

文章编号: 1674-8190(2023)06-178-09

# 基于AOE网的过站航班保障进程优化

李明捷, 姚霖昊

(中国民用航空飞行学院 机场学院, 广汉 618307)

**摘要:** 航班地面保障是机场运行的重要环节, 为了提升航班地面保障效率, 针对某机场航班地面保障流程构建AOE网, 通过该机场A-CDM系统记录的航班节点数据求出该机场航班地面保障作业的“关键路径”。通过对关键路径上可压缩工序的分析, 对该机场的地面保障作业流程进行优化。以我国西南地区某机场航班地面保障的实际数据为基础, 剔除不可抗力造成的不正常数据, 分别计算保障流程优化前后的航班过站时间。结果表明: 在33组航班数据中, 该机场使用AOE网络优化后的保障作业流程比优化前平均减少地面保障作业时长6.1分钟/架次, 说明通过合理地优化航班地面保障进程, 可以有效提高机场的运行效率。

**关键词:** 航班保障; AOE网; 关键路径; 流程优化

**中图分类号:** V35

**文献标识码:** A

**DOI:** 10.16615/j.cnki.1674-8190.2023.06.20

## Optimization of transit flight service process based on AOE network

LI Mingjie, YAO Linhao

(Airport College, Civil Aviation Flight University of China, Guanghan 618307, China)

**Abstract:** Flight ground service is an important part of airport operation. In order to improve the efficiency of flight ground service, an AOE (activity on edge) network was constructed according to the flight ground service process of an airport, and the "critical path" of flight ground service operation of the airport was calculated through the flight node data recorded by the A-CDM system of the airport. By analyzing the compressible process on the critical path, the ground service operation flow of the airport is optimized. Based on the actual data of flight ground service at an airport in southwest China, the abnormal data caused by force majeure were eliminated, and the flight transit time before and after the optimization of the service process were calculated. The comparative analysis found that in 33 flight data sets, the optimized support operation process using AOE network reduced the ground service operation time by 6.1 min/flight on average. It shows that the operation efficiency of the airport can be effectively improved by optimizing the flight ground service process reasonably.

**Key words:** flight service; AOE network; critical path; process optimization

收稿日期: 2022-08-25; 修回日期: 2022-11-18

基金项目: 中央高校基本科研业务费(ZHMH2022-002)

通信作者: 姚霖昊, 2576851163@qq.com

引用格式: 李明捷, 姚霖昊. 基于AOE网的过站航班保障进程优化[J]. 航空工程进展, 2023, 14(6): 178-186.

LI Mingjie, YAO Linhao. Optimization of transit flight service process based on AOE network[J]. Advances in Aeronautical Science and Engineering, 2023, 14(6): 178-186. (in Chinese)

## 0 引言

近年来,随着经济的快速发展,我国民航事业也踏上了发展的快车道<sup>[1-2]</sup>。然而,快速增长的航班量也给机场日常运行带来了极大地挑战。中小机场相较于大型民用运输机场,航班波易呈现明显的高峰特性,加上地面保障能力不足和保障流程不合理等因素,导致在中小机场中普遍存在由机场原因造成的航班延误现象,极大地影响了机场放行正常率<sup>[3]</sup>。但由于资金、场地和地理位置等因素限制,很难依靠改扩建和购置保障设备、增加保障人员的方式来提升机场保障能力,从而满足中小机场高峰时段航班地面保障效率的要求。因此,有必要对中小机场航班地面保障流程进行细化,动态查找航班地面保障关键路径,充分挖掘保障流程中的潜能,更加科学、合理地利用现有的机场资源。

目前,AOE(Activity on Edge)网络已广泛应用于企业管理、制造业、医学行业及工程项目等领域<sup>[4-5]</sup>,多用于解决多进程情况下的最短完成时间问题。在航班地面保障流程优化方面,国内外也开展了一些研究,例如,A. Cheng等<sup>[6]</sup>通过遗传算法对韩版保障资源中的清水车与拖车的调度进行了优化;M. A. Piera等<sup>[7]</sup>通过Petri网建模整个机坪保障作业;孙瑞山等<sup>[8]</sup>在采用关键路径法(CPM)确定了航班保障的关键路径并提出了一些建议;朱新平等<sup>[9]</sup>提出了机坪保障指挥调度的Petri网建模方法;杨露露等<sup>[10]</sup>研究了始发航班保障的关键路径和跑道指派问题;李明捷等<sup>[11]</sup>通过AOE网络找出绵阳机场航班保障的关键路径,并通过Apriori算法对关键延误作业进行关联分析及预警。可以看出,在目前关于航班地面保障进程的研究中,缺少提高中小机场航班地面保障效率方面的研究。

本文以某机场过站航班地面保障流程为研究对象,通过机场协同决策系统(Airport Collabora-

tive Decision Making System,简称A-CDM)对该机场某一高峰时段的过站航班地面保障节点数据进行获取,得到航班地面保障数据,进而构建该机场过站航班地面保障AOE网,通过关键路径法进行关键路径求解,提出保障流程优化方案并对优化后的方案进行验证,以期提高机场保障效率。

