

【航空科学与工程研究】

# 兼容航班计划的过站时间影响因素分析

许振腾<sup>1</sup>, 王 琪<sup>2</sup>

(1. 南京工业职业技术大学 航空工程学院, 江苏 南京 210046;

2. 上海机场(集团)有限公司, 上海 201300)

**摘 要:**航班过站时间是影响航班使用效率的重要因素,如何缩短航班过站时间一直是困扰航空公司的一个问题。为了找到影响航班过站时间的因素,指导航空公司高效利用航班,使用 2 万多条飞行数据,对航班属性、机型和航班类别的影响进行了分析。基于 Python 编程进行数据处理和图形绘制,采用控制变量的方法,结合散点图、直方图和密度图进行分析,最终确定了影响航班过站时间的主要因素,为缩短航班过站时间提供了重要的理论依据。

**关键词:**过站时间;航班计划;影响因素;Python 编程

**中图分类号:** V 35      **文献标识码:** A      **DOI:**10.13486/j.cnki.1673-2618.2022.06.003

## 0 引言

进入 21 世纪以来,我国的航空事业得到了迅猛发展,机场吞吐量也呈指数增长<sup>[1]</sup>,2016—2019 年的出港航班年增量更是保持在 7% 以上。尽管 2020 年后受新冠肺炎疫情影响有所波动,但航空出行无疑已经成为更多人优先考虑的交通方式。国家“十四五”规划和 2035 年远景目标又对航空机场、商用飞机和商用发动机的发展给出了明确指导,航空业在新冠肺炎疫情过后,必然会迎来井喷式发展。

与我国航空业的迅猛发展不相匹配的是航班运行效率低下的情况日益严重<sup>[2]</sup>。为了提升航班运行效率,很多学者将目光聚集在了航班过站时间上,大家一致认为过站时间的长短可以反映航班运行效率高<sup>[1-3]</sup>。因此,航班过站时间预测研究<sup>[4]</sup>,航班过站地面保障优化研究<sup>[5-7]</sup>等应运而生。本文对现有的研究成果进行了分析,发现大多数的研究都将重点放在了预测和模型上,而对影响航班过站时间的因素(如机型大小、航班时段、航班类型等)没有太多有说服力的研究,基本上是根据经验做出判断。文献[2]虽然对影响因素(计划过站时间、飞机类型、机场起降架次和航班到达时段)进行了研究,但是并未提及航班属性、航班类型和飞行区类型所造成的影响,因此本文主要对航班属性、航班类型和飞行区类型对航班过站时间的影响进行了分析,分析结果可用于指导安排航班计划和维修服务工作。

## 1 数据获取及处理

国内机场、航空公司和空管一般通过 ACDM(Airport Collaborative Decision Making)系统进行信息共享。ACDM 系统即机场协同决策系统,该系统所包含的信息非常全面,如飞机类型、始发机场、目的地机场、机型、进出港状态、预计到(离)港时间,实际到(离)港时间等,甚至目前最新的系统中还包含过站勤

收稿日期:2022-06-24

第一作者简介:许振腾(1989—),男,山东聊城人,讲师,硕士,主要从事载运工具运用工程研究。

E-mail: xuzhenteng@163.com

务的时间节点。ACDM 系统是不断在更新的,伴随技术的进步,更多航班运行信息将被该系统所记录。本文所使用的分析数据,是通过 ACDM 系统所获取的某机场的运行数据。

### 1.1 数据内容

从 2020 年初开始的新冠肺炎疫情对航空业带来了巨大冲击,机场运行情况首当其冲,因此如果分析这段时间的机场运行情况,必须考虑疫情的影响,但是疫情终将过去,机场运行最终也会恢复正常,所以本文选择的分析数据是新冠肺炎疫情暴发前的机场运行数据。航班运行数据受时间的影响是最大的,但是每年的同一时间段基本是一致的,所以本文选用了 2019 年 6 月份的运行数据进行分析,原始数据(部分节选)如表 1 所示。

