

# 航班智能调整决策

## 课题背景

自 2002 年 8 月 29 日四川航空股份有限公司（以下简称“川航”）成立以来，除成都总部，已设有重庆分公司、云南分公司，哈尔滨、北京、杭州、西安、三亚、天津、乌鲁木齐、西昌等运行基地，并且开通温哥华、墨尔本、悉尼、莫斯科、迪拜、东京、大阪、新加坡、布拉格、洛杉矶、奥克兰、圣彼得堡、苏黎世等国际航线。在为大量旅客服务的同时，也面临着很多挑战。但是在夏季雷雨、大雾等极端天气对多基地运行造成影响的情况下，都有可能导致相关机场出现大面积航班延误的情况。为保障航班运行安全正点有序，签派员需要实时监控航班动态，对延误、机故等突发情况及时处理和调整计划。

川航目前使用人工决策的方式来进行航班调整，但是对于涉及到多基地运行、可能导致的大面积延误等情况，仅依靠人工方式不能满足对现场运行高效性、准确性的要求。基于此，川航提出“航班智能调整决策”的研究，预期目标是：实现系统自动根据后续可能延误的航班情况推荐出优化调整方案的核心算法。具体要求是：当遇到航班大面积延误时，该算法能够在满足多种实际约束条件的前提下，自动对航班进行识别，并快速给出最优的航班调整替换方案，从而使得航班计划快速恢复、减少航班延误、提高航班正常率，使旅客有更好的出行体验，并提升公司的整体效益。

## 1. 赛题介绍

已知川航未来四天内的全部航班计划，假设航班当天 8:00-10:00 成都双流机场（AIRPORT\_57）大雾，期间所有计划起飞的航班无法正常起飞与降落，使得 8:00-10:00 成都所有出港航班与进港航班都延误 2 小时。10 点机场恢复起飞后，航班因流控原因将顺延，导致相关飞机执行的后续航班有较大延误风险。在此情况下，根据航班运行中各种约束条件，对航班运行情况进行调整，使得后续航班的延误情况得以缓解，将航班运行情况受到的影响降到最低（使目标函数值达到最小）。

### 1.1 调整方法

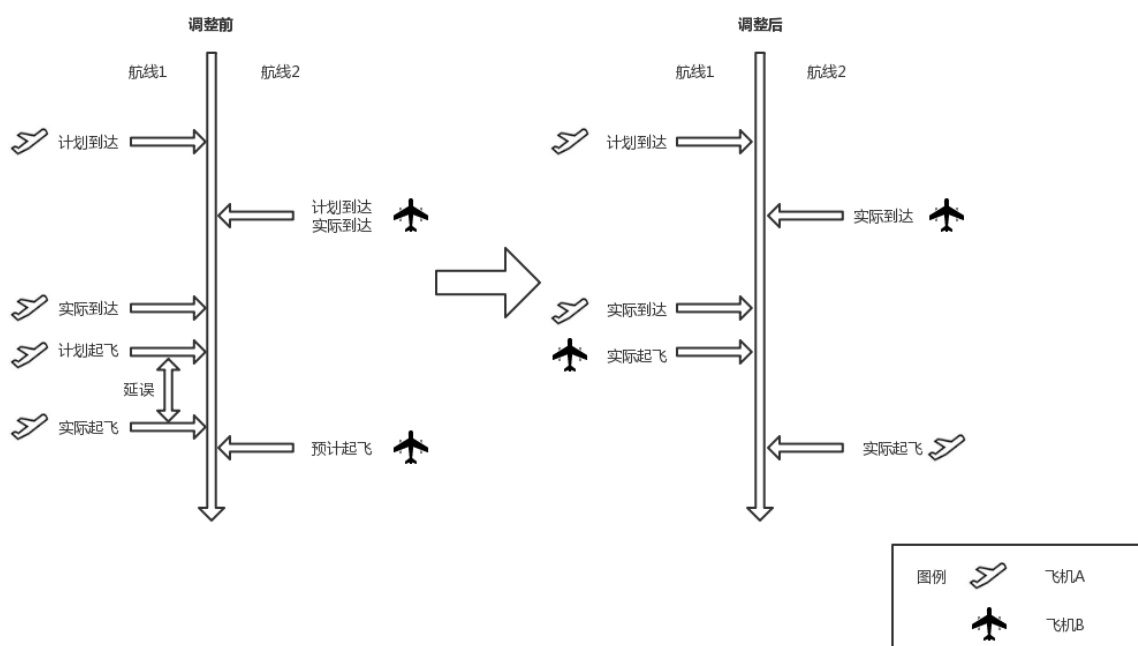
通过以下几种方法，可以对原始航班计划进行调整，从而提高航班正常率、减少航班延误、提升旅客的体验等，使得新的航班计划更加合理，实现公司的整体运营目标。

