

始发航班运行进程控制研究

杨露露, 张 浩, 狄亚平

(中国民用航空飞行学院 机场工程与运输管理学院, 四川 广汉 618307)

摘要:实际运行中发现,始发航班正常率低会直接影响机场全天航班正常性。以始发航班“关舱门”为依据,将进程分为“关舱门前”和“关舱门后”两个部分,分析始发航班进程控制。首先,介绍了始发航班关舱门前的三个流程以及关舱门后跑道选择问题;其次,提出采用 AOE 网关键路径法找出“关舱门前”流程的关键路径并对其进行优化和控制的策略;最后,讨论了航空器“关舱门后”,尽快离开机场的跑道选择问题。

关键词:始发航班;进程控制;AOE 关键路径;跑道指派

中图分类号:F562 **文献标志码:**A **文章编号:**1671-1807(2017)10-0101-05

近年来,随着我国经济和民航事业的快速发展,选择飞机作为代步工具的旅客数量逐年增加,随之而来的是航班延误现象频繁发生以及机场航班正常率逐渐下降。航班能否安全正常的离开机场逐渐成为社会关注的焦点,也是机场需要解决的问题之一。随着航空客流量的不断增加,机场资源有限性与旅客增长无限性的矛盾日益突出,为提高机场全天航班的正常性,仅凭不断改扩建增加机场容量已经很难满足现状,必须更加科学合理地利利用现有的机场资源。

始发航班是机场整日航班运营计划中的重要组成部分,也是机场每天执行放行任务的首批航班。在实际运行过程中发现,提高机场全天航班正常性的关键在于始发航班放行,其离港进程的快慢直接影响了后续航班的放行,一旦离港进程未按原定的航班计划执行,就会造成后续航班积压、延误甚至被迫取消航班。研究始发航班运行进程控制不仅能使匮乏的机场资源得以充分利用,而且对提高机场全天航班正常性有积极的影响。

1 始发航班运行各进程分析

航班放行正常的重要条件之一是机场对航班保障流程的顺利进行,作为影响机场全天航班正常性的始发航班放行亦是如此,即始发航班放行各流程(包括旅客离港保障服务流程、行李处理流程、航空器地面保障流程)的进度快慢直接影响始发航班的放行。但对于多跑道机场而言,航班保障流程并不是影响航班放行的全部因素,而影响始发航班放行的另一重要的因素就是航空器推出以后对于跑道的选择问题,即

滑行至跑道的过程是否需要排队等待。根据航空器是否推出,将影响航班运行的进程分为关舱门前和关舱门后两大部分:

1.1 关舱门前

1.1.1 旅客离港保障服务流程

旅客选择航空运输出行时,必须要实现与其他交通方式的转换,转换即需要旅客办理相关的手续,从机场航站楼的角度来讲,此手续是对旅客提供的服务。这种服务是在航站楼内进行的具有顺序的排队服务,服务过程称为服务流程,这些流程对始发航班放行必不可少^[1]。

由于始发航班发生在上午(通常为早上 6:00—9:00),正是机场流量早高峰时期,旅客在航站楼内值机、安检、过海关等流程耗时比较长,且可控性不高,是发生航班延误的重要原因之一。研究始发航班旅客离港服务流程,主要目的是找出影响该流程的瓶颈,充分利用现有资源并通过算法对其进行优化改进。始发航班离港旅客的服务流程与其他时间段离港旅客服务流程大致相同,其核心部分均为值机、安检、候机和登机过程,典型的始发航班旅客离港流程如图 1 所示。

1.1.2 行李处理流程

行李伴随旅客的到达而出现,其处理方式和运行情况对旅客离港流程也有一定的影响,从而直接影响机场的客运能力。因此,研究始发航班的行李处理流程不仅能使始发航班尽快完成保障工作,也能为提高机场航班正常性作出相应的贡献。