表 1 航班运行信息原始数据表

CLA	DEP—ARR	ITY	ELDT	ALDT	ETDT	ATOT	TOF
HZ/HZ	阿姆斯特丹—重庆(经)— 上海浦东—洛杉矶	B772/F	2019-05-31	2019-05-31	2019-06-01	2019-06-01	国内
			04:43:00	04:38:00	00:05:00	00:35:00	国际
W/ZW /Z	亚的斯亚贝巴—上海浦东— 亚的斯亚贝巴	A359/E	2019-05-31	2019-05-31	2019-06-01	2019-06-01	国际
			15:49:00	15:50:00	00:05:00	01:00:00	
...	...	...	...	...	...	...	...

通过表 1 的数据节选可以看出,在 ACDM 系统中获取到用于分析的数据主要包括:航班类型 CLA、始发 DEP—到达地 ARR、机型 ITY、预计到达时间 ELDT、实际到达时间 ALDT、预计出港时间 ETDT、实际起飞时间 ATOT、航班属性 TOF。通过对数据样本进行分析,发现获取的样本中包含一些影响分析的无用数据,主要有非过站航班数据、空值数据、停场航班数据、记录错误数据。为了便于对数据进行分析,首先需要进行数据处理。

### 1.2 数据处理

本文通过 Python 编程来进行所有数据的处理和分析,对非过站航班数据和空值数据进行处理。表 1 中 DEP—ARR 对应的列为航班运行机场的情况,将 DEP 为某机场的数据所在的行全部删除,即处理了非过站航班数据。

停场航班在停场时间上的表现较为明显,比一般过站航班的时间要长很多,可以直接通过停场时间进行判断删除。记录错误的数据主要针对时间记录错误,主要表现为出场时间早于进场时间,这也可以通过停场时间来判断,如果停场时间为负,那么说明属于这一类记录错误数据。

为了删除上述数据,需要先计算过站时间。文献[3]中的过站时间只包含乘客服务时间、飞机勤务时间和行李货物装卸时间。这一定义没有包含航班离港前的等待时间,以此来分析过站时间的影响因素有些片面。本文参考《民航正常管理规定统计办法》中的规定,将过站时间定义为航班到港时间和离港时间之差。因为航班离港包含航班起飞前的等待阶段,因此这一定义能够有效兼容航班计划对过站时间的影响。根据定义,可以得出飞机过站时间为  $D_s = ETDT - ELDT$ ,  $D_a = ATOT - ALDT$ 。式中,  $D_s$  为预计过站时间,  $D_a$  为实际过站时间。结合表 1 中的数据,可以计算出每个航班的过站时间。直接计算出的过站时间为日期格式,为了便于根据过站时间进行统计和计算,本文把日期格式转变为以 h 为单位的数字格式。

本文对一般飞机的过站时间进行了调研,根据机型的不同(主要参考座位数),航班的最少过站时间不同,但是最长时间没有限制。150 座以下的航班,最少过站时间一般为 40 min,151~200 座的航班最少过站时间为 45 min,251~500 座的航班最少过站时间为 65 min。根据之前计算出的过站时间,发现最少过站时间的参考意义不大,因为绝大多数航班的过站时间远多于最少过站时间。通过对某航空公司实际运

行情况进行调研,发现正常航班的过站时间一般不超过 5 h,超出 5 h 的航班大部分因为有故障或者是停场航班。结合对原始数据的初步分析,本文将最长过站时间定为 6 h,最短过站时间不做要求。通过运行自编的 Python 程序,删除了停场航班和错误数据。经过处理后的数据(部分节选)如表 2 所示。

表 2 航班运行信息处理后数据表

ID	CLA	DEP—ARR	ITY	ALDT	ATOT	Ds/h	TOF
1	W/ZW/Z	万象—琅勃拉邦(经)— 上海浦东—万象	A320/D	2019-05-31 22:59:00	2019-06-01 00:11:00	1.2	国际
2	H/ZH/Z	芝加哥奥黑尔—安克雷奇— 上海浦东—首尔仁川	B744/E	2019-05-31 19:11:00	2019-06-01 00:17:00	5.1	国际
...	...	...	...	...	...	...	...

