**飞行员训练排班问题描述**

**吕志鹏**

**华中科技大学智慧计算与优化实验室，湖北武汉，430074**

目录

[1 引言 1](#_Toc435817167)

[2 背景描述 2](#_Toc435817168)

[3 关键要素 3](#_Toc435817169)

[3.1 年度飞行时长 3](#_Toc435817170)

[3.2 训练科目 3](#_Toc435817171)

[3.3 训练排班 3](#_Toc435817172)

[3.3.1 年度排班 4](#_Toc435817173)

[3.3.2 月度排班 4](#_Toc435817174)

[3.3.3 飞行日排班 4](#_Toc435817175)

[3.3.4 动态调整 5](#_Toc435817176)

[4 约束 6](#_Toc435817177)

[4.1 硬约束 6](#_Toc435817178)

[4.1.1 个人最小总训练时长 6](#_Toc435817179)

[4.1.2 科目训练时间互斥 6](#_Toc435817180)

[4.1.3 科目覆盖 6](#_Toc435817181)

[4.1.4 科目最小训练次数 6](#_Toc435817182)

[4.1.5 科目最小训练时长 6](#_Toc435817183)

[4.1.6 科目训练时段 6](#_Toc435817184)

[4.1.7 最大训练强度 6](#_Toc435817185)

[4.1.8 科目先后继关系 6](#_Toc435817186)

[4.1.9 最大同时训练人数 6](#_Toc435817187)

[4.1.10 战术科目训练时间固定 6](#_Toc435817188)

[4.2 软约束 7](#_Toc435817189)

[4.2.1 全员全周期总飞行时长 7](#_Toc435817190)

[5 输入 8](#_Toc435817191)

[5.1 时间信息 8](#_Toc435817192)

[5.1.1 排班周期 8](#_Toc435817193)

[5.1.2 总飞行时长 8](#_Toc435817194)

[5.1.3 战术科目训练时间 8](#_Toc435817195)

[5.1.4 飞行日训练起止时间 8](#_Toc435817196)

[5.2 科目信息 8](#_Toc435817197)

[5.2.1 科目标识符 8](#_Toc435817198)

[5.2.2 训练时段 8](#_Toc435817199)

[5.2.3 最小训练次数 9](#_Toc435817200)

[5.2.4 最小训练时长 9](#_Toc435817201)

[5.2.5 最大训练强度 9](#_Toc435817202)

[5.2.6 先导科目 9](#_Toc435817203)

[5.3 资源信息 9](#_Toc435817204)

[5.3.1 全局最大同时训练人数 9](#_Toc435817205)

[5.3.2 共享资源科目组 9](#_Toc435817206)

[5.4 人员信息 10](#_Toc435817207)

[5.4.1 人员类别 10](#_Toc435817208)

[5.4.2 个人信息 10](#_Toc435817209)

[5.5 计划变更信息 10](#_Toc435817210)

[5.5.1 受影响人员 11](#_Toc435817211)

[5.5.2 受影响科目 11](#_Toc435817212)

[5.5.3 实际训练时间 11](#_Toc435817213)

[6 输出 12](#_Toc435817214)

[6.1 解决方案 12](#_Toc435817215)

[6.2 统计信息 12](#_Toc435817216)

[6.2.1 年度排班概览 12](#_Toc435817217)

[6.2.2 月度排班概览 12](#_Toc435817218)

[6.2.3 飞行进度 12](#_Toc435817219)

[7 待确定问题备忘 13](#_Toc435817220)

[7.1 双座教练机的飞行时间只能算在一个人身上 13](#_Toc435817221)

[7.2 排科目的顺序 13](#_Toc435817222)

[7.3 战术科目训练的时间 13](#_Toc435817223)

[7.4 总飞行时长 13](#_Toc435817224)

[7.5 计划变更及恢复策略 13](#_Toc435817225)

[7.6 飞行日训练时间安排 13](#_Toc435817226)