#### （一）识别空闲运力

当某个航班发生延误时，可以寻找所在基地的空闲运力（没有执勤任务的飞机）来对后续航班进行运载，从而使后续航班不受之前延误航班的影响。

## （二）调整飞机

如下图所示，飞机 A 与飞机 B 当前的目的机场相同，由于天气或某些其它原因，飞机 A 未能在计划到达时间到达目的机场，而实际到达时间与计划起飞时间的时间间隔小于过站时间限制（有些情况下甚至晚于计划起飞时间），如不进行航线调整，飞机 A 的后续航班都将会依次延误。而飞机 B 没有发生延误，实际到达时间即计划到达时间。因此，将飞机 A 与飞机 B 到达同一目的机场后的后续飞行计划进行交换后，两个航班都可以满足过站时间的要求，从而减小由于飞机 A 的延误而导致后续航班被延误的风险。



## （三）航班时刻延误

在无法保证调整后航班都正常的情况下，航班的飞行计划可以延误（航班不允许提前起飞），以保证后续航班的正常运行以及整个航班计划更加合理。但是延误时间不能超过最大延误时间，否则取消航班。

## （四）航班取消

如果航班无法完成调整或是预计延误超过最大延误时间的情况下，可以取消该次航班，但会在目标函数中增加调整成本。

## （五）旅客签转

在航班取消、发生机型改变等导致旅客流失的情况下，为了减少损失，提升旅客用户体验，可以将旅客签转至其他航班，但要满足该航班的座位数限制，并且接受签转旅客的航班不能再次签转旅客至其他航班（避免有旅客可能被签转多次的情况）。

### 1.2 约束条件

在对航线进行调整时，调整后的航线计划应满足如下表的约束条件：

约束条件	性质
航站衔接约束	硬约束
座位数约束	软约束
过站时间约束	软约束
机场机型约束	硬约束
航线机型约束	硬约束
延伸跨水约束	硬约束
驻站约束	软约束
机场关闭约束	硬约束
取消航班数约束	硬约束

注：硬约束是必须满足的约束条件，软约束不是必须满足的约束，但是应当尽量满足，否则将会在目标函数中增加调整成本。

#### （一）航站衔接约束

在航班计划调整之后，两个航线必须满足前一个航班的降落机场与下一个航班的起飞机场相同。

#### （二）座位数约束

调换后飞机的座位数应当大于调换前飞机的旅客数。如果不满足，则对剩余的旅客进行签转或是取消，在目标函数中会增加调整成本。

#### （三）过站时间约束

计划过站时间的计算方法为：

$$\text{计划过站时间} = \text{计划离港时间} - \text{计划到达时间}$$

计划过站时间可以低于各机场的最低过站时间限制，根据低于的时间长短产生会在目标函数中增加调整成本。但是，计划过站时间不能低于各机场最低过站时间 1/3 以上，并且当天过站时间调整的航班数量不超过当天航班总数的 5%。

#### （四）机场机型约束

某些机场对从该机场起飞与降落至该机场的飞机的机型有特殊要求。

#### （五）航线机型约束

执行某些特定航线的飞机的机型有特殊要求。

#### （六）延伸跨水约束

某些机型不能执行包含延伸跨水的航线。

#### （七）驻站约束

每架飞机在当天最后一班航班到站后的地点为该飞机当天的驻站，要求每架飞机的驻站不发生变化，如果发生变化则在目标函数中增加调整成本。

#### （八）机场开放时间约束

各航班的起飞、降落时间应该分别在起飞与降落机场的开放时间内。

#### （九）取消航班数约束

航班调整计划中，当天取消航班总数量不超过当天航班总数的 10%。

### 1.3 目标函数

目标函数是航班调整计划的优化目标，代表了整个航班调整的方向，同时也是最终对各个队伍提交方案的评价标准。目标函数的计算规则如下：

目标函数值= $P1 \times \text{取消航班数} + P2 \times \text{延误航班数} + P3 \times \text{更换驻地数量} + P4 \times \text{更换机型数量} + P5 \times \text{总延误时间} + P6 \times \text{取消旅客人数} + P7 \times \text{延误旅客人数} + P8 \times \text{签转旅客人数} + P9 \times \text{总过站时间缩短时长}$

其中参数 P1-P9 为目标函数中各个影响因素的权重。参数设置如下：

P1（取消航班参数）=1800

P2（延误航班参数）=1200

P3（更换驻地参数）=2000

P4（调整机型参数）（初始参数 300）

调整机型参数与机型调整的具体情况有关，最终的参数为初始参数\*机型调整系数，如：某条航线的初始机型为 TYPE\_A，调整后为 TYPE\_C，则调整机型参数应为  $300 \times 2 = 600$ 。