## 1 基于AOE网的地面保障作业分析

### 1.1 过站航班地面保障流程分析

在日常运行中,一般将航空器地面保障分为始发航班保障和过站航班保障,由于中小机场普遍存在过站航班占比大的情况,本文着重研究过站航班地面保障流程。过站航班在到港挡轮挡后和离港撤轮挡前,机场需要对本场过站的航空器进行任务繁多且用时较长的地面保障工作,同时涉及多个机场保障部门和驻场单位的车辆及人员协调配合<sup>[12-13]</sup>,使过站航空器按计划时间离港。因此,过站航班保障的进展程度将直接影响航班的正常放行<sup>[14]</sup>。

过站航班在中小机场日航班运营中占据了极高的比重,并且高峰时段对过站航班能否正常放行会直接影响后续航班的放行<sup>[15]</sup>,一旦一定数量(具体与机场保障能力有关)航班未按原航班计划时间离港,就会造成后续航班积压延误。因此,研究过站航班保障进程控制不仅能使机场有限的保障资源得以充分利用,而且可以有效提高机场运行效率。

航班的保障过程需要机场各保障单位和驻场单位进行协同合作。中国民用航空局发布的《航班安全运行保障标准》<sup>[16]</sup>中对过站航班地面保障作业方面做出了明确要求。基于《航班安全运行保障标准》中关于过站航班地面保障作业的内容及其先后顺序,构建过站航班地面保障流程如图1所示。

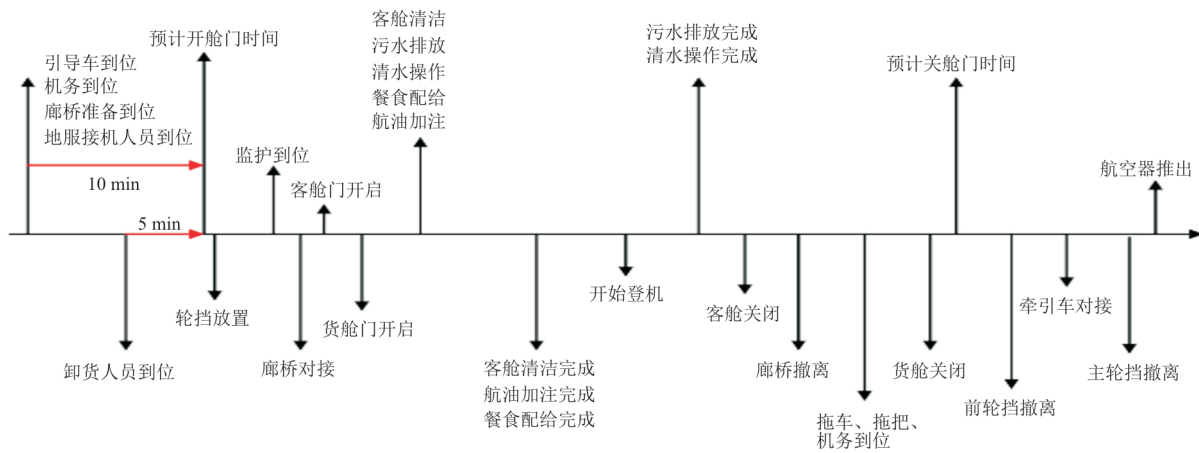


图 1 过站航班地面保障流程图

Fig. 1 Flow chart of ground guarantee for transit flights

### 1.2 初始 AOE 网构建

关键路径法 (Critical Path Method, 简称 CPM), 是 1957 年由分属兰德公司和杜邦公司的 J. E. 克里和 M. R. 沃尔克提出的一种网络图方法<sup>[17]</sup>。通过网络图描述各个分支进程之间的先后关系, 找出其中的关键路线 (最长路线), 进而实现在资源条件不变的情况下, 所有工程在最短时间完成的目标。

AOE 网的关键路径算法常用于各种生产工序中, 通过 AOE 网的关键路径算法, 可以在一定程度上合理地估计工序的完成时间。因为 AOE 网中存在许多可以同步进行的分支路径, 所以完成所有工序的最短时间等于完成所有分支路径中的最长路径的时间, 最长的路径也称为 AOE 网的关键路径。过站航班从开舱门后到关舱门前的各项保障作业是一种拓扑网络结构, 各种保障作业按不同

路径同时进行。因此, 可以在构建过站航班地面保障流程的 AOE 网络后, 通过关键路径法 (CPM) 找出保障流程 AOE 网的关键路径, 有效解决过站航班地面保障进程问题。