收稿日期:2017-06-21

作者简介:杨露露(1992—),女,甘肃秦安人,中国民航飞行学院,硕士研究生,研究方向:机场运行管理。

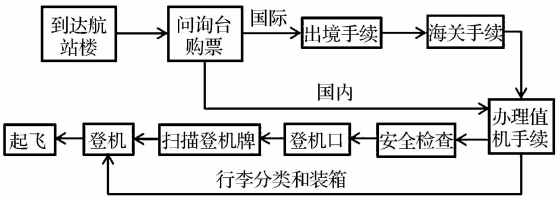


图 1 旅客离港流程图

行李处理流程是机场对始发航班流程保障中的一个重要分支,而行李处理流程均依赖于行李处理系统(BHS)来完成,此系统是机场航站楼处理行李的重要设施。行李处理系统(BHS)主要由离港行李系统、到港行李系统、中转行李系统、早到存储系统等子系统组成,每个子系统有各自独特的运作模式^[2]。而本文旨在研究始发航班离港问题,在行李处理流程中只涉及行李处理系统中的离港行李系统,且在离港行李系统对始发航班的旅客行李处理起到决定性作用的系统主要有值机系统、行李安检系统、行李分拣系统,即在始发航班行李处理问题中着重讨论行李托运、行李安检、行李分拣问题。

研究始发航班行李时,截载前最后一位到达机场旅客的行李处理是关键,这就是各个机场设定截载时间,即拒绝旅客办理登机手续的最后时间的原因。因为只有确定了登机的人数之后,飞机的配载等相关工作才能够进行,同时因为行李处理流程将花费很大一部分时间,如果设定的截载时间不合理,将严重威胁到航班的正常性,简化后的始发航班行李处理流程如图 2 所示。

1.1.3 航空器地面保障流程

因航班性质的不同,将航空器地面保障流程分为始发航班地面保障流程和过站航班地面保障流程,文

章着重研究始发航班地面保障流程。始发航班在离港前,机场需要对航班进行一系列的生产保障和地面准备工作,该过程任务繁多且用时较长,同时涉及多个保障部门的协调配合,主要目的是能够在规定的时间内完成各项保障工作,并使航空器接受保障服务的时间尽可能短^[3]。因此,始发航班地面保障进程的进展程度将直接影响航班正常性以及航空公司的经济效益。

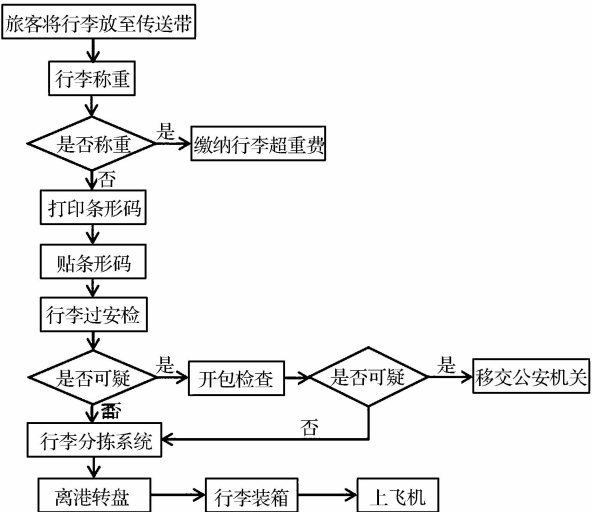


图 2 行李处理流程图

从安全性及规范性的角度出发,民航局下发的《机场航班运行保障标准》(81 号令)中对航班运行保障流程涉及的各个环节的时间节点进行严格的约束^[4]。81 号令中尤其对始发航班地面保障作业方面做出了要求,包括对一些特殊事件的处理进行了规范(除冰雪、不正常航班的保障等)。始发航班地面保障作业的内容及其先后顺序如图 3 所示。

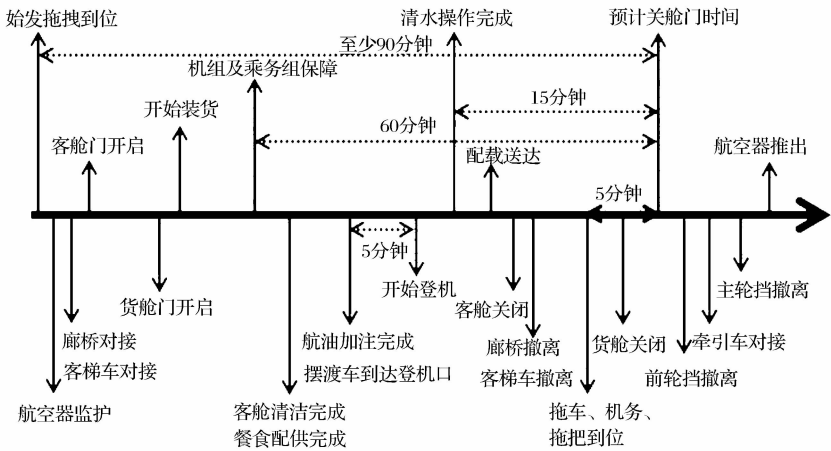


图 3 始发航空器地面保障流程图

1.2 关舱门后

始发航班在出港前获得空管部门的放行许可后,且完成起飞前的各项保障工作后关闭舱门。航空器关闭舱门后,机组请求推出许可,得到同意后,航空器从停机位推出开车,开始向塔台地面管制申请滑行的放行许可,得到许可后开始滑行。滑行到跑道外时,应该在跑道外标记的等待位置等待,得到进入跑道的放行许可后,才可进入跑道起飞。

