



2015 湖南省研究生数学建模竞赛参赛承诺书

我们仔细阅读了湖南省研究生数学建模竞赛的竞赛规则。

我们完全明白，在竞赛开始后参赛队员不能以任何方式（包括电话、电子邮件、网上咨询等）与队外的任何人（包括指导教师）研究、讨论与赛题有关的问题。

我们知道，抄袭别人的成果是违反竞赛规则的，如果引用别人的成果或其他公开的资料（包括网上查到的资料），必须按照规定的参考文献的表述方式在正文引用处和参考文献中明确列出。

我们郑重承诺，严格遵守竞赛规则，以保证竞赛的公正、公平性。如有违反竞赛规则的行为，我们将受到严肃处理。

我们授权湖南省研究生数学建模竞赛组委会，可将我们的论文以任何形式进行公开展示（包括进行网上公示，在书籍、期刊和其他媒体进行正式或非正式发表等）。

我们参赛选择的题号是（从组委会提供的试题中选择一项填写）：**B 题**

我们的参赛报名号为（如果组委会设置报名号的话）：**201518001010**

所属学校（请填写完整的全名）：**国防科技大学**

参赛队员（打印并签名）：**1. 牟建红**

2. 石建伟

3. 陈旭

指导教师或指导教师组负责人(打印并签名)：**王丹**

日期：**2015 年 09 月 15 日**

评阅编号（由组委会评阅前进行编号）：

2015 湖南省研究生数学建模竞赛

编号专用页

评阅编号（由组委会评阅前进行编号）：

评阅记录（可供评阅时使用）：

[illegible]

湖南省首届研究生数学建模竞赛

题 目 航班计划设计与优化

摘 要：

本文主要研究航班计划的设计以及优化问题。追求利润最大的同时考虑航班实际的执行准则建立模型，使用 Lingo 软件进行数值求解、Matlab 进行仿真求解。

问题一，根据给定的航班计划，通过航班收入与航班成本的差值得到其利润。然后采用相关系数与多元线性回归相结合的方法，分析影响航空公司总利润的因素，结果表明，全价票价格、机供品和平均折扣率对其影响最大。最后就亏损的航线给出合理有效的意见。

问题二，在满足飞行航线和航空公司运营能力稳定性要求的基础上，确定问题的目标集和约束集，建立航班收入模型，航班成本模型和航班利润模型，利用 Lingo 软件进行求解，最终的航班计划见“航班计划 2.xls”。

问题三，在满足维修地点以及飞机累积飞行时长的限制下，通过两种方案分析为维持问题二中航班计划需要增加的飞机数量以及其调度情况。方案一要求所有飞机维修前累积飞行时间达 130 小时；方案二允许飞机提前维修。结果发现方案一新增飞机数量不小于方案二，但方案二中飞机维修率高；方案一普适性强，方案二通过频繁调度来减少新增飞机数量。

问题四，运用 Matlab 软件模拟航班延误波及的整个过程，计算总的延误时间对航班计划“鲁棒性”进行定量评估。以总延误时间和公司利润为目标函数，以航班顺序以及航班间隔等为约束条件建立规划模型，对航班计划进行“鲁棒性”设计，制定新的最优航班计划。通过 Lingo 软件求解，最终的航班计划见“航班计划 4.xls”。

本文就研究数据的局限性进行分析并规划了下一步的工作重心。

关键字：航班计划、多元线性回归、鲁棒性、延误波及

1 问题重述与分析

1.1 问题重述

民航局规定，航班计划是航空公司运输生产计划的具体实施计划，它规定了飞行的航线、航段、机型、航班号、班次和班期、（起降）时刻等^[1]。一个合理的航班计划应该既有助于航班的安全运行，又能提高飞机的利用率，还可以有效地降低运营及维护成本，提高公司的经济效益。

航空公司运行指挥中心每个月的月末都会对本月各航线、机型的收益情况进行市场分析，然后结合本公司现有的生产资源情况（包括现有可飞航线、不同类型的飞机数量等）编排下一个月的航班计划，在航班计划制定之后需送给机务部门进行飞机排班作业（安排每架飞机执行飞行的航班），机务部门在制定飞机排班计划时主要考虑满足飞机维修的需要，飞机排班计划完成以后形成可执行的航班计划，该计划需下发到飞行总队具体执飞。

已知该公司有两种类型的飞机，A320 飞机 2 架和 E190 飞机 4 架，维修基地设在西安和天津。由于航线（航权）资源是航空公司的稀缺资源，所以制定航班计划时一般不会取消，也不会随意拆分带有经停航点的航线。在航班计划制定时，若本公司飞机数量无法满足现有航线需要，可向专业的飞机租赁公司申请租赁（租金：A320，33 万美金/月架；E190，25 万美金/月架）；反之，若在满足现有航线需要的前提下，本公司尚有一定数量的剩余飞机，则可作为备用飞机在航线发生延误及飞机出现临时故障时使用，或者直接出租给其它航空公司以便获取额外利润。

根据所给航空公司某月各航线单日运行成本及收入明细，在每个航线每日最多安排一个班次的假设前提下，完成了以下工作：

- 1、对航空公司运行航线进行收益分析，并使用相关性分析和主成分分析找出影响收益的主要因素，在此基础上对亏损航线提出整改措施。
- 2、假定现有飞行航线和航空公司的营销能力是稳定的（航线、平均客座率、平均折扣率不变），通过安排合理的航班计划，提高飞机的使用率，使航空公司的收益最大化。
- 3、更贴近实际，考虑满足飞机维修需要，即每架飞机累计飞行 130 个小时就必须在维修基地停场维修一次，每次停场时间为 24 小时。讨论问题 2 中所求航班计划不变的情况下，航空公司至少需要新增加两种类型的飞机各多少架。
- 4、航班计划的“鲁棒性”是指设定一定的时间裕度以便在出现某一航班延误时能够减少对后续航班的影响。根据该定义对问题 2 中的航班计划进行“鲁棒性”评估，并重新制定一个带有“鲁棒性”约束的最优航班计划。

1.2 问题分析

首先对收益的影响因素进行分析，判断各因素影响大小，可以采用多元线性回归，建立回归方程与相关系数计算相结合的方法进行判断。

本题主要研究的是航班计划问题，主要是讨论如何通过合理安排航班的班次和时刻，减少使用飞机的数量，以此来削减支出，提高利润。相对于本月情况，飞机在某一航线

采用的机型一般不会改变，可以假定每条航线单次的收支情况与相关数据可以认为与附件一中的给定数据基本相同。同时其他费用也可以认为是常数。需要优化的就是飞机的排班、起飞时刻、班次与班期安排，通过改变这些方面的安排，减少飞机的总数需求。

考虑维修需求，可以通过对飞机航行时间进行统计，约束每架的飞行时间。这里有两种解决思路：思路一，每架飞机飞行时间为最多时（接近但不超过 130h）进行维修；思路二，飞机维修完毕后替换累计飞行时长最长的飞机，维修次数适当增加但是可以使计划安排更灵活，减少飞机需求。

考虑航空计划“鲁棒性”，在程序中加入航班延误，判断对整体的影响，衡量健壮性，可以通过对于延误影响较大的进行调整（安排备用或者增大转场时间安排）。

2 问题假设

- [1] 航班收支情况基本不变；
- [2] 各航线的航班时刻可以根据需要变动；
- [3] 现有飞行航线和航空公司的营销能力是稳定的（航线、平均客座率、平均折扣率不变）；
- [4] 每个航线每日只安排一个班次的飞机；
- [5] 飞机转场时间相同为 50min；
- [6] 不同类型飞机的累计飞行时长和维修时长相同。