设边  $a_i (i=1, 2, \dots, 24)$  为两个保障节点间的时间间隔的集合, 过站航班的地面保障节点用 A, B,  $\dots$ , V 表示, 结合某机场实际运行情况, 初步构建过站航班地面保障 AOE 网如图 2 所示, 图中: A 为轮挡与反光锥形标志物放置; B 为廊桥/客梯车对接; C 为开客舱门; D 为开货舱门; E 为下客完成; F 为客舱清洁开始; G 为航油加注开始; H 为卸下行李; I 为加清水/排污水开始; J 为客舱清洁结束; K 为配送航食; L 为航油加注结束; M 为加清水/排污水结束; N 为旅客登机开始; O 为卸下货邮; P 为旅客登机结束; Q 为装载货邮; R 为关客舱门; S 为廊桥/客梯车撤离; T 为装载行李; U 为关货舱门; V 为撤轮挡。

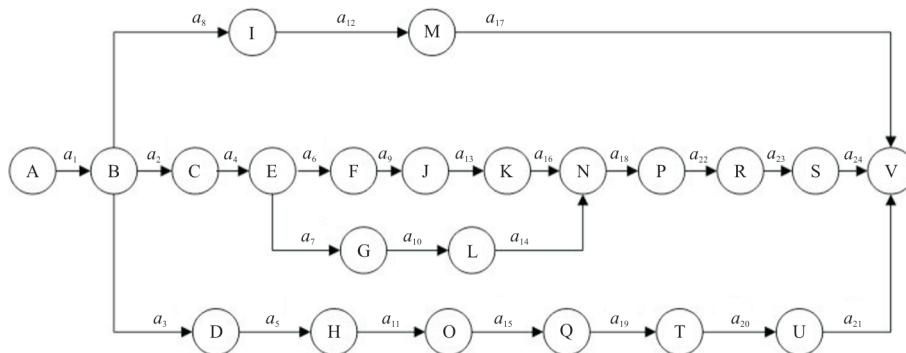


图 2 过站航班地面保障 AOE 网

Fig. 2 AOE network of ground guarantee for transit flights

### 1.3 关键路径算法实现

求 AOE 网的关键路径,需要辨别关键活动<sup>[18-21]</sup>,即表示为  $e(i)=l(i)$  的活动。为求 AOE 网中的  $e(i)$  和  $l(i)$ ,首先应求得事件的最早发生时间  $ve(j)$  和最迟发生时间  $vl(j)$ 。如果保障节点 A, B, …, V 由弧  $(j, k)$  表示,其持续时间记为  $dut(j, k)$ ,则有如下关系:

$$e(i)=ve(j) \quad (1)$$

$$l(i)=vl(k)-dut(j, k) \quad (2)$$

对  $ve(j)$  和  $vl(j)$  进行求解:

1) 从  $ve(1)=0$  开始向前递推,则有:

$$ve(j)=\max\{ve(i)+dut(i, j)\} \quad ((i, j) \in T, 2 \leq j \leq n) \quad (3)$$

2) 从  $vl(n)=ve(n)$  起向后递推,则有

$$vl(i, j)=\min\{vl(j)-dut(i, j)\} \quad ((i, j) \in S, 2 \leq i \leq n-1) \quad (4)$$

式中:  $T$  为所有以  $j$  为头的弧的集合;  $S$  为所有以  $i$  为尾的弧的集合;  $e(i)$  为节点活动的最早开始时间;  $l(i)$  为节点活动的最晚开始时间;  $ve(j)$  为事件的最早发生时间;  $vl(j)$  为事件的最晚发生时间。

计算关键路径的长度,找出可能影响航班正常运营的关键进程,是本文研究的重点,借助

Python 编程语言来实现,伪代码如下:

1) 从原点  $v_1$  出发,令  $ve(1)=0$ ,按拓扑序列求其余各项顶点的最早发生时间  $ve(j)$ ;

2) 如果得到的拓扑序列中顶点个数小于 AOE 网中的顶点个数,说明网中存在环,不能求关键路径,算法终止;否则执行步骤(3);

3) 从终点  $v_n$  出发,令  $vl(n)=ve(n)$ ,按逆序拓扑有序求其余各项顶点的最迟发生时间  $vl(j)$ ;

4) 根据各顶点的  $ve$  和  $vl$  值,求每条有向边的最早开始时间  $e(i)$  和最迟开始时间  $l(i)$ ;

5) 若某条有向边满足条件  $e(i)=l(i)$ ,则该有向边为关键路径。

## 2 过站航班地面保障分析

### 2.1 AOE 网关键路径计算

通过 A-CDM 对某机场 2021 年夏秋航季连续一周的高峰时段的过站航班地面保障节点数据进行获取,为避免因流量控制、极端天气等不可抗力原因导致的航班长时间延误对计算结果的影响,对此类数据进行剔除处理,最终得到 33 组航班地面保障数据。部分航班保障节点数据如表 1 所示。

表 1 部分航班地面保障节点数据(时刻)  
Table 1 Data of some flight ground guarantee nodes (time)

