 的飞行实力 FH_i ;

(2) 某航线 j 上每月允许安排的最多航班数量为 F_j , 每月每条航线上的预计最大的客流量为 $DMAX_j$, 最小客流量为 $DMIN_j$;

(3) 某机型 i 在航线 j 上的运行成本为 $cost_{ij}$, 航路飞行时间为 EET_{ij} ;

(4) 某机型 i 在航线 j 上的平均载运率为 LF_{ij} ;

(5) 航线 j 上的平均票价为 P_j 。

约束条件含义为: 在所飞航线 j 上的月航班总量不大于所飞航线 j 上每月允许安排的最多航班数量, 在所飞航线 j 上的月客流总量应在范围 ($DMIN_j$, $DMAX_j$) 内, 机型 i 的每月总飞行时间不大于未来能用于机型 i 的飞行实力。模型求解的结果得到的是, 每种机型的最佳数量 NUM_i 构成以及每种机型在