3 符号说明

p_i ：在票价与机型无关的情况下航班 i 的全票价；

p_{iz} ：在航班 i 的全价票的基础上的平均折扣率；

$seat_j$ ：机型 j 的总座位数；

$seat_{ij}$ ：机型 j 执行航班 i 时的客座率；

vc ：航线变动成本；

fc ：航线固定成本；

S ：时空网络中航站的集合，即所有航班的始发机场和目的机场的集合，其元素可以用 s 表示；

$N(s)$ ：航站 s 的时空结点集合， $N(s) = \{1, 2, \dots, n\}$ ，结点按时间排序后，编号依次对应于 $N(s)$ 中的自然数序列， n_s 为 s 航站的最后一个结点编号；

F ：所有航班的集合，它可以由航班时刻表决定，也可以由对应时空网络的所有结

点决定, $|F|$ 则表示航班总数;

$Type$: 飞机机型种类的集合, 包括 A320 和 E190, $|Type|$ 则表示机型总数;

$G_{k,j}^{(s)}$: 航站 s 第 k 个结点事件发生后的机型 j 的地面飞机数量;

$x_{i(s,k),j}$: 若航班 i 由机型 j 执行, 则 $x_{i(s,k),j} = 1$, 否则, $x_{i(s,k),j} = 0$ 。

$i(s,k)$: 航班 $i(s,k)$ 表示航班 i 是由时空网络中的航站 s 和 s 中的第 k 个结点决定的,

航班 $i(s,k)$ 可能为到达航班或出发航班;

y_j : 机型 j 的总的机队飞机数;

y_j^* : 航空公司拥有的机型 j 飞机数;

p_j : 机型 j 的租费;

$a_{i(s,k)}$: 若航班 $i(s,k)$ 为到达航班, $a_{i(s,k)} = 1$; 若航班 $i(s,k)$ 为出发航班, $a_{i(s,k)} = 0$ 。

4 收益影响因素分析 (问题一)

本节主要分析收益的主要影响因素, 根据分析结果提出对于亏损航线的整改措施。在统计学中常见的相关性分析方法有二元变量相关分析、回归分析、主成分分析等, 在实际应用中我们根据具体要求选择相应方法进行数据相关性各指标的定量评价和分析。对于因变量与自变量, 相关分析直接反应彼此的线性相关情况, 相对简单。而多元线性回归方程的系数计算时会考虑方程整体的效果, 变量对变量 (都是指自变量) 也是有影响的。而本题中分析的所有因素中两两之间可能存在相关性; 同时, 主成分分析方法主要是将所有影响因素降维, 借助新的组合变量与原始变量的相关性判断该变量对目标的影响, 这样的判断说服力较差。因此, 本文考虑采用先相关性分析然后再结合回归分析的方法对各航线进行分析, 判断各因素对收益的影响大小。

4.1 相关性分析

相关性分析是指对两个或多个具备相关性的变量元素进行分析, 从而衡量两个变量因素的相关密切程度。

这里我们借助 SPSS 计算皮尔逊相关系数和斯皮尔曼相关系数来分析盈利与其他各变量的相关性, 借此判断变量对盈利是否存在影响。处理结果如下表所示:

表 4-1 Pearson 相关性

	耗油量 (吨)	飞机 座位 数	全价 票价 格	平均 折扣 率	起飞 时间	降落 时间	起飞 时间	降落时 间	飞行小 时	客座 率(%)
相关性	.228	.375**	.471**	.605**	.252	.041	.136	-.572**	.069	.444**
显著性	.104	.006	.000	.000	.072	.773	.507	.002	.628	.001
N	52	52	52	52	52	52	26	26	52	52
	机组人 员工资 (元)	航油 费 (元)	业务 费 (元)	餐食 (元)	机供 品(元)	保险 费等 (元)	航材 消耗 (元)	不正常 航班费 用(元)	航材维 修费 (元)	发动 机维 修费 (元)
相关性	.219	.231	.239	-.120	.466**	.069	-.251	.470**	.488**	.419**
显著性	.118	.099	.088	.398	.000	.628	.073	.000	.000	.002
N	52	52	52	52	52	52	52	52	52	52

*. 在置信度（双测）为 0.05 时，相关性是显著的。

**. 在置信度（双测）为 0.01 时，相关性是显著的。

表 4-2 斯皮尔曼相关系数

	耗油量 (吨)	飞机 座位 数	全价 票价 格	平均 折扣 率	起飞 时间	降落 时间	起飞 时间	降落时 间	飞行小 时	客座 率(%)
相关系 数	.211	.361**	.438**	.542**	.142	.057	.005	-.356	.066	.482**
Sig.	.134	.009	.001	.000	.315	.688	.980	.074	.641	.000
N	52	52	52	52	52	52	26	26	52	52
	机组人 员工资 (元)	航油 费(元)	业务 费(元)	餐食 (元)	机供 品(元)	保险 费等 (元)	航材 消耗 (元)	不正常 航班费 用(元)	航材维 修费 (元)	发动 机维 修费 (元)
相关系 数	.164	.212	.242	-.183	.452**	.066	-.096	.524**	.519**	.431**
Sig.	.245	.131	.083	.194	.001	.642	.498	.000	.000	.001
N	52	52	52	52	52	52	52	52	52	52

*. 在置信度（双测）为 0.05 时，相关性是显著的。

**. 在置信度（双测）为 0.01 时，相关性是显著的。

其中 N 表示数据量，Sig 表示显著性水平，小于 0.05 的表示显著相关。

由相关性分析可知各元素相关性较大的为：飞机座位数、全价票价格、平均折扣率、机供品、不正常航班费用、航材维修费、发动机维修费。但整体相关程度都并不高，均低于 0.6。

4.2 多元线性回归预测方法

一元线性回归是一个主要影响因素作为自变量来解释因变量的变化，在现实问题研究中，因变量的变化往往受几个重要因素的影响，此时就需要用两个或两个以上的影响

因素作为自变量来解释因变量的变化，这就是多元回归亦称多重回归。当多个自变量与因变量之间是线性关系时，所进行的回归分析就是多元性回归。

借助 SPSS 将除利润以外所有元素作为自变量，利润作为因变量进行多元线性回归分析可得：

表4-3 相关程度

模型	R	R 方	调整 R 方	Std. Error of the Estimate
1	.994 ^a	.989	.972	6511.6773304403 31000

R 是相关系数；R 方是相关系数的平方又称判定系数，判定线性回归的拟合程度：用来说明用自变量觉解释因变量变异的程度（所占比例）；Adjusted R Square 调整后的判定系数；Std. Error of the Estimate 为估计标准误差。

表4-4 方差分析

模型	平方和	df	均方	F	Sig.
回归	37041661434 .948	15	2469444095. 663	58.239	.000 ^b
1 残差	424019416.5 58	10	42401941.65 6		
总计	37465680851 .506	25			