序号	机型	挡轮挡	廊桥或客梯车到位	客舱门开启	货舱门开启	下客完成
航班 1	A321-NEO/C	11:46	11:47	11:48	11:47	11:54
航班 2	A320/C	10:02	10:03	10:05	10:04	10:11
航班 3	A319/C	10:43	10:41	10:42	10:43	10:49
航班 4	A320/C	10:57	10:54	11:59	10:58	11:08
...	...	...	...	...	...	...
序号	加油开始	客舱清洁开始	客舱清洁完毕	配餐开始	配餐结束	加油完成
航班 1	11:54	11:53	12:01	12:00	12:08	12:09
航班 2	10:12	10:10	10:18	10:08	10:17	10:24
航班 3	10:51	10:46	10:54	10:57	11:02	11:08
航班 4	11:05	10:58	11:06	11:13	11:20	11:18
...	...	...	...	...	...	...
序号	上客	上客完成	客舱门关闭	货舱门关闭	廊桥或客梯车撤离	撤轮挡
航班 1	12:14	12:30	12:30	12:15	12:30	12:42
航班 2	10:26	10:35	10:42	10:38	10:43	11:04
航班 3	11:13	11:28	11:34	11:29	11:35	11:48
航班 4	11:11	11:40	11:40	11:29	11:40	11:43
...	...	...	...	...	...	...

将航班地面保障数据代入算法进行求解,Python 程序运行结果如表 2 所示,可以看出:关键路径

为 'A-B-C-E-F-J-K-N-P-R-S-V'。计算得到的航班地面保障关键路径和保障时间如表 3 所示。

表2 某航班AOE网运算结果  
Table 2 AOE network calculation result of a flight

节点	$ve(j)$ 最早发 生时间/min	$vl(j)$ 最迟发 生时间/min	节点	$ve(j)$ 最早发 生时间/min	$vl(j)$ 最迟发 生时间/min	节点	$ve(j)$ 最早发 生时间/min	$vl(j)$ 最迟发 生时间/min	节点	$ve(j)$ 最早发 生时间/min	$vl(j)$ 最迟发 生时间/min
A	0	0	G	11	14	M	17	45	S	46	46
B	2	2	H	19	39	N	27	27	T	33	53
C	5	5	I	7	35	O	19	39	U	35	55
D	5	25	J	22	22	P	45	45	V	60	60
E	11	11	K	24	24	Q	19	39			
F	12	12	L	24	27	R	46	46			

表3 航班地面保障关键路径求解结果  
Table 3 Solving results of flight ground guarantee critical path

序号	机型	关键路径	保障时间/min
航班1	A321-NEO/C	'A-B-C-E-F-J-K-N-P-R-S-V'	60
航班2	A320/C	'A-B-C-E-F-J-K-N-P-R-S-V'	80
航班3	A319/C	'A-B-C-E-F-J-K-N-P-R-S-V'	69
航班4	A320/C	'A-B-C-E-F-J-K-N-P-R-S-V'	46
航班5	B738/C	'A-B-C-E-G-L-N-P-R-S-V'	42
航班6	B738/C	'A-B-C-E-F-J-K-N-P-R-S-V'	45
航班7	A320/C	'A-B-C-E-F-J-K-N-P-R-S-V'	66
航班8	A320/C	'A-B-C-E-F-J-K-N-P-R-S-V'	60
航班9	A319/C	'A-B-C-E-F-J-K-N-P-R-S-V'	67
航班10	B738/C	'A-B-C-E-F-J-K-N-P-R-S-V'	46
航班11	B738/C	'A-B-C-E-F-J-K-N-P-R-S-V'	75
航班12	A320/C	'A-B-C-E-F-J-K-N-P-R-S-V'	76
航班13	B738/C	'A-B-C-E-G-L-N-P-R-S-V'	39
航班14	B738/C	'A-B-C-E-F-J-K-N-P-R-S-V'	53
航班15	B738/C	'A-B-C-E-F-J-K-N-P-R-S-V'	80
航班16	B738/C	'A-B-C-E-F-J-K-N-P-R-S-V'	76
航班17	B738/C	'A-B-C-E-F-J-K-N-P-R-S-V'	65
航班18	A320/C	'A-B-C-E-F-J-K-N-P-R-S-V'	69
航班19	A320/C	'A-B-C-E-G-L-N-P-R-S-V'	36
航班20	A320/C	'A-B-C-E-F-J-K-N-P-R-S-V'	84
航班21	B738/C	'A-B-C-E-G-L-N-P-R-S-V'	35
航班22	B738/C	'A-B-C-E-F-J-K-N-P-R-S-V'	45
航班23	A320/C	'A-B-C-E-F-J-K-N-P-R-S-V'	54
航班24	A320/C	'A-B-C-E-G-L-N-P-R-S-V'	32
航班25	B738/C	'A-B-C-E-F-J-K-N-P-R-S-V'	52
航班26	A320/C	'A-B-C-E-F-J-K-N-P-R-S-V'	58
航班27	A320/C	'A-B-C-E-F-J-K-N-P-R-S-V'	91
航班28	B738/C	'A-B-C-E-F-J-K-N-P-R-S-V'	81
航班29	B738/C	'A-B-C-E-F-J-K-N-P-R-S-V'	55
航班30	B738/C	'A-B-C-E-F-J-K-N-P-R-S-V'	56
航班31	A320/C	'A-B-C-E-F-J-K-N-P-R-S-V'	83
航班32	B738/C	'A-B-C-E-F-J-K-N-P-R-S-V'	82
航班33	B738/C	'A-B-C-E-F-J-K-N-P-R-S-V'	47