对于始发航班而言,为减少航班延误,提高航班正常性,不仅需要优化分析航班关舱门前的各项地面保障流程,同时也需要对关舱门后航班的地面运行流程进行优化改进。航空器在关闭舱门后允许推出开车到最后允许上跑道起飞离场过程中,涉及停机位的分配以及跑道的指派两大核心问题,停机位分配问题贯穿于航空器关舱门前:关舱门前,会直接影响各项保障工作的进行以及旅客的乘坐体验(步行距离、远近机位等);关舱门后,会间接影响航空器对于跑道的选择问题。而跑道选择问题,即航空器是根据停机位分配遵从“就近起飞”原则选择跑道,或是为了航班尽快离开机场而遵从“时间最短”原则选择跑道。

2 基于 AOE 网关键路径法的始发航班关舱门前流程优化

2.1 AOE 网关键路径法

AOE(Activity On Edge)网的关键路径算法常用于生产工序中,合理估计工序的完成时间;由于 AOE 网中许多活动可以同时进行,所以完成工序的最短时间是源点到汇点的最长路径的长度,路径长度最长的路径叫做 AOE 网的关键路径(Critical Path)^[5]。同样,始发航班关舱门前的各项保障作业是一种拓扑网络结构,很多作业同时进行的,且提高保障效率的关键是找出影响整个进程的关键路径,而 AOE 网的关键路径法正是解决此类问题的有效方法。

关键路径法(Critical Path Method, CPM),又称关键线路法,是一种网络图方法,最早出现于 20 世纪 50 年代,由雷明顿-兰德公司(Remington-Rand)的 JE 克里(JE Kelly)和杜邦公司的 MR 沃尔克(MR Walker)在 1957 年提出的,用于对化工工厂的维护项目进行日程安排^[6-7]。它通过分析项目过程中哪个活动序列进度安排的总时差最少来预测项目工期的网络分析,用网络图表示各项工作之间的相互关系,找出控制工期的关键路线,在一定工期、成本、资源条件下获得最佳的计划安排,以达到缩短工期、提高工效、降低成本的目的。对于一个项目而言,求其

关键路径,通常的做法是:

- 1)将项目中的各项活动看作是一个有时间属性的结点,从项目起点到终点进行排列;
- 2)用顶点代表事件,有向线段代表活动,权值代表活动持续的时间;
- 3)用有方向的线段标出各结点的紧前活动和紧后活动的关系,使之成为一个有方向的网络图;
- 4)用正推法和逆推法计算出各个活动的最早开始时间,最晚开始时间,最早完成时间和最晚完成时间,并计算出各个活动的时间余量;
- 5)找出所有时间余量为 0 的活动所组成的路线,即为关键路径;
- 6)识别正确的关键路径,为网络优化提供约束条件。

2.2 绘制 AOE 网结构图

始发航班关舱门前的保障流程比较复杂,通过梳理和简化绘制了 AOE 网结构图,主要包括:A)问询台购票;B)旅客办理值机手续;C)行李称重;D)旅客过安检;E)航班最后一位旅客登机;F)航空器始发拖拽到位;G)廊桥或客梯车对接,开启客舱门;H)清洁队开始清洁客舱;I)机组及乘务组保障;J)餐车开始配餐;K)航油公司油车在位加油;L)行李安检;M)行李分拣;N)装运行李;O)行李上飞机;P)关闭货舱门;Q)最后一位到达旅客的行李特殊处理到达飞机;R)旅客开始登机;S)送配载平衡图、舱单等文件;T)污水车、垃圾车、清水车在位作业;U)旅客在候机室候机;V)虚拟活动;W)虚拟活动;X)关闭客舱门,廊桥撤离,拖车拖出飞机。