Sig 值是 t 统计量对应的概率值，所以 t 和 Sig 两者是等效的，看 Sig 就够了。Sig 值要求小于给定的显著性水平，一般是 0.05/0.01 等，Sig 越接近于 0 越好；R 方衡量方程拟合优度，R 方越大越好，一般地，大于 0.8 说明方程对样本点的拟合效果很好，0.5-0.8 之间也可以接受。时间序列的话，R 方很容易达到很大，如果是截面数据，R 方的要求没那么严格。但要注意的是 R 方统计量不是检验的统计量，只衡量显著性；F 是检验方程显著性的统计量，是平均的回归平方和与平均剩余平方和之比，越大越好。

如果 sig 值介于 0.01-0.05 之间，则为差异显著；如果小于 0.01，则差异极显著。

系数标准化是因为各个自变量以及因变量的单位统一，是结果更精确，减少因为单位不同而造成误差。T 值表示是对回归稀疏的 t 检验的显著性，绝对值越大，sig 值越小，sig 代表 t 检验的显著性，在统计学上，sig<0.05 一般被认为是系数检验显著，显著地意思就是回归系数的绝对值显著大于零，表明自变量可以有效预测因变量的变异。

由表 4-3 可知，相关系数为 0.994，拟合程度较好；由表 4-4 可知，F=58.239，显著性概率为 0.000，表明回归极显著。由表 4-5 可知，因素中影响较大的为：全价票价格，平均折扣率，机供品，客座率，航油费。

据此，可以认为影响最大的因素为全价票价格，其次为平均折扣率，机供品。

表4-5 系数

模型	非标准化系数		标准系数	t	Sig.
	B	标准 误差	Beta		
(常量)	11957.056	84279.797		.142	.890
飞机座位数	1142.540	584.983	-1.028	-1.953	.079
全价票价格	53.964	6.855	.728	7.872	.000
平均折扣率	1120.998	229.187	.266	4.891	.001
起飞时间	2.310	1.414	.756	1.633	.133
降落时间	-3.557	3.954	-1.166	-.900	.389
起飞时间	1.411	3.996	.459	.353	.731
降落时间	-.146	.158	-.069	-.925	.377
飞行小时	-51703.56	27460.90	-.535	-1.883	.089
客座率(%)	1115.899	491.166	.318	2.272	.046
机组人员工资(元)	-.137	2.559	-.005	-.053	.959
航油费(元)	-2.421	.913	-.545	-2.652	.024
起降及非航空性业务费(元)	1.660	4.524	.149	.367	.721
餐食(元)	-.413	3.536	-.008	-.117	.909
机供品(元)	170.929	55.889	.997	3.058	.012
发动机维修费(元)	37.676	29.315	.840	1.285	.228

4.3 结果分析与建议

综合相关性分析和多元线性回归，我们认为**全价票价格、机供品和平均折扣率**是主要影响因素。全价票价格和平均折扣率作为航空公司的收入，需要被尽可能地提高，而机供品作为支出将尽可能减少，从而达到增长公司利润的效果。

5 航线利润模型（问题二）

5.1 问题分析

分析题目可知，规划的目的是提高收益，而单个航线中的收支情况基本不变，需要优化的就是飞机的班次和飞行时刻^[2]。这里基于飞机飞行状况的一些必然约束，对于航班整个营运过程中所涉及的资金流转进行整体分析，建立基本收支模型。根据收支模型选取最优飞行计划。

5.1.1 航班计划收入

航班计划收入模型较为常见，这里我们根据旅客人数和平均票价两个参数做航班收入最大化分析^[3]。

令航空公司收入为 r ，则航班计划收入模型如下：

$$r = \sum_{i \in F} \sum_{j \in Type} (p_i \times p_{iz} \times seat_j \times seat_{ij} \times x_{ij}) \quad (5.1)$$

5.1.2 航班计划成本

航班成本分为变动成本和固定成本。变动成本是直接和航班运行有关的费用，主要包括：航油费、起降及非航空性业务费、餐食费、机供品、保险费-旅客责任险、不正常航班费用。固定成本是指不与旅客运输有关的、必定要发生的费用，主要包括：机组工作人员工资、航材消耗、航材维修费、发动机维修费。

其变动成本如表 5-1 所示。

表5-1 变动成本

成本分类	成本项目	数学符号
变动成本	航油费	vc_1
	起降及非航空业务费	vc_2
	餐食费	vc_3
	机供品	vc_4
	保险费-旅客责任险	vc_5
	不正常航班费用	vc_6

其固定成本如表 5-2 所示。

表5-2 固定成本

成本分类	成本项目	数学符号
固定成本	机组工作人员工资	fc_1
	航材消耗	fc_2
	航材维修费	fc_3
	发动机维修费	fc_4

令航空公司总成本为 c ，变动成本为 vc ，固定成本为 fc 。在本题中，由于航空公司需要租赁一定数目的飞机，需要租费成本 rc 。则航班计划成本模型如下：

$$c = vc + fc + rc,$$

$$\text{其中, } vc = \sum_{i=1}^n vc_i, \quad fc = \sum_{k=1}^m fc_k, \quad rc = \sum_{j \in Type} p_j \times (y_j - y_j^*) \quad (5.2)$$

5.1.3 航班计划利润

以利润最大化为目标建立模型。这里，我们采用总收入减去总成本的方式。令利润为 z ，则航班计划利润模型为

$$\max \quad z = r - c \quad (5.3)$$

将式 (5.1) 和式 (5.2) 代入式 (5.3)，可以得到目标函数为：

$$\max \quad z = \sum_{i \in F} \sum_{j \in Type} (p_i \times p_{iz} \times seat_j \times seat_{ij} \times x_{ij}) - \sum_{i=1}^n vc_i - \sum_{k=1}^m fc_k - \sum_{j \in Type} p_j \times (y_j - y_j^*) \quad (5.4)$$

可以看出，式 (5.4) 追求的是净利润最大化。

5.2 约束分析

对于航班计划，其约束条件为：

(1) 航班覆盖约束^[4]，即规定每个航班只能由一种机型执行，因此有 $|F|$ 个约束条件，约束条件形式化表示为：

$$\sum_{j \in Type} x_{ij} = 1, \quad \forall i \in F \quad (5.5)$$

(2) 飞机流平衡约束^[5]，即指每个结点上，对于每一种机型，原有飞机数+到达飞机数=出发飞机数+留下飞机数。约束条件形式化表示为：

$$\begin{cases} G_{k-1,j}^{(s)} + a_{i(s,k)} x_{i(s,k)j} = G_{k,j}^{(s)}, \quad \forall j, \quad k = 2, \dots, n_s, \\ G_{n_s,j}^{(s)} + a_{i(s,1)} x_{i(s,1)j} = G_{1,j}^{(s)}, \quad \forall j \in Type \end{cases} \quad (5.6)$$

(3) 机队飞机数量的限制，即指各个机场时间线上最后一个结点后的同一种机型飞机数量之和（即相同类型的环绕弧表示的飞机数量之和）就是该机型的飞机数量总数。约束条件形式化表示为：

$$\sum_{s \in S} G_{n_s,j}^{(s)} \leq y_j, \quad \forall j \in Type \quad (5.7)$$

(4) 客座率约束。航班计划中每个航班的客座率不能超过 100%。即运力安排合理，能运送航线上的旅客。实际执行航班时，如果发生超售行为，航班的客座率确实可能略超过 100%，但也仅仅利用可能富余的机组座位。在做航班计划编排时，航班客座率参数不能超过 100%，即 $seat_{ij} \leq 100\%$ 。