初始机型 调整后机型	TYPE_A	TYPE_B	TYPE_C	TYPE_D
TYPE_A	0	1	2	3
TYPE_B	1	0	1.5	2.5
TYPE_C	2	1.5	0	2
TYPE_D	3	2.5	2	0

P5（总延误时间参数）=30

P6（旅客取消参数）=6

P7（延误旅客参数）

旅客行程延误参数采用阶梯方式，根据不同延误时间段选取不同延误分值，详见下表：

航班延误时间（小时）	延误旅客系数
(0,1]	1
(1,2]	1.5
(2,4]	2
(4,12]	3
(12,24]	5
大于 24	直接取消

P8（签转旅客参数）

旅客签转延误参数根据签转延误的时间时长，选择不同调整成本系数，详见下表：

签转延误时间段（小时）	签转延误成本系数 (分段线性函数)
[0,3)	$1/60 \times \text{延误时间}$
[3,6)	$1/48 \times \text{延误时间}$
[6,12)	$1/36 \times \text{延误时间}$
[12,24)	$1/24 \times \text{延误时间}$
[24,48)	$1/12 \times \text{延误时间}$
大于 48	直接取消

P9（过站时间参数）=1200

注：由于各个航班的重要性各有不同，因此在计算目标函数值的时候，将根据不同航班的“重要系数”对目标函数进行校正。例如，重要系数为3的航班，统计其取消航班数、延误航班数、更换驻地数量、更换机型数量、总延误时间、取消旅客人数、延误旅客人数、签转旅客人数、总过站时间缩短时长等，按照3倍统计。

目标函数具体计算方式详见下面例子：

例如，原来有100个航班（其中5个航班的重要系数=2，其他航班的重要系数=1），重新排班后，调整情况如下（如不做提醒则视重要系数为1）：

1) 3个航班延误（其中1个航班旅客数100延误2小时，1个航班旅客数150延误4小时，1个重要系数为2旅客数为120的航班延误1小时）。

2) 4个航班取消（其中包含1个重要系数=2的航班），其中重要系数=2的航班150人改签到一班未受影响的航班（改签延误8h），另外10名乘客取消。其余3班航班共350名乘客取消。

3) 1个重要系数为2的航班由原来的机型A换成了机型C，2个重要系数为1的航班分别由原来的机型A换成了机型C、由原来的机型B换成了机型D。

4) 3架飞机的驻地发生改变。

5) 2架飞机的过站时间违反了机场的最低过站时间限制，分别低于最低限制1/6小时、1/4小时。

目标函数值：

$$=1800 \times (2 \times 1 + 1 \times 3) + 1200 \times (2 \times 1 + 1 \times 2) + 2000 \times 3 + (2 \times 2 + 1 \times 2 + 2.5 \times 1) \times 300 + 30 \times (1 \times 2 + 1 \times 4 + 2 \times 1) + 6 \times (2 \times 10 + 1 \times 350) + (1 \times 1.5 \times 100 + 1 \times 2 \times 150 + 2 \times 1 \times 120) + 2 \times (1/60 \times 3 + 1/48 \times 3 + 1/36 \times 2) \times 150 + (1/6 + 1/4) \times 1200 = 26050.42$$

## 2. 数据说明

### （一）航班信息表

航班 ID	航班日期	航班号	起飞机场	降落机场	计划起飞时间	计划降落时间	飞机 ID	机型	旅客数	座位数	重要系数
102319657	2018-02-28 00:00:00	3U8531	AIRPORT_57	AIRPORT_268	2018-02-28 08:00:00	2018-02-28 10:05:00	AC_91	TYPE_C	184	194	2
102328827	2018-02-28 00:00:00	3U8633	AIRPORT_50	AIRPORT_171	2018-02-28 08:00:00	2018-02-28 11:00:00	AC_77	TYPE_A	125	132	1

航班信息表描述了航班的基本情况。如第一条数据，表明 ID 为 102319657 的航班的日期为 2018/2/28，航班号为 3U8531，在当天 08:00 在 AIRPORT\_57 机场起飞，于当日 10:05 在 AIRPORT\_268 机场降落，执行该航班的飞机 ID 为 AC\_91，该飞机机型为 TYPE\_C，承运旅客数为 184，座位数（最大承载量）为 194，重要系数为 2。

### （二）基地空闲运力表

日期	飞机 ID	机型	驻留机场	座位数
2018-02-28	AC_71	TYPE_B	AIRPORT_57	164
2018-02-28	AC_110	TYPE_B	AIRPORT_57	164