# 引言

飞行员训练排班主要研究了在给定的时间范围内 （通常时间跨度为一年），在考虑相关多种约束条件下，为飞行员安排飞行训练计划并在实际执行过程中动态适应调整计划的问题。安排飞行员训练计划通常需要达到两个目的：1 培养新飞行员；2 保持飞行员已掌握的技术。科学的训练排班有利于保持飞行员的飞行训练节奏，能够同时兼顾多种需要考虑的因素，保证实现预定的训练任务。由于该问题受到多种资源约束的限制，如飞机、空域等，需要考虑的因素较多，包括年度训练任务、战术训练等，使得高效地求解该问题、找到科学的训练计划成为一个高难度的挑战。目前成型的解决方案是由专门负责安排飞行员训练排班计划的人员根据自身的专家经验手工求解，这种方式的优点是利用了安排计划的专家对具体场景中飞行训练计划的深入了解和成熟的具体操作经验，并且在实际执行过程中，能够根据训练完成情况和其它相关外界因素做出及时灵活的调整。但由于该问题的复杂度和不确定性，手工安排飞行训练计划需要消耗排班人员大量的精力和时间。因此，为了解放排班人员，同时更加高效地安排训练计划，需要设计智能的算法，通过计算机来求解该问题。

# 背景描述

飞行员训练排班问题主要考虑了最大化利用训练资源，为飞行员安排科学的飞行训练计划。主要的训练资源包括以下六种：

1. 飞行员 （包括教员），指挥员：飞行员具有不同的资质等级，如新飞行员和成熟飞行员，组织飞行训练是为了将一名新飞行员培养成一名成熟的飞行员，并且保持其已掌握的技术。此外，安排训练计划时受到飞行员训练强度的约束。
2. 飞机：包括单座和双座两类。飞机数量是有限的，并且连续飞行若干天后飞机需要维修，这些因素都制约了训练计划的安排。
3. 天气：不可控的外界因素，对实际执行训练计划影响较大，使得该问题具有不确定性和动态性。需要考虑不同的飞行员抵御恶劣天气的能力不同，同时需要培养飞行员在不同天气条件下的飞行能力。
4. 场道、后勤保障。
5. 加油、靶场、炮弹等。
6. 空域。

安排训练计划的主要调度时间单位是飞行日，具体的训练指标包括：（1）飞行时间；（2）飞行质量；（3）飞行进度；（4）飞行安全。在安排和执行训练计划时需要综合考虑上述训练资源和训练指标。

# 关键要素

## 年度飞行时长

年度飞行时长是全体飞行员的全年飞行训练时间长度，通常以小时为单位。具体落实到每一名飞行员时，细分为每一名飞行员的年度飞行时长，不同飞行员的年度飞行时长不一样，且是已知给定的。训练指标之一的飞行时间即为达到预定的年度飞行时长任务。实际操作中，以每个飞行日的实际飞行时间为准记录。对于同一次训练同一架飞机配有一名飞行员和一名教员的情况，飞行时间只能算到飞行员或教员一人身上。

## 训练科目

飞行员的训练内容由训练科目决定，每个科目有规定的训练次数和时间长度，不同科目的训练时长不同。科目训练通常由简及难、由昼及夜，且不同的科目间存在着先后继关系。不同飞行员的训练科目不同，原则上完成一个科目训练后再进行另一个科目的训练，便于管理评估。例如图3.1所示，共有六个训练科目：S1，S2，S3，S4，S5和S6，科目训练的先后继关系体现在必须完成S1，S2和S3后才能进行S4或S5的训练；同理，必须完成S4和S5后才能进行S6的训练。