### 2.2 “关键路径”计算结果分析

从表 3 可以看出:共计 33 个航班中,除 5 个过站保障时间在 45 min 以下的航班 AOE 关键路径为 'A-B-C-E-G-L-N-P-R-S-V', 即“轮挡与反光锥形标志物放置—廊桥/客梯车对接—开客舱门—下客完成—航油加注开始—航油加注结束—旅客登机开始—旅客登机结束—关客舱门—廊桥/客梯车撤离—撤轮挡”外(注:这 5 个航班进行了快速过站保障),其余航班关键路径均为 'A-B-C-E-F-J-K-N-P-R-S-V', 即“轮挡与反光锥形标志物放置—廊桥/客梯车对接—开客舱门—下客完成—客舱清洁开始—客舱清洁结束—加航食—旅客登机开始—旅客登机结束—关客舱门—廊桥/客梯车撤离—撤轮挡”。

表明在保障时间较短(启动快速过站程序)的情况下,航油的加注时间对航班的保障时间具有决定性影响。在中小机场一般使用罐式加油车对

航空器进行航油加注,由于罐式加油车具有车身体积大、容易与其他保障车辆冲突、需要往返油库进行加油等特点,很难缩短航油加注的作业时间。而在航班正常保障的情况下,客舱清洁作业和航空食品保障是影响航班地面保障的重要环节,可以通过优化保障流程进而缩减航班地面保障时间。

### 3 AOE 网的地面保障作业优化

本文研究的机场出于避免保障车辆冲突的考虑,将航空食品保障作业放在客舱清洁之后进行,但通过对《航班安全运行保障标准》<sup>[16]</sup>中航班地面保障作业流程的分析,可以打开航空器右前舱门从而使航空食品保障和客舱清洁这两个流程同步进行。综上所述,结合《航班安全运行保障标准》,重新优化构建某机场航班地面保障 AOE 网,将客舱清洁之后进行航空食品保障的作业流程优化为在旅客下航空器之后同步进行,如图 3 所示。

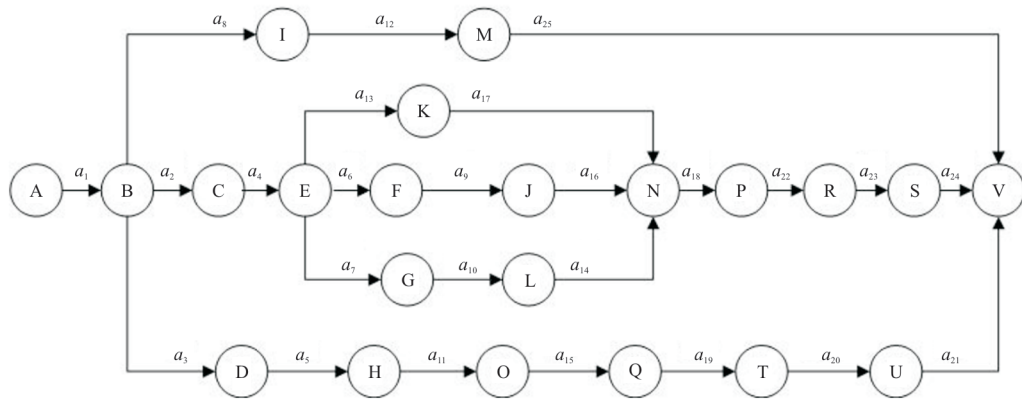


图 3 优化后的 AOE 网

Fig. 3 Optimized AOE network

将优化后的航班地面保障 AOE 网重新计算, 所得优化前后对比结果如表 4 所示。对比优化前的航班地面保障时间, 优化后的平均地面保障时间减少 6.1 min。

优化前后的航班地面保障时间对比如图 4 所示, 可以看出:除序号为 5, 13, 19, 21, 24 这五个因关键路径为“轮挡与反光锥形标志物放置—廊桥/客梯车对接—开客舱门—下客完成—航油加注开始—航油加注结束—旅客登机开始—旅客登机结束—关客舱门—廊桥/客梯车撤离—撤轮挡”的航