## 2 基于控制变量的影响因素分析

在之前的任务中,得到了可用于分析的数据,剩余的有效数据共计 15 053 条。以数据 ID 为横坐标,以过站时间为纵坐标,绘制出所有航班的过站时间情况分布图,如图 1 所示。根据图 1 中的分布情况可以看出:过站时间少于 1 h 的航班寥寥无几;所有航班的过站时间集中在 1~2 h;伴随时间的增长,过站航班数量(散点密度)逐渐减少。为了弄清楚不同因素对航班过站时间的影响,采用控制变量逐级分析的方法。通过试验分析,本文最终确定通过平均过站时间和集中分布区域两个指标来判定影响的强弱。

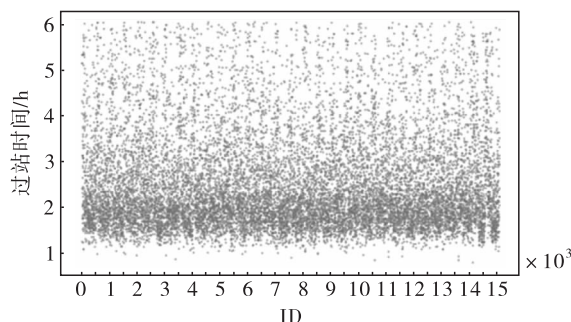


图 1 过站时间总体分布

### 2.1 航班属性影响分析

航班属性(Type of Flight)按照航班途经机场所在地的不同,分为国内航班(DOM)、国际航班(ITN)、地区航班(REG)以及 3 种属性的组合航班。在分析航班属性的影响时,需要确定机型、航班类型不变,通过对数据的分析,选取了 A330 系列客机和 B787 系列客机。