S1

S2

S3

S4

S5

S6

图3.1 训练科目

## 训练排班

通常以若干个飞行员组成的小组或单个飞行员为基本单位安排飞行训练计划，总体目标是完成每个飞行员的年度训练时长，通过规定的训练科目。具体训练计划包括飞行员一年的飞行日安排、每一个飞行日训练科目具体时间安排，即确定每一名飞行员在整个周期中的每一天是否训练，如训练所安排的科目以及相应的训练时间。为方便阐述问题，暂将其分为三层决策过程：年度排班、月度排班、飞行日排班。

### 年度排班

年度排班主要考虑了安排飞行员一年中每一月的科目训练计划，即每一名飞行员在某一月需要训练的科目及相应的训练次数。

输入：飞行员一年需要训练的科目，每个科目总的训练次数

输出：飞行员一年每月需要训练的科目及相应的训练次数

硬约束：安排飞行员给定的所有训练科目，保证科目前后继关系

软约束：一年每一月的训练任务强度平衡 (如每个月的训练时长均衡)

以一名飞行员为例，表3.1给出了该飞行员一年中每月的训练计划。由表可知，该飞行员在1月需要进行12次S1训练，2月进行15次S2训练，3月进行5次S2训练和10次S3训练。

表3.1 年度排班

|  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
|  | 1月 | 2月 | 3月 | …… | 10月 | 11月 | 12月 |
| S1 | 12 | 0 | 0 |  | 0 | 0 | 0 |
| S2 | 0 | 15 | 5 |  | 0 | 0 | 0 |
| S3 | 0 | 0 | 10 |  | 0 | 0 | 0 |
| …… |  |  |  |  |  |  |  |
| S6 | 0 | 0 | 0 |  | 0 | 10 | 15 |

### 月度排班

月度排班主要考虑了安排飞行员每一月的飞行日，即当年度排班完成后，已知每一月需要训练的科目和相应次数，为飞行员分配这一个月的飞行日。

输入：飞行员一个月需要训练的科目及次数

输出：飞行员一个月的飞行日安排

硬约束：给定次数的所有的训练科目都需安排训练

软约束：平衡飞行员的训练和休息 (如一周3-6个飞行日)

表3.2给出了年度飞行日安排，其中，如1.1表示的是日期，即1月1日，如A表示的是一名飞行员。由表可知，1月1日，飞行员A将在进行1次S1训练，飞行员B休息，飞行员C将进行一次S2训练。

表3.2 月度排班

|  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
|  | 1.1 | 1.2 | 1.3 | …… | 1.29 | 1.30 | 1.31 |
| A | S1 | S1 | S1 |  |  | S1 | S1 |
| B |  | S1 | S1 |  | S1 | S1 |  |
| C | S2 | S2 |  |  | S2 | S2 | S2 |

### 飞行日排班

飞行日排班主要考虑了安排飞行员每一个飞行日的具体训练时间，即当月度排班完成后，已知所有飞行员某一飞行日的训练科目，为飞行员安排具体的训练时间段。

输入：某一天安排有训练的飞行员及相应的训练科目 (包括科目的训练时间)

输出：某一天安排有训练的飞行员的训练时间段

硬约束：

1. 为所有需要训练的飞行员安排训练时间
2. 飞机再次出动的准备时间
3. 同一时间同一科目的最多训练飞行员数

表3.3给出了具体某一个飞行日训练时间安排，示例中将一个飞行日按时间段分成上、下、晚三个班次。由表可知，飞行员A在该飞行日上午班次进行S1训练，飞行员C在下午班次进行S2训练。

表3.3 飞行日排班

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
|  | 上 | 下 | 晚 |
| A | S1 |  |  |
| B |  |  |  |
| C |  | S2 |  |

### 动态调整

在具体实行训练计划时，由于受到天气等不可控因素的干扰，会出现实际执行与计划安排不一致的情形，如某一飞行日由于极端恶劣的天气原因被迫取消，或实际训练时长比原定计划少一小时。当出现了这种未达到原定训练计划的情况时，需要对之后的训练计划做出相应的调整以尽量弥补损失，例如某一飞行日的训练计划未完成时，这一周剩余天的训练计划需要重新调整，而当一周的训练执行过后，如未完成原定计划，这一月剩余周的训练计划需要重新调整，依次类推，当一个月的训练执行完后，需要评估这个月的训练是否完成既定安排，如未达到，需要重新安排这一年度剩余月的训练计划。