基地空闲运力表描述了各个基地（驻留机场）的空闲运力情况。如第一条数据，代表在 2018/2/28 日，飞机 ID 为 AC\_71 的飞机为驻留在 AIRPORT\_57 机场的空闲运力，该飞机的机型为 TYPE\_B，座位数为 164。

### （三）过站时间表

机场 ID	TYPE_A	TYPE_B	TYPE_C	TYPE_D
AIRPORT_297	60	60	60	120
AIRPORT_308	60	60	60	120

过站时间表描述了各个机场对各种机型飞机的最低过站时间限制。如第一条数据，代表 AIRPORT\_297 机场对机型为 TYPE\_A、TYPE\_B、TYPE\_C 的飞机的最低过站时间限制为 60 分钟，对机型为 TYPE\_D 的飞机的最低过站时间限制为 120 分钟。

### （四）机场机型约束表

机场 ID	TYPE_A	TYPE_B	TYPE_C	TYPE_D
AIRPORT_308	0	0	0	1
AIRPORT_34	0	0	0	1

机场机型约束表描述了各个机场对起飞与降落在该机场的机型限制，1 代表该机型允许在该机场起降，0 代表该机型不允许在该机场起降。如第一条数据，

代表机型为 TYPE\_D 的飞机可以在 AIRPORT\_308 机场起飞和降落, 机型为 TYPE\_A、TYPE\_B、TYPE\_C 的飞机不允许在 AIRPORT\_308 机场起飞和降落。

（五）航线机型约束表

起飞机场	降落机场	TYPE_A	TYPE_B	TYPE_C	TYPE_D
AIRPORT_50	AIRPORT_41	0	1	1	0
AIRPORT_41	AIRPORT_50	0	1	1	0

航线机型约束表描述了各个航线对飞机机型的约束情况。如第一条数据，代表执行从 AIRPORT\_50 到 AIRPORT\_41 航线任务的飞机，机型可以是 TYPE\_B、TYPE\_C，而 TYPE\_A、TYPE\_D 机型的飞机不能执行该航线的飞行任务。

（六）延伸跨水约束

（1）不执行跨水任务飞机表

不执行跨水飞机	不执行跨水飞机机型
AC_37	TYPE_B
AC_29	TYPE_A

不执行跨水任务飞机表描述了不能执行延伸跨水任务的飞机及其对应的机型。如第一条数据，代表机型为 TYPE\_B 的 AC\_37 飞机不能执行含延伸跨水任务的航线。

（2）含跨水任务航线表

起飞机场	降落机场
AIRPORT_107	AIRPORT_68
AIRPORT_68	AIRPORT_107

含跨水任务航线表描述了含有延伸跨水任务的航线。如第一条数据，代表从 AIRPORT\_107 到 AIRPORT\_68 航线包含了延伸跨水任务。

（七）机场开放时间表

机场 ID	开放时刻	关闭时刻
AIRPORT_314	06:00	23:30
AIRPORT_235	04:00	20:00

机场开放时间表描述了机场对飞机起飞与降落时间的限制情况。如：表中第一条数据代表从 AIRPORT\_314 机场起飞降落的飞机必须在 06:00 到 23:30 之间，其余时间禁止飞机起飞降落。

3. 评价标准



平台根据参赛者提交的结果文件，计算目标函数值。根据目标函数值升序进行排名，并最终评选出两位优胜者。注意：由于实际运行的需要，参赛者程序的最大计算时间为 30 分钟，但是实际的计算时间不加入评分标准中（只要运行时间小于等于 30 分钟都是符合要求的，对比赛结果没有影响）。

#### 4. 提交结果文件格式

提交结果文件应包括：

（1）航班调整结果的 csv 文件。CSV 文件名为选手昵称+下划线+目标函数值（保留两位小数）+下划线+计算时间（分钟，保留一位小数），例如选手“XXX”的成绩是 26050.42，计算时间 8.2 分钟，那么文件名就是“XXX\_26050.42\_8.2.csv”。CSV 文件包含的表应至少包括如下的表：

航班 ID	日期	航班号	起飞机场	降落机场	计划起飞时间	计划降落时间	飞机 ID	机组 ID	机型	旅客数	座位数	重要系数
-------	----	-----	------	------	--------	--------	-------	-------	----	-----	-----	------

取消航班数	延误航班数	更换驻地数量	更换机型数量	总延误时间	取消旅客人数	延误旅客人数	签转旅客人数	过站时间缩短时长
-------	-------	--------	--------	-------	--------	--------	--------	----------

（2）目标函数值。参赛者应当提供与航班调整结果对应的目标函数值以供平台参考与评价。

（3）源代码以及技术文档。参赛者应提供程序的源代码以及技术文档以供平台对结果的正确性进行验证。