

航空公司 生产组织与计划

孙宏文军著

ANGKONG
GONGSI SHENGCHAN
ZUZHI YU JIHUA



西南交通大学出版社
[Http://press.swjtu.edu.cn](http://press.swjtu.edu.cn)

航空公司生产组织与计划

孙 宏 文 军 著

西南交通大学出版社

· 成 都 ·

内 容 简 介

本书是介绍航空公司运输生产组织以及生产计划管理理论的专门论著。主要介绍了航空公司日常运行管理工作中所涉及的各项生产计划的基本内容、相互间关系,系统分析了航班计划、飞机维修计划、飞机排班计划、机组排班计划以及航班飞行计划的编制原则、程序和方法,并特别介绍了运用运筹学等管理科学手段,优化各项生产计划的理论方法和最新研究成果。此外,鉴于航班延误以及由此引发的运输纠纷问题越来越突出,本书还讨论了提高生产计划鲁棒性的必要性以及途径。

本书为交通运输、管理科学领域中从事教学、研究的相关人员提供了一个了解航空公司运行管理工作的窗口,可以作为交通运输专业高年级本科生、研究生的教学及参考用书,对于航空公司运行管理领域中从事教学、生产管理的人员也具有重要的参考价值。

图书在版编目(CIP)数据

航空公司生产组织与计划 / 孙宏, 文军著. —成都: 西南交通大学出版社, 2008.5
ISBN 978-7-81104-864-3

I. 航… II. ①孙…②文… III. 航空运输—运输企业—生产管理 IV. F560.6

中国版本图书馆CIP数据核字(2008)第077604号

航空公司生产组织与计划

孙 宏 文 军 著

*

责任编辑 秦 薇 (qinweiway@126.com)

封面设计 翼虎书装

西南交通大学出版社出版发行

(成都二环路北一段111号 邮政编码: 610031 发行部电话: 028-87600564)

<http://press.swjtu.edu.cn>

成都蜀通印务有限责任公司印刷

*

成品尺寸: 185 mm×260 mm 印张: 12.625

字数: 308千字

2008年5月第1版 2008年5月第1次印刷

ISBN 978-7-81104-864-3

定价: 28.80元

图书如有印装质量问题 本社负责退换
版权所有 盗版必究 举报电话: 028-87600562

前 言

在航空公司的日常生产经营活动中,常常需要解决一系列的生产计划编制问题,这些生产计划的制订实质上就是对各项生产资源要素的优化配置过程,即通过周密的组织和精确的计划,实现各项生产资源要素的优化配置。因此,生产计划的质量和效率不仅关系到运输生产能否顺利进行,而且还从根本上决定了企业的市场竞争能力。企业的规模越大,航空运输业的市场化程度就越高,生产计划工作的重要性就越突出。

航空运输生产中最重要生产计划有:航班计划、机队维护计划、客货销售计划、机组排班计划、飞机排班计划以及航班运行飞行计划等,这些生产计划的编制是一项非常艰巨而复杂的工作。由于认识到这些工作在航空运输生产中的重要性和复杂性,欧美的许多大型航空公司与学术界合作开展了大量的关于生产计划管理理论以及技术手段的研究,并从 20 世纪 80 年代开始在生产中广泛运用专门的生产计划管理系统软件来完成各项生产计划的编制工作,并取得了显著成效。近年来,随着我国各航空公司机队规模的扩大以及航班量的增长,特别是航线网的日益大型化和复杂化,传统的以手工作业为特征的、分散的运行管理方式已难以适应日趋激烈的市场竞争环境,因此提高运行管理水平的任务迫在眉睫。

本书汇集了我们在承担国家自然科学基金项目(项目编号:60472129)过程中所取得的部分研究成果,全书共分为六章:第 1 章主要对航空公司日常运行管理工作中涉及的各项生产计划的基本内容及相互关系进行了阐述;第 2~5 章分别从航班计划、飞机排班计划、机组排班计划、航班飞行计划等几方面,系统分析了航空公司各项生产计划的编制原则、程序和方法,并特别介绍了运用运筹学等管理科学手段,优化各项生产计划的理论方法和最新研究成果;第 6 章主要讨论了提高航空公司生产计划鲁棒性的必要性及其途径。孙宏教授负责本书第 1、2、3、4、6 章的编写,文军副教授负责本书第 5 章的编写,全书由孙宏教授统稿。