# 约束

## 硬约束

### 个人最小总训练时长

任意人员在全周期内的总训练时长必须大于指定的数目。

### 科目训练时间互斥

在任意时刻，任意人员只能进行不超过一个科目的训练。

### 科目覆盖

任意人员都必须完成其所在类别指定的所有训练科目。

### 科目最小训练次数

参与任意科目训练的人员，在该科目上的训练次数必须超过指定的数目。

### 科目最小训练时长

参与任意科目训练的人员，在该科目上的训练时长必须超过指定的数目。

### 科目训练时段

参与任意科目训练的人员，在该科目上的训练时间必须在指定的时间段内。

### 最大训练强度

一周飞行日最多次数，一月飞行日最多次数。

### 科目先后继关系

在开始任意科目的训练之前，必须完成所有先导科目。

### 最大同时训练人数

共享同种资源的科目的同时训练人数不能超过指定的数目。

### 战术科目训练时间固定

不能更改战术科目训练的时间。

## 软约束

### 全员全周期总飞行时长

如果全员全周期总飞行时长小于指定的时长，将计算惩罚。

惩罚正比于不足的飞行时长，惩罚越小表明排班效果越好。

# 输入

## 时间信息

表示方式：数据项集合。

该数据项集合由5.1.1节至5.1.3节所对应的项目组成。

### 排班周期

表示方式：时间段（日期）。

执行一次排班生成的时刻表的时间范围。在本问题中固定为1年。

### 总飞行时长

表示方式：数字（小时）。

整个排班周期中全体飞行员的飞行时长总和的最优值。

### 战术科目训练时间

表示方式：时间段（日期）。

战术科目消耗大量人力物力，是相对难以协调的科目，制定时刻表时优先级较常规科目更高，参与人员必须在该科目开始之前完成其先导科目。

### 飞行日训练起止时间

表示方式：时间段。

飞行日安排训练的最早时间和训练结束的最晚时间。如07:00-21:00，表示只能从上午七点开始安排训练，并且不得在下午9点之后安排训练。

## 科目信息

表示方式：科目列表。

对于科目列表中的每个项目，需提供5.2.1节至5.2.6节所要求的信息。

### 科目标识符

表示方式：字符串。

该标识符用于唯一确定一个科目。该标识符可以为科目的名字、编号或者数字，但是必须确保与其他科目的标识符不同。

### 训练时段

表示方式：时间段。

该科目每天的训练时间段必须在规定的时间范围内，例如有些科目必须在白天进行，而有些必须在夜间。在实际操作中，对于需要在不同时段进行训练的科目，可以按各时段的训练时间拆分成多个子科目。