首先对 A330 系列客机不同属性的航班过站时间分布进行研究,绘制直方图进行对比分析。A330 系列客机的过站时间分布如图 2 所示。

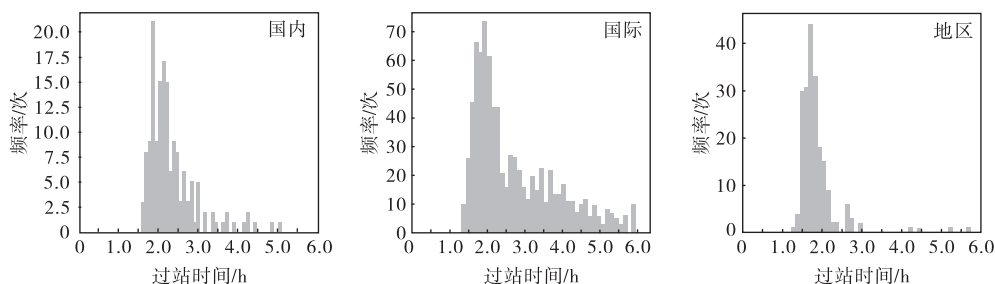


图 2 A330 系列客机过站时间分布情况图

从图 2 可以看出,国际航班过站时间分布的集中性较差,地区航班的过站时间分布最集中,且集中分布区域更偏左侧(过站时间较短)。

对 B787 系列客机的过站时间进行分析发现,该系列客机没有直飞地区的航班,只有地区—国际或国

际一地区的组合航班,且两种类型航班的过站时间存在较大差异,因此单独做直方图进行分析。B787 系列客机过站时间分布情况如图 3 所示。

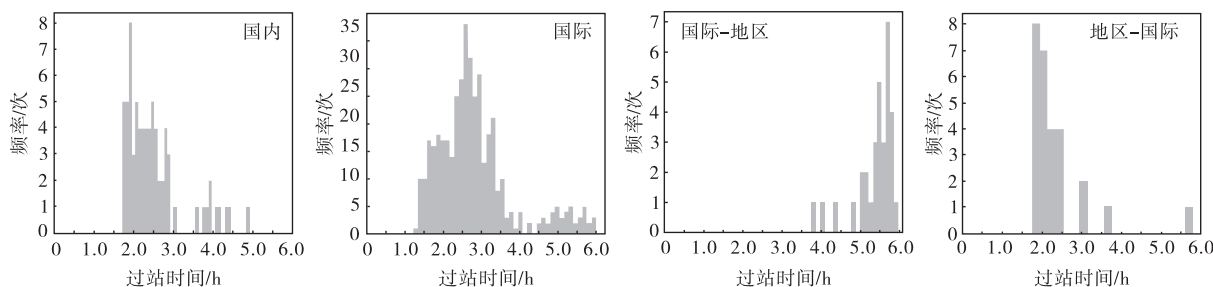


图 3 B787 系列客机过站时间分布情况图

由图 3 可以看出,B787 国际航班的过站时间分布和 A330 类似,最突出的特点是集中区域范围较广。地区航班时间分化严重的现象比较普遍,本文在分析 A380 时发现了类似的现象,究其原因是地区航线拥堵,对航班计划的制定影响较大,因此导致这一现象的发生。

由图 2 和图 3 集中区域的相对位置可以看出,地区航班的过站时间要更短一些,国际航班和国内航班的过站时间差别不明显。随后,本文计算了各类航班的平均过站时间,结果如表 3 所示。

表 3 不同属性航班过站时间统计

机型	DOM		ITN		REG			
					ITN-REG		REG-ITN	
	平均时间/h	航班数量	平均时间/h	航班数量	平均时间/h	航班数量	平均时间/h	航班数量
A330	2.34	157	2.74	822	1.87			197
B787	2.47	72	2.83	419	5.39	31	2.36	27

统计发现,无论 A330 还是 B787,平均过站时间最短的都是地区航班,其次是国内航班(DOM),用时最长的是国际航班。

## 2.2 机型影响分析

在分析机型影响时,确定的两个固定量为国内、客运航班。本文所选取的机场过站机型较为丰富,为了让分析更有说服力,选取了航班量较多的几款机型,分别是:空客公司的 A320 系列和 A330 系列,波音公司的 B737 系列和 B787 系列。对所选取的机型进行散点图绘制,对比过站时间分布情况,对应的散点如图 4 所示。

由图 4 可以看出,不同机型的过站时间确实有所差别,但是具体趋势表现不明显,因此进一步绘制直方图进行对比分析,如图 5 所示。

由图 5 中纵向对比可以看出同一家公司的不同机型间过站时间的不同,横向对比可以看出不同公司不同机型过站时间的不同。通过对比发现,A330 系列客机的过站时间与 A320 系列过站时间分布情况基本相似,与 B737 的过站时间分布情况也差别不大。过站时间的主要不同体现在 B787 上,表现为集中区域偏右(过站时间长)且聚集度明显较低。

结合表 4 的统计可以看出,同一座位量级的客机,在过站时间上基本一致,如 A320 和 B737,伴随座位数的增多,过站时间增长。因此得出:机型对航班过站时间的影响是相对的,这一影响主要关联的因素是