本书的一个重要特点是广泛应用了现代管理数学理论和方法研究、解决航空公司运行管理中的各类生产计划优化问题。因此,阅读本书的读者需要具备一定的运筹学、现代数学优化理论等方面的基础知识。

航空公司的生产计划管理是一项非常复杂的生产管理活动,在国外,由于来自航空运输生产实践的强烈需求,该问题一直是 MS/OR 领域研究的一个热点,而在国内有关该领域的研究还处于起步阶段。因此,希望本书的出版能够引起国内更多管理科学界研究学者对此问题的关注。

由于作者水平有限,加之时间仓促,书中难免有不妥之处,恳请各位专家及广大读者批评指正。

作 者

2008 年 4 月于中国民用航空飞行学院

目 录

第 1 章 航空公司生产计划及运行成本概述	1
1.1 航空公司生产计划概述	1
1.2 航空公司生产计划工作的复杂性	14
1.3 航班直接运行成本构成	15
小 结	22
复习思考题	22
第 2 章 航班计划的编制与优化	24
2.1 航班计划的要素	24
2.2 航班计划的编制	31
2.3 航班机型分配理论	39
小 结	51
复习思考题	51
第 3 章 航空公司飞机排班计划	52
3.1 航空公司飞机排班问题概述	52
3.2 飞机排班问题的数学模型	56
3.3 基于飞机调度指令的飞机排班计划	61
3.4 基于飞机均衡使用目标的飞机排班计划	66
3.5 基于最小需用飞机数的飞机排班计划	74
小 结	77
复习思考题	78
第 4 章 航空公司机组排班计划	79
4.1 机组排班工作基本规则	79
4.2 机组排班计划优化理论	89
4.3 机组调度管理系统软件应用	100
小 结	107
复习思考题	108
第 5 章 航班飞行计划	109
5.1 航班飞行计划的制订	109
5.2 计算机飞行计划	122
5.3 航班飞行计划的优化	142
小 结	150

复习思考题	150
附表	151
附图	162
第 6 章 航空公司生产计划的鲁棒性	168
6.1 问题的提出	168
6.2 基于鲁棒性要求的航空公司生产计划模型	174
6.3 提高生产计划鲁棒性的其他途径	188
小 结	192
复习思考题	192
参考文献	193
后 记	196

第1章 航空公司生产计划 及运行成本概述

航空公司生产计划（又称为航空公司运营计划）的制订是一项非常重要的工作，其实质在于通过周密的组织和精确的规划，实现各生产资源要素的优化配置，它的质量高低关系到航空公司生产经营活动的安全、正常和效益。特别是当航空企业的规模大，市场化程度高的时候，生产计划的重要性就更加突出。

航空公司的生产计划主要包括六个方面：航班计划、机队维护计划、客货销售计划、机组排班计划、飞机排班计划和航班运营飞行计划。它们之间的关系可以用图 1.1 表示。

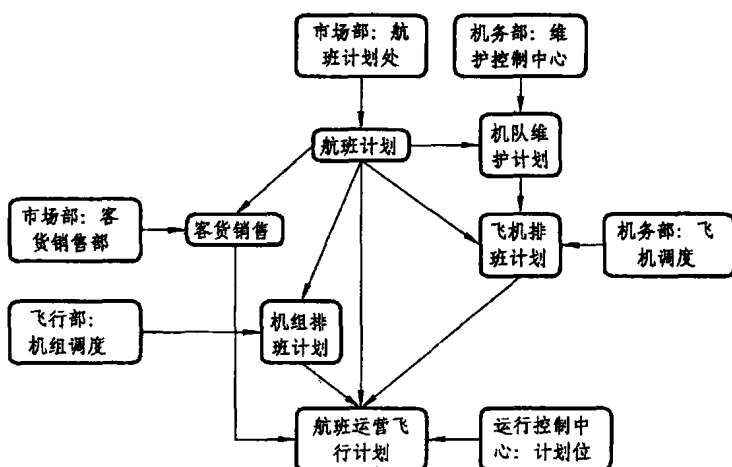


图 1.1 航空公司生产计划流程

这六者之间并不是孤立的，它们紧密相连，互相影响。如果作为一个整体来看，市场部所制订的航班计划可以被视为战略计划，其他几个计划则是根据航班计划的要求对生产资源进行分配的战役计划，而航班运营飞行计划应属于战术层面的计划（即对航班计划的具体执行）。从资源的角度来看，生成一个每天实际可操作的航班计划的过程也就是航空公司资源分配的过程。