5.3 模型建立

综上，航班计划利润模型为：

$$\max z = \sum_{i \in F} \sum_{j \in Type} (p_i \times p_{iz} \times seat_j \times seat_{ij} \times x_{ij}) - \sum_{i=1}^n vc_i - \sum_{k=1}^m fc_k - \sum_{j \in Type} p_j \times (y_j - y_j^*) \quad (5.8)$$

s.t.

$$\sum_{j \in Type} x_{ij} = 1, \quad \forall i \in F \quad (5.9)$$

$$\begin{cases} G_{k-1,j}^{(s)} + a_{i(s,k)} x_{i(s,k)j} = G_{k,j}^{(s)}, \quad \forall j, k = 2, \dots, n_s, \\ G_{n_s,j}^{(s)} + a_{i(s,1)} x_{i(s,1)j} = G_{1,j}^{(s)}, \quad \forall j \in Type \end{cases} \quad (5.6)$$

$$\sum_{s \in S} G_{n_s,j}^{(s)} \leq y_j, \quad \forall j \in Type \quad (5.11)$$

$$y_j \in N, \quad \forall j \in Type。$$

5.4 模型求解

西安和天津两个空港之间没有实质性的联系，即没有单独的航线连接两者，同时航线对机型有严格要求。从假设中得出每条航线的利润是不变的，增加公司总利润的唯一方式就是提高飞机的利用率，即使飞机尽可能多地执行航行任务。据此，可以得出航空公司每天的利润为：

$$W = \sum_{i \in L} w_i + Q_b - Q_l \quad (5.12)$$

其中， w_i 为航线 i 的利润， L 为航线集， Q_b 为出借飞机的盈利额， Q_l 为租用飞机的费用。

根据利润模型，使用 Lingo 软件进行规划求解得出西安和天津分别需要的 A320 和 E190 数量见表 5-3。

表5-3 飞机数量分配表

	A320	E190
西安	3	2
天津	4	5

将相应数据带入公式 (5.12) 得航空公司一天内盈利为：1294310 元。

根据确定的最少的航班数量安排最优的航班时刻表，见“航班计划 2.xls”。

5.5 模型评价

(1) 模型约束性较强，要求航线、平均客座率以及平均折扣率保持不变，虽简化了问题，但从一定程度上脱离了实际情况；

(2) 在严格的约束条件下, Lingo 软件可解出全局最优解, 能有效地避免局部最优的误区。

6 航线利润模型 (问题三)

6.1 问题分析

为使航空公司收益最大化, 新的航班计划将提高飞机的使用率, 没有空闲的飞机以供备用, 在此情况下得到了问题二中的航班计划。如果实际考虑飞机的维修需求, 又要使航空公司正常运营, 处于维修状态的飞机的预期航班执行任务只能由新增飞机完成。

根据飞机的累积飞行时间、维修时长以及航线上的执行耗时, 标示出飞机在时间轴上的维修节点, 并根据相邻维修节点之间的时间差和飞机维修时长之间的大小关系确定增加飞机的架次。在确定维修节点时, 必须保证此时飞机在起点机场 (西安或天津)。

6.2 模型建立

当飞机维修的策略不同时, 确定新增飞机的方法不同。当飞机累积飞行时间必须尽可能达到 130 小时时采用方案一; 反之, 如果在满足维修条件的情况下可以提前进行维修则采用方案二。

6.2.1 累计时间必须接近 130h (方案一)

设置一个变量 m 代表要增加的该类型的飞机数量, 设其初始值为 0。

每个飞机尽可能的飞满 130 个小时, 然后在各个需要维修的点上分析可以用于维修的飞机数量的增加问题, 其规律为:

若 $n > m$, 则 m 加 1; 若 $n \leq m$, 则 m 不变。

其中,

$$\begin{aligned} n &= \max n^* \\ \text{s.t. } x_i - x_{i-n^*} &< 24, n^* \in N \end{aligned}$$

即在时间长轴上与 x_i 距离小于 24 小时的维修点数为 n ;

其中,

$$\begin{aligned} k &= \min k^* \\ \text{s.t. } x_i - x_{i-k^*} &\geq 24, k \in N \end{aligned}$$

即在时间长轴上与 x_i 距离不小于 24 小时但是最近的维修点处对应的 m 值。

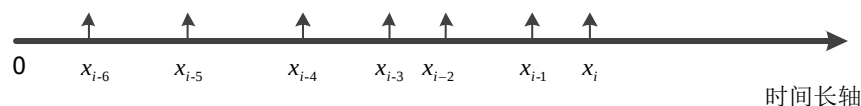


图 6-1 方案一时间轴

方案一的流程图如下所示：

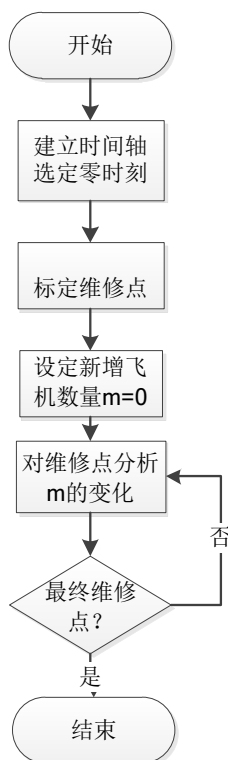


图 6-2 方案一流程图

具体步骤为：

第一步：建立一个月的时间轴，在所有飞机的初始飞行时刻中选定一个最早的时刻作为长轴的零时刻，即此时所有飞机的累计飞行时间均为零；

第二步：按照各个飞机的航班计划进行飞行，将飞机的各个维修点（即飞行时刻到达 130 小时，或者飞行时刻不足 130 个小时，但是继续飞行不足在 130 小时以内到达西安或者天津的航班降落时间）在时间轴上标识出来；

第三步：设置一个变量 m 代表要增加的该类型的飞机数量，设其初始值为 0。然后，对维修点逐次进行检查；

第四步：检查步骤为：在第一个维修点上， m 加 1；对于第二个维修点，如果在时间轴上与第一个维修点距离小于 24 个小时，那么 m 加 1，否则， m 不变，下面依次进行。

6.2.2 累计时间不必接近 130h（方案二）

不保证每个飞机飞满 130 小时，提前对飞机进行维修，从而可以解决多个飞机飞行时间同时达到 130 小时而需要多加飞机进行维修的问题，其规律为：

设 $f_{i,j}$ 表示第 j 架 i 类型的飞机的累计飞行时间，并且每次维修后初始化为零开始计

数。对于一种类型的飞机，即 i 一致的情况，首先在第一个维修点处开始增加飞机进行维修，则 m 值加 1；24 小时结束后，原有飞机维修完毕，此时选择第 k 架飞机，满足 $k: f_{i,k} = \max f_{i,j}, j \in N$ ，即选择此刻飞行时刻最长的飞机进行维修。然后依次进行循环。