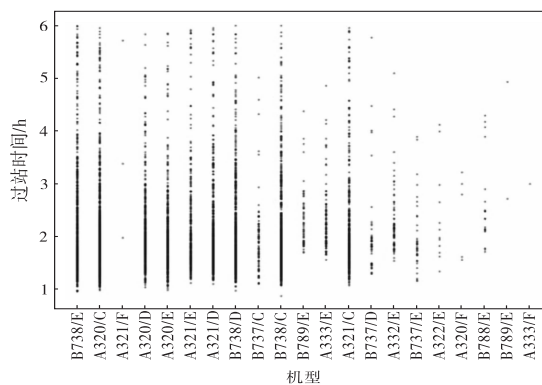


图 4 不同机型过站时间分布散点图

机型的大小,和生产公司、飞机型号的关联性不大。

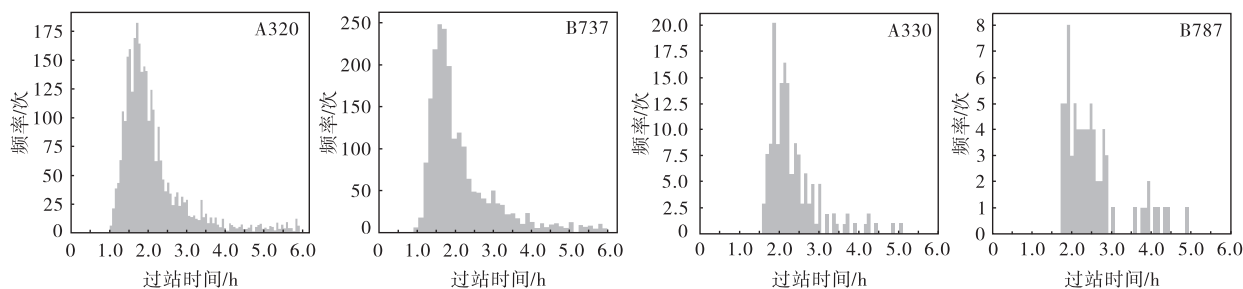


图 5 不同机型过站时间分布直方图

表 4 不同机型航班过站时间统计

机型	平均时间/h	航班数量	座位数量	机型	平均时间/h	航班数量	座位数量
A320	2.15	2999	150~220	B737	2.15	2087	110~192
A330	2.34	157	253~335	B787	2.47	72	242~330

### 2.3 航班类别影响分析

航班的分类包括正常客运、正常货运、货运加机、货运包机、调机和公务机等。因部分类型的数据样本有限,本文本次主要研究正常客运和正常货运两种类别航班对过站时间的影响。按照控制变量的分析思路,本文只在 A330 机型的国际航班中找到了可以对比的数据,其直方图如图 6 所示。

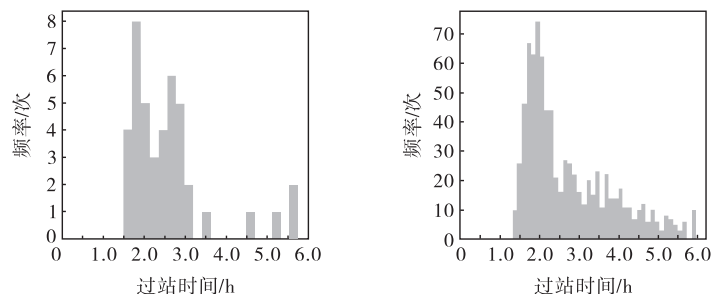


图 6 不同航班类别过站时间分布直方图

由图 6 可以看出,货运航班和客运航班在时间分布上的规律类似,集中区域均在 1.5~3.0 h,过站时间超过 3 h 的航班逐渐减少,但在 5.5~6.0 h 又有一定的航班量。另外,计算平均过站时间得出,货运航班的平均用时为 2.6 h,客运航班的平均用时为 2.74 h,客运航班过站时间略长。根据上述分析可知,航班类型对过站时间的影响不大。

### 3 成果及验证

根据上文的分析可以得出:(1)航班属性对过站时间影响较大,影响途径为航班计划;(2)机型对过站时间影响的主要渠道为机型大小,大小级别类似的不同机型航班,过站时间差别不大,机型越大过站时间越长;(3)航班类型对过站时间的影响可忽略不计。