班地面保障时间由于航油加注这一进程无法缩短导致没有减少外, 其余 28 个航班的地面保障时间均有不同程度的缩短。同时, 可以通过优化航班保障进程, 充分利用机场现有保障资源, 避免保障资源因等待前序保障作业而浪费。尤其在航班高峰时段, 可以有效提升保障效率。因此, 在不影响航班运行安全的情况下, 对过站航班地面保障流程进行合理地优化, 可以有效提高机场航班地面保障效率, 进而提高机场运行效率。

表 4 优化前后的关键路径对比  
Table 4 Critical path comparison before and after optimizations

序号	优化前关键路径	优化后关键路径	减少时间/min
1	'A-B-C-E-F-J-K-N-P-R-S-V'	'A-B-C-E-F-J-N-P-R-S-V'	8
2	'A-B-C-E-F-J-K-N-P-R-S-V'	'A-B-C-E-F-J-N-P-R-S-V'	8
3	'A-B-C-E-F-J-K-N-P-R-S-V'	'A-B-C-E-F-J-N-P-R-S-V'	6
4	'A-B-C-E-F-J-K-N-P-R-S-V'	'A-B-C-E-G-L-N-P-R-S-V'	2
5	'A-B-C-E-G-L-N-P-R-S-V'	'A-B-C-E-G-L-N-P-R-S-V'	0
6	'A-B-C-E-F-J-K-N-P-R-S-V'	'A-B-C-E-F-J-N-P-R-S-V'	1
7	'A-B-C-E-F-J-K-N-P-R-S-V'	'A-B-C-E-F-J-N-P-R-S-V'	6
8	'A-B-C-E-F-J-K-N-P-R-S-V'	'A-B-C-E-F-J-N-P-R-S-V'	6
9	'A-B-C-E-F-J-K-N-P-R-S-V'	'A-B-C-E-F-J-N-P-R-S-V'	8
10	'A-B-C-E-F-J-K-N-P-R-S-V'	'A-B-C-E-G-L-N-P-R-S-V'	2
11	'A-B-C-E-F-J-K-N-P-R-S-V'	'A-B-C-E-F-J-N-P-R-S-V'	8
12	'A-B-C-E-F-J-K-N-P-R-S-V'	'A-B-C-E-F-J-N-P-R-S-V'	8
13	'A-B-C-E-G-L-N-P-R-S-V'	'A-B-C-E-G-L-N-P-R-S-V'	0
14	'A-B-C-E-F-J-K-N-P-R-S-V'	'A-B-C-E-F-J-N-P-R-S-V'	8
15	'A-B-C-E-F-J-K-N-P-R-S-V'	'A-B-C-E-F-J-N-P-R-S-V'	5
16	'A-B-C-E-F-J-K-N-P-R-S-V'	'A-B-C-E-F-J-N-P-R-S-V'	7
17	'A-B-C-E-F-J-K-N-P-R-S-V'	'A-B-C-E-F-J-N-P-R-S-V'	8
18	'A-B-C-E-F-J-K-N-P-R-S-V'	'A-B-C-E-F-J-N-P-R-S-V'	7
19	'A-B-C-E-G-L-N-P-R-S-V'	'A-B-C-E-G-L-N-P-R-S-V'	0
20	'A-B-C-E-F-J-K-N-P-R-S-V'	'A-B-C-E-F-J-N-P-R-S-V'	8
21	'A-B-C-E-G-L-N-P-R-S-V'	'A-B-C-E-G-L-N-P-R-S-V'	0
22	'A-B-C-E-F-J-K-N-P-R-S-V'	'A-B-C-E-G-L-N-P-R-S-V'	3
23	'A-B-C-E-F-J-K-N-P-R-S-V'	'A-B-C-E-F-J-N-P-R-S-V'	6
24	'A-B-C-E-G-L-N-P-R-S-V'	'A-B-C-E-G-L-N-P-R-S-V'	0
25	'A-B-C-E-F-J-K-N-P-R-S-V'	'A-B-C-E-F-J-N-P-R-S-V'	6
26	'A-B-C-E-F-J-K-N-P-R-S-V'	'A-B-C-E-F-J-N-P-R-S-V'	8
27	'A-B-C-E-F-J-K-N-P-R-S-V'	'A-B-C-E-F-J-N-P-R-S-V'	8
28	'A-B-C-E-F-J-K-N-P-R-S-V'	'A-B-C-E-F-J-N-P-R-S-V'	9
29	'A-B-C-E-F-J-K-N-P-R-S-V'	'A-B-C-E-F-J-N-P-R-S-V'	7
30	'A-B-C-E-F-J-K-N-P-R-S-V'	'A-B-C-E-F-J-N-P-R-S-V'	8
31	'A-B-C-E-F-J-K-N-P-R-S-V'	'A-B-C-E-F-J-N-P-R-S-V'	8
32	'A-B-C-E-F-J-K-N-P-R-S-V'	'A-B-C-E-F-J-N-P-R-S-V'	10
33	'A-B-C-E-F-J-K-N-P-R-S-V'	'A-B-C-E-G-L-N-P-R-S-V'	4