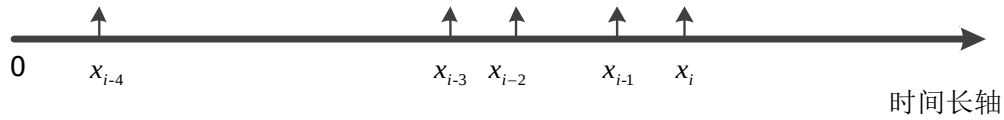


图 6-3 方案二时间轴

对方案二的流程图如下所示：

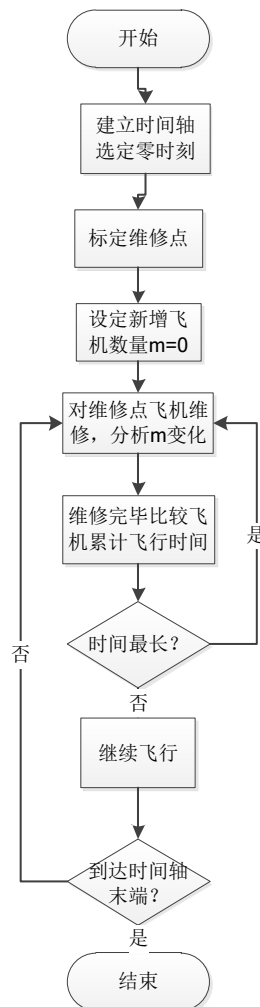


图 6-4 方案二流程图

其具体步骤与第一种思路类似，只是在第四步时，不再考虑维修点问题，当飞机维修完毕后，对执行飞行任务的飞机进行飞行时间计算，找到飞行时间最多的飞机，并且对之进行维护，依次循环。

6.3 模型结果

根据飞机的累积飞行时间、维修时长和维修地点，航线上的飞行时长，以及执行航

班的完整性等限制，确定不同机型维修点在时间轴上的分布，如附录 A 所示。

6.3.1 方案一

当飞机的累积飞行时间必须尽可能达到 130 小时才能进行维修时，新增 3 架 A320 和 2 架 E190，且其替换的对象和替换时刻分布如附录 B 所示。

6.3.2 方案二

当飞机可以提前进行维修时，新增 3 架 A320 和 1 架 E190，对应的调度流程如附录 C 所示。

6.4 模型评价

对于这两种思路，可以轻易地看出：第一种思路充分保证了飞机飞行时间，降低了其维修次数，对所有的航班计划都适合；第二种思路通过减少飞机的飞行时间，增大其维修次数来减少维修飞机的数量，但有一定的缺陷：维修点比较紧密，间距小于 24 小时的情况选下，会漏掉维修点，从而导致飞机维修晚点，因此适用于维修点分布不紧密或者只有少量几个点密集的情况，是第一种思路的特殊情况。同时两者的使用前提不同，方案一存在累计飞行时间达标的硬性要求。

7 航班计划鲁棒性评估（问题四之一）

7.1 问题分析

实际航班并非严格按预定计划执行，总会出现因天气或航空管制等原因导致的起降时间上的延迟，从而导致航班的延误。初始延误航班必将会直接或间接地影响到后续航班，后续航班又以同样的方式影响其他航班，这就导致了航班延误的波及。延误波及包括两个方面：执行连续航班的飞机在前一次航行中晚点到达，导致后续航班起飞延误；因航班调度原因导致延误航班的起飞或降落机场中其他航班发生延迟^[6]。将此类级联失效的航班数量作为航班计划“鲁棒性”的重要指标对其进行评价。

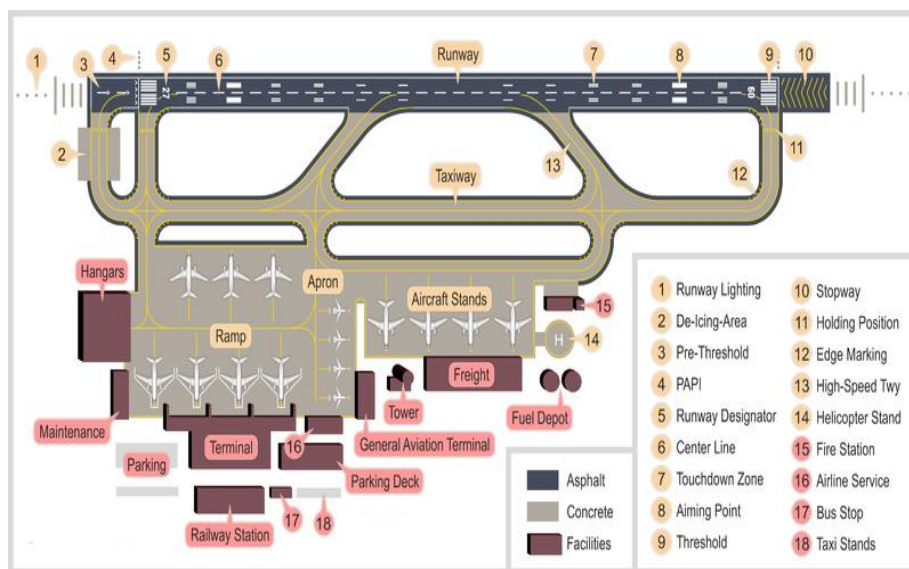


图 7-1 机场组分和布局

航班延误的波及情况因处理措施不同而存在差异，处理措施视故障而定，即航班在不同情况下发生故障导致的延误程度不同。

根据图 7-1 所示机场布局，航班可能发生故障导致延误的时刻有：

(1) 航班在起飞时间之前（关闭舱门之前）出现故障引起延误。对航班进行的维修时间持续到时刻表起飞时间之后，这段时间内其他航班按航班时刻表正常运行，故障航班推出停机位在停机坪进行维修。如故障可修复，待故障排除后，将起飞安排在前后两个航班之间的间隔。此时延误主要影响的是执行本次航班的飞机的后续航行计划，还有少部分因为航班插队起飞受影响的本机场其他航班。如故障不可修复，导致该飞机短时间内无法使用，航空公司将取消该航班。

(2) 航班在推出停机位后，驶入主滑行道并在主滑行道等待的过程中发现故障。需要将故障航班就近驶出主滑行道并通过辅助滑行道到达提供维修服务的维修坪。整个过程不仅可能与需要滑行到主滑行道的航班发生冲突，还可能与降落滑至停机坪的航班抢道。

(3) 航班在跑道头排队等待使用跑道期间出现故障。航班正常进入跑道，并在最近的快速脱离道进入主滑行道，再返回维修坪。此过程有可能影响到其他航班的离港或进港滑行。

(4) 航班在跑道上起飞滑行的过程中出现故障。对此类航班处理取决于发现故障时航班的速度，若在当时速度下制动也未能让航班停在跑道上，航班很有可能滑出跑道，则让航班完成起飞后立刻返航；反之则进行“刹车”制动，让航班停在跑道上并迅速通过脱离道撤离跑道，在停机坪上进行维修。

航班的延误不可能无限制地蔓延下去，产生的延误量会被航班的松弛时间所吸收，从而逐渐恢复航班执行计划。文献[1]明确规定**松弛时间**为航班实际过站时间与计划过站时间之间的空闲时差，一般规定为 15 分钟。

7.2 模型假设

实际单机故障导致的航班延误过程复杂，变量繁多，不同情况下的处理措施不同，在抓住重点问题的基础上，对模型进行假设：

(1) 航班在起飞时间之后发生的故障都是可以修复的，因为在航班起飞时间之前

的一个小时内，维修人员已经对飞机进行过全面细致的检查。

(2) 将上述航班可能发生故障的情况分为两类，即发生在滑行道和跑道上的故障。故障发生在滑行道上时，航班在 5 分钟内即可退出滑行道；故障发生在跑道上需要返航时，成功返航并退出跑道的时间为 20 分钟。