### 最小训练次数

表示方式：整数（次）。

参与该科目训练的人员必须达到的训练次数。

### 最小训练时长

表示方式：数字（小时）。

参与该科目训练的人员必须达到的训练时间。

### 最大训练强度

表达方式：待定。

参加该科目训练的人员不能超过规定的训练强度。

### 先导科目

表示方式：科目标识符集合。

开始本科目训练之前必须完成的科目的集合。

## 资源信息

表示方式：数据项集合。

该数据项集合由5.3.1节至5.3.2节所对应的项目组成。

### 全局最大同时训练人数

表示方式：整数。

所有科目同时训练人数的总和不能超过该数值。

### 共享资源科目组

表示方式：科目组列表。

对于科目组列表中的每个项目，需提供5.3.2.1节至5.3.2.3节所要求的信息。

#### 科目组标识符

表示方式：字符串。

该标识符用于唯一确定一个科目组。该标识符可以为科目组的名字、编号或者数字，但是必须确保与其他科目组的标识符不同。

#### 共享资源科目

表达方式：科目标识符集合。

所有属于该集合的科目共享同种资源，受同一个最大同时训练人数的限制。

#### 最大同时训练人数

表示方式：整数。

属于该科目组的科目的同时训练人数的总和不能超过该数值。

## 人员信息

表示方式：数据项集合。

该数据项集合由5.4.1节至5.4.2节所对应的项目组成。

### 人员类别

表示方式：人员类别列表。

对于人员列表中的每个项目，需提供5.4.1.1节至5.4.1.3节所要求的信息。

#### 类别标识符

表示方式：字符串。

该标识符用于唯一确定一个类别。该标识符可以为类别的名字、编号或者数字，但是必须确保与其他类别的标识符不同。

#### 最小总训练时长

表示方式：数字（小时）。

任意一个属于该类别的人员在整个排班周期中飞行时长总和不小于该时长。

#### 训练科目

表示方式：科目标识符集合。

所有属于该类别的人员都必须完成该集合中所有科目的训练。

### 个人信息

表示方式：人员列表。

对于人员列表中的每个项目，需提供5.4.2.1节至5.4.2.2节所要求的信息。

#### 人员标识符

表示方式：字符串。

该标识符用于唯一确定一个人员。该标识符可以为人员的名字、编号或者数字，但是必须确保不与其他人员的标识符相同。

#### 人员类别

表达方式：类别标识符。

属于某一类别的人员需完成该类别所规定的训练科目并达到相关训练要求。

## 计划变更信息

表示方式：变更列表。

该项目为生成时刻表之后，每天输入已知的突发情况产生的影响，让程序对当前时刻表中还未度过的部分进行动态调整。

对于变更列表中的每个项目，需提供5.5.1节至5.5.3节所要求的信息。

### 受影响人员

表示方式：人员标识符。

### 受影响科目

表示方式：科目标识符。

### 实际训练时间

表示方式：数字（小时）

由于突发情况出现，飞行员无法按照原定计划进行科目训练，最终训练时间少于原定计划时间。

# 输出

## 解决方案

对5.4.2节所述列表中的所有人员，确定整个排班周期中每天的训练科目及相应的训练时间。

## 统计信息

### 年度排班概览

参见3.3.1节。

### 月度排班概览

参见3.3.2节。

### 飞行进度

截至某天所有人员的总飞行时间与科目完成数量。

# 待确定问题备忘

## 双座教练机的飞行时间只能算在一个人身上

教练的任务是自己要保持自己的技术水平还是像学校里这种必须上多少课时的课？

“全体飞行员的全年飞行训练时间长度”和“每一名飞行员的年度飞行时长”，这两个都只算一个人的？

教练时长是 教别人 的时长，还是 自己保持技术 的时长？

如果是教学任务，那应该要算吧？不然难道要他一个人在天上飞，学员在底下看才算他在教学？

那两个人一起飞的时候，算哪个人的是根据谁在驾驶来定，还是我们的程序可以任意指定？

安排教练和其他飞行员训练的关系？

## 排科目的顺序

由以前人工排班的经验得出还是由于资源限制导致并行的科目也要按一定的顺序排布？

## 战术科目训练的时间

事先确定还是根据飞行进度动态指定？

由我们的程序指定还是人工确定（如：上级领导）？

## 总飞行时长

是一个范围，还是大于某个值或者小于某个值？或者要尽可能趋近一个值，有偏差时计算惩罚（软约束）？

## 计划变更及恢复策略

当出现由于天气或考核不合格等原因当天的原定训练计划未完成时，如何处理不同的变更情况，比如某一飞行日取消，只训练了原计划一半的时间，或者比原计划少训练了一小时。

## 飞行日训练时间安排

每个科目一天的训练时长如何确定（即时间粒度问题，分为三个班次）？

飞机再次出动准备约束如何考虑？

每个科目一天可以训练多次吗？