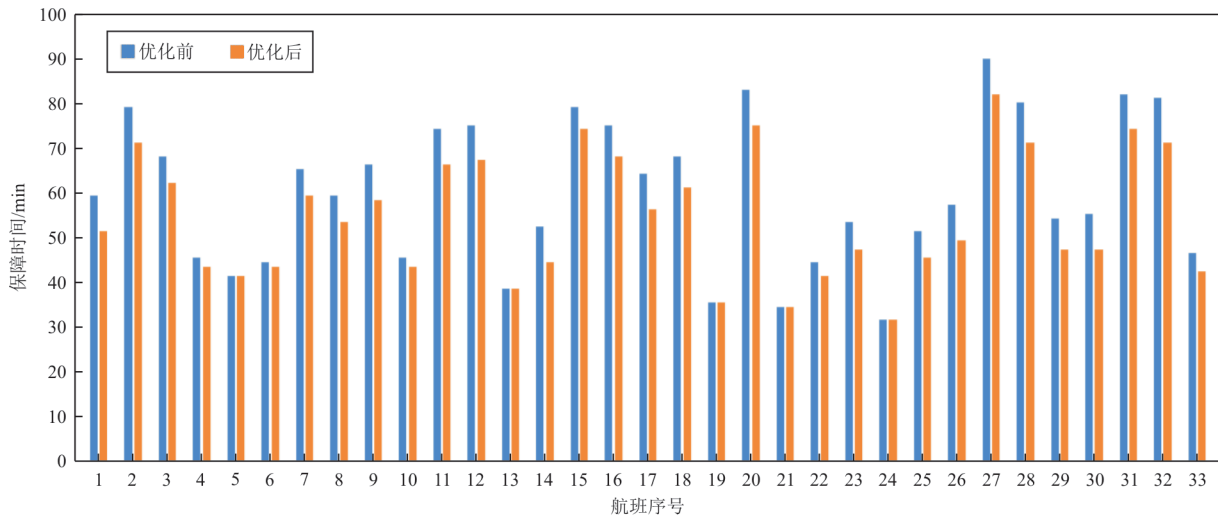


图4 优化前后的航班地面保障时间对比

Fig. 4 Comparison of flight ground guarantee time before and after optimization

同时,为了进一步压缩过站航班地面保障时间,建议对关键路径上的保障作业进行管控。还可以通过加强各保障部门之间的信息交换,实现各保障作业衔接顺畅,减少相邻保障作业的间隔时间。

## 4 结 论

1) 在航班正常保障的情况下,客舱清洁作业和航空食品保障是影响航班地面保障的重要环节。

2) 中小机场在无法增加保障资源的情况下,可以通过合理优化保障流程,减少航班保障总时长,进而提高航班地面保障效率。

### 参考文献

- [1] 周婷婷,张嘉伟,胡珉浩,等. 基于高铁竞争关系下民航客运航线网络布局策略研究[J]. 智库时代, 2019(22): 272-274.  
ZHOU Tingting, ZHANG Jiawei, HU Minhao, et al. Research on network layout strategy of civil passenger routes based on high-speed rail competition[J]. Think Tank Times, 2019(22): 272-274. (in Chinese)
- [2] 王占伟,赵明明,李华星. 亚洲10大枢纽机场运营绩效预测研究[J]. 航空工程进展, 2021, 12(4): 90-98.  
WANG Zhanwei, ZHAO Mingming, LI Huaxing. 10 big Asian hub airport operating performance prediction research [J]. Advances in Aeronautical Science and Engineering, 2021, 12(4): 90-98. (in Chinese)
- [3] ZHANG Yaping, CHEN Ye, ZANG Yu, et al. Improved ant colony algorithm for vehicle scheduling problem in airport ground service support [J]. Journal of Harbin Institute of Technology, 2023, 30(1): 1-12.
- [4] 李学光,张树仁,苗立琴. 关键路径法(CPM)在制造业中的应用[J]. 机械设计与研究, 2007, 23(6): 86-88,97.  
LI Xueguang, ZHANG Shuren, MIAO Liqin. Critical path method (CPM) application in manufacturing [J]. Journal of Mechanical Design and Research, 2007, 23(6): 86-88,97. (in Chinese)
- [5] ZAKI A, DIAN F. The critical path method in construction project rescheduling [J]. IOP Conference Series: Earth and Environmental Science, 2021, 832(1): 012009.
- [6] CHENG A, IP W H, LU D, et al. An aircraft service scheduling model using genetic algorithms [J]. Journal of Manufacturing Technology Management, 2004, 16 (1) : 109-119.
- [7] PIERA M A, NOVIKOV A, TRAPODE C, et al. A simulation model to improve air cargo operations in passenger aircraft [C] // Proceedings of the 2010 Summer Computer Simulation Conference. San Diego: AIAA, 2010: 446-451.
- [8] 孙瑞山,张子全. 基于CPM的停机坪航班保障工作方法研究[J]. 中国民航大学学报, 2011, 29(5): 23-26.  
SUN Ruishan, ZHANG Zitong. Study on apron flight service work method based on CPM [J]. Journal of Civil Aviation University of China, 2011, 29(5): 23-26. (in Chinese)
- [9] 朱新平,唐志星,夏正洪. 基于Petri网的航班机坪保障指挥调度建模[J]. 火力与指挥控制, 2015, 40(12): 48-52.  
ZHU Xinping, TANG Zhixing, XIA Zhenghong. Command and scheduling modeling of flight apron support based on Petri net [J]. Fire Control & Command Control, 2015, 40(12): 48-52. (in Chinese)