(3) 航班故障不会影响到航班的滑行、短时间起飞，满足故障航班也能马上起飞返航的要求。且除故障航班和相应的波及航班外，其余航班按航班时刻表正常运行。

(4) 飞机在跑道上滑行起飞和滑行降落的时间相同，为 3 分钟；飞机从登机口经滑行道抵达跑道头等待区域的时间相同，为 17 分钟。并且航班在滑行道上发生故障退出滑行道的整个过程仅导致其他航班延迟 5 分钟。

(5) 航班进入跑道发生故障，达到一定的速度才需要完成起飞并返航，但此速度没有统一的标准，故假设此类故障航班都将完成起飞并返航。飞机故障维修过程中，旅客不会下机，且准备插队起飞时仅延误其他航班 5 分钟。

(6) 航班取消后，其后续航班将使用其他空闲飞机执行，并不影响航班时刻表上的起降时间。

(7) 在跑道上的延误对降落航班并无影响，因为跑道在这段时间内是分配给故障航班使用；假设滑行道上延误对航班的降落并无影响。

7.3 模型建立

根据分析，建立如图 7-2 所示的模型流程图。

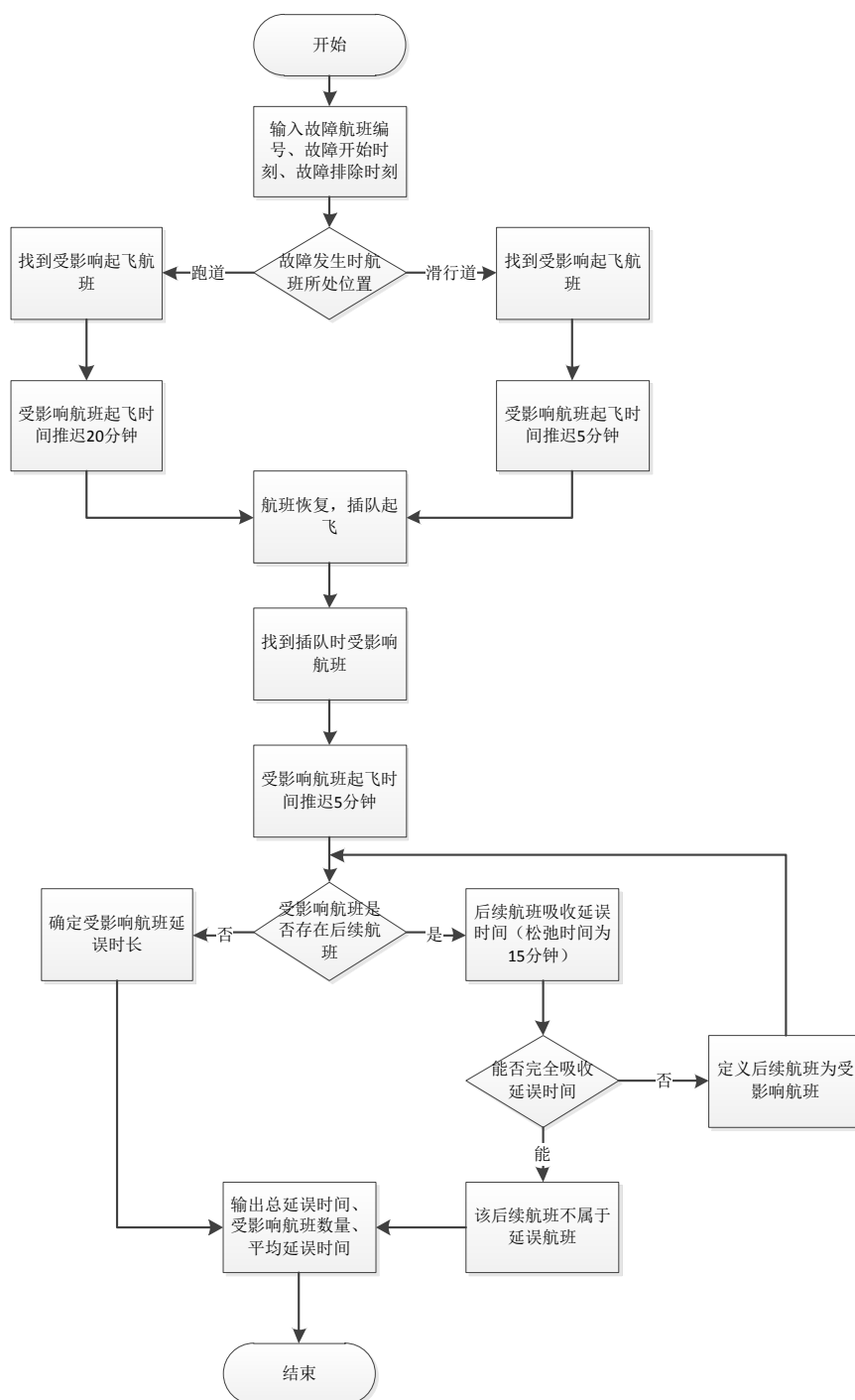


图 7-2 单机延误模型流程图

Step 1 判断故障发生时飞机所处位置，如为滑行道，则转向 step2；如为跑道，则转向 step3；

Step 2 同机场且起飞时间在故障发生和故障航班退出滑行道之间的所有航班推迟 5 分钟起飞；

Step 3 同机场且起飞时间在故障发生和航班完成起飞并返航之间的所有航班推迟 20 分钟起飞；

Step 4 航班故障排除恢复起飞时，在故障航班完成起飞的过程中所有同机场航班推迟 5 分钟起飞；

Step 5 判断所有初始延误航班是否为连续航班，并计算延误的吸收情况。

7.4 结果分析

松弛时间为突发事件的处置留出了一定的时间空闲，并起着吸收延误的作用。附件 2 提供的数据中 55%的延误时间在 15min 以内，即 55%的航班延误都可以通过松弛时间吸收，并不会影响其他航班，不会发生延误波及。剩余 45%的航班才是度量整个航班计划“鲁棒性”的关键所在。

表 7-1 航班延误统计表

延误/min	[0,15]	(15,60]	>60
比例	55%	30%	15%

表中数据表明实际发生延误时长在 (15,60]的航班数量占总数量的 30%，大于 60min 的占 15%，为从整体上考虑航班计划的“鲁棒性”，假设 30%的航班的延误时长为 37.5min, 15%的航班的延误时长为 60min，分别计算所有航班发生此两类延误波及到的航班的总数，并求其加权和，以作为整体航班计划“鲁棒性”的定量依据。结果显示“鲁棒性”指标数值为 5。

8 鲁棒性设计模型（问题四之二）

8.1 问题分析

前一问是对已有的计划进行鲁棒性评价，那么进行鲁棒性设计时，需要将之前的求解方法反向运用，即将评价结果作为一个未知数，求其在满足约束条件的基础上的最优，进而实现对航班计划的鲁棒性设计。

8.1.1 目标分析

目标一：航线利润最大

航线公司进行鲁棒性设计的目的就是解决可能造成的不正常航期费用，从而减少成本，保证公司的最大利润，但是由于这是在第二步航班计划的基础上进行鲁棒性设计，并且是对航班时刻进行鲁棒性设计，那么可以通过改变航班之间的间隔时间从而实现原有利润最大。

可以表示为：

$$\max z = \sum_{i \in F} \sum_{j \in Type} (p_i \times p_{iz} \times seat_j \times seat_{ij} \times x_{ij}) - \sum_{i=1}^n vc_i - \sum_{k=1}^m fc_k - \sum_{j \in Type} p_j \times (y_j - y_j^*) \quad (8.1)$$