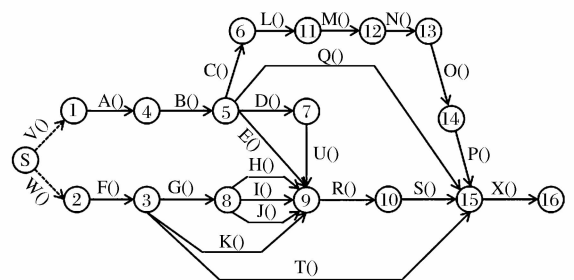


图 4 AOE 网结构图

注:有向线段字母后面的“()”中应对应的填入该活动的持续时间。

2.3 计算关键路径

当绘制完始发航班关舱门前运行保障的 AOE 网结构图后,从结构图可以看出只有所有路径上的作业都完成了,全部保障作业才算结束。因此,关舱门前整个保障作业过程所需要的时间取决于从起点到

汇点的最长路径,在网络图中耗时最长的路径叫做关键路径,关键路径上的作业称为关键作业。采用 AOE 网结图计算关键路径时,传统算法是首先需要引入事件的最早开始时间 $VE(j)$ 和最晚开始时间 $VL(i)$ 两个概念,然后计算活动的最早发生时间 $E(i)$ 和最晚发生时间 $L(i)$,把 $E(i) = L(i)$ 的活动称为关键活动。对始发航班而言, $E(i) = L(i)$ 表明结构图中此活动处于关键路径上,且活动执行的效率对航班保障具有直接的影响^[8]。

1) 假设事件的最早发生时间 $VE(j)$ 的计算公式为:

$$VE(1) = 0$$

$$VE(j) = \max\{VE(i) + Dut(i, j)\}$$
(1)

其中: $(i, j) \in T, 2 \leq j \leq n, T$ 是所有以 i 为头的弧的集合; $Dut(i, j)$ 为该弧的工作时间。

2) 假设事件的最迟发生时间 $VL(i)$ 的计算公式为:

$$VL(n) = VE(n)$$

$$VL(i) = \min\{VL(j) - Dut(i, j)\}$$
(2)

其中: $(i, j) \in S, 1 \leq i \leq n-1, S$ 是所有以 j 为尾的弧的集合; $Dut(i, j)$ 为该弧的工作时间。

传统算法只适合整个工序比较简单的工程,工序比较复杂的工程用传统算法直接计算比较复杂,而且极易出现错误。由于始发航班保障进程较为复杂,可以以 VC++6.0 为开发工具,采用网络邻接表的存储结构,编程实现 AOE 网结构图的关键路径的算法。在 VC++6.0 软件中编程语言,运行程序,人工输入网络中各个活动对应的边以及权值,计算机将自动计算各个活动的最早和最晚发生时间,最后确定关键路径。机场通过随时监控关键路径上的关键活动,一旦有活动进度影响航班保障整体效率,就可以及时采取相应的措施解决,使航班能够尽快的完成所有保障。

3 跑道指派问题

始发航班在关闭舱门之前,包括航班保障的各个流程开始之前,必须遵循机场停机位的分配原则以及约束条件分配机位,本文以航空器完成保障的时间最短为约束条件对停机位进行分配。关闭舱门后,考虑航空器推出开车,进入滑行道滑行,直至允许进入指定的跑道进行起飞,对多跑道机场而言,这过程涉及航班排序和起飞跑道选择问题两个子问题。航班排序主要考虑不同机型航班尾流间隔不同对航班排序;跑道选择问题,管制员在为航班分配跑道时都会考虑“航路”、“就近原则”等因素,但有时也会造成跑道资源的浪费^[9]。

对多跑道机场来说,航班离港排序一般有三种方式:①先对航班排序,然后分配跑道;②先分配跑道,后排序;③同时进行航班排序与跑道分配。考虑先分配跑道可能会造成机场跑道资源的浪费,文中采用第一种方式建立离场排序模型,即先对始发离港航班排序,后根据机场运行的实时情况分配合适的跑道。

针对始发航班,首先选择一个时间段内离港的航班进行排序,然后遵从“就近起飞”原则分配跑道。此时,可能会出现跑道资源使用不均衡的情况,使得一条跑道超负荷运行,而另外一条跑道处于闲置状态,为避免出现这种情况,拟采用算法设计跑道容量的阈值,此阈值是从时间角度出发考虑,当超过阈值时航空器选择滑行至远跑道起飞会比近跑道排队等待起飞的时间较短,从而为后续航班放行争取更充足的时间,减少航班延误。假设国内某枢纽机场有 A 和 B 两条跑道,且其跑道容量阈值分为 a 和 b,按照“就近起飞”原则分到两条跑道的航班队分别为 $X = \{x_1, x_2 \cdots x_m\}$ 和 $Y = \{y_1, y_2 \cdots y_n\}$,正常情况下航班 $x_i (i \in m)$ 和 $y_j (j \in n)$ 分别选择距离较近的跑道 A 和 B 起飞,始发航班放行时是机场的早高峰时段,很容易会长时间排队等待,如果航班 x_i 放行时前面在 A 跑道排队的航班较多,大于等于 A 跑道的阈值 a,那么航班 x_i 在管制员允许的情况下,应该选择滑行至 B 跑道起飞,而不是在 A 跑道外排队等待,既浪费时间又消耗燃油,对于航班 y_j 的放行也是如此。