1.1 航空公司生产计划概述

1.1.1 航班计划

航班计划是在航空公司整个航线网络这一层面对公司的航线、航班时刻进行优化设计的过程，目的在于提供更好的社会服务并保证航空公司拥有良好的经济效益。它是航空公司

一切生产活动的基础，其他五个计划都必须围绕航班计划开展。也就是说，只有先确定了航班计划，其他五个计划的制订才能够顺利进行。一份完整的航班计划应当包含以下几个要素：

① 航线：开展运输生产活动的路线，包括起点、终点和经停等要素。公司要开展运营，首先必须取得航线的运营权。

② 航班：包括航线、航班号、航班的出发时刻和到达时刻等要素。

③ 班期：指某一航班在一周中的哪几天执行。

④ 班次：即航班频率，指航空公司一天中在同一航线上有多少个航班。

⑤ 机型：指执行某一特定航班所使用的飞机型号。在航空公司的实际运营过程中，对于特定航线上飞机机型的选取不光要考虑这一型号的飞机在该航线上的经济性如何，而且还要考虑该型号的飞机能否满足基本的适航性要求。

在制订航班计划的过程中，确定所飞的航线、航班时刻、班次、班期等工作被称为航班时刻设计（Schedule Design），其目的在于最大限度地扩大公司在航空运输市场中所占的份额，增加销售收入，其主要是依据对客货销售额的统计分析以及对市场供需情况发展的预测。而确定航班所使用的最佳机型的工作被称为机型分配计划（Fleet Assignment），制订该项工作的依据主要是航线对机型的适航限制、每种机型的座舱布局、该机型在不同航线上的运营成本分析，以及对每个航班上客货流量的预测等，其目的是通过对航班机型的优化分配，以最小的运营成本完成航班生产任务。

航班计划的确定依赖于市场部对某时期市场状况的预测，具有明显的季节性和节日性变化，特别是对于一些旅游热线，这种变化更加明显。航班计划可被分为战术级与战略级两个方面，这主要是从执行计划的长期性角度来考虑的。为了获得潜在的利润，一般来说，在制订航班计划的时候需要考虑现有航班运营状况、相关设施限制、市场现状以及未来一段时期内的发展趋势，同时潜在的竞争对手的反应也是需要考虑的。图 1.2 描述了在编制航