机型大小的体现有不同的衡量标准:座位数、翼展和飞机长度。上文在分析机型的影响时已经对比了座位数的不同,为了进一步验证机型大小对航班过站时间的影响是否正确,再从翼展和飞机长度的角度进行分析。为了规范机场区域的大小,民航局根据翼展长度指定了飞行区域的等级,用字母 A~F 表示,参考《民用机场飞行区技术标准》,本文中所涉及的机型所属等级如表 5 所示。

本文所获取的数据中,对不同机型的飞行区域等级进行了划分,但是和表 5 中略有不同的是,B737 和 A320 机型有大量的航班是使用的 D 类飞行区指标,所以本文根据获取到的数据,虽然对 C 类和 D 类进行

了区分,但是它们的实际机型是一致的。本文共获取到 3714 条 C 类航班数据,2990 条 D 类航班数据,4737 条 E 类航班数据和 354 条 F 类航班数据。这些数据对应的过站时间分布散点图如图 7 所示。

表 5 不同机型所属飞行区等级

飞行区指标	翼展/m	机型	飞行区指标	翼展/m	机型
A	<15		D	36~52(不含)	
B	15~24(不含)		E	52~65(不含)	B747, B787, A330
C	24~36(不含)	B737, A320	F	65~80(不含)	A380

之前的分析都是基于直方图的结果,但是这一结果受数据量和 bins 的影响较大,为了让结果更直观,本文引入高斯核密度函数来进行对比。所谓密度函数是指,为求取某一点的概率密度,把某一点邻域的密度函数值当作该点的密度函数值,函数表达式为

$$\hat{f}(x) = \frac{1}{2h} \lim_{h \rightarrow 0} \frac{N_{x_i \in [x-h, x+h]}}{N_{total}}$$

式中,  $N$  表示样本点数量。然后,对该邻域内的密度值取平均,得到  $x$  点的密度函数

$$\hat{f}(x) = \frac{1}{hN_{total}} \sum_i \frac{|x - x_i|}{2h}$$

假设  $K(x) = \frac{x}{2}$ , 则上式可写成

$$\hat{f}(x) = \frac{1}{hN_{total}} \sum_i K\left(\frac{|x - x_i|}{h}\right)$$

对密度函数进行积分可得

$$\int \hat{f}(x) = \frac{1}{hN_{total}} \sum_i \int K\left(\frac{|x - x_i|}{h}\right) dx = \frac{1}{hN_{total}} \sum_i \int K(t) dt = \int K(t) dt$$

因为概率密度的积分为 1,所以只要  $K(t)$  为已知函数,就可以得到连续的密度函数。 $K(t)$  即为核函数。本文选用的核函数为高斯密度函数。高斯密度函数是一个广泛应用在数学及工程领域的概率分布函数<sup>[8-9]</sup>。高斯函数曲线的物理意义是:一个随机样本与函数中心点的距离越近则代表其发生的概率越高<sup>[10]</sup>。该函数的公式为

$$f(x) = \frac{1}{\sigma \sqrt{2\pi}} e^{-\frac{(x-\mu)^2}{2\sigma^2}}$$

式中,  $x$  为过站时间,  $\sigma$  为标准差,  $\sigma^2$  为方差,  $\mu$  为期望值。

根据上述密度函数,对图 7 对应的数据进行计算,绘制出的密度图如图 8 所示。由密度图可以看出, C 类和 D 类飞行区航班的过站时间规律几乎完全一致,这也和之前提到的某机场航班实际分布情况相吻合。E 类飞行区航班的过站时间较之 D 类略有加长,过站时间超过 2.75 h 的航班数量明显增多。F 类飞行区航班的过站时间明显加长,且出现了两个波峰,说明过站时间不集中、较分散。通过密度图的观测结果可以看出,前文分析所得出的结论是正确的。