目标二：鲁棒性设计

鲁棒性设计可以在四个方面进行^[7]，即：航班时刻的鲁棒性、机型指派的鲁棒性、飞机路线的鲁棒性、机组排班的鲁棒性。这里，我们采用航班时刻的鲁棒性，就是通过调整航班时刻，增加各个航班之间的时间裕度，从而减低飞机延误的可能性。此时，要造成的效果是可能延误的总时间减少，那么鲁棒性约束最优可以表示为：

$$\min z = \sum_{m \in M} \sum P_{f_0}^m \times A_{f_0, f}^m, \quad f_0 \in F, f \in T_{f_0}^m \quad (8.2)$$

其中,

F : 所有航班的集合;

M : 延误时间的集合, 是一个离散数的集合;

f_0 : 根航班, 即首先发生延误的航班;

$T_{f_0}^m$: f_0 延误 m 分钟时, 所有受影响的下流的航班;

$P_{f_0}^m$: 航班 f_0 在 m 分钟内发生延误的概率;

$A_{f_0, f}^m$: 因为 f_0 航班 m 分钟的延误而造成的航班 f 的延误时间。

8.1.2 约束分析

【约束一】: 航班先后关系不变

航班时刻鲁棒性设计只是改变航班之间的时刻间隔, 并不改变航班之间的先后关系。

$$Y_{f_1, f_2}^*, Y_{f_1, f_2} \geq 0 \quad (8.3)$$

其中,

Y_{f_1, f_2} : 原计划中 f_1 航班与 f_2 航班的时间间隔;

Y_{f_1, f_2}^* : 新计划中 f_1 航班与 f_2 航班的时间间隔。

【约束二】: 新航班计划中航班间隔约束

航班间隔约束的变化是有规则的, 即: 新计划中航班之间的时间间隔 Y_{f_1, f_2}^* 等于原先的间隔时间 Y_{f_1, f_2} 基础上减去航班 f_1 的推迟出发时间, 加上 f_2 航班的推迟出发时间。

$$Y_{f_1, f_2}^* = Y_{f_1, f_2} - \Delta f_1 + \Delta f_2 \quad (8.4)$$

其中,

Δf : 航班 f 出发时间的变化量, 为正代表时间推迟, 为负代表时间提前。

【约束三】: 传播延误约束

根航班发生延误时, 会对后续的航班造成一定的传播延误, 并且其数值等于延误时间减去时间间隔。

并且对于任何一个航班, 其传播延误也与其上游的航班以及之间的时间间隔有关。

$$A_{f_0, f}^m \geq m - Y_{f_0, f}^* \quad (8.5)$$

$$A_{f_0, f}^m \geq A_{f_0, P_{f_0}^m(f)}^m - Y_{P_{f_0}^m(f), f}^* \quad (8.6)$$

$$A_{f_0, f}^m \geq 0 \quad (8.7)$$

其中,

$P_{f_0}^m(f)$: 在 $T_{f_0}^m$ 中航班 f 的上一个航班。

8.2 模型的建立

基于模型的分析，以式 (8.2) 作为目标函数，式 (8.3) ... (8.7) 作为约束条件，此外，由于第一个目标与第二问相比并没有做改动，这里就不在重复描写，得到模型：

$$\begin{aligned} \min z &= \sum_{m \in M} \sum_{f_0} P_{f_0}^m \times A_{f_0, f}^m, \quad f_0 \in F, f \in T_{f_0}^m \\ \text{s.t.} \quad & Y_{f_1, f_2}^*, Y_{f_1, f_2} \geq 0 \\ & Y_{f_1, f_2}^* = Y_{f_1, f_2} - \Delta f_1 + \Delta f_2 \\ & A_{f_0, f}^m \geq m - Y_{f_0, f}^* \\ & A_{f_0, f}^m \geq A_{f_0, P_{f_0}^m(f)}^m - Y_{P_{f_0}^m(f), f}^* \\ & A_{f_0, f}^m \geq 0. \end{aligned}$$

8.3 模型求解

本模型是在问题二模型的基础上增加了“鲁棒性”约束，其优化求解的思路和方法并没有改变。使用 Lingo 软件求解出前序航班延误特定时长导致后续航班延误时间的最小值，并根据该最小值对航班计划进行重新编排，得到结果见“航班计划 4.xls”。

8.4 模型评价

对此问题求解而建立的模型，在精确度上来讲，能够精准的表达鲁棒性约束的强弱，即通过比较延误时间的长短；但是在显示结果方面，只是得出了新航班计划中各个航班之间的时间间隔，要想得到新的航班计划还需要进行一定量的处理工作。

9 进一步讨论

航班计划的编排包括市场分析与预测、航班频率与时刻的确定和机组编排。文章只提供了一天的航班执行记录，没有足够的历史数据对航班市场进行预测，大量数据信息缺失。在航班频率和时刻的确定过程中，缺乏飞机执行一次航班的计划时长，只能将一次实际执行时长作为下一个月的计划时长，导致重新编排的计划合理性较差。在机组编排的过程中，大量航线对机型并没有唯一要求，从而增加了计划编排的灵活性，所得的航班计划给航空公司带来的收益也趋于最优。

针对上述分析和文中特定假设的局限性，我们下一步的工作主要集中在：

- (1) 在获得大量历史执行纪律的前提下，对航班乘客数量、航班全价票价以及折

扣率等对公司利润影响较大的因素进行预测，从而扩大最优航班计划的解空间，获得更优解。

- (2) 不同型号飞机的累计飞行时长不同，维修时间不同，维修地点的多样性，都是下一步计划编排需要实际考虑的因素。
- (3) 从多个方面着手研究航班计划的“鲁棒性”，包括航班时刻的鲁棒性、机型指派的鲁棒性、飞机路线的鲁棒性以及机组排班的鲁棒性。

10 参考文献

- [1] 江群, 王春. 民航基础知识应用[M]. 北京: 国防工业出版社, 2011.8: 115-129.
- [2] 上官雪民. 航班计划的模拟与优化研究[D]. 复旦大学, 2008.
- [3] 罗俊. 航班计划短期调整的因素分析[D]. 华南理工大学, 2012.
- [4] 徐进. 航空公司航班计划的优化方法研究[D]. 南京航空航天大学, 2007.
- [5] 都业富. 实用航班计划优化方法[J]. 系统工程理论与实践, 1995:23-27.
- [6] 王峰, 马寿峰, 贺国光. 航班时刻表优化模型的研究[J]. 系统工程学报, 1996:50-56.
- [7] 何敏. 航班计划的鲁棒性设计[D]. 南京航空航天大学, 2012.