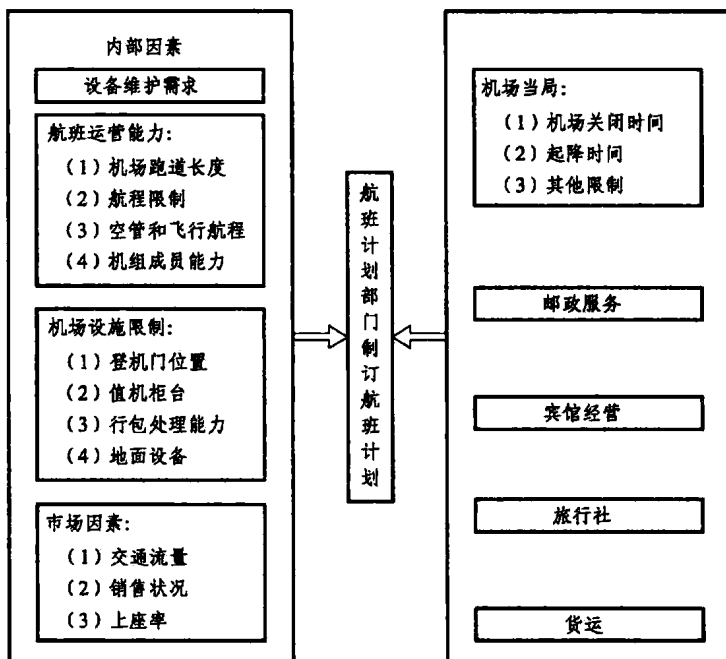


图 1.2 影响航空公司航班计划编制的主要因素



班计划时需要考虑的因素。由于航班计划的复杂性，航空公司在制订航班计划的时候往往需要投入大量的时间、人力和物力。

1.1.2 飞机维修计划

与汽车、火车、轮船等不同，飞机是一种特殊的空中运输工具，为了保障航空运输的安全，各国都制订了严格的航空器适航管理法规以规范航空器的使用、维修工作。《中国民用航空器适航管理条例》（又称 CCAR25 部）就是一部这样的法规，根据该法规的要求，国内各航空运输企业必须依据 CCAR25 部的规定建立完善的飞机维护制度并严格遵照执行，违者将受到适航当局的严厉惩处。飞机维护计划是关于航空公司所执管的机队中每架飞机接受维护工作的日程安排，编制飞机维护计划的目的在于：一方面能够确保每架飞机在适航条例规定的期限内完成检修排故工作，确保航空器满足中国民用航空总局（局方）适航管理法规的要求；另一方面有助于公司可用运力的稳定，满足航班计划对运力的需要。同时，科学合理的维修计划安排还能够确保维修资源的合理分配，降低维修成本，提高维修工作效率。

飞机的维修，是维护和修理的总称，其中维护是为了保持飞机固有的技术性能并发挥其最大效能所采取的技术措施；而修理是指当飞机出现性能衰减或部件失效/故障时，为恢复其正常状态而采取的技术措施。维修的直接目的是保证飞机处于良好的可用状态，即维持飞机的适航性，主要的维修内容有：

经停检查：即飞机每次在航站过站经停时所做的例行检查、保养工作，如轮胎、刹车的磨损状况检查等。如 A320 型飞机要求轮胎任何一点凹槽深度不能低于 1 毫米，飞机刹车指示杆必须保证 5 毫米的工作余量。

航前航后检查：即飞机在执行每天的第一个航班任务之前以及最后一个航班任务结束之后所进行的检查、保养工作，包括对一些重要飞行仪表系统的检查、测试。

周检：对飞机的某些重要系统如液压、润滑系统等进行的较全面的保养，每周进行一次，为避免飞机停场而影响公司运力，一般尽量结合航后检查或较长时间的过站经停完成，但必须在有相应机型的维修能力和资质的维修基地进行。

定检：定检是指每经过一定的使用周期就对飞机进行的一系列检修工作，根据内容分为 A 检、B 检、C 检、D 检四类。

A 检——包括对飞机外部、内部缺陷的目视检查，对操纵系统、电子电气系统的测试等工作，许多机型（如 A320、B737）维护手册要求每 250 个飞行小时安排一次，每次需用 5~8 个小时，一般安排在航后，且必须安排在有相应机型维修资质的维修基地进行。

B 检——又称大 A 检，检查项目与 A 检大致相同但更具体、细致。例如需要将飞行仪表拆下检查，并对平时不使用的应急系统如灭火系统等进行测试。B 检原则上要求安排飞机进机库，一般需要停场 1~2 天。

C 检——一般每 3 000 小时需安排一次，每次需要停场 8~12 天，主要工作内容涉及地板的腐蚀性检查、受力构件的疲劳损伤、所有电子/电气仪表拆下测试等。

D 检——又称为飞机结构性大修，每 20 000 小时需安排一次，每次需 30 天左右，需要将飞机彻底拆散并对主要受力部件如大梁、受力隔框等进行金属材料疲劳、腐蚀程度等的检查及处理，然后将飞机重新组装起来。



故障保留项目的处理：现代航空器普遍按照多裕度设计理论设计，因此允许飞机在一定条件下保留故障飞行以提高机队的派遣放行率，并便于维修部门合理制订飞机排故计划，降低维修成本。具体说就是对于符合最低放行设备清单（Minimum Equipment List, MEL）以及构形偏差清单（Configuration Deviation List, CDL）要求的故障设备，允许飞机按照一定的限制，在规定期限内继续飞行。但是这种保留故障放行的措施毕竟是一种权宜之计，因此在适航管理条例中规定了严格的故障保留申请和批准制度，并制定了严格的故障保留期限，如 A 类故障为 24 小时，B 类故障为 72 小时，C 类故障为 240 小时，D 类故障为 2 880 小时等，所以维修控制部门在批准故障保留的同时必须制订相应的排故计划。在国外，许多大型航空公司对于每种机型的维修基地是沿航线网络分布的，飞机按规定最多每 3~4 天必须安排在有该种机型维修能力的基地过夜一次（3 天/4 天维护规则）。为了避免故障保留时间过长影响飞行安全，一般规定：含故障保留项目的飞机不得从有维修能力的基地放行，也即每项 MEL 项目的最多保留期限为 3~4 天。