- [10] 杨露露, 张浩, 狄亚平. 始发航班运行进程控制研究[J]. 科技和产业, 2017, 17(10): 101-104, 112.  
YANG Lulu, ZHANG Hao, DI Yaping. Research on process control of departure flight operation[J]. Science Technology and Industry, 2017, 17(10): 101-104, 112. (in Chinese)
- [11] 李明捷, 袁一凡, 苗光远. 绵阳机场过站航班地面保障流程延误预警研究[J]. 物流科技, 2021, 44(2): 88-91, 96.  
LI Mingjie, YUAN Yifan, MIAO Guangyuan. Mianyang airport station ground support processes flight delays early warning research [J]. Journal of Logistics Technology, 2021, 44(2): 88-91, 96. (in Chinese)
- [12] 邢志伟, 唐云霄. 枢纽机场航班保障服务时间估计[J]. 系统仿真学报, 2017, 29(11): 2856-2864, 2874.  
XING Zhiwei, TANG Yunxiao. Support services hub airport flight time estimation [J]. Journal of System Simulation, 2017, 29(11): 2856-2864, 2874. (in Chinese)
- [13] 黄鹏诗, 杨文东. 机场地面作业仿真与优化[J]. 中国民航飞行学院学报, 2014(4): 24-27.  
HUANG Lishi, YANG Wendong. Simulation and optimization of airport ground operation[J]. Journal of Civil Aviation Flight University of China, 2014(4): 24-27. (in Chinese)
- [14] 邢志伟, 张林, 罗谦, 等. 航班保障因果分析框架[J/OL]. 北京航空航天大学学报: 1-12. [2022-01-11].  
XING Zhiwei, ZHANG Lin, LUO Qian, et al. Causal analysis framework of flight service [J/OL]. Journal of Beijing University of Aeronautics and Astronautics: 1-12. [2022-01-11]. (in Chinese)
- [15] YAO R, JIANDONG W, TAO X. Prediction model and algorithm of flight delay propagation based on integrated consideration of critical flight resources[C]// 2009 ISECS International Colloquium on Computing, Communication, Control, and Management. USA: IEEE, 2009: 98-102.
- [16] 中国民用航空局. 航班安全运行保障标准[S]. 北京: 中国民用航空局, 2020.  
Civil Aviation Administration of China. Flight safety operation service standard [S]. Beijing: Civil Aviation Administration of China, 2020. (in Chinese)
- [17] KELLEY J E. Critical-path planning and scheduling [J]. Operations Research, 1959, 9(3): 296-320.
- [18] 詹泽梅. 一种基于动态规划法的关键路径算法[J]. 电脑知识与技术, 2019, 15(31): 215-217.  
ZHAN Zemei. A critical path algorithm based on dynamic programming [J]. Computer Knowledge and Technology, 2019, 15(31): 215-217. (in Chinese)
- [19] 高巍巍, 赵磊, 苍圣, 等. 基于AOE网络的关键路径方法研究[J]. 数字技术与应用, 2010(9): 78-79.  
GAO Weiwei, ZHAO Lei, CANG Sheng, et al. The critical path method based on the AOE network study [J]. Journal of Digital Technology and Applications, 2010(9): 78-79. (in Chinese)
- [20] 朱大勇, 杨德明, 向金珍. AOE网的关键路径算法在网络工序中的应用[J]. 计算机应用, 2000, 20(6): 49-51.  
ZHU Dayong, YANG Deming, XIANG Jinzhen. Application of AOE network critical path algorithm in network process [J]. Computer Applications, 2000, 20(6): 49-51. (in Chinese)
- [21] 王荣. 基于邻接矩阵存储的AOE网的关键路径算法的实现[J]. 福建电脑, 2017, 33(11): 112-113.  
WANG Rong. Implementation of critical path algorithm for AOE network based on adjacency matrix storage [J]. Fujian Computer, 2017, 33(11): 112-113. (in Chinese)

#### 作者简介:

李明捷(1981—),女,硕士,副教授。主要研究方向:机场运行。

姚霖昊(1995—),男,硕士研究生。主要研究方向:机场运行。

(编辑:马文静)