#### 4 结论

本文通过采用控制变量的方法对影响航班过站时间长短的几个因素进行了分析,并根据分析结果给

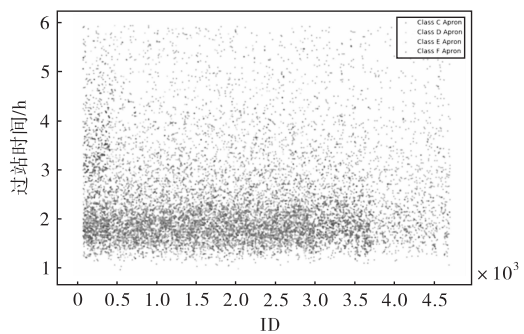


图 7 C~F 类飞行区航班过站时间散点图

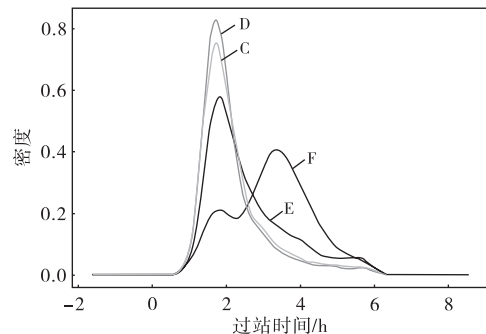


图 8 C~F 类飞行区航班过站时间密度图

出了结论。航班属性直接关系到航班计划,对过站时间影响较大;机型越大,过站时间越长;航班类别对过站时间的影响较小。最后通过计算过站时间密度,对分析所得结论进行了验证,证明了结果的正确性。该分析结果可以对航空公司的航班计划安排和维修服务工作的布置起到很好的引导作用,从而提高运行效率,节省成本。

### 参 考 文 献:

- [1] 杨亚磊. 机场航班过站地面保障建模与时间优化[D]. 天津:中国民航大学,2020.
- [2] 文思敏. 航班过站时间可预测性分析[J]. 科技创新与应用,2016(35):29-30.
- [3] 王海强,吴洋,周琳. 基于准模拟的飞机过站时间预测方法[J]. 航空计算技术,2016,46(4):67-70.
- [4] ICAO. Manual on global performance of the air navigation system[M]. Montreal:International Civil Aviation Organization,2008.
- [5] DE VICENTE S S. Ground handling simulation with CAST[D]. Hamburg:Hamburg University of Applied Science,2010.
- [6] GUPTA P,BAZARGAN M,MCGRATH R N. Simulation model for aircraft line maintenance planning[C]. Reliability& maintainability symposium. IEEE,2003.
- [7] BALAKRISHNAN H. Control and optimization algorithms for air transportation systems[J]. Annual reviews in control,2016,41:39-46.
- [8] 代文征,杨勇. 基于改进高斯-拉普拉斯算子的噪声图像边缘检测方法[J]. 计算机应用研究,2019,36(8):2544-2547.
- [9] 代秀珍. 基于高斯密度谱估计的局域中心网络流量预测[J]. 科技通报,2015,31(12):80-82.
- [10] 胡巧遇,仝明磊. 基于高斯密度图估计的自然场景汉字检测[J]. 计算机应用研究,2022,39(2):623-627.

## Analysis of Influencing Factors of Transit Time for Compatible Flight Plans

XU Zhen-teng<sup>1</sup>, WANG Qi<sup>2</sup>

(1. School of Aeronautical Engineering,

Nanjing Vocational University of Industry Technology, Nanjing 210046, China;

2. Shanghai Airport (Group) Company, Ltd., Shanghai 201300, China)

**Abstract:** Flight transit time is an important factor affecting the efficiency of flight use. But how to shorten flight transit time has always been a problem that plagues airlines. In order to find the factors that affect flight transit time and guide airlines to use flights efficiently, more than 20 000 pieces of flight data are used to analyze the impact of flight attributes, aircraft types and flight categories. Based on Python programming for data processing and graphics drawing, the method of controlling variables is used, and combined with scatter plots, histograms and density plots to analyze, and finally the main factors that affect the flight transit time are determined, which provides an important theoretical basis for shortening the flight transit time.

**Keywords:** transit time; flight plans; influencing factors; Python programming

(责任编辑:唐立平)