适航指令（Airworthiness Directive, AD）项目的处理：适航指令是在型号合格审定后，由适航当局针对在某一民用航空产品（包括航空器、航空发动机、螺旋桨及机载设备）上发现的，很可能存在或发生于同型号设计的其他民用航空产品中的不安全状态，所制定的强制性检查要求、改正措施或使用限制，其内容涉及飞行安全，如不按规定完成，有关航空器将不再适航。例如，2007 年 8 月 20 日执行华航 CI120 航班的一架 B737-800 型飞机在冲绳那霸机场落地后由于油箱燃油外泄导致起火爆炸，经调查确认为“右机翼前缘缝翼上的一个螺杆脱松并刺穿二号油箱及垫片导致漏油起火”。鉴于此，FAA 发出紧急适航指令（Emergency AD, EAD），要求各国航空公司于 24 天内完成波音 737-800 型飞机前缘缝翼的紧固螺帽的扭力值特检，以确保其达到适航标准。在适航管理工作中，收到此类由民航当局或飞机制造厂家发出的针对某一类飞机的某一部件的限期检查、更换的适航通告时，航空公司的维修控制部门必须在通告限定的期限之前完成规定的维修工作。

过渡检（Transit Check）：各航空公司在维修实践中执行的一类日常维修工作，工作内容涉及主要系统部件的目视检查、MEL 故障保留项目的处理等，相当于 A 检的要求，属于日常例行维护。每次过渡检需用时 5~10 小时，一般的航线维护基地均有能力完成该项工作。过渡检是欧美等国家的大型网络航空公司在安排飞机排班计划时主要考虑满足的检修要求，为不影响航班生产，各航空公司沿航线网为每种机型建立了一批维修基地，同时一般将该项工作安排在晚上飞机过夜时进行，也就是说需要做过渡检的飞机当天必须飞到一个具有该型飞机的维修能力的机场过夜。一般情况下，每一架飞机 36~40 飞行小时需安排一次“过渡检”，根据飞机的日平均利用率不难推算出这相当于每隔 3~4 天就需要安排一次。正是由于这个原因，国外一些大型航空公司的飞机排班问题实际上就是保证每隔 3~4 天安排飞机到一个该机型的维修基地过夜，也即编制飞机排班计划时遵循的基本约束是“4 天维护规则（4 Days Maintenance Rule）”。

平衡检（Balance Check）：相当于 1/4 C 检（Quarter-C Check）的要求，与过渡检类似，也是由航空公司根据维修工作需要自己增设的一项工作，属于日常例行维护，并且是欧美等国家的大型网络航空公司在安排飞机排班计划时主要考虑满足的另一项检修要求。每次平衡检一般需用时 10~15 小时。与过渡检不同的是，平衡检对维修技师、工装设备的数



量和等级要求较高,因此只有个别维修基地能够承担此类维修工作以节约维修资源投资。同时平衡检的间隔时限要求也比较灵活,一般的经验公式是:对于一种有 n 架飞机的机型,平衡检的时间间隔为 n 天。

需要说明的是:不同航空公司、不同厂家生产的不同型号飞机对于维修计划安排的方式是不尽相同的,如B737机型只需要根据机身飞行小时数控制A检时间,而B757机型必须同时考虑机身飞行小时数、起落循环数、日历日三项指标,又如有些公司执行了平衡检制度,而有些则没有执行。但这些标准均比局方适航管理规范的要求更严格,表1.1为部分航空公司实际执行的定检时间标准。

表 1.1 飞机定检计划表

(单位:飞行小时)

航空公司	机型	A 检	B 检	C 检	D 检
德国汉莎	B707	160	450	1 600	16 000
新加坡	B747	330	1 400	13 个月	25 000
美国西南	B737	100	820	1 200	15 000
中国南方	B747	170	650	2 400	16 000

编制维修计划是航空公司机队管理工作中一项控制性的工程,其重要性在于:

① 维修计划关系到飞机的适航性。任何飞机如果不能按照适航条例的要求完成维修工作,则不再适航,使用不适航飞机开展运营将受到局方的严厉惩罚。

② 维修计划关系到航班计划的实施。航班计划的制订和实施需要以必要的飞机运力作保障,因此编制维修计划时还要考虑到航班计划对运力的总量需求和结构性需求。

③ 维修计划关系到维修工作的质量和效率。维修工作的顺利开展取决于航材、设备、人力(维修技师)及维修工卡等四个基本要素,合理编排并严格执行计划有助于生产车间优化配置资源,缩短工期,控制维修成本。

在飞机机务维护工作实践中,维护运行控制中心的调度员会综合考虑以上要求,并根据近期各机型的平均日利用率、各维修基地的维护能力,排出所执管机队中每架飞机的定检日期和地点,如表1.2、表1.3所示。其中,表1.2称为机群维修停场计划表,表1.3一般称为飞机短期维护计划表。上述表示飞机维护定检计划安排的图表又经常被称为“鱼骨刺图”。

从上述分析可知,维修计划是中长期的,且一经制订就应努力维持计划的稳定,为此需要通过制订飞机排班计划来实现。

1.1.3 销售计划

航班计划下达后,销售部据此制订每个航班的客货销售计划,其中主要包括:

(1) 航班超售计划

航空运输中的一个重要特征就是存在 No-Show 旅客(旅客虽然订座但并不旅行,这种情况是由于旅客订票后又在飞机起飞前临时决定取消订座或旅客进行了重复订座等原因引起的)和 Go-Show 旅客(事先没有订座而直接赶到机场要求乘机的旅客),前者将导致航班上的座位虚耗从而降低航班收入,而后者则由于急于出行而宁愿接受较高等级的票价。

续表 1.2

[illegible]

表 1.3 航空公司短期维护计划表 (2000-10-02—2000-11-12)

[illegible]

续表 1.3

[illegible]



超售就是指有计划地使接受的旅客订座数超过相应票价舱位的实际座位数或飞机的最大允许座位数,以减少 No-Show 旅客带来座位虚耗并最大限度地获取 Go-Show 旅客带来的额外收入。超售的关键在于精确预测 No-Show 旅客和 Go-Show 旅客的比例以及发生的概率,并据此确定适度的超售比例,即超售策略。

(2) 收益管理

收益管理是发源于航空运输行业的市场营销手段,其实质是通过市场细分以实现收入的最大化。航空运输市场中旅客需求是多层次的,有些旅客(如商务旅客)不太在意票价的高低而更多地关心能获得哪些优质的服务和便利的旅行条件,而有些旅客则对票价非常敏感而不会在意对旅行条件附加一些限制。收益管理就是将同一航班上的相同座位划分成若干种等级即舱位,每种舱位对应不同的票价和旅行限制条件(如订票时间、升舱、转签等),通过满足不同层次旅客的需求以实现航班收入的最大化。

收益管理计划就是通过对每个航班上不同层次旅客订座情况的预测,优化航班的舱位等级划分,确定各舱位的票价、投放的舱位数以及投放时间。由于这一工作的复杂性和重要性,这项工作必须借助于收益管理分析软件来进行。

1.1.4 飞机排班计划

飞机排班是航空公司机队管理工作中一个非常重要的部分,其实质就是依据公司的航班计划和飞机维护工作安排为每一个航班指定一架具体执行的飞机,也即给每一个航班号分配一个相应的机尾号(Tail Number Assignment),其排班流程图见图 1.3。合理的飞机排班不仅有助于航班的安全、正点运行,而且还能提高机队的利用率,便于飞行运营和机务维修工作的组织实施,能有效地降低运营及维护成本。在我国,飞机排班工作具体是由机务调度人员负责的。

在排班中应遵循以下一些基本原则:

1. 航线运营限制

不同航线对允许运营的机型,甚至具体的机载设备配置都有详尽的要求,这些要求分别写入了航空公司的运行规范、机型手册中并得到民航当局的批准。因此,在进行飞机排班时,每一架飞机对于所运营的航线都必须是满足运营限制要求的,这是保证运营安全与合法的需要。以拉萨航线为例,国航西南公司被授权使用 A340 和 B757 型飞机运营该航线,但是在该公司的 15 架 B757 型飞机中,仅有 7 架完成了动力系统和氧气系统特殊改造的飞机能执行该航线。又如某航空公司所执行的深圳—成都—九寨航线上,就只有该公司的 B6020 和 B6021 两架经过高原改装的 A319 能执行成都—九寨段的飞行任务。