11 附录

附录 A 故障时间轴

A320

天数	11	11	12	12	15	16	20
时刻	14:00	23:55	18:25	23:45	18:20	22:15	18:00
飞机编号	1	2	3	4	5	6	7
所属机场	天津	西安	西安	天津	天津	西安	天津
天数	23	23	25	25	31		
时刻	14:00	23:55	18:25	23:45	18:20		
飞机编号	1	2	3	4	5		
所属机场	天津	西安	西安	天津	天津		

E190

天数	13	14	15	16	19	19	21
时刻	11:25	18:30	22:00	23:20	21:00	22:00	11:45
飞机编号	1	2	3	4	5	6	7
所属机场	西安	天津	天津	天津	天津	西安	天津

天数	27	29	31	
时刻	11:25	18:30	22:00	
飞机编号	1	2	3	
所属机场	西安	天津	天津	

附录 B 方案一调度情况

A320

天数	11	11	12	12	15	16	20
时刻	14:00	23:55	18:25	23:45	18:20	22:15	18:00
增加飞机编号	新 1	新 2	旧 1	新 3	旧 2	旧 3	旧 4
替换飞机编号	旧 1	2 旧	旧 3	旧 4	旧 5	旧 6	旧 7
天数	22	22	24	24	30		
时刻	14:00	23:55	18:25	23:45	18:20		
增加飞机编号	旧 5	旧 6	旧 7	新 1	新 2		
替换飞机编号	新 1	新 2	旧 1	新 3	旧 2		

E190

天数	13	14	15	16	19	19	21
时刻	11:25	18:30	22:00	23:20	21:00	22:00	11:45
增加飞机编号	新 1	旧 1	旧 2	旧 3	旧 4	新 2	旧 5
替换飞机编号	旧 1	旧 2	旧 3	旧 4	旧 5	旧 6	旧 7
天数	26	28	30				
时刻	11:25	18:30	22:00				
增加飞机编号	旧 6	旧 7	旧 1				
替换飞机编号	新 1	旧 1	旧 2				

附录 C 方案二调度情况

A320

天数	11	11	12	12	13	13	14
时刻	14:00	23:55	18:25	23:45	18:20	22:15	18:00
增加飞机编号	新 1	新 2	旧 1	新 3	旧 2	旧 3	旧 4
替换飞机编号	旧 1	旧 2	旧 3	旧 4	旧 5	旧 6	旧 7
天数	15	15	16	16	17	17	18
时刻	14:00	23:55	18:25	23:45	18:20	22:15	18:00
增加飞机编号	旧 5	旧 6	旧 7	新 1	新 2	旧 1	新 3
替换飞机编号	新 1	新 2	旧 1	新 3	旧 2	旧 3	旧 4
天数	19	19	20	20	21	21	22
时刻	14:00	23:55	18:25	23:45	18:20	22:15	18:00
增加飞机编号	旧 2	旧 3	旧 4	旧 5	旧 6	旧 7	新 1
替换飞机编号	旧 5	旧 6	旧 7	新 1	新 2	旧 1	新 3
天数	23	23	24	24	25	25	26
时刻	14:00	23:55	18:25	23:45	18:20	22:15	18:00
增加飞机编号	新 2	旧 1	新 3	旧 2	旧 3	旧 4	旧 5
替换飞机编号	旧 2	旧 3	旧 4	旧 5	旧 6	旧 7	新 1
天数	27	27	28	28	29	29	30
时刻	14:00	23:55	18:25	23:45	18:20	22:15	18:00
增加飞机编号	旧 6	旧 7	新 1	新 2	旧 1	新 3	旧 2
替换飞机编号	新 2	旧 1	新 3	旧 2	旧 3	旧 4	旧 5

E190

天数	13	14	15	16	18	19	21
时刻	11:25	18:30	22:00	23:20	21:00	22:00	11:45
增加飞机编号	新 1	旧 1	旧 2	旧 3	旧 4	旧 5	旧 6
替换飞机编号	旧 1	旧 2	旧 3	旧 4	旧 5	旧 6	旧 7
天数	23	24	25				
时刻	11:25	18:30	22:00				
增加飞机编号	旧 7	新 1	旧 1				
替换飞机编号	新 1	旧 1	旧 2				

附录 D 计算机源程序

(Matlab 2014b)

```
function [xiandata1]=arrangement( )
load xiandata.mat;%按飞机来安排时间
for i=1:size(xiandata,1)
    if xiandata(i,3)<=53
        xiandata(i,7)=1;
    end
    if xiandata(i,3)>53&&xiandata(i,3)<=90
        xiandata(i,7)=2;
    end
end
end
```

```

%西安，同一机型 A320, 具体要看流量
icounter1=1;
icounter2=1;
timegap=60;
for i=1:2:size(xiandata,1)%只有奇数
    if xiandata(i,3)<106&&xiandata(i+1,3)<106
        xiandata_106(icounter1)=xiandata(i,2);
        icounter1=icounter1+1;%将整个数据项传给
    end
    if xiandata(i,3)>106||xiandata(i+1,3)>106
        xiandata_180(icounter2)=xiandata(i,2);
        icounter2=icounter2+1;
    end
end
time=zeros(10,1);
k=0;
counter=0;
kcounter=0;
b=0;
sort_xian=sort(xiandata_106);%只让奇数航班进行排序，一起算出偶数航班的时刻表
bflag=size(sort_xian,2);
for j=1:size(xiandata_106,2)
    if k~=bflag
        A=find(xiandata(:,2)==sort_xian(1));
        a=A(1);
        if counter>0&&xiandata(b,8)<xiandata(b-1,8)
            xiandata(a,8)=xiandata(b,9)+timegap;
        else
            xiandata(a,8)=7*60+45;%7:45
        end
        xiandata(a,9)=xiandata(a,8)+xiandata(a,2)*60+timegap*(xiandata(a,6)-1);
        xiandata(a+1,8)=xiandata(a,9)+timegap;
        xiandata(a+1,9)=xiandata(a+1,8)+xiandata(a+1,2)*60+timegap*(xiandata(a,6)-1);
        b=a+1;
        % k=1;
        %循环一个航班
        kcounter=kcounter+1;
        k=k+1;
        counter=counter+1;%统计飞机架次
        xiandata(a,10)=counter;
    end
    for i=2:size(sort_xian,2)
        A=find(xiandata(:,2)==sort_xian(i));%有可能出现两个相同的
        a=A(1);
        xiandata(a,8)=xiandata(b,9)+timegap;
    end
end

```

```

xiandata(a,9)=xiandata(a,8)+xiandata(a,2)*60+timegap*(xiandata(a,6)-1);
xiandata(a+1,8)=xiandata(a,9)+timegap;
xiandata(a+1,9)=xiandata(a+1,8)+xiandata(a+1,2)*60+timegap*(xiandata(a,6)-1);
k=k+1;
xiandata(a,10)=counter;
if xiandata(a,9)>=1440%去的时候就大于24小时了
    % bb=b;
    xiandata(a,8)=0;
    xiandata(a,9)=0;
    xiandata(a+1,8)=0;
    xiandata(a+1,9)=0;
    k=k-1;
    %b=a;
    %还没有分配机型的航班mark
    % kcounter=kcounter+1;
    break;%超过的怎么处理?尽量执行来回航班
end
if xiandata(a,9)<1440&&xiandata(a+1,9)>1440
    xiandata(a+1,8)=7*60+45;

xiandata(a+1,9)=xiandata(a+1,8)+xiandata(a+1,2)*60+timegap*(xiandata(a+1,6)-1);
    xiandata(a,10)=counter;
    %还没有分配机型的航班mark
    b=a+1;
    kcounter=kcounter+1;
    break;%超过的怎么处理?尽量执行来回航班
end
kcounter=kcounter+1;
b=a+1;
end
sort_xian(1:kcounter)=[];
kcounter=0;
end
xiandatal=xiandata;
end
for i=1:2:size(xiandata,1)
    if xiandata(i,10)~=0

time(xiandata(i,10),1)=time(xiandata(i,10),1)+xiandata(i,2)+xiandata(i+1,2);
        end
    end
save xiandatal;
end

```