4 总结

目前,航班正常率低下的现象在国内枢纽机场普遍存在,但很少有机场从始发航班放行的角度去着手解决问题。相反,大多机场都是通过改扩建的方式增加机场的容量,降低航班延误,提高航班正常率。本文从始发航班放行的角度出发,首先通过 AOE 关键路径法研究始发航班运行的各进程,提出以 VC++6.0 为开发工具能够实现始发航班各进程的动态监控,及时解决问题;然后以航空器保障时间最短为约束条件对停机位进行分配;最后从航空器滑行和排队时间的角度设计了跑道容量的阈值,实现以“时间最短”为原则的跑道选择。本文的研究尚且处于前期理论分析探讨阶段,后期研究将提出完整的动态控制算法并进行实例分析。

参考文献

- [1] 吴忠君. 航站楼旅客离港服务流程建模与仿真[D]. 哈尔滨: 哈尔滨工业大学, 2013.

(下转第 112 页)

[8] 丁士,王致杰,薛松,等. 基于灰色关联度 TOPSIS 法的市级
供电企业安全投入产出效果评价[J]. 水电能源科学,2013

(4):222—225.

Study on Evaluation of Sustainable Development Capacity of Wind Power Project

ZHU Guo-dong

(School of Economics and Management, North China Electric Power University, Beijing 102206, China)

Abstract: This paper studies the sustainable development capability of wind power project, and establishes the evaluation index system from four aspects: wind resources, wind power accommodation, operation status and financial status. On this basis, the gray correlation analysis and topsis method are used to construct the evaluation model of wind power project sustainable development capacity, and finally five wind power projects were selected for case analysis. This paper established the evaluation model of sustainable development capacity of wind power project based on gray correlation analysis and topsis method, can not only help the wind power enterprises to formulate the development plan, but also can provide some theoretical support for government and other departments to formulate relevant policies.

Key words: wind power project; evaluation on sustainable development capacity; gray correlation analysis and topsis method

(上接第 104 页)

[2] 王朝. 机场行李处理系统与航站楼旅客流程关系的研究[J].
科技视界,2013(6):5.37.
[3] 孟玉新. 重庆机场服务流程再造[D]. 重庆:重庆大
学,2005.
[4] 机场航班运行保障标准[S]. 中国民航局,2013.
[5] 刘小晶. AOE 网的关键路径求解算法改进及其应用[J]. 计
算机系统应用,2006(9):47—49.53.
[6] WONG K F, LOW B T. A workflow model for chinese busi-

ness processes[J]. International of Computer Processing of
Oriental Languages,2001,14(3):233—258.
[7] 陶泽,谢里阳,袁锋. 受时间约束的工作流关键路径的确定
[J]. 计算机工程与应用,2004(29):21—23.
[8] 严蔚敏,吴伟民. 数据结构[M]. 北京:清华大学出版
社,2000.
[9] 魏云. 多跑道机场的场面调度优化问题研究[D]. 天津:中国
民航大学,2016.

The Study of Starting Flights Running Process Control

YANG Lu-lu, ZHANG Hao, DI Ya-ping

(Airport Engineering and Transportation Management School,
Civil Aviation Flight University of China, Guanghan Sichuan 618307, China)

Abstract: During the actual operation, it is discovered that low starting flights punctuality rate will directly affect all-day flight normali-
ty. According to whether the cabin door is closed, the paper divided the flight process into two parts: "before the cabin door closed" and "after the
cabin door closed" so that it can help to analyses the starting flights process control. The paper's first part introduces three processes of "before
the door closed" and the runway choosing problem of "after the door closed". The second part puts forward AOE critical path method to resolve opti-
mization and controlling strategies of "before the door closed". Finally, this paper discusses the runway choosing problem to make sure the aircraft
could leave the airport as soon as possible after the cabin door is closed.

Key words: starting flights; process control; AOE critical path; runway assignment