2. 与航空时刻表中公布的机型尽量一致

航空时刻表中的信息(航班时刻、机型等)是航空公司对社会公开作出的服务承诺,因而对公司的经营行为是具有一定约束力的,公司内外的各相关部门也主要依据航班时刻表制订自己的销售或旅行计划。因此,飞机排班中的机型应与航空时刻表尽量一致,如图 1.3 所示。

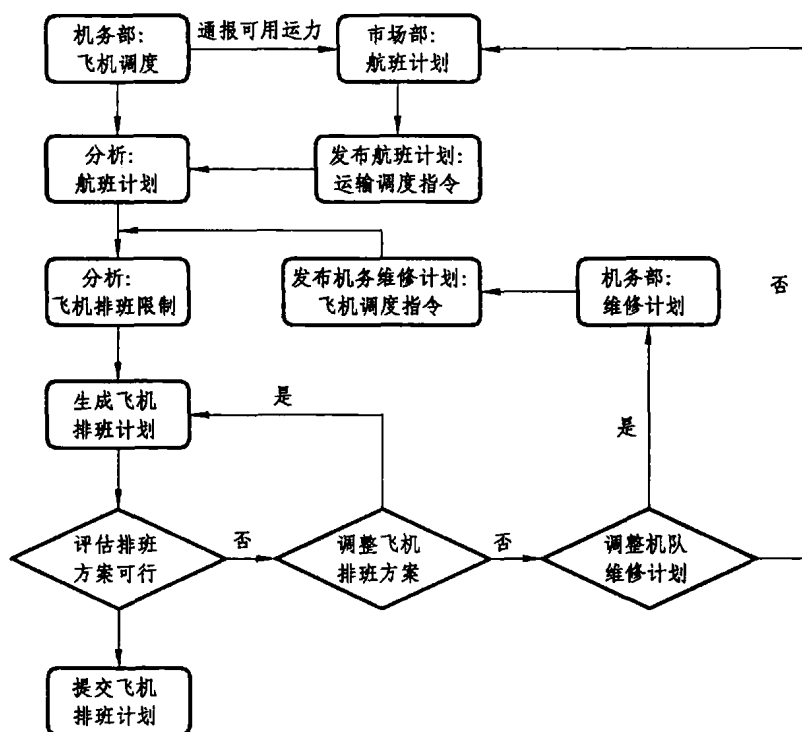


图 1.3 飞机排班流程图

3. 与飞机的维护工作计划相一致

这是影响飞机排班的一个主要因素，具体原因主要包括以下几个方面：

① 既要避免因安排飞行而影响飞机的及时进厂维护，又要避免因维护而造成不必要的地面停留时间过长，从而影响运营。

② 避免在同一时段内出现多架飞机（特别是同机型飞机）同时需进场维护，从而造成人为的运力紧张和维护工作拥挤。

③ 在给即将接受维护工作的飞机安排航班任务时，应充分考虑到维护基地所在的地理位置，尽量避免因为维修而空调飞机造成浪费。在我国，各航空公司普遍采用了“甩辫子航线”，例如原西南航空公司的双—京—烟—沪—温—沪—烟航线，执行这类航班的飞机一般当天并不返回公司基地。在给运营这类航线上的飞机排班时，尤其要考虑到飞机的维护计划。

④ 考虑飞机寿命的合理结构。一般的，一架飞机的寿命是由总服务年限、轮挡时间、起落次数、机体大修次数等四项指标构成的，其中任一项指标达到限定的数据，即意味着飞机寿命的终结。因此，飞机排班时应使长、短航线结合，使寿命结构比较合理。

⑤ 提高飞机利用率。在我国，飞机的日利用率低是一个普遍存在的问题。合理的飞机排班方式可以最大限度地缩短地面停场时间，从而提高飞机利用率，这意味着在不增加机队规模的条件下，可以通过运营更多的航班降低飞机的小时成本。

⑥ 考虑飞机的过站时间要求。在不同机场的不同时刻，不同机型的最低过站时间要求是不同的，因此飞机排班时应在衔接航班之间留出必要的过站时间，以避免由于计划原因人为地造成